

КІНЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РОБОЧОГО ОБЛАДНАННЯ КРАНО-МАНІПУЛЯТОРНОЇ УСТАНОВКИ

О.Г.Фастовець, Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Робота присвячена питанню автоматизації крано-маніпуляторної установки. Розглядаючи робоче обладнання як ланки маніпулятора промислового робота, за допомогою процедури Денавіта-Хартенберга, записані рівняння кінематики екскаватора.

Робота посвячена вопросу автоматизации крано-манипуляторной установки. Рассматривая рабочее оборудование как звенья манипулятора промышленного робота, при помощи процедуры Денавита-Хартенберга, записаны уравнения кинематики экскаватора.

This paper is devoted to the crane-manipulator automation problem. Considering the working equipment such as the links of a robotic manipulator and using the Denavit-Hartenberg procedure, the kinematics equations of the crane-manipulator are obtained.

Ключові слова: крано-маніпуляторна установка, моделювання, ланки, кінематика

Вступ

При здійсненні навантажувально-розвантажувальних робіт все частіше використовуються крано-маніпуляторні установки (КМУ). КМУ – це вантажопідіймний пристрій, що монтується на мобільні платформи, тому поєднує в собі функції автокрана і вантажного автомобіля. Така компоновка машини у багатьох випадках дозволяє підвищити швидкість та скоротити кількість одиниць техніки при виконанні навантажувально-розвантажувальних та транспортних операцій, що знижує їх собівартість. Використання ж додаткового навісного робочого обладнання, що легко змінюється, дозволяє розглядати КМУ як багатофункціональну, універсальну машину.

Важливу роль при вдосконаленні КМУ відіграють дослідження, спрямовані на побудову та аналіз математичних моделей руху КМУ, ці дослідження на початкових етапах проектування КМУ дозволять скоротити витрати на експериментально-доводочні роботи з виявлення дефектів і вдосконаленню конструкцій, а також є невід’ємним етапом при створенні систем автоматизації робочого процесу КМУ.

Аналіз літератури

Публікацій, присвячених КМУ, небагато [1] і вони, в основному, мають загальний, оглядовий характер. З іншого боку робоче обладнання (РО) КМУ подібне обладнанню стрілових кранів та будівельних маніпуляторів, до дослідження яких успішно застосовуються методи сучасної робототехніки [2, 3].

Наприклад, в монографіях [4,5,6] методи робототехніки застосовані при моделюванні стрілового крана і будівельного маніпулятора. Однак при цьому основний акцент було зроблено на автоматизацію проектування елементів РО, а не на розробку систем управління ними. Крім того, кінематика КМУ дещо відрізняється від кінематики стрілових кранів і будівельних маніпуляторів. Отже, дослідження, спрямовані на дослідження руху РО КМУ та розробку систем управління ним є актуальними.

Мета та задачі роботи

На першому етапі проектування системи управління маніпулятором необхідно розглянути його кінематику [7], тобто знайти просторове положення РО як функцію часу, а також закони зміни його швидкостей і прискорень, які, з одного боку, повинні відповідати вимогам технологічного процесу, а з іншого боку – можливостям маніпулятора.

Існує безліч модифікацій КМУ, які різняться за кількома технічними показниками: вантажопідйомність, висота підйому, кінематичній схемі РО.

Перспективними є КМУ з Z-подібним виконанням РО (рис. 1), яке дозволяє РО КМУ складатися в декілька колін. Перевагами Z-подібної конструкції є оптимальне розміщення в компактному (транспортному) положенні, що дозволяє повністю використовувати робочий об’єм кузова. За рахунок декількох колін стріли такі КМУ дозволяють доставляти вантажі у важкодоступні місця. У даній роботі ми будемо орієнтуватися на КМУ саме з Z-подібним РО.



Рис. 1. КМУ SQ16ZK4Q з Z-подібної стрілою

З точки зору робототехніки КМУ з Z-подібним РО можна розглядати як маніпулятор RRRP-типу (рис. 2), де $q_i (i = \overline{1,4})$ – приєднанні змінні, що визначають просторове положення РО КМУ. Слід відзначити, що, зазвичай при виконанні підйомно-розвантажувальних робіт $q_1=0$.

