

Ключові слова: модель поведінки, процес, асинхронні паралельні процеси, багатопроекторні системи управління, граф моделі поведінки.

The paper deals with creating a complex pattern of behavior management system based on the use of the formal language of design. Which provided visualization used in the model of concurrency control system behavior and the possibility of action sequences (the track) with the performance. The resulting pattern of behavior may be useful in the verification and validation of the control program of the system.

Keywords: pattern of behavior, a process, asynchronous parallel processes, multi-processor control system, the graph model of behavior.

УДК 004.73

К. В. КОЛЕСНИКОВ, канд. техн. наук, доц., ЧДТУ, Черкаси;

А. Р. КАРАПЕТЯН, аспірант, ЧДТУ, Черкаси;

Т. А. ЦАРЕНКО, студент, ЧДТУ, Черкаси

ГЕНЕТИЧНІ АЛГОРИТМИ ДЛЯ ЗАДАЧ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ В МЕРЕЖАХ АДАПТИВНОЇ МАРШРУТИЗАЦІЇ ДАНИХ

Представлені існуючі підходи і методи застосування генетичних алгоритмів для рішення задач багатокритеріальної оптимізації. Розглянуто можливість формалізації багатокритеріальної задачі пошуку оптимальних шляхів у корпоративній комп'ютерній мережі. Проаналізовано обчислювальну складність генетичного алгоритму пошуку оптимальних шляхів на графі.

Ключові слова: маршрутизація, генетичний алгоритм, багатокритеріальна оптимізація, Парето-оптимальність, метод рангів Голдберга, гібридний генетичний алгоритм НАG, пошук оптимального шляху на графі, хромосоми, кросовер, мутація, відбір.

Вступ. Однією з найпоширеніших функціональних задач мережі є задача про знаходження найкоротшого маршруту, а саме пошук шляху між двома визначеними вершинами графа, який відповідає найменшому значенню певного функціонала за визначеним критерієм. Ця задача застосовується у сферах транспорту, маршрутизації, комунікації. Існує низка класичних алгоритмів розв'язання цієї задачі (Беллмана-Форда, Дейкстри, Флойда-Уоршелла, Джонсона) [1,2]. Для зменшення часу виконання цих алгоритмів сформовано ряд їх паралельних версій, що дозволяють підвищити продуктивність роботи поширених алгоритмів маршрутизації.

Для розв'язання задач маршрутизації використовуються класичні алгоритми, переважна кількість яких оперують лише одним параметром оптимізації – вагою (ціною) шляху, що виражає сукупність його адитивних характеристик. Проте, зазвичай, існує декілька параметрів, які характеризують кожну гілку мережі, наприклад, пропускна здатність, затримка, швидкість передачі, навантаження, надійність, які можна поділити на адитивні та неадитивні. Таким чином, у сучасних мережах з'явилась необхідність розв'язання задачі про найкоротші шляхи з кількома критеріями оптимізації. Обчислювальні затрати на розв'язання таких задач експоненційно зростають із ростом розмірності оброблюваних графів. Тому виникає актуальна необхідність формування нових підходів та алгоритмів розв'язання задач пошуку оптимальних шляхів з багатьма критеріями, одним із яких є метод генетичних алгоритмів [3].

© К. В. КОЛЕСНИКОВ, А. Р. КАРАПЕТЯН, Т. А. ЦАРЕНКО, 2013

Постановка задачі багатокритеріальної оптимізації. Більшість розв'язуваних практичних завдань передбачають пошук рішення, що є оптимальним згідно з кількома критеріями. Однак, більшість методів, використовуваних для вирішення цих завдань, використовують єдиний, складовий оптимізаційний критерій. У цьому випадку завдання багатокритеріальної оптимізації зводиться до однієї або декількох задач однокритеріальної оптимізації. Існує величезна різниця між двома цими завданнями. При однокритеріальній оптимізації здійснюється пошук єдиного оптимального рішення. При багатокритеріальної оптимізації здійснюється пошук декількох оптимальних рішень, що дозволяє рівним чином враховувати всі критерії, що оптимізуються. Після завершення оптимізації користувач має можливість вибрати найкраще з його точки зору рішення, яке представляє собою компроміс між декількома суперечливими критеріями. Пошук безлічі рішень при багатокритеріальної оптимізації ґрунтується на концепції Парето-оптимальності.

