

АЛГОРИТМИ ДЛЯ ПРОЕКТУВАННЯ IP МЕРЕЖ З КРІЗНИМИ QoS ОБМЕЖЕННЯМИ

Національний авіаційний університет

Зосереджується увага на декількох проблемах, що виникають при проектуванні мереж з комутацією пакетів, до яких відносяться проблема ємкості, проблема ємкості і руху, проблема топології, ємкості і руху.

Вступ

Очікується, що нове покоління мереж з комутацією пакетів забезпечуватиме широкий ряд комунікаційно-інтенсивних в реальному часі мультимедійних додатків. Ці додатки матимуть свої власні *Quality of Service (QoS)* вимоги до продуктивності, надійності, обмеження на *end-to-end (e2e)* затримці. Технічно, доставка мультимедійної інформації своєчасно, синхронізовано через децентралізоване спільне середовище мережі—це важлива проблема.

Відповідно, ключовою проблемою в цій області є знаходження розумних методологій проектування мереж з комутацією пакетів, які дозволять зробити вибір найадекватнішого набору ресурсів для доставки послуг з бажаним рівнем *e2e QoS* і, в той же час, розглядатимуть динаміку руху сучасних мереж з комутацією пакетів.

Зосереджуємося на декількох видах проблем, що виникають при проектуванні мереж з комутацією пакетів. Розглянемо динаміку руху мереж пакетної комутації, а також вплив протоколів в різних шарах *Internet* архітектури. Звичайно, в будь-якій реалістичній проблемі мережі оптимальне проектування—надзвичайно нелегке завдання. В [1,2] запропоновано методологію проектування *IP* мережі. На Рис.1 показано структурну схему методології проектування. Представлені три головні блоки: обмеження, вхідні дані, процедура оптимізації.

Ці блоки відповідають класичним блокам в проблемі оптимізації. Під обмеженнями розуміють технічні характеристики *QoS* параметрів рівня користувача. Процедура оптимізації приймає за вхідні дані описання фізичної топології, технічні вимоги алгоритму вибору маршруту, матрицю руху і витрати на мережу. Ціль оптимізації— знайти рішення з мінімальними затратами, що буде задовольняти *QoS* обмеження рівня користувача. Ішим важливим моментом в запропонованій методології є прийняття технології моделювання руху *TCP/IP* протоколу. За допомогою цієї технології можливо проведення точних оцінок продуктивності мереж з комутацією пакетів. Головна ідея відповідає відтворенню впливу кореляції руху на елементи черги за допомогою моделей Маркова з груповими надходженнями.

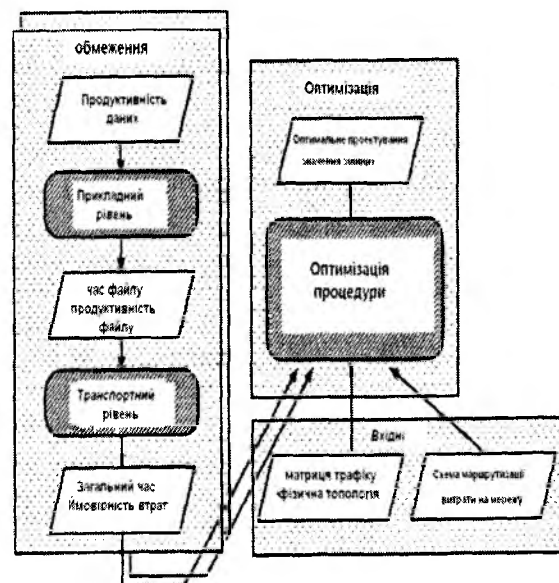


Рис.1. Структурна схема методології проектування

Постановка задачі

Інфраструктуру мережі представляємо графом $G = (V, E)$, у якому V – набір вузлів з n -кількістю елементів і E – набір ребер з m -кількістю елементів. Вузел представляє маршрутизатор мережі, ребро – фізичне з'єднання, що з'єднує один маршрутизатор з іншим. Вихідні інтерфейси кожного маршрутизатора моделюються чергою з обмеженим буфером. Кожен зв'язок мережі характеризується набором властивостей: місткістю і буферним розміром. Для даного зв'язку (i, j) , потік f_{ij} визначається як кількість інформації, переданої через цей зв'язок. Його ємкість C_{ij} вимірюється як максимальна кількість інформації, що може передаватися. Потік і місткість виражаються в бітах за секунду (біт/сек). Кожен буфер може вмещати максимум B_{ij} пакетів.

Розглядаючи чергу $M_{[x]}/M/1/\infty$, середня затримка пакету виражається як:

$$E[T] = \frac{K}{\lambda} \frac{\rho}{1-\rho} = \frac{K}{\mu} \frac{1}{C-f},$$

де:

$$- K = \frac{m'_{[x]} + m''_{[x]}}{2m'_{[x]}};$$

- $\rho = f/C$ – коефіцієнт утилізації зв'язку;

- $1/\mu$ – довжина пакету (біт/пакет);

- $\lambda = \mu f$ – інтенсивність вхідного потоку (пакет/сек);

- $m'_{[x]}$ і $m''_{[x]}$ – перший і другий моменти розповсюдження розміру групи $[X]$.

