

УДК 621.391

Романчук В.І., к.т.н., Бешлей М.І., к.т.н.,
Панченко О.М., аспірант; Поліщук А.В., аспірант

МЕТОД УЗГОДЖЕНОГО РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАВДАНЬ БАЛАНСУВАННЯ РІЗНОПРІОРИТЕТНОГО НАВАНТАЖЕННЯ МІЖ ЧЕРГАМИ МЕРЕЖЕВИХ ПРИСТРОЇВ

Romanchuk V.I., Beshley M.I., Panchenko O.M., Polischuk A.V. Method for coordinated solving of tasks of prioritized load balancing across queues of network device. The paper proposes a method of coordinated solution of tasks of load balancing between queues in corresponding network interfaces of telecommunication nodes and establishment of priority of its processing on the principles of differentiation of services. This method takes into account the duration of packet stays for packet exchange between queues with different priorities, which enabled the late delivery of packets to be delivered, resulting in the adaptation of the load service process to the change of the network node status for service quality. The simulation model of the information flow processing system is developed based on the advanced queue management algorithm in program-controlled routers. It is established that this method allows to improve the quality of service provision in network nodes.

Keywords: multiservice network, service quality, resource allocation, buffer, router, queue, load balancing.

Романчук В.І., Бешлей М.І., Панченко О.М., Поліщук А.В. Метод узгодженого розв'язання завдань балансування різнопriorитетного навантаження між чергами мережесвих пристроїв. В роботі запропоновано метод узгодженого розв'язання завдань балансування навантаження між чергами у відповідних мережесвих інтерфейсах телекомунікаційних вузлів і встановлення пріоритетності його оброблення за принципами диференціації сервісів. Даний метод враховує тривалість перебування пакетів для проведення обміну пакетами між чергами із різним пріоритетом, що дало змогу першочергово передавати пакети, які спізнюються, наслідком чого стає адаптація процесу обслуговування навантаження до зміни стану мережного вузла для забезпечення якості сервісу. Розроблено імітаційну модель системи оброблення інформаційних потоків за удосконаленим алгоритмом управління черг у програмно-керуваних маршрутизаторах. Встановлено, що даний метод дає змогу підвищити якість обслуговування послуг у мережесвих вузлах.

Ключові слова: мультисервісна мережа, якість обслуговування, розподіл ресурсів, буфер, маршрутизатор, черга, балансування навантаження.

Романчук В.І., Бешлей М.І., Панченко А.М., Полищук А.В. Метод согласованного решения задач балансировки разно пріоритетной нагрузки между очередями сетевых устройств. В работе предложен метод согласованного решения задач балансировки нагрузки между очередями в соответствующих сетевых интерфейсах телекоммуникационных узлов и установления пріоритетности его обработки с принципами дифференциации сервисов. Данный метод учитывает продолжительность пребывания пакетов для проведения обмена пакетами между очередями с различным пріоритетом, что позволило в первую очередь передавать пакеты, которые опаздывают, следствием чего становится адаптация процесса обслуживания нагрузки к изменению состояния сетевого узла для обеспечения качества сервиса. Разработана имитационная модель системы обработки информационных потоков по усовершенствованному алгоритму управления очередей в программно-управляемых маршрутизаторах. Установлено, что данный метод позволяет повысить качество обслуживания услуг в сетевых узлах.

Ключевые слова: мультисервісна сеть, качество обслуживания, распределение ресурсов, буфер, маршрутизатор, очередь, балансировка нагрузки.

Вступ. Результати проведеного аналізу сучасного стану телекомунікаційних технологій і основних протокольних рішень показали стрімку динаміку розвитку мереж наступного покоління (Next Generation Network, NGN) в напрямку створення високошвидкісних мультисервісних мереж нового покоління, що пов'язано з необхідністю пошуку нових підходів до визначення фізичної та функціональної архітектури [1-3]. Відзначено, що, незважаючи на випереджувальний розвиток технологій фізичного і каналного рівнів, в

повному об'ємі реалізувати потенціал телекомунікаційної мережі нового покоління можливо лише за рахунок ефективного управління доступними мережевими ресурсами в умовах зростання вимог до оперативності обміну інформацією. З огляду на особливу затребуваність наскрізного (end-to-end) QoS на перше місце в архітектурі управління трафіком виходять рішення саме мережевого рівня еталонної моделі взаємодії відкритих систем [4]. Серед процесів мережевого рівня важливу роль відіграють завдання управління чергами, тому що саме неефективне управління чергами в мережевих пристроях призводить до неконтрольованого зростання затримок і рівня втрат пакетів. Як показав проведений аналіз, в сучасному мережевому обладнанні реалізовано безліч механізмів керування чергами як з точки зору їх формування та обслуговування (FIFO, PQ, CQ, WFQ, CB WFQ), так і запобігання перевантаження (RED, WRED, ECN, SPD) [5, 6]. Їх основною особливістю і ключовим недоліком є переважання ручних налаштувань в ході конфігурації обладнання, що не дає змогу оперативно реагувати на зміну стану завантаженості маршрутизатора та мережі в цілому, а також на варіацію характеристик трафіку. Виходячи з існуючого протиріччя між можливостями сучасних систем управління якістю послуг і реальними потребами, орієнтованими на конкретні послуги користувачів, актуальним науковим завданням є забезпечення вимог відносно оперативності обміну інформацією в телекомунікаційних мережах на основі створення методу перерозподілу мережного трафіку адаптацією буферних і каналних ресурсів програмно-керованих маршрутизаторів та розроблення математичних моделей і алгоритмів обслуговування черг для покращення якості надання інфокомунікаційних послуг [7-9].

