

ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ ПІДТРИМКИ ЯКОСТІ ПОСЛУГ СУЧАСНИХ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ

© Луцький М., Муранов А., Муранов О., 2013

Запропоновано схему взаємодії технічних засобів служби підтримки якості обслуговування (QoS), що здатна забезпечити функціонування телекомунікаційної мережі згідно з правилами системи диференційованого обслуговування з гарантованим сервісом (ДОГС).

Ключові слова: пакетна мережа, технічні засоби, якість обслуговування, диференційне обслуговування з гарантованим сервісом

A scheme describing the interaction of hardware components supporting the service quality is suggested that enables telecommunications network operation in compliance with the rules of the differentiated care system with guaranteed service.

Key words: packet network, hardware, service quality, differentiated care with guaranteed service.

Вступ

У роботі розглянуто принципи функціонування технічних засобів підтримки служби QoS (Quality of Services, якості обслуговування) з використанням ресурсів мереж із пакетною комутацією за умов, коли ця служба здатна забезпечити обслуговування за системою ДОГС (диференційованого обслуговування з гарантованим сервісом). На відміну від поширеної у сучасних телекомунікаційних мережах системи пріоритетного обслуговування, система ДОГС забезпечує у реальному часі бажану для клієнта якість обслуговування, що диференційована за потоками кожного клієнта із множини. У цьому випадку встановлюються індивідуальні правила обробки інформації щодо кожного окремого потоку. Зокрема, здійснюється пріоритетне обслуговування потоків пакетів з урахуванням умов кожної окремої сервісної угоди з клієнтом. Для кожного прикладного застосування встановлюється необхідна йому ширина смуги пропускання каналу зв'язку. Керування величинами затримок та варіацій затримок протокольних блоків даних (PDU), а також зменшення відсотка втрат протокольних блоків даних під час передавання здійснюється з урахуванням індивідуальних вимог кожного окремого застосування [1, 2]. Вищезазнані можливості системи ДОГС мають забезпечуватися відповідними технічними засобами, відомостей щодо складу цих засобів та принципів їхнього функціонування у наукових публікаціях недостатньо. У цій роботі зроблена спроба усунути цю прогалину.

Постановка задачі розробки

На суттєві позитивні властивості технології ДОГС з достатньою повнотою вказують багато дослідників (див., зокрема [1, 2]), однак аспекти технічної реалізації засобів підтримки цієї технології ці й інші дослідники не розглядають. З огляду на високу перспективність цієї технології, у цій роботі поставлено завдання запропонувати одну із можливих технічних схем реалізації технології ДОГС, а також розглянути основні технічні характеристики обладнання, яке має забезпечити технічну підтримку цієї технології у реальних умовах її застосування.

Аналіз досліджень і публікацій

Основні характеристики технології ДОГС достатньо розглянуто у [1–3], проте відомостей щодо технічних засобів підтримки цієї технології у наявних публікаціях не виявлено.

Мета роботи

Запропонувати технологічну схему реалізації системи диференційованого обслуговування з гарантованим сервісом на основі використання ресурсів пакетних мереж та розглянути особливості побудови технічних засобів підтримки цієї системи в реальних умовах її застосування на практиці.

Узагальнена схема взаємодії технічних засобів підтримки системи ДОГС

Технічне забезпечення системи ДОГС здійснюється за допомогою служби підтримки якості обслуговування (служби QoS), що підтримує у реальному часі рівні пріоритетності потоків пакетів відповідно до встановленої політики забезпечення QoS, необхідну смугу пропускання для них, керування величинами затримок та варіаціями затримок PDU, а також зменшення відсотка втрат PDU під час передавання.

Узагальнену схему взаємодії технічних засобів служби QoS для випадку, коли вона функціонує згідно з правилами системи ДОГС, показано на рис.1. У цьому випадку до складу служби QoS входять такі елементи:

1) засоби формування та зберігання даних щодо контрольованих сервіс- та мережево-орієнтованих параметрів обслуговування для кожної із укладених сервісних угод (*SLA – Service level Agreement*);

2) засоби формування та зберігання прийнятих правил забезпечення якості обслуговування (сервер політики QoS);

3) засоби підтримки правил забезпечення якості обслуговування, згідно з якими здійснюється цілеспрямований вплив на мережеві елементи з метою раціонального розподілу ресурсів мережі між різними видами трафіку та потоками даних різних користувачів відповідно до умов сервісних угод, тобто керування механізмами служби QoS та обліку її ресурсів;

