мобільних станцій, вид та потужність завади, абонентська ємність, площа розгортання мережі в цілому та окремих стільників. Для цього необхідно розв'язати низку взаємопов'язаних, в деяких випадках, протилежних завдань: максимізація об'єму та періоду з забезпеченням достатньо високої лінійної складності та прийнятної складності апаратної реалізації; оптимізація авто- і взаємокореляційних функцій; розробка методів і пристроїв генерації таких послідовностей.

Література

1. Варакин Л. Е. Системы связи с шумоподобными сигналами / Л. Е. Варакин. – М. : Радио и связь, 1985. – 384 с.
2. Ипатов В. П. Широкополосные системы и кодовое разделение сигналов. Принципы и приложения / Ипатов В. П. – М. : Техносфера, 2007. – 488 с.
3. Широкополосные беспроводные сети передачи информации / [В. М. Вишневский, А. И. Ляхов, С. Л. Портной, И. В. Шахнович]. – М. : Техносфера, 2005. – 592 с.
4. Помехозащищенность систем радиосвязи с расширением спектра прямой модуляцией псевдослучайной последовательностью / [В. И. Борисов, В. М. Зинчук, А. Е. Лимарев, В.И. Шестопалов]. – М. : РадиоСофт, 2011. – 550 с.
5. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение / Б. Скляр ; [пер. с англ. / под общ. ред. А. В. Назаренко]. – М. : „Вильямс", 2003. – 1104 с.
6. Бессарабова А. Л. Псевдослучайные последовательности и их примененение в технике связи / А. Л. Бессарабова, В. И. Журавлев // Итоги науки и техники. – 1991. – Том 7. – 198 с.
7. Бархота В. А. Системы связи с расширением спектра сигналов / В. А. Бархота, В. В. Горшков, В. И. Журавлев // Итоги науки и техники. – 1990. – Том 5. – 227 с.
8. Макуильямс Ф. Дж. Псевдослучайные последовательности и таблицы / Ф. Дж. Макуильямс, Н. Дж. А. Слоан // ТИИЭР. – 1976. – Т. 64, № 12. – С. 80–95.
9. Ипатов В. П. Дискретные последовательности с хорошими корреляционными свойствами / В. П. Ипатов, Б. Ж. Камалетдинов, И. М. Самойлов // Зарубежная радиоелектроника. – 1989. – № 9. – С. 3–13.
10. Кренгель Е. И. Исследование и разработка новых классов псевдослучайных последовательностей и устройств их генерации для систем с кодовым разделением каналов : дис. … канд. техн. наук : 05.12.13 / Евгений Ильич Кренгель. – М. : МТУСИ, 2002. – 214 с.
11. Никитин Г. И. Применение функций Уолша в сотовых системах связи с кодовым разделением каналов/ Г. И. Никитин. – СПб : СПбГУАП, 2003. – 86 с.
12. Захарченко Н. В. Эффективность использования таймерных сигнальных конструкций в системах передачи с кодовым разделением каналов / Н. В. Захарченко, В. В. Корчинский, Б. К. Радзимовский // Наукові праці Донецького національного технічного університету. – 2011. – Вип. 20 (182). – С. 145 – 151.
13. Борисов В. И. Помехозащищенность систем радиосвязи с расширением спектра сигналов методом псевдослучайной перестройки рабочей частоты / В. И. Борисов, В. М. Зинчук, А. Е. Лимарев.– М. : Радио и связь, 2000. – 384 с.
14. Теорія сигнально-кодових конструкцій / [М. І. Науменко, Ю. В. Стасєв, О. О. Кузнецов, С. П. Євссеєв]. – Харків : ХУПС, 2008. – 541 с.

Надійшла 15.11.2012 р.
Рецензент: д.т.н. Шинкарук О.М.

УДК 004.056.5: 519.17

К.В. КОЛЕСНІКОВ, А.Р. КАРАПЕТЯН, В.В. РОЖНОВ
Черкаський державний технологічний університет

ГЕНЕТИЧНІ АЛГОРИТМИ ЯК МЕТОД БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ В МЕРЕЖАХ АДАПТИВНОЇ МАРШРУТИЗАЦІЇ ПОТОКІВ ДАНИХ

Розглядається алгоритм багатокритеріального пошуку маршруту в мережах за адаптивною маршрутизацією потоків даних. Даний алгоритм дозволяє значно спростити (а для деяких окремих випадків є єдиним варіантом) розв'язання задачі маршрутизації у складних комп'ютерних системах.

