

УДК 621.86.

DOI: 10.15276/pidtt.1.65.2021.07

Михайлов Є. П., Джамлі Фаєз

Державний університет «Одеська політехніка»

СТЕНД ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ АЛГОРИТМІВ КЕРУВАННЯ РОБОТА-МАНІПУЛЯТОРА

Анотація. *Наведені результати розробки робота-маніпулятора, призначеного для дослідження алгоритмів керування переміщенням робота на основі комп'ютерних розрахунків, за допомогою яких здійснюється перерахунок переміщення робочого органу маніпулятора в переміщення окремих ланок. Наведена кінематична модель та розрахункова схема переміщення окремих ланок, описана структура та склад робота. Розглянуті питання програмної реалізації алгоритмів керування за допомогою контролера Arduino. Наведені приклади використання стенда в лабораторних роботах.*

Ключові слова: *робот-маніпулятор, кінематична схема, комп'ютерні розрахунки, програмне керування, система керування, системи координат, сервопривод.*

Вступ

Сучасні промислові системи широко використовують автоматизовані маніпулятори, які є типовим прикладом обладнання на основі мехатронних пристроїв, тому дуже важливо здійснити навчання фахівців, які здатні здійснити проектування, виготовлення та налагодження роботехнічних пристроїв на основі автоматизованих маніпуляторів.

Вирішити задачу забезпечення поєднання в освітньому процесі освітньої, наукової та інноваційної діяльності дозволяє використання в освітньому процесі учбового обладнання у вигляді стендів, що за своїми можливостями наближається до реальних виробничих систем. Підвищення якості навчання можливо здійснити шляхом залучення здобувачів освіти до проектування та виготовлення лабораторних стендів, що дають можливість здійснити дослідження окремих компонент, що входять до складу робототехнічних та підйомно-транспортних систем.

Тому були розглянуті питання створення лабораторного стенду для дослідження алгоритмів керування рухом маніпулятора на основі комп'ютерних методів розрахунку, які здійснюють перерахунок переміщення робочого органу маніпулятора в переміщення окремих ланок за допомогою математичних функцій, що використовуються для вирішення прямої та зворотної задач кінематики.

1. Аналіз існуючих засобів дослідження маніпуляційних систем

Для дослідження маніпуляційних систем часто використовують стенди, які представляють собою діючі макети маніпуляторів, або зменшені зразки промислових роботів [1-7].

На рис. 1 наведений діючий макет промислового 3-D робота фірми fischertechnik з вакуумним та затискним захоплюючим пристроєм фірми [2-3], у склад якого входять 4 двигуна, контактні датчики та контролер, що здійснює керування роботом.

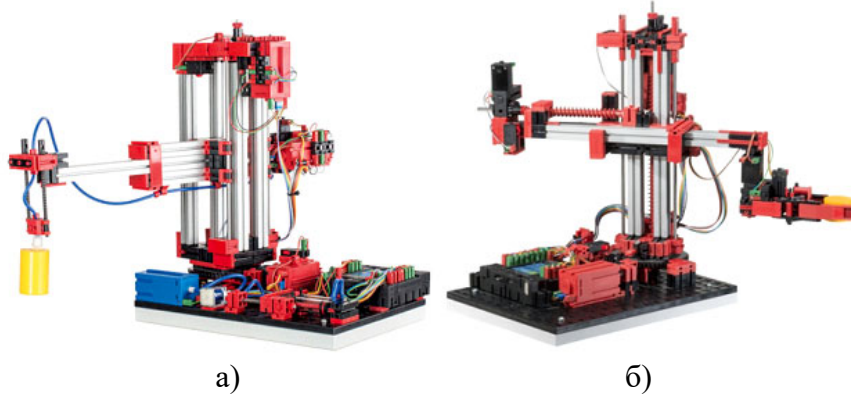


Рисунок - 1. Діючі макети промислового 3-D робота з вакуумним (а) та затискним (б) захоплюючим пристроєм

На рис. 2 наведені мехатронні системи навчання, включаючи стенди промислових роботів, пропонує фірма Festo Didactic [4].

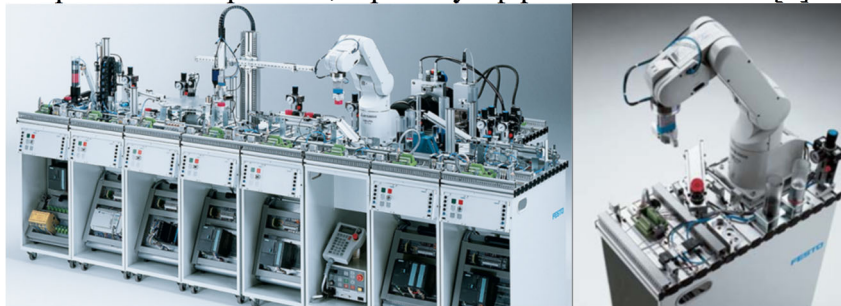


Рисунок - 2. Мехатронні системи навчання фірми Festo Didactic

Системи навчання фірми Festo Didactic будуються на основі промислових систем, або систем, що по своїм параметрам близькі до промислових. Так, наприклад, для керування цими системами використовують промислові контролери фірми SIEMENS.

В Інтернеті наведена велика кількість досить простих маніпуляторів, які можна використовувати для навчання, наприклад, маніпулятор 4DOF DIY MiniArm, що є розробкою Гонконгського університету для ВУЗів та технічних гуртків [5], наведений на рис. 3.



