

УЗАГАЛЬНЕНА ФУНКЦІОНАЛЬНА МОДЕЛЬ ПРОМИСЛОВИХ РОБОТІВ

© Кирилович В.А., Моргунов Р.С., 2012

Наведено функціональну модель промислових роботів, що складається із запропонованих раніше функціональних моделей маніпуляційної системи та схвата промислового робота та ґрунтується на використанні теорії кватерніонів.

The functional model of industrial robots, that based on using of the theory of quaternions and consist of proposed earlier functional models of the manipulation system and gripper is presented.

Постановка проблеми. За даними міжнародної федерації робототехніки [12], стрімко зростає інсталяція промислових роботів у різних галузях промисловості для розв'язання різного роду технологічних задач під час обробки, зварювання, складальних робіт та інших технологічних операцій.

Актуальним та неповно дослідженим є комплекс задач, пов'язаних із поняттям технологічна взаємодія схватів (Сх) промислових роботів (ПР) з об'єктами маніпулювання (ОМ) [3], а саме:

- визначення технологічних параметрів сервісу (ТПС) [3] для кожної робочої позиції (РП) гнучкої виробничої комірки (ГВК);
- виділення тих поверхонь ОМ, які фізично можливо затиснути СхПР, за критерієм $(P-G) \rightarrow \min$ [3], де P – координати полюса Сх в системі координат (СК) ОМ; G – координати центра мас ОМ в СК ОМ;
- визначення технологічного типу Сх для кожної РП;
- формування траєкторії переміщення Сх до ОМ із перевіркою на зіткнення між конструктивними елементами ПР та технологічного обладнання (ТО) за критеріями мінімуму часу ($t_{\text{вп}} \rightarrow \min$) та споживаної потужності ($t_{\text{вп}} \rightarrow \min$) ПР на обслуговування РП [3];

Тому для розв'язання згаданих вище задач необхідною є наявність функціональної моделі промислових роботів, що містить функціональну модель (ФМ) маніпуляційної системи (МС) та Сх.

Аналіз інформаційних джерел. Сьогодні існує відносно невелика кількість функціональних, інформаційних моделей МС та Сх [1, 2, 4, 8–11]. Загальний їх недолік у тому, що моделі МС та Сх формувалися окремо в різний час і тому під час формування єдиної узагальненої ФМ ПР складно поєднати такого роду описи елементів ПР, оскільки описи, як правило, використовують різні математичні апарати, що призводить до складності в обчисленнях, трансформації точки полюса Сх із СК Сх в СК МС.

Тому *метою* роботи є композиція функціональних моделей маніпуляційних систем та схватів ПР для формування узагальненої (інтегрованої) моделі промислових роботів, які є придатними для опису багатьох існуючих моделей ПР та дають змогу розв'язувати різноманітні задачі роботизованих технологій на етапі проектування ГВК механоскладання.

Раніше запропоновані ФМ МС [8] та ФМ Сх [1] використовують єдиний математичний апарат їхнього опису, а саме на базі теорії кватерніонів [5, 7], що значно полегшує використання ФМ ПР для подальшого їх автоматизованого аналізу та розв'язування відповідних технологічних задач.

