

Баранов Г.Л., д.т.н., Жуков І.А., д.т.н., Мартинова О.П., Баранов В.Л., д.т.н. (НАУ, Україна)

МЕТОД СИСТЕМОАНАЛОГОВОГО КЕРУВАННЯ ДЛЯ БАГАТОШЛЯХОВОЇ МАРШРУТИЗАЦІЇ У СКЛАДНИХ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМАХ

Описаний метод системоаналогового керування, який заснований на концепції системоаналогового моделювання складних систем. Показано, що метод системоаналогового керування забезпечує підвищення швидкодії рішення задачі багатошляхової маршрутизації у складних комп'ютерних системах.

Постановка проблеми. У теперішній час інтенсивно розвиваються обчислювальні системи та комп'ютерні мережі, які можна віднести до великих систем. Проблеми керування потоками даних у таких системах являються актуальними. Серед цих проблем є задача багатошляхової маршрутизації для визначення можливих маршрутів передачі даних у мережі [1, 2].

У випадку одношляхової маршрутизації і невеликої розмірності комп'ютерної мережі задача маршрутизації, при відсутності перевантаження в комп'ютерній мережі, вирішується на обчислювальних машинах або спеціалізованими обчислювальними пристроями – маршрутизаторами [1, 2]. Як показує практика, застосування комп'ютерних мереж для рішення задач продажу квитків, при організації зв'язку в телекомунікаційних системах і в процесі передачі великих обсягів аудіо- і відеоінформації виникає перевантаження комп'ютерної мережі [1]. Одним з найбільш ефективних методів усунення перевантаження комп'ютерної і телекомунікаційної мереж є керування розподілом потоків інформації по декілька паралельним маршрутам. У зв'язку з цим виникає задача багатошляхової і в загальному випадку альтернативної маршрутизації в комп'ютерній мережі. Математична модель комп'ютерної або телекомунікаційної мереж представляється у вигляді графа, вершини якого моделюють вузли-джерела і вузли-приймачі інформації, а гілки графа представляють можливі канали передачі даних. Оскільки канали передачі даних мають обмежену пропускну здатність, то гілкам графа приписують вагу пропорційну пропускну здатності каналу передачі даних або пропорційну часовій затримці в процесі передачі даних по цьому каналу. Надалі будемо вважати, що вага гілки графа пропорційна часовій затримці при передачі даних. Отже, задачу багатошляхової маршрутизації можна розглядати на графі, який моделює комп'ютерну або телекомунікаційну мережі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій [1-5] дозволяє зробити висновок про те, що задача одношляхової маршрутизації вирішується на обчислювальних машинах з оцінкою обчислювальної складності алгоритмів одношляхової маршрутизації $O(N^3)$, де N – розмірність моделюючого графа, і на паралельних обчислювальних структурах пошуку найкоротшого шляху на графах [3]. Основним недоліком відомих алгоритмів рішення задач маршрутизації на обчислювальних машинах – є різке зростання часу рішення для складних комп'ютерних мереж, що містять сотні-тисячі вузлів графа. Час рішення задачі одношляхової маршрутизації для графа з декільком десятком вузлів для сучасних комп'ютерних мереж складає десятки хвилин [1].

Дану проблему можна вирішити шляхом використання паралельних обчислювальних структур пошуку найкоротшого шляху на графах, що мають лінійну оцінку часу рішення $O(N)$ [3]. Однак, відомі паралельні обчислювальні структури орієнтовані на рішення задач одношляхової маршрутизації і не дозволяють вирішувати задачі багатошляхової маршрутизації.

Мета роботи – розробка методу багатошляхової маршрутизації на графах, який базується на застосуванні системоаналогового принципу керування для пошуку альтернативних маршрутів.

