

УДК 573.2:577.152.361

ДЕЯКІ АСПЕКТИ ФОРМАЛІЗАЦІЇ І «РОЗПІЗНАВАННЯ» БІОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ

Санагурський Д. І.

Львівський національний університет імені Івана Франка
вул. Грушевського, 4, Львів 79005, Україна

Надійшла до редакції 15.12.2009

У роботі описано підходи до побудови системи «розпізнавання» в складних об'єктах, що мають багато елементів. Окрім того, пропонується алгоритм побудови складної структури на основі інформації про її кожен елемент зокрема.

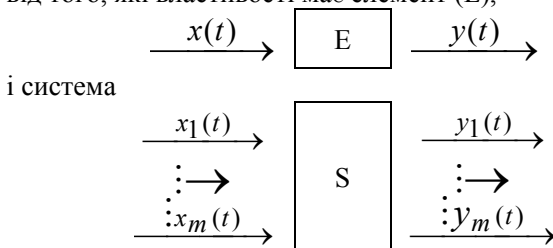
Ключові слова: елемент, система, оператор, трансформація, алгоритм, модель, вхідні та вихідні сигнали, параметри, вектор, матриця, функція відклику, кореляція, ідентифікація, градієнт, структура.

ВСТУП

У складних системах, які утворені з певного набору елементів, існує закономірність взаємодії між ними, направленість в реалізації цих взаємодій, тобто в зміні структури і функції в часі, причому, це веде до реалізації якоїсь кінцевої мети, що можна назвати цільовою функцією.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Відомо, що будь-яку систему можна розглядати як таку, де існують вхідні та вихідні параметри [1], які, очевидно, трансформуються один в інший, залежно від того, які властивості має елемент (Е),



Тобто завданням при цьому є визначення оператора (О), елемента Е чи системи S, який перетворює вхідні сигнали (параметри) x_i у вихідні y_i . Співвідношення, які описують знайдений оператор, будуть моделлю цього елемента чи системи.

Іншими словами, знаходження оператора (О) зводиться до побудови алгоритму А, по якому повинна відбуватись трансформація вхідних величин у вихідні.

Якщо слідувати Ланге [2], то можна виділити загальні властивості елементів системи, що будуть

характерними і для біологічних об'єктів. Тоді можливі такі випадки:

1. Середовище впливає на елемент Е, викликаючи в ньому стани строго визначеного виду. Окремі види таких станів будуть вхідними сигналами елемента Е.

2. Елемент Е впливає на середовище, приймаючи деякий стан. Окремі види таких станів будуть вихідними сигналами елемента Е.

3. Елемент Е має, у крайньому випадку, один вхід та один вихід.

4. Стан вхідних сигналів визначає стан вихідних.

Все це, очевидно, переноситься і на систему. До уваги не приймаються «виключно активні» і «виключно пасивні» елементи, оскільки біологічні системи відносяться до відкритих.

Входом і виходом елемента Е покладемо у відповідність значення $x_1, x_2, x_3 \dots x_n$ та $y_1, y_2, y_3 \dots y_n$, що у векторній формі можна виразити як:

$$\left. \begin{array}{l} \bar{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n) \\ \bar{y} = (y_1, y_2, \dots, y_n) \end{array} \right\} \quad (1)$$

Відношення між станом входів і виходів, або спосіб «роботи» елемента Е, можна виразити як трансформацію О (перетворення) вектора \bar{x} у вектор \bar{y} .

Символічно цю трансформацію можна записати у вигляді:

$$\bar{y} = o(\bar{x}) \quad (2)$$

Оскільки біологічні системи вивчають за допомогою збурюючих впливів на певні елементи, їх

ансамбль і т.д., згідно (2) може проходити певна зміна $\bar{\Delta y}_i$ -тої складової вектора \bar{Y} , відповідно зміні Δx_i -тої складової вектора \bar{X} .

