

Використання комп'ютерного пакету Matlab для оптимізації систем регулювання стану електромеханічних об'єктів

Катерина Крикунова

Кафедра систем програмного керування та механіки, Донецький національний технічний університет, УКРАЇНА, м.Донецьк, вул.Артема, 58, E-mail: krykunovaKB@yandex.ru

Abstract – The paper deals with the questions of computer optimization for digital state space controllers and observers. For the optimization purpose the linear state space transformation is carried out to obtain a cascade structure. Such approach simplifies the parameter determination based on the modulus criterion. The specialties of Matlab program that solves the optimization tasks are considered.

Ключові слова – state space, optimization, cascade structure, Matlab program

I. Вступ

У сучасних електромеханічних системах при врахуванні пружності кінематичних зв'язків об'єктів регулювання використовують цифрові регулятори та спостерігачі стану. Визначення їх параметрів можливо на підставі модульного критерію. При цьому необхідні математичні перетворення доцільно виконувати за допомогою комп'ютерних засобів, що суттєво зменшує витрати інтелектуальних ресурсів та мінімізує помилки перетворень.

II. Методика оптимізації

Дискретній системі регулювання у просторі станів у загальному векторно-матричному вигляді відповідає структурна схема, зображена на рис. 1 [1].

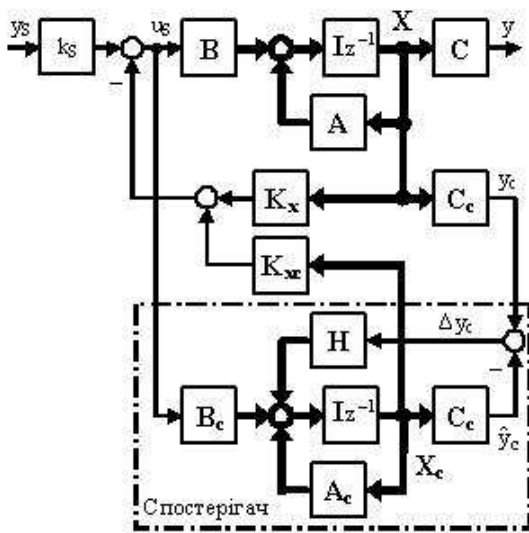


Рис. 1. Структурна схема дискретної системи регулювання в просторі стану

Основну частину системи характеризує рівняння:

$$X(z) = z^{-1}(A - BK_X) \cdot X(z); \quad y(z) = CX(z), \quad (1)$$

де X – вектор змінних стану системи;
 A – матриця переходу системи;
 B – вектор керування;

K_X – вектор коефіцієнтів регулювання стану;
 C – вектор виходу;
 y – вихідна змінна системи;
 z – оператор z -перетворення.

В структурі системи (рис. 1) як I позначено одиничну матрицю і враховано, що нерідко частину змінних стану системи неможливо безпосередньо виміряти. Отже, при цьому використовують спостерігач стану, який відтворює динамічні властивості об'єкту регулювання відповідно до рівнянь:

$$\begin{aligned} X_c(z) &= z^{-1}[A_c X_c(z) + B_c u_s(z) + H \Delta y_c(z)]; \\ \hat{y}_c(z) &= C_c X_c(z), \end{aligned} \quad (2)$$

Методикою визначення коефіцієнтів регулювання K_X та вектора корегування H для отримання бажаних динамічних властивостей регулювання стану системи є використання модульного критерію [2].

Основою процесу синтезу є лінійна трансформація простору станів у вигляді, що відповідає підпорядкованій структурі з матрицею A_Π та векторами X_Π , B_Π і C_Π [2].

При цьому враховуємо умови лінійної трансформації, надані в [1]. У результаті маємо наступні рівняння:

$$\begin{aligned} X_\Pi &= T_X X; \quad B_\Pi = T_X B; \quad C_\Pi = CT_X^{-1}; \\ A_\Pi - B_\Pi K_\Pi &= T_X (A - BK_X) \cdot T_X^{-1}, \end{aligned} \quad (3)$$

де T_X – матриця трансформації простору станів. Важливо звернути увагу, що

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & \dots & a_{1N} \\ a_{12} & a_{22} & a_{23} & \dots & a_{2N} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & \dots & a_{3N} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{N1} & a_{N2} & a_{N3} & \dots & a_{NN} \end{bmatrix}; \quad B = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_{N-1} \\ b_N \end{bmatrix};$$

$$A_\Pi = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & a_{13} & \dots & a_{1N} \\ 0 & 1 & a_{23} & \dots & a_{2N} \\ 0 & 0 & 1 & \dots & a_{3N} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & a_{\Pi} \end{bmatrix}; \quad B_\Pi = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_{N-1} \\ b_\Pi \end{bmatrix};$$

$$C^T = C_\Pi^T = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} \quad (4)$$

Аналіз свідчить, що зазначені вимоги відносно векторів B_Π і C_Π визначають матрицю трансформації

T_X як нижню трикутну матрицю з одиницями у головній діагоналі.

Нижні елементи матриці T_X забезпечують виконання умови $(A_{\Pi} - B_{\Pi} K_{\Pi}) T_X = T_X (A - B K_X)$, яка впливає з останнього рівняння системи (3).

