

СЕКЦІЯ 3. ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ ТА РАДІОТЕХНІКА

УДК 621.391

Лемешко О.В., д.т.н., проф.

Єременко О.С., д.т.н., проф.

Лемешко В.О., студ.

Персіков М.А., студ.

Харківський національний університет радіоелектроніки
oleksandr.lemeshko@nure.ua, oleksandra.yeremenko@nure.ua,
valentyn.lemeshko@nure.ua, mykhailo.persikov@nure.ua

ІЄРАРХІЧНИЙ МЕТОД ДВОРІВНЕВОГО УПРАВЛІННЯ ЧЕРГАМИ ПАКЕТІВ НА МАРШРУТИЗАТОРАХ, ЗАСНОВАНИЙ НА КЛАСАХ

***Анотація.** Запропоновано використання ієрархічного методу дворівневого управління чергами пакетів на маршрутизаторах, заснованого на класах. Нижній рівень обчислень пов'язаний з розв'язанням оптимізаційної задачі і відповідає за вирішення двох завдань. По-перше, це агрегація та розподіл потоків пакетів між макрочергами та підчергами, організованими на інтерфейсі маршрутизатора, для упередження проблеми перевантаження. По-друге, вирішення завдання розподілу ресурсів, пов'язане зі збалансованим розподілом пропускної здатності інтерфейсу між підчергами макрочерг, зваженим відносно їхніх класів згідно з концепцією Traffic Engineering Queues. Функції нижнього рівня методу рекомендується покласти на набір процесорів маршрутизатора, відповідальних за обслуговування пакетів окремих макрочерг. При цьому процесор-координатор може виконувати функції верхнього рівня обчислень, що забезпечують розподіл пропускної здатності інтерфейсу між макрочергами.*

Сучасні мережі зв'язку будуються як багаторівневі мультисервісні платформи, і основним завданням залишається забезпечення заданої якості обслуговування (Quality of Service, QoS) для кінцевих користувачів [1, 2]. З ростом територіального розподілу мережних пристроїв (комутаторів, маршрутизаторів, контролерів мереж тощо), збільшенням обсягу мережного навантаження та неоднорідності трафіку проблема забезпечення QoS тільки загострюється. Кожен потік пакетів, що генерується мережним додатком, вимагає диференційованого обслуговування і є особливо чутливим до певних показників QoS [2].

Ієрархічні черги все частіше використовуються для покращення масштабованості рішень щодо управління чергами на інтерфейсах маршрутизаторів. З іншого боку, для підвищення продуктивності маршрутизаторів, які повинні обслуговувати гігабітні, а іноді і терабітні потоки в режимі реального часу, ці пристрої часто будуються на багатопроекторній (багатоядерній) архітектурі. Таким чином, рішення щодо управління чергами повинні враховувати можливість розподілених (паралельних) обчислень, які також можуть бути ефективно реалізовані на основі ієрархічних черг. Тому в даній роботі пропонується вдосконалений ієрархічний метод дворівневого управління чергами на маршрутизаторах мереж, заснований на класах та балансуванні, для розв'язання задач управління перевантаженнями та розподілу ресурсів.

Загалом удосконалений ієрархічний метод також спрямований на підвищення масштабованості рішень щодо управління чергами.

В межах запропонованого методу необхідно вирішити наступні завдання:

- управління перевантаженнями;
- розподіл каналного ресурсу.

Нехай на першому етапі розрахунку на вхід інтерфейсу маршрутизатора надходить M потоків пакетів з відомою середньою інтенсивністю i -го потоку a_i ($i = \overline{1, M}$), що вимірюється в бітах за секунду, $K_i = \{k_i^h, l = \overline{1, H}\}$ – множина параметрів пакетів i -го потоку,

які використовуються для класифікації мережного трафіку в межах реалізованої технології (IP, MPLS тощо); H – загальна кількість параметрів для класифікації трафіку. Прикладом подібних параметрів в IP-технології є пріоритет пакета (вміст полів IP-пакета: IP-precedence, DSCP або значення QoS-group); IP-адреси відправника та (або) отримувача пакетів; стандартний або розширений список доступу до відправників/отримувачів; TCP/UDP-порти відправника та (або) отримувача пакетів; код довжини пакета. Нехай значення класу k_i^f ($i = \overline{1, M}$) відповідає кожному i -му потоку пакетів, що визначається на основі аналізу множини параметрів K_i . Отже, клас k_i^f є деякою функцією від елементів множини k_i^h . У загальному випадку ця функція може мати нелінійний характер, як, наприклад, у роботах [3, 4].