Середні вимоги до руху між вузлами представляються матрицею руху $A = \{\gamma_{sd}\}$, де рух γ_{sd} між парою вузла представляє середнє число бітів за секунду, посланого від джерела s до призначення d . Потік кожного зв'язку, який komponує топологічну конфігурацію,

залежить від матриці руху. Розглянемо випадок, коли для кожної пари джерело/призначення (s, d) , рух передається тільки через один направлений шлях в мережі. Напрямок руху визначають вектор $\bar{f} = (f_1, f_2, \dots, f_m)$, де \bar{f} – багатопродуктивний потік для матриці руху. Багатопродуктивний потік формується від суми однопродуктивних потоків f^{kl} , де f^{kl} – середній потік, згенерований пакетами початкового вузла k і вузлом призначення l .

Сформулюємо загальну проблему проектування мереж. Вважаємо, що дано розташування маршрутизаторів мережі, вимоги руху потоку, зв'язок і буферні витрати. Завдання проекту – вибрати топологію, місткість зв'язків в цій топології та спроектувати маршрутизовану процедуру для руху потоку від джерел до місць призначення таким чином, щоб провести оптимізацію, відповідаючи всім системним обмеженням.

Розглянута проблема є важливою. Число топологій для розгляду дуже велике тому, що потік є багатопродуктивним. При рішенні окремих підзадач, які виникають при цьому, можна отримати допустимі рішення загальної проблеми в цілому.

Проблема ємкості

Різні формулювання проблеми ємкості призводять до вибору функцій вартості, маршрутизованої моделі і ємкісних обмежень. У випадку віртуальної приватної мережі функція вартості – лінійні витрати; маршрутизована модель – нероздвоєна маршрутизація; ємкісні обмеження – безперервні ємкості.

Мета – визначити ємкості зв'язку для того, щоб мінімізувати витрати мережі при максимально допустимій e_2e затримці пакету. Формулюємо проблему оптимізації [3]:

$$Z = \sum_{ij} g(d_{ij}, C_{ij}), \quad Z = Z_{\min}, \quad (1)$$

де:

$$K_1 \sum_{ij} \frac{\delta_{ij}^{sd}}{C_{ij} - f_{ij}} \leq T_{sd} - \tau_{sd} - \tau_{ds} \quad (2)$$

$$K_1 = K / \mu \quad \forall (s, d),$$

$$f_{ij} = \sum_{s,d} \delta_{ij}^{sd} \gamma_{sd} \quad \forall(i, j), \quad (3)$$

$$C_{ij} \geq f_{ij} \geq 0 \quad \forall(i, j). \quad (4)$$

Функція (1) представляє витрати загального зв'язку і є лінійною функцією як ємкості зв'язку, так і фізичної довжини d_{ij} , тобто:

$$g(d_{ij}, C_{ij}) = d_{ij} C_{ij}.$$

Нерівність (2) – обмеження *e2e* затримки пакету для кожної пари джерело/призначення. Це говорить про те, що загальна величина затримки не повинна перевищувати максимальний час передачі і підтвердження прийому (T) мінус затримка розповсюдження по маршруту. Функція індикатора δ_{ij}^{sd} приймає значення одиниці, якщо зв'язок (i, j) є на шляху (s, d) , в іншому випадку дорівнює нулю. Вираз (3) визначає середній потік даних на зв'язку. Вираз (4) – обмеження не негативності.

Глобальний мінімум раніше розпочатої проблеми ємкості можна знайти, використовуючи стандартні методи опуклості, наприклад, логарифмічний метод бар'єрів [4]. Проте ці алгоритми є досить трудомісткими. Можна знайти швидко субоптимальне рішення цієї проблеми, використовуючи наступний метод.

Головна ідея цього методу – розділення проблеми на $n \times (n-1)$ окремих підпроблем для шляху (s, d) .

Нехай:

– I_{sd} – набір зв'язків, що формують шлях (s, d) ;

– C_{ij}^{sd} – ємкість зв'язку (i, j) на шляху (s, d) .

Використовуємо метод Лагранжа:

$$L(\psi) = \sum_{(i,j) \in I_{sd}} d_{ij} C_{ij}^{sd} + \psi \left(\sum_{(i,j) \in I_{sd}} \frac{1}{C_{ij}^{sd} - f_{ij}} - b_{sd} \right),$$

$$L(\psi) = L_{\min},$$

де:

$$b_{sd} = \frac{1}{K_1} (T_{sd} - \tau_{sd} - \tau_{ds}) \quad \forall(s, d),$$

$$C_{ij}^{sd} = f_{ij} + \frac{\sum_{(k,l) \in I_{sd}} \sqrt{d_{kl}}}{b_{sd} \cdot d_{ij}},$$

якщо $C_{ij}^{sd} \geq f_{ij} \geq 0 \quad \forall(i, j), \quad \forall(s, d)$.