Рисунок - 3. Маніпулятор 4DOF DIY MiniArm

Для переміщення ланок маніпулятора використовуються сервоприводи SG-90, керування здійснюється за допомогою контролера Arduino Nano. Для спрощення підключення використовується модуль розширення для Arduino nano (рис. 1.3, а) або плата розширення з чотирма потенціометрами для ручного керування маніпулятором (рис. 3, б).

Пропонуються різні конструктивні варіанти маніпулятора з металевими ланками та шістьма ступенями руху, враховуючи захоплюючий пристрій.

Зовнішній вигляд одного з таких маніпуляторів - 6 DOF Robotic Arm наведений на рис. 4, а, а його кінематична схема на рис. 4, б [6].



Рисунок - 4. Маніпулятор 6 DOF Robotic Arm

Для переміщення ланок цього маніпулятора використовуються сервоприводи MG 996R, що забезпечують поворот валу від 0 до 180° та пусковий момент до 12 кг * см (при 6 В напруги живлення).

Існує ряд пропозицій самостійного виготовлення маніпулятора за допомогою 3D-принтера. Зовнішній вигляд одного з таких маніпуляторів DIY Arduino Robot Arm наведений на рис. 5, а, а його кінематична схема на рис. 5, б [7].

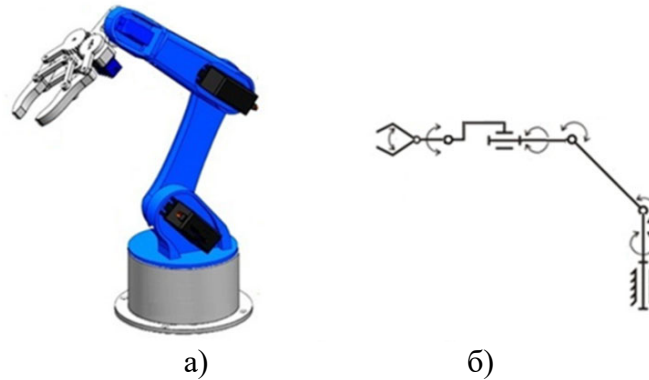


Рисунок - 5. Маніпулятор виготовлений за допомогою 3D-принтера

Для переміщення ланок маніпулятора використовуються сервоприводи SG-90 та MG 996R. Керування здійснюється за допомогою контролера Arduino Uno. Пульт керування виготовлений на основі смартфона.

Оскільки метою є створення лабораторного стенду для дослідження алгоритмів керування маніпулятора на основі комп'ютерних методів розрахунку, за допомогою яких здійснюється перерахунок переміщення робочого органу маніпулятора в переміщення окремих ланок, то для розробки автоматизованого маніпулятора, за допомогою якого можна здійснити таке дослідження, визначені такі вимоги.

1. Кількість ступенів свободи та переміщення робочого органу маніпулятора повинні дати можливість наглядно показати, використання комп'ютерних методів розрахунку з мінімальною складністю алгоритмів керування,

2. Виконавчі пристрої повинні забезпечити простий алгоритм позиційного керування.

3. Пристрій керування повинен забезпечити можливість здійснювати комп'ютерні розрахунки за допомогою математичних функцій, що використовуються для вирішення прямої та зворотної задач кінематики.

При цьому треба вирішити такі задачі.

1. Розробити алгоритми комп'ютерних розрахунків, які треба використовувати для реалізації переміщення робочого органу в позицію з вказаними координатами та навести приклади програмної реалізації цих алгоритмів.

2. Провести вибір та розрахунок основних механізмів автоматизованого маніпулятора.

3. Показати можливості проведення досліджень щодо використання комп'ютерних методів розрахунку з використанням розробленого стенду та емулятора UnoArduSim, що дає можливість

проводити експериментальні дослідження під час дистанційного навчання.

2. Розробка алгоритмів керування переміщенням маніпулятора

Для дослідження алгоритмів керування переміщенням робота на основі комп'ютерних розрахунків був розроблений стенд маніпулятора з чотирма ступенями рухливості, не включаючи захоплюючий пристрій.

Маніпулятор представляє собою спрощений варіант маніпулятора DIY Arduino Robot Arm.

На рис. 6, а наведений зовнішній вигляд, а на рис. 6, б кінематична схема маніпулятора.

Переміщення окремих ланок здійснюється за допомогою сервоприводів, які забезпечують поворот осі в діапазоні від 0 до 180° з точністю 1°.

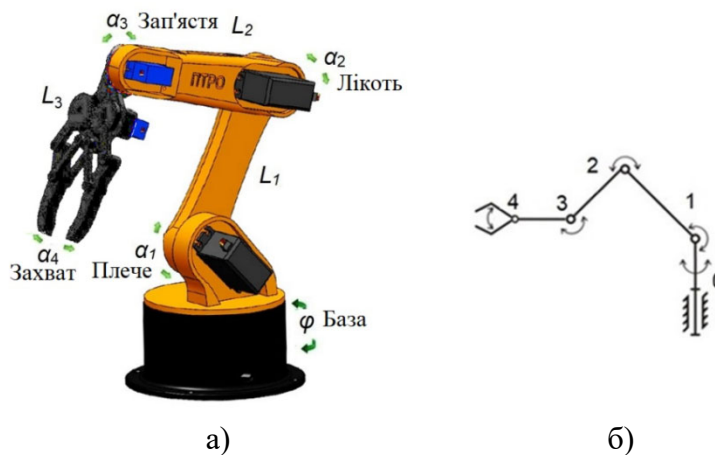


Рисунок - 6. Маніпулятор для дослідження алгоритмів керування переміщенням робота