4) засоби реалізації протоколів сигналізації служби підтримки якості обслуговування (тобто протоколів QoS-сигналізації), за допомогою яких здійснюється координація роботи мережевих елементів у процесі підтримки заданих профілів обслуговування “із кінця в кінець” (сервер QoS-сигналізації);

5) локальні засоби виконання прийнятих правил підтримки якості надання послуг, що розташовані безпосередньо на вузлах телекомунікаційної мережі (ТКМ) і здійснюють обробку потоку PDU (зокрема пакетів IP) відповідно до умов сервісних угод (агенти служби QoS).

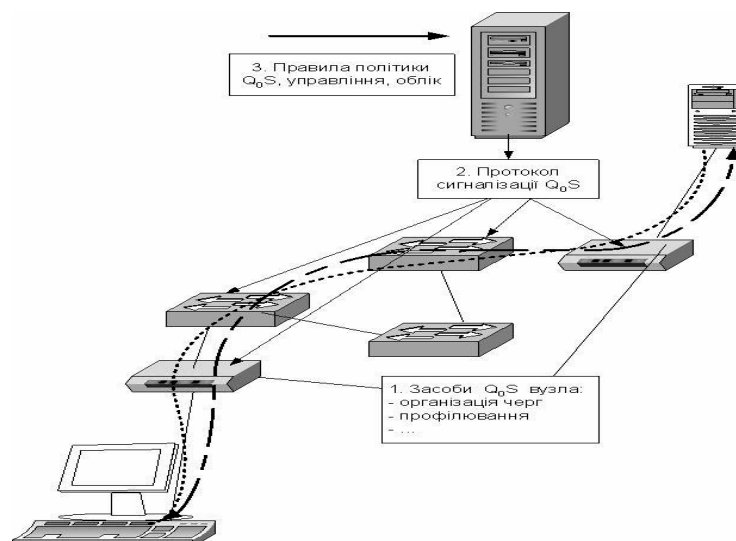


Рис. 1. Узагальнена схема взаємодії технічних засобів служби QoS

Технологічна схема функціонування системи ДОГС

Детальна технологічна схема функціонування системи ДОГС із протоколами служби підтримки якості послуг подана на рис. 2.

