

УДК 621.396

Костянтин Олександрович Польщиків
Микола Олександрович Масесов
Юрій Миколайович Здоренко

МЕТОД ПРИЙНЯТТЯ РІШЕННЯ ПРО РОЗПОДІЛ ПРОПУСКНОЇ СПРОМОЖНОСТІ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНОГО КАНАЛУ НА ОСНОВІ ЛІНІЙНОГО ПРОГРАМУВАННЯ

Обґрунтування актуальності дослідження. Аналіз останніх публікацій

Особливістю функціонування сучасних телекомунікаційних мереж є одночасна передача по їх каналам різних класів трафіку (потоків даних, трафіку реального часу). До трафіку реального часу пред'являються жорсткі вимоги щодо гарантування параметрів якості обслуговування (Quality of Service, QoS). Для узгодження передачі по одній мережі різних за вимогами класів трафіку використовують ряд механізмів QoS.

Однією з найбільш поширених на практиці моделей, в рамках якої реалізовано комплекс механізмів QoS, є модель диференційного обслуговування (Differentiated Services, Diffserv) [1]. За моделлю Diffserv мережний трафік в граничних маршрутизаторах поділяється на потоки з різними класами обслуговування. Належність пакету до певного класу визначається кодовою послідовністю у полі пріоритету в його заголовку. Промарковані пакети направляються у черги з відповідним рівнем пріоритету. Кожному класу трафіку надається відповідна якість обслуговування за допомогою використання методів управління чергами у межах усього маршруту передавання пакетів. Умови щодо якості обслуговування між провайдером телекомунікаційних послуг та кінцевим користувачем можуть бути викладені в сумісному договорі. Прикладом такого договору є Service Level Agreement (SLA) [2].

Оскільки трафік даних не має жорстких вимог щодо якості обслуговування, то в більшості випадків він обслуговується мережею за принципом «з максимальними зусиллями» (Best Effort, BE) [3]. Для передавання цього трафіку провайдерами здебільшого виділяється фіксована пропускна спроможність каналу (не менше 25 % від загальної величини пропускної спроможності каналу).

Оплата за надання таких послуг може бути фіксованою або залежати від інтенсивності користування і визначатися об'ємом трафіку користувача [4]. Використання останньої схеми оплати набуло найбільшого поширення. Різні кінцеві користувачі при цьому можуть мати різні тарифи за користування телекомунікаційними послугами, а трафік даних від кожного з них може поділятися провайдером на класи обслуговування. У цьому контексті важливе значення має раціональний розподіл виділеної пропускної спроможності каналу для обслуговування різних (за вартістю) класів трафіку даних, що, з одного боку, має забезпечити отримання провайдерами телекомунікаційних послуг максимального прибутку, а з іншого – зменшення середнього часу доставки даних, в чому зацікавлені кінцеві користувачі.

Для розподілу каналного ресурсу між різними класами трафіку розроблено чимало методів управління пакетними чергами, що ґрунтуються на пріоритетному обслуговуванні (Priority Queues, PQ), циклічному обслуговуванні (Round Robin, RR), зваженому справедливому обслуговуванні (Weighted Fair Queue, WFQ) [5].

Використання методів пріоритетного обслуговування в чистому вигляді не рекомендується, бо воно призводить до монополізації каналу пакетами найвищого пріоритету (найбільшої вартості), а пакети нижчих класів обслуговуються за залишковим принципом. За схемою циклічного обслуговування з кожної черги циклічно протягом фіксованої кількості тактів передаються пакети у вихідний порт. Статичний розподіл пропускної спроможності каналу в такому випадку не дозволяє адаптуватися до змін мережного навантаження і є неефективним. Методи WFQ також не враховують зміни інтенсивності трафіку даних і не дозволяють динамічно перерозподіляти ресурси каналів. При статичному закріпленні пропускної спроможності за кожним із класів можливі втрати пакетів, яких

при динамічному управлінні можна було б уникнути. Згідно з протоколом керування передаванням (Transmission Control Protocol, TCP) кожна втрата пакета є сигналом про мережне перевантаження, на який TCP-джерело реагує зменшенням інтенсивності відправлення даних, що уповільнює доставку повідомлення конкретному користувачу [6]. Тому застосування наявних методів розподілу каналної пропускної спроможності не дозволяє досягти максимальних прибутків провайдерам та не достатньо сприяє скороченню часу одержання повідомлень кінцевими користувачами. У таких умовах актуальним завданням є розробка нового методу, використання якого дозволило би приймати ефективні рішення щодо розподілу пропускної спроможності телекомунікаційного каналу в процесі передавання різних класів мережного трафіку.