Встановимо такі позначення для сервоприводів, що здійснюють поворот ланок маніпулятора: база (сервопривод 0) здійснює поворот усієї руки на кут φ , плече (сервопривод 1) здійснює поворот ланки L_1 на кут α_1 , лікоть (сервопривод 2) здійснює поворот ланки L_2 на кут α_2 , зап'ястя (сервопривод 3) здійснює поворот ланки L_3 (захват) на кут α_3 , захват (сервопривод 4) здійснює поворот на кут α_4 (відкриває та закриває захват).

Розглянемо, як здійснюється переміщення окремих ланок маніпулятора [8, 9, 10]. У прямокутній системі координат маніпулятор здійснює переміщення робочого органу в позицію (x, y, z) . При цьому орієнтація робочого органу не змінюється.

З кінематичної схеми маніпулятора (рис. 6, б) видно, що ланка 4 забезпечує ротацію робочого органу (захвату) 5, ланки 1, 2 і 3

переміщуються в одній площині, а ланка 0 забезпечує поворот цих ланок навколо вертикальної осі Z , що дає можливість використовувати для опису переміщення циліндричну систему координат (ρ, φ, z) для всього маніпулятора (рис. 7, а) і прямокутну (декартову) систему координат (ρ, z) для ланок 1, 2 і 3 (рис. 7, б).

На рис. 7 використовують такі позначення: (x, y, z) – положення робочого органу; L_1, L_2, L_3 , довжина ланок, відповідно, 1, 2, 3; α_1 – кут повороту ланки 1 відносно осі ρ ; α_2 – кут повороту ланки 2 відносно ланки 1; α_3 – кут повороту ланки 3 відносно ланки 2; α_{31} – кут повороту ланки 3 відносно осі ρ ; L_{12} – відстань до кінцевої позиції ланок 1 і 2; α – кут повороту L_{12} щодо осі ρ ; α_{21} – кут повороту ланки 2 щодо осі ρ ; α_{31} – кут повороту ланки 3 (захоплення) щодо осі ρ ; (ρ_1, φ_1, z_1) – кінцева позиція ланки 1; (ρ_2, φ_2, z_2) – кінцева позиція ланки 2; (ρ_3, φ_3, z_3) – кінцева позиція ланки 3 (позиція захоплення).

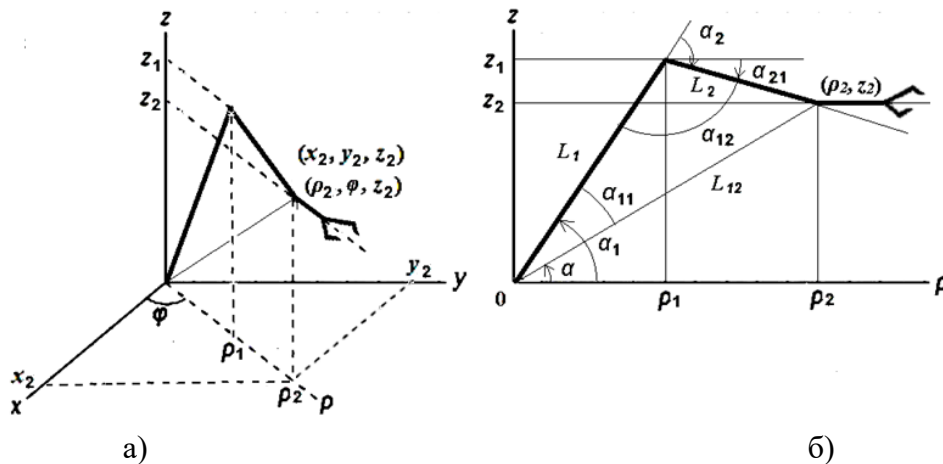


Рисунок - 7. Кінематична модель руху окремих ланок з використанням циліндричної (а) і декартової (б) систем координат

Розглянемо задачу переміщення робочого органу в позицію (x, y, z) .

Для цього потрібно знайти відповідні значення кутів $\varphi, \alpha_1, \alpha_2$, а для визначення орієнтації робочого органу, значення кута α_3 .

Перехід з тривимірної прямокутної системи координат в циліндричну здійснюється за допомогою формул [2]:

$$\rho = (x^2 + y^2)^{1/2} \quad (1)$$

$$\varphi = \arctg(y/x) \quad (2)$$

$$z = z. \quad (3)$$

В даному випадку кут φ визначає кут повороту ланки 0, а величини φ і z використовуються для визначення положення ланок 1 і 2. У ряді випадків, коли здійснюється паралельний перенос об'єкта, орієнтація ланки 3 не змінюється і можна обмежитися схемою переміщення, наведеною на рис. 9 б.

Для цього потрібне виконання умови:

$$\alpha_3 = - (\alpha_1 + \alpha_2). \quad (4)$$

Розглянемо, як визначити значення кута повороту α_1 ланки L_1 відносно осі ρ і кута повороту α_2 ланки L_2 відносно ланки L_1 для заданого положення робочого органу (ρ_2, z_2) аналогічно тому, як було показано в [11, 12].

