



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
ПРИЛАДОБУДІВНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

*XV Всеукраїнська науково-практична конференція студентів,
аспірантів та молодих вчених*

"ПОГЛЯД У МАЙБУТНЄ ПРИЛАДОБУДУВАННЯ"

14-15 червня 2022 р.
м. Київ, Україна

Збірник праць конференції



КИЇВ 2022

Загальною метою конференції є спілкування студентів та аспірантів з питань перспективних розробок, нових рішень в приладобудуванні. Збірка містить 51 статтю за результатами наукових та практичних досліджень з актуальних проблем автоматизації та приладобудування. Розраховано на аспірантів та студентів старших курсів з фаху «Автоматизація та приладобудування» і «Метрологія та інформаційно-вимірвальна техніка».

Адреса Оргкомітету конференції:
03056, Київ-56, пр. Перемоги, 37, корпус 1, Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”, Приладобудівний факультет, 1720.

Рекомендовано до публікації на засіданні Організаційного комітету конференції та Вченої Ради ПБФ КПІ ім. Ігоря Сікорського.

Відповідальний редактор – С.Л. Лакоза – к.т.н., доц.
В авторській редакції.

Збірник праць XV Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених “ПОГЛЯД У МАЙБУТНЄ ПРИЛАДОБУДУВАННЯ”, 14-15 червня 2022р. — К.: ПБФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського. – 2022. – 219 с.

Видано на замовлення Приладобудівного факультету Національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”.

ПРОГРАМНИЙ КОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ:

1. Тимчик Григорій Семенович — д.т.н., проф., декан ПБФ
2. Бурау Надія Іванівна — д.т.н., проф., зав. кафедри КІОНС
3. Колобродов Валентин Георгійович — д.т.н., проф. кафедри КІОНС
4. Антонюк Віктор Степанович — д.т.н., проф., в.о. зав. кафедри ВП
5. Киричук Юрій Володимирович — д.т.н., проф., зав. кафедри АСНК
6. Протасов Анатолій Георгійович — д.п.н., проф. кафедри АСНК
7. Єременко Володимир Станіславович — д.т.н., проф., зав. кафедри ІВТ
8. Зашепкіна Наталія Миколаївна — д.т.н., проф. кафедри ІВТ
9. Туз Юліан Михайлович — д.т.н., проф. кафедри ІВТ

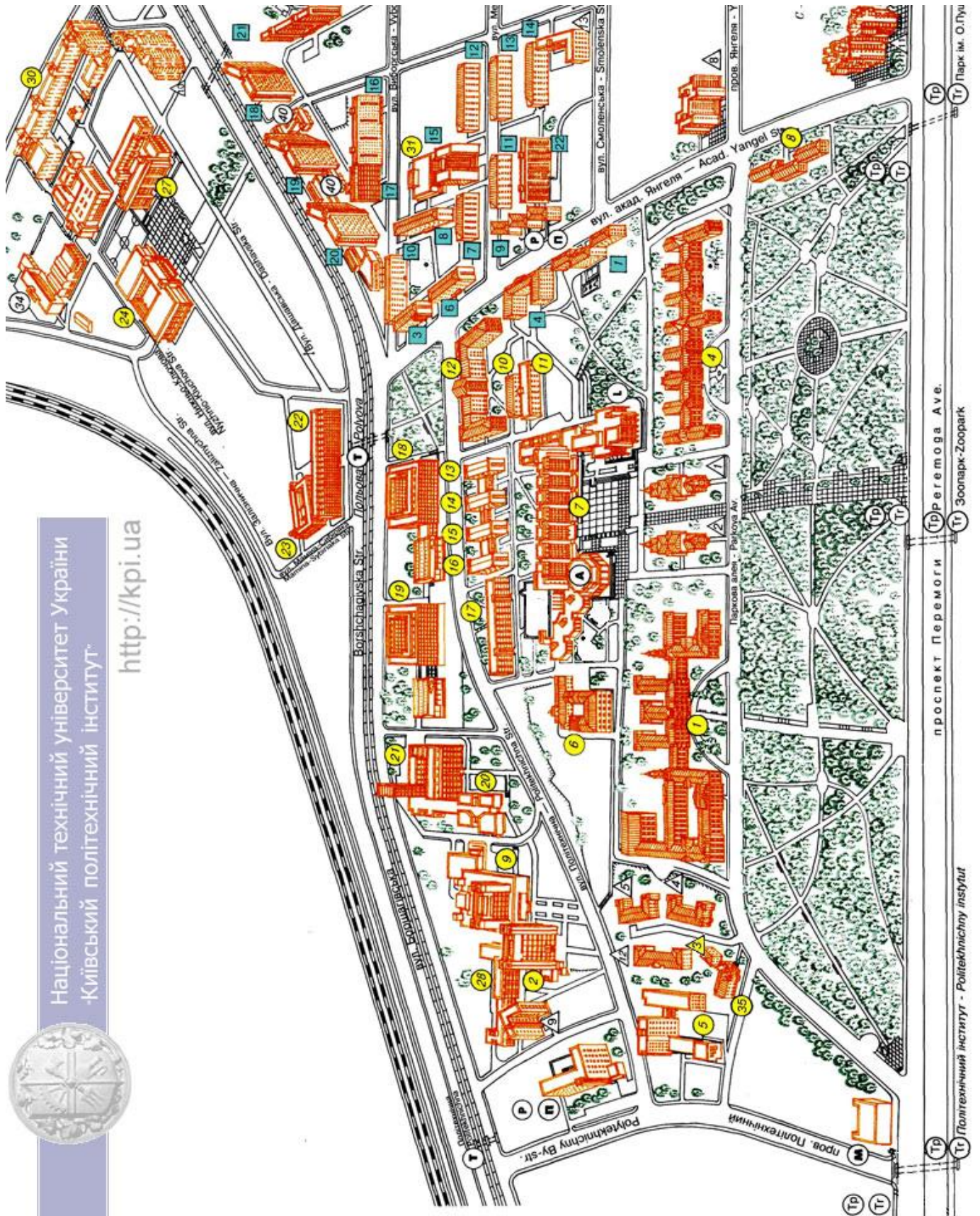
ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ

1. Лакоза С.Л. — к.т.н., заст. декана ПБФ з навч.-вих. роботи, голова комітету.
2. Булавко Н.О. — студент ПБФ, заст. голови комітету, секція №5 та секція №8.
3. Накорик В. В. — студентка ПБФ, секція №1.
4. Голик В.О. — студентка ПБФ, секція №2.
5. Матошин О.В. — студентка ПБФ, секція №3.
6. Некрасова О.О. — студентка ПБФ, секція №4.
7. Баталія Б.О. — студент ПБФ, секція №6.
8. Акуленко О.С.— студент ПБФ, секція №7.



Національний технічний університет України
-Київський політехнічний інститут

<http://kpi.ua>



З М І С Т

СЕКЦІЯ 1. КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА СИСТЕМИ НАВІГАЦІЇ І КЕРУВАННЯ

<i>А.В. Даниленко, Л.Ю. Павленко, студенти гр. ПГ-81, к.т.н. Сапегін О.М.</i> ЗАСТОСУВАННЯ ВИСОКОТОЧНИХ АЛГОРИТМІВ ОРІЄНТАЦІЇ.....	12
<i>Є. В. Литвинова, студентка групи ПГ-91</i> ОГЛЯД МІКРОКОНТРОЛЕРІВ ІЗ ІНТЕГРОВАНИМИ МОДУЛЯМИ БЕЗДРОТОВОГО ЗВ'ЯЗКУ	16
<i>Д.С. Музика, студент гр. ПГ-11мн, к.т.н., доц. Павловський О.М.</i> ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРСПЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ STARLINK В НАЗЕМНИХ СИСТЕМАХ НАВІГАЦІЇ	19
<i>К. А. Мішура, аспірантка гр. ПГ-11ф</i> ОГЛЯД СТАНУ ДОСЛІДЖЕНЬ ЩОДО РОЗРОБКИ СИСТЕМ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ПІДТРИМКИ РУХУ	24
<i>Д.О. Позняк, студент гр. ПГ-11мн, проф., д.т.н. Аврутов В.В.</i> ПРО МЕТОДИЧНУ ПОХИБКУ АВТОНОМНОГО ВИЗНАЧЕННЯ ШИРОТИ ...	27
<i>С.В. Співак, студент гр. ПГ-91, к.т.н., доцент Павловський О.М.</i> ОГЛЯД СУЧАСНИХ МІКРОКОМП'ЮТЕРІВ НА БАЗІ МІКРОКОНТРОЛЕРІВ СІМЕЙСТВА ARM	32
<i>В.В. Шелемаха, студент гр. ПГ-11мп, к.т.н., доц. Цибульник С.О.</i> ОГЛЯД ЗАСОБІВ ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ.....	35
<i>В.А. Яковенко, студент гр. ПГ-11мп, к.т.н., ст. викладач Сапегін О.М.</i> ПРО СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО СИНТЕЗУ ФІЛЬТРІВ ДЛЯ ЗАДАЧ ОРІЄНТАЦІЇ І НАВІГАЦІЇ.....	39

СЕКЦІЯ 2. ОПТИЧНІ ТА ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННІ ПРИЛАДИ І СИСТЕМИ

<i>В.А. Тесленко, студент гр. ПО-11мп, д.т.н., професор Боровицький В.М.</i> ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ЦИФОВИХ ПРИЦІЛІВ.....	44
<i>Ю. О. Галелюка, студент гр. ПО-11мп, к.т.н., доц. Кучеренко О. К.</i> ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРИ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ДЖЕРЕЛА ВИПРОМІНЮВАННЯ У ВОЛОКОННО-ОПТИЧНОМУ ГІРОСКОПІ.....	48
<i>Б.О. Кожушко, студент гр. ПО-81, к.т.н., ст.викл. Васильковська І.О.</i> ВИКОРИСТАННЯ ДИФРАКЦІЙНИХ ЛІНЗ В БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЮЧИХ АППАРАТАХ.....	52
<i>Д.В. Корнев, студент гр. ПГ-11мп, д.т.н., проф. Микитенко В.І.</i> ПОПЕРЕДНІЙ АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ ТЕПЛОВІЗІЙНОЇ СИСТЕМИ ПО ВИЯВЛЕННЮ БПЛА	55
<i>А. І. Крижній, студент гр. ПО-11мп, к.т.н., доц. Сокурченко В. М.</i> АВТОМАТИЗОВАНИЙ РОЗРАХУНОК ШИРОКОКУТНОГО 8-ЛІНЗОВОГО ОКУЛЯРА З ПОЛЕМ ЗОРУ 90°	59

<i>С. М. Маслоva, студентка гр. ПО-81</i> ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ТЕПЛОВІЗОРА НІКМІСРО LYNX PRO LH15 ДЛЯ БЕЗПЛОТНИКІВ	63
<i>В.С. Танчук, студент гр. ПО-11мп, професор Колобродов В.Г.</i> НЕОДНОРІДНЕ РОЗПІЗНАВАННЯ ОБЛИЧЧЯ ПОЛЯРИЗАЦІЙНИМ ТЕПЛОВІЗОРОМ, ВИКОРИСТОВУЮЧИ СЛОВНИКОВЕ НАВЧАННЯ ОЗНАК.....	66
<i>О. В. Ульянов, студент гр. ПО-81, д.т.н., проф. Колобродов В.Г.</i> ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННА СИСТЕМА ПОЛЯРИЗАЦІЙНОГО ТЕПЛОВІЗОРА ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ БЕЗПЛОТНИКІВ	70
<i>А.А. Храбан, студент гр. ПО-11мп, д.т.н. Чиж І.Г.</i> ОПТИЧНИЙ КООРДИНАТОР САМОНАВЕДЕННЯ ДЛЯ ЛАЗЕРНОГО ЦІЛЕВКАЗІВНИКА	73
<i>І. Т. Хуторовий, студент гр. ПО-11мп, к.т.н., доц. Сокурєнко В. М.</i> АВТОМАТИЗОВАНИЙ СИНТЕЗ 12-ЛІНЗОВОГО ТЕЛЕОБ'ЄКТИВА	76

СЕКЦІЯ 3. КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ПРИЛАДІВ

<i>Bogdan Melnychuk, student gr. PB-81, assoc. prof. Vadym Shevchenko</i> CONTROL SYSTEM FOR THE PART PROCESSING PROCESS IN A CONDITIOINS OF UNMANNED PRODUCTION	82
<i>О.А. Соколова, студентка гр. ПБ-01мп</i> МЕТОД МОДЕЛЮВАННЯ ПОХИБКИ ПОЗИЦІОНУВАННЯ РОБОТІВ- МАНІПУЛЯТОРІВ.....	85
<i>V.I. Yurkovets, postgraduate, Ph.D., docent Vyslouh S.P.</i> MATHEMATICAL MODEL OF THE ASSEMBLY PROCESS OF AXISYMETRIC DETAILS	88
<i>М.В. Гацько, студент гр. ПБ-11мп</i> ГНУЧКА АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ТРАНСПОРТУВАННЯ ДЕТАЛЕЙ З ВИКОРИСТАННЯМ ВСЕНАПРАВЛЕНИХ КОЛІС	93
<i>М.С. Друзєв, студент, гр. ПБ-01мп</i> ПАРАМЕТРИ ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ЯКІСТЬ 3D ДРУКУ МЕТОДОМ FDM	97
<i>О.С. Кравченко, студент гр. ПБ-11мп</i> ВИКОРИСТАННЯ ЦИФРОВИХ ДВІЙНИКІВ У ЖИТТЄВОМУ ЦИКЛІ ВИРОБУ	101
<i>О.В. Матошин, студент гр. ПБ-81</i> МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ВИРОБІВ ПРИЛАДОБУДУВАННЯ НА ОСНОВІ МЕТОДОЛОГІЇ IDEF0	105
<i>О.В. Матошин, студент гр. ПБ-81, к.т.н., доц. Шевченко В.В.</i> СИСТЕМА ВИБОРУ ОПТИМАЛЬНОГО МЕТОДУ ОТРИМАННЯ ЗАГОТОВОК ДЕТАЛЕЙ ПРИЛАДІВ	109
<i>О.Л. Балякіна, гр. ПБ-11мп, К.А. Романенко, гр. ПБ-11мп</i> МЕТОДИ КОМПЕНСАЦІЇ ТЕМПЕРАТУРНОЇ ПОХИБКИ ПРИ ВИМІРЮВАННІ МЕХАНІЧНИХ НАПРУЖЕНЬ ТЕНЗОМЕТРИЧНИМ МЕТОДОМ	113

В.О. Сірош, студент групи ПБ-11мп, к.т.н., доц. Стельмах Н.В.
УПРАВЛІННЯ МАНІПУЛЯТОРОМ МЕТОДОМ SDRE 117

СЕКЦІЯ 4. ПРИЛАДИ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ

Ю.Ю. Хазанович, студент гр. ПК-11ф, д.т.н., доц. Киричук Ю.В.
АЛГОРИТМ КЕРУВАННЯ КРОКУЮЧИХ РОБОТІВ 122

СЕКЦІЯ 5. МЕТРОЛОГІЯ, ІНФОРМАЦІЙНІ ВИМІРЮВАЛЬНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА

О.Т. Мехед, студент гр. ПВ-01, д.т.н., професор Зацепкіна Н.М.
ДРОНИ (БПЛА), ЇХ РОЛЬ У СУЧАСНОМУ ЖИТТІ ТА ЕКОЛОГІЇ..... 128

Ю.В. Носова, А.А. Ільченко, студ. гр. ПН-91, к.т.н., доц. Божко К.М.
НЕЧІТКА МОДЕЛЬ ЯКОСТІ ФОРМИ ВИХІДНИХ СИГНАЛІВ ГЕНЕРАТОРА ТИПУ JDS6600 131

А.І. Ніколаєв, М.В. Петров, студ. гр. ПН-п01, к.т.н., доц. Божко К.М.
ВПЛИВ КОНСТРУКЦІЇ МОНТАЖУ НА ПРОХОДЖЕННЯ ІМПУЛЬСНОГО СИГНАЛУ 135

Г.Я. Свирид, студентка гр. МТ-18-1, к.т.н., доц. Біліщук В. Б
РОЗРОБЛЕННЯ ВИМІРЮВАЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ ТЕМПЕРАТУРИ 139

О.А. Шестак, студентка гр. ПВ-81, к.т.н., доц. Павлишин М.М.
МЕТОДИКА ВИМІРЮВАННЯ ЕМІСІЇ ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ ЗЕМЛЯМИ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ПРИЗНАЧЕНЬ 143

К. А. Шолудько, студент гр. ПН-81, д.т.н., проф. Здоренко В. Г.
УЛЬТРАЗВУКОВИЙ КОНТРОЛЬ ПОВЕРХНЕВОГО ЗАБРУДНЕННЯ ВОДИ. 146

СЕКЦІЯ 6. КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ МЕДИЧНІ СИСТЕМИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ БІОМЕДИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

М. S. Shchur, student gr. PB-82, PhD, senior teacher Vonsevych K.P.
ANALYSIS OF EXISTING SENSORS AND CIRCUITS USED FOR SURFACE RECOGNITION IN PROSTHETIC DEVICES 150

Y.A. Yukhymenko, student gr. PB-82, PhD, assoc. prof. Stelmakh N. V.
ALGORITHM OF PRACTICAL TESTING OF MUFFLERS OF VENTILATION CHANNEL..... 154

Б.О. Баталія, студент гр. ПБ-82, д.т.н., доц. Терещенко М. Ф., асистент Яковенко І.О.
АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ КАПСУЛЬНОГО ВІДЕОЕНДОСКОПА 158

Є.О. Бурковський, студент гр. ПБ-82.
РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТЕСТУВАННЯ ПЛАТ ARDUINO ДЛЯ МОДУЛЯ БІОМЕТРИЧНОЇ АВТЕНТИФІКАЦІЇ..... 162

<i>І. О. Дупляк, студент гр. ПБ-82, к.т.н., доц. Терещенко М.Ф.</i> СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНИХ ІНГАЛЯЦІЙНИХ АПАРАТІВ.....	166
<i>М.Ю. Заболуєва, студентка гр. ПК-81, доктор філософії Момот А. С.</i> АВТОМАТИЗАЦІЯ УЛЬТРАЗВУКОВОЇ ДІАГНОСТИКИ ЗАХВОРЮВАНЬ МОЛОЧНИХ ЗАЛОЗ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ	170
<i>М.Ю. Заболуєва, студентка гр. ПК-81</i> ДОСЛІДЖЕННЯ ВИНИКНЕННЯ АРТЕФАКТІВ ПРИ УЛЬТРАЗВУКОВІЙ ДІАГНОСТИЦІ.....	174
<i>Ю.Д. Радченко, студент гр. ПБ-81</i> ВИКОРИСТАННЯ АВТОНОМНИХ РОБОТІВ У ЛОГІСТИЧНИХ ОПЕРАЦІЯХ МЕДИЧНОГО ЗАКЛАДУ	177
<i>Р. А. Рогожніков, студент гр. ПБ-82</i> КЕРУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНИМ МАГНІТОТЕРАПЕВТИЧНИМ АПАРАТОМ	181
<i>В.В. Терещенко, студент гр. ПБ-82, к.т.н, ст. викладач Вонсевич К.П.</i> ВИКОРИСТАННЯ СПЕКТРАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРОМІОГРАФІЧНИХ СИГНАЛІВ У БІОНІЧНОМУ ПРОТЕЗУВАННІ	185

СЕКЦІЯ 7. НЕРУЙНІВНИЙ КОНТРОЛЬ, ТЕХНІЧНА ТА МЕДИЧНА ДІАГНОСТИКА

<i>D. Storozhyk, student of PhD ПК-11ф</i> AN OVERVIEW OF SOLUTIONS FOR THE USE OF IMAGE FUSION IN NON-DESTRUCTIVE TESTING	190
<i>В.П. Малько, студент гр. ПК-11мн</i> ВИМІРЮВАННЯ КУМУЛЯТИВНИХ ФАЗОВИХ ЗСУВІВ В ЗАДАЧАХ ВИЗНАЧЕННЯ ВІДСТАНЕЙ	194
<i>А.В. Приходько, студентка гр. ПК-81, доктор філософії, Момот А.С.</i> АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ КЛАСИФІКАЦІЇ ПОВЕРХНЕВИХ ДЕФЕКТІВ ЛИСТОВОГО ПРОКАТУ	198
<i>А.А. Сакута, студентка гр. ПК-01, доц. Баженов В. Г.</i> ДОСЛІДЖЕННЯ ПІДСИЛЮВАЧА НА МДН-ТРАНЗИСТОРИ З ІНДУКОВАНИМ "Р" КАНАЛОМ BS170.....	202
<i>Я.В. Стешенко, студент гр. ПК-11мн</i> АНАЛІЗ АРХІТЕКТУР НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ДЛЯ ДЕТЕКТУВАННЯ ДЕФЕКТІВ МЕТАЛЕВИХ ВИРОБІВ	206
<i>О.В. Чеберяк, студент гр. ПМ-11</i> ЗАСТОСУВАННЯ СИСТЕМ КОМП'ЮТЕРНОГО ЗОРУ В ОПТИЧНОМУ НЕРУЙНІВНОМУ КОНТРОЛІ.....	210

СЕКЦІЯ 8. АВТОМАТИЗАЦІЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Р.О. Потієнко, студент гр. ПА-81, к.т.н., доц. Шумков Ю.С.

**АНАЛІЗ ПОХИБКИ ЧЕРЕЗ ВПЛИВ ПАРАЗИТНИХ ПАРАМЕТРІВ ПІД ЧАС
КОНТРОЛЮ СКЛАДНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ КІЛ..... 216**

Секція 1.

Комп'ютерно-інтегровані технології та системи навігації і керування

УДК 629.7

А.В. Даниленко, Л.Ю. Павленко, студенти гр. ПГ-81, к.т.н. Сапегін О.М.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ЗАСТОСУВАННЯ ВИСОКОТОЧНИХ АЛГОРИТМІВ ОРІЄНТАЦІЇ

Анотація. У роботі розглядаються шляхи для впровадження високоточних методів визначення кінематичних параметрів безплатформною інерціальною системою орієнтації. Пропонуються побудова система на недорогих чутливих елементах та мікроконтролерах, що дає змогу швидко розробити повний пакет програмного забезпечення та провести усі необхідні випробування. Описано набір процедур для реалізації методів чисельного інтегрування різної кроковості та порядку точності для кінематичних рівнянь Борца та Пуассона.

Ключові слова: чисельне інтегрування, мікромеханічний гіроскоп, БІСО, БІНС

ВСТУП

Сфера застосування безплатформних систем орієнтації та навігації постійно розширюються. Виникає нагальна потреба у алгоритмічних засобах, що можуть з необхідною точністю визначати кінематичні параметри орієнтації та автономно розраховувати місцезнаходження об'єкту. Використання різноманітних за точністю чутливих елементів, а також сучасних потужних бортових обчислювачів робить необхідним перегляд класичних підходів інерціальної навігації. Стає можливим використання методів набагато вищої точності при синтезі алгоритмів чисельного інтегрування кінематичних рівнянь орієнтації.

Разом із тим, не завжди можна отримати доступ до високоточних чутливих елементів. Проте, необхідність імплементації алгоритмічних наробок високоточних засобів у вигляді програмного забезпечення є дуже актуальною. Одним зі шляхів роботи у цьому напрямі є створення і відпрацювання високоточних алгоритмів, проте на дешевих чутливих елементах. Очевидно, що грубість датчиків не дозволить у повній мірі розкрити потенціал алгоритму, проте це дозволить отримати продукт, на якому вже можна проводити тестування, оцінку швидкодії і оптимізацію.

МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ ОРІЄНТАЦІЇ РУХОМОГО ОБ'ЄКТУ

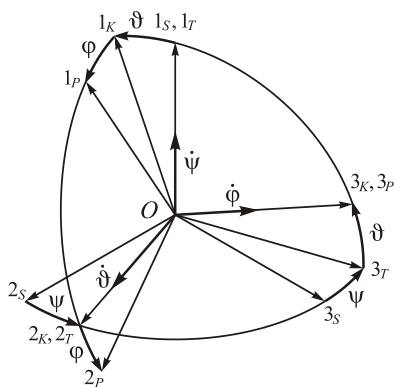


Рис. 1 Послідовність поворотів Ейлера–Крилова

Під визначенням орієнтації розуміється задача отримання поточної інформації про кутове положення об'єкту у просторі. По суті необхідно визначити нахил зв'язаної з об'єктом системи координат (СК) $1_p 2_p 3_p$ відносно деякої опорної. Нехай у якості такої опорної СК використаємо географічну $1_s 2_s 3_s$ як показано на Рис 1.

З рис.1, що зв'язана СК $1_p 2_p 3_p$ нахилена відносно $1_s 2_s 3_s$ на кути ψ, ϑ, ϕ що і визначають орієнтацію об'єкта [1].

З кінця 50-х років XX століття були запропоновані методи визначення кінематики рухомого об'єкту [2]. Вони ґрунтувалися на чисельному інтегруванні кінематичного рівняння орієнтації. У якості таких параметрів орієнтації використовують три види:

- 1) кути нахилу ψ, ϑ, ϕ (як правило кути Ейлера–Крилова);
- 2) матриця напрямних косинусів (МНК);
- 3) параметри вектору Ейлера, або кватерніони.

Використовуючи ці параметри можна сформуванати кінематичні рівняння відповідно:

$$1. \text{ Кінематичне рівняння Ейлера } \left\{ \begin{array}{l} \frac{d\psi}{dt} = (\omega_{1P}^{PS} \cdot \cos \phi - \omega_{2P}^{PS} \cdot \sin \phi) / \cos \vartheta; \\ \frac{d\vartheta}{dt} = \omega_{2P}^{PS} \cdot \cos \phi + \omega_{1P}^{PS} \cdot \sin \phi; \\ \frac{d\phi}{dt} = \omega_{3P}^{PS} - \operatorname{tg} \vartheta \cdot (\omega_{1P}^{PS} \cdot \cos \phi - \omega_{2P}^{PS} \cdot \sin \phi). \end{array} \right.$$

$$2. \text{ Матричне рівняння Пуассона } \frac{d\mathbf{C}^{SP}}{dt} = \mathbf{C}^{SP} \cdot (\boldsymbol{\omega}_P^{PS} \times).$$

$$3. \text{ Рівняння Борца } \frac{d\boldsymbol{\phi}}{dt} = \boldsymbol{\omega}_P^{PS} + \frac{1}{2}(\boldsymbol{\phi} \times) \boldsymbol{\omega}_P^{PS} \quad [3] \text{ та кватерніонне рівняння}$$

$$\text{орієнтації } \frac{d\mathbf{Q}^{SP}}{dt} = \frac{1}{2} \mathbf{Q}^{SP} \circ \boldsymbol{\Omega}_P^{PS};$$

тут позначено \mathbf{C}^{SP} – МНК між базовою СК S та зв'язаної з об'єктом P ; $\boldsymbol{\omega}_P^{PS}$ – вектор з проєкцій кутової швидкості, що вимірюють гіроскопи; $(\boldsymbol{\omega}_P^{PS} \times)$ – косиметрична матриця з проєкцій кутових швидкостей; $\boldsymbol{\phi}$ – вектор Ейлера; δ – кут Ейлера; \mathbf{Q}^{SP} – кватерніон повороту від СК S до зв'язаної P ; $\boldsymbol{\Omega}_P^{PS}$ – вектор-кватерніон, скалярна частина якого дорівнює нулю, а векторна складається з проєкцій $\boldsymbol{\omega}_P^{PS}$.

Інтегруючи ці кінематичні рівняння ми можемо отримувати інформацію про поточну орієнтацію об'єкта. Алгоритми цього чисельного інтегрування суттєво впливають на точність готової системи. На практиці, для задач невисокої точності з недорогими чутливими елементами використовуються найпростіші методи першого порядку, наприклад, прямокутників. Для побудови високоточних систем методи інтегрування будуються на алгоритмі послідовних наближень Пікара. При чому, кількість цих наближень визначає порядок точності методу.

АЛГОРИТМІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ

Було реалізовано алгоритми визначення кінематичних параметрів системою, що будувалися на інтегруванні рівнянь Пуассона, Борца та кватерніонів методами прямокутників та різноманітними методами Пікара четвертого порядку точності.

Наведемо загальний вигляд використаних методів Пікара для рівняння Борца четвертого порядку:

$$1. \text{ Трикроковий } \boldsymbol{\phi}(3h) = \mathbf{q}_1 + \mathbf{q}_2 + \mathbf{q}_3 + \frac{57}{80} \mathbf{q}_1 \times \mathbf{q}_2 + \frac{33}{80} \mathbf{q}_1 \times \mathbf{q}_3 + \frac{57}{80} \mathbf{q}_2 \times \mathbf{q}_3;$$

$$2. \text{ Чотирикроковий } \varphi(4h) = \mathbf{q}_1 + \mathbf{q}_2 + \mathbf{q}_3 + \mathbf{q}_4 + \frac{736}{945}(\mathbf{q}_1 \times) \mathbf{q}_2 + \frac{334}{945}(\mathbf{q}_1 \times) \mathbf{q}_3 + \frac{526}{945}(\mathbf{q}_1 \times) \mathbf{q}_4 + \frac{218}{315}(\mathbf{q}_2 \times) \mathbf{q}_3 + \frac{334}{945}(\mathbf{q}_2 \times) \mathbf{q}_4 + \frac{736}{945}(\mathbf{q}_3 \times) \mathbf{q}_4.$$

Коефіцієнти $\mathbf{q}_1, \mathbf{q}_2, \mathbf{q}_3, \mathbf{q}_4$ детально показані у роботі [1].

Для рівняння Пуассона були взяті методи четвертого порядку виду:

$$1. \text{ Трикроковий } P_{(4)}(3h) = P_{(1)}(3h) + h^2 \sum_{i=2}^8 3^i \mathbf{K}_{2i} + h^3 \sum_{j=3}^{12} 3^j \mathbf{K}_{3j} + h^4 \sum_{k=4}^{16} 3^k \mathbf{K}_{4k};$$

$$2. \text{ Чотирикроковий } P_{(4)}(4h) = P_{(1)}(4h) + h^2 \sum_{i=2}^{10} 4^i \mathbf{K}_{2i} + h^3 \sum_{j=3}^{15} 4^j \mathbf{K}_{3j} + h^4 \sum_{k=4}^{20} 4^k \mathbf{K}_{4k}.$$

Коефіцієнти $\mathbf{K}_{2i}, \mathbf{K}_{3j}, \mathbf{K}_{4k}$ також взяті з роботи [1].

РОЗРОБКА МАКЕТУ БЕЗПЛАТФОРМНОЇ ІНЕРЦІАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ОРІЄНТАЦІЇ

Задля перевірки роботоспроможності методів визначення орієнтації та відпрацювання програмного забезпечення, було створено макет системи, що складається з мікроелектромеханічного інерціального вимірювального модуля MPU6050 та мікроконтролера Arduino. Схема підключення показана на рис.2. Калібрування акселерометрів та гіроскопів проводилося на оптичній ділильній головці та поворотному стенді за методиками, представленими у роботі [4]. Подальші дослідження також проводилися на поворотному стенді – інерціальний вимірювальний модуль обертався з постійною кутовою швидкістю

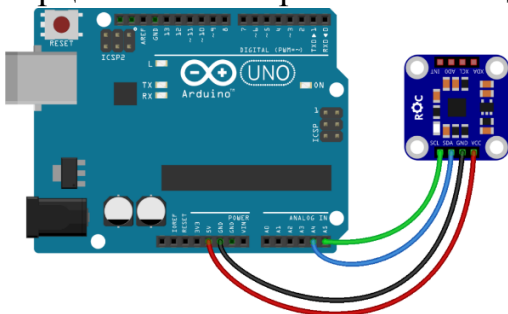


Рис.2 Схема підключення макету

навколо визначеної осі, після чого оцінювався кут повороту стенду та розрахований кут повороту макету.

При розробці програмного забезпечення системи були створені ряд процедур-функцій: **calibr**, що здійснює поточне калібрування вихідних сигналів чутливих елементів; **mnk2ug** для перетворення матриці напрямних косинусів у кути ψ, ϑ, φ ;

euler2mnk для перетворення параметрів вектору Ейлера на МНК. Окремих процедур для правих частин кінематичних рівнянь не створювалось для підвищення швидкодії. Методи інтегрування реалізовувалися у вигляді циклів. Крок інтегрування визначався часовою функцією на початку циклу отримання даних з чутливих елементів та у кінці циклу.

Стенові випробування показали повну адекватність розробленого макету та програмного забезпечення. Нажаль, датчики низької точності не дають змоги побачити різницю між цими методами, проте результати дуже схожі. Наведемо на рис.3 графік зміни кута повороту стенду при його обертанні зі швидкістю $\omega_z = 89,967^\circ / c$. За час 1 c стенд повертається на $89,967^\circ$.

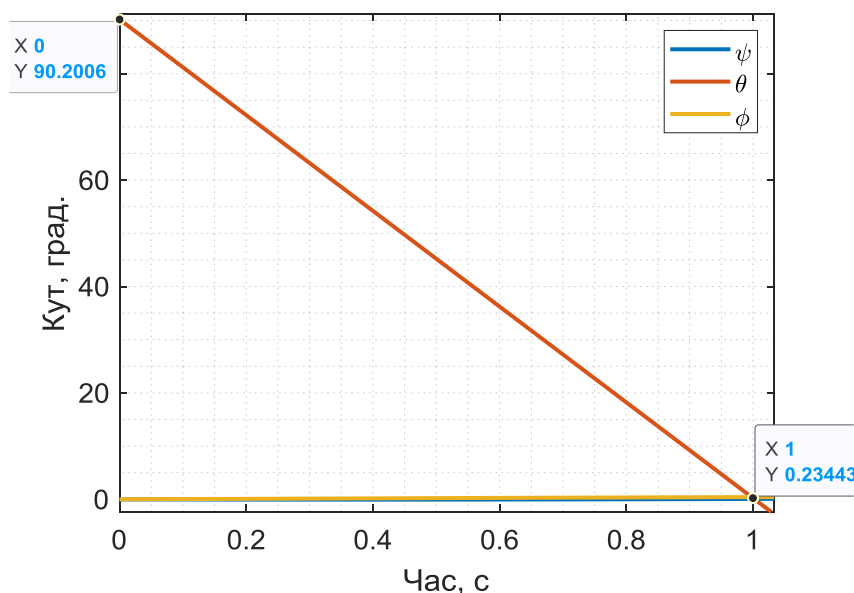


Рис. 3 Поворот ственду навколо осі Z

З рис.3 видно, що система показала відхилення на по куту тангажу $\vartheta = 89,966^\circ$. При цьому похибка склала $0,001^\circ$.

ВИСНОВКИ

Надзвичайна актуальність засобів інерціальної навігації у найширших застосуваннях вимагає використання алгоритмічного забезпечення необхідної точності. Разом із тим, високоточні чутливі елементи не завжди доступні. Запропонований підхід розробки з використанням датчиків низької точності дозволяє досить швидко отримувати адекватне працююче програмне забезпечення, що цілком може використовуватись у подальшому для побудови прецизійних систем.

Отримана система включає в себе усі необхідні компоненти і показала адекватну роботу. Для подальшого використання з високоточними датчиками досить лише задати відповідні калібрувальні коефіцієнти наявного інерціального вимірювального модуля.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Ю. Ф. Лазарєв, О. М. Сапегін, Алгоритми безплатформових інерціальних систем орієнтації. Прикладні методи синтезу і аналізу точності: Навчальний посібник. К: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018.
- [2] P. G. Savage, "Blazing Gyros – The Evolution of Strapdown Inertial Navigation Technology For Aircraft," J. Guid. Control. Dyn., vol. 36, no. 3, pp. 637–655, 2013.
- [3] J. E. Bortz, "A new mathematical formulation for strapdown inertial navigation," IEEE Transations Aersp. Electron. Syst., vol. 7, no. 1, pp. 61–66, 1971.
- [4] В. В. Мелешко, О. И. Нестеренко, Бесплатформенные инерциальные навигационные системы: Навчальний посібник. Кировоград: ПОЛИМЕД Сервис, 2011.

Наук. керівник – к.т.н. Сапегін О.М.

УДК 004.716

Є. В. Литвинова, студентка групи ПГ-91
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ОГЛЯД МІКРОКОНТРОЛЕРІВ ІЗ ІНТЕГРОВАНИМИ МОДУЛЯМИ БЕЗДРОТОВОГО ЗВ'ЯЗКУ

Анотація. В роботі розглянуто найбільш розповсюджені мікроконтролери та відладочні плати із інтегрованими бездротовими модулями фірми Espressif. Було розглянуто та наведено основні характеристики плат WeMos D1 ESP8266, ESP32-S та ESP32-CAM, що є найбільш поширеними і широко вживаними при реалізації проєктів із використанням бездротових технологій як промислових рішень, так і в задачах домашньої автоматизації.

Ключові слова: мікроконтролер, бездротовий інтерфейс, інтернет речей, ESP32, Espressif.

ВСТУП

Сучасні мікроконтролери (МК) набули широкого вжитку за рахунок універсальності використання, невисокої вартості та відносної простоти програмування. Саме тому за короткий час вони стали невід'ємною складовою інтерфейсів як промислових пристроїв, так і побутової техніки. Одне із розширень функціональних можливостей МК є наявність інтегрованих модулів, що реалізують бездротовий зв'язок із використанням стандартизованих інтерфейсів та протоколів обміну інформацією. Таким чином, метою даної роботи буде огляд сучасних мікроконтролерів і відладочних плат із інтегрованими модулями Wi-Fi та Bluetooth.

ОГЛЯД МІКРОЕОНТРОЛЕРІВ ІЗ БЕЗДРОТОВИМИ МОДУЛЯМИ

Одними із найбільш розповсюджених МК із інтегрованими бездротовими модулями і одні із перших на ринку, по праву можна вважати фірму Espressif, зараз існує доволі багато модифікацій МК лінійок ESP8266 та ESP32. Отже розглянемо та проаналізуємо найбільш розповсюджені МК та відладочні плати, що



Рисунок 1 WeMos D1 R2 плата
розробки ESP8266

використовують у якості обчислювального ядра МК від Espressif. Для огляду обрані плати WeMos D1 ESP8266, ESP32-S та ESP32-CAM, загальний вигляд яких показано на рис. 1- рис.3 відповідно. Також наведемо їх основні технічні характеристики, що представлені у таблиці 1. Однією з особливостей модулів виробництва Espressif є сумісність з середовищем Arduino, що значно знизило поріг входження та суттєво підвищило популярність таких рішень. Тому плата розробки WeMos D1 виконана у форм-факторі плати Arduino UNO, що дозволяє поєднувати її із класичними модулями і шилдами Arduino. Модель має 11 цифрових

ліній, які підтримують ШІМ та I2C інтерфейси, а також один 10-бітний аналогово-цифровий перетворювач. Наявні два варіанти живлення: micro-USB з напругою 5 В та роз'єм живлення з напругою 9-24 В[1]. Для реалізації бездротових проєктів плата підтримує Wi-Fi інтерфейс із частотою 2.4ГГц (802.11 b/g/n). Плата підтримує бездротове

оновлення, тож існує два способи завантаження коду, безпосередньо бездротове та через USB, що дозволяє розширити сферу застосування. 32-бітне ядро МК Tensilica L106 працює на частоті 80 - 160 МГц, що значно перевищує показники платформи Arduino.



Рисунок 2 Wi-Fi модуль ESP32-S

Однією суттєвою відмінністю ESP32-S від попередника є наявність Bluetooth та Bluetooth Low Energy (BLE) інтерфейсів. Таким чином, значно розширюються можливості використання за рахунок комбінації Wi-Fi та Bluetooth інтерфейсів. Обидва інтерфейси розширюють функціонал контролера та роблять його зручнішим для застосування у сфері інтернету речей. Наприклад, завдяки BLE

можливо визначати місце знаходження підключеного пристрою, стан його акумулятора, отримати звіт про похибки або що, а Wi-Fi дозволить передати ці данні у мережу для хмарного збереження.

Окрім цього, необхідно відмітити більш потужний двоядерний процесор Xtensa LX6 Dual Core із тактовою частотою 240 МГц.

Підтримує декілька режимів сну, струм у режимі глибокого сну складає лише 6,5 мкА. Також ця модель має 18 входів які можуть використовуватися як аналогові, завдяки двом



Рисунок 3 ESP32-CAM

вбудованим 12-бітним АЦП SAR[3].

Таблиця 1. Порівняння деяких основних характеристик

Назва	WeMos D1 R2 плата розробки ESP8266	Wi-Fi модуль ESP32-S	Відладочна плата ESP32-CAM
Частота мікроконтролера	80 - 160 МГц	240 МГц	80 - 240 МГц
Об'єм ОЗП	256КБ	520 КБ	520 КБ
Об'єм Flash	4МБ	4 МБ	4-8 МБ
Процесор	Tensilica L106 32 bit	Xtensa LX6 Dual Core	Tensilica Xtensa LX6 32 bit
Wi-Fi	802.11 b/g/n	802.11 b/g/n	802.11 b/g/n/e/i
Bluetooth	Немає	classic и BLE (v4.2)	Bluetooth 4.2 BR/EDR и BLE
Робоча напруга	2.58...3.6 В	2.3...3.6 В(5 В)	5 В
Максимальний струм споживання	500 мА	260 мА	350 мА

Відладочна плата ESP32-CAM за характеристиками дуже схожа на ESP32-S, оскільки базується на майже однакових мікроконтролерах, але в її комплектації є камера, що може допомогти в реалізації системи відеоспостереження. Наявність SD-карти дозволяє зберігати статичні зображення у форматі JPEG. Частковим

недоліком зазначеної плати є відсутністю роз'єма USB, тому для організації дротового програмування необхідно застосовувати перехідник-програмактор типу USB-TTL. Цей недолік частково вирішується можливістю бездротового перепрограмування, хоча такий підхід трохи ускладнює алгоритм дій при початковому засвоєнні навичок роботи із платою.

Не дивлячись на значне розповсюдження відладочних плат та МК фірми Espressif, інші світові виробники також мають лінійки мікроконтролерів, або з апаратною підтримкою бездротових інтерфейсів, або із інтегрованими модулями бездротового зв'язку, наприклад сімейство STM32WB фірми St Microelectronics, що підтримує Bluetooth Low Energy 5.0, Zigbee 3.0 [4], або МК CC3200 фірми Texas Instruments, що пропонується одразу із платою розробника SimpleLink Wi-Fi CC3200 LaunchPad [5] та інші.

ВИСНОКИ

В роботі розглянуто найбільш розповсюджені мікроконтролери та відладочні плати із інтегрованими бездротовими модулями фірми Espressif. Було розглянуто та наведено основні характеристики плат WeMos D1 ESP8266, ESP32-S та ESP32-CAM, що є найбільш поширеними і широко вживаними при реалізації проєктів із використанням бездротових технологій як промислових рішень, так і в задачах домашньої автоматизації. Особливу увагу слід звернути на плати лінійки ESP32, перевагою яких є наявність одразу двох інтерфейсів, як Wi-Fi та Bluetooth, що значно розширює сферу застосування і робить бездротову систему більш гнучкою та універсальною.

Також зазначимо, що не дивлячись на розповсюдженість МК від Espressif світові виробники також мають такі МК та плати з інтегрованими бездротовими модулями, наприклад, STM32WB фірми St Microelectronics та CC3200 фірми Texas Instruments.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] WeMos D1 R2 Board [Електронний ресурс]— Режим доступу: http://www.rainer-rebhan.de/proj_wemosd1.html
- [2] Wi-Fi модуль ESP32-S [Електронний ресурс]— Режим доступу: <https://www.mini-tech.com.ua/esp32-s-modul>
- [3] ESP32-CAM Development Board [Електронний ресурс]— Режим доступу: https://media.digikey.com/pdf/Data%20Sheets/DFRobot%20PDFs/DFR0602_Web.pdf
- [4] STMicrо запускает более дешевые микроконтроллеры [Електронний ресурс]— Режим доступу: STM32WB30 и STM32WB35 Bluetooth LE и Zigbee <https://cnx-software.ru/2020/10/29/stmicro-zapuskaet-bolee-deshevye-mikrokontrollery-stm32wb30-i-stm32wb35-bluetooth-le-i-zigbee/>
- [5] Офіційний сайт Texas Instruments [Електронний ресурс]— Режим доступу: <https://www.ti.com/tool/CC3200-LAUNCHXL>

Наук. керівник — к.т.н., доц. Павловський О.М.

УДК 656.052.1

Д.С. Музика, студент гр. ПГ-11мн, к.т.н., доц. Павловський О.М.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРСПЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ STARLINK В НАЗЕМНИХ СИСТЕМАХ НАВІГАЦІЇ

Анотація. В даній роботі, виконується коротка оцінка перспективності використання Starlink в якості системи глобального позиціонування. Виконується огляд існуючої навігаційної системи GPS та принципу її роботи з метою дослідження методу визначення положення об'єктів та його подальшого застосування при роботі зі спутниками SpaceX. Описується апаратний метод обробки сигналів супутників системи Starlink з подальшою оцінкою точності результату визначення положення приймача. У висновку виконується аналіз перспективності ідеї застосування Starlink в наземних системах навігації.

Ключові слова: супутник, система глобального позиціонування, навігація, діапазон, Starlink, GPS, SpaceX, код, приймач, SDR, точність, сегмент, станція.

ВСТУП

У сучасний період піку розвитку технологій, навігація відіграє одну із ключових ролей в сфері технологічного розвитку суспільства. Запущені на земну орбіту штучні супутники, створюють взаємопов'язані системи радіоелектронних засобів, здатні відслідковувати рух та швидкість об'єктів на поверхні та в атмосфері Землі. Точність положення об'єктів в значній мірі залежить від кількості супутників, що знаходяться в зоні досяжності сигналів пристроя-приймача. В різний час доби, їх видима кількість для певної точки простору є різною, що в значній мірі впливає на похибку вимірювань.

Глобальна супутникова система Starlink, розроблювана компанією SpaceX, в рамках проекту по забезпеченню високошвидкісним доступом до Інтернету у важкодоступних місцях планети передбачає запуск 12 тисяч штучних супутників на навколосезну орбіту. Існує теоретична можливість застосування Starlink в сфері навігації, однак потребується ряд досліджень для визначення перспективності використання та ряду можливих недоліків, на ряду з системою глобального позиціонування GPS. В даній роботі проводиться оцінка перспективності ідеї застосування Starlink для навігації на ряду з існуючими системами глобального позиціонування.

СИСТЕМА ГЛОБАЛЬНОГО ПОЗИЦІОНУВАННЯ GPS

На сьогоднішній день, експериментальні та теоретичні дослідження демонструють чудові результати застосування супутників низької орбіти Землі різного призначення за рахунок збереження високої потужності супутникового сигналу. В результаті, провідні компанії світу як Amazon, OneWeb та SpaceX успішно розпочали та продовжують по сьогоднішній день розгортання мегаконстеляції в космічному просторі планети з метою створення ширококутового, глобального Інтернету. Потенційно, потужність сигналу генерованого супутниками низької навколосезної орбіти є на 30 дБ більш потужним ніж сигнал отриманий з супутників глобальних навігаційних систем GNSS середньої орбіти Землі. До даних систем відносяться GLONASS, BeiDou, Galileo, GPS.

Одна з найвідоміших на сьогоднішній день систем глобального позиціонування є GPS [1]. Розроблена Міністерством оборони США, дана

система дозволяє визначати місцезнаходження приймача шляхом вимірювання відліків часу прийому синхронізованого сигналу від навігаційних супутників антеною приймального пристрою. GPS складається з декількох головних сегментів, а саме користувачького, керуючого, та космічного [2].

Космічний сегмент являє собою угруповання з 32 супутників, що обертаються на середній орбіті в 20200 кілометрів від поверхні Землі. Особливості проектування даної системи передбачають, що в будь-якій точці земної поверхні користувач приймального пристрою має доступ щонайменше до 4 супутників, видимих вище 15° горизонту Землі.

Наземний сегмент управління та контролю, включає блоки визначення положення видимих супутників та відправки інформації з метою коригування даних стосовно орбіти обертання. Головна станція управління, 4 наземні антени, а також 5 підконтрольних станцій, рівномірно розподілені вздовж екватора Землі орієнтовне географічне розташування котрих відображено на рисунку 1.



Рисунок 1. Географічне розташування станцій наземного сегменту керування GPS

Таким чином створюються умови для покращення точності визначення орієнтовного місця розташування приймача, виникає можливість застосування наземних системи радіомаяків, а також інформаційних радіосистем для внесення різного виду корекцій.

Користувачький сегмент включає всі пристрої в конструкцію котрих на етапі виробництва було встановлено апаратний GPS приймач. В даний сегмент можуть входити транспортні засоби, геодезичні вимірювачі, складна будівельна техніка, техніка спеціалізованого призначення, портативні електричні пристрої та ряд інших виробів.

Принцип роботи системи полягає у постійній передачі супутниками GPS двох несучих хвиль. Дані хвилі знаходяться в L-діапазоні частот радіопередачі і виникають з генерованої надточними атомними годинниками супутників частоти [3]. Несуча хвиля L1 передається в діапазоні 1575.42 МГц, а L2 в діапазоні 1227.60 МГц. В подальшому, L1 модулюється двома кодами, а саме С/А кодом з частотою 1.023 МГц, та Р-кодом з частотою 10.23 МГц.

Кожний супутник містить власний, унікальний код, згідно якого відбувається ідентифікація супутника пристроєм приймачем сигналу. Дані коди можуть бути використані в якості основи для вимірювання псевдодальностей, необхідні для одного з багатьох методів визначення координат.

Визначення координат з допомогою GPS ґрунтується на вимірюванні відстані від супутників системи до приймача [4]. Наявна інформація щодо величини відстані до трьох супутників дозволяє встановити точку пересічення трьох уявних сфер зображених на рисунку 2. Дана точка і є орієнтовним місцем розташування приймача.

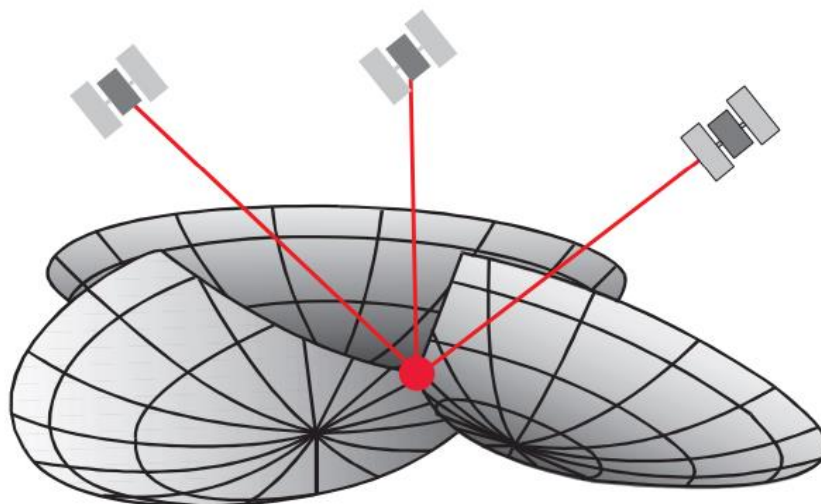


Рисунок 2. Точка пересічення уявних сфер

Як повідомлялося раніше, сигнал супутника модульований двома C/A та P-кодами. Приймач GPS сигналу, в аналогії зі супутником, містить точні часи для генерації відповідного C/A коду. По закінченню формування коду, приймач виконує пошук відповідних співпадінь з отриманого C/A коду супутника і знаходить час, затрачений радіосигналом на прохід відстані до приймача. Приклад порівняння цифрових кодів відображений на рисунку 3.

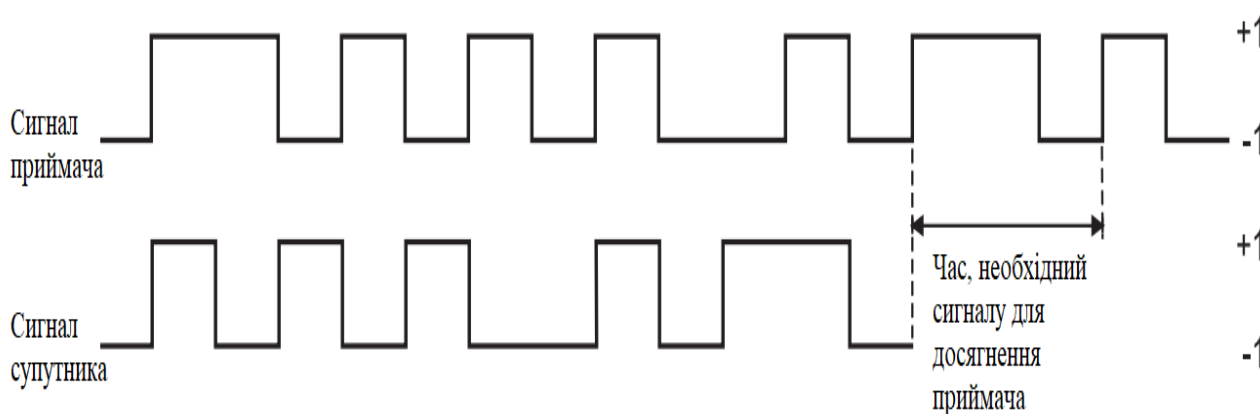


Рисунок 3. Цифрові C/A-коди приймача та супутника

ПЕРСПЕКТИВНІСТЬ STARLINK ЯК СИСТЕМИ НАВІГАЦІЇ

Слід зазначити, що на даний момент система супутників Starlink все ще знаходиться на етапі розгортання і як наслідок, кількість інформації щодо принципу її роботи є доволі обмеженою. Однак, виконати теоретичну оцінку перспективності застосування Starlink в якості системи навігації є цілком можливо.

Згідно ранніх звітів інженерів-дослідників, сигнали навколосемних широкополосних супутників SpaceX в складі Starlink цілком можливо використовувати для визначення місцезнаходження в повітряному та наземному просторах Землі. Детальні характеристики сигналів низькохідного зв'язку Starlink наразі не є доступними для громадського суспільства. В загальному доступі знаходиться інформація лише про несучі частоти та смуги пропускання сигналів. 29 березня 2018 року FCC дозволила SpaceX надавати послуги широкосмугового супутникового Інтернету в діапазонах Ka і Ku. Діапазон Ka знаходиться в межах частот 27-40 ГГц, а діапазон Ku в 12-18 ГГц. Starlink також використовує діапазон V в межах 40-75 ГГц. Для вибірки даних діапазонів радіочастот, застосовується програмно визначений радіоприймач (SDR) [5]. Даний SDR приймач виконує встановлення та зміну радіочастотних параметрів, серед яких є діапазон частот, тип модуляції та вихідна потужність. Однак діапазони Ku та Ka виходять за межі несучої частоти більшості комерційних SDR. В зв'язку з цим виникає необхідність застосування спеціалізованих апаратних установок в основі роботи яких є перетворення сигналів Starlink до діапазону L із центральними частотами в 1176.45 МГц (L5), 1227.60 МГц (L2), 1381.05 МГц (L3), і 1575.42 МГц (L1). Приклад подібної установки зображений на рисунку 4.

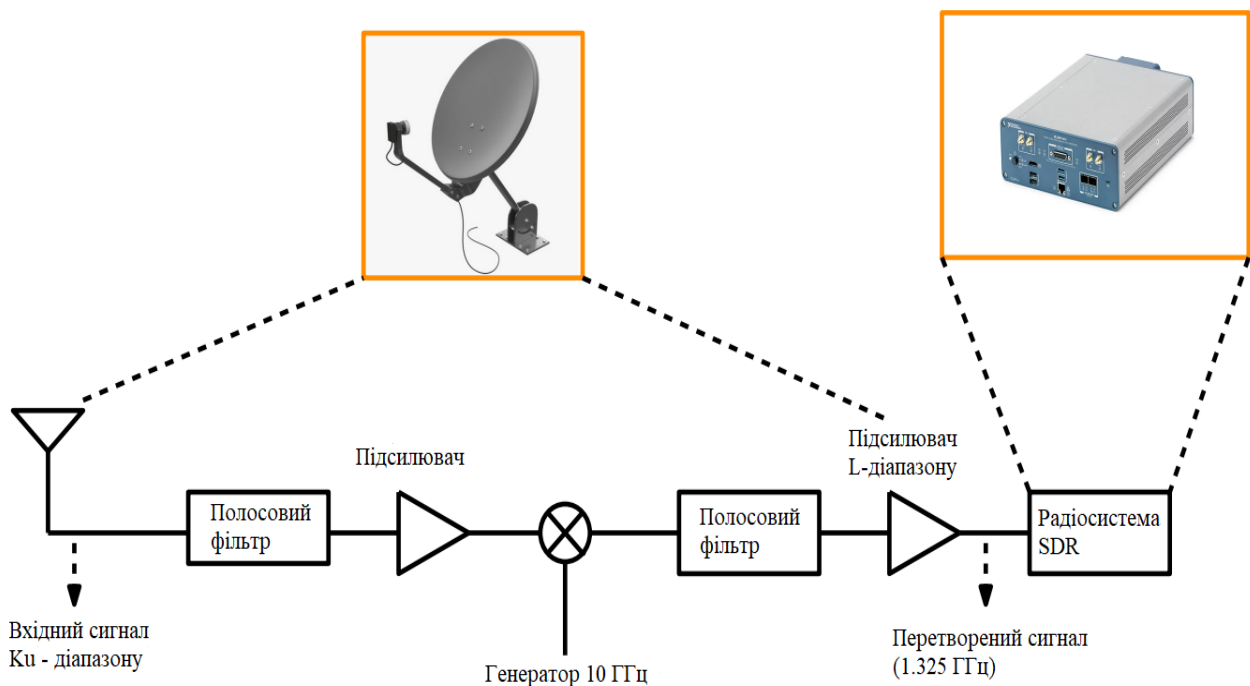


Рисунок 4. Двохступеневий понижуючий перетворювач

При умові використання описаного в даній роботі методу визначення

положення приймача сигналів GPS, похибка результуючих вихідних даних складає менше 10 метрів. Тобто, різниця в точності визначення орієнтовного місцезнаходження приймача між системами GPS та Starlink є незначною. Окрім цього, на низьких орбітах Землі існує значний супротив повітря, коливання гравітації Землі в межах гір та різноманітних скалистих порід, що додатково вносить складність у кінцевий результат розрахунку місця положення приймача [6].

ВИСНОВОК

Першочергове призначення системи Starlink не передбачає використання супутникового обладнання для завдань навігації. Крім того, побудова пристроя-приймача сигналу супутників SpaceX вимагає використання складного і доволі дорогого обладнання обмеженого доступу. Загальна маса та розміри кінцевого прототипу приймача значно обмежує сфери практичного застосування, та перспективність ідеї в цілому. Наразі, пристрої-приймачі сигналів GPS завдяки своїм невеликим розмірам можуть встановлюватися в будь-які цифрові пристрої або техніку. Також, з інформації отриманої в процесі дослідження принципів роботи GPS виявилось, що Міністерство оборони США надає спеціалізований вибірковий доступ до можливостей визначення місцезнаходження окремих об'єктів з точністю до 5 метрів. Наразі даний доступ надається виключно армії США, та окремим підрозділам спецпризначення. Окрім цього, приймачі розроблені для військових потреб здатні зчитувати зашифровані P-кодом сигнали супутників.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] El-Rabbany, Ahmed. Introduction to GPS : the Global Positioning System. - Boston, MA : Artech House – 2002, p. 176
- [2] Frank Van Diggelen. A-GPS: Assisted GPS, GNSS, and SBAS. - Boston, MA : Artech House – 2009, p. 380
- [3] L-Band / Cubesat Handbook.
Режим доступу:www.URL: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/l-band> – 2021 p.
- [4] L. Casey Larijani. GPS for Everyone: How the Global Positioning System Can Work for You. - American Interface Corporation – 1998, p. 384
- [5] Alexander M. Wyglinski, Robin Getz, Travis Collins, Di Pu. Software-Defined Radio for Engineers - Boston, MA : Artech House – 2018, p. 341
- [6] Could SpaceX's Starlink program serve as a more accurate GPS since it is much closer to Earth?
Режим доступу:www.URL: <https://www.quora.com/Could-SpaceXs-Starlink-program-serve-as-a-more-accurate-GPS-since-it-is-much-closer-to-Earth> - 16.09.2013 p.

УДК 519.246.8:621.372

К. А. Мішура, аспірантка гр. ПГ-11ф

КПІ ім. Ігоря Сікорського

ОГЛЯД СТАНУ ДОСЛІДЖЕНЬ ЩОДО РОЗРОБКИ СИСТЕМ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ПІДТРИМКИ РУХУ

Анотація. У роботі проводиться аналіз сучасного стану досліджень щодо розробки систем інтелектуальної підтримки руху, їх застосування для безпілотних рухомих об'єктів, зокрема для безпілотних підводних та наземних апаратів (крокуючих та колісно/гусеничних). Методом проведення дослідження є аналіз сучасної літератури та основних тенденцій. Результатами проведеного дослідження є виявлення значущих відкриттів, що вплинули на розробку систем інтелектуальної підтримки руху. Для безпілотних рухомих об'єктів інтелектуальні системи широкого кола призначення можуть бути організовані як системи інтелектуальної підтримки руху, структурно-функціональний синтез яких проводиться в залежності від типу, призначення, умов та режимів експлуатації об'єкта, а також від поставлених перед об'єктом цільових завдань та специфіки їх виконання. Аналіз вітчизняних та закордонних публікацій показує, що більшість досліджень стосується безпілотних літальних апаратів. Тому розробка систем інтелектуальної підтримки руху безпілотних підводних та наземних об'єктів є актуальною проблемою автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій. У висновках роботи визначаються перспективи розвитку систем керування безпілотними рухомими об'єктами, а також їх розвиток. Наголошується на важливості розвитку таких систем.

Ключові слова: система інтелектуальної підтримки руху, рухомі безпілотні об'єкти, безпілотні підводні апарати, безпілотні наземні апарати.

ВСТУП

Інтелектуальні безпілотні автономні системи – одні з найважливіших додатків штучного інтелекту. Розробка таких систем може значно сприяти інноваціям у технологіях штучного інтелекту. Безпілотні автономні системи використовуються в різних сферах, наприклад: безпілотні автомобілі, безпілотні літальні апарати, сервісні роботи, космічні роботи, морські роботи та безпілотні майстерні / інтелектуальні установки.

В останні роки продовжують з'являтися популярні сервісні роботи на внутрішньому та зовнішньому ринках. У сфері соціальних комунікаційних послуг дослідження були зосереджені на додатках для допомоги людям похилого віку та інвалідам, ведення домашнього господарства, медичного обслуговування, освіти, розваг, національної оборони, авіації та транспорту.

Розробка систем керування інтелектуальними малогабаритними багатоцільовими безпілотними об'єктами є важливим завданням в умовах дії неконтрольованих збурень та завад руху, можливої різкої зміни чи втрати заданої траєкторії, зміни завдання тощо. Забезпечення керування об'єктами в таких умовах вимагає прийняття гнучких рішень з оцінювання, прогнозування, оптимізації чи відновлення заданих траєкторій, що нерозривно пов'язано з використанням елементів інтелектуальних технологій для розв'язання завдань керування. Тому важливою складовою таких безпілотних об'єктів і їх систем керування має бути система інтелектуальної підтримки руху.

АНАЛІЗ ПОПЕРЕДНІХ ПУБЛІКАЦІЙ

Розглянемо результати, отримані за напрямом роботи іншими авторами.

В роботі [1] запропоновано використовувати систему підтримки прийняття рішень при плануванні та дистанційному керуванні рухом мобільних роботів (МР) з метою підвищення ефективності планування траєкторій руху мобільних об'єктів на складній місцевості. Для уникнення зіткнень з різними видами

перешкод, які можуть з'являтися і зникати або змінювати своє місце розташування на шляху мобільного робота, застосовується локальний метод навігації. Обробка вхідних змінних систем підтримки та прийняття рішень (СППР) здійснюється на основі розпізнавання образів, що включає в себе ряд кроків, серед яких є фільтрація отриманого сигналу та первинне опрацювання вхідних образів, яке здійснюється на основі використання Вейвлет-аналізу. За результатами досліджень, запропонована СППР при плануванні маршрутів руху МР в залежності від наявності перешкод на шляху їх руху, визначених за допомогою системи технічного зору (СТЗ), передбачає більш високу достовірність і оперативність отримання інформації та точність керування МР, а також зменшення загальної довжини руху МР та витрат пального.

В роботі [2] для покращення характеристик руху автономного підводного апарату (АПА) було запропоновано використати адаптивний динамічний протипідводний регулятор орієнтації ковзного режиму з урахуванням спрощеної динаміки другого порядку. У морських експериментах запропонований контролер реалізував стійке положення та успішно відстежував рухливу ціль, коли АПА лежить на поверхні. Працездатність контролера перевірено у підводних експериментах.

У роботі [3] представлено розроблену інтелектуальну навігаційну систему для безпілотних підводних апаратів з метою вимірювання фізико-хімічних показників якості води на великих відстанях. Були розглянуті два важливі аспекти: енергетика та навігація. Навігація здійснювалася шляхом інтеграції кінематики адаптивного нейроконтролера, що дозволяло відстежувати траєкторію та уникати перешкод. В роботі реалізовано нейробіологічну нейронну архітектуру для навігаційної системи безпілотного підводного апарату з живленням на сонячній енергії. Ця нейронна архітектура дозволяє відстежувати траєкторію та уникати перешкод онлайн в неструктурованих і невідомих середовищах.

Роботу [4] присвячено розробці інтелектуальної системи управління, яка поєднує в собі математичну теорію управління та штучний інтелект. В статті детально описано роботу інтелектуальної системи, галузі її використання, переваги та недоліки. Інтелектуальну систему управління розроблено як комбінацію апаратного та програмного забезпечення, об'єднаних загальним інформаційним процесом або режимом машинного навчання. Подібні системи розробляються за модульним принципом, що дозволяє нарощувати відповідні блоки в системі та розширювати функціональні можливості в залежності від поставлених перед системою та об'єктом управління завдань.

Наведені вище дослідження мають вагомe значення для подальшого розвитку та вдосконалення інтелектуальних систем керування. Але у більшості робіт описуються узагальнені підходи щодо розробки елементів «інтелектуалізації», а використання систем інтелектуальної підтримки руху для безпілотних об'єктів, що експлуатуються в різних фізичних середовищах, потребує врахування характеристик середовища експлуатації.

ВИСНОВКИ

Застосування морських роботів у різних місцях, пов'язаних із дослідженням та експлуатацією океану, швидко зростає. Однак суворі океанічні умови створюють великі проблеми, і морські роботизовані платформи мають бути достатньо надійними, щоб безпечно та ефективно виконувати свої завдання. Це стосується й інших видів безпілотних об'єктів.

Для безпілотних підводних об'єктів основними задачами є: плавання в відкритому морі, в прибережних районах та вузкостях, маневрування в портах та гаванях, плавання по внутрішнім водам, маневрування при видобутку риби. Для безпілотних наземних апаратів: рух по встановлених маршрутах, по вільних маршрутах, у межах міст, сільгоспмашин та виконання агротехнологічних операцій, підземний та трубопровідний рух. Система інтелектуальної підтримки руху безпілотних об'єктів та їх систем керування є важливою складовою, тому розробка таких систем керування для безпілотних підводних та наземних апаратів, є актуальним завданням.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Система підтримки прийняття рішень при плануванні та дистанційному керуванні рухом мобільних об'єктів / Ю.О. Гунченко, І.В. Ковалець, С.А. Шворов та ін.]. // Інформатика та математичні методи в моделюванні. – 2017. – №7. – С. 127–134.
- [2] Autonomous underwater vehicle precise motion control for target following with model uncertainty / Huang Hai, Zhang Guocheng, Qing Hongde, Zhou Zexing. // International Journal of Advanced Robotic System. – 2017.
- [3] Francisco García-Córdova. Intelligent Navigation for a Solar Powered Unmanned Underwater Vehicle / Francisco García-Córdova, Antonio Guerrero-González. // International Journal of Advanced Robotic Systems. – 2013. – №10.
- [4] Kavitha. The importance of Intelligent Control Systems / Kavitha. // International Journal on Human Computing Studies. – 2019. – №1. – С. 11–13.

Наук. керівник – к.т.н., доцент Павловський О. М.

УДК 531.383

Д.О. Позняк, студент гр. ПГ-11мн, проф., д.т.н. Аврутов В.В.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ПРО МЕТОДИЧНУ ПОХИБКУ АВТОНОМНОГО ВИЗНАЧЕННЯ ШИРОТИ

Анотація. Розглядається методична похибка автономного визначення широти місця. Такий автономний метод визначення широти місця здійснюється за допомоги інерціально-вимірювального модуля, який складається з трьох ортогонально розташованих гіроскопів та акселерометрів. Методична похибка викликана різницею між геоцентричною та геодезичною широтами. Розраховано поправки-похибки для референц-еліпсоїдів Красовського та WGS-84. Встановлено, що необхідно враховувати таку методичну похибку. Розглянуто приклад експериментального визначення широти. Для цього використовувався інерціально-вимірювальний модуль з ортогонально розташованих трьох кільцевих лазерних гіроскопів і трьох навігаційних акселерометрів.

Ключові слова: географічна широта, геоцентрична широта, гіроскопи, акселерометри, інерціально-вимірювальний модуль.

ВСТУП

Для нормальної роботи інерціальних навігаційних систем необхідно мати початкові значення координат місцезнаходження. Зазвичай ці значення є відомими, якщо рух транспортних засобів здійснюється з місць з відомими координатами (аеропорти, космодроми або морські порти). Якщо ж об'єкт стартує з нових місць з невідомими координатами, то початкові значення координат місця можна визначити, використовуючи астрономічні пристрої, або, застосовуючи приймачі супутникової навігаційної системи або засоби радіозв'язку.

Однак астрономічні методи залежать від погодних умов, а нормальна робота супутникових засобів і засобів радіозв'язку може бути порушена системами радіоелектронної боротьби.

Першим автономним засобом визначення широти був гіроширот - гіроскоп Фуко II роду (1852). Однак необхідні попередні умови для побудови гіроширота ускладнюють його практичну реалізацію [1].

Другим автономним засобом визначення широти є безкарданний гірошироткомпас [2], у якого визначення широти базується на формулі:

$$\cos \varphi = \frac{1}{\Omega} \sqrt{\omega_x^2 + \omega_y^2}, \quad (1)$$

де ω_x, ω_y - горизонтальні проекції північної складової кутової швидкості Землі $\Omega \cos \varphi$, вимірювані двома гіроскопами, що працюють в режимі датчиків кутової швидкості:

$$\omega_x = \Omega \cos \varphi \cdot \cos \psi,$$

$$\omega_y = \Omega \cos \varphi \cdot \sin \psi,$$

або вимірювані одним динамічно налаштованим гіроскопом, з вертикально розташованої віссю обертання ротора, Ω - кутова швидкість обертання Землі, φ - широта, ψ - поточний кут курсу.

Однак, в цьому випадку необхідно або попередньо горизонтувати площадку, на якій розташовані гіроскопи, або аналітично враховувати нахил площадки щодо площини горизонту.

Розглянемо автономний метод визначення широти за допомоги використання інерціально-вимірювального модуля [3].

АВТОНОМНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ШИРОТИ НЕРУХОМИХ ОБ'ЄКТІВ

Найбільш універсальним автономним методом визначення широти є використання інерціально-вимірювального модуля (ІВМ) і навігаційного комп'ютера [3]. ІВМ повинен містити як мінімум три акселерометра, три гіроскопа - датчика кутової швидкості, а також сервісні електронні схеми. Введемо в розгляд наступні системи координат: $O\xi\eta\zeta$ - географічна система координат (рис.1), причому вісь $O\eta$ спрямована на північ, вісь $O\xi$ - на схід, а $O\zeta$ - місцева вертикаль, $Oxyz$ - система координат, пов'язана з ІВМ.

Позначимо через φ - геодезичну широту місця, φ_0 - геоцентричну широту місця, \vec{g} - вектор прискорення сили тяжіння, $\vec{\Omega}$ - вектор кутової швидкості обертання Землі. Згідно скалярному добутку двох векторів:

$$\vec{\Omega} \cdot \vec{g} = \Omega \cdot g \cdot \cos\left(\frac{\pi}{2} + \varphi\right) \quad (2)$$

де $g = \sqrt{g_x^2 + g_y^2 + g_z^2}$ - модуль прискорення сили тяжіння, $\Omega = \sqrt{\Omega_x^2 + \Omega_y^2 + \Omega_z^2}$ - модуль кутової швидкості обертання Землі.

З іншого боку, ліву частину виразу (2) можна представити у вигляді:

$$\vec{\Omega} \cdot \vec{g} = \Omega_x \cdot g_x + \Omega_y \cdot g_y + \Omega_z \cdot g_z, \quad (3)$$

де $\Omega_x, \Omega_y, \Omega_z$ - проекції кутової швидкості обертання Землі на вісі $Oxyz$, g_x, g_y, g_z - проекції прискорення сили тяжіння на ті ж самі вісі.

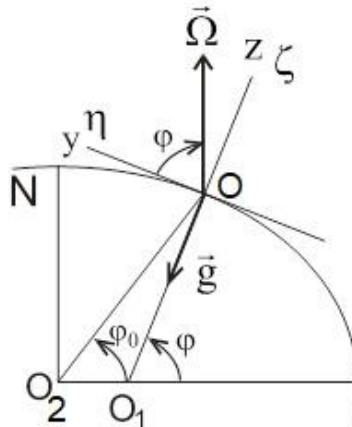


Рис. 1. Геодезична та геоцентрична широти

Порівнюючи праві частини виразів (2) і (3), отримаємо

$$\sin \varphi = -\frac{1}{\Omega \cdot g} (\Omega_x \cdot g_x + \Omega_y \cdot g_y + \Omega_z \cdot g_z). \quad (4)$$

З останнього виразу отримаємо вираз для широти місця:

$$\varphi = -\arcsin \left[\frac{1}{\Omega \cdot g} (\Omega_x \cdot g_x + \Omega_y \cdot g_y + \Omega_z \cdot g_z) \right]. \quad (5)$$

Отже, для обчислення широти місця необхідно знати значення проекцій

кутової швидкості обертання Землі і проекції прискорення сили тяжіння на осі, пов'язані з ІВМ.