Принцип системоаналогового моделювання, який розширює ступінь різниці математичного опису моделі й об'єкта до границі зникнення якої-небудь подібності між ними, запропонований у роботі [4]. Модель, яка допускає істотну зміну її морфологічного і функціонального опису стосовно оригіналу, прийнято називати системоаналогом. На відміну від традиційної мети моделювання, що полягає в спрощенні математичного опису об'єкта, системоаналоги будуються в класі складних систем. Істотною ознакою системоаналогової моделі є її цілеспрямоване поводження, яке формується за допомогою керування. Під впливом системоаналогового керування клас подібності системоаналога й об'єкта змінюється від відношення толерантності до еквівалентності або ідентичності. Клас подібності системоаналога й об'єкта може змінюватися в процесі адаптації або самоорганізації системоаналога.

Прийемо як об'єкт моделювання безліч паралельних маршрутів між вузлом-джерелом і вузлом-приймачем даних. З усієї безлічі паралельних маршрутів виділимо K – шляхів, що характеризуються найменшою затримкою передачі даних. При $K=1$ маємо випадок одношляхової маршрутизації.

Побудуємо системоаналог для одношляхової маршрутизації. З огляду на те, що концепція системоаналогового моделювання допускає розширення ступеня розходження математичного опису моделі й об'єкта, у якості системоаналога прийемо математичну модель графа передачі даних у комп'ютерній мережі. Усі можливі шляхи між вузлом-джерелом і вузлом-приймачем інформації містять у собі такий найкоротший шлях, який шукається і що є об'єктом моделювання. Системоаналог у вигляді графа володіє всіма істотними ознаками системоаналогової моделі. По-перше, граф, що містить безліч вузлів і гілок, представляє складну систему стосовно найкоротшого шляху. По-друге, граф, що містить усі можливі шляхи між джерелом даних і їхнім приймачем, має дуже віддалений ступінь подібності з найкоротшим шляхом на ньому. По-третє, граф може бути побудований на основі принципу адаптації, реалізація якого дозволить змінити ступінь розходження системоаналога від відношення толерантності до ідентичності з найкоротшим шляхом.

Математична модель графа відображає топологію конкретної комп'ютерної мережі і може бути використана тільки для рішення задачі маршрутизації на графі заданої структури. З метою розширення моделюючих можливостей побудуємо модель графа у вигляді системи аналогів – фрагментів графа. Як фрагмент графа може бути обрана вершина графа з декількома вхідними в неї гілками (рис.1). З'єднання фрагментів графа відповідно до топології структури комп'ютерної мережі дозволяє побудувати системоаналог графа, що моделює мережу довільної структури.

Таким чином, перший етап системоаналогового методу полягає в моделюванні комп'ютерної мережі у вигляді системи фрагментів графа. Один фрагмент графа здатний відобразити всілякі шляхи, що проходять через його галузі і вершину. На системі фрагментів графа можна задати початкову і кінцеву вершини і поставити задачу пошуку найкоротшого шляху між ними. Серед усіх шляхів між початковою і кінцевою вершинами графа, що проходять через гілки кожного фрагмента графа, може бути елемент найкоротшого шляху. Необхідною умовою належності гілки фрагмента графа найкоротшому шляхові є мінімізація довжини всіх шляхів, що входять у вершину фрагмента графа. Тому системоаналогове керування моделлю фрагмента графа повинно виділяти з усіх шляхів, що приходять у вершину фрагмента графа, шлях мінімальної довжини. Кожна гілка фрагмента графа має визначену довжину, що задається, наприклад, часом затримки передачі даних по каналу, який моделюється даною гілкою.

Тому кожен шлях, що входить у даний фрагмент графа, повинний збільшуватися кожною гілкою фрагмента на їхню довжину. Модель вершини фрагмента графа повинна вибрати з усіх шляхів, що входять до неї, найкоротший і видати його відповідно до топології графа на інші моделі фрагментів графа. Модель фрагмента графа, що реалізує системоаналогове керування з метою виділення найкоротшого шляху, зображена на рис. 2.