Припустимо, що взагалі клас потоку кількісно визначається числом, яке варіюється від 0 до $K - 1$, де K – максимальне значення класу потоку. У загальному випадку величина k_i^f є безрозмірною, і для зручності подальшого викладу вважатимемо, що k_i^f нормується в межах від нуля до 99. Найважливіший потік матиме максимальне значення класу, тобто $k_i^f = 99$. Що менший клас, то значення k_i^f буде ближчим до нуля. Чим вище значення класу потоку k_i^f , тим вищий рівень QoS йому повинен забезпечуватись на інтерфейсі.

Введемо дворівневу ієрархію черг, створених і налаштованих на певному інтерфейсі маршрутизатора з пропускною здатністю B (біт в секунду). Нехай на інтерфейсі організовано L макрочерг. Кожна макрочерга поділяється на підчерги N_l ($l = \overline{1, L}$) відповідно до встановленої системи класифікації трафіку та підтримуваного рівня диференціації QoS. Тоді загальна кількість підчерг на інтерфейсі дорівнює $N = \sum_{l=1}^L N_l$.

Організація черг на основі класів ґрунтується на залученні поняття класу черги, який повинен бути безпосередньо пов'язаний з класом потоків пакетів. Далі вводимо наступні параметри для кожної з підчерг будь-якої макрочерги:

$K_{j,l}^{\min}$ та $K_{j,l}^{\max}$ – мінімальне та максимальне значення класу потоку пакетів, який може обслуговувати j -а підчерга l -ої макрочерги;

$K_{j,l}$ – загальна кількість класів потоку пакетів, які може обслуговувати j -а підчерга l -ої макрочерги ($l = \overline{1, L}$).

Параметри $K_{j,l}$, $K_{j,l}^{\min}$ та $K_{j,l}^{\max}$ є натуральними числами, пов'язаними між собою рівнянням:

$$K_{j,l} = K_{j,l}^{\max} - K_{j,l}^{\min} + 1 \quad (j = \overline{1, N_l}, l = \overline{1, L}).$$

Діапазони значень класів $K_{j,l}^{\min}$ та $K_{j,l}^{\max}$ між підчергами та макрочергами можуть бути розподілені статично або динамічно за різними критеріями, наприклад, рівномірно. При надходженні на інтерфейс потоку пакетів, який має клас k_i^f , він одразу спрямовується в l -ту макрочергу j -ї підчерги, для якої виконується умова $K_{j,l}^{\min} \leq k_i^f \leq K_{j,l}^{\max}$. Фактично, клас j -ої підчерги l -ої макрочерги дорівнює середньому арифметичному значенню $K_{j,l}^{\min}$ та $K_{j,l}^{\max}$. Таким чином, формується множина потоків пакетів, які направляються в ту чи іншу макрочергу. Позначимо через M_l загальну кількість потоків пакетів, що потрапили до l -ї макрочерги внаслідок розподілу та агрегації. Агрегування потоків за підчергами однієї макрочерги відбувається, якщо $M_l > N_l$.

Результат розв'язання задачі управління перевантаженнями шляхом визначення набору змінних $x_i^{j,l} \in \{0,1\}$ ($i = \overline{1, M}, j = \overline{1, N_l}, l = \overline{1, L}$) (табл. 1), кожна з яких характеризує частку i -го потоку, що направляється на обслуговування до j -ї підчерги l -ї макрочерги [5]. У більшості механізмів планування черг, таких як PQ, CQ, CBQ, LLQ, адміністратор вирішує задачу управління перевантаженням шляхом встановлення, наприклад, ACL (Access Control Lists) [2]. Після розв'язання задачі оптимальної агрегації та розподілу потоків пакетів між

макрочергами та підчергами, представленими набором розрахункових значень $x_i^{j,l}$, виконується розподіл ресурсів, що відноситься до другого етапу обчислень.

