

УДК 004.942

doi:10.20998/2413-4295.2024.04.03

ДИСТАНЦІЙНА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА ПІДСИСТЕМА КЕРУВАННЯ МАНІПУЛЯТОРОМ РОБОТА

I. I. БИЦКАЛО¹, С. Б. КОНДРАТЬЕВ², В. Л. КОСТЕНКО^{3*}, М. В. ЯДРОВА³

¹ кафедра штучного інтелекту та аналізу даних, Національний університет «Одеська політехніка», Одеса, УКРАЇНА

² кафедра проектного навчання в інформаційних технологіях, Національний університет «Одеська політехніка», Одеса, УКРАЇНА

³ кафедра інформаційних систем, Національний університет «Одеська політехніка», Одеса, УКРАЇНА

*e-mail: kvl777@ukr.net

АНОТАЦІЯ Розглянуте питання розширення функціональних можливостей інтелектуальної програмно-апаратної підсистеми захоплення об'єкта роботом-маніпулятором. Показано, що задача розширення функціональних можливостей підсистеми захоплення об'єкта вільної форми роботом-маніпулятором із технічним зором на основі операцій побудови глибинної карти по отриманому стереозображенню є недостатньо проробленою та може бути вирішена шляхом вбудовування в роботизований комплекс підсистеми дистанційного керування роботом, що підключена до локальної мережі або Інтернету. Підсистема розроблена із використанням мікрокомп'ютера Raspberry Pi, плати Stereo Pi, плати для підключення восьми сервоприводів Adafruit PCA9865, камер Raspberry Pi. Наведено структуру та електричну схему підсистеми, опис програмного забезпечення та основний фрагмент коду програми веб-застосунку. На підставі аналізу результатів досліджень встановлено, що запропонована підсистема дистанційного керування забезпечує розширення функціональних можливостей інтелектуальної програмно-апаратної підсистеми захоплення об'єкта роботом-маніпулятором, оскільки додатково до функцій автоматичного захоплення предмета, за рахунок дистанційного коригування точності та технологічності захоплення об'єкту забезпечує функції високоточного позиціонування об'єктів один щодо одного та особливо зусилля на робочому маніпуляторі для виконання точних операцій з вибухонебезпечними об'єктами та в точному машинобудуванні. Надійність захоплення об'єкту також підвищується внаслідок того, що підсистема дозволяє задіяти додатково колектив компетентних користувачів. Запропонована система підвищує ступінь автоматизації, забезпечує можливість модерування, колективного адміністрування, зворотного зв'язку з користувачами під час експлуатації робота.

Ключові слова: роботизований комплекс; технічний зір; мікрокомп'ютер; функціональні можливості; дистанційне керування.

REMOTE INTELLIGENT ROBOT MANIPULATOR CONTROL SUBSYSTEM

I. BYTSKALO¹, S. KONDRATYEV², V. KOSTENKO^{3*}, M. YADROVA³

¹ Department of Artificial Intelligence and Data Analysis, National University "Odesa Polytechnic", Odesa, UKRAINE

² Department of Project Based Learning in Information Technology, National University "Odesa Polytechnic", Odesa, UKRAINE

³ Department of Information Systems, National University "Odesa Polytechnic", Odesa, UKRAINE

ABSTRACT The issue of expanding the functionality of an intelligent software and hardware subsystem for capturing an object by a robot manipulator was considered. It is shown that the task of expanding the functionality of the subsystem for free-form object capture by a robot manipulator with technical vision based on the operations of building a depth map from the obtained stereo image is insufficiently developed and can be solved by integrating a remote robot control subsystem connected to a local network or the Internet into the robotic complex. The subsystem was developed using a Raspberry Pi microcomputer, a Stereo Pi board, a board for connecting eight Adafruit PCA9865 servos, Raspberry Pi cameras, and a camera module. The structure and electrical diagram of the subsystem, a description of the software, and the main code snippet of the web application program are presented. Based on the analysis of the research results, it is established that the proposed remote control subsystem provides an extension of the functionality of the intelligent software and hardware subsystem for capturing an object by a robot manipulator, since in addition to the functions of automatic object capture, due to remote adjustment of the accuracy and manufacturability of object capture, it provides the functions of high-precision positioning of objects relative to each other and especially the effort on the robot manipulator to perform precise operations. The reliability of the object capture is also increased due to the fact that the subsystem allows for the additional involvement of a team of competent users. The proposed system increases the degree of automation, provides the possibility of moderation, collective administration, and user feedback during robot operation.

Keywords: robotic complex; technical vision; microcomputer; functionality; remote control.

Вступ

В сучасних технологіях промисловості, воєнній справі, медицині, науці, та інших галузях широко використовуються роботизовані комплекси (РК), що складаються з механічних маніпуляторів та систем

управління ними [1]. Мобільність, оптимальні габарити маніпуляторів, експлуатаційна доступність та надійність, швидкість налаштування, варіативність рухів, забезпечують можливість використання РК як зручного інструменту для автоматичного сортування або збірки об'єктів, тестування, маніпуляція об'єктами

та навіть керування іншими пристроями. Використання такого роду комплексів дозволяє підвищити ефективність виробництва у виробничому процесі за рахунок ефективного використання технічного парку підприємства, підвищення якості продукції, зниження невиробничих витрат та собівартості продукції.