Робочий орган маніпулятора знаходиться на кінці ланки L_2 .

Знаходимо кути α_1 і α_2 , що дозволяють маніпулятору з ланками L_1 і L_2 помістити робочий орган у задану точку (ρ_2, z_2) .

Проведемо пряму L_{12} , що з'єднує начало координат 0 з точкою (ρ_2, z_2) .

$$L_{12} = (\rho_2^2 + z_2^2)^{1/2}. \quad (5)$$

Знайдемо кут α_1 .

Виходячи з рис. 3 для кута α_1 маємо

$$\alpha_1 = \alpha_{11} + \alpha. \quad (6)$$

де α_{11} – кут між L_1 і L_{12} ,

α – кут між віссю 0ρ і L_{12} .

α знаходимо, виходячи з того, що

$$\rho_2 = L_{12} \cdot \cos(\alpha), \text{ або}$$

$$z_2 = L_{12} \cdot \sin(\alpha).$$

Звідси маємо:

$$\alpha = \arccos(\rho_2 / L_{12}) \text{ або } \alpha = \arctg(z_2 / \rho_2). \quad (7)$$

α_{11} знаходимо за допомогою теореми косинусів:

$$L_2^2 = L_{12}^2 + L_1^2 - 2 \cdot L_{12} \cdot L_1 \cdot \cos(\alpha_{11}). \quad (8)$$

Звідси маємо

$$\alpha_{11} = \arccos((L_1^2 - L_2^2 + L_{12}^2) / 2 \cdot L_{12} \cdot L_1), \quad (9)$$

$$\alpha_1 = \alpha + \alpha_{11} = \arccos(\rho / L_{12}) + \arccos((L_1^2 - L_2^2 + L_{12}^2) / 2 \cdot L_{12} \cdot L_1). \quad (10)$$

Знаходимо кут α_2 .

Виходячи з рис. 3, для кута α_2 маємо

$$\alpha_2 = \pi - \alpha_{12}, \quad (11)$$

де α_{12} – кут між L_1 і L_2

Відповідно з теоремою косинусів

$$L_{12}^2 = L_1^2 + L_2^2 - 2 \cdot L_1 \cdot L_2 \cdot \cos(\alpha_{12}) = L_1^2 + L_2^2 - 2 \cdot L_1 \cdot L_2 \cdot \cos(\pi - \alpha_2), \quad (12)$$

$$\alpha_{12} = \arccos((L_1^2 + L_2^2 - L_{12}^2) / 2 \cdot L_1 \cdot L_2), \quad (13)$$

звідки

$$\alpha_2 = \pi - \arccos((L_1^2 + L_2^2 - L_{12}^2) / 2 \cdot L_1 \cdot L_2). \quad (14)$$

Оскільки робочий орган орієнтується щодо ланки L_2 , необхідно визначити кут нахилу α_{21} ланки L_2 відносно осі ρ .

$$\alpha_{21} = \alpha_1 - \alpha_2. \quad (15)$$

Таким чином отримані математичні формули для розрахунку параметрів управління маніпулятором для переміщення в позицію (x, y, z) , а саме кути:

$$\varphi = \arctg(y/x), \quad (16)$$

$$\alpha_1 = \arccos(\rho / L_{12}) + \arccos((L_1^2 - L_2^2 + L_{12}^2) / 2 \cdot L_{12} \cdot L_1), \quad (17)$$

$$\alpha_2 = \pi - \arccos((L_1^2 + L_2^2 - L_{12}^2) / 2 \cdot L_1 \cdot L_2), \quad (18)$$

$$\begin{aligned} \text{де } L_{12} &= (x^2 + y^2 + z^2)^{1/2}. \\ \alpha_{21} &= \alpha_1 - \alpha_2. \end{aligned} \quad (19)$$

3. Основні компоненти автоматизованого маніпулятора

Для проведення дослідження роботи маніпулятора був розроблений макет що складається з маніпулятора, контролера Arduino Nano, та пульта керування в ручному режимі, що здійснюють відповідне переміщення сервоприводів myservo0, myservo1, myservo2, myservo3, myservo4.

Схема підключення маніпулятора до контролера Arduino Nano наведена на рис. 8.

