

МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИЗОВАНОГО ПРОЦЕСУ СКЛАДАННЯ

Анотація: Розглянуто роботизований процес складання та моделювання його математичної моделі у вигляді трьохрівневої системи. Описано та обґрунтовано вибір методу золотого перетину, як методу оптимізації параметрів змодельованої системи складання.

Ключові слова: процес складання, моделювання, математична модель, оптимізація, метод золотого перетину, режими складання.

Вступ

Оптимізація процесу складання необхідна кожному підприємству в умовах конкуренції і раціонального використання обмежених ресурсів. Основою, на якій побудований роботизований процес складання, є механіка орієнтування об'єктів складання.

В формальному поданні сутність механіки процесу орієнтації об'єктів складання полягає в суміщенні зв'язаних з ними систем координат. Процес суміщення систем координат по часу характеризується вектором стану [3]

$$U(t) = [L(t), S(t), V(t)]^m, \quad (1)$$

де $L(t)$, $S(t)$, $V(t)$ – параметри відповідно відносного положення, орієнтації та швидкості відносного просторового переміщення складальних компонентів. Орієнтація приєднуваного об'єкта складання супроводжується зміною складових вектора $U(t)$ за відрізок часу Δt від значень $L(t) > 0, S(t) \geq 0, V(t) > 0$, відповідаючи початку складання, до значень $L(t) = 0, S(t) = 0, V(t) = 0$, визначаючих встановлення складального компонента в положення, що задане конструкцією складального вузла.

Оптимізація процесу корекції та режимів складання

Для забезпечення гарантованого складання корекцію відносного положення приєднуваної роботою деталі необхідно робити на всіх етапах з'єднання деталей. Враховуючи, що складальний пристрій, який розміщений на кисті маніпулятора, накладає обмеження на вантажопідйомність останнього, то доцільно в якості критерію оптимізації процесу корекції прийняти мінімум амплітудного значення рушійної сили. При складанні з'єднань методом автопошуку такою силою являється збуджуюче зусилля вимушених коливань, повідомляючи одному з об'єктів складання. Тому цільова функція, що зв'язує критерій оптимізації — час складання з режимами складання, повинна забезпечувати отримання числових характеристик часу складання в залежності від конкретних режимів та умов складання.

Ефективність автопошуку зони сполучення визначається часом складання прецизійного з’єднання, що залежить від часу пошуку та складання деталі, повного розміру установки на посадковій поверхні, швидкості переміщення деталі (тобто від конструкції з’єднання, швидкості приводу та від випадкових величин, що визначають можливості дезорієнтації об’єктів складання).

Однак не всі з вказаних параметрів можуть бути включені в цільову функцію та класифіковані як режими пошуку. За умовами методу статистичної оптимізації в функції відгуку параметра оптимізації можуть входити керовані фактори. Із вказаних до таких відносяться P , S , A (P – зусилля складання деталей, S – крок сканування, A – амплітуда корекції відносного положення) при стабілізації інших, але оскільки інші фактори в реальних умовах схильні до змін і, відповідно, вони впливають на параметри оптимізації, тому цей ефект враховують як константу – постійним коефіцієнтом функції відгуку. Крім цього, збуджуюче зусилля коливального руху пошуку не входить в цільову функцію, так як визначається з урахуванням самих режимів складання, про що було сказано вище.

Математичне моделювання процесу складання свідчить про доцільність регулювання кроку сканування S зміною кутової швидкості обертального руху ω пошуку, тобто $S = S(\omega)$ при $\theta = \text{const}$ (кутова швидкість вимушених коливань). Приймаючи до уваги, що амплітуда та крок пошуку повинні задаватися з урахуванням значень граничної неузгодженості, допустимого зміщення та точності з’єднання об’єктів складання, можна використовувати параметри Δ_Σ , $|\delta|$, δ (Δ_Σ – сумарне значення похибки орієнтації об’єктів складання, $|\delta|$ – допустиме зміщення складальних компонентів, δ – зазор у з’єднанні) в якості обмежень границь зміни амплітуди та кроку пошукових переміщень.