Сучасні РК відрізняються складною кінематичною структурою, що містить безліч незалежних чи взаємопов'язаних ланок та орієнтовані на виконання великої кількості виробничих функцій, тому дослідження проблеми розширення функціональних можливостей РК є актуальними.

Одним із факторів, що можуть обмежувати функціональні можливості такого роду систем при розв'язанні широкого кола сучасних виробничих завдань є системи керування маніпулятором, які служать для організації взаємодії між користувачем і РК, та забезпечують виконання необхідних виробничих процесів, зокрема можливість віддаленого керування РК. В даний час залежно від області застосування можуть використовуватися різні схеми управління РК. Нині найпоширеніші системи управління маніпуляційними роботами виробляються фірмами ABB, KUKA, Yaskawa Motoman, Fanuc. У своїх розробках для вирішення зазначених завдань вони використовують закриті пропрієтарні рішення. Але такий підхід обмежує функціональні можливості РК.

Для розширення функціональних можливостей РК фірми ABB застосовують принципи модульної побудови, при якому до одного центрального контролера через інтерфейс Ethernet може бути підключений ряд контролерів, призначених для управління окремими маніпуляторами, а роботи KUKA виконуються на базі промислового комп'ютера, що використовує Windows XP ОС з розширеними реальним часом Vx Works. Для обміну даними використовуються протоколи ModBus, Ethernet. Але такий підхід часто не забезпечує достатню високу точність роботи маніпуляторів.

Особливе місце серед схем управління займають схеми з дистанційним управлінням РК, які забезпечують можливість за допомогою веб застосунків або ПЧ дистанційних пультів дистанційно керувати і переміщувати об'єкти з використанням різноманітних датчиків та механізмів управління.

Серед РК з дистанційним керуванням достатньо відомі комплекси типу Niryo One [2], Dobot Magician [3], Universal Robots UR5 [4] та інші.

Маніпулятор РК типу Niryo One має шість ступенів свободи, оснащений мікроконтролером Arduino та камерою Raspberry PI та може бути використаний у промисловості, освітніх проєктах або у персональних цілях для виконання таких функцій як розпізнавання об'єктів, автоматичне сортування, збірка об'єктів, тестування, маніпуляція об'єктами та навіть програмування інших пристроїв. Крім того, маніпулятор оснащений інтерфейсом для

програмування, що дозволяє користувачам налаштувати його на виконання різноманітних задач за допомогою блок-схем або програмного коду та може керуватися за допомогою пульта дистанційного керування або мобільного застосунку.

Програмована маніпуляторна система типу Dobot Magician з чотирма осями оснащена мікроконтролером STM32F407, якісними сервомоторами, відеокамерою, інструментами, такими як пінцети, гравери, лазери, має зручний інтерфейс для програмування та може бути використана в тому числі дистанційно за допомогою пульта дистанційного керування або мобільного застосунку для виконання таких функцій як сортування, переміщення, збірка обробка та розпізнавання об'єктів в режимі реального часу на виробництві, навчальній та дослідницькій діяльності.

Universal Robots UR5 – це РК з дистанційним керуванням, який може бути використаний для різного спектру задач, таких як: упаковка, збірка, тестування та маніпулювання об'єктами у сфері автомобільного виробництва, аерокосмічній сфері, а також в електронній промисловості, медичних та наукових дослідженнях. UR5 має потужний мікроконтролер Texas Instruments Sitara AM335x на базі ARM Cortex-A8 з тактовою частотою 1 Гц і підтримкою операційної системи Linux. Також маніпулятор має датчики, які дозволяють йому взаємодіяти з навколишнім середовищем та адаптуватися під зміну умов праці та перешкоди. UR5 може бути запрограмований для виконання різноманітних задач та проєктів використовуючи графічний інтерфейс або мову програмування.

Наряду з наявністю підсистем дистанційного керування, функціональні можливості таких типів РК обмежуються можливостями підсистем технічного або комп'ютерного зору в них.

При цьому, до систем технічного зору РК приділяється все більшої уваги у найрізноманітніших сферах застосування [5,6]. Від якості технічного зору РК залежить якість виконання ним таких функцій як розпізнавання об'єктів, навігація по робочій поверхні, калібровка, вимірювання властивостей об'єктів та контроль якості продукції. Застосування маніпуляторів із якісними системами технічного зору може значно покращити робочі процеси та оптимізувати виробничі лінії, забезпечити подальшу автоматизацію процесів, підвищити продуктивність і якість роботи. Їх впровадження дозволяє впевнено підвищити точність заданого положення маніпулятора, у тому числі при накладенні обмежень на можливі перешкоди у робочій зоні, оскільки вони забезпечують якісний контроль робочої зони, де може здійснюватися захоплення предмету. Сучасні маніпулятори з системами технічного зору та використанням технології нейронних мереж [7] для визначення габаритів та форми об'єктів захоплення створюють нові можливості в областях, де швидкість,

точність і дистанційне управління є життєво важливими.