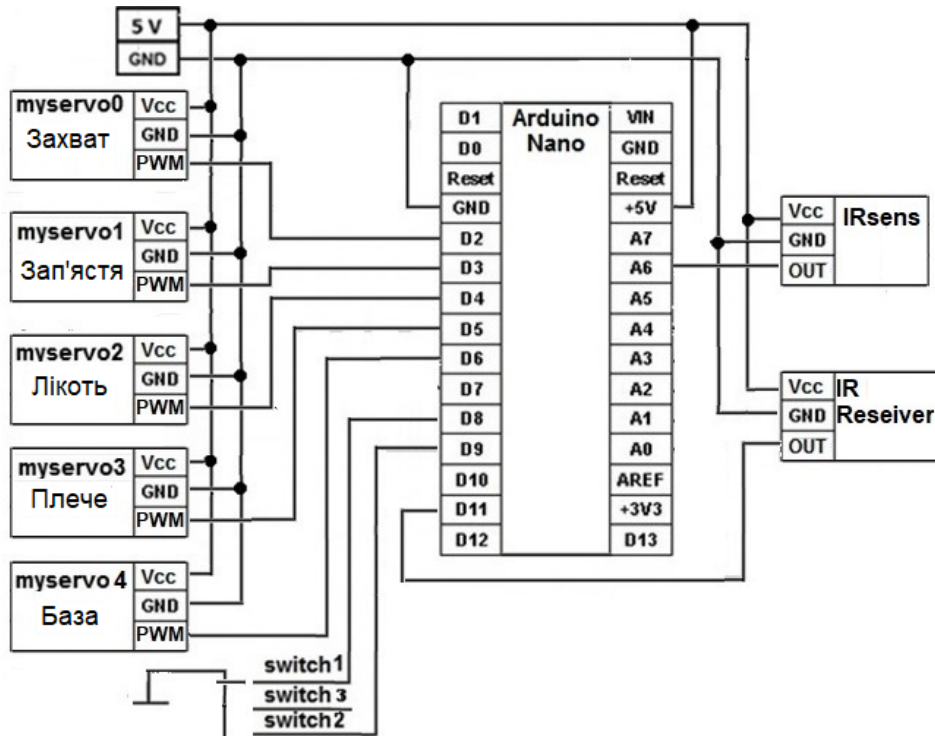


Рисунок - 8. Схема підключення компонентів маніпулятора до контролера Arduino Nano

Для переміщення ланок маніпулятора використовуються сервоприводи MG-90s (myservo0, myservo1) та MG 996R (myservo2, myservo3, myservo4).

Для спрощення алгоритму та програми керування сервоприводів на основі контролерів Arduino використовується бібліотека VarSpeedServo.master, яка дає можливість здійснити переміщення до вказаного кута. Крім того ця бібліотека дозволяє одночасно використовувати до 8 сервоприводів, встановлювати

швидкість переміщення для кожного сервопривода та здійснювати очікування, поки робота сервоприводу не буде завершена.

Перемикач з трьома положеннями визначає режим роботи, а саме switch1- ручний, switch2 – автоматичний, switch 3 – стан спокою.

Інфрачервоний датчик IRsens визначає наявність об'єкту, який треба перемістити.

Наявність ручного керування на основі інфрачервоного пульта дозволяє зробити дослідження різних режимів навчання робота, оскільки при керуванні положення окремих кінематичних пар (кут повороту) можна вивести на екран комп'ютера, або запам'ятати з метою подальшого програмування переміщення маніпулятора по послідовності положень.

Проведемо розрахунок двигунів для маніпулятора виходячи з максимального крутного моменту. Максимальний крутний момент виникає у тому випадку, коли усі ланки маніпулятора розташовані паралельно поверхні, на який встановлено маніпулятор (рис. 9).

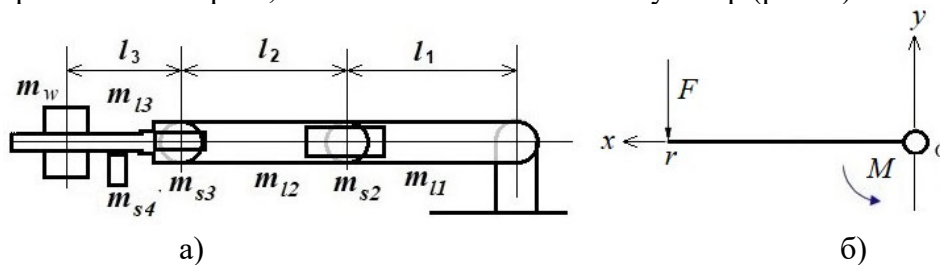


Рисунок - 9. Розташування ланок маніпулятора для отримання максимального крутного моменту (а) та визначення крутного моменту M (б)

Виходячи з того, що крутний момент M визначається як

$$M = F * r. \quad (20)$$

Сила F , яку повинен подолати двигун для повороту руки маніпулятора визначається як

$$F = m*(a + g), \quad (21)$$

де m – маса руки маніпулятора; a – прискорення тіла; g – прискорення вільного падіння.

$$m = \sum_i m_i, \quad (22)$$

де m_i — маса i -ї компоненти, що входить до складу руки маніпулятора.

За заданим законом зміни швидкості руху точки M ланки V_M від 0 до максимальної V_{Mmax} (рис. 10) можна визначити її прискорення за час розгону Δt , вважаючи, що розгін і гальмування відбувається з постійним прискоренням на ділянках траєкторії $0.25T$, де T – повний час переміщення точки r , ланки маніпулятора, куди прикладена сила F (рис. 9, б) [7].

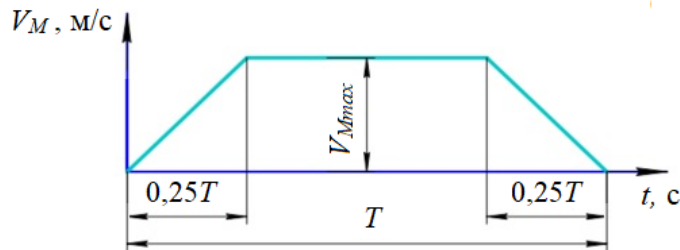


Рисунок - 10. Діаграма швидкості точки М ланки маніпулятора

У технічних характеристиках сервоприводів визначається швидкість обертання, що задається як час, за який здійснюється поворот на вказану кількість градусів. Так для сервопривода MG 996R при напрузі живлення 4,8 В ця величина складає 0,17 с / 60 градусів, звідки кутова швидкість $\omega = 3,08$ рад/с, а для SG-90 – 0,1 с / 60 градусів, або $\omega = 5,236$ рад/с.

