

УДК 658.512.4.01

МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ФОРМУВАННЯ МАРШРУТУ ВИКОНАВЧОГО ОБЛАДНАННЯ ПРИ РЕАЛІЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ СКЛАДАННЯ МОДУЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ В УМОВАХ АВТОМАТИЗОВАНИХ ВИРОБНИЦТВ

Д.т.н. І.Ш. Невлюдов, д.т.н. О.М. Цимбал, к.т.н. К.Л. Хрустальов, А.О. Функендорф, Харківський національний університет радіоелектроніки

У статті запропоновано розроблені адаптивні параметричні моделі об'єктів складання з модульною конструкцією, виконавчого обладнання та його робочого простору при реалізації процесів складання. Вперше представлено моделі формування руху виконавчого обладнання з урахуванням принципів адаптивного керування для зазначених умов.

В статье предложены разработанные адаптивные параметрические модели объектов сборки с модульной конструкцией, исполнительного оборудования и его рабочего пространства при реализации процессов сборки. Впервые представлены модели формирования маршрута исполнительного оборудования с учетом принципов адаптивного управления для указанных условий.

Developed adaptive parametric models of assembly objects with modular construction, executive equipment and its working space in the implementation of assembly processes. Models of forming the route of the executive equipment are presented taking into account the principles of adaptive control for the specified conditions are presented for the first time

Ключові слова: модульна конструкція, узгодженість, адаптивність, параметричні моделі, маршрут руху, виконавче обладнання, моделі формування маршруту руху, адаптивне керування.

Вступ

Застосування модульних принципів при конструюванні приладів різноманітного призначення в умовах глобальної автоматизації сучасних виробництв дозволяє підвищити їх уніфікованість, ремонтпридатність та загальну надійність, спрощує процес проектування як самої конструкції, так і технологічних процесів виробництва, які заздалегідь зводяться до проектування та реалізації технологічних процесів складання зазначених конструкцій [1,2].

Реалізація технологічних процесів складання приладів з модульною конструкцією полягає здебільшого у встановленні та з'єднанні елементів у загальному виробі, що має реалізовуватись відповідно до технологічних схем складання, з яких найбільш інформативними у заданих умовах є схеми з базовою деталлю, та схеми з'єднань. Вони добре адаптуються до модульних конструкцій та надають необхідну інформацію про послідовність етапів складання.

Основним етапом проектування процесу складання модульних конструкцій є формування маршруту руху виконавчого обладнання, яке і виконує процес переміщення та встановлення елементів [3,4]. В умовах адаптивного керування, що є характерним для сучасних автоматизованих виробництв, це супроводжується поетапним визначенням поточного стану не тільки об'єкта складання, а й самого виробничого обладнання та його робочого простору, що є достатньо складною задачею та потребує розробки нових рішень та математичних моделей, які дозволять більш повно автоматизувати зазначений процес.

Розробка адаптованих параметричних моделей

Параметричні моделі дозволяють реалізувати найбільш повну формалізацію об'єкта складання та є основою для побудови моделей прийняття рішень про послідовність та сутність виконання технологічних операцій у процесі складання.

В умовах складання конструкцій модульного типу параметричні моделі об'єкта складання та його вузлів мають містити не тільки функціональні параметри, а й параметри розмірів, типів та кількості з'єднань, тощо. Також на етапі побудови параметричних рядків мають бути враховані принципи узгодженості елементів конструкції між собою та у загальному пристрої. Для умов складання приладів з конструкцією модульного типу в рамках теорії множин в узагальненому вони набувають вигляду:

$$\exists (M_{par}, M, R), M_{par} \supset \{M, R\} \quad (1)$$

де M_{par} – множина параметрів загальної конструкції приладу;

M – множини параметрів складальних модулів конструкції;

R – множини параметрів узгодженості елементів конструкції між собою та у загальній системі пристрою.

Узгодженість елементів досягається описом міжмодульних з'єднань та обмежень, які накладають приналежність деяких параметрів на приналежність, або відсутність інших у параметричних моделях як відповідних елементів конструкції, так і у моделях загального пристрою. Таким чином, обмеження можуть накладатись як в рамках формалізації одного модуля, так і параметри одного модулю можуть безпосередньо

впливати на допустимість параметрів інших у прагненні досягнення кінцевої мети процесу та вимог технічного завдання для приладу, що виробляється [5]. В узагальненому вигляді математичний опис зазначених обмежень набуває наступного вигляду:

$$\exists(M_{par}, M_i, M_n, M_k) \forall M_{par} \supset \{M_i, M_n, M_k\},$$

$$\forall M_i \supset M_{i,j} = 1 : M_n \supset M_{n,s} = 1 : M_k \supset M_{k,t} = \emptyset, \quad (2)$$

де M_i, M_n, M_k – множини параметрів i -го n -го та k -го модулів відповідно, що входять до складу множини параметрів загального пристрою M_{par} .