Априорний аналіз впливу режимів на час складання вказує на можливість запису цільової функції у виді добутку степеневих факторних залежностей [3]:

$$t = C_0(P_i)^\alpha(a_j)^\beta(s(\omega_k))^\varepsilon \rightarrow \min, \quad (2)$$

при обмеженнях $\mu\Delta_\Sigma(\lambda_0^{-1} + \lambda_2^{-1}) \leq P_i < (F_a/\mu)$; $P_i > 0$, ($i = \overline{1, n}$); $\Delta_\Sigma - |\delta| \leq a_j \leq \Delta_\Sigma$; $a_j > 0$, ($j = \overline{1, n}$); $\delta \leq s(\omega_k) \leq |\delta|$; $\omega_k > 0$, ($k = \overline{1, n}$), де C_0 – постійний коефіцієнт, що враховує вплив зовнішніх впливів, не відображених в функції; α , β , ε – показники степені, що характеризують вплив режимів на час складання; μ – коефіцієнт сухого тертя в точках контакту сполучених поверхонь деталей; λ_2 , λ_0 – піддатливості пружних елементів кисті маніпулятора робота та базового пристосування при умові рухомого базування деталей: $\lambda_2 > \lambda_0 \gg 0$.

В залежності (2) перше обмеження вказує, що сила тертя в точках контакту деталей, викликана прикладеним складальним зусиллям, не повинна перевищувати значення горизонтальної складової рушійної сили пошуку та разом з цим складальне зусилля повинно бути достатнім для подолання сил тертя, викликаних дією пружної сили базових еле-

коливань та частота обертання – змінюються за допомогою відповідно модулятора амплітуди МА та регулятора напруги РН. Варіювання складального зусилля, що повідомляється штоком 8 приєднуваної деталі 2, здійснюється регулятором тиску РД, під’єднуваною до порожнин А і Б пневмоприводу 7 через пневмоклапани ПК. Тензометричні чутливі елементи ЧЭ, сумуючий пристрій СУ та посилювач сигналів УС, підключені до шлейфового осцилографу ОШ, дозволяють контролювати в часі значення кутових коливань $\gamma(t)$ приєднуваної деталі. Контроль переміщень $z(t)$ останнього по напрямку складання проводиться датчиком переміщень ДП.

Постановка задачі

Побудуємо математичну модель на прикладі технологічного рівня гнучкої роботизованої системи складання, який, в свою чергу, представимо у вигляді трьохрівневої структури складального комплексу.

В якості першого рівня приймаємо технічний процес складання, в якості другого – процес функціонування складальних модулів, в якості третього – функціонування складальної системи.

Кожен з названих рівнів може бути описаний кількома цільовими функціями f_{ij} , що залежать від вектору параметрів \bar{X}_i із області допустимих значень D_i варіюваних параметрів, де i – номер рівня ($i = \overline{1,3}$); j – порядковий номер цільової функції на i -му рівні. Таким чином, в загальному випадку на кожному рівні ми маємо векторний критерій оптимальності та векторну цільову функцію.

До критеріїв оптимальності першого рівня належить задача оптимізації машинного часу [3]:

$$T_m = C_0 P^\alpha A^\beta S^\varepsilon \rightarrow \min \\ \text{при } P \in \{P\}; A \in \{A\}; S \in \{S\} \quad , \quad (3)$$

де C_0 – постійний коефіцієнт, який враховує вплив факторів, не відображених в функції; $\alpha, \beta, \varepsilon$ показники степеня, які характеризують вплив режимів корекції на час сполучення компонентів. Області допустимих значень $\{P\}, \{A\}, \{S\}$ обумовлюються технологічно обґрунтованими режимами складання.

