

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ СИСТЕМИ

УДК 681.3

ВПЛИВ ЯКОСТІ ПОЧАТКОВОЇ ПОПУЛЯЦІЇ НА ШВИДКІСТЬ ГЕНЕТИЧНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ НАДІЙНОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

О.П. Ротштейн, С.Д. Штовба О.М. Козачко

Вступ. Розглядаються багатовимірні технологічні процеси (ТП), при виконанні яких з'являються, виявляються, виправляються помилки різних типів [1]. Оптимізація надійності багатовимірних ТП полягає у визначенні такої структури ТП, при якій забезпечується необхідні рівні бездефектності, ймовірностей появи на виході ТП дефектів різних типів та вартості виконання ТП [2]. На практиці найбільш поширеними задачами оптимізації надійності є: розподіл контрольних точок та вибір кратностей контролів [3]. Труднощі розв'язання цих задач полягають в тому, що вони відносяться до класу NP-повних, для яких не існує алгоритму розв'язання за поліноміальний час. Одним із перспективних методів розв'язання таких задач є генетичні алгоритми. З [4] відомо, що типові генетичні алгоритми вимагають значних витрат часу на пошук оптимуму. Методи прискорення типових генетичних алгоритмів наведені в роботах [5, 6]. В цій статті пропонується прискорювати генетичну оптимізацію задач розподілу контрольних точок та вибору кратностей контролів за рахунок нових процедур ініціалізацій якісної початкової популяції.

1. Постановка задачі

Розглядається дискретний ТП, який складається з послідовного виконання n робочих операцій A_1, A_2, \dots, A_n . При виконанні робочих операцій в предмет праці можуть бути внесені дефекти різних типів. Якість виконання робочої операції A_i перевіряється контрольною операцією ω_i x_i -раз. Для задачі розподілу контрольних точок $x_i \in \{0, 1\}$, а для задачі вибору кратностей контролів $x_i \in \{0, 1, 2, \dots\}$, $i = \overline{1, n}$. Операція доробки U_i виправляє дефекти, які виявлені контролем ω_i .

Згідно з [2], оптимізація багатовимірних ТП полягає в знаходженні такого вектора $\mathbf{X} = (x_1, x_2, \dots, x_n)$, який забезпечує необхідні рівні якості виконання ТП з мінімальною вартістю:

$$\left. \begin{array}{l} C(\mathbf{X}) \rightarrow \min \\ p^1(\mathbf{X}) \geq p^* \text{ та } p_j^0(\mathbf{X}) \leq q_j, \quad j = \overline{1, m} \end{array} \right\} \quad (1)$$

або максимальну бездефектність при обмежених ресурсах

$$\left. \begin{array}{l} p^1(\mathbf{X}) \rightarrow \max \\ C(\mathbf{X}) \leq C^* \text{ та } p_j^0(\mathbf{X}) \leq q_j, \quad j = \overline{1, m} \end{array} \right\} \quad (2)$$

де $C(\mathbf{X})$ – вартість виконання ТП, який задано вектором \mathbf{X} .

$p^1(\mathbf{X})$ – ймовірність бездефектного виконання ТП, який задано вектором \mathbf{X} ;

$p_j^0(\mathbf{X})$ – ймовірність наявності дефекту j -го типу на виході ТП, який задано вектором \mathbf{X} ;

p^* – мінімально допустима ймовірність бездефектного виконання ТП;

q_j – максимально допустима ймовірність наявності дефекту j -го типу на виході ТП;

m – кількість різних типів дефектів;

C^* – максимально допустимі ресурси на виконання ТП.

Згідно до теорії оптимізації надійності [7], задача (1) може інтерпретуватися як оптимальне резервування контролів в прямій постановці, а задача (2) – як оптимальне резервування в зворотній постановці.

2. Генетичний алгоритм

Для розв'язання задачі оптимізації (1) генетичними алгоритмами необхідно обрати способи кодування, схрещування, мутації, селекції та задати фітнес-функцію.

Генетичне кодування. Варіант ТП закодуємо хромосомою з n генів $\mathbf{X} = (x_1, x_2, \dots, x_n)$, де кожен

ген відповідає одній керованій змінній задачі оптимізації (1).