Так для сервопривода MG 996R при напрузі живлення 4,8 В ця величина складає 0,17 с / 60 градусів, звідки кутова швидкість $\omega = 3,08$ рад/с, а для SG-90 – 0,1 с / 60 градусів, або $\omega = 5,236$ рад/с.

Кутове прискорення $\varepsilon = d\omega/dt$.

Переміщення l_{ra} за дугою окружності з радіусом r при повороті на кут α дорівнює:

$$l_{ra} = r\alpha,$$

тому лінійне прискорення визначається як:

$$a = dl / dt = r d\omega/dt.$$

Якщо визначити час розгону як Δt , то прискорення за час від початку руху до досягнення максимальної швидкості ω можна визначити як:

$$a = r \omega_{max} / \Delta t. \quad (23)$$

Для визначення точки, на яку впливає сила, треба знайти центр мас (центр ваги).

Центр мас визначається як:

$$r_c = \sum_i m_i r_i / \sum_i m_i, \quad (24)$$

де r_c — радіус центру мас, r_i — радіус i -ї точки системи, m_i — маса i -ї точки.

Маса та розміри компонент руки маніпулятора, що впливають на крутний момент приводів руки маніпулятора наведені на рис. 11, де використовуються такі позначення: m_{l2} , m_{l3} , m_{l4} , відповідно, маси, а l_1 , l_2 , l_3 довжина ланок L_1 , L_2 , L_3 ; m_{s2} , m_{s3} , m_{s4} , відповідно, маси двигунів s_2 , s_3 , s_4 , m_w маса вантажу.

Відповідні радіуси у даному випадку визначаються, як:

$$r_{l1} = l_1 / 2, r_{l2} = l_2 / 2, r_{l3} = l_3 / 2, r_{s1} = l_1, r_{s2} = l_2, r_{s3} = l_3 / 2.$$

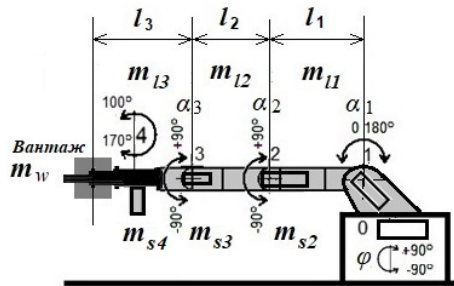


Рисунок - 11. Маса та розміри компонент руки маніпулятора

Розроблений стелд маніпулятора має такі параметри:

$$\begin{aligned}
 m_{11} &= 0,05 \text{ кг}, m_{12} = 0,05 \text{ кг}, m_{13} = 0,04 \text{ кг}, \\
 m_{s2} &= 0,055 \text{ кг}, m_{s3} = 0,009 \text{ кг}, m_{s4} = 0,009 \text{ кг}. \\
 l_1 &= 0,1 \text{ м}, l_2 = 0,1 \text{ м}, l_3 = 0,08 \text{ м} \\
 r_{11} &= l_1 / 2 = 0,05 \text{ м}, r_{12} = l_2 / 2 = 0,05 \text{ м}, r_{13} = l_3 / 2 = 0,04 \text{ м}, \\
 r_{s1} &= l_1, r_{s2} = l_2, r_{s3} = l_3 / 2.
 \end{aligned}$$

На рис. 12 наведена схема розрахунку крутного моменту для привода, що здійснює підйом руки.

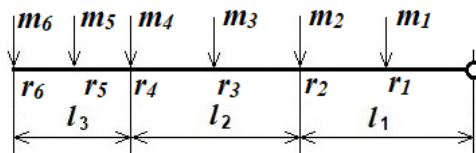


Рисунок - 12. Схема розрахунку крутного моменту

Вказані значення мас та радіусів мають такі значення:

$$\begin{aligned}
 r_1 &= l_1 / 2, r_2 = l_1, r_3 = l_1 + l_2 / 2, r_4 = l_1 + l_2, r_5 = l_1 + l_2 + l_3 / 2, \\
 r_6 &= l_1 + l_2 + l_3, \\
 m_1 &= m_{11}, m_2 = m_{s2}, m_3 = m_{12}, m_4 = m_{s3}, m_5 = m_{13} + m_{s4}, m_6 = m_w.
 \end{aligned}$$

Використовуючи параметри маніпулятора, отримаємо

$$r_1 = 0,05 \text{ м}, r_2 = 0,1 \text{ м}, r_3 = 0,15 \text{ м}, r_4 = 0,2 \text{ м}, r_5 = 0,24 \text{ м}, r_6 = 0,28 \text{ м},$$

$$m_1 = 0,05 \text{ кг}, m_2 = 0,055 \text{ кг}, m_3 = 0,05 \text{ кг}, m_4 = 0,009 \text{ кг}, m_5 = 0,049 \text{ кг},$$

Використовуючи формули (20-24), отримаємо момент утримання руки без вантажу:

$$m = 0,213 \text{ кг},$$

$$r_c = 0,029906 / 0,213 = 0,13643 \text{ м}$$

$$M = 0,284788 \text{ н/м} = 2,882 \text{ кг/см}.$$

MG 996R має крутний момент 9 кг/см (для напруги живлення 4.8 В). Для утримання вантажу залишається 6,1 кг/см. Ураховуючи, що радіус утримання вантажу складає $r_6 = 0,28$ м, отримаємо $m_w = 0,218$ кг.

