

Ж.А. Мусилимов¹, Е.А. Бахтиярова², И. Мухаммад¹

¹Казахский Британский Технический Университет, Алмата, Казахстан

²Международный университет информационных технологий, Алмата, Казахстан

E-mail: zhandauletmusilimovaltin@gmail.com

РАЗРАБОТКА РОБОТА – МАНИПУЛЯТОРА С ДИСТАНЦИОННЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Аннотация. В настоящее время актуальным остается задача автоматизации сборочных процессов, требующих высокую точность. В статье разработана и спроектирована конструкция 3х осевого электромеханического робота манипулятора, который имеет небольшие габариты, управляемый с помощью мобильного приложения, созданный на базе Android. Для большего маневрирования применены датчики положения в пространстве или гироскопы, а также применён ПИД регулятор. Разработана модель робота руки в программной среде SolidWorks и разработан алгоритм работы. Для меньшего расхода энергии использован протокол передачи данных BLE. Проведена апробация в лаборатории робототехники и мехатроники АО «МУИТ», при поддержке кафедры РЭТ.

Ключевые слова. Робот – манипулятор, ROS, Arduino, мобильное приложение, SolidWorks.

Введение.

В настоящее время робототехника все чаще находит применение в сферах, которые возможно автоматизировать. При этом задается определенный сценарий для работы, которому подчиняется робот. Но существуют процессы, которые сложно автоматизировать, но возможно работать при помощи роботов[8]. К примеру, при обучении, где надо показать все процессы работы роботов, в медицине, при работе с больными людьми, чтобы уменьшить риск заражения медицинских работников. Особенно это стало актуальным после КОВИД19, когда многие мед. Работники были заражены же от больных, что обсуждается в статьях [4][5]. Для изучения робототехники не мало важную роль играет экономическая сторона. В статьях [1][2][3] обсуждалось уменьшение затрат на рабочую силу и увеличение времени работы. Для эффективного использования роботов, нужно учитывать, что от гибкости управления зависит результат работы. Для этого нужно разработать высокоточный метод, имеющий отзывчивое управление. При этом важно следить за безопасностью человека. Для решения данной проблемы можно использовать Bluetooth и Wifi сети, что показано в статьях [5][12][14]. В статье [15] задавалась свобода управления при помощи увеличение степеней свободы(DoF), но при этом не демонстрирует конкретных приложений разработанной модели. В статьях [7][11][15] присутствуют результаты симуляции, но отсутствуют данные о реальных экспериментах, что снижает достоверность и практическую значимость предлагаемого метода.

В данной статье разработана и спроектирована модель робота манипулятора с дистанционным управлением использующий ПИД регулятор для точного положения в пространстве. Для точного управления робот рука будет иметь датчики положения для определения позиции робота в пространстве, а также дистанционно управляться через мобильное приложение. Дистанционная связь будет осуществляться через Bluetooth. Все методы и расчеты, применённые в данном исследовании, описаны в следующем разделе.

Результат и анализ вы можете увидеть в разделе «Результаты». В разделе «Заключения» расписаны выводы и некоторые будущие работы.

Материалы и методы.

Робот рука называется так, потому что, выполняет функции человеческой руки. В ее основе есть несколько сервоприводов, которые дают ей степени свободы. Они позволяют роботу изменять свою позицию в пространстве. Для этого достаточно воспользоваться 4 сервоприводами, размещение которых показана на рисунке 1.