При здійсненні синтезу розглядаємо послідовно часткові матриці та вектори підпорядкованої структури, які характеризують вирази зазначені в [2]

З урахуванням матриць та векторів підпорядкованої структури знаходимо передавальні функції:

$$W_i(z) = C_{\Pi i} [zI - (A_{\Pi i} - B_{\Pi i} K_{\Pi i})]^{-1} B_{\Pi i} = \frac{r_n z^n + r_{n-1} z^{n-1} + \dots + r_2 z^2 + r_1 z + r_0}{q_m z^m + q_{m-1} z^{m-1} + \dots + q_2 z^2 + q_1 z + q_0} = \frac{R(z)}{Q(z)} \quad (5)$$

На основі коефіцієнтів поліномів чисельника та знаменника цих функцій визначаємо рівняння оптимізації.

III. Основні аспекти програмного синтезу регулятора та спостерігача стану

Формування матриці A_{Π} здійснюється за допомогою команди **triu(A)**, яка створює верхню трикутну матрицю на основі заданої матриці **A**. На другому кроці матрицю трансформації T_X дозволяють задати команда **sym('Tx' Int2Str(i) Int2Str(j))**, що формує символічну матрицю у загальному вигляді, і команда **tril(Tx)**, яка здійснює перетворення у нижню трикутну матрицю. Знаходження конкретних виразів для елементів матриці T_X забезпечує розв'язання рівняння $(A_{\Pi} - B_{\Pi} K_{\Pi}) T_X = T_X (A - B K_X)$ за допомогою команди **solve**.

Третім кроком передбачено визначення коефіцієнтів a_{Π} і b_{Π} . Це реалізується також шляхом застосування команди **solve** з урахуванням рівняння $A_{\Pi} = B_{\Pi} K_{\Pi} + T_X (A - B K_X) T_X^{-1}$.

На четвертому кроці здійснюється послідовна оптимізація [2]. Досвід створення програм свідчить, що більш компактно процес оптимізації можна реалізувати за допомогою пакету Matlab 7.6, до засобів символічних перетворень якого додано команду **coeffs**, яка формує вектори коефіцієнтів поліномів. У пакеті Matlab 6.5 процедура визначення коефіцієнтів поліномів потребує багатократного використання декількох команд.

Отже, при передавальній функції W_i , знайденої згідно з виразом (5), в пакеті Matlab 7.6 коефіцієнти поліномів визначає послідовність команд:

❖ **[R, Q] = numden(W(i))** – визначення поліномів чисельника R та знаменника Q;

❖ **r = coeffs(R,z)** – формування вектора коефіцієнтів чисельника;

❖ **q = coeffs(Q,z)** – формування вектора коефіцієнтів знаменника.

З урахуванням векторів коефіцієнтів **r** і **q** далі визначається рівняння оптимізації [2] у відповідності з фрагментом програми, наведеної в табл. 1.

ФРАГМЕНТ ПРОГРАМИ ВИЗНАЧЕННЯ РІВНЯННЯ ОПТИМІЗАЦІЇ

Формування лівої частини рівняння оптимізації	Формування правої частини рівняння оптимізації
<pre> m = length(q); Sq = 0; for j = 1:m g = j; for h = 1:(m-g) ql = sym(q(h)); qr = sym(q(h+g)); Sq = Sq+(g^2)*ql*qr; end end qs = 0; for j = 1:m qs = qs+sym(q(j)); end qs = qs^2; </pre>	<pre> n = length(r); Sr = 0; for j = 1:n g = j; for h = 1:(n-g) rl = sym(r(h)); rr = sym(r(h+g)); Sr = Sr+(g^2)*rl*rr; end end rs = 0; for j=1:n rs = rs+sym(r(j)); end rs = rs^2; </pre>
Рівняння оптимізації $cc = rs * Sq - qs * Sr$;	

Розв'язання рівняння дає вираз для відповідного коефіцієнта вектора K_{Π} підпорядкованої структури, на основі якого з урахуванням матриці трансформації T_X знаходимо вирази для елементів вектора регулювання стану K_X .

Із зіставлення $A \leftrightarrow A_c^T$, $B \leftrightarrow C_c^T$, $K_X \leftrightarrow H^T$ випливає можливість безпосереднього використання розглянутої методики комп'ютерної оптимізації для визначення елементів матриці корегування **H** спостерігача стану [1].

Перевірка функціонування розробленого програмного забезпечення дала результати, які повністю збіглися з отриманими раніше результатами, наданими в [2].

Висновок

Таким чином, розроблено варіант програмної реалізації визначення параметрів цифрових регуляторів і спостерігачів стану на основі модульного критерію з використанням пакету Matlab. У результаті автоматизовано процес оптимізації систем регулювання, спрямованої на отримання бажаних динамічних характеристик електромеханічних систем.

Результати досліджень дають підстави для практичного використання виконаних розробок.

References

- [1] Изерман Р. Цифровые системы управления. - Москва: Мир, 1984. - 541 с.
- [2] Старостін С.С. Оптимізація дискретних регуляторів та спостерігачів стану електромеханічних об'єктів // Електромашинобудування та електрообладнання: Міжвідомчий наук.-техн. збірник. - Київ: Техніка, 2004. - Вип.63. - С.17 - 25.