УДК 519.876.5
Сергій Хоптій, Ірина Войтюк, Андрій Пукас, к. т. н., доцент
Тернопільський національний економічний університет, Україна

ІМІТАЦІЙНА СИСТЕМА ДЛЯ ОЦІНКИ ЯКОСТІ СТРУКТУРИ ІНТЕРВАЛЬНИХ РІЗНИЦЕВИХ ОПЕРАТОРІВ

Створено імітаційну систему для оцінки якості структури моделі і показано, що сформульована задача структурної ідентифікації є багатокритеріальною оптимізацій-ною задачею із дискретними цільовими функціями та нелінійними обмеженнями, зада-ними ІСНАР.

Ключові слова: інтервальний різницевий оператор, інтервальна система нелінійних алгебричних рівнянь (ІСНАР), структурна ідентифікація, імітаційна система.

Sergiy Hoptiy, Voytyuk Iryna, Andriy Pukas

Imitation system for estimation the quality of structure of interval difference operators

It was created the imitation system for estimation the quality of structure of model and shows that the formulated task of structure identification is a multicriterial optimization task with the discrete goal functions and nonlinear constraints which are set by ISNAE.

Keywords: interval difference operator, interval system of nonlinear algebraic equations (ISNAE), structure identification, imitation system.

Вступ

Поняття оптимальності інтервального різницевого оператора пов’язано із введенням безпосередніх характеристик, які дають можливість отримати узагальнену оцінку якості опису цим оператором властивостей модельованого об’єкта. Як правило, йдеться про отримання адекватного опису, достатнього для поставленої задачі, а також про оцінку його деяких кількісних характеристик [1]. Для оцінки якості структури інтервальних моделей статичних систем застосовують критерії адекватності, складності, точності та повноти. Проте вони придатні за умов застосування стохастичного підходу. Тому у цій праці розглянуто актуальну задачу створення імітаційної системи для формалізації процесу пошуку оптимальної структури моделі у вигляді інтервального різницевого оператора.

Постановка задачі

Нехай динамічний об’єкт описуватимемо таким різницевим оператором:

$$\hat{v}_{j+1,k+1} = \vec{g}^T \cdot \vec{f}(\hat{v}_{0,0},...,\hat{v}_{0,k},\hat{v}_{j,0},...,\hat{v}_{j,k},\vec{u}_0,...,\vec{u}_k), k=0,...,N-1, j=0,...,L-1, \quad (1)$$

де $\vec{f}(\hat{v}_{0,0},...,\hat{v}_{0,k},\hat{v}_{1,0},...,\hat{v}_{1,k},\hat{v}_{j,0},...,\hat{v}_{j,k},\vec{u}_0,...,\vec{u}_k)$ – відомий вектор (розмірністю $m\times 1$) базисних функцій, що задає структуру різницевого оператора; $\hat{v}_{j+1,k+1}$ – прогнозована характеристика в j+1 точці простору в $k+1$ момент часу; $\vec{u}_k = (u_{1,0},...,u_{p,0},u_{1,1},...,u_{p,k})^T$ – відомий вектор (розмірністю $p\times 1$) вхідних змінних в k-й дискретний момент часу; $\vec{g}$ – невідомий вектор (розмірністю $m\times 1$) параметрів різницевого оператора.

Невідомий вектор параметрів $\vec{g}$ різницевого оператора оцінюватимемо за умовами включення прогнозованих значень у відповідний інтервал експериментальних даних. Зазначені умови мають такий формальний запис:

$$[\hat{v}_{j+1,k+1}] = [\hat{v}^-_{j+1,k+1};\hat{v}^+_{j+1,k+1}] \subseteq [v_{j+1,k+1}] = [v^-_{j+1,k+1};v^+_{j+1,k+1}], k=0,...,N-1, j=0,...,L-1, \quad (2)$$

де $[\hat{v}_{j+1,k+1}] = [\hat{v}^-_{j+1,k+1};\hat{v}^+_{j+1,k+1}]$ – прогнозований інтервал в загальному випадку обчислюється за формулою:

$$[\hat{v}_{j+1,k+1}] = \hat{\vec{g}}^T \times \vec{f}([\hat{v}_{0,0}],...,[\hat{v}_{0,k}],[\hat{v}_{1,0}],...,[\hat{v}_{1,k}],[\hat{v}_{j,0}],...,[\hat{v}_{j,k}],\vec{u}_0,...,\vec{u}_k), \quad (3)$$

де $\hat{\vec{g}}$ – вектор оцінок параметрів різницевого оператора, який отримуватимемо із умов включення (2), а $[\hat{v}_{0,0}],...,[\hat{v}_{0,k}],[\hat{v}_{1,0}],...,[\hat{v}_{1,k}],[\hat{v}_{j,0}],...,[\hat{v}_{j,k}]$ – задані чи обчислені інтервальні оцінки початкових дискретних значень прогнозованої характеристики.