Метою роботи є розроблення методу узгодженого розв'язання завдань балансування різнопріоритетного навантаження між чергами у відповідних мережних інтерфейсах телекомунікаційних вузлів мереж нового покоління.

Постановка задачі. Для дослідження та моделювання завдань з обслуговування черг припустимо, що число агрегованих по класах або пріоритетах потоків в структурі NGN відомо і дорівнює M , що відповідає прийнятим на практиці рішенням в рамках відомих методів маркування пакетів у полях заголовків Tos, DSCP. Також прийmemo до уваги, що максимальне число черг у мережевих пристроях також відомо і становить (N). Наприклад, в алгоритмі пріоритетного обслуговування PQ виділяється 4 черги, в алгоритмі зваженого справедливого обслуговування WFQ не перевищує 256, а в алгоритмі CBWFQ дорівнює кількості класів обслуговуваних потоків і дорівнює 64. Таким чином, позначимо через a_i ($i = 1, 2, \dots, M$) – інтенсивність вхідного трафіку i -го класу, який надходить на обслуговування мережевим пристроєм. Крім цього, нехай b_j ($j = 1, 2, \dots, N$) – частина пропускної здатності вихідного каналу зв'язку, яка є виділеною для j -ї черги ($j = 1, \dots, N$), що є типовим для алгоритму CBWFQ. Одне з ключових відмінностей пропонованого рішення полягає в тому, що змінні b_j ($j = 1, \dots, N$) у нашому випадку матимуть змогу при можливості розраховуватись динамічно з контролем за часом перебування в черзі пріоритетних пакетів, адаптуючись до зміни стану мережного вузла, а не адміністративно, як, наприклад, в CBWFQ. Під час управління чергами забезпечити виконання умови відсутності перевантаження каналу зв'язку в момент часу t :

Під час управління чергами забезпечити виконання умови відсутності перевантаження каналу зв'язку в момент часу t :

$$\sum_{j=1}^N b_j(t) \leq b, \quad (1)$$

де b - пропускна здатність вихідного каналу зв'язку, $b_j(t)$ – частина пропускної здатності вихідного каналу зв'язку, яка є виділеною для j -ї черги в момент часу t ($j = 1, \dots, N$). Крім того, з метою запобігання перевантаження мережевого пристрою в момент часу t потрібно, щоб виконувалася наступна умова:

$$\sum_{i=1}^M a_i(t) \leq b, \quad (2)$$

Виконання умови (2) забезпечується шляхом превентивного обмеження інтенсивності вхідного трафіку, що поступає на мережевий пристрій телекомунікаційної мережі, з метою не перевищення пропускної здатності вихідного каналу зв'язку. Це функція на практиці виконується алгоритмами довільного раннього виявлення перевантаження та обмеження довжини черги RED і WRED. Забезпечити динамічний характер процесу обслуговування черг в рамках запропонованого алгоритму можна шляхом введення керуючої змінної x_{ij} , під якої мовити частка i -го трафіку, що надходить для обслуговування в j -ю чергу. Згідно із фізичним змістом x_{ij} мають місце наступні умови:

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad (i=1,2, \dots, M; \quad j=1,2, \dots, N), \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^N x_{ij} = 1 \quad (i=1,2, \dots, M), \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^M a_i(t) \cdot x_{ij} \leq b_j(t) \leq b \quad (j=1,2, \dots, N). \quad (5)$$

Виконання умови (5) гарантує відсутність втрат пакетів на досліджуваному мережевому пристрої. Умова вводиться для уникнення перевантаження пропускної здатності каналу зв'язку, що виділяється для передавання пакетів тієї чи іншої черги мережевого пристрою в процесі управління ресурсами. У ході виконання умов (5) за рахунок непередбачуваної зміни характеру мережевого трафіку на вузлі виникають черги та пов'язані з ними затримки пакетів. Для забезпечення допустимих затримок у вузлах вибирають оптимальну загальну буферну ємність. На цьому етапі починають з'являтися проблеми щодо вибору оптимальних відносно мінімальних затримок та втрат пакетів ємностей мережевих буферів. Таким чином, для кожної черги визначимо її поточну завантаженість і максимальну ємність, позначивши їх відповідно через n_j і n_j^{\max} ($j = 1, \dots, N$). Запишемо умови запобігання перевантаження окремих черг по їх пропускній здатності (5) умовами уникнення перевантаження черг по їх довжині. Загальний вигляд шуканих умов виглядатиме як:

$$n_j \leq n_j^{\max} \quad (j=1,2, \dots, N), \quad (6)$$

і тепер завдання зводиться лише до вибору аналітичного виразу для розрахунку середньої довжини черги в процесі обслуговування пакетів у мережевих вузлах.