МЕТОДИЧНА ПОХИБКА АВТОНОМНОГО ВИЗНАЧЕННЯ ШИРОТИ НЕРУХОМИХ ОБ'ЄКТІВ

Можна припустити, що основними інструментальними похибками визначення широти місця є похибки, які викликані похибками гіроскопів і акселерометрів. Крім того, існує методична похибка, викликана різницею між геоцентричною та геодезичною широтами. Якщо за еталонне значення широти приймати геоцентричне значення широти, отримане від приймача, наприклад, GPS, то таке значення буде відрізнятися від геодезичного значення широти. Визначимо таку методичну похибку, тобто різницю (поправку) між геодезичною φ і геоцентричною φ_0 широтами.

Відомо співвідношення між геоцентричною φ_0 і геодезичною φ широтами [4]:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{a^2}{b^2} \operatorname{tg} \varphi_0, \quad (6)$$

де a , b - велика і мала півосі земного еліпсоїда.

Якщо в якості моделі Землі приймають еліпсоїд Красовського, то $a_1 = 6378245$ м, $b_1 = 6356863$ м [5], якщо ж в якості референц-еліпсоїда приймають модель WGS-84, то $a_2 = 6378137$ м, $b_2 = 6356752.3142$ м [6].

Скористаємося відомим тригонометричним співвідношенням

$$\operatorname{tg}(\varphi - \varphi_0) = \frac{\operatorname{tg} \varphi - \operatorname{tg} \varphi_0}{1 + \operatorname{tg} \varphi \cdot \operatorname{tg} \varphi_0}. \quad (7)$$

Вираз (6) підставимо в праву частину співвідношення (7)

$$\operatorname{tg}(\varphi - \varphi_0) = \frac{\left(\frac{a^2}{b^2} - 1\right) \operatorname{tg} \varphi_0}{1 + \frac{a^2}{b^2} \cdot \operatorname{tg}^2 \varphi_0}. \quad (8)$$

Позначимо різницю (поправку) між геодезичною φ і геоцентричною φ_0 широтами через $\Delta\varphi = \varphi - \varphi_0$, визначимо її за виразом:

$$\Delta\varphi_i = \operatorname{arctg} \frac{\left(\frac{a_i^2}{b_i^2} - 1\right) \operatorname{tg} \varphi_0}{1 + \frac{a_i^2}{b_i^2} \cdot \operatorname{tg}^2 \varphi_0}, \quad i = 1, 2. \quad (9)$$

На рис.2 представлені графічні залежності $\Delta\varphi_i$ від геоцентричної φ_0 широти для двох моделей референц-еліпсоїда Землі: 1-а лінія - модель Красовського, 2-я – модель WGS-84. Графічно криві співпадають. Однак, числові значення залежності (9) відрізняються для двох моделей референц-еліпсоїда Землі.

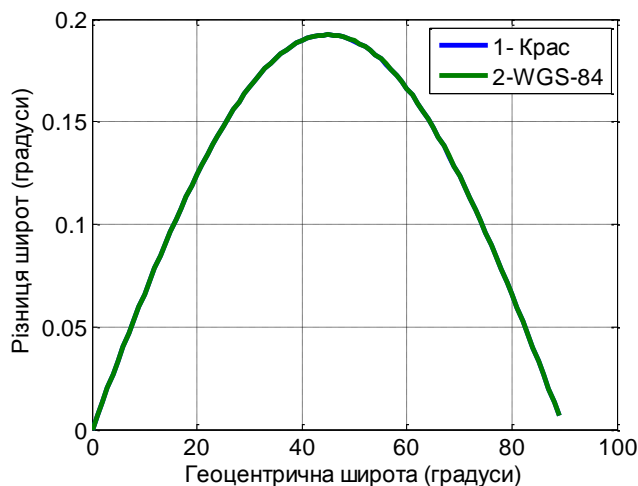


Рис. 2. Залежність $\Delta\varphi$ від геоцентричної широти

У табл. 1 представлено різниці (поправки) $\Delta\varphi_1$ та $\Delta\varphi_2$, а також абсолютні значення $\Delta\varphi = |\Delta\varphi_1 - \Delta\varphi_2|$.

Таблиця 1. Поправки $\Delta\varphi_1$ та $\Delta\varphi_2$, а також абсолютні значення $\Delta\varphi$.

φ_0	$\Delta\varphi_1$, град	$\Delta\varphi_2$, град	$\Delta\varphi = \Delta\varphi_1 - \Delta\varphi_2 $, град
40	0.189583389065247	0.189610474110812	2.70850455643123e-005
41	0.190612456803986	0.190639685711852	2.72289078661059e-005
42	0.191408973768004	0.191436313273804	2.73395057997783e-005
43	0.191972049714208	0.191999466441765	2.74167275567117e-005
44	0.192301079933249	0.19232854043555	2.74605023017349e-005
45	0.192395745589025	0.192423216389171	2.74708001459234e-005
46	0.192256013706828	0.192283461338897	2.74476320684669e-005
47	0.191882136812096	0.191909527861884	2.73910497884111e-005
48	0.191274652222171	0.191301953367758	2.73011455876604e-005
49	0.190434380993884	0.190461559045969	2.71780520848808e-005
50	0.189362426530158	0.18938944847212	2.70219419621909e-005

Похибки лінійної координати становлять $\Delta s_i = \Delta\varphi_i \cdot R$, де R – радіус Землі. Похибка визначення лінійної координати, що залежить від різниці $\Delta\varphi = |\Delta\varphi_1 - \Delta\varphi_2|$, визначається аналогічно $\Delta s = \Delta\varphi \cdot R$.

На широті 45° (на південь від м. Одеса) спостерігається максимум величини $\Delta\varphi$. Для даної широти похибка лінійної координати Δs , викликана відмінністю моделей референц-еліпсоїда Землі, складе 3,05 м, а похибка визначення лінійної координати більша за 21 км.

Таким чином, можна зробити висновок про необхідність врахування поправки $\Delta\varphi_i$ при отриманні геодезичної широти за виразом (5) для порівняння її з геоцентричної широтою.

Для експериментального визначення широти використовувався ІВМ, що складався з ортогонально розташованих трьох кільцевих лазерних гіроскопів RL-28 і трьох акселерометрів АКС-05 виробництва КП СІБ «Арсенал» [3].

Вимірювалися усереднені значення проекцій кутової швидкості обертання Землі (град/год) і проекцій прискорення сили тяжіння (м/с^2) на осі, пов'язані з інерціально-вимірювальним модулем:

$$\begin{aligned}\Omega_x &= 9,426 \text{ град/год}; & g_x &= -0,0437 \text{ м/с}^2; \\ \Omega_y &= 11,663 \text{ град/год}; & g_y &= 9,8117 \text{ м/с}^2; \\ \Omega_z &= -1,055 \text{ град/год}; & g_z &= -0,0070 \text{ м/с}^2.\end{aligned}$$

Попередня перевірка показала, що

$$\begin{aligned}\Omega &= \sqrt{\Omega_x^2 + \Omega_y^2 + \Omega_z^2} = 15,033 \text{ град/год}; \\ g &= \sqrt{g_x^2 + g_y^2 + g_z^2} = 9,8118 \text{ м/с}^2.\end{aligned}$$

Обчислення значення широти склало $\varphi = 50^\circ 36' 14''$. З урахуванням поправки визначення широти $\Delta\varphi = 0^\circ 11' 22''$ (Табл.1) значення широти складає $\varphi = 50^\circ 24' 52''$. Значення широти за приймачем GPS становило $\varphi = 50^\circ 27' 00''$. Похибка визначення широти становить $\Delta\varphi = 2' 08''$.

ВИСНОВКИ

Розглянуто методичну похибку автономного визначення широти місця за допомоги ІВМ, викликану різницею між геоцентричною та геодезичною широтами. Встановлено, що необхідно враховувати поправку $\Delta\varphi_i$, викликану відміною геодезичної широти від геоцентричної широти.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Павловский М.А. Теория гироскопов. – К.: Вища шк., 1986. – 303 с.
- [2] Патент Российской Федерации № 2 572 651 от 09/09/2014.
- [3] Аврутов В.В. Автономное определение начальной широты с помощью инерциально-измерительного модуля // Прикл. механика. – 2018. – 54, №5. – с. 116-122.
- [4] Бабич О.А. Обработка информации в навигационных комплексах. – М.: Машиностроение, 1991. – 512 с.
- [5] Одинцов А.А. Теория и расчет гироскопических приборов. – К.: Вища шк., 1986. – 392 с.
- [6] Titterton D. H. and Weston J. L. Strapdown Inertial Navigation Technology. - IEE Radar, Sonar, Navigation and Avionics Series 17, 2004. – pp. 558.

УДК 004.382.7

С.В. Співак, студент гр. ПГ-91, к.т.н., доцент Павловський О.М.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ОГЛЯД СУЧАСНИХ МІКРОКОМП'ЮТЕРІВ НА БАЗІ МІКРОКОНТРОЛЕРІВ СІМЕЙСТВА ARM

Анотація. В роботі проведений огляд останніх моделей мікрокомп'ютерів, які були розроблені популярними фірмами-розробниками. Ці комп'ютери не так давно почали активний розвиток та поширення у всьому світі. За цей короткий час їхнього розвитку, виникла доволі велика кількість їх модифікацій та різновидів. Тому, для можливого вибору таких мікрокомп'ютерів для вирішення технічних задач, проведено аналіз основних характеристик найбільш популярних моделей, опис додаткових комплектуючих та операційних систем (ОС).

Ключові слова: мікрокомп'ютер, операційна система, периферія, процесор, microSD.

ВСТУП

Постійний розвиток радіотехнічних засобів відкриває все більше можливостей у сфері розробки комп'ютерної техніки. Це призводить до появи нових видів комп'ютерів та до еволюції їх основних характеристик. Так, із зростанням потужностей мікропроцесорних ядер з'являється новий тип комп'ютерів, т.з. мікрокомп'ютери.

Вперше, термін мікрокомп'ютер з'явився в 1973 році, який був створений на базі мікропроцесора Intel 8008, що є пращуром сучасних ПК [1]. Проте, до сучасних мікрокомп'ютерів можна віднести пристрої компанії Raspberry Pi Foundation, що вперше з'явилися у 2014р. Спочатку, задачею новоствореної платформи було зацікавлення молоді мовами програмування, мікропроцесорними системами та інформаційними технологіями, але зараз вони знаходять застосування у багатьох сферах науки та техніки і є основними для реалізації технологій типу «Розумний будинок». Таким чином, метою даної роботи є огляд сучасних мікрокомп'ютерів та аналіз їх основних характеристик.

АНАЛІЗ МІКРОКОМП'ЮТЕРІВ

Зараз з'являється велика кількість компаній які пропонують різні моделі мікрокомп'ютерів. До таких відносяться Raspberry Pi Foundation, NVIDIA, Hardkernel Co, Friendly ARM, Lemaker та багато інших. Не дивлячись на те, що основою кожного мікрокомп'ютера є мікроконтролер сімейства ARM, кожен з них має певні технічні особливості, реалізує різний функціонал та має певну орієнтацію на конкретні проєкти. Наприклад, лінійка NVIDIA Jetson розроблена спеціально для роботи з нейронними мережами, а мікрокомп'ютер ODROID-N2+, загальний вигляд якого зображено на рис. 1, розроблений більше для загального використання (перегляд інтернет-джерел, редагування документів, розробка програмного забезпечення, тощо).

Тож для порівняння були обрані найбільш сучасні та широко використовувані мікрокомп'ютери різних виробників: Raspberry Pi 400,



Рисунок 1. Мікрокомп'ютер ODROID-N2+

Raspberry Pi 4B, NVIDIA Jetson Nano, ODROID-N2+, NanoPC-T4 та Banana Pro. Основні їх характеристики та особливості продемонстровані в таблиці 1.

Таблиця 1. Основні характеристик мікрокомп'ютерів

Пристрій	Процесор (Мікроконтролер)			ОЗП	АЦП	Графічний процесор (GPU)
	Модель	Частота	Ядра			
Raspberry Pi 400	Broadcom BCM2711 ARM Cortex-A72 x64	1.8 ГГц	4	4 ГБ	-	VideoCore 6 0,50 ГГц (max)
Raspberry Pi 4B	Broadcom BCM2711 ARM Cortex-A72 x64	1.5 ГГц	4	1/2/4 /8 ГБ	-	VideoCore 6 0,50 ГГц (max)
NVIDIA Jetson Nano	ARM Cortex-A57 x64	1.43 ГГц	4	4 ГБ	-	Nvidia Maxwell 0.92 ГГц (max)
ODROID-N2+	Amlogic S922X Rev.C: ARM Cortex-A73; ARM Cortex-A53	2.4 ГГц; 2,0 ГГц	4 2	4 ГБ	2 x входи 10 біт	ARM Mali-G52 0.82-1.0 ГГц (max)
NanoPC-T4	Rockchip RK3399 x64: ARM Cortex-A72; ARM Cortex-A53	2.0 ГГц; 1.5 ГГц	2 4	4 ГБ	5 x входи 12 біт	ARM Mali-T860MP4 0.70 ГГц (max)
Banana Pro	Allwinner A20: ARM Cortex-A7	1 ГГц	2	1 ГБ	-	ARM Mali400MP2 0.40-0.50 ГГц (max)

Всі розглянуті мікрокомп'ютери мають по 40 контактів GPIO (цифрові лінії загального користування), які необхідні для встановлення зв'язку між компонентами комп'ютерної системи, чутливими елементами, модулями, датчиками.

Для кожної моделі мікрокомп'ютера, розробник пропонує додаткові комплектуючі, які можуть знадобитися як початківцям для навчання, та і вже спеціалістам для власних розробок. До таких комплектуючих відносять: корпуси, елементи активного та пасивного охолодження, блоки живлення та адаптери до них, адаптери для елементів периферії і спеціальні набори додаткових елементів розробника.

Слід зазначити, що корпуси для мікрокомп'ютерів не є універсальними і виготовляються конкретно під певні моделі. Вони необхідні для зручності використання та для захисту пристрою від випадкових пошкодження. Основним матеріалом виготовлення є пластик або метал. Наприклад, на рис. 2 зображено корпус мікрокомп'ютера NanoPC-T4, який виготовлений із металу [2].

Більшість мікрокомп'ютерів не мають кріплення для пасивного охолодження, а тим паче для активного. Навіть незначні операції мікропроцесора, призводять до його нагрівання. Тому присутність елементів охолодження, майже завжди необхідна, що необхідно передбачити заздалегідь.

На даний час існує велика кількість блоків живлення. Але кожен виробник мікрокомп'ютера пропонує власні блоки, посилаючись на стабільність та довговічність їх роботи. Проте, наразі більшість мікрокомп'ютерів стандартизують роз'єм живлення, що дозволяє використовувати стандартні

адаптери живлення типу USB Type-C/Micro-USB.

Для управління такими комп'ютерами, використовують операційну систему, ядром якої зазвичай є сучасні *nix подібні ОС, проте майже кожен виробник пропонує встановити власну операційну систему, що має більш широко розкрити можливості того чи іншого мікрокомп'ютера для заданої області задач. Встановлення ОС може відбуватись декількома способами, частіше, розгортання системи спочатку на Flash-карті з послідовною інсталяцією, або, при наявності дротового/бездротового доступу до мережі Internet – безпосередня інсталяція ОС прямо із сайту розробника [3].



Рисунок 2. Корпус для мікрокомп'ютера NanoPC-T4

ВИСНОВОК

В роботі проведено огляд мікрокомп'ютерів, що наразі є популярними як для навчання, так і для розробки власних проектів. Для розгляду було обрано 6 мікрокомп'ютерів, основні характеристики яких були занесені до табл. 1. Кожен із них має свої певні особливості, що дозволяє використовувати їх для виконання відповідних задач. Не дивлячись на широку різноманітність представлених мікроконтролерів, загалом можна виділити використання у якості ядра процесорів сімейства ARM Cortex із різною кількістю ядер та тактовою частотою, що рідко більша за 2 ГГц, оскільки пропорційно збільшується виділення тепла, та гостро постає задача реалізації охолодження мікрокомп'ютера. Для повноцінного функціонування мікрокомп'ютера, необхідно обрати корпус, опціонально із радіаторами охолодження, а також блок живлення, що також пропонується виробниками. Проте зазначимо, що адаптери і роз'єми живлення зараз стандартизуються. У якості ОС можна використовувати класичні *nix подібні системи, або оригінальні, від розробників, що мають дозволити розкрити користувачу особливості мікрокомп'ютерів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] History of microcomputers [Електронний ресурс] — Режим доступа: <https://www.techtarget.com/iotagenda/definition/microcomputer>
- [2] Metal Case for NanoPC T4 [Електронний ресурс] — Режим доступа: https://www.friendlyelec.com/index.php?route=product/product&product_id=237
- [3] Начало работы с Nvidia Jetson Nano [Електронний ресурс] — Режим доступа: <https://www.machinelearningmastery.ru/getting-started-with-nvidia-jetson-nano-and-installing-tensorflow-gpu-ad4a3da8ed26/>

УДК 004

В.В. Шелемаха, студент гр. ПГ-11мп, к.т.н., доц. Цибульник С.О.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ОГЛЯД ЗАСОБІВ ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ

Анотація. Завдяки обробці даних компанії можуть отримати цінну інформацію, приймати зважені бізнес-рішення та забезпечити конкурентну перевагу, звужуючи дані для отримання найбільш точної та надійної інформації. Якщо керівник знає важливість обробки даних у кількісних дослідженнях і зможе успішно впровадити ці методи, то він досягне кращих результатів для свого бізнесу. Тому у даній статті проведено огляд деяких програмних засобів статистичної обробки інформації.

Ключові слова: обробка даних, аналіз, мова програмування, програмне забезпечення.

ВСТУП

Завдяки обробці даних компанії можуть отримати цінну інформацію, приймати зважені бізнес-рішення та забезпечити конкурентну перевагу, звужуючи дані для отримання найбільш точної та надійної інформації. Якщо керівник знає важливість обробки даних у кількісних дослідженнях і зможе успішно впровадити ці методи, то він досягне кращих результатів для свого бізнесу.

Обробка даних у дослідженні — це збір і перетворення набору даних у цінну, корисну інформацію. У ході цього процесу дослідник, аналітик даних або науковець отримує необроблені дані та перетворює їх у більш зручний для читання формат, наприклад, графік, звіт або діаграму вручну або за допомогою автоматизованого інструменту. Потім науковець використовуватиме цю інформацію, щоб вирішити наявні проблеми, внести покращення в методику проведення експерименту та в кінцевому підсумку отримати кращі результати.

Обробку даних іноді можна легко сплутати з маніпуляцією або аналізом даних, але це важлива концепція, якою не можна нехтувати. Обробка даних означає збір і перетворення даних у оперативну, корисну та цінну інформацію, яку можна використовувати для прийняття більшості бізнес-рішень.

Обробку даних можна використовувати кількома різними способами, але по суті вона зводиться до вилучення корисної інформації з необроблених даних для отримання більш глибоких результатів. Незалежно від того, чи розглядаються банківські записи, чи плануються найефективніші маркетингові стратегії обробка даних може вивести бізнес на абсолютно новий рівень.

На сьогоднішній день існує велика кількість різних програмних засобів обробки даних, які мають різні функціональні можливості. Тому метою даної роботи є провести порівняльний аналіз деяких з них.

ПРОГРАМНІ ЗАСОБИ ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ

Одним з найбільш популярних та розповсюджених програмних засобів обробки інформації на сьогодні є Microsoft Excel. Простота і гнучкість Excel часто роблять його першим вибором у разі виникнення потреби створення візуалізацій даних [1]. Проте не тільки це робить його одним з найкращих інструментів для обробки даних.

Excel – це інструмент для роботи з електронними таблицями. Він використовується не тільки в бізнесі. Професіонали, які працюють у таких

галузях, як психологія, соціологія, політологія, часто порівнюють зібрані дані, щоб зрозуміти тенденцію своїх досліджень, наприклад, політичні дані, порівняння впливу соціального стану та доходів сім'ї в минулому і зараз, тощо. Завдяки потужним аналітичним інструментам Microsoft Excel пропонує можливість аналізувати великі обсяги даних, щоб виявити закономірності, які вплинуть на завершення виконуваної роботи.

Проте у нього також є і недоліки. Хоча цей продукт має деякі можливості візуалізації даних, вони дуже обмежені порівняно з сучасним програмним забезпеченням для цих процедур. Основним недоліком Excel є складність аналізу в ньому неструктурованих та частково структурованих даних у режимі реального часу. Хоча, багато нових та перспективних інструментів аналізу даних можуть швидко розпізнавати цей тип даних і створювати візуалізації. Також даний продукт може працювати з сильно обмеженими наборами даних.

Іншим прикладом є програмні інструменти для статистичного аналізу SPSS і Stata. Їх основна перевага полягає в тому, що вони можуть (на відміну від Excel) використовуватися для роботи з дуже великими наборами даних. SPSS можна використовувати в області складного аналізу даних, тоді як Stata використовується в передових сферах науки та техніки або в дослідній галузі. Обидва інструменти дуже цінні і мають індивідуальні переваги у різних галузях застосування [2].

З точки зору аналізу великих та складних даних перевагу варто віддати використанню SPSS. Він проявляє достатній функціонал для управління базовими наборами даних, якщо перед користувачем не стоїть мета проводити більш передовий статистичний аналіз. Його найбільшою перевагою є те, що програма є зручною для користувача, тому що його макет дуже нагадує знайому електронну таблицю Excel. Хоча і в SPSS, і в Stata є зручне меню, в SPSS простіше його освоїти, тому що в програмі використовується інструмент типу «point-and-click» (наведи й натисни). Можна сказати, що SPSS відійшла від академічних досліджень і вкладає більше коштів у розробку графіки, орієнтованої на сферу маркетингу. Графіка SPSS є професійною і виглядає відносно непогано. Відмінною рисою графіків та діаграм, створених в SPSS, є те, що їх можна детально налаштувати (кольори, мітки, розмір тощо).

До цього порівняння можна додати ще одну програму – Minitab – це статистичне програмне забезпечення, що дозволяє користувачеві зосередитись на аналізі та інтерпретації даних за рахунок автоматизації розрахунків та створення графіків. Спочатку цей продукт був призначений для використання у навчальних цілях, включаючи всі інструменти та ресурси, які необхідні для допомоги студентам. Якщо порівнювати Minitab з SPSS, то у другій програмі графічних інструментів менше. Це означає, що користувач повинен застосовувати більше налаштувань, щоб зробити результати більш інтуїтивними, тоді як в Minitab є багато графічних інструментів, які дозволяють користувачеві малювати різні графіки, такі як гістограми, матричні графіки, коробкові графіки та інші [3]. Дана програма використовується переважно в дослідженнях у галузі охорони здоров'я для широкомасштабної оцінки та прогнозування.

Якщо говорити, зокрема, про статистичні дослідження та аналіз, SPSS

набагато краще, ніж Minitab, і він забезпечує відмінні результати, оскільки в ньому є всі функції, а також доступні інструменти аналізу та регресії.

Якщо запити користувачів в аналізі даних зростають і деякі програми не справляються з вимогами, є сенс подивитися на такі статистичні програми, як MatLab і RStudio [4, 5].

R – це вільна мова програмування та програмне середовище з відкритим вихідним кодом. Програма використовується для статистичних розрахунків. Також є підтримка низки статистичних графіків. R відіграє важливу роль у машинному навчанні завдяки своїм графічним та статистичним можливостям.

З іншого боку, MatLab – найпопулярніша програма для математичних обчислень. Насамперед, ним користуються інженери та вчені [4]. MatLab розшифровується як матрична лабораторія. З MatLab користувач може будувати графіки, маніпулювати матрицями, розробляти алгоритми, створювати інтерфейси і так далі.

Як правило, R використовується для вирішення завдань, пов'язаних зі статистикою, у той час як MatLab використовується для вирішення інших задач, пов'язаних з математикою, включаючи обчислення, побудова графіків, тощо. R відносно MatLab, має роль в області аналітики, оскільки в у ньому є багато готових програм, які можуть вирішувати аналітичні завдання та проблеми. З іншого боку, новачкам у мовах програмування R може бути складною, оскільки програма використовує натуральний синтаксис. Ідея даної мови з відкритим вихідним кодом означає, що R має безліч відкритого та доступного користувачам для роботи вихідного коду. А доступність коду MatLab в Інтернеті обмежена, оскільки ця програма потребує ліцензії. З іншого боку, MatLab легко освоїти, тому що цей продукт пропонує безліч наборів інструментів для більшості своїх функцій.

Ще одним варіантом є Scilab [6]. Його можна описати як локальне рішення, що забезпечує статистичний аналіз за допомогою візуалізації даних, розроблення алгоритмів, чисельного аналізу та багато іншого. Потрібно взяти до уваги, що Scilab – це наукова лабораторія, що є програмним забезпеченням з відкритим вихідним кодом, що має методи реалізації, аналогічні MatLab. Наприклад, Xcos – графічний редактор, який використовується для створення моделей гібридних динамічних систем за допомогою стандартних палітр та блоків – еквівалентний Simulink у Matlab. Xcos використовується для обробки сигналів, систем керування, а також для вивчення фізичних та біологічних систем шляхом проектування, компіляції та моделювання. Цей інструмент також надає функції моделювання механічних систем [7].

Одним з найбільш популярних варіантів сьогодні є Python зі своїми різноманітними бібліотеками для статистичного аналізу. Середовище програмування має низку плюсів та мінусів у порівнянні з іншими продуктами. Python – одна з найпопулярніших мов програмування, що використовується в різних технічних дисциплінах, особливо в науці про дані та її під областях. Через популярність Python ця мова має понад 130 000 пакетів для різних програм. Декілька бібліотек Python підтримують завдання науки про дані, у тому числі такі [8]:

- Numpy для обробки великих розмірних масивів;
- Pandas для обробки та аналізу даних;
- Matplotlib для побудови візуалізацій даних.

Крім того, Python особливо добре підходить для великого розгортання машинного навчання та має великий набір спеціалізованих бібліотек.

Проте розглянуті мови програмування та програмні засоби обробки не забезпечують належного рівня дослідження особливостей обробки даних та аналізу результатів для вимог навчання студентів. Тому в майбутньому необхідно розробити програмну систему, яка допоможе студентам розвинути логічне мислення, а також освоїти необхідні навички обробки та аналізу даних.

ВИСНОВКИ

У даній статті проведено огляд основних мов програмування та програмних засобів, які дозволяють проводити обробку даних. Виконано порівняння їх функціональних можливостей.

Визначено, що розглянуті мови програмування та програмні засоби не мають функціональних можливостей, які дозволять студентам освоїти особливості аналізу результатів обробки інформації для забезпечення належного рівня знань та умінь у даній сфері. Тому в майбутньому необхідно розробити програмну систему, яка допоможе студентам розвинути логічне мислення, а також освоїти необхідні навички обробки та аналізу даних.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Advantages & Disadvantages of Microsoft Excel. URL: <https://www.techwalla.com/articles/advantages-disadvantages-of-microsoft-excel> (дата звернення: 30.04.2022).
- [2] SPSS vs Stata. URL: <https://www.educba.com/spss-vs-stata/> (дата звернення: 30.04.2022).
- [3] Minitab vs SPSS. URL: <https://www.educba.com/minitab-vs-spss/> (дата звернення: 30.04.2022).
- [4] Matlab vs RStudio. URL: <https://www.trustradius.com/compare-products/matlab-vs-rstudio> (дата звернення: 30.04.2022).
- [5] Matlab vs R. URL: <https://www.calltutors.com/blog/matlab-vs-r/> (дата звернення: 30.04.2022).
- [6] What are the disadvantages of Scilab?. URL: <https://www.quora.com/What-are-the-disadvantages-of-Scilab> (дата звернення: 30.04.2022).
- [7] Matlab vs Scilab: Which One is Best For Future. URL: <https://matlabassignmenthelp.com/blog/matlab-vs-scilab/> (дата звернення: 30.04.2022).
- [8] Python vs. R: What's the Difference?. URL: <https://www.ibm.com/cloud/blog/python-vs-r> (дата звернення: 30.04.2022).

Наук. керівник – к.т.н., доц. Цибульник С.О.

УДК 629.7

В.А. Яковенко, студент гр. ПГ-11мп, к.т.н., ст. викладач Сапегін О.М.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ПРО СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО СИНТЕЗУ ФІЛЬТРІВ ДЛЯ ЗАДАЧ ОРІЄНТАЦІЇ І НАВІГАЦІЇ

Анотація. У роботі розглянуто основні підходи при створенні сучасних інерціальних систем орієнтації і навігації. Пропорційно-інтегрально-диференціальний регулятор (ПІД-регулятор). Фільтри вхідних даних, як вирішення проблеми накопичування похибок для покращення вирішення задач орієнтації та навігації.

Ключові слова: фільтр Калмана, комплементарний фільтр, фільтр Маджвіка.

ВСТУП

Стрімкий розвиток чутливих елементів (ЧЕ), що використовуються в інерціальній навігації поряд із невпинним збільшенням швидкодії бортових обчислювачів, дозволяє значно розширити можливості підвищення точності безплатформних інерціальних систем орієнтації та навігації (БІСО та БІНС). Широка сфера застосування безплатформних інерціальних систем робить актуальним дослідження, що направлені на їх вдосконалення, а саме на підвищення точності, спрощення процедур калібрування, організації комплексування і корекції вихідного сигналу, тощо. Для реального практичного застосування велике значення мають комплексні рішення, коли система вже має необхідні алгоритмічні та програмні засоби для якнайшвидшого впровадження у бортових обчислювачах БІНС.

У роботі пропонується огляд сучасних підходів до організації фільтрації вихідних сигналів ЧЕ та підвищення точності системи шляхом впровадження додаткової фільтрації.

ПІД-РЕГУЛЯТОР

Інформація з системи орієнтації використовується не тільки безпосередньо, чи у розв'язанні навігаційної задачі. Часто для керування рухомим об'єктом необхідно, ґрунтуючись на його кутовому положенні, формувати закон керування. Оптимально формувати пропорційно-інтегрально-диференціальний регулятор (ПІД регулятор) виду

$$u = K_n \vartheta(t) + K_i \int \vartheta(t) dt + K_d \frac{d}{dt} \vartheta(t). \quad (1)$$

З рівняння (1) видно, що формується керуючий сигнал, який є сумою трьох доданків: пропорційної куту нахилу об'єкта, інтегралу від кута нахилу, диференціал кута нахилу. Кожному з цих доданків відповідає свій коефіцієнт пропорційності відповідно K_n , K_i та K_d .

Налаштування ПІД регулятора, а саме визначення коефіцієнтів можна провести емпірично. Для отримання пропорційного коефіцієнта K_n необхідно прирівняти решту коефіцієнтів до нуля, а значенням K_n варіювати таким чином, що б об'єкт утримував необхідне положення. Інтегральний коефіцієнт K_i дозволяє регулювати швидкість повернення об'єкту у задане положення, проте його не можна встановлювати занадто великим, бо це може знизити швидкодію

системи. При збільшенні K_d можна зменшувати коливання платформу в околиці положення рівноваги [1].

КОМПЛЕМЕНТАРНИЙ ФІЛЬТР

Одним з найпростіших є комплементарний фільтр. Часто його використовують у системах, побудованих на мікроелектромеханічних ЧЕ. Його принцип роботи полягає у поєднанні вимірювань гіроскопів з акселерометрами результатом чого стає компенсація похибки нестабільності зміщення нуля гіроскопів та неточності показань з акселерометрів у при зовнішніх збуреннях. Так опісля чисельного інтегрування кінематичного рівняння, результати з гіроскопічного каналу пропускаються через фільтр високих частот, а орієнтація, отримана за показами акселерометрів, проходять через фільтр низьких частот. Схема роботи комплементарного фільтру приведена на рис. 1.

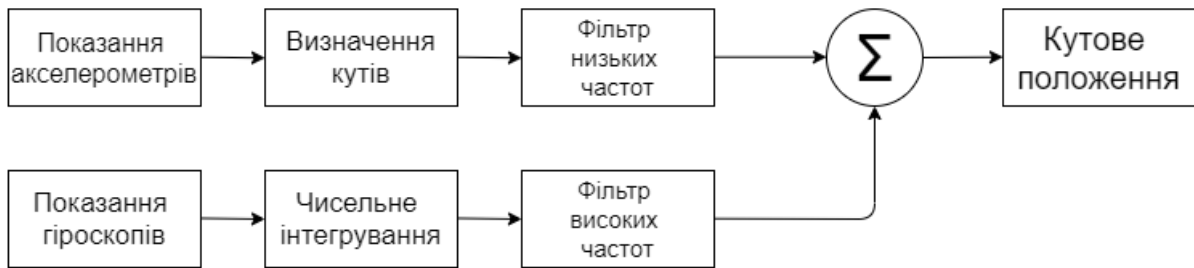


Рис.1 Схема роботи комплементарного фільтру

Для випадку з кінематичним рівнянням Пуассона за сигналами акселерометрів вираховуються кути нахилу відносно вектору вільного падіння g з яких формуються матриця напрямних косинусів (МНК). Ця МНК входить до алгоритму комплементарного фільтру. Відповідно рівняння фільтру набуває вигляду

$$C^{SP} = (1 - k) \cdot C_{\omega}^{SP} + k \cdot C_a^{SP} \quad (2)$$

де k – це коефіцієнт фільтра, C_{ω}^{SP} – МНК з показань гіроскопу, C_a^{SP} – МНК з показань акселерометрів, C^{SP} – вихідна МНК. Величина коефіцієнту фільтрів впливає на вихідні показання фільтру. Так коефіцієнт близький до 1 буде сильно збільшувати долю впливу акселерометрів, що буде повертати проблему з реакцією на прискорення та вібрації. Занадто малий коефіцієнт буде допускати накопичення похибки інтегрування [2].

ФІЛЬТР МАДЖВІКА

В якості алгоритму роботи для системи можна використовувати фільтр, що був розроблений Себастьяном Маджвіком і носить назву автора. Запропонований фільтр знімає проблеми точності та налаштування параметрів фільтрів, що базуються на підходах Калмана і висуває такі переваги: два параметри для регулювання (один для систем без магнітометрів), які визначаються із спостережуваних параметрів системи; аналітичні обчислення та оптимізація методом градієнтного спуску, які дають підвищення точності при малих частотах дискретизації; компенсація зміщення нуля та магнітних скривлень у реальному часі. Також фільтр Маджвіка передбачує значне

скорочення обчислювального навантаження й дозволяє фільтру оптимально підсилювати джерело даних базуючись на спостережуваних характеристиках системи [3].

Програмний код фільтра Маджвіка був викладений автором в додатках роботи [3] та доступний у відкритому доступі на мовах C, C# та Matlab. Тому можна з легкістю використовувати даний фільтр для роботи з інерціальними вимірювальними модулями чи інерціальними навігаційними системами.

ФІЛЬТР КАЛМАНА

Волоконно-оптичні, кільцеві лазерні та твердотільні хвильові гіроскопи, не говорячи про мікроелектромеханічні, не володіють точністю для виконання задачі інерціальної навігації автономно тривалий час. Різноманітні похибки цих ЧЕ, накопичуючись з часом, призводять після інтегрування до значного відхилення рухомого об'єкту. Для корекції цих дрейфів, інерціальні системи комплексуються з іншими засобами отримання інформації про рух. Найбільш поширеною для комплексування є супутникова навігаційна система (СНС).

Розрізняють два підходи для комплексування інерціальної системи та СНС: слабо і сильно інтегрований. У слабо інтегрованій схемі виконується корекція сигналів інерціальної системи СНС. Підхід сильної інтеграції дозволяє коректувати похибки чутливих елементів інерціального вимірювального модуля за даними, що отримано з СНС. Окрім того, у алгоритмі фільтра Калмана можна додати сигнали акселерометрів, що можуть значно підвищити точність системи. Задаючись моделлю стану ми формуємо розрядність фільтру. Вона може включати у себе необхідні характеристики чутливих елементів системи і може мати досить високу розмірність, що потребує значних обчислень.

ВИСНОВОК

Розглянуто основні підходи при створенні сучасних інерціальних систем орієнтації і навігації, що спираються на комплексуванні різних вимірювачів алгоритмічними засобами. Найбільшого розповсюдження у високоточних системах набув фільтр Калмана. Здебільшого через свою адаптивність: коефіцієнти фільтру розраховуються постійно і можуть «підлаштовуватись» під зміну обставин роботи. Проте, це вимагає значно глибшого синтезу алгоритмічного забезпечення, що потребує висококваліфікованих розробників.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Ю. В. Герман, “Двоколісний автобалансуючий робот з верхньою маятниковістю”. XI Наук.-практ. конф. студ. та асп. «Погляд у майбутнє приладобудування», 2018, С. 30–33.
- [2] Г. Ю. Строкач, О. М. Сапегін, “Комплементарний фільтр для мікромеханічного інклінометру”. Проблеми та перспективи реалізації та впровадження міждисциплінарних наукових досягнень (Т.1), 2020, С. 58–60.
- [3] S. Madgwick, “An efficient orientation filter for inertial and inertial / magnetic sensor arrays,” 2010.

Секція 2.
Оптичні та оптико-електронні
прилади і системи

УДК: 681.75

*В.А. Тесленко, студент гр. ПО-11мп, д.т.н., професор Боровицький В.М.
КПІ ім. Ігоря Сікорського*

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ЦИФРОВИХ ПРИЦІЛІВ

Анотація. У статті виконано порівняльний аналіз цифрових прицілів нічного бачення. Метою цього аналізу є виявлення корисних функцій у вже існуючих пристроїв, пошук недоліків реалізації конкретних задач, які виконують ці пристрої, та формування переліку корисних функцій котрі повинні бути реалізовані при створенні українського цифрового прицілу.

Ключові слова: приціл нічного бачення, монокуляр, прицільна сітка, балістика, mil-dot, цифрове збільшення, прицільна сітка, нічний режим, вимірювач відстані, пристрілка приціла, CMOS, ІЧ, Pulsar Digisight Ultra N455, ATN X-Sight LTV, Yukon Sightline N475S, Pard NV008 LRF.

ВСТУП

Цифрові приціли нічного бачення, які побудовані на основі чутливої CMOS матриці, є самим сучасним типом прицілів для стрілецької зброї. Застосування чутливої CMOS матриці, яка може формувати зображення об'єктів у видимому та близькому інфрачервоному діапазонах спектру, цифрової обробки зображень за допомогою вбудованого комп'ютера та кольорового мікродисплею з високою роздільною здатністю суттєво покращують можливості таких прицілів як у пошуку цілей та і у виконанні прицілювання.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Задачею дослідження є проведення порівняльного аналізу найбільш розповсюджених цифрових прицілів Pulsar Digisight Ultra N455 LRF[1], ATN X-Sight LTV 5-15X[2], Yukon Sightline N475S[3], Pard NV008 LRF[4]. Цей аналіз дозволить визначити які функції задовольняють попит користувачів, визначити особливості їх різниці один від одного, та запропонувати більш кращу реалізацію тієї чи іншої функції.



Рисунок 1. Цифрові приціли які є об'єктами даного дослідження:
а) ATN X-Sight LTV 5-15X; б) Pulsar Digisight Ultra N455 LRF;
в) Pard NV008 LRF; г) Yukon Sightline N475S.

ПАРАМЕТРИ ЦИФРОВИХ ПРИЦІЛІВ

Для порівняння цифрових прицілів дослідження треба визначитися з переліком параметрів та переліком функцій, які їх забезпечують (Табл. 1).

Усі цифрові приціли мають змогу бути використаними як в день, так і в ночі. Оскільки основні довжини хвиль цих пристроїв припадають на видимий та

ближні ІЧ спектри, то при повній відсутності світла на них нічого не буде видно. Проте в сутінках в усіх використовуються алгоритми підвищення чутливості у сутінках, наприклад бінінг (сума сигналів сусідніх пікселів) [5], додавання кадрів, фільтрація шумів при високій настройці чутливості. У CMOS матриць об'єднання відбувається з датчика після зчитування. Це означає, що шум вже присутній у кожному пікселі. Такий алгоритм по збільшенню співвідношення сигнал/шум не потребує великого ресурсу у розрахуванні та легко може бути використаним у прототипі.

Таблиця 1. Параметри цифрових прицілів

<i>Функція</i> / <i>Приціл</i>	<i>ATN X-Sight LTV 5-15X</i>	<i>Pulsar Digisight Ultra N455 LRF</i>	<i>Pard NV008 LRF</i>	<i>Yukon Sightline N475S</i>
Денний/нічний режими	+	+	+	+
Змога робити записи відео	+	+	+	+
Цифрове наближення	5x-15x	4.5x-18x	6.5-26x	6x-24x
Роздільна здатність матриці	2688x1944	1280x720	1280x720	1280x720
Гіроскоп, акселерометр	+	+	+	-
Наявність вибору прицільних сітки та її кольору	+	+	+	+
Масштабована балістична прицільна сітка	-	+	-	+
Індивідуальні стрілецькі профілі	До 1-го	До 5-ти	До-5ти	До 3-х
Режим вікно у вікні	-	+	+	+
Вбудований вимірювач відстані	-	+	+	+
Алгоритмічне підвищення чутливості	+	+	+	+
Колір зображення мікродисплею	Кольорове, монохромне	Монохромне	Кольорове, монохромне	монохромне
Пристрійка переміщенням курсора	+	+	+	+
Автономна робота заявлена розробником	10 годин	6 годин	8 годин	4 години

Не менш корисною функцією є цифрове збільшення зображення, відповідно до таблиці 1, бачимо що цифровий зум у цих пристроїв має різну кратність. Пристрої Pulsar Digisight Ultra N455 LRF та Yukon Sightline N475S мають оптичне збільшення 4.5x та 6x, а при максимальному використанні цифрового збільшення це значення виростає до 18x та 24x відповідно. Відповідне цифрове

збільшення зображення для кожного пристрою: ATN X-Sight LTV 5-15X - 3x а у інших - 4x. Це може бути обумовлено тим, що у цього прицілу відсутня функція “вікно у вікні”, що могло призвести до меншого цифрового зуму ніж у конкурентів. Ні у одного пристрою із списку немає додаткових налаштувань по вибору методу інтерполяції при цифровому збільшенні, хоча така функція могла би бути корисна в певних сценаріях використання [6].

Разом із масштабуванням зображення, повинна масштабуватися і балістична прицільна сітка. Знаючи параметри нашої оптико-електронної системи, можна з легкістю реалізувати прицільну сітку різного типу: mil-dot, MOA, DOA. Прицільна сітка повинна масштабуватися разом із зображенням у співвідношенні 1:1. Із об'єктів дослідження лише приціл ATN X-Sight LTV 5-15X не має такої функції, що є дуже дивним, бо це проста функція у реалізації.

Функція “вікно у вікні” є продовженням теми цифрового збільшення зображення. Вона дає змогу робити додатково двох-кратне збільшення, проте не на весь екран, а лише на винести це збільшене зображення у маленьке вікно, що дає змогу бачити з більшим полем зору, а робити прицілювання лише використовуючи мале вікно. На прикладі прицілу Pard NV008 LRF цифровий зум для цілого зображення лише досягає 2x (з 6.5x до 13x), а при режимі вікно у вікні цифрове збільшення досягає 4x, що дає повне збільшення 26x. При великому цифровому збільшенні, користувачу може бути складно розрізнити об'єкти на екрані. Тому виносити таке зображення у мале вікно дасть змогу краще розрізнити розмиті від цифрового збільшення об'єкти.

Пристрілька даних оптичних прицілів відбувається по простому сценарію, користувач робить декілька вистрелів по мішені на потрібній відстані. І через меню доводить курсор від положення прицілу на сітці, до місця реального влучання після чого приціл переміщується до цієї координати і в подальших пострілах при тих же умовах, кулі повинні влучати в ціль максимально близько до центру сітки прицілу. Реалізація пристрільки принципово може відрізнитися від пристрою до пристрою. В прицілі Pulsar Digisight Ultra N455 LRF і Yukon Sightline N475S під час налаштування виставлення нуля зображення застигає, що дає змогу рухати зброю. В пристроях ATN X-Sight LTV 5-15X і Pard NV008 LRF такого немає і користувач бачить зображення в реальному часі, тож під час підстройки нульового рівня користувач повинен тримати увесь час точку прицілювання на мішені. В прицілі Yukon Sightline N475S. при настройці нульового рівня взагалі рухається основний приціл у реальному часі, що дає змогу компенсувати велику похибку при налаштуванні. В ідеалі приціл повинен сам розпізнавати місця влучання куль і переносити точку прицілювання автоматично до місця влучання при одному пострілі, чи до геометричної середини декількох пострілів.

ВИСНОВОК

Розглянуті цифрові приціли Pulsar Digisight Ultra N455 LRF, ATN X-Sight LTV 5-15X, Yukon Sightline N475S, Pard NV008 LRFю Порівняльний аналіз дозволив з'ясувати функції, які є найбільш важливими та які треба реалізувати в цифровому прицілі українського виробництва.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Pulsar Digisight Ultra N455 LRF <https://www.pulsar-nv.com/glo/products/33/night-vision-riflescopes/digisight-ultra-lrf/>
- [2] ATN X-Sight LTV 5-15X <https://www.atncorp.com/x-sight-ltv-day-night-rifle-scope-5-15x>
- [3] Yukon Sightline N475S, Sightline S Digital Night Vision Riflescopes User Manual https://issuu.com/yukon2/docs/sightline_manual_v0120
- [4] Pard NV008 LRF DIGITAL RIFLESCOPE/SPOTTER http://www.grejfreak.dk/upload_dir/docs/filer/Brugermanual_Pard_NV008.pdf
- [5] Kim, Seong-Jin, et al. "A 1920× 1080 3.65 μm-pixel 2D/3D image sensor with split and binning pixel structure in 0.11 μm standard CMOS." 2012 IEEE International Solid-State Circuits Conference. IEEE, 2012.
- [6] Zhang, Xuaner, et al. "Zoom to learn, learn to zoom." Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2019.

УДК 621.372.82

Ю. О. Галелюка, студент гр. ПО-11мп, к.т.н., доц. Кучеренко О. К.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРИ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ДЖЕРЕЛА ВИПРОМІНЮВАННЯ У ВОЛОКОННО-ОПТИЧНОМУ ГІРОСКОПІ

Анотація Сучасні навігаційні безплатформені системи в якості датчика кутової швидкості використовують волоконно-оптичні гіроскопи. Точність цих гіроскопів обмежується дрейфом нуля, що може бути спричинений різними факторами. Одним з таких факторів є нестационарний вплив температури. В даній роботі з використанням комп'ютерної програми технічного розрахунку MatLab проаналізований вплив температури на характеристики джерела випромінювання у волоконно-оптичному гіроскопі. В більшості схем волоконно-оптичних гіроскопів в якості джерела використовуються лазерні діоди з низькою ступінню когерентності. Визначні зміни центральної довжини хвилі і смуги випромінювання лазерного діода при холодному запуску і при нагріві джерела на 200 С. Запропонований метод корекції температурного впливу.

Ключові слова: волоконно-оптичний гіроскоп, лазерний діод, температурний вплив.

ВСТУП

Волоконно-оптичні гіроскопи (ВОГ) набувають все більшої популярності в точній навігації. ВОГ перевершують механічні та кільцеві лазерні гіроскопи за вартістю, габаритами, споживаною потужністю, тощо. Характеристики чутливості ВОГ достатньо широкі і лежать в межах від 100 град.год⁻¹ до 0,005 град.год⁻¹, стабільність масштабного коефіцієнта лежить в межах від 0,1% до 0,01%. Для підвищення чутливості слід зменшити дрейф нуля ВОГ, який обумовлений різними факторами. Серед цих факторів є нестационарна зміна температури зовнішнього середовища, яка впливає на параметри джерела випромінювання, фотоприймача, оптичного волокна, стабільність роботи елементів електронної схеми. В даній роботі аналізується вплив температури на характеристики випромінювання лазерного діода, як одного з елементів ВОГ.

Аналіз впливу температури на чутливість ВОГ є важливим питанням при проектуванні подібних систем, оскільки є одним з факторів покращення точності навігаційної системи.

МЕТА РОБОТИ

Метою даної роботи є перевірка шляхом комп'ютерного моделювання залежності характеристик лазерного діода, що використовується у ВОГ, від дій температури і пропонування засобу зменшення цієї дії на точність ВОГ.

МАТЕРІАЛИ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Типова схема ВОГ приведена на рисунку 1 [1]. Як видно з рисунку ВОГ містить такі основні компоненти: лазерний діод, відгалужувач, поляризатор, сенсорну спіраль, фазовий модулятор, фотоприймач. В схемі використовується лазерний діод з низькою часовою когерентністю. Використання такого типу лазерних діодів дозволяє зменшити негативний вплив поляризаційних факторів, факторів зворотного розсіювання випромінювання та інших на дрейф нуля ВОГ. На точність системи вимірювання кутової швидкості впливає температура середовища та системи в цілому. Ширина спектру випромінювання таких лазерних діодів лежить в межах 20-30нм. Центральна довжина хвилі випромінювання залежить від температури джерела, яка змінюється як внаслідок

його роботи так і внаслідок дії зовнішнього середовища.

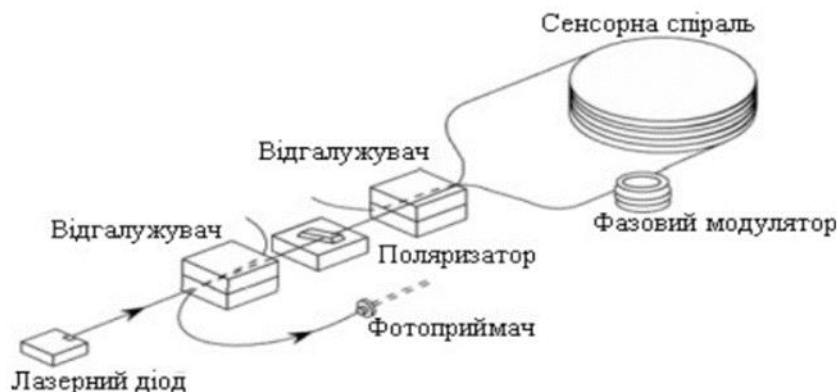


Рисунок 1. Типова схема волоконно-оптичного гіроскопа

На рисунку 2 показані зміни центральної довжини хвилі лазерного діода та ширини спектру випромінювання після холодного запуску за постійної температури навколишнього середовища. Зміни центральної довжини хвилі за першу годину приблизно узгоджуються з експоненціальним законом і не перевищують 90ррт. Такі зміни забезпечують стабільність масштабного коефіцієнта 0,009% при постійній температурі навколишнього середовища та холодному запуску.

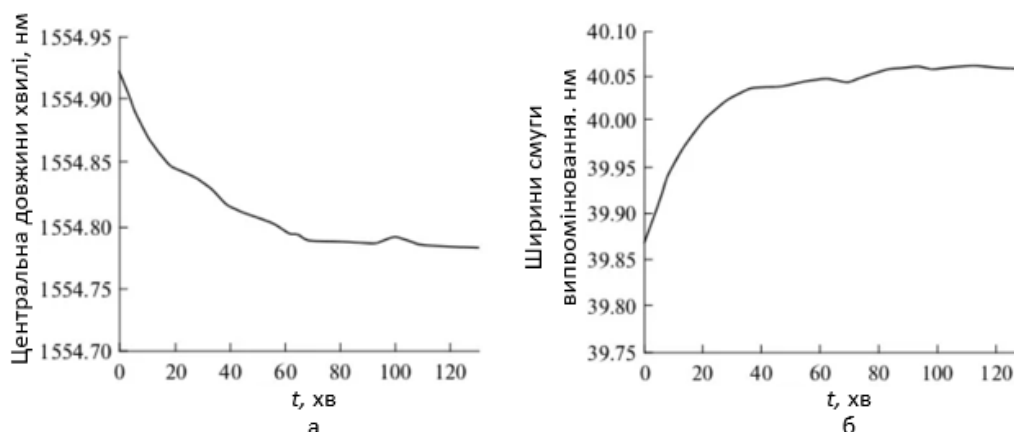


Рисунок 2. Показані зміни центральної довжини хвилі лазерного діода (а) та ширини спектру випромінювання (б) після холодного запуску за постійної температури навколишнього середовища.

Під час самонагрівання температура також змінюється за експоненціальним законом, тому можна знайти коефіцієнт теплового дрейфу центральної довжини хвилі лазерного джерела, який становить 7,7ррт/°C. На рисунку 3 представлені зміни центральної довжини хвилі лазерного діода при підвищенні температури на 20°C після нагріву гіроскопа протягом 190хв.

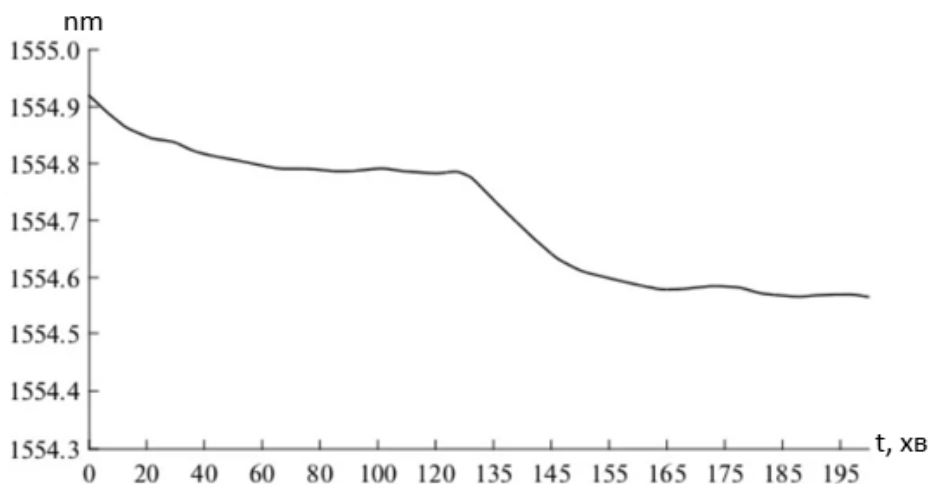


Рисунок 3. Зміна центральної довжини хвилі лазерного діода через підвищення температури навколишнього середовища на 20 °C.

Графік демонструє, що центральна довжина хвилі майже лінійно залежить від температури навколишнього середовища, що дає можливість збільшити масштабний коефіцієнт стійкості на порядок ніж за допомогою термічної корекції центральної довжини хвилі лазерного діоду.

Однак із вищенаведеного аналізу випливає, що нестабільність центральної довжини хвилі лазерного діоду, навіть без термічної корекції, навряд чи подовжить час готовності ВОГ. Швидше за все, час готовності ВОГ подовжується за рахунок коливань вихідної потужності лазерного діоду при його холодному запуску, оскільки період коливань потужності лазерного діоду (рисунок 4) і час прогріву ВОГ майже збігаються [2].

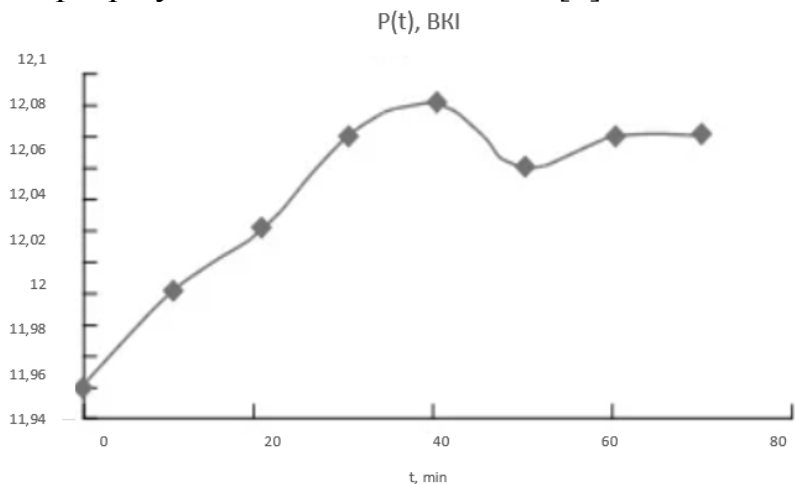


Рисунок 4. Зміни вихідної потужності НТК після холодного пуску.

Для підвищення точності гіроскопа може бути використана додаткова електронна схема, яка містить другий синхронний детектор, який виводить на фотодетектор сигнал, пропорційний постійному оптичному сигналу. Після масштабування цей сигнал можна використовувати для стабілізації амплітуди вихідного сигналу гіроскопа з розімкненим контуром.

Цей принцип забезпечує стабільне зміщення та рівний масштабний коефіцієнт з різною інтенсивністю оптичного сигналу та посиленням

електронної схеми. Використання додаткового електронного каналу покращує загальну продуктивність гіроскопа, включаючи час розігріву після старту.

ВИСНОВКИ

Зміни центральної довжини хвилі за першу годину після запуску приблизно узгоджуються з експоненціальним законом і не перевищують 90ppm. Такі зміни забезпечують стабільність масштабного коефіцієнта 0,009% при постійній температурі навколишнього середовища та холодному запуску.

Центральна довжина хвилі лазерного діоду майже лінійно залежить від температури навколишнього середовища, що дає можливість збільшити масштабний коефіцієнт стійкості на порядок ніж за допомогою термічної корекції центральної довжини хвилі.

Нестабільність центральної довжини хвилі лазерного діоду, навіть без термічної корекції, навряд чи подовжить час готовності ВОГ. Швидше за все, час готовності ВОГ подовжується за рахунок коливань вихідної потужності лазерного діоду при його холодному запуску, оскільки період коливань потужності і час прогріву ВОГ майже збігаються.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Г. А. Павлат, «Волоконно-оптичні гіроскопи із замкненим контуром», Proc. SPIE, вип. 2837, с. 46-60, 1996.
- [2] P. F. Wysocki, M. J. F. Digonnet, Kim, and H. J. Shaw, «Characteristics of Erbium-Doped Superfluorescent Fiber Sources for Interferometric Sensor Applications, J. Light wave Technology », J. «*Light wave Technology*», 1994, vol. LT-12, no. 1, pp. 550-567.
- [3] A. M. Kurbatov and R. A. Kurbatov, « New Optical W Fiber Panda for Fiber Optic Gyroscope Sensitive Coil », «*Technical Physics*», 2010, vol. 36, no. pp. 789 791.

УДК 535.42

Б.О. Кожушко, студент гр. ПО-81, к.т.н., ст.викл. Васильковська І.О.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ВИКОРИСТАННЯ ДИФРАКЦІЙНИХ ЛІНЗ В БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЮЧИХ АПАРАТАХ

Анотація. Дана стаття присвячена розгляду особливостей проектування дифракційних лінз як об'єктивів для легких і компактних відеокамер, з можливістю встановлення на безпілотний літальний апарат. Приведені основні вимоги і обмеження, які ставляться до оптичної системи такого типу.

Ключові слова: багатопорядкова дифракційна лінза, безпілотний літальний апарат, хроматична аберация.

ВСТУП

Станом на сьогодні виробництво безпілотних літальних апаратів (БПЛА) невпинно зростає. Оснащені високоефективними камерами БПЛА, що також відомі під назвою дрони, підходять для широкого спектру задач, де необхідна обробка зображень. Наразі БПЛА є універсальними та незамінними засобами в багатьох сферах людської діяльності. Вони використовуються в оборонній промисловості для військового спостереження, розвідки, контролю кордонів, безпеки та пошуково-рятувальних операцій. Також використовуються в аграрній сфері для контролю посівів сільськогосподарських культур та багатьох інших.

Оскільки безпілотні технології використовуються для вирішення дедалі складніших і різноманітніших задач, підвищуються вимоги і до систем технічного зору, якими вони оснащені. Зокрема це стосується розробки оптичних компонентів та оптичних систем для корисного навантаження БПЛА. Основними вимогами є мінімізація масо-габаритних характеристик і розширення спектрального діапазону. Завдання виробників полягає у розробці та виготовленні компактних, легких лінз. Водночас не повинна знижуватись якість створеного ними зображення.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Оцінити перспективи використання дифракційних лінз як об'єктивів для полегшених та зменшених у розмірах фото- та відеокамер з можливістю подальшого встановлення на БПЛА без зменшення якості зображення.

ОСОБЛИВОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ ОПТИЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ДЛЯ БПЛА

Виробництво БПЛА має ряд особливостей та повинне зважати на певні суворі обмеження. Що стосується розробки оптичних компонентів і оптичних систем для корисного навантаження БПЛА необхідно враховувати три фактори, а саме розмір, вага та енергоспоживання. Для компактних дронів існують обмеження на розмір та вагу. Також потрібно зменшити енергоспоживання задля максимізації дальності і часу польоту. Розробники оптичних компонентів повинні проектувати компактні, легкі об'єктиви для камер, адже мінімальний розмір і вага мають визначальне значення. Однак якість зображення також має бути високою і не поступатися відомим аналогам.

Задля виконання усіх перерахованих вимог можна використати різноманітні технології, зокрема інноваційні оптичні та механічні конструкції, особливі матеріали та унікальні покриття лінз.

Перераховані фактори ефективно реалізуються в особливих оптичних конструкціях, таких як дифракційні лінзи (ДЛ). Завдяки своїм унікальним властивостям вони можуть значно зменшити і полегшити конструкцію та покращити якість зображення систем технічного зору. Сучасні технології дають можливість створювати надскладні поверхні ДЛ, які дозволяють реалізувати безліч корисних функцій, таких як корекція хроматичних і сферичних аберацій. Основна ідея полягає у заміні складного багатолінзового зображуючого об'єктива однією дифракційною або дифракційно-рефракційною лінзою (ДРЛ). ДЛ розраховується для однієї робочої довжини хвилі, на якій зображення фокусується без спотворень, а на інших виникають спектральні викривлення [1]. Для комп'ютера, який здійснює цифрову обробку, не обов'язково потрібне коректне відтворення кольору. Водночас зареєстроване зображення містить шуми, створені несфокусованими сигналами інших довжин хвиль. На практиці цифровими методами компенсувати таку значну хроматичну аберацию неможливо. В той же час існують багатопорядкові дифракційні лінзи (БПДЛ), які відрізняються від звичайних дифракційних лінз товщиною в p довжин хвиль (рис.1.). Вони здатні фокусувати в одне місце в просторі уже не одну, а кілька довжин хвиль. При цьому шуми залишаються, але за допомогою методів цифрової обробки зображень їх можна мінімізувати.

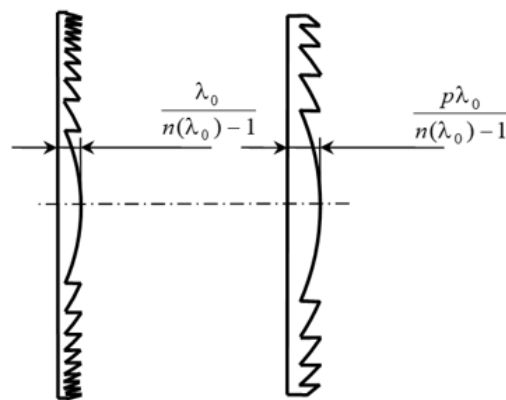


Рисунок 1. Відмінність традиційної дифракційної лінзи від багатопорядкової

Як показують дослідження сучасні технології виготовлення дифракційних лінз дозволяють створювати високоякісні мікропрофілі для БПДЛ [2]. Наприклад, 256-рівневий профіль ДЛ створює майже гладку оптичну поверхню, що забезпечує високу якість зображення, навіть без додаткової обробки. БПДЛ менш схильна до хроматичних аберацій, ніж рефракційна лінза, однак значні спотворення все ще існують і потребують корекції.

Приведемо приклад спроектованої нами БПДЛ, вона має наступні параметри: число стрибків фази $p = 8$, фокусну відстань $f = 100$ мм, розрахункова довжина хвилі $\lambda = 555$ нм. Дана лінза фокусує набір довжин хвиль $\lambda_1 = 404$ нм, $\lambda_2 = 444$ нм, $\lambda_3 = 493$ нм, $\lambda_4 = 555$ нм та $\lambda_5 = 634$ нм в одну точку з високою ефективністю 100%. Довжини хвиль, відмінні від перерахованих,

створюватимуть ореол навколо сфокусованого зображення, вони підлягають корекції.

Обробку і корекцію отриманих зображень можна здійснити різними комп'ютерними методами. Стосовно зображень, створених БПДЛ, хроматична аберація виправляється цифровими методами ефективно. Але найбільш інноваційні підходи реалізуються за допомогою штучних нейронних мереж, при цьому вони дають відмінні результати [3].

ВИСНОВКИ

Підсумовуючи дану статтю, можна сказати, що сучасний стан розвитку технологій виготовлення мікропрофілів дифракційних лінз дозволяє створювати легкі, компактні та високоефективні об'єктиви для фото- та відеокамер. Станом на даний момент ми вже навчилися розраховувати БПДЛ із заданими параметрами, коригувати хроматичні аберації для набору довжин хвиль. В подальшому необхідно спрямувати зусилля на реалізацію методів для цифрової обробки зображень, отриманих БПДЛ, для комп'ютерного коректування аберацій.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Колобродов В.Г. Проектування дифракційних оптичних елементів і систем: підручник / В.Г. Колобродов, Г.С. Тимчик. – К.: НТУУ «КПІ», 2013. – 194 с.
- [2] Васильковська І.О. Удосконалення методів проектування дифракційних лінз: монографія / І.О. Васильковська, В.Г. Колобродов, Г.С. Тимчик. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2020. – 158 с.
- [3] Nikonorov A. (2018). Toward Ultralightweight Remote Sensing With Harmonic Lenses and Convolutional Neural Networks / A. Nikonorov, M. Petrov, et al // IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing. 2018, PP. 11091-110911.

УДК 621.384.3

Д.В. Корнєв, студент гр. ПГ-11мп, д.т.н., проф. Микитенко В.І.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ПОПЕРЕДНІЙ АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ ТЕПЛОВІЗІЙНОЇ СИСТЕМИ ПО ВИЯВЛЕННЮ БПЛА

Анотація: В даній роботі здійснено попередній аналіз тепловізійної системи на можливість розпізнавати безпілотні літальні апарати різних класів на заданій відстані до 2 кілометрів на основі геометричних розрахунків.

Ключові слова: тепловізійна система, БПЛА, мінімально видимий об'єкт, фокусна відстань, поле зору, роздільна здатність.

ВСТУП

На протязі останніх 20-30 років надзвичайної популярності набули безпілотні літальні апарати (БПЛА) завдяки своїй універсальності та характеристикам, таким як малий розмір, швидкість, маневреність, малі інерційність та висота польоту.

БПЛА зайняли окрему нішу у військовій сфері, використовуючись у різноманітних задачах, таких як розвідка, артилерійське наведення, бомбардування та інше. Для таких цілей використовуються навіть модернізовані БПЛА класу міні та мікро, що призначаються як іграшки чи відео інструменти для цивільного населення. Це робить задачу виявлення та слідкування за БПЛА, ще більш нагальною ніж будь коли. Відомі методи виявлення БПЛА [1] мають як переваги, так і недоліки, що не дозволяє рекомендувати якийсь окремий метод як найкращий. Все очевиднішою стає необхідність використання одночасно кількох різних методів виявлення к комплексуванням сигналів різних інформаційних каналів. Одним з таких методів може стати виявлення за допомогою тепловізійної системи з поляризаційним аналізом випромінювання. Поляризаційні тепловізори можуть забезпечити дуже високий контраст БПЛА на фоні неба [2]. Але в таких системах існує суттєвий недолік – значна інерційність теплових приймачів випромінювання, які як правило використовуються в них. Отже було б корисним визначити за яких умов можна використовувати поляризаційні тепловізори для виявлення БПЛА і які характеристики виявлення можна очікувати в цьому випадку.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ

В даній роботі пропонується провести попередній аналіз можливостей тепловізійної системи на основі сучасної мікроболометричної матриці, як перспективної технології виявлення БПЛА, що може однаково ефективно працювати у будь який час доби та за будь-якої погоди.

БОЛОМЕТРИЧНА МАТРИЦЯ ТА ОБ'ЄКТИ ВИЯВЛЕННЯ

Для розрахунку необхідно обрати матрицю відносно якої будуть проводитись аналіз. Для даної задачі був обраний типовий мікроболометр DLD640(17мкм), характеристики якого приведені в табл.1 [3].

Таблиця 1. Характеристики мікроболометра DLD640(17мкм)

Роздільна здатність	640x480
Розмір пікселя	17мкм
Спектральний діапазон	8-14мкм
Частота	25Гц (одиначна), 50Гц (парна)

Також для аналізу необхідні параметри об'єктів які ми будемо виявляти та спостерігати. Для цього візьмемо характеристики БПЛА для різних категорій, визначених у документі НАТО. Обрані об'єкти наведені в табл.2 [4].

Посилання має з'являтися в тексті статті до першої появи рисунка. При відсутності площі для розміщення рисунка на поточній сторінці дозволяється перенести його на наступну. Не допускається розриву більше сторінки між першою згадкою та фактичним приведенням рисунка в тексті роботи.

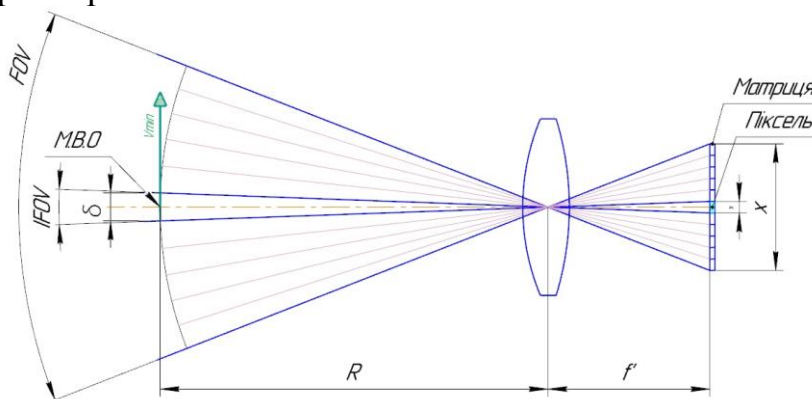
Таблиця 2. Характеристики БПЛА та їх класи

Назва	Тип	Габарит А (м)	Габарит Б (м)	Швидкість (км/год)	Швидкість (м/сек)
Mavic3	Micro	0,38	0,38	18Wm - 68,4Sm	5Wm - 19Sm
Agras MG-1S	Mini	1,52	1,52	28,8Wm - 79,2Sm	8Wm - 22Sm
RAM	CR	1,78	2,3	70	19,44
ОРЛАН-30	SR	2,5	7,9	100	27,78
Байрактар ТВ2	MR	6,5	12	222	61,67
Сокіл 300	LALE	8,5	14	580	161,11

- Wm – робочий режим
- Sm – швидкісний режимуж

РОЗРАХУНКИ

Для попереднього аналізу використовуються геометричні розрахунки представлені схемою на рис.1, які дають уявлення про мінімальні розміри об'єкту та максимальну швидкість для його виявлення на заданій відстані. Мініміально видимий об'єкт – об'єкт, площа якого відповідає площі просторової роздільної здатності пікселя на заданій відстані, тобто повністю заповнює 1 піксель у просторі зображення.



MBO – мініміально видимий об'єкт

Рисунок 1. Геометрична схема формування зображення на мікроболометричній матриці

Вхідними параметрами є:

- X – розмір матриці
- x – розмір пікселя
- f' – задня фокусна відстань
- R – відстань спостереження
- n – кількість пікселів
- t – час формування кадру

Параметри, які необхідно визначити наведені в табл.3 [5].

Таблиця 3. Параметри та їх формули

Назва	Позначення	Формула
Поле зору	FOV°	$2 \tan^{-1} \left(\frac{X_{n_r}}{2f'} \right)$
Миттєве поле зору	$IFOV^\circ$	$2 \tan^{-1} \left(\frac{x_{n_r}}{2f'} \right); \frac{FOV_n}{n}$
Просторова роздільна здатність	$\delta(m)$	$IFOV_{pad} \cdot R$
Максимальна швидкість об'єкту	$\vec{V}_{max} \left(\frac{M}{c} \right)$	$\frac{\delta}{t}$

Розрахунки проводились для фокусних відстаней 100, 125, 150, 175, 200мм на відстані спостереження 500, 1000, 1500, 2000м. Найкращий варіант результатів було отримано для фокусної відстані 125мм, табл.4.

Таблиця 4. Результати розрахунків для фокусної відстані 125мм

$f' (mm)$	FOV°	$IFOV^\circ$	$R(m)$	$\delta(m)$	$\vec{V}_{max} \left(\frac{M}{c} \right)$
125	45,93	0,072	500	0,63	15,7
			1000	1,25	31,3
			1500	1,87	49,94
			2000	2,5	62,59

АНАЛІЗ СИСТЕМИ

З отриманих даних видно, що система з задньої фокусної відстані 125мм може розпізнавати БПЛА класів з CR, SR та MR на відстані 2000м, що дозволяє такій системі покривати більшу частину існуючих БПЛА. На відстані 1500м з'являється можливість виявляти БПЛА класу Mini. На відстані до 250м можна розпізнавати БПЛА класу Micro. Нажаль БПЛА класу LALE та вище такими системами виявити неможливо, через надзвичайно великі швидкості БПЛА при відносно невеликому розмірі.

ВИСНОВОК

Аналіз показав, що існує варіант тепловізійної системи на основі мікроболометричної матриці, яку можна використовувати для виявлення та

спостереження БПЛА найбільш поширених класів. Для продовження розробки системи необхідно скорегувати отримані результати за допомогою енергетичних розрахунків враховуючи розсіювання та поглинання середовища, чутливість матриці, випромінення типових об'єктів спостереження та інше.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Корнєв Д.В., Микитенко В.І. Пошук перспективних методів виявлення безпілотних літальних апаратів Збірник праць XVII науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Ефективність та автоматизація інженерних рішень у приладобудуванні», 07-08 грудня 2021 року, кпі ім. Ігоря Сікорського, м. Київ. С. 49 – 52.
- [2] Колобродов , В. Г., Микитенко , В. І., Пінчук , Б. Ю., Сокол , Б. В. і Тягур В. М. (2021) «Комп'ютерно-інтегрований метод виявлення об'єктів поляризаційним тепловізором», Вісник НТУУ "КПІ". Серія Радіотехніка, Радіоапаратобудування, (85), с. 21-26. doi: 10.20535/RADAR.2021.85.21-26
- [3] DLD640(17 μ m) Uncooled Infrared FPA Detector Режим доступа: <http://www.dali-tech.us/products/dld64017m-uncooled-infrared-fpa-detector-86.html>
- [4] UAV OPERATOR TRAINING – BEYOND MINIMUM STANDARDS / Authors: Róbert Szabolcsi Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/304669552_UAV_OPERATOR_TRAINING_-_BEYOND_MINIMUM_STANDARDS
- [5] MAN – FAS – NAVY Document ES310 / Introduction to Naval Weapons Engineering – Electro-Optical Imaging Systems Режим доступа: https://man.fas.org/dod-101/navy/docs/es310/EO_image/EO_Image.htm

УДК 681.7.520

А. І. Крижній, студент гр. ПО-11мп, к.т.н., доц. Сокурєнко В. М.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

АВТОМАТИЗОВАНИЙ РОЗРАХУНОК ШИРОКОКУТНОГО 8-ЛІНЗОВОГО ОКУЛЯРА З ПОЛЕМ ЗОРУ 90°

Анотація: В даній роботі здійснено параметричний абераційний синтез оптичної системи ширококутного 8-лінзового окуляра для використання у телескопах або мікроскопах. Окуляр забезпечує кутове поле зору 90°, має задню фокусну відстань 14 мм, діаметр вихідної зіниці 4 мм та її віддалення 16 мм. Процес синтезу оптичної системи здійснювався автоматично засобами глобальної оптимізації за допомогою програмного забезпечення PODIL. Отримані результати розрахунку аберацій та функцій якості підтверджують високу якість зображення оптичної системи синтезованого окуляра.