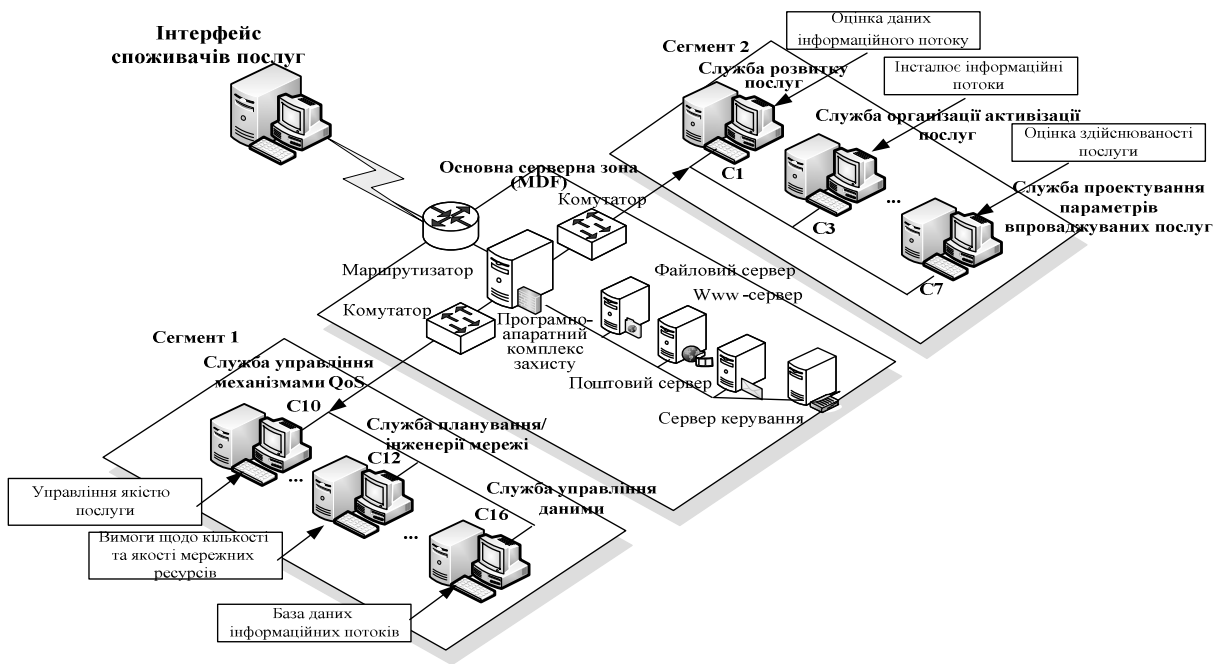


Рис. 2. Технологічна схема функціонування системи ДОГС

Із рис. 2 видно, що архітектура служби QoS реалізується за допомогою звичайної схеми централізованого управління типу “менеджер – агент”, де функції менеджера виконує сервер підтримки правил забезпечення QoS, що здійснює керування згідно із записаними на ньому правилами політики QoS, а функції агентів виконують засоби реалізації цих правил, що безпосередньо інтегровані у склад вузлового мережевого обладнання. При цьому роль протоколу мережевого керування виконує протокол сигналізації служби QoS.

Служба підтримки QoS має розподілений характер, оскільки її елементи наявні практично на всіх мережевих елементах, що беруть участь в просуванні та обробці протокольних блоків даних. Координація роботи розосереджених елементів цієї служби здійснюється засобами задіяних протоколів QoS-сигналізації. Крім того, до служби підтримки якості можна зарахувати засоби централізованого керування, за допомогою яких виконується узгоджене конфігурування як сервера QoS, так і механізмів QoS на кожному окремому елементі мережі. Засоби керування механізмами служби підтримки якості дають змогу мережевим адміністраторам задавати саме ті профілі обслуговування для користувачів, що зафіксовані у сервісних угодах SLA. Зокрема, ці засоби дають змогу адміністраторам створювати правила, згідно з якими мережеві пристрої здатні (на підставі заданих адміністратором наборів ознак) розпізнавати окремі типи трафіку і застосовувати до них визначені функції QoS.

Засоби служби підтримки QoS на телекомунікаційному вузлі

Вузлові засоби QoS виконують функції основних виконавчих механізмів служби підтримки якості, оскільки саме вони безпосередньо впливають на процес просування PDU між увідними та вивідними інтерфейсами комутаторів та (або) маршрутизаторів і, отже, визначають внесок кожного мережевого пристрою в показники якості обслуговування. Засоби QoS вузла реалізують механізми обслуговування черг, кондиціонування трафіку, керування буферами, керування уводом та контролю зі зворотним зв'язком.

Набір параметрів QoS, що характеризує певний потік PDU, називають профілем цього потоку. Для перевірки відповідності вхідного потоку заданому профілеві механізм кондиціонування здійснює виміри параметрів потоку. У разі порушення параметрів профілю, що виявляється за результатами перевірки відповідності (наприклад, перевищення тривалості пульсації або середньої швидкості),

реалізується одна із трьох можливих функцій обробки потоку: формування трафіку, відкидання окремих блоків із потоку або маркування PDU цього потоку.

На магістральних мережах передачі даних (МПД) використовується лише централізована система керування засобами служби підтримки якості [47]. У цьому випадку формуються єдині правила політики керування, узгоджені щодо всіх пристроїв мережі, які зберігаються на центральному сервері політики (або з метою підвищення надійності – на кількох серверах, що реплікують базу даних політики). Адміністратор конфігурує правила політики в одній точці, що знижує витрати його праці й кількість помилок. Потім за допомогою спеціального протоколу QoS-сигналізації ці правила поширюються на всі мережеві пристрої, котрі мають підтримувати необхідні рівні послуг. Ці мережеві пристрої застосовують визначену політику керування засобами служби QoS, зокрема, для кондиціонування трафіку або керування чергами відповідно до умов сервісних угод. Функції QoS-сигналізації виконує більшість конкретних протоколів підтримки QoS, таких як RSVP, DiffServ (у мережах TCP/IP), або протоколів служб CBR, VBR і ABR (у мережах ATM).

Протоколи сигналізації служби підтримки якості

Протоколи сигналізації служби підтримки якості потрібні для координації роботи механізмів *QoS*, що функціонують у вузлах мережі впродовж усього шляху проходження потоку (див. рис.1). Наприклад, за допомогою засобів сигналізації забезпечується можливість для окремого застосування зарезервувати необхідну йому середню пропускну здатність уздовж усього маршруту проходження пакетів (для мереж *IP* цю функцію підтримує протокол *RSVP*).