Ключові слова: генетичні алгоритми, багатокритеріальна оптимізація, адаптивна маршрутизація.

The algorithm of multicriterial search of route in networks for adaptive routing data streams. This algorithm allows to simplify (and for some special cases is the only option) for solving the problem of routing in complex computer systems.

Keywords: genetic algorithms, multicriteria optimization, adaptive routing.

Вступ

В сучасному суспільстві кількість телекомунікаційних мереж невпинно зростає, також збільшується і навантаження на них, що створює нові задачі з оптимізації багатьох параметрів, які впливають на якості таких мереж. Зростає і кількість користувачів мережі, тому досить актуальною задачею стає вдосконалення методів маршрутизації між станціями в мережах.

Більшість алгоритмів, які застосовуються для розв'язання задач маршрутизації, оперують лише однією змінною для оптимізації, а саме вагою шляху, яка виражається загальною сукупністю його характеристик. Але існує багато параметрів як адитивних, так і неадитивних, які характеризують кожний шлях у мережі. Отже, виникає необхідність створення нових підходів для розв'язання таких задач з багатьма критеріями, одним з них є генетичні алгоритми.

Постановка задачі

Представимо мережу у вигляді зваженого орієнтованого графа D = (V, E). Тоді шлях у ньому може бути записаний у вигляді послідовності вершин графа, які належать обраному шляху $\{\upsilon_i, \ldots, \upsilon_j\}$. Хромосома алгоритму, яка у подальшому буде представленням розв'язку, це послідовність чисел, ідентифікаторів вершин графа. Перший та останній ген у хромосомі (υ_i та υ_j) – початковий та кінцевий пункт маршруту, інші – номери вершин.

Вершини v_i, v_l, …,v_j належать графу, причому кожна вершина входить до шляху лише один раз. Наприклад, на рис. 1 послідовність (1, 3), (3, 4), (4, 8), (8, 9), (9, 12) є шляхом з вершини 1 до вершини 12 і відповідає представленню (1, 3, 4, 8, 9, 12).

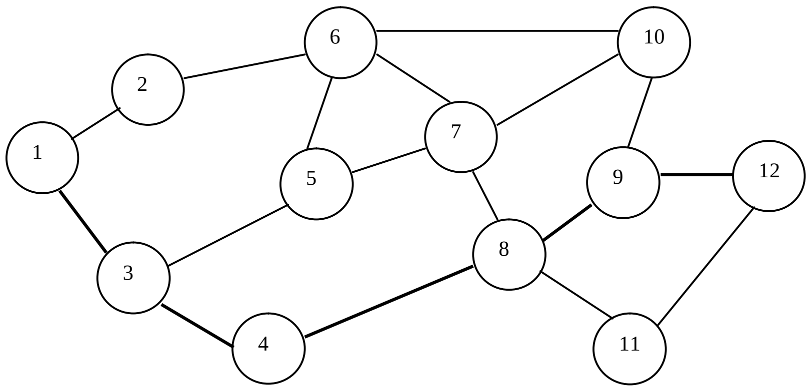

Рис. 1. Шлях (1, 3, 4, 8, 9, 12)

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

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

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

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

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. У загальному випадку задача про найкоротший шлях між двома визначеними вершинами в графі з багатьма критеріями може бути сформульована наступним чином:

$$\min_p C_m(p) = F_m(w_m(i,j), x_{i,j}), m = 1..k, (i,j) \in E \tag{2}$$

$$\sum_{\substack{j=s \\ j \neq i}}^{d} x_{i,j} - \sum_{\substack{j=s \\ j \neq i}}^{d} x_{ji}, i = \begin{cases} 1, & \text{якщо i = s,} \\ -1, & \text{якщо i = d,} \\ 0 & \text{– в іншому випадку.} \end{cases} \tag{3}$$

$$\sum_{\substack{j=s \\ j \neq i}}^{d} x_{i,j} = \begin{cases} \leq 1, & \text{якщо } i \neq d, \\ 0, & \text{якщо } i = d \end{cases} \tag{4}$$

Умова (2) вимагає, щоб цільова функція за кожним критерієм оптимізації по всіх можливих шляхах $p = v_s \to v_d \in P$ досягала найменшого значення на шляху, що знаходимо. Умови (3) та (4) вимагають, щоб шлях, який знаходимо, не містив циклів.