Ключові слова: ширококутний окуляр, оптична система, МПФ, система Наглера, поле зору, параметричний синтез, оптимізація.

ВСТУП

В ширококутних окулярах кутове поле зору в просторі зображень, зазвичай, перевищує 70° та може досягати 120°. Такі оптичні системи використовуються переважно у мікроскопії та астрономії для забезпечення зручного, ширококутного спостереження зображень [1].

Основною задачею окуляра телескопа є додаткове збільшення зображення, утвореного попереднім оптичним компонентом (часто –об'єктивом) та забезпечення перетину колімованих вихідних пучків на певній відстані від окуляра. Тому важливими параметрами оптичної системи окуляра є його фокусна відстань, кутове поле зору та віддалення зіниці.

Наразі поширеними є декілька різновидів ширококутних окулярів. Вони відрізняються будовою своєї оптичної системи та габаритними розмірами [2, 3]. Через значну вартість та можливі енергетичні втрати світла, загальна кількість лінз в оптичних системах ширококутних окулярів обмежується 9-10 лінзами. З іншого боку, такі окуляри мають забезпечувати високу якість зображення та відносно невелику дисторсію, тому загальна кількість лінз, зазвичай, перевищує 6.

Сучасні моделі ширококутних окулярів від іменитих брендів (як, наприклад, TeleVue) через відмінну якість зображення завоювали абсолютну повагу аматорів астрономії в багатьох країнах. На рис. 1 представлено зовнішній вигляд декількох зразків ширококутних окулярів компанії Tele Vue Optics, Inc. [4, 5]. Всі вони забезпечують кутове поле зору 82°, містять по 6-7 лінз в 4-5 групах та мають фокусну відстань від 13 до 17 мм.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ

В даній роботі пропонується здійснити перевірку можливості автоматизованого абераційного синтезу високоякісної оптичної системи ширококутного окуляра. Автоматизація розрахунків досягається за рахунок задіяння сучасного алгоритму глобальної оптимізації та використання спеціалізованого програмного забезпечення.

Мета запропонованого підходу – повна автоматизація процедури параметричного синтезу багатолінзового ширококутного окуляра та відсутність

потреби в якісній стартовій оптичній системі.



Рис. 1 – Сучасні комерційні зразки окулярів серії Nagler компанії Tele Vue Optics, Inc.: *а* – Type-4 17mm (2") [4]; *б* – Type-6 13mm (1.25") [5]

ЧИСЕЛЬНИЙ РОЗРАХУНОК ШИРОКОКУТНОГО ОКУЛЯРА

В даній роботі було проведено автоматизований розрахунок оптичної системи 8-лінзового ширококутного окуляра, який призначений для роботи в видимому спектральному діапазоні з вихідною зіницею 4 мм, що віддалена від останньої оптичної поверхні на 16 мм. Окуляр повинен забезпечувати кутове поле зору 90° та мати задню фокусну відстань 14 мм.

Розрахунок здійснювався за допомогою розробленого програмного забезпечення «PODIL» з використанням модифікованого алгоритму глобальної оптимізації. Раніше такий підхід був успішно застосований під час автоматизованого розрахунку типів оптичних систем різноманітного призначення [6, 7].

Розрахунок окулярів зручно проводити в зворотному ході променів, адже в прямому ході променів оптична система окуляра має нескінченно віддалену площину зображень.

Під час чисельного моделювання вихідними даними для параметричного абераційного синтезу були встановлені такі параметри та обмеження:

- загальна кількість лінз – 8;
- кутове поле зору в просторі предметів – 90° ;
- спектральний діапазон – видимий (0,47...0,65 мкм);
- задня фокусна відстань – 14,08 мм;
- діаметр вхідної зіниці – 4 мм (в даній оптичній системі вхідна зіниця є одночасно й апертурною діафрагмою);
- віддалення зіниці від зовнішньої поверхні окуляра – 16 мм;
- діапазон допустимих осьових товщин лінз – 2,5...11 мм;
- діапазон допустимих осьових повітряних проміжків – 0,1...10 мм;
- діапазон кривизни оптичних поверхонь – (-0,08...0,08) мм;
- мінімальна товщина лінз на краю – 1,8 мм;
- мінімальна товщина повітряних проміжків на краю – 1 мм;
- максимальне значення відносної дисторсії по полю для основної довжини хвилі – 10%.

Контроль фокусної відстані здійснювався заданим регулятором – кутом апертурного променя на виході системи. При заданому діаметрі вхідної зіниці (4 мм) тангенс цього кута дорівнював $-0,142$.

Для параметричного синтезу стартова оптична схема задавалася довільно (в даному випадку – у формі плоско-паралельних пластин), а оціночна функція генерувалася для мінімізації середньоквадратичних значень радіусів точкових діаграм з пошуком найкращих марок скла з каталогів SCHOTT і CDGM. При цьому алгоритмом глобальної оптимізації досліджувався заданий багатовимірний простір пошукових з розміром популяції 100 на кожну змінну. Така процедура потребувала декількох годин роботи програми в багатопоточному режимі.

Далі складалася інша оціночна функція – вже для поліпшення значень поліхроматичної модуляційної передавальної функції для різних точок поля зору на фіксованій просторовій частоті (в даному випадку – 20 ліній/мм). Під час цього розрахунку розмір популяції був зменшений до 30.

Результати пошуку оптимального розв'язку представлені на рис. 2 і 3.

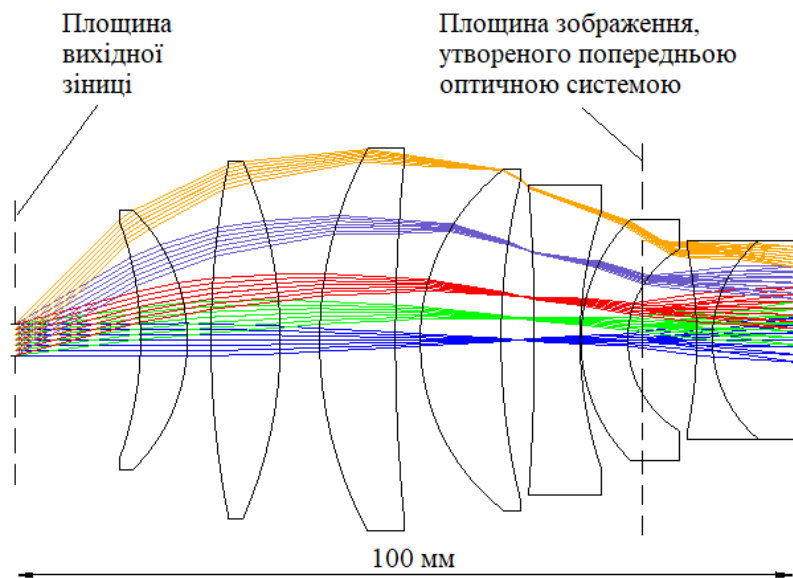


Рис. 2. Оптична схема розрахованого окуляра з ходом осьових та позаосьових променів (показано в зворотному ході променів)

Про якість зображення отриманої оптичної системи свідчать графіки поліхроматичних модуляційних передавальних функцій, представлені на рис. 3. Відносна дисторсія не перевищує 10%, а всі зазначені вище конструктивні вимоги (обмеження) виконані.

ВИСНОВКИ

Проведений параметричний абераційних синтез оптичної системи 8-лінзового ширококутного окуляра підтвердив ефективність автоматизованого розрахунку за допомогою програмного забезпечення PODIL, призначеного для проектування оптичних систем. Отримані результати вказують на високу якість зображення, утворюваного розрахованою оптичною системою окуляра.

Перевагами отриманої оптичної системи є велике кутове поле зору (90°), помірна дисторсія (не більше 10%) та достатнє для практики віддалення зіниці (16 мм).

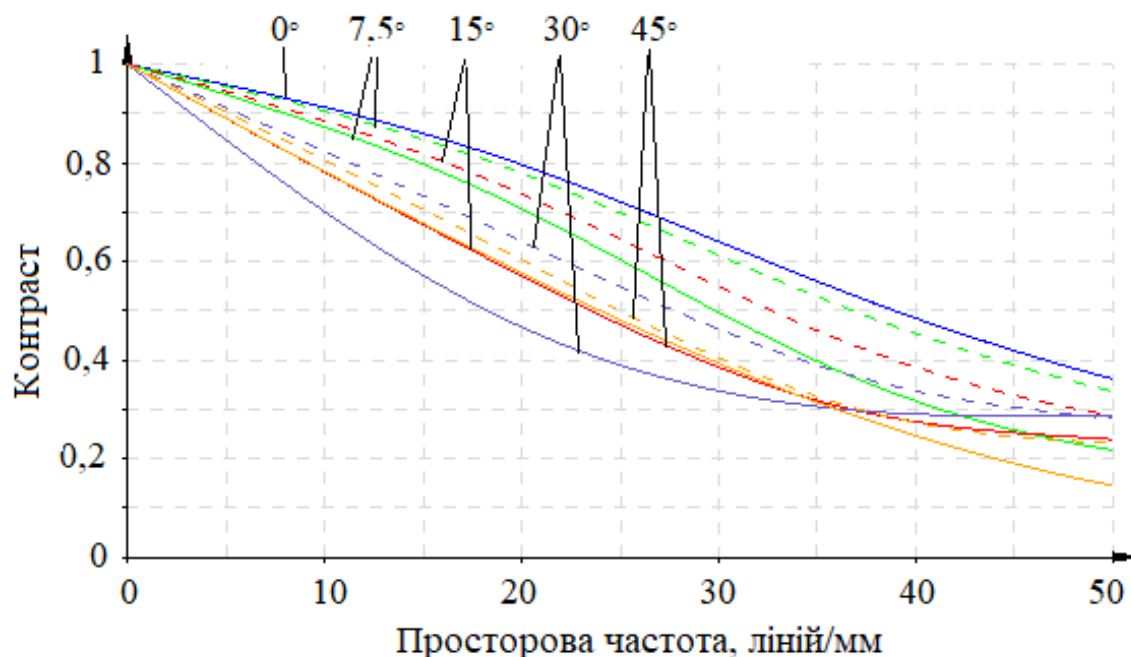


Рис. 3. Графіки поліхроматичних модуляційних передавальних функцій розробленого ширококутного окуляра для різних точок поля зору: суцільні криві – для меридіональної площини; пунктирні – для сагітальної

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Al Nagler, Founder, Choosing an Eyepiece – Step by Step. Tele Vue Optics. 2014.
- [2] Paolini W. Choosing and Using Astronomical Eyepieces. Springer, New York, NY. 2013. 442 p. doi: <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-7723-5>.
- [3] Как выбрать окуляр [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://m.astroscope.com.ua/vybor_okulyarov/29323.htm
- [4] Tele Vue Nagler Type-4 17mm Eyepiece (2") Overview [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://www.bhphotovideo.com/c/product/329433-REG/Tele_Vue_EN4_17_0_Nagler_Type_4_17mm.html#:~:text=Inspired%20by%20the%20venerable%20Nagler,optimized%20for%20deep-sky%20viewing
- [5] Tele Vue Nagler Type-6 13mm Eyepiece (1.25") [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://www.bhphotovideo.com/c/product/329437-REG/Tele_Vue_EN6_13_0_Nagler_Type_6_13mm.html
- [6] Сокурєнко В. М., Вакулєнко М. М. Автоматизований розрахунок окулярів з дифракційними оптичними елементами // Вісник Хмельницького національного університету: Технічні науки. – Хмельницький, 2018. – №1 (257). – с. 107-112.
- [7] Сокурєнко В. М., Тростяньська О. В. Синтез оптичної системи окуляра для мікродисплея з високою роздільною здатністю // Вісник Хмельницького національного університету: Технічні науки. – Хмельницький, 2019. – №6 (279). – с. 206-210. – doi: 10.31891/2307-5732-2019-279-6-206-210.

УДК 621.384.3

С. М. Маслова, студентка гр. ПО-81
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ТЕПЛОВІЗОРА HIKMICRO LYNX PRO LH15 ДЛЯ БЕЗПІЛОТНИКІВ

Анотація: На сьогоднішній день питання використання тепловізорів у військовій сфері є неабияк актуальним в Україні. Саме тепловізори дозволяють виявляти, розпізнавати, ідентифікувати та визначати координати цілей незалежно від часу доби та застосування противником засобів маскуванню у видимому діапазоні оптичного спектра. В статті досліджується можливість використання тепловізора Hikmicro Lynx Pro LH15 у складі безпілотних літальних апаратів.

Ключові слова: БПЛА, тепловізор, оптико-електронні системи, оптичний спектр, обробка зображень.

ВСТУП

В безпілотних літальних апаратах (БПЛА) широко застосовуються тепловізійні системи для спостереження об'єктів у інфрачервоному (ІЧ) діапазоні випромінювання, що дозволяє безконтактно вимірювати температури об'єктів живої та неживої природи. БПЛА часто пов'язані із застосуванням не тільки у військовій сфері, а й в транспортній, промисловій, в проведенні комунікацій, сільському господарстві, зменшенні наслідків стихійних лих, збереження навколишнього середовища та порятунку життів.

МЕТА РОБОТИ

Метою даної роботи є дослідження і обґрунтування можливості використання тепловізора Hikmicro Lynx Pro LH15 у складі безпілотних літальних апаратів.

МАТЕРІАЛИ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Для проведення дослідження було використано тепловізор Hikvision Lynx Pro LH15 на матриці на мікроболометричній VOX 384x288 (рис. 1). Дальність дії приладу складає 1650 метрів. Додатково зображення може бути передане через Wi-Fi на телефон або інший пристрій, на якому встановлено відповідний додаток, що є однією з вагомих переваг в сучасних реаліях.

В даному дослідженні буде розглядатися відображення теплової характеристики об'єкта в різних режимах роботи приладу для визначення найефективнішого.



Рис. 1. Тепловізор Hikmicro Lynx Pro LH15

АНАЛІЗ ФУНКЦІОНАЛУ ТЕПЛОВІЗОРУ HIKVISION LYNX PRO LH15

<i>Властивості</i>	<i>Hikvision Lynx Pro LH15</i>
Об'єктив	15 мм / F1.0
Тип матриці	VOX
Розділення матриці	384x288
Оптичне збільшення	1,47 [×]
Цифрове збільшення	2 [×] /4 [×] /8 [×]
Поле зору, град	17,5 ° × 13,1 °
Дистанція виявлення	1650 м
Обмеження роботи по часу доби	Вдень та вночі
Час роботи від однієї батареї, год	7,5
Габарити	171 × 61 × 57
Вага	290
Робоча температура, ° С	від -20 до 55
Лінійне поле зору на 1000 м	306,25

АНАЛІЗ ПРОВЕДЕНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Для більшої деталізації зображення, що проектується, можна використовувати цифровий зум із збільшенням 2[×], 4[×] або 8[×]. Тепловізор має чотири режими роботи. На представлених нижче рисунках зображені теплові характеристики людини і автомобіля, отримані за допомогою тепловізора.

На рисунках 2, 3 зображені теплові характеристики об'єктів в режимі «White hot» – теплий яскравого кольору. Чим вища температура, тим світлішим буде тон.



Рис. 2



Рис. 3

На рисунках 4, 5 зображені об'єкти в режимі «Black hot» – теплий у темному кольорі. Чим вище температура, то темніший буде тон.



Рис. 4



Рис. 5

На рисунках 6, 7 зображені об'єкти в режимі «Red hot» - зображення як у «black hot» із червоним виділенням найгарячіших елементів.



Рис. 6



Рис. 7

На рисунках 8, 9 зображені об'єкти в режимі «Fusion» – в залежності від температури, зображення забарвлюється від білого, жовтого, червоного, рожевого до фіолетового.



Рис. 8



Рис. 9

ВИСНОВОК

Проведені натурні дослідження свідчать про можливість використання тепловізора Hikmicro Lynx Pro LH15 в малогабаритних безпілотних літальних апаратах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Колобродив В.Г. Проектування тепловізійних і телевізійних систем спостереження: Підручник / В. Г. Колобродов, М. І. Лихоліт – К.: НТУУ «КПІ» ім. І. Сікорського, 2007.
- [2] Тепловізор Hikvision Lynx Pro LH15, [Online]. Доступно: <https://buckexpert.com.ua/katalog/okhota/teplovizory/teplovizor-hikmicro-15xf-detail>
- [3] Інфрачервона термографія. Основи. Техніка, Використання / Л. З. Госсорг. *Наук. керівник – д.т.н., проф. Колобродов В. Г.*

УДК 621.384.3

В.С. Танчук, студент гр. ПО-11мп, професор Колобродов В.Г.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

НЕОДНОРІДНЕ РОЗПІЗНАВАННЯ ОБЛИЧЧЯ ПОЛЯРИЗАЦІЙНИМ ТЕПЛОВІЗОРОМ, ВИКОРИСТОВУЮЧИ СЛОВНИКОВЕ НАВЧАННЯ ОЗНАК

Анотація. Однією з найскладніших областей досліджень у комп'ютерному баченні є неоднорідне розпізнавання обличчя, основна задача якого є точне розпізнавання зображення, зробленого за допомоги альтернативних методів, наприклад в тепловому спектрі. Великого використання набуло поляризаційне тепловізійне зображення, за допомоги якого можна отримати додаткові ознаки та геометричні деталі обличчя, які складно отримати із звичайного тепловізора. Дані ознаки сприяють більш ефективному розпізнаванню обличчя. У цій статті розглядається використання словникового навчання ознак, для отримання обробленого зображення видимого та тепловізійного спектрів, які будуть схожі між собою та більш точні для порівняння та розпізнавання.

Ключові слова: розпізнавання обличчя, поляризація, словникове навчання ознак, пост-обробка, виділення ознак, цифрова обробка зображення

ВСТУП

Розпізнавання обличчя має широке застосування у комерційній, військовій та цивільній сферах використання, починаючи від розпізнавання людей на веб-сайтах в соціальних мережах і закінчуючи спостереженням для національної безпеки. В даний момент часу, дослідження та розробки розпізнавання обличчя переважно зосереджені на видимому спектрі. Для спостереження в нічний час використання звичайних камер не задовольняє поставленій задачі, тому для цього використовують тепловізійні камери.

Основне питання неоднорідного розпізнавання обличчя полягає в тому, як точно ідентифікувати видиме зображення обличчя із зображеннями, зробленими в тепловому спектрі. Для більш ефективного розпізнавання, використання звичайних тепловізорів не є ефективним. Точнішої обробки зображення можна добитися, використовуючи поляризаційні тепловізори, які виділяють додаткові ознаки та геометричні деталі обличчя.

В статті розглянуто наступний алгоритм розпізнавання обличчя, використовуючи звичайне зображення та зображення з поляризаційного тепловізора: використання словникового навчання ознак для отримання словникових наборів даних; використання створених словників для відновлення та синтезу зображень із видимого та поляризаційного зі спільними ознаками; створення моделі і датасету для навчання.

ВИКОРИСТАННЯ ПОЛЯРИЗОВАНОГО ТЕПЛОВІЗІЙНОГО ЗОБРАЖЕННЯ ДЛЯ РОЗПІЗНАВАННЯ ОБЛИЧЧЯ

Для характеристики поляризаційного зображення використовують вектори Стокса S_0, S_1, S_2, S_3 [1]:

$$\begin{aligned} S_0 &= I_0 + I_{90} \\ S_1 &= I_0 - I_{90} \\ S_2 &= I_{45} - I_{135} \end{aligned} \quad (1)$$

Параметри Стокса описують стан поляризації цілі, використовуючи інтенсивність поляризаційного світла із різними кутами поляризації $I_0, I_{45}, I_{90}, I_{135}$. Так як на вхідних зображеннях немає штучного освітлення, то кругова

поляризація відсутня, тому вектор S_3 не використовується. Також використовується ступінь поляризації, який описує частину електромагнітної хвилі, яка є лінійно поляризованою[2]:

$$P = \frac{\sqrt{S_1^2 + S_2^2}}{S_0} \quad (2)$$

Поляризаційне тепловізійне зображення обличчя, представлене S_1 і S_2 , доповнює звичайну інформацію теплового зображення, представлену S_0 , надаючи додаткові текстурні та геометричні деталі, які покращують розпізнавання, приклад зображень з цими ознаками наведений на Рис.1 [2].

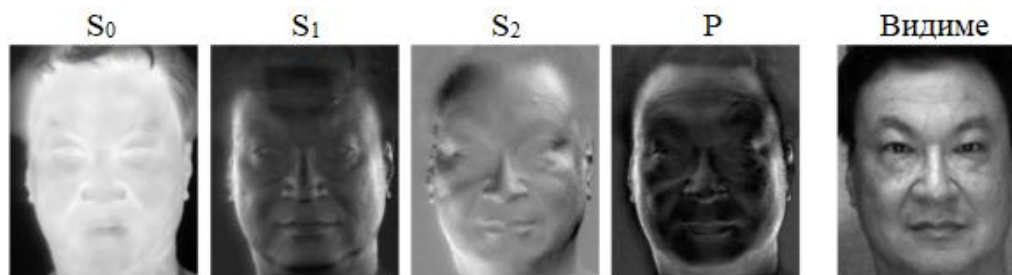


Рисунок 1. Приклад зображення S_0 , S_1 , S_2 , P та зображення видимого діапазону

ОПИС МЕТОДУ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕННЯ ДЛЯ СТВОРЕННЯ МОДЕЛІ РОЗПІЗНАВАННЯ ОБЛИЧЧЯ

Метод, який розглядається в даній роботі, включає дві основні компоненти для досягнення крос-модельного синтезу та розпізнавання обличчя (Рис.2) [1]:

- 1) Використання архітектури словникового навчання ознак. Використання отриманого словника на видиме та поляризаційне зображення, використовуючи патч відновлення (patch-wise sparse recovery);
- 2) Виконання пост-обробки та виділення ознак.

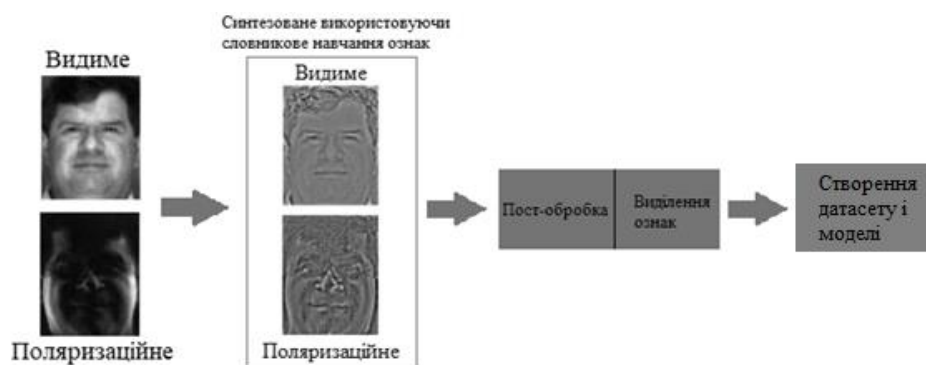


Рисунок 2. Процес розпізнавання обличчя розглянутого методу

Розглянемо архітектуру словникового навчання ознак. Словникове навчання ознак – це метод навчання ознак, який спрямований на знаходження розрідженого представлення вхідних даних (також відомого як розріджене кодування) у вигляді лінійної комбінації основних елементів, а також самих базових елементів. Основна мета словникового навчання, це синтезувати зображення обличчя для інфрачервоного спектру та видимого, на основі навченого словника. Синтезовані зображення будуть мати схожі ознаки обличчя

і тим самим їх порівняння буде набагато точнішим. Головною проблемою даного методу є створення словника. Створення словника використовує вхідне зображення, або готовий набір даних (датасет). Після створення словника, можна виконати синтезування вхідного зображення [3].

Після отримання синтезованого зображення, необхідно виконати пост-обробку зображень, використовуючи різницю гаусіанів (DoG) та нелінійну гіперболічну тангенціальну сигмоїду (th). Це виконується для збільшення кореляції між тепловійним та видимим синтезованими зображеннями.

Для того, щоб підкреслити краї та виконати фільтрацію високих та низьких частот, використовується смуговий фільтр DoG [1]:

$$I_{DoG}(x, y) = [G(x, y, \sigma_0) - G(x, y, \sigma_1)] \cdot I(x, y)$$

$$G(x, y, \sigma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}}, \quad (3)$$

де I – вхідне зображення, σ_0 та σ_1 – радіуси фільтру.

Щоб зробити контури більш чіткими на зображенні, необхідно використати сигмоїду гіперболічного тангенсу[1]:

$$T(I_{DoG}(x, y)) = th\left(\frac{I_{DoG}(x, y)}{\sigma_{DoG}}\right) \quad (4)$$

де, σ_{DoG} – є стандартним відхиленням відфільтрованого зображення I_{DoG} .

Наступний етап після пост-обробки – це виділення ознак із зображення. Для цього використовується дескриптор ознак гістограми напрямлених градієнтів (англ. *histogram of oriented gradients*, HOG), який полягає в тому, що зовнішній вигляд і форму локального об'єкта в межах зображення можна описати розподілом градієнтів інтенсивності або напрямків країв. Приклад роботи дескриптора ознак наведено на Рис.3 [4].



Рисунок 3. Приклад використання дескриптора ознак гістограми напрямлених градієнтів

Отримані, після функції HOG, ознаки використовуються для створення та навчання моделі, яка в подальшому буде використовуватися для розпізнавання обличчя, використовуючи поляризаційні тепловізори.

РЕЗУЛЬТАТИ ОТРИМАНИХ ЗОБРАЖЕНЬ ДЛЯ РОЗПІЗНАВАННЯ

Зображення для виконання обробки та створення датасету для моделі бралися з «Polarimetric Thermal Face Image Dataset», який в собі має зображення обличчя людей в видимому діапазоні, зображення векторів стокса S_0 , S_1 , S_2 та ступеня поляризації P [2].

Ефективність синтезу та попередньої обробки зображень обличчя продемонстрована на Рис. 4 [1].

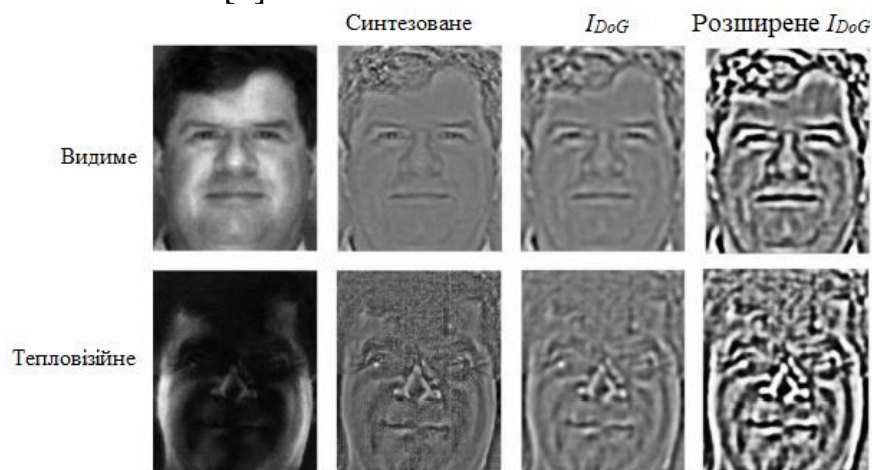


Рисунок 4. Результати обробки зображення видимого та поляризаційного

На рисунку видно синтезовані зображення як видимого, так і теплового зображення. Синтезовані зображення здатні отримувати набагато більше інформації і особливостей. Рис. 4 демонструє, як після виконання пост-обробки у зображення виділяються контури та зменшуються шуми.

ВИСНОВКИ

Розглянута обробка поляризаційного та видимого зображення показала дуже гарні результати. Запропонована обробка зображення на основі словникового навчання ознак, дає можливість отримати спільні ознаки поляризаційного зображення з видимим, що значно спрощує створення моделі для розпізнавання обличчя. А виконана пост-обробка виділяє важливі для розпізнавання об'єкти. В подальших планах створення моделі розпізнавання об'єктів та оптимізація обробки зображення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Dong, Chunhua, et al. "Cross polarimetric thermal-to-visible heterogeneous face recognition by coupled dictionary learning." *Infrared Technology and Applications XLVI*. Vol. 11407. International Society for Optics and Photonics, 2020.
- [2] Hu, Shuowen, et al. "A polarimetric thermal database for face recognition research." *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition workshops*. 2016.
- [3] Song, Pingfan, et al. "Coupled dictionary learning for multimodal image super-resolution." *2016 IEEE Global Conference on Signal and Information Processing (GlobalSIP)*. IEEE, 2016.
- [4] Brown, Dane. "Investigating Combinations of Feature Extraction and Classification for Improved Image-Based Multimodal Biometric Systems at the Feature Level", 2018.

УДК 621.384.3

О. В. Ульянов, студент гр. ПО-81, д.т.н., проф. Колобродов В.Г.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННА СИСТЕМА ПОЛЯРИЗАЦІЙНОГО ТЕПЛОВІЗОРА ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ БЕЗПІЛОТНИКІВ

Анотація: У даній статті розглядається явище поляризації світла в інфрачервоному діапазоні, а саме дослідження цього явища для використання в поляризаційних тепловізорах. Кінцевим завданням даної системи є виявлення безпілотних літальних апаратів.

Ключові слова: поляризація світла, тепловізор, безпілотник.

ВСТУП

На сьогоднішній день однією з найбільших загроз під час бойових дій є - безпілотні літальні апарати (БПЛА) супротивника. Вони несуть велику загрозу, так як використовуються для розвідки, корегування вогню артилерією та мінометних розрахунків. Також деякі БПЛА можуть наносити бомбово-ракетні удари з великою точністю. Безумовно, завчасне виявлення та знищення ворожих БПЛА є пріоритетною задачею на полі бою. Для покращення систем виявлення БПЛА противника буде розглянуто варіант використання оптико-електронної системи поляризаційного тепловізора.

МЕТА РОБОТИ

Метою даної роботи є порівняння та дослідження переваг використання поляризаційного тепловізора для виявлення БПЛА. Об'єкти дослідження – тепловізійний монокуляр HikMicro LYNX Pro LE15 та тепловізійний модуль VLM640.

МАТЕРІАЛИ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Тепловізійні оптико-електронні системи для інфрачервоного (ІЧ) діапазону широко використовуються у військовій галузі. Такі системи мають недоліки пов'язані із роздільною та температурною здатністю вихідного зображення. І для покращення якості роботи тепловізійних систем використовуються явище поляризації світла. Завдяки цьому явищу, на виході оптичних систем ІЧ діапазону можна не тільки отримати набагато більше корисної інформації про ціль, а і збільшити максимальну дальність виявлення цілі. Данна система допоможе швидше виявляти ворожі БПЛА та ефективніше їх знищувати.

АНАЛІЗ ПРОВЕЗЕНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Об'єктами дослідження є – тепловізійний монокуляр HikMicro LYNX Pro LE15 та тепловізійний модуль VLM640 з чутливістю мікроболометричного сенсора 20 мК. У групі з чотирьох пікселів на кожен піксель нанесений поляризатор. Поляризація кожного фільтра відрізняється на 45 градусів. Таким чином, кути поляризації: 0-180, 45-225, 90-270, 135-315 градусів.

Результати дослідження, проведеного з тепловізійним монокуляром, зображені на рисунках 1-3, автомобіль з собакою на відстані 20 м. Фото були зроблені в темний час доби в різних режимах роботи тепловізора.



Рис.1 Режим «White Hot»



Рис.2 Режим «Black Hot»



Рис.3 Режим «Fusion»

Як ми бачимо, температура автомобіля значно нажча за температуру собаки, це чітко видно в будь якому режимі. У всіх зображеннях є спільний недолік – поверхні різних об'єктів з однаковою температурою зливаються в одну область, котра не надає жодної інформації щодо структури поверхні та унеможлиблює обробку зображення.

Розглянемо зображення, утворенні тепловізійним модулем VLM640, що присутні на рисунках 4-6: фото в режимі звичайного тепловізора (рис.4), в режимі поляризаційного тепловізора (рис.5), комплексне зображення (рис.6), де яскравість це теплове випромінювання, а колір це кут поляризації.

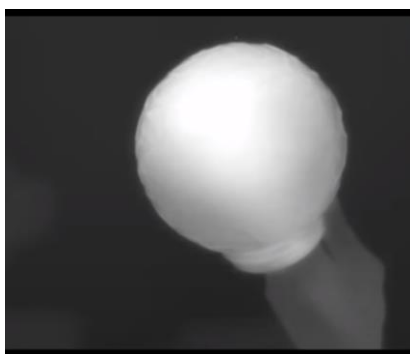


Рис.4

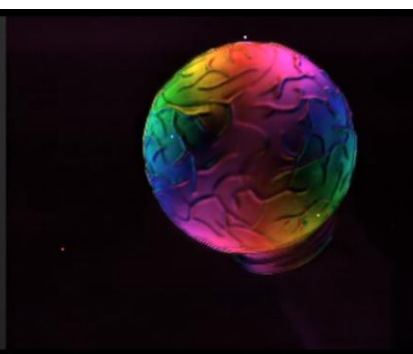


Рис.5



Рис.6

Поляризаційний режим тепловізора дозволяє відобразити поверхневу структуру об'єкта, або відрізнити різні об'єкти.

ВИСНОВОК

За результатами проведених досліджень можемо зробити висновок, що звичайні тепловізори мають низьку температурну роздільну здатність. Це не

надає жодної інформації щодо структури поверхні, що значною мірою ускладнює роботу, адже неможливо відрізнити ціль на тлі об'єктів однакової температури.

Натомість використання тепловізорів з поляризаційною матрицею надає більш чітку інформацію щодо структури поверхні цілі, що у свою чергу полегшує наведення та її знищення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Колобродив В.Г. Проектування тепловізійних і телевізійних систем спостереження. Підручник / В. Г. Колобродов, М. І. Лихоліт – К.: НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського», 2007.
- [2] Інфрачервона термографія. Основи. Техніка, Використання / Л. З. Госсорг.
- [3] Бачити невидиме. Поляризація у далекому ІЧ, 2018 [Online]. Доступно: <https://habr.com/ru/post/422535/>

Наук. керівник – д.т.н., проф. Колобродов В. Г.

УДК 53.084.4

А.А. Храбан, студент гр. ПО-11мп, д.т.н. Чиж І.Г.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ОПТИЧНИЙ КООРДИНАТОР САМОНАВЕДЕННЯ ДЛЯ ЛАЗЕРНОГО ЦІЛЕВКАЗІВНИКА

Анотація. Розглянуто сучасний стан розвитку оптичних систем координаторів керованих боеголовок та напрямки підвищення керованості такою боеголовкою за рахунок вдосконалення її оптичної системи.

Ключові слова: оптичний координатор, керовані боеголовки, керована зброя, напівактивний лазерний цілевказівник, ортоскопічний окуляр.

ВСТУП

Оптичні координатори лазерних цілевказівників стрімко розвиваються. Початок їх розвитку – 2010 рік, держава де вони почали розроблятися – США. Зараз США на озброєнні знаходяться найточніші та найбільш мобільні головки самостійного наведення (ГСН) для бомб, ракет снарядів. Типове значення поля зору ГСН становить ± 12 град. В діапазоні поля зору ± 15 град чутливість до зміщення зображення цілі становить приблизно 1% від кутового поля зору. Існує модель корпорації BAЕ Systems, яка виготовляє оптичну ГСН для високоточних боєприпасів з покращеною навігацією, автоматизацією встановлення місцезнаходження цілі та з самонаведенням для різних типів боеголовок, що використовуються в місцевості, де відсутня можливість використання GPS-навігації. Їхні розробки, типу LRASM, здатні автоматично знаходити та ідентифікувати цілі. Такі системи також були вбудовані в 155-мм артилерійські боеголовки M982 Excalibur, що за допомогою GPS-навігації знешкоджують цілі на відстані до 60км з точністю попадання в радіусі 2м відносно самої цілі.

В цій роботі метою є вдосконалення оптико-електронного координатора з підвищенням ефективності використання керованої боеголовки за рахунок зменшення впливу метеозавад на роботу оптико-електронного координатора.

ОПТИЧНИЙ КООРДИНАТОР САМОНАВЕДЕННЯ

Принцип дії розглянутих оптико-електронних ГСН пояснюється рис. 1. Оптика ГСН на квадрантному фотоприймачі створює зображення світлової плями, що генерується лазерним цілевказівником на самій цілі з наступним відбиттям світла лазера від цілі, рис.2. Підсилювач збільшує електричні сигнали з кожного елемента фотоприймача і передає дані у мікропроцесор, який видає сигнали на рулі ракети, за допомогою яких ракета спрямовується на цілі. Світлова пляма на фотоприймачі при цьому повинна бути в центральному положенні.

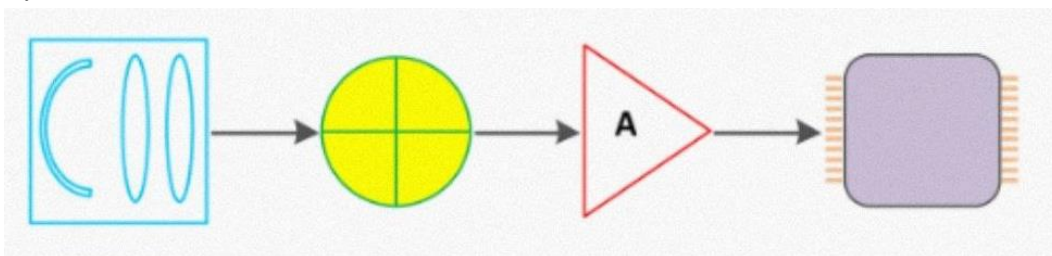


Рисунок 1. Принцип роботи оптичної ГСН: оптична система, квадрантний фотоприймач, підсилювач, мікропроцесор.

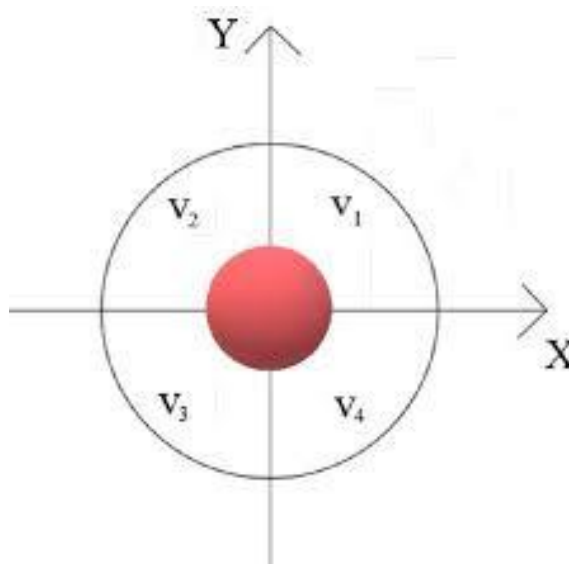


Рисунок 2. Пляма лазерного цілевказівника в площині квадрантного фотоприймача

Утворення на фотоприймачі якісного точкового зображення опроміненої зони на цілі має суттєвий недолік. Він полягає у звуженні лінійного діапазону вихідної характеристики координатора та у підвищенні впливу коливань оптичних характеристик атмосфери на траєкторії між координатором та ціллю, пов'язаних з метеоумовами.

Для усунення вказаних недоліків пропонується в площині фотоприймача використовувати сильно дефокусоване зображення опроміненої зони цілі.

При цьому лінійний діапазон вихідної характеристики ГСН розширюється, завадостійкість ГСН, пов'язана з метеорологічними умовами атмосфери, збільшується.

Встановлено, що оптична система ГСН створює найкращі умови функціонування ГСН, якщо вона подібна системі окуляра Рамсдена, рис.3, або системі ортоскопічного окуляра, рис.4.

В ортоскопічному окулярі краще виправлена дисторсія, ніж в окуляра Рамсдена, що сприяє підвищенню точності наведення носія на ціль.

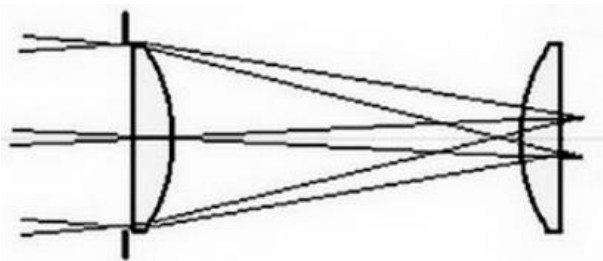


Рисунок 3. Окуляр Рамсдена

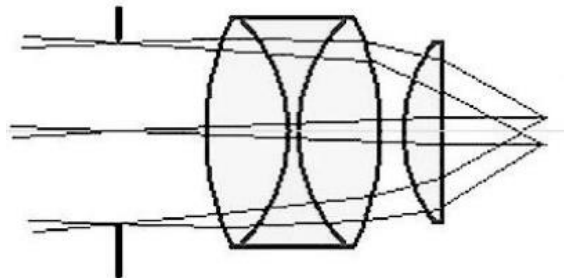


Рисунок 4. Ортоскопічний окуляр

ВИСНОВКИ

Використання оптичної системи ГСН, побудованої за схемою ортоскопічного окуляра, або системи Рамсдена дозволить:

1. Збільшити кутове поле зору ГСН.
2. Покращити лінійність передавальної характеристики в заданому робочому діапазоні функціонування ГСН.
3. Зменшити вплив метеоумов на стабільність визначення координат цілі за рахунок дефокусування зображення в площині фотоприймача.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Design and analysis of optical system of semi-active laser seeker – Xiaojin Pu, Yawen Du and Quanlin Dong School of Instrumentation Science and Opto-electronics Engineering, Beihang University, Beijing, China – Режим доступу: [www.URL:https://www.researchgate.net/publication/346553214_Design_and_analysis_of_optical_system_of_semi-active_laser_seeker](https://www.researchgate.net/publication/346553214_Design_and_analysis_of_optical_system_of_semi-active_laser_seeker)
- [2] Design of strapdown laser guided seeker – Qiang Huang, Bo Lang, Lu Xue – Режим доступу: [www.URL:https://www.spiedigitallibrary.org/conference-proceedings-of-spie/11023/1102350/Design-of-strapdown-laser-guided-seeker/10.1117/12.2520601.full?SSO=1](https://www.spiedigitallibrary.org/conference-proceedings-of-spie/11023/1102350/Design-of-strapdown-laser-guided-seeker/10.1117/12.2520601.full?SSO=1)
- [3] Abnormal data detection of guidance angle based on SMP-SVDD for seeker – Chao Liang, Dedong Cui, Zhengang Yan, Xiangyu Zhang, Qiang Luo, Jiang Hu & Xuan He – Режим доступу: [www.URL:https://www.nature.com/articles/s41598-022-05565-5](https://www.nature.com/articles/s41598-022-05565-5)
- [4] Optical Seeker for Munitions Systems – BAE Systems Nashua, NH , August 1, 2018 – Режим доступу: [www.URL:https://www.mobilityengineeringtech.com/component/content/article/adt/pub/features/application-briefs/32737](https://www.mobilityengineeringtech.com/component/content/article/adt/pub/features/application-briefs/32737)
- [5] Angle Measurement of Objects outside the Linear Field of View of a Strapdown Semi-Active Laser Seeker – Yongbin Zheng,* Huimin Chen, and Zongtan Zhou – Режим доступу: [www.URL:https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6021938/](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6021938/)

Наук. керівник – д.т.н. Чиж І.Г.

УДК 681.7.520

*І. Т. Хуторовий, студент гр. ПО-11мп, к.т.н., доц. Сокурєнко В. М.
КПІ ім. Ігоря Сікорського*

АВТОМАТИЗОВАНИЙ СИНТЕЗ 12-ЛІНЗОВОГО ТЕЛЕОБ'ЄКТИВА

Анотація: В даній роботі виконано перевірку дієздатності процедури автоматизованого синтезу нових оптичних систем телеоб'єктивів, що базується на алгоритмі глобальної оптимізації. Зокрема, здійснено абераційний синтез оптичної системи 12-лінзового телеоб'єктива з фокусною відстанню 300 мм, відносним отвором 1:4, який призначений для роботи в видимому діапазоні з матричними приймачами зображення формату 35-mm film full-frame. Наведені результати розрахунку телеоб'єктива підтверджують високу якість виправлення аберацій та результативність запропонованого підходу.

Ключові слова: телеоб'єктив, оптична система, параметричний синтез, глобальна оптимізація, аберация.

ВСТУП

Через свої унікальні властивості наближення віддалених об'єктів телеоб'єктиви знайшли широке застосування в різних галузях техніки, насамперед в фото- і відеоапаратурі, геодезії, військовій техніці тощо [1].

Найпростіші варіанти телеоб'єктивів містять два лінзових дублети, розділені значним повітряним проміжком. Зазвичай, це позитивний ахромат попереду та негативний ахромат позаду. Для таких систем коефіцієнт телеукорочення зазвичай становить близько 0,8 [2].

Більш складні зразки телеоб'єктивів мають вже по 6-8 лінз . Проте вони не спроможні забезпечити відмінну якість зображення по великому полю огляду. При застосуванні матричних фотоприймачів з відносно великими розмірами зображення (коли діагональ чутливої площадки стає більшою за 40 мм) оптичні системи телеоб'єктивів починають потребувати 10 лінз та більше. При цьому часто окремі лінзи виготовляють із особливих марок скла, які характеризуються унікальними дисперсійними властивостями [3].

Для прикладу на рис. 1 показані сучасні комерційні зразки телеоб'єктивів провідних виробників. Як видно, велика кількість оптичних поверхонь дозволяє на практиці досягти якісного коригування аберацій та забезпечити високу просторову роздільну здатність оптичної системи.



Рис. 1 – Телеоб'єктив компанії Canon, фокусна відстань 400 мм, F/4, 18 лінз в 12 компонентах, довжина 233 мм [4]



Рис. 2 – Телеоб'єктив компанії Sony, фокусна відстань 300 мм, F/2.8, 13 лінз в 12 компонентах, довжина 364 мм [5]

В даній роботі здійснена спроба провести автоматизований параметричний синтез оптичної системи багатолінзового телеоб'єктива з високою якістю зображення за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ

Метою даної роботи є перевірка шляхом комп'ютерного моделювання ефективності автоматизованого параметричного абераційного синтезу оптичної системи багатолінзового телеоб'єктива засобами глобальної оптимізації.

ЗАПРОПОНОВАНИЙ ПІДХІД

Для розрахунку оптичної системи об'єктива в даній роботі була використана комп'ютерна програма проектування оптичних систем PODIL, у якій реалізовано алгоритм модифікований варіант адаптивного методу диференційної еволюції Коші [6]. Функціональні можливості програми дозволяють знаходити конструктивні параметри оптичної системи практично в автоматичному режимі.

Перед запуском алгоритму глобальної оптимізації конструктор має:

- визначитися з загальною кількістю лінз;
- ввести значення основних параметрів оптичної системи (типу поля зору, апертури, спектрального діапазону);
- відмітити як змінні (параметри оптимізації) радіуси оптичних поверхонь, осьові відстані та параметри оптичних середовищ;
- ввести діапазони на допустимі числові значення змінних;
- згенерувати стандартну оціночну функцію (для мінімізації середньоквадратичних радіусів світлових плям або мінімізації функцій деформації хвильових фронтів);
- за потреби доповнити оціночну функцію додатковими складовими (різними обмеженнями для окремих аберацій або геометричних параметрів оптичної системи та її складових).

Як параметри оптимізації можуть бути також використані коефіцієнти асферичності та специфічні параметри «нестандартних» поверхонь (наприклад, параметри дифракційних ґраток тощо) [7].

ПРИКЛАД ПАРАМЕТРИЧНОГО СИНТЕЗУ ТЕЛЕОБ'ЄКТИВА

В даній роботі для розрахунку було обрано 12-лінзовий телеоб'єктив з фокусною відстанню 300 мм, діафрагмовим числом F/4 та кутовим полем зору 8,4°. Телеоб'єктив призначений для роботи у видимому спектральному діапазоні (0,47...0,65 мкм) з основною довжиною хвилі 0,555 мкм.

Для параметричного синтезу цього телеоб'єктива було встановлено обмеження на загальний осьовий розмір (тобто відстань від першої оптичної поверхні до площини зображень) – 200 мм, фіксоване значення заднього фокального відрізка – 55 мм, мінімальну та максимальну осьові товщини лінз – 2 мм і 16 мм відповідно, мінімальну товщину лінз на краю – 2 мм та максимальне допустиме значення дисторсії – 2%.

Встановлення регулятора вихідного кута апертурного променя на останній оптичній поверхні об'єктива дозволило зафіксувати значення задньої фокусної відстані телеоб'єктива (в даному випадку, тангенс цього кута становив $-0,125$ при діаметрі вхідної зіниці 75 мм).

Для забезпечення ходу вихідних пучків, близького до телецентричного, граничне значення кута головного променя похилого пучка в просторі зображень обмежувалося значенням 10° .

Процедура глобальної оптимізації не потребує участі конструктора, адже є повністю автоматичною.

Оптична схема отриманого телеоб'єктива представлена на рис. 2.

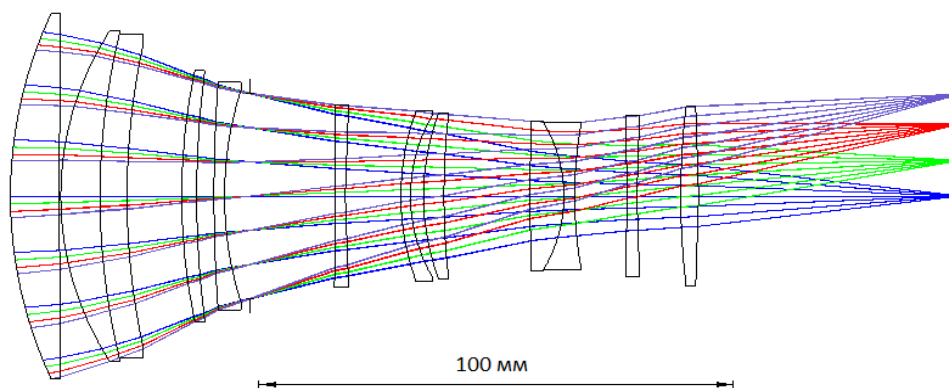


Рис. 2 – Оптична схема з ходом променів розробленого телеоб'єктива

Відносна дисторсія телеоб'єктива не перевищує 2% .

На рис. 3 представлені графіки поліхроматичних модуляційних передавальних функцій (МПФ) розробленого об'єктива для точок поля зору в центрі, середній зоні та на периферії. Вони показують досягнуту рівномірну корекцію аберацій по полю зору.

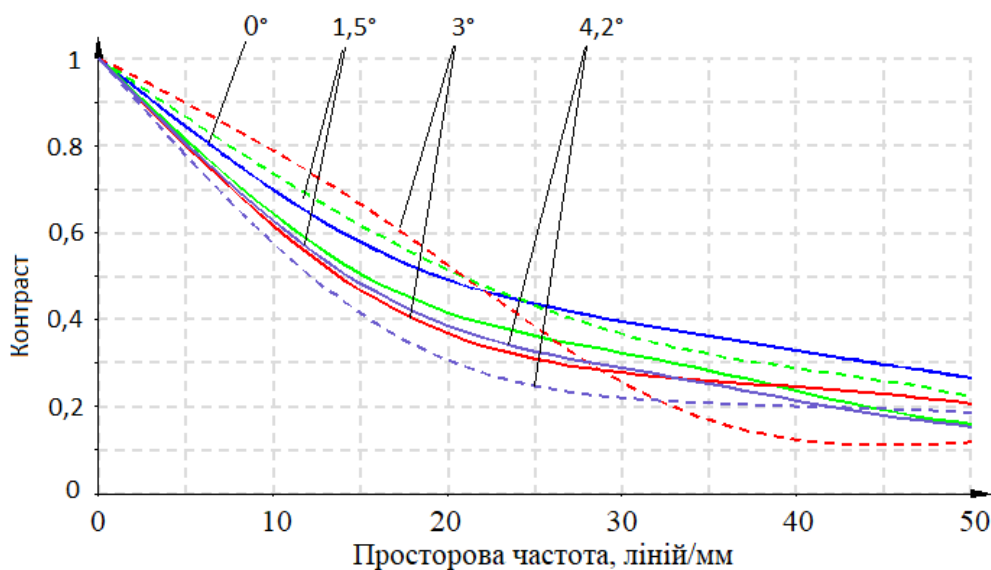


Рис. 3 – Графіки поліхроматичних модуляційних передавальних функцій розробленого телеоб'єктива для різних точок поля зору

ВИСНОВКИ

Розглянутий в роботі спосіб автоматизованого параметричного синтезу оптичних систем, що базується на алгоритмах глобальної оптимізації, дозволяє отримати оптичні схеми багатолінзових телеоб'єктивів з урахуванням встановлених конструктором вимог та обмежень. Розроблений 12-лінзовий телеоб'єктив з фокусною відстанню 300 мм та відносним отвором 1:4 забезпечує високий ступінь корекції монохроматичних та хроматичних аберацій для кутового поля зору $8,4^\circ$, що дає змогу застосовувати матричні фотоприймачі з діагоналлю чутливої площадки до 44 мм.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Телеоб'єктив та його вплив на зображення [Електронний ресурс] – 2022. Режим доступу: <http://ua.phhsnews.com/articles/howto/what-is-a-telephoto-lens.html>.
- [2] Rudolf Kingslake, R. Barry Johnson. Lens Design Fundamentals: Second Edition – 2009. – 388 p.
- [3] Handbook of Optical Systems: Vol. 3. Aberration Theory and Correction of Optical Systems. / H. Gross, H. Zügge, M. Peschka, F. Blechinger; Edited by Herbert Gross. – WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim. – 2014. – 780 p.
- [4] Canon EF 400mm F/4 DO IS II USM Specifications [Електронний ресурс] – Canon Store. 2022. – Режим доступу: <https://www.canon.co.uk/lenses/ef-400mm-f-4-do-is-ii-usm-lens/specification.html>.
- [5] Sony 300mm F/2.8 SSM G Review [Електронний ресурс]. – Photo Jottings. 2022. – Режим доступу: <https://photojottings.com/sony-300mm-f2-8-ssm-g/>.
- [6] Choi T. J. An adaptive Cauchy differential evolution algorithm for global numerical optimization / T. J. Choi, C. W. Ahn, J. An // The Scientific World Journal. – 2013. – Vol. 2013. – Article ID 969734, 12 pages. – DOI 10.1155/2013/969734.
- [7] Сокурєнко В. М., Буйлов І. С. Застосування адаптивного методу диференційної еволюції Коші для розрахунку об'єктивів // Вісник НТУУ "КПІ". Серія приладобудування. – 2016. – № 51(1) – с. 41-47.

Секція 3.

Комп'ютерно-інтегровані технології виробництва приладів

UDC 621.941.08

Bogdan Melnychuk, student gr. PB-81, assoc. prof. Vadym Shevchenko
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute

CONTROL SYSTEM FOR THE PART PROCESSING PROCESS IN A CONDITONS OF UNMANNED PRODUCTION

Annotation. The article presents a method of measuring the gradual wear of cutting tools during turning operations with the use of ultrasonic diagnostics, measuring the torque and power measurement on the machine spindle motor, measured with wattmeter for CNC machines directly during the cutting process. The measurement scheme is presented.

Keywords: instrument wear, ultrasound, torque, wattmeter, automated production.

INTRODUCTION

Information about condition and expected tool suitability time is a necessary source of information for determining best processing parameters, so control systems of cutting process are being implemented in the production sector based on measuring the level of tool wear [1]. Such systems allow to provide necessary accuracy of processing and quality of a surface, and also to increase productivity in the conditions of unmanned technology.

As the working surface of the cutting tool is affected by mechanical loads, high temperature and cooling liquid, the efficiency of the cutting tool is being decreased due to continuously deformations of the cutting edge.

The aim of this work is to develop a system for monitoring the process of processing parts on CNC machines in the conditions of "unmanned technology", that based on the measurement of this signals: ultrasonic echo-signal, torque on the machine spindle and power on the machine spindle motor.

METHODS OF MEASURING SIGNALS

Ultrasonic method allows to monitor of the condition of the cutting tool edge in real time. It is based on measuring the time, that ultrasound wave travels through the tool body, so it allows to calculate the length of the cutting edge. Knowing the speed and time of ultrasound propagation in the medium, it is easy to determine the desired path of the ultrasonic wave.

Ultrasonic vibrations in the medium in the form of pulses are emitted by a piezoelectric source, which is installed in the caliper of the machine. If these pulses collide with an obstacle, then reflected part of the energy of the emitted wave creates the echo pulse, which then returns to the radiation source. At this point in time, the piezoelectric element switches from radiation mode to receiver mode.

The time between radiation and echo pulse receiving is the time that the ultrasonic pulse travels the path "transmitter-reflective surface-receiver". It is can be measured with an accuracy of one nanosecond. It was found that the path difference can be measured by ultrasound control with an accuracy of ± 2 microns [2].

For measuring, a mark is being created near the cutting edge, using an electrical discharging machining. It has constant dimensions: 1.2 mm deep and 1.2 mm thick. The ultrasonic wave that transmitted to the tool body travels through the tool body and reflects from the mark, front surface and back surface of the cutting edge.

The echo signal consists of three parts. The first part is a reflection from the

mark, which is the same for all instruments, the second part is an echo signal from the back surface, and the third part is a signal from the front and side surfaces. The wear of the cutting edge is calculated by the time difference between the mark and back surface reflections.

This system also measures power on the machine spindle motor, using a digital wattmeter and the torque that is measured using bearings with strain gauges that are installed on the machine spindle. These parameters determine the degree of wear of the cutting tool and prevent defects during production.

It is known that the torque and power increases with increasing tool wear [3], therefore, these parameters can be used as a source of information, for monitoring of the condition of the cutting tool edge in real time, as well for the developing a system for monitoring the process of processing parts on CNC machines.

The block diagram of the wear monitoring system of the cutting tool edge is presented in Fig. 1.

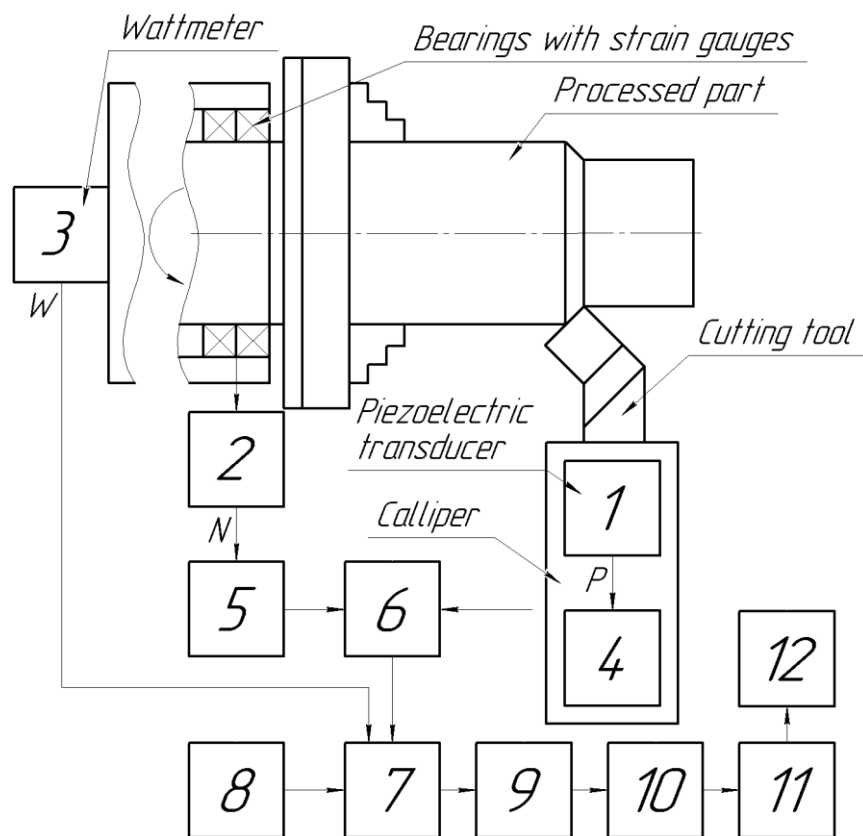


Fig. 1. Block diagram of the control system of the turning process

In this block diagram: Block 1 is a piezoelectric transducer that generate and radiate ultrasonic waves in pulse form and receives reflected echo-signals. Block 2 measures the torque on the machine spindle using bearings with strain gauges. Block 3 is a digital wattmeter, that connected to the machine spindle motor. It measures voltage and current, multiplies them, and outputs power. Accordingly, the received signals are amplified and filtered in blocks 4 and 5, from where they enter the analog-to-digital converter (Block 6). The digital wattmeter has its own analog-to-digital converter, and the signals it provides do not require filtering and amplification so information from it goes directly to Block 7, where all received signals are processed

and compared with those stored in the database (Block 8). Based on this comparison, Block 9 calculates wear rate and actual wear of the cutting tool and sends this information to the control unit (Block 10). The control unit evaluates which of the cutting parameters (feed, speed, etc.) can be changed and generates corrected control signals that are entered in the CNC machine program (Block 11). The program processes the signals and transmits them to the machine's actuators (Block 12).

During the processing of the part, the wear area of the cutting edge of the tool increases, respectively, the amount of reflected ultrasonic energy increases in direct proportion. The time difference between the echo signal of the mark and the back surface of the cutting edge also decreases. Also, the greater the tool wear, the greater the force required to remove chips from the surface of the workpiece, and the torque on the machine spindle increases accordingly. Similarly, the level of acoustic emission increases.

CONCLUSION

The developed control system can be used in turning operations in CNC machines in the conditions of "unmanned technology" to create the most optimal processing mode, decrease the number of defective parts and, accordingly, increase production efficiency.

The cutting process monitoring system, which is based on measuring the torque on the machine spindle, the power of machine spindle motor and ultrasonic measurements, will allow you to measure the level of wear of the cutting tool in real time during processing in conditions of unmanned technology, assess the degree of wear under specified cutting modes and improve the reliability and accuracy of the processing process.

REFERENCES

- [1] Остафьев В. А., Тымчик Г. С., Шевченко В. В. Адаптивная система управления. Механизация и автоматизация управления. Киев, 1983, №1, с. 18-20.
- [2] Abu-Zahra N.H., Yu G. Analytical model for tool wear monitoring in turning operations using ultrasound waves. *Int. J. Mach. Tools Manuf.* 2000; 40:1619–1635. DOI: 10.1016/S0890-6955(00)00030-4.
- [3] Tool Condition Monitoring (NCM) - The status of research and Industrial Application / G. Byrne, D. Dornfeld, I. Inasaki et. al. // *CIRP Annals.* - 1995. - Vol. 44. - № 2. - P. 541-568

Supervisor – PhD, Assoc. Prof. Shevchenko V.V.

УДК 621.865.8

О.А. Соколова, студентка гр. ПБ-01мн
КПІ ім. Ігоря Сікорського

МЕТОД МОДЕЛЮВАННЯ ПОХИБКИ ПОЗИЦІОНУВАННЯ РОБОТІВ-МАНІПУЛЯТОРІВ

Анотація. У статті розглянуто питання точності позиціонування роботів-маніпуляторів. Запропоновано метод моделювання похибки позиціонування роботів-маніпуляторів на основі штучних нейронних мереж та чисельних методів оптимізації з використанням рою частинок та генетичного алгоритму.

Ключові слова: робот-маніпулятор, точність позиціонування, штучні нейронні мережі, метод рою частинок.

ВСТУП

Сучасні роботи широко використовуються для виконання операцій свердління, фрезерування та шліфування плоских та криволінійних поверхонь, а також вимірювання параметрів і контролювання якості деталі. Тому питання високої точності позиціонування та орієнтації робота-маніпулятора має велике значення та може бути реалізовано лише шляхом компенсації похибки або калібрування.

Метою дослідження є розроблення методу компенсації похибки позиціонування промислового робота на основі штучних нейронних мереж, оптимізованого за допомогою алгоритму оптимізації рою частинок (GPSO – genetic particle swarm optimization).

ОСНОВНА ЧАСТИНА

Штучні нейронні мережі (ШНМ) є обчислювальними моделями, які можуть встановлювати нелінійний зв'язок між вхідними та вихідними даними. Завдяки перевазі швидкої збіжності, універсальної апроксимації та не потрапляння в локально оптимальне рішення, штучні нейронні мережі обрано для прогнозування похибок робота шляхом моделювання. Кількість прихованих шарів ШНМ має значний вплив на продуктивність і точність прогнозування. Взагалі, щоб забезпечити досить високу здатність ШНМ до узагальнення та уникнути явища «перенавчання», слід вибрати максимально компактну структуру мережі. В даний час досі не існує ефективної теорії, яка б керувала вибором оптимального значення кількості прихованих шарів і вузлів. Крім того, ініціалізація ваг і обмежень також важлива для продуктивності збіжності алгоритмів ШНМ. Методи випадкової ініціалізації, які зазвичай використовуються, можуть легко помістити діапазон пошуку параметрів мережі в неоптимальний інтервал, що призведе до повільного зближення мережі.

У цій роботі пропонується застосувати алгоритм GPSO для отримання оптимального значення кількості вузлів прихованого шару, кількості прихованих шарів, початкових ваг і порогових значень для ШНМ, щоб остаточно реалізувати прогнозування похибок позиціонування робота. Він використовує операції відбору та перехрещення в генетичному алгоритмі [1] для створення нової популяції з метою розширення простору пошуку рою частинок [2] та реалізації оновлення. Розташування та швидкість рою частинок можна отримати як

$$X_{\text{доч1}} = (1 - p)X_{\text{бат1}} + pX_{\text{бат2}} \quad (1)$$

$$X_{\text{доч2}} = pX_{\text{бат1}} + (1 - p)X_{\text{бат2}} \quad (2)$$

$$V_{\text{доч1}} = \frac{|V_{\text{бат1}}|}{|V_{\text{бат1}} + V_{\text{бат2}}|} (V_{\text{бат1}} + V_{\text{бат2}}) \quad (3)$$

$$V_{\text{доч2}} = \frac{|V_{\text{бат2}}|}{|V_{\text{бат1}} + V_{\text{бат2}}|} (V_{\text{бат1}} + V_{\text{бат2}}) \quad (4)$$

де $X_{\text{дочt}}$ та $X_{\text{батt}}$ ($t = 1, 2$) – розташування дочірніх та батьківських частинок відповідно; $V_{\text{дочt}}$ та $V_{\text{батt}}$ ($t = 1, 2$) – швидкості дочірньої та батьківської частинок відповідно; p – ймовірність перехресного переходу; t – кількість дочірніх чи батьківських частинок.

В даній роботі позиції частинок використовуються для представлення кількості прихованих шарів і вузлів, початкових ваг і порогових значень для ШНМ. Середньоквадратична похибка (MSE) між фактичним виходом і бажаним результатом ШНМ визначається як

$$f = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^m (y_{ij} - y'_{ij})^2, \quad (5)$$

де N – загальна кількість зразків; m – вихідний розмір мережі; y_{ij} , y'_{ij} – фактичний вихід і бажаний вихід j -го нейрона вихідного шару i -ї вибірки відповідно.

Ідея об'єднати ці два методи раніше була описана в роботі [3], проте використовувалася для електромагнітної інженерії.

Процес навчання моделі ШНМ на основі алгоритму GPSO, що представлено на рисунку 1, реалізується в такій послідовності:

- нормалізація даних та розділення їх на навчальні та тестові вибірки відповідно до певної пропорції (наприклад, 80% даних навчальні, а 20% – тестові);

- визначення кількості прихованих шарів і обмежень, ініціалізація структури мережі;

- отримання оптимальних параметрів ШНМ за допомогою алгоритму GPSO за поточної структури мережі;

- навчання ШНМ, із використанням алгоритму зворотного розповсюдження і перевірка структури мережі. Результати прогнозу.

- перевірка умови циклу алгоритму. Якщо умови виконуються, то цикл завершується і зберігається структура мережі та відповідні результати прогнозування; інакше – повернення до етапу визначення . кількості прихованих шарів і обмежень.

Отримана ШНМ, тобто модель прогнозування похибки позиціонування робота пропонується використовувати для компенсації похибок в його цільових точках.

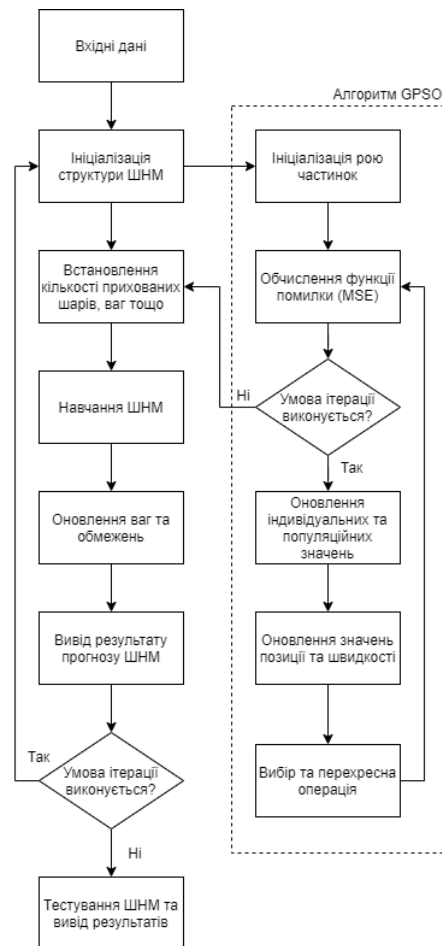


Рис. 1. Блок-схема навчання моделі ШНМ з алгоритмом GPSO.

ВИСНОВКИ

Запропоновано метод підвищення точності позиціонування роботів-маніпуляторів шляхом моделювання похибки основі штучних нейронних мереж та чисельних методів оптимізації. Для моделювання похибки позиціонування роботів-маніпуляторів доцільно використовувати штучну нейронну мережу з використанням методу рою частинок та генетичного алгоритму.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1]Калініна І.В., Лісовиченко І.О., Використання генетичних алгоритмів в задачах оптимізації. *Міжвідомчий науково-технічний збірник «Адаптивні системи автоматичного управління»*, № 1(26), 2015. – С. 48-61,
- [2]A Gentle Introduction to Particle Swarm Optimization. Режим доступу URL: <https://machinelearningmastery.com/a-gentle-introduction-to-particle-swarm-optimization/>
- [3]Yahya Rahmat-Samii, Genetic Algorithm (GA) and Particle Swarm Optimization (PSO) in Engineering Electromagnetics / Yahya Rahmat-Samii // 17th International Conference on Applied Electromagnetics and Communications, 1–3 October 2003. Dubrovnik, Croatia.

Наук. керівник – к.т.н., доц. Вислоух С.П.

UDC 621.391

V.I. Yurkovets, postgraduate, Ph.D., docent Vyslouh S.P.

Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute

MATHEMATICAL MODEL OF THE ASSEMBLY PROCESS OF AXISYMMETRIC DETAILS

Abstract: The issue of developing a mathematical model of the assembling process of axisymmetric parts based on the definition of torque is considered. The necessary conditions for folding parts in the process of automated assembly are given. The scheme of connection of details which is a basis of the analysis of folding of axisymmetric details is given.

Keywords: automated assembly, mathematical model, axisymmetric details, torque.

INTRODUCTION

In the conditions of automated assembly production to increase the efficiency of the assembling process of axisymmetric parts, it is important to predict the reliability of the technological assembly.

In the work of A.A. Gusev [1] describes the parameters of the connection that affect the reliability of the assembly of parts: the length of the connection; designs and parameters of the assembly mechanism; modes of assembly process; direction of the assembly mechanism; gap in the connection; surface quality; material.

To significantly reduce installation errors, it is necessary to correctly choose the base scheme of the base and connecting parts. In the works of V.V. Kasilova, A.A. Guseva [1; 2] the condition was fulfilled when the movement of the connecting part was considered as a plane-parallel movement of the body with a shift of the center of mass. This condition of movement of the part under the action of all applied forces allowed for the calculation of the limiting angle of skew of the connecting part, which depends on the relative gap in the connection. During the further connection process, the value of the skew angle decreases to almost zero.

When using rotational motion in the process of assembling cylindrical parts, especially from elastic materials due to the influence of rotation is twisting of parts. According to the pointing effect, the diameter of the part decreases [3]. This means a decrease in tension or, in other words, an increase in the gap in the connection, which increases the reliability of the assembly.

The presence of rotation of the part will reduce the normal reaction in the direction of the combination, and hence the amount of friction, which should reduce the likelihood of jamming parts.

In the work of M.G. Crystal [4] studied the assembly of parts during the rotation of the installed part relative to the inertial coordinate system and the rotation of the base part relative to the inertial coordinate system. However, the conditions of forceful interaction were practically not considered. A study of the effect of rotation is presented in the work of Chinese scientists from Tsinghua University [5]. However, the model is presented only in a quasi-static formulation. No additional efforts were made.

The combination of parts is the main stage of automatic assembly. Execution of the stage is possible only under certain conditions, among which the following should be distinguished [6]:

- conditions associated with elastic movements in the technological system of assembly equipment;

- conditions caused by processes directly in the assembly area.

The nature of the connection process is determined by technological and design parameters [7]:

- angular velocity of capture;
- linear speed of lowering of a detail;
- coefficient of friction between the parts of the connection;
- gap in the connection.

