

А. Р. Карапетян, старший викладач
Черкаський державний технологічний університет
б-р Шевченка 460, к. 603, м. Черкаси, 18006, Україна
e-mail: anait.r.karapetyan@gmail.com

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ОПТИМІЗАЦІЇ МАРШРУТИЗАЦІЇ ПОТОКІВ ДАНИХ

Розвиток мереж передачі даних і проблеми керування потоками в них вимагають нових методів оптимізації процесів маршрутизації потоків даних. Для розв'язання цієї проблеми, в рамках розвитку сучасної науки, можна використовувати моделі і методи адаптивної і нейромережевої маршрутизації. У статті розглянуто методи оптимізації адаптивної маршрутизації інформаційних потоків. Представлено моделі адаптивної маршрутизації та існуючі підходи і методи обробки інформації. Проаналізовано основні особливості та задачі маршрутизації потоків даних зі змінною динамікою. Розглянуто можливість формалізації задачі пошуку оптимального шляху. Обґрунтовано необхідність розробки нових методів адаптивної маршрутизації. Розглянуто можливість використання еволюційних методів для визначення оптимального маршруту в мережах з адаптивною маршрутизацією. Головною проблемою у використанні цих методів є великий обсяг обчислень.

Ключові слова: маршрутизація, адаптивна маршрутизація, багатокритеріальна оптимізація, нейронні мережі, мережа Хопфілда, генетичний алгоритм.

Постановка проблеми. У зв'язку зі зростанням вимог до швидкості передачі даних і до якості сигналу завдання підвищення ефективності використання мережевих ресурсів стає все більш актуальним. Одне з ключових завдань на сьогоднішній день – маршрутизація даних. Завдання вибору маршруту, а також планування роботи мережевих пристроїв відносять до класу комбінаторно-оптимізаційних задач, для яких не можна знайти прості аналітичні розв'язки. Досягти рівня адекватності математичного опису мережі можливо лише в рамках моделей, що враховують особливості динамічного функціонування системи.

Через складність структур сучасних комп'ютерних мереж задача маршрутизації не вирішується повною мірою. У більшості випадків це пов'язано з маршрутизаторами, які не справляються з підтриманням таблиць маршрутизації і вибором оптимальних маршрутів для даного класу трафіку. Тому виникає завдання дослідження існуючих алгоритмів маршрутизації з метою поліпшення їх характеристик або створення нових алгоритмів маршрутизації.

Аналіз останніх досліджень. До недавнього часу теоретичну базу для проектування і моделювання систем розподілу інформаційних потоків забезпечувала теорія телетрафіку, що набула свого розвитку в роботах ряду

авторів: Л. Клейнрока, Г. П. Башарина та ін. [1]. Найбільш поширеною моделлю потоку викликів у теорії телетрафіку є стаціонарний пуассонівський потік, відповідний для мереж з комутацією каналів. У роботах зарубіжних дослідників (W. Leland, D. Wilson, I. Noros) стверджується, що трафік у мережах з комутацією пакетів має так звану властивість «самоподібності» [2]. У результаті теоретичні розрахунки характеристик сучасних систем розподілу інформації за класичними формулами дають некоректні результати щодо довжин черг і часу затримок пакетів [3].

Таким чином, розробка моделей і алгоритмів маршрутизації, що враховують завантаженість ліній і «самоподібність» трафіку, є актуальною.

Метою роботи є аналіз існуючих методів маршрутизації та дослідження ефективності використання мережних ресурсів у розподілених мережах за допомогою еволюційних алгоритмів.

Виклад основного матеріалу. Задача управління трафіком розпадається на дві взаємопов'язані задачі:

- планування, оптимізація та адаптація маршрутів передачі потоків даних між вузлами мережі;
- керування передачею потоків даних по заданому маршруту з адаптацією до трафіку,

що змінюється, можливим перевантаженням або зміною топології чи параметрів мережі.

Статична постановка задачі планування й оптимізації маршрутів передачі даних ґрунтується на припущенні, що структура мережі є відомою і незмінною, а в ролі зовнішнього агента-користувача виступає один клієнт, який формує запит до одного з вузлових комп'ютерів мережі. Динамічна постановка задачі виходить з того, що структура мережі може змінюватися з часом, але залишається відомою. При цьому мережева інформація автоматично оновлюється, що приводить до зміни оптимальних маршрутів.