Для програмного забезпечення програмно-апаратної підсистеми комп'ютерного зору в ПК в даний час використовуються такі технології, як Python[8] + OpenCV[9] + StereoBM[10], C++ + PCL + SBGM[11], Java + JavaCV[12] + SIFT[13]. Порівняльні

характеристики основних технологій реалізації технічного зору в РМ, по таким характеристикам як доступність використання, швидкодія, підтримка мікрокомп'ютера Raspberry Pi та якість стереобачення (бібліотека добре співпрацює з бібліотеками стереобачення), в робототехніці наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Аналіз програмного забезпечення

Програма Особливість	Python + OpenCV+ StereoBM	C++ + PCL + SBGM	Java + JavaCV + SIFT
Технологічність	+	-	+
Швидкодія	+	-	+
Стійка сумісність з Raspberry Pi	+	-	-
Можливість відео	+	+	+
Якісне 3D зображення	+	+	-

Разом з тим, як показали дослідження використання таких технологій не забезпечує достатньо точного безпечного захоплення маніпулятором об'єктів, форма та габарити яких доволно змінюються, що звужує їх функціональні можливості.

З метою підвищення точності захоплення попередньо невідомого предмету нами раніше було розроблено та описано інтелектуальну програмно-апаратну підсистему захоплення предмета довільної форми роботом-маніпулятором з технічним зором на основі операцій побудови глибинної карти [14] по отриманому стереозображенню (IPMTЗ) [15] на базі мікрокомп'ютера Raspberry Pi. Процес включав також визначення відстані від маніпулятора до всіх точок предмета, контуру предмета, точки захвату предмета і уточнення положення маніпулятора, а також визначення ступеня захоплення маніпулятором предмета та руху маніпулятора по захопленню предмета в визначеному місці. Це дозволило збільшити точність захоплення на 8% порівняно з розглянутими технологіями. Крім того, дослідження показали, що представлена методика та алгоритми реалізації технічного зору не залежать від типу предмета та його характеристик, а також від інформаційного шуму та кута перегляду.

Разом із тим функціональні можливості такого пристрою знижені, оскільки відсутнє дистанційне керування ним, що приводить до зниження надійності виконання завдання та точність захоплення предмета.

Мета роботи

Враховуючи вищезгадане, метою роботи є розширення функціональних можливостей інтелектуальної підсистеми керування маніпулятором роботизованого комплексу для безпечного захоплення предмета довільної форми, технічний зір якого реалізовано на основі побудови карти глибин шляхом розробки підсистеми дистанційного керування. Така підсистема дозволить не тільки видалено керувати процесом захоплення предмета довільної форми за рахунок коригування режимів роботи серводвигунів РМ, а і підвищити доступність до ПК компетентного колективного користувача.

Для вирішення поставлених в роботі проблем були виділені такі завдання:

1. Розробка та дослідження апаратної та програмної частин дистанційної інтелектуальної підсистеми захвату предмета довільної форми роботом-маніпулятором

2. Тестування програмного забезпечення підсистеми

3. Розробка інтерфейсу для програмного управління дистанційною інтелектуальною підсистемою захвату предмета довільної форми роботом-маніпулятором.

Виклад основного матеріалу

Для реалізації поставленої мети нами проаналізовано існуючі технічні та програмні рішення в галузі дистанційного контролю за допомогою

роботів-маніпуляторів та розроблена апаратно-програмна підсистема для дистанційного контролю захвату предмета довільної форми роботизованим комплексом для безпечного захоплення предмета довільної форми, технічний зір якого реалізовано на основі побудови карти глибин. Конструкція підсистеми для дистанційного контролю захвату предмета довільної форми роботом-маніпулятором являє собою послідовність таких ланок, як апаратна, функціональна, програмна частини, користувач, веб-

застосунок, з'єднаних між собою логічними зв'язками. В якості прототипу підсистеми покладена інтелектуальна програмно-апаратна підсистема, описана в роботі [15].

Загальна структурна схема розробленої апаратно-програмної підсистеми для дистанційного керування роботизованим комплексом для безпечного захоплення предмета довільної форми, технічний зір якого реалізовано на основі побудови карти глибин приведена на рис.1.

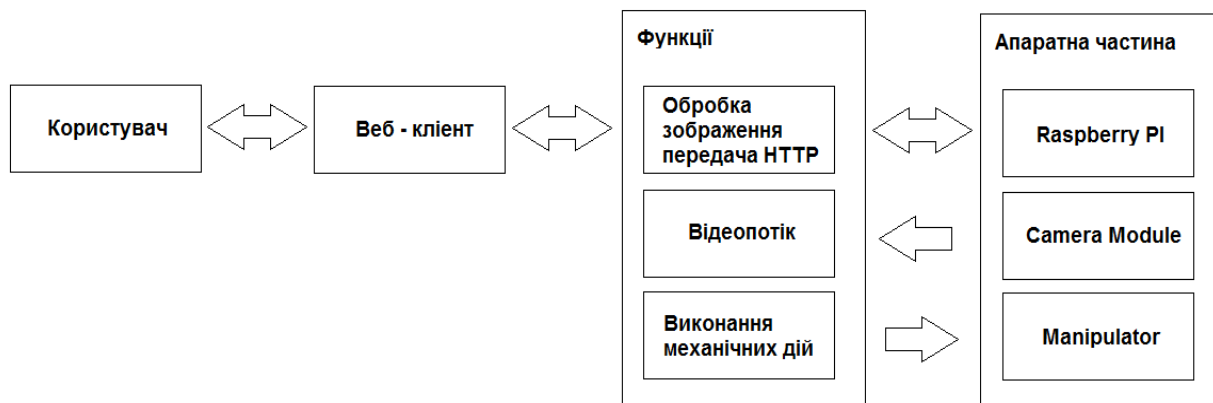


Рис. 1 – Загальна структура дистанційної інтелектуальної підсистеми керування маніпулятором робота

Потоки даних підсистеми зображені на рис. 2.