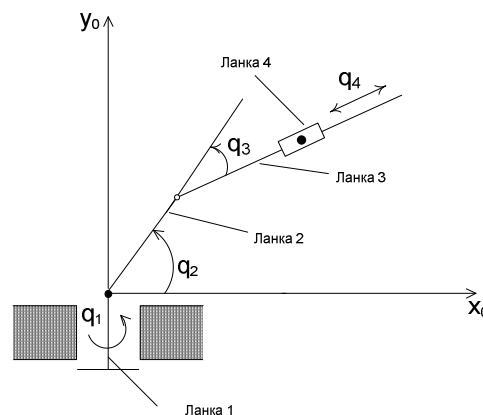


Рис. 2. Кінематична схема КМУ

Для аналітичного опису зміни з плином часу просторового положення ланок РО КМУ розглянемо спочатку його кінематику. Дослідження кінематики складається з розв’язання двох задач: прямої та оберненої [8].

Виходячи з цього метою даного дослідження є побудова та дослідження кінематичної моделі КМУ. Для цього в роботі вирішуються такі задачі: Розв'язання прямої задачі кінематики КМУ; Розв'язання оберненої задачі кінематики; Розв'язання прямої задачі кінематики

Пряма задача кінематики маніпулятора, полягає в знаходженні координат кінця кінематичного ланцюга, при заданих довжинах ланок і кутах між ними [8]. Для цього необхідно знайти матрицю T_0 , яка визначає координати кінцевої точки РО КМУ в просторі відносно деякої нерухомої системи координат, знаючи конструктивні параметри маніпулятора і значення узагальнених параметрів q_i для всіх його кінематичних пар.

Таким чином, розв'язанням прямої задачі кінематики КМУ з N ланками є вирази:

$$T_0 = {}^0A_1 \cdot {}^1A_2 \cdot {}^2A_3 \cdot {}^3A_4, \quad (1)$$

де ${}^{i-1}A_i$ - матриця однорідного перетворення $(i - 1)$ -ї в i -ю систему координат, яка має вигляд:

$${}^{i-1}A_i = \begin{bmatrix} \cos\theta_i & -\sin\theta_i \cos\alpha_i & \sin\theta_i \sin\alpha_i & a_i \cos\theta_i \\ \sin\theta_i & \cos\theta_i \cos\alpha_i & -\cos\theta_i \sin\alpha_i & a_i \sin\theta_i \\ 0 & \sin\alpha_i & \cos\alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (2)$$

де θ_i – такий кут повороту навколо осі z_{i-1} , щоб ось x_{i-1} стала співнаправлена з віссю x_i ; d_i – величина зсуву вздовж осі x_i до суміщення осей x_{i-1} і x_i ; a_i - відстань між сусідніми початками координат; α_i – такий кут повороту навколо осі x_i , в результаті якого досягається збіг систем координат.

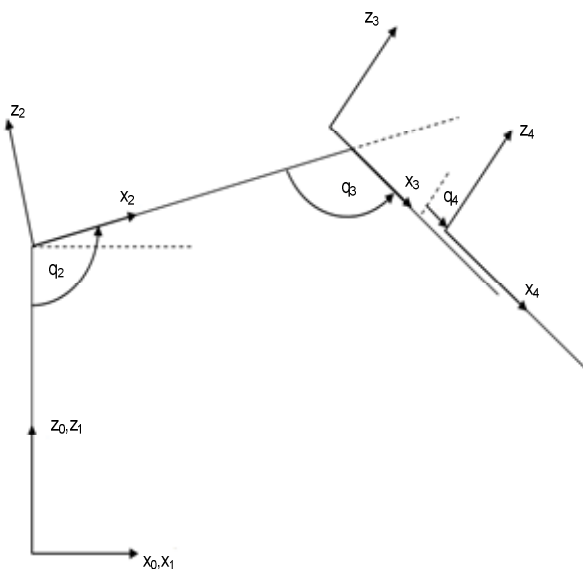


Рис. 3. Кінематична схема КМУ

Зв'яжемо з початковою системою координат систему координат першої ланки з обертовим зчленуванням. Матриця перетворення 1A_2 формується шляхом повороту вихідної системи координат навколо осі y (рис. 3)

$${}^1A_2 = \begin{pmatrix} \sin(q_2) & 0 & \cos(q_2) & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\cos(q_2) & 0 & \sin(q_2) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (3)$$

