

УДК 681.3

Б.М. Герасимов, д.т.н., проф.

В.В. Пашковський, ад'юнкт

Житомирський військовий інститут радіоелектроніки ім. С.П. Корольова

ОЦІНЮВАННЯ ХАРАКТЕРИСТИК АЛГОРИТМУ ДІЯЛЬНОСТІ ОПЕРАТОРА РАДІОТЕХНІЧНОЇ СТАНЦІЇ ПАСИВНОЇ ЛОКАЦІЇ НА ОСНОВІ ВИКОРИСТАННЯ ЗВАЖЕНИХ ІМОВІРНІСНИХ ГРАФІВ

У даній роботі проведено аналіз алгоритму роботи оператора радіотехнічної станції. Розроблено алгоритм оцінювання характеристик діяльності оператора на основі використання зваженого імовірнісного графа. Теоретичну основу алгоритму становить теорія графів. Оцінено характеристики алгоритму діяльності оператора та визначено сукупність операцій, що потребують оптимізації.

Аналізуючи роботу оператора, завжди можна виділити деякі сукупності елементарних операцій, об'єднаних загальною метою. Така сукупність операцій частіше за все називається задачею. Задача має більш вищий порядок класифікацій, ніж елементарна операція.

Кінцевою метою будь-якої діяльності є отримання корисного ефекту. Кінцева мета досягається поетапно, через розв'язання часткових задач. Тому правильніше говорити не тільки про алгоритм розв'язання окремої задачі, а про алгоритм діяльності оператора [1].

У наш час найбільшого поширення набули такі форми представлення алгоритму: описувальна, операторна, структурна схема алгоритму, граф-схема алгоритму.

Описувальна форма алгоритму являє собою послідовне викладення всіх дій оператора та їх порядку залежно від тих чи інших умов. Будь-яка доскональна інструкція з експлуатації або роботи – це, по суті, такий алгоритм. Різниця між інструкцією та описувальною формою алгоритму, які складають в процесі психофізіологічного аналізу діяльності оператора, полягає в тому, що в останньому випадку подрібнення задачі проводиться обов'язково до виявлення окремих “оперативних одиниць”. Такий методичний прийом є перехідним між професіографією та складанням логічних схем алгоритмів в операторній формі.

Структурна схема алгоритму являє собою словесне описання алгоритму роботи оператора з вказанням логічних зв'язків між етапами його роботи.

Операторна форма запису алгоритму компактна, але не наочна, й не дозволяє проводити кількісний аналіз алгоритму. Структурна схема алгоритму добре оглядається, але громіздка, й також не дозволяє отримувати кількісні характеристики алгоритму.

Представлення алгоритму у вигляді граф-схеми дозволяє поряд з наочністю проводити кількісний аналіз алгоритму.

Постановка задачі. Припускається, що кількість об'єктів, які надходять в систему розпізнавання, розподілена за рівномірним розподілом.

Передавальна функція моделі оператора прийнята така:

$$W_{on}(p) = \frac{K_{on}(T_{on1}p + 1)(1 - \tau p + \frac{1}{2}\tau^2 p^2)}{(T_{on2}p + 1)(T_{on3}p + 1)},$$

де $K_{on} = K_{on1}K_{on2}K_{on3}K_n$ – передавальний коефіцієнт, який змінюється в широкому діапазоні залежно від рівня тренуваності оператора, його психофізіологічного стану та характеристик об'єкта розпізнавання;

K_n – коефіцієнт, що враховує наявність зони нечутливості оператора;

$T_{on1}, T_{on2}, T_{on3}$ – сталі часу, що характеризують здатність оператора до упередження, інерційність виконуваного механізму людини;

τ – час латентного запізнення оператора [3].

Слід розробити алгоритм для оцінювання характеристик діяльності оператора радіотехнічної станції. Алгоритм роботи оператора краще за все подати у вигляді орієнтованого графа. Граф алгоритму являє собою графічне зображення послідовності виконання окремих операцій алгоритму.