При цьому кожному типу трафіку, а значить і кожній черзі, може відповідати своя модель обслуговування, не обов'язково відповідаючи переліком існуючих варіантів СМО. З точки зору забезпечення гарантій QoS за параметром середньої затримки в ряді випадків зручніша нерівність (6) замінити на умову

$$\tau_j \leq \tau_j^{\max} \quad (j=1,2, \dots, N), \quad (7)$$

де середня затримка обслуговування в тій чи іншій черзі може бути розрахована за відомою середній довжині черги на основі формули Літгла для будь-якої СМО. Використання системи умов є актуальною у випадку, коли чисельні значення необхідної середньої затримки (як параметра QoS) нормовані по окремих ділянках мережі. Тоді в процесі управління чергами важливо не перевищити ці задані для окремо взятої пари вузлів каналу значення середньої затримки пакетів, що особливо характерно при вирішенні задач щодо забезпечення гарантованого QoS в рамках архітектурної моделі досліджуваної мережі.

3. Модель системи оброблення інформаційних потоків за удосконаленням алгоритмом управління черг. В роботі представлений оригінальний алгоритм керування чергами інформаційних потоків, що базується на одному з відомих алгоритмів CBWFQ та запропонованого методу. Розробка алгоритму полягає у забезпеченні максимальної доступності високопріоритетної послуги зв'язку при збереженні ефективного розподілу мережного ресурсу іншим потоком, який забезпечується зваженим механізмом кругового обслуговування черг. З метою підвищення якості обслуговування та мінімізації втрати

пакетів інформації вводиться контроль за часом перебування в черзі пріоритетних пакетів. Узагальнений алгоритм обслуговування трафіку для моделі системи з m пріоритетними групами виглядатиме аналогічно. Утворюється m черг відповідно до пріоритетної групи. На початку кожної ітерації передачі інформації для кожного пакету пріоритетних черг оцінюється час перебування в черзі, якщо час перебування в черзі більше ніж Δt_m , тоді ці пакети класифікуються як прострочені та ставляться в першу позицію найкоротшої черги, що має пріоритет менший. Такі дії виконуються послідовно для всіх прострочених пакетів всіх пріоритетних груп. Отже, розміри черг повинні бути такими, щоб виконувалась умова, що час який буде чекати пакет, що останній став в чергу, повинен бути не більше $\Delta t_{m \max}$, (часу максимальної затримки рафіку p -ї пріоритетної групи), для знаходження кількості пакетів в черзі необхідно дотримуватись значення границі:

$$N_p(m) = \lim_{t_{N_p(m)} \rightarrow \Delta t_{m \max}} V_{process_m} \cdot t_{N_p(m)} = V_{process_m} \cdot \Delta t_{m \max}, \quad (8)$$

де $N_p(m)$ - кількість місць в черзі p -ї пріоритетної групи від загальної черги в мережевому пристрої $t_{N_p(m)}$ - час обробки обслуговуючим мережевим пристроєм всіх $N_p(m)$ пакетів з черги p -ї пріоритетної групи, $V_{process_m}$ - швидкість обслуговування пакетів p -ї пріоритетної групи.

Наприклад, для пакетів відео трафіку

$$N_p(\text{video}) = \lim_{t_{N_p(\text{video})} \rightarrow \Delta t_{\text{video} \max}} V_{process_{\text{video}}} \cdot t_{N_p(\text{video})} = V_{process_{\text{video}}} \cdot \Delta t_{\text{video} \max}, \quad (9)$$

де $N_p(\text{video})$ - кількість місць у черзі відео трафіку.

Після того, як розмір черг був встановлений є потреба роз'яснити поведінку системи в цілому. При надходженні пакетів до вузла вони ставляться в чергу відповідно до пріоритетної групи. Як вже було з'ясовано для пріоритетних пакетів задаються інтервали часу Δt_m та $\Delta t_{m \max}$, на основі даних про них формуються черги. Відомо, що $\Delta t_m < \Delta t_{m \max}$. Пакети, що знаходяться в черзі довше Δt_m вважаються простроченими. Для того, щоб на кожній ітерації не виявляти прострочені пакети (виконання зайвих дій), є можливість ставити мітки тим пакетам, що потрапили в хвіст черги і явно стануть простроченими (отримають мітку lim), якщо будуть послідовно обслуговуватися в своїй черзі. Місця черги, що заповнюються пакетами, які гарантовано стануть простроченими, можна розрахувати за формулою:

$$N_p(m) = V_{process_m} \cdot \Delta t_m. \quad (10)$$

Тобто всі пакети, що потрапили на місця черг в інтервалі $[N_p(m), N_p^{\text{lim}}(m)]$, отримають мітку lim (прострочені). Якщо запропонувати перенесення цих пакетів одразу після їх надходження до черг наслідування, тоді збережеться цілісність задачі, суттєво спростяться розрахунки часу затримки повідомлень, та зменшиться кількість втрачених пакетів з пріоритетних груп, тому що останні позиції черг пріоритетних пакетів будуть порожніми. На рис. 1 показана робота запропонованого алгоритму для системи з трьома чергами: відео потоків (Video), голосових потоків (Voice) та потоків Інтернет трафіку (Data). Група черг наслідування складається з черги Інтернет трафіку. Група наслідування складається з черг непріоритетних пакетів або низько пріоритетних пакетів. Якщо Інтернет трафік класифікований деяким чином, і пакети різних класів Інтернет трафіку мають різні пріоритети, тоді всі або деякі з них можуть потрапити до групи наслідування. В рамках даної роботи робиться припущення, що події пов'язані з потраплянням пакетів до однієї з черг групи наслідування вважаються рівномірними.

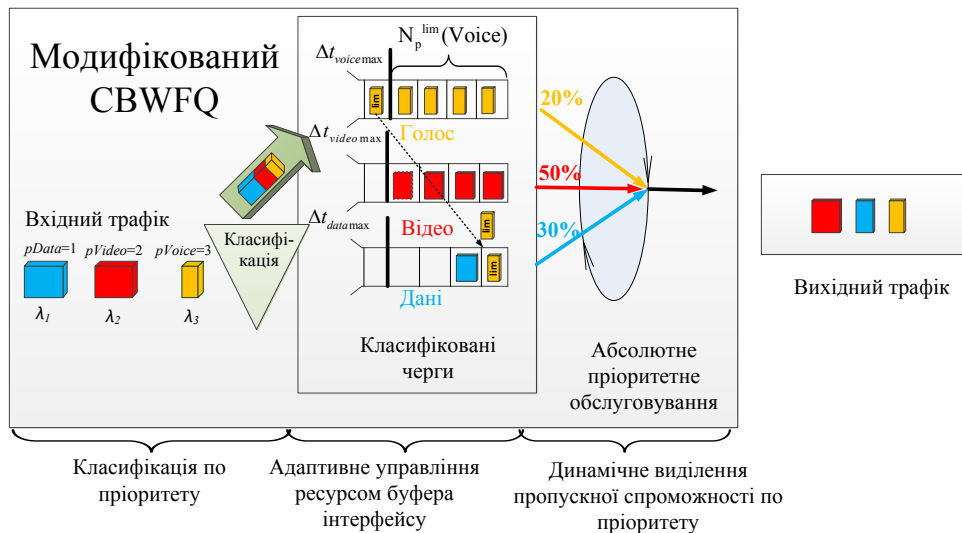


Рис. 1. Модель системи оброблення інформаційних потоків за удосконаленим алгоритмом управління черг М-СВВFQ у вузлах мережі

Запропонована модель системи оброблення інформаційних потоків за удосконаленим алгоритмом управління черг у вузлах корпоративної мережі алгоритм дає змогу ефективно передавати пакети пріоритетних типів трафіку, при цьому не завдаючи суттєвої шкоди для передачі непріоритетних потоків.

3. Імітаційна модель системи оброблення інформаційних потоків за удосконаленим алгоритмом управління черг у маршрутизаторах.

У роботі проведено практичний дослід щодо визначення характеристик потоків відео, голосу та даних. Встановлено, що трафік голосу, переважно передається малими розмірами пакетів, а такі послуги як відео та інтернет дані великими розмірами пакетів визначено на основі реальних даних з допомогою програми Wireshark. Виходячи із отриманих даних потоків розроблено імітаційну модель з реалізацією генерації досліджуваних потоків. На рис. 2. відображено профіль згенерованого вхідного мультисервісного трафіку та його гістограму розподілу пакетів по довжинах з якого видно, що переважаючим трафіком є голосові потоки з малим розміром пакетів, які є чутливими до затримки обслуговування.