Основна її ідея полягає у визначенні поняття не домінування для окремих рішень оптимізаційної задачі. Рішення x_1 домінує інше рішення x_2 , якщо одночасно виконуються дві наступні умови:

1) рішення x_1 не гірше рішення x_2 по будь-якому з розглянутих в задачі критеріїв;

2) рішення x_1 суворо краще рішення x_2 принаймні по одному з критеріїв.

Якщо не існує жодного рішення, що задовольняє перерахованим вище умовам, то x_2 є не домінуючим або Парето-оптимальним рішенням багатокритеріальної задачі.

Розглянемо загальний випадок векторної багатокритеріальної задачі.

Знайти

$$\min f(x) = [f_1(x), f_2(x), \dots, f_k(x)]. \quad (1)$$

Тут $x = [x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n]^T$ – вектор рішень, $i = 1, 2, \dots, n$, n – кількість змінних; $x \in X$, де $X \subset R^n$ – множина допустимих рішень; $f_j(x)$ – j -й критерій оцінювання, $j = 1, 2, \dots, k$. Вектор $f(x)$ називається критеріальним вектором, а $f(X) = Y \subset R^k$ – множиною допустимих оцінок, де R^k – критеріальний простір.

Оскільки багатокритеріальна оптимізація полягає в пошуку оптимального рішення, що задовольняє одночасно більш ніж одну цільову функцію, то для знаходження компромісного рішення в багатокритеріальних моделях в теорії оптимізації введено поняття рішення оптимального за Парето, яке відоме також як покращене рішення або не домінуюче рішення. Формальне визначення Парето-оптимального рішення задачі сформульовано наступним чином:

Вектор $x \in X$ називають Парето-оптимальним рішенням задачі (1) тоді і тільки тоді, коли не існує іншого вектора рішень $x^* \in X$ такого, що $f_j(x^*) \leq f_j(x)$ для $j = 1, 2, \dots, k$, причому хоча б для одного j це обмеження виконується строго.

Для вирішення такого виду завдань багатокритеріальної оптимізації розроблені різні методи і підходи, які використовують традиційні техніки оптимізації та пошуку рішень. Одним з таких добре відомих методів є метод, що об'єднує критерії, які оптимізуються в одну цільову функцію з використанням зваженої суми цих

критеріїв, взятих з певними вагами. Інший підхід відомий під назвою «методу функції відстані» (Method of distance functions).

Генетичні алгоритми добре зарекомендували себе в якості методик пошуку у багатьох областях практично при повній відсутності інформації про властивості цільової функції і обмежень. В різних дослідженнях було розроблено декілька методів і підходів використання генетичних алгоритмів для вирішення багатокритеріальної оптимізації.

Вперше ідею використання генетичного алгоритму для вирішення завдань багатокритеріальної оптимізації запропонував у своїх роботах Розенберг, [7]. Однак, у практичній імплементації в біохімічних експериментах він свої ідеї не реалізував. Практичний метод був розроблений 17 роками пізніше Шаффером, [8] і представлений у програмі VEGA (Vector Evaluated Genetic Algorithm). Шаффер модифікував стандартний генетичний алгоритм GENESIS Грефенстита, розроблений для однокритеріальної оптимізації таким чином, щоб можна було його застосувати для вирішення багатокритеріальної оптимізації.