Підставляючи інтервальні оцінки $[\hat{v}_{j+1,k+1}]$, обчислені за формулою (3) за наявності початкових наближень $[\hat{v}_{0,0}],...,[\hat{v}_{0,k}],[\hat{v}_{1,0}],...,[\hat{v}_{1,k}],[\hat{v}_{j,0}],...,[\hat{v}_{j,k}]$, у вирази (2), отримаємо таку інтервальну систему алгебричних рівнянь [2]:

$$v_{j+1,k+1}^{-} \le \hat{\vec{g}}^{T} \cdot \vec{f}([\hat{v}_{0,0}],...,[\hat{v}_{0,k}],[\hat{v}_{j,0}]...,[\hat{v}_{j,k}],\vec{u}_0,...,\vec{u}_k) \le v_{j+1,k+1}^{+}, \quad (4)$$

$k = 0,...,N-1$, $j = 0,...,L-1$.

Оцінка якості структури інтервального різницевого оператора

Для перевірки «якості» поточної оцінки вектора параметрів різницевого оператора приймають, що якість наближення буде тим вищою, чим ближче буде прогнозований коридор, побудований на основі даного наближення вектора параметрів, до експериментального. У випадку, коли знайдена найкраща оцінка вектора параметрів різницевого оператора для заданої структури, то вказане правило будемо використовувати для оцінки якості поточної структури.

Таким чином якість наближення визначають за допомогою різниці центрів найбільш віддалених між собою прогнозного та експериментального інтервалів – у випадку, коли вони не перетинаються та найменшою шириною перетину серед прогнозних та експериментальних інтервалів – для випадку їх перетину. Формально ці умови для нашого випадку запишемо так:

$$\delta(\hat{\vec{g}}) = \max_{i=0\ldots N, j=0..L} \left\{ mid\left(\left[\hat{v}_{i,j}\right]\right) - mid\left(\left[v_{i,j}\right]\right) \right\} = \max_{i=0\ldots N, j=0..L}$$

$$\left\{ \left| mid(f^{T}([\hat{v}_{0,0}],...,[\hat{v}_{0,j}],[\hat{v}_{1,0}],...,[\hat{v}_{1,j}],...,[\hat{v}_{i-1,j-1}]) \cdot \hat{\vec{g}}) - mid([v_{i,j}]) \right| \right\},$$

$$\text{якщо } \left[\hat{v}_{i,j}\right] \cap \left[v_{i,j}\right] = \varnothing,\ \exists\, i = 0,...,N,\ \exists\, j = 0,...,L. \quad (5)$$

$$\delta(\hat{\vec{g}}) = \max_{i=0\ldots N, j=0..L} \left\{ wid\left(\left[\hat{v}_{i,j}\right]\right) - wid\left(\left[\hat{v}_{i,j}\right] \cap \left[v_{i,j}\right]\right) \right\} =$$

$$\max_{i=0\ldots N, j=0..L} \{ | wid(f^{T}([\hat{v}_{0,0}],...,[\hat{v}_{0,j}],[\hat{v}_{1,0}],... ...,[\hat{v}_{1,j}],...,[\hat{v}_{i-1,j-1}]) \cdot \hat{\vec{g}}) - wid([v_{i,j}]) | \} \quad \text{якщо}$$

$$\left[\hat{v}_{i,j}\right] \cap \left[v_{i,j}\right] \neq \varnothing\ \ \forall\ i = 0,...,N,\ \forall\ j = 0,...,L \quad (6)$$

де $mid(\bullet)$, $wid(\bullet)$ - операції визначення центру та ширини інтервалу, відповідно.

Умовою завершення обчислювальної процедури є: $\delta(\hat{\vec{g}}) = 0$. Отже, формули (5), (6) надають не тільки можливість забезпечити знаходження оптимальної оцінки параметрів різницевого оператора, але і провести оцінку якості його структури.

Висновки

У результаті на основі розглянутої обчислювальної процедури створено імітаційну систему для формалізації процесу пошуку оптимальної структури моделі у вигляді інтервального різницевого оператора.

Література

1. Дивак М. П. Структурна ідентифікація інтервальних різницевих операторів / В. І. Манжула, І. Ф. Войтюк // Вісник Тернопільського державного технічного університету, 4 (16). – Тернопіль, 2010.

2. Дивак М. П. Особливості побудови інтервальної системи алгебричних рівнянь та методу її розв’язування в задачах ідентифікації лінійного інтервального різницевого оператора / М. П. Дивак, Т. М. Дивак // Індуктивне моделювання складних систем. – 2009. – С. 35-43.