The task of calculating the conditions of assembly is to determine the accuracy of the relative location of the parts to be assembled and compare them with the allowable accuracy, which guarantees the combination of a pair of parts. Solving this problem is a mandatory step in creating a process of automated assembly of parts [8].

Therefore, the task is to develop a mathematical model of the assembly process, which will study the conditions and assess the technological reliability of the automated assembly process.

RESULTS

The cylindrical shaft is based on the grip of the robot and has the ability to move vertically down and rotate relative to its own vertical axis of the output link of the robot. In this case, the coordinate system ($Oxyz$), associated with the shaft, performs a rotational movement around its vertical axis (Oz) in the process of connecting the parts (Fig. 1).

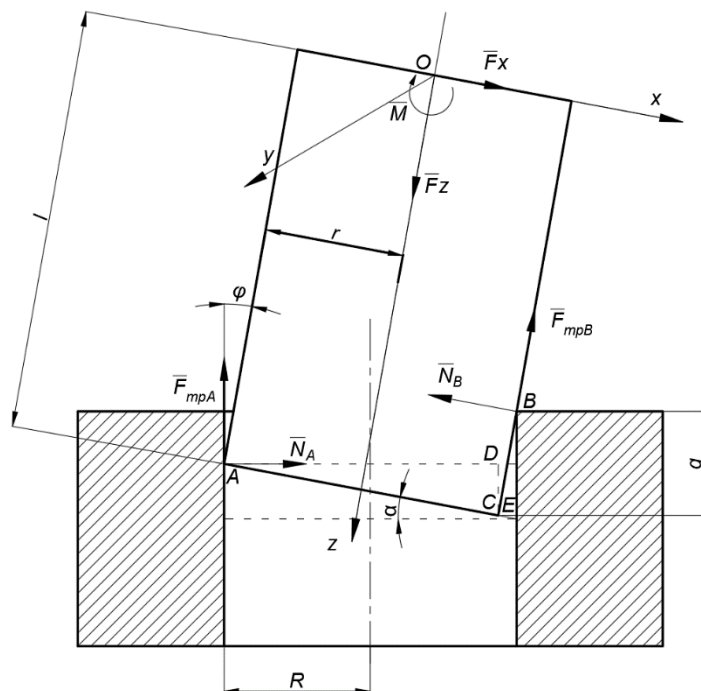


Figure 1. Torque-related connection diagram

In Figure 1 introduces the following notation: F_{mpa} , F_{mpb} – friction forces at points A and B; N_a , N_b – normal reaction; l – a distance from the end of the shaft to the center. R – the radius of the hole of the sleeve; r – the outer radius of the shaft; M – torque; F_x , F_z – torque forces; q – the depth of the shaft to the second contact with the sleeve, φ , α – the limit angle of the skew of the connecting part, we assume $\varphi = \alpha$.

In the process of combining parts, the angle between the parts φ gradually decreases, symmetrical points of contact (A, C) converge when $\varphi = \arccos(r/R)$.

The frequency of rotation must be such that the connecting part, in its translational axial movement, can connect the connecting surfaces in the most favorable combination.

At the moment when point A crosses the inner edge, the velocity of point B is 0, since $\varphi = \arccos(r/R)$ the instantaneous velocity center is at point B.

Geometric relationships can be found in Fig. 1.

$$AD = \frac{2r}{\cos \varphi}, CE = 2R - AD = 2R - \frac{2r}{\cos \varphi},$$

$$\frac{\sin \varphi}{\cos \varphi} = \frac{CE}{BE} = \frac{2R - \frac{2r}{\cos \varphi}}{q}$$

In the vertical assembly scheme, the range of minimum values of assembly forces providing alignment can be determined based on the fact that the first approximation of the connecting part can be represented as quasi-static, ie it can be considered as a set of stepwise movements of the part from the equilibrium to motion. In this case, each step can be described by equilibrium equations corresponding to the small displacements, velocities, and accelerations characteristic of the assembly process and the minimum value of the assembly effort that ensures alignment. At the balance of the part, regardless of the assembly scheme, the sum of the moments of all forces acting on it relative to the instantaneous center of velocity is zero. Equilibrium equations look like this:

On the x-axis: $\sum F_{kx} = 0: F_x - N_B + N_A \cos \varphi - F_{mpA} \sin \varphi = 0,$

On the z-axis: $\sum F_{kz} = 0: F_z - F_{mpB} - F_{mpA} \cos \varphi - N_A \sin \varphi = 0,$

General:

$$\sum M_o(F_k) = 0: F_{mpB}r - N_B \left(l - \frac{q}{\cos \varphi} \right) + N_A r \cos \varphi - F_{mpA} r \cos \varphi - F_{mpA} l \sin \varphi - M = 0,$$

The general solution of the obtained equations allows to determining the minimum values of the assembly effort required to ensure the assembly process.

The analysis of the obtained equations showed that when interacting on the part, the assembly forces at the contact points form significant forces of interaction between the parts, which will increase with decreasing angle between the axes of the parts φ .

The friction forces fN_A and fN_B at symmetrical points of contact are directed opposite to the speed of the part. In plane-parallel motion, all the forces involved in the moving part at the points of contact, create a system of forces in the plane of symmetry of the parts.

Therefore, consider the limit state of equilibrium:

$$F_{mpA} = fN_A, F_{mpB} = fN_B. \quad \boxed{F_{mpA} = fN_A, F_{mpB} = fN_B}$$

Where, f – the coefficient of friction; N_A, N_B – reaction of the forces at the point of contact A and B.

Then the equilibrium equations will look like this:

$$F_X - N_B + N_A \cos \varphi - fN_A \sin \varphi = 0,$$

$$F_Z - fN_B - fN_A \cos \varphi - N_A \sin \varphi = 0,$$

$$fN_B r - N_B \left(l - \frac{q}{\cos \varphi} \right) + N_A (l \cos \varphi - r \sin \varphi) - fN_A (r \cos \varphi + l \sin \varphi) - M = 0$$

From this equation we obtain a general view of the projection of the normal reaction at point A.

$$N_A = \frac{N_Z - fF_X}{2f + 2 \frac{R-r}{q} (1-f^2)}$$

At point B, the projection of the normal reaction will look like this:

$$N_B = F_X + \frac{F_Z - fF_X}{2f + 2 \frac{R-r}{q} (1-f^2)} \left(1 - 2f \frac{R-r}{q} \right)$$

From these equations we can express the torque M :

$$M = N_B (fr - l + q) + N_A \left[l - fr - 2 \frac{R-r}{q} (r + fl) \right]$$

$$M = N_B (fr - l + q) + N_A \left[l - fr - 2 \frac{R-r}{q} (r + fl) \right].$$

The formula is a function that relates the value of the moment M to the values of the forces F_X and F_Z in the limit state of the friction system.

The practical application of this function may be as follows. Having obtained the value F_X and F_Z from the torque sensor, you can use the formula to calculate the value of torque M (let's call M_k), then it can be compared with the value of the torque from the sensor (let's call M_δ). If $M_\delta > M_k$, then the place of jamming of the shaft in the hole; Else $M_\delta < M_k$ then the assembly process takes place.

Based on these relations, the conditions of the system can be determined. The developed mathematical model of dynamics of automatic assembly with superimposition of effect of rotation, establishes interrelations of assembly force with contact reactions in a zone of connection of details, and, therefore, allows to establish conditions of occurrence of jams in the course of connection.

CONCLUSIONS

The article presents a mathematical description of the assembly process of axisymmetric parts of the type "shaft-sleeve" with the use of torque in the assembly process. As a result of calculation, it is possible to define conditions of folding of axisymmetric details that provides reliability of process of assembly before the beginning of performance of operations. With its use, you can evaluate the parameters of the system or the initial conditions for accuracy, reliability of the system, as well as helps to determine the storage of the system and prevent the stoppage of the assembly process.

A promising area of use of the developed model may be the synthesis of a system that provides the necessary initial characteristics of axisymmetric parts before the assembly process, as well as computer modelling of the assembly process.

REFERENCES

- [1] Mathematical modeling of the process of combining cylindrical parts with a guaranteed gap / L.B. Chernyakhovskaya, D.A. Simakov. – M. : Triumph Publishing House, Best Books, 2020. – 147 p.
- [2] Kosilov, V.V. Technological bases for the design of automatic assembly equipment. - M., Mashinostroenie, 1976. -248s.
- [3] Chernyakhovskaya, L.B. Kinematic and dynamic analysis of automatic assembly of cylindrical parts: Monograph / L.B. Chernyakhovskaya. - Samara: SamGTU, 2011. - 76 p.
- [4] Kristal, M.G. Productivity and reliability of assembly machines: monograph / M.G. Crystal. - Volgograd, VolGTU, 2011. - 160 p.
- [5] Liu, Z. Screw Insertion Method in Peg-in-Hole Assembly for Axial Friction Reduction / Z. Liu, L. Song, Z. Hou, K. Chen, S. Liu and J. Xu // in IEEE Access . - 2019. - Vol. 7. – P. 148313–148325. doi: 10.1109/ACCESS.2019.2946406.
- [6] Yurkovets V.I., Visloukh S.P. // Collection of workshops of the XIV All-Ukrainian scientific-practical conference of students, graduate students and young students "LOOKING AT MAYBUTUNE APPLICATION" 18-19 May 2021. – K.: PBF, KPI im. Igor Sikorsky. - 2021. - S. 179-183.
- [7] Gusev, A.A. Engineering. Encyclopedia / Ed. advice: K.V. Frolov (prev.) and others. M. : Mashinostroenie. Assembly technology in mechanical engineering. T. III-5 / A.A. Gusev, V.V. Pavlov, A.G. Andreev and others; under total ed. Yu.M. Solomentsev. - 2006. - 640 p.
- [8] Kholodkova, A.G. Technology of automatic assembly / A.G. Kholodkova, M.G. Crystal, B.L. Shtrikov and others; ed. A. G. Kholodkova. – M.: Mashinostroenie, 2010. – 560 p.

УДК 64.011.56

М.В. Гацько, студент гр. ПБ-11мп
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ГНУЧКА АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ТРАНСПОРТУВАННЯ ДЕТАЛЕЙ З ВИКОРИСТАННЯМ ВСЕНАПРАВЛЕНИХ КОЛІС

Анотація. У даній роботі досліджується автоматизована система транспортування деталей з використанням всенаправлених коліс Ілона. Система дозволяє оптимізувати процес транспортування завдяки підвищеній маневреності та можливості точно нівелювати просторові похибки.

Ключові слова: транспортування, автоматизація виробництва, колеса Ілона, всеспрямоване колесо.

ВСТУП

В цілому, виробничий процес поділяється на технологічну підготовку, технологічний процес, транспортування, зберігання та ремонтування. При цьому частка транспортування зазвичай становить 10 – 20% від всього виробничого процесу, а іноді, навіть більше. Тобто, навіть невелике покращення цієї складової помітно вплине на систему в цілому. Тому, автоматизація транспортування – достатньо важлива проблема, яку необхідно вирішувати.

У виробничих дільницях транспортування заготовок, деталей, складальних одиниць та готових виробів може бути реалізовано за допомогою різноманітних засобів. Існує багато факторів, які впливають на те, яким чином буде реалізовано передача об'єкту виробничого процесу між операціям, найважливішими з яких є тип та рівень автоматизації виробництва, а також частота зміни серій продукції. [1]

В даній роботі досліджено застосування автоматизованих безрейкових візків на всеспрямованих колесах в умовах серійного виробництва.

ПРОБЛЕМА

В той час, коли для одиничного виробництва найбільш оптимальним транспортним засобом для переміщення напівфабрикатів між робочими місця є ручний візок, а для масового і крупносерійного виробництва – конвеєрна стрічка, в середньо- та малосерійному виробництві дуже зручно використовувати автоматичні та автоматизовані візки або ж тактовий стіл. [2]

Одними із особливостей серійного виробництва є високий показник гнучкості, а також розташування верстатів та робочих місць по ходу технологічного процесу. Із-за цих особливостей, використання комплексної деталі і тактового столу може бути дуже ручним. Проте все ж таки є недолік в тому, що в деяких позиціях напівфабрикати будуть простоювати, якщо задіяні не всі поверхні.

При використанні візків проблема простою вирішується, оскільки вони можуть не зупинятися біля тих робочих місць, де відсутні операції.

За типом використання направляючої для візків, самі транспортні засоби можна поділити на рейкові та безрейкові. Перевагою рейкових візків є те, що вони можуть з великою точністю переміщуватись по виробничій ділянці і єдине корегування позиції, яке може бути необхідне – це просунути по рейкам вперед або назад. Недоліком таких візків є те, що при вони не можуть бути зручно

використані у місцях, де необхідні круті повороти

Перевагою безрейкових візків над рейковими є те, що в них більше можливостей для маневрів у виробничій дільниці, що дозволяє використовувати один безрейковий візок в тих місцях, де потрібно використовувати декілька рейкових. До того ж, вони можуть корегувати свій шлях і залежності від технологічного процесу.

Недоліком безрейкових автоматизованих візків є те, що в них складніше скорегувати похибки, які накопичуються при автоматичному переміщенні. На відміну від рейкових, положення в просторі безрейкових візків може відхилитися не тільки вперед та назад, а ще й ліворуч та праворуч. Також можливе відхилення на певний кут. [3]

Однак, теоретично є можливість нівелювати недоліки безрейкових візків, якщо використати всеспрямовані колеса, замість звичайних.

ПОНЯТТЯ ВСЕСПРЯМОВАНИХ КОЛІС

Всеспрямоване колесо Ілона представляє собою конструкцію, яке схоже на колесо, але на ободі якого встановлено ролики під кутом 45° (див. рис. 1). Зазвичай на транспортному засобі встановлено 4 таких колеса, при чому у суворо визначеній орієнтації (див. рис. 2). [4]



Рис. 1. Типова конструкція колеса Ілона

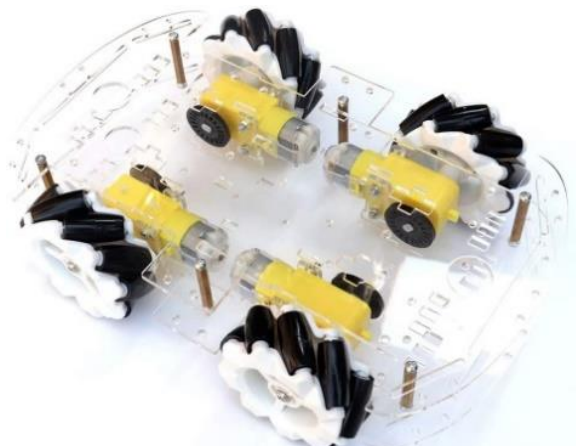


Рис. 2. Найпростіший транспортний засіб із встановленими колесами Ілона.

Недоліками таких коліс є те, що необхідно завжди підтримувати контакт всіх коліс з поверхнею, по якій вони рухаються, менша швидкість руху в порівнянні зі звичайними колесами. Також, вони швидше зношуються.

Зазвичай використовують у таких транспортних засобах використовують чотири колеса, кожне з яких може обертатися незалежно одне від одного. Переміщення транспорту відбувається залежності від того, в якому напрямі буде обертатися те чи інше колесо. На рисунку 3 зображено основні напрями руху, а також те, яким чином вони досягаються. Використовуючи ці чотири рухи, є можливість досягти будь-якої траєкторії руху. При цьому, положення транспортного засобу може бути незалежним від напрямку переміщення. [4]

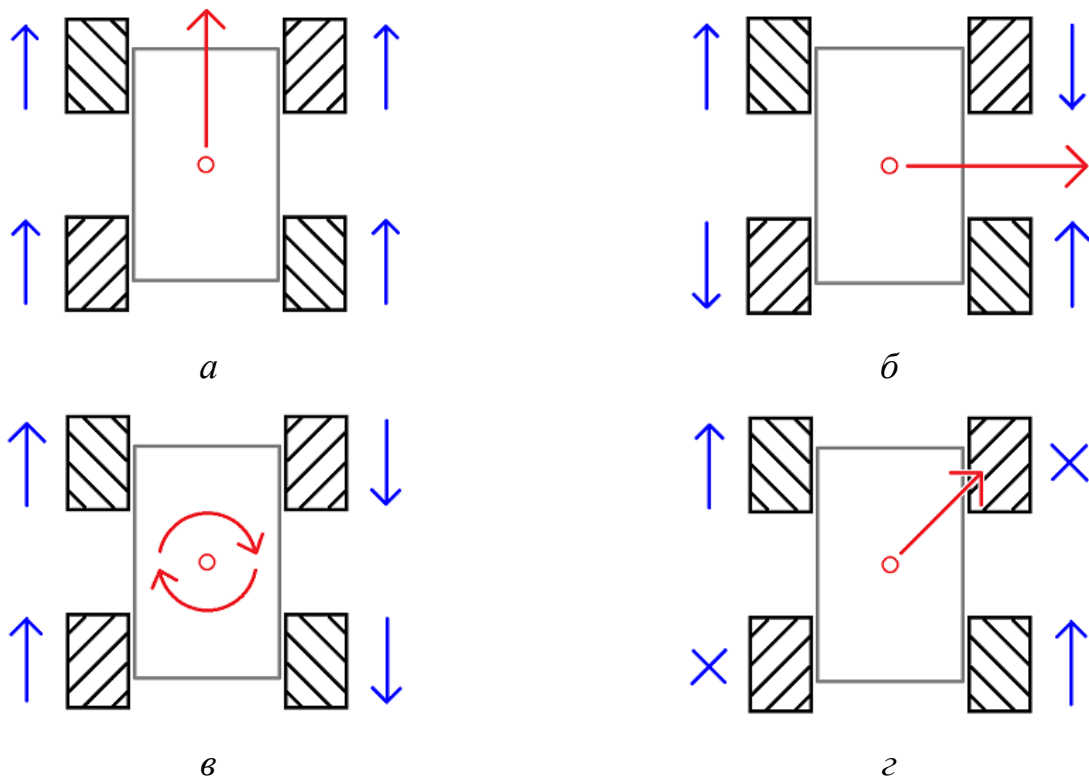


Рис. 3. Напрямок руху транспорту в залежності від обертання коліс: а – рух вперед; б – рух вбік; в – обертовий рух; з – рух по діагоналі

ВИКОРИСТАННЯ КОЛІС ІЛОНА У ВИРОБНИЦТВІ

Сьогодні більшість транспортних засобів на основі коліс Ілона використовуються на простих роботах, які часто використовуються не більше як іграшка або хобі.



Рис. 4. Мобільна платформа KUKA з колесами Ілона

Проте є реальні приклади промислового використання таких коліс. Наприклад, вже існують і активно застосовуються навантажувачі, в основу переміщення яких закладено колеса Ілона.

Найбільших задокументованих успіхів у розробці транспортних засобів на основі таких коліс досягла німецька компанія KUKA (див. рис. 4). Від невеликих роботів, розміром з візок із супермаркету до величезних платформ довжиною до 30 метрів, кожна з яких може переміщувати до 90 тон вантажу із точністю 3 мм. Хоча, вироби цієї компанії здебільшого використовуються у

машинобудуванні, існує можливість адаптувати їх до приладобудівної галузі, як при виробництві і складанні, так і у складських приміщеннях. [6]

ВИСНОВКИ

Оскільки транспортування займає вагомую частку всього виробничого процесу, пропонується використання автоматизованих візків на всепрямованих колесах Ілона для транспортування заготовок, деталей, складальних одиниць та готових виробів між робочими місцями в умовах серійного виробництва

Використання цих коліс дозволить підвищити гнучкість виробництва завдяки їх можливості ефективно змінювати маршрут руху і самостійно нівелювати всі випадкові просторові похибки.

Максимально використовуючи переваги коліс Ілона, а також ефективно компенсувавши їх недоліки, всепрямовані колеса мають потенціал досягти нової ступені транспортування у виробничому процесі..

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Технологія приладобудування: навчальний посібник для студентів напрямку підготовки 6.051003 «Приладобудування», 7.090902 «Наукові, аналітичні та екологічні прилади та системи» приладобудівного ф-ту / Уклад.: Автори: Шевченко В.В., Осадчий О.В., Симута М.О. – К.: НТУУ «КПІ», 2010. – 128 с.
- [2] Організація виробництва : навч. посібник / В. В. Прохорова, О. Ю. Давидова. – Х. : Вид-во Іванченка І.С., 2018. – 275 с.
- [3] Обладнання автоматизованого виробництва“ : навчальний посібник / І. І. Верба, О. В. Даниленко, О. В. Самойленко. – Київ: КПІм. Ігоря Сікорського, 2020. – 260 с.
- [4] Б. Е. Ілон. Колеса для курсової стійкої самохідної машини, які можуть рухатися в будь-якому бажаному напрямку на землі або іншій базі : пат. DE2354404A1 Німеччина; заявл. 30.10.1973; опубл. 16.05.1974. – 8 с.
- [5] Чотирьох приводний робот на колесах Mecanum : seeed studio. URL: https://wiki.seeedstudio.com/4WD_Mecanum_Wheel_Robot_Kit_Series/ (Дата звернення 31.05.2022)
- [6] Технологія приводу KUKA omniMove : Офіційний сайт KUKA. URL: <https://www.kuka.com/en-us/products/mobility/omnimove-drive-technology> (Дата звернення 31.05.2022)

Наук. керівник – к.т.н., доц. Шевченко В.В.

УДК 62-791.2:004.94

М.С. Друзев, студент, гр. ПБ-01мп
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ПАРАМЕТРИ ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ЯКІСТЬ 3D ДРУКУ МЕТОДОМ FDM

Анотація. В даній статті обґрунтовано необхідність проведення досліджень та розробки математичної моделі друку методом FDM зорієнтованої на покращення якості. Наведено параметри які впливають на якість.

Ключові слова: Адитивне виробництво, 3D друк, параметри, якість, FDM технологія.

ВСТУП

Тривимірний (3D) друк, також відоме як адитивне виробництво, є винаходом, призначеним для боротьби зі зростанням конкуренції в глобальній економіці, що призвело до необхідності виробникам постачати нові індивідуальні продукти швидше, ніж раніше, щоб задовольнити запити клієнтів. Це істотно скорочує розробку, а також виробничий цикл, що полегшує виробництва без шкоди для функціональності та механічних характеристик обробленої деталі. Існують різні адитивні технології виробництва, які включають моделювання плавленням осадженням (FDM), пряме осадження металу (DMD), селективне лазерне спікання (SLS), струменеве моделювання (IJM) та стереолітографію (SLA). Ці технології 3D-друку відрізняються за стилями виготовлення та типами матеріалу, який можна використовувати для виготовлення деталей.

Процес FDM - технологія адитивного виробництва, яка використовується для широкого спектру функцій, включаючи створення прототипів, моделювання та виробничі програми [1]. Ця технологія має можливість створювати тривимірні фігури без використання інструментів. На рис. 1 показано схематичне зображення процесу FDM. У процесі FDM вихідний матеріал моделі нитки нагрівається і плавиться до напіврідкого стану. Напіврідкий матеріал потім екструдується через наконечник головки сопла. Головка сопла рухається вертикально та горизонтально, щоб створити 3D-об'єкт безпосередньо з цифрових даних шар за шаром. Процес FDM підтримує різноманітні термопластичні матеріали, такі як ABS, Nylon 12, полікарбонат (PC) і суміш PC-ABS.

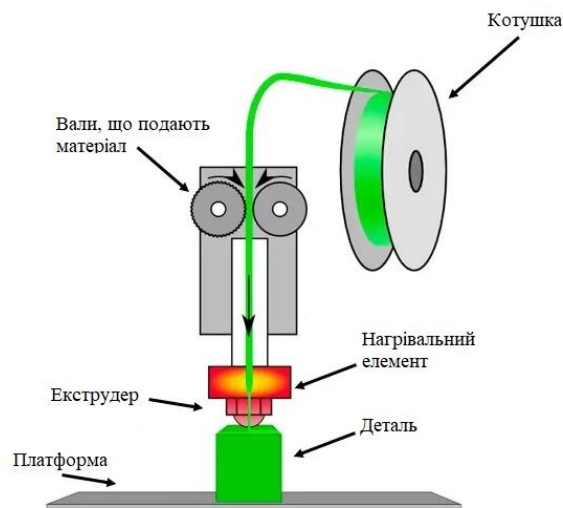


Рис.1 FDM процес.

СТИСЛИЙ ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Якість продукції, що виготовляється за технологіями 3D-друку, такими як FDM, оскільки вона визначає зовнішній вигляд, властивості, термін служби та вартість кінцевого продукту. Було проведено кілька досліджень, щоб вивчити вплив різних параметрів процесу FDM для оптимізації якісних характеристик, таких як механічні властивості, час виготовлення, стабільність розмірів і обробка поверхні виготовлених деталей за допомогою правильного налаштування параметрів процесу, але прогрес був повільним, через складну природу процесу FDM.

В дослідженні K. Thrimurthulu та ін. [2] було створено емпіричні моделі для оцінки оптимальної орієнтації нарощування для шорсткості поверхні та часу виготовлення. Однак ці моделі не можна було використовувати для прогнозування інших параметрів процесу.

В дослідженні T. Nancharaiah та ін. [3] використовували статистичні проекти для визначення впливу умов процесу на точність розмірів. Вони дійшли висновку, що висота зрізу та повітряний зазор між напрямом заповнення є найбільш впливовими факторами для точності деталей, виготовлених за допомогою процесу FDM. Однак оптимальні параметри процесу не були визначені.

В дослідженні S.H. Masood [4] оцінили вплив умов експлуатації FDM на міцність на розрив деталей, виготовлених з полікарбонату FDM. Дослідження зробило висновок, що максимальна міцність частини була досягнута при ширині борта 0,6064 мм і куту растру 45° при використанні стилю побудови як суцільної нормалі.

У більш недавньому дослідженні R.K. Sahu та ін. [5] досліджували вплив умов виготовлення на точність виготовленого прототипу за допомогою нечіткої моделі Mamdani. Це дослідження показало, що відсоткова різниця у розмірах між розрахунковими і фактичними значеннями за допомогою оптимізованих налаштувань становила менше 4,5%. Однак цей підхід вимагає розробки правил і бази даних.

З розглянутої вище літератури можна зробити наступні висновки. По-перше, із спостережень розглянутих досліджень можна помітити, що вибір параметрів обробки FDM, які підлягають оптимізації, повністю заснований на оптимізації однієї характеристики якості за раз. По-друге, було визначено єдине оптимальне налаштування змінних процесу для однієї характеристики якості, але в реальному житті однакове оптимальне налаштування параметрів обробки може призвести до небажаних результатів для іншої характеристики якості.

ОСНОВНІ ПАРАМЕТРИ ПРОЦЕСУ FDM

На основі огляду літератури було визначено параметри процесу, які суттєво впливають на якість деталей:

- Товщина шару
- Растровий кут
- Ширина внутрішнього екструдуювання

Товщина шару (також відома як висота зрізу) — це висота шару

екструдованого екструзійною головкою. Значення висоти зрізу залежить від матеріалу моделі та діаметра насадки. Товщина шару є важливим параметром дизайну, який впливає на час друку, вартість, зовнішній вигляд та фізичні властивості друкованої частини. Часто візуальна різниця між частинами, надрукованими при 100 мкм та 200 мкм, дуже мала. Тим не менш, частина на 100 мкм займе вдвічі більше часу для друку (3D-принтер повинен буде трасувати вдвічі більше поперечних перерізів), і це позначиться на ціні. Вплив висоти шару більш помітний на кривих і кутах і менш помітний на прямих вертикальних стінах через поетапний характер 3D-друку. Збільшення товщини шару призводить до підвищення міцності, але є можливість виникнення ступуючого ефекту (рис.2), який стає більш помітним на поверхнях з більшою кривизною.

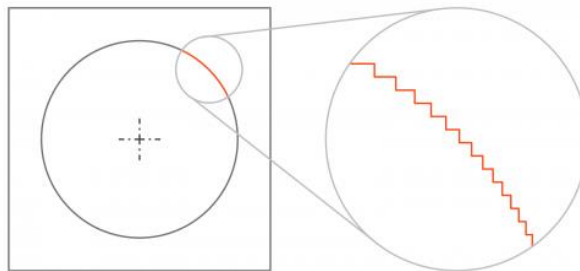


Рис.2 Ступуючий ефект.

Растровий кут – це кут траєкторії растрового інструменту щодо осі x стола побудови. Типові допустимі кути растру становлять 0-90° або від 0° до -90° з кроком 15°. Наприклад, вибір 45° створить траєкторію растрового інструменту, нахилену під кутом 45° до осі x у першому нижньому шарі, а потім у кожному наступному шарі напрямок траєкторії інструменту буде чергуватись. На рис. 3 показаний приклад деяких параметрів процесу FDM у наплавленому шарі круглого перерізу.

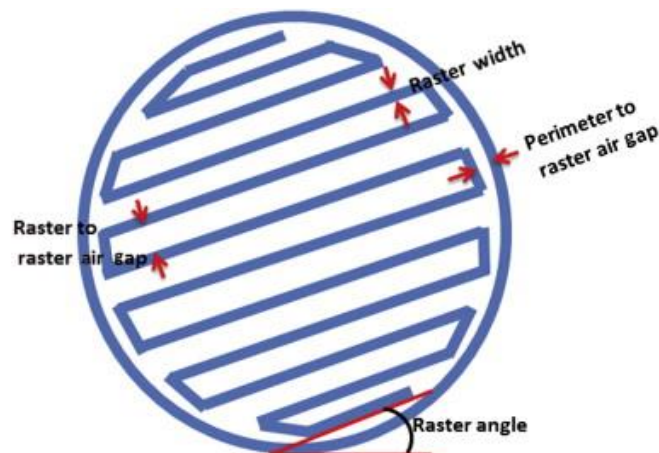


Рис.3 Растровий кут.

Ширина внутрішнього екструдовання – це ширина шарів осадження, що використовуються для створення суцільних заповнених ділянок криволінійної поверхні. Цей параметр впливає на міцність деталі. Чим більше ширина, тим міцніша деталь. Менші значення ширини дороги вимагають менше часу на будівництво та меншу витрату матеріалу.

ВИСНОВОК

Процес FDM використовується для широкого спектру функцій. У світі було проведено багато досліджень, щоб визначити які параметри впливають на якість друку методом FDM.

Було виділено та описано параметри які впливають на якість друкованої деталі. Тому є необхідним створення математичної моделі яка б пов'язала всі ці параметри разом, для оптимізації та покращення якості деталей надрукованих методом FDM.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] O.A. Mohamed, S.H. Masood, J.L. Bhowmik Optimization of fused deposition modeling process parameters for dimensional accuracy using I-optimality criterion Measurement, 81 (2016), pp. 174-196
- [2] K. Thrimurthulu, P.M. Pandey, N. Venkata Reddy Optimum part deposition orientation in fused deposition modeling Int. J. Mach. Tools Manuf., 44 (2004), pp. 585-594
- [3] T. Nancharaiah, D.R. Raju, V.R. Raju An experimental investigation on surface quality and dimensional accuracy of FDM components Int. J. Emerg. Technol., 1 (2010), pp. 106-111
- [4] S.H. Masood, K. Mau, W. Song Tensile properties of processed FDM polycarbonate material Materials Science Forum, Trans Tech Publ (2010), pp. 2556-2559
- [5] R.K. Sahu, S. Mahapatra, A.K. Sood A study on dimensional accuracy of fused deposition modeling (FDM) processed parts using fuzzy logic J. Manuf. Sci. Prod., 13 (2013), pp. 183-19

Науковий керівник – к.т.н., доцент Подолян О.О.

УДК 685.31

О.С. Кравченко, студент гр. ПБ-11мн

ВИКОРИСТАННЯ ЦИФРОВИХ ДВІЙНИКІВ У ЖИТТЄВОМУ ЦИКЛІ ВИРОБУ

Анотація. У публікації наведений огляд технології індустрії 4.0, викладено доцільність використання «Цифрових двійників», з метою підвищення продуктивності на підприємстві.

Ключові слова: автоматизація, цифрові двійники.

ВСТУП

Протягом життєвого циклу, продукт проходить декілька етапів, починаючи від виявлення потреб суспільства до задоволення цих потреб та утилізації продукту.

При розбитті життєвого циклу виділяють аж 13 стадії, але основних всього чотири: проектування, виробництво, технічне обслуговування та утилізація.

Нині для управління процесом життєвого циклу продукту використовують різноманітні автоматизовані системи управління. Саме для формування єдиного інформаційного простору і використовують технології PLM(Product Lifecycle Management). Автоматизовані системи, що використовуються на підприємстві, беруть усю необхідну для них інформації в даному просторі. Також за допомогою технологій PLM інтегрують методи та засоби підтримки інформації про продукт на всіх етапах.

Концепція Четвертої промислової революції(Індустрія 4.0) з кожним роком розвивається все більше і більше. Якраз для реалізації даної концепції і використовують сучасні технології PLM. Проте без створення цифрових двійників, використання даних технологій було б неможливим [1].

ЗАСТОСУВАННЯ ЦИФРОВИХ ДВІЙНИКІВ

Цифровий двійник використовуються для створення цифрової копії реального фізичного пристрою. За допомогою нього моделюють внутрішні процеси, технічні характеристики, поведінку та реакцію реального тіла на збурення в навколишньому світі. Він використовує інформацію, що надходить із датчиків, які знаходяться на реальному пристрої. Важливою його особливістю є те, що ви можете працювати як онлайн, так і офлайн. Після роботи в офлайн режимі, можна порівняти інформацію з реальних датчиків з датчиками цифрового двійника, визначити різницю в показаннях, знайти причину та усунути її [2].

Цифровий дублікат продукту включає:

- Усі геометричні розміри об'єкта.
- Розрахункові дані для усіх деталей, вузлів і виробів загалом.
- Математичні моделі, що відповідає за відтворення усіх фізичних процесів, що відбуваються у виробі.
- Інформацію, яка використовується під час виготовлення та складання окремих як елементів виробу, так і виробу в цілому.
- Система управління життєвим циклом продукції.

Існує кілька типів цифрових двійників. *Прототип* представляє властивості

та параметри майбутнього об'єкта, який ще не існує. Використовується при розробці та виготовленні виробів. Інший тип, *екземпляр*, виступає як копія конкретного реального об'єкта і супроводжує його через життєвий цикл, змінюючись разом з ним. *Сукупні екземпляри* - двійники кількох об'єктів. Вони дозволяють моделювати групову поведінку, яка не є простою сумою індивідуальних моделей [2].

Переваги використання цифрових двійників:

- Цифровий двійник показує, як саме працює об'єкт. Це дозволяє виявити недоліки, слабкі місця і вчасно їх усунути. З цифровою копією помилки видно ще до того, як продукт буде запущено у виробництво. Це економить ресурси компанії та підвищує ефективність виробничих процесів. Різниця між результатами фізичних і віртуальних тестів, проведених з цифровим близнюком, зазвичай становить близько 5%.
- За допомогою електронної копії можна дистанційно керувати об'єктом, змінювати його властивості і навіть фізично перебувати в іншій частині світу.
- Цифровий двійник продукту або продукту дозволяє відстежувати процес використання клієнтами. Це пропонує необмежений потенціал оптимізації.
- Нарешті, цифрове копіювання передбачає майбутню поведінку об'єктів, що дозволяє нам бути на крок попереду.
- Цифровий двійник дозволяє експериментувати над об'єктом: знищити, відтворити скільки завгодно разів, знайти правильне рішення в тій чи іншій ситуації [2].

МІСЦЕ «ЦИФРОВИХ ДВІЙНИКІВ» У ЖИТТЄВОМУ ЦИКЛІ ВИРОБУ

Інформація про об'єкт зазвичай розкидана по багатьох інформаційних ресурсах, створених і обслуговуваних різними організаціями. Це призводить до того, що потік інформації руйнується протягом життєвого циклу об'єкта, оскільки інформаційні ресурси можуть обмінюватися неправильно. Частина інформації може дублюватися або містити протиріччя, тоді як інша інформація може бути відсутньою. Це може створювати конфлікти оперативної інформації та сприяти прийняттю неефективних рішень. Крім того, деякі інформаційні банки перешкоджають застосуванню передових технологій, таких як розширена аналітика та штучний інтелект, які вимагають доступу до великих обсягів інформації.

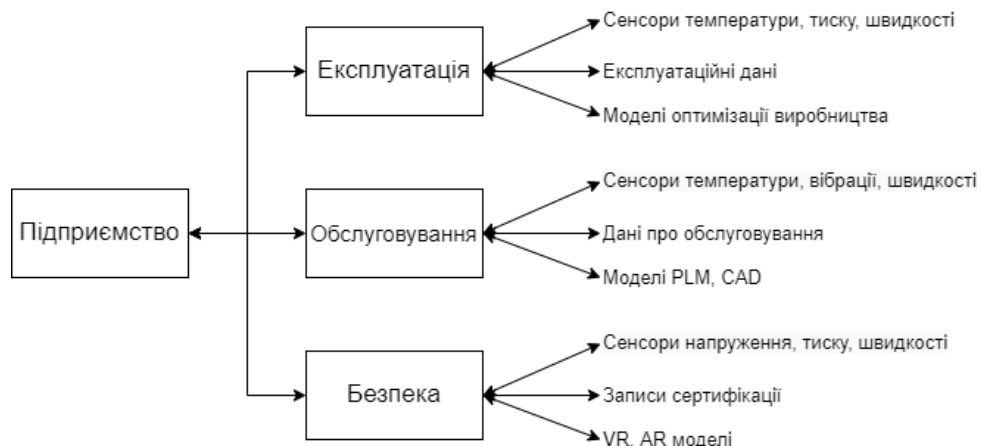


Рисунок 1. Експлуатація інформації без цифрового двійника

Цифрові двійники допомагають вирішити проблему окремих сховищ інформації. Цифрове дзеркальне відображення діє як проксі-сервер, який збирає дані про кожен об'єкт централізовано, а потім робить цю інформацію доступною для різних бізнес-підрозділів через інтерфейси інтеграції, залежно від конкретної програми. Це покращує прийняття рішень через спільне розуміння експлуатаційного стану та знижує загальні витрати життєвого циклу на експлуатацію та обслуговування активу.

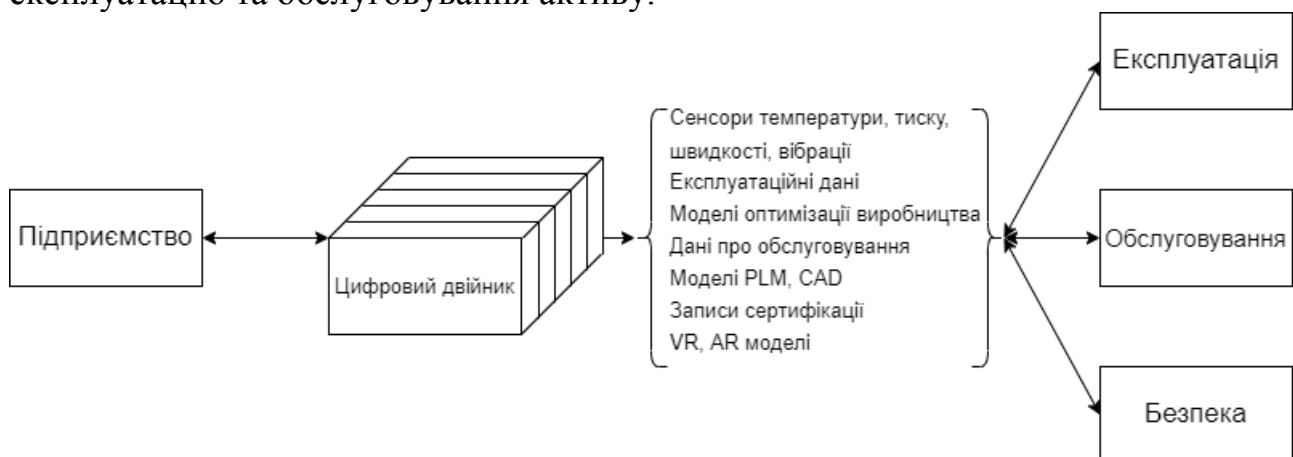


Рисунок 2. Експлуатація інформації з використанням цифрового двійника

Цифровий двійник об'єкта це засіб доступу до інформації про життєвий цикл і єдиним інтерфейсом до нього. Цифрові копії можна створити для будь-якого об'єкта, який зацікавлене підприємство. Виробник може створити цифровий дублікат своєї продукції та зберігати там інформацію про виробництво та обслуговування, отриману безпосередньо від користувачів. Це дає виробнику єдиний інтерфейс для доступу до всієї інформації про тип продукту та сам продукт, що може бути цінним для кількох компаній одночасно. Суб'єкт може мати кілька цифрових дублікатів, оскільки контекст може бути різним, а інформація використовується по-різному.

Цифрові двійники забезпечують систематичну методологію, технологію та інструменти для представлення складних фізичних і логічних середовищ і забезпечують ефективне відстеження, діагностику, прогнозування та призначення фізичних та логічних об'єктів [3].

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] «Product Lifecycle Management». Режим доступу – <https://www.it.ua/knowledge-base/technology-innovation/product-lifecycle-management-plm>
- [2] «Digital Twins». Режим доступу – <https://www.it.ua/knowledge-base/technology-innovation/cifrovoj-dvojnik-digital-twin>
- [3] Industrial Internet Consortium Digital Twin Interoperability Task Group, co-chaired by Somayeh Malakuti (ABB Corporate Research Center, Germany) and Pieter van Schalkwyk (XMPro). Режим доступу – https://www.iiconsortium.org/pdf/II_C_Digital_Twins_Industrial_Apps_White_Paper_2020-02-18.pdf

Наук. керівник – к.т.н., доц. Філіппова М.В.

УДК 004.94:681.2:658.5

О.В. Матошин, студент гр. ПБ-81

КПІ ім. Ігоря Сікорського

МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ВИРОБІВ ПРИЛАДОБУДУВАННЯ НА ОСНОВІ МЕТОДОЛОГІЇ IDEF0

Анотація. В статті розглянуто методику моделювання процесів виготовлення виробів приладобудування та описано функції приладобудівного підприємства для організації та управління процесом виробництва задля виготовлення конкурентоспроможної продукції на основі методології IDEF0. Представлено загальну модель технологічного процесу, яка включає механічну обробку деталей, складання, випробування та контроль виробу.

Ключові слова: технологічний процес, бізнес-процес, методологія IDEF0, концептуальна модель.

ВСТУП

Розвиток високотехнологічного виробництва змінює вимоги до процедури його опису, що можна врахувати, використовуючи концепцію бізнес-процесів. Управління приладобудівним підприємством потребує постійного аналізу процесів виробничої діяльності, тобто її організацію та планування. У різні проміжки часу при інтенсивному, планомірному та динамічному розвитку виробництва застосовувалися та актуальними є зараз методи масового обслуговування, мережевого планування, оптимізації та структурного аналізу.

З метою вдосконалення діяльності підприємства на основі принципів «ощадливого виробництва» та прийняття адекватного управлінського рішення на даний час поширений реінжиніринг. Основний принцип реінжинірингу – це розгляд діяльності підприємства з точки зору організації та протікання у ньому бізнес-процесів [1]. Розробка концептуальних моделей дозволяє вивчити природу бізнес-процесів, виявити ключові щодо цілей організації процеси, провести на цій базі реструктуризацію старих та розробку нових процесів.

Метою роботи є розкриття механізмів побудови моделей технологічних процесів та опис функціонування виробництва з виготовлення виробу на основі методології функціонального моделювання IDEF0 у середовищі BPwin 4.0.

МАТЕРІАЛИ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Частковим випадком бізнес-процесу є технологічний процес (ТП). Оскільки приладобудівне підприємство займається виробництвом продукції, то виникає потреба подальшої формалізації методів опису ТП на основі бізнес-процесів із застосуванням методології IDEF0. Перехід від класичного опису ТП (маршрутні, операційні та карти ескізів) до опису технологій через моделювання бізнес-процесів у стандартах IDEF не викликає значних труднощів. Інформаційна модель технології виготовлення виробу з використанням методології IDEF0 призначена для визначення об'єктів проектування та їх властивостей і дозволяє розв'язати проблеми створення оптимальної моделі технології проектування.

Для побудови графічної моделі процесу у роботі застосовується програмний продукт BPWin. Дане середовище має досить простий інтерфейс, який при цьому дозволяє створювати складні функціональні моделі. Модель, що створена за цією методологією, передбачає наявність чітко визначеної мети (Purpose), лише одного суб'єкта моделювання та єдиної точки зору (Viewpoint) [2].

Розглянемо процес створення моделі IDEF0 на прикладі об'єктно-

орієнтованій моделі основного виробництва, а саме: об'єктом виступає продукт виробництва – приладобудівний виріб (складальна одиниця).

Побудова інформаційної моделі починається з контекстної діаграми (рис. 1), що пояснює контекст функціонування модельованої системи (технологічного процесу) як єдиного цілого. У прямокутнику записується основна функція (робота) модельованої системи, тобто виготовлення виробу.

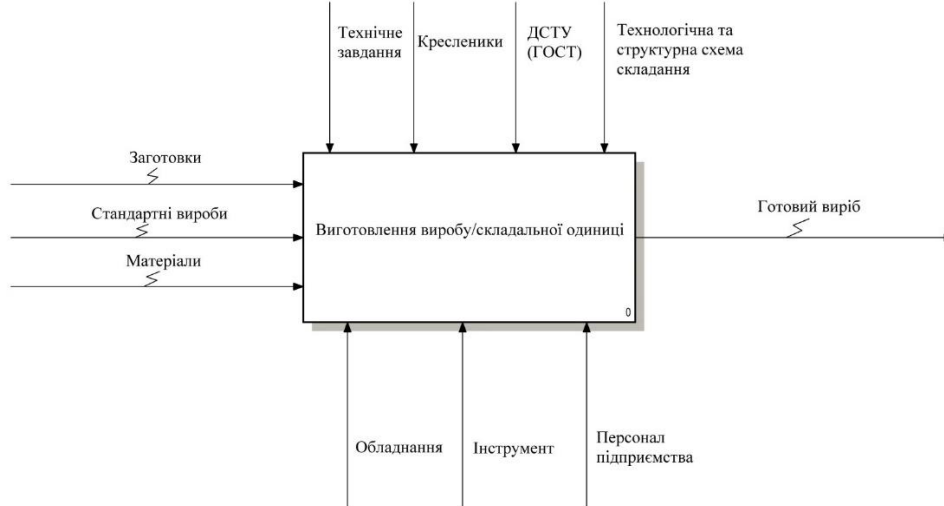


Рисунок 1. Контекстна діаграма проектування технологічного процесу

Діаграма (рис. 2) ілюструє, що дане підприємство має наступний виробничий цикл: механообробна стадія (виготовлення деталей), складання та контроль. Відсутність заготівельної стадії пояснюється тим, що заготовки замовляються на інших підприємствах-виробниках.

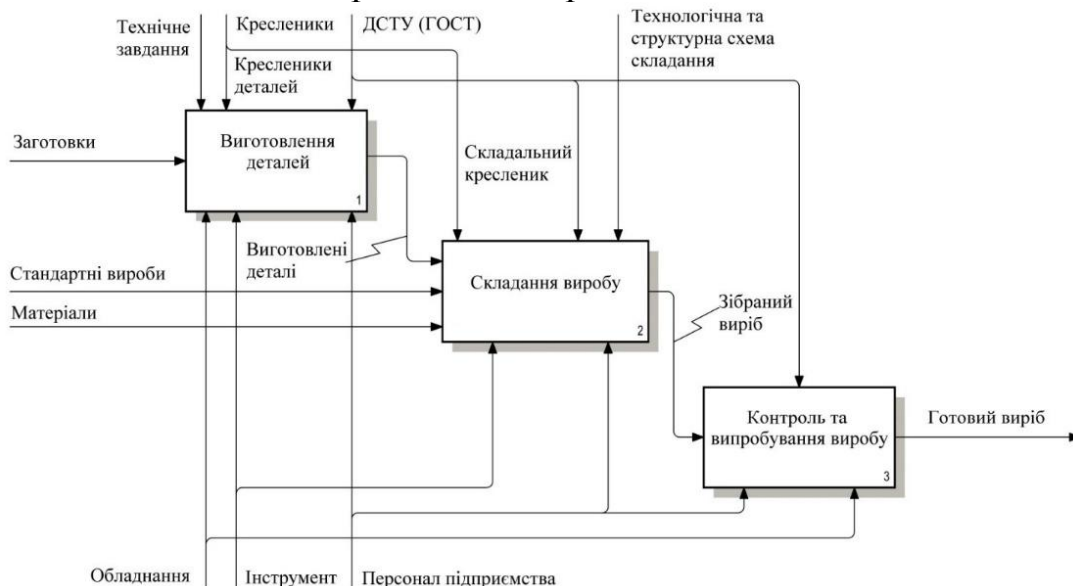


Рисунок 2. Стадії виготовлення виробу

Після загального опису інформаційної моделі проводиться її уточнення шляхом розбивання на невеликі фрагменти (декомпозиція). Деталізація головної функції системи виконується за допомогою діаграм декомпозиції, які будуються на тому ж принципі, що й контекстна, але складаються із більшої кількості робіт [3]. Застосування декомпозиції наочно показує зв'язок між конструкторською документацією, маршрутним та операційним описом технологічних процесів. Виконаємо декомпозицію даних стадій виготовлення виробу (рис. 3, 4, 5).

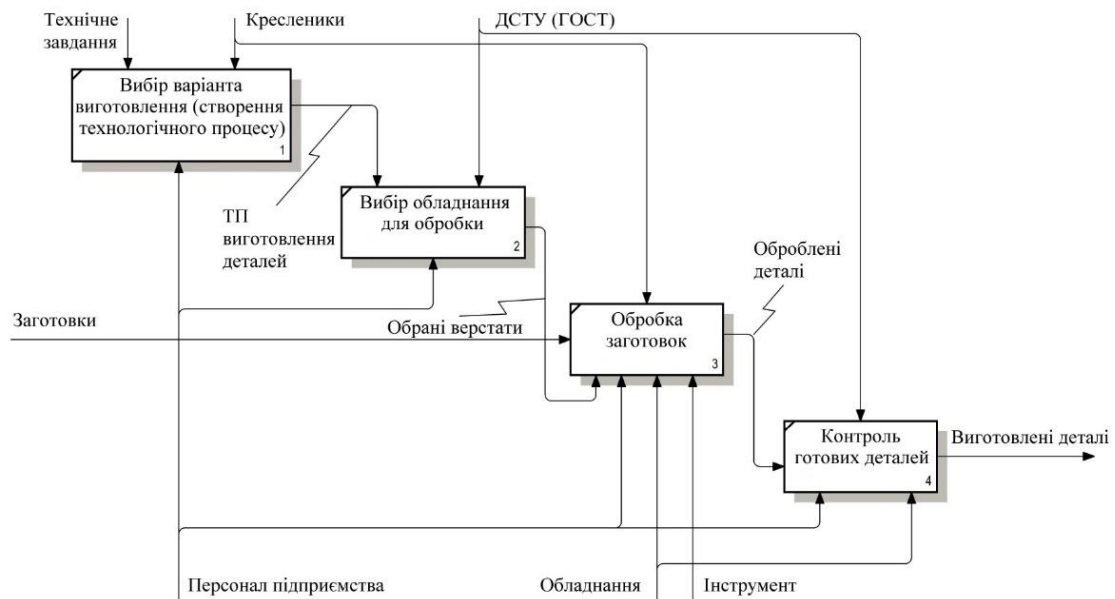


Рисунок 3. Декомпозиція процесу механічної обробки деталей

Наочність діаграми IDEF0 дозволяє зрозуміти, які об'єкти є вихідними даними для процесів, результати виконання кожної роботи та ресурси, що використовуються при їх виконанні.

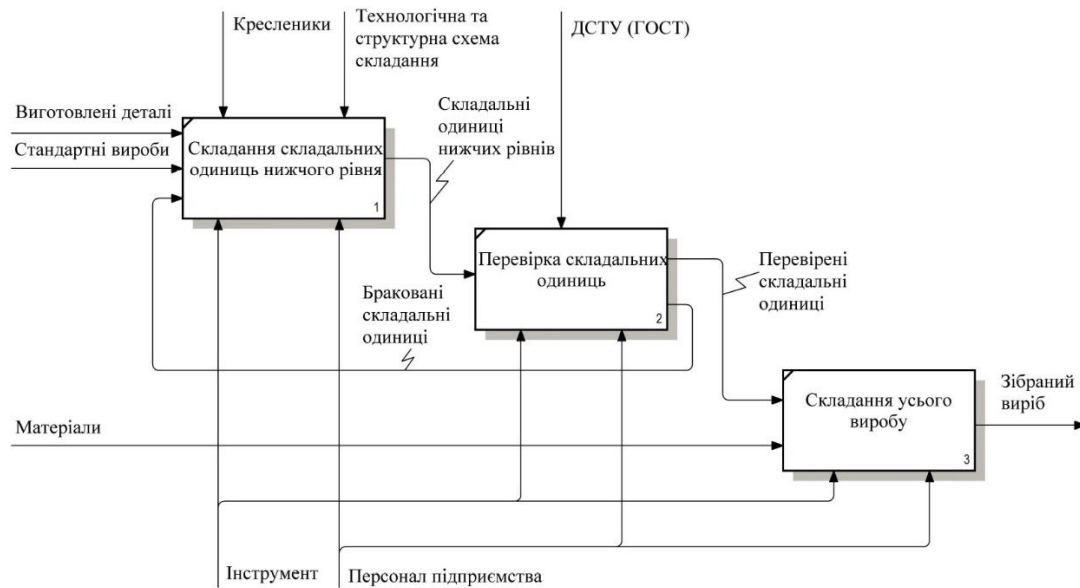


Рисунок 4. Декомпозиція процесу складання

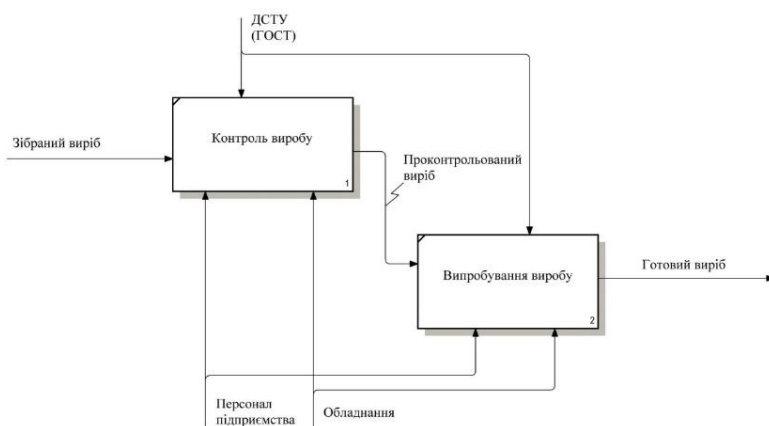


Рисунок 5. Декомпозиція контролю та випробування

Функціональна модель також складається із діаграми дерева вузлів, яка створюється автоматично за наслідками функціональної декомпозиції етапів виробництва.

Діаграма дерева вузлів містить ієрархію робіт у інформаційній моделі без взаємозв'язків між роботами та дозволяє аналізувати всю

модель у цілому. Процес її створення є ітераційним, тому роботи можуть змінювати своє розташування в діаграмі дерева вузлів багаторазово [2].

Наведені діаграми описані з огляду на професійний досвід керівника підприємства з виробництва, що відповідає за весь виробничий процес. Зазначені концептуальні моделі надалі допоможуть провести калькуляцію, визначити ціну виробу, упорядкувати організацію виробничого процесу на ділянці з однотипним обладнанням та встановити суміщення операцій робітниками.

Запропоновані інформаційні моделі можуть бути використані при створенні технологічної документації та керуючих програм для верстатів з ЧПК на основі сучасних САМ/САРР систем.

ВИСНОВКИ

В результаті отримано графічне представлення моделі технологічного процесу виготовлення виробу у вигляді ієрархії діаграм, що забезпечує компактність представлення інформації. Таким чином, можна відстежувати рух інформаційних потоків при створенні технологічного процесу, що дозволить підвищити його продуктивність. Простота алгоритму діаграм IDEF0 зумовила їх використання для процесів управління підприємством.

У даній роботі створено концептуальну модель виробництва приладобудівного виробу та проведено її декомпозицію. Таким чином, ціллю даного моделювання є чіткий розподіл функцій в процесі організації виробництва та збереження загальної структури технологічного процесу. Формалізація ТП на основі методології IDEF0 дозволяє підприємству одержати економічний ефект від зниження часу на підготовку виробництва та скорочення кількості помилок на етапі освоєння продукції.

В перспективах подальших досліджень планується використати розглянуту методологію IDEF0 для різних типів виробництв і порівняти результати.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Стельмах Н., Сапон С., Рижук Я. Вибір оптимального технологічного процесу на базі автоматизованої оцінки його техніко-економічних параметрів. Технічні науки та технології. 2020. № 1 (19). С. 89-97. DOI:10.25140/2411-5363-2020-1(19)-89-97
- [2] Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Проектування інформаційних систем» для здобувачів освітнього ступеня «бакалавр» зі спеціальності 126 «Інформаційні системи та технології» усіх форм навчання; М-во освіти і науки України, Черкас. держ. технол. ун-т. Черкаси: ЧДТУ, 2021. 99 с.
- [3] Методи досліджень. Методичні вказівки до циклу лабораторних робіт для магістрів та аспірантів всіх спеціальностей / Укл. В.В. Казимир, А.С. Посадська, Ю.Д. Юрченко - Чернігів: ЧНТУ, 2018, 88 с.

Наук. керівник – к.т.н., доц. Стельмах Н.В.

УДК 621.7:519.8:658.512

О.В. Матошин, студент гр. ПБ-81, к.т.н., доц. Шевченко В.В.

КПІ ім. Ігоря Сікорського

СИСТЕМА ВИБОРУ ОПТИМАЛЬНОГО МЕТОДУ ОТРИМАННЯ ЗАГОТОВОК ДЕТАЛЕЙ ПРИЛАДІВ

Анотація. В даній статті розроблено систему для вибору оптимального методу отримання заготовок на основі методики проєктування, що викладений у спеціальній літературі із технологій приладобудування. Створено інформаційне та математичне забезпечення системи, за яким розроблено програмне та методичне забезпечення. Виконано тестування програмного продукту, яке показало можливість його впровадження в технологічну підготовку виробництва при розробці виробів приладобудівної галузі.

Ключові слова: технологічна підготовка виробництва, методи отримання заготовок, проєктування, система, програмне забезпечення, якість деталей приладів.

ВСТУП

Автоматизація технологічного проєктування для сучасного приладобудування є надзвичайно важливим та актуальним завданням. Розв'язок даного завдання забезпечує скорочення термінів впровадження у виробництво нових проєктно-конструкторських розробок і підвищує його ефективність [1].

Основними передумовами розвитку систем автоматизованого проєктування є необхідність підвищення ефективності роботи, як конструкторів, так і технологів, зв'язаної з терміном технологічної підготовки виробництва. Оскільки прилади працюють в екстремальних умовах, то це впливає на якість поверхонь деталей під час їх експлуатації. Тому задача вибору оптимального методу отримання заготовок є досить актуальною та дозволяє підвищити експлуатаційні характеристики деталей приладів, збільшити їх точність, надійність та забезпечити потрібні економічні показники.

Завдання вибору методу отримання заготовок можуть бути вирішені на якісно новому рівні з використанням інтегрованих САПР (CAD/CAM/CAE/CAPP-систем). Автоматизація проєктування технологічних процесів вибору заготовок є однією з найскладніших і важко формалізованих завдань технологічної підготовки виробництва. Велика різноманітність конструктивних форм деталей і технічних вимог до них призводить до багатоваріантності рішень.

Метою роботи є створення системи для вибору методів отримання заготовок та методичного матеріалу для роботи із програмою з використанням середовища розробки програмного забезпечення Microsoft Visual Studio 2019 мовою програмування C++ у вигляді додатку Windows Forms.

АНАЛІЗ ДЖЕРЕЛ ДЛЯ РОЗРОБКИ СИСТЕМИ

У сучасному приладобудуванні для вибору методу отримання заготовки при виготовленні деталі аналізується багато факторів. Маючи кресленик деталі та технічні умови, яким повинна відповідати готова деталь, і знаючи програму випуску можна приступати до вибору методу отримання заготовки з найменшими витратами праці.

При виборі заготовки використовуються три групи параметрів:

1) конструктивні параметри (форма, розміри та матеріал деталі);

2) економічні (наприклад, програма випуску: чим більша партія, тим прогресивнішою повинна бути технологія виготовлення вихідної заготовки);

3) технологічні (методи виготовлення заготовки, які освоєні виробництвом).

При вирішенні завдання вибору оптимального методу отримання заготовки треба враховувати декілька факторів, тому даний підхід вважається системним. Виділяють наступні етапи:

1) Вибір можливих методів виготовлення заготовки за матеріалом деталі;

2) Вибір заготовок за серійністю, конструктивною формою, масою та розмірами деталі;

3) Визначення технологічних характеристик для обраних видів заготовок (коефіцієнта використання матеріалу);

4) Визначення собівартості заготовки для обраних методів її виготовлення, вартості витрат на механічну обробку, а також відходів матеріалу при обробці;

5) Вибір оптимального методу для конкретних умов виробництва [2].

Для формалізації умов вибору заготовки та методів її виготовлення, а також побудови на їх основі алгоритмів розв'язання даної задачі спочатку проводиться класифікація та кодування всіх ознак, що визначають вибір заготовок.

ПРОЦЕС СТВОРЕННЯ СИСТЕМИ

Першим етапом створення системи є розробка інформаційного забезпечення (рис. 1). Відповідно до проведеного аналізу джерел встановлено, що доцільно в системі враховувати 4 параметри: групу матеріалу деталі, конструктивну форму (клас деталі), масу в грамах та розмір партії в штуках. Тобто розробка системи основана на вирішенні якісного завдання вибору заготовок, тобто не враховуючи економічних показників. Дане якісне завдання формалізуємо на основі технологічних показників, використовуючи певні залежності між вхідними даними.

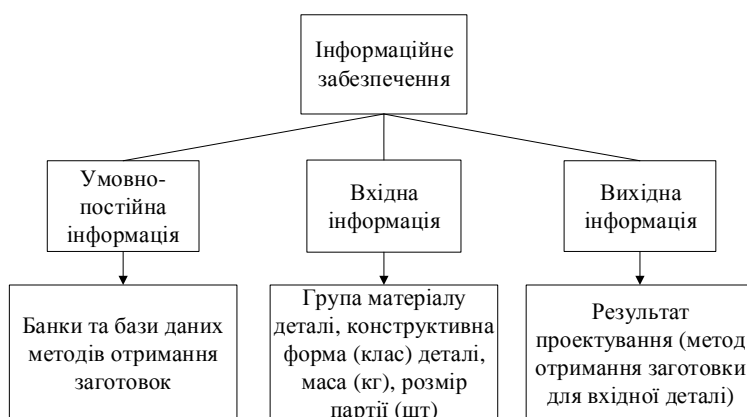


Рисунок 1. Схема інформаційного забезпечення системи

Після визначення кодів по кожному з факторів вибирається перелік можливих методів отримання заготовок для даної деталі. За кожною ознакою з усієї множини вибору визначають підмножину прийнятних видів заготовок та при можливості встановлюють їх пріоритети.

При розробці системи використано параметричний метод, який складається з двох етапів. Перший етап – безмашинне проектування ТП. На цьому етапі вручну вирішуються важко формалізовані, творчі за характером завдання. Другий етап – автоматизоване проектування параметрів технологічної задачі та починається з введення в ЕОМ інформації про деталь.

Задача вибору методів отримання заготовки у системі вирішується на основі вибору множин типових рішень. Нехай має місце відповідність Z між вхідними

параметрами VP і множиною рішень VZ [3]:

$$Z = \langle VP, GZ, VZ \rangle; \quad GZ = VP \times VZ; \quad VP = \{vp_i\}; \quad VZ = \{vz_j\}. \quad (1)$$

Рішення щодо вибору виду структури можна сформулювати наступним чином: $MZ = Z(\{vp_k\})$, тобто множина рішень виходить як образ відповідності Z для заданої множини вхідних параметрів vp_k .

Множина MZ може містити кілька рішень, тому для кожного із них необхідно зафіксувати пріоритет, на основі якого можна виділити рішення з найбільшим пріоритетом.

На першому етапі розв'язком завдання є множина $MZ = \{mz_i\}, i = 1, k$, що складається з рішень:

$$mz_i = \langle kz_i, nd_i, s_i \rangle, \quad (2)$$

де kz_i – код методу отримання заготовки,

nd_i – номер набору даних з характеристиками обраного виду заготовки,

s_i – пріоритет.

З отриманої множини вибирається рішення mz_i , при якому параметр s_i найбільший. Для створення системи на основі математичного забезпечення розроблено алгоритм. Алгоритм розпочинається з виведення заголовку та введення початкових даних відповідно до кодованих таблиць. При натисненні кнопки для отримання результату дана вхідна інформація переводиться надалі в код відповідно до розробленого інформаційного забезпечення та відображається у закодованому вигляді на графічному вікні. Далі ведеться обробка умовно-постійної інформації відповідно до вхідної, тобто порівнюються всі критерії та виводяться на екран оптимальні методи отримання заготовок. При натисненні на кнопку для збереження у файл результати проектування зберігаються у файл формату .txt з відповідною назвою.

Система (рис. 2) складається з одного проекту, тобто не містить інших програмних процедур. Основна програма, що є результатом проектування, має назву «Metod_Zagotovka.exe». Об'єм даного файлу становить 139 КБ.

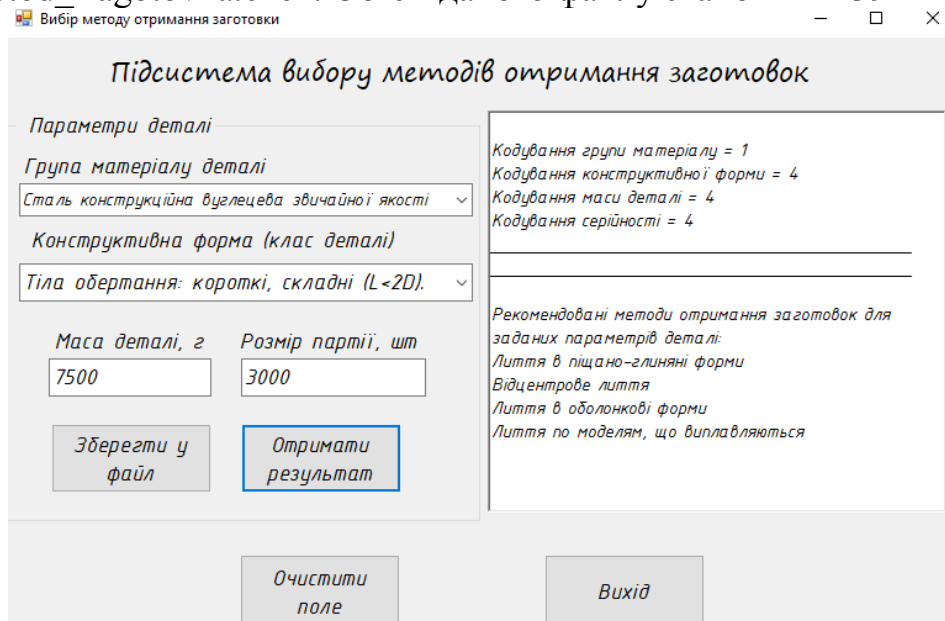


Рисунок 2. Вікно системи із результатом проектування

Виходячи з постановки завдання, мета даної розробленої системи у виборі методів отримання заготовок за вхідними даними. Відповідно технолог при запуску системи вводить вхідні дані (групу матеріалу деталі, її конструктивну форму, масу та розмір партії). При натисненні на кнопку отримання результату пропоновані методи отримання заготовок із закодованими вхідними даними виводяться на екран. Натиснувши кнопку збереження у файл, отриманий результат записується у створений раніше .txt файл на диску D. Також є можливість використання кнопки для очищення полів. При проектуванні системи пріоритетами були її зручність у використанні та функціональність.

ВИСНОВКИ

В результаті роботи вирішено складно формалізовану задачу розробки системи для вибору методів отримання заготовок деталей приладів. При аналізі літературних джерел розроблено наступні види забезпечення системи: інформаційне, математичне, програмне, технічне, лінгвістичне та методичне. Відповідно розроблено алгоритм, за яким створено програмне забезпечення. На основі прикладу показано, що створена система повністю виконує те завдання, яке було поставлено.

Даний програмний продукт може використовуватись на приладо- та машинобудівних виробництвах. При цьому його можна вбудувати до складу будь-якої САПР ТП. Система дозволяє значно скоротити час проектування і спростити процес вибору методів отримання заготовок, є простою у використанні, не вимагає великих і дорогих технічних засобів та додаткового налаштування. Впровадження даної системи у виробництво дозволить значно скоротити час, що витрачається на вибір заготовки, з тієї причини, що у технолога, в більшості випадків, не буде необхідності у зверненні до довідкової літератури та державних стандартів, а також запобігти неякісним деталям приладів шляхом вибору оптимальної заготовки. Дана система є відкритою та може доповнюватись новими технологічними рішеннями.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Автоматизация проектирования технологических процессов: Учеб. пособие / Антонюк В.С., Выслоух С. П., Аверченков В.И. – К.: УМК ВО, 1989. - 116 с.
- [2] Технологія машинобудування: Навч. посібник / І.І. Юрчишин, Я.М. Литвиняк, І.Є. Грицай, М.Л. Кукляк, Я.М. Кусий, В.В. Ступницький, В.А. Яцук, А.М. Кук, Є.М. Махоркін, В.П. Свізінський / За ред. І.І. Юрчишина. - Львів: Видавництво Національного університету "Львівська політехніка", 2009. - 528 с.
- [3] Пацера С.Т. Конспект лекцій з дисципліни «Системно-структурна оптимізація процесів обробки на верстатах з ЧПК» / Пацера С.Т., Проців В.В.; Нац. техн. ун-т., каф. технологій машинобудування та матеріалознавства. – Д. : НТУ «Дніпровська політехніка», 2020. – 91 с.

Наук. керівник – к.т.н., доц. Шевченко В.В.

УДК 681.518.5

О.Л. Балякіна, гр. ПБ-11мп, К.А. Романенко, гр. ПБ-11мп
КПІ ім. Ігоря Сікорського

МЕТОДИ КОМПЕНСАЦІЇ ТЕМПЕРАТУРНОЇ ПОХИБКИ ПРИ ВИМІРЮВАННІ МЕХАНІЧНИХ НАПРУЖЕНЬ ТЕНЗОМЕТРИЧНИМ МЕТОДОМ

Анотація. Вимір механічного напруження деталі є невід'ємною частиною для впровадження її в експлуатацію. Через те, точність отриманих результатів вимірювання є дуже важливою задачею. Тому, описано основні методи компенсації головної складової похибки вимірювання методу тензометрії, а саме температурної похибки, що дає максимально зменшити вплив температури на результати вимірювання.

Ключові слова: тензометрія, температурна похибка, температурна компенсація, тензочутливість.

ВСТУП

При конструюванні нових та експлуатації існуючих приладів та машин виникає необхідність у вимірюванні напруженого стану їх вузлів та деталей. Дану задачу можливо вирішити теоретично або експериментально [1]. У деяких випадках неможливо або дуже складно теоретично визначити механічне напруження деталі, тому велику роль відіграють експериментальні методи дослідження, які дають можливість встановити дійсну картину напруженого стану та вивчити вплив на його зміну різних факторів.

В даний час є кілька експериментальних методів вимірювання напруження, з яких найбільше застосування мають: тензометричний [2], рентгенографічний діляльних сіток і поляризаційно-оптичний методи. Широкого застосування у промисловості набув тензометричний метод, так як є досить простим у застосуванні і в той час достатньо інформативним для визначення механічного напруження. Головним недоліком даного методу є вплив температури на основний вимірювальний елемент, тензодатчик, що в свою чергу впливає на результати вимірювання та призводить до великої похибки. Тому, компенсація температурної похибки методу тензометрії є важливою задачею.

КОМПЕНСАЦІЇ ТЕМПЕРАТУРНОЇ ПОХИБКИ МЕТОДУ ТЕНЗОМЕТРИЇ

На сьогоднішній день, існуючі методи компенсації температурної похибки можливо приміняти для діапазону температур, що не перевищує 100 °С, так як у цьому діапазоні залежність опору тензодатчика та температурних варіацій вважається лінійною[3].

Існують наступні методи термокомпенсації, які ґрунтуються на структурних методах підвищення характеристик точності[4]:

- схемна компенсація температурного збільшення опору резисторів;
- застосування комбінованих тензорезисторів;
- застосування тензорезисторів з компенсаційною петлею;
- внесення поправки.

Метод схемної компенсації температурного збільшення опору резисторів базується на інтеграції компенсуючих тензорезисторів у вимірювальну схему. Компенсуючий тензорезистор є ідентичним активному за його параметрами та

приклеюється до зразка з того ж матеріалу, що і конструкція, та поміщається в однакові з нею температурні умови, але не піддається деформації. У цьому випадку зміна температури викликає однакову зміну опору активного і компенсаційного тензорезисторів, оскільки вони включені в суміжні плечі та баланс мосту не порушується. За умови використання повної мостової схеми Уінстона, в якій всі тензорезистори компенсують один одного та паралельно вимірюють деформацію, відбувається взаємокомпенсація температурних варіацій опорів тензорезисторів[4]. Таким чином температурна похибка мостової схеми практично виключається за умови використання даного методу компенсації температурної похибки. Залишкову похибку, що виникає через варіативність температурних характеристик тензорезисторів мінімізують методом підбору тензорезисторів з максимально близькими температурними характеристиками[5].

В основі методу застосування комбінованих тензористорів лежить застосування тензорезисторів, тензорешітка яких виконана із двох матеріалів, що мають рівні за величиною, але різні за знаком температурні коефіцієнти опору, що дозволяє компенсувати вплив температури на результати вимірів. Прикладом таких матеріалів є сплави константан та карма. Тензочутливість цих двох матеріалів представляє собою лінійну залежність, що зображена на рис.1.