Аналогічно для 3ї ланки 2A_3

$${}^2A_3 = \begin{pmatrix} -\cos(q_3) & 0 & \sin(q_3) & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin(q_3) & 0 & -\cos(q_3) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (4)$$

Оскільки розглядаємо двомірний рух крана, тобто в площині x_0z_0 і не розглядаємо поворот 1ї ланки навколо осі z . Остання 4та ланка є ланкою з поступальним рухом отже матриця однорідного перетворення 4ї ланки щодо 3ї є одиничною матрицею.

$${}^3A_4 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (5)$$

Шляхом перемноження отриманих матриць (3) - (5), можемо отримати матрицю яка зв'язує базову систему координат з системою координат ланки з поступальним рухом:

$$T_0 = {}^0A_1 \cdot {}^1A_2 \cdot {}^2A_3 \cdot {}^3A_4 = \begin{pmatrix} -s(q_2)c(q_3) - c(q_2)s(q_3) & 0 & s(q_2)s(q_3) - c(q_2)c(q_3) & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ c(q_2)c(q_3) - s(q_2)s(q_3) & 0 & -c(q_2)s(q_3) - s(q_2)c(q_3) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad (6)$$

де $s = \sin, c = \cos$

Розв'язання оберненої задачі кінематики

Як показано у попередньому розділі, пряма задача кінематики РО КМУ розв'язується доволі просто. Проте, для розробки системи управління КМУ необхідно вміти розв'язувати обернену задачу кінематики полягає у визначенні його узагальнених координат q_1, q_2 і d_3 за відомим кутовим і лінійним місцем розташування крайньої точки. Існують різні методи розв'язання оберненої задачі кінематики, до числа яких відносяться методи зворотних перетворень, гвинтової алгебри, двоїстих матриць, двоїстих кватерніонів, ітерацій і геометричний підхід [8,9].

Геометричний похід, подібен тим, що дозволяє отримати рівняння які розв'язують обернену задачу кінематики КМУ у замкнутій формі. Тому будемо використовувати саме цей підхід. Однак, слід зазначити, що на відміну від розв'язання прямої задачі кінематики для якої існує лиш одне розв'язання, зворотній задачі може задовольняти кілька розв'язань, причому деякі з них можуть не реалізовуватися технічно.

Розглянемо розв'язання оберненої задачі кінематики для 2ї, 3ї ланки КМУ (рис. 4).

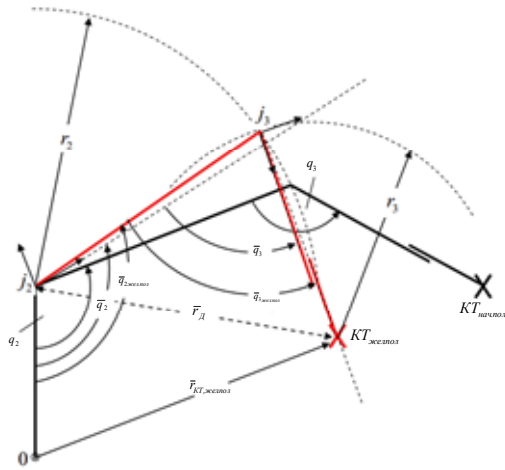


Рис. 4. Визначення оберненої кінематики

Прийняв $\bar{q}_{2\text{жел.пол}}$ та $\bar{q}_{3\text{жел.пол}}$ як бажані кути на основі теореми косинусів, можна записати:

$$\bar{q}_{3\text{жел.пол}} = a \cos\left(\frac{r_2^2 + r_3^2 - r_D^2}{2r_2r_3}\right) \quad (7)$$

де $r_2 = \sqrt{j_2j_3}$ и $r_3 = \sqrt{j_3j_{KT, \text{жел.пол}}}$

Знаючи бажані координати робочого органу, діагональ, яка ділить чотирикутник $0 - j_2 - j_3 - KT_{\text{жел.пол}}$, можна записати у вигляді:

$$r_D = |r_{KT, \text{жел.пол.}} - r_{j_3}| \quad (8)$$

Бажаний кут повороту $\bar{q}_{2\text{жел.пол.}}$ при цьому дорівнює підсумовування верхньої та нижньої кутами 2й спільно. Два кути можуть бути визначені шляхом застосування теореми косинусів в обох трикутниках:

$$\bar{q}_{2\text{жел.пол}} = a \cos\left(\frac{r_{j_2}^2 + r_D^2 - r_{KT, \text{жел.пол}}^2}{2r_{j_2}r_D}\right) \quad (9)$$

