

## ІНФОРМАТИКА, ОБЧИСЛЮВАЛЬНА ТЕХНІКА ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ

УДК 681.3

Б.М. Герасимов, д.т.н., проф., пров.н.с.

С.О. Кондратенко, ад'юнкт

Житомирський військовий інститут радіоелектроніки

### СИНТЕЗ АЛГОРИТМУ ДІЯЛЬНОСТІ ОПЕРАТОРА ПРИ НЕЧІТКІЙ ПОЧАТКОВІЙ ІНФОРМАЦІЇ

*Розглянуто методика синтезу алгоритму діяльності оператора на ранніх етапах проектування складних технічних систем, що дозволить вирішити проблему початкових даних та отримати достатньо ефективні алгоритми.*

Одною з найбільш важливих задач, виникаючих при розробці складних людино-машинних систем, є задача проектування діяльності оператора. Під проектуванням діяльності оператора прийнято розуміти формальне чи неформальне описання послідовності дій оператора, виконання якої призводить до вирішення тієї чи іншої задачі, виникаючої в процесі функціонування системи. Така послідовність дій визначається як "алгоритм прийняття рішення оператором". Передбачається, що даний алгоритм наділений властивостями дискретності, детермінованості, елементарності та кінцевості кроків, направленості та масовості [1].

Основними показниками якості виконання алгоритму є ймовірність правильного виконання  $P_n$  та час виконання  $T$ .

Ідеальний алгоритм діяльності оператора повинен задовольняти таким умовам:

$$P \rightarrow \max; T \rightarrow \min.$$

Однак такий алгоритм практично синтезувати неможливо через взаємозв'язок між показниками  $P$  та  $T$ . Збільшення ймовірності правильного прийняття рішення оператором можливе лише за рахунок обробки додаткової інформації, що обов'язково призводить до збільшення часу прийняття рішення. В зв'язку з цим задача синтезу алгоритму діяльності оператора може бути сформульована в одній із постановок:

- пряма постановка – знайти такий варіант алгоритму, що забезпечує

$$T \rightarrow \min \text{ при } P \geq P_{\text{дон}}, \quad (1)$$

де  $P_{\text{дон}}$  – мінімально допустима ймовірність правильного виконання алгоритму;

- знайти такий варіант алгоритму, який забезпечує

$$P \rightarrow \max \text{ при } T \leq T_{\text{дон}}, \quad (2)$$

де  $T_{\text{дон}}$  – максимально допустимий час виконання алгоритму.

Розв'язання наведених задач синтезу алгоритму вимагає математичної моделі алгоритму. Найбільш часто алгоритмічні процеси моделюються ймовірнісними графами [2]. Однак такий підхід потребує початкових даних про ймовірнісно-часові характеристики операцій алгоритму. Одержання цих даних поєднується з проведенням експериментальних досліджень в реальних умовах діяльності оператора, що практично неможливо на етапі проектування системи.

При проектуванні людино-машинних систем єдиною доступною початковою інформацією є експертна інформація, що накопичена в процесі розробки та експлуатації систем-прототипів. Формальним апаратом для обробки експертної інформації є теорія нечітких множин [3, 4]. Використання даного апарату при синтезі алгоритму діяльності оператора дозволяє використовувати відомі ймовірнісні моделі у випадку, якщо початкові дані задані у вигляді нечітких чисел.

Розвиток апарату теорії нечітких множин стосовно задачі синтезу алгоритмічних процесів проведений А.П. Ротштейном [5].

Для моделювання алгоритмічного процесу пропонується використати поняття нечіткого ймовірнісного графа (НІГ), під яким розуміється кінцевий орієнтований граф, дуги якого зважені нечіткими ймовірнісно-часовими характеристиками переходів між вершинами [5].

Типовий приклад алгоритму діяльності оператора, поданого у вигляді нечіткого ймовірнісного графа, наведений на рис. 1.