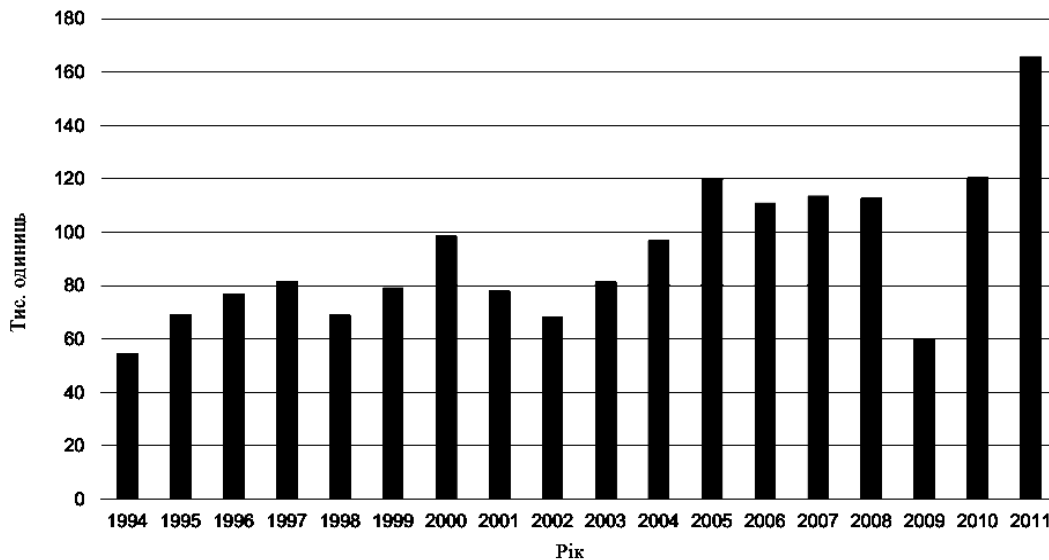


Рис. 1. Щорічні поставки промислових роботів у світі за даними IFR [12]

Виклад основної частини. Вказане змістовно являє собою формування загальної функціональної моделі одноруких та односхватих промислових роботів будь-якого конструктивного виконання будь-якої кінематичної структури та метрики.

Універсальний вираз ФМ МС ПР [8] має такий вигляд:

$$\begin{aligned}
 \text{ФМ МС ПР (модель)} &= (\pm O_1 t_1 [H_1] Q_{1-0} C_{1-2} \pm O_2 t_2 [H_2] Q_{2-1} C_{2-3} \dots \\
 &\dots \pm O_i t_i [H_i] Q_{i-(i-1)} C_{i-(i+1)} \dots \pm O_n t_n [H_n] Q_{n-(n-1)} C_{n-(n+1)}) Gr = \\
 &= \langle \pm O_l t_l [H_l] Q_{l-(l-1)} C_{l-(l+1)} \Big|_{l = \overline{1, n_l}} \rangle Gr.
 \end{aligned} \tag{1}$$

Тут $\pm O_l$ – позначення осі в попередньо прийнятій правій системі координат ПР, вздовж якої розташовується i_l -та ланка МС ПР у фіксованому початковому положенні. При цьому початок СК вибирається в нижній частині базової ланки (як правило, стійки, що контактує з нерухомою основою); \pm – додатний (у разі прямування i_l -ї ланки до додатного напрямку певної осі СК) чи від’ємний (у разі прямування i_l -ї ланки до від’ємного напрямку певної осі СК) напрямок розташування i_l -ї ланки вздовж відповідної осі прийнятої СК в напрямку від (i_l-1) -ї до (i_l+1) -ї ланки; l – загальна кількість ланок в МС ПР. $Q_{i_l}(v; s) \in (L_{i_l}, R_{i_l})$ – кватерніон залежно від виду переміщень може бути лінійний (L) та кутовий (R). Символ $C_{i_l-(i_l+1)} \in \{\wedge, \vee, \nabla\}$ в (1) означає оператор, що вказує на з’єднання ланок і можливість/неможливість одночасного переміщення i_l -ї із наступною (i_l+1) -ю ланкою МС ПР. t_{i_l} – геометричний примітив з відповідними геометричними параметрами H_{i_l} , $t_{i_l} \in \{Cr, Pd, Ce, Cd\}$, де Cr – циліндр, Pd – паралелепіпед, Ce – конус, Cd – комбінований геометричний примітив, що є комбінацією попередніх типів геометричних примітивів різного складу та поєднання, які розглядаються в напрямку від i_l -ї до (i_l+1) -ї ланки. Gr – ФМ Сх ПР.

