

УДК 007.681.518.2

ПРО ДЕЯКИЙ ПІДХІД ДО ПРОГНОЗУВАННЯ ПОВЕДІНКИ СКЛАДНОЇ СИСТЕМИ

Кондратьєва Н.О.

В умовах постійного ускладнення світу машин механізмів, розвитку техніки і технології, цілеспрямованої діяльності людини, що приводять до ускладнення штучного середовища, взаємовідносин між людиною і природою, необхідність прогнозування поведінки складних систем є особливо актуальною.

До характерних рис складних систем варто віднести багатомірність, різнотипність властивостей об'єкта і важкість у формуванні моделі у зв'язку з нестачею знань про внутрішні функціональні взаємозв'язки.

Для прогнозування деякої виділеної властивості об'єкта при відсутності інформації про його структуру і внутрішні взаємозв'язки використовується в основному спосіб міркувань за аналогією. Для цього проводяться виміри деяких виділених властивостей об'єкта дослідження і складається емпірична таблиця. Формулювання закономірностей видається досить складною проблемою, оскільки вони повинні служити основним джерелом інформації про внутрішню структуру і функціональні зв'язки підсистем [1].

Виділення системи на об'єкті носить індивідуальний характер і визначається метою й обмеженнями на дослідження.

У зв'язку з вищевказаним, видається необхідним процес прогнозування поведінки складних систем проводити в рамках автоматизованої системи, організованої на основі ієрархічного підходу до розв'язку системних задач.

Ієрархічна організація відображає рівень знання щодо феноменів, які розглядаються [2].

Вирішення проблеми обробки різнотипних даних здійснюється на самому нижньому рівні ієрархії шляхом абстрагування множини властивостей a_i і їхніх проявів A_i в абстрактні множини змінних v_i і їхніх значень V_i за допомогою введених каналів спостереження o_i й абстрагування e_i^{-1} , реалізованих за допомогою функції

$$o_i : A_i \rightarrow V_i$$

гомоморфною щодо передбачуваних властивостей множин A_i і V_i , а також функцією

$$e_i^{-1} : V_i \rightarrow A_i,$$

ізоморфною щодо математичних властивостей множини V_i і V_i , де V_i - множина станів конкретної змінної.

Прогноз поведінки складної системи проводиться на параметричній множині W , що вводиться аналогічно змінним за допомогою відповідних функцій

$$w_j : B_j \rightarrow W_j,$$

$$\xi_j^{-1} : W_j \rightarrow B_j,$$

де B_j - множина проявів базових властивостей системи на об'єкті, W_j, W_j - множини станів відповідно до конкретного й узагальненого параметра, W_j - канали спостереження для базової змінної, ξ_j^{-1} - канал абстрагування для базової змінної. Таким чином, формування вхідної системи S - системи нульового рівня завершується формуванням абстрактних множин виділених змінних і параметрів. Вхідна система включає три примітивні системи:

$$O = (\{(a_i, A_i) \mid i \in N_n\}, \{(b_j, B_j) \mid j \in N_m\}),$$

$$I = (\{(\dot{v}_i, \dot{V}_i) \mid i \in N_m\}, \{(\dot{w}_j, \dot{W}_j) \mid j \in N_m\}),$$

$$I = (\{(v_i, V_i) \mid i \in N_n\}, \{(w_j, W_j) \mid j \in N_m\})$$

і відношення між ними

$$Q = (\{(A_i, \dot{V}_i, O_i) \mid i \in N_n\}, \{(B_j, \dot{W}_j, w_j) \mid j \in N_m\}),$$

$$\xi = (\{(\dot{V}_i, V_i, e_i) \mid i \in N_n\}, \{(\dot{W}_j, W_j, \xi_j) \mid j \in N_m\}),$$

де O - система об'єкта, I і I - відповідно конкретна й узагальнена системи, Q , ξ і - відповідно повний канал спостереження й повний канал абстрагування/конкретизації.

Тоді вхідну систему можна представити таким способом

$$S = (O, I, I, Q, \xi).$$

Дані, одержувані в результаті спостереження або виміру на наступному рівні ієрархії, представляються функцією

$$d : \mathbf{W} \rightarrow \mathbf{V},$$

де $\mathbf{W} = W_1 \times W_2 \times \dots \times W_m$,

$$\mathbf{V} = V_1 \times V_2 \times \dots \times V_m.$$

Перший епістемологічний рівень ієрархії представляє систему даних

$$D = (I, d).$$

Породження даних або прогноз станів проводиться на основі виділення параметрично інваріантних обмежень або сусідства змінних на загальній параметричній множині $\mathbf{W}$. Параметрично інваріантне обмеження на упорядкованій параметричній множині визначається за допомогою маски

$$M \subseteq V \times R,$$

так, що усякій $(v_i, r_j) \in M$ відповідає одне рівняння

$$S_{k,W} = v_i, r_{j(W)}$$

для змінних $v_i \in V$ і правил зрушення $r_j \in R$, причому r_j - це однозначна функція

$$r_j : W \rightarrow W.$$

Для упорядкованої множини W правило зрушення може бути задане рівнянням

$$r_j(W) = W + \rho,$$

де ρ - ціла константа. $S_{k,W}$ - вибіркові змінні, обумовлені маскою M . Повний стан вибірових змінних визначається таким рівнянням

$$C = S_1 \times S_2 \times \dots \times S_{|M|}.$$

Поведінка вибірових змінних S_i задається за допомогою функції поведінки

$$f_B : C \rightarrow \{0,1\},$$

де $f_B(c) = 1$, якщо стан C входить у перелік, і $f_B(c) = 0$ у протилежному випадку.