Формулювання мети статті. Виклад основного матеріалу

Метою наукового дослідження, викладеного у статті, є підвищення прибутку телекомунікаційного провайдера та зменшення втрат пакетів у процесі передавання даних в телекомунікаційній мережі.

Розглянемо систему, призначену для розподілу пропускної спроможності телекомунікаційного каналу між двома потоками даних. Пакети, що належать першому потоку будемо іменувати пакетами класу 1, а другому потоку – пакетами класу 2. Припустимо, що передача кожного пакета класу 1 надає провайдеру прибуток, що дорівнює γ_1 , а передача кожного пакета класу 2 надає

провайдеру прибуток, що дорівнює γ_2 .

Передавання пакетів здійснюється протягом послідовних циклів, кожен із яких складається з C тактів. Той чи інший такт може бути виділений для передачі одного певного пакета. Кількість тактів в межах одного циклу визначається пропускною спроможністю каналу, тобто максимальною кількістю пакетів, що можуть бути обслужовані протягом тривалості цього циклу.

Якщо пакет надійшов у систему в той момент, коли канал зайнятий передаванням даних, то він потрапляє у чергу відповідного класу. Максимальний розмір пакетних черг класу 1 і класу 2 позначимо Q_1 й Q_2 відповідно. Якщо у момент надходження пакета відповідна черга не має вільних місць, то пакет втрачається (відкидається).

Функціонування такої системи протягом двох найближчих у майбутньому циклів ілюструє рис. 1, на якому позначено такі величини: Z_{uv} – кількість пакетів класу v , що надійдуть у систему в циклі u ; Y_{uv} – кількість пакетів класу v , які будуть передані по каналу в циклі u ; R_{uv} – кількість пакетів класу v , які будуть відкинута в циклі u ; q_{uv} – кількість пакетів у черзі класу v на початку циклу u .

Необхідно розробити метод розподілу пропускної спроможності телекомунікаційного каналу, який дозволив би забезпечити максимальний прибуток провайдеру та мінімізувати втрати пакетів.

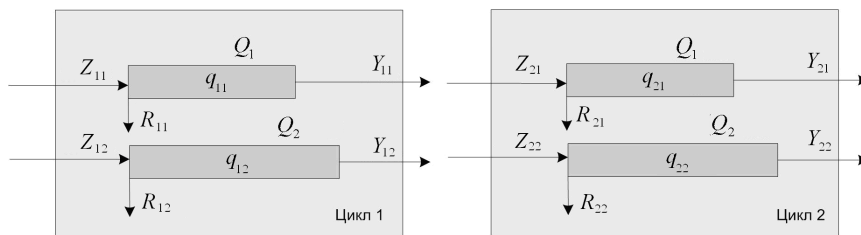


Рис. 1. Два цикли функціонування системи розподілу пропускної спроможності каналу

Для ефективного розподілу пропускної спроможності телекомунікаційного каналу треба знайти такі значення Y_{11} , Y_{12} , Y_{21} і Y_{22} , при яких максимальною буде величина γ_{Σ} – сума прибутків, одержаних провайдером протягом двох аналізованих циклів.

Розв'язати поставлене завдання можна на основі використання лінійного програмування [7]. Цільова функція при цьому має вигляд:

$$Y_1(Y_{11} + Y_{12}) + Y_2(Y_{21} + Y_{22}) \rightarrow \max, \quad (1)$$

а система обмежень складається виходячи із таких міркувань:

1. Кількість пакетів класу 1, спрямованих у вихідний порт у циклі 1, не може бути більшою,

