УДК 631.36:681.516.42:519.876.2

БАГАТОСТАДІЙНІ МАШИННІ ТЕХНОЛОГІЇ У РОСЛИННИЦТВІ З ВНУТРІШНІМ АЛГОРИТМ УТОЧНЕННЯ ГРАНИЦЬ СТАДІЙ

Лисогор В.М
Пришляк В.М
Вінницький національний аграрний університет

Впервые в сельскохозяйственном секторе предложена и реализована многостадийная машинная технология структуризации, идентификации объекта, разработана модель оценивания параметров разрывов, выполнено моделирование оптимальных стратегий управления, которые включают внутренний алгоритм доопределения границ стадий.

First bagatostadiyna machine technology of strukturizacii, authentication of object, developed model of evaluation of parameters of breaks, is offered in an agricultural sector and realized, the design of optimum strategies of management, which plug an internal algorithm in determination of granic' of the stages, is executed.

Вступ

Відомі фундаментальні публікації з різних напрямів розвитку технологій сільськогосподарського сектора [1, 2, 3]. Опубліковано одну із робіт співавтора цієї публікації зі структуризації, ідентифікації, моделювання оптимальних стратегій управління багатостадійних технологічних процесів (БСТП) [4], заслуговує на повагу, нестаріюча книга з основ інформаційної теорії ідентифікації [5]. Опубліковано монографію, де викладено технологію математичного моделювання процесів та систем механіки з використанням сучасних інформаційних технологій, зокрема пакетів MathCAD та MATLAB останніх версій. Враховуючи сказане, можна стверджувати, що запропонована авторами публікація достатньо актуальна за всіма компонентами запропонованого ними підходу структуризації, аналізу та синтезу БСТП.

Мета публікації

Запропонувати та реалізувати багатостадійну машинну технологію структуризації, ідентифікації об'єкта, розробити модель оцінювання параметрів розривів, виконати моделювання оптимальних стратегій управління.

Викладення основного матеріалу дослідження

Задача структуризації об'єкта. Розглянемо БСТП виду

$$x=F^{ti}(x,y,u,t,a,w), \qquad (1)$$

де $t \in R1$ – ознака одномірності системи;

$t, = t_l, t_2, \dots t_N, t_{i-1} \le t \le t_i$ – час довжини стадій;

$x \in R^{x \times n}$ – вектор стану, кількість точок функціонального каналу;

$x = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$ – вектор стану по стадіях, кількість точок функціонального каналу за час його активності (пасивності);

$y \in R^{n \times y}$, $y = (y_1, y_2, \dots, y_n)^{\mathrm{T}}$ – вихідний вектор вимірювання по стадіях;

$u \in R^{m\times M}$, $u = (u_1, y_2, ..., y_n)$ – вектор управління $u_{imin} \leq u_i \leq u_{imax}$, – зовнішня стимулююча дія на функціональний канал;

$a \in R^{m\times M}$, $a = (a_1, a_2, ..., a_n)$ – вектор параметрів, інерційність функціонального каналу;

$w \in R^{m\times M}$, $w = (w_1, w_2, ..., w_n)$ – узагальнений вектор параметричних, узагальнених та структурних збурень, вплив на поведінку функціонального каналеу часткової невизначеності, яку неможливо зафіксувати тим чи іншим чином;

$F_t = (F_1^t, F_2^t, ..., F_N^t)$ – оператор нестаціонарних нелінійних функцій.

На стиках стадій у дискретні моменти часу $t_1, t_2..., t_n$ мають місце розриви неперервності значень змінних стану. Проміжок часу між появою суміжних розривів вектора стану визначається як стадія. Кожна стадія має визначену, але апріорно невідому довжину T_i $(i = 1, 2..., N)$. Моменти $t_1, t_2..., t_n$, за наявності нечітко виражених розривів, характеризують зміни структури. Очевидно, що

$$T_i = t_i - t_{i-1}, \quad i = 1, 2..., N, \tag{2}$$

де N – число неперервних проміжків-стадій. Дослідженню підлягає оператор лінеарізованого вигляду

$$F^t = A^t x + B^t u, \tag{3}$$

де $A\text{-}\Delta A \leq A + \Delta A$, $B\text{-}\Delta B \leq B \leq B + \Delta B$.

