Показана оптимальность по Парето многокритериальной маршрутизации в компьютерных сетях на основе нелинейной схемы компромиссов.

Ключевые слова: многокритериальная маршрутизация, оптимальность по Парето.

Показана оптимальність по Парето багатокритеріальної маршрутизації в комп'ютерних мережах на основі нелінійної схеми компромісів.

Ключові слова: багатокритеріальна маршрутизація, оптимальність по Парето.

The optimumness is shown on Pareto of the multicriterion routing in computer networks on the basis of nonlinear chart of compromises.

Key words: multicriterion routing, optimumness on Pareto.

Поступила 30.12.2009

УДК 621.391.28

к.т.н., доц. Раєвський В.М. (НТУУ «КПІ»)

МЕТОДИКА ВИБОРУ МЕТОДУ МНОЖИННОГО ДОСТУПУ З КОНТРОЛЕМ ВИПРОМІНЮВАННЯ ПРИ РОЗВЯЗАННІ КОНФЛІКТІВ НА ФІЗИЧНОМУ РІВНІ

Аналізу властивостей протоколів випадкового множинного доступу з виявленням конфліктів в каналі присвячено досить багато робіт [1, 2, 3, 4]. В [5] для виконання аналізу пропускної спроможності ненаполегливого протоколу множинного доступу з контролем випромінення і виявленням конфліктів (МДКВ–ВК) запропонований так званий асимптотичний підхід в теорії масового обслуговування (ТМО) [6]. Пізніше з'явився ряд робіт, присвячених аналізу цього протоколу в додатковому припущенні про можливість часткового або повного розв'язання конфліктів на фізичному рівні (РКФР). Послідовно висувались припущення про можливість успішного прийому однієї з двох заявок, успішного прийому однієї або двох заявок, заборони обслуговування одиночних заявок і обслуговування виключно пар заявок [7]; про можливість виникнення втрат у потоці вхідних заявок і в джерелі повторних викликів (ДПВ) [8]. Були отримані відповідні системи диференційних рівнянь досліджуваних модифікацій ненаполегливого МДКВ–ВК і на їх основі - залежності пропускної спроможності як функції інтенсивності виявлення конфліктів. Обмеження в [7, 8] кратності успішно розв'язуваних конфліктів на рівні 2 обумовлена тим, що складність алгоритмів лінійного [9, 10] та оптимального розділяння стрімко зростає в залежності від кількості взаємно заважаючих сигналів.

Метою роботи є всебічний огляд завершення асимптотичного аналізу пропускної спроможності сімейства протоколів МДКВ–ВК в припущенні про РКФР кратності 2, а також оцінка їх пропускної спроможності, в тому числі при необмеженому зростанні інтенсивності виявлення конфліктів та пропозиція стосовно формування таких методів.

Спочатку наведемо результати, отримані раніше [5, 7, 8].

1. Ненаполегливий МДКВ–ВК у класичній постановці [5]. Успішно обслуговуються виключно одиночні заявки. Рівняння стаціонарності має вигляд:

$$\xi z^2 + (2\xi^2 + 2\xi k + \xi k^2 - k^2)z + \xi^2(\xi + 2k + k^2) = 0 \qquad (1)$$

Тут і далі $\xi \cong \frac{\lambda}{\mu_2}$; $z \cong \frac{x}{\mu_2}$; $k \cong \frac{\mu_1}{\mu_2}$;

λ – інтенсивність вхідного потоку; μ_1 – інтенсивність виявлення конфліктів (1-й етап обслуговування); μ_2 – інтенсивність обслуговування на 2-му етапі; x– інтенсивність потоку із ДПВ.

Всі процеси підпорядковані експоненційному закону, а всі змінні (параметри) – невід'ємні.

В асимптотичному випадку, коли $k \to \infty$ із (1) отримуємо:

$$z(1-\xi) = \xi^2, \tag{2}$$

звідки $\xi \to 1$, що узгоджується зі здоровим глуздом. Дійсно, миттєве виявлення факту приходу заявки на обслуговування виключає які-небудь конфлікти, а система масового обслуговування (СМО) увесь час знаходиться на 2 етапі обслуговування, обслуговуючи одиночні заявки.