Загальний вираз ФМ Сх ПР [1] є таким:

$$\begin{aligned}
 \text{ФМСх (модель)} &= \langle P_{C_x}, CFP, (C \in \langle Gp_{i_c} \mid i_c = \overline{1, I_C} \rangle) \vee \\
 &\vee (V_{i_v} \in \langle L_{i_v}, \langle Gp_{j_{V_i}} \nabla V_{j_{V_i}} \mid j_{V_i} = \overline{1, J_{V_i}} \rangle \Big|_{i_v = \overline{1, I_V}} \rangle) \rangle.
 \end{aligned} \tag{2}$$

У цьому випадку $C = \langle Gp_{i_c} \mid i_c = \overline{1, I_C} \rangle$ – група нерухомих елементів конструкції Сх, де Gp_{i_c} – геометричний примітив; $V_{i_v} = \langle L_{i_v}, \langle Gp_{j_{V_i}} \nabla V_{j_{V_i}} \mid j_{V_i} = \overline{1, J_{V_i}} \rangle \Big|_{i_v = \overline{1, I_V}} \rangle$ – група рухомих

елементів конструкції S_x , де $V_{j_{V_i}}$ – опис нової j_{V_i} -ї групи V , яка описується в СК групи V_{i_V} , тобто має власну СК, інтервальні обмеження щодо можливих переміщень та відповідний склад елементів; J_{V_i} – кількість компонентів групи V_{i_V} ; ∇ – математичний знак логічної операції “виключного або”; L_{i_V} – ідентифікатор обмеження (від англ. *Limitation* – обмеження), представлено у вигляді кватерніонів. P_{C_x} – полюс S_x , точка в СК ПР, необхідна для пошуку ТПС. $CFP = [Q(w, x, y, z); P(x, y, z)]$ – додаткові параметри S_x , за допомогою яких здійснюється поєднання (інтеграція) ФМ S_x з ФМ МС ПР; Q – кватерніон початкової орієнтації S_x в СК МС ПР; P – положення СК S_x в СК кінцевої ланки МС ПР.

$$\begin{aligned} \Phi M \text{ ПР} = & \langle +Y1Pd[200;535X;445Z]0 \vee +Y2Pd[365+50S3;535X;700Z] + [R(0;0;0;1)]; -[R(0;0;0; \\ & -1)] \vee +X3Pd[150;H2]0 \vee -Z4Cd[Cr1|120;300Y]; Cr2|112-120S5;100Y] + [R(0,7071;0; \\ & 0;0,7071)] - [R(0,3826;0;0;0,9238)] \vee +Y5Cr[1150+100S6;300X]0 \vee +Z6Cr[232-20S5 \\ & +20S7;100Y] \vee +Y7Pd[190+30S8;445Z;300X] + [R(-0,3090;0;0;0,9510)]; -[R \\ & (-0,3090;0;0;-0,9510)] \vee +X8Cr[1800-150S7;160Y] + [R(-0,1736;0,9848;0;0)]; \\ & -[R(-0,1736;-0,9848;0;0)] \vee +X9Cd [Pd1|60;180Z;180Y]; Cr1|40;100Y] + [R(0,3420; \\ & 0;0;0,9396)]; -[R(0,3420;0;0;-0,9396)] \vee +X10Cr[6;50Y] + [R(-0,7071;-0,7071;0;0)]; \\ & -[R(-0,7071;0,7071;0;0)] \rangle \\ & \langle CFP[Q(1;0;0;0), P(0,50,0)], C\{Pd[(60;106,5;37), (0;-53,25;0)] \}, \\ & V\{L[Q(0;22;-89,7;0), Q(0;22;-89,7;0), Q(1;0;0;0), Q(0,70;0;0;0,70)], \\ & Pd[(12,5;30;16), (0;-15;0)], Pd[(24;42;16), (5;-37;0)], Pd[(12,5;27;16), (10,7;-68;0)], \\ & Pd[(15;30;16), (5;-69;0), Q(0,98;0;0;0,17)], Pd[(12,5;40;16), (4,4;-98;0), Q(-0,98;0;0;0,17)], \\ & Pd[(10,5;6;16), (-2,5;-116;0)] \}, V\{L[Q(0;-22;-89,7;0), Q(0;-22;-89,7;0), Q(-1;0;0;0), \\ & Q(-0,70;0;0;0,70)], Pd[(12,5;30;16), (0;-15;0)], Pd[(24;42;16), (-5;-37;0)], \\ & Pd[(12,5;27;16), (-10,7;-68;0)], Pd[(15;30;16), (-5;-69;0), Q(-0,98;0;0;0,17)], \\ & Pd[(12,5;40;16), (-4,4;-98;0), Q(0,98;0;0;0,17)], Pd[(10,5;6;16), (2,5;-116;0)] \} \rangle. \end{aligned}$$