ніж сума пакетів, які знаходились у черзі класу 1 на початку циклу 1, та пакетів, що надійшли в систему протягом цього циклу:

$$Y_{11} \leq q_{11} + Z_{11} \quad (2)$$

2. Кількість пакетів класу 2, спрямованих у вихідний порт у циклі 1, не може бути більшою, ніж сума пакетів, які знаходились у черзі класу 2 на початку циклу 1, та пакетів, що надійшли в систему протягом цього циклу:

$$Y_{12} \leq q_{12} + Z_{12} \quad (3)$$

3. Кількість пакетів класу 1, переданих по каналу у циклі 2, не може бути більшою, ніж сума пакетів, які знаходились у черзі класу 1 на початку циклу 2, та пакетів, що надійшли в систему протягом цього циклу. Якщо у циклі 1 втрат

пакетів класу 1 не було, то справедливою є нерівність:

$$Y_{21} \leq q_{11} + Z_{11} - Y_{11} + Z_{21}. \quad (4)$$

Якщо ж у циклі 1 деякі пакети класу 1 були втрачені, то на початку циклу 2 у черзі цього класу знаходилося Q_1 пакетів. У цьому випадку відповідна нерівність має вигляд:

$$Y_{21} \leq Q_1 + Z_{21}. \quad (5)$$

4. Кількість пакетів класу 2, переданих по каналу у циклі 2, не може бути більшою, ніж сума пакетів, які знаходились у черзі класу 2 на початку циклу 2, та пакетів, що надійшли в систему протягом цього циклу. Якщо у циклі 1 втрат пакетів класу 2 не було, то справедливою є нерівність:

$$Y_{22} \leq q_{12} + Z_{12} - Y_{12} + Z_{22}. \quad (6)$$

Якщо ж у циклі 1 деякі пакети класу 2 були втрачені, то на початку циклу 2 у черзі цього класу знаходилося Q_2 пакетів. У цьому випадку відповідна нерівність має вигляд:

$$Y_{22} \leq Q_2 + Z_{22}. \quad (7)$$

5. Сумарна кількість пакетів, переданих по каналу протягом циклу 1, не може перевищувати максимальної кількості тактів у циклі каналу:

$$Y_{11} + Y_{12} \leq C. \quad (8)$$

6. Сумарна кількість пакетів, переданих по каналу протягом циклу 2, не може перевищувати максимальної кількості тактів у циклі:

$$Y_{21} + Y_{22} \leq C. \quad (9)$$

Отже, для прийняття рішення щодо розподілу пропускної спроможності телекомунікаційного каналу треба розв'язати систему нерівностей:

$$\begin{cases} Y_{11} \leq q_{11} + Z_{11}; \\ Y_{12} \leq q_{12} + Z_{12}; \\ Y_{11} + Y_{21} \leq q_{11} + Z_{11} + Z_{21}; \\ Y_{12} + Y_{22} \leq q_{12} + Z_{12} + Z_{22}; \\ Y_{21} \leq Q_1 + Z_{21}; \\ Y_{22} \leq Q_2 + Z_{22}; \\ Y_{11} + Y_{12} \leq C; \\ Y_{21} + Y_{22} \leq C. \end{cases} \quad (10)$$

Додатковими умовами є обмеження: $Y_{uv} \geq 0$, $Y_{12} \geq 0$, $Y_{21} \geq 0$ і $Y_{22} \geq 0$.

Для розв'язання цього завдання скористаємось симплекс-методом [7], згідно з яким систему нерівностей (10) можна записати у такому вигляді:

$$\begin{cases} Y_{11} \leq b_1; \\ Y_{12} \leq b_2; \\ Y_{11} + Y_{21} \leq b_3; \\ Y_{12} + Y_{22} \leq b_4; \\ Y_{21} \leq b_5; \\ Y_{22} \leq b_6; \\ Y_{11} + Y_{12} \leq b_7; \\ Y_{21} + Y_{22} \leq b_8, \end{cases} \quad (11)$$