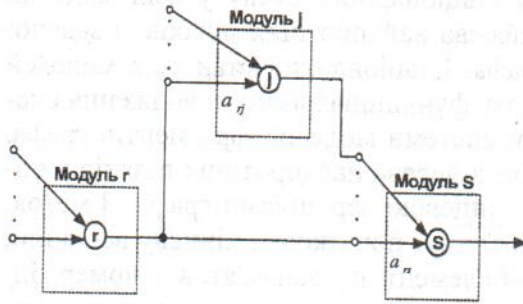


Рис.1. Система фрагментів графа

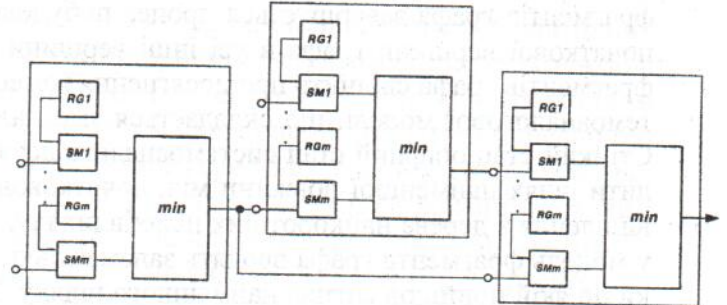


Рис.2. Модель фрагмента графа для реалізації системо-аналогового керування

Кожна гілка фрагмента графа моделюється регістром RG і суматором SM . У регістрі RG зберігається вага або довжина гілки. Шлях деякої довжини, що приходить на вхід моделі гілки, збільшується суматором на величину довжини гілки, що зберігається в регістрі. Модель вершини фрагмента графа реалізується у вигляді пристрою виділення мінімальної величини з безлічі величин, що надходять по гілках фрагмента графа. З усіх шляхів, що приходять у модель вершини фрагмента графа, на вихід моделі фрагмента графа проходить тільки один поточний шлях мінімальної довжини, що далі поширюється відповідно до топології з'єднань фрагментів моделі графа. Таким чином, на другому етапі системоаналогового методу, моделі фрагментів графа реалізуються у вигляді локального аналога найкоротшого шляху, зображеного на рис. 2.

Третій етап системоаналогового методу складається з реалізації процесу системоаналогового керування на системі фрагментів графа, яка моделює процес передачі даних у комп'ютерній мережі.

Розглянемо загальні положення процесу системоаналогового керування, конкретизація яких дозволить реалізувати системоаналоговий метод пошуку найкоротшого шляху між початковою і кінцевою вершинами графа, який моделюється. Системоаналогове моделювання використовує системну аналогію для переносу інформації про моделі у виді складної системи на об'єкт моделювання. Системна аналогія, що реалізує відношення толерантності, дозволяє одержати інформацію про об'єкт моделювання (найкоротший шлях) з дослідженням поведінки всіляких шляхів у складній системі аналогів, виконаних у вигляді фрагментів графа і з'єднаних між собою відповідно до конфігурації комп'ютерної мережі. Процес системоаналогового керування полягає у цілеспрямованому управлінні адаптацією системоаналогів, забезпечуючи виділення з розширеної безлічі складних функцій системоаналогів більш вузького класу функцій об'єкта, який моделюється. Керування системоаналогом реалізується у кожній моделі фрагмента графа, зображеної на рис. 2. Селекція з усіх можливих шляхів шляху мінімальної довжини виконується моделлю вершини фрагмента графа, яка забезпечує виділення з розширеного класу усіх припустимих шляхів найкоротшого шляху, що проходить через дану вершину.

Розглянемо процес системоаналогового керування у складній системі, що складається з фрагментів графа, з'єднаних відповідно до топології комп'ютерної мережі. Генеруємо з початкової вершини сигнал, що несе інформацію про шлях нульової довжини. Цей сигнал, назвемо його початковим, почне поширюватися по системі фрагментів графа, з'єднаної відповідно до топології графа. Надходячи на вхід моделі гілки фрагмента графа, початковий сигнал у суматорі SM збільшить характеристику своєї довжини на величину довжини гілки, що зберігається в регістрі RG . Якщо початковий сигнал надхо-