2. Ненаполегливий МДКВ-ВК з успішним обслуговуванням одиночних заявок і однієї із двох конфліктуючих з тривалостями, що не співпадають [7]. Рівняння стаціонарності:

$$\begin{aligned} &\xi z^3 + (6\xi^2 + 6\xi k + 5\xi k^2 - 4k^2)z^2 + \\ &+ (6\xi^3 + 12\xi^2 k + 10\xi^2 k^2 - 2\xi k^2 + 2\xi k^3 - 2k^3)z + \\ &+ 2\xi^4 + 6\xi^3 k + 5\xi^3 k^2 + 2\xi^2 k^2 + 2\xi^2 k^3 = 0 \end{aligned} \tag{3}$$

При $k \to \infty$ із (3) отримуємо:

$$z(1-\xi) = \xi^2,$$

звідки аналогічно (2) $\xi_{\max} \to 1$. Результат очевидний, оскільки відповідна СМО увесь час також знаходиться на 2 етапі, успішно обслуговуючи одну або одну із двох конфліктуючих заявок.

3. Ненаполегливий МДКВ–ВК з успішним обслуговуванням одиночних і пар конфліктуючих заявок, що не співпадають за тривалістю. Рівняння стаціонарності:

$$\begin{aligned} &\xi z^3 + (9\xi k + 3\xi^2 + 12\xi k^2 - 15k^2)z^2 + \\ &+ (18\xi^2 k + 24\xi^2 k^2 + 3\xi^3 + 6\xi k^3 - 6k^3 - 15\xi k^2)z + \\ &+ 15\xi^3 k^2 + 6\xi^2 k^3 + \xi^4 + 9\xi^3 k = 0. \end{aligned} \tag{4}$$

Тут також при $k \to \infty$ із (4) отримаємо результат, що співпадає з (2):

$$z(1-\xi) = \xi^2,$$

звідки $\xi \to 1$. Цей результат потребує додаткового пояснення. При необмеженому збільшенні інтенсивності μ_1 виявлення конфліктів знову поступаюча заявка миттєво ставиться на обслуговування 2 етапу. А конфлікти будь-якої кратності просто "не встигають" виникати, оскільки вхідний потік– найпростіший.

Повертаючись до попереднього прикладу, відзначимо, що, вочевидь, і там при $k \to \infty$ конфлікти відсутні, і має місце обслуговування одиночних заявок.

4. Більш загальний випадок, коли при успішному обслуговуванні на 2 етапі однієї або 2-х заявок можуть мати місце втрати – як у вхідному потоці ($0 < \rho \le 1$), так і в процесі постановки в ДПВ ($0 < h \le 1$). Тут $h = \rho = 1$ означає, що втрат немає. Рівняння стаціонарності узагальнює рівняння (4):

$$\begin{aligned}&[9k(1-h)-\rho\xi]z^3+[3k(6\xi+5k-9h\xi)-3\rho\xi(\xi+4k^2)]z^2+\\&+[3k(3\xi^2+5k\xi+2k^2-9h\xi^2)-\rho\xi(24k^2\xi+6k^3+3\xi^2)]z-\\&-3k(4k\xi^3\rho+2k^2\xi^2\rho+3h\xi^2)-\rho\xi^4=0.\end{aligned} \quad (5)$$

Аналогічно попередньому випадку при $k\to\infty$ з (5) отримуємо:

$$z(1-\rho\xi)=\rho\xi^2,$$

звідки $\xi\to\frac{1}{\rho}$. При $\rho=1$ отримуємо попередній результат $\xi_{\max}\to 1$. Примітно, що в останньому співвідношенні відсутній параметр h, який характеризує втрати заявок при постановці їх в ДПВ. Пояснити це можна так само: при $k\to\infty$ конфлікти не виникають і, відповідно, процедура постановки конфліктуючих не успішно обслужених заявок в ДПВ – також зникає.

5. Ненаполегливий МДКВ–ВК з обслуговуванням одиночних і пар конфліктуючих заявок співпадаючих тривалостей.

Тут аналогічно [6, 7] використана методика [5], проміжні розмірковування наводити не будемо.