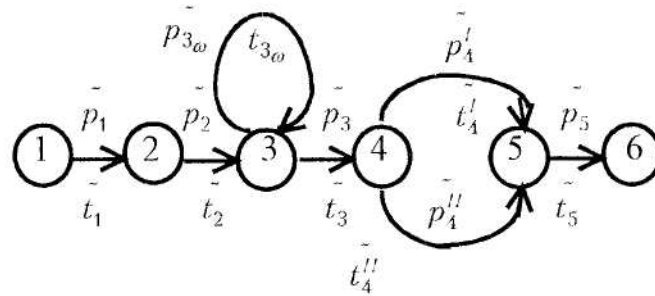


Рис. 1. Нечіткий імовірнісний граф алгоритму діяльності оператора

Для рішення задачі синтезу алгоритму діяльності у постановці (1) чи (2) необхідна методика розрахунку значень ймовірності  $P$  та часу  $T$  для початкового НІГ за допомогою його перетворення (укрупнення) в еквівалентний НІГ з одною дугою та двома вершинами – вхідною та кінцевою. Основними операціями такого перетворення є: об'єднання послідовних дуг, об'єднання паралельних дуг та вилучення дуги-петлі.

Позначимо попередньо нечіткі ймовірності та час переходу між  $i$ -ю та  $j$ -ю вершинами НІГ  $\bar{p}_{ij}$  та  $\bar{t}_{ij}$  відповідно. Тоді правила еквівалентного перетворення будуть мати такий вигляд [5]:

1. Об'єднання послідовних дуг:

$$\bar{p}_{ij} = \bigcup_{\alpha \in [0,1]} \left( \bar{p}_{ik\alpha}, \bar{p}_{kj\alpha} \right); \tag{3}$$

$$\bar{t}_{ij} = \bigcup_{\alpha \in [0,1]} \left( \bar{t}_{ik\alpha}, \bar{t}_{kj\alpha} \right), \tag{4}$$

де

$$\bar{p}_{ik\alpha} = \bar{p}_{ik\alpha} \cdot \bar{p}_{kj\alpha}; \quad \bar{p}_{kj\alpha} = \bar{p}_{ik\alpha} \cdot \bar{p}_{kj\alpha};$$

$$\bar{t}_{ik\alpha} = \bar{t}_{ik\alpha} + \bar{t}_{kj\alpha}; \quad \bar{t}_{kj\alpha} = \bar{t}_{ik\alpha} + \bar{t}_{kj\alpha};$$

$\bar{p}_{ij\alpha}, \bar{t}_{ij\alpha}$  –  $\alpha$ -рівень нечітких величин  $\bar{p}_{ij}, \bar{t}_{ij}$ .

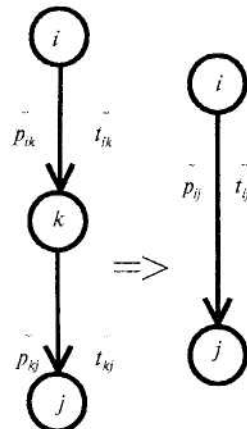


Рис. 2. Об'єднання послідовних дуг

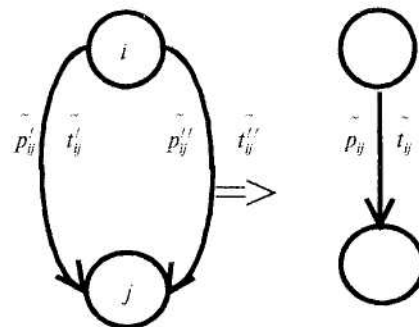


Рис. 3. Об'єднання паралельних дуг

2. Об'єднання паралельних дуг:

$$\bar{p}_{ij} = \bigcup_{\alpha \in [0,1]} \left( \bar{p}_{ij\alpha}, \bar{p}_{ij\alpha} \right); \tag{5}$$

$$\bar{t}_{ij} = \bigcup_{\alpha \in [0,1]} \left( \bar{t}_{ij\alpha}, \bar{t}_{ij\alpha} \right), \tag{6}$$