Генерація початкової популяції для задачі розподілу контрольних точок

Процедура ініціалізації, що пропонується нижче, дозволяє згенерувати популяцію хромосом, які знаходяться в області допустимих розв'язків або в її околі. Значення гену x_i пропонується генерувати за такою формулою

$$x_i = \begin{cases} 1, & \text{якщо } \xi \frac{f(\gamma_i)}{g(\gamma_i)} \geq 0.5 \\ 0, & \text{якщо } \xi \frac{f(\gamma_i)}{g(\gamma_i)} < 0.5 \end{cases}, \quad i = \overline{1, n}, \quad (3)$$

де ξ – випадкове число з діапазону $[0, 1]$;

γ_i – градієнт контролю, що вказує на відносну ефективність в встановленні контролю ω_i та доробки

U_i після операції A_i [2];

$$f(\gamma_i) = \frac{\gamma_i}{\max_{j=1, n} \left(\frac{1}{\gamma_j} \right)}$$

– показник ефективності встановлення гену x_i в 1, $f(\gamma_i) \in [0, 1]$;

$$g(\gamma_i) = \frac{\gamma_i}{\max_{j=1, n} (\gamma_j)}$$

– показник ефективності встановлення гену x_i в 0, $g(\gamma_i) \in [0, 1]$

Покажемо, що для ефективних контролів формула (3) встановлює алелі генів в одиницю, а для неефективних в нулі. Для ідеального контролю $\gamma_i \rightarrow \infty$. Це означає, що $\lim_{\gamma_i \rightarrow \infty} f(\gamma_i) = 0$ та

$$\lim_{\gamma_i \rightarrow \infty} g(\gamma_i) = \infty. \quad \text{Таким чином } \lim_{\gamma_i \rightarrow \infty} \frac{f(\gamma_i)}{g(\gamma_i)} = \frac{0}{\infty} = 0. \quad \text{Тому } \lim_{\gamma_i \rightarrow \infty} \xi \frac{f(\gamma_i)}{g(\gamma_i)} = \xi^0 = 1.$$

Для абсолютно неефективного контролю $\gamma_i \rightarrow 0$. Це означає, що $\lim_{\gamma_i \rightarrow 0} f(\gamma_i) = \infty$ та

$$\lim_{\gamma_i \rightarrow 0} g(\gamma_i) \rightarrow 0. \quad \text{Таким чином } \lim_{\gamma_i \rightarrow 0} \frac{f(\gamma_i)}{g(\gamma_i)} = \frac{\infty}{0} = \infty. \quad \text{Тому } \lim_{\substack{\gamma_i \rightarrow 0 \\ 0 \leq \xi \leq 1}} \xi \frac{f(\gamma_i)}{g(\gamma_i)} = \xi^\infty = 0.$$

Генерація початкової популяції для задачі вибору кратностей контролів

Процедура ініціалізації, що пропонується нижче дозволяє згенерувати значення генів x_i за такою формулою

$$x_i = \text{ціла_частина} \left((1 - \lambda_i) \cdot \underline{x}_i + \lambda_i \cdot \bar{x}_i \right), \quad (4)$$

де $\lambda_i = \xi_i \frac{f(\gamma_i)}{g(\gamma_i)}$ – випадкове число з діапазону $[0, 1]$, яке визначає положення x_i на відрізку

$$[\underline{x}_i, \bar{x}_i], \quad i = \overline{1, n};$$

\underline{x}_i – нижня межа кратності i -го контролю, $i = \overline{1, n}$;

\bar{x}_i – апріорно визначена верхня межа кратності i -го контролю, $i = \overline{1, n}$.

З останнього підпункту відомо, що при $\gamma_i \rightarrow \infty$ показник λ_i прямує до 1, а при $\gamma_i \rightarrow 0$ прямує до 0. Тому для ефективних контролів формула (4) спрямовує x_i до \bar{x}_i , а для неефективних до \underline{x}_i .

Схрещування і мутація. Використовується звичайна операція схрещування з однієї точкою розтину та одногоена мутація [8]. Після мутації значення гену x_i не повинно бути менше за \underline{x}_i .

Фітнес-функція. Нами пропонується така адаптивна фітнес-функція [5]:

$$F(\mathbf{X}) = \begin{cases} \frac{1}{C(\mathbf{X})}, & \text{якщо } \mathbf{X} \text{ допустимий розв'язок} \\ \frac{1-D(\mathbf{X})}{C(\mathbf{X})}, & \text{інакше} \end{cases} \quad (5)$$

де $D(\mathbf{X}) \in (0, 1)$ - штраф за порушення хромосоною \mathbf{X} обмежень задачі (1).

Пропонується така штрафна функція [5]:

$$D(\mathbf{X}) = \frac{1}{m+1} \cdot \left(\max \left(0, \frac{p^* - p^1(\mathbf{X})}{p^*} \right) + \sum_{j=1}^m \left(\frac{\Delta b_j(\mathbf{X})}{\Delta b_j^{\max}} \right)^\alpha \right) \quad (6)$$

де $\alpha > 0$ - коефіцієнт, що визначає вагомість штрафів за порушення обмежень по ймовірностям дефектів (q_1, q_2, \dots, q_m) ;

$\Delta b_j(\mathbf{X}) = \max(0, p_j^0(\mathbf{X}) - q_j)$ - величина порушення хромосоною \mathbf{X} j -го обмеження, $j = \overline{1, m}$;

$\Delta b_j^{\max} = \frac{\max_{p=1, \text{pop_size}} (\Delta b_j(\mathbf{X}))}{\text{pop_size}}$ - показник якості поточної популяції, який визначається

максимальними порушеннями обмежень.