Тоді доля часткового ефекту буде виглядати як:

$$O_{ij} = \left(\frac{\Delta y_i}{\Delta x_j} \right) \quad (3)$$

при всіх $\Delta x_1, \Delta x_2, \dots, \Delta x_{i-1}, \Delta x_i, \Delta x_{i+1}, \dots, \Delta x_m, \Delta y_1, \Delta y_2, \dots, \Delta y_{i-1}, \Delta y_i, \Delta y_{i+1}, \dots, \Delta y_m$.

Можливі інші комбінації, де на якусь зміну Δx_i відбувається «відгук», не тільки відповідного параметра Δy_i , а цілого сімейства $\Delta y_1, \Delta y_2, \dots$. Такий випадок буде розглядатись окремо.

У нашому випадку, коефіцієнти часткового ефекту (O_{ij}) дають результуючу матрицю розміром $m \times m$, яка має вигляд:

$$\bar{O} = \begin{vmatrix} O_{11}, O_{12}, \dots, O_{1m} \\ O_{21}, O_{22}, \dots, O_{2m} \\ \dots \\ O_{m1}, O_{m2}, \dots, O_{mm} \end{vmatrix} \quad (4)$$

Матриця (4) є матрицею трансформації, стосовно біологічних понять, кожен механізм або їх система мають свій ефект перетворення чи трансформації, або свій оператор \bar{O} .

За допомогою матриці (4) правило перетворення вектора $\Delta \bar{X}$ у вектор $\Delta \bar{Y}$ можна виразити у вигляді системи рівнянь:

$$\begin{aligned} \Delta y_1 &= O_{11} \Delta x_1 + O_{12} \Delta x_2 + \dots + O_{1m} \Delta x_m \\ \Delta y_2 &= O_{21} \Delta x_1 + O_{22} \Delta x_2 + \dots + O_{2m} \Delta x_m \\ &\dots \\ \Delta y_m &= O_{m1} \Delta x_1 + O_{m2} \Delta x_2 + \dots + O_{mm} \Delta x_m \end{aligned} \quad (5)$$

.....

$$\Delta y_m = O_{m1} \Delta x_1 + O_{m2} \Delta x_2 + \dots + O_{mm} \Delta x_m$$

або рівнянням

$$\Delta \bar{y} = O(\Delta \bar{x}) \quad (6)$$

У випадку $\Delta x_i \rightarrow \min$ та $\Delta y \rightarrow \min$ рівняння (5) і (6) є диференціальними. У загальному випадку розв'язок цих рівнянь буде мати вигляд:

$$\begin{aligned} y_1 &= f_1(x_1, x_2, \dots, x_m) \\ &\dots \\ y_m &= f_m(x_1, x_2, \dots, x_m) \end{aligned} \quad (7)$$

Систему (7) можна записати як $\bar{y} = f \bar{x}$. Функція (7) є інтегральним випадком перетворення вектора \bar{X} у вектор \bar{y} .

Наступним кроком для опису взаємодії між елементами можна ввести поняття матриці структури

системи, тобто такий підхід можна використати при феноменологічному описі системи та для суто теоретичних досліджень.

Насправді можна застосувати інший спосіб, для аналізу систем, де відомо число елементів, їхні вхідні та вихідні характеристики (функції), але невідома структура, хоча вона є причиною генерації узагальненої (цілевої) функції.

Використовуючи поняття інтеграції метаболічних систем [5, 6, 7], можна виходити з таких позицій.

Нехай маємо складну метаболічну систему S, яка генерує цільову функцію $\bar{y}(t)$.

Відомо, що більшість внутрішньоклітинних процесів проходить у коливному режимі і має нелінійний характер, як і окремі взаємодії між окремими осциляторами [3, 4, 8, 9]. Тому можна представити наступні випадки взаємодій між окремими елементами, які мають відповідні цільові функції

$$\bar{y}(t) = \prod_{i=1}^m x_i(t), \quad \text{або} \quad \bar{y}(t) = \sum_{i=1}^m x_i(t) \quad (8)$$

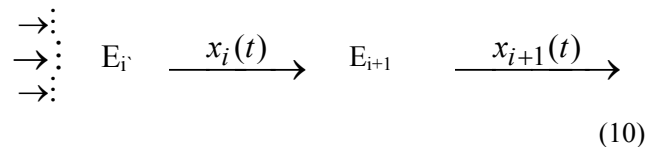
де $x_i(t)$ – функції відклику елементів E_i .