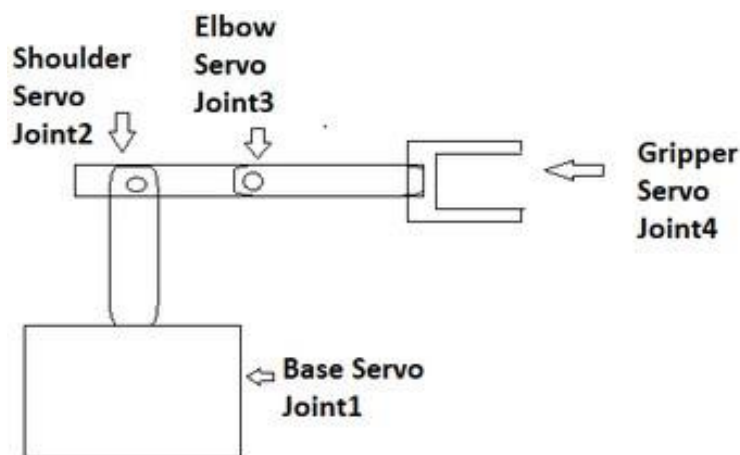


Рисунок 1 - Структура робота манипулятора

Процесс выбора сервоприводов является важной частью проектирования. Сам выбор зависит от крутящего момента и скорости двигателя. Это выходит из расчета силы соединения, которое гарантирует, что выбранный двигатель может помочь роботизированной руке вместе с его полезной нагрузкой. Крутящий момент можно получить из произведения расстояния плеча рычага и силы, которая стремится к вращению [16].

$$T = F \cdot l, \quad (1)$$

где T- крутящийся момент, F- сила, которая стремится к вращению, l- расстояние плеча рычага.

Дальнейшие расчеты велись при сценарии, где робот рука полностью вытянута. Исходные данные приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Исходные данные

Характеристика	Робот рука
Степени свободы	3
Число соединений	3
Число связей	4
Угол поворота 1 соединения	От 0 до 180
Угол поворота 2 соединения	От 0 до 180
Угол поворота 3 соединения	От 0 до 180
Длина вытянутой руки	380 мм
Полезная нагрузка(Максимум)	0.250 кг

Теперь расчет для крутящегося момента каждого рычага. Исходя из этих значений будут выбраны сервомоторы. Для начала нарисована диаграмма, где указаны все переменные, что будет использоваться для расчета (L – длина, W – вес) :

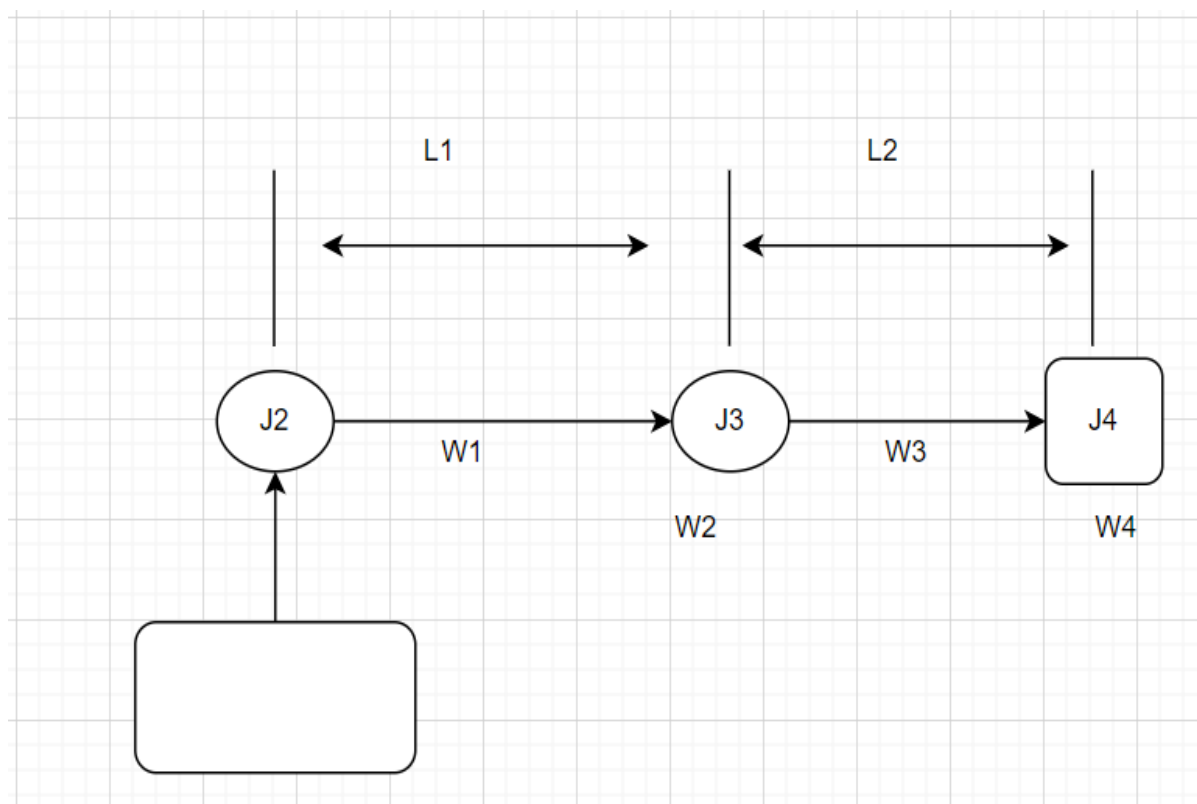


Рисунок 2 – Диаграмма робота руки

Расчет крутящегося момента для второго соединения:

$$T_2 = (W_4(L_1 + L_2)) + W_3(L_2/2 + L_1) + (W_2 * L_1) + (W_1 * L_1/2). \quad (2)$$