Для фітнес-функції (5) штрафи за одні і ті самі порушення обмежень при різних популяціях хромосом неоднакові. Ці штрафи адаптуються під якість популяції таким чином, щоб при селекції дистанціювати погані розв'язки від добрих.

Селекція. Будемо виконувати селекцію за допомогою колеса-рулетки з елітною стратегією [8].

3. Комп'ютерні експерименти

Порівнюємо ефективність типової та запропонованої процедур ініціалізації початкової популяції на множині тестових задач А_4_1. Умови задач доступні за адресою www.ksu.vinnica.ua/shtovba/benchmark. В тестових задачах розглядаються ТП з 4 різними типами дефектів ($m=4$) з кількістю робочих операцій $n=20, 40, 60, 80, 100, 120$. Ефективність будемо оцінювати частотою вгадування оптимальних значень генів за такою формулою

$$w = \frac{1}{\text{pop_size} \cdot n} \cdot \sum_{j=1}^{\text{pop_size}} \sum_{i=1}^n \Delta(x_i^{\text{opt}}, x_i^j), \quad (6)$$

де $\Delta(x_i^{\text{opt}}, x_i^j) = \begin{cases} 1, & x_i^{\text{opt}} = x_i^j \\ 0, & x_i^{\text{opt}} \neq x_i^j \end{cases}$; pop_size - розмір популяції;

x_i^{opt} - алель i -го гену оптимальної хромосоми \mathbf{X}^{opt} ;

x_i^j - алель i -го гену j -ої хромосоми \mathbf{X}^j , яка ініціалізується, $j = \overline{1, \text{pop_size}}$.

Показник w характеризує середню частоту вгадувань алелів генів хромосом початкової популяції з алелями генів оптимальної хромосоми. Великі значення частоти свідчать, що ініціалізовані хромосоми наближаються до оптимальної.

В табл. 2.10 порівнюється частота вгадувань оптимальних генів при випадковій та запропонованій процедурі ініціалізації для задач розподілу контрольних точок (РКТ) та вибору кратностей контролів (ВКК).

На рис. 1 порівнюються розподілення часу генетичної оптимізації розподілу контрольних точок при запропонованій та випадковій процедурах ініціалізації популяції для задачі А_4_1 ($n=20$). Математичні очікування цих розподілень відповідно складають 7 с та 14 с.

На рис. 2 порівнюються розподілення часу генетичної оптимізації вибору кратностей контролів при запропонованій та випадковій процедурах ініціалізації популяції для задачі А_4_1 ($n=20$). Математичні очікування цих розподілень відповідно складають 16 с та 37 с.

Статистики всіх розподілень отримані при проведенні 50 експериментів.

Таблиця 1

Середня частота вгадувань w (при 50 експериментів, коли $pop_size=50$)

Задача		$n=20$	$n=40$	$n=60$	$n=80$	$n=100$	$n=120$	Середня
РКТ	випадкова ініціалізація	0.49	0.47	0.49	0.50	0.50	0.51	0.49
	запропонована ініціалізація	0.65	0.63	0.62	0.71	0.65	0.67	0.65
ВКК	випадкова ініціалізація	0.42	0.45	0.45	0.46	0.43	0.47	0.44
	запропонована ініціалізація	0.51	0.52	0.54	0.59	0.55	0.55	0.55



Рис. 1 Порівняння запропонованої і типової процедур ініціалізації популяції для задачі розподілу контрольних точок