Один із найпоширеніших засобів сигналізації – маркування пакета ознакою, що дає інформацію про рівень обслуговування, необхідний для його обробки. Зазвичай для цього використовується поле пріоритету, що існує у форматах багатьох протоколів. У цьому разі пакет, просуваючись від пристрою до пристрою, переносить уздовж шляху проходження свої вимоги до якості обслуговування, але у досить узагальненій формі – тому що поле пріоритету має усього кілька можливих значень. Це означає, що якісне обслуговування за допомогою такого засобу сигналізації може надаватися диференційовано лише небагатьом агрегованим потокам.

Засоби сигналізації *QoS* встановлюються як на магістральних мережах, так і на мережах абонентського доступу. Але в багатьох випадках координацію механізмів *QoS* здійснюють не на усьому шляху проходження потоку, а тільки в межах окремих мереж абонентського доступу. Наприклад, маршрутизатор абонентського доступу на стороні постачальника послуг інсталюється на виконання лише класифікації трафіку та здійснення функції резервування певному потокові визначеної величини пропускну здатності транспортного каналу. Це, звичайно, не сприяє диференційованості у підтримці якості обслуговування щодо окремих застосувань клієнтів мережі, але спрощує вимоги до реалізації засобів підтримки якості.

На мережах передачі даних (МПД) загального користування залежно від конкретних умов надання послуг використовуються як централізована, так і децентралізована системи керування засобами служби підтримки якості. Централізовані системи керування засобами *QoS* іноді називають **службами *QoS*, базованими на політиці (policy-based *QoS*)**.

У певних випадках на мережах абонентського доступу правила політики підтримки якості конфігуруються і зберігаються окремо в кожному активному мережевому пристрої. Однак це потребує від адміністратора такої мережі значних зусиль щодо координації засобів *QoS* і, як наслідок, породжує підвищену кількість помилок, що може призвести до неузгодженої роботи мережевих пристроїв.

На магістральних МПД використовується лише централізована система керування засобами служби підтримки якості, яка і наведена на рис. 1. У цьому випадку формуються єдині правила політики керування, узгоджені щодо всіх пристроїв мережі, які зберігаються на центральному сервері політики (або з метою підвищення надійності – на кількох серверах, що реплікують базу даних політики). Адміністратор конфігурує правила політики в одній точці, що знижує витрати

його праці і кількість помилок. Потім за допомогою спеціального протоколу *QoS*-сигналізації ці правила поширюються на всі мережеві пристрої, котрі мають підтримувати необхідні рівні послуг. Ці мережеві пристрої застосовують визначену політику керування засобами служби *QoS*, зокрема для кондиціонування трафіку або керування чергами відповідно до умов сервісних угод.

В багатьох випадках правила політики формуються не тільки для керування засобами *QoS*, але і для координації мережевих пристроїв під час виконання інших функцій, наприклад, функцій захисту інформації. Тому централізована система керування засобами *QoS* входить до складу централізованої системи підтримки визначеної політики забезпечення правил функціонування мережі і базується на загальній довідковій службі мережі (*Directory Service*), що зберігає всі необхідні для її функціонування облікові дані.

Відповідно до прийнятої моделі служби підтримки якості надання послуг функції *QoS*-сигналізації виконує більшість конкретних протоколів підтримки *QoS*, таких як *RSVP*, *DiffServ* (у мережах *TCP/IP*) або протоколів служб *CBR*, *VBR* і *ABR* (у мережах *ATM*).

Алгоритми управління чергами

На рівні окремих мережевих елементів підтримка якості надання послуг за системою ДОГС основана на використанні певних алгоритмів обробки черг пакетів. Механізми реалізації таких алгоритмів використовуються в будь-якому мережевому пристрої, що працює на основі механізму комутації пакетів, – у маршрутизаторі, у комутаторі локальної або глобальної мережі, в обладнанні кінцевого вузла тощо. Винятком є тільки повторювачі, які пакетів не розрізняють, а працюють на рівні потоків бітів. Обробка пакетів у чергах потрібна під час тимчасових перенавантажень мережевих пристроїв, коли вони внаслідок обмеженості пропускної здатності не можуть просувати через себе пакети у тому темпі, у якому вони надходять до їхніх увідних портів. Якщо причиною перенавантаження є процесорний блок мережевого пристрою, то для тимчасового збереження неопрацьованих пакетів використовується вхідна черга, тобто черга, пов'язана з увідним інтерфейсом. Якщо ж причина перенавантаження полягає в обмеженій швидкості вивідного інтерфейсу (ця швидкість завжди обмежена теоретично максимальною швидкістю підтримуваного протоколу), то пакети тимчасово зберігаються у вихідній черзі.

