

УДК 004.713, 004.715, 004.724, 004.725

Ю.В.Каун, Я.В.Максимович

Луцький інститут розвитку людини ВМУРоЛ "Україна"

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ КОМУТАЦІЇ В МЕРЕЖАХ

В статті розглянуте зближення мережевих технологій, поставлені задачі комутації, визначені критерії проектування та робочі вимоги до комутаторів, визначені вузькі місця, запропоновані шляхи вирішення, вибрана як буферна багатопортова сортувальна пам'ять.

Ключові слова: комутація, мережеві технології, сортувальна пам'ять.

Вступ

Масштабована та розширювана природа Інтернету приводить до неконтрольованого та швидкого приросту його елементів (числа користувачів, хостів, посилянь, виконуваних додатків) [1]. Великий успіх Інтернету спричиняє експоненційне збільшення розміру трафіку, стимулює безпрецедентні вимоги до місткості базових мереж. Мережеві провайдери стикаються з потребою забезпечення нової мережевої інфраструктури, яка може підтримувати цей приріст трафіку в первинній мережі. Поточна базова мережа переважно складається з АТМ - комутаторів і ІР - маршрутизаторів, де АТМ - комірки і ІР-пакети переносяться по оптичному фізичному рівню, наприклад синхронних оптичних мереж (SONET). АТМ забезпечує різні вимоги якості обслуговування (QoS) для різних мультимедійних послуг.

Разом зі зростанням Інтернету ІР став домінуючим протоколом для трафіку даних і починає домінувати також у передачі голосу та відео. Мережеві провайдери оцінили економію витрат і переваги продуктивності поєднання голосу, даних і відеопослуг у загальній мережевій інфраструктурі замість надрівневої структури. Багатопротокольна комутація за міткою (MPLS) - технологія, що комбінує вигідні особливості АТМ, короткі мітки, явну маршрутизацію та дейтаграмні ІР-мережі без встановлення з'єднання [2]. Мережа MPLS також забезпечує трафіку технічну можливість досягнення необхідної пропускної спроможності, швидкого відновлення, балансування завантаженості, послуги віртуальних приватних мереж (VPN). Оскільки принцип передавання в мережах MPLS і АТМ, базується на механізмі заміщення міток, технологія MPLS може бути використана до комутаторів АТМ шляхом використання компонента керування. Тому так звані LSR-маршрутизатори, що здійснюють комутацію за міткою, можуть бути також маршрутизаторами ІР, комутаторами АТМ або комутаторами Frame Relay [3].

Інфраструктура широкосмугових комунікацій базується на взаємозв'язаних мережах різного масштабу. Незалежно від протоколів верхнього рівня Х.25, Frame Relay, АТМ або ІР - на найнижчому завжди знаходяться високошвидкісні комутатори (switches) - пристрої, призначені для виконання комутації. Комутатор здійснює комутацію вхідних в його порти інформаційних потоків, направляючи їх у відповідні вихідні порти.

Інформаційним потоком (data flow, data stream) називають послідовність даних, об'єднаних набором загальних ознак, який виділяє ці дані із загального мережевого трафіку. Дані можуть бути представлені у вигляді послідовності байтів або об'єднані в крупніші одиниці даних - пакети, кадри, комірки. У завданні комутації при визначенні потоків в ролі обов'язкових ознак потоку, вочевидь, повинні виступати адреса відправника і адреса призначення даних. Тоді кожній парі кінцевих вузлів відповідатиме один потік і один маршрут. Ознаки потоку можуть мати глобальне або локальне значення. У першому випадку вони однозначно визначають потік в межах всієї мережі, а в другому - в межах одного транзитного вузла. Пара унікальних адрес кінцевих вузлів для ідентифікації потоку - це приклад глобальної ознаки. Прикладом ознаки, що локально визначає потік в межах пристрою, може служити номер (ідентифікатор) інтерфейсу пристрою, з якого поступили дані.