Рівняння стаціонарності:

$$\begin{aligned}&\xi z^3+(9\xi k-15k^2+3\xi^2+9\xi k^2)z^2+\\&+(18\xi^2k-15\xi k^2+18\xi^2k^2+3\xi^3+6\xi k^3-6k^3)z+\\&+\xi^4+9\xi^3k^2+6\xi^2k^3+9\xi^3k=0.\end{aligned} \quad (6)$$

При $k\to\infty$ із (6) отримуємо результат (2), звідки $\xi\to 1$ також.

6. Ненаполегливий МДКВ–ВК з обслуговуванням тільки пар заявок, що не співпадають за тривалістю і забороною скидання одиночних виявлених заявок в ДПВ на 1-му етапі. Рівняння стаціонарності:

$$\xi z^2+(2\xi^2+9\xi k+9\xi k^2-12k^2)z+\xi^3+9\xi^2k^2+9\xi^2k=0. \quad (7)$$

При $k\to\infty$ з (7) маємо:

$$z[1,\ 3(3)-\xi]=\xi^2,$$

звідки $\xi\to 1,\ 3(3)$.

7. Ненаполегливий МДКВ–ВК з обслуговуванням тільки пар заявок, що співпадають за тривалістю і забороною скидання одиночних виявлених заявок в ДПВ на 1-му етапі. Рівняння стаціонарності:

$$\xi z^2+(2\xi^2+9\xi k+6\xi k^2-12k^2)z+\xi^3+6\xi^2k^2+9\xi^2k=0. \quad (8)$$

При $k\to\infty$:

$$z(2-\xi)=\xi^2,$$

звідки $\xi\to 2$.

8. Ненаполегливий МДКВ–ВК з обслуговуванням тільки пар заявок, що не співпадають за тривалістю і скиданням одиночних виявлених заявок в ДПВ. Рівняння стаціонарності:

$$\begin{aligned}&\xi z^3+(9\xi k-12k^2+3\xi^2+18\xi k^2)z^2+\\&+(18\xi^2 k-9\xi k^2+3\xi^3+36\xi^2 k^2)z+\\&+\xi^4+9\xi^3 k+3\xi^2 k^2+6\xi k^3+18\xi^3 k^2=0.\end{aligned}\qquad(9)$$

При $k\to\infty$ з (9) маємо:

$$6\xi k^3=0\text{, звідки }\ \xi\equiv 0\,.$$

Тобто, пропускна спроможність даної СМО при умові $k\to\infty$ наближається до нуля.

9. Ненаполегливий МДКВ–ВК з обслуговуванням тільки пар заявок, що співпадають за тривалістю і скиданням одиночних виявлених заявок в ДПВ. Рівняння стаціонарності:

$$\begin{aligned}&\xi z^3+(9\xi k-12k^2+3\xi^2+6\xi k^2)z^2+\\&+(18\xi^2 k-9\xi k^2+3\xi^3+12\xi^2 k^2)z+\\&+\xi^4+9\xi^3 k+3\xi^2 k^2+6\xi k^3+6\xi^3 k^2=0.\end{aligned}\qquad(10)$$

Аналогічно попередньому прикладу при $k\to\infty$ з (10) маємо:

$$6\xi k^3=0\text{, звідки }\ \xi\equiv 0\,.$$

Результати аналізу зведені в узагальнюючу таблицю (таблиця 1).

Таблиця № 1

Характеристики сімейства протоколів ненаполегливий МДКВ-ВК при РКФР кратністю 2

Номер модифікації протоколу згідно тексту	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Наявність можливості РКФР кратності 2	–	+	+	+	+	+	+	+	+
Число успішно обслужених заявок при РКФР кратності 2	–	1	2	2	2	2	2	2	2
Пропускна спроможність, при $k\to\infty$	1	1	1	1/ρ	1	1,3(3)	2	0	0
Заборона на скидання одиночних заявок в ДПВ на 1 етапі	+	+	+	+	+	+	+	–	–
Заборона на обслуговування одиночних заявок в ДПВ на 2 етапі	–	–	–	–	–	+	+	+	+
Співпадання тривалостей пар заявок, що обслуговуються на 2 етапі		–	–	–	–	–	+	–	+
Наявність втрат у потоці вхідних заявок в ДПВ	–	–	–	+	–	–	–	–	–
Стійкість	+	+	+	+	+	+	+	–	–

Також слід зазначити, що суттєвого підвищення пропускної здатності методів ВМД неможливо досягти орієнтуючись тільки на удосконаленні процедур на підрівні доступу до середовища – одного з рівнів семирівневої моделі взаємодії відкритих систем. Повинні враховуватись і інші питання, наприклад, кодування інформації яка передається з точки зору підвищення завадостійкості, можливостей технічної реалізації запропонованих методів, ідентифікації обстановки в каналі та ін. [11 – 14].