Якщо значення C_{ij}^{sd} відоме, одержимо допустиме значення для C_{ij} ємкостей:

$$C_{ij} = \max_{s,d} \{C_{ij}^{sd}\}.$$

Проблема ємкості і руху

Проектування мережі з комутацією пакетів зосереджено на оптимізації витрат мережі або на продуктивності шляхом настройки ємкості зв'язку. Ці дві проблеми оптимізації можна вирішити одночасно тому, що вони взаємопов'язані.

Мета – визначити маршрут для руху, що тече по кожній парі джерело/призначення і ємкості зв'язку так, щоб мінімізувати витрати мережі до максимально дозволеної *e2e* затримки пакету. Нехай k_{ij}^{sd} – змінна, яка дорівнюватиме одиниці, коли зв'язок (i, j) на шляху (s, d) , а в іншому випадку дорівнюватиме нулю. Таким чином, проблема ємкості і руху формулюється як наступна проблема оптимізації [5]:

$$Z = \sum_{ij} g(d_{ij}, C_{ij}), \quad Z = Z_{\min}, \quad (5)$$

де:

$$\sum_j k_{ij}^{sd} - \sum_j k_{ji}^{sd} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } i=t \\ -1, & \text{якщо } i=s \\ 0, & \text{в іншому випадку} \end{cases}, \quad (6)$$

$$K_1 \sum_{ij} \frac{k_{ij}^{sd}}{C_{ij} - f_{ij}} \leq T_{sd} - K_2 \sum_{ij} k_{ij}^{sd} d_{ij} \quad \forall(s, d), \quad (7)$$

$K_1 = K / \mu$, K_2 – константи для перетворення відстані в час.

$$f_{ij} = \sum_{s,d} k_{ij}^{sd} \gamma_{sd} \quad \forall(i, j), \quad (8)$$

$$C_{ij} \geq f_{ij} \geq 0 \quad \forall(i, j),$$

$$k_{ij}^{sd} \in \{0,1\} \quad \forall(i, j), \quad \forall(s, d).$$

Функція (5) представляє загальні

витрати зв'язку, які є лінійною функцією ємкості зв'язку і фізичної довжини. Згідно обмеження (6) визначається шлях для руху від джерела s до призначення d . Нерівність (7) – обмеження $e2e$ затримки пакету для кожної пари джерело/призначення. Нерівність (8) визначає середній потік даних на зв'язку.

Проблема топології, ємкості і руху

Дану проблему можна сформулювати таким чином: дано географічне розташування вузлів мережі на території, матриця руху і витрати виробництва. Треба мінімізувати загальні витрати, вибираючи топологію мережі, рух і ємкості зв'язку. Як обмеження надійності необхідно розглядати, що весь рух повинен змінитися, навіть якщо один вузол буде несправним. Надійність і витрати мережі використовуються по чергово. Чим більше зв'язків між вузлами, тим більше шляхів між кожною парою вузла, і тому мережа є більш надійною, але більш дорожчою.

Такий підхід рішення заснований на дослідженні простору (тобто 2-сполучені топології) з використанням мета-евристичних алгоритмів. Мета – спроектувати мережу, яка залишиться підключеною не звертаючи уваги на те, що один вузол буде неробочим. Треба сконструювати n різних топологій, які одержані від топології, де один вузол буде несправним, а потім для кожної топології вирішується проблема топології, ємкості і руху. Ємкості зв'язку повинні бути встановлені до максимального значення ємкості, що було знайдене під час розгляду топологій.

Висновки

Розглянуто QoS і надійне проектування мереж з комутацією пакетів, методи вирішення проблеми ємкості, проблеми ємкості і руху, проблеми топології, ємкості і руху.

Завдяки запропонованим методам стає можливим прийняття оптимальних рішень для проектування мереж за рахунок варіювання і розрахунку необхідних характеристик.

Список літератури

1. E. Wille, M. Garetto, M. Mellia, E. Leonardini, M. Ajmone Marsan, Considering end-to-end QoS in IP network design, networks 2004, P. 115–116.
2. N. Cardwell, S. Savage, T. Anderson, Modeling TCP latency IEEE Infocom, P. 98–100.
3. A. Gersht, R. Weihmayer, Joint optimization of data network design and facility selection, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, P. 167–169.
4. M. Wright, Interior methods for constrained optimization, P. 341–407.
5. J. Padhye, V. Firoiu, D. Towsley, J. Kurose, Modeling TCP Reno performance: a simple model and its empirical validation, IEEE-ACM Transactions on Networking, P. 433–437.
6. D.E. Goldberg, Genetic algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning, P. 34–43.
7. Жуков І.А. „Аль-Сурікі Ібрагім, Аль Шибані, Оптимизация компьютерной сети с обеспечением QoS на основе численного критерия / Проблеми інформатизації та управління. – К.: НАУ, 2006. – Вип. 1(16). – С. 71-75.
8. Жуков І.А., Алішов Н.І., Салім Аль Шибані, Алгоритм и средства оптимальной коммутации пакетов в компьютерных сетях / Проблеми інформатизації та управління. – К.: НАУ, 2006. – Вип. 3 (18). – С. 12-19.