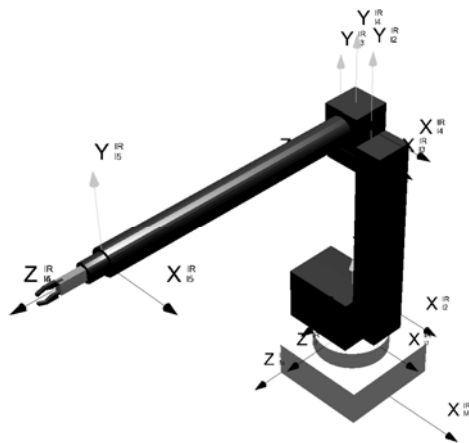


Рис. 2. 3-D еквівалент ПР побудований на основі ФМ ПР, в якому використано МС моделі “M710iC/20” фірми “Fanuc” та S_x моделі “LGR 32” фірми “Schunk”

На основі вищезазначеного та виразу (1) сформовано узагальнену ФМ ПР, що має такий вигляд:

$$\begin{aligned} \Phi M \text{ ПР} &= \langle \Phi M \text{ МС} \rangle \langle \Phi M \text{ Сх} \rangle = \\ &= \langle \pm O_{i_l} \ t_{i_l} [H_{i_l}] \ Q_{i_l-(i_l-1)} \ C_{i_l-(i_l+1)} \Big|_{i_l = \overline{1, n_l}} \rangle \langle P_{C_x}, CFP, (C) \vee (V_{i_v} \ | \ i_v = \overline{1, I_v}) \rangle. \end{aligned} \quad (3)$$

Приклад ФМ абстрактного ПР, що сформований на базі МС ПР моделі “M710iC/20” фірми “Fanuc” із Сх моделі “LGR 32” фірми “Schunk”, представлено нижче і проілюстровано на рис. 2.

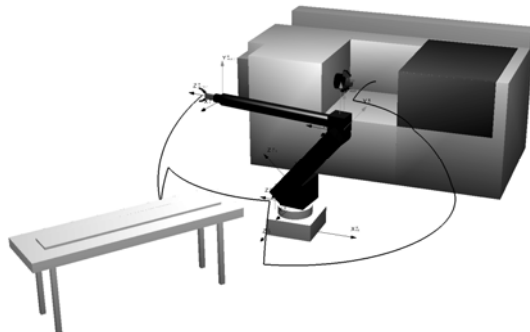


Рис. 3. Приклад використання ФМ ПР для розв’язання траєкторних задач при обході перепон

Висновки. У роботі запропоновано загальну ФМ ПР, яка містить розміри конструктивних елементів ПР, величини переміщень рухомих елементів, відносні положення елементів в СК ПР та має такі переваги:

- 1) легкість використання під час моделювання положення ланок та елементів Сх (використовується змінна – локальний час [5, 7]);
- 2) можливість перевірки на зіткнення між конструктивними елементами ПР та структурними одиницями ГВК;
- 3) простота програмної реалізації;
- 4) інформативність візуалізованого представлення ФМПР, що покращує змістовність багатьох задач, що розв’язуються при автоматизованому синтезі роботизованих механоскладальних технологій в ГВК.

1. Кирилович В.А. Формування функціональних моделей схватів промислових роботів / В.А. Кирилович, П.П. Мельничук, Р.С. Моргунов // Міжнародний збірник наукових праць “Прогресивні технології і системи машинобудування”. – Донецьк, 2012. – Вип. №1,2(44). – С.110–115. 2. Корендясев А.И. Теоретические основы робототехники: В 2-х кн. / под ред. С.М. Каплунова. – М.: Наука, 2006. 3. Мельничук П.П. Задачі технологічної взаємодії схватів промислових роботів з об’єктами маніпулювання в механоскладальних гнучких виробничих комірках / П.П. Мельничук, В.А. Кирилович, Р.С. Моргунов // Збірник наукових праць Житомирського державного технологічного університету “Процеси механічної обробки в машинобудуванні”. – Житомир, 2011. – Вип. №10. – С.24–41. 4. Проць Я.І. Захоплювальні пристрої промислових роботів: Навчальний посібник. – Тернопіль: Тернопільський державний технічний університет ім. І. Пулюя, 2008. – 232 с. 5. Kuipers J. B. Quaternions and Rotation Sequences: A Primer with Applications to Orbits, Aerospace and Virtual Reality. – Princeton University Press (August 19, 2002). – 400p. 6. Melnychuk P. The use of the theory of quaternions for forming the functional models of industrial robots’ grippers / Melnychuk P., Kyrylovych V., Morhunov R. // Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej. – Mechanika. – z.84(nr 1/2012). – S.35–41. 7. Michael P. J. Exploiting Quaternions to Support Expressive Interactive Character Motion / Michael Patrick Johnson – Thesis (Ph. D.) – Massachusetts Institute of Technology, School of Architecture and Planning, Program in Media Arts and Sciences. – 2003. – 266 p. 8. Melnychuk P. Использование теории кватернионов для формирования функциональных моделей