Метод рангів Голдберга заснований на методі приписування рангів Беккера для однокритеріальної оптимізації. Згідно основної концепції оптимальності в сенсі Парето, всі особини в кожній популяції повинні володіти однаковим потенціалом репродукції. Для виконання цієї умови, Голдберг «сортує всі особини за ступенем не домінування», присвоює ранги таким чином: спочатку розглядається вся популяція, визначається безліч не домінуючих рішень в сенсі Парето і всім цим не домінуючим особинам в поточній популяції (вибірці); присвоюється ранг 1 і поміщають їх на чолі списку; потім розглядається інша частина популяції і шукається серед них наступна партія не домінуючих особин; їм присвоюється ранг 2; процес цей повторюється до моменту розгляду та оцінки всіх особин у популяції; припускаючи, що для даної популяції було згенеровано R підпопуляцій і привласнені їм різні ранги, функцію пристосованості можна розрахувати за такою формулою:

$$f(x) = -r(x) + r + 1, \quad (2)$$

де $r(x)$ – ранг популяції не домінуючих рішень x .

При невеликому числі рішень в популяції або при малому розходженні рішень може статися, що число підпопуляцій з різними рангами буде невеликим, що, у свою чергу, може призвести до того, що нові популяцію не будуть переміщатися у напрямку до точки найкращої множини оцінок завдання оптимізації. Щоб уникнути такої ситуації і забезпечити відмінність у рішеннях популяції, метод присвоювання рангів необхідно використовувати спільно з технікою формування ніш і генотипів. Метод присвоювання рангів Парето-оптимальним рішенням характеризується більш високою складністю обчислень, ніж метод селекції Шаффера, тому що для його реалізації необхідно виконати додатково $O(K^2R)$ операцій з метою визначення безлічі рішень в сенсі Парето.

Гібридний генетичний алгоритм НАГ розроблений групою дослідників і запропонований для вирішення багатокритеріальних комбінаторних задач розподілу робіт в багатопроекторних комп'ютерних системах. Незалежно від цих робіт, був розроблений подібний нейронно-еволюційний алгоритм для вирішення проблеми визначення максимального потоку в підвішеному графі, що безперечно підтверджує правильність обраного напрямку досліджень підвищення якості алгоритмів глобальної оптимізації. У дослідженнях використовується головна ідея гібридизації

генетичних алгоритмів і спільне їх використання як з нейронними мережами, так і з вибраними аналітичними методами оптимізації.

У гібридному алгоритмі для знаходження субоптимальних рішень даної проблеми глобальної оптимізації використовується аналітичний метод оптимізації. Ця дія може бути виконано за допомогою нейронної мережі. Такий гібридний нейронно-генетичний алгоритм представлений у публікаціях [5, 6]. У ньому для знаходження субоптимальних рішень даної багатокритеріальної задачі використовується нейронна мережа Хопфілда

Схема генетичного алгоритму. Розглянемо формалізовану задачу пошуку оптимального шляху на графі, в якій задано зважений орієнтований граф $G=(V, E)$, де V – множина вершин, $E \in V \times V$ – множина ребер графа. В загальному випадку існує декілька вагових функцій $\omega_1, \dots, \omega_k : E \rightarrow R$, кожна з яких відповідає певному критерію оптимізації.

Довільний шлях $p = v_i \rightarrow v_j$ складається з послідовності ребер $\langle v_i, v_l \rangle, \dots, \langle v_k, v_j \rangle \in E$ і може бути представлений у вигляді послідовності вершин графа, що належать шляху $p = \langle v_i, v_l, \dots, v_j \rangle$.

Вершини $v_i, v_l, \dots, v_j \in V$, причому кожна вершина входить до шляху лише один раз.