де

$$b_1 = q_{11} + Z_{11}, \quad (12)$$

$$b_2 = q_{12} + Z_{12}; \quad (13)$$

$$b_3 = q_{11} + Z_{11} + Z_{21}; \quad (14)$$

$$b_4 = q_{12} + Z_{12} + Z_{22}, \quad (15)$$

$$b_5 = Q_1 + Z_{21}, \quad (16)$$

$$b_6 = Q_2 + Z_{22}, \quad (17)$$

$$b_7 = b_8 = C. \quad (18)$$

У системі (11) позбавимось нерівностей введенням додаткових змінних X_1, X_2, \dots, X_8 , що мають невід'ємні значення:

$$\begin{cases} Y_{11} + X_1 = b_1; \\ Y_{12} + X_2 = b_2; \\ Y_{11} + Y_{21} + X_3 = b_3; \\ Y_{12} + Y_{22} + X_4 = b_4; \\ Y_{21} + X_5 = b_5; \\ Y_{22} + X_6 = b_6; \\ Y_{11} + Y_{12} + X_7 = b_7; \\ Y_{21} + Y_{22} + X_8 = b_8. \end{cases} \quad (19)$$

Запишемо систему (19) в канонічній формі з використанням коефіцієнтів a_{ij} :

$$\begin{cases} a_{11}Y_{11} + a_{12}Y_{12} + a_{13}Y_{21} + a_{14}Y_{22} + a_{15}X_1 + a_{16}X_2 + a_{17}X_3 + a_{18}X_4 + a_{19}X_5 + a_{10}X_6 + a_{111}X_7 + a_{112}X_8 = b_1; \\ a_{21}Y_{11} + a_{22}Y_{12} + a_{23}Y_{21} + a_{24}Y_{22} + a_{25}X_1 + a_{26}X_2 + a_{27}X_3 + a_{28}X_4 + a_{29}X_5 + a_{210}X_6 + a_{211}X_7 + a_{212}X_8 = b_2; \\ a_{31}Y_{11} + a_{32}Y_{12} + a_{33}Y_{21} + a_{34}Y_{22} + a_{35}X_1 + a_{36}X_2 + a_{37}X_3 + a_{38}X_4 + a_{39}X_5 + a_{310}X_6 + a_{311}X_7 + a_{312}X_8 = b_3; \\ a_{41}Y_{11} + a_{42}Y_{12} + a_{43}Y_{21} + a_{44}Y_{22} + a_{45}X_1 + a_{46}X_2 + a_{47}X_3 + a_{48}X_4 + a_{49}X_5 + a_{410}X_6 + a_{411}X_7 + a_{412}X_8 = b_4; \\ a_{51}Y_{11} + a_{52}Y_{12} + a_{53}Y_{21} + a_{54}Y_{22} + a_{55}X_1 + a_{56}X_2 + a_{57}X_3 + a_{58}X_4 + a_{59}X_5 + a_{510}X_6 + a_{511}X_7 + a_{512}X_8 = b_5; \\ a_{61}Y_{11} + a_{62}Y_{12} + a_{63}Y_{21} + a_{64}Y_{22} + a_{65}X_1 + a_{66}X_2 + a_{67}X_3 + a_{68}X_4 + a_{69}X_5 + a_{610}X_6 + a_{611}X_7 + a_{612}X_8 = b_6; \\ a_{71}Y_{11} + a_{72}Y_{12} + a_{73}Y_{21} + a_{74}Y_{22} + a_{75}X_1 + a_{76}X_2 + a_{77}X_3 + a_{78}X_4 + a_{79}X_5 + a_{710}X_6 + a_{711}X_7 + a_{712}X_8 = b_7; \\ a_{81}Y_{11} + a_{82}Y_{12} + a_{83}Y_{21} + a_{84}Y_{22} + a_{85}X_1 + a_{86}X_2 + a_{87}X_3 + a_{88}X_4 + a_{89}X_5 + a_{810}X_6 + a_{811}X_7 + a_{812}X_8 = b_8. \end{cases} \quad (20)$$

Цільова функція в канонічній формі буде мати вигляд:

$$d_1 Y_{11} + d_2 Y_{12} + d_3 Y_{13} + d_4 Y_{14} \rightarrow \max. \quad (21)$$

Системі лінійних рівнянь (20) відповідає матриця коефіцієнтів $A = \|a_{ij}\|$, що має такий вигляд:

$$\hat{A} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}. \quad (22)$$

З використанням матриці (22) складемо початкову симплекс-таблицю (див. табл. 1).