Зіставимо з кожною вершиною графа G_n тривимірний вектор $W_i = \{m_i, D_i, p_i\}$, складовими якого є:

- середній час виконання i -тої операції m_i ;
- дисперсія часу виконання D_i ;
- ймовірність безпомилкового виконання p_i [2].

Зіставимо тепер кожній гілці логічного оператора визначене число γ_j – ймовірність переходу по цій гілці.

Сукупність множин зважених вершин та гілок графа разом з множиною направлених гілок утворюють сітку (граф-схему) алгоритму розв'язання задачі оператором.

Часові та вірогіднісні характеристики алгоритму (середній час m_A та його дисперсія D_A , ймовірність безпомилкового виконання алгоритму p_A) можуть бути отримані на основі характеристик елементарних операцій шляхом подання алгоритму у вигляді граф-схеми та використання методів її перетворення.

Розглянемо основні співвідношення, які дозволяють проводити перетворення граф-схеми алгоритму [5].

1. *Об'єднання шляхів без розгалуження.* Нехай m_1, \dots, m_q назвемо шляхом без розгалужень, якщо у вершинах m_1, \dots, m_{q-1} починається й закінчується тільки по одній гілці.

Зручно замінити шлях без розгалужень однією гілкою m_1, m_q . При цьому істотно зменшується розмір сітки.

Граф шляху без розгалужень має такий вигляд:



Операція послідовного приведення перетворює шлях без розгалужень в еквівалентну гілку з однією вершиною. Визначимо складові ваги вершини $w_e = \{m_e, D_e, p_e\}$. Очевидно, що в передчутті незалежності виконання окремих операцій правдиві такі співвідношення:

$$m_e = \sum_{i=1}^q m_i ; D_e = \sum_{i=1}^q D_i ; p_e = \prod_{i=1}^q p_i. \tag{1}$$

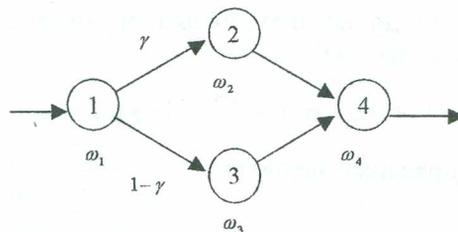
Якщо $g_i(t)$ – щільність розподілу часу виконання i -тої операції, то шляхом багатократного використання оператора згортки отримаємо еквівалентну щільність розподілення, тобто правдиве співвідношення:

$$g_e(t) = \int_{-\infty}^{\infty} g_i(t) g_{i-1}(t-\tau) d\tau, \tag{2}$$

де $i = 1, 2, \dots, q$.

При достатньо великому q ($q > 5$) та приблизно однаковому порядку величин m_i згідно з центральною граничною теоремою теорії вірогідності еквівалентний закон розподілу можна вважати нормальним. Числові характеристики закону визначаються відповідно до виразів (1).

2. *Об'єднання шляхів з розгалуженнями.* Граф шляху з розгалуженнями має такий вигляд:



Операція паралельного приведення перетворює шлях з розгалуженнями в еквівалентну гілку з одною вершиною. Складові ваги вершини знаходяться з очевидних виразів:

$$\begin{aligned} m_e &= m_1 + \gamma \cdot m_2 + (1-\gamma) \cdot m_3 + m_4 ; \\ D_e &= D_1 + \gamma \cdot D_2 + (1-\gamma) \cdot D_3 + D_4 ; \\ p_e &= p_1 \cdot p_4 \cdot [\gamma \cdot p_2 + (1-\gamma) \cdot p_3]. \end{aligned} \tag{3}$$

Знайдемо вираз для еквівалентної функції розподілу часу $F_e(t)$:

$$F_e(t) = P(T \leq t) = \gamma \cdot p(T \leq t_1 + t_2 + t_4) + (1-\gamma) \cdot p(T \leq t_1 + t_3 + t_4).$$