Для вирішення завдання розподілу ресурсів, яке в першу чергу пов'язане з визначенням множини змінних b_l та обчисленням $b_{j,l}$ ($j = \overline{1, N_l}, l = \overline{1, L}$), в роботі буде використано принцип прогнозування взаємодії [5]. Принцип прогнозування взаємодії, який реалізує дворівневу ієрархію обчислень, спрямований на підвищення масштабованості рішень з управління чергами, коли окремі процесори (ядра) обчислювальної системи маршрутизатора виконують задачі управління відповідними макрочергами.

Таблиця 1 – Класифікація черг та алгоритм вирішення завдання управління перевантаженнями

Алгоритм I. Класифікація черг й управління перевантаженнями	
1:	Вхідні параметри: L, N_l, K, M
2:	for $l = 1, 2, \dots, L$ do % кількість макрочерг
3:	for $j = 1, 2, \dots, N_l$ do % кількість підчерг
4:	Визначити $K_{j,l}^{\min}, K_{j,l}^{\max}$ та $k_{j,l}^q$
5:	end for
6:	end for
7:	for $i = 1, 2, \dots, M$ do % кількість потоків пакетів
8:	for $l = 1, 2, \dots, L$ do % кількість макрочерг
9:	for $j = 1, 2, \dots, N_l$ do % кількість підчерг
10:	if $K_{j,l}^{\min} \leq k_i^f \leq K_{j,l}^{\max}$
11:	$x_i^{j,l} = 1$
12:	else $x_i^{j,l} = 0$
13:	end if
14:	end for
15:	end for
16:	end for
17:	Вихідні параметри: $K_{j,l}^{\min}, K_{j,l}^{\max}, k_{j,l}^q, x_i^{j,l}$ та M_l

Таким чином, в межах запропонованого методу управління чергами вводиться дворівнева ієрархія рішень. Згідно з принципом прогнозування взаємодії на верхньому ієрархічному рівні розв'язується задача розрахунку пропускної здатності інтерфейсу, що виділяється макрочергам ($b_l, l = \overline{1, L}$). Нижній рівень відповідає за розподіл пропускної здатності макрочерги b_l , отриманої на верхньому рівні розрахунків, між відповідними підчергами шляхом визначення змінних $b_{j,l}$ ($j = \overline{1, N_l}, l = \overline{1, L}$).

Запропонований ієрархічний метод управління чергами на основі класів та балансування (рис. 1) базується на наступній ітеративній послідовності дій.

Нижній рівень обчислень, який базується на розв'язанні оптимізаційної задачі, відповідає, по-перше, за агрегацію та розподіл потоків пакетів між макрочергами та підчергами, організованими на інтерфейсі маршрутизатора (Congestion Management Problem), а по-друге, за збалансований розподіл пропускної здатності інтерфейсу між підчергами, зважений відносно їх пріоритетів (Resource Allocation Problem).

Задача збалансованого розподілу пропускної здатності інтерфейсу маршрутизатора між класовими підчергами вирішується з урахуванням вимог Traffic Engineering Queues, так як для кожної з макрочерги мінімізується зважений відносно її класу верхній поріг використання (α_l). З адопомогою параметра D регулюється рівень диференціації обслуговування пакетів потоків в різних підчергах макрочерг. Зі збільшенням D рівень диференціації зменшується. Мінімальне значення D визначається експериментально.

Верхній рівень обчислень методу відповідає за розподіл пропускну́ї здатності інтерфейсу між макрочергами шляхом виконання ітераційної процедури. Ці рішення формуються відповідно до виконання критерію, пов'язаному з виконанням умови щодо рівності коефіцієнтів використання різних макрочерг. Тобто коли кожен поріг використання α_l макрочерги дорівнює їхньому середньому значенню $\bar{\alpha}$. При виконанні цього критерію робота метода закінчується.