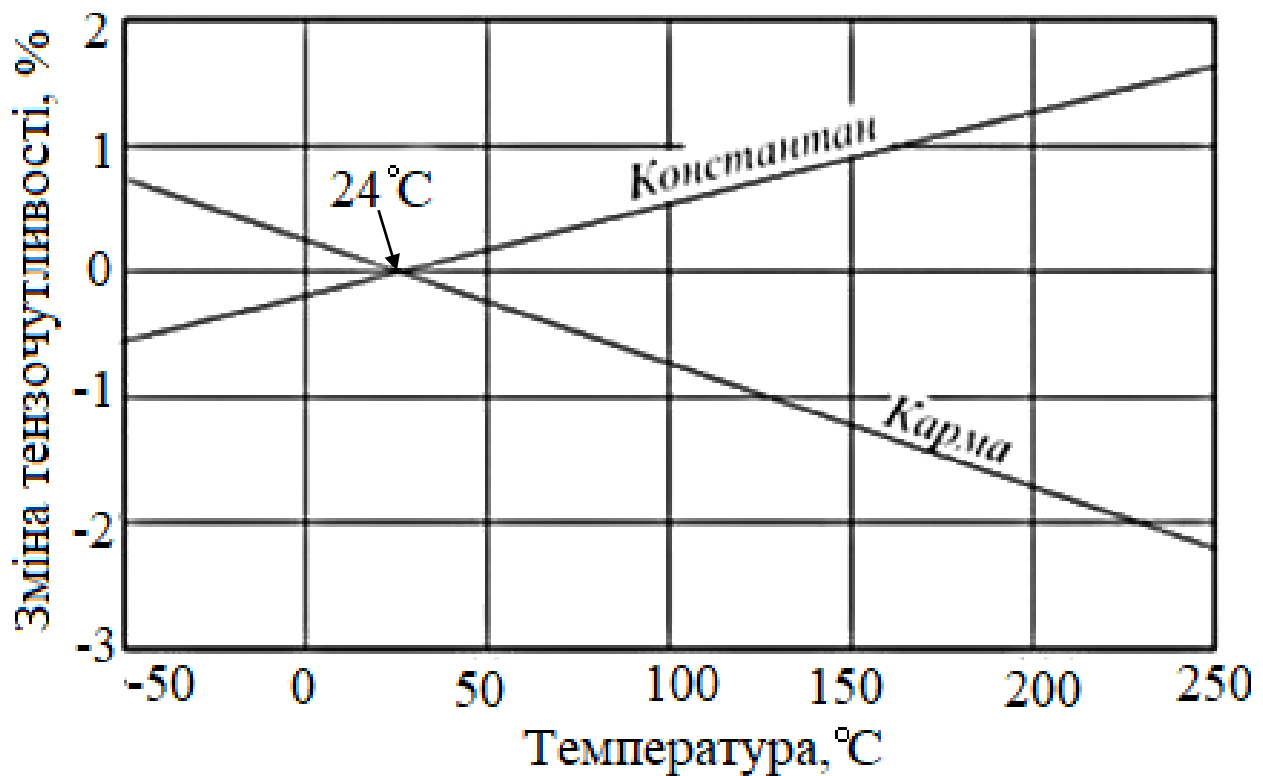


Рис. 1 Зміна тензочутливості сплавів константан та карма в залежності від температури

З графіку видно, що зміна тензочутливості сплавів на один градус є доволі низька: приблизно +0,007 для сплаву константана та -0,009 для сплаву карма. Такі зміни не враховуються при визначенні механічного напруження, так як зміна менше ніж 1 % на $\Delta T = 100^{\circ}\text{C}$.

Метод термокомпенсації із застосуванням тензорезисторів з компенсаційною петлею є схожим з схемною компенсацією температурного збільшення опору резисторів. Даний метод базується на інтеграції компенсаційної петлі в компенсаційне плече у якості додаткового опору. Така петля має більший температурний коефіцієнт опору, ніж у самого тензорезистора та компенсує похибку, що викликана зміною температури[5].

Метод внесення поправок у результат вимірювального процесу компенсує усі складові температурної похибки. Даний метод базується на тому, що значення тензодатчика вимірюються за допомогою додаткового вимірювального каналу. Поправки вносяться у результат вимірювання за попередньо визначеною певною залежністю температурної похибки від значення вихідного сигналу[5].

Сучасні тензорезистивні засоби вимірювальної техніки застосовують інтелектуальні функціональні вузли, що дозволяють автоматизувати внесення поправок і реалізувати складні алгоритми компенсації температурної похибки.

Усі розглянуті вище методи температурної компенсації дозволяють звести до мінімуму температурну похибку.

Сучасне виробництво вимагає сучасних рішень проблем, тому необхідно виокремити найбільш підходящий із вищерозглянутих методів компенсації температурної похибки. Основними вимогами до знайдених рішень для сучасного виробництва є точність, надійність, економічність та можливість автоматизації.

З точки зору точності, то найбільш точним є метод внесення поправок, так як у цьому випадку ми аналізуємо всі складові впливу температури на тензорезистивний датчик, що дозволяє максимально мінімізувати температурну похибку.

Якщо розглядати основною вимогою надійність методу, то найбільш надійним є методи застосування комбінованих тензорезисторів та внесення поправок. Тому що, дані методи не вимагають ніяких зайвих втручань у процес вимірювання, що може призвести до появи інших похибок, на відміну від інших розглянутих методів, що гарантує його справність на весь період вимірювань.

Найбільш економічним є метод комбінованих тензорезисторів. Так як, даний метод не потребує витрат на придбання додаткових засобів для температурної компенсації.

З точки зору автоматизації, то найбільш підходящим для цієї мети є метод внесення поправок. У даному методі застосовуються інтелектуальні функціональні вузли, що дозволяють створити систему, де можливо реалізувати автоматизоване внесення поправок та складні алгоритми компенсації температурної похибки.

За проведеним вище аналізом можна сказати, що найбільш кращим методом температурної компенсації для сучасного виробництва є метод внесення поправок. Хоча даний метод не є найбільш економічним, так як вимагає значних вливань грошей для створення автоматизованої системи, але за його точністю, надійністю та ступенем автоматизації є найбільш сучасним та підходящим для вирішення задачі термокомпенсації сучасного виробництва.

ВИСНОВКИ

Розглянуто методи компенсації температурної похибки тензорезистивного методу визначення механічного напруження. У результаті проведеного загального аналізу методів за точністю, надійністю, економічністю та ступенем автоматизації, показано, що метод внесення поправок найбільш доцільно застосовувати для компенсації температурної похибки в автоматизованих системах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Організація науково-інноваційної діяльності: конспект лекцій [Електронний ресурс] : навч. посіб. для здобувачів ступеня доктора філософії за освітньою програмою «Комп'ютерно-інтегровані технології виробництва приладів» спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: О. О. Подолян, В. С. Антонюк, М. В. Філіппова. – Електронні текстові дані (1 файл: 1,29 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 105 с.
- [2] Подолян, О. О. Контроль якості монтажу муфт на магістральний трубопровід [Електронний ресурс] : монографія / О. О. Подолян, Г. С. Тимчик ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 10 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2020. – 180 с.
- [3] Мехеда В.А. М 55 Тензометрический метод измерения деформаций: учеб. пособие / В.А. Мехеда. – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. унта, 2011. – 56 с.
- [4] Тензометрия в машиностроении / Справочное пособие. М.: Машиностроение, 1975. 288 с.
- [5] Потыльчак А.П., Черепащук Г.А. Компенсация температурной погрешности тензорезисторных СИТ в условиях нестационарных тепловых полей // Український метрологічний журнал. – №1. – 2006. С. 11 – 16.

Наук. керівник – к.т.н., доц. Подолян О.О.

УДК 004.42

В.О. Сірош, студент групи ПБ-11мп, к.т.н., доц. Стельмах Н.В.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

УПРАВЛІННЯ МАНІПУЛЯТОРОМ МЕТОДОМ SDRE

Анотація. В даній роботі описується сфера оптимального та субоптимального керування нелінійними об'єктами за допомогою методу Ріккаті, а також розглянуто математичну модель управління маніпулятора та запропоновано практичне застосування описаного математичного апарату в системах управління роботизованою технікою.

Ключові слова. Субоптимальне керування об'єктами, метод Ріккаті,

ВСТУП

Перші роботи, пов'язані з методом оптимального керування нелінійними системами, з'явилися в 1950-х роках.

Задача оптимального керування полягає у пошуку такого оптимального керування, яке забезпечить мінімум оптимальних показників якості з обмеженнями на динаміку об'єкта керування. Отже, можна сказати, що проблема оптимального керування полягає не тільки в забезпеченні стабільного рішення, отриманні конкретної робочої пропускної здатності або задоволенні специфічних вимог, що впливають із класичних методів керування, але й у забезпеченні найкращого можливого контролю конкретного типу системи.

У 1962 році Пірсон ввів поняття, що визначає залежне від стану рівняння Ріккаті. У той час оптимальне керування вважалось складним питанням через проблему керування нелінійними динамічними системами. У своїй публікації Пірсон застосував залежність від стану нелінійну та нестационарну апроксимацію системи лінійною стаціонарною системою, для якої він розглянув квадратичний індекс якості. Бургхарт представив просте рішення субоптимального SDRE, використовуючи розкладання в ряд Тейлора.

Джеррард запропонував субоптимальне керування зворотним зв'язком для нелінійних систем на основі квадратичного критерію якості з використанням наближення другого порядку. Вернлі і Кук розробили метод апроксимації на основі розкладання в ряд Тейлора, представили об'єкт як залежний від часу і нелінійний за станом і функцією керування, враховуючи неуточнену структуру SDRE. Перше практичне застосування видно в роботах Клуцьє у дев'яностих роках, де ця методика була використана для вирішення проблеми оптимального керування нескінченним горизонтом часу в космічних системах. Випадки керування нелінійними системами у зворотному зв'язку для реальних об'єктів є розширенням лінійного квадратичного методу керування, який повинен задовольняти алгебраїчному рівнянню Ріккаті (ARE), щоб гарантувати бажану якість керування.

Концепція з визначенням залежності від стану рівняння Ріккаті була представлена, як наближення нелінійної системи через лінійну стаціонарну систему, для якої розглядався індекс продуктивності з квадратичною формою. Метод також був розроблений за допомогою ряду Тейлора, залежного від часу та нелінійного об'єкта у стані та функції управління, досліджуючи структуру SDRE.

Класичний підхід до методу SDRE зі скінченним і нескінченним горизонтом

часу має один принциповий недолік. Під час реалізації реальної системи керування виникає задача розв'язування рівняння Ріккати. Його потрібно вирішувати для кожного кроку часу в дискретній системі керування. Обчислювальні зусилля, а також кількість арифметико-логічних операцій, необхідних для пошуку рішення і, таким чином, забезпечення оптимального керування, можна зменшити. Цей підхід було представлено шляхом представлення модифікованого методу SDRE для кінцевого та нескінченного часового горизонту.

Новий підхід, полягає у поданні можливості розв'язання оптимального керування нелінійною системою шляхом розв'язання рівняння Ріккати лише один раз за весь процес керування у випадку нескінченного часового горизонту. Використовуючи лінеаризацію, можна модифікувати метод і розрахувати залежні від часу посилення компенсатора, як у задачах керування LQR для кінцевого горизонту часу.

Існують дві групи чисельних розв'язків рівнянь Ріккати. Перший — знайти стійкий розв'язок рівняння Ріккати з матриці Гамільтона, що забезпечує знаходження розв'язку. Другий, заснований на ітерації, дозволяє визначити рішення на основі вихідних припущень, що впливають із характеристик системи.

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ SDRE В УПРАВЛІННІ ВИБРАНИМИ СИСТЕМАМИ

Наведемо опис основних груп об'єктів методу SDRE для керування нелінійними реальними системами.

Застосування методу SDRE для керування кроковими двигунами. Системи керування цього типу з'являються в програмах, що вимагають точності, наприклад, автоматичні клапани, вимірювальні прилади, кварцові годинники, при керуванні роботизованою зброєю, в колесах в навантажувачах, у CD/DVD-приводах, а також в автомобільній промисловості він відповідає за роботу двигуна на холостому ходу [1].

Іншою групою пристроїв є квадрокоптери та гексакоптери. Вони популярні у військовому сегменті для спостереження за військовими діями, а також у цивільних операціях, де вони використовуються, наприклад, для спостереження за важкодоступними районами, а також дозволяють знімати та фотографувати без надання нової якості прийому.

Іншим прикладом об'єкта є математична модель осцилятора Ван дер Поля. Рівняння Ван дер Поля має довгу історію застосування як у фізичних, так і в біологічних науках. Наприклад, у біології Фіцхью і Нагумо розширили рівняння плоского поля і використали його для моделювання потенціалів дії нейронів. Рівняння також використовувалося в сейсмології для моделювання двох плит у геологічному розломі та в дослідженнях фонації для моделювання осциляторів правої та лівої голосових складок.

Лінійні приводи використовуються як у сфері реабілітації, догляду вдома, так і в промисловій техніці, де важливі: легка і компактна конструкція, висока жорсткість, ручне управління, яке не викликає проблем у користувача, проста

зборка, тиха робота. Вони використовуються як приводи для воріт або заслон. Це прості у використанні та надійні пристрої, тому їх часто використовують у сільськогосподарській техніці, а також у спеціалізованих пристроях, як у розумних будинках та офісах, так і навіть у галузі відновлюваної енергетики. Ці пристрої самоблокуються, але навіть після відключення живлення здатні витримувати великі навантаження. Їх можна поєднувати з індуктивними датчиками, що дозволяє адаптувати пристрій для різних застосувань [2].

Інша група – мобільні роботи. Вони поділяються на бігові, ходьбові, літаючі і плаваючі. Ці пристрої можуть бути автономними, не обмеженими силовими кабелями, і ними можна керувати дистанційно. Мобільні роботи з диференціальним приводом є важливими системами, які відіграють важливу роль як мобільні платформи для таких пристроїв, як маніпулятори або системи зору. Вони використовуються в дистанційних вимірюваннях, при оцінці збитків після катастроф, при виявленні витоків небезпечних рідин, полегшують моніторинг заторів, допомагають шукати небезпечні для рятувальників місця, забезпечують зв'язок і доставку посилок. Популярним методом проектування систем керування мобільними роботами є використання кінематичних залежностей, що в поєднанні з відомими алгоритмами дозволяють спроектувати простий та ефективний метод керування [3].

Остання група - це маніпулятори, які виконують автономно завдання без безпосередньої участі людини. Спочатку їх використовували для небезпечних робіт, наприклад, у радіоактивному, забрудненому або недоступному середовищі. В даний час вони широко використовуються в медицині, будучи сполучною ланкою між хірургом і пацієнтом, а також в автомобільній промисловості, полегшуючи виробництво нових транспортних засобів. Це дозволяє працювати в занадто жарких умовах і переносити важкі вантажі, знижуючи ризик роботи для людини. Сам маніпулятор нагадує руку, яка складається з суглобів і з'єднань, які своєю кількістю та способом з'єднання визначають кількість ступенів свободи робота.

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ УПРАВЛІННЯ МАНІПУЛЯТОРОМ

Маніпулятор — керований пристрій, оснащений робочим органом для виконання рухових функцій, аналогічних до функцій руки людини, під час переміщення об'єктів у просторі

Застосування до маніпулятору методу SDRE керування, розглянемо на прикладі маніпулятора з жорсткими шарнірами і 6 ступенями свободи, де розглянута задача враховує лише 3 ступені свободи.

Модель динаміки виглядає наступним чином (1):

$$M(q)\ddot{q} + C(q, \dot{q})\dot{q} + g(q) = u \quad (1)$$

де:

$M(q)$ -інерційна матриця,

$C(q, \dot{q})$ - матриця відцентрових сил і сил Коріоліса,

$g(q)$ - вектор сил тяжіння,

u - вектор керування.

Вектор стану маніпулятора має вигляд (2):

$$\dot{x} = \bar{F}(x)x + \bar{G}(x)u \quad (2)$$

де:

$$\bar{F}(x) = \begin{bmatrix} 0_{3 \times 3} & I_{3 \times 3} \\ 0_{3 \times 3} & F(x) \end{bmatrix}, \bar{G}(x) = \begin{bmatrix} 0_{3 \times 3} \\ G(x) \end{bmatrix}$$

Порівняння часів виконання контрольної задачі для класичного та запропонованого методу SDRE, демонструє, що внесення змін у структуру матриці компенсатора у зворотному зв'язку, а також лінеаризація, дозволяє знизити обчислювальну складність та значно скоротити час моделювання більш ніж на 80%.

ВИСНОВКИ

В перспективі подальших досліджень планується удосконалення субоптимального керування маніпулятором за допомогою методу Ріккаті та розробка прототипу зразка маніпулятора з демонстрацією його функціонування на прикладі практичного застосування розробленого математичного апарату.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] T. D. Do, H. H. Choi, and J.-W. Jung, "Sdre-based near optimal control system design for pm synchronous motor," IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 59, no. 11, pp. 4063–4074, 2011.
- [2] A. Molter, O. A. A. Da Silveira, J. S. O. Fonseca, and V. Bottega, "Simultaneous piezoelectric actuator and sensor placement optimization and control design of manipulators with flexible links using sdre method," Mathematical Problems in Engineering, vol. 2010, 2010.
- [3] M. Korayem, S. Nekoo, and A. Korayem, "Finite time sdre control design for mobile robots with differential wheels," Journal of Mechanical Science and Technology, vol. 30, no. 9, pp. 4353–4361, 2016.

Наук. керівник – к.т.н. доцент Стельмах Н.В.

Секція 4.

Прилади систем автоматизації

УДК 62-5

Ю.Ю. Хазанович, студент гр. ПК-11ф, д.т.н., доц. Киричук Ю.В.

КПІ ім. Ігоря Сікорського

АЛГОРИТМ КЕРУВАННЯ КРОКУЮЧИХ РОБОТІВ

Анотація. У статті було розглянуто один із існуючих на сьогодні варіантів реалізації кінематики крокуючих роботів та алгоритм керування на прикладі гексаподу. Саме крокуючі роботи мають більший потенціал у порівнянні колісними та гусеничними, але є складнішими у реалізації, з точки зору, як конструкції, так і кінематики та алгоритму керування. Проте крокуючих роботів можна розглядати, як ймовірну альтернативу вже існуючим колісним та гусеничним роботам у майбутньому.

Ключові слова: крокуючий робот, крокуюча платформа, гексапод, октопод, мобільні роботи, алгоритм керування, кінематика.

ВСТУП

Нині широко використовуються колісні та гусеничні роботи, проте на противагу їм все більшу популярність набувають крокуючі роботи (квадроходи, гексаходи та октоходи). Звичайно, найближчим часом вони не зможуть витіснити роботів на колісній базі, проте перші кроки в цьому напрямку вже відбуваються.

Перевага крокуючих роботів перед колісними роботами - це його кінцівки. Звичайно, їх конструкція складніша, але вона дає більше переваг: мобільність, маневреність у складних місцях, стійкість на нерівних поверхнях, взаємодію кінцівок з предметами, як людські руки.

До списку сценаріїв, за яких в майбутньому можливо використовувати крокуючих роботів входять: рятувальні операції; переміщення об'єктів; пересування у важкодоступних місцях; спостереження та охорона території, вивчення небесного тіла, розташовуючись безпосередньо на ньому, тощо.

ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ РОБІТ

Мобільними роботами називається технічна система, яка здатна самостійно пересуватись у навколишньому середовищі та здатна виконати попередньо задані завдання. Класифікувати їх можливо: за середовищем пересування; за пристроєм пересування; за навігацією. Розглянемо детальніше першу класифікацію, а саме під класифікацію наземне середовище.

Мобільні роботи складаються із гусеничних, колісних та крокуючих роботів. Серед особливостей перших двох видів можна виділити [1-3]:

- стабільність конструкції;
- швидкість пересування;
- високі вимоги до ґрунту;
- погана маневреність.

Із огляду на зазначені вище особливості автори статі «Mechanism Design and Kinematics Analysis of Spider-like Octopod Robot» [3] зосереджуються на крокуючому роботі із вісьма кінцівками, далі октопод. У якості тулуба описується правильна восьмикутна платформа, до якої кріпляться кінцівки робота, дивись рис. 1.

Для спрощення конструкції використовуються кінцівки однакової конструкції робота: основа кінцівки або стегно, що кріпиться до платформи,

гомілка та лапка, дивись рис. 2,а.

Із статті [3] кінематичний аналіз октоподу поділяється на аналіз прямої кінематики та аналіз зворотної кінематики. Він полягає у встановленні взаємозв'язку між кутами суглобів та положення стопи у просторі. Запропонований авторами октопод має 24 ступені свободи, тобто кожна кінцівка має три ступені свободи, дивись рис. 2,б.

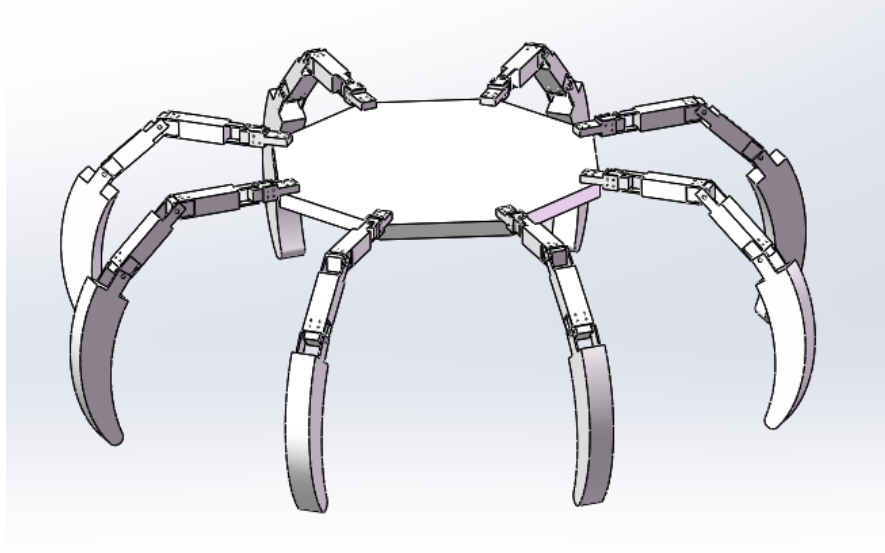
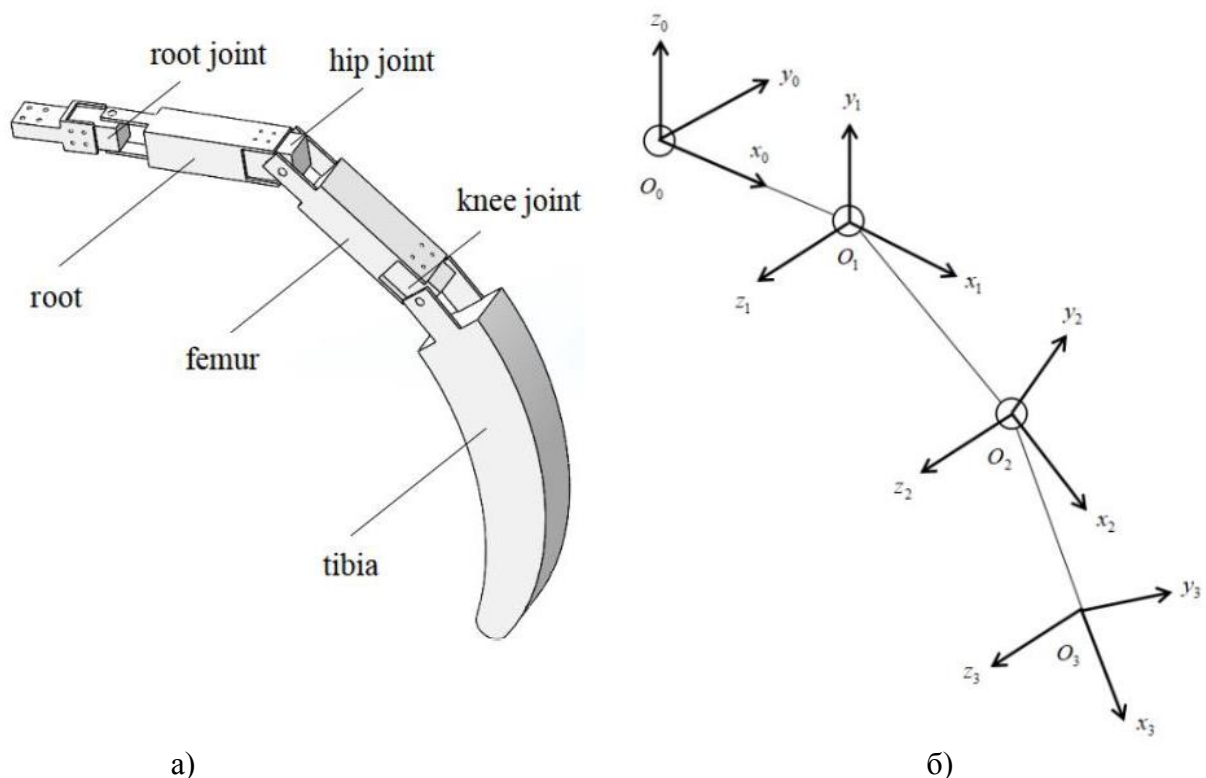


Рисунок 1. Конструкція октоподу



а)

б)

Рисунок 2. Кінцівка робота:

а) - схема будови кінцівки; б) - схема системи координат кінцівки

У наступній статті, що було розглянуто в рамках даної роботи «Алгоритм руху автономного робота – гексапода для переміщення у вузьких замкнутих просторах» [4] в рамках дослідження висвітлюється алгоритм руху гексапода в

умовах складного та обмеженого простору для маневрів. Представлений алгоритм є простим у реалізації та дозволяє використовувати його для інших видів крокуючих роботів. На відміну від існуючих алгоритмів, що дозволяють пересуватись на відкритій місцевості, алгоритм представлений авторами дозволяє пересуватись в умовах обмеженого простору.

Положення кожної кінцівки визначається за допомогою двох сервомоторів, кожен сервомотор може приймати одне із трьох значень k :

$$k = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ -1 \end{bmatrix}, \quad (1)$$

де 1 – максимальне значення кута повороту валу сервоприводу;

0 – початкове положення;

-1 – мінімальне значення кута повороту сервоприводу.

Це дозволяє скласти матрицю 3x4 станів приводів кінцівок, що виражено у формулі 2, дивись рис. 3 [4].

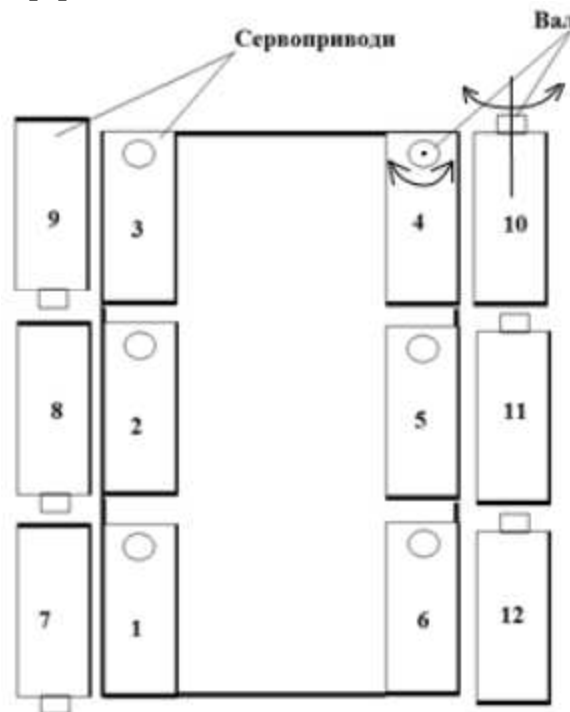


Рисунок 3. Запропонована авторами схема розташування сервоприводів для керування кінцівками на гескаподі

$$A_n = \begin{bmatrix} k_9 & k_3 & k_4 & k_{10} \\ k_8 & k_2 & k_5 & k_{11} \\ k_7 & k_1 & k_6 & k_{12} \end{bmatrix}. \quad (2)$$

ВИСНОВКИ

Із огляду літературних джерел можна дійти висновку, що крокуючі роботи мають більшу прохідність, ніж аналоги. Однак разом з тим, вони мають складнішу конструкцію і вимагають складнішого алгоритму керування для пересування як рівною поверхнею, так і в умовах складного рельєфу та обмеженого простору. Проаналізувавши описані в роботі статті, є можливим висунути припущення, що крокуючий робот із шістьма кінцівками є своєрідним

компромiсом між складністю конструкції, складністю алгоритму керування, стабільністю руху та практичною реалізацією.

Важливо відзначити, що в розглянутих статтях не було описано наступні можливості:

- керування кожною окремою ланкою кінцівки;
- визначення положення п'ятки кінцівки в момент дотику відносно початку координат робота;
- визначення моменту дотику п'ятки кінцівки.

Тому метою подальшого дослідження буде зосередити роботу саме на даних аспектах. Проте іншими підходами для вирішення задачі можна розглядати як вдосконалення існуючих варіантів конструкцій, так і використання різних матеріалів у конструкції, в тому числі і спеціально розроблених.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Збруцький О. В. Мобільні роботи: можливості, перспективи, проблеми / О. В. Збруцький, Ю. М. Савенко, Д. С. Мішкін // Механіка гіроскопічних систем: науково-технічний збірник. – 2013. – Вип. 26. – С. 112–120.
- [2] Киричук, Ю.В. Основні функції робота / Ю.В. Киричук, Ю.Ю. Хазанович, Я.В. Макаров // Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси (ІРТК-2022). П'ятнадцята міжнародна науково-практична конференція 17-18 травня 2022 р., Київ, Україна. – К.: НАУ, 2022. – 241 с. (збірка тез).
- [3] Zihao Yang, Minghai Yuan, Xinhui Shi, Zenan Yang and Mengyuan Li, "Mechanism Design and Kinematics Analysis of Spider-like Octopod Robot", IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 1314 (2019) 012109 doi:10.1088/1742-6596/1314/1/012109
- [4] Платов, І. М. Алгоритм руху автономного робота – гексапода для переміщення у вузьких замкнутих просторах / Платов І. М., Павловський О. М. // Вісник КПІ. Серія Приладобудування : збірник наукових праць. – 2021. – Вип. 61(1). – С. 61-68., [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/46667>

Наук. керівник – д.т.н., доц. Киричук Ю.В.

Секція 5.

Метрологія, інформаційні вимірювальні технології та екологічна безпека

УДК 504.075.8

*О.Т. Мехед, студент гр. ПВ-01, д.т.н., професор Защепкіна Н.М.
КПІ ім. Ігоря Сікорського*

ДРОНИ (БПЛА), ЇХ РОЛЬ У СУЧАСНОМУ ЖИТТІ ТА ЕКОЛОГІЇ

Анотація. Дана стаття розкриває ідею можливостей дронів у житті людини. Особлива увага приділяється темі екології, а саме збереженню довкілля від забруднень та природних катастроф і запобіганню розповсюдження небезпечних хвороб у різних кутках планети. Доводиться перевага використання сучасних технологій у діяльності людини з метою стабілізації деяких природних ділянок, від яких залежить суша, вода та повітря, без якої комфортне життя людини неможливе.

Ключові слова : дрони, бпла., хвороби, ліси, екологія.

АКТУАЛЬНІСТЬ ТЕМИ

Забруднення навколишнього середовища є причиною екологічної катастрофи у світі, фактором ризику захворювань і передчасної смертності. Згідно з досліджень світових вчених від хвороб, викликаних екологією, щорічно помирає кожна шоста людина. Велику частку в цей негативний вплив вносить забруднення токсичними хімічними речовинами, і смертність від цих факторів щорічно зростає. Тому контроль за станом навколишнього середовища залишається актуальнішою проблемою сьогодення.

Після віроломного нападу на Україну Російською федерацією держава бореться не тільки з ворогами, а й з наслідками цієї страшної війни. Виходячи з аналізу стану навколишнього середовища сьогодні в Україні, набуває все більшої актуальності питання визначення та контролю негативних факторів, які впливають на стан водяних, лісових ресурсів держави. Із-за неможливості доступності до об'єктів дослідження в якості приладів контролю використовуються дрони, які мають різний функціонал і спеціалізацію. Застосування прогресивних досліджень в царині контролю та визначенням різних факторів, які впливають на властивості того або іншого об'єкту досліджень визначає розвиток країни та суспільства вцілому.

Головна перевага дрона – безпека оператора, адже керування відбувається на певній відстані із залученням людини, або автоматично за завчасно прокладеним маршрутом. В умовах техногенних катастроф це дуже важливо. Можна сказати, що результативність їх використання залежить від вірного підбору пристрою під конкретно поставлену задачу.

Проведемо аналіз конструкцій дронів.

ДОСТУПНЕ КОЖНОМУ

Першим можна виділити найдоступніший пристрій: дрони цивільного призначення. Гарно підходять для зйомки відео, але мають обмеження по дальності в залежності від комплектації (приблизно 100-300 метрів) та середню тривалість польоту в межах 15-30 хвилин. Існує можливість відстеження апарату та оператора пристроїв DJI за наявності станції DJI Aeroscope [1] (яку не може придбати звичайний громадянин, та може придбати держава).



Рисунок 1. DJI Aeroguard

Ця технологія забезпечує відсутність загроз у повітряному просторі біля місць критичної інфраструктури, яка може потребувати захисту від зайвих очей або запобіганню наявності БПЛА у зоні польотів інших транспортних засобів. Перевагою можна назвати дешеву ціну, яка як раз орієнтована на масового споживача.

НА БЛАГО ЛЮДИНИ

Наступним видом БПЛА є комерційні розробки. Ці рішення пропонують практично все.

Наприклад, дрони-кур'єри. Використання таких пристроїв значно спрощує процес передачі замовлення від постачальника до споживача, адже мінімізує



Рисунок 2. Дрон-кур'єр

роль людини, що дозволяє вилучити оператора дрона, зробити доставку дешевше, більш екологічною та швидшою. В умовах конкуренції на ринку використання таких нововведень гарантують успіх серед споживачів. За таким принципом вирішили діяти у [2] Amazon з 2016 року, що безумовно стало їх перевагою.

ХВОРОБИ ТА БОРОТЬБА З НИМИ

Щодо вирішення більш серйозних завдань також є свої рішення, це доводить досвід боротьби з лихоманкою Денге [3] на території республіки Фіджі. Через те, що територія зазнала значних повінів, це створило придатні умови для розмноження комарів, які у свою чергу можуть переносити хвороби, такі як вірус Зіка. Тому, було прийнято рішення за допомогою дронів випустити у цю середу комах, яких попередньо [4] тримали разом з *Wolbachia*, бактерією, яка знижує здатність передачі хвороби комахами.

ВІДНОВЛЕННЯ ЛІСУ

Сучасні технології використовуються в тому числі як інструмент, який допомагає відновити баланс у природі після пожеж, ураганів, цунамі. Завдяки спеціально розробленому БПЛА [5] стало можливим відновлення мангрових заростів, які є середою для проживання птахів, водних мешканців та ссавців. Дрон може скинути 750 кульок з насінням на один гектар за 5 хвилин. З такою ефективністю можна бути впевненим, що загроза таким лісам тимчасова і людина.

КОНТРОЛЬ ЗАБРУДНЕННЯ

Не треба забувати, що більшість катастроф можна завчасно запобігти, так вважають і в Європейському агентстві з морської безпеки. Для цього створили дрон, [6] який займається патрулюванням Північного моря та аналізує концентрацію викидів сірки та азоту, які є результатом діяльності людини і використанням судна як транспортного засобу.



Рисунок 3. БПЛА-спостерігач

Цікаво, що апарат може використовуватися і для координації та контролю трафіку кораблів, спостереженням за риболовством за для запобігання порушень встановлених норм та пошуку і спасіння людей у разі такої потреби.

ПІДСУМОК

Проаналізувавши області застосування дронів можливо зробити висновок, що ця техніка є абсолютно різною починаючи від призначення до виробника, але її об'єднує важливість у сучасному житті завдяки функціоналу, який забезпечує інформацією та можливістю контролю екологічних проблем, а саме головне – запобігання катастроф і тим самим зберігає людські життя.

Використання дронів в Україні стало звичним явищем. Мета нашого подальшого дослідження – це застосування дронів для контролю за станом екології в Україні під час та після війни, для забезпечення безпечності життя населення в нашій країні.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Офіційний сайт DJI. URL: <https://www.dji.com/aeroscope>
- [2] Офіційна сторінка Amazon з детальною інформацією про доставку дронами. URL: <https://www.amazon.com/Amazon-Prime-Air/b?ie=UTF8&node=8037720011>
- [3] 5 ways drones are saving lives and the planet. <https://www.weforum.org/agenda/2021/09/drones-reforesting-restore-conservation-disease>
- [4] Джерело, яке детально описує вищезазначені процеси. URL: <https://www.worldmosquitoprogram.org/en/work/wolbachia-method/how-it-works>
- [5] 5 ways drones are saving lives and the planet. URL: <https://www.weforum.org/agenda/2021/09/drones-reforesting-restore-conservation-disease>
- [6] EMSA drones monitor sulphur and nitrogen emissions from ships in the English Channel. URL: <https://safety4sea.com/emsas-drones-monitor-sulphur-and-nitrogen-emissions-from-ships-in-the-english-channel/>

Наук. керівник – д.т.н., проф. Защенко Н.М.

УДК 621.325; 621.335

Ю.В. Носова, А.А. Ільченко, студ. гр. ПН-91, к.т.н., доц. Божко К.М.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

НЕЧІТКА МОДЕЛЬ ЯКОСТІ ФОРМИ ВИХІДНИХ СИГНАЛІВ ГЕНЕРАТОРА ТИПУ JDS6600

Анотація. Для оцінювання якості форми вихідного сигналу функціонального генератора авторами запропонована нечітка модель із трьома входами і 100-бальною шкалою. Оцінювання проводять для будь-якої частоти із робочого діапазону приладу. Найменші значення шкали відповідають найвищій ступені відповідності форми реального сигналу до ідеальної форми. Таким чином, дослідники і розробники можуть обирати модель генератора відповідно до частотного діапазону та вимог до якості вихідного сигналу. Модель реалізована для генератора типу JDS6600. Основою для вихідних даних стали вимірювання параметрів форми симетричного двох-полярного імпульсного сигналу цифровим осцилографом типу SDS1102CML+.

Ключові слова: нечітка модель, функціональний генератор, цифровий осцилограф.

ВСТУП

Генератори із цифровим синтезом вихідних сигналів заданої форми набули в наш час популярності в лабораторних дослідженнях [1]. Ступінь відповідності форми сигналу до заданих параметрів визначає якість вихідного сигналу генератора. Візуальна оцінка форми може бути виражена в бальній шкалі відповідно до визначених критеріїв. Для побудови такої шкали автори пропонують застосувати нечітке моделювання у середовищі MATLAB (модуль fuzzy toolbox).

МЕТА РОБОТИ

Метою роботи є створення експертної системи на основі нечіткої моделі, яка має оцінювати якість роботи функціонального генератора за аналізом форми вихідного сигналу. В бібліографії джерел наразі можна зустріти лише нечисленні публікації з проблем нечіткого моделювання при обробці кривих [2], що доводить можливість поширення застосування нечітких моделей на електричні сигнали, а також свідчить про новизну предмету дослідження.

МАТЕРІАЛИ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Об'єктом дослідження обрано двох-полярний симетричний імпульсний сигнал типу «меандр» від генератора JDS6600. Реєстратором форми сигналів і інструментом вимірювання їх часових та амплітудних параметрів було використано цифровий осцилограф SIGLENT SDS1102CML+ (Digital Storage Oscilloscope), який має два вхідних канали із смугою проникнення 100 МГц і частотою вибірки 1 Г вибірок на секунду [3].

Сигнали від генератора досліджували в частотному діапазоні від 100 кГц до 30 МГц за такими критеріями:

- несиметричність амплітудна;
- несиметричність часова;
- зростання і спад.

Усі три критерії для оцінки якості сигналу мають значення у відсотках.

Амплітудну несиметричність сигналу визначають як відношення суми максимального і мінімального (від'ємного) значень до розмаху амплітуди (peak to peak).

Часову несиметричність визначають як відношення різниці тривалості додатної і від'ємної частини сигналу до його періоду.

Зростання і спад (rise and fall) визначають ступінь відхилення форми від прямокутника до трапеції і є відношенням суми часу зростання і спаду до тривалості додатної частини імпульсу.

На рисунку 1 наведено лабораторний стенд для вимірювання параметрів вихідного сигналу генератора.

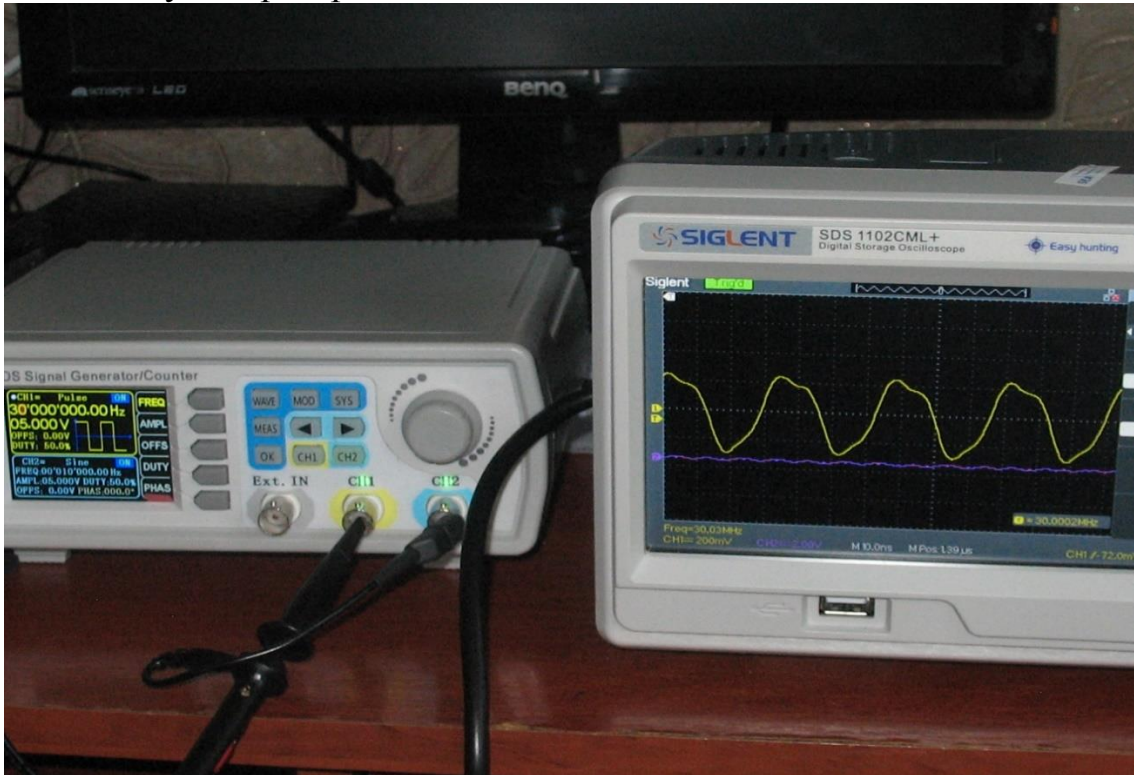


Рисунок 1. Лабораторний стенд: частота сигналу 30 МГц; амплітуда 5 В

Як свідчить зображення на екрані осцилографу (рис. 1), форма сигналу на високих частотах значно відрізняється від еталону, яким певною мірою може бути сигнал із частотою 1 МГц (рис. 2).

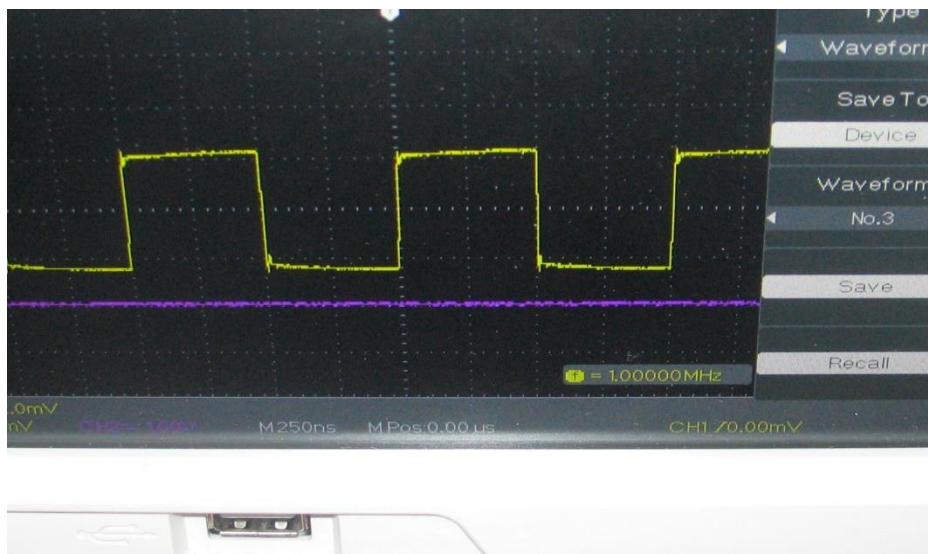


Рисунок 2. Сигнал із частотою 1 МГц

Сигналом із спотвореною формою важко виконувати без збоїв більшість операцій (команд) або бути принаймні сигналом синхронізації. Таким чином, генератор у режимі реальної роботи має звужений частотний діапазон, що на думку авторів, обмежує його використання для задач із високочастотним перетворенням. Якість форми вихідного сигналу має оцінюватись експертною системою.

При створенні нечіткої моделі використано три входи: «Дельта 1», «Дельта 2» і «Дельта 3» для значень амплітудної і часової несиметричності, а також зростання і спаду. Входи мають різні числові діапазони. Вихідна функція output1 має 100-бальну шкалу, в якій 0 балів є найкращою оцінкою, а 100 балів – найгіршою. Модель має 27 правил нечіткої логіки. Тип моделі – Мамдані. Усі питання з розробки нечітких моделей засобами MATLAB, детально розглянуті у численних довідниках, наприклад [4]. Функцію виходу у формі поверхні наведено на рис. 3.

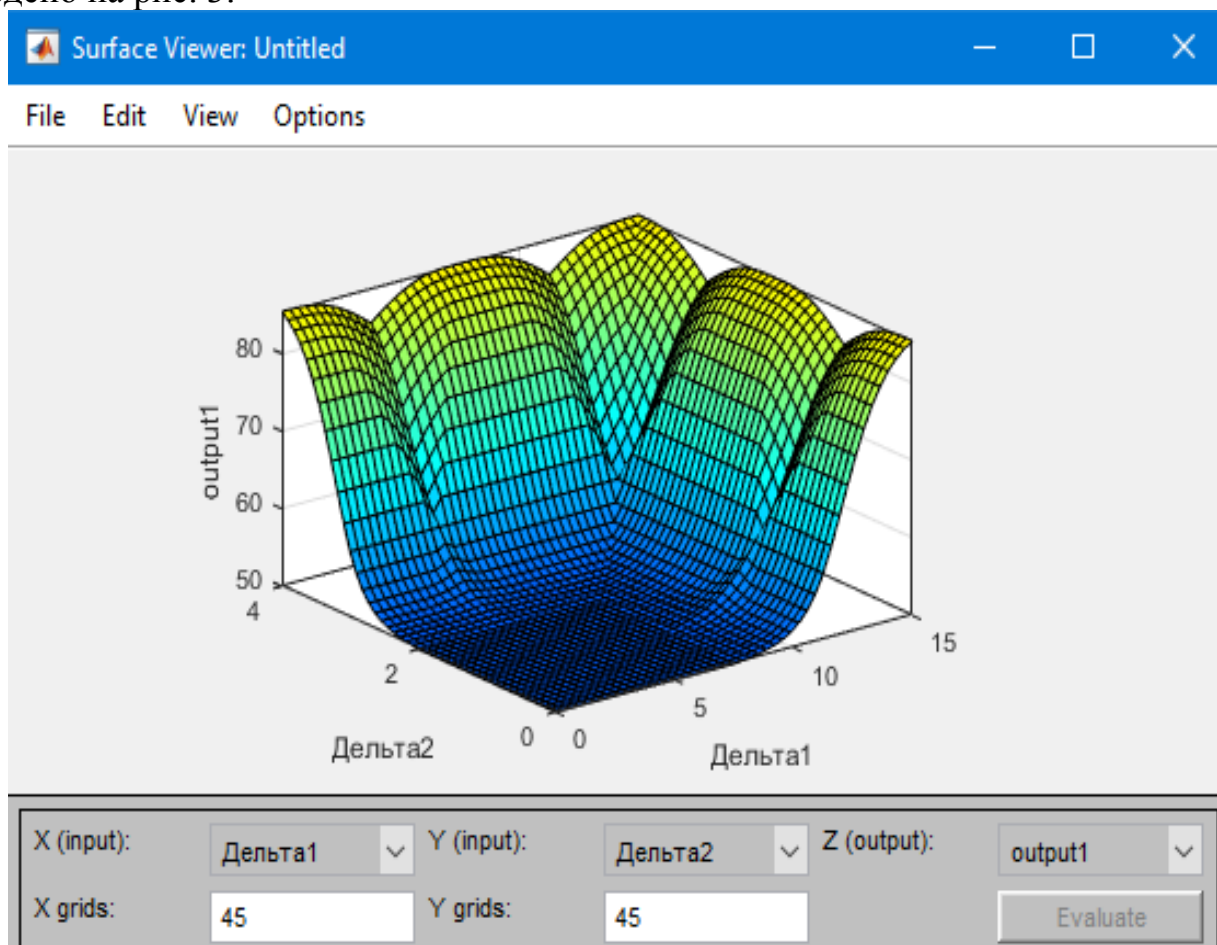


Рисунок 3. Поверхня рішень для функції виходу output1

Для перевірки нечіткої моделі були внесені параметри сигналу для частоти 20 МГц (рис. 4). Оцінка якості форми сигналу склала 84,2 бали і є низькою для генератора.

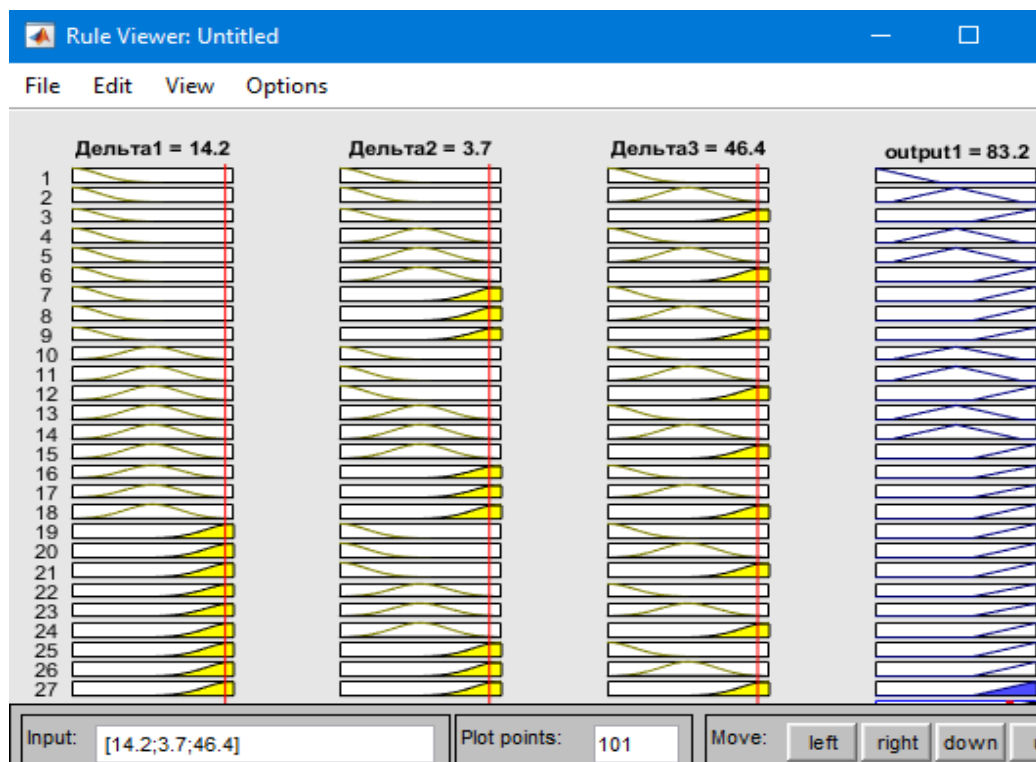


Рисунок 4. Результат оцінювання сигналу на частоті 20 МГц за 100-бальною шкалою

Для частоти 1 МГц система оцінювання якості форми сигналу надала оцінку 47 балів. На частоті 100 кГц оцінка якості дорівнювала 36 балам. При половинних значеннях усіх трьох вхідних «Дельта» оцінка дорівнює 50 балам, що становить рівно половину шкали.

ВИСНОВКИ

Результатом роботи є розробка експертної системи на основі нечіткої моделі для оцінювання якості форми сигналу генератора на прикладі симетричного двох-полярного прямокутного сигналу типу «меандр». Наступні дослідження необхідно провести для аналізу сигналів іншої форми (наприклад, пилкоподібної) для повного частотного діапазону (від 0 до 60 МГц). Практична цінність подібних оцінок – правильне визначення робочого частотного діапазону або оптимальний вибір моделі генератора для обраного частотного діапазону сигналів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] JDS6600 Dual-Channel Signal Generator. [Electronic resource] Available: <https://joy-it.net/en/products/RB-JoyPi-Note> [04.06.2022]
- [2] Chandrashekar M. Damage assessment of structures with uncertainty by using mode-shape curvatures and fuzzy logic. /M. Chandrashekar M., Ranjan Ganguli // Journal of Sound and Vibration. Vol. 326. – 2009. – Pp. 939-957.
- [3] SDS1000 Series Digital oscilloscope. User Manual. – SIGLENT TECHN. Published. – 2015. – 168 p.
- [4] Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzy TECH. – СПб. :БХВ-Петербург. – 2003. – 736 с.

Наук. керівник – к.т.н., доцент каф. ІВТ, Божко К.М.

УДК 4.312.44

А.І. Ніколаєв, М.В. Петров, студ. гр. ПН-п01, к.т.н., доц. Божко К.М.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ВПЛИВ КОНСТРУКЦІЇ МОНТАЖУ НА ПРОХОДЖЕННЯ ІМПУЛЬСНОГО СИГНАЛУ

Анотація. Для правильно монтажу вимірювальних кіл важливим є врахування небажаного впливу властивостей кабелю, зокрема його ємності. При проходженні високочастотних сигналів відбувається шунтування сигналу через ємність кабелю. Найбільший шунтовий ефект притаманний екранованому кабелю. Менший ефект шунта має вита пара, ще менший - звичайний дріт. Лабораторні дослідження форми імпульсного сигналу при проходженні ним через кабель дозволяють також обчислити важливі параметри як самого кабелю так і вихідного каскаду джерела сигналу: електричну ємність та активний опір.

Ключові слова: цифровий осцилограф, екранований кабель, вита пара, електрична ємність, імпульсний сигнал.

ВСТУП

Цифрові осцилографи в наш час стають неодмінним компонентом вимірювальних стендів, на яких в реальному часі можна отримати дані про форму, часові і електричні параметри вимірювальних сигналів [1,2]. Динамічні вимірювання параметрів і характеристик електронних приладів, а також вузлів на їх основі передбачають використання імпульсних сигналів [3]. При роботі з реальними електронними схемами виникають проблеми саме з проходженням імпульсних сигналів від джерела до вимірювального приладу. Такими проблемами можуть стати: затухання амплітуди, спотворення форми, затримка фронту, затягування спаду тощо. Конструкція тракту сигналу стає важливою при розробці і виготовленні вузлів електронних схем, а також їх з'єднань. Кабельні з'єднання часто використовують в лабораторних стендах, тому важливо практично дослідити їх вплив на проходження імпульсних сигналів

МЕТА РОБОТИ

Метою роботи є лабораторне дослідження проходження імпульсних сигналів від генератора до цифрового осцилографа по монтажних кабелях (дротах) різного типу (двох-провідна лінія, вита пара, екранований дріт) та отримання даних про чисельні параметри тракту, зокрема сталої часу та електричної ємності. Порівняльний аналіз конструкцій монтажу на основі різного типу кабелю має виявити обмеження та недоліки і надати рекомендації з їх запобігання.

МАТЕРІАЛИ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Лабораторний стенд (рис. 1) зібрано на генераторі ГЗ-111 та осцилографі TDS1002.

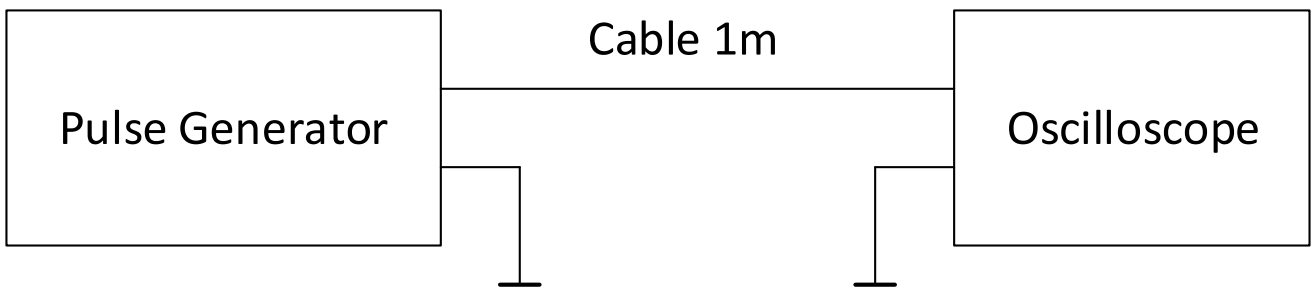


Рисунок 1. Лабораторний стенд: Pulse Generator – генератор ГЗ-111; Cable 1m – монтажний дріт довжиною 1м; Oscilloscope – осцилограф TDS1002

При відсутності кабелю щуп осцилографа був приєднаний безпосередньо до виходу генератора. Двох-полярний симетричний імпульсний прямокутний сигнал з частотою 2 МГц і амплітудою приблизно 100 мВ має мінімальні вади форми (Рис. 2). На екран виведено лише додатну частину сигналу. Параметри сигналу відповідають граничним значенням для генератора: максимальна частота і мінімальна амплітуда. Такий підхід дозволяє побачити на осцилограмі вплив вихідного кола генератора на сигнал.

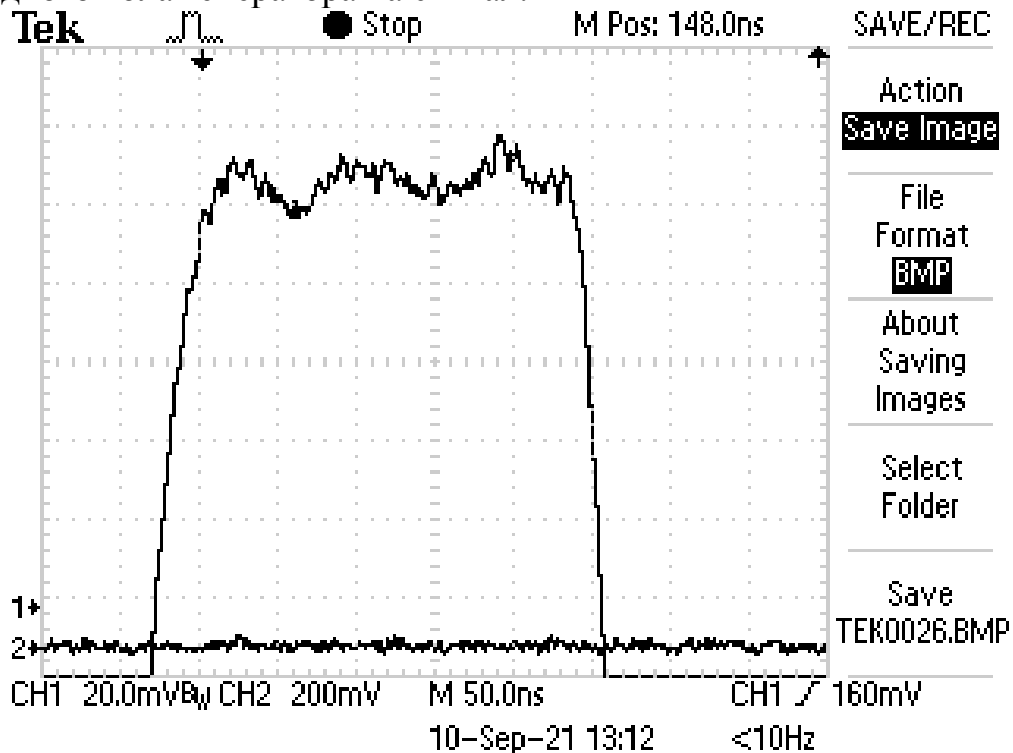


Рисунок 2. Сигнал із частотою 2 МГц та амплітудою 100 мВ: монтажний дріт відсутній

Сигнал зростає експоненціально. Стала часу $\tau = RC$ відповідає зростанню напруги в $e=2,718$ рази і дорівнює $15 \pm 0,75$ нс. Тут R – вихідний опір генератора, C – вихідна ємність генератора плюс ємність щупа осцилографа.

Подвійний дріт типу «вита пара» між генератором і осцилографом помітно спотворив форму сигналу (Рис. 3).

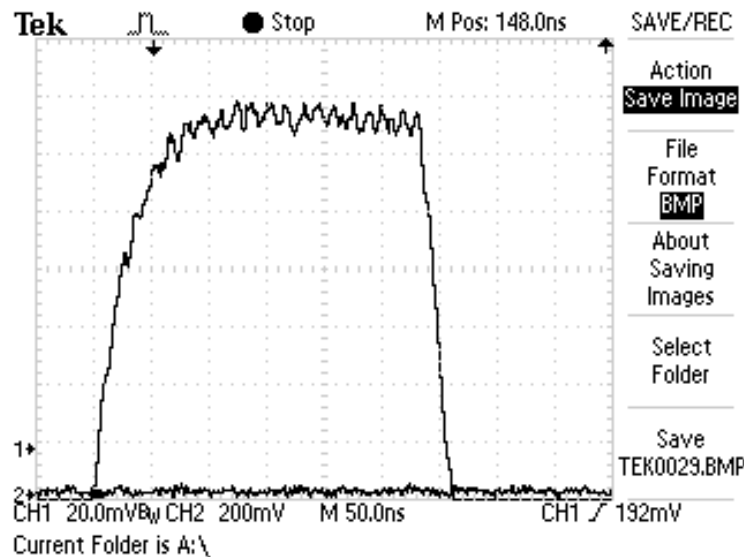


Рисунок 3. Сигнал 2 МГц, 110 мВ: застосовано дріт типу «вита пара» довжиною 1 м

Для витої пари стала часу дорівнює $25 \pm 1,25$ нс. Збільшення сталої часу можна пояснити наявністю міжвиткової ємності кабелю, яка має паралельне з'єднання із виходом генератора. Таким чином, можна оцінити внесок витої пари у загальну ємність тракту сигналу у 40% від загалу з відносною похибкою 5%. Окреме вимірювання електричної ємності кабелю типу «вита пар» приладом Е7-14 (вимірювач іммітансу) надало значення $40 \pm 0,5$ пФ. Повна ємність тракту становить 100 ± 5 пФ. Ємність щупа є стандартною і не перевищує 10 пФ. Таким чином, вихідна ємність генератора дорівнює 50 ± 5 пФ. Наступним кроком визначаємо вихідний опір генератора. Слід розділити сталу часу 25 нс на ємність 100 пФ. Отримаємо величину $250 \pm 12,5$ Ом. Результат відрізняється від очікуваного стандартного значення у 50 Ом в 5 разів. Робимо висновок, що при мінімальній амплітуді сигналу в 100 мВ генератор ГЗ-111 має збільшений в п'ять разів вихідний опір.

Наступним об'єктом дослідження став екранований одножильний кабель (Рис. 4). Спотворення сигналу тут є найпомітнішими.

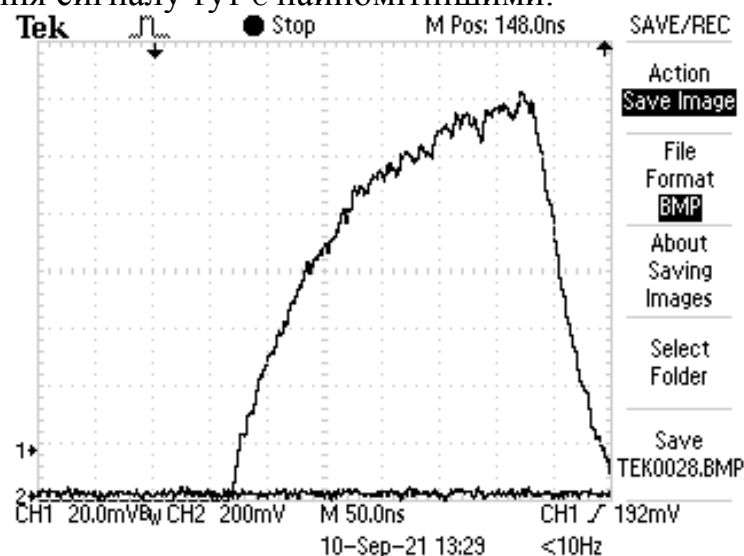


Рисунок 4. Сигнал 2 МГц, 120 мВ: застосовано екранований дріт довжиною 1 м

Ємність між центральною жилою і екраном для кабелю довжиною 1 м склала $182 \pm 0,5$ пФ. Стала часу тут збільшена до 64 ± 4 нс. Таким чином,

використання у вимірювальних трактах екранованих дротів заради запобігання впливу електричних завад, може привести до небажаного згасання високочастотного сигналу і втрати ним своєї форми. Екранований кабель тут є паразитним шунтом для сигнального кола.

ВИСНОВКИ

Результатом роботи є отримання практичних рекомендацій для конструкції сигнальних кіл. По-перше, для високочастотних сигналів не слід використовувати довгі екрановані кабелі для запобігання ефекту шунта. По-друге, за осцилограмою імпульсного сигналу можливо визначити параметри кола: сталу часу, вихідний опір, вихідну ємність, ємність кабелю.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] TDS1002. Digital Storage 60 MHz 2-Channel Scope. [Electronic resource] Available: <https://w140.com/tekwiki/wiki/TDS1002> [05.06.2022]
- [2] TDS 1000- and TDS2000 – Series Digital Storage Oscilloscope. User Manual. – Tektronix Inc. Publ. – 206 p. [Electronic resource] Available: https://w140.com/tekwiki/images/1/1a/071-1064-00_TDS1000_and_TDS2000-Series_User_Manual_Revision_A.pdf [05.06.2022]
- [3] Pulsed I-V Testing for Components and Semiconductor Devices. – Keithley Inc. Publ. – 2014. – 74 p.

Наук. керівник – к.т.н., доцент каф. ІВТ, Божко К.М.

УДК 536.532

Г.Я. Свирид, студентка гр. МТ-18-1, к.т.н., доц. Біліщук В. Б
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

РОЗРОБЛЕННЯ ВИМІРЮВАЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ ТЕМПЕРАТУРИ

Анотація. В роботі розглянуто актуальність вимірювання температури різними термодетекторними давачами. Вказано на актуальність побудови інтелектуальних давачів і вимірювальних засобів на базі мікроконтролерів. Запропоновано вимірювальний комплекс температури на основі вимірювальних перетворювачів, які побудовані із застосуванням мікроконтролерів. Застосування таких вимірювальних перетворювачів дозволяє автоматизувати процеси вимірювань, побудувати інтелектуальні вимірювальні системи для вирішення багатьох задач.

Ключові слова: температура, вимірювальний перетворювач, термодетектор

ВСТУП

Різні фізичні величини мають різну фізичну природу, тому відрізняються їх методи та засоби вимірювань. В даний час існує приблизно наступний розподіл частки вимірювань різних фізичних величин у промисловості: температури 50%, витрати (масової та об'ємної) 15%, тиску 10%, рівня 5%, кількості (маса, обсяг) 5%, часу 4%, дані матеріалів (аналітичні виміри) 4%, електричні та магнітні величини менше 5%. Звідси видно, що переважна кількість вимірювань є вимірами неелектричних величин [1].

Кількість вимірюваних параметрів на одному промисловому об'єкті обчислюється тисячами. Так, на атомній електростанції середнього розміру є близько 3000 точок вимірів різних фізичних величин. На великому підприємстві хімічної промисловості лише вимірювання температур є близько 20000 точок контролю. Вимірювання фізичних величин - це масовий процес, причому основну його частку становлять вимірювання неелектричних величин.

Останнє десятиліття характеризується швидким використанням мікропроцесорної техніки як у вимірювальних приладах, так й у первинних перетворювачах. У мікропроцесорних (інтелектуальних) засобах вимірювання докорінно змінюються функціональні можливості з обробки, перетворення та методів представлення результатів вимірювань. Ці прилади є основою для побудови промислових керуючих мікропроцесорних систем та інформаційно-керуючих систем наукових досліджень [2].

Значно розширюється номенклатура використовуваних у промисловості засобів вимірювання температури. Резистивні давачі температури та термодетектори мають посідають значне місце у вимірюваннях температур у промисловості. Знання їх переваг та недоліків допоможе правильно вибрати давач для конкретного застосування. Приблизно 50-60% всіх вимірювань температури в промисловості виконуються термодетекторами, 30-40% - резистивними давачами, а решта - іншими давачами.

За останні три десятиліття відбувся великий прогрес у розробці та оснащенні новою апаратурою технологічних процесів. Це стосується появи інтелектуальних давачів температури, цифрової обробки аналогових сигналів давачів, забезпечення цифрового відображення показань та комп'ютерного керування. Незважаючи на все це, первинними елементами для вимірювання температур, як у звичайних, так і в інтелектуальних температурних датчиках,

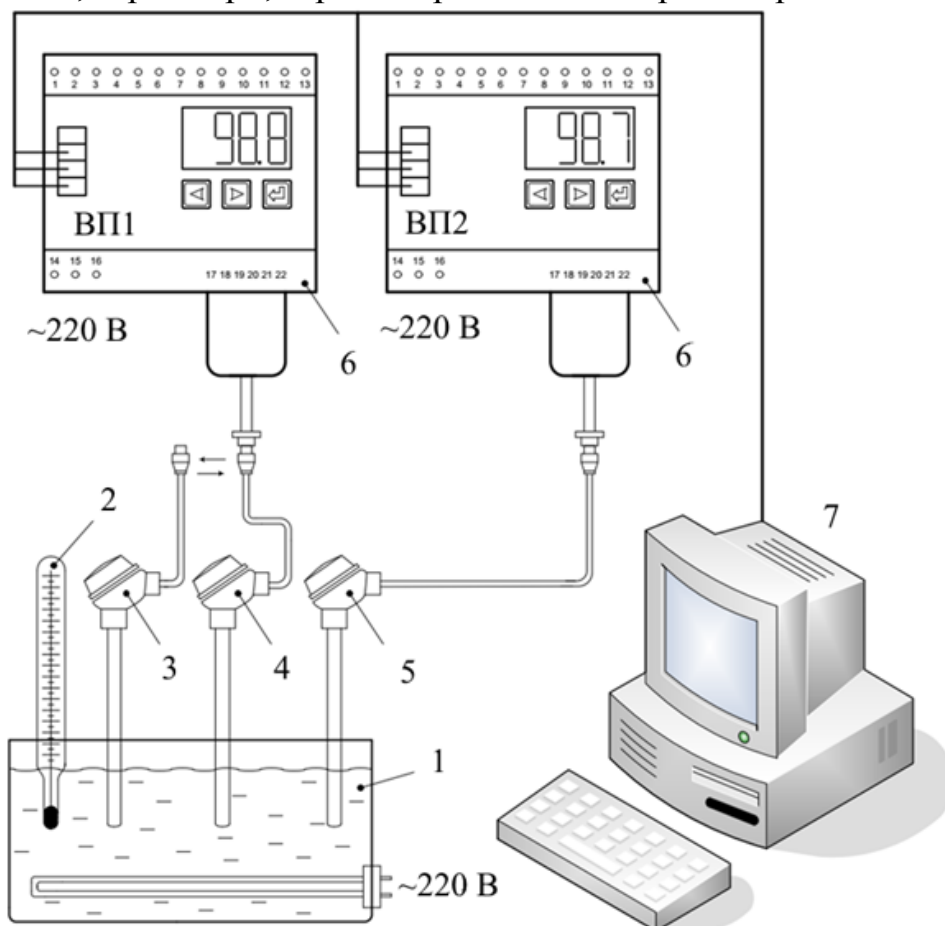
здебільшого, все ще залишаються термопари або резистивні датчі температури. Ці датчі використовують понад сторіччя, але все ще залишаються найкращими інструментальними засобами для проведення вимірювань температури у промисловості [3].

МЕТА РОБОТИ

Метою цієї роботи є розроблення вимірювального комплексу для калібрування вимірювальних перетворювачів або здійснення вимірювань температури.

МАТЕРІАЛИ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Оснoву вимірювального комплексу (рисунок 1) складають вимірювальні перетворювачі ВП1 і ВП2. Вимірювальні перетворювачі виготовлені так, щоб можна було підключати різні термоелектричні первинні перетворювачі з такими параметрами: діапазон входних напруг $U_{вх} = 0..75$ мВ, діапазони входних струмів $I_{вх} = 0..5$ мА або $I_{вх} = 4..20$ мА, діапазон опорів датчів $R_n = 0..320$ Ом. Для реалізації вимірювального комплексу пропонується використовувати два вимірювальні перетворювачі, термопари, термометр мідний та термометр платиновий [4, 5].



1 - термостат; 2 - термометр ртутний; 3 - термометр мідний; 4 - термометр платиновий; 5 - термопара; 6 - вимірювальні перетворювачі, 7 - комп'ютер.

Рисунок 1 - Структурна схема вимірювального комплексу

Розроблений вимірювальний перетворювач повинен відповідати таким вимогам: універсальність приладу при підключенні різних первинних

перетворювачів; простота у використанні; зручність при монтажі.

Компенсація холодного спаю вирішується в самому приладі. Як давач температури використаний терморезистор, який знаходиться в одній ізотермальній зоні (клемна колодка) разом з додатковими «спаями» термопари. Нелінійність сигналів від первинних перетворювачів пропонується усунути за рахунок внесення в пам'ять приладу табличних або поліноміальних лінеаризаційних характеристик давачів, що підключаються.

Завдяки використанню мікропроцесора в приладі можливо реалізувати функцію контролю обриву давача. Прилад можна налаштувати таким чином, що при обриві давача на виході буде сигнал нижче мінімального, або вище максимального. Що буде сигналізувати про несправність.