Очевидно, що:

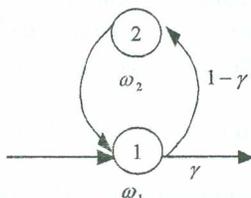
$$p(T \leq t_1 + t_2 + t_4) = F_{1,2,4}(t), p(T \leq t_1 + t_3 + t_4) = F_{1,3,4}(t),$$

де $F_{1,2,4}(t)$, $F_{1,3,4}(t)$ – функція розподілу часу виконання операцій 1,2,4-тої або 1,3,4-тої відповідно.

Функції $F_{1,2,4}(t)$, $F_{1,3,4}(t)$ можуть бути легко знайдені за допомогою формули (2):

$$F_e(t) = \gamma \cdot F_{1,2,4}(t) + (1-\gamma) \cdot F_{1,3,4}(t), f_e(t) = \frac{dF_e(t)}{dt}.$$

3. Зведення контурів з одним виходом. Гілка, яка зв'язує вершину саму з собою, називається петлею. Якщо в петлю включається більше ніж одна гілка, її називають контуром. Граф контуру має такий вигляд:



Для визначення еквівалентних характеристик контуру з одним виходом складемо допоміжну таблицю 2:

Таблиця 2

Кількість циклів	m_e	D_e	p_e	Вірогідність циклів
0	m_1	D_1	p_1	γ
1	$2m_1 + m_2$	$2D_1 + D_2$	$p_1^2 p_2$	$\gamma(1-\gamma)$
2	$3m_1 + 2m_2$	$3D_1 + 2D_2$	$p_1^3 p_2^2$	$\gamma(1-\gamma)^2$
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
j	$j(m_1 + m_2) + m_1$	$j(D_1 + D_2) + D_1$	$p_1^{j+1} p_2^j$	$\gamma(1-\gamma)^j$

Очевидно, що можна записати:

$$m_e = \sum_{i=0}^{\infty} \gamma \cdot (1-\gamma)^j \cdot [m_1 + j \cdot (m_1 + m_2)];$$

$$D_e = \sum_{i=0}^{\infty} \gamma \cdot (1-\gamma)^j \cdot [D_1 + j \cdot (D_1 + D_2)]; \tag{4}$$

$$p_e = \sum_{i=0}^{\infty} \gamma \cdot (1-\gamma)^j \cdot p_1^{j+1} \cdot p_2^j.$$

Перетворимо формули (4) до вигляду, більш зручного для використання. Вираз для величини m_e запишемо у такому вигляді:

$$m_e = \gamma \cdot m_1 \cdot \sum_{i=0}^{\infty} (1-\gamma)^j + (m_1 + m_2) \cdot \gamma \cdot \sum_{i=0}^{\infty} j \cdot (1-\gamma)^j. \tag{5}$$

Для всіх логічних умов правдива нерівність:

$$0 \leq 1-\gamma \leq 1.$$

Тому при перетворенні сум, які стоять в дужках, отримаємо:

$$\sum_{i=0}^{\infty} (1-\gamma)^j = \frac{1}{\gamma}; \sum_{i=0}^{\infty} j \cdot (1-\gamma)^j = \frac{1-\gamma}{\gamma^2}. \tag{6}$$

Підставляючи (6) в (5), маємо:

$$m_e = \frac{1}{\gamma} \cdot (m_1 + m_2) - m_2. \tag{7}$$

Аналогічні перетворення для дисперсії дозволяють записати:

$$D_e = \frac{1}{\gamma} \cdot (D_1 + D_2) - D_2. \tag{8}$$

Далі очевидно, що вираз (4) для ймовірності можна подати як:

$$P_e = \gamma \cdot p_1 \cdot \sum_{i=0}^{\infty} [p_1 \cdot p_2 \cdot (1-\gamma)]^i \quad (9)$$