Для компоновки підсистеми була розроблена електрична схема з'єднання основних компонентів апаратної частини підсистеми, а саме, мікрокомп'ютера, серводвигунів маніпулятора, відеокамер. Схема зображена на рис. 3.

Механічна частина РК, тобто маніпулятор, серводвигуни складається на базі механічної частини, РК, розробленого нами та наведеного в [15]. Апаратна частина підсистеми розроблена із використанням мікрокомп'ютера Raspberry Pi, плати Stereo Pi, плати для підключення восьми сервоприводів Adafruit PCA9865, камер Raspberry Pi camera module. Камери підключено до мікрокомп'ютера дротовим методом.

Зовнішній вигляд макету розробленої інтелектуальної підсистеми дистанційного керування роботизованим комплексом для безпечного захоплення предмета довільної форми, технічний зір якого реалізовано на основі побудови карти глибин наведено на рис. 4. Функціонування підсистеми контролюється за допомогою пульта дистанційного контролю. Скриншот частини панелі пульта дистанційного контролю підсистеми з органами корекції зображення предмету наведено на рис. 5.

Логічне представлення компонентів апаратної частини розробленої інтелектуальної підсистеми захвату предмета довільної форми роботом-маніпулятором зображено на рис. 6.

Функціональна частина розробленої підсистеми здійснює модерування, колективне адміністрування, зворотній зв'язок із користувачами підсистеми,

оперативне програмування мікрокомп'ютера, підключення до локальної мережі або Інтернету. Особливістю функціональної частини є забезпечення можливості віддалено, із використанням веб-застосунка, змінювати та коригувати точність роботи серводвигунів РМ, а також задіяти колектив компетентних користувачів.

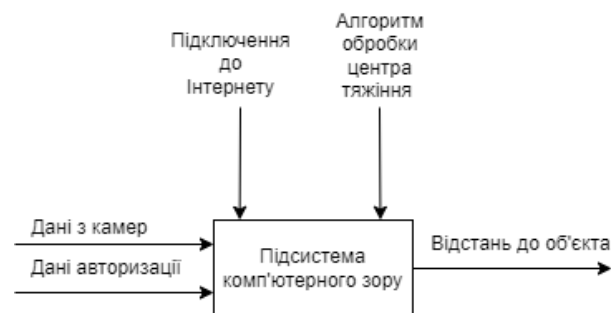


Рис. 2 – Потоки даних підсистеми

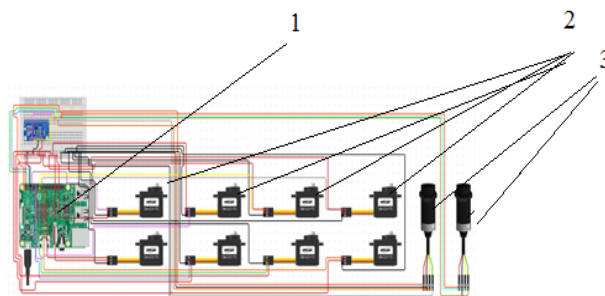


Рис. 3 – Електрична схема з'єднання компонентів апаратної частини підсистеми, 1 – мікрокомп'ютер, 2 – серводвигуни, 3 – відеокамери



Рис. 4 – Зовнішній вигляд макету дистанційної інтелектуальної підсистеми

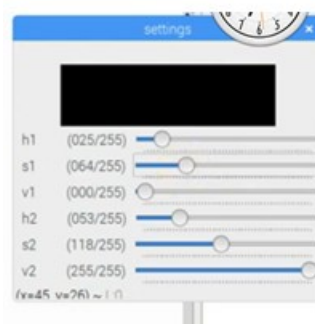


Рис. 5 – Скриншот частини панелі пульту дистанційного контролю РМТЗ з органами проєкції зображення предмету

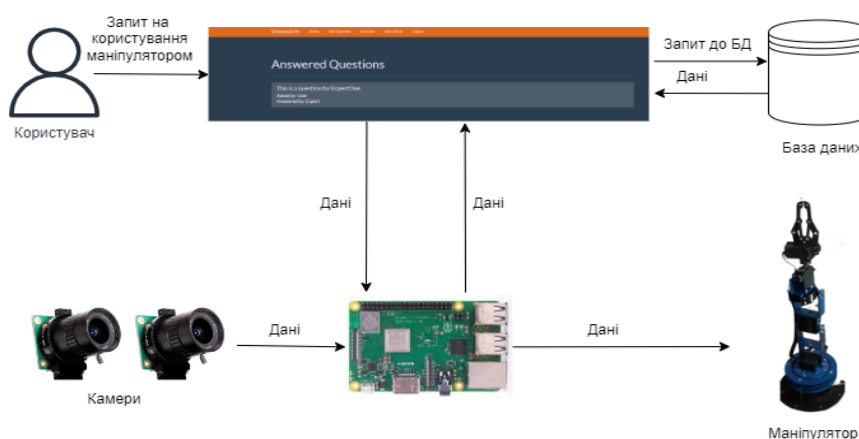


Рис. 6 – Логічне представлення компонентів апаратної частини дистанційної інтелектуальної підсистеми керування маніпулятором робота

Вибір мікроконтролеру. На основі аналізу відомих типів мікроконтролерів та виходячи із необхідності підтримки відеокамер та даної операційної системи, встановлено, що оптимальним варіантом є Raspberry Pi 3 з ядром ARM Cortex-A53, тактовою частотою 1,2 ГГц, ПЗУ 1 Гбайт, Flash-пам'ятю 16 Гбайт, операційною системою Debian Linux, що використовується в підсистемі, описаній нами в [15], яка взята за прототип.