Расчет крутящегося момента для третьего соединения:

$$T_3 = W_4 * L_2 + (W_2 * L_2/2). \quad (3)$$

Далее выбраны подходящие сервоприводы (таблица 2):

Таблица 2 - Выбор сервоприводов

Joint	Servo driver	Torque
Base (Joint 1)	MG995	10 kg/cm
Shoulder (Joint 2)	GS5515MG	15 kg/cm
Elbow (Joint 3)	RK11204	13.5 kg/cm

После всех расчётов для размеров робота руки, начата работа по созданию модели робота. Модель робота была визуализирована в программной среде SolidWorks, которое можно увидеть на рисунке 3.



Рисунок 3 – Модель робота руки

Второй подзадачей являлось создание удобного управления для робота руки. Для этого, нужно сначала собрать электронную схему, где будут применены все нужные для этого датчики, такие как датчики положения, для более плавной траектории, а также микроконтроллер, который будет выполнять все функции. Поэтому второй шаг является начертить и собрать электронную схему, проверить её на работоспособность. На рисунке 3 разработан блок диаграммы управляющей части данного робота.

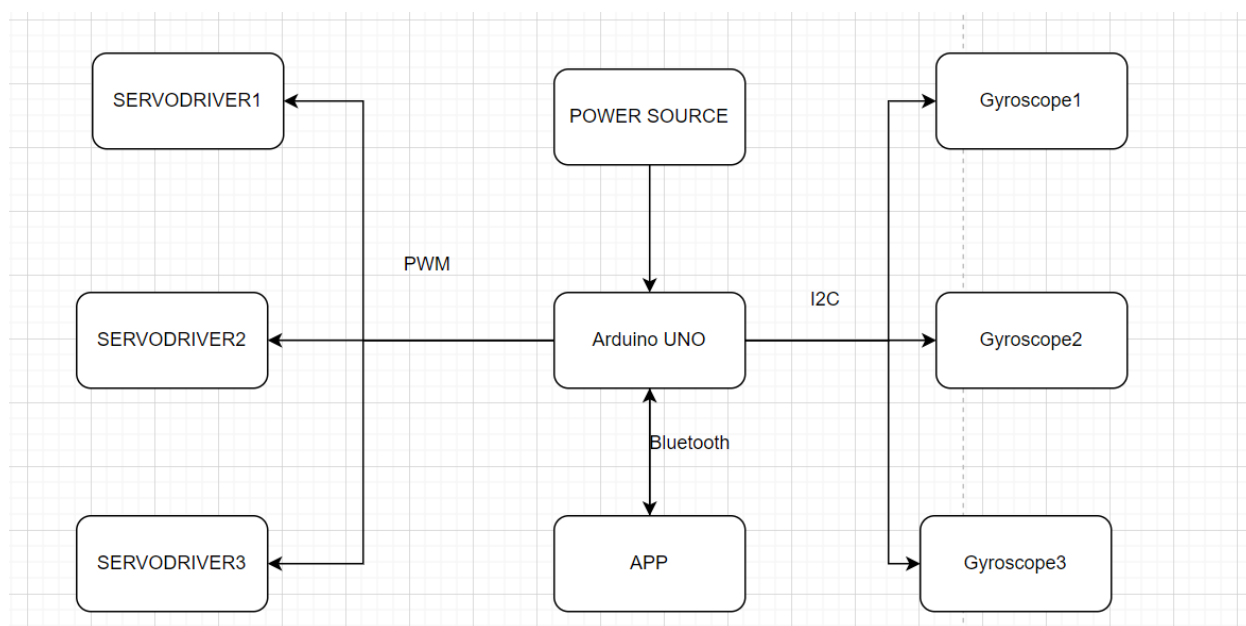


Рисунок 4 – Блок диаграмма управляющей части

Серводрайвера будут управляться с помощью сигнала PWM(Pulse width modulation). Данный сигнал может менять свою скважность с течением времени, что дает управлять серводрайверами точнее. Для управления датчиком положения использовался датчик GY-521, с которым Ардуино связывался через I2C. I2C это протокол синхронной связи, позволяющий обмениваться сигналами микроконтроллеров и устройствами.