Або при змішаних ефектах

$$\bar{y}(t) = \prod_{i=1}^k x_i(t) + \sum_{i=k}^m x_i(t) \quad (9)$$

Візьмемо до розгляду лінійний випадок, тобто той випадок, коли елементи можуть генерувати довільну функцію (лінійну, нелінійну), але випадок взаємодії між входом елемента E_i і його виходом буде лінійним, тобто оператор взаємодії буде сумування.

Тоді метаболічну систему S, яка складається із m елементів E_i , зв'язаних між собою таким чином, що вихід елемента E_i є входом елемента E_{i+1} , і яка володіє функцією відклику $\bar{y}(t)$, можна зобразити і записати як:



$$\xrightarrow{x_{i+1}(t)} \quad S[\bar{y}(t)] = \left[\sum_{i=1}^m x_i(t) \right]_{E_i}$$

Слід пам'ятати, що для елемента E_i функція $x_i(t)$ є функцією відклику, а $x_i(t)$ для E_{i+1} є вхідною.

Для здійснення операції (10) можна використати один із методів розкладання функцій в ряд, враховуючи конкретний випадок. У результаті розв'язку рівняння (10) отримуємо m функцій $x_i(t)$, які описують стан кожного з елементів E_i . Для «розпізнавання» структури S можна використати будь-який із ідентифікаційних методів, тобто побудувати систему ідентифікації за певними критеріями рангування, знаходячи відповідність

елементам E_i конкретні метаболічні ланки, процеси і т.д.

Зокрема, використовуючи функцію взаємної кореляції, що дає можливість розрахувати усі попарні взаємодії між усією сукупністю функцій,

$$R_{x_i x_j}(\tau) = \frac{1}{T - \tau} \int_0^{T-\tau} x_i(t) x_j(t \pm \tau) dt \quad (11)$$

де x_i, x_j – функції відклику кожного елемента або вхідні, відповідно, наступного.

Враховуючи всі можливі комбінації розрахунку попарних взаємодій і використовуючи співвідношення (11), застосувавши порівняння розрахованих функцій за градієнтом зростання чи спадання (у протилежному напрямку), отримаємо:

$$C_n^2 R_{x_i x_j}(\tau) \equiv \left| \frac{grad R_{x_i x_j}(\tau_i)}{C_n^2} \right|, \quad (12)$$

де $R_{x_i x_j}(\tau)$ – значення взаємно кореляційної функції, $x_i(t), x_j(t+\tau)$ – часові характеристики елементів E_i , які входять у систему S , C_n^2 – комбінація з n елементів по два.

Виходячи із співвідношення (11), можна побудувати кореляційний профіль, отриманий при розрахунках $R_{x_i x_j}(\tau)$ всіх можливих комбінацій

характеристик E_i , які входять у систему S . Використовуючи значення кореляційних функцій $R_{x_i x_j}(\tau_i)$ при фіксованому часовому значенні (τ_i)

можна відповідно отримати ряд співвідношень типу (12), а це не що інше як структура у певний момент часу. Звідси випливає цілий ряд особливостей таких структур, в залежності від того, які значення приймає функція $R_{x_i x_j}(\tau)$ в даний момент часу. Аналітично

такі структури можна описати матрицями стану, де $R_{x_i x_j}(\tau_i) \max_1 > R_{x_i x_j}(\tau) \max_2 > \dots >$

$R_{x_i x_j}(\tau_k) \max_k$. Компонентами матриці служать

значення $R_{x_i x_j}(\tau_i) \max_i$ у порядку зростання τ (рядок). Кожен стовбець містить значення кореляційних функцій, які відповідають співвідношенню (12) в момент часу τ_i (для першого стовбця – τ_1 , для другого τ_2 і для k -го – τ_k).