Згідно із симплекс-методом у початковій симплекс-таблиці потрібно знайти ведучі стовпці. Для цього скористаємось таким правилом:

Правило 1. Ведучий стовпець – це стовпець номер n , який містить елемент d_n із максимальним значенням.

У знайдених ведучих стовпцях потрібно визначити ведучий елемент за таким правилом:

Правило 2. Ведучий елемент – це елемент a_{mn} ведучого стовпця з такими m та n , при яких добуток $a_{mn} \cdot b_m$ має мінімальне додатне значення.

Таблиця 1

Початкова симплекс-таблиця у загальному вигляді

i	j												b _i	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	b ₁
2	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	b ₂
3	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	b ₃
4	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	b ₄
5	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	b ₅
6	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	b ₆
7	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	b ₇
8	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	b ₈
d _j	d ₁	d ₂	d ₃	d ₄	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Потім початкову симплекс-таблицю потрібно перетворити у симплекс-таблицю першої ітерації, змінивши значення її елементів за такими формулами:

$$a_{mj}^{k+1} = \frac{a_{mj}^k}{a_{mn}^k}, \quad j = \overline{1, 12}; \quad (23)$$

$$b_m^{k+1} = \frac{b_m^k}{a_{mn}^k}; \quad (24)$$

$$a_{ij}^{k+1} = a_{ij}^k - \frac{a_{mj}^k}{a_{mn}^k} a_{in}^k, \quad i \neq m, \quad j = \overline{1, 12}; \quad (25)$$

$$b_i^{k+1} = b_i^k - \frac{b_m^k}{a_{mn}^k} a_{in}^k, \quad i \neq m, \quad (26)$$

$$d_j^{k+1} = d_j^k - \frac{a_{mj}^k}{a_{mn}^k} d_n^k, \quad j = \overline{1, 12}, \quad (27)$$

де k – номер ітерації (для елементів початкової симплекс-таблиці $k = 0$).

Далі потрібно перевірити, чи знайдено шуканий розв'язок. Ознакою одержання розв'язку є відсутність додатних значень у рядку d_j перетвореної симплекс-таблиці.

Якщо розв'язок не одержано, то знову виконують процедури пошуку ведучого стовпця, ведучого елемента, перетворення симплекс-таблиці, поки буде знайдено розв'язок.

Якщо розв'язок одержано, але у рядку d_j від'ємне значення деякого елемента у результаті перетворення змінилося на 0, то існує альтернативний розв'язок. У цьому випадку стовпець, що містить такий елемент, вважають ведучим, у ньому знаходять новий ведучий елемент, знову перетворюють симплекс-таблицю і перевіряють, чи знайдено альтернативний розв'язок. Якщо новий розв'язок не знайдено, вищезазначені процедури виконують знову. Цей процес закінчують тоді, коли всі розв'язки будуть знайдені.

Кожному розв'язку буде відповідати певний вигляд симплекс-таблиці, по якому для відповідного розв'язку можна знайти шукані значення Y_{11} , Y_{12} , Y_{21} і Y_{22} за таким правилом:

Правило 3. Значення Y_{11} дорівнює значенню елемента b_i з таким i , при якому $a_{i1} = 1$; значення Y_{12} дорівнює значенню елемента b_i з

таким i , при якому $a_{i2} = 1$; значення Y_{21} дорівнює значенню елемента b_i з таким i , при якому $a_{i3} = 1$; значення Y_{22} дорівнює значенню елемента b_i з таким i , при якому $a_{i4} = 1$.

Серед одержаних розв'язків потрібно обрати той, що призводить до найменших сумарних втрат пакетів, які обчислюються за формулою:

$$R_{\Sigma} = R_{11} + R_{12} + R_{21} + R_{22}. \quad (28)$$

Для розрахунку величин R_{11} , R_{12} , R_{21} і R_{22} потрібно скористатися такими виразами:

$$R_{11} = \begin{cases} q'_{21} - Q_1, & q'_{21} > Q_1; \\ 0, & q'_{21} \leq Q_1; \end{cases} \quad (29)$$

$$R_{12} = \begin{cases} q'_{22} - Q_2, & q'_{22} > Q_2; \\ 0, & q'_{22} \leq Q_2; \end{cases} \quad (30)$$

$$R_{21} = \begin{cases} q'_{21} + Z_{21} - Y_{21} - Q_1, & q'_{21} + Z_{21} - Y_{21} > Q_1; \\ 0, & q'_{21} + Z_{21} - Y_{21} \leq Q_1; \end{cases} \quad (31)$$

$$R_{22} = \begin{cases} q'_{22} + Z_{22} - Y_{22} - Q_2, & q'_{22} + Z_{22} - Y_{22} > Q_2; \\ 0, & q'_{22} + Z_{22} - Y_{22} \leq Q_2, \end{cases} \quad (32)$$