При адаптивній постановці задачі маршрутизація здійснюється в умовах невизначеності, коли топологія і параметри каналів зв'язку, а також трафік можуть непередбачувано змінюватися. При цьому доступна інформація має локальний характер. Моніторинг та оновлення мережевої інформації дозволяють адаптивно скорегувати маршрути.

Динамічна модель мережі зі змінною структурою та змінними параметрами описується графом

$$G(t) = G(A(t), R(t), W(t)), t \in [t_0, t_n],$$

де A – вузли, R – канали зв'язку, W – ваги каналів зв'язку, які можуть змінюватися з плином часу на заданому інтервалі $[t_0, t_n]$.

Необхідність у динамічній та адаптивній маршрутизації потоків даних виникає в таких випадках:

- зміна вартості каналів зв'язку;
- відмова одного чи декількох каналів або вузлів зв'язку;
- додавання каналів або вузлів зв'язку;
- перевантаження каналів або вузлів зв'язку.

Обробка інформаційних потоків вимагає розробки методів динамічної й адаптивної маршрутизації в умовах багатоадресної передачі і колективного використання мережі. Кількість запитів може непередбачувано змінюватися з плином часу.

Моделі адаптивної маршрутизації і методи обробки інформації. Переваги адаптивної маршрутизації потоків даних:

- забезпечення працездатності та надійності при непередбачуваних змінах структури або параметрів мережі;
- більш рівномірне завантаження вузлів і каналів зв'язку за рахунок «вирівнювання» навантаження;

- спрощення керування при мережевих перевантаженнях;
- збільшення часу безвідмовної роботи при непередбачуваних змінах параметрів і структури мережі.

Принцип адаптивної маршрутизації ґрунтується на передачі локальної інформації від сусідніх вузлів або глобальної інформації від усіх вузлів мережі.

Моделі і принципи адаптивної маршрутизації потоків даних у глобальних мережах можна розбити на три класи:

- ієрархічна маршрутизація;
- розподілена маршрутизація;
- мультиагентна маршрутизація.

Принцип ієрархічної маршрутизації полягає в тому, що кожний вузол мережі передає інформацію про свій стан центральному вузлу-маршрутизатору, який обчислює оптимальний маршрут. Принцип розподіленої маршрутизації ґрунтується на обміні локальною інформацією між вузлами мережі для обчислення локально-оптимального маршруту [4].

Мультиагентна маршрутизація є своєрідним компромісом між ієрархічною і розподіленою маршрутизацією. Вона ґрунтується на багатоадресній або багатопотоковій маршрутизації, адаптації до чинників невизначеності та аналізі можливих мережевих конфліктів з метою їх запобігання або вирішення в процесі керованої передачі пакетів даних за безліччю оптимальних маршрутів.

Основні функції обробки інформації, самоорганізації та управління інформаційними потоками за запитами зовнішніх агентів-користувачів глобальної мережі розподіляються між внутрішніми агентами, роль яких виконують мережеві або нейромережеві агенти. Архітектура цих внутрішніх агентів аналогічна архітектурі мережі.

Розроблено моделі нейромережі для адаптивної маршрутизації. Програмна реалізація та імітаційне моделювання свідчать про їх ефективність і переваги.

Багатопотокова маршрутизація і відмовостійкість у глобальних мережах. Основними недоліками однопотокової маршрутизації в мережах є такі:

- несправність або відмова хоча б одного вузла чи каналу зв'язку, через які проходить оптимальний маршрут передачі пакетів даних, вимагають трудомісткого перерахунку оптимального

маршруту з урахуванням несправних вузлів або каналів зв'язку;

- спланований маршрут між будь-якими заданими вузлами мережі може призвести до мережевих перевантажень у той час, коли інші вузли і канали зв'язку можуть бути вільними або недовантаженими.

Для подолання цих труднощів доцільно використовувати багатопотокову маршрутизацію. При цьому одночасно планується не один маршрут передачі пакетів даних. Внаслідок цього збільшується надійність і відмовостійкість глобальної мережі

При ієрархічній багатопотоковій маршрутизації здійснюється планування оптимальних маршрутів за наявною (фіксованою) або оновленою (динамічною) інформацією про стан мережі. При розподіленій маршрутизації в кожному наступному вузлі маршруту, починаючи з вузла-джерела, планується k оптимальних маршрутів передачі пакетів даних до вузла-одержувача. Такий метод планування вимагає спеціального механізму запобігання замкнутим маршрутам.