Умовно формування необхідного методу ВМД можна уявити складанням так званого "кубика Рубика" де однією з його сторін є формуємий метод, а іншими варіативні складові методу (рис. 1).

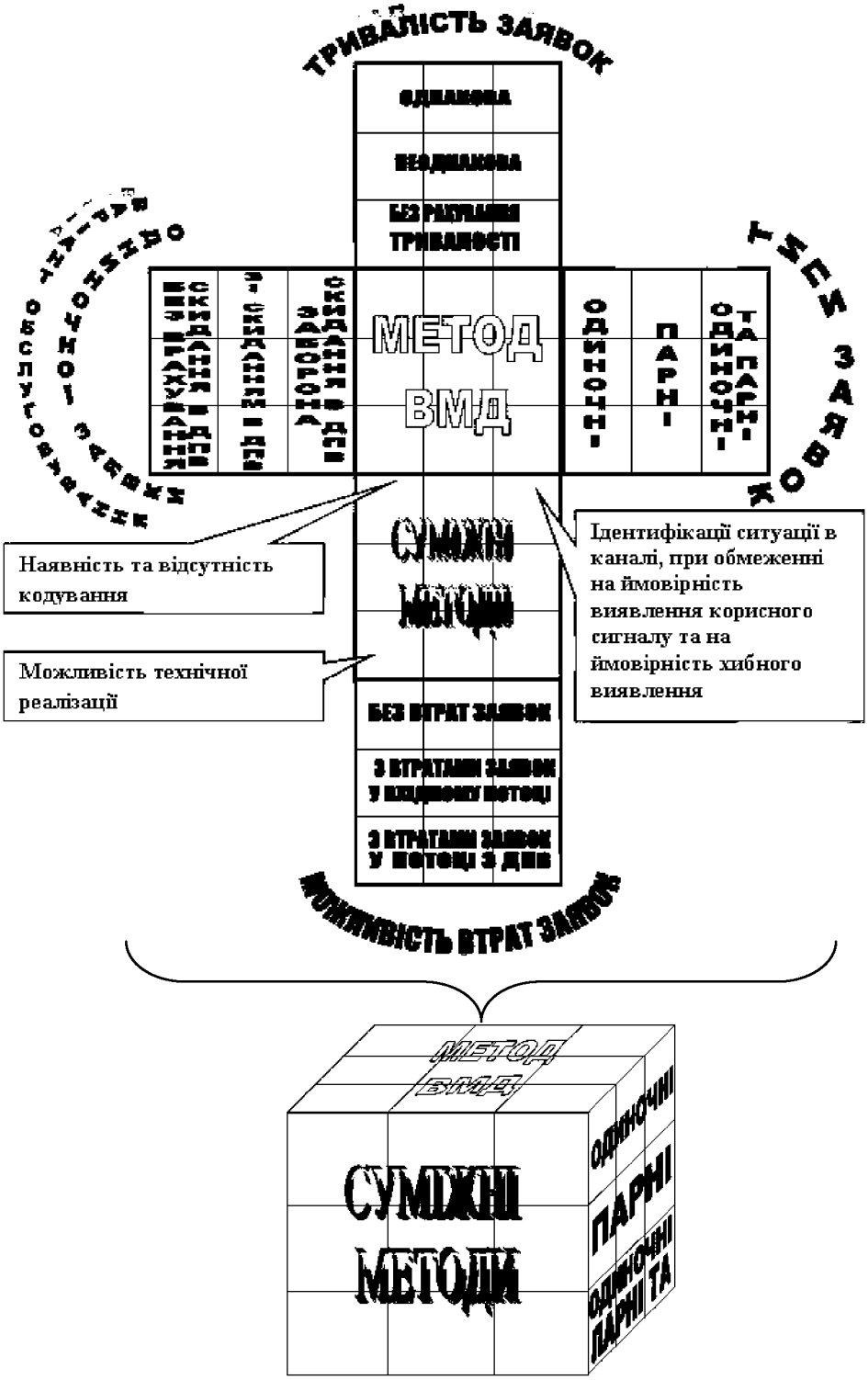

Рис. 1. Умовне представлення формування методу ВМД

Висновки

1. Формування методу множинного доступу є багатопозиційною процедурою за кратністю конфліктів, тривалістю заявок, втратами заявок у ДПВ та ін.