4. Приклади задач для дослідження алгоритмів керування переміщенням маніпулятора

Алгоритм керування переміщенням маніпулятора з використанням перерахування координат робочого органу маніпулятора (x, y, z) у відповідні кути повороту ланок $\varphi, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_{21}$, наведений на рис 13.

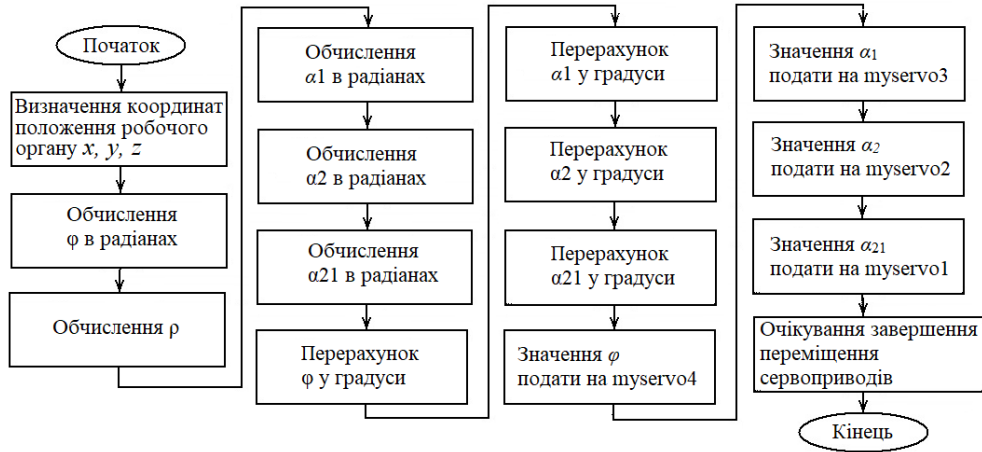


Рисунок - 13. Алгоритм керування переміщенням маніпулятора

Розглянемо, як здійснюється вказане перерахування у системі керування маніпулятором на основі контролера Ардуіно.

У програмі управління роботом при використанні контролера Ардуіно, що використовує мову C++ [11], яка має усі математичні функції, які використовуються у формулах (20-24) для обчислення значень кутів повертання ланок $\varphi, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_{21}$, виходячи з заданих розмірів ланок L_1, L_2 , та координат робочого органу x, y, z .

Фрагмент програми, що здійснює такі обчислення, має наступний вигляд [12]:

```
// обчислення φ в радіанах
Phirad = atan(Y/X);
// обчислення ρ
P = sqrt(sq(X) + sq(Y));
// обчислення α1 в радіанах
A1rad = acos(P / sqrt(sq(P) + sq(Z))) + acos((sq(L1) - sq(L2) + sq(P) + sq(Z)) / (2* L1* (sqrt(sq(P) + sq(Z))));
// обчислення α2 в радіанах
A2rad = PI - acos((sq(L1) + sq(L2) - sq(P) - sq(Z)) / (2* L1* L2));
// обчислення α21 в радіанах
A21rad = A1rad - A2rad;
PhiDeg = Phirad * RAD_TO_DEG; //результат φ в градусах
A1Deg = A1rad * RAD_TO_DEG; //результат α1 в градусах
A2Deg = A2rad * RAD_TO_DEG; //результат α2 в градусах
```

$$A21Deg = A21rad * RAD_TO_DEG; //результат \alpha_{21} \text{ в градусах}$$

Програма використовує такі позначення для змінних у форматі float: L1 для L_1 ; L2 для L_2 ; X для x ; Y для y ; Z для z ; P для ρ ; Phi для φ в радіанах; PhiDeg для φ в градусах; A1rad для α_1 в радіанах; A2rad для α_2 в радіанах; A21rad для α_{21} в радіанах; A1Deg для α_1 в градусах; A2Deg для α_2 в градусах; A21Deg для α_{21} в градусах.

Отримані значення кутів в градусах можуть безпосередньо використовуватися для управління сервоприводами.

Результати виконання програми можна отримати за допомогою інструменту Монітор порту. На рис. 3.7 показано, як здійснюється введення вихідних даних L_1 , L_2 , x , y , z , та отримання результату обчислення значень φ , α_1 , α_2 и α_{21} .

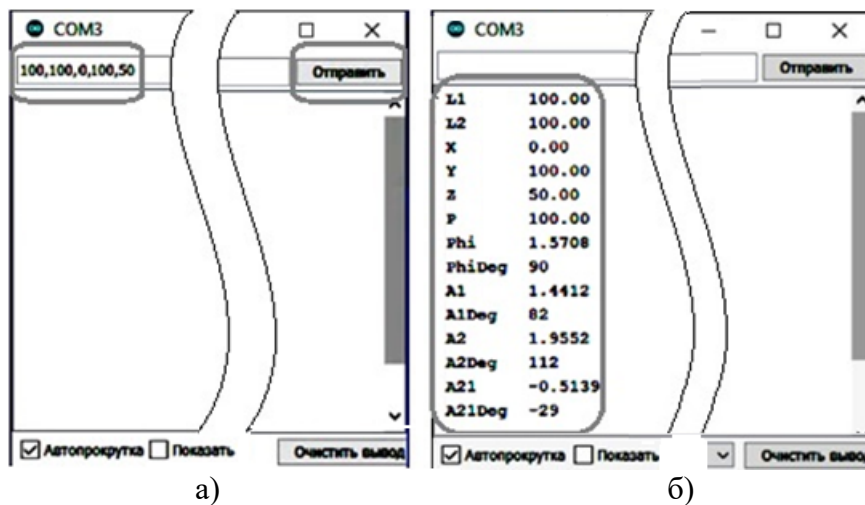


Рисунок 14. Введення вихідних даних L_1 , L_2 , x , y , z , (а), результат обчислення значень φ , α_1 , α_2 и α_{21} (б)