Для породження даних необхідно введення визначника входу-виходу, що дозволяє розділити основні змінні V_i на вхідні і вихідні. Таке оголошення робиться за допомогою функції

$$u : N_n \rightarrow \{0,1\},$$

такий, що якщо $u(i) = 0$ або $u(i) = 1$, то це означає, що v_i є відповідно вхідною або вихідною. Так, у випадку розподілу змінних необхідно введення розподілу й у вибіркові змінні S_i . Це можливо здійснити через маску M , розбивши задану маску на дві підмаски

$$\tilde{M} = (M, M_e, M_{\bar{e}}),$$

для котрої справедливо, що $M_e, M_{\bar{e}} \subset M; M_e \cup M_{\bar{e}} = M, M_e \cap M_{\bar{e}} = 0$,

де $\tilde{M}$ - маска спрямованої системи, M - вхідна маска, M_e - підмаска, що визначає вхідні вибіркові змінні, $M_{\bar{e}}$ - підмаска, що визначає вихідні вибіркові змінні. Через підмаски M_e і $M_{\bar{e}}$ визначаються дві множини станів:

$$E = \bigtimes_{k \in K_e} S_k,$$

$$\bar{E} = \bigtimes_{k \in K_{\bar{e}}} S_k,$$

де K_e і $K_{\bar{e}}$ - множини ідентифікаторів вибірових змінних, обумовлених M , що вводяться за допомогою функцій

$$\lambda_e : M_e \rightarrow K_e,$$

$$\lambda_{\bar{e}} : M_{\bar{e}} \rightarrow K_{\bar{e}}.$$

Тоді, функція поведінки для спрямованих систем має вигляд

$$\hat{f}_B : E \times \bar{E} \rightarrow [0,1].$$

Спрямована система з поведінкою визначається трійкою

$$\bar{F}_B = (\bar{I}, \tilde{M}, \hat{f}_B).$$

Породна функція поведінки для нейтральних систем вводиться за допомогою розподілу M маски на дві підмаски M_g і $M_{\bar{g}}$, тобто

$$M_G = (M, M_g, M_{\bar{g}}),$$

де M_g - породжена маска, $M_{\bar{g}}$ - маска, що породжує.

Породна функція поведінки задається функцією

$$f_{GB} : \bar{G} \times G \rightarrow \{0,1\},$$

при $\bar{G} = \bigtimes_{k \in K_{\bar{g}}} S_k, \quad G = \bigtimes_{k \in K_g} S_k,$

де $G, \bar{G}$ - множини станів вибірових змінних $S_k, K_g, K_{\bar{g}}$ - множини ідентифікаторів, обумовлених маскою M_G .

Породна функція поведінки для спрямованих систем задається четвіркою

$$\tilde{M}_G = (M, M_e, M_g, M_{\bar{g}}),$$

де $\{M_e, M_g, M_{\bar{g}}\}$ - це розбивка M .

Тоді породна функція поведінки для спрямованих систем задається таким чином

$$f_{GB} : E \times \overline{G} \times G \rightarrow [0,1].$$

Обчислення розподілу імовірностей робиться через функцію $f_B(c)$ відповідно до маски M .

Будь-яка маска характеризується глибиною, тобто числом стовпів, що визначаються як

$$\Delta M = 1 + \max \rho - \min \rho,$$

де оператори $\max$ і $\min$ застосовні до всіх цілих $(v_i, t + \rho) \in M$. У той же час, вибір глибини маски ΔM обмежений складністю обчислювальної обробки.

Так для системи з п'ятьма змінними v_i і глибиною маски $\Delta M = 4$ число змістовних підмасок $N(n, \Delta M) = 742,568$, що представляє значну важкість обчислювального характеру.

За кількісну оцінку ступеня недетермінованості супутньому породженню даних може бути використана ентропія

$$H(f(c) | c \in C) = - \sum_{c \in C} a(c) \log_2 f(c).$$

Тоді при заданій породній масці M_G для нейтральних систем породна нечіткість визначається як

$$H(G | \overline{G}) = - \sum_{g \in G} f(\overline{g}) \sum_{g \in G} f(g | \overline{g}) \log_2 f(g | \overline{g})$$

або
$$H(G | \overline{G}) = H(c) - H(\overline{G}),$$

а для спрямованої системи

$$H(G | E \times \overline{G}) = H(c) - H(E \times \overline{G}).$$

Мінімальне значення породної нечіткості визначає кращий варіант у змісті визначення прогнозу або передісторії при обраній масці M_G .

Таким чином, прогнозування стану складної системи здійснюється за двома критеріями: складність і нечіткість, шляхом ранжировки підмасок $M_i \in M, i = 1, \dots, n$ і відповідних до них нечіткостей $H(\times)$. Даний підхід може бути використаний для розв'язку найбільш важливих задач, що виникають при виділенні системи на об'єкті дослідження, при обробці емпіричних даних при вивченні складних систем різної фізичної природи.

ЛІТЕРАТУРА

1. Лобов Г.С. Методы обработки разнотипных экспериментальных данных. – Новосибирск: Наука, 1981, 161 с.
2. Клир Дж. Абстрактное понятие системы как методологического средства. Исследования по общей теории систем. - М.: Наука, 1969.- 430с.
3. Клир Дж. Системология. Автоматизация решения системных задач.- М.: Радио и связь, 1990.- 544 с.