Головна перевага цього методу маршрутизації полягає в тому, що він забезпечує автоматичний «обхід» вузлів або каналів зв'язку, що відмовили. Це дозволяє швидко оновлювати інформацію про поточний стан мережі і вносити необхідні корективи в таблиці маршрутизації.

Оптимізаційні методи динамічної, адаптивної, нейромережевої та мультиагентної маршрутизації інформаційних потоків для глобальних мереж нового покоління є важливим кроком у напрямку створення теорії адаптивного мультиагентного обслуговування глобальних мереж.

Нейромережева маршрутизація. Нейронні мережі є ефективною обчислювальною моделлю апроксимування функцій будь-якої складності, ґрунтуючись на неповній інформації, розміщеній у навчальній БД. Властивість нейронних мереж одержувати потрібний результат при зашумлених вхідних параметрах вельми корисна при маршрутизації в мережі з топологією і трафіком, що змінюються.

Одним із підходів до розв'язання задачі маршрутизації є використання нейронних мереж [5].

Для розв'язання задачі оптимізації маршрутизації обрано алгоритм нейронної мережі Хопфілда з використанням функції енергії

Ляпунова. Мережі Хопфілда є рекурентними мережами або мережами зі зворотними зв'язками і якнайкраще підходять для пошуку оптимального маршруту [6].

При дослідженні можливостей нейронних мереж для розв'язання задач маршрутизації було показано необхідність використання нейронної мережі Хопфілда [7].

Аналіз робіт, присвячених використанню нейронних мереж при розв'язанні задачі маршрутизації, і близькість отриманих результатів до оптимальних свідчать про працездатність таких моделей.

Метод оптимізації інформаційних потоків генетичними алгоритмами. Генетичні та еволюційні алгоритми ґрунтуються на використанні механізмів природної еволюції. Еволюція, за Дарвіном, здійснюється в результаті взаємодії трьох основних факторів: мінливості, спадковості, природного відбору. Мінливість є основою утворення нових ознак і особливостей в будові і функціях організму. Спадковість закріплює ці ознаки. Природний відбір усуває організми, погано пристосовані до умов існування.

Концепцію побудови генетичних алгоритмів (ГА) схематично можна представити таким чином:

- 1) згенерувати випадковим чином популяцію розміру P ;
- 2) обчислити цільову функцію (фітнес-функцію);
- 3) виконати операцію селекції;
- 4) виконати операцію схрещування;
- 5) виконати операцію мутації;
- 6) якщо критерій зупинки не досягнутий, перейти до кроку 2), інакше завершити роботу.

Для того щоб використовувати ГА для розв'язання певної задачі, необхідно:

- вибрати спосіб кодування розв'язку;
- над отриманим простором рішень визначити операції схрещування і мутації;
- визначити стратегію вибору аргументів для цих операцій на кожному кроці алгоритму;
- визначити фітнес-функцію над розв'язком, що визначає якість і коректність розв'язку;
- визначити стратегію відбору розв'язків у новій популяції на черговому кроці алгоритму (операція селекції) з ураху-

ванням значень фітнес-функції для кожного рішення.

Нині розроблено велику кількість різних варіантів виконання операцій ГА. Операції схрещування і мутації визначають механізм пошуку нових розв'язків. Операція схрещування використовує властивості розв'язків, вже наявних у популяції, у той час як операція мутації дозволяє отримувати розв'язки, які не є композицією розв'язків, наявних у популяції. Основною проблемою ГА є проблема збереження балансу: необхідно домогтися балансу між збільшенням різноманітності популяції і поліпшенням якості рішення.

Ці алгоритми мають такі переваги:

- при правильному налаштуванні параметрів ГА мають високий ступінь адаптації до характеристик функції, що оптимізується;
- ці алгоритми мають високу швидкість збіжності;
- існує можливість налаштування параметрів алгоритму на задачах невеликих розмірностей і перенесення їх у подальшому на завдання більшої розмірності;
- при одному запуску алгоритму можливе одночасне отримання кількох варіантів розв'язків.

ГА алгоритм працює з сукупністю індивідів – популяцією, кожен з яких представляє можливий розв'язок проблеми. В процесі роботи ГА, у рамках виділеного ресурсу, досліджує простір пошуку шляхом інформаційного обміну з зовнішнім середовищем, тобто популяція еволюціонує у відповідному середовищі.