Головним за ступенем впливу на виникнення черг фактором є **коефіцієнт навантаження пристрою (*utilization*)** — відношення середньої сумарної інтенсивності вхідного трафіку пристрою до середньої сумарної інтенсивності вихідного трафіку, що вимірюються на у певний спосіб вибраному інтервалі усереднення.

Якщо на інтервалі усереднення інтенсивність вхідного трафіку буде вищою, ніж інтенсивність просування пакетів через пристрій на вивідний інтерфейс, то коефіцієнт навантаження пристрою буде більшим за одиницю. В цьому випадку на увідному інтерфейсі пристрою (точніше – у буферній пам'яті увідного порту цього пристрою) виникне черга, і її довжина за таких умов прямувала б до нескінченності, якби не працювали механізми обробки черг, що виникають.

Якщо коефіцієнт навантаження менший за одиницю і до увідного порту пристрою надходить рівномірний потік пакетів, то в такій ситуації черг не виникне зовсім. Але якщо у межах інтервалів усереднення існує певна варіація в надходженні пакетів у пристрій, то за таких умов можуть виникати черги, навіть якщо коефіцієнт навантаження менший за одиницю. І більше, ці черги можуть мати досить значну середню довжину. Чим більша варіація, тим більша середня довжина черги. Тому варіація інтервалів надходження пакетів є важливим (поряд з коефіцієнтом навантаження) фактором, що впливає на поведінку черг.

Пульсуючий характер багатьох типів трафіку, коли коефіцієнт пульсацій на певних проміжках часу дорівнює 100:1 і більше, зумовлює виникнення суттєвих за розміром черг. Практика експлуатації мереж показує, що навіть за значень коефіцієнта навантаження сегмента мережі на рівні 0,5 (наприклад, у локальних мережах *Ethernet*) затримки доступу до мережі бувають значними, що змушує використовувати ці мережі з коефіцієнтом навантаження сегмента не більше як 0,3.

Наслідком виникнення черг є погіршення якості обслуговування трафіку. Зокрема, виникають затримки в процесі транспортування пакетів, що мають до того ж непостійний характер, тобто спостерігаються варіації затримок. Під час тривалих пульсацій потоку пакетів черги можуть зростати настільки, що пакети не вміщуються в буферну пам'ять мережевих пристроїв і втрачаються.

Щоб зменшити (а в ідеалі – нейтралізувати) негативний вплив наведених вище факторів на якість надання послуг, служба підтримки якості використовує такі методи:

1) попереднє резервування частки пропускну здатності обладнання для потоків із відомими параметрами *QoS* (наприклад, із відомими значеннями середньої інтенсивності потоку та його пульсації);

2) примусове профілювання вхідного трафіку, що в деяких випадках дозволяє підтримувати коефіцієнт навантаження пристрою на потрібному рівні;

3) використання складних алгоритмів керування чергами.

Найчастіше у маршрутизаторах і комутаторах застосовуються такі алгоритми обробки черг:

– традиційний алгоритм *FIFO*;

– пріоритетне обслуговування (*Priority Queuing*);

– зважене обслуговування (*Weighted Queuing, WQ*);

– зважене справедливе обслуговування (*Weighted Fair Queuing, WFQ*).

Кожен із вищезазначених алгоритмів має певну сферу використання. Можливе і комбіноване застосування цих алгоритмів. Однак у системі ДОГС доцільно використати модифікований алгоритм пріоритетного обслуговування, що розглянуто нижче.