$M_{i,j}, M_{n,s}, M_{k,t}$ – булеві параметри i -го n -го та k -го модулів відповідно.

Розроблені параметричні моделі є адаптованими для формалізації приладів з конструкцією модульного типу різноманітного призначення з урахуванням узгодженості складових елементів у цілісній системі пристрою. Їх застосування на етапах конструювання дозволяє підвищити загальний рівень автоматизації зазначених процесів шляхом вилучення людини на етапах прийняття рішень про вибір складових модулів за умови подальшої розробки багатокритеріальних моделей прийняття рішень на їх основі та дозволяють подальшу розробку технологічних схем складання і моделей формування маршруту.

Окрім параметричних моделей об'єкта складання для подальшої розробки моделей формування маршруту необхідним є параметричний опис стану самого виконавчого обладнання (робота) та його робочого простору. На відміну від моделей об'єкту проектування вони не мають взаємопов'язаних обмежень та описують стан обладнання або простору у конкретний проміжок часу.

Згідно теорії множин в узагальненому вигляді адаптована модель стану виконавчого обладнання має вигляд:

$$\exists(VO_t), VO_t \supset \{p_{VO,1}, p_{VO,2}, \dots, p_{VO,n}\}, \quad (3)$$

де VO_t – множина параметрів, що описує стан виконавчого обладнання у проміжок часу t ;

$p_{VO,1}, p_{VO,2}, \dots, p_{VO,n}$ – параметри виконавчого обладнання у проміжок часу t .

Параметрами, що характеризують стан виконавчого обладнання, можуть бути положення маніпулятора (маніпуляторів), їх ланок та схватів, стан системи керування, ступінь завантаженості бункера, тощо. Вони можуть змінюватись в залежності від конкретних моделей та функціональних можливостей виконавчого обладнання.

Моделі робочого простору згідно теорії множин будуються аналогічним чином:

$$\exists(RP_t), RP_t \supset \{p_{RP,1}, p_{RP,2}, \dots, p_{RP,m}\}, \quad (4)$$

де RP_t – множина параметрів, що описує стан робочого простору виконавчого обладнання у проміжок часу t ;

$p_{RP,1}, p_{RP,2}, \dots, p_{RP,m}$ – параметри робочого простору виконавчого обладнання у проміжок часу t .

Параметри робочого простору можуть бути представлені інформацією про поточні координати об'єкта складання, його елементів та елементів з'єднань, координати сторонніх об'єктів, специфічні умови середовища, які мають враховуватись при реалізації процесу, та інше.

Адаптованість розроблених моделей досягається можливістю їх застосування у різноманітних умовах виробництва та при використанні різноманітних типів виконавчого обладнання.

Розробка моделей формування маршруту

В якості виконавчого обладнання при реалізації технологічних процесів складання конструкцій приладів модульного типу виступають здебільшого промислові роботи-маніпулятори. Їх керування може бути реалізовано як за жорсткими, так і адаптивними принципами. Маршрут переміщення рухомих частин робота у просторі базується на послідовності виконання відповідних складальних операцій, що, в умовах складання конструкцій модульного типу, є відповідним до схем складання з базовою деталлю, що проектується із застосуванням параметричних моделей об'єктів складання [5,6]. В узагальненому вигляді задача побудови траєкторії руху робота у зазначених умовах полягає у прагненні досягнення сформованої на етапі розробки технологічної схеми складання послідовності встановлення елементів у цілісну систему конструкції конструкцію оптимальним у зазначених умовах шляхом:

$$MVO \xrightarrow{W} G, \quad (5)$$

де MVO – бажаний маршрут руху виробничого обладнання;

G – кінцева мета процесу;

W – оптимальний для конкретних умов виробництва шлях досягнення мети.

Загальний шлях досягнення мети можливо поділити на певну кількість станів, що характеризуються своєю певною метою у рамках зазначеної кінцевої мети процесу та відповідним шляхом – рухами виконавчого обладнання, необхідними для реалізації певного етапу. В умовах адаптивного керування виконавчим обладнанням побудова маршруту основана на прийнятті рішення, що призводить до бажаного для поточного стану результату, яке реалізується шляхом виконання певної дії. Таким чином стає можливою побудова математичної моделі [7,8] для певного стану:

$$State_i = f(State_{i-1}, g_i, s_i, d_{i-1}, a_{i-1}), \quad (6)$$

де $State_{i-1}$ – параметри, що характерні для попереднього стану процесу;

g_i – кінцева мета для певного етапу процесу,

d_{i-1} – рішення, що призводить до поточного стану S_i ,

a_{i-1} – дія, що реалізує рішення d_{i-1} ;

s_i – координати початкової для даного стану (кінцевої для попереднього) точки простору, у якій знаходилось обладнання.