В цілому ж еволюція – це наявність двох головних аспектів: збереження і зміни. Для ефективної реалізації першого аспекту популяція повинна бути стійкою, стабільною, незмінною, тобто інформаційно дистанціюватися від середовища. З другого боку, без тісного інформаційного контакту з середовищем неможливий пошук розв'язку. Популяція має еволюціонувати, бути інформаційно чутливою до зміни середовища. Таким чином, вимоги еволюції, з точки зору інформаційного обміну популяції із середовищем, є суперечливими.

Для реалізації першого аспекту використовується оператор селекції спільно з принципом елітизму, а для другого аспекту застосовуються оператори рекомбінації і мутації.

Вперше ідею використання ГА для розв'язання задач багатокритеріальної оптимізації запропонував у своїх роботах Розенберг [8]. Практичний метод був розроблений пізніше Шаффером [9], який модифікував стандартний ГА однокритеріальної оптимізації.

Незалежно від цих робіт, був розроблений нейронно-еволюційний алгоритм для розв'язання проблеми визначення максимального потоку в зваженому графі. У дослідженнях [10, 11] використовується головна ідея гібридизації генетичних алгоритмів і спільне їх використання як з нейронними мережами, так і з вибраними аналітичними методами оптимізації. Такий гібридний нейронно-генетичний алгоритм представлений в [10]. У ньому для знаходження субоптимальних рішень багатокритеріальної задачі використовується нейронна мережа Хопфілда.

Висновок. На основі виконаного аналізу моделей та оптимізаційних методів зроблено висновок, що еволюційні алгоритми є досить потужним інструментом і можуть з успіхом застосовуватися для розв'язання широкого класу прикладних задач, включаючи ті, які важко або навіть взагалі неможливо вирішити іншими методами. Вони можуть бути корисні для організації адаптивного обслуговування GRID-інфраструктур різного масштабу. 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 системах.

Список літератури

1. Клейнрок Л. Коммуникационные сети. Стохастические потоки и задержки сообщений / Л. Клейнрок. – Наука, 1970. – 255 с.
2. Wieselthier J. E. Neural networks approach to routing without interference in multihop networks / J. E. Wieselthier, C. M. Barnhart, A. A. Ephermides // IEEE Transactions on Comm. – 1994. – Vol. 42. – No. 1. – P. 166–177.
3. Hajek B. Sceduling in polynomial time / B. Hajek, G. Sasaki // IEEE Trans. Inform. Theory. – Sept. 1998. – Vol. 34. – P. 910–917.