Задача ідентифікації БСТП. Особливість задачі ідентифікації характеризується виглядом стаціонарного оператора (3). За реалізаціями вхідних та вихідних змінних, що отримані в реальних умовах функціонування системи, на заданому класі операторів визначимо у будь-якому змісті оцінки F_r істинного оператора. Для кількісної оцінки близькості і F_s введено функцію $p(y_i(t), \hat{y}_i(t))$, яка залежить від вихідних змінних вектора траєкторного руху в межах кожної стадії. Для вирішення поставленого завдання на математичне очікування цієї функції накладається вимога:

$$E(p(y_i(t), \hat{y}_i(t)) => min. \tag{4}$$

Задача розробки моделі оцінювання розривів та побудування вирішального правила з'єднання стадій. Необхідність розв'язання поданої задачі диктується умовами нечіткої вираженості розриву між стадіями, їх залежність від збурень та дії інших різноманітних зовнішніх факторів. На основі проектування фільтра Калмана отримаємо рівняння оцінки стану вектора нечітко визначених умов розриву стадій

$$x_{об}(t) = A_{іоб}\, x_{об}(t) + K_{іоб}(y_{іоб}(t) - C_{іоб}\, x_{об}(t)). \tag{5}$$

Значення параметрів матриць стану та вимірювання мають вигляд

$$A_{іоб} - \Delta A_{іоб} \leq A_{іоб} \leq A_{іоб} + \Delta A_{іоб}. \tag{6}$$

Вирішальне правило визначення нечітко визначених умов розриву набуде вигляду:

$$H_{oi}: \quad y_{об}(t) = w, \quad при \;\; t < t_i$$

$$H_{li}: \quad y_{об}(t) = C_{іоб}\, x_{об}(t), \quad при \;\; t = t_i. \tag{7}$$

Задача моделювання оптимальних стратегій управління еталонної (ідеалізованої) системи БСТП з невизначеною довжиною стадій. Задача моделювання оптимальних стратегій управління еталонної системи БСТП з невизначеною довжиною стадій передбачає оптимізацію як закону управління $u_e(t)$, так і визначення довжини стадій t. Задача моделювання оптимальних стратегій розглядається у двох варіантах:

а) безпосереднє вимірювання фазових змінних вектора стану $x(t)$ вважається повністю відомим;

б) непряме вимірювання фазових змінних, у цьому випадку замість оцінки вектора стану $x(t)$ використаємо вектор $y(t)$, який взагалі має меншу розмірність ніж $x(t)$.

У такій послідовності і виконаємо постановку задачі моделювання стратегій визначення стимулюючих дій. За безпосереднього вимірювання фазових змінних БСТП може бути заданий рівнянням стану, що описується стохастичним диференційним рівнянням диффузного типу:

$$dX_e(t) = [AX_e(t)+Bu_e(t)]dt+D_1dh_1(t),\ x(t_0), = x_0, \tag{8}$$

де $x_e \in R^n$ – вектор фазових змінних;

$u_e \in R^m$– вектор із множини допустимих управлінь;

$t \in R^1$ – поточний час,

$t_{i-1} \le t \le t_i$; $\eta \in R^n$ – вектор стандартного вінеровського процесу з незалежними компонентами;

A, B, D – матриці відповідних розмірів.