Оскільки завжди $0 \leq p_1 \cdot p_2 \cdot (1-\gamma) \leq 1$, то:

$$\sum_{i=0}^{\infty} [p_1 \cdot p_2 \cdot (1-\gamma)]^i = \frac{1}{1 - p_1 \cdot p_2 \cdot (1-\gamma)} \quad (10)$$

У результаті підстановки (10) в (9) отримаємо:

$$P_e = \frac{\gamma \cdot p_1}{1 - p_1 \cdot p_2 \cdot (1-\gamma)} \quad (11)$$

Взагалі кажучи, аналогічно можна вивести формули для перетворення контурів з будь-якою кількістю виходів. Вивід цих формул досить простий, але кінцеві вирази громіздкі [4].

Алгоритм оцінювання характеристик алгоритму діяльності оператора радіотехнічної станції пасивної локації складається з таких етапів:

1. Складання алгоритму розв'язання задачі, подрібнення задачі на операції та логічні умови.
2. Визначення кількісних характеристик операцій та логічних умов, запис даних у таблицю.
3. Створення граф-схеми алгоритму розв'язання задачі.
4. Об'єднання шляхів без розгалужень.
5. Об'єднання шляхів з розгалуженнями.
6. Оцінювання отриманих результатів та визначення шляхів покращення алгоритму діяльності оператора.

Представлення алгоритму роботи оператора у вигляді орієнтованого графа та використання правил перетворення графа дозволяють розв'язувати цілий ряд задач аналізу та синтезу діяльності операторів.

Приклад. Розглянемо аналіз алгоритму діяльності оператора щодо задачі оцінювання характеристик алгоритму діяльності оператора РТС у системі контролю радіоелектронної обстановки. Суть задачі полягає в постійному контролі за імпульсним та безперервним випромінюванням з обов'язковим самонавчанням та контролем конкретної оперативної обстановки.

Першим кроком дослідження є складання алгоритму розв'язання задачі. Для складання алгоритму задачу потрібно розбити на операції та логічні умови.

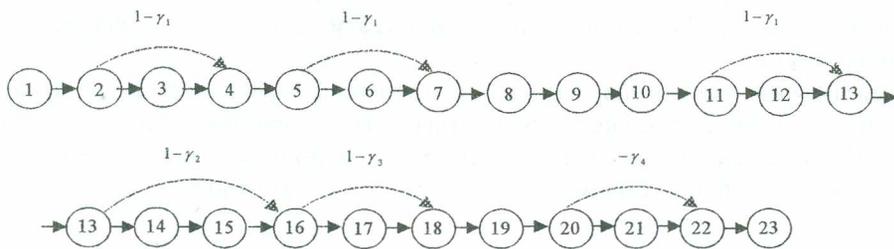
Зміст операцій та логічних умов, а також їх кількісні характеристики наведені в табл. 3.

Таблиця 3

№ з/п	Опис етапів алгоритму	Позначення	Кількісні характеристики			
			$\tau_{оп}$, с	$D_{оп}$, с	$P_{оп}$	γ
1	2	3	4	5	6	7
1	Усвідомлення задачі оператором	o_1	15	8	0,99	—
2	Логічна умова: потрібно вибрати параметри та задати відповідний режим сканування	ℓ_1	18	5	0,99	0,42
3	Вибір автоматичного режиму спостереження	o_2	3	0,8	1	—
4	Вибір ручного режиму спостереження	o_3	4	2	0,99	—
5	Логічна умова: потрібно вибрати вид сигналу	ℓ_2	2	0,4	0,99	0,56
6	Вибір обробки імпульсних сигналів	o_4	4	2	1	—
7	Вибір обробки безперервних сигналів	o_5	5	1,6	0,99	—
8	Контроль наявності сигналів на екрані монітора	o_6	3	0,6	0,99	—
9	Доповідь ОЧ про нововиявлений об'єкт	o_7	12	5	0,99	—
10	Аналіз інформації, що надходить на засоби відображення	o_8	24	8	0,98	—
11	Логічна умова: потрібно оцінити кількість виявлених РТЗ	ℓ_3	6	1,8	0,97	0,38