дять на інші гілки фрагментів графа, то на вході моделі вершини графа надійдуть по паралельних каналах кілька сигналів з різними характеристиками довжини шляхів, які моделюються. Модель вершини фрагмента графа виділить із усіх вхідних сигналів один сигнал, що має характеристику шляху найменшої довжини. Процес поширення сигналів по системі моделей фрагментів графа завершиться після досягнення стаціонарного стану у всіх моделях фрагментів графа. Після досягнення стаціонарного стану у всіх моделях фрагментів графа завершується процес побудови дерева найкоротших шляхів із заданої початкової вершини графа в усі інші вершини графа. Стаціонарний стан усіх моделей фрагментів графа свідчить про досягнення гомеостазу функціонального поведіння системаноаналогової моделі, що складається зі складної системи моделей фрагментів графа. Стійкий стаціонарний стан системаноаналога дозволяє з дерева найкоротших шляхів виділити шлях найменшої довжини між початковою і кінцевою вершинами графа. З метою виділення з дерева найкоротших шляхів шляху, що з'єднує початкову і кінцеву вершини, у модель фрагмента графа вводять запам'ятовуючий елемент, що запам'ятовує номер гілки по якій прийшов сигнал найменшого шляху. Запам'ятовуючі елементи дозволяють виділити з дерева усіх найкоротших шляхів найкоротший шлях, який необхідно знайти, між початковою і кінцевою вершинами графа, який моделюється.

Таким чином, після завершення процесу системаноаналогового керування на системі фрагментів графа, яка моделює процес передачі даних у комп'ютерній мережі, визначається найкоротший маршрут між вузлом-джерелом і вузлом-приймачем інформації. У загальному випадку найкоротших маршрутів між вузлом-джерелом і вузлом-приймачем інформації може бути декілька. Якщо кількість найкоротших маршрутів досягає або перевищує необхідну кількість маршрутів, то задача багатошляхової маршрутизації вирішена.

У випадку, коли в результаті першого циклу системаноаналогового керування отримана кількість маршрутів менше необхідного, у моделях фрагментів графа блокуються гілки, що належать найкоротшим шляхам, і процес системаноаналогового керування повторюється на системі моделей фрагментів графа.

Системаноаналоговий метод багатошляхової маршрутизації має таку ж оцінку часової складності $O(N)$, де N – кількість гілок графа уздовж найкоротшого шляху, як і метод тимчасової аналогії, на підставі якого будуються паралельні обчислювальні структури. Однак, сигнал, що поширюється в системаноаналоговій моделі, використовує для представлення довжини шляху n – розрядний двійковий код. Навіть у випадку послідовного способу обробки інформації в моделях гілок фрагментів графа, час затримки в гілці графа не перевищує n тактів. У випадку тимчасової аналогії обробка довжини гілки, представлені n -розрядним двійковим кодом, вимагає $2^n \cdot n$ тактів. Отже, у порівнянні з методом тимчасової аналогії, системаноаналоговий метод забезпечує підвищення швидкодії рішення задачі багатошляхової маршрутизації в S раз, де $S=2^n$. Наприклад, якщо $n=16$ розрядів ефект підвищення швидкодії перевищує величину $6 \cdot 10^4$.

Висновки. Розглянутий у даній роботі системаноаналоговий метод багатошляхової маршрутизації на графах істотно скорочує час пошуку маршрутів передачі даних у комп'ютерних мережах. У порівнянні з алгоритмами рішення задачі багатошляхової маршрутизації на обчислювальних машинах, що мають поліноміальну оцінку тимчасової складності $O(N^3)$ [1], запропонований системаноаналоговий метод має лінійну оцінку тимчасової складності $O(N)$, де N – кількість гілок уздовж найкоротшого шляху.

Список літератури

1. Вишневикий В.М. Теоретические основы проектирования компьютерных сетей. – М.: Техносфера, 2003. – 512 с.
2. Спортак М., Паппас Ф. Компьютерные сети и сетевые технологии. – М.: Диасофт, 2002. – 711 с.
3. Васильев В.В., Баранов В.Л. Моделирование задач оптимизации и дифференциальных игр. – К.: Наукова думка, 1989. – 296 с.
4. Баранов В.Л., Баранов Г.Л. Системаноаналоговое и квазианалоговое моделирование // Электронное моделирование. – 1994. – № 4. – С. 9-16.