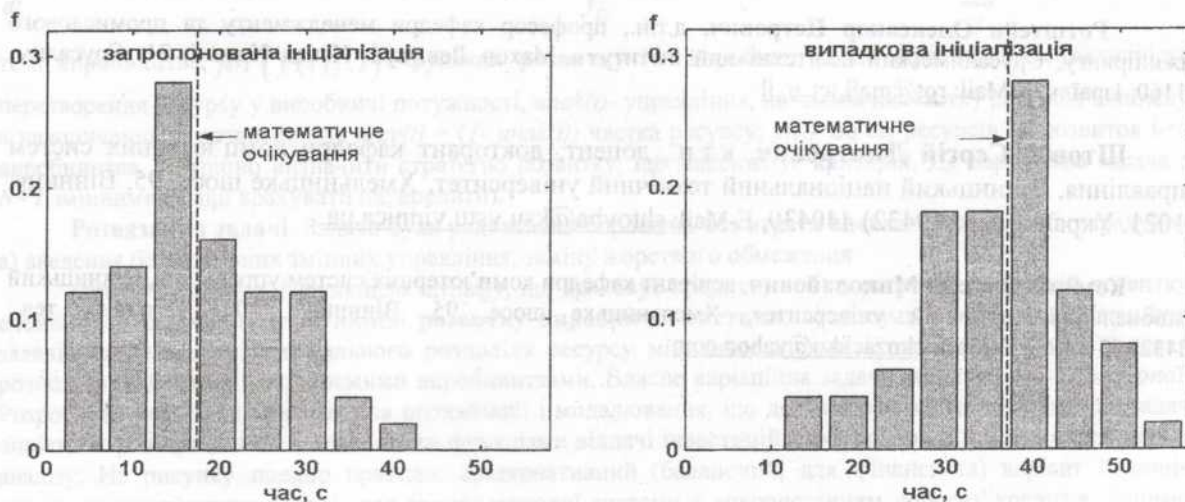


Рис. 2 Порівняння запропонованої і типової процедур ініціалізації популяції для задачі вибору кратностей контролів

Комп'ютерні експерименти свідчать, що запропоновані процедури ініціалізації популяції дозволяють прискорити генетичну оптимізацію більше ніж в 2 рази.

Висновки

В роботі запропонована схема генетичного алгоритму для розв'язання задач розподілу контрольних точок та вибору кратностей контролів. Новизною генетичного алгоритму є те, що навідміну від типового генетичного алгоритму, в якому ініціалізація початкової популяції здійснюється випадково, запропонований ініціалізує якісну початкову популяцію, що дозволяє прискорити швидкість оптимізації в 2 рази. Ініціалізація якісної початкової популяції вдалося досягти за рахунок нових моделей генерації генів, які використовують значення градієнтів контролю. Запропонована схема генетичного алгоритму може бути корисною при складних задачах оптимізації в проектуванні надійніших алгоритмів, в робототехніці, розстановки контрольних точок в ТП, діагностики дефектів в складних системах, оптимізації комп'ютерних мереж, в алгоритмах спем- фільтрації тощо.

Список літератури

- Ротштейн А.П. Вероятностно-алгоритмические модели человеко-машинных систем // Автоматика. –1987. –№5. –С.81-86.
- Ротштейн О.П., Штовба С.Д., Дубіненко С.Б., Козачко О.М. Евристична оптимізація розстановки контрольних точок в технологічних процесах при багатовимірному просторі типів дефектів // Вісник Вінницького політехнічного інституту. - 2004.- №1.- С.54-62.
- Ротштейн А.П., Кузнецов П.Д. Проектирование бездефектных человеко-машинных технологий К.: Техника, 1992. – 180 с.
- Ротштейн О.П., Штовба С.Д. Оптимізація багатовимірних технологічних процесів генетичними алгоритмами. // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. –1999.–№4.– С.6-8.
- Штовба С.Д., Козачко О.М. Генетична мінімізація вартості контролів в технологічному процесі з урахуванням дефектів різних типів // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2005. – №3. – С.74-79.
- Штовба С.Д., Козачко О.М. Генетична оптимізація кратностей контрольно-доробчих операцій в технологічних процесах з урахуванням дефектів багатьох типів // Вісник Житомирського державного технологічного університету. – 2004. – №4, том 2. – С.180-187.
- Ушаков И.А. Методы решения простейших задач надежности при наличии ограничений. – М.: Сов. Радио, 1969. –162 с
- Gen M., Cheng R. Genetic Algorithms and Engineering Design. John Wiley & Sons. 1997. – 352p.

Ротштейн Олександр Петрович, д.т.н., професор кафедри менеджменту та промислового інжинірингу, Єрусалимський політехнічний інститут – Махон Лев, вул. Хавад Халемі, 21, Єрусалим, 91160, Ізраїль, E-Mail: rot@mail.jct.ac.il

Штовба Сергій Дмитрович, к.т.н., доцент, докторант кафедри комп'ютерних систем управління, Вінницький національний технічний університет, Хмельницьке шосе, 95, Вінниця, 21021, Україна, тел.: (0432) 440430, E-Mail: shtovba@ksu.vstu.vinnica.ua

Козачко Олексій Миколайович, аспірант кафедри комп'ютерних систем управління, Вінницький національний технічний університет, Хмельницьке шосе, 95, Вінниця, 21021, Україна, тел.: (0432) 53-84-66, E-Mail: okozachko@yahoo.com