Розв'язання задачі

Першим етапом роботи алгоритму є вибір розміру початкової популяції та її генерація. Останні дослідження у сфері генетичних алгоритмів показали, що хороший результат за прийнятний час для задачі про найкоротші шляхи у графі можна отримати, використовуючи популяції розміром N=2|V| [1]. Повернемось до формулювання задачі (1). Для позначення важливості кожного критерію оптимізації введемо вагові коефіцієнти $\delta_i,\ i=1..k$. При генеруванні популяції для розв'язання задачі пошуку найкоротшого шляху з багатьма критеріями доцільно використовувати класичний метод формування популяції, тому використовуємо алгоритм Дейкстри за критерієм оптимізації з найбільшим ваговим коефіцієнтом.

Подальшою операцією є вибір батьківської пари, в ній застосовуємо турнірний механізм відбору, оскільки він захистить від передчасної збіжності до локальних екстремумів.

Далі запроваджується операція одно або багатоточкового кросоверу з подальшим вилученням хромосом, у яких утворилися цикли. Вилучення таких хромосом також потрібно виконати і після операції мутації.

Виконання відбору спрямоване для покращення якості популяції і в даній реалізації використовує турнірний метод [2]. Суть методу полягає у поділі популяції на підгрупи по декілька хромосом і відбір з кожної групи хромосоми з найбільшою функцією пристосованості, решта хромосом відкидається.

Визначимо відхилення певного розв'язку задачі від ідеального розв'язку як зважену L_h – норму:

$$r(\vec{C};h,\vec{\delta})=\left\|\vec{C}-\vec{C}^{*}\right\|_{h,\vec{\delta}}=\left[\sum_{j=1}^{k}\delta_j^h\left|C_j-C_j^{*}\right|^h\right]^{1/h}, \tag{5}$$

де $\vec{\delta}=\left(\delta_1,...,\delta_k\right),\vec{C}=\left(C_1,...,C_k\right),...,\vec{C}^{*}=\left(C_1^{*},...,C_k^{*}\right)$ – точний розв'язок задачі.

Параметр h визначає характер впливу відхилень за кожним окремим критерієм. При h = 1 на загальне відхилення головним чином впливає сума відхилень розв'язку за всіма критеріями, при збільшенні значення параметра h до $h = \infty$ підвищується роль відхилення за кожним критерієм окремо. Такий підхід дозволяє гнучко змінювати не тільки вплив кожного окремого критерію, але й їх кореляцію.

Для невеликої кількості параметрів оптимізації задачі точний розв'язок можна знайти користуючись будь-яким класичним алгоритмом. Однак уже при k > 2 загального алгоритму розв'язку задачі не існує. У такому випадку доцільно використати найкращий проміжний розв'язок $\vec{C}'=(C_1',...,C_k')$. Найкращий проміжний розв'язок – це точний розв'язок, що відповідає поточній популяції генетичного алгоритму, а не задачі в цілому. Таким чином, пошук екстремуму функції оптимізації відбувається на частковій множині розв'язків. З процесом розвитку популяції генетичного алгоритму частковий найкращий розв'язок буде наближатись до точного, якщо такий взагалі існує.

Нехай P – множина особин поточної популяції. Значення найкращого проміжного розв'язку визначається наступним чином:

$$C_i'=\min\left\{C_i(p)\,\middle|\,p\in P\right\},\ i=1...k. \tag{6}$$

Підставивши вираз (6) у формулу (5), одержимо значення відхилення особини p:

$$r(p)=\left[\sum_{j=1}^{k}\delta_j^h\left|C_j-C_j^{*}\right|^h\right]^{1/h} \tag{7}$$

Оскільки для "найкращих" особин значення відхилення буде мінімальним, слід перетворити значення відхилення у значення функції пристосованості. Позначимо найменше та найбільше відхилення у поточній популяції r_{min} та r_{max} відповідно. Значення функції пристосованості особини p визначимо як

$$F(p)=\frac{r_{max}-r(p)}{r_{max}-r_{min}} \tag{8}$$

Оскільки для операції відбору використовується турнірний метод, немає 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.