Конструктивно вимірювальний перетворювач складається із шести модулів: модуля живлення, модуля управління, модуля аналого-цифрового перетворювача (АЦП), модуля цифро-аналогового перетворювача (ЦАП), модуля інтерфейсу, модуля з'єднань.

Модуль живлення складається з імпульсного блоку живлення, який перетворює мережеву напругу на дві напруги постійного струму: +24V і +5V. Для здійснення гальванічної розв'язки кожен модуль має свій трансформатор та вбудовані випрямлячі зі стабілізаторами напруги та струму.

Модуль управління пропонується реалізувати на мікроконтролері PIC18F8720. Ця мікросхема підходить для використання складних протоколів зв'язку типу TCP/IP.

У модулі управління вимірювального перетворювача вирішується ціла низка задач: забезпечення взаємодії вузлів приладу (АЦП, ЦАП та інтерфейсного модуля); здійснення перетворення коду, що приймається від АЦП; формування коду управління ЦАП; забезпечення обміну інформацією з комп'ютерною мережею у вигляді інтерфейсного модуля; управління блоком індикації та блоком релейних каналів сигналізації; задавання параметрів конфігурації; також має у своєму складі кнопкову клавіатуру для ручного керування приладом.

Модуль аналого-цифрового перетворювача (АЦП) здійснює перетворення вимірюваного аналогового сигналу в цифровий код, який потім передається в модуль управління для подальшої обробки. Модуль АЦП містить вбудоване джерело постійного струму для живлення зовнішніх пристроїв та має у своєму складі бар'єри іскрозахисту, що обмежують вихідні струми та напруги ланцюгів, що знаходяться за умовами експлуатації у вибухонебезпечній зоні. В модулі АЦП пропонується застосувати мікроконтролер PIC16F876A.

Модуль цифро-аналогового перетворювача (ЦАП) здійснює перетворення цифрового коду вимірюваного сигналу, що отримується від модуля управління через оптронну гальванічну розв'язку в уніфікований струмовий сигнал 4..20 мА, 0..20 мА, 0..5 мА. Модуль має два канали з незалежною установкою діапазонів вихідного струму для кожного каналу та гальванічною розв'язкою між каналами. Конструктивно модуль виконано на базі мікроконтролера PIC16F628A.

Мікроконтролер PIC16F628A в модулі ЦАП працює як контролер ШІМ широтно-імпульсної модуляції (ШІМ). Сигнал ШІМ подають на інтегруючий ланцюжок з великою постійною часу інтегрування, щоб згладити пульсації. В

результаті інтегрування на виході буде величина напруги, що пропорційна тривалості імпульсу в ШІМ сигналі.

Модуль інтерфейсу служить зв'язку з комп'ютером і дозволяє використовувати вимірювального перетворювача у складі комп'ютерної мережі разом з іншими приладами. Модуль інтерфейсу забезпечує гальванічну розв'язку вимірювального перетворювача від комп'ютерної мережі.

ВИСНОВКИ

У роботі запропоновано структуру вимірювального комплексу температури для калібрування вимірювальних перетворювачів або здійснення вимірювань температури. Запропоновано конструктивно виконувати вимірювальні перетворювачі комплексу на основі мікроконтролерів, що дозволить автоматизувати процес вимірювання температури або калібрування термоперетворювачів. Запропонований первинний вимірювальний перетворювач дозволяє підключати до нього різноманітні давачі температури (термопари, терморезистивні давачі) для вимірювання температури в різних діапазонах, має компенсацію температури холодного спаю. Для застосування різних давачів передбачено калібрування вимірювального перетворювача.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Крамарухин Ю. Е. Приборы для измерения температуры. М.: Машиностроение, 1990. 208 с
- [2] Приборы и методы температурных измерений [Текст] : учеб. пособие / Б. Н. Олейник, С. И. Лаздина, В. П. Лаздин, О. М. Жагулло. – М. : Изд-во стандартов, 1987. – 296 с.
- [3] Зимин Г. Ф. Проверка и калибровка термоэлектрических преобразователей: учебное пособие. М.: АСМС, 2001. 49 с.
- [4] Николай Никонов. Термопары [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.metotech.ru/articles/art_termopary_4_web.pdf. – (дата звернення: 31.05.2022). – Назва з екрану.
- [5] Термопары устройство и принцип работы [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.asutpp.ru/termopary.html>. – (дата звернення: 31.05.2022). – Назва з екрану.

УДК 502.211:631.5.001.82

О.А. Шестак, студентка гр. ПВ-81, к.т.н., доц. Павлишин М.М.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

МЕТОДИКА ВИМІРЮВАННЯ ЕМІСІЇ ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ ЗЕМЛЯМИ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ПРИЗНАЧЕНЬ

Анотація. Дана робота присвячена організації вимірювання парникових газів, які виділяються землями сільськогосподарського призначення в процесі їх обробки. На сьогодні існують методи та засоби вимірювання концентрації парникових газів в атмосферному повітрі, але особливістю вимірювання парникових газів, які викидаються з земель сільськогосподарського призначення є те що на відкритих місцевостях, в залежності від наявності та швидкості вітру вимірювати ПГ над поверхнею землі складно. Тому автором запропонованого методика вимірювання ПГ парникових газів яка описана нижче .

Ключові слова: емісія, ґрунт, опади, агроєкосистема, закис азоту, метан, зміни клімату.

ВСТУП

Незворотні зміни клімату вплинули на всі екосистеми та галузі економіки, особливо на сільськогосподарське виробництво. Частина парникових газів аграрної галузі України складає майже 30% від усіх викидів України. Вимоги та міжнародні правові акти Парижської кліматичної угоди змінили відношення і вимоги до процесів зменшення парникових газів та контролю за ними.

МЕТА

Запропонувати методику вимірювання концентрації парникових газів на поверхні сільськогосподарських угілів в умовах динамічної зміни стану навколишнього середовища.

МАТЕРІАЛ ТА РЕЗУЛЬТАТ

Збільшення антропогенного навантаження на землі сільськогосподарського призначення, використання агрохімії та порушення сили змін призвели до змін динаміки емісії парникових газів, цими землями, що суттєво ускладнює розрахунки карбонового сліду в кінцевій продукції рослинництва. Тому, необхідно вимірювати обсяги емісії парникових газів на кожній технологічній операції, вирощування сільськогосподарських культур.

Організація таких вимірювань стикається з проблемою постійного руху повітряних мас над полями. Тому, я пропоную організувати вимірювання інтенсивності емісії парникових газів наступним чином.

Виготовляємо спеціальний прозорий куб об'ємом 1 м³ (наприклад із оргскла, пластику та ін.)

Одна грань на цьому кубі відсутня. І саме нею ми ставимо куб на поверхню землі. Первинні вимірювальні перетворювачі розміщуємо в середині куба і процес вимірювання реалізуємо наступним чином.

Вимірюємо початкову концентрацію кожного парникових газів (CH₄, CO₂, N₂O) та запам'ятовуємо значення результатів вимірювання в пам'яті мікроконтролера. Потім через кожні 30 хвилин повторюємо вимірювання і записуємо всі результати вимірювання. Тривалість процесу вимірювання може бути різною. В технологічних операціях це від 1 до 24 годин, в наукових дослідженнях – тривалість задається цільовими функціями дослідження і може

тривати як завгодно довго. Наприклад весь період вегетації рослини. У відповідності до директиви №28 Європейського Союзу, результати вимірювання використовуються для розрахунків карбонового сліду в кінцевій продукції рослинництва, а тому проблема вимірювання динаміки емісії парникових газів є важливою і актуальною.

На рисунку 1 приведена схема електрична функціональна ІВС для реалізації запропонованої методики.

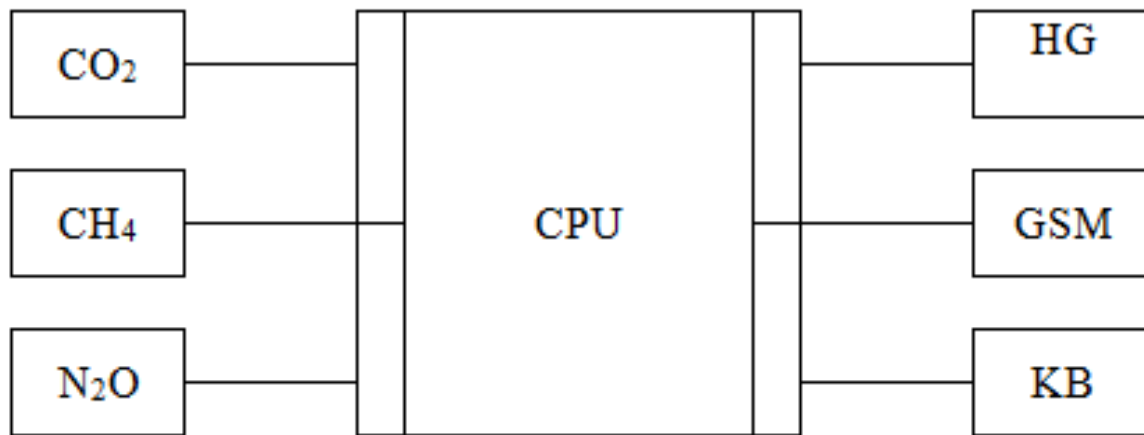


Рисунок 1. Електрична функціональна ІВС

HG – Індикація

GSM – Модуль передачі даних

KB – Клавіатура

Алгоритм роботи такої схеми в загальному вигляді описаний раніше та є загальновідомим. Наявність в складі блоку GSM дозволяє передавати на центральну базу господарства, як результати будь-якого вимірювання за запитом оператора, так і що особливо важливо факт перевищення значення емісії парникових газів над допустимими нормами.

Алгоритм обробки результатів вимірювання дозволяє розрахувати середнє значення викидів парникових газів за вибраний період. Із [1] відомо, що інтенсивність викидів парникових газів залежить від температури та вологості ґрунту. Тому, до складу вимірювальної системи включені первинно вимірювальні перетворювачі для вимірювання температури та вологості в поверхневому шарі ґрунту (глибина до 10 см).

Вимірювальна система дозволяє формувати баз даних про динаміку змін емісії парникових газів землями сільськогосподарських призначень, як під дією природних факторів так і в процесі їх обробки.

Програмне забезпечення ІВС дозволяє виконувати прогнозування можливих змін динаміки емісії парникових газів в коротко- та середньотерміновій перспективі. Що дає можливість вносити коригуючі дії в технологічні операції вирощування сільськогосподарських культур, зменшуючи при цьому обсяги викидів парникових газів і зменшуючи значення карбонового сліду в кінцевій продукції рослинництва.

ВИСНОВОК

Запропонування запропонованої методики дозволяє підвищити точність та достовірність результатів вимірювання динаміки емісії парникових газів незалежно від зміни стану навколишнього середовища.

Отриманих результати вимірювання крім використання їх агрономами для оптимізації технологічних і управлінських рішень використовуються для розрахунків карбонового сліду в кінцевій продукції рослинництва.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] <https://periodicals.karazin.ua/geoeeco/article/view/17616/16155>
- [2] https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/3259/1/Chornyj_Ocinka_ja_kosti_gruntiv.pdf
- [3] Біосфера та агротехнології: інженерні рішення; навч. посіб. / за ред. В.Кравчука 2015
- [4] https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%95%D0%BC%D1%96%D1%81%D1%96%D0%B9%D0%BD%D0%B8%D0%B9_%D0%B1%D1%8E%D0%B4%D0%B6%D0%B5%D1%82_%D0%A1%D0%9E2#cite_note-13

УДК 621.317

К. А. Шолудько, студент гр. ПН-81, д.т.н., проф. Здоренко В. Г.
КПІ ім. Сікорського

УЛЬТРАЗВУКОВИЙ КОНТРОЛЬ ПОВЕРХНЕВОГО ЗАБРУДНЕННЯ ВОДИ

Анотація. Впровадження нових методів контролю поверхневого забруднення води є шляхом для вирішення проблеми неконтрольованих викидів у стічні води маслянистих відходів з підприємств, які здійснюють непоправний вплив на оточуюче середовище та на екосистеми, які прямо і опосередковано впливають на якість життя нашого суспільства. У цій роботі запропоновано застосування методики ультразвукового відбиття зсувних хвиль.

Ключові слова: ультразвуковий контроль, зсувні хвилі, датчики, масляні забруднення.

ВСТУП

У цій роботі запропоновано методику відбиття зсувних хвиль для виявлення масляних забруднень у воді. Ідея виникла з опублікованої роботи, де аналізувався потенціал зсувних коливань при виявленні вмісту води в мастилi. Автори дійшли висновку, що зсувні коливання не можна використовувати для виявлення присутності води в нафті. Причина в тому, що невеликі краплі води в емульсії вода-в-маслі рідко розташовуються в тонкому шарі олії, що контактує з твердою речовиною. Однак дуже мала глибина проникнення, окрім властивості адгезії маслянистих речовин до поверхонь, може бути використана для виявлення маслянистих забруднень у воді чи іншій легкій рідині. [1]

МЕТА РОБОТИ

Цей метод моніторингу може бути цікавим у промислових застосуваннях, де якість води має бути гарантованою. Наприклад, в науці про навколишнє середовище ця методика могла б застосовуватися для моніторингу стічних вод, що скидаються в річки деякими підприємствами.

Метою роботи є пристосування існуючих напрацювань та розробок до застосування в цілях контролю поверхневого забруднення води.

МАТЕРІАЛИ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

На рис. 1 показано тверде середовище, що контактує з рідиною, де визначена плоска поверхня розділу. Падаюча зсувна хвиля з механічним натягом σ_i попадає на поверхню розділу. Невелика частина хвилі передається рідині σ_r , а більша частина відбивається назад σ_t . Відношення відбитих до падаючих напружень є комплексним коефіцієнтом відбиття [2]:

$$R^* = \frac{\sigma_r}{\sigma_i} = r e^{j(\pi-\theta)} \quad (1)$$

де r і θ - величина і фаза відповідно. Величина і фаза пов'язані зі зміною амплітуди і фазовим зсувом зсувної хвилі в процесі відбиття. Вимірювання величини є відносно простим і точним процесом. Навпаки, фазу важко виміряти через сильну температурну залежність швидкості поширення акустичних хвиль.

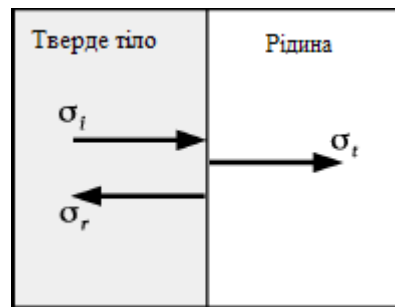


Рисунок 1. Процес відбиття зсувних хвиль на межі розділу «тверде тіло-рідина»

З акустичної теорії, R^* пов'язаний з акустичним імпедансом середовища наступним рівнянням [3]:

$$R^* = \frac{Z_L^* - Z_S}{Z_L^* + Z_S} \quad (2)$$

де Z_L^* і Z_S - опори зсуву рідини і твердого тіла відповідно. Опір зсуву рідини позначається комплексним значенням через високе загасання. З іншого боку, опір зсуву твердого тіла має дійсне значення, оскільки загасання в твердому тілі дуже мале в порівнянні з загасанням рідини:

$$Z_S = \rho_S c_s \quad (3)$$

де ρ_s і c_s - щільність і швидкість поширення зсувної хвилі в твердому тілі відповідно. У випадку ньютонівської рідини опір зсуву визначається за таким рівнянням:

$$Z_L^* = \sqrt{j\omega\rho_L\eta} \quad (4)$$

де η - в'язкість, ω - кутова частота хвилі, ρ_L - густина рідини, $j = \sqrt{-1}$ - уявна одиниця. Рівняння (2), (3) і (4) можна використовувати для оцінки значення коефіцієнта відбиття з точки зору фізичних властивостей твердого тіла та рідини.

Характерну довжину загасання зсувної хвилі в рідині можна обчислити за допомогою:

$$\delta = \sqrt{\frac{2\eta}{\omega\rho_L}} \quad (5)$$

де δ являє собою відстань, пройдену для падіння амплітуди, що в $1/e$ (0,37) разів перевищує початкову амплітуду. Це рівняння дає оцінку глибини проникнення за ньютонівської поведінки.

Для проведення в подальшому експериментальних досліджень буде застосована установка, схема якої наведена на рис. 2:

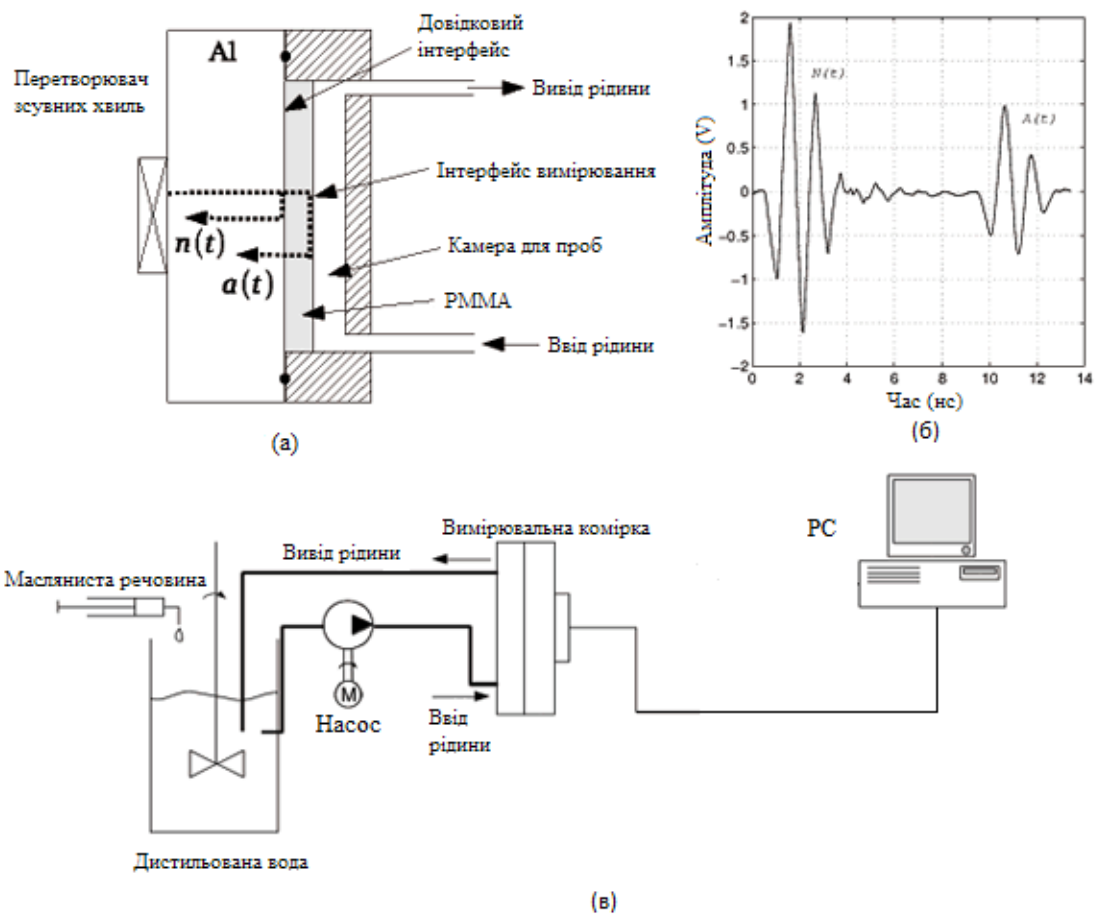


Рисунок 2. а) Схематичне зображення ультразвукової вимірювальної комірки, б) набута форма хвилі та в) експериментальна установка

ВИСНОВКИ

Запропонована методологія має потенціал для виявлення масляних забруднень у воді.

Для кращого розуміння та оцінки можливих практичних застосувань необхідні додаткові експериментальні результати. Важливо визначити мінімальну кількість речовини, яку можна було б виявити, вплив частоти хвилі та стабільність протягом тривалого часу випробування. Не менш важливою є оцінка моніторингу температури за допомогою фази коефіцієнта відбиття.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Jakoby, B. and Villekoop, M. J., Physical sensor for water-in-oil emulsions, *Sensors and Actuators A*, 110, 2004, pp. 28-32.
- [2] Ермолов И.Н., Ланге Ю.В. Неразрушающий контроль: Справочник: В 7 т. Том 3: Ультразвуковой контроль. / Под общ. ред. В.В. Клюева. – М.: Машиностроение, 2004. – 864 с.
- [3] Шарапов В.М. Мусиенко М.П., Шарапова Е.В. Пьезоэлектрические датчики. Москва: Техносфера, 2006. - 632 с.

Наук. керівник – д.т.н., проф. Здоренко В. Г.

Секція 6.

Комп'ютерно-інтегровані медичні системи та технології біомедичних досліджень

UDC 617.57-77:612.88

M. S. Shchur, student gr. PB-82, PhD, senior teacher Vonsevych K.P.

Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute

ANALYSIS OF EXISTING SENSORS AND CIRCUITS USED FOR SURFACE RECOGNITION IN PROSTHETIC DEVICES

Annotation. This paper analyzes the existing sensors and schemes of their placement in the body of the phalanx, which are used to reproduce the natural sensory in bionic prostheses of the upper extremities. The main types of sensors and their combinations which are used for feedback reproduction in bionic devices are identified and the main requirements to be considered in the process of creation of the measured module are highlighted.

Keywords: Bionic prosthesis, surface recognition, optical sensors, optical recognition, pressure sensors.

INTRODUCTION

One of the most urgent issues in today's engineering is the development and further automation of the biomedical instrument making and prosthetics industry in particular. Automation of such devices allows for the partial restoration of the normal functioning of various parts of the human body. Currently, one of the most developed branches of this industry is prosthetics of the upper extremities and reproduction of their natural sensory. If consider the structure of prosthesis in detail, then one of the most important components of a bionic upper limb is availability of modules that are able to “recognize” objects with which interacts with the prosthetic arm.

In the ideal case restoration of the upper extremities functionality involves not only the reproduction of grasping movements, but also the restoration of tactile sensitivity of the hand. Several sensors are usually used to achieve this goal, including optical sensors, force and position sensors, capacitive, piezoresistive and piezoelectric sensors [1, 2]. The use of different combinations with multiple sensors in one system is also quite popular and allows to achieve quite high results. The main criteria for selecting sensors to surface recognition systems of prosthesis are such technical characteristics as: sensitivity, drift of characteristics, hysteresis, supply voltage. No less important is the general method of research, according to which a particular scheme of measuring feedback signals is built in each specific device.

OVERVIEW OF EXISTING SENSORS AND OPTICAL SURFACE RECOGNITION SCHEMES

The main methods which provide partial reproduction of tactility in limb prostheses can be summarized in several general categories. One of them implies the presence of a feedback system (FS) with the impact on the patient's body which is regulated depending on external influences. While another is working with autonomous control. The choice of category which will be implemented in bionic hand often depends on the complexity of whole system realization, the ultimate goal of device creation and the capabilities of the prosthesis. Moreover, the most important final factor being the comfort of using the prosthesis by the patient.

Most of the existing bionic prostheses are based on the analysis and further interpretation of indicators determined from the sensors in their composition. However, the use of only one type of sensor to implement a FS and reproduce certain functions of the natural hand is rarely used. More often, an appropriate combination of several types of sensors is used in one construction and as consequence it is important to

consider the scheme of their placement relative to each other as also as a number of specific requirements. For example, the measuring module should be placed in the prosthesis in such a way as to minimize changes in the contact surface of the artificial finger phalanx with the object of study and not interfere with the overall functioning of the bionic limb. In the case of using optical sensors for feedback the wavelength of the radiation and the peak sensitivity of the sensor must be in the same operating range, a high response speed of the sensors must be provided, e.t.c.

At the same time, the paper [3] has shown a method of recognizing the structure of an object based on information received from the friction-slip effect, which was investigated by combining six force and torque sensors in one feedback system. The use of this method allowed an accuracy of recognizing a significant variety of materials of the studied object (from paper and rubber) with accuracy from 82.4% to 91%. In article [4] authors proposed a specific mechanism which combines with different types of force sensors, accelerometer and motion sensors, which made it possible to achieve automatic recognition of objects of different shapes and structures with an accuracy of up to 94%. At the same time, in article [5] the authors proposed the use of a number of pressure, rotation / tilt sensors and photodetectors located on a flexible material for the most accurate reproduction of natural phalanx (Fig. 1).

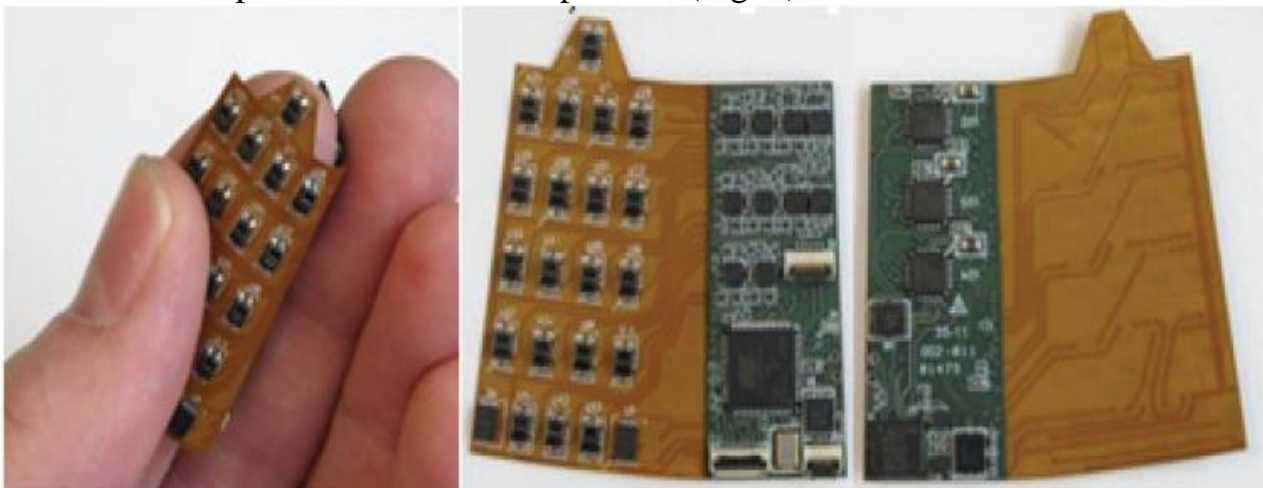


Figure 1. The layout of sensitive elements [5]

In this work the layout of the photodetectors relative to each other, which is proposed in Figure 1, allows you to conveniently place them in the measuring module so that they do not interfere with the overall functioning of each other and minimizes changes of phalanx contact surface with the object.

One more interesting solution has been proposed in article [6], where was combined pressure sensors with piezoelectric transducers, capacitive and optical sensors. Moreover, in this work authors used a specific multilayer pressure sensor, which allows them to reproduce the natural flexibility of human skin and more accurately take readings when the artificial phalanx touches to the object (Fig. 2).

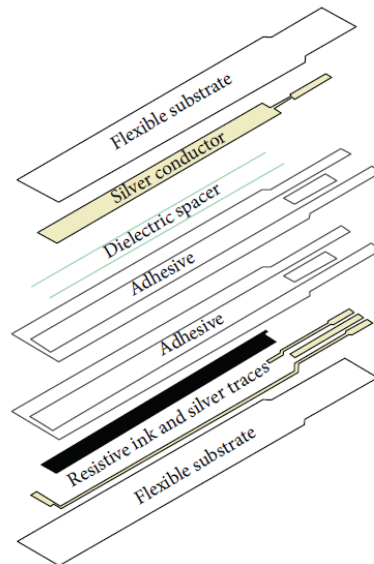


Figure 2. Example of multilayer sensor [6]

DEVELOPMENT OF SURFACE IDENTIFICATION MODULE FOR PROSTHETIC FINGERS

Given the information presented in the previous sections, there are several main factors influencing the further implementation of components of the tactile system of bionic fingers (as part of the prosthetic limb): sensor type, number of used sensors, their location and productivity of algorithm for recognizing information measured by sensors. Based on literature analysis, the authors decided that quite promising is the reproduction of certain sensory functions of a healthy limb by analyzing additional information from an array of optical sensors, or their combinations with force resistive or pressure sensors. In this paper proposes the way of further development of research shown in article [2] and improvement of the optical identification module by combining in one detecting module a set from several optical sensors with infrared radiation source. In particular, it is proposed to study the operation of the proposed detection module with different layouts of measuring sensors and radiation sources, which may include the following combinations: 1) one source, four receivers; 2) one source and five receivers based on one distal artificial phalanx.

To develop such module for optical identification of contact surfaces the authors have identified a set of parameters which should be taken into account:

- the length of the light flux wave and the optical sensitivity of the sensor must be in the same range;

- the light source must be operating in the infrared spectrum;

- high response speed of the sensors must be ensured;

- a combination of several types of sensors should be used to ensure maximum accuracy of operation (if the practical testing will show adequate results)

An example of two basic schemes layout of several sensors and a source of infrared light in the construction of the artificial phalanx that will be used for further research is shown in fig. 3 and fig. 4.

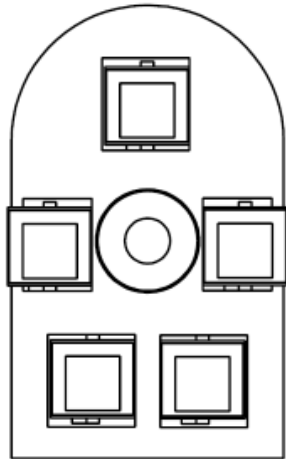


Figure 3. Example of measuring module with one source and five receivers

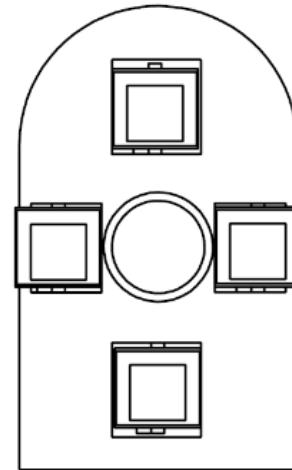


Figure 4. Example of measuring module with one source, four receivers

CONCLUSIONS

In this article was reviewed and analyzed the existing principles, methods and sensors which can be used to create contact surface identification systems in bionic prosthetics of upper limbs. The main requirements and limitations for measuring sensors in the bionic limb feedback system are described. The further direction of research is determined and described, as well as the possible arrangement of sensors and light sources in the optical measuring module, which is located in the phalanx of the artificial finger and will be tested in future works of authors.

REFERENCES

- [1] Вонсевич К. П. Міографічна система біонічної руки з оптичною ідентифікацією типу поверхні : дис. канд. техн. наук : 05.11.17 / Вонсевич Костянтин Петрович – Київ, 2020. – 180 с.
- [2] K.P. Vonsevych, M.A. Bezuglyi, and O.A. Prytula, "Optical feedback based on photometry by ellipsoidal reflector in bionic fingers application", KPI Science News, no. 3, pp. 63 – 72, 2019.
- [3] Surface material recognition through haptic exploration using an intelligent contact sensing finger / L.Hongbin, L. Seneviratne, J. Bimbo, K. Althoefer. // IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems.. – 2012.
- [4] Kaboli M. In-hand object recognition via texture properties with robotic hands, artificial skin, and novel tactile descriptors / M. Kaboli, G. Cheng. // IEEE-RAS 15th International Conference on Humanoid Robots (Humanoids). – 2015.
- [5] Mechatronic design of an integrated robotic hand / Morgan Quigley, Curt Salisbury, Andrew Y. Ng and J. Kenneth Salisbury // The International Journal of Robotics Research. – 2014.
- [6] Pressure Sensor: State of the Art, Design, and Application for Robotic Hand/ Almassri, A. M., Wan Hasan, W. Z., Ahmad, S. A., Ishak, A. J., Ghazali, A. M., Talib, D. N., & Wada, C // Journal of Sensors, 2015, 1–12.

Supervisor – K.P. Vonsevych, PhD, senior teacher

UDC 57.087.2

Y.A. Yukhymenko, student gr. PB-82, PhD, assoc. prof. Stelmakh N. V.
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute

ALGORITHM OF PRACTICAL TESTING OF MUFFLERS OF VENTILATION CHANNEL

Abstract In the work the algorithm of testing of various models of the designed mufflers of ventilating channels of the device of artificial ventilation of lungs is developed and described, and also the technique of their comparison for the purpose of revealing the most effective model for serial production is resulted.

Keywords: ventilator, fluoroplastic, muffler, ventilation channel

INTRODUCTION

For the designed model of air flow through two air mufflers inside the ventilation channel by CAD SolidWorks developed several samples of mufflers, as well as made their prototypes from the material fluoroplastic-4 GOST 100007-80. In order to test them, an algorithm was created in the Matlab system. This article describes the prototypes of muffler samples, as well as the algorithm for testing them [1].

DESCRIPTION OF MANUFACTURED PROTOTYPES

6 prototypes of ventilation channel muffler samples were made. Two of them were developed earlier. This is a standard model and a conical cut model, for which airflow simulation was performed in SolidWorks CAD with operating air pressure parameters. The muffler with a conical cut in the simulation showed worse results of air flow equalization, but the prototype was still made for additional practical testing.

All 6 designs of prototype mufflers are presented in fig. 1



Fig. 1 Prototypes of designs of various models of mufflers

All prototypes are made of one base, with 8 through holes (dim. 1 mm) in a circle, three of them also has one in the middle. Two mufflers have a lower profile, and therefore a shorter hole length. The other two prototypes have a conical cutout, which was described above.

DESCRIPTION OF TESTING ALGORITHM

In order to bring the test results as close as possible to the real operating conditions of the device, it was decided not to create any artificial channels, but to use the ventilator directly. Since such mufflers are designed for the oxygen pneumatic tract,

the UVENT-T device was used for testing. This is an expert-class ventilator with a built-in turbine for respiratory support of newborns, children and adults.

The described device was removed from the case ("dismantled"), and the display was connected separately. The hull had to be removed to access the turbine pneumatic path and the oxygen path, which is shown in Fig. 2

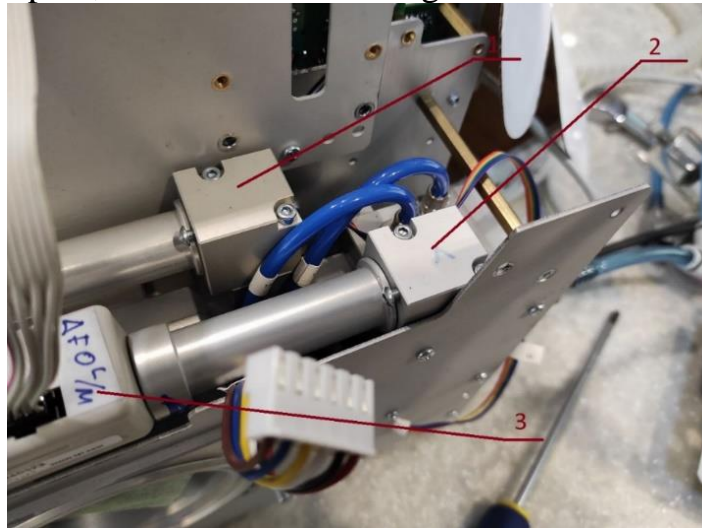


Fig. 2 Pneumatic blocks of oxygen and air paths of the UVENT-T ventilator

In fig. 2: pos. 1 - corner line and part of the oxygen pneumatic tract (this is where the developed muffler is located, as shown in Fig. 3), pos. 2 - corner line and part of the pneumatic path of the turbine, pos. 3 - one of the two air flow sensors (or oxygen flow), which are located on both paths.

Structurally, for greater reliability of ventilation and accuracy of measurements on two pneumatic paths, different flow sensors are installed. In Figure 2, position 3 is the air flow sensor from TSI. And on the pneumatic oxygen path, a flow sensor manufactured by Sensirion is used, which will be taken into account when developing an algorithm for testing prototype mufflers.

In fig. 3 red circle indicates the location of the muffler in the pneumatic path of the turbine.

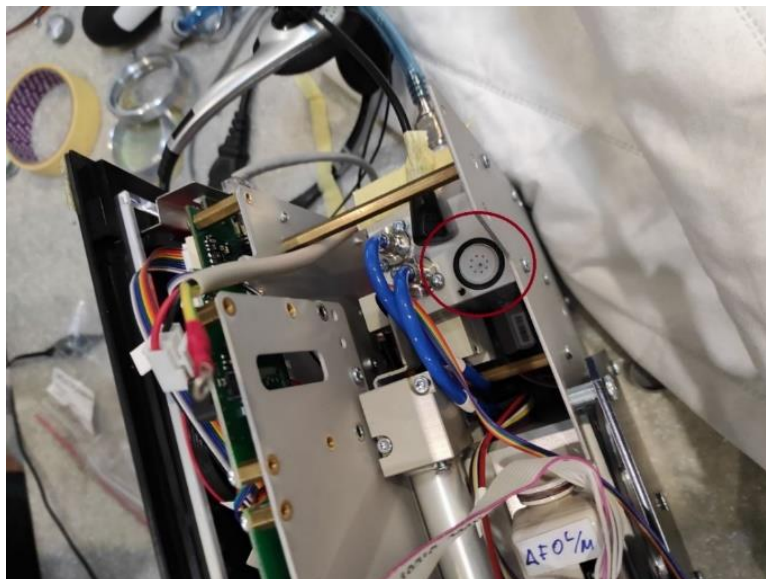


Fig. 3 Location of the developed muffler inside the corner of the oxygen pneumatic tract.

Based on the technical requirements for the operation of mufflers, the following algorithm for their compliance testing was developed.

First of all, the noise of the air flow signal measurement needs to be checked. To do this, with a certain step over a period of time it is necessary to gradually open the air supply valve, as well as to record data from the flow sensor. As there are different flow sensors, the test must be repeated on the TSI sensor as well as on the Sensirion sensor in order to exclude the possible effect of sensor error on the measurement results.

Also, the acoustic noise of the tract was measured separately with different prototype mufflers using a microphone.

A program in the Matlab system was created for signal processing and visualization (a fragment of the screenshot of the interface can be seen in Fig. 4), as the library for reading data from ventilator sensors is compatible with this system [2].

As a result, it was decided to record and visualize for comparison the integral of the absolute error of flow measurement in the range of 0-100 l/min (with a step increase of 0.5 l/min per second), the integral of power flow noise, the integral of acoustic noise power at 500 - 20,000 Hz at a flow rate of 100 l/min, as well as the maximum absolute error of flow measurement in the direction of underestimation and overestimation of values.

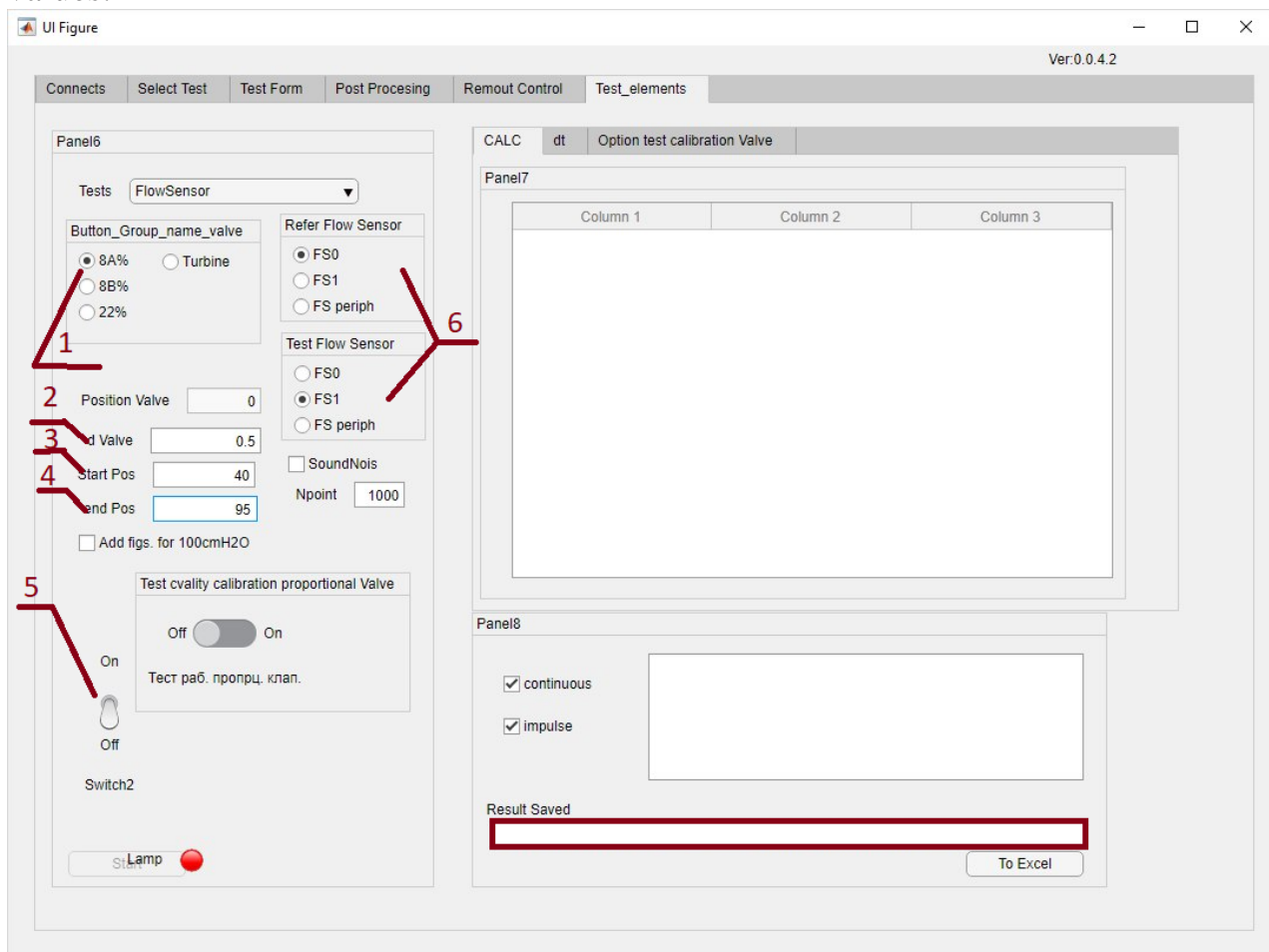


Fig. 4 The interface of the developed program

In fig. 4 1 - selection of the valve through which air will be supplied (in our case valve 8b is absent, because a turbine device is used that does not have a separate air

valve, instead the turbine is used, and the turbine itself is muted so as not to affect the flow, which the program regulates by gradually opening the valve 8a, 2 - step increase the flow every second, 3 - initial air flow, 4 - final air flow, 5 - start the program, 6 - select one of the two sensors to record data.

CONCLUSIONS

In the future, further research is planned with the help of the developed program and using the described algorithm to conduct a comprehensive study of the functionality of the prototypes and compliance of the output air flow to the requirements necessary for lung ventilation. After the study, it is necessary to format the obtained measurement data of air flow sensors for each of the mufflers to determine the most functional of them in comparison with others on the described parameters. Present the results in the form of comparative graphs and charts [3].

REFERENCES

- [1] Yukhymenko, YA., Stelmakh N. V. Analysis of programming languages for development of software in medical engineering. Новые направления развития приборостроения : материалы 14-й Международной научнотехнической конференции молодых ученых и студентов. Минск : БНТУ, 2021. С. 3-4.
- [2] Велигоцький, Д.В. Апаратно-програмний комплекс для неінвазивного діагностування карбоксигемоглобіну в потоках крові [Текст] / Д.В. Велигоцький, Н.В. Стельмах, С.О. Мамілов, С.С. Єсьман // Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського. – 2012. – 1/1 (72). – С. 71-74.
- [3] DIAZ, Emili; RODRÍGUEZ, Alejandro H.; RELLO, Jordi. Ventilator-associated pneumonia: issues related to the artificial airway. Respiratory care, 2005, 50.7: 900-909.

Supervisor - PhD, Assoc. Prof. Stelmakh N. V

УДК 615.472

Б.О. Баталія, студент гр. ПБ-82, д.т.н., доц. Терещенко М. Ф., асистент Яковенко І.О.

КПІ ім. Ігоря Сікорського

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ КАПСУЛЬНОГО ВІДЕОЕНДОСКОПА

Анотація. Відеокапсульна ендоскопія являється одним з найперспективніших методів діагностики захворювань травної системи людини, в тім числі і шлунково - кишкового тракту (ШКТ). Даний метод має низку переваг над іншими і набирає суттєвих обертів розвитку у сьогоднішній час. У даній статті розглянуті існуючі діючі зразки та методи автоматизації процесами керування капсульного відеоендоскопа (КВ), а також запропоновано варіант контролю руху та місцеположення пристрою у тілі пацієнта.

Ключові слова: капсульний відеоендоскоп, шлунково - кишковий тракт, електропривід, коливально інерційний механізм, електромагніт

На сьогоднішній день захворювання травної системи людини, пов'язані з шлунково – кишковим трактом набирають все більшого обсягу. Для вирішення даної проблематики необхідно своєчасно, ефективно та вірно діагностувати хворобу та розпочати найбільш дієве лікування [1]. Саме таку можливість надає відеокапсульний ендоскоп, принцип роботи якого пов'язаний з використанням пристрою схожого на капсулу, яку проковтує пацієнт і далі вона рухаючись по ШКТ надає необхідну лікарю інформацію [2].

У даній роботі виконано аналіз існуючих варіабельних систем керування (КВ) та їх перспективних напрямів розробки. Так на сьогоднішній день найуспішнішим варіантом, що використовується в медицині, стала система МСЕ, яку розробили корпорації Siemens Healthcare (Ерланген, Німеччина) та Olympus Medical Systems Co. (Сент-Веллі, Пенсильванія, США та Токіо, Японія). У даній системі використовується системи електромагнітних котушок, які керують контролером зовнішнього джойстика для координованої навігації та відстеження реального положення капсули. В діючій системі була отримана задовільна навігаційна точність, однак, для серійного впровадження в медичну практику, на даний момент це досить затратний варіант [3].

Враховуючи потребу медичної практики, а також досить великі габарити і малокерованість існуючої системи МСЕ, що не задовольняє вимоги сучасної діагностики.

Для вирішення цих задач нами був запропонований відеокапсульний ендоскоп, який вимагає якомога більшої компактності через додаткову функцію акустичного аналізу та необхідності підвищення ефективності алгоритмів керування системи [4].

СИСТЕМА АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ КАПСУЛЬНИМ ВІДЕОЕНДОСКОПОМ

Капсульний відеоендоскоп, як правило, переміщується перистальтикою кишечника під дією сили тяжіння, але в можливих ситуації з ускладненням прохідності окремих зон травної системи необхідно забезпечувати власний механізм руху з високою ступеню керованості. Для цього необхідна розробка специфічних алгоритмів руху самого відеоендоскопа. Такі алгоритми повинні

забезпечувати достатню керованість в ділянках діагностичної прохідності. В таких випадках оператор може задати більш інтенсивний рух ендоскопа, за рахунок вибору більш ефективної системи керування рухом в кишковикі використовуючи систему варіабельного керування капсульним відео ендоскопом [5].

На рисунку 1 показана розроблена систему керування капсульним відеоендоскопом. Система складається з джерела живлення, яке живить увесь системний пристрій, включаючи блок автоматизованого керування КВ, приймача сигналу, на який оператор може подати керуючий сигнал для руху, контролер управління коливальним інерційним механізмом, блоку модуляції режиму активного руху, електроприводу, що приводить до руху коливальний інерційний механізм. За допомогою конструктивного вирішення корпусу КВ, поступальні вібрації системи механізму переміщення, змушують пристрій рухатися вперед. Мініатюрний електромагніт, в даному технічному рішенні, необхідний для відстеження положення КВ, після подачі сигналу від контролера та ввімкнення електромагніту. Навколо капсули виникає додаткове магнітне поле, яке можна визначити за допомогою високочутливого вимірювача магнітної індукції – тесла метра.

Навігація місцезнаходження КВ, в такому випадку, встановлюється шляхом вимірювання значень магнітної індукції, по її декременту зміни значень та градієнту магнітної індукції [6].

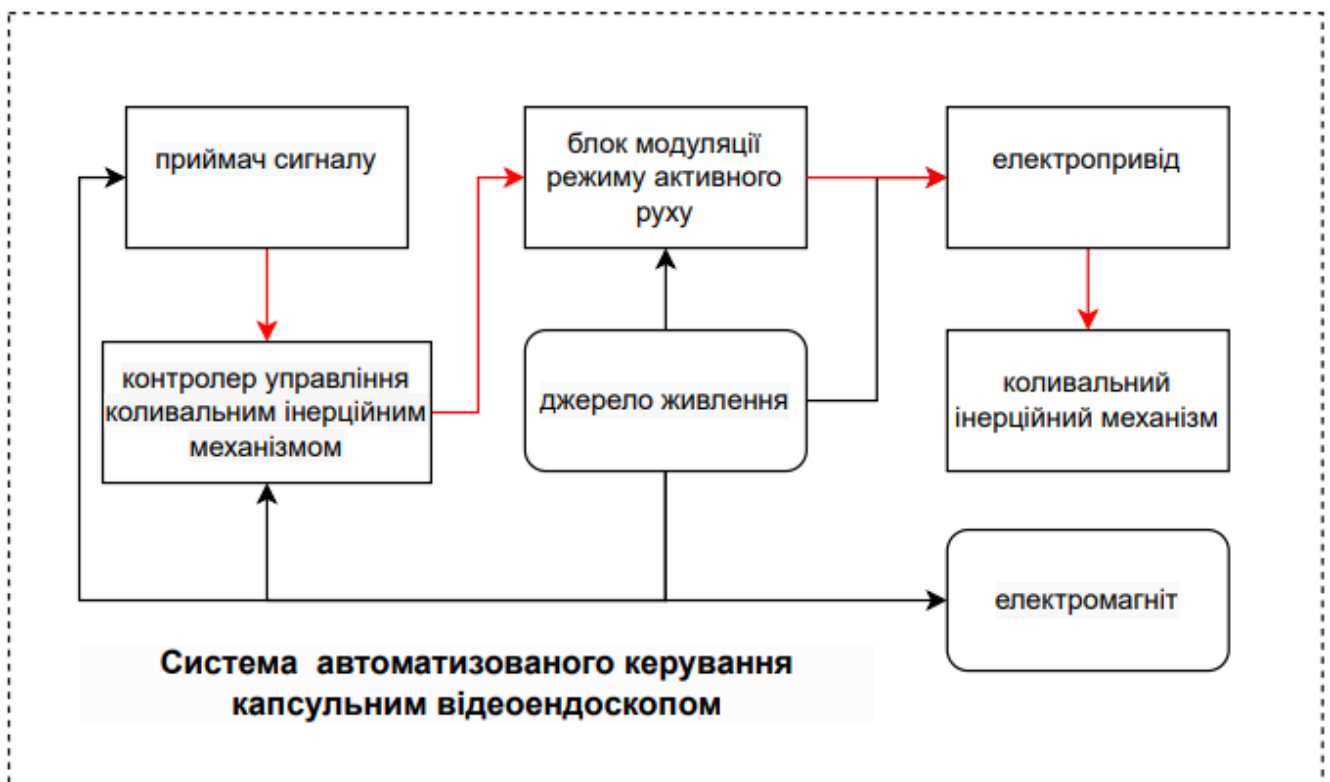


Рисунок 1. - Система автоматизованого керування капсульним відео ендоскопом

На рисунку 2 зображено візуалізацію принципу руху КВ вздовж кишечника в активному режимі. Система, яку було розглянуто вище об'єднана з ультразвуковою складовою, розглянутою в [5,7].

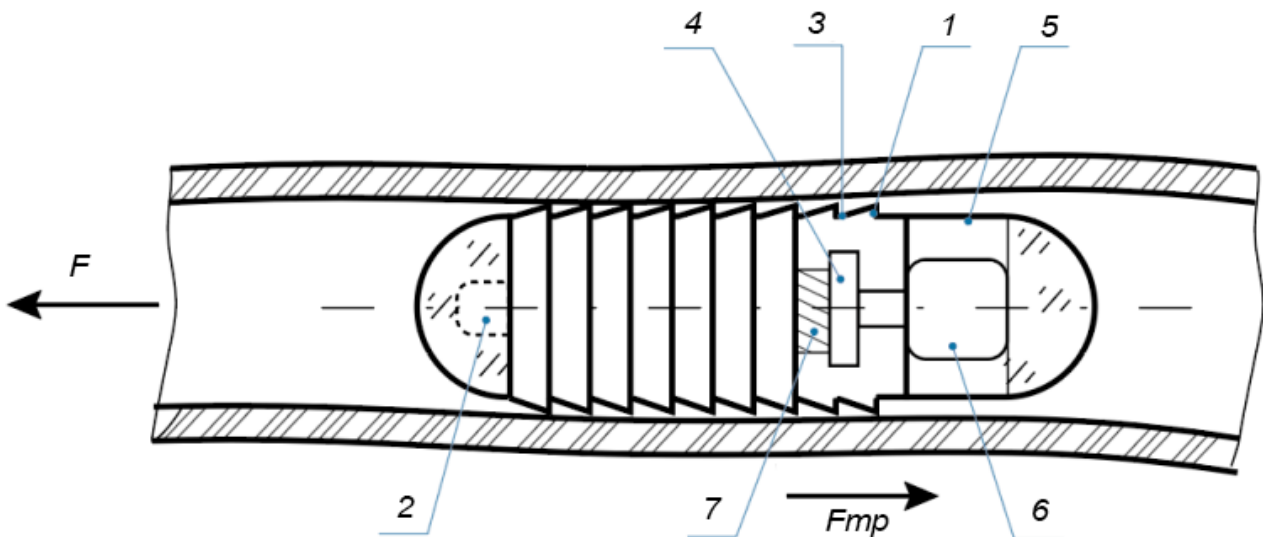


Рисунок 2. - Рух капсульного відеоендоскопа в активному режимі: 1- капсульний відеоендоскоп, 2- відеокамера, 3- поверхневі конструктивні елементи руху, 4- система зчеплення, 5- акустично прозоре вікно, 6- ультразвуковий перетворювач, 7- електромагніт

Після подачі сигналу лікаря на приймач до руху, подається напруга на електропривід та приводиться зміна положення коливально - інерційним механізмом.

В процесі переміщення створюється циклічна знакозмінна сила, яка проштовхує КВ вперед (F), а у свою чергу, конструктивний елемент (3), під назвою зубцевий механізм руху, створює протилежну силу (F_{mp}), яка не дає капсулі повертатися до попереднього положення.

Таким чином капсула має можливість ефективного та високоточного проходження проблемних участків травної системи людини, в яких зусиль кишкової перистальтики та сили тяжіння недостатньо.

ВИСНОВКИ

В даному дослідженні проведено аналіз існуючих методів автоматизованого керування капсульним відеоендоскопом, та обрано метод, який показав найкращі результати, та на його основі запропоновано власну варіабельну систему керування, яка підходить до розробки нової модифікації автоматизованої системи акустичного капсульного відеоендоскопа. В майбутньому дана система буде вдосконалена та набуде більш практичного значення, з подальшою розробкою діючої моделі такого пристрою.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] М. Ф. Терещенко, Г. С. Тимчик, І. О. Яковенко, Біофізика: підручник. Київ, Україна: КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 444 с. 2019. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/27589>
- [2] Wireless capsule endoscopy [Електронний ресурс] / Gavriel Iddan, Gavriel Meron, Arkady Glukhovsky, Paul Swain // Nature. – 2000. – Режим доступу до

ресурсу: <https://www.nature.com/articles/35013140>.

- [3] ShellySoffer. Deep learning for wireless capsule endoscopy: a systematic review and meta-analysis [Електронний ресурс] / ShellySoffer, EyalKlang, OritShimon // sciencedirect. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0016510720341936>.
- [4] Баталія Б. О., Терещенко М. Ф., Яковенко І. О. Акустичний відеокапсульний ендоскоп високого рівня // Збірник матеріалів XXI Міжнародної науково-технічної конференції “ПРИЛАДОБУДУВАННЯ: стан і перспективи”, ПБФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, 17 – 18 травня 2022 р., Київ, Україна, 2022, С.160-163.
- [5] Oh, D. J., Kim, K. S., & Lim, Y. J. (2020). A new active locomotion capsule endoscopy under magnetic control and Automated Reading Program. *Clinical Endoscopy*, 53(4), 395–401. <https://doi.org/10.5946/ce.2020.127>
- [6] Вислоух С. П., Терещенко М. Ф., Тимчик Г. С. Дипломний проєкт бакалавра: виконання, оформлення та захист : навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавра за спеціальністю 151 Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології / КПІ ім. Ігоря Сікорського. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 64 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/47341>
- [7] Young Joo Yang. The Future of Capsule Endoscopy: The Role of Artificial Intelligence and Other Technical Advancements [Електронний ресурс] / Young Joo Yang // *Clin Endosc.* – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7403015/>.

Наук. керівник – к.т.н. , доцент ,Терещенко М.Ф.

УДК 57.087.2

Є.О. Бурковський, студент гр. ПБ-82.

КПІ ім. Ігоря Сікорського

РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТЕСТУВАННЯ ПЛАТ ARDUINO ДЛЯ МОДУЛЯ БІОМЕТРИЧНОЇ АВТЕНТИФІКАЦІЇ

Анотація Для розробки автоматизованого модуля автентифікації особистості при медичних дослідженнях необхідно забезпечити підбір та об'єднання всіх необхідних компонентів електричної системи модуля та забезпечити надійність роботи. В даній статті описано початковий етап розробки програмного забезпечення для тестування плат ARDUINO, зокрема отримання та аналіз сигналу АЦП за допомогою побудови графіку.

Ключові слова : біометрична ідентифікація, цифровий, аналоговий, бібліотека, програмне середовище, шуми, прошивка.

ВСТУП

На сьогоднішній день правильна аутентифікація – один з найважливіших принципів розробки біометричного модулю, для процесу автоматизованої ідентифікації, що має надійний рівень захисту, так як дає можливість оцінити фізичні параметри та їх характеристики окремої людини [1]. Біометричні ідентифікатори, такі як сигнал ФПГ, не можуть бути продубльовані чи замінені або передаватись третім особам, що не дасть можливості обійти систему захисту. Як вже зазначалось в роботах [1,2], датчики ФПГ сигналу є досить чутливими і їхні показники сильно залежать від внутрішніх та зовнішніх факторів. Проте, для забезпечення точності вимірювань тих чи інших фізіологічних характеристик людини за допомогою сторонніх модулів, виникає необхідність у створенні спеціального стенду для перевірки таких датчиків на наявність шумів, стрибків сигналу, середніх значень і т.д.

СХЕМА ПІДКЛЮЧЕННЯ СТЕНДУ

В роботах [1,2] вже було описано компоненти, які плануються до застосування для розробки модулю біометричного розпізнавання за допомогою сигналу ФПГ та відбитку пальця. Проте, перед використанням багатокомпонентних модулів необхідно спочатку провести налаштування та перевірку плати. Саме з такою метою більшість приладобудівних виробництв обладнані спеціальними стендами для перевірки тих чи інших компонентів електроніки [3].

В даному випадку роль стенду відіграватиме комп'ютер, а перевірятися буде аналоговий та цифровий сигнал, отриманий з плати.

Для побудови даного ланцюга необхідні наступні компоненти: плата Arduino (в даному випадку буде використана модель Arduino Uno R3), кабель USB та ПК. На рис.1 показана схема підключення.



Рис. 1 Схема підключення плати до ПК

При побудові схеми важливо в налаштуваннях ПК обрати необхідний порт для розпізнавання плати комп'ютером.

ПРОШИВКА ПЛАТИ ARDUINO

Після правильного підключення плати до комп'ютера та налаштування правильного її розпізнавання, необхідно виконати прошивку Arduino. В даному випадку предметом для аналізу буде аналоговий сигнал. Модель Arduino Uno R3 має 6 аналогових портів (0-5). Найбільш зручним середовищем розробки ПЗ для прошивки плат Arduino є Arduino IDE.

На рис.2 зображено код прошивки плати для зчитування аналогового сигналу з 6 портів з затримкою 110 мс. зі швидкістю читання com порта 115200.

```
void setup() {  
    Serial.begin(115200);  
}  
void loop() {  
    int val0 = analogRead(A0);  
    Serial.println(val0);  
    int val1 = analogRead(A1);  
    Serial.println(val1);  
    int val2 = analogRead(A2);  
    Serial.println(val2);  
    int val3 = analogRead(A3);  
    Serial.println(val3);  
    int val4 = analogRead(A4);  
    Serial.println(val4);  
    int val5 = analogRead(A5);  
    Serial.println(val5);  
    int val6 = analogRead(A6);  
    Serial.println(val6);  
    delay(110);  
}
```

Рис.2 код прошивки плати Arduino Uno R3

Для збільшення вибірки отриманих сигналів, можна змінювати затримку та швидкість читання.

РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Для якісного аналізу та створення зручного додатку, створено код для взаємодії з отриманим сигналом АЦП. Для розробки ПЗ обрано мову Python, а середовищем – Microsoft Visual Studio. Оскільки саме Python має безліч зручних

функцій для взаємодії з платами Arduino.

В даному ПЗ застосовано досить велика кількість бібліотек. Ключовими в даній програмі є бібліотеки “matplotlib” та “PySerial”. PySerial дає змогу зчитування даних з пристроїв, підключених до com-порта ПК.

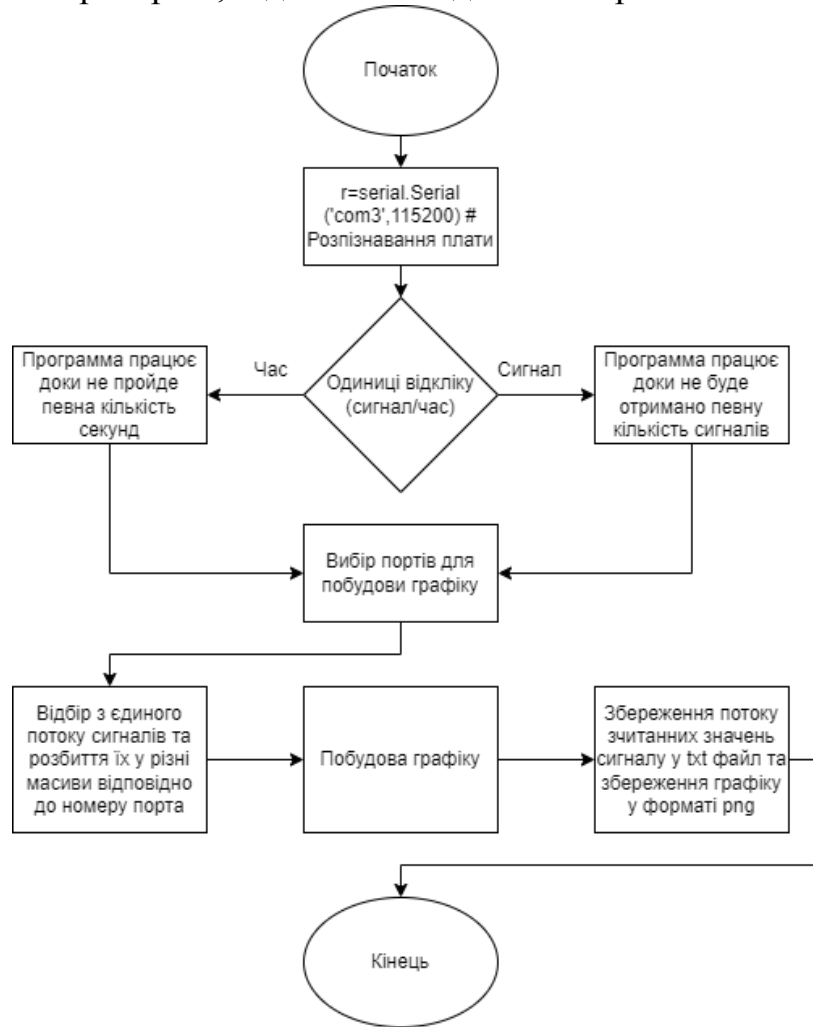


Рис.3 Блок схема коду на Python для зчитування даних АЦП з плати Arduino

Як видно з блок схеми, дана програма має функції налаштування тестування за тими чи іншими параметрами.

На рисунках 4 та 5 показано процес роботи програми.

```
C:\Program Files (x86)\Microsoft Visual Studio\Shared\Python37_64\python.exe
Введіть одиниці відліку (сигнал/час):час
Введіть тривалість тесту (секунди):60
Оберіть порти для виводу на графік (+/-)
Порт № 0 : +
Порт № 1 : +
Порт № 2 : +
Порт № 3 : +
Порт № 4 : +
Порт № 5 : +
0 409 0.001
1 378 0.107
2 355 0.218
3 368 0.342
4 324 0.45
5 297 0.561
6 311 0.672
```

Рис.4 Задавання початкових параметрів програмі

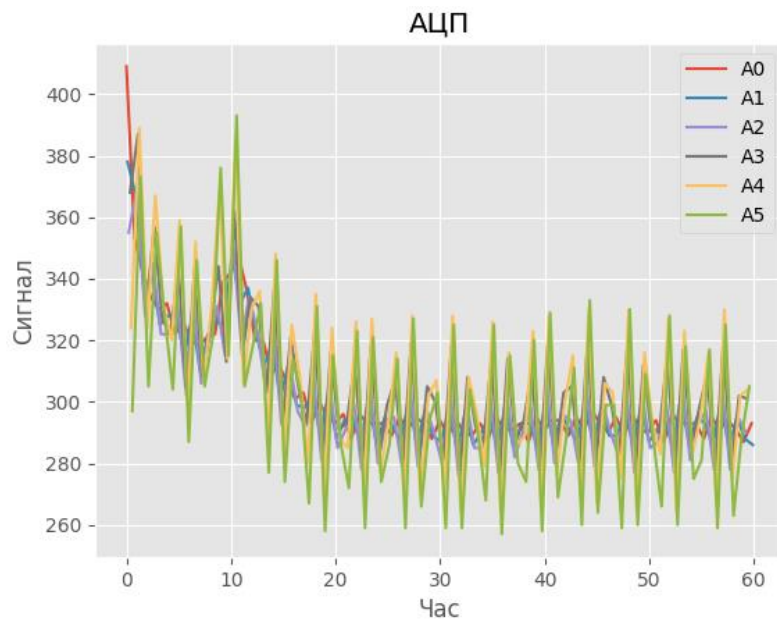


Рис.5 Побудований графік за отриманим сигналом

Як видно з графіку, відбувся стрибок сигналу одночасно для всіх портів на 10 секунд дослідження, в подальшому графік доволі стабільний.

ВИСНОВОК

В даній роботі було описано процес аналізу сигналу з АЦП плати Arduino. Детально показано метод складання схеми підключення, надано приклад коду для прошивки плати та ПЗ мовою Python. Подібний метод може бути застосований для аналізу сигналу будь-якого підключеного до плати датчику, що дає можливість забезпечити отримання якісного сигналу та підвищення якості роботи автоматизованого модуля для біометричної ідентифікації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] І.О. Яковенко, К.П. Вонсевич, І.Є. Гребень "Метод виділення ітерацій пульсових хвиль фотоплетизмограми для біометричної ідентифікації", Наукові вісті КПІ : міжнародний науковотехнічний журнал, No 3(2020), С. 73–78, 2020. DOI: 10.20535/kpi-sn.2020.3.209881
- [2] Бурковський Є.О., Використання сигналів фотоплетизмограми для біометричної системи ідентифікації. Є.О. Бурковський-2020 //XVI Міжнародна наукова-технічна конференція «XV Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Ефективність Інженерних рішень у приладобудуванні».-К.: ПБФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського. – 2020.-С.287-290.
- [3] Тестування печатних плат— Режим доступу: <https://habr.com/ru/company/ruvds/blog/565526/> — 31.05.2022 г.

Наук. керівник - асистент Яковенко І.О.

УДК 615.837:615.47

І. О. Дупляк, студент гр. ПБ-82, к.т.н., доц. Терещенко М.Ф.

КПІ ім. Ігоря Сікорського

СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНИХ ІНГАЛЯЦІЙНИХ АПАРАТІВ

Анотація. Запропоновано автоматизовану систему керування для автоматизованих інгаляційних апаратів (АІА). Дані інгалятори використовують синглетний кисень (СК) і його сполуки з пароводяними сумішами для різних способів впливу на біологічні тканини (БТ) організму людини. Автоматизована система керування (АСК) забезпечує контроль вихідних параметрів для покращення ефективності терапевтичного впливу на дихальну систему людини під час процедури. Запропонований покращений алгоритм АСК і більш ефективна структурна схема та змінений підхід до побудови системи керування.

Ключові слова: система керування для автоматизованих інгаляційних апаратів, синглетний кисень, автоматизований контроль, антиоксидант, блок керування і контролю.

ВСТУП

Основні фізіологічні процеси в нормальних і патологічних станах в організмі людини відбуваються за участю вільних радикалів. Процеси вільнорадикального окислення регулюються антиоксидантною системою.

У наш час через екологічні та ендокринні проблеми в людей (забруднене навколишнє біосередовище, отруєння організму важкими металами та радіонуклідами, куріння, незбалансоване харчування, значні електромагнітні поля, надмірні фізичні та емоційні навантаження) порушується робота антиоксидантної системи та збільшується реакційна здатність вільних радикалів, які пошкоджують клітини або призводять до їх переродження і загибелі [1].

Відомо, що людина отримує енергію в результаті споживання їжі, перетравлення якої відбуваються за участю молекул кисню. Для того, щоб вони ефективно використовувалися, потрібно їх активувати, а для цього в організмі існує ряд механізмів, які забезпечують процеси окислення та перетравлювання. Ці механізми повинні підтримуватися в активному дієздатному стані, який можна досягти за допомогою дії активних форм кисню (АФК) - іонізованим киснем, синглетним киснем і перекиснем водню. Якщо АФК в організмі недостатньо, то системи ефективної активації кисню руйнуються, а продуктивність його використання різко знижується. В тканинах організму людини починають накопичуватися токсичні продукти неповного окислення (шлаки), які можливо усунути шляхом збільшення окислювальної активності молекул кисню.

Людина отримує АФК з повітрям, водою та їжею. Якщо в організмі людини порушена фізіологічна регуляція окисних процесів, то неокислені продукти переробки накопичуються в неприпустимих кількостях. Такі процеси найчастіше відбуваються в результаті інфекційних та інших захворювань, які вражають імунну систему. При тривалому вживанні забрудненої води та їжі, які, з кожним роком, містять в своєму складі, все менший відсоток активного кисню. В таких випадках не вистачає резервів власних систем активації молекул кисню O_2 до тих рівнів активного кисню, який є у звичайному свіжому повітрі та питній воді. Тому, з ціллю профілактики та активного лікування, необхідне споживання чистого повітря і пароводяних сумішей з підвищеною активністю кисню [2]. В статті запропоновано сучасний огляд та критичний аналіз систем керування для

автоматизованих інгаляційних апаратів, що використовують синглетний кисень і його сполуки в пароводяних сумішах для профілактичного, терапевтичного і лікувального впливу на біологічні тканини та організм в цілому. Представлений огляд попередніх робіт у цьому напрямку, чіткий алгоритм роботи та допрацьовану ефективну структурну схему систем керування.

ОГЛЯД І КРИТИЧНИЙ АНАЛІЗ ПОПЕРЕДНІХ РОБІТ

Дана стаття є логічним продовженням теми розробки нами інгаляційних автоматизованих систем, що висвітлювалась в роботах [3,4]. Для більш глибокого розуміння, на основі попередніх досліджень, було розроблено більш ефективну та детальну структурну схему автоматизованого інгаляційного апарату, в якій було зроблено акцент на взаємодію елементів керування з виконуючими механізмами.

Пропонується ефективна допрацьована структурна схема автоматизованого інгаляційного апарату (див. рис. 1).

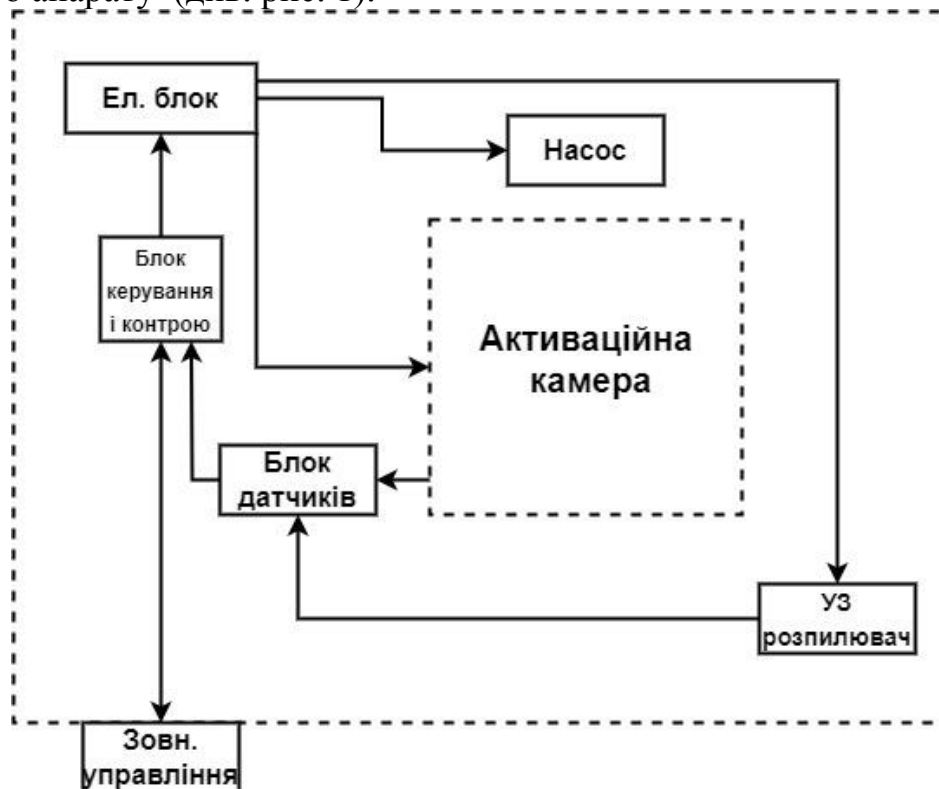


Рисунок 1. Детальна структурна схема АІА

З рисунку видно основні блоки, їх можна поділити на три категорії: керуючі (блок зовнішнього управління, блок керування і контролю, електричний блок), виконуючі механізми (насос, активаційна камера, УЗ розпилювач) і контрольно-інформаційний (блок датчиків). Фізична складова принципу роботи системи інгаляції залишилась без змін, було допрацьовано певні деталі на різних етапах самої процедури [4]. Так постійний контроль і корегування інгаляційної процедури стало невід'ємною і фундаментальною складовою системи, тому на перший план вийшли керуючі блоки, що беруть дані з блоку датчиків і вносять корективи в процесі інгаляції. Також на зовнішній панелі управління АІА з'явилось більш детальне інформування і налаштування АСК [5].