де

$$p_{j\alpha} = p_{j\alpha}^I + p_{j\alpha}^{II}; \quad p_{j\alpha}^- = \min\left(1, p_{j\alpha}^{-I} + p_{j\alpha}^{-II}\right);$$

$$t_{j\alpha} = \frac{p_1 t_{j\alpha}^I + p_2 t_{j\alpha}^{II}}{p_1 + p_2}; \quad t_{j\alpha}^- = \frac{p_3 t_{j\alpha}^{-I} + p_4 t_{j\alpha}^{-II}}{p_3 + p_4};$$

$$p_1 = \begin{cases} p_{j\alpha}^I, t_{j\alpha}^I \geq t_{j\alpha}^{II}, \\ p_{j\alpha}^I, t_{j\alpha}^I < t_{j\alpha}^{II}; \end{cases} \quad p_2 = \begin{cases} p_{j\alpha}^{II}, t_{j\alpha}^{II} \geq t_{j\alpha}^I, \\ p_{j\alpha}^{II}, t_{j\alpha}^{II} < t_{j\alpha}^I; \end{cases}$$

$$p_3 = \begin{cases} p_{j\alpha}^{-I}, t_{j\alpha}^{-I} \geq t_{j\alpha}^{-II}, \\ p_{j\alpha}^{-I}, t_{j\alpha}^{-I} < t_{j\alpha}^{-II}; \end{cases} \quad p_4 = \begin{cases} p_{j\alpha}^{-II}, t_{j\alpha}^{-II} \geq t_{j\alpha}^{-I}, \\ p_{j\alpha}^{-II}, t_{j\alpha}^{-II} < t_{j\alpha}^{-I}. \end{cases}$$

3. Вилучення дуги-петлі.

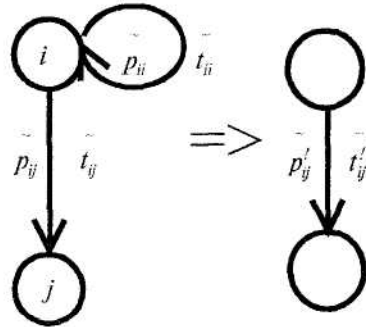


Рис. 4. Вилучення дуги-петлі

$$p_{ij}^{\sim} = \bigcup_{\alpha \in [0,1]} \left( p_{j\alpha}^I, p_{j\alpha}^{-I} \right); \tag{7}$$

$$t_{ij}^{\sim} = \bigcup_{\alpha \in [0,1]} \left( t_{j\alpha}^I, t_{j\alpha}^{-I} \right); \tag{8}$$

де

$$p_{j\alpha}^I = \frac{p_{j\alpha}}{1 - p_{ii}}; \quad p_{j\alpha}^{-I} = \min\left(1, \frac{p_{j\alpha}}{1 - p_{ii}}\right);$$

$$t_{j\alpha}^I = t_{j\alpha} + \frac{t_{j\alpha} \cdot p_{ii}}{1 - p_{ii}}; \quad t_{j\alpha}^{-I} = t_{j\alpha} + \frac{t_{j\alpha} \cdot p_{ii}}{1 - p_{ii}}.$$

Перейдемо до розгляду питання оптимального (раціонального) вибору алгоритму діяльності оператора. Для визначеності візьмемо пряму постановку задачі синтезу (1).

Нехай відомий варіант алгоритму, в якому кожний  $i$ -й оператор ( $A_i$ ) може бути реалізованим  $n_i$  різноманітними способами, а кожна  $j$ -та логічна умова ( $\omega_j$ ) –  $n_j$  способами:

$$A_i = \{A_{i1}, \dots, A_{in_i}\}; \quad \omega_j = \{\omega_{j1}, \dots, \omega_{jn_j}\}.$$

Наявність деякої кількості варіантів пов'язана з тим, що проектувальник має можливість змінювати структуру та параметри алгоритму. Зміна структури полягає в зміні складу та взаємозв'язків операторів і логічних умов.