З метою забезпечення дистанційності, мікрокомп'ютер Raspberry Pi 3 підключено до локальної мережі або Інтернету.

Розробка програмного коду підсистеми. Розробка програмного коду підсистеми включала розробку програмного забезпечення маніпулятора з камерами технічного зору, мікрокомп'ютера та веб-застосунка з урахуванням відомих систем управління РМ.

В підсистемі, що розроблена, застосовується мова Python. Для веб-застосунку було обрано середовище розробки WebStorm від JetBrains. Так як веб-застосунок є одним із центральних аспектів цієї розробки, для забезпечення таких можливостей, як підтримка бази даних, аутентифікація користувачів,

обробка форм, інтегрування з іншими інструментами та бібліотеками Python, мінімалістичний дизайн та проста у використанні, для створення нього було обрано фреймворк Flask.

Особливістю даної підсистеми є також те, що вона розроблена для: неавторизованих користувачів, авторизованих, експертів та адміністратора, логічні зв'язки між якими зображені на рис. 7.

Послідовність керування маніпулятором пояснюється на рис.8 .

Обговорення результатів

В роботі було проведено комплексне дослідження функціональних можливостей підсистеми дистанційного керування маніпулятором роботизованого комплексу для безпечного захоплення предмета довільної форми, технічний зір якого реалізовано на основі побудови карти глибин, а також тестування підсистеми. В процесі функціонального тестування були успішно реалізовані відповідні повідомлення, переадресації, дії маніпулятора, діалоги, користувачі. Результати тестування функціональних можливостей показані в табл. 2.

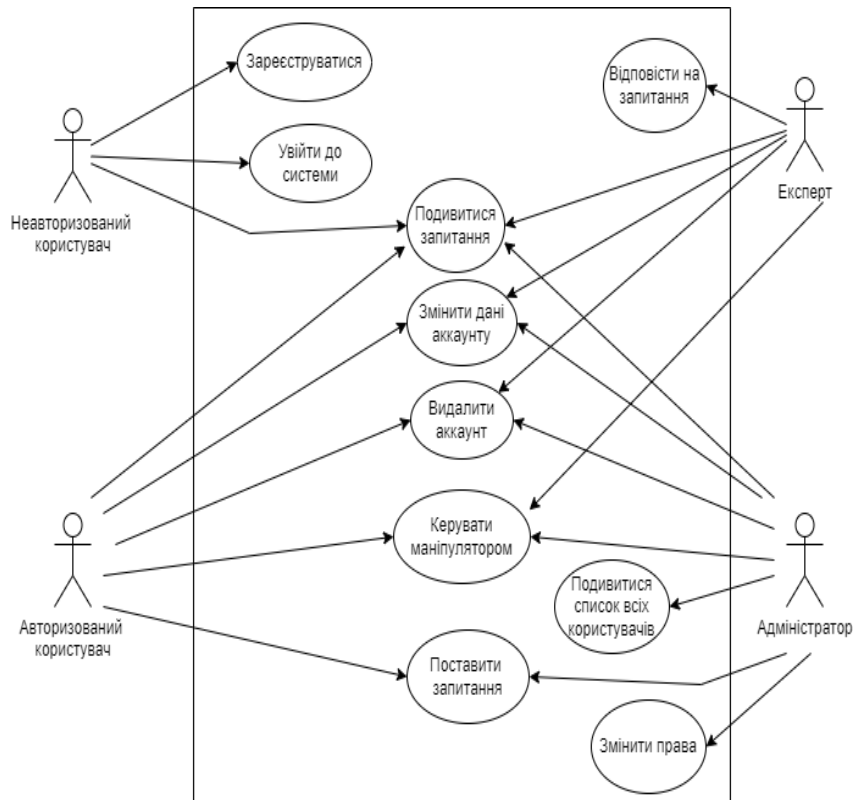


Рис. 7 – Логічні зв'язки між користувачами інтелектуальної підсистеми захвату предмета довільної форми роботом-маніпулятором