Для обеспечения автоматической регулировки построена система ПИД регулятора на базе Arduino UNO[18][19]. Система работать будет таким образом, что будет

сравниваться реальное и желаемое значение, а с гироскопов будет получена реальная позиция, что является обратной связью. Для этого рассчитаны коэффициенты по формуле 2:

$$OUT = P * kP + I * kI + D * kD, \quad (3)$$

где OUT – управляющий сигнал на выходе, P - пропорциональная составляющая, kP – коэффициент пропорциональной составляющей, I – интегральная составляющая, kI - коэффициент интегральной составляющей, D- дифференциальная составляющая, kD – коэффициент дифференциальной составляющей.

Следующим шагом является создание приложения для связи между пользователем и робот рукой. Для данного проекта был выбран протокол передачи данных Bluetooth Low Energy. Выбор пал на данный протокол, ввиду возможности низкого потребления в течение долгого времени, простого соединения и совместимости с различными платформами. Одним из наиболее популярных блютуз модулей является HC-06, являющийся простым в использовании и конфигурации модулем с помощью AT команд.

После настройки аппаратной части, начата работа с приложением. Для этого использовано приложение, находящимся в открытом доступе [17]. Как отмечалось в статье [20], оно создано на платформе App Inventor, которая является бесплатная унифицированная среда разработки веб-приложений, разработанная Google, а затем разработанная MIT. Мобильное приложение разработано и создано путем выбора компонентов в разработке конструкции и использования языка визуальных блоков для поведения программного приложения. Здесь критерий проектирования содержит множество переменных, таких как шаг запястья, поворот запястья, локоть, плечо, хват, талия и скорость руки. В данном приложении дана полная возможность управления для робота руки, причем интерфейс дает сразу понять, какой частью робота мы двигаем.

Алгоритм его применения, следующий: робот при запуске будет ждать выбор пользователя, каким режимом он будет управлять робот рукой: автоматизированный или ручной. При ручном робот рука двигается по командам пользователя. Отличие от автоматизированного режима в том, что пользователь должен задать траекторию, по которой должен двигаться робот (рисунок 5).

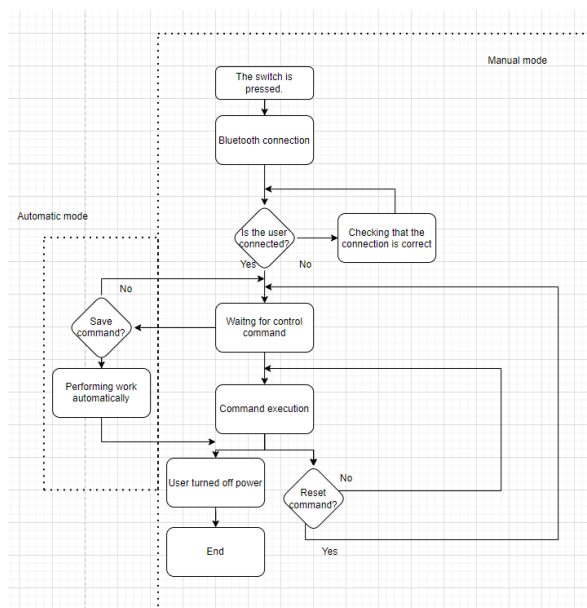


Рисунок 5 – Алгоритм работы робота манипулятора

Результаты.

Перед печатью воспользуемся системой для симуляции и программирования роботов – ROS(Robotic Operation System). Данная система имеет важный инструмент для нашего исследования, а именно среда симулирования Gazebo. В данной среде симулирования будут проведены эксперименты работоспособности программного обеспечения, структуры модели робота манипулятора (рисунок 6).