У стандартах ІСО для позначення одиниць даних в протоколах різних рівнів, використовується загальна назва протокольний блок даних (Protocol Data Unit, PDU). Надалі ми будемо використовувати це позначення одиниць даних в процедурах обміну незалежно від використовуваної технології.

Завданнями даного дослідження є сформулювати задачі комутації в мережах, щоб визначитись з критеріями проектування, робочими вимогами до комунікаційного обладнання, їх функціями та архітектурою, визначити вузькі місця та запропонувати шляхи вирішення.

У найзагальнішому вигляді завдання комутації - з'єднання кінцевих вузлів через мережу транзитних вузлів - може бути представлена у вигляді декількох взаємозв'язаних часткових завдань:

- визначення інформаційних трафіків, для яких потрібно прокласти шляхи;
- визначення маршрутів для трафіків;
- повідомлення про знайдені маршрути вузлам мережі;
- просування - розпізнавання трафіків і локальна комутація на кожному транзитному вузлі;
- мультиплексування і демуплексування трафіків.

Вимоги до комутаційного обладнання

Головними вимогами до сучасних мереж і, відповідно, до комунікаційного обладнання є збільшення пропускної спроможності та поліпшення інших характеристик даного устаткування і мережі в цілому. Сучасна комутація відрізняється від традиційної використанням високошвидкісних інтерфейсів, причому продуктивність внутрішньої комутаційної матриці може досягати десятків гігабіт в секунду. Крім того, необхідно забезпечити можливість статистичного мультиплексування потоків, що проходять через комутаційні системні модулі. Нарешті, передача різних видів трафіку з несхожими вимогами до кількісних характеристик функціонування мережі (доля втрачених блоків даних, допустимий відсоток помилок, час затримки) є непростим завданням. Комутатори не повинні обмежуватись буферизацією і маршрутизацією, щоб задовольняти цим критеріям. Вони є складними структурами, що складаються з декількох інтегрованих модулів, які здатні передавати потік даних, управляти трафіком, окремими з'єднаннями та взагалі мережею.

Загальна структура комутатора

Комутатор володіє безліччю вхідних і вихідних портів, що забезпечують зв'язок з серверами і клієнтськими станціями, а також з іншими комутаторами і мережевими елементами. Він може мати додаткові інтерфейси для обміну управляючою інформацією зі спеціалізованими мережами. Теоретично комутатор є інтегрованим пристроєм, призначеним для передачі блоків даних, реалізації процедур управління з'єднаннями і адміністрування. На практиці він виконує і деякі функції міжмережової взаємодії з метою підтримки ряду послуг, таких як комутована мультимегабітна служба передачі даних (SMDS) і служба ретрансляції кадрів (Frame Relay).

Незалежно від мережової технології будь-який комутатор представимо як набір незалежних функціональних модулів: вхідних, вихідних, поля комутації, управління комутатором, контролю за встановленням з'єднань (рис.1.)

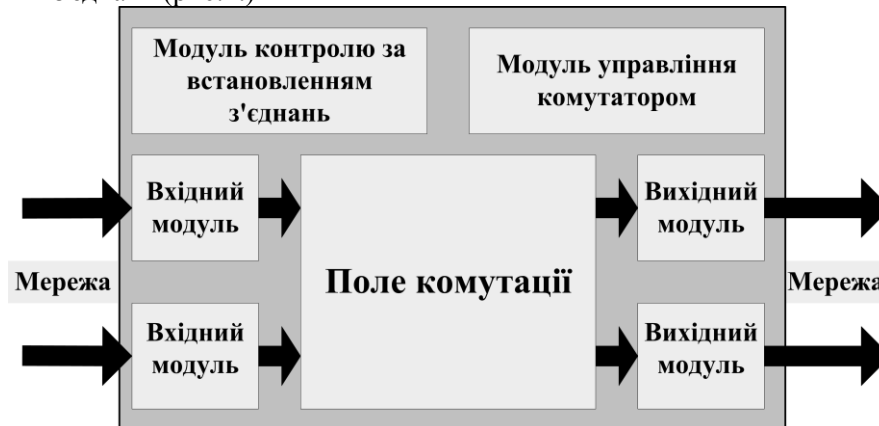


Рис.1. Загальна структура комутатора

Основна функція комутатора полягає в передачі протокольних блоків даних з вхідних портів на вихідні. Комутатор аналізує лише заголовки, для їх вмісту він є прозорим. Відразу після надходження PDU через вхідний порт здійснюється обробка службової інформації, що міститься в ньому, яка необхідна для пересилки блоку даних на відповідний вихідний порт.