СТРУКТУРНА СХЕМА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

Опираючись на структурну схему на рис. 1 було розроблено її більш локалізований і детальний варіант для кращого розуміння роботи керуючих блоків.

Локалізовану схему власне можна назвати структурною схемою системи керування автоматизованої інгаляційного апарату (див. рис. 2).

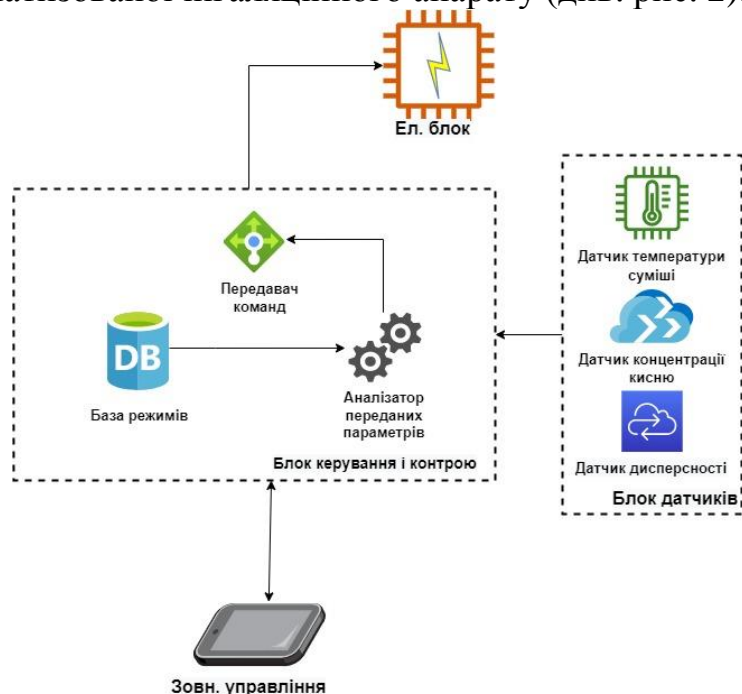


Рисунок 2. Структурна схема системи керування АІА

На схемі представлена і розкрита суть блоку керування і контролю, показаний набір датчиків. Як було зазначено вище керуючі блоки стали головним напрямком дослідження. Основна взаємодія відбувається в блоці керування і контролю, його основні одиниці це база режимів і аналізатор переданих параметрів і даних [6]. База режимів використовується у випадках аналізу та відбору пацієнтів для класичних процедур, корегування яких не передбачено. Також налаштування з бази режимів можна використати частково для цього якраз і потрібен аналізатор переданих (вхідних) параметрів (АПП). Він отримує команди зовні й інформацію з датчиків, співставляє ці дані і посилає команди на передавач, також під час виникнення змін хоч одного вимірюваного параметра аналізатор негайно корегує і згладжує їх. Передавач в свою чергу на пряму взаємодіє з електричним блоком.

Як видно блок датчиків також грає не останню роль в системі керування, він складається з трьох компонентів: датчик температури, концентрації кисню і дисперсності, ці вимірювані параметри є основними для готової пароводяної синглетної суміші.

В подальшій розробці буде передбачено доопрацювання зовнішнього блоку керування шляхом додання віддаленого контролю, що є зручним, практичним і більш безпечним рішенням [7]. Після цього стане можливим додання ряду датчиків, що будуть зчитувати фізіологічні дані пацієнта під час процедури, що підвищить ступінь автоматизації і керованості апарату, також підвищиться

гнучкість проведення процедури.

Електричний блок виконує функцію живлення виконуючих блоків, шляхом подання струму і електричних імпульсів.

ВИСНОВКИ

В роботі було проведено огляд теоретичної бази і фізичної основи зв'язаної з утворенням і функціями синглетного кисню. Визначено важливість його для організму людини і акцентовано увагу на підтримці його на певному рівні. Запропоновано покращений алгоритм роботи системи керування для автоматизованих інгаляційних апаратів, що використовують, як основний компонент впливу, синглетний кисень. Розроблено ефективну структурну схему для інгаляційного апарату і локальну схему системи його керування.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Gustavo Bounous, John H. Molson, “The Antioxidant System” / Anticancer Research 23, Research and Development Department, Immunotec Research Ltd., Vaudreuil-Dorion, Quebec, Canada, 2003, p. 1411-1416.
- [2] Chukhraiev N., Chukhraieva E., Gun'ko M., Kurik L., Lomeiko S, Marushko Y., Samosyuk N., Tkalina A., Vladimirov A., Unichenko A, Zavorotnaya R., Zukow W. Singlet-oxygen therapy. Eds. Chukhraiev N., Vladimirov A., Zukow W. Edition had extended and translated from ukrainian. RSW. Medinteh. Radom. Kyiv. 2018. 124 p. DOI <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.1161333>.
- [3] Паньков С.Б. Залежність параметрів проникнення фармакологічних препаратів у біологічну тканину від дії ультразвукових коливань різної інтенсивності / Паньков С.Б., Терещенко М.Ф. // Вчені записки Таврійського національного університету ім. В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. Том 29(68), №4, ч.1, 2018. – С.61-66
- [4] Дупляк І. О., Терещенко М. Ф., Чухраєв М. В. Система інгаляції і очищення із збагаченою озоном та ліками пароводяною сумішшю / Збірник матеріалів ХХ Міжнародної науково-технічної конференції “ПРИЛАДОБУДУВАННЯ: стан і перспективи”, ПБФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, 18 – 19 травня 2021 р., Київ, Україна, 2021, с.109-112.
- [5] Вислоух С. П., Терещенко М. Ф., Тимчик Г. С. Дипломний проєкт бакалавра: виконання, оформлення та захист : навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавра за спеціальністю 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології / КПІ ім. Ігоря Сікорського. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 64 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/47341>
- [6] Dojat, M., Pachet, F., Guessoum, Z., Touchard, D., Harf, A., & Brochard, L. (1997). NeoGanesh: a working system for the automated control of assisted ventilation in ICUs. Artificial intelligence in medicine, 11(2), 97-117.
- [7] Garzotto, F., Comoretto, R. I., Ostermann, M., Nalesso, F., Gregori, D., Bonavina, M. G., ... & Meneghesso, G. (2021). Preventing infectious diseases in Intensive Care Unit by medical devices remote control: Lessons from COVID-19. Journal of Critical Care, 61, 119-124.

Наук. керівник – к.т.н., доц. М.Ф. Терещенко.

УДК 004.89

М.Ю. Заболуєва, студентка гр. ПК-81, доктор філософії Момот А. С.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

АВТОМАТИЗАЦІЯ УЛЬТРАЗВУКОВОЇ ДІАГНОСТИКИ ЗАХВОРЮВАНЬ МОЛОЧНИХ ЗАЛОЗ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ

Анотація. Стаття присвячена аналізу шляхів вдосконалення медичних систем, за допомогою яких виконується діагностування захворювань молочних залоз за ультразвуковими знімками. Проаналізовано перспективи використання нейронних мереж в медицині. Розробка дозволяє значно збільшити точність у поставленні діагнозу та покращити ефективність методу діагностики. Запропоновано архітектуру нейронних мереж для автоматизованого аналізу ультразвукових зображень. Розглянуто моделі VGG16, MobileNet, EfficientNet. Проаналізовано ефективність даних моделей та запропоновано перспективну модель для використання у автоматизованій системі.

Ключові слова: нейронні мережі, ультразвук, медична діагностика, глибинне навчання.

ВСТУП

Діагностика та лікування раку молочної залози (МЗ) є життєво важливою проблемою у всьому світі. В Україні та світі одним із найбільш поширених онкологічних захворювань серед жінок є рак МЗ. Це захворювання – причина смерті кожної дев'ятої жінки [1]. При ранній правильній діагностиці можливо зменшити рівень летальності.

На сьогоднішній день спостерігається широке використання комп'ютерних технологій в медицині. Аналіз та застосування штучного інтелекту є перспективною областю і сприяє прискореному розвитку медицини. Класифікація ультразвукових зображень молочних залоз та метод сегментації за допомогою згорткових нейронних мереж може стати новим ефективним рішенням для аналізу та діагностики. Актуальність використання нейронних мереж пояснюється їх зручністю, адаптивністю та практичністю.

ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ РОБІТ

Нейронні мережі – це нелінійні системи, які допомагають краще класифікувати дані, порівнюючи з часто використовуваними лінійними методами. Серед переваг використання нейронних мереж можна виділити:

- здатність фільтрувати сторонні шуми;
- швидкодія;
- під час роботи нейронні мережі безперервно знаходяться в стані самонавчання, що лежить в основі їхньої адаптації;
- можливість одночасно аналізувати декілька параметрів;
- здатність працювати з великим об'ємом даних.

Технології машинного навчання можуть застосовуватися при роботі з різними видами інформації [2]. Найбільш широке поширення в медицині нейронні мережі отримали в області роботи з зображеннями.

У завданнях медичної діагностики нейронні мережі дають можливість значно підвищити точність поставлення діагнозу та витратити менше часу на аналіз. Сервіси, створені на основі нейронних мереж, розробляються по всьому світу і допомагають лікарям виявляти різні патології і захворювання, в тому числі онкологію.

Виявлення пухлини здійснюється шляхом первинного ультразвукового або рентгенологічного дослідження і вторинного аналізу – біопсії. Згідно з роботою [3], тільки 10-20% результатів біопсії дійсно підтверджують наявність раку МЗ.

Вчені з клініки Майо у штаті Міннесота навчили нейронну мережу розпізнавати ультразвукові знімки МЗ із злоякісними пухлинами. Виявилось, що мережа здатна вирішувати поставлену задачу з високою достовірністю і специфічністю на рівні 40%, у порівнянні з 10-20% у спеціалістів з ультразвукової діагностики. Завдяки використанню даної згорткової нейронної мережі можна не піддавати стресу багатьох жінок з доброякісними пухлинами через проведення біопсії.

Недоліком дано роботи є те, що представлений алгоритм вирішує задачі тільки сегментації. Для вирішення задач класифікації пропонується розробити спеціальну автоматизовану систему на базі нейронної мережі.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для створення програмного забезпечення діагностичної системи актуальним і важливим завданням є визначення архітектури нейронної мережі, яка дозволить найбільш точно виявляти захворювання.

Кожна архітектура призначена на вирішення певного класу завдань аналізу даних (регресії, класифікації, кластеризації, прогнозування) і використовує спеціальні алгоритми навчання. Для класифікації зображень найбільш доцільно застосувати згорткову нейронну мережу.

В задачах розпізнавання образів та обробки зображень використовується широкий спектр нейронних мереж, кожна з яких мають свої переваги та недоліки.

Однією з найкращих моделей, успішно застосованих в задачах класифікації зображень, є мережа VGG16 [4]. Модель досягає точності 92.7% при тестуванні у задачі розпізнавання об'єктів на зображенні, також її легко реалізувати. Проте, мережа VGG16 має два значних недоліки: дуже повільна швидкість навчання, архітектура мережі важить надто багато, у подальшому з'являються проблеми з диском та пропускнуою здатністю.

Мережа MobileNet – невелика модель з низькою затримкою та малопотужними параметрами, що використовується за умов обмежень ресурсів. Модель MobileNet може бути створена для вирішення задач класифікації, сегментації та кластеризації, як і інші популярні великомасштабні моделі. Але MobileNet поступається точністю, яка, для задач класифікації, становить 70,6%.

EfficientNets – це серія моделей, що застосовуються для класифікації зображень, і які можуть забезпечити дуже високу точність, 95,1%. Вивчення впливу зміни роздільної здатності зображень на показники ефективності моделі дало змогу створити перспективний клас нових моделей. В основі розробки моделей EfficientNets лежить алгоритм складового масштабування та балансування кількості каналів згорткових нейронних мереж. Згідно з дослідженням [5] балансування ширини, глибини і роздільної здатності мережі має важливе значення, і цей баланс може бути досягнутий шляхом рівномірного масштабування кожного значення з фіксованими пропорціями між ними. На основі цього пропонується простий та ефективний метод складового

масштабування. Модель EfficientNet досягає значно вищої точності порівняно з попередніми моделями, має менше параметрів та швидше навчається. Виходячи з даних характеристик, найоптимальніше обрати модель EfficientNet для задачі класифікації ультразвукових зображень.

Для навчання нейронної мережі пропонується використати відкритий набір даних [6]. Набір даних містить 780 ультразвукових зображень МЗ у 600 жінок у віці від 25 до 75 років. Їх поділяють на три класи: без патологій, доброякісні та злоякісні пухлини. Збільшуючи набір даних новими ультразвуковими знімками, можна підвищити точність системи.

Для пришвидшення експерименту використовувався підхід Transfer learning. Мережа EfficientNet B1, яка використані в експерименті, була попередньо навчена на наборі даних ImageNet. Також було застосовано Fine tuning. Для навчання був доступний не лише власний класифікатор з 512 нейронами, а і останній згортковий прошарок початкової мережі EfficientNet. Метрикою обрано Accurasy, оптимізатор – Adam, функція втрат – categorical crossentropy. В результаті навчання мережа показала долю правильних відповідей на рівні 81,26% на тестових даних. Такий рівень достовірності не може бути прийнятним для постановки остаточного діагнозу. Тому запропонована нейромережева модель може використовуватись лише в якості системи підтримки прийняття рішень. Остаточний діагноз має бути встановлено кваліфікованим спеціалістом на основі результатів комплексного дослідження стану здоров'я пацієнта.

Для більш детальної і зручної діагностики у подальшому можна створити інтерфейс у середовищі NI LabVIEW. Крім діагностики, інтерфейс системи може включати інструменти для вимірювання розміру пухлини, щільності та інших параметрів. Оскільки середовище LabVIEW містить зручні інструменти для підключення зовнішніх пристроїв до ПК, діагностику можна виконувати в режимі реального часу.

National Instruments пропонує широкий спектр спеціалізованих програмних бібліотек та апаратних модулів. Однією з таких технологій є модуль Vision Development (VDM), що містить в собі сотню функцій для розробки і впровадження технологій машинного зору. За допомогою комплексної бібліотеки функцій можна отримати доступ до безлічі алгоритмів обробки зображень і функцій машинного зору. Це дозволить покращити зображення, перевірити наявність об'єктів, визначити властивості, ідентифікувати об'єкти, вимірювати параметри тощо. VDM також включає в себе Vision Assistant – інструмент, який дозволяє виконувати різні операції над зображеннями, що значно спрощує роботу з зображеннями [7].

Поєднання сучасних нейромережевих архітектур та доступних засобів середовища розробки NI LabVIEW дозволяє створити гнучку та адаптивну систему діагностики. Зручний інтерфейс користувача полегшить взаємодію лікаря з нейромережевим модулем, що не вимагатиме спеціальних знань для використання. Окрім того, NI LabVIEW надає інструменти для організації збору та зберігання даних. Це є важливим для нарощування бази навчальних зразків.

ВИСНОВКИ

Використання у медицині нейронних мереж має великий потенціал. Запровадження автоматизованої системи для діагностування захворювань МЗ може спростити працю лікарів та збільшити точність у постановці діагнозу, тим самим зменшити рівень смертності від раку МЗ. Розглянуті моделі нейромереж успішно застосовуються в задачах класифікації зображень. При порівнянні характеристик найкращою для наших цілей виявилась модель EfficientNet. Для покращення якості та зручності роботи системи пропонується створити інтерфейс на базі модулю Vision Development у середовищі LabVIEW. Основним завданням для подальших досліджень є розроблення алгоритму сегментації і поєднання його зі створеним алгоритмом класифікації для отримання більш інформативних результатів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Носовець, О. К. Створення інформаційної системи для прогнозування перебігу раку молочної залози після проведеного лікування / О. К. Носовець, Ю. Є. Скорик // Міжнародний науковий журнал "Інтернаука". — 2018. — № 8(1). — С. 93–96.
- [2] Momot A. Deep Learning Automated System for Thermal Defectometry of Multilayer Materials / A. Momot, R. Galagan, V. Gluhovskii. // Devices and Methods of Measurements. — 2021. — №12. — pp. 98–107.
- [3] Xie X. et al. Breast ultrasound image classification and segmentation using convolutional neural networks // Pacific rim conference on multimedia. — Springer, Cham. — 2018. — pp. 200–211.
- [4] Alippi C., Disabato S., Roveri M. Moving convolutional neural networks to embedded systems: the alexnet and VGG-16 case // 2018 17th ACM/IEEE International Conference on Information Processing in Sensor Networks (IPSN). — IEEE, — 2018. — pp. 212–223.
- [5] Mingxing T. Efficientnet: Rethinking model scaling for convolutional neural networks / T. Mingxing, Q. Le. // International Conference on Machine Learning. PMLR. — 2019. — С. 6105–6114. Sarah Guido, Andreas Müller. Introduction to Machine Learning with Python. A guide for Data Scientists. — O’Rilly Media, 2016. — 285p.
- [6] Al-Dhabyani W, Goma M, Khaled H, Fahmy A. Dataset of breast ultrasound images. Data in Brief. 2020 Feb; 28:104863.
- [7] Обработка и анализ цифровых изображений с примерами на LabVIEW IMAQ Vision / Ю.В. Визильтер, С. Ю. Желтов, В.А. Князь, А.Н. Ходарев, А.В. Моржин. — М.: ДМК Пресс, 2007. — 464 с.

Наук. керівник – доктор філософії, ас. Момот А.С

УДК 620.179

М.Ю. Заболуєва, студентка гр. ПК-81
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ДОСЛІДЖЕННЯ ВИНИКНЕННЯ АРТЕФАКТІВ ПРИ УЛЬТРАЗВУКОВІЙ ДІАГНОСТИЦІ

Анотація. Стаття присвячена аналізу особливостей фізики ультразвуку, які впливають на якість результатів дослідження ультразвуковим методом. Розглянуто основні артефакти, які зустрічаються при проведенні ультразвукової діагностики. Визначені недоліки виникнення артефактів.

Ключові слова: ультразвук, артефакт, медична діагностика.

ВСТУП

Застосування ультразвуку в медичній діагностиці пов'язано з можливістю отримання зображення внутрішніх органів і структур з метою виявлення патологічних процесів. В основі ультразвукової діагностики лежить зворотний п'єзоелектричний ефект. Ультразвукові хвилі, відбиваючись від різнорідних структур досліджуваного об'єкта, перетворюються в електричні імпульси і формують на екрані монітора зображення досліджуваного об'єкта. На сьогоднішній день у медицині важливе місце займає правильна інтерпретація даних ультразвукових досліджень, що обумовлено особливостями формування зображення.

У своїй практичній діяльності лікарі ультразвукової діагностики стикаються з різними артефактами при проведенні кожного дослідження. Розуміння фізичних причин, які лежать в основі їх виникнення, вивчення раніше виявлених артефактів дозволяє більш успішно інтерпретувати отримані дані і зменшити можливість виникнення помилок при поставленні діагнозу.

ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ РОБІТ

В ультразвуковій діагностиці поняття артефакт розуміють як зображення і ефекти, які не представляють собою справжнє відображення реальних анатомічних структур і спотворюють їх дійсне розташування, розміри і характеристики [1].

В основі формування артефактів лежать такі фізичні явища, як заломлення, розсіювання, поглинання, які є причинами затухання ультразвукових хвиль в біологічних тканинах.

Заломлення – зміна напрямку розповсюдження хвиль при переході із одного середовища в інше, що викликає геометричне спотворення отриманого об'єкту.

Розсіювання – виникнення множинних змін напрямку розповсюдження ультразвукового сигналу, обумовлене неоднорідністю біологічного середовища.

Поглинання – перехід енергії ультразвукових хвиль в інші види енергії (тепло), викликаний в'язкістю середовища [2].

Згідно з роботою [3], наявність артефактів призводить до діагностичних помилок в 5% випадків. У зв'язку з поширенням такої проблеми метою дослідження є систематизація найбільш поширених артефактів та їх аналіз.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Провівши аналіз відкритих наборів даних [4], які містять ультразвукові знімки, можна виділити наступні основні артефакти.

Реверберація. Відображення ультразвукового променя, поширеного перпендикулярно поверхні досліджуваного об'єкта, залежить від амплітуди вихідного променя і акустичного опору двох середовищ, через які він проходить. При великій різниці відображення променя стає максимальним. Даний феномен найбільш часто формується на межі поділу середовищ «м'які тканини – газ» і «рідина – газ». Відображений від подібної поверхні ультразвук повертається до датчика і повторно направляється до об'єкту, а потім до датчика. Двічі ехосигнал буде просторово визначений датчиком на глибині розташування реального рефлектора. Подібний круговий рух променя може повторюватися декілька разів. Оскільки виникає часове запізнення передачі сигналу, зображення кожного наступного відображення буде спостерігатися на дисплеї сканера глибше (нижче) реального об'єкту.

Ехографічно реверберація проявляється серією яскравих паралельних ліній. Перший ехосигнал («лінія») – це результат простого відображення від рефлектора, наступні – викликані багаторазовими рухами променя між об'єктом і датчиком.

«Хвіст комети». Виникнення цього артефакту пов'язано з ненаправленою реверберацією, яка виникає від пузирів газу при їх поверхневому розташуванні в газомістких структурах. Виникнення «хвоста комети» пояснюється власними коливаннями об'єкту малих розмірів в результаті множинних відображень ультразвукового променя всередині нього, обумовлюючих короткі реверберації.

Даний ефект реєструється у вигляді множинних яскравих ліній, які створюють «хвіст» на ділянці, розташованій за джерелом формування артефакту.

Дзеркальний артефакт. Цей феномен виникає в області структур, які мають високовідображаючу поверхню (діафрагма, кишечник, плевра). У результаті реверберації, яка розвивається між реальними масами і відражаючою поверхнею, на протилежній стороні від рефлектора виникає формування псевдомас [5].

Цей ефект часто реєструється при дослідженні надключичної області і є дзеркальним артефактом підключичної артерії. Його виникнення обумовлено приляганням задньої стінки підключичної артерії до верхівки легкого, в результаті чого виникає межа розподілу середовищ з різною акустичною щільністю. Ультразвуковий промінь, пройшовши через судину, повністю відображається від плевральної поверхні, розташованої позаду артерії. При поверненні через підключичну артерію ехосигнали розсіюються частинками крові і м'якими тканинами і повторно відображаються від поверхні плеври. Ультразвукова система визначає глибину розташування об'єкту на підставі часу, витраченого променем на рух в обох напрямках, і передбачає його розповсюдження по прямій лінії, тому сканером не враховуються багаторазові відображення (реверберації) ультразвуку. Результатом є формування артефактного зображення, яке візуалізується на протилежній стороні від плевральної поверхні, накладаючись на верхівку легкого [6].

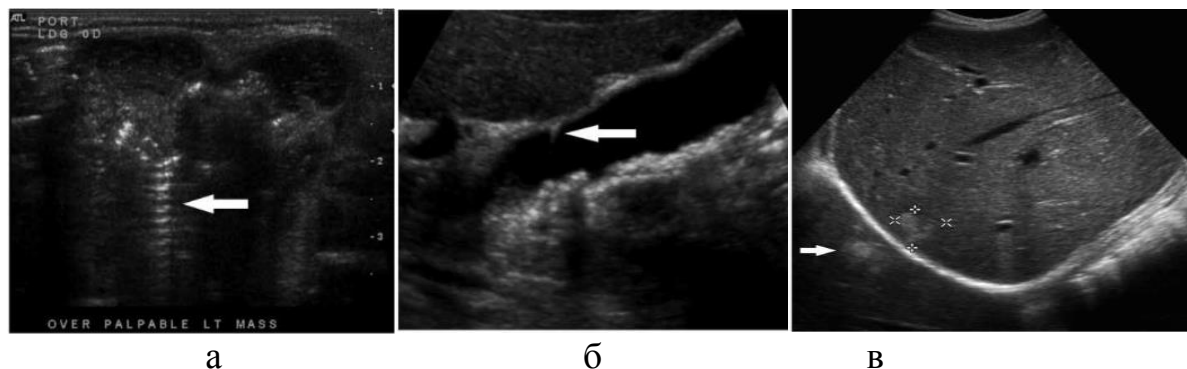


Рисунок 1. Приклади артефактів на ультразвукових зображеннях:
а – реверберація, б – хвіст комети, в – дзеркальний

Встановлено, що діагностичне значення мали такі розглянуті артефакти: реверберації, артефакт «хвіст комети», які спостерігалися у 50,4% випадків. Інші типи артефактів не несли діагностичної інформації та легко усувалися зміною налаштувань приладу [7].

ВИСНОВКИ

Можлива наявність різних артефактів, що супроводжують ультразвукові дослідження органів і тканин, призводить до труднощів у постановці вірного діагнозу та високих вимог до кваліфікації фахівців, які проводять ці дослідження. Систематизація артефактів дозволяє спеціалістам з ультразвукової діагностики усунути помилки, що часто зустрічаються, при виконанні діагностичних досліджень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Баранник Є. О. Артефакти та методологічні помилки зсувнхвильової еластографії // Променева діагностика, променева терапія. и др. – 2015. – №. 1. – С. 61-71.
- [2] Теоретичні основи ультразвукового неруйнівного контролю [Електронний ресурс]: підручник / Р. М. Галаган. — Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. — 263 с.
- [3] Богданович Б. Б., Гольцев М. В. Физические артефакты в ультразвуковой диагностике и их клиническое значение // Военная медицина. — 2008. — с. 32-34.
- [4] Al-Dhabyani W, Goma M, Khaled H, Fahmy A. Dataset of breast ultrasound images. Data in Brief. 2020 Feb; 28:104863.
- [5] Артефакты в ультразвуковой диагностике: учебное пособие. / А. Ю. Васильев, А. И. Громов, Е. Б. Ольхова и др. — М.: ФГОУ «ВУНМЦ», 2006. — 56 с.
- [6] Щупакова А. Н., Литвяков А. М. Клиническая ультразвуковая диагностика. — 2004. — 255 с.
- [7] Богдан О. П. Влияние артефактов на результаты ультразвуковых доплеровских исследований // Интеллектуальные системы в производстве. — 2009. — 180 с.

Наук. керівник – канд. техн. наук, доцент Галаган Р.М.

УДК 621.865:004.896

Ю.Д. Радченко, студент гр. ПБ-81

КПІ ім. Ігоря Сікорського

ВИКОРИСТАННЯ АВТОНОМНИХ РОБОТІВ У ЛОГІСТИЧНИХ ОПЕРАЦІЯХ МЕДИЧНОГО ЗАКЛАДУ

Анотація Нещодавні досягнення в робототехніці збільшили гнучкість у сфері мобільності роботів і співпраці людини і робота, відкриваючи нові можливості для виконання завдань з транспортування матеріалів, особливо у вузьких, динамічних середовищах, наприклад - лікарні. Пристрої датчиків, потужні бортові комп'ютери, штучний інтелект та обладнання для спільної роботи дозволяють автономним мобільним роботам (AMR) виконувати роботи з транспортування матеріалів.

Ключові слова: автономні мобільні роботи, транспортування матеріалів, лікарня, логістика

ВСТУП

Сучасний світ переживає наслідки епідемії COVID-19, а наша країна війну. Ці події показали нам що сучасна медицина не в змозі встояти перед глобальними проблемами. Й саме тому вищезазначена тема актуальна як ніколи.

Нині однією з найбільших проблем є нестача лікарів. До 2035 року у світі не вистачить 12,9 мільйона медичних працівників; сьогодні ця цифра становить 7,2 млн. У звіті «A Universal Truth: No Health Without a Workforce» визначено кілька основних причин виникнення цієї нестачі. Насамперед старіючу робочу силу в галузі охорони здоров'я, персонал, який виходить на пенсію або йде на краще оплачувану роботу без заміни, і навпаки, недостатня кількість молодих людей, які не мають відповідної підготовки. Зі збільшенням населення збільшується попит на медичні послуги. Збільшення неінфекційних захворювань (наприклад, рак, серцеві захворювання, інсульт тощо). Внутрішня та міжнародна міграція медичних працівників що посилює регіональні дисбаланси [1].

Великі опитування, проведені в США, Канаді та Німеччині, виявили, що сестринська справа, яка не пов'язана з медичними процедурами (наприклад, доставлення та отримання лотків з їжею, допоміжні або домашні послуги) займає близько 40% часу медсестер [2]. Багато з цих заходів могло бути виконано іншим персоналом лікарні або передовими системами роботів. Розв'язання цієї проблеми полягає в автоматизації логістичних операцій медичного закладу за допомогою мобільних роботів. Насамперед це дозволить звільнити значну кількість персоналу від логістичних завдань, що, в свою чергу, дозволить медичному персоналу повністю зосередитись на лікуванні пацієнтів.

Однак вибір правильної системи для автоматизації лікарень є досить складним завданням. Тому метою цього дослідження є знаходження та порівняння чинних прикладів автоматизації.

ТЕОРЕТИЧНА ОСНОВА

Для кожного виду матеріалів та вимог до доставлення використовують різні технічні рішення. В лабораторіях використовують систему труб, а для великої кількості проб встановлюють модуль сортування. Для транспортування більш важких і великих вантажів використовують автоматично керовані транспортні засоби (AGV) або автономних роботів (AMR)

AGV слідує за фіксованими маршрутами, як правило, вздовж проводів

або магнітів, вбудованих у землю. AGV можуть відчувати перешкоду, але вони просто зупиняються і чекають, доки цю перешкоду хтось усуне. AGV без особливого бортового інтелекту можуть підкорятися лише простим наказам. Це означає, що AGV, як правило, потрапляють у неприємності, коли щось не зовсім так, як їм подобається.

AMR можуть динамічно переміщатися за допомогою карти об'єктів, яка створюється під час початкового налаштування. Окрім цієї фундаментальної відмінності AMR, на відмінно від AGV, уникають перешкод. Вони можуть побачити перешкоду й обійти її, відповідно до запрограмованого завдання. [3].

AMR знають своє призначення, тому вони можуть змінити свій маршрут, щоб дістатися туди, куди їм належить. Наприклад, на картах Google ви можете побачити багато маршрутів, щоб дістатися до місця призначення, і ви обираєте найбільш зручний для вас, щоб уникнути заторів або аварій. Аналогічно, коли AMR відчують перешкоду на своєму шляху, вони можуть розвернутися і піти іншим маршрутом, якщо не можуть безпечно обійти перешкоди. Фактично, AMR можуть навіть уникати рухомих об'єктів, завдяки датчикам, 3D-камерам глибини та технології LiDAR, для забезпечення безпеки [3].

ПРИКЛАДИ ВИКОРИСТАННЯ АВТОНОМНИХ РОБОТІВ. ПЕРЕВЕЗЕННЯ СТЕРИЛЬНИХ ІНСТРУМЕНТІВ

Стерильні інструменти транспортуються у корпусах (зображено на рис.1) у замкнутій логістичній системі за допомогою AMR. Відповідний відділ стерильної обробки збирає і відправляє стерильні інструменти, необхідні для лікування з складських приміщень до інших відділів. Після використання на рівні відділу (наприклад, операційного приміщення), товари відправляються назад у центральний відділ стерильної обробки для очищення, огляду та стерилізації. Персонал лікарні може відстежувати транспортування через планшет. Завдяки логістичному налаштуванню та надійному транспортуванню за допомогою AMR стерильні товари можуть бути відправлені вчасно. AMR може відкривати двері, користуватися ліфтами, входити у відділення, обходити перешкоди, обробляти динамічні умови та доставляти стерильні інструменти [4].



Рисунок 1. Приклад AMR для транспортування стерильних інструментів

ПЕРСОНАЛІЗОВАНЕ ТРАНСПОРТУВАННЯ ЛІКІВ

В медицині існує персоналізоване лікування, яке основане на виробленні ліків на основі генів пацієнта та виду захворювання. Зазвичай таке лікування використовують проти вірусів та раку. Але є одна особливість такого лікування - ліки виробляються в фармацевтичному відділенні в підвалі корпусу лікарні. Також ці препарати мають малий термін придатності та високу вартість.

Лікарня використовує AMR для транспортування ліків у закритій шухляді від підвалу через лікарню до кінцевого пункту у відділенні. Після доставлення, AMR повертається у фармацевтичний відділ і чекає на отримання наступних команд. AMR зменшує відповідальність медичного персоналу та кількість часу, затраченого на транспортування ліків. Це допомагає медичним працівникам збільшити догляд за пацієнтами та за рахунок додаткового часу[5].

ДЕЗІНФЕКЦІЯ ПРИМІЩЕНЬ

Під час епідемії COVID-19 постало питання автономної дезінфекції лікарняних приміщень для зменшення випадків зараження. Лікарні повинні очищати та дезінфікувати приміщення після використання, щоб зменшити поширення небезпечних бактерій. Розробка систем УФ світла суттєво сприяє знищенню бактерій. Ультрафіолетовим світловим системам потрібно 10 хв, щоб знищити 99,99% бактерій. Хоча обладнання часто можна зустріти на колесах яке переміщається вручну з кімнати в кімнату, AMR забезпечують платформу для автономного транспортування обладнання в приміщення (зображено на рис.2). Тому AMR можуть охопити більше поверхонь у порівнянні зі стаціонарною системою і зменшити вплив бактерій на людей. Під час процесу дезінфекції AMR збирають актуальні дані та повідомляють персонал, стосовно його подальшого використання[6].



Рисунок 2. AMR з дезінфекційним обладнанням

ВИСНОВКИ

На відміну від інших систем транспортування матеріалів, що застосовуються в лікарнях, AMR використовують штучний інтелект для прийняття рішень, що значно підвищує їх гнучкість в лікарнях. Штучний інтелект підтримує прийняття рішень AMR планування шляху та руху. Хоча зазвичай алгоритм використовується при плануванні напрямку для пошуку найкоротшого шляху, штучний інтелект дозволяє аналізувати динамічне середовище та адекватно реагує на перепони. Методи машинного навчання можуть запропонувати оптимізовані шляхи на основі попередніх маршрутів. Ці процеси підвищують надійність та точність, що має вирішальне значення в лікарнях, оскільки невеликі відхилення в маршруті мають великий вплив на лікування пацієнтів. Наприклад, відсутність інструментів або ліків призведе до неефективного лікування або негативного впливу на здоров'я пацієнта. Міцні та надійні системи транспортування матеріалів, такі як AMR, мають вирішальне значення для перенесення матеріалу, які можуть сильно вплинути на здоров'я пацієнтів. Штучний інтелект може додатково підтримувати взаємодію між людьми та машинами, забезпечуючи допоміжні чи спільні завдання.

Проаналізувавши існуючі дослідження, можна зробити висновок, що цей напрям в науці в наші дні є найперспективнішим. Також довгий час вважалося, що роботи не стерильні для використання в лікарнях. Саме тому запровадження систем автоматизації в лікарнях на тому рівні, на якому використовують їх в приладобудуванні є однією із актуальних ідей.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Truth A. U. No Health without a workforce //World Health Organisation (WHO) Report. – 2013. – С. 1-104.
- [2] Yen, P. Y., Kellye, M., Lopetegui, M., Saha, A., Loversidge, J., Chipps, E. M., Gallagher-Ford, L., & Buck, J. (2018). Nurses' Time Allocation and Multitasking of Nursing Activities: A Time Motion Study. AMIA ... Annual Symposium proceedings. AMIA Symposium, 2018, 1137–1146.
- [3] AMRs vs. AGVs: The Difference Between a Robot and a Guided Vehicle - Режим доступа:www.URL: <https://fetchrobotics.com/fetch-robotics-blog/amrs-vs-agvs-the-difference-between-a-robot-and-a-guided-vehicle/> - 10.09.2020
- [4] Fraganane G. et al. Autonomous mobile robots in sterile instrument logistics: an evaluation of the material handling system for a strategic fit framework //Production Planning & Control. – 2021. – С. 1-15.
- [5] MIR Homepage, - - Режим доступа:www.URL: <https://www.mobile-industrial-robots.com/case-studies/>
- [6] Robotic Solutions for COVID-19 , - Режим доступа:www.URL: <https://mobilerobotguide.com/2020/04/01/robotic-solutions-for-covid-19/>

Наук. керівник – к.т.н., доцент. Клочко Т.Р.

УДК 615.841:621.317.4

Р. А. Рогожніков, студент гр.ПБ-82

КПІ ім. Ігоря Сікорського

КЕРУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНИМ МАГНІТОТЕРАПЕВТИЧНИМ АПАРАТОМ

Анотація. Розроблено та спроектовано сучасну систему керування автоматизованим магнітотерапевтичним апаратом (СКАМТА). Сам магнітотерапевтичний апарат призначений для профілактики та лікування різних захворювань опорно-рухомої, м'язової та кровоносної систем людини методом впливу змінного та імпульсного магнітного поля і вигідно поєднує в собі функції для реабілітації травмованих кісток, суглобів, м'яких тканин. Система ефективного керування є одним із методів вдосконалення алгоритму роботи автоматизованого магнітотерапевтичного апарату (АМТА) і забезпечує контроль вихідних значень індукції магнітного поля та фізіологічних параметрів пацієнта. Така система керування забезпечує безпеку при сеансі дії на пацієнта магнітним полем та підтримує стабільність заданих параметрів, реєструє зміну фізіологічних параметрів людини при магнітотерапії.

Ключові слова: система керування, магнітотерапія, автоматизований магнітотерапевтичний апарат, база даних, алгоритм режимів роботи

ВСТУП

У часи війни в Україні ми маємо частину населення, що потрапила в складну ситуацію. Тобто потребує фізіотерапевтичної реабілітації, що створює актуальність використання автоматизованого магнітотерапевтичного апарату. З його допомогою можливо покращити та відновити фізіологічний стан здоров'я. Нами було запропоновано систему керування автоматизованим магнітотерапевтичним апаратом, що для ефективного проведення сеансу терапії, визначатиме значення фізіологічні параметри пацієнта та порівнює їх із межами допустимих норм. Це забезпечить підтримання безпеки пацієнта та достатню точність вибору режиму роботи магнітотерапевтичного апарату [1]. Саме таку можливість надає сучасна ефективна система керування АМТА.

У роботі, задачею дослідження є аналіз проведення сеансів терапії та розробка високоточної системи керування (ВСК), що полегшить роботу апарату та забезпечить алгоритм автоматизації магнітотерапевтичному апаратом. Це розширить його функціонал, забезпечить коректну роботу АМТА та покращить зручність використання [2].

АЛГОРИТМ ТА ПРИНЦИП РОБОТИ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

Принцип роботи системи керування АМТА полягає у тому, що заміряються та формується фізіологічні параметри пацієнта, автоматично передаються до вбудованої бази даних та починається процес терапії, де режим роботи визначається, згідно алгоритму, на основі зібраних даних [3]. Якщо при сеансі у зоні терапевтичної дії виникає відхилення від значень або різка зміна значень сатурації крові, параметри пульсу чи тиску крові, тоді система керування зменшує значення інтенсивності магнітної індукції чи відключає апарат. Це використовуються для того, щоб виконати перший сеанс та не нашкодити пацієнту. Тобто після проходження усіх сеансів магнітотерапії, ми отримаємо повну інформацію про дію магнітного поля на пацієнта [4].

Нами було розроблено алгоритм та структурну схему стандартної системи керування автоматизованим магнітотерапевтичним апаратом, що зображена на

рис. 1. Система СКАМТА складається з датчиків вимірювання температури тіла, сатурації крові та тиску крові, ці значення параметри передаються у блок бази даних, де відбувається сортування та зберігання параметрів. Блок даних режимів роботи збирає та коригує базові значення індукторів та значення параметрів і режимів процедури магнітотерапії[5].

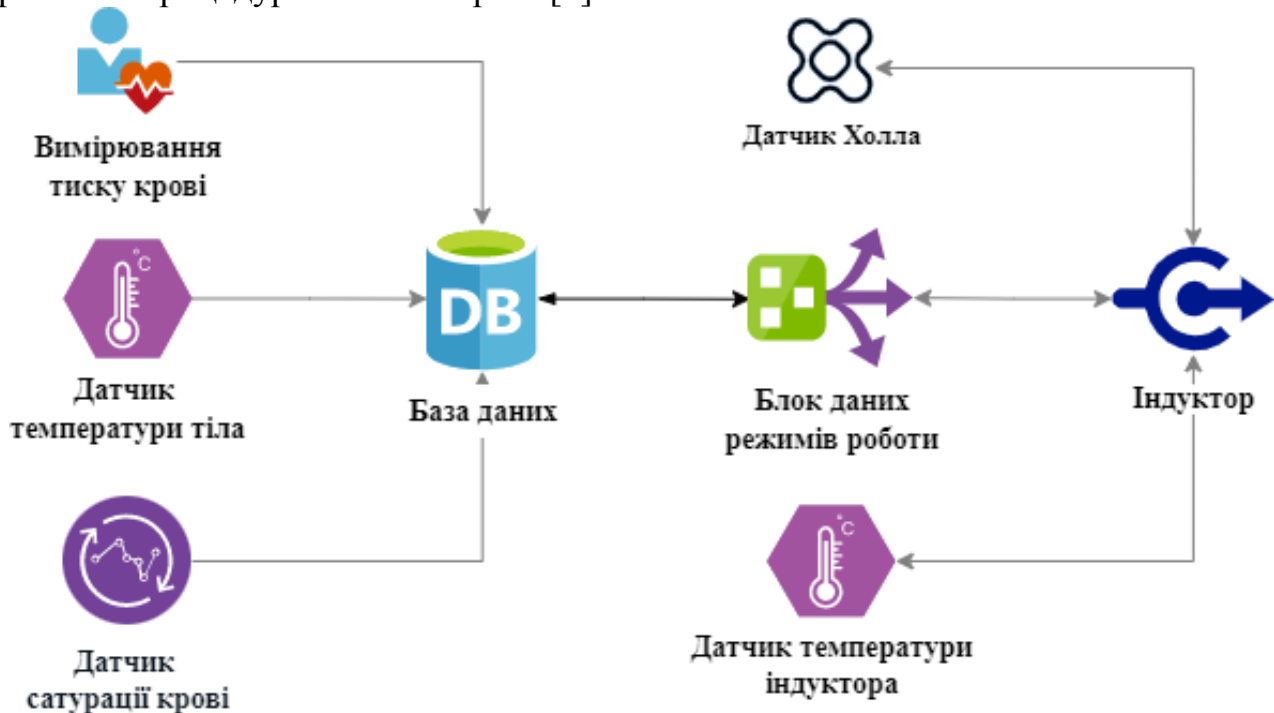


Рисунок 1. - Структурна схема система керування автоматизованим магнітотерапевтичним апаратом

На базі такої структури системи керування та алгоритму підтримання безпечних параметрів при сеансі магнітотерапії запропоновано та спроектовано структурну схему автоматизованого магнітотерапевтичного апарату з високоточною системою керування , що зображено на рис. 2.

Модуль системи керування під'єднано до центрального процесора комп'ютера, що забезпечує високу швидкість передачі потрібних значень параметри для само тестування та контролю параметрів процедури при сеансах терапії. Якщо зміни значень параметрів не значні і відбулися вони в діапазоні норми, тоді сеанс продовжується. Але при порушенні меж допустимих норм, процес терапії переривається та пацієнт відправляється на обстеження лікаря.

Автоматизований магнітотерапевтичний апарат працює трьох режимах - це в ручному, в автоматизованому режимі – з синхронним реагуванням або з асинхронною реакцією в комбінованому комплексному режимі [6].

При роботі в ручному режимі оператору необхідно послідовно виконати усі налагодження та виміри з контролем параметрів магнітного поля та стану пацієнта під час фізіотерапевтичної процедури з індикацією значень на панелі керування та фіксацією значень магнітного поля, тривалості процедури, стану пацієнта. Якщо відбудеться вихід за межі заданих параметрів сформується сигнал тривоги, що посприє налагодженню та відновленню роботи .

При роботі в автоматизованому режимі, а саме синхронному, тоді вихідні сигнали датчиків (датчик пульсу, сатурації крові, кров'яного тиску, градієнтів

температур) синхронізовані з параметрами магнітного поля за допомогою яких налаштовуються інтенсивність дії магнітного поля терапевтичного сеансу. При асинхронному режимі вони не мають синхронізації, лише інформацію про стан пацієнта та значення параметрів температурних градієнтів зон впливу магнітного поля на тіло пацієнта в зоні індукторів.

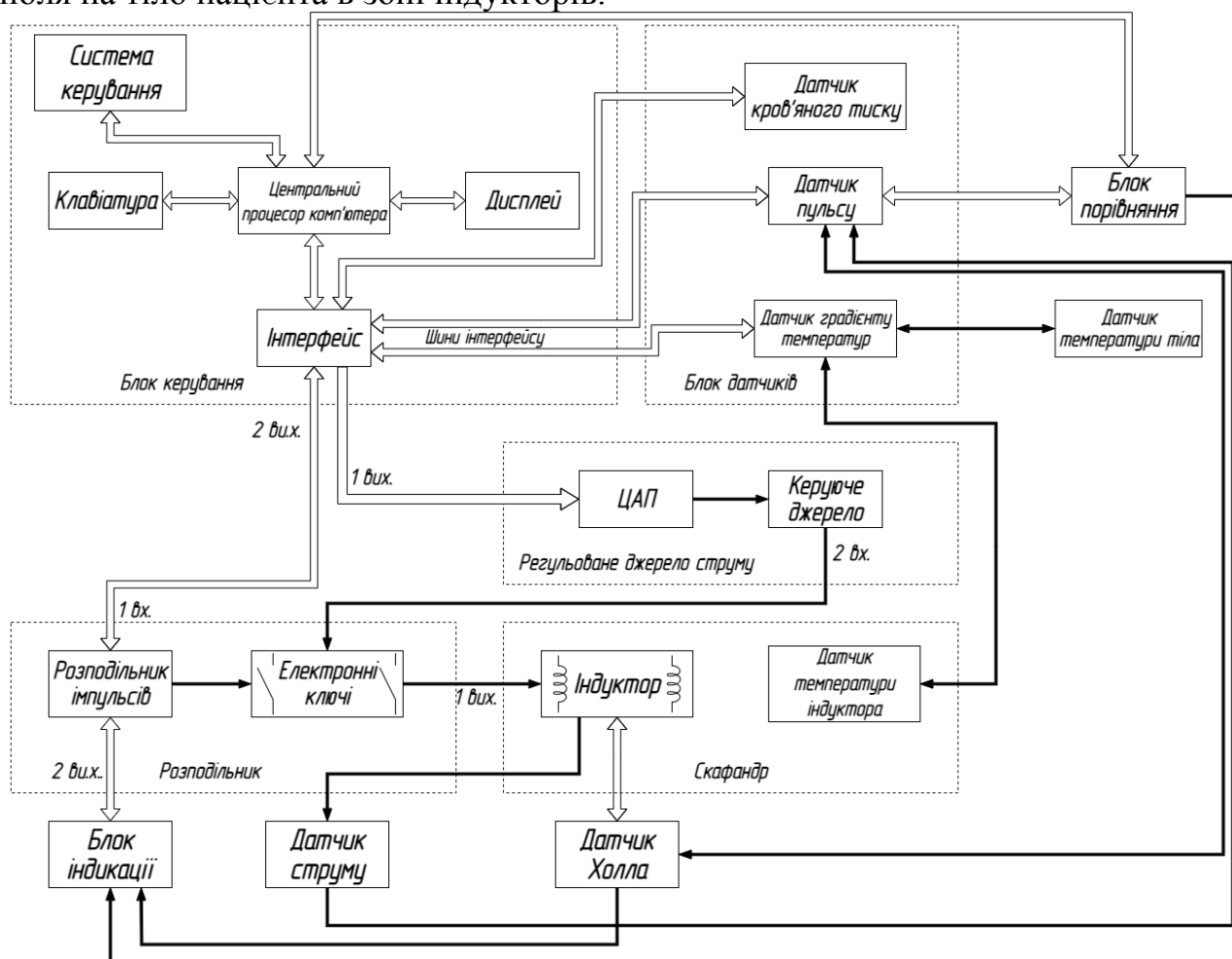


Рисунок 2. - Структурна схема АМТА з системою керування

Таким чином, використовуючи, системний блок керування досягається повний контроль над режимами роботи автоматизованого магнітотерапевтичного апарату - значеннями магнітної індукції, формою магнітного поля, тривалістю імпульсів та процедури, а також фізіологічним станом пацієнта – значеннями температури, артеріального тиску та сатурації.

ВИСНОВКИ

Нами було аналізовано проведення терапевтичного сеансу за допомогою системи керування, розроблено та реалізовано універсальну СК для автоматизованого магнітотерапевтичного апарату. Спроековано структурну схему АМТА з модулем системи контролю та керування сеансом, також визначено принципи його роботи. Представлено структурну схему автоматизованим магнітотерапевтичним апаратом з варіабельною системою контролю, як за параметрами вплив – значеннями магнітної індукції, так і за станом пацієнта.

Отже введення функції керування та контролю дозволяє оператору

облегшити моніторинг за пацієнтом в умовах магнітотерапії, додатково автоматизує та робить апарат більш безпечним для використання у не простих діагнозах пацієнта.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1]G. S. Tymchik, M. F. Tereshchenko, S. O. Soroka, M. M. Tereshchenko, «Control over influence of the magnetic field parameters on a biological object», in XIII International PhD Workshop OWD 2011, 22–25 October 2011, с. 295-299.
- [2]В. Ю. Рудик, М. Ф. Терещенко, Т. О. Рудик, «Спосіб адаптивної магнітотерапії», Вісник Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут". Серія приладобудування, Вип. 51, с. 139–144, 2016.
- [3]Chakeres DW, Dee Vocht F. Static magnetic field effects on human subjects related to Magnetic Resonance Imaging (MRI) systems. Progress in Biophysics and Molecular Biology 2005; 87: 255-265.
- [4]Рудик В.Ю., Терещенко М.Ф. Безконтактний тепловий контроль роботи магнітотерапевтичної апаратури // XI Міжнар. науково-техн. конф. "Приладобудування 2012: стан і перспективи", 24—25 квітня 2012 р. — К.: НТУУ "КПІ", 2012. — С. 193—194.
- [5]Ramey DW. Magnetic and electromagnetic therapy. Scientific Review of Alternative Medicine 2(1):13-19, 1998.
- [6]Magnet therapy. EBSCO Natural and Alternative Treatments website. Available at: = <http://www.ebscohost.com/biomedical-libraries/natural-alternative-treatments>. Updated October 11, 2016. Accessed June 03, 2022.
- [7]Mayrovitz HN and others. Assessment of the short-term effects of a permanent magnet on normal skin blood circulation via laser-Doppler flowmetry. Scientific Review of Alternative Medicine 6(1):9-12, 2002.

Наук. керівник – к.т.н. , доцент ,Терещенко М.Ф.

УДК 57.087:004.032.26

В.В. Терещенко, студент гр. ПБ-82, к.т.н, ст. викладач Вонсевич К.П.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ВИКОРИСТАННЯ СПЕКТРАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРОМІОГРАФІЧНИХ СИГНАЛІВ У БІОНІЧНОМУ ПРОТЕЗУВАННІ

Анотація. У роботі запропоновано та проаналізовано можливість використання спектральних параметрів електроміограми у розпізнаванні біологічних сигналів тіла людини з метою їх подальшого застосування у системі біонічного протезу руки. Описано методику розрахунку та застосування двох спектральних параметрів, як базису для вхідного набору даних, що аналізується за допомогою методу машинного навчання з подальшою метою розпізнавання окремих жестів руки людини. Представлено результати розпізнавання у вигляді матриці похибок для обох характеристик, порівняно ефективність їх застосування у класифікації окремих жестів.

Ключові слова: електроміографія, біонічне протезування, спектральний аналіз, машинне навчання, штучні нейронні мережі.

ВСТУП

Як відомо, галузь протезування вже багато років вирішує питання щодо часткового відтворення функціональних можливостей людського організму, шляхом заміщення втрачених органів чи кінцівок їх технічними аналогами. Проте, навіть найбільш сучасні зразки протезів кінцівок людини не здатні повністю відтворити їх природні функції. Так звані біонічні протези кінцівок, на відміну від звичайних косметичних або механічних протезів, дозволяють відтворювати набір природних рухів за допомогою складного процесу реєстрації, подальшої обробки та аналізу біологічного сигналу із наступним його перетворенням у рух механічних частин пристрою. Кожен рух руки людини є унікальним і передбачає застосування багатьох систем організму одночасно. Саме тому повноцінне відтворення його за допомогою біонічної кінцівки є досить не тривіальним завданням. Так, наприклад, здійснення одного і того ж жесту може виконуватись із різною інтенсивністю, а для виконання різних рухів пальців можуть активуватись різні групи м'язів руки.

Загальні етапи процесу обробки біологічної інформації для подальшої її перетворення у рух механічної конструкції біонічного протезу показано на рис. 1.



Рисуюнок 1. Узагальнена схема процесу обробки біологічної інформації у біонічному протезі кінцівки людини

Найчастіше у сфері протезування для вимірювання біологічного сигналу з кукси пацієнта застосовується метод поверхневої електроміографії. А для розрахунку значущих параметрів електроміографічного сигналу застосовуються кілька основних математичних методів та підходів. Так, найпоширенішими є підходи що передбачають розрахунок часових, спектральних, частотно-часових

або вейвлет характеристик [1]. При аналізі міографічного сигналу, всі перераховані характеристики розглядають у певних часових вікнах, межі яких можуть коливатись у діапазоні від десятків до сотень мілісекунд. Такі групи характеристик, що розраховуються для міосигналу, відрізняються між собою складністю їх обчислення та подальшою можливою точністю класифікації виду руху, якому відповідає вхідний сигнал. У цій роботі, авторами запропоновано і проаналізовано можливість використання двох спектральних характеристик електроміографічного сигналу, для їх подальшого застосування у класифікації обмеженого набору жестів руки людини та їх відтворення системою біонічного протезу.

ПОСЛІДОВНІСТЬ РОЗРАХУНКУ ПАРАМЕТРІВ МІОГРАФІЧНОГО СИГНАЛУ

Перетворення вхідної біологічної інформації (електроміографічного сигналу) у проведених дослідженнях здійснювалось шляхом першочергової побудови залежності між виміряною амплітудою напруги та часом. На наступному етапі проводилось визначення спектру виміряних сигналів, шляхом застосування швидких перетворень Фур'є та додаткових математичних перетворень. Як основні спектральні характеристики міографічного сигналу, що використовуватимуться для подальшої класифікації, авторами було запропоновано параметри “Power” та “Power Spectral Density” (PSD).

Параметр “Power”, або “Power spectrum” це характеристика, що визначає односторонній спектр потужності сигналу [2] та визначається за формулою (1):

$$\text{Power spectrum } S_{AA}(f) = \frac{\text{FFT}(A) \cdot \text{FFT}^*(A)}{N} \quad (1)$$

Де $\text{FFT}(A)$ – швидке перетворення Фур'є, $\text{FFT}^*(A)$ його комплексне спряження, а N – довжина двостороннього спектру потужності.

Водночас, параметр “Power Spectral Density”, є розподіленням потужності по частоті [3], та обчислюється за формулою (2):

$$\text{Power spectral density} = \frac{\text{Power Spectrum in } V_{\text{rms}}^2}{\Delta f \cdot \text{Noise Power Bandwidth of Window}} \quad (2)$$

Де Power Spectrum – спектр потужності сигналу в середньоквадратичних одиницях амплітуди, Noise Power Bandwidth of Window – пропускна здатність часового вікна складової шуму, а Δf – відношення виміряної частоти сигналу до довжини двостороннього спектру потужності.

Як відомо, лише розрахунок параметрів електроміографічного сигналу не дозволяє однозначно класифікувати ту чи іншу категорію руху кінцівки. Тому для автоматизації подальшого аналізу сигналів за допомогою вказаних характеристик необхідним є застосування машинного навчання. До найбільш розповсюджених методів машинного навчання, що застосовуються у галузі протезування можна віднести: метод лінійного дискримінантного аналізу, метод опорних векторів, розмиту логіку, метод дерев рішень, а також метод штучних нейронних мереж [4]. Штучні нейронні мережі (ШНМ) є адаптивними математичними алгоритмами, що імітують процеси, які забезпечують

функціонування нейронних зв'язків у мозку людини [5] та добре підходять для виконання завдань класифікації сигналів і подальшого перетворення визначених категорій рухів кінцівки у стимули для механізму реакції системи біонічного протезу на вхідний біологічний сигнал.

АНАЛІЗ СПЕКТРАЛЬНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗА ДОПОМОГОЮ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ

У цій роботі функціонал нейронних мереж було реалізовано на базі пакету машинного навчання системи MATLAB компанії MathWorks, а для тренування структури ШНМ використано запропоновані спектральні характеристики (Power та PSD) розраховані для сигналів, що відповідають чотирьом окремим рухам руки: мізинцем, вказівним, середнім і безіменним пальцями. Тренування мережі проводилось із різними гіперпараметрами, найкращий результат серед яких показали наступні: двошарова feed forward ШНМ, що містить сорок п'ять нейронів у прихованому шарі та чотири нейрони у вихідному. Як перехідні функції застосовувались: функція тангенційного сигмоїда, та лінійна передатна функція. Для тренувального набору даних у ШНМ використовувалось 80% від загальної кількості вхідних значень розрахованих спектральних параметрів (3240 значень для параметру Power, та 4320 для PSD), а 20% від загальної кількості числових значень, було використано на проміжне тестування мережі. Варто зазначити, що використання сигмоїдної передатної функції для тренування мережі також було ефективним і дозволяло отримати майже ідентичні результати. Оцінювання результатів тренування і тестування системи проводилось за допомогою розрахунку матриці похибок.

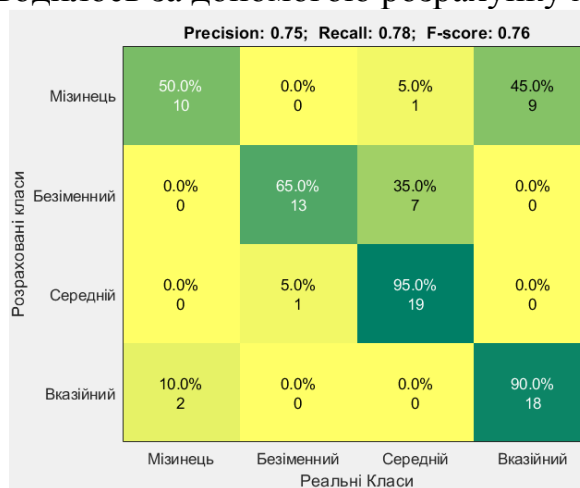


Рисунок 2. Матриця похибок для параметру Power

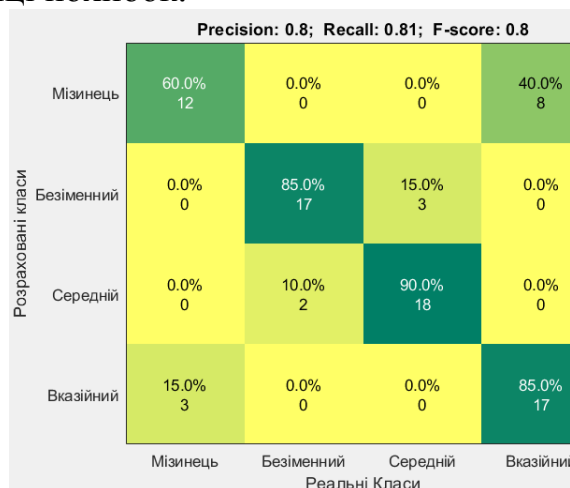


Рисунок 3. Матриця похибок для параметру PSD

На рис. 2 і рис. 3 показано матриці розраховані для запропонованих спектральних характеристик. Як видно з рисунків, на головній діагоналі матриці зображено точність розпізнавання та кількість ітерацій для різних видів рухів, що були вірно визначені ШНМ. Хоча нейронні мережі для обидвох спектральних характеристик було натреновано на однакових гіперпараметрах, результати розпізнавання рухів при цьому є різними. Параметр PSD виявився ефективнішим як у розпізнаванні класів, так і класифікації кількості ітерацій у кожному з класів.

Тестова вибірка складала двадцять повторень на кожен вид руху пальців, із вхідними даними які не використовувались при тренуванні мережі. Водночас, для кожного із видів рухів, ШНМ із вхідними PSD-параметрами вірно класифікувала не менше ніж дванадцять ітерацій, а загальна точність класифікації згідно F-міри склала 80%. Ефективність розпізнавання рухів ШНМ із вхідними power-параметрами, в свою чергу, склала 76%. Варто зазначити, що отримані результати повинні бути апробовані на значно більшій кількості категорій рухів, а спільне використання запропонованих спектральних параметрів із окремими часовими характеристиками електроміографічного сигналу може призвести до підвищення ефективності застосування штучної мережі та точності класифікації вхідних біологічних сигналів.

ВИСНОВОК

У роботі було запропоновано методику використання двох спектральних характеристик для аналізу і подальшої класифікації електроміографічних сигналів окремих рухів верхньої кінцівки людини. Описано загальний принцип аналізу біологічного сигналу у системі біонічного протезу, послідовність розрахунку спектральних параметрів та особливості їх застосування, як вхідної інформації у структурі штучної нейронної мережі. На основі розрахунків спектральних характеристик натреновано структуру штучної нейронної мережі для розпізнавання чотирьох видів рухів: мізинцем, безіменним, середнім та вказівним пальцем. Представлено графічні результати порівняння ефективності застосування для обох спектральних параметрів у вигляді матриці похибок та визначено подальший напрямок досліджень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Вонсевич К.П. Оцінювання часових характеристик електроміограми функціональних рухів кисті руки для інтуїтивного керування біонічним протезом / К.П. Вонсевич, М.О. Безуглий, А.О. Гапонюк // Наукові Вісті НТУУ КПІ. — 2018. — №. 1. — С. 45–53.
- [2] Cerna M. The Fundamentals of FFT-Based Signal Analysis and Measurement / M. Cerna, A. F. Harvey. // National Instruments Corporation. – 2000. – С. 19.
- [3] Miller S. L. Probability and Random Processes / S. L. Miller, D. Childers. – Amsterdam, The Netherlands: Elsevier Inc., 2012. – 611 с.
- [4] Vonsevych, K., Goethel, M. F., Mrozowski, J., Awrejcewicz, J., & Bezuglyi, M. (2019). Fingers movements control system based on artificial neural network model. *Radioelectronics and Communications Systems*, 62(1), 23-33.
- [5] McCulloch WS, Pitts WH. A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. *Bull Math Biophys* 1943; 5:115–133

Наук. керівник – к.т.н, ст. викладач Вонсевич К.П.

Секція 7.

Неруйнівний контроль, технічна та медична діагностика

УДК 004.932

D. Storozhyk, student of PhD ПК-11φ
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute

AN OVERVIEW OF SOLUTIONS FOR THE USE OF IMAGE FUSION IN NON-DESTRUCTIVE TESTING

Abstract. This paper considers the perspective and state of use of such a method of image processing as image fusion in non-destructive testing.

Keywords: image fusion, image processing, non-destructive testing.

INTRODUCTION

Humanity is confronted with image fusion every day, but the majority are not even aware of it. Each eye works alone collecting data about the environment, but a person sees a single picture. This is possible because of the image fusion performed by the brain.

Image fusion is basically used for increasing the information capacity, if it is not possible to improve this capacity by using classical methods. Additionally, it is used for combining several images of different modalities into one information object [1]. A field that uses several methods of different modalities is the non-destructive testing. For the inspection of composite materials there is no single method that works effectively, therefore for such materials a comprehensive evaluation by different NDT methods is used, in this case it is the image compilation that can be helpful.

BODY

The purpose of nondestructive testing is to check the reliability of the basic operating properties and parameters of an object or its elements. The main advantage of this approach is the possibility of control without dismantling, stopping the work process.

The selection of NDT methods depends on the application and the material to be inspected. The following inspection methods are classified: magnetic, electrical, eddy current, radio wave, optical, radiation, acoustic, permeation, vibroacoustic and visual inspection. For instance, the eddy current method is preferable for detecting defects in aircraft coatings and the ultrasonic method for inspecting pipe thickness [2].

Despite all the advantages of non-destructive testing, it also has disadvantages. The majority of instruments present results visually, which makes such data difficult to automate, especially if several inspection methods are used at the same time. There is also a high risk of false results due to external interference.

Various of these disadvantages can be resolved by the use of image fusion techniques. In most cases, image fusion involves combining information from multiple images to produce a single, more informative image. This improves entropy and signal-to-noise ratios. In order to understand the relevance and value of research into the application of image integration in NDT data processing, it is necessary to analyse existing research.

To begin with, examine the optical method and for this purpose investigate the results of an article authored by Shiwei (2020) [3]. The purpose of this study is to increase the informative value and reduce the influence of stray light in optical

nondestructive testing for detecting defects in parts printed on a 3D printer. Defectoscopy of this inspection object is a relevant area of research indeed. Due to the complex shape of the objects, a deflectometry based method was chosen for imaging. The literature on Moire deflectometry shows that this method produces results similar to interferometry, in which the object under inspection (phase object or mirror surface) is mounted in a collimated beam followed by a pair of transmitting gratings. The author has extracted 3 simple methods of combining: maximal difference detection, maximal brightness detection and morphological combining. A new defect detection algorithm has been proposed in this paper, the algorithm is divided into a preliminary and a subsequent process. In this publication, the author decided to focus on the pre-processing which contained image complexing and thresholding for binary mapping. During the experiments, the accuracy of the proposed algorithm was calculated amounted for 86 per cent. Despite the accuracy of the proposed algorithm, this study does not provide comparisons with algorithms used in practice. For this reason, there is no direct advantage offered by this method.

Thirunavukkarasu (2012) examines methods of increasing the information value of images by eddy current testing [4]. Eddy current testing is an important issue for detection of subsurface defects. This study highlights that non-destructive testing method has disadvantages such as low pixel resolution and poor signal-to-noise ratio. The authors demonstrate an increase in these indicators when using image fusion. Author used 4 methods for image fusion: Laplacian pyramid decomposition, wavelet transform, Bayesian, principal components analysis based fusion. As metrics for this research were chosen Signal-to-Noise (SNR) and entropy. Images for the experiment were generated programmatically. Together, these experiments indicate that image fusion increases informativity of the resulting image. The best result was shown by Bayesian based fusion, because this method has the highest SNR and entropy. Despite the positive results that were shown in this article, it has some disadvantages. A weakness with the author's results, however, is that obsolete metrics were used. The findings may have been more applicable if authors used methods such as mutual information or conditional entropy, which are correlates of informativity [5]. Moreover, the images were taken by program, but not from a real environment.

Examine the example of multimodal complexity provided in Gros's (2000) article. The difficulty with composite material is that there is no single inspection method with which it is possible to recognise defects. To solve the problem of multimodal image processing of the inspection object the author proposes methods of image complexing. In this study, image fusion techniques such as Bayesian analysis, Daubechie wavelet, controlled pyramidal transform wavelet and multi-resolution mosaic technique were used. The fusion of two images from two different non-destructive testing systems was carried out in order to obtain additional information through data transfer from the input images and as to improve the reliability of the non-destructive testing [6]. The authors concluded in the study that the image fusion methods for use in non-destructive testing require further development. This is due to different modality of images, that is, with significant differences in the nature of the images. The authors suggest that it is possible to develop pre-processing algorithms different for each non-destructive testing method, which will solve the identified problems. The authors did not propose

a solution to this problem.

Among the widely used non-destructive testing methods, ultrasonic testing occupies a special place because of its broad range of application possibilities. Current research (Pilikos, 2021) is focused on analysing the possibility of using image complexing for ultrasonic nondestructive testing tasks. Ultrasonic nondestructive testing visualises information about the acoustic properties of an object under test by emitting waves into it and recording their effects using arrays of ultrasonic transducers. The author suggests imaging using different insonation paths, for instance by placing transducers in different locations or if strong reflectors are known a priori within the medium. In this way, images will be obtained reflecting different geometric information about the scatterers. The author proposes a new deep convolutional neural network (DCNN) architecture to combine raw data from multiple insonation pathways into a segmentation map. The results show that the mean cross entropy values of the image obtained from the proposed architecture are 0.003 as compared to 0.398 for the traditional image fusion method. Therefore, there is a significant drop in entropy, which is a correlate of the increase in image informativeness [7]. However, there is reason to doubt the results obtained, as it is an open question why the author chose this particular metric and no others were used for comparison. Also, it is not known with which classical methods of fusion the researcher compared the proposed neural network architecture. Without this information, there is no possibility to verify these results.

CONCLUSION

After reviewing the literature, it can be concluded that no solution has yet been proposed that is ready for practical use. This is due to a number of problems associated with the multimodality of different NDT methods. The authors have demonstrated current techniques for obtaining images that can be used in fusion. In connection with the development of new machine learning technologies, the informativity metrics used are obsolete. However, the use of classical methods of non-destructive testing quality assessment is a relevant idea, as this type of metrics is the most objective.

REFERENCES

- [1] Сторожик, Д., Муравйов, О. В., Протасов, А. Г., Баженов, В. Г., & Богдан, Г. А. (2020). Комплексування мультиспектральних зображень, як метод підвищення їх інформативності при бінарній сегментації. Наукові вісті КПП, (2), 82–87.
- [2] Hull, J. B., & Vernon, J. (2015). Non-destructive testing. Macmillan International Higher Education.
- [3] Shiwei, C., Pengfei, Z., Pan, G., & Yongying, Y. (2020). Defect detection algorithm of plastic 3D paint surface based on image fusion. Journal of Physics: Conference Series, 1676, 012225. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1676/1/012225>
- [4] Thirunavukkarasu, S., Rao, B. P., Soni, A. K., Ahmed, S. S., & Jayakumar, T. (2012). Comparative Performance of Image Fusion Methodologies in Eddy Current Testing. Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology, 4(24).
- [5] Sabuncu & Rory, M. (2006). Entropy-Based Image Registration. ProQuest

Dissertations Publishing, (24).

- [6] Gros, X. E., Zheng Liu, Tsukada, K., & Hanasaki, K. (2000). Experimenting with pixel-level NDT data fusion techniques. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 49(5), 1083–1090. <https://doi.org/10.1109/19.872934>
- [7] Pilikos, G., Horchens, L., Van Leeuwen, T., & Lucka, F. (2021). Deep Learning for Multi-View Ultrasonic Image Fusion. 2021 IEEE International Ultrasonics Symposium (IUS). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ius52206.2021.9593507>

УДК 62.529.4

В.П. Малько, студент гр. ПК-11мн
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ВИМІРЮВАННЯ КУМУЛЯТИВНИХ ФАЗОВИХ ЗСУВІВ В ЗАДАЧАХ ВИЗНАЧЕННЯ ВІДСТАНЕЙ

Анотація. Розглянуто існуючі методи та засоби вимірювання кумулятивних зсувів та вирішення проблем неоднозначності фаз. Визначенні переваги на недоліки використання числової системи залишкових класів (СЗК) в задачах визначення відстаней. Запропоновано використання системи залишкових класів для вирішення проблем неоднозначності фазових методів в далекометрії.

Ключові слова: система залишкових класів, неоднозначність фазових методів, далекометрія.

ВСТУП

На сьогоднішній день широко використовуються різні методи та пристрої для визначення фазових характеристик сигналів. Область застосування дуже широка: їх використовують в енергетичній, електротехнічній, радіотехнічній, оптичних та інших галузях. За допомогою вимірювання кумулятивних фазових зсувів сигналів можна визначити значення фазового зсуву, що значно перевищують величину 2π , на основі чого можна визначити часову затримку, відстань або переміщення об'єкта у просторі з високою точністю.

Для використання фазового методу необхідно виключити вплив на результат виміру основного обмеження – неоднозначності фази. Неоднозначність результату з'являється при вимірюванні фазового зсуву за межею однозначності ($0 \leq \varphi^0 \leq 2\pi$).

Кумулятивний фазовий зсув сигналів визначається за формулою:

$$O_{\text{рад.}} = 2\pi n + \varphi_{\text{рад.}} \quad (1)$$

де n – ціле число фазових циклів.

При визначенні відстані в задачах далекометрії приймають, що випромінений акустичний (чи іншої фізичної природи) сигнал розповсюджується вздовж відстані D в обох напрямках, тому значення кумулятивного зсуву можна визначити як відношення пройденної сигналом відстані до швидкості помноженого на частоту сигналу (2):

$$O(D) = \frac{2D}{v} \cdot \omega \quad (2)$$

де v – швидкість акустичного сигналу, ω – кругова частота сигналу.

Виразивши значення відстані з формули (2) отримаємо рівняння для вимірювання відстані між двома об'єктами:

$$D = \frac{(2\pi n + \varphi_{\text{рад.}}) \cdot v}{2 \cdot \omega} \quad (3)$$

Щоб обчислити відстань необхідно визначити ціле число напівхвиль укладених на відстані і тим самим усунути невизначеність результатів виміру фазового зсуву [1]. Для визначення числа n використовують спеціальні методи розв'язання проблеми неоднозначності фазових вимірювань. Вибір методу розв'язання цієї проблеми є актуальним завданням фазометрії.

ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ РОБІТ

На сьогоднішній день розроблено багато способів вирішення проблеми багатозначності результатів фазових вимірювань. Кожен з них має свій принцип дії, свої переваги та недоліки.

Один з таких методів описаний в роботі [2], авторами був використаний метод кратних масштабних частот для вирішення неоднозначності фази в задачах вимірювання відстані до об'єктів. В цьому випадку використовують кратні значення частот. Кількість таких частот залежить від діапазону вимірювання далекоміра та від значення найвищої масштабної частоти.

Для вирішення проблеми багатозначності використовують декілька фіксованих масштабних частот. Багатозначність усувають поетапно, "крок за кроком". Спочатку починають з найнижчої частоти та закінчують найвищою. На кожному наступному етапі вирішення проблеми багатозначності як наближене значення відстані використовують значення відстані, отримане на попередньому етапі. Кожна наступна частота вибирається в k разів меншою за попередню, де k – коефіцієнт багатозначності. Зазвичай використовують значення $k = 10$. Коли проблема неоднозначності вирішена для кожної частоти, тоді робиться висновок про вирішення проблеми багатозначності загалом.