4. Погорілий С. Д. Генетичний алгоритм розв'язання задачі маршрутизації в мережах / С. Д. Погорілий, Р. В. Білоус // Проблеми програмування. – 2010. – № 2-3. – Спец. вип. – С. 171–178.
5. Уоссерман Ф. Нейрокомпьютерная техника: Теория и практика / Ф. Уоссерман. – М. : Мир, 1990.
6. Павленко М. А. Анализ возможностей искусственных нейронных сетей для решения задач однопутевой маршрутизации в ТКС / М. А. Павленко // Проблемы телекоммуникаций. – 2011. – № 2 (4). – С. 118–127.
7. Комашинский В. И. Нейронные сети и их применение в системах управления и связи / В. И. Комашинский, Д. А. Смирнов. – М. : Горячая линия – Телеком, 2003.
8. Rosenberg R. S. Simulation of genetic populations with biochemical properties / R. S. Rosenberg // *Mathematical Biosciences*. – 1989. – P. 223–257.
9. Schaffer J. D. Multiple objective optimization with vector evaluated genetic algorithm / J. D. Schaffer // *Genetic algorithms and their applications: Proc. of the First Int. Conf. on Genetic Algorithms*, J. J. Grefenstete (Ed.), Hillsdale, NJ: L. Erlbaum, 1985. – P. 93–100.
10. Колесніков К. В. Генетичні алгоритми для задач багатокритеріальної оптимізації в мережах адаптивної маршрутизації даних / К. В. Колесніков, А. Р. Карапетян, Т. А. Царенко // Вісник НТУ «ХПІ» (Харків). – 2013. – № 56 (1029). – С. 44–50.
11. Колесніков К. В. Використання нейромережевих моделей для знаходження оптимального шляху в мережах з адаптивною маршрутизацією пакетів даних / К. В. Колесніков, О. Г. Нікулін, А. Р. Карапетян // Вісник. Нові рішення в сучасних технологіях. – № 56. – Харків : НТУ «ХПІ», 2013. – С. 50–56.
2. Wieselthier, J. E., Barnhart, C. M. and Ephremides A. A. (1994) Neural networks approach to routing without interference in multihop networks. *IEEE Transactions on Comm.*, 42 (1), pp. 166–177.
3. Hajek, B. and Sasaki, G. (1998) Scheduling in polynomial time. *IEEE Trans. Inform. Theory*, Sept., vol. 34, pp. 910–917.
4. Pohorilyi, S. D. and Bilous, R. V. (2010) Genetic algorithm for the solution of routing task in networks. *Problemy prohramuvannia. Spets. vyp.*, No. 2-3, pp. 171–178 [in Ukrainian].
5. Uosserman, F. (1990) *Neurocomputer engineering: Theory and practice*. Moscow: Mir [in Russian].
6. Pavlenko, M. A. (2011) The analysis of possibilities of artificial neural networks for the solution of single-lane routing in TCS. *Problemy telekommunikatsiy*, No. 2 (4), pp. 118–127 [in Russian].
7. Komashinskyi, V. I. and Smirnov, D. A. (2003) *Neural networks and their use in control and communication systems*. Moscow: Goriachaia liniia – Telekom [in Russian].
8. Rosenberg, R. S. (1989), Simulation of genetic populations with biochemical properties. *Mathematical Biosciences*, pp. 223–257.
9. Schaffer, J. D. (1985) Multiple objective optimization with vector evaluated genetic algorithm. *Genetic algorithms and their applications: Proc. of the First Int. Conf. on Genetic Algorithms*, J. J. Grefenstete (Ed.), Hillsdale, NJ: L. Erlbaum, pp. 93–100.
10. Kolesnikov, K. V., Karapetyan, A. R. and Tsarenko, T. A. (2013) Genetic algorithms for multicriterion optimization problems in the networks of data adaptive routing. *Visnyk NTU «KhPI»* (Kharkiv), No. 56 (1029), pp.44–50 [in Ukrainian].
11. Kolesnikov, K. V., Nikulin, O. H. and Karapetyan, A. R. (2013) The use of neural network models for finding the optimal path in the networks with adaptive routing of data bursts. *Visnyk. Novi rishennia v suchasnykh tekhnolohiiakh*, No 56, Kharkiv: NTU «KhPI», pp. 50–56 [in Ukrainian].

References

1. Kleinrok, L. (1970) *Communicative networks. Stochastic flows and communications*. Nauka, 255 p. [in Russian].

A. R. Karapetyan, *senior lecturer*
Cherkasy State Technological University
Shevchenko Blvd, 460, Cherkasy, 18006, Ukraine
e-mail: anait.r.karapetyan@gmail.com

THE ANALYSIS OF METHODS OF OPTIMIZATION OF DATA FLOWS ROUTING

The development of the data transformation networks and the problems of directing streams within them demand new methods of optimization of data flows routing processes. To solve this problem in the framework of modern science development it is possible to use models and methods of adaptive and neural network routing. The article studies the methods of optimization of adaptive information flows routing. The methods of adaptive routing of information streams and the existing approaches and methods of data processing are presented. The major specific features and tasks of data flows routing with changeable dynamics are analyzed.

Due to increasing demands to the speed of data transmission and to the signal quality the task of increasing the efficiency of network resources grows more and more topical. Data routing is one of the key tasks up to date.

The object of the study is to analyze the existing routing methods and to research the efficiency of the use of net resources in distributed networks by means of evolutionary algorithms. The use of genetic optimization algorithms for creating modern routing information protocols, which consider both network connections characteristics and equipment, is the promising direction. The established approaches allow to significantly simplify (and are the only variant in some individual cases) the solving of routing task in complex computer systems.

The possibility of formalization of optimization task is studied. The necessity of the development of new adaptive routing methods is grounded. The possibility of the use of evolutionary methods for route optimization in the networks with adaptive routing is studied. The main problem in using these methods consists in big volume of calculations.

Keywords: *routing, adaptive routing, multiobjective optimization, neural networks, Hopfield net, genetic algorithm.*

*Рецензенти: В. М. Рудницький, д.т.н, професор,
В. І. Кудін, д.т.н, професор*