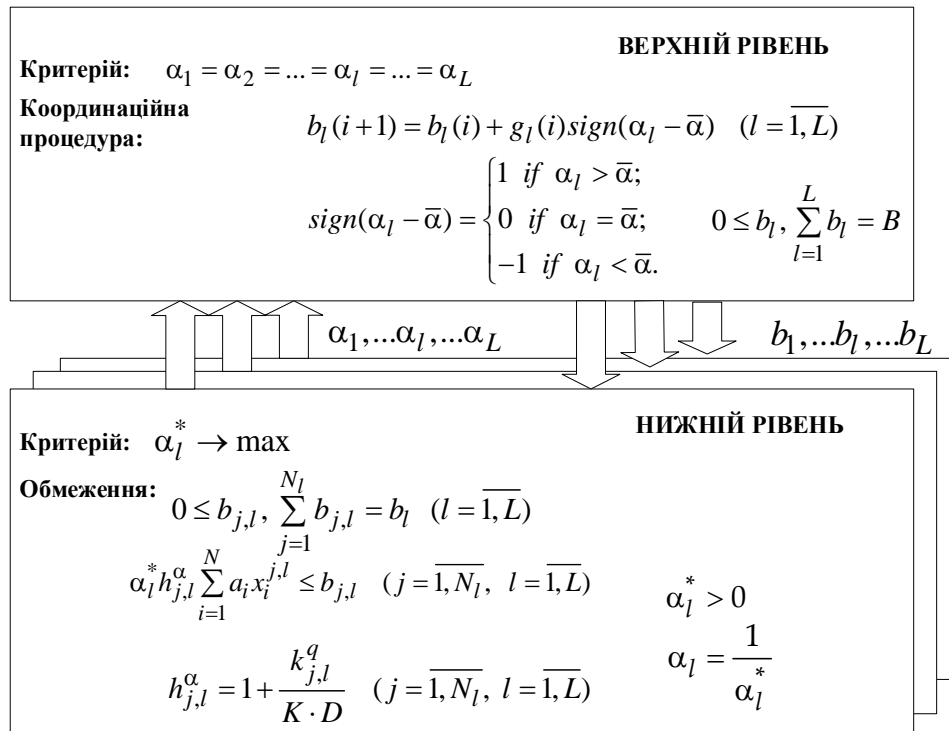


Рисунок 1 – Дворівнева ієрархічна схема управління чергами на основі класів і балансування

Практичне застосування запропонованого методу пов'язане з програмованими мережами, коли необхідно ефективно обслуговувати велику кількість потоків користувачів. При цьому технологічні рішення повинні задовольняти вимоги до масштабованості та якості обслуговування.

Література

1. D. Li, W. Wang and Y. Kang, "A Hierarchical Approach for QoS-Aware Edge Service Scheduling and Composition," In Proceedings of the 2021 IEEE International Conference on Electronic Technology, Communication and Information (ICETCI), 2021, pp. 677-681. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICETCI53161.2021.9563355>
2. QoS: Congestion Management Configuration Guide, Cisco IOS XE Everest 16.5, Cisco Systems, Inc., 2019.
3. Lemeshko, O.; Lebedenko, T.; Nevzorova, O.; Snihurov, A.; Mersni, A.; Al-Dulaimi, A. Development of the Balanced Queue Management Scheme with Optimal Aggregation of Flows and Bandwidth Allocation. In Proceedings of the 2019 IEEE 15th International Conference on the Experience of Designing and Application of CAD Systems (CADSM), 2019, pp. 1-4. DOI: <https://doi.org/10.1109/CADSM.2019.8779246>
4. Lemeshko, O.; Lebedenko, T.; Mersni, A.; Hailan, A. M. Mathematical Optimization Model of Congestion Management, Resource Allocation and Congestion Avoidance on Network Routers. In Proceedings of the 2019 International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics (UkrMiCo), 2019, pp. 1-5. DOI: <https://doi.org/10.1109/UkrMiCo47782.2019.9165445>

5. Lemeshko, O.; Yeremenko, O.; Titarenko, L.; Barkalov, A. Hierarchical Queue Management Priority and Balancing Based Method under the Interaction Prediction Principle. *Electronics* **2023**, *12*, 675. <https://doi.org/10.3390/electronics12030675>