Бажані узагальнені змінні потім визначається як:

$$q_{2\text{жел.пол}} = \bar{q}_{2\text{жел.пол}} - a \tan\left(\frac{2\bar{r}_{j_3}(z)}{2\bar{r}_{j_3}(x)}\right) \quad (10)$$

$$q_{3\text{жел.пол}} = \bar{q}_{3\text{жел.пол}} - a \tan\left(\frac{2\bar{r}_{j_3}(z)}{2\bar{r}_{j_3}(x)}\right) - a \tan\left(\frac{3\bar{r}_{KT}(z)}{3\bar{r}_{KT}(x)}\right) \quad (11)$$

УДК 624.27

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДВИЖЕНИЯ ТЕЛЕЖКИ МОСТОВОГО КРАНА С ГРУЗОМ

М.В. Дубовая, Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

В рамках решения задачи разработки системы автоматического предотвращения колебаний груза при движении мостового крана получена и линеаризована математическая модель движения тележки с грузом на жестком подвесе.

В рамках разв'язання задачі розробки системи автоматичного запобігання коливань вантажу при русі мостового крана отримано та линеаризовано

3 рівнянь (10) і (11) узагальненим кутом тепер чітко визначені в певному положенні крана.

Зверніть увагу, що таке унікальне розв'язання тільки при заданому подовженні телескопічної ланки.

Висновки

Подальше вдосконалення КМУ пов'язано з їх роботизацією. Представлені рівняння кінематики, що описують просторове положення ланок РО КМУ необхідні як для дослідження поведінки РО, так і для визначення траєкторії його руху, що забезпечує потрібне позиціонування ковша.

Перспективними напрямками розвитку КМУ є впровадження в них автоматизованих інтелектуальних систем керування операціями, підвищення універсальності їхнього використання, поліпшення умов роботи операторів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ:

1. Воляннюк В. О. Шляхи удосконалення крано-маніпуляторних установок / В. О. Воляннюк // ГБДММ. – 2013. – № 81. – С. 26 – 32.
2. Ловейкін В. С. Моделювання робочих процесів машин / В. С. Ловейкін, Д. О. Міщук // ГБДММ. – 2010. – № 76. – С. 35 – 40.
3. Ловейкін В. С. Области збереження енерговитрат у вантажних маніпуляторах на транспортних засобах / В. С. Ловейкін, Д. О. Міщук // ГБДММ. – 2010. – № 75. – С. 47 – 52.
4. Щербаков В. С. Автоматизация проектирования устройств управления положением платформы строительной машины / Щербаков В. С., Корытов М. С., Григорьев М. Г. – Омск : СибАДИ, 2011. – 119 с.
5. Щербаков В. С. Создание системы автоматизации для построение оптимальной траектории движения рабочего органа строительного манипулятора / Щербаков В. С., Корытов М. С., Григорьев М. Г. – Омск : СибАДИ, 2010. – 129 с.
6. Щербаков В. С. Система автоматизированного моделирования стрелового грузоподъемного крана / Щербаков В. С., Корытов М. С., Григорьев М. Г. – Омск : СибАДИ, 2010. – 129 с.
7. Зенкевич С. Л. Управление роботами. Основы управления манипуляционными роботами (учебник для вузов) / С. Л. Зенкевич, А. С. Юценко. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2000. – 400 с.
8. Шахинпур М. Курс робототехники / Шахинпур М. [перевод с английского С.С.Дмитриева]. – М.: Мир, 1990. – 564 с.
9. Гонсалес Р. Робототехника / Гонсалес Р., Фу К., Ли К.; пер. с англ. А. А. Сорокин – М.: Мир, 1989. – 624 с

математичну модель руху візка з вантажем на жорсткому підвісі.

The mathematical model of the trolley with a load with rigid suspension has been built and linearized in the framework of the solution of the problem of development of a crane's load anti-oscillation control system.

Ключевые слова: кран, колебания груза, математическая модель