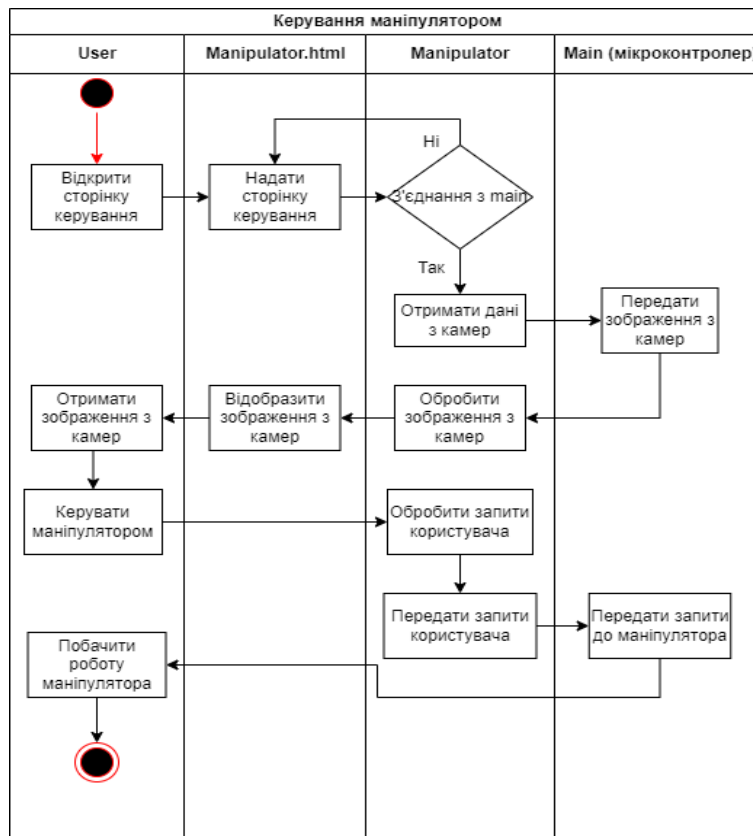


Рис.8 – Схема керування маніпулятором

Таблиця 2 – Результат тестового дослідження функціональних можливостей

№	Назва тесту	Результат тестування	Коментар
1	Тест на успіх	Є повідомлення та переадресовано на сторінку авторизації	Тест позитивний
2	Тест на успіх	Є повідомлення та переадресовано на головну сторінку	Тест позитивний
3	Тест на помилку	Повідомлення про помилку	Тест позитивний
4	Тест на правильні дії маніпулятора	Користувач бачить правильні дії маніпулятора	Тест позитивний
5	Тест на те, що маніпулятор не працює	Маніпулятор нічого не робить	Тест позитивний
6	Тест на успіх, при цьому дані акаунту змінюються	Повідомлення про успіх, дані акаунту змінюються	Тест позитивний
7	Тест на помилку, при цьому дані акаунту не змінюються	Повідомлення про помилку, дані акаунту не змінюються	Тест позитивний
8	Тест на успіх з переадресацією на сторінку реєстрації	Повідомлення про успіх, переадресація на сторінку реєстрації	Тест позитивний

Дослідження швидкодії підсистеми при одночасній роботі великого колективу користувачів (до тисячі) проводилось за допомогою програми Apache JMeter, що симулює трафік. Результати наведено в табл. 3.

Таблиця 3 – Результати дослідження швидкості відгуку веб-застосунку при роботі великого колективу користувачів

Сценарій	Час відгуку, мс
Реєстрація / Авторизація	146 / 276
Зміна даних акаунту	98
Створення питання / відповідь	165 / 183

Для модульного тестування веб-застосунку було використано Pytest-фреймворк. Цей фреймворк застосовується розробниками для тестування програмного забезпечення розробленого на мові програмування Python. Завдяки ньому можна створювати і запускати модульні тести для перевірки коректності роботи програми. Разом з тим, для коректної роботи технічного зору даного РМ потрібно використовувати камери Raspberry PI camera module, а для комунікації між камерами та мікрокомп'ютером

Raspberry PI спеціальний інтерфейс CSI (Camera Serial Interface).

Результати випробувань макету інтелектуальної підсистеми захвату предмета довільної форми роботом-маніпулятором з розробленою підсистемою дистанційного контролю порівнювались з результатами випробувань макету IPMTЗ без підсистеми дистанційного контролю [15]. З 50 випадків для захоплення предмету було зафіксовано 50 актів захоплення та переміщення предметів вільної форми маніпулятором, на відміну від 47 актів захоплення IPMTЗ без підсистеми, тобто точність захвату та переміщення предмета підвищилась. Окремі похибки в роботі підсистеми носили інструментальний характер та корегувалися підбором відповідної апаратної частини, при цьому, процес автоматичного захоплення та переміщення предмету дистанційно контролювався одним користувачем, або декількома, залежно від виробничої задачі.

Висновки

Таким чином, в роботі з урахуванням аналізу переваг та недоліків існуючих аналогів маніпулятора та маніпулятора на основі побудови карти глибин, розробленого нами раніше в роботі [15] наведено результати розробки інтелектуальної підсистеми дистанційного керування маніпулятором роботизованого комплексу для безпечного захоплення

предмета довільної форми, технічний зір якого реалізовано на основі побудови карти глибин з розширеними функціональними можливостями. Розроблені електрична схема та схема потоку даних підсистеми, логічне представлення компонентів апаратної частини підсистеми, логічні зв'язки між користувачами підсистеми, діаграма керування маніпулятором. Програмно-апаратний роботизований комплекс складається з таких основних частин, як користувач, веб-клієнт, апаратна частина, функціональний блок. Для програмного коду використані відповідні сторонні бібліотеки. В якості мікрокомп'ютера обрано Raspberry Pi 3. Проведено тестування програмного забезпечення підсистеми, функціональне та модульне тестування розроблено інтерфейс підсистеми. Проведені дослідження показали, що запропонована підсистема дистанційного керування забезпечує розширення функціональних можливостей інтелектуальної програмно-апаратної підсистеми захоплення об'єкта роботом-маніпулятором, оскільки додатково до функцій автоматичного захоплення предмета, за рахунок дистанційного коригування точності та технологічності захоплення об'єкту дистанційним управлінням зміною та коригуванням кутів нахилу сервомоторів забезпечує функції високоточного позиціонування об'єктів один щодо одного та особливо зусилля на робочому маніпуляторі для виконання точних операцій з вибухонебезпечними об'єктами та в точному машинобудуванні. Надійність захоплення об'єкту також підвищується внаслідок того, що підсистема дозволяє задіяти додатково колектив компетентних користувачів. Запропонована система підвищує ступінь автоматизації, забезпечує можливість модерування, колективного адміністрування, зворотного зв'язку з користувачами.