Задача моделювання стратегії управління полягає в тому, щоб на траєкторії руху $x_e(t)$ знайти такі, що забезпечують мінімум функціоналу якості $I(u_e(t),\tau)$, який дорівнює:

$$I(u_e(t),\tau) = M\{x_e(t)R_1X_e^T(t_i)+C_0\tau + \sum_{i=1}^{N}\int_{t_{i-1}}^{t_i}[x_e(t)R_2x_e^T(t) + u_e(t)R_3u_e^T(t)]dt\} \to inf \tag{9}$$

де t – час подовженості стадії;

M – математичне очікування від функціоналу якості;

R_1; R_2; R_3 – матриці вагових коефіцієнтів відповідних розмірів;

C_0 – постійна, що характеризує вартість одиниці часу.

Результатом моделювання є розв’язання задачі синтезу оптимального у змісті мінімуму функціоналу (9) управління стохастичною системою (8). При цьому t – довжина стадії БСТП вважається випадковою та визначається як марківський момент першого досягнення траєкторію випадкового процесу $x_e(t)$ деякої області G О R^n з межею $Г$. Довжина стадії t є додатковим параметром оптимізації екстремальної задачі:

$$I_e(u_e, \tau) \to inf, \tag{10}$$

у якій можливо керувати процесом оптимальних стимулюючих дій. Така постановка задачі є поєднанням ідей оптимального стохастичного управління та послідовного аналізу. При цьому оптимізація по $Ue(t)$ О U відбувається моделюванням оптимального закону управління $u_e(t) = u(t,x_e(t))$ як синтезуючої функції, що визначається на множині траєкторій простору R^n, а оптимальна величина управління

$$\tau= inf\{t \ge 0;\ x_e(t) \varepsilon Г\} \tag{11}$$

визначається межею $Г$ області G. Додатковою специфічною особливістю задачі є те, що межа $Г$ стадії апріорі не задана та визначається з умови оптимальності критерію якості $I_e(u_e(t),\tau)$.

Задачі сумісної оптимізації функціоналу $I(u, t)$ на парі $d = \{u, t\} \in D$ присвячено порівняно небагато робіт, а для багатостадійного визначення активності функціональних каналів вирішується вперше. Для розв’язання основних функціональних рівнянь пропонуються ітеративні процедури методу послідовних наближень. Розглянемо постановку моделювання стратегій управління БСТП за безпосереднього вимірювання фазових змінних. Припустимо, що у БСТП змінюється вектор $y(t)$, що задовольняє стохастичному диференційному рівнянню

$$dy_e(t) = Cx_e(t) + D_2dn_2(t),\ y(0) = 0 \tag{12}$$

У рівнянні вимірювального канала (12) $y_e \in R^r$ – вектор спостережуваних координат C, D_2 – матриці відповідних розмірів, $n_2(t)$ – r-мірний стандартний вінеровський процес, незалежний від $n_1(t)$.

Задача моделювання оптимальних стратегій за своєю сутністю визначається структурою множини пар $d = \{u_e,\ t\} \in D$, на яких відшукується екстремум функціоналу (8). Пропоновану постановку розглянемо як дві складові:

– оптимізація на класі усічених у детермінований момент часу T процесів управління, що задані на інтервалі [$0,\ T$]. У цьому випадку оптимальне правило визначення кінця стадії має вигляд:

$$t_T - min(t,\ T),\ t_e = inf\ \{t_i(0);\ x_e(t) \in \Gamma\}. \tag{13}$$

Введення параметра січення дозволяє отримати розв'язання, по формі адекватне відомому для випадку апріорі визначеної довжини стадії;

– оптимізація на класі неусічених процесів управління. Така постановка задачі використовується для моделювання оптимальних стратегій управління для квазістаціонарних моделей БСТП.