1	2	3	4	5	6	7
12	Проведення оцінювання пріоритетності об'єктів	0 ₉	8	3,2	0,98	–
13	Логічна умова: потрібно провести попередній аналіз сигналів та визначити тип РТЗ	ℓ ₄	11	4	0,92	0,6
14	Виклик рекомендацій щодо визначення типу та екземпляра	0 ₁₀	3	1,2	1	–
15	Аналіз виданих системою рекомендацій	0 ₁₁	15	8	0,99	–
16	Логічна умова: потрібно прийняти рішення про присвоєння типу, екземпляра РТЗ	ℓ ₅	18	13	0,95	0,24
17	Формування назви типу при виявленні РТЗ, що не підходить не під один з відомих типів	0 ₁₂	8	5	1	–
18	Занесення запису в масив екземплярів, що зведений в один запис у масиві типів	0 ₁₃	5	3	0,99	–
19	Проведення пеленгування та супроводження	0 ₁₄	24	8	0,96	–
20	Логічна умова: потрібно визначити складність прийнятого сигналу	ℓ ₆	12	7	0,95	0,6
21	Дорозвідка цілі, занесення нових даних у формуляр типу	0 ₁₅	18	10	0,99	–
22	Видача інформації на командний пункт для подальшої обробки	0 ₁₆	21	8	1	–
23	Занесення інформації до робочої бази даних	0 ₁₇	8	4	1	–

Третім кроком дослідження є створення граф-схеми алгоритму розв'язання задачі. Граф-схема алгоритму має такий вигляд:



Четвертим кроком дослідження є отримання кількісних характеристик задачі пооб'єктного розпізнавання шляхом застосування правил перетворення граф-схеми алгоритму.

1. Об'єднання шляхів без розгалуження:

$$\begin{aligned}
 \tau_{1-2} &= \tau_1 + \tau_2 = 33 \text{ c}; & \tau_{4-5} &= 6 \text{ c}; & \tau_{7-11} &= 50 \text{ c}; \\
 D_{1-2} &= D_1 + D_2 = 13 \text{ c}^2; & D_{4-5} &= 2,4 \text{ c}^2; & D_{7-11} &= 17 \text{ c}^2; \\
 p_{1-2} &= p_1 p_2 = 0,98; & p_{4-5} &= 0,98; & p_{7-11} &= 0,92; \\
 \tau_{14-15} &= \tau_{14} + \tau_{15} = 18 \text{ c}; & \tau_{18-20} &= 41 \text{ c}; & \tau_{22-23} &= 29 \text{ c}; \\
 D_{14-15} &= D_{14} + D_{15} = 9,2 \text{ c}^2; & D_{18-20} &= 18 \text{ c}^2; & D_{22-23} &= 12 \text{ c}^2; \\
 p_{14-15} &= p_{14} p_{15} = 0,99; & p_{18-20} &= 0,9; & p_{22-23} &= 1.
 \end{aligned}$$

2. Об'єднання шляхів з розгалуженнями:

$$\begin{aligned}
 \tau_{1-5} &= \tau_{1-2} + \tau_{4-5} + \gamma_1 \tau_3 = 40,26 \text{ c}; & \tau_{1-11} &= 90,26 \text{ c}; & \tau_{18-23} &= 80,8 \text{ c}; \\
 D_{1-5} &= D_{1-2} + D_{4-5} + \gamma_1 D_3 = 15,74 \text{ c}^2; & D_{1-11} &= 33,86 \text{ c}^2; & D_{18-23} &= 36 \text{ c}^2; \\
 p_{1-5} &= p_{1-2} p_{4-5} [(1-\gamma_1) + \gamma_1 p_3] = 0,96; & p_{1-11} &= 0,88; & p_{18-23} &= 0,895; \\
 \tau_{16-23} &= 100,72 \text{ c}; & \tau_{13-23} &= 122,52 \text{ c}; & \tau_{1-23} &= 217,26 \text{ c}; \\
 D_{16-23} &= 50,2 \text{ c}^2; & D_{13-23} &= 59,72 \text{ c}^2; & D_{1-23} &= 94,8 \text{ c}^2; \\
 p_{16-23} &= 0,85; & p_{13-23} &= 0,78; & p_{1-23} &= 0,68.
 \end{aligned}$$