де q'_{21} – кількість пакетів, що знаходилися би у черзі класу 1 на початку циклу 2, якби розмір цієї черги був необмежений:

$$q'_{21} = Z_{11} + q_{11} - Y_{11}; \quad (33)$$

q'_{22} – кількість пакетів, що знаходилися би у черзі класу 2 на початку циклу 2, якби розмір цієї черги був необмежений:

$$q'_{22} = Z_{12} + q_{12} - Y_{12}. \quad (33)$$

Таким чином, для прийняття рішення про розподіл пропускної спроможності телекомунікаційного каналу при передаванні пакетів даних двох класів пропонуємо метод, що складається із викладених нижче етапів.

Етап 1. Формування початкової симплекс-таблиці.

На етапі 1 визначають елементи табл. 1. При цьому значення елементів b_i^0 обчислюють за формулами (12) – (18), а значення елементів d_1^0 , d_2^0 , d_3^0 й d_4^0 приймають такими: $d_1^0 = d_3^0 = \gamma_1$ і $d_2^0 = d_4^0 = \gamma_2$.

Етап 2. Пошук ведучого стовпця.

На цьому етапі за правилом 1 у симплекс-таблиці обирають ведучий стовпець.

Етап 3. Визначення ведучого елемента.

На цьому етапі за правилом 2 у симплекс-таблиці здійснюють пошук ведучого елемента.

Етап 4. Перетворення симплекс-таблиці.

На етапі 4 за формулами (23) – (27) обчислюють елементи перетвореної симплекс-таблиці.

Етап 5. Пошук розв'язку.

На цьому етапі перевіряють наявність елементів із додатними значеннями у рядку d_j .

Якщо такі елементи наявні, то здійснюється

повернення до етапу 2. В іншому випадку знайдено розв'язок, згідно з яким шукані величини Y_{11} , Y_{12} , Y_{21} і Y_{22} визначаються за правилом 3.

Етап 6. Перевірка наявності альтернативного розв'язку.

На цьому етапі у рядку d_j шукають елемент, значення якого дорівнює 0 у симплекс-таблиці, яка містить розв'язок, та дорівнювало від'ємному значенню у симплекс-таблиці попередньої ітерації. Якщо такого елемента немає, то інший розв'язок відсутній і здійснюється перехід до етапу 7. В іншому випадку стовпець, що містить такий елемент, вважають ведучим і для пошуку альтернативного розв'язку повертаються до етапу 3.

Етап 7. Прийняття рішення.

На цьому етапі для кожного знайденого розв'язку за формулами (28) – (34) обчислюють втрати пакетів. Потім із множини знайдених розв'язків обирається таке рішення щодо значень Y_{11} , Y_{12} , Y_{21} і Y_{22} , при якому сумарні втрати пакетів даних є мінімальними.

Оцінимо ефективність застосування пропонованого методу. Для цього приймемо рішення про розподіл пропускної спроможності телекомунікаційного каналу в двох найближчих майбутніх циклах, якщо початкові дані мають наведені нижче значення.

Задано: $C = 12$; $\gamma_1 = 2$; $\gamma_2 = 1$; $Q_1 = Q_2 = 8$; $q_{11} = 6$; $q_{12} = 5$; $Z_{11} = 4$; $Z_{12} = 15$; $Z_{21} = 0$; $Z_{22} = 1$.

Необхідно: знайти такі значення Y_{11} , Y_{12} , Y_{21} і Y_{22} , при яких протягом двох найближчих майбутніх циклів прибуток провайдера буде максимальним, а втрати пакетів – мінімальними.