Задача моделювання системи стеження БСТП (нижній рівень управління). Враховуючи збурення, що діють на об'єкт та вимірювальні пристрої, задача управління БСТП може бути повністю розв'язаною за рахунок введення контура стеження. Тоді на верхньому рівні формується траєкторія $x_e(t)$ по стадіях, яка виступатиме як завдаюча величини для системи управління нижнього рівня. Траєкторію зміни інтервалів активності функціональних каналів виразимо математичною моделлю

$$dx(t)/d(t) = A_ix(t) + B_iu(t),\ x_{i-1}(t) = x_{i-1}, \tag{14}$$

$$y(t) = C_ix(t),\ \ t_{i-i} < t < t_i. \tag{15}$$

Закон управління приймемо як

$$u(t) = K_uy(t) - K_uC_ix(t), \tag{16}$$

де k_u – m-мірний вектор невідомих параметрів, які підлягають визначенню. Вважатимемо задачу пошуку таких параметрів k_u, за яких рух замкнутої системи

$$dx(t)/d(t) = (A_i + B_iK_uC_i)x(t) \tag{17}$$

з точки x_0 у початок координат $x = 0$ здійснюється бажаним чином. Будемо вимагати, щоб вихідна змінна $y(t)$ у найбільшій ступені наближалася до вихідної змінної еталонної системи

$$x_e(t) = \hat{A}_{ie}x(t),\ x_e(0) - X_{e0}, \tag{18}$$

$$y_e(t) - C_{ie}X_e(t),\ t_{i-1}\ J\ \in\ J\ (t_i), \tag{19}$$

де A_e визначає бажані динамічні якості системи, що спостерігається. Як міру близькості $x(t)$ до $x_e(t)$ приймемо функціонал $I(\cdot)$.

Отже, запропонована математична модель БСТП з неповною інформацією про стан у вигляді сукупності звичайних диференційних рівнянь, що змінюють одне одного, отриманих в результаті структурної і часової декомпозиції. Структурна декомпозиція зводиться до розбиття багатьох неповних вимірів БСТП на вектор траєкторного руху, вектор оцінювання нечітко виражених умов розриву стадій. Декомпозиція в часі вирішує задачу визначення проміжних нечітко виражених умов розриву стадій. Уперше для такого специфічного об об'єкта поставлено задачу синтезу управління БСТП, що відноситься до класу ієрархічних систем. Оцінку параметрів моделей може бути уточнено на основі експериментальних даних, отриманих за допомогою розробленої та технічно реалізованої інформаційно-вимірювальної системи [4].

Висновки

На основі викладеного основного матеріалу дослідження стверджуємо, що вперше для сільськогосподарського сектора запропоновано та реалізовано нову багатостадійну машинну технологію структуризації, ідентифікації досліджуваного об'єкта. Також розроблено математичну модель оцінювання параметрів розриву стадій та виконано моделювання оптимальних стратегій управління, які мають внутрішній алгоритм уточнення границь стадій.

Література

1. Калетнік, Г.М. Розвиток ринку біопалив в Україні : Монографія. / Г.М. Калетнік. – К.: Аграрна наука, 2008. – 464 с.

2. Калетнік, Г.М. Біопаливо. Продовольча, енергетична та екологічна безпека України: Монографія. / Г.М. Калетнік. – К.: Хай-Тек Прес, 2010. – 516 с.

3. Калетнік, Г.М. Біопаливо: ефективність його виробництва та споживання в АПК України: Навч. посіб. / Г.М. Калетнік, В.М. Пришляк. – К.: Хай-Тек Прес, 2010. – 312 с.

4. Лисогор, В.М. Моделювання багатостадійних динамічних технологічних процесів з неповною інформацією про стан і нечіткими границями стадій. Автореф. дис. докт. техн. наук : ВДТУ, – Вінниця, 1995. – 42 с.

5. Цыпкин, Я.З. Основы информационной теории идентификации / Я.З. Цыпкин. – М.: Наука, 1984. – 320 с.

6. Струтинський, В.Б. Технологія моделювання динамічних процесів та систем. Монографія / В.Б. Струтинський, Н.Р. Веселовська. – Вінниця: О. Власюк, 2007. – 466 с.