Список літератури

1. Joni Pajarinen, Ville Kyrki. Robotic manipulation of multiple objects as a POMDP. *Artificial Intelligence*. 2017. Vol. 247. P. 213–215. doi: 10.1016/j.artint.2015.04.001.
2. Vuk Todorović, Milan Blagojević, Nikola Nesic. Application of screw theory and its implementation in Python for controlling a Niryo One manipulator. *11th International Scientific Conference on Defensive Technologies – OTEX 2024*. 2024. doi:10.5937/OTEX24062T
3. Pu-Sheng Tsai, Ter-Feng Wu, Jen-Yang Chen, Fu-Hsing Lee. Drawing System with Dobot Magician Manipulator Based on Image Processing. *Machines*. 2021. 9(12). 302. doi: 10.3390/machines9120302.
4. Ismail Rokhim, Nur Jamiludin Ramadhan, Tazkia Rusdiana. Image Processing based UR5E Manipulator Robot Control in Pick and Place Application for Random Position and Orientation of Object. *3rd International Symposium on Material and Electrical Engineering Conference (ISMEE)*. 2021. doi: 10.1109/ISMEE54273.2021.9774170.
5. Horiashchenko S., Horiashchenko K. Khmel'nitsky National University. Technical vision system with artificial intelligence for capturing cylindrical objects by robot International scientific. *Computer systems and information*

- technologies*. 2020. № 1. P. 47–51. doi:10.54254/2755-2721/64/20241373
6. Chang Che, Haotian Zheng, Zengyi Huang, Wei Jiang, Bo Liu. Intelligent robotic control system based on computer vision technology. *Proceedings of the 6th International Conference on Computing and Data Science*. 2024. doi: 10.54254/2755-2721/64/20241373.
7. Alessandro Del Sol. *Microsoft Computer Vision APIs Distilled*. Cremona, Italy, 2018. 90 p. doi: 10.1007/978-1-4842-3342-9.
8. Кондратьев С. Б., Костенко В. Л., Ядрова М. В. Підсистема дистанційного керування розумним роботом-маніпулятором. *Матеріали XVII міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні технології і автоматизація – 2024»*. 31 жовтня – 1 листопада 2024 р., м. Одеса. ОНТУ. 2024. С. 633–636.
9. OpenCV – Open Computer Vision Library. URL: <https://opencv.org/> (accessed: 01.10.2024).
10. Stereo Camera Depth Estimation With OpenCV (Python/C++). URL: <https://learnopencv.com/depth-perception-using-stereo-camera-python-c/> (accessed: 02.10.2024).
11. Folkmar Bethmann, Thomas Luhmann. Semi-Global Matching in Object Space. *The International Archives of the Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 2015. XL-3/W2. P. 23-30. doi: 10.5194/isprsarchives-XL-3-W2-23-2015.
12. JavaCV: Java Interface to OpenCV. URL: <https://gitee.com/lubz/javacv> (accessed: 03.10.2024).
13. Introduction to SIFT (Scale Invariant Feature Transform). URL: <https://medium.com/data-breach/introduction-to-sift-scale-invariant-feature-transform-65d7f3a72d40> (accessed: 03.10.2024).
14. Kondratyev S., Kostenko V., Yadrova M. Contour method for positioning objects in mobile computer vision systems. *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: New solutions in modern technologies*. – Kharkiv: NTU "KhPI". 2021. № 2 (8). P. 62–69. doi:10.20998/2413-4295.2021.02.09.
15. Stelmakh D. E., Arsirii O. O., Yadrova M. V., Kondratyev S. B. Development of the intelligent software and hardware subsystem for capturing an object by robot manipulator. *Herald of Advanced Information. Technology*. 2020. Vol. 3, № 2. P. 42–51. doi: 10.15276/hait 01.2020.2.

References (transliterated)

1. Joni Pajarinen, Ville Kyrki. Robotic manipulation of multiple objects as a POMDP. *Artificial Intelligence*, 2017, vol. 247, pp. 213–215, doi: 10.1016/j.artint.2015.04.001.
2. Vuk Todorović, Milan Blagojević, Nikola Nesic. Application of screw theory and its implementation in Python for controlling a Niryo One manipulator. *11th International Scientific Conference on Defensive Technologies – OTEX 2024*, 2024, doi:10.5937/OTEX24062T.
3. Pu-Sheng Tsai, Ter-Feng Wu, Jen-Yang Chen, Fu-Hsing Lee. Drawing System with Dobot Magician Manipulator Based on Image Processing. *Machines*, 2021, 9(12), 302, doi: 10.3390/machines9120302.
4. Ismail Rokhim, Nur Jamiludin Ramadhan, Tazkia Rusdiana. Image Processing based UR5E Manipulator Robot Control in Pick and Place Application for Random Position and Orientation of Object. *3rd International Symposium on Material and Electrical Engineering Conference (ISMEE)*, 2021, doi:10.1109/ISMEE54273.2021.9774170.