Другою цільовою функцією першого рівня є функція допоміжного часу [3]:

$$T_a = \sum_{k=1}^g \bar{L}_k / \bar{V}_k \rightarrow \min \\ \text{при } \bar{L}_k \in \{L\}; \bar{V}_k \in \{V\} \quad , \quad (4)$$

де \bar{L} – вектор відстаней на лімітуючій позиції; \bar{V} – вектор швидкостей; g – кількість допоміжних рухів, виконуваних на складальній позиції.

Цільовими функціями другого рівня є циклова продуктивність та коефіцієнт технічного використання складальних модулів, відповідно [3]:

$$Q_u = q / \left[k_{dis}(T_{on}^{lim} + \sum_{k=1}^q T_k) + qT_{min} \right] \rightarrow \max \quad (5)$$

$$\eta_{TH} = 1 - \left\{ T_{on}^{lim}(T_{on}^{lim} / \sum_i \sum_j B_{ij} - 1) / (T_{pem} + T_{обсл.}) + 1 \right\}^{-1} \rightarrow \max$$

при $T_m \in \{T\}$; $T_{on}^{lim} = T_m + T_\theta$; $k_{dis} = Const$;
 $T_\theta \in \{T\}$; $B_{ij} = Const$; $T_{min} = Const$. (6)

Цільовими функціями третього рівня є собівартість складання деталей і фактична продуктивність, відповідно [3]:

$$C = \{C_u(1 + 0,01a) + (\Pi/k_{см}\Phi\eta_{TH})(T^{-1} + 0,01b)\} / m_p Q_u \rightarrow \min; \quad (7)$$

$$Q_\phi = m_p \eta_{TH} Q_u \rightarrow \max;$$

при $Q_u \in \{Q\}$; $(C_u, \Pi, k_{см}, \Phi, T, a, b, m_p) = Const$ (8)

Розрахунок екстремальних значень критеріїв оптимальності кожного наступного рівня цієї системи здійснюється з урахуванням екстремальних значень критеріїв оптимальності кожного попереднього рівня.

Не дивлячись на різний змістовий зміст цільових функцій багаторівневої агрегатованої системи, всі вони з формальної точки зору зводяться до постановки однієї задачі: знайти значення змінних x_1, x_2, \dots, x_n , які спричиняють максимум (мінімум) заданої скалярної функції $f(x_1, \dots, x_n)$ при встановленій області допустимих значень D . Тобто виникає задача оптимізації скалярної функції, при заданих обмеженнях параметрів.

Отже, задачею є пошук екстремальних значень критеріїв оптимальності кожного рівня складальної системи, які обмежуються в технологічно обґрунтованих межах області варіювання факторів. Такі обмеження суттєво зменшують розміри допустимої області, в якій проводиться пошук оптимуму. Проте це не спрощує процедуру пошуку екстремуму, а навпаки, ускладнює її, оскільки ряд методів оптимізації не можна використовувати при наявності обмежень.

Таким чином, клас досліджуваних методів повинен бути спрямований на знаходження умовного екстремуму.

Обґрунтування вибору методу оптимізації

Метод оптимізації повинен приводити до кінцевого результату з найменшими витратами на обчислення і давати можливість отримати найбільший об'єм інформації про шукане рішення.

Серед них можна виділити метод золотого перетину. Цей метод є найбільш економічним і більш точним аналогом методу дихотомії. Він може застосовуватися навіть для недиференційованих функцій і завжди збігається; його збіжність – лінійна. За допомогою даного методу можна знайти екстремуми всіх цільових функцій нашої системи.

Опишемо алгоритм методу золотого перетину.

Будемо вважати, що скалярна функція $\Phi(x)$ задана та кусково-неперервна на відрізку $a \leq x \leq b$, та має на цьому відрізку (включаючи його кінці) тільки один локальний мінімум. Побудуємо ітераційний процес, що сходиться до цього мінімуму.

Крок 1. Знаходимо точки x_1 і x_2 (всередині відрізка $[a, b]$) по формулам [1]:

$$x_1 = a + \frac{3 - \sqrt{5}}{2}(b - a); \quad (9)$$

$$x_2 = a + \frac{\sqrt{5} - 1}{2}(b - a). \quad (10)$$

Обчислити $f(x_1)$ та $f(x_2)$.