Нехай індекс s відповідає початковій, а d – кінцевим вершинам шуканого шляху $p = v_i \rightarrow v_j$. Визначимо $x_{i,j}$ як:

$$x_{i,j} = \begin{cases} 1, & \text{якщо ребро } (i, j) \text{ входить до шляху;} \\ 0 & \text{в іншому випадку.} \end{cases}$$

Нехай загальна кількість критеріїв оптимізації задачі k . За кожним критерієм можна обчислити певний функціонал (цільову фітнес-функцію), який відповідає якості шляху з точки зору алгоритму маршрутизації і визначається як:

$$C_m(p) = F_m(\omega_m(i, j), x_{i,j}), m = 1..k, (i, j) \in E. \quad (3)$$

Для адитивних характеристик шляху (затримка, довжина), що використовуються як метрики сучасних алгоритмів маршрутизації, F_m є сумою значень вагової функції ребер, які входять до шляху p . Для неадитивних характеристик шляху (пропускна спроможність, надійність, навантаження) функціонал F_m є складною функцією від багатьох параметрів і може враховувати не тільки стан з'єднань, але й стан маршрутизаторів мережі, зміну середовища передачі даних та ін.

Позначимо множину всіх можливих шляхів між вершинами v_s та v_d як P . В загальному випадку задача про найкоротший шлях між двома визначеними вершинами в графі з багатьма критеріями може бути сформульована наступним чином:

$$\min_P C_m(p) = F_m(\omega_m(i, j), x_{i,j}), m = 1..k, (i, j) \in E, \quad (4)$$

$$\sum_{\substack{j=s \\ j \neq i}}^d x_{i,j} - \sum_{\substack{j=s \\ j \neq i}}^d x_{j,i} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } i = s, \\ -1, & \text{якщо } i = d, \\ 0 & \text{в іншому випадку,} \end{cases} \quad (5)$$

$$\sum_{\substack{j=s \\ j \neq i}}^d x_{i,j} = \begin{cases} \leq 1, & \text{якщо } i \neq d, \\ 0, & \text{якщо } i = d. \end{cases} \quad (6)$$

Умови (5) та (6) вимагають, щоб шуканий шлях не містив циклів. Умова (4) вимагає, щоб цільова функція за кожним критерієм оптимізації по всіх можливих шляхах $P = v_s \rightarrow v_d \in P$ досягала найменшого значення на шуканому шляху.

До кожного покоління розв'язків (хромосом) застосовуються операції кросоверу та мутації. Імовірність застосування цих операцій до певної хромосоми в запропонованій моделі не залежить від пристосованості моделі і позначають P_c та P_m відповідно. Позначимо порядок покоління генетичного алгоритму індексом n , а кількість поколінь – N . Таким чином, запропоновано модель роботи алгоритму може бути представлена у вигляді наступної схеми:

- 1) ініціалізація алгоритму ($G; \omega_1, \dots, \omega_k : E \rightarrow R; s; d$);
- 2) формування початкового покоління (M);
- 3) поки ($n < N$):
 - вибір $M \cdot P_c$ хромосом, застосування операції кросоверу;
 - вибір $M \cdot P_m$ хромосом, застосування операції мутації;
 - відбір (M хромосом);
- 4) завершення алгоритму, представлення розв'язку.

Розглянемо операцію мутації, що полягає у формуванні випадкового шляху між двома проміжними вершинами шляху $P = v_s \rightarrow v_d$, причому шуканий проміжний шлях не повинен включати вершини основного шляху P . Позначимо вершини, що відповідають точкам мутації m_1 та m_2 . Введемо додаткове позначення V' – множина вершин графа G , що належать проміжним шляхам $v_s \rightarrow m_1$ та $m_2 \rightarrow v_d$. Позначимо також результат мутації шляху P та P_m . Тоді схема операції мутації може бути представлена наступним чином:

- 1) формування V' ($P = v_s \rightarrow v_d; m_1; m_2$);
- 2) $P' = \cup p'; \forall p' = m_1 \rightarrow m_2$;
- 3) для всіх $p' \in P'$:
 - якщо $\exists v \in p'$, що $v \in V'$ тоді: $P' = P' / \{p'\}$;
- 4) вибір випадкового шляху $p' \in P'$;
- 5) $P_m = v_s \rightarrow m_1 \cup p' \cup m_2 \rightarrow v_d$ [4].

