

DOI: <https://doi.org/10.15276/ict.02.2025.08>
УДК 004. 942

Розробка системи дистанційного контролю робота

Бицкало Ігор Ігорович¹⁾

Магістр каф. Штучного інтелекту та аналізу даних
igor.bytskalo@gmail.com

Кондратьєв Сергій Борисович¹⁾

Ст. викладач каф. Штучного інтелекту та аналізу даних
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4975-5757>; kondratiev@op.edu.ua

Костенко Віталій Леонидович¹⁾

Д-р техніч. наук, професор каф. Інформаційних систем
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8922-4232>; kv1777@ukr.net

Ядро́ва Марина Василівна¹⁾

Канд. техніч. наук, доцент каф. Інформаційних систем
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7517-496X>; yadrova@op.edu.ua

¹⁾ Національний університет «Одеська політехніка», пр. Шевченка, 1. Одеса, 65044, Україна

АНОТАЦІЯ

В сучасних технологіях промисловості, воєнній справі, медицині, науці, та інших галузях широко використовуються роботи з технічним зором, що складаються з механічних маніпуляторів та систем управління ними. Метою роботи є розширення функціональних можливостей системи керування роботом для безпечного захоплення предмета довільної форми. Для досягнення мети була спроектована апаратно-програмна система віддаленого керування,

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. Розробка програмного коду системи включала розробку програмного забезпечення маніпулятора з камерами технічного зору, мікрокомп'ютера та веб-застосунка з урахуванням відомих систем управління. В підсистемі, що розроблена, застосовується мова Python. Для веб-застосунку було обрано середовище розробки WebStorm від JetBrains та фреймворк Flask.

Функціональна частина розробленої системи 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, а також задіювати колектив компетентних неавторизованих користувачів, авторизованих користувачів, експертів та адміністраторів. Дослідження швидкодії підсистеми при одночасній роботі великого колективу користувачів (до тисячі) проводилось за допомогою програми Apache JMeter. Проведено також тестування програмного забезпечення системи, функціональне та модульне тестування, розроблено інтерфейс системи.

В процесі функціонального тестування були успішно реалізовані відповідні повідомлення, переадресації, дії маніпулятора та взаємодію з користувачами. Для модульного тестування веб-застосунку було використано Pytest-фреймворк.

Ключові слова: : система; робот; мікрокомп'ютер; функціональні можливості; віддалене керування, веб-застосунок

Актуальність. Мобільність, оптимальні габарити, експлуатаційна доступність та надійність, швидкість налаштування, варіативність рухів забезпечують можливість використання роботів (Р) як зручний інструмент для автоматичного сортування або збірки об'єктів, тестування, маніпуляції об'єктами та навіть керування іншими пристроями. Однак існує досить мала кількість розробок, які забезпечують повну дистанційність Р та дають можливість операторам керувати і переміщувати об'єкти на відстані безпосередньо з контрольного центру за допомогою відеокамер, різноманітних датчиків та механізмів управління. Внаслідок цього розширюються експлуатаційні можливості Р, тому розробки підсистем дистанційного керування роботами достатньо актуальні.

Результати порівнювального аналізу деяких базових експлуатаційних характеристик таких відомих роботів з дистанційним керуванням, як маніпулятори типу Niryo One [1], Dobot Magician [2], Universal Robots UR5 [3] наведено в таблиці.

Однак, при використанні таких роботів існує можливість зниження точного захоплення невідомих раніше об'єктів внаслідок не завжди коректного визначення форми та габаритів предмета, що погіршує їх експлуатаційні можливості.

This is an open access article under the CC BY license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.uk>)

Таблиця. Порівняльні характеристики роботів

Характеристика	Niryo One	Dobot Magician	Universal Robots UR5
Ціна	1999 USD	1499 USD	35 000 USD
Мобільність	Так	Так	Ні
Легкість у використанні	Так	Так	Ні
Швидкість налаштування	Швидко	Швидко	Довго
Варіативність рухів	6 рухів	4 рухи	6 рухів
Мала ймовірність втрати даних	Так	Так	Так
Дистанційність	Так	Так	Так
Наявність технічного зору	Ні	Ні	Ні

З метою підвищення точності захоплення попередньо невідомого предмету нами раніше було розроблено та описано інтелектуальну програмно-апаратну підсистему захоплення предмета інтелектуальним роботом-маніпулятором з технічним зором (IPMTЗ) на основі операцій побудови глибинної карти [4] по отриманому стереозображенню [5]. Процес включав також визначення відстані від робота-маніпулятора до всіх точок предмета, контуру предмета, точки захвату предмета і уточнення положення робота-маніпулятора, а також визначення ступеня захоплення роботом-маніпулятором предмета та руху робота-маніпулятора по захопленню предмета в визначеному місці.