2. Можливість розв'язання парних конфліктів на фізичному рівні підвищує пропускну спроможність протоколів МДКВ-ВК в 1,2 – 2 рази в залежності від їх модифікації.

3. Найбільше зростання пропускної спроможності досягається у випадках, коли обслуговування поодиноких заявок заборонене, відношення $k \cong \frac{\mu_1}{\mu_2}$ інтенсивностей виявлення конфліктів і обслуговування сягає 10 і більше, а тривалості пар заявок, що обслуговуються, співпадають.

4. Скидання поодиноких пар заявок в протоколах МДКВ-ВК на першому етапі обслуговування, при необмеженому зростанні інтенсивностей виявлення конфліктів призводить до зниження пропускної спроможності до нуля.

Список літератури

1. Бертсекас Д., Галлагер Р. Сети передачи данных. - М.: Мир, 1989. - 544 с.

2. Клейнрок Л. Вычислительные системы с очередями. - М.: Мир, 1979. - 600 с.

3. Бунин С.Г., Войтер А.П. Вычислительные сети с пакетной радиосвязью. – К.: Техника, 1989. – 223 с.

4. Ильченко М.Е., Бунин С.Г., Войтер А.П. Сотовые радиосети с коммутацией пакетов. – К.: Наукова думка, 1989. – 212 с.

5. Назаров А.А. Асимптотический анализ марковизируемых систем. - Томск: ТГУ, 1991. - 158 с.

6. Боровков А.А. Асимптотические методы в теории массового обслуживания. - М.: Наука, 1980. - 381 с.

7. Ерохин В.Ф., Хохановский А.В. Множественный доступ с обнаружением конфликтов при повторном использовании канала связи // Зв'язок. - 1996. - №1. - С. 46-53.

8. Єрохін В.Ф., Раєвський В.М. Пропускна спроможність методу МДКН-ВК при розв'язанні парних конфліктів та втратах заявок // Труди МОУ. - К.: НАОУ. - 2002. - №41. - С. 177-185.

9. Бураченко Д.Л. Оптимальное разделение цифровых сигналов многих пользователей в линях и сетях связи в условиях помех. – Л.: ВАС, 1990. – 302 с.

10. Бобровский В.И. Многопользовательское детектирование / Под ред. Д.Л.Бураченко. – Ульяновск, "Вектор-С", 2007. – 348 с.

11. Єрохін В.Ф., Раєвський В.М. Подолання апріорної невизначеності параметрів при демодуляції взаємозаважаючих частотноманіпульованих цифрових сигналів // Радиотехника. – Харьков.: ХНУРЕ. – 2006. - № 144. – С. 208-216.

12. Ерохин В.Ф., Раевский В.Н. Эволюция показателей эффективности протоколов случайного доступа ALOHA и МДКН при разрешении конфликтов на физическом уровне // Зв'язок. - 2005. - №5. - С. 57-60.

13. Єрохін В.Ф., Раєвський В.М. Припущення щодо прогнозування характеристик перспективних радіозасобів силових структур // Зв'язок. - 2005. - №3. - С. 61-64.

14. Єрохін В.Ф., Раєвський В.М. Методика вибору довжини цифрової послідовності, ідентифікації сигнально-завадової обстановки в радіоканалі // Захист інформації. - 2005. - № 25. - С. 24-29.

Здійснено огляд методів випадкового множинного доступу з контролем випромінювання при розв'язанні конфліктів на фізичному рівні та запропоновано методику їх формування.

Ключові слова: методи випадкового множинного доступу, розв'язання конфліктів.

Осуществлен обзор методов случайного множественного доступа с контролем излучения при решении конфликтов на физическом уровне и предложено методику их формирования.

Ключевые слова: методы случайного множественного доступа, решение конфликтов.

In the article implementing review of the methods of the random access with carrier control in the case of conflict solution at physical level, offering the procedure of their forming.

Key words: methods of the random access, conflict solution.

Надійшла 11.01.2010