5. Horiashchenko S., Horiashchenko K. Khmelnsky National University Technical vision system with artificial intelligence for capturing cylindrical objects by robot International scientific. *Computer systems and information technologies*, 2020, 1, pp. 47-51, doi:10.54254/2755-2721/64/20241373.
6. Chang Che, Haotian Zheng, , Zengyi Huang, Wei Jiang, Bo Liu5 Intelligent robotic control system based on computer vision technology. *Proceedings of the 6th International Conference on Computing and Data Science*, 2024, doi: 10.54254/2755-2721/64/20241373.
7. Alessandro Del Sol. *Microsoft Computer Vision APIs Distilled*. Cremona, Italy, 2018. 90 p. doi: 10.1007/978-1-4842-3342-9.
8. Kondratiev S. B., Kostenko V. L., Yadrova M. V. Pidsystema dystantsiinoho keruvannia rozumnym robotomanipulatorom. [Remote control subsystem of a smart manipulator robot]. *Materialy XVII mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii «Informatsiini tekhnologii i avtomatyzatsiia – 2024»* (31 zhovtnia - 1 lystopada 2024 r., Odesa) ONTU, 2024, pp. 633–636.
9. OpenCV – Open Computer Vision Library. Available at: <https://opencv.org/> (accessed: 01.10.2024).
10. Stereo Camera Depth Estimation With OpenCV (Python/C++). Available at: <https://learnopencv.com/depth-perception-using-stereo-camera-python-c/> (accessed: 02.10.2024).
11. Folkmar Bethmann, Thomas Luhmann. Semi-Global Matching in Object Space. *The International Archives of the Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2015, XL-3/W2, pp. 23-30, doi: 10.5194/isprsarchives-XL-3-W2-23-2015.
12. JavaCV: Java Interface to OpenCV. Available at: <https://gitee.com/lubz/javacv> (accessed: 03.10.2024).
13. Introduction to SIFT (Scale Invariant Feature Transform). Available at: <https://medium.com/data-breach/introduction-to-sift-scale-invariant-feature-transform-65d7f3a72d40> (accessed: 03.10.2024).
14. Kondratiev S. B., Kostenko V. L., Yadrova M. V. Metod konturov dlia pozytsionirovanyia ob'ektov v mobylnykh systemakh kompiuternoho zrenyia [Contour method for positioning objects in mobile computer vision systems]. *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: New solutions in modern technology*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2021, 2 (8), pp. 62–69, doi:10.20998/2413-4295.2021.02.09.
15. Stelmakh D. E., Arsirii O. O., Yadrova M. V., Kondratyev S. B.. Development of the intelligent software and hardware subsystem for capturing an object by robot manipulator. *Herald of Advanced Information Technology*, 2020, vol. 3, 2, pp. 42–51, doi: 10.15276/hait 01.2020.2.

Відомості про авторів (About authors)

Бицкало Ігор Ігорович – магістр, Національний університет «Одеська політехніка», кафедра штучного інтелекту та аналізу даних, м. Одеса, Україна; email: igor.bytskalo@gmail.com

Bytskalo Ihor Ihorovich – master's degree, National University "Odesa Polytechnic", Department of Artificial Intelligence and Data Analysis, Odesa, Ukraine; email: igor.bytskalo@gmail.com

Кондратьєв Сергій Борисович – старший викладач, Національний університет «Одеська політехніка», кафедра проєктного навчання в інформаційних технологіях; Одеса, Україна; ORCID: 0000-0003-4975-5757; e-mail: kondratiev@opu.ua

Sergey Kondratyev – major teacher, National University "Odesa Polytechnic", Department of Project Training in Information Technology, Odesa, Ukraine; ORCID: 0000-0003-4975-5757; e-mail: kondratiev@opu.ua

Костенко Віталій Леонидович – доктор технічних наук, професор, Національний університет «Одеська політехніка», професор кафедри інформаційних систем; Одеса, Україна; ORCID: 0000-0002-8922-4232; e-mail: kvl777@ukr.net

Vitaliy Kostenko – doctor of Technical Sciences, Professor, National University "Odesa Polytechnic", Department of metal-cutting machines Metrology and Certification; Odesa, Ukraine; ORCID: 0000-0002-8922-4232; e-mail: kvl777@ukr.net

Ядрова Марина Василівна – кандидат технічних наук, доцент, Національний університет «Одеська політехніка», доцент кафедри інформаційних систем, Одеса, Україна; ORCID: 0000-0001-7517-496X; e-mail: yadrova@op.edu.ua

Marina Yadrova – Associate Professor, National University "Odesa Polytechnic", Department of Information Systems, Odesa, Ukraine; ORCID: 0000-0001-7517-496X; e-mail: yadrova@op.edu.ua

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Бицкало І. І., Кондратьєв С. Б., Костенко В. Л., Ядрова М. В. Дистанційна інтелектуальна підсистема керування маніпулятором робота. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». 2024. № 4 (22). С. 20-28. doi:10.20998/2413-4295.2024.04.03.

Please cite this article as:

Bytskalo I. I., Kondratyev S. B., Kostenko V. L., Yadrova M. V. Remote intelligent robot manipulator control subsystem. *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: New solutions in modern technology*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2024, no. 4(22), pp. 20–28, doi:10.20998/2413-4295.2024.04.03.

*Надійшла (received) 03.11.2024
Прийнята (accepted) 09.12.2024*