Крок 2. Визначити досягнуту точність [1]

$$\varepsilon_n = |b - a|. \quad (11)$$

Перевірка на закінчення пошуку: якщо $\varepsilon_n > \varepsilon$, то переходимо до кроку 3, в іншому випадку – до кроку 4.

Крок 3. Перехід до нового відрізка та до нових пробних точок.

Якщо $f(x_1) < f(x_2)$, то привласнюємо [1]

$$b = x_2, x_2 = x_1, f(x_2) \leq f(x_1), x_1 = b - \frac{\sqrt{5} - 1}{2}(b - a) \quad (12)$$

та обчислюємо $f(x_1)$, в іншому випадку – привласнюємо [1]

$$a = x_1, x_1 = x_2, f(x_1) = f(x_2), x_2 = b + \frac{\sqrt{5} - 1}{2}(b - a) \quad (13)$$

та обчислюємо $f(x_2)$. Переходимо до кроку 2.

Крок 4. Кінець пошуку [1]:

$$x^* \approx \bar{x} = \frac{a + b}{2}, \quad (14)$$

$$f^* \approx f(\bar{x}). \quad (15)$$

Програмно-розрахунковий модуль

Як інструментарій оптимізації був розроблений програмно-розрахунковий модуль для САПР процесів складання. В даній програмі користувач може розрахувати оптимальні значення критеріїв трьохрівневої складальної системи за введеними технологічними та техніко-економічними параметрами. Також можна побачити графічний аналіз роботи методу оптимізації.

Висновки

Математичне моделювання складальної системи у вигляді трьохрівневої структури дало змогу оптимізувати параметри режимів складання. Для розглянутої складної агрегатованої системи синтезовано метод

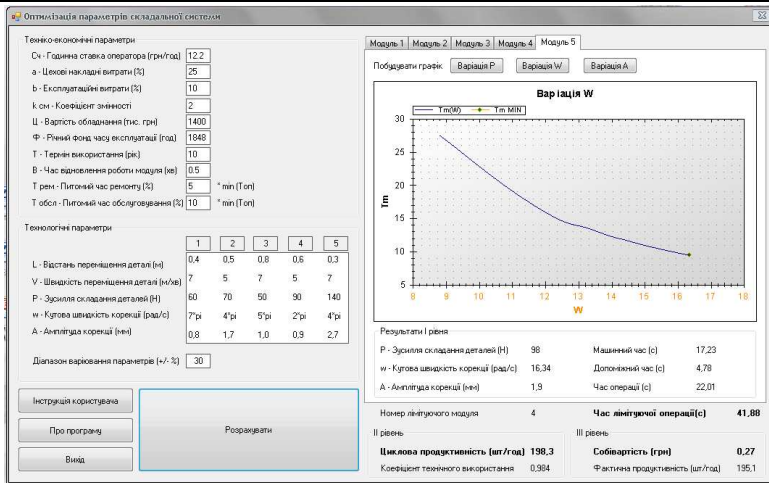


Рис. 2 – Меню програми “Оптимізація параметрів складальної системи”

золотого перетину. За допомогою даного методу знайдено оптимальні значення всіх цільових функцій системи.

Література

1. Методы оптимизации: Учеб. Пособие для вузов / Дегтярев Ю. И. – М.: Сов. Радио, 1980. – 272 с.
2. Справочник по оптимизационным задачам в АСУ / В. А. Бункин, Д. Колев, Б. Я. Курицкий, А. Н. Максименко, Ю. А. Сокурено, А. Стоев. – Л.: Машиностроение, 1984. – 212 с.
3. Оптимизация технологических процессов в гибких производственных системах / Ямпольский Л.С., Полищук М.Н. – К.: Техніка, 1988. – 173 с.

Отримано 26.11.2011 р.