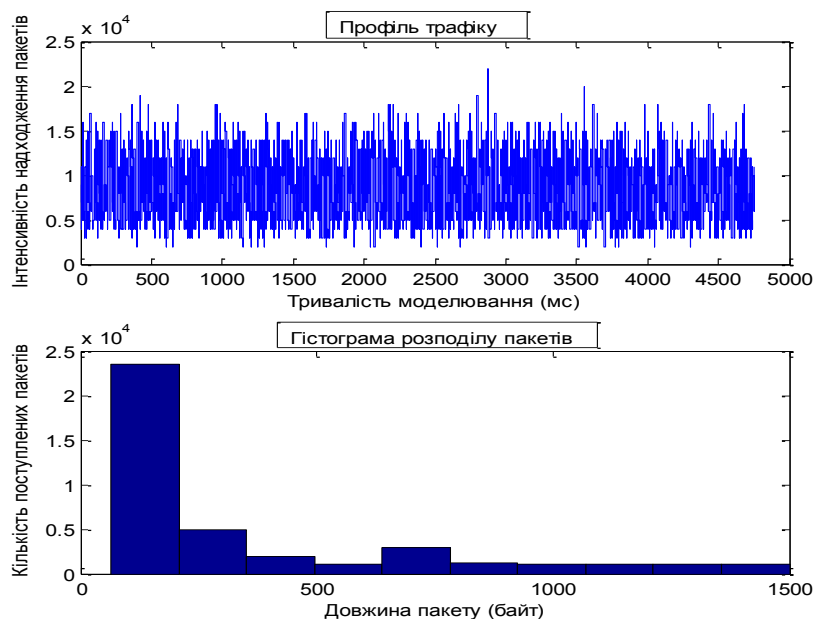


Рис. 2. Профіль трафіку та гістограма розподілу пакетів пророзміру

На рис. 3 показано блок схему імітаційного моделювання системи оброблення інформаційних потоків за удосконаленим алгоритмом управління черг у вузлах мережі NGN. Яка складається із виконання 10 етапів для досягнення мети щодо оцінки ефективності запропонованих рішень стосовно забезпечення гарантованої якості обслуговування в мережах нового покоління [7].

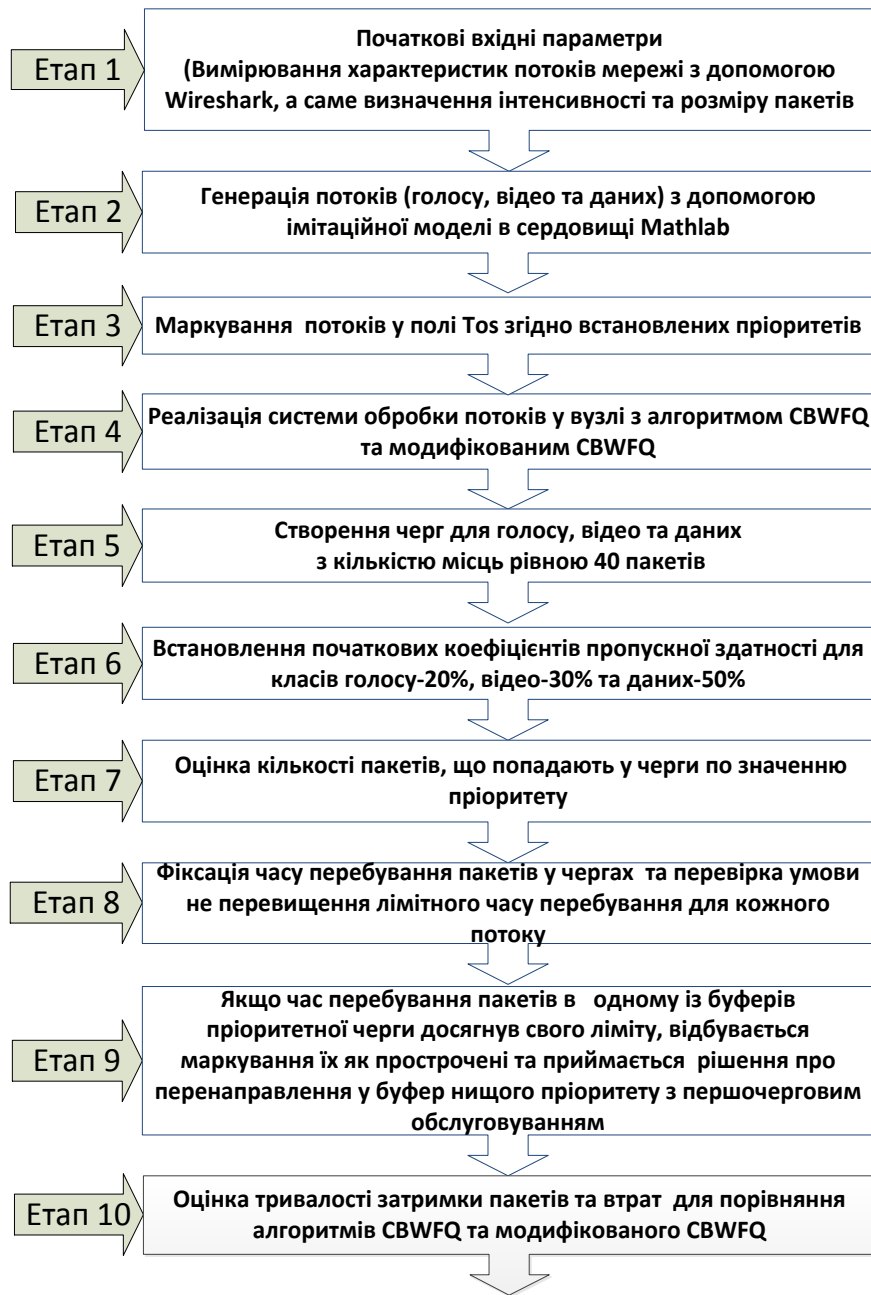


Рис. 3. Блок-схема етапів імітаційного моделювання

На рис. 4 а, б, в показано результати оцінки ефективності застосування розроблених рішень стосовно забезпечення необхідного рівня якості обслуговування. Відповідно проводилось моделювання та порівняння запропонованого алгоритму модифікованого CBWFQ із існуючим найбільш ефективним та використовуваним на практиці (Class Based Weighted Fair Queuing (CBWFQ)). Встановлено, що в умовах високої інтенсивності голосового потоку, сконфігуровані параметри для існуючого алгоритму CBWFQ є не достатніми, оскільки спостерігаються переповнення буфера голосового потоку вище встановленої межі.