Разом із тим, дистанційне керування роботом IPMTЗ на основі операцій побудови глибинної карти по отриманому стереозображенню відсутнє, що знижує функціональні можливості такого пристрою, надійність виконання завдання та точність захоплення предмета.

Мета дослідження. Враховуючи вищесказане, в роботі поставлена мета розширення функціональних можливостей системи дистанційного контролю робота та підвищення точності захоплення об'єкту шляхом її подальшого вдосконалення.

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 робота, загальна структурна схема якої приведена на рисунку.

Система включає: апаратну, функціональну, програмну частини, користувача, веб-застосунок.

Для компоновки підсистеми була розроблена електрична схема з'єднання основних компонентів апаратної частини системи, а саме, мікрокомп'ютера, серводвигунів маніпулятора, відеокамер.



Рисунок. Загальна структура апаратно-програмної системи для дистанційного контролю робота

Апаратна частина системи розроблена на основі апаратної підсистеми [5] із використанням мікрокомп'ютера Raspberry Pi, плати Stereo Pi, маніпулятора, серводвигунів. Вісім сервоприводів у маніпуляторі, (що відповідають за виконання восьми дій), було підключено за допомогою плати Adafruit PCA9865. Також дротовим методом до мікрокомп'ютера підключено Raspberry Pi camera module.

Робот контролюється за допомогою пульта дистанційного контролю.

Функціональна частина розробленої системи здійснює модерування, колективне адміністрування, зворотній зв'язок із користувачами системи, оперативне програмування мікрокомп'ютера, підключення до локальної мережі або Інтернету. Особливістю функціональної частини є забезпечення можливості віддалено, із використанням веб-застосунка, змінювати та корегувати точність роботи серводвигунів, а також задіяти колектив компетентних користувачів, для чого передбачено користувачі чотирьох типів: неавторизований користувач, авторизований користувач, експерт та адміністратор.

Виходячи із можливості підтримки відеокамери, наявності операційної системи та високої потужності, для керування маніпулятором було обрано мікроконтролер Raspberry Pi 3. До того ж він має підтримку порівняно легкої мови програмування Python з усіма необхідними бібліотеками для реалізації технічного зору.

Програмне забезпечення мікрокомп'ютера розроблено у середовищі Py Charm, оскільки Py Charm – це інтегрована середовище розробки (IDE) для мови програмування Python та надає широкий набір функцій, інструментів та можливостей для IPMT3. Py Charm має функції рефакторинга коду, автоматичного доповнення коду, інтеграцію з системами контролю версій, відладчик та багато інших корисних інструментів. Крім того, Py Charm підтримує різноманітні фреймворки для створення веб-додатків, таких як Django, Flask та FastAPI. Py Charm доступний як безкоштовна версія Community Edition на таких платформах як Windows, Linux та MacOS.

З метою забезпечення дистанційності, підключення до локальної мережі або Інтернету в мікрокомп'ютері RaspberryPi 3 використовувались WI-FI та Ethernet інтерфейси, HTTP. Для з'єднання мікрокомп'ютера з роборукою було використано плату Adafruit PCA9685.

Розробка програмного коду системи включала розробку програмного забезпечення маніпулятора з камерами технічного зору, мікрокомп'ютера та веб-застосунка. Серверна частини виконана на мові програмування Python. Для веб-застосунку було вибрано середовище розробки WebStrom від JetBrains, оскільки дане середовище добре адаптоване для тестування програм, що значно полегшує проведення тестів під час розробки. Так як

веб-застосунок є одним і 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 простота у використанні, для створення нього було обрано фреймворк Flask. Flask також надає багато розширень, які полегшують розробку і додають новий функціонал та можливості.

Особливістю даної системи є те, що вона розроблена для користувачів чотирьох типів: неавторизований користувач, авторизований користувач, експерт та адміністратор.

Враховуючи необхідність роботи колективом компетентних користувачів, клієнтську частину розроблено на основі таких технологій як HTML, CSS та Javascript.

В роботі з камерами було використано офіційну бібліотеку Pi camera.

Для роботи з системою користувач надсилає запит на користування маніпулятором робота, після чого камери сканують робочий простір та відправляють дані до веб-застосунку (рисунок). Веб-застосунок надсилає запит до бази даних та отримує необхідні дані. У свою чергу після обробки даних, веб-застосунок відправляє їх до мікрокомп'ютера, який обробляє ці дані та надсилає до маніпулятора робота.

Під час підтвердження достовірності результатів даних досліджень, було проведено комплексне тестування підсистеми.