Зміна параметрів – часу та ймовірності правильного виконання операторів та логічних умов – пов'язана з можливістю зміни інформаційної моделі процесу, рівня кваліфікації, рівня спеціаліста тощо.

Суть оптимізації полягає у відсіченні неперспективних варіантів реалізації операторів та логічних умов, отриманих на кожному кроці укрупнення алгоритму. В процесі оптимізації доцільно використовувати два достатньо очевидних правила, наведених в [5].

Правило 1. Якщо  $A_1$  та  $A_2$  – два варіанти реалізації оператора  $A$ , причому  $P_{A_1\alpha} > P_{A_2\alpha}$  та  $t_{A_1\alpha} < t_{A_2\alpha}$ , то варіант  $A_2$  не може входити до оптимального алгоритму.

Правило 2. Якщо  $\omega_1$  та  $\omega_2$  – два варіанти виконання логічної умови  $\omega$ , причому  $P_{\omega_1\alpha} > P_{\omega_2\alpha}$  та  $t_{\omega_1\alpha} < t_{\omega_2\alpha}$ , то варіант  $\omega_2$  не може входити до оптимального алгоритму.

Із врахуванням наведених правил вибір оптимального варіанту алгоритма діяльності оператора при нечіткій початковій інформації включає такі етапи:

1. Генеруються можливі алгоритмічні структури діяльності оператора.
2. Визначаються початкові дані за імовірісно-часовими характеристиками кожного варіанта реалізації оператора та логічної умови. Початкові дані є нечіткими числами в  $\alpha$ -рівневому розкладі.
3. Відкидаються неперспективні варіанти виконання операторів та логічних умов, що входять в деяку  $i$ -ту структуру, використовуючи правила 1 та 2.
4. Шляхом послідовного укрупнення графа  $i$ -ї початкової структури алгоритму до еквівалентного графа на основі використання формул перетворення (3)–(8) визначаються час реалізації  $T(A_i, \omega_i)$  та імовірність правильного виконання алгоритму  $P(A_i, \omega_i)$  для  $i$ -го варіанта структури.
5. Відкидаються варіанти реалізації процесу, для яких  $P(A_i, \omega_i) < P_{\text{дон}}$ .
6. З варіантів, що залишились, вибирається той, в якому  $T(A_i, \omega_i) \rightarrow \min$ .
7. Обраний оптимальний варіант “розгоргається” до рівня операторів та логічних умов і записується в оптимальний алгоритм.

Практичне використання методики синтезу алгоритму діяльності оператора, що пропонується, на ранніх етапах проектування складних технічних систем дозволяє вирішити проблему початкових даних та отримати достатньо ефективні алгоритми.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Введение в эргономику / Под ред. П.Я. Шляена. – М.: Сов. радио, 1974. – 352 с.
2. Кофман А.В. Введение в теорию нечетких множеств. – М.: Радио и связь, 1982. – 432 с.
3. Ротштейн А.П., Кузнецов В.П. Проектирование бездефектных человеко-машинных технологий. – Киев: Техника, 1999. – 180 с.
4. Борисов А.Н., Крумберг О.А., Фёдоров И.П. Принятие решений на основе нечетких моделей. Примеры использования. – Рига: Занятие, 1990. – 184 с.
5. Ротштейн А.П., Штовба С.Д. Нечёткая надёжность алгоритмических процессов. – Винница: Контигент, 1997. – 142 с.

ГЕРАСИМОВ Борис Михайлович – доктор технічних наук, професор, провідний научний співробітник науково-дослідного відділу Житомирського військового інституту радіоелектроніки.

Наукові інтереси:

– інтелектуальні системи та системи відображення.

КОНДРАТЕНКО Сергій Олександрович – ад'юнкт Житомирського військового інституту радіоелектроніки.

Наукові інтереси:

– системи відображення інформації.