Таким чином, алгоритм діяльності оператора РТС має такі характеристики:

- середній час прийняття рішення $\tau = 217,26 \text{ c}$;
- середньоквадратичне відхилення часу прийняття рішення $\sigma = 9,7 \text{ c}$;

– імовірність безпомилкового прийняття рішення $P = 0,68$.

Значення цих характеристик дозволяє оцінити наскільки умови роботи оперативного персоналу відповідають вимогам, які ставлять до них реальні обставини.

Отримавши характеристики алгоритму, можемо приймати рішення щодо його оптимальності, порівнюючи з іншими алгоритмами. А також маємо можливість визначити слабкі місця алгоритму, оцінивши крок за кроком перетворення граф-схеми алгоритму.

Визначаємо найбільш вагомими характеристики та фактори, що впливають на виконання алгоритму оператором. Серед них такі:

- якість інформаційної моделі (оптимальність кількості інформації, що сприймає оператор; визначення оптимального складу засобів відображення інформації);
- визначення вимог до кваліфікації оператора (на основі використання експертної інформації);
- визначення пріоритетності розв'язання задач (розподіл території спостереження на пріоритетні області; визначення черговості проведення аналізу радіовипромінювань);
- розробка системи ППР для визначення несправностей, проведення діагностики РТС пасивної локації.

Описаний алгоритм дозволяє розв'язувати й задачу синтезу алгоритму діяльності оператора за критеріями правильного виконання алгоритму P та часу виконання T .

Ідеальний алгоритм діяльності оператора повинен відповідати вимогам: $P \rightarrow \max$, $T \rightarrow \min$. Але такий алгоритм практично синтезувати неможливо, тому що показники P та T тісно взаємопов'язані. Збільшення ймовірності правильного прийняття рішення оператором можливе лише за рахунок обробки допоміжної інформації, що обов'язково призводить до збільшення часу виконання алгоритму в цілому.

Раціональний варіант алгоритму може бути знайдений шляхом послідовного перебору всіх можливих варіантів.

ЛІТЕРАТУРА :

1. Адаменко А.Н., Ашерев А.Т., Бердников И.Л. Информационно-управляющие человеко-машинные системы: Исследование, проектирование, испытания: Справочник. – М.: Машиностроение, 1993. – 528 с.
2. Герасимов Б.М., Егоров Б.М., Линник А.В. Эргономический анализ деятельности оператора автоматизированных систем. – Киев, КВИРТУ ПВО, 1979. – 158 с.
3. Заракowski Г.М. Психофизиологический анализ трудовой деятельности. – М.: Наука, 1976. – 312 с.
4. Суходольский Г.В. Структурно-алгоритмический анализ трудовой деятельности. – Л.: ЛГУ, 1976. – 129 с.
5. Шибанов Г.П. Количественная оценка деятельности человека в системах человек-техника. – М.: Машиностроение, 1983. – 263 с.

ГЕРАСИМОВ Борис Михайлович – доктор технічних наук, професор, провідний науковий співробітник науково-дослідного відділу Житомирського військового інституту радіоелектроніки ім. С.П. Корольова.

Наукові інтереси:

- інтелектуальні системи і системи відображення інформації.

ПАШКОВСЬКИЙ Вадим Вікторович – ад'юнкт Житомирського військового інституту радіоелектроніки ім. С.П. Корольова.

Наукові інтереси:

- інтелектуальні системи і системи відображення інформації.

Подано 04.06.2004