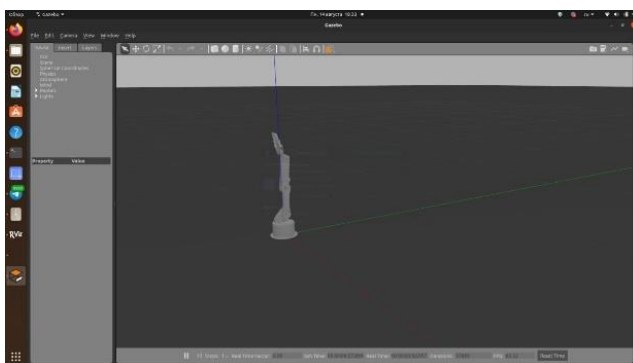


Рисунок 6 – Симуляция в Gazebo

Для визуализации активных топиков в ROS, воспользуемся командой `rqt graph` (рисунок 7).

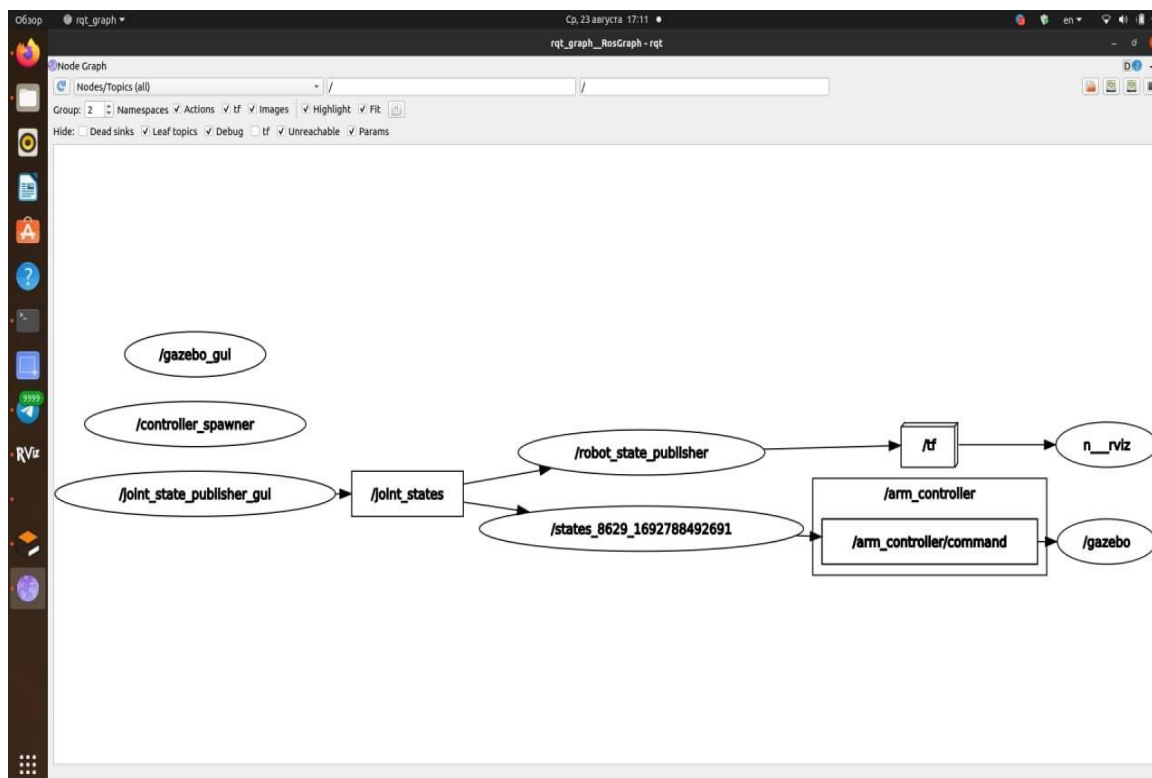


Рисунок 7 – Активные топики в ROS

Результаты симуляции показали хорошие результаты, из-за чего следом напечатана модель робота, указанная на рисунке 3. На рисунке 8 представлена распечатанная модель робота манипулятора.



Рисунок 8 –Распечатанная модель робота

После печати модели робота манипулятора, проведены реальные эксперименты, в ходе которых были рассчитаны реальные углы поворота, приведенные в таблице 3.

Таблица 3 – углы поворотов робота манипулятора

№	Часть робота	Максимальный угол
1	Талия	180
2	Плечо	65
3	Локоть	85
4	Запястье	180
5	Захват	90

Обсуждение.