Висновки

В результаті проведеного аналізу існуючих стендів маніпуляторів, які можна використовувати для дослідження алгоритмів керування переміщенням робота на основі комп'ютерних розрахунків був розроблений стенд маніпулятора з чотирма ступенями рухливості, який дозволяє здійснювати переміщення робочого органу у тривимірному просторі.

Проведена розробка алгоритму комп'ютерних розрахунків, які треба використовувати для реалізації переміщення робочого органу в позицію з вказаними координатами, та отримані формули, за допомогою яких можна здійснити відповідні обчислення.

Наведені приклади програмної реалізації цих алгоритмів та розрахунків.

Показаний приклад вибору та проведення розрахунків основних механізмів автоматизованого маніпулятора.

Наведені можливості проведення досліджень щодо використання комп'ютерних методів розрахунку з використанням розробленого стенду

Розроблений стенд дозволяє провести дослідження алгоритмів керування маніпуляторів з метою виявлення оптимальних алгоритмів керування..

Список використаних джерел

1. Михайлов Е. П., Кнюх О.Б., Козеровська В. О. Стенд для дослідження мехатронних пристроїв логістичних систем. Подъемно-транспортная техника, 2019. №2 (61), с.60-74.

2. Интернет ресурс. FISCHERTECHNIK. Конструктор Trainingsmodelle 3-D робот. URL: <https://erc.ua/ware/283174-fischertechnik-konstruktor-trainingsmodelle-3-d-robot/>

3. Интернет ресурс. FISCHERTECHNIK. Industriekatalog 2019 englisch Gesamt. URL: https://www.google.com/search?q=Industriekatalog_2019_englisch_Gesamt&oq=Industriekatalog_2019_englisch_Gesamt&aqs=chrome..69i57.3115j0j15&sourceid=chrome&ie=UTF-8#

4. Интернет ресурс. FESTO Learning Systems. Modular Systems for Mechatronics Training. URL: <https://www.festo-didactic.com/ov3/media/customers/1100/mps.pdf>

5. Интернет ресурс. Arduino. Моделирование. Механическая рука 4 степени свободы. URL: <https://arduinka.biz.ua/ru/mechanicheskaya-ruka-robot-4-stepeni-svobody-akril-p598c81.html>

6. Интернет ресурс. Robotpark 6 DOF Aluminum Robot Arm Kit. URL: <http://www.robotpark.com/Robotpark-6-DOF-Aluminum-Robot-Arm-Kit>

7. Интернет ресурс. Dejan. DIY Arduino Robot Arm with Smartphone Control. HowToMechatronics. Arduino Tutorials, Projects. Education Website. URL: <https://howtomechatronics.com/tutorials/arduino/diy-arduino-robot-arm-with-smartphone-control/>

8. Тарабарин В.Б. Исследование и проектирование манипуляторов промышленных роботов. Курсовое проектирование по «Теории механизмов и механике машин» Учебное пособие. — М.: Издательство МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2007. — 29 с.

9. Заславский А. А. Геометрические преобразования. — М.: МЦНМО, 2004. — 86 с. 2-е изд., стереотипное. ISBN 5-94057-094-1

10. Борисов О.И., Громов В.С., Пыркин А.А., Методы управления робототехническими приложениями. Учебное пособие. — СПб.: Университет ИТМО, 2016. — 108 с.

11. Blum J. Exploring Arduino: Tools and Techniques for Engineering Wizardry John Wiley & Sons, Inc., 2013. — 385 с. — ISBN: 978-1-118-54936-0.

12. Конспект лекцій з дисципліни "Комп'ютерні методи розрахунку роботів" для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти, спеціальність: 131 - Прикладна механіка, освітні програми: Мехатроніка та промислові роботи, Інженерія логістичних систем / Укл.: Михайлов Є. П. - Одеса: ОНПУ, 2021. - 112 с. Рег. ном. КЛ11701 05.03.2021 №7777 РС2021 URL: <http://dspace.opu.ua/jspui/handle/123456789/11432>

STAND FOR RESEARCH OF ROBOT-MANIPULATOR CONTROL ALGORITHMS

Ye. Mykhaylov, Jamli Fayez
Odessa Polytechnic State University

Abstract. *The results of the development of a robot manipulator, designed to study the algorithms for controlling the movement of the robot on the basis of computer calculations, which are used to recalculate the movement of the working body of the manipulator in the movement of individual links. The kinematic model and the calculated scheme of movement of separate links are resulted, the structure and structure of work is described. The issues of software implementation of control algorithms using the Arduino controller are considered. Examples of the use of the stand in laboratory works are given.*

Keywords: *robot manipulator, kinematic scheme, computer calculations, software control, control system, coordinate systems, servo.*