Згідно із пропонованим методом початкова симплекс-таблиця має вигляд табл. 2. Ведучими стовпцями у цій таблиці за правилом 1 є стовпці з номерами 1 і 3. Ведучим елементом за правилом 2 є елемент a_{53} . Ведучий стовпець і рядок із ведучим елементом виділені у табл. 2 сірим кольором.

У результаті перетворення початкової симплекс-таблиці розв'язок не було знайдено. Для одержання розв'язку знадобилося послідовно повторювати етапи 2 – 5, поки не отримали симплекс-таблицю п'ятої ітерації (див. табл. 3). За правилом 3 шукані величини, що відповідають першому розв'язку, мають такі значення: $Y_{11} = 7$, $Y_{12} = 2$, $Y_{21} = 3$ і $Y_{22} = 9$.

Елемент табл. 3 $d_{10}^5 = 0$. У симплекс-таблиці попередньої ітерації відповідний елемент мав від'ємне значення, що свідчить про наявність альтернативного розв'язку.

Таблиця 2

Початкова симплекс-таблиця для наведеного прикладу

i	j												b _i
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	10
2	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	20
3	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	10
4	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	21
5	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	8
6	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	9
7	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	12
8	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	12
d _j	2	1	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	

Таблиця 3

Симплекс-таблиця, що містить перший розв'язок

i	j												b _i
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	0	0	0	0	1	0	-1	0	0	-1	0	1	3
2	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	-1	-1	15
3	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	-1	7
4	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	-1	-1	7
5	0	0	1	0	0	0	0	0	0	-1	0	1	3
6	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	-1	5
7	0	1	0	0	0	0	-1	0	0	-1	1	1	2
8	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	9
d _j	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	-1	-1	

Для пошуку другого розв'язку згідно з етапом 6 пропонуваного методу ведучим стовпцем призначено стовпець номер 10. Далі знадобилося повернутися до етапу 3, у результаті чого за правилом 2 ведучим визначено елемент a_{610}^5 . Стовпець і рядок із ведучим елементом у

табл. 3 виділені сірим кольором.

Подальше виконання етапів методу призвело до одержання симплекс-таблиці, що містить другий розв'язок (табл. 4), згідно із яким $Y_{11} = 2$, $Y_{12} = 10$, $Y_{21} = 8$ і $Y_{22} = 4$. Інших розв'язків поставленого завдання не виявлено.

Таблиця 4

Симплекс-таблиця, що містить другий розв'язок

i	j												b _i
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	0	0	0	0	1	0	-1	0	1	0	0	0	8
2	0	0	0	0	0	1	1	0	-1	0	-1	0	10
3	1	0	0	0	0	0	1	0	-1	0	0	0	2
4	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	-1	-1	7
5	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	8
6	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	-1	5
7	0	1	0	0	0	0	-1	0	1	0	1	0	10
8	0	0	0	1	0	0	0	0	-1	0	0	1	4
d _j	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	-1	-1	

Розподіл пропускної спроможності каналу згідно з першим чи другим розв'язком призведе до того, що сумарний прибуток провайдера протягом двох циклів буде становити $\gamma_{\Sigma} = \gamma_1(Y_{11} + Y_{12}) + \gamma_2(Y_{21} + Y_{22}) = 34$. Проте при реалізації першого розв'язку $R_{\Sigma} = 7$, але при реалізації другого розв'язку $R_{\Sigma} = 2$. У результаті

за критерієм мінімуму сумарних втрат пакетів приймаємо рішення, згідно з яким для передавання пакетів класу 1 та класу 2 виділяємо відповідно 2 і 10 тактів у циклі 1 та 8 і 4 такти у циклі 2.

Поставлене завдання було розв'язане за допомогою інших методів розподілу пропускної спроможності каналу – методів PQ та RR. Згідно з методом PQ одержано такі значення шуканих

величин: $Y_{11} = 10$, $Y_{12} = 2$, $Y_{21} = 0$ і $Y_{22} = 9$. Використання методу RR надає інше рішення: $Y_{11} = 8$, $Y_{12} = 4$, $Y_{21} = 2$ і $Y_{22} = 9$. У результаті використання розглянутих вище методів сумарний прибуток γ_{Σ} , який буде одержано провайдером протягом двох циклів, представлено на діаграмі, зображеній на рис. 2.