Результаты, полученные на основе реальных тестов с роботом манипулятором, свидетельствуют о успешности разработки данной модели. Логика управления показала, что ПИД регулятор, имея связь через датчик положения показывает отличные показатели, а выбор серводвигателей из расчетов был полностью верным. Интерфейс, используемый пользователем, является больше графическим, чем текстовым, отчего добавляет легкости к управлению через Bluetooth. Проведенные уроки с роботом манипулятором с учениками 3 курса РЭТ института АО «МУИТ», показали большое заинтересованность в изучение робототехники. Одним из преимуществ данной модели является то, что корпус робота можно полностью распечатать на 3Д принтере, что дает каждому желающему возможность в разработке и модернизирование данного робота.

Разработка математической модели робота предполагает выявление ключевых параметров, влияющих на процесс управления робота в разных условиях. Хотя модель и может показаться упрощенной по сравнению с другими нынешними моделями роботов – манипуляторов, преимущество заключается именно в стратегии управления им, являясь основой.

Заключение.

По итогам данной работы цель исследования была достигнута. Разработано ПО для беспроводного соединения между пользователем и роботом манипулятором. Реализованы функции робот – руки, при этом уменьшена финансовая нагрузка для производства. Проведены тест драйвы, при котором проверялась возможность системы захвата робота, работа ПИД регулятора и работа датчиков положения. В следующих работах данные наработки будут использованы для создания мобильного робота с роботом манипулятором.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] C. Tang, K. Huang, and Q. Liu, “Robots and skill-biased development in employment structure: Evidence from china,” *Economics Letters*, vol. 205, 8 2021.
- [2] G. J. de Vries, E. Gentile, S. Miroudot, and K. M. Wacker, “The rise of robots and the fall of routine jobs,” *Labour Economics*, vol. 66, p. 101885, 10 2020.
- [3] M. T. Ballestar, E. Camina, Angel Diaz-Chao, and J. Torrent-Sellens, “Productivity and employment effects of digital complementarities,” *Journal of Innovation Knowledge*, vol. 6, pp. 177–190, 7 2021.
- [4] N. Krishna, R. N. Sree, R. Sajith, S. K. Ramji, and S. Ramesh, “Pillbot: Non-contact medicine dispensing system for patients in quarantine,” 2021, pp. 97–100.
- [5] H. Kareemullah, D. Najumnissa, M. S. Shajahan, M. Abhineshjayram, V. Mohan, and S. A. Sheerin, “Robotic arm controlled using iot application,” *Computers and Electrical Engineering*, vol. 105, p. 108539, 1 2023.
- [6] T. T. Tung, N. V. Tinh, D. T. P. Thao, and T. V. Minh, “Development of a prototype 6 degree of freedom robot arm,” *Results in Engineering*, vol. 18, p. 101049, 6 2023.
- [7] S. M. D. Almeida and V. Lulu, “Design and simulation of micro servo robot in robot operating system.” *Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.*, 12 2020, pp. 91–95.
- [8] G. Starke, D. Hahn, D. G. P. Yanez, and L. M. U. Leal, “Self- organization and self-coordination in welding automation with collaborating teams of industrial robots,” *Machines*, vol. 4, 12 2016.
- [9] Z. B. Rivera, M. C. D. Simone, and D. Guida, “Unmanned ground vehicle modelling in gazebo/ros-based environments,” *Machines*, vol. 7, 6 2019.
- [10] A. O. Prasad, P. Mishra, U. Jain, A. Pandey, A. Sinha, A. S. Yadav, R. Kumar, A. Sharma, G. Kumar, K. H. Salem, A. Sharma, and A. K. Dixit, “Design and development of software stack of an autonomous vehicle using robot operating system,” *Robotics and Autonomous Systems*, vol. 161, 3 2023.
- [11] B. You, S.-Y. Liu, T.-Y. Zhang, Z.-H. Pang, and X. Li, “Design of collaborative transportation system via multiple mobile manipulators,” 2020.
- [12] T. Wang, Y. Zhao, L. Zhu, G. Liu, Z. Ma, and J. Zheng, “Design of robot system for radioactive source detection based on ros.” *Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.*, 11 2020, pp. 1397–1400.
- [13] P. Bora and V. Nandi, “Low cost shadow function based articulated robotic arm,” in *2015 International Conference on Energy, Power and Environment: Towards Sustainable Growth (ICEPE)*, 2015, pp. 1–4.