манипуляционных систем промышленных роботов / Petro Melnychuk, Valeriy Kyrylovych, Oleksandr Pysarchyk // Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej. – №279. – Mechanika. – z. 83(nr. 1/2011). – S.103–112. 9. Monkman. G. J. Robot grippers / G. J. Monkman, S. Hesse, R. Steinmann, H. Schunk. – Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2007. – 452 p. 10. Siciliano Bruno. Springer Handbook of Robotics / Bruno Siciliano, Oussama Khatib. – Berlin: Springer, 2008. – 1631 p. 11. Xiong Chiahua. Fundamentals of robotic grasping and fixturing / Chiahua Xiong, Han Ding, Youlun Xiong – USA: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 2007. – 229 p. 12. IFR International Federation of Robotics // <http://www.ifr.org/>. – 12.11.2012.

УДК 62-503,57:62-229,34

А.Ю. Сазонов, В.А. Кирилович

Житомирський державний технологічний університет,
кафедра автоматизації та комп'ютеризованих технологій

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ПОХИБКИ ПОЗИЦІОНУВАННЯ СХВАТА ПРОМИСЛОВОГО РОБОТА ВІД ВЕКТОРІВ ПІДХОДУ ДО ЗАДАНОЇ ТОЧКИ

© Сазонов А.Ю., Кирилович В.А., 2012

Визначено залежності величини похибки позиціонування схвата промислового робота в i -й точці робочої зони промислового робота від вектора підходу до цієї точки, підтверджено гіпотетичні твердження щодо взаємної компенсації та/або накладання похибок в зчленуваннях ланок промислового робота.

Defined dependence between industrial robots' pose errors in the i -th point of working space and Come up Vector to this point, previously specified hypothesis about intercompensation and/or intercomposition of errors in industrial robot links' joints is confirmed.

Вступ. Точність позиціонування промислових роботів (ПР) формує точність технологічного обслуговування (завантаження/розвантаження) технологічного обладнання і є однією із найважливіших під час проектування та синтезу роботизованих механоскладальних технологій та визначальною для оптимізації обраної технології [3]. Встановлення та зняття (завантаження/розвантаження) об'єкта маніпулювання (ОМ) в/з пристосування (Пр) робочої позиції (РП) визначається запропонованим та дослідженим авторами векторів підходу схвата (Сх) ПР до ОМ [1].

Постановка задачі. Аналіз множини векторів підходу від початкової ($i-1$)-ї до i -ї точки робочої зони (РЗ) ПР дає можливість визначати оптимальний за точністю позиціонування СхПР вектор підходу з найменшою похибкою позиціонування Сх ($\Delta_{C_x_i} \rightarrow \min$) у задачах автоматизованого синтезу роботизованих механоскладальних технологій (РМСТ) на етапі проектування механоскладальних гнучких виробничих комірок (ГВК) при виборі із множини можливих векторів, що можуть бути забезпечені ПР в конкретних виробничо-технологічних умовах. Тому доцільним є проведення досліджень щодо визначення множини можливих векторів підходу до конкретної i -ї точки робочої зони (РЗ) ПР.

Мета дослідження така: на підставі введеного поняття “вектор підходу” в контексті технологічного обслуговування промисловим роботом механоскладальних робочих позицій, що