Математичний опис дії, що реалізує рішення d_i , яке призводить до поточного стану i , в наслідок, до кінцевої мети, має вигляд:

$$a_i = f(M_{pari}, VO_i, RP_i), \quad (7)$$

У випадку адаптивного керування інформація про поточний стан конструкції та робочого простору може бути отримана з сенсорних систем у рамках зазначених множин, або з інформаційної системи обладнання. Інформація про стан самого обладнання отримується здебільшого тільки з інформаційної системи.

У загальному вигляді модель формування маршруту руху виконавчого обладнання при реалізації технологічних процесів складання модульних конструкцій може бути описана наступним чином:

$$\begin{aligned} State_0 &\rightarrow State_1(S_1, f(M_{par1}, VO_1, RP_1)) \rightarrow \\ &\rightarrow State_2(S_2, f(M_{par2}, VO_2, RP_2)) \dots \rightarrow \\ &\rightarrow State_n(S_n, f(M_{parn-1}, VO_{n-1}, RP_{n-1})). \end{aligned} \quad (8)$$

Висновки

Побудовані параметричні моделі, в рамках яких в даній роботі отримала подальший розвиток теорія прийняття рішень для автоматизації процесів складання, дозволяють найбільш повну формалізацію основних елементів приладів з модульною структурою, самого об'єкту складання, виконавчого обладнання, в якості якого розглядались промислові роботи-маніпулятори, та робочого простору виконавчого обладнання. Вони є адаптивними для умов реалізації зазначених процесів при виробництві приладів з модульною конструкцією різноманітного призначення та різних умов організації виробництва.

На базі розроблених параметричних адаптивних моделей стає можливою подальша розробка багатокритеріальних моделей прийняття рішень про вибір функціональних складових модулів конструкції приладів та послідовність складання. Це, в свою чергу, дозволить підвищити загальний рівень автоматизації

процесів конструювання зазначених приладів та реалізувати автоматизовану генерацію технологічних схем складання з базовою деталлю, які є найбільш інформативними для умов реалізації процесів складання.

Отримані шляхом інтеграції розроблених параметричних моделей у моделі станів етапів маршруту моделі формування маршруту руху виконавчого обладнання дозволяють більш детальну формалізацію побудови траєкторії руху відповідно до точок, що є цільовими для певних етапів процесу. В умовах адаптивного керування виконавчим обладнанням отримані моделі дозволять підвищити рівень реалізації самих процесів складання приладів з базовою деталлю та дозволить в подальшому вивести загальні процеси виробництва модульної техніки на рівень безлюдних виробництв з типізацією технологічних процесів складання.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ:

1. Лукинов, А.П. Проектирование мехатронных и робототехнических устройств [Текст]: Учебное пособие / А.П. Лукинов – СПб.: Издательство «Лань», 2012. – 608с.
2. Groover, M. CAD/CAM: Computer-Aided Design and Manufacturing [Text] / M. Groover. E. Zimmers – P: Pearson Technology Group, 2008. – 514 p.
3. Козырев, Ю.Г. Промышленная робототехника, мехатроника и проблемы автоматизации сборочных операций [Текст] / Ю.Г. Козырев // Сборка в машиностроении, приборостроении : ежемесячный научно-технический и производственный журнал. – 2006. – N2. – С. 16-24.
4. Капустин, Н.М. Автоматизация производственных процессов в машиностроении [Текст]: Учебник / Н.М. Капустин, П.М. Кузнецов, А.Г. Схиртладзе – М.: Высш. шк., 2004. – 415с.
5. Невлюдов, І.Ш. Моделі формалізації для вирішення задач автоматизації проектування конструкцій роботів з модульною структурою [Текст] / І.Ш. Невлюдов, В.В. Євсєєв, Є.А. Разумов-Фризюк, А.О. Функендорф // Системи управління, навігації та зв'язку: сб. наук. пр. – Полтава. – 2017. – Вып. 2(42). – С. 36-38.
6. Голиков М.О. Автоматическое проектирование модульной сборки устройств [Текст] / М.О. Голиков, А.А. Функендорф, // 20 международный молодежный форум «Радиоэлектроника и молодежь в 21 веке». Сб. материалов форума. Т.1. – Харьков: ХНУРЭ. 2016. -189с.
7. Цымбал, А.М. Планирование решений в системе управления роботом [Текст] / А.М. Цымбал // Вестник СевГТУ. Сер. Автоматизация процессов и управление: сб. науч. тр. – Севастополь. – 2009. – Вып. 95. – С. 124-128.
8. Цымбал, О.М. Системи планування рішень інтелектуальних роботів: стан та перспективи [Текст] / О.М. Цымбал, Р.І. Цехмістро // Східно-європейський журнал передових технологій, Харків. – 2004. – № 4 (10). – С. 60-63.