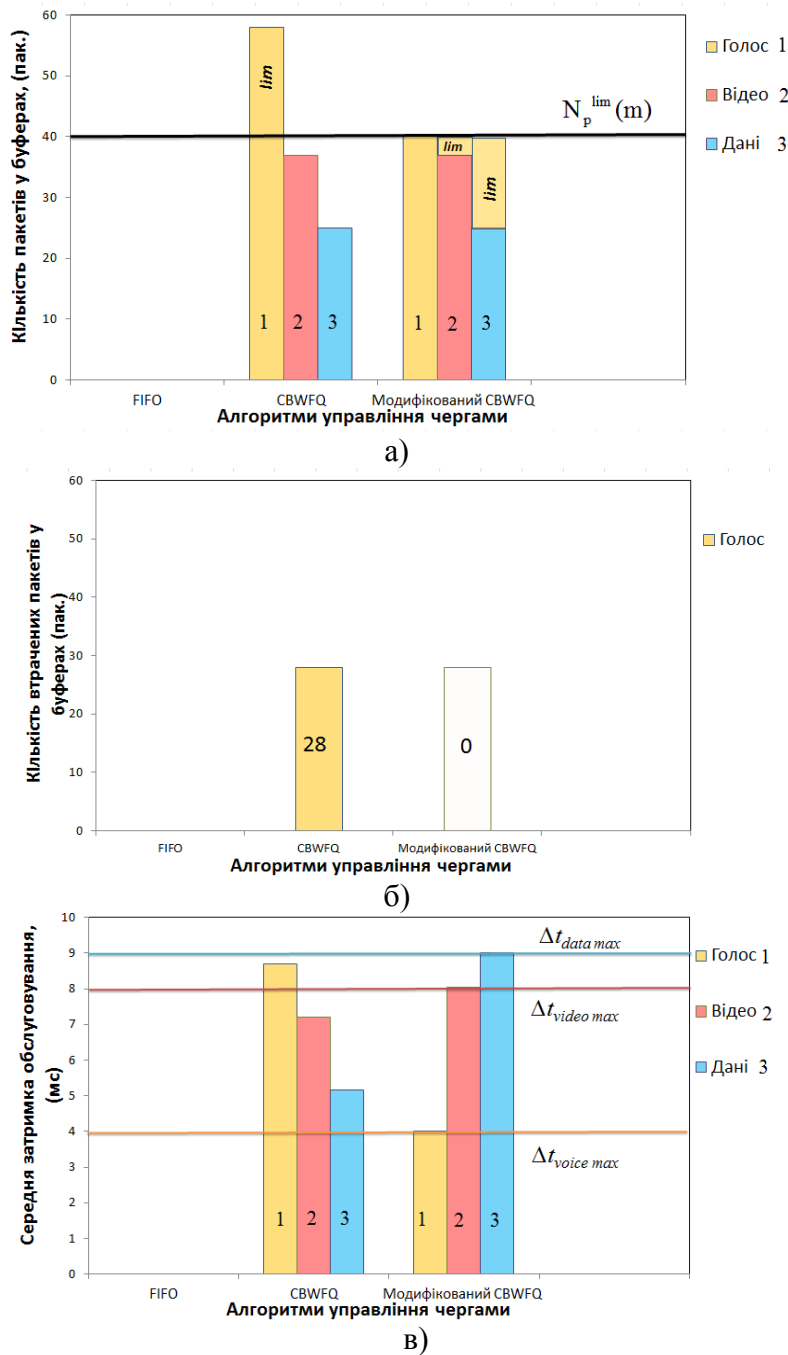


Рис. 4. Порівняння кількості пакетів у буфері б), втрачених пакетів в) середньої затримки в) обслуговування модифікованого алгоритму CBWFQ із існуючим CBWFQ

Це в свою чергу призводить до вимушеного відкидання пакетів згідного алгоритму WRED та виникнення значних втрат пакетів голосу, що вплине на якість розмови користувачів в NGN мережах. Внаслідок застосування удосконаленого алгоритму та із вище запропонованою моделю обслуговування, зменшується кількість пакетів у буфері голосового потоку до допустимого значення. А прострочені пакети надсилаються у вільно доступні черги нищої пріоритетності із вищою пропускну здатністю, що в свою чергу призводить до зменшення втрат та середньої затримки обслуговування у вузлі NGN мережі у 2 рази.

На практиці застосування запропонованого модифікованого алгоритму обслуговування черг у мережевих вузлах NGN мережі, дасть змогу зменшити тривалість оброблення пакетів та ймовірність втрат даних потоку реального часу із високим пріоритетом не погіршуючи якості низько пріоритетним.