Застосування методу турнірного відбору дозволяє позбутися потенційної збіжності алгоритму до локального екстремуму функції оптимізації. Проте такий підхід значно ускладнює теоретичний обрахунок збіжності популяції.

Збіжністю будемо вважати такий стан популяції, коли всі особини покоління є майже однаковими і знаходяться в області деякого екстремуму. В такій ситуації кросовер практично ніяк не змінює популяцію, оскільки створені під час цієї операції потомки є копіями батьківських хромосом, а особини, що з'являються внаслідок мутації, схильні до вимирання.

Визначимо середнє значення відхилення від оптимального у популяції P:

$$\bar{r} = \frac{\sum p\, r(p)}{N}, \quad p \in P,\ N = |P|. \tag{9}$$

Критерієм щільності значень функції пристосованості популяції алгоритму є відношення:

$$S = \frac{r_{max} - r_{min}}{\bar{r}} \tag{10}$$

Іншим важливим питанням є критерій зупинки генетичного алгоритму в цілому. Зазвичай використовують два підходи:

• обмеження на максимальну кількість епох функціонування генетичного алгоритму;

• порівняння пристосованості популяції кількох епох і зупинки при стабілізації цього параметра.

Використання першого підходу вимагає експериментальних досліджень і в загальному випадку не приводить до одержання достатньо хорошого результату.

Для застосування другого підходу слід порівнювати не лише середнє чи найкраще значення пристосованості популяцій генетичного алгоритму, але й їх щільність. Тому критерій завершення алгоритму для задачі в запропонованій моделі можна сформулювати наступним чином:

$$S_N < S_{crit} << 1,\ S_{N+1} < S_{crit} << 1, \tag{11}$$

$$\left| \frac{\bar{r}_N}{\bar{r}_{N+1}} \right| < k_{crit} << 1. \tag{12}$$

Тут $\bar{r}_N$ та $\bar{r}_{N+1}$ – значення середнього відхилення функції пристосування поточного та наступного поколінь відповідно.

Умова (11) забезпечує невеликий розкид розв’язків задачі в межах одного покоління генетичного алгоритму, а умова (12) – незначну відмінність середнього значення розв’язків двох послідовних епох. Точні значення критеріїв закінчення алгоритму S_{crit} та k_{crit} залежать від кількості параметрів задачі та необхідної точності отриманого результату і вимагають експериментального корегування.

Висновки

У роботі запропоновано генетичний алгоритм оптимізації як найбільш зручний та доцільний підхід до розв’язання цієї задачі за багатьма параметрами. Для запропонованої моделі генетичного алгоритму сформовано та обґрунтовано метод представлення розв’язку задачі та особливості генетичних операції (кросовер, мутація). Створено теоретичні засади відбору та критеріїв зупинки генетичного алгоритму.

Описані концепції можуть бути використані для створення сучасних протоколів маршрутизації, які враховують як характеристики мережевих з’єднань, так і обладнання. Час збіжності такого алгоритму може змінюватись залежно від необхідної точності та динаміки зміни мережі. Сформовані підходи дозволяють значно спростити (а для деяких окремих випадків є єдиним варіантом) розв’язання задачі маршрутизації у складних комп’ютерних системах.

Література

1. Gen M., Cheng R. Genetic Algorithms and Engineering Optimization. – New York : Wiley, 2000. – 511 p.

2. Gonen B. Genetic Algorithm Finding the Shortest Path in Networks. – Reno : University of Nevada, 2006.

3. Исаев С.А. Решение многокритериальных задач [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://bspu.ab.ru/Docs/~saisa/ga/idea1.html.

Надійшла 3.11.2012 р.
Рецензент: д.т.н. Снитюк В.Є.