Модифікований алгоритм пріоритетного обслуговування

Алгоритми пріоритетної обробки черг (*Priority Queuing*) використовуються, коли у суміші потоків пакетів, що транспортуються через канал із даними різнорідних прикладних застосувань, необхідно забезпечити перевагу в обробці одних застосувань над іншими. Зокрема, використовуються ці алгоритми для забезпечення переваги в обробці одного класу трафіку порівняно з іншими класами. Однак модифікований механізм пріоритетної обробки трафіку, що використовується для реалізації системи ДОГС, має бути оснований на поділі усього можливого за таких умов мережевого трафіку на велику кількість потоків і призначенні кожному потокові числової ознаки – пріоритету. Поділ на окремі потоки (класифікація) може здійснюватися різноманітними способами. Правила класифікації пакетів являють собою частину політики керування мережею.

Спосіб класифікації, як правило, не пов'язується безпосередньо з роботою алгоритмів обслуговування на основі пріоритетів – головне, щоб усі потоки пакетів, що надходять у чергу, мали ознаки пріоритетів. Пакети можуть розділятися на окремі потоки відповідно до типу мережевого протоколу, наприклад *IP*, *IPX* або *DECnet* (зрозуміло, що такий спосіб класифікації підходить тільки для пристроїв, що працюють на каналному рівні за семирівневою моделлю *OSI ISO*), або на підставі адрес призначення і відправника, або ідентифікатора застосувань, або будь-яких інших комбінацій ознак, що містяться у полях форматів задіяних мережевих протоколів.

Точка класифікації трафіку може розміщатися як у самому пристрої, так і поза ним. Доцільно здійснювати класифікацію трафіку в одному або у кількох пристроях, що розташовані на інтерфейсах “користувач – постачальник послуг”, наприклад, у маршрутизаторах абонентського доступу або на стороні покупців послуг (зокрема, у комутаторах корпоративної мережі, до яких під'єднуються комп'ютери користувачів). Подібний варіант класифікації вимагає наявності у форматі пакетів спеціального поля для ознаки пріоритету, щоб ним могли скористатися інші мережеві пристрої, що обробляють трафік після пристрою, який здійснює функцію класифікації. Таке поле існує у специфікаціях заголовків багатьох мережевих протоколів. Якщо ж специфікація протоколу не передбачає існування спеціального поля пріоритету, для класифікації трафіку слід використати додатковий протокол, що вводить новий заголовок із таким полем. Так, наприклад, у форматах більшості варіантів протоколу *Ethernet* поля пріоритету не існує. Тому, якщо їх використовують для забезпечення можливості класифікації трафіку, застосовують спеціально розроблений протокол за специфікацією *IEEE 802.1Q/p*, що має додаткове трибітне поле пріоритету.

Пріоритети можуть призначатися не тільки комутатором або маршрутизатором, але і прикладним застосуванням у вузлі-відправнику.

Необхідно також враховувати, що в процесі транспортування пакета будь-який мережевий пристрій, через який має просуватися цей пакет, може “не погодитися” з призначеним в іншій точці мережі пріоритетом цього пакета. У цьому випадку такий мережевий пристрій переписує значення пріоритету відповідно до своєї локальної політики. Тому, щоб унеможливити виникнення таких ситуацій, доцільно впроваджувати засоби підтримки централізованої політики служби *QoS*, що забезпечують скоординовану роботу елементів мережі.

Механізм обробки трафіку за системою ДОГС

Цей механізм функціонує так. Відповідно до кількості диференційованих потоків на виході буферної пам'яті мережевого пристрою створюється кілька черг. Пакет, що надійшов під час перенавантажень, спрямовується до черги, котра відповідає його пріоритетному класові.

На рис. 3 наведено приклад використання чотирьох окремих потоків із високим, середнім, нормальним і низьким пріоритетом. Пріоритети черг визначають абсолютний характер переваги під час обробки пакетів, тобто поки з пріоритетнішої черги не будуть оброблені усі наявні пакети, пристрій не повинен переходити до обробки наступної, менш пріоритетної черги.

Тому пакети із середнім пріоритетом завжди обробляються тільки тоді, коли черга пакетів із високим пріоритетом порожня. Відповідно пакети з низьким пріоритетом обробляються тільки тоді, коли порожні усі пріоритетніші черги: з високим, середнім і нормальним пріоритетами. Фізично пакети, що очікують обслуговування в чергах, розміщуються у буферній пам'яті портів мережевого пристрою. Ця буферна пам'ять має скінченний розмір. Максимальна довжина буфера визначає максимальну кількість пакетів, що можуть зберігатися в черзі цього пріоритету. Тому під час мережевого адміністрування необхідно враховувати можливість переповнення черг і виконувати відповідні дії.