У публікації [3] було проведено генетичні операції кросоверу, мутації та відбору. Внаслідок операції кросоверу можливе формування шляхів, що містять цикли. Оскільки такі шляхи не задовольняють умову (5) задачі, їх необхідно відкинути і виключити з множини розв'язків. Тому після операції кросоверу всі хромосоми-нащадки підлягають перевірці на присутність циклів у відповідних їм шляхах на графі. Хромосоми, що не проходять перевірку, відкидаються і не приймають участі в операції відбору.

Як і при операції кросоверу, результат операції мутації також може не задовольняти умову (5) задачі. В цьому випадку, аналогічно попередньому, вводиться операція перевірки результату, а розв'язки, що містять цикли, відкидаються.

Для операції відбору було використано турнірний метод, що не має необхідності обрахунку функції пристосованості в цілому, що значно спрощує саму процедуру відбору. Для порівняння особин в групі достатньо порівняти значення відхилення кожної особини і залишити одну хромосому, відхилення якої в групі є мінімальним [3].

Висновки. В роботі запропоновано генетичний алгоритм для розв'язання задачі оптимізації за багатьма параметрами, проведено теоретичні оцінки складності генетичного алгоритму, узагальнено задачу пошуку найкоротших шляхів на графі з кількома критеріями та сформовано підходи до її формалізації. На основі виконаних досліджень зроблено висновок, що генетичні алгоритми є досить потужним математичним інструментом і можуть з успіхом застосовуватися для вирішення широкого класу прикладних задач, включаючи ті, які важко або навіть взагалі неможливо вирішити іншими методами. Час збіжності таких алгоритмів може змінюватись залежно від необхідної точності та динаміки зміни мережі.

Перспективним напрямком є використання генетичних алгоритмів оптимізації для створення сучасних протоколів маршрутизації, які враховують як характеристики мережевих з'єднань, так і обладнання. Сформовані підходи дозволяють значно спростити (а для деяких окремих випадків є єдиним варіантом) розв'язання задачі маршрутизації у складних комп'ютерних телекомунікаційних системах.

Список літератури: 1. Седжвик, Р. Фундаментальные алгоритмы на С++. Алгоритмы на графах [Текст] / Седжвик, Р. Пер. с англ. – СПб : ООО «ДиаСофтЮП», 2002. — 496 с. 2. Кормен, Т., Лейзерсон, Ч., Ривест, Р. Алгоритмы: построение и анализ [Текст] / Кормен, Т., Лейзерсон, Ч., Ривест, Р.. – М.: Центр непрер. математического образования, 2000. – 960 с. 3. Погорілий, С. Д. Генетичний алгоритм розв'язання задачі маршрутизації в мережах [Текст] / С. Д. Погорілий, Р.В Білоус // Проблеми програмування. – 2010. - №2-3; Спец. вип. – С. 171-178. 4. Білоус, Р . В. Особливості прикладного застосування генетичного алгоритму пошуку оптимальних шляхів на графі [Текст] / Р.В. Білоус, С.Д. Погорілий // Реєстрація, зберігання і оброб. даних. – 2010. – Т. 12, № 2. – С. 81-87. 5. Сетлак, Г. Решение задач многокритериальной оптимизации с использованием генетических алгоритмов [Текст] // System Research and Information Technologies. Kiev: IASA National Academy of Sciences and Ministry of Education and Science Ukraine. 2002. № 3. Р. 32-42. 6. Колесніков, К .В. Методи адаптивної і нейромережевої маршрутизації пакетів даних в мультиагентних комунікаційних системах [Текст] / Колесніков К.В., Кулинич Е.В.// Черкаси, Вісник ЧДТУ.- 2008.- №2, с.5-8. 7. Rosenberg, R. S. Simulation of genetic populations with biochemical properties, Mathematical Biosciences. 7. — Р. 223–257. 8. Schaffer, J. D. Multiple objective optimization with vector evaluated genetic algorithm // J.J. Grefenstete (Kd.): Genetic Algorithms and Their Applications. Proc. of the First Int. Conf. on Genetic Algorithms, Hillsdale, NJ: L. Erlbaum. — 1985. — Р. 93–100.