[14] B. Sathyamoorthy, S. Umapathy, and T. Rajalakshmi, “Automatic robotic arm based on bluetooth regulated for progressed surgical task,” in 2022 International Conference on Industry 4.0 Technology (I4Tech), 2022, pp. 1–4.

[15] Z. Huang, F. Li, and L. Xu, “Modeling and simulation of 6 dof robotic arm based on gazebo,” in 2020 6th International Conference on Control, Automation and Robotics (ICCAR), 2020, pp. 319–323.

[16] Pronadeep Bora and Vishawajit Nandi, “Low Cost Shadow Function based Articulated Robotic Arm” International Conference on Energy, Power and Environment (ICEPE): Towards Sustainable Growth (2015)

[17] <https://howtomechatronics.com/tutorials/arduino/diy-arduino-robot-arm-with-smartphone-control/>

[18] <https://alexgyver.ru/lessons/pid/>

[19] <https://github.com/M07sh/Robotic-arm-forward-kinematics-with-PID-controller>

[20] Susmitsingh Pawade, Bharat Bhalerao, Mr. Prashant Pal, “ROBOT ARM WITH SMARTPHONE CONTROL” International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)

Жандаулет Мусилимов, магистрант, Қазақ Британ техникалық университеті, Алматы, Қазақстан, zhandauletmusilimovaltin@gmail.com

Елена Бахтиярова, т.ғ.к., доцент, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті доценті, y.bakhtiyarova@iitu.edu.kz

Ильяс Мухаммад, PhD, Қазақ Британ техникалық университеті, Алматы, Қазақстан, m.ilyas@kbtu.kz

РОБОТ – ҚАШЫҚТАН БАСҚАРАТЫН МАНИПУЛЯТОРДЫ ӘЗІРЛЕУ

Аңдатпа. Қазіргі уақытта жоғары дәлдікті талап ететін құрастыру процестерін автоматтандыру міндеті өзекті болып қала береді. Мақалада Android негізінде жасалған мобильді қосымшаның көмегімен басқарылатын шағын өлшемдері бар 3 осьті электромеханикалық робот-манипулятордың дизайны әзірленді және жобаланды. Үлкен маневрлік үшін кеңістіктегі позиция сенсорлары немесе гироскоптар пайдаланылады, сонымен қатар PID контроллері қолданылады. SolidWorks бағдарламалық жасақтама ортасында роботты қолдың үлгісі жасалды және жұмыс алгоритмі жасалды. Қуатты аз тұтыну үшін BLE деректерді беру протоколы пайдаланылады. Тестілеу электронды технологиялар кафедрасының қолдауымен «МУИТ» АҚ робототехника және мехатроника зертханасында өткізілді.

Түйінді сөздер. Робот-манипулятор, ROS, Arduino, мобильді қосымша, SolidWorks.

Zhandaulet Musilimov, master's student, Kazakh British Technical University, Almaty, Kazakhstan, zhandauletmusilimovaltin@gmail.com

Elena Bakhtiyarova, candidate of technical sciences, docent, Associate Professor, International University of Information Technology, y.bakhtiyarova@iitu.edu.kz

Ilyas Muhammad, PhD, senior lecturer, Kazakh British Technical University, Almaty, Kazakhstan, m.ilyas@kbtu.kz

DEVELOPMENT OF ROBOT - REMOTE CONTROLLED MANIPULATOR

Abstract. Currently, the task of automating assembly processes that require high precision remains relevant. The article developed and designed the design of a 3-axis

electromechanical robotic manipulator, which has small dimensions, controlled using a mobile application, created on the basis of Android. For greater maneuverability, position sensors in space or gyroscopes are used, and a PID controller is also used. A model of a robotic arm was developed in the SolidWorks software environment and an operating algorithm was developed. For lower energy consumption, the BLE data transmission protocol is used. Testing was carried out in the laboratory of robotics and mechatronics of JSC “MUIT”, with the support of the Department of Electronic Technologies.

Keywords. Robotic manipulator, ROS, Arduino, mobile application, SolidWorks.

Получено: 26 апрель 2024 г.; принято: 16 июнь 2024 г.