На рис. 5 зображено схему мультисервісної мережі оператора із системою моніторингу функціонування мережі. У якій в моменти високої інтенсивності навантаження спостерігається погіршення якості обслуговування.

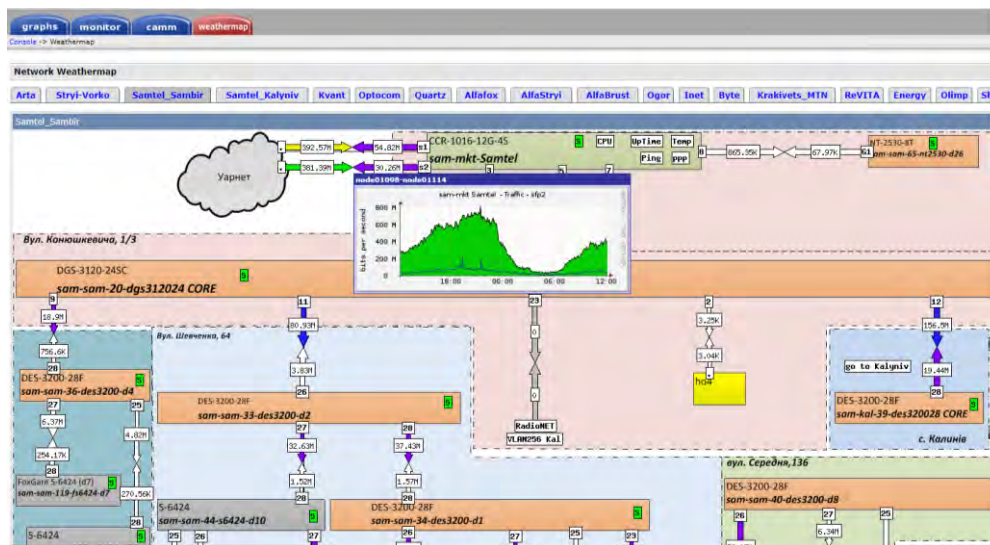


Рис. 6. Система моніторингу функціонування мультисервісної телекомунікаційної мережі

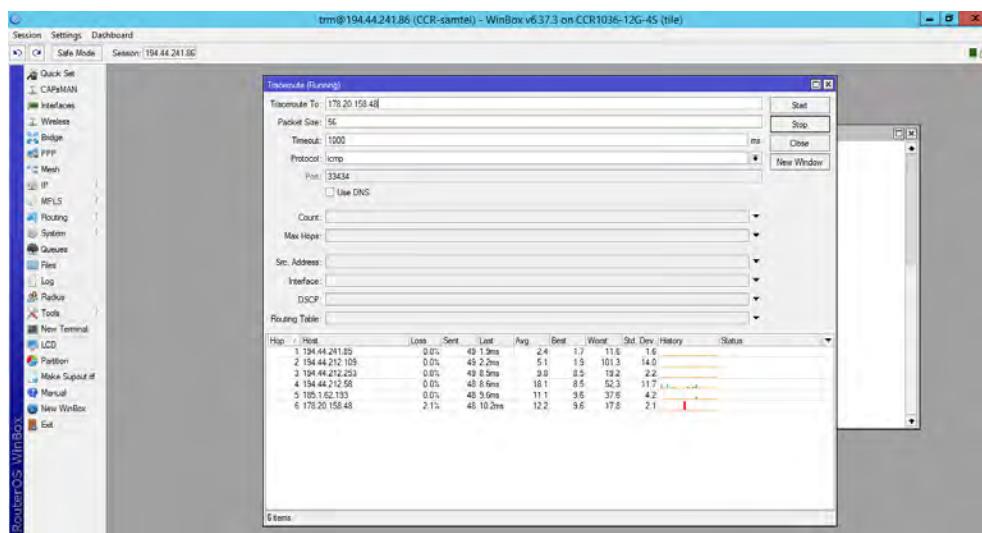


Рис. 7. Система моніторингу функціонування мультисервісної телекомунікаційної мережі

На рис. 7 проведено результат оцінки тривалості оброблення пакетів маршрутизатора рівня ядра, шляхом пінгування від сервера на якому встановлена система моніторингу. Внаслідок чого спостерігається затримка, що перевищує 10,2 мс та 2% втрат пакетів. Що при передаванні потоків реального часу є не допустим, якщо на шляху до адресата стоять аналогічні вузли з однотипним навантаження та кількість їх перевищує 10. Отже, забезпечити гарантовану якість потоків реального часу в даній мережі при кількості хопів більше 10 із застосуванням існуючих алгоритмах CBWFQ є неможливим. Що підтверджує доцільність впровадження у NGN мережах запропонованих рішень розглянутих у дисертаційній роботі.