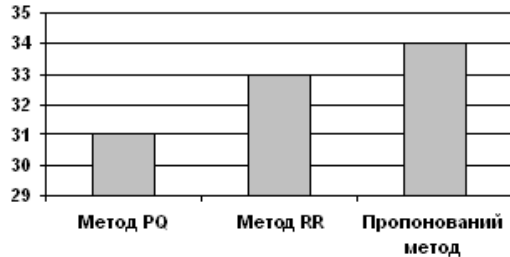


Рис. 2. Діаграма сумарного прибутку провайдера

Сумарні втрати пакетів R_{Σ} при цьому відповідатимуть діаграмі, зображеній на рис. 3.

Аналіз цих діаграм свідчить про те, що використання пропонованого методу забезпечує найвищий прибуток провайдеру та найменші втрати пакетів.

Забезпечити ефективне застосування пропонованого методу можна за умови наявності достовірних даних щодо значень Z_{11} , Z_{12} , Z_{21} і Z_{22} .

Література

1. Grossman D. New Terminology and Clarifications for Diffserv / D. Grossman // RFC 3260. – April 2002.
 2. Bouras C. SLA-based QoS Pricing in DiffServ Networks / C. Bouras // Computer Communications. – 2004 – P. 1868–1880.
 3. Gevros P. Congestion Control Mechanisms and the Best Effort Services Model / P. Gevros, J. Crowcroft, P. Rirstein, S. Bhatti // IEEE Network, May 2001, P. 16–26.
 4. Courcoubetis C. Pricing Communication Networks: Economics, Technology and Modelling / C. Courcoubetis // John Wiley & Sons. – 2003. – 368 p.
 5. Кучерявый Е.А. Управление трафиком и качество обслуживания в сети Интернет / Е.А. Кучерявый // СПб.:

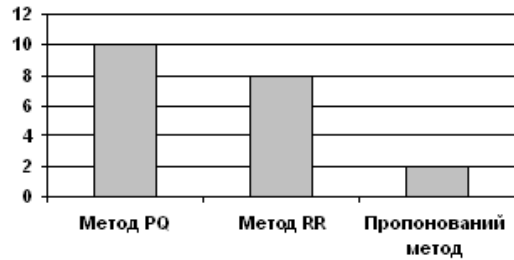


Рис. 3. Діаграма сумарних втрат пакетів

Для одержання значень цих величин доцільно використовувати апарат нечіткого нейронного прогнозування [8].

Висновки

Представлено новий метод прийняття рішення про розподіл пропускної спроможності телекомунікаційного каналу, який, на відміну від наявних, ґрунтується на використанні лінійного програмування. Застосування пропонованого методу дозволяє максимізувати сумарний прибуток провайдера та мінімізувати втрати пакетів при передаванні потоків даних різних класів.

Предметом подальшого дослідження є розробка ефективного методу прогнозування інтенсивності надходження пакетів різних класів для передавання по телекомунікаційному каналу.

Наука и техника. – 2004. – 336 с.
 6. Польщиков К. О. Математична модель процесу обміну інформацією згідно з протоколом TCP / К. О. Польщиков, О. О. Лаврут // Системи обробки інформації. – 2007. – Вип. 1. – С. 82–83.
 7. Вентцель Е.С. Исследование операций / Е.С. Вентцель – М.: Советское радио, 1972. – 552с.
 8. Польщиков К. А. Методика нейро-нечеткого прогнозирования потерь пакетов при перегрузке компьютерной сети / К. А. Польщиков, Ю. Н. Здоренко, Г. В. Сокол // Научный вестник ДГМА. – 2011. – №2 (8Е). – С. 77–86.

В статті пропонується метод прийняття рішення по розподіленню пропускної спроможності телекомунікаційного каналу при передачі потоків даних різних класів. Метод оснований на використанні лінійного програмування.

Ключевые слова: пропускная способность, пакет, данные, очередь, телекоммуникационный канал.

The article proposed a method for making decisions on allocating bandwidth telecommunication channel in the transmission of data flows of different classes. The method is based on the use of linear programming.

Key words: bandwidth, packet, data, queue, telecommunication channel.