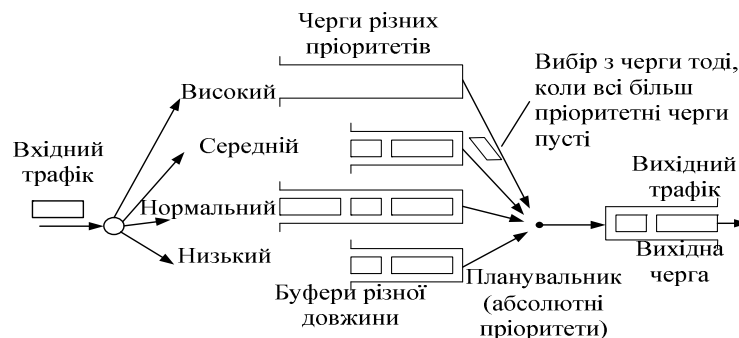


Рис. 3. Диференційоване обслуговування черг за системою ДОГС

На практиці “за замовчуванням” усім пріоритетним чергам виділяються однакові за розміром буфери. Але диференційоване обслуговування передбачає використання механізму створення буферів з індивідуальним для кожної черги розміром пам'яті.

Оптимальний розмір буфера визначається в ідеальному випадку так, щоб його вистачало з деяким запасом для збереження черги середньостатистичної довжини.

Однак визначити цей розмір, хоча б приблизно, в реальних умовах досить складно, оскільки характеристики пульсацій трафіку зумовлені багатьма важкопередбачуваними факторами. Тому потрібне постійне і тривале спостереження за роботою мережі. У загальному випадку розмір буферної пам'яті вибирають із таких суб'єктивних міркувань: чим вища цінність трафіку у застосуваннях користувачів, а також чим більша його інтенсивність і пульсації, тим більший розмір буфера потрібно виділити для нього. У прикладі, наведеному на рис. 3, для трафіку вищого і нормального пріоритетів вибрано великі розміри буферної пам'яті, а для інших двох потоків – менші розміри. Мотиви прийнятого рішення щодо вищого пріоритету – очевидні. Щодо трафіку нормального пріоритету припускають, що він має високу інтенсивність і значний коефіцієнт пульсацій.

Диференційоване обслуговування черг забезпечує високу якість обслуговування для пакетів із черги з найвищим пріоритетом. Якщо середня інтенсивність їхнього надходження у пристрій не перевершує пропускну здатність вихідного інтерфейсу (і продуктивності внутрішніх блоків самого пристрою, що просувають пакети), то пакети вищого пріоритету завжди одержують ту пропускну здатність, яка їм потрібна. Рівень затримок високопріоритетних пакетів також мінімальний. Однак він не нульовий і залежить переважно від характеристик потоку цих пакетів: чим сильніші пульсації потоку і його інтенсивність, тим вищий рівень затримок. Трафік всіх інших пріоритетних класів майже прозорий для пакетів вищого пріоритету. Слово “майже” стосується ситуації, коли високопріоритетний пакет повинен очікувати на завершення обслуговування низькопріоритетного пакета, тому що його прихід збігся за часом із початком просування низькопріоритетного пакета на вихідний інтерфейс.

Висновок

Запропонована у роботі схема взаємодії технічних засобів служби підтримки якості обслуговування (QoS) здатна забезпечити функціонування телекомунікаційної мережі згідно з правилами системи ДОГС, тобто забезпечити підтримку у реальному часі необхідних рівнів пріоритетності потоків пакетів відповідно до встановленої політики забезпечення QoS, потрібну смугу пропускання для них, задану норму щодо відсотка втрат PDU, а також коректне керування величинами затримок та варіацій затримок PDU під час передавання пакетних даних каналами мережі.

1. Конахович Г. Ф. Сети передачи пакетных данных / Г. Ф.Конахович, В. М. Чуприн. – К. : МК-Пресс, 2006. – 272 с. 2. Муранов А. С. Синтез моделей диференційованого обслуговування з гарантованим сервісом на базі використання ресурсів комп'ютерних мереж / А. С. Муранов, Ю. А. Кочергін // Проблеми інформатизації та управління : зб. наук. праць. – К. : Вид-во Нац. авіац. ун-ту, 2009 – Вип.1(25). – С. 128–136. 3. Олифер В. Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протокол / В. Г. Олифер, Н. А. Олифер. – СПб: Питер, 2001. – 672 с.