Результати випробувань макету робота з розробленою системою дистанційного контролю порівнювались з результатами випробувань макету IPMT3 без системи [6]. З 50-ти спроб захоплення предмету було зафіксовано 50 актів захоплення та переміщення предметів вільної форми маніпулятором, на відміну від 47 актів захоплення IPMT без підсистеми, тобто точність захвату та переміщення предмета підвищилась. Окремі похибки в роботі системи 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.

Як показали дослідження, функціональні можливості робота розширюються, оскільки додатково до функцій автоматичного захоплення предмета на основі аналізу предмета, РМ може виконувати функції дистанційного контролю захоплення предмета, а точність і надійність захоплення підвищується, оскільки дистанційний контроль роботом дозволяє видалено змінювати та корегувати кути нахилу сервомоторів, а також, при необхідності, задіяти колектив компетентних користувачів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Todorović V., Blagojević M., Nesic N. "Application of screw theory and its implementation in Python for controlling a Niryo one manipulator". *11th International Scientific Conference on Defensive Technologies – (OTEX)*. 2024. DOI: <https://doi.org/10.5937/OTEX24062T>.
2. Tsai P.-S., Wu T.-F., Chen J.-Y., Lee F.-H. "Drawing System with Dobot Magician Manipulator Based on Image Processing". *Machines*. 2021; 9 (12): 302. DOI: <https://doi.org/10.3390/machines9120302>.
3. Rokhim I., Ramadhan N. J., Rusdiana T. "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: <https://doi.org/10.1109/ISMEE54273.2021.9774170>.
4. Кондратьєв С. Б., Костенко В. Л., Ядрова М. В. «Метод контурів для позиціонування об'єктів у мобільних системах комп'ютерного зору». *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. НТУ «ХПІ». Харків: Україна. 2021; 2 (8): 62–69. DOI: <https://doi.org/10.20998/2413-4295.2021.02.09>.
5. 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; 3 (2): 42–51. DOI: <https://doi.org/10.15276/hait.01.2020.2>.

6. 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*. НТУ «ХПІ». Харків: Україна. 2024; 4 (22): 20–28. DOI: <https://doi.org/10.20998/2413-4295.2024.04.03>.

DOI: <https://doi.org/10.15276/ict.02.2025.08>

UDC 004. 942

Development of the robot remote control system

Ihor I. Bytskalo¹⁾

Master's Degree of the Department of Artificial Intelligence and Data Analysis
igor.bytskalo@gmail.com

Sergey B. Kondratyev¹⁾

Senior Lecturer of the Department of Project Training in Information Technology
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4975-5757>; kondratiev@opu.ua

Vitaliy L. Kostenko¹⁾

Doctor of Engineering Sciences, Professor of the Department of Information Systems
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8922-4232>; kvl777@ukr.net

Marina V. Yadrova¹⁾

Associate Professor of the Department of Information Systems
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7517-496X>; yadrova@op.edu.ua

¹⁾ Odesa Polytechnic National University, 1, Shevchenko Ave. Odesa, 65044, Ukraine

ABSTRACT

In modern technologies across industry, military affairs, medicine, science, and other fields, robot, equipped with machine vision which consist of mechanical manipulators and their control systems are widely used. The aim of this work is to expand the functional capabilities of the control system of the robot to safely grasp an object of arbitrary shape. To achieve this goal, a hardware–software subsystem, has been developed.

The software and hardware complex consists of such main parts as the user, the web client, the devices part, functional block. Appropriate third-party libraries are used for the program code. The hardware part of the system was developed using a Raspberry Pi microcomputer, a Stereo Pi board, a board for connecting eight servomotors (Adafruit PCA9865), and Raspberry Pi camera modules. The cameras are connected to the microcomputer via a wired connection. The development of the system's software included creating the manipulator's software with machine vision cameras, the microcomputer, and a web application, taking into account established control systems. The Python language is used throughout the developed system. For the web application, the WebStorm development environment from JetBrains and the Flask framework were chosen.

The functional part of the developed system performs tasks such as moderation, collective administration, user feedback, real-time programming of the microcomputer, and connecting to a local network or the Internet. A distinctive feature of this functional part is that it enables, remotely via the web application, the adjustment and fine-tuning servomotor precision. It also allows for the involvement of a team of competent users – including both unauthorized and authorized users, experts, and administrators. Performance testing of the system, under the simultaneous operation of a large group of users (up to a thousand), was conducted using Apache JMeter.

In addition, the system's software was tested; both functional and module testing were carried out on the developed interface. The study of the speed of the system during the simultaneous work of a large group of users (up to a thousand) was carried out using the Apache JMeter program. During functional testing, appropriate messages, redirections, manipulator actions, dialogues, and user interactions were successfully implemented. For module testing of the web application, the Pytest framework was used.

Keywords: System; robotic; microcomputer; functional capabilities; remote control, web application