Висновки

У роботі розроблено модифікований метод управління чергами в мультисервісних вузлах телекомунікаційної мережі. Одна з ключових відмінностей запропонованого рішення полягає в тому, що ведеться контроль за часом перебування в чергах пакетів і, в умовах перевищення допустимого часу очікування, пакет передається на чергу із нижчим пріоритетом та першочерговим обслуговування, що дає змогу підвищити ефективність розподілу мережевих ресурсів за критерієм якості обслуговування. Розроблено імітаційну модель маршрутизатора, який володіє функцією адаптивного вибору алгоритму обслуговування черг в умовах виникаючого явища випадкового сплеску трафіку характерних для мультисервісних мереж нового покоління. Адекватність розроблених моделей підтверджено на основі дослідження імовірнісних властивостей трафіку мультисервісної корпоративної мережі. В результаті проведення імітаційного моделювання доведено, що застосування розробленого методу управління трафіком у вузлах мережі надання іфокомунікаційних послуг в мережах нового покоління, призведе до покращення якості обслуговування потоків реального часу. А саме зменшено затримку обслуговування інформаційних послуг реального часу з кінця в кінець до 2 разів та зменшено ймовірність втрат пакетів на 3% із застосуванням удосконаленого алгоритму зваженого кругового обслуговування черг в мережевих вузлах мультисервісної мережі.

Список використаної літератури

1. C. Liu, J. Zhu and H. Liu, "Queue management algorithm for multiterminal and multi-service models of priority," 2017 14th IEEE Annual Consumer Communications & Networking Conference (CCNC), Las Vegas, NV, 2017, pp. 1-5.
2. Beshley M.M. Increasing the efficiency of real-time content delivery by improving the technology of priority assignment and processing of IP traffic / M. Beshley, M. Seliuchenko, O. Lavriv, V. Chervenets, H. Kholiavka, M. Klymash // Smart Computing Review, - 2015.- Vol.5,- No.2. – P.76-88
3. Бешлей М.І. Оцінка адекватності функціонування програмного маршрутизатора у процесі обслуговування мультимедійного трафіку // М.І. Бешлей, О.М. Селюченко, О.А. Лаврів, А.Р. Масюк, Г.В. Холявка// Вісник Національного університету «Львівська політехніка» №818. Радіоелектроніка та телекомунікації.
4. Бешлей М.І. Розвиток методів передавання даних реального часу шляхом вдосконалення процесів пріоритезації потоків у маршрутизаторах / М.І. Бешлей, В.В. Червенець, І.В. Демидов, В.І. Романчук, О.М. Панченко// Системи озброєння і військова техніка: наук. журнал - X: Харк. ун-т Повітр. Сил ім. Івана Кожедуба. - 2016. –№5(142) - С. 114-123. (Index Copernicus, Google scholar).
5. M. Klymash, M. Beshley and B. Stryhaluk, "System for increasing quality of service of multimedia data in convergent networks," 2014 First International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications Science and Technology, Kharkov, 2014, pp. 63-66.
6. M. Beshley, V. Romanchuk, M. Seliuchenko and A. Masiuk, "Investigation the modified priority queuing method based on virtualized network test bed," The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics, Lviv, 2015, pp. 1-4.
7. V. Romanchuk, M. Beshley, A. Polishuk and M. Seliuchenko, "Method for processing multiservice traffic in network node based on adaptive management of buffer resource," 2018 14th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET), Lviv-Slavske, Ukraine, 2018, pp. 1118-1122.
8. Beshley M. SOA quality management subsystem on the basis of load balancing method using fuzzy sets / M. Beshley, M. Klymash, B.Strykhalyuk, O. Shpur, B. Bugil, I. Kagalo //

International Journal of Computer Science and Software Engineering (IJCSSE). – 2015 - Volume 4 - Issue 1 – P.10-21.

9. R. B. Bahaweres, A. Fauzi and M. Alaydrus, "Comparative analysis of LLQ traffic scheduler to FIFO and CBWFQ on IP phone-based applications (VoIP) using Opnet (Riverbed)," 2015 1st International Conference on Wireless and Telematics (ICWT), Manado, 2015, pp. 1- 5.

Автори статті

Романчук Василь Іванович - кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри Телекомунікацій, Національний університет “Львівська політехніка”, Львів, Україна.

Бешлей Микола Іванович - кандидат технічних наук, асистент кафедри Телекомунікацій, Національний університет “Львівська політехніка”, Львів, Україна.

Панченко Олексій Михайлович - аспірант кафедри Телекомунікацій, Національний університет “Львівська політехніка”, Львів, Україна.

Поліщук Артур Васильович - аспірант кафедри Телекомунікацій, Національний університет “Львівська політехніка”, Львів, Україна.

Authors of the article

Romanchuk Vasyl Ivanovych – candidate of science (technic), assistant professor, assistant professor of the Department of Telecommunication, Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine.

Beshley Mykola Ivanovych – candidate of science (technic), assistant of the Department of Telecommunication, Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine.

Panchenko Oleksiy Mykhaylovych – post graduate student of the Department of Telecommunication, Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine.

Polishchuk Artur Vasyl'ovych – post graduate student of the Department of Telecommunication, Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine.

Дата надходження в редакцію: 29.03.2018 р.

Рецензент: д.т.н., проф. М.М. Климаш