$$\begin{pmatrix} R_{x_i x_j}(\tau_1) \max_1, R_{x_i x_j}(\tau_2) \max_1 \dots R_{x_i x_j}(\tau_k) \max_1 \\ R_{x_i x_j}(\tau_1) \max_2, R_{x_i x_j}(\tau_2) \max_2 \dots R_{x_i x_j}(\tau_k) \max_2 \\ \dots \\ R_{x_i x_j}(\tau_1) \max_k, R_{x_i x_j}(\tau_2) \max_k \dots R_{x_i x_j}(\tau_k) \max_k \end{pmatrix} \quad (13)$$

Відповідно, кожен стовбець матриці (13) є структурою у відповідний момент часу (τ_k), а це не що інше, як структури, що міняються в часі, що характерно для біологічних систем.

ВИСНОВКИ

Аналізуючи матриці виду (13) можна знайти суттєві «поведінкові» аспекти, які характерні для складних систем, в тому числі для біологічних, наприклад, якщо матриця (13) у процесі розрахунків отримала вигляд матриці стовбця (14):

$$\begin{pmatrix} R_{x_i x_j}(\tau_1) \max_1 \\ R_{x_i x_j}(\tau_1) \max_2 \\ \dots \\ R_{x_i x_j}(\tau_1) \max_k \end{pmatrix} \quad (14)$$

Це означає, що структура (14) не змінюється в часі і представлена тільки однією композицією елементів, тобто усі $R_{x_i x_j}(\tau_i) \max_i$ відповідають

одному фіксованому значенню τ_j .

Література

1. Гленсдорф П., Пригожин И. Термодинамическая теория структуры устойчивости и флуктуаций. М., Мир, 1973. – 280 с.
2. Нейфах С.А. Механизмы интеграции клеточного обмена. Наука, 1967. – С. 9–69.
3. Окань А.М., Санагурський Д.І. Модель коливної динаміки трансмембранного потенціалу в ранньому ембріогенезі в'юна // Фізика живого. – 2008. – Т. 16, № 2. – С. 25–31.
4. Окань А.М., Санагурський Д.І. Оптимізація моделі роботи Na^+, K^+ -АТРази // Біофізичний вісник. – 2008. – Т. 20, № 1. – С. 65–72.
5. Санагурський Д.І., Гойда Е.А. Описание биологических структур с позиций их организации // Проблемы бионики. – 1980. – Т. 24. – С. 100–105.
6. Скулачев В.Т. Трансформация энергии в биомембранах. М., Наука, 1971. – 137 с.
7. Mitchell P. Membranes of cells and organelles: morphology, transport and metabolism / XX Symposia of the Society for General Microbiology: Procariotic and Eucariotic Cells, 1973. – С. 21.
8. Oskar Lange Calość rozwoju w swietle cybernetiki. - Warszawa: Panstwowe wydawnictwa naukowe, 1962. – 120 с.
9. Pringle J.W.S. On the parallel between bearing and evolution // Behaviour. - 1951. – Vol. 3. – P. 174.

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ФОРМАЛИЗАЦИИ И «РАСПОЗНАВАНИЯ» БИОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ**Санагурский Д.И.**

В работе описаны подходы к построению системы «распознавания» в сложных объектах, которые имеют много элементов. Кроме того, предлагается алгоритм построения сложной структуры на основе информации о каждом ее элементе в частности.

Ключевые слова: элемент, система, оператор, трансформация, алгоритм, модель, входящие и исходящие сигналы, параметры, вектор, матрица, функция отзыва, корреляция, идентификация, градиент, структура.

SOME ASPECTS OF FORMALIZATION AND «RECOGNITION» BIOLOGICAL SYSTEMS**Sanagursky D.I.**

Going is in-process described near the construction of the system «recognition» in difficult objects which have many elements. Except for that, the algorithm of construction of difficult structure is offered on the basis of information about its every element in particular.

Key words: element, system, operator, transformation, algorithm, model, entrance and initial signals, parameters, vector, matrix, function of review, correlation, authentication, gradient, structure.