Перевагою такої системи є простота алгоритму та формул, висока точність вимірювання відстані та часової затримки, але головним недоліком є складна реалізація на практиці, через необхідність використовувати масштабні частоти, що належать до різних частотних діапазонів, отже веде до розширення використовуваного частотного діапазону. Тому популярність методу невисока.

Інший приклад вирішення проблем неоднозначності наведений в роботі [3], авторами розглянуто метод плавної зміни частоти коливань для визначення дальності до об'єкта на основі фазового методу. Цей метод оснований на плавній зміні частоти масштабних коливань, яка дає змогу визначити частоту, за якої $\Delta N = 0$

$$D = \frac{v}{2f} \cdot \left(N + \frac{\varphi}{2\pi} \right) = \frac{\lambda}{2} \cdot (N + \Delta N) \quad (4)$$

Це означає, що у вимірюваній відстані вкладається ціла кількість напівхвиль масштабних коливань. У межах частотного діапазону можлива наявність декількох частот, за яких $\Delta N = 0$. Чим більша відстань, тим більше таких частот укладається у частотному діапазоні.

Для вирішення проблеми неоднозначності вибирають дві частоти f_1 та f_{n+1} та відповідну кількість напівхвиль N_1 та N_{n+1} . При плавній зміні частоти від f_1 до f_{n+1} рахують кількість частот n за яких $\Delta N = 0$. Потім комбінуючи результати отриманих з частоти f_1 та f_2 з результатами f_n та f_{n+1} . Розраховують 4 значення N' та округляють до цілого числа; якщо отримані значення N' однакові тоді роблять висновок про вирішення проблеми неоднозначності фазових вимірювань.

Перевагою метода є висока точність вимірювань як відстані так і часової затримки за більш простого розрахунку в порівнянні з попередньою роботою.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Проаналізувавши попередні роботи, враховуючи переваги та недоліки, можна визначити більш перспективний метод вирішення неоднозначності в задачах визначення відстаней до об'єктів.

Для цього в якості метода можна обрати систему залишкових класів (СЗК) [4]. Сутність СЗК полягає в тому, що всі цілі числа в цій системі представляються множиною невід'ємних залишків від ділення чисел на заздалегідь визначені модулі системи. Значення модулів вибирають згідно максимального значення вимірювальної відстані та необхідної точності виміру, які представляють собою групу взаємнопростих чисел. При цьому вимірювання здійснюється фазовим багаточастотним методом на n частотах.

Розв'язком проблеми неоднозначності є завдання відновлення в позиційній системі числення цілого числа представленого у СЗК. Для отримання цього числа необхідно, щоб вибрані модулі були взаємно простими числами та максимальна вимірювальна відстань не перевищувала добуток модулів.

Проведемо розрахунок системи залишкових класів в задачі визначення відстаней на прикладі:

Постановка задачі. Необхідно визначити відстань D з максимальним значенням D_{\max} необхідно виміряти з дискретним кроком вимірювання d_0 . Вимірювання здійснюється фазовим багаточастотним методом на n частотах. Необхідно знайти: частоту, ступінь квантування фазових зсувів, величину очікуваних фазових зсувів та розрахувати шукану відстань.

Необхідно провести обчислювальний експеримент з визначення відстані 1050 м з дискретністю 1 мм. Тобто $D = 1050$ м, $d_0 = 1$ м, на якому перевірити алгоритм розрахунків.

Розрахунок:

Спочатку необхідно визначитись з модулями: прийmemo $m_1, m_2, m_3 = 11, 13, 15$. Вибрані числа є взаємно простими.

Визначимо максимально відновлювальне число A_{\max} :

$$A_{\max} = m_1 \cdot m_2 \cdot m_3 - 1 \quad (5)$$

$$A_{\max} = 2144.$$

Тепер треба перевірити умову однозначного вимірювання відстані, тобто $D < D_{\max}$:

$$D_{\max} = \frac{d_0}{2} \cdot A_{\max} \quad (6)$$

$$D_{\max} = 1072 \text{ м, } D (1050) < D_{\max} (1072)$$

Розрахуємо частоти ω :

$$\omega_i = 2\pi \cdot \frac{v}{m_i \cdot d_0} \quad (7)$$

де $v = 313$ м/с - швидкість сигналу.

$$\omega_1 = 2\pi \cdot 30.091 \text{ рад.}, \omega_2 = 2\pi \cdot 25.462 \text{ рад.}, \omega_3 = 2\pi \cdot \text{рад.}$$

Розрахуємо ортонормовані базиси для заданих модулів СЗК згідно рекомендацій [5]: $B_1 = 1365, B_2 = 495, B_3 = 286$

Розрахуємо ступінь квантування фазових зсувів $\Delta\phi$, значення очікуваних ϕ_i

фазових зсувів φ та значення лишків a_i . Отримані значення зведені в табл. 1.

Таблиця 1. Отримані значення основних величин

Параметр	ω_1	ω_2	ω_3
$\Delta\varphi_i, \Delta\varphi_i = 2\pi / m_i$, рад.	0.5712	0.4833	0.4189
$\psi_i, \psi_i = \omega_i * (2D / v)$, рад.	$2\pi * 190.897$	$2\pi * 161.531$	$2\pi * 140$
$\varphi_i, \varphi_i = \psi_i \bmod(2\pi)$, рад.	5.7112	3.3833	0
$a_i, a_i = [\varphi_i / \psi_i]^+$	10	7	0

Розрахуємо відстань D:

$$D = 0.5 \cdot \sum a_i \cdot B_i \quad (8)$$

$$D = 0.5 * (10 * 1365 + 7 * 495 + 0 * 286) = 0.5 * 2100 = 1050 \text{ м}$$

Отже, шукана відстань знайдена з високою точністю. Проведений обчислювальний експеримент підтверджує коректність алгоритму усунення багатозначності фазових вимірювань на основі системи залишкових класів.

ВИСНОВКИ

На сьогоднішній день існує багато засобів вирішення проблеми багатозначності фазових вимірювань в задачах визначення відстані. Використання системи залишкових класів є перспективним завдяки його простоті, можливості практичного застосування та швидкодії. Використання СЗК в далекометрії є перспективним напрямом розвитку засобів визначення відстаней як від одного, так і від декількох об'єктів. Використання цієї технології дозволить збільшити швидкість та точність визначення відстаней при використанні фазового методу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Ниженский А.Д. Реализация та оцінка похибок двоканальних частотно-фазових далекомірів. *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*, 2017, С. 145-150.
- [2] Шануров Г.А. Спутниковая геодезия. Учебное пособие для студентов обучающихся по направлениям: «геодезия и дистанционное зондирование», «прикладная геодезия», «землеустройство и кадастр», «картография и геоинформатика» / Г. А. Шануров. М.: МИИГАиК, 2015, 80 с.
- [3] Кострова Т. Г. Методы и устройства устранения неоднозначных измерений дальности в импульсных радиотехнических системах : дис. – Владимирский государственный университет, 2007.
- [4] Куц Ю.В. Вимірювання кумулятивних фазових зсувів // Ю. Куц. – *Технічна електродинаміка* (Kuts Yu. V. Vymiryuvannya kumukyatyvnych phazovych zsuviv. – *Technichna elektrodynamika*). – 2001. – №5. – С/С. С. 67–72.
- [5] Эффективное сравнение чисел в системе остаточных классов на основе позиционной характеристики / М. Бабенко та ін. *Труды Института системного программирования РАН*. 2019, т. 31, № 2. С. 187–201.

Наук. керівник – д.т.н., проф. Куц Ю.В.

УДК 004.89

А.В. Приходько, студентка гр. ПК-81, доктор філософії, Момот А.С.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ КЛАСИФІКАЦІЇ ПОВЕРХНЕВИХ ДЕФЕКТІВ ЛИСТОВОГО ПРОКАТУ

Анотація: В даній роботі розглянуто існуючі методи для автоматизації процесу класифікації поверхневих дефектів листового прокату. Запропоновано метод базований на використанні нейронних мереж. Представлено результат розробки прототипу мережі VGG-16 для автоматизованої класифікації поверхневих дефектів листового прокату.

Ключові слова: глибинне навчання, листовий прокат, візуальний контроль, нейронні мережі.

ВСТУП

Візуальний контроль є, зазвичай, першим кроком контролю будь-якого продукту. В більшості випадків візуальний контроль має здійснювати особисто інспектор через складну форму продукту, складність автоматизації, тощо, але у випадку листового прокату поверхневі дефекти можна виявляти автоматично. Перевагами автоматичних систем є їх надійність та незалежність від людського фактору.

Такі системи використовують зображення з камер, встановлених на виході прокатного стану, яке надходить то системи та обробляється нею з високою швидкістю за допомогою методів аналізу зображень, дозволяючи проводити візуальний контроль невідривно від виробництва. Існує багато різних алгоритмів, які можна використовувати для цієї цілі: методи опорних векторів та головних компонентів, каскади Хаара. Проте, за останні роки сильно розвинулися методи глибинного навчання.

Одним з недоліків візуального контролю є те, що за допомогою нього можна знайти лише поверхневі дефекти, але під час листового прокату товщина листа є досить малою щоб візуальний контроль був актуальним. Отже, ефективність автоматизованого візуального контролю залежить переважно від алгоритму, що використовується. Наша задача – вирішити що за алгоритм є найбільш актуальним для цієї проблеми.

ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ РОБІТ

Візуальний контроль металу є дуже важливою частиною будь-якого сучасного виробництва. К. Кноп вважає [1], що автоматизація візуального контролю є одним з найбільших кроків будь-якого виробництва до покращення якості продукції та отримання конкурентоспроможності на ринку. Він наполягає на тому, що правильним чином запроваджена система автоматичного контролю знижує вартість деталей та підвищує їх якість.

Ківу Луо та команда з Шанхша, Китаю провели дослідження [2] щодо використовуваних в сучасності методів детектування дефектів для листового прокату сталі. Вони виділяють чотири групи методів: статистичні, спектральні, модельні, та машинне навчання. Статистичні оцінюють розподіл інтенсивності пікселів зображення. Спектральні перетворюють зображення з візуального в деякий інший домен та аналізують його, що дозволяє зменшити вплив шуму та стрибків інтенсивності на кінцевий результат. Модельні методи зменшують

розмірність зображення за унікальними для метода алгоритмами, та значно більш надійні для детектування великої кількості груп дефектів одночасно. Методи машинного навчання є більш складними та потужними модельними методами, які виділяють в окрему групу. Вони, зазвичай, побудовані як просунутий класифікатор.

Нейронні мережі – одні з методів машинного навчання. Вони є адаптивними та мають узагальнюючі властивості, що зменшує необхідну базу для їх навчання. На відміну від інших методів машинного навчання, вони можуть працювати з неструктурованими даними. Можливість роботи з неструктурованими даними – значна перевага в неруйнівному контролі [3], тому саме нейронні мережі є перспективним методом аналізу даних візуального контролю.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Одним із видів нейронних мереж для аналізу зображень є проста нейронна мережа прямого розповсюдження. Це найбільш проста архітектура мережі, яка не має будь-яких циклів та кожен нейрон підключений до нейронів в попередньому та наступному прошарках. Зазвичай, такі мережі навчаються за допомогою методу зворотного розповсюдження помилки. Проте, нейронні мережі з такою архітектурою не є оптимальними для аналізу зображень. Це пов'язано з тим, що для мережі прямого розповсюдження вхідний прошарок є одновимірним вектором, що призводить до втрати просторового відношення частин зображення між собою.

На заміну мережам прямого розповсюдження прийшла згорткова нейронна мережа. Ця архітектура була запропонована Тошitera Хоммою, Лес Атласом та Марксом Робертсом [4]. Згорткові мережі більш складні та імітують біологічну структуру зорової кори мозку. Замість прямого підключення нейронів, такі мережі використовують згорткові прошарки, які використовують фільтри для зменшення розмірності зображення та виділення важливих рис. Довільна кількість згорткових прошарків призводить до зменшення розмірності мережі, що призводить до зниження об'єму необхідних розрахунків, використання фільтрів дозволяє зберегти відносну просторову інформацію в зображенні, а навчання фільтрів за допомогою бази зображень є автоматичним та простим. Зменшення розмірності та збереження просторової інформації є великими перевагами згорткових мереж над мережами прямого розповсюдження в задачах обробки зображень.

В якості архітектури згорткової мережі будемо використовувати VGG16. Вона була запропонована Кареном Сімоньяном та Андрієм Зісерманом в 2014 році та використана в змаганнях машинних алгоритмів ILSVR (Imagenet) [5]. Ця архітектура досягла точності 92.7% на наборі даних, що використовувався в змаганнях. Модель складається лише з елементарних прошарків – 13 згорткових (convolution + ReLU), 5 прошарків підвибірки (max pooling), та 3 повнозв'язних прошарки (fully connected + ReLU), що робить її потужною та простою (рис.1). Прошарки підвибірки також зменшують розмірність, але методом вибору максимуму з деякої зони. Повнозв'язний прошарок є аналогом мережі прямого розповсюдження, де кожен нейрон з'єднаний з усіма нейронами попереднього та

усіма нейронами наступного прошарків.

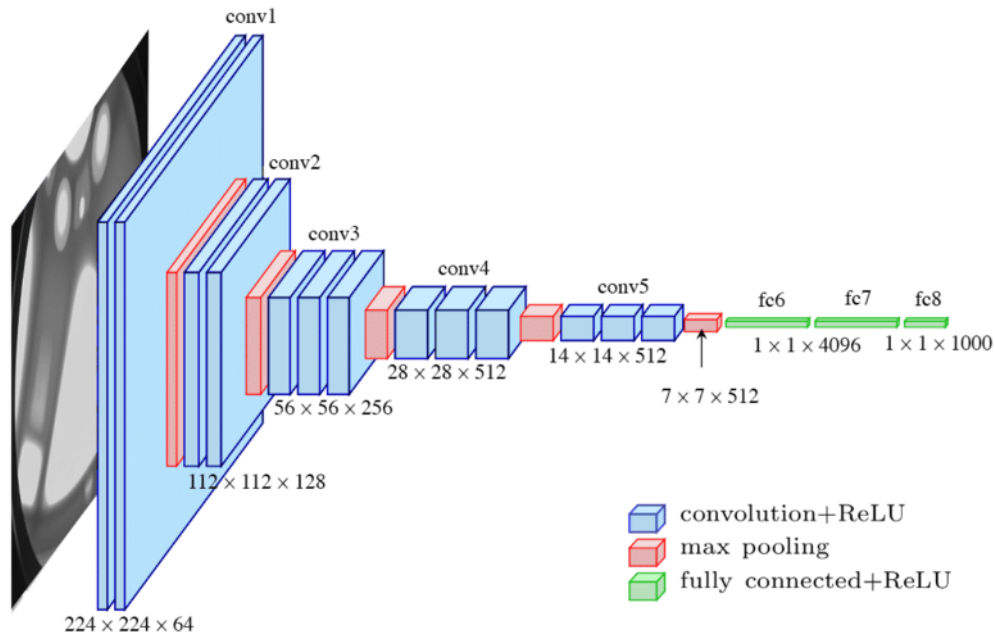


Рис.1. Архітектура VGG16

Для навчання мережі пропонується використовувати відкритий набір даних дефектів поверхні металу [6]. Набір містить 2306 зображень поверхні металу з дефектами, що відносяться до 10 різних класів. Усі зображення стандартизовані за розміром та переведені у кольорову шкалу відтінків сірого.

Використовуючи цей набір даних було обрано п'ять найбільш поширених класів дефектів (розшарування, поверхневі тріщини, сторонні вклучення, хвилястість та масляні плями), та відібрані зображення, які було визначено без дефектів. Отримана база з 6 класів була використана для подальшої роботи. В якості навчальної підмножини використовувались 70% зображень, ще 30% складала валідаційна та тестова підмножини. Приклад навчальних зображень із використаного набору даних показано на рис. 2.

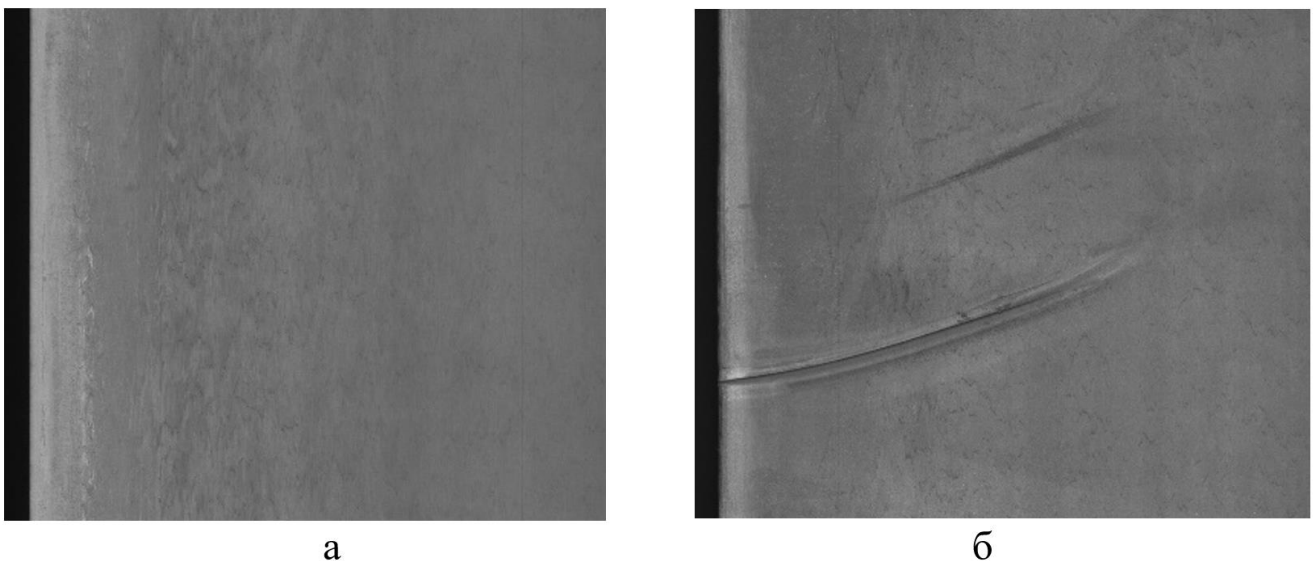


Рис.2. Приклади зображень поверхонь листового прокату, використані для навчання нейронної мережі: а – бездефектний лист, б – хвилястість

Для проведення експерименту було навчено нейронну мережу VGG16 з початковими вагами, отриманими на наборі даних ImageNet. Під час тонких налаштувань мережі навчання був активований не лише власний класифікатор з 512 нейронами, а і останній згортковий прошарок початкової мережі. В якості оптимізатора використовувався алгоритм adam, метрикою обрано accuracy, функція втрат – categorical crossentropy. В результаті навчання мережа показала долю правильних відповідей на рівні 78% на тестовій множині.

Результат для класифікатора, що працює за 6 класами, одним бездефектним та п'яти видами дефектів, є задовільним, проте цей результат можна покращити. Наступними кроками для цього є використання більш сучасної архітектури нейронної мережі та розширення бази навчальних зображень.

ВИСНОВКИ

В роботі було розглянуто існуючі методи автоматизації візуального контролю стану поверхні прокатного листа. Автоматизована система контролю значно підвищуватиме продуктивність діагностики та зменшуватиме вплив суб'єктивного фактору на результати. В якості методу автоматизованого аналізу зображень поверхні прокатних листів було запропоновано використання згорткової нейронної мережі, обрано архітектуру VGG16, проведено навчання та тестування мережі з досягненням достовірності класифікації 78% для шести класів. Метод є перспективним та пропонується його подальший розвиток з запровадженням нових функцій, наприклад не лише класифікація, а й визначення та логування позиції дефекту.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Knop, K. (2020). Importance of visual management in metal and automotive branch and its influence in building a competitive advantage. *Polish Journal of Management Studies*, 22.
- [2] Luo, Q., Fang, X., Liu, L., Yang, C., & Sun, Y. (2020). Automated visual defect detection for flat steel surface: A survey. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 69(3), 626-644.
- [3] Momot, A. S., Galagan, R. M., & Gluhovskii, V. Y. (2021). Deep Learning Automated System for Thermal Defectometry of Multilayer Materials. *Приборы и методы измерений*, 12(2), 98-107.
- [4] Atlas, L., Honna, T., & Marks, R. (1987). An artificial neural network for spatio-temporal bipolar patterns: Application to phoneme classification. In *Neural Information Processing Systems*.
- [5] Simonyan, K., & Zisserman, A. (2014). Very deep convolutional networks for large-scale image recognition. *arXiv preprint arXiv:1409.1556*.
- [6] Kaggle (2020). Defects location for metal surface, the GC10-DET dataset – Retrieved from: <https://www.kaggle.com/datasets/zhangyunsheng/defects-class-and-location>

Наук. керівник – доктор філософії, ас. Момот А.С.

УДК 621.317

А.А. Сакута, студентка гр. ПК-01, доц. Баженов В. Г.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ДОСЛІДЖЕННЯ ПІДСИЛЮВАЧА НА МДН-ТРАНЗИСТОРІ З ІНДУКОВАНИМ "P" КАНАЛОМ BS170

Анотація. Описано результати дослідження МДН-транзистора BS170 в режимі підсилення, дослідження якого проведено у програмі Multisim, проведено знаходження оптимальної робочої точки. Експериментальні дані наведені у вигляді графіків, побудованих у програмі Excel та MATLAB, аналіз яких наведений нижче.

Ключові слова : МДН-транзистор BS170, вихідні та керуючі характеристики, коефіцієнт підсилення, робоча точка, залежність коефіцієнта підсилення від R_c та $U_{св}$.

ВСТУП

Без МДН-транзисторів, або як їх ще називають польові транзистори з ізольованим затвором, не обходиться ні одна сучасна мікросхема. Через малі розміри, на одиницю площі кристала їх розміщують на одному кристалі на порядок більше в порівнянні з біполярними та «р-п» польовими транзисторами.

Підсилювачі сигналів дуже розповсюджені, їх використовують майже в кожному електронному пристрої: від джерел живлення до сучасних пристроїв воєнної техніки.

Як відомо, дуже часто важливо мати великий вхідний опір підсилювача, особливо, якщо треба підсилювати сигнали з сенсорів з великим вихідним опором. Саме тому зазвичай на вході підсилювача використовують каскади підсилення на польових транзисторах, оскільки вони мають дуже великий вхідний опір порівняно з біполярними транзисторами.

Однак польові транзистори мають і вади. Одна з головних – малий коефіцієнт підсилення, в основному за рахунок того, що при малих струмах стоку значно меншою стає крутизна, саме тому проведено дослідження по вибору оптимальної робочої точки для отримання максимального коефіцієнта підсилення.

У даній роботі проводиться дослідження МДН-транзистора BS170 з індукованим каналом, який працює тільки при позитивному зміщенні, тобто працює в режимі збіднення. Всі дослідження проведені в пакеті програми «Multisim».

ДОСЛІДЖЕННЯ ПІДСИЛЮВАЧА НА МДН-ТРАНЗИСТОРІ BS170

Дослідження було проведено на основі двох схем, складених в програмі «Multisim». (рис.1 та рис.2).

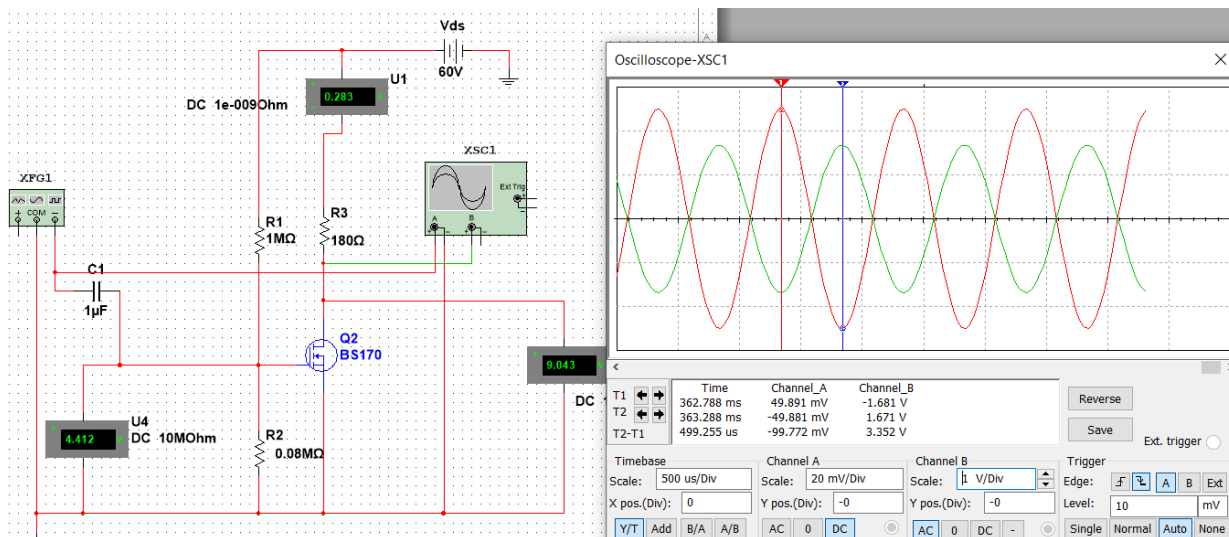


Рисунок 1. Приклад досліджуваної схеми №1 в Multisim

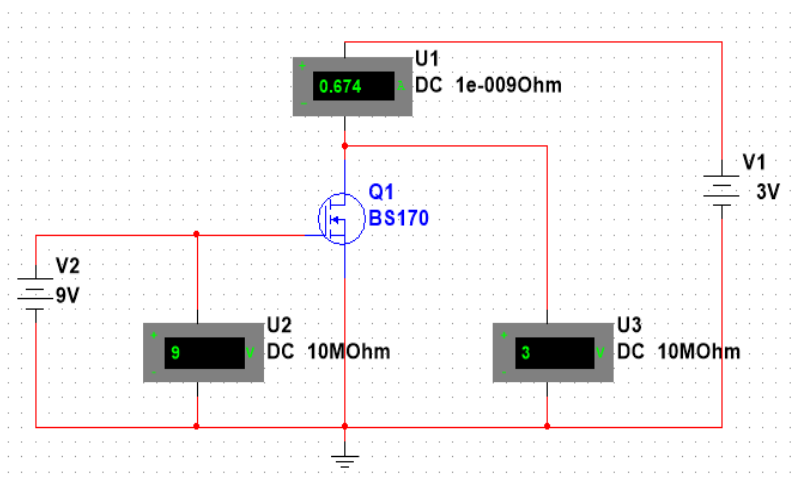


Рисунок 2. Приклад досліджуваної схеми № 2 в Multisim

В результаті використання схеми рис.2 було отримано статичне сімейство вихідних характеристики рис.3 та керуючі характеристики рис. 4.

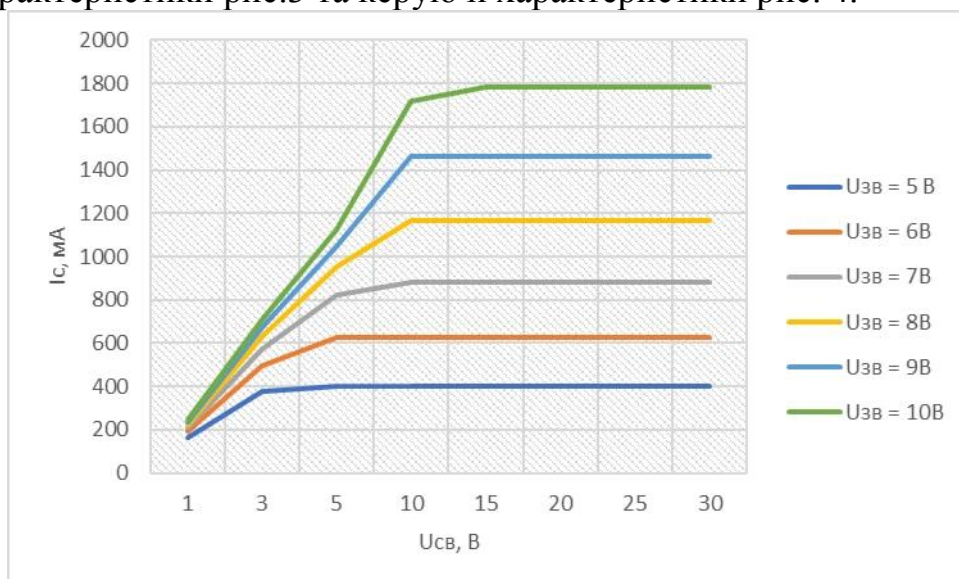


Рисунок 3. Вихідні характеристики МДН-транзистора з індукованим каналом n-типу BS170

По даним вихідним характеристикам було визначено робочу положову зону (де спостерігається відсічка струму). Ця ділянка використовується для підсилення сигналу. Як можна спостерігати на характеристиці при зменшенні сили струму на стоці, зменшується і крутизна. Аналогічне можна спостерігати і за даними амперметрів і вольтметрів (таблиця 1)

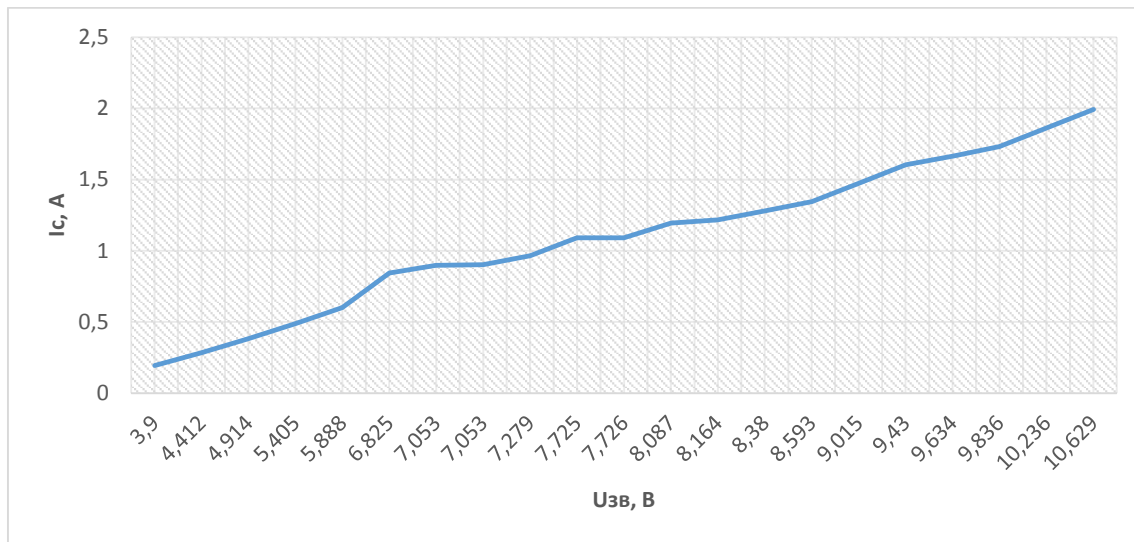


Рисунок. 4. Керуючі характеристики побудована в Excel

Таблиця 1. Результати деяких вимірювань

<i>Iс, А</i>	<i>Uсв, В</i>	<i>Uзв, В</i>	<i>S, А/В</i>
0,194	21,296	3,9	0,287
0,283	14,704	4,412	0,314
0,283	9,043	4,412	0,331
0,382	14,16	4,914	0,325
0,382	6,52	4,914	0,304

Для дослідження безпосередньо підсилювача була запропонована схема рис.1 Зміна положення робочої точки для визначення оптимального режиму (напруги зміщення) і отримання максимального коефіцієнт підсилення при заданому значенні Rс (R3), відбувалася за рахунок зміни значення резистора R2.

Відомо що коефіцієнт підсилення Ки визначається згідно виразу:

$$K_i = S R_c,$$

Але S як видно з наведених вище графіків залежить як від струму Iс так і від напруги Uсв. В результаті дослідження схеми рис. 1 при різних значеннях R3 (Rс) були отримані данні на основі яких було побудовано графіки залежності коефіцієнта підсилення (Ки) від опору Rс на стоці та від напруги затвор-виток (рис.5. та рис.6).

Як бачимо на рис. 5. (синя крива) якщо підібрати оптимальний режим, то отримаємо максимальний Ки. Але, як з'ясувалося, є максимальне значення Rс при перевищенні якого Ки починає зменшуватися. Причому для налаштування (вибору) оптимального (максимального не спотвореного) режиму підсилення при заданому значенні Rс витрачається значний час і при цьому не спостерігається лінійна залежність Ки від Rс як свідчить синій графік рис.5, що

також свідчить про те, що відома формула $K_u = S \cdot R_c$, не працює на цій ділянці. На графіці рис.6 видно, що для кожного оптимального значення K_u при заданому значенні R_c треба було змінювати напругу зміщення $U_{зв}$, на що відповідно втрачався час. Якщо оптимальну робочу точку встановити один раз - яка була отримана при максимально можливому K_u і R_c то зменшуючи R_c можна не змінювати положення робочої точки ($U_{зв} = \text{const}$), і отримаємо лінійну залежність від R_c (зелена крива) рис.5 вихідний сигнал буде не спотворений, але при малих значеннях R_c K_u зменшиться (до 30%) як показано на рис.5.

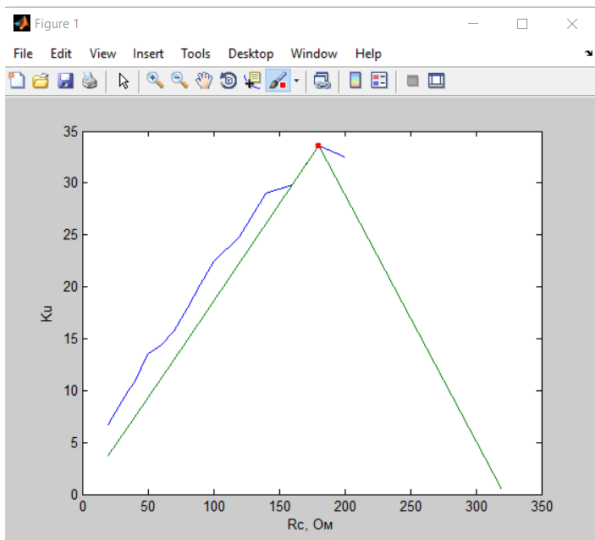


Рисунок. 5. Графік залежності K_u від R_c побудований в Multisim

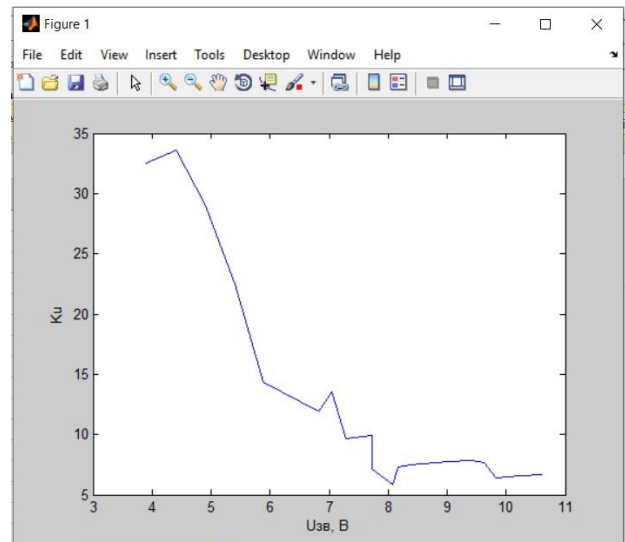


Рисунок. 6. Графік залежності K_u від $U_{зв}$ побудований в Multisim

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Шафер В.Д. Регулировка, испытания и проверочные расчеты транзисторных усилителей. Изд «связь». – 1970 г. – 312 ст.
- [2] Комп'ютерна електроніка 1 (основи електроніки) : Лабораторний практикум [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», освітньої програми «Комп'ютерно-інтегровані технології та системи неруйнівного контролю і діагностики» / В. Г. Баженов, Р.М.Галаган, А. С. Момот; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: X,XX Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 111 с.

УДК 004.89

Я.В. Стешенко, студент гр. ПК-11мн
КПІ ім. Ігоря Сікорського

АНАЛІЗ АРХІТЕКТУР НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ДЛЯ ДЕТЕКТУВАННЯ ДЕФЕКТІВ МЕТАЛЕВИХ ВИРОБІВ

Анотація. Розглянуто переваги автоматизації проведення неруйнівного контролю металевих поверхонь. Проаналізовано чотири різні нейронні мережі для класифікації та пошуку дефектів в металевих виробках. Запропоновано використання нейронної мережі EfficientDet, як найбільш оптимізовану та швидшу в роботі.

Ключові слова: листовий прокат, нейронні мережі, автоматизація, металеві вироби, неруйнівний контроль.

ВСТУП

Останнім роками методи машинного зору поступово стали трендом у виявленні дефектів поверхні, оскільки вони можуть подолати багато недоліків ручного виявлення, включаючи низьку точність, низьку продуктивність у реальному часі, суб'єктивність та високу трудомісткість [1]. Ці системи перевірки на основі машинного зору зустрічаються в багатьох промислових сферах, таких як перевірка сталевих смуг, інспекція рідкокристалічних дисплеїв (LCD), перевірка тканин, алюмінієвих профілів, залізничі огляд колії, контроль харчових продуктів та огляд оптичних компонентів. Металевим поверхням приділяють значну увагу, оскільки вони широко використовуються в промисловості. Порівняно з гладкими поверхнями, фотографії металеві поверхні можуть легко мати деякі проблеми, такі як нерівномірне освітлення, сильне відображення та фоновий шум, що ускладнює детектування.

Для реалізації автоматизованого детектування дефектів необхідно проаналізувати різні архітектури нейронних мереж та обрати найбільш оптимальну для застосування у складі систем візуального контролю металевих поверхонь. Основними вимогами для подібних мереж є висока швидкодія та достовірність результатів. Зазвичай, більш швидкодіючі мережі вирішують задачу детектування об'єктів з меншою достовірністю. Тому актуальним завданням є вибір мережі з оптимізованою архітектурою, яка буде вирішувати поставлене завдання з підвищеною ефективністю.

ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ РОБІТ

На сьогоднішній день, в завданнях детектування об'єктів на зображеннях найбільш часто використовуються наступні архітектури: Regions with convolution neural networks (R-CNN), Single shot multibox detector (SSD), You only look once (YOLO) та EfficientDet. Кожна із них має свої переваги і недоліки, які описані у розглянутих далі роботах.

У статті [2] представлена нова архітектура на основі згорткових нейронних мереж для точного виконання завдань виявлення і класифікації дефектів металеві поверхні. Контроль наявності дефектів на основі запропонованого методу перетворюється на задачу сегментації та класифікації. Запропонований авторами нейромережевий модуль може перетворювати дефектне зображення в маску передбачення по пікселях, яка містить лише дефектні пікселі та фонові пікселі. Для швидкого отримання класу дефекту в реальних умовах представлено

R-CNN мережу. Оцінка IoU результату контролю становить 89,60% з використанням набору даних із реальної промисловості. Візуальні та кількісні результати експерименту показали, що достовірності алгоритму виявлення достатньо, щоб задовольнити вимоги складного промислового середовища. Більше того, цей загальний метод можна безпосередньо застосувати для виявлення дефектів інших матеріалів без особливих змін. Одним з обмежень запропонованого методу є те, що для навчання глибокої мережі потрібні дані з мітками вручну, що займає багато часу.

У роботі [3] розроблено систему виявлення дефектів поверхні на основі вдосконаленої моделі YOLOv3. Щоб забезпечити збір високоякісних зображень у реальному виробничому середовищі, у цьому дослідженні порівнюється та детально аналізується різноманітне обладнання для отримання зображень з урахуванням вартості та продуктивності. Модифікована модель, запропонована в цій роботі, досягає 75,1% mAP, а швидкість опрацювання даних досягає 83 кадрів в секунду. Покращена модель може здійснювати виявлення в реальному часі, забезпечуючи високу точність. У системі передбачена схема усунення виробів з дефектами поверхні із конвеєру. Використовуючи YOLOv3 та модифіковану модель, виявляють дефекти поверхні металу, як показано на рисунку 1.

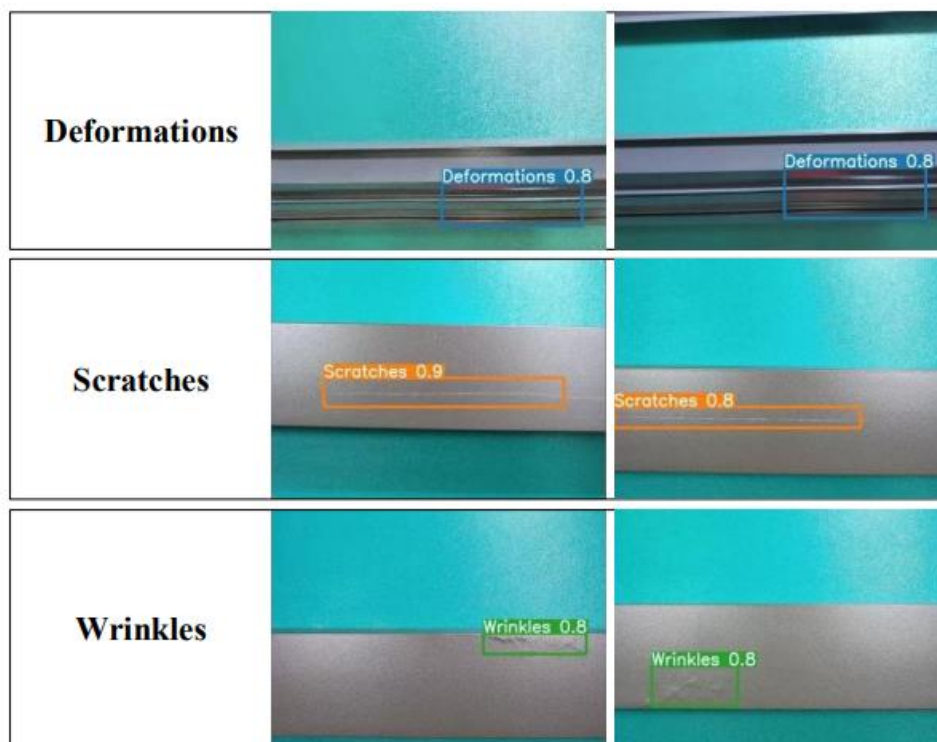


Рис. 1. Виявлені дефекти поверхні металу

У роботі [4] розробляється ієрархічна модель для побудови системи виявлення дефектів для сталевих заготовок. Автори модифікували архітектуру SSD, змінивши розміри карт функцій і розмірів блоків прив'язки, щоб вони відповідали формі дефектів. Результати експерименту свідчать про ефективність запропонованого способу.

У статті [5] представляється сімейство мереж Efficient Defect Detectors

(EDD) для перевірки якості тканини. Такі мережі засновані на архітектурі EfficientDet. Запропоновані EDD використовують стратегію масштабування R-Compound для регулювання глибини, ширини та вхідної роздільної здатності. На основі результатів виявлення дефектів тканини розроблено два методи для підвищення ефективності EDD. Перший може примушувати мережу зосередитися на більш низькорівневих ознаках, які є важливими для розрізнення дефектів. Другий може швидше опрацьовувати зображення із більш високою роздільною здатністю, що призводить до покращення як точності, так і продуктивності контролю в реальному часі.

Використовуючи наведені вище методи, EDD показують чудову продуктивність у порівнянні з існуючими детекторами. Водночас, дана архітектура має значно меншу кількість внутрішніх параметрів [6].

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

В ході аналізу існуючих робіт було виявлено такі проблеми з R-CNN: навчання даних є громіздким і занадто довгим, навчання відбувається в кілька етапів (наприклад, навчання алгоритму пропозиції навчальної області та навчання класифікатора), мережа надто повільна під час продакшену (тобто під час роботи з ненавчальними даними).

Архітектура SSD має набагато кращу точність, навіть з меншим розміром вхідного зображення. Для входу 300×300 SSD досягає 72,1% mAP у тесті VOC2007 при 58 кадрах в секунду на Nvidia Titan X, а для входу 500×500 SSD досягає 75,1% mAP, перевершуючи альтернативну сучасну модель Faster R-CNN. Але достовірність результатів залишається на порівняно низькому рівні для використання цієї мережі у складі систем автоматизованого контролю металевих поверхонь.

Базова модель YOLO обробляє зображення в режимі реального часу зі швидкістю 45 кадрів в секунду. Менша версія мережі, Fast YOLO, обробляє вже 155 кадрів в секунду, в той же час досягаючи більшої mAP, ніж інші детектори реального часу. У порівнянні з найсучаснішими системами виявлення, YOLO робить більше помилок локалізації, але набагато менше шансів передбачити помилкові виявлення там, де нічого не існує. Нарешті, YOLO вивчає дуже загальні уявлення об'єктів. Ця мережа перевершує всі інші методи виявлення, включаючи R-CNN, з великим відривом за якістю узагальнення.

Оглянувши сімейство детекторів під назвою EfficientDet послідовно досягає більшої точності та ефективності, ніж попередні типи нейронних мереж, при цьому враховуючи обмеження за обчислювальними ресурсами. Зокрема, EfficientDet-D7 досягає високої точності з меншою кількістю параметрів та FLOPS, ніж будь-який з інших існуючих детекторів. EfficientDet також має більш високу швидкодію, ніж інші розглянуті мережі.

ВИСНОВКИ

У цій статті проаналізовано різні архітектури нейронних мереж для детектування об'єктів на зображеннях. Такі мережі можуть бути використані для автоматизованого виявлення та класифікації поверхневих дефектів металевих

виробів. Це призведе до покращення швидкості та достовірності контролю.

Нейромережа R-CNN мережа надто повільна під час роботи з ненавчальними даними. SSD та YOLO мають результати кращі, ніж у R-CNN, але найбільш оптимальним варіантом є EfficientDet. Ця мережа має більш оптимізовану архітектуру та використовує складний, але швидкодіючий метод масштабування.

Подальші роботи будуть проводитися в наступних аспектах. Через низьку ймовірність появи дефектних зразків у промисловому виробництві важко зібрати достатню кількість дефектних зображень. Більше того, точне маркування дефектних зображень вимагає великих зусиль і є комерційно дорогим, що перешкоджає широкому застосуванню згорткових мереж у промислових галузях. У майбутньому буде досліджуватись ефективна стратегія навчання, щоб використовувати менше розмічених дефектних зображень для завершення навчального процесу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Kim S. Transfer learning for automated optical inspection. In Proceedings of the International Joint Conference on Neural Networks / S. Kim, W. Kim, Y. K. Noh, F. C. Park. // Anchorage. – 2017. – pp. 14–19.
- [2] Tao X. Automatic Metallic Surface Defect Detection and Recognition with Convolutional Neural Networks / [X. Tao, D. Zhang, W. Ma et.al.]. // Applied sciences. – 2018. – №8. – С. 1575.
- [3] Xu Y. Metal Surface Defect Detection Using Modified YOLO / Y. Xu, K. Zhang, L. Wang. // Algorithms. – 2021. – №14. – С. 257.
- [4] Lin C. Cascading Convolutional Neural Network for Steel Surface Defect Detection / [C. Lin, C. Chen, C. Yang та ін.]. // Springer Nature Switzerland AG. – 2020. – С. 202–212.
- [5] Zhou T. EDDs: A series of Efficient Defect Detectors for fabric quality inspection / [T. Zhou, J. Zhang, H. Su et.al.]. // Measurement. – 2021. – №172.
- [6] Momot A., Skladchykov I. The use of EfficientNet models in infrared image classification / A. Momot, I. Skladchykov // XXI Міжнародна науково-технічна конференція «Приладобудування: стан і перспективи», 17-18 травня 2022 року, КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ, Україна : збірник матеріалів конференції. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – С. 204-207.

Наук. керівник – доктор філософії, ас. Momot A.C.

УДК 004.932

О.В. Чеберяк, студент гр. ПМ-11
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ЗАСТОСУВАННЯ СИСТЕМ КОМП'ЮТЕРНОГО ЗОРУ В ОПТИЧНОМУ НЕРУЙНІВНОМУ КОНТРОЛІ

Анотація. У статті розглянуто основні принципи роботи комп'ютерного зору, його застосування в масштабних цілях та безпосередньо в повсякденному житті. Опис роботи цієї методики для спостереження за справністю приладів, виявленню дефектів без пошкодження структури та компонентів досліджуваного об'єкта, можливостей комп'ютерного зору.

Ключові слова: комп'ютер, комп'ютерний зір, неруйнівний контроль.

ВСТУП

З плином часу в наше життя інтегруються різні системи, що полегшують його, допомагають у роботі в будь-якій галузі та створюють сприятливі умови для подальшого розвитку. Із розвитком обчислювальної техніки прийшов новий етап можливостей: усі обчислення, що проводилися протягом тривалого часу, можуть зайняти всього декілька тисячних часток секунди. Комп'ютер значно ефективніше та з меншими затратами виконує завдання, якщо порівнювати його роботу в одноманітному завданні із працею людини. Початковою метою створення ЕОМ було лише допомогти в проведенні обчислення, зокрема перший програмований механічний обчислювач, який застосували під час Другої світової війни та використовували для розв'язання задач із балістики. Проте набір інструкцій значно змінив можливості машини та розширив спектр їх застосування. І наразі за допомогою спеціалізованих засобів стало можливим в тому числі навчити технічні засоби визначати об'єкт, його рельєф, форму, брати інформацію з компонентів та аналізувати її, виводити та зберігати результат. А також, з метою легшого розуміння комп'ютером про вигляд предмета та його деталі або явища за допомогою нейронних мереж надається можливість відшліфувати інформацію про його подібність чи вигляд. Із розвитком штучного інтелекту почав розвиватися комп'ютерний зір, який відкрив нові можливості в індустрії. Розвиток кожної ланки, в тому числі контроль, за розробкою приладів, створенням деталей, виготовленням матеріалів [1], визначення діагнозів із методикою застосування комп'ютерного зору відбувається значно успішніше, він фактично зміг зменшити вірогідність пропуску неякісного матеріалу або проблеми, адже в цей час оператору властивий людський фактор. Із постійними змінами вимог до контролю продукції та необхідності випуску її зі зменшенням часу на виготовлення одиниці продукції, комп'ютерний зір дозволяє перевіряти об'єкти з більшою швидкістю в залежності від програмного забезпечення та виконувати свою задачу більш якісно та менш затратно у порівнянні з людьми.

МЕТА РОБОТИ

Мета цієї роботи – дослідити можливості найбільш перспективного способу визначення дефектів, перевірки стану матеріалів, автоматизації виробництва, роботи електронно-обчислювальної техніки, комп'ютерного зору та його вплив на зменшення частки браку серед готової продукції в оптичному неруйнівному

контролі.

МАТЕРІАЛИ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Оптичний неруйнівний контроль, як один із видів перевірки властивостей об'єкта без руйнування, ґрунтується на виявленні дефектів безпосередньо оптичними засобами. У ньому використовуються такі прилади, як лупи, мікроскопи, ендоскопи, оптичні проектори, ультрафіолетові знаряддя тощо.

Для застосування комп'ютерного зору в неруйнівному контролі також необхідні спеціалізовані прилади. Обов'язковими компонентами для взаємодії навколишнього середовища з електронно-обчислювальною машиною, що здійснюватиме контроль, має бути камера або цифровий електронний мікроскоп (ендоскоп), що зможе під'єднуватися до комп'ютера, відповідне програмне забезпечення для коректної роботи машини з компонентами, програма обробки інформації, обробки та зміни зображення, ідентифікації неоднорідностей (рис. 1). Також необхідні оптичний або магнітний датчик синхронізації для охоплення зображення, його подальшого редагування та засоби автоматизації відбору для відокремлення об'єктів з дефектами або пошкодженнями під час процесу перевірки матеріалу в залежності від сфери застосування.

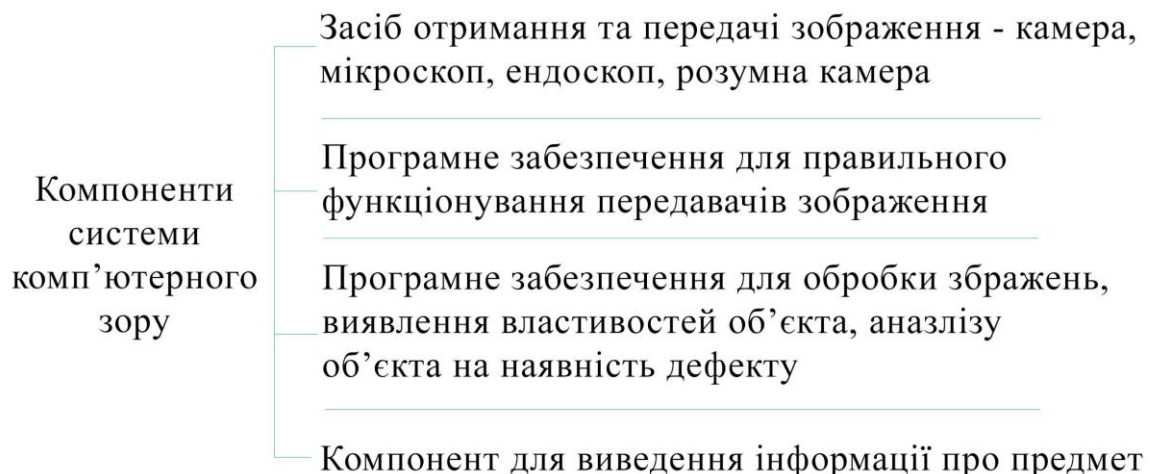


Рисунок 1. Необхідні компоненти комп'ютерного зору

Технологія комп'ютерного зору в залежності від налаштувань та відповідного програмного забезпечення здатна виявляти дефекти різного роду виробів: тріщини, вибоїни, консистенцію матеріалу, злам, зрив, його пошкодження, структуру.

Дефекти виробу можна виявити за допомогою зміни його кольору - чорного або білого. Окрім тих кольорів, цей метод здатен розпізнавати інфрачервоні та ультрафіолетові хвилі, що невластиві для людського ока та спрацьовувати на виявлення дефектів відповідних предметів, для яких необхідний контроль під проявом таких хвиль. Таким чином проявляються дефекти металевих виробів, сонцезахисних окулярів, діагностуються захворювання.

Основними методами обробки отриманої інформації в системах комп'ютерного зору є: лічильник пікселів, бінаризація, сегментація, співставлення шаблонів, виміри, оптичне розпізнавання та дилатація [2]. Задача

лічильника пікселів полягає в підрахунку кількості світлих та темних областей та перевірці відповідності розширення камери для обраного застосування. Процес бінаризації перетворює зображення на білі та чорні зони, яскравість пікселів набуватиме одне з двох значень: одиниці або нуля, із подальшою необхідністю вибору порогу та фільтрації зображення на основі яскравості. Сегментація передбачає спрощення чи зміну показу зображення для легшого проведення аналізу. Оптичне розпізнавання – змога розрізнити текст або іншу інформацію на зображенні, подальші дії з фрагментом. Дилатація передбачає згортку зображення з ядром. Все це допомагає комп'ютеру знайти та ідентифікувати об'єкт, відновити його об'ємну форму, зображення, виявити або розрахувати рух, і на основі цих даних – провести аналіз отриманої інформації [3].

Оператор налаштовує програмне забезпечення на контроль відповідних дефектів; останнє має бути відкаліброваним за допомогою різниці в кольорах дефективної зони у порівнянні з нормальною, що виконує відповідне програмне забезпечення. Під час роботи системи відбувається постійне захоплення кадрів. Розпізнавання дефектів може базуватися на інформації, отриманій із відеоданих, що надає камера або інший передавач зображення, і для кожного зображення виконується декодування, перетворення в іншу колірну модель, із якою співпрацює система, здебільшого це модель HSL. Дефекти виявляються відповідно до діапазону кольорів еталону та видача відповідного бінарного зображення, що передається процесору за допомогою системи однопотокової передачі команд та широкого потоку даних (рис. 2) [4].



Рисунок 2. Етапи визначення дефекту виробу комп'ютерним зором

ВИСНОВКИ

Комп'ютерний зір вже використовується в повсякденному житті, в тому числі й широко застосовується в неруйнівному контролі. Незважаючи на підвищення ефективності роботи систем перевірки виробів, подальше підвищення точності обробки зображень можливе у процесі розвитку та модернізації. Необхідне вдосконалення програмного забезпечення на етапі передачі зображення з мікроскопу в режимі реального часу, що дозволить пришвидшити перевірку та створення об'єктів на конвеєрі. Також перспективним є використання комп'ютерного зору для аналізу стану людини, технологій віртуальної та доповненої реальності. Проте найбільш вагомий внесок комп'ютерного зору буде в процесі контролю виготовлення деталей, програмне забезпечення якого необхідно також вдосконалювати для більш ефективної роботи системи. Використання приладів з недоліками, які мають

пошкоджений провідник, ізоляційний матеріал та подібне, несе загрозу безпеці життя та здоров'ю людини. Неякісні деталі мають властивість швидко зношуватися, призводити до несправності всю систему або технічний пристрій, що впливає на економічну складову підприємства. Для зменшення браку, нерационального використання матеріалу, запобігання випуску неякісної продукції, важливим чинником є перевірка деталей на етапі створення. І тут на перший план виходить оптичний метод неруйнівного контролю якості деталей із використанням однієї з передових технологій – комп'ютерного зору.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Галаган Р., Муравьєв А., Томашук А. Модель восстановления серии изображений из смазанного изображения для решения задачи высокоточного измерения диаметра и температуры излучающих объектов. *Теоретичні та прикладні аспекти радіотехніки, приладобудування і комп'ютерних технологій - матеріали IV Міжнародної науково-технічної конференції* (Тернопіль, 20-21 червня 2019 року). Тернопіль: ТНТУ ім. І. Пулюя, 2019. С. 169-173.
- [2] Линьков В. В., Грунин И. Ю. Компьютерная обработка видеоизображений оптического источника. *Евразийский научный журнал*. 2017. №5. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kompyuternaya-obrabotka-videoizobrazheniy-opticheskogo-istochnika>.
- [3] Линьков В. Машинное зрение. Что это и как им пользоваться? Обработка изображений оптического источника. 2018. URL: <https://habr.com/ru/post/350918/>.
- [4] Попко Е. А., Воробьев А. П., Вайнштейн И. А. Опыт применения машинного зрения в системах оптического неразрушающего контроля. *Сварка и диагностика: сборник докладов международного форума* (Екатеринбург, 24–25 ноября 2015 г.). Екатеринбург: УрФУ, 2015. С. 401-406.

Наук. керівник – к.т.н., доц. Галаган Р.М.

Секція 8.
**Автоматизація експериментальних
досліджень**

УДК 621.317

Р.О. Потієнко, студент гр. ПА-81, к.т.н., доц. Шумков Ю.С.

КПІ ім. Ігоря Сікорського

АНАЛІЗ ПОХИБКИ ЧЕРЕЗ ВПЛИВ ПАРАЗИТНИХ ПАРАМЕТРІВ ПІД ЧАС КОНТРОЛЮ СКЛАДНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ КІЛ

Анотація. Під час контролю номінальні параметри заздалегідь відомі. У наслідок чого, параметри елементів електричного кола можна контролювати за відхиленням від номінального відгуку на відомий випробувальний сигнал. Розглянуто контроль параметрів електричних кіл за методом нулів і полюсів з використанням експоненціальних випробувальних сигналів, похибку перетворення імітансу в напругу через кінцевий у смузї частот коефіцієнт підсилення операційних підсилювачів та вплив паразитних параметрів, обумовлених іншими елементами складної схеми. Для забезпечення стійкості перетворювача «імітанс-напруга» уведено додаткову ланку у пряме коло підсилювача, що корегує його передатну функцію. Одержані динамічні похибки перетворення під час використання широкосмугових операційних підсилювачів на польових транзисторах.

Ключові слова: контроль параметрів електричних кіл, метод нулів і полюсів, випробувальний сигнал спеціальної форми, багатоелементне двополюсне електричне коло.

ВСТУП

Під час контролю фрагмент складної електричної схеми, що контролюється, у вигляді багатоелементного двополюсного кола у складі трьохполюсної схеми, яка складається з інших елементів схеми, за допомогою щупів (неруйнівний контроль) підключається до перетворювача «імітанс-напруга». Вихідний сигнал перетворювача вибірково відтворює лише імітанс контрольованого двополюсника [1,2]. За методом нулів і полюсів (МНП) використовують випробувальні сигнали (ВС), що мають зображення за Лапласом, яке відтворює інверсну модель функції імітансу багатоелементного двополюсника (ДП). Таки сигнали складаються з експонент [3]. Нулі і полюси ВС компенсують полюси і нулі функції імітансу ДП. При синтезі ВС використовуємо інверсну номінальну модель контрольованого ДП. Тоді номінальний відгук, якщо параметри кола дорівнюють заданим, отримаємо у вигляді ступінчастої функції. Якщо параметри кола відмінні від номінальних, некомпенсовані нулі і полюси дадуть відхилення відгуку від номінального. Такий відгук можна легко порівняти за рівнем з опорним сигналом (фактично це постійна напруга), наприклад шляхом компарування в окремі моменти часу (звичайний швидкодіючий компаратор, що стробується). Тобто форма відгуку може бути використана як «параметр» фрагмента складного електричного кола, що контролюється.

МЕТА РОБОТИ

Метою роботи є аналіз похибки перетворення імітансу двополюсників у напругу через кінцевий у смузї частот коефіцієнт підсилення операційних підсилювачів схеми перетворювача «імітанс-напруга».

МАТЕРІАЛИ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Розглянемо включення паралельного R, C -двополюсника у складі трьохполюсного кола до перетворювача «імітанс-напруга» (рис. 1). Ідеальний випадок, коли схема забезпечує режим заданої напруги на полюсах ДП. Однак, для імпульсних ВС через кінцевий коефіцієнт підсилення операційних підсилювачів (ОП) у смузї частот, напруга на вході ОП, що інвертує (схеми

перетворення струму через ДП в напругу, що входить до складу перетворювача «імітанс-напруга») не дорівнює нулю. Не забезпечується нульовий вхідний опір схеми перетворення струму у напругу, як наслідок, порушується режим заданої напруги у смузі частот.

Умова синтезу моделі ідеального ВС, якщо струм в двополюснику $Y_X(s)$ у вигляді одиничної ступінчастої функції:

$$U_{B0}(s) \cdot Y_{X0}(s) = \frac{1}{s} \times I_0,$$

де $Y_{X0}(s)$ – номінальна функція імітансу (для паралельного ДП – адмітанс).

Якщо адмітанс ДП $Y_X(s) = C_X(s + 1/R_X C_X)$, де $R_X = R_{X0} + \Delta R_X$, $C_X = C_{X0} + \Delta C_X$, отримаємо операторне зображення ВС:

$$U_{B0}(s) = \frac{1}{C_{X0}} \cdot \frac{1}{s(s + 1/R_{X0}C_{X0})} \times I_0.$$

Якщо ОП ідеальний, тобто $K_0(s) \rightarrow \infty$, отримаємо уніфікований відгук, який формується у вигляді напруги на виході перетворювача «імітанс-напруга»:

$$U_{Out}(s) = -I_X(s) \times R_0 = U_{B0}(s) Y_X(s) \times R_0 = -\frac{C_X(s + 1/R_X C_X)}{C_{X0} \cdot s(s + 1/R_{X0}C_{X0})} I_0 \times R_0,$$

$$U_{Out}(t) = -\frac{C_X}{C_{X0}} e^{-\beta_{B0}t} U_0 - \frac{R_{X0}}{R_X} (1 - e^{-\beta_{B0}t}) U_0, \quad t \geq 0,$$

де $U_0 = I_0 R_0$; $\alpha_X = 1/R_X C_X$; $\beta_{B0} = 1/R_{X0} C_{X0}$.

На рис. 2 наведено відгук $U_{OUT}(t)$ у випадку, якщо, наприклад, під час монтажу елементів на друкованої платі, резистор R_X та ємність C_X одержали якийсь дефект та відмінні від номінальних.

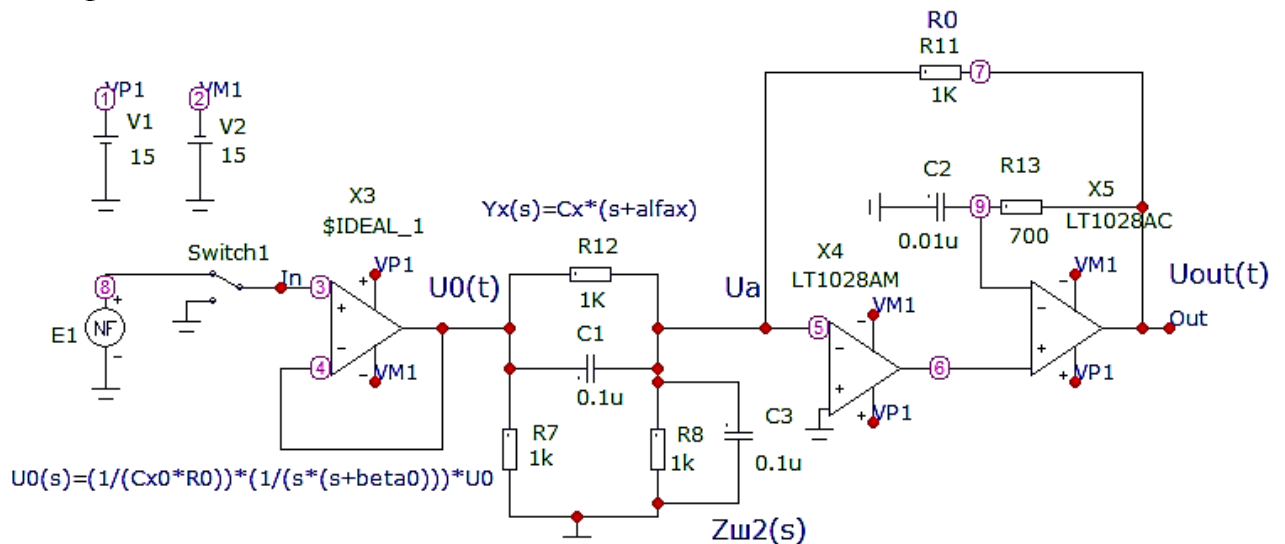


Рисунок 1. Моделювання схеми перетворення «імітанс-напруга» – контроль параметрів паралельного R, C - двополюсника

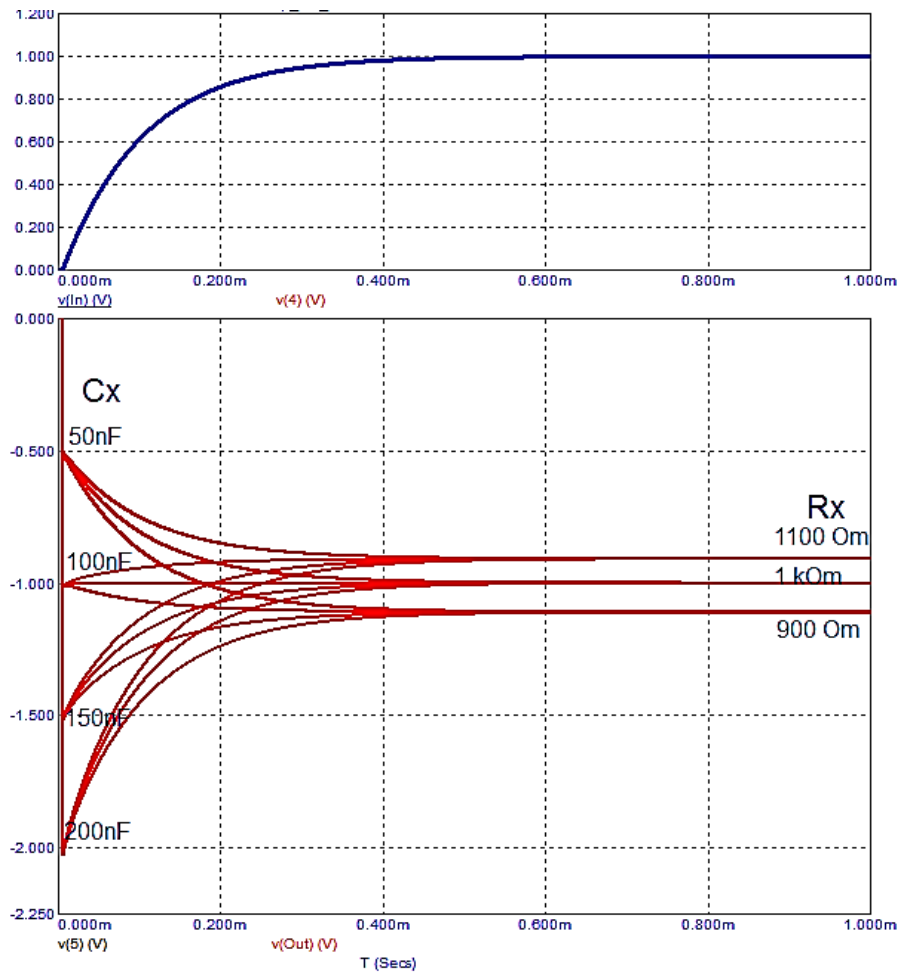


Рисунок 2. Випробувальний сигнал $U_{B0}(t)$ та уніфікований відгук $U_{OUT}(t)$, якщо $R_X = 1 \text{ k}\Omega \pm 100 \text{ }\Omega$; $C_X \in [50 \text{ nF}; 200 \text{ nF}]$ – змінюється з кроком $\Delta C = 50 \text{ nF}$

Знайдемо похибку перетворення імітансу в напругу через кінцевий за значенням коефіцієнт підсилення ОП у смузі частот.

$$Y_X(s)[U_{B0}(s) - U_a(s)] + \frac{1}{R_0}[U_{Out}(s) - U_a(s)] - \frac{U_a(s)}{Z_{In}(s)} - \frac{U_a(s)}{Z_{III2}(s)} = 0,$$

де $U_a(s) = -U_{Out}(s)/K_{OP}(s)$ – напруга на вході ОП, що інвертує; $Z_{III2}(s)$ – шунтуючий опір, що має, наприклад, ємнісний характер, від інших елементів складної схеми, що контролюється. Вважаємо, що вхідний опір ОП $Z_{In}(s) \rightarrow \infty$.

$$U_{Out}(s) = \frac{-U_{B0}(s)Y_X(s)}{Y_0 + [Y_X(s) + Y_{III2}(s) + Y_0]K_{OP}(s)^{-1}}.$$

$$\Delta U_{Out}(s) = -\frac{U_{B0}(s)Y_X(s)R_0}{1 + R_0[Y_X(s) + Y_{III2}(s) + Y_0]K_{OP}(s)^{-1}} - [-U_{B0}(s)Y_X(s)R_0],$$

$$\Delta U_{Out}(s) = U_{B0}(s)Y_X(s)R_0 \left(1 - \frac{1}{1 + R_0[Y_X(s) + Y_{III2}(s) + Y_0]K_{OP}(s)^{-1}}\right).$$

Для забезпечення стійкості перетворювача «імітанс-напруга» схема потребує додаткової частотної корекції. Динамічна модель звичайного частотно-скоригованого ОП в робочій смузі частот $K_{OP}(s) = K_0/(1 + s\tau_{OP})$, де K_0 –

коефіцієнт підсилення на постійному струмі; $\tau_{OP} \approx K_0/2\pi f_1$; f_1 – частота одиничного підсилення. В даному випадку отримуємо схему перетворювача «імітанс-напруга», яка матиме невеликий запас стійкості. За рахунок ємності $Z_{III2}(s)$ підчас стрибка ВС у вигляді напруги на $Y_X(s)$ виникають значні коливання $U_{Out}(t)$. Для забезпечення стійкості перетворювача «імітанс-напруга» уведено корегуючу ланку в пряме коло підсилювача, що створює додатковий нуль.

$$K_{OP}(s) = \frac{\omega_1}{(s + \frac{\omega_1}{K_0})} \frac{(s + \beta_z)}{\beta_z} = \frac{\omega_1}{(s + \frac{\omega_1}{K_0})} \frac{(s + \frac{\omega_1 \cdot 100}{K_0})}{\frac{\omega_1 \cdot 100}{K_0}} = \frac{\omega_1 (s + \beta_z)}{(s + \alpha_p) \cdot \beta_z},$$

$$\beta_z = \frac{\omega_1 \cdot 100}{K_0} = 100 \cdot \alpha_p; \quad \alpha_p = \frac{\omega_1}{K_0}.$$

$$\Delta U_{Out}(s) \approx \frac{1}{s} \frac{C_X(s+1/R_X C_X)}{C_{X0}(s+1/R_{X0} C_{X0})} \cdot U_0 R_0 [C_X(s + \frac{1}{R_X C_X}) + Y_{III2}(s) + Y_0] \frac{(s + \frac{\omega_1}{K_0}) \frac{\omega_1 \cdot 100}{K_0}}{\omega_1 (s + \frac{\omega_1 \cdot 100}{K_0})}.$$

Розглянуто динамічну похибку у рази, коли використовуються прецизійні частотно-скориговані ОП на польових транзисторах з високим вхідним опором типу AD845, що має $f_1 = 16 \cdot 10^6$ Гц, $K_0 = 200000$ і типу HA5160, що має $f_1 = 100 \cdot 10^6$ Гц, $K_0 = 80000$.

ВИСНОВКИ

Одержано вираз динамічної похибки перетворення імітансу в напругу через кінцевий коефіцієнт підсилення операційних підсилювачів у смузі частот. Для забезпечення стійкості схеми перетворювача «імітанс-напруга» через вплив паразитних параметрів, що мають ємнісний характер, введено додаткову ланку в пряме коло підсилювача, що створює додатковий нуль у передатній функції підсилювача у робочій смузі частот, який охоплений загальним від'ємним зворотним зв'язком.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Походило Є.В., «Перетворювачі параметрів імітансних сенсорів в напругу», *Вісник Нац. ун-ту "Львівська політехніка"*, №420, с. 104–109, 2001.
- [2] М.О. Гаврилюк, В.В. Хома, «Вплив ємності вхідного кабелю на стійкість активного перетворювача імітанс–напруга», *Вимірювальна техніка та метрологія*, Вип. 51, с. 49-50, 1995.
- [3] В.І. Губар, Ю.С. Шумков, та Б.П. Хіміченко, «Вимірювання параметрів електричних кіл із застосуванням випробувальних сигналів спеціальної форми», *Наукові вісті НТУУ "КПІ"*, №5, с. 133-140, 2010.

Наук. керівник – к.т.н., доц. Шумков Ю.С.