Надійшла до редколегії 08.09.2013

УДК 004.73

Генетичні алгоритми для задач багатокритеріальної оптимізації в мережах адаптивної маршрутизації даних/ Колесніков К. В., Карапетян А. Р., Царенко Т. А // Вісник НТУ «ХП». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХП», – 2013. - № 56 (1029). – С.44-50 . – Бібліогр.: 8 назв.

Представлены существующие подходы и методы применения генетических алгоритмов для решения задач многокритериальной оптимизации. Рассмотрена возможность формализации

многокритериальной задачи поиска оптимальных путей в корпоративной компьютерной сети. Проанализирована вычислительная сложность генетического алгоритма поиска оптимальных путей на графе.

Ключевые слова: маршрутизация, генетический алгоритм, многокритериальная оптимизация, Парето-оптимальность, метод рангов Голдберга, гибридный генетический алгоритм HAG, поиск оптимального пути на графе, хромосомы, кроссовер, мутация, отбор.

Presented existing approaches and methods for applying genetic algorithms to solve multi-objective optimization problems. The possibility of formalizing multiobjective optimal paths in the corporate computer network. Computational complexity analysis of the genetic algorithm search for the best ways to graph.

Keywords: routing, genetic algorithm, multicriteria optimization, Pareto-optimality, the method ranks Goldberg, a hybrid genetic algorithm HAG, find the optimal path on the graph, chromosomes, crossover, mutation, selection.

УДК 004.73

К. В. КОЛЕСНИКОВ, канд. техн. наук, доц., ЧГТУ, Черкассы;

А. Р. КАРАПЕТЯН, аспирант, ЧГТУ, Черкассы;

О. Г. НИКУЛИН, студент, ЧГТУ, Черкассы

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО МАРШРУТА В СЕТЯХ С АДАПТИВНОЙ МАРШРУТИЗАЦИЕЙ ПАКЕТОВ ДАННЫХ

Представлены существующие методы применения моделей, построенных на основе нейронной сети Хопфилда, для определения оптимального маршрута. Рассмотрена возможность использования нейронных сетей Хопфилда в сетях с адаптивной маршрутизацией. Проанализирована вычислительная сложность при использовании функции энергии для активации нейронной сети.

Ключевые слова: маршрутизация, нейронные сети, сети Хопфилда, адаптивная маршрутизация, функция энергии

Введение. В телекоммуникационных системах искусственные нейросети находят применение при решении следующих задач [1]: управление коммутацией, адаптивная маршрутизация, управление трафиком, оптимальное распределение загрузки каналов сети.

Адаптивная маршрутизация является одной из важнейших задач для телекоммуникационных сетей различного назначения. Задачи, связанные с выбором маршрута и с планированием работы маршрутизаторов, относятся к классу комбинаторно-оптимизационных задач, не имеющих простых аналитических решений. Для решения таких задач можно использовать модели, построенные на основе нейронной сети Хопфилда; большинство существующих работ в этой области базируются на таких моделях [2].

Постановка задачи. Применительно к классической задаче коммивояжера, проблема формулируется следующим образом [3]: для некоторой группы городов, с известными расстояниями между ними, требуется найти кратчайший маршрут разового посещения каждого города с возвратом в исходную точку.

Обозначим города, которые необходимо посетить, буквами A, B, C, \dots , а расстояния – $d_{AB}, d_{AC}, \dots, d_{BC}, \dots$. Решением является упорядоченное множество из n