Цю процедуру реалізують наступні функціональні блоки:

- модуль надходження на вхідний порт;
- комутаційне поле (комутаційна матриця), яке фактично виконує маршрутизацію усередині комутатора;
- модуль передачі з вихідного порту.

Вхідні модулі приймають вхідний сигнал, виділяють потік блоків даних, обробляють заголовки, структурують PDU, корегують швидкості їх передачі, перевіряють заголовки на наявність помилок, визначають вихідний порт, доповнюють тег для внутрішньої маршрутизації та моніторингу призначеної для використання усередині комутатора інформації.

Вихідні модулі готують потоки блоків даних для фізичної передачі: обробляють і видаляють внутрішні теги, при необхідності транлюють значення VPI/VCI, коректують швидкості передач PDU; при необхідності упаковують блоки даних в корисне навантаження мережі фізичного рівня, наприклад SONET, генерують відповідні заголовки; перетворюють цифровий потік біт в фізичний сигнал.

Модуль контролю за встановленням з'єднання встановлює, модифікує і розриває з'єднання віртуальних шляхів і каналів, відповідає за сигнальні протоколи верхніх рівнів, сигнальні функції, за підтримку інтерфейсів з мережею сигналізації, за узгодження з користувачами контрактів на обслуговування (SLA) характеристик трафіку, за розподіл ресурсів комутатора при організації з'єднань (включаючи вибір маршрутів) і інше.

Модуль може реалізовуватись централізовано та розподілятися по блоках вхідних модулів (складна реалізація). В деяких комутаторах кожен з вхідних модулів має власну процедуру контролю за встановленням з'єднання та невелике поле маршрутизації блоків даних. Відмітимо також, що частина розподілених функцій модуля може виконуватись вихідними модулями, що інкапсулюють управляючу інформацію верхніх рівнів у вихідні сигнальні блоки.

Модуль управління комутатором реалізує процедури фізичного і каналного рівнів, відповідає за управління конфігурацією компонентів комутатора і захистом його бази даних, знімає показники використання ресурсів комутатора, управляє трафіком, інформаційною базою поточних процедур адміністрування і інтерфейсом UNI, забезпечує інтерфейс з операційними системами, мережеве управління, обробку відмов і протоколювання облікової інформації, що відноситься до управління. Виконання цих функцій неможливе без ефективних зв'язків між ним і іншими функціональними блоками.

Централізоване управління комутатором деколи стає "вузьким" місцем, якщо модуль управління переобтяжений обробкою вимог. Аби уникнути перевантаження, функції даного модуля слід розподіляти серед вхідних модулів, які в цьому випадку контролюватимуть вхідні потоки блоків даних з метою обліку ресурсів і виміру характеристик функціонування комутатора. У свою чергу, вихідні модульні пристрої управління здатні контролювати вихідні потоки блоків даних.

Складність управління комутатором обумовлена перш за все надзвичайно широким спектром виконуваних ним функцій, які до того ж постійно еволюціонують.

Поле комутації відповідає за передачу блоків даних (інколи управління та сигнальних) між іншими функціональними блоками, за концентрацію та мультиплексування трафіку, маршрутизацію та буферизацію блоків даних, підвищення відмовостійкості комутатора, багатадресну та широкомовну передачу, заснований на пріоритетах по затримках розподіл PDU, моніторинг перевантажень.

Трафік повинен бути сконцентрований на входах комутаційного поля для ефективного використання вихідних з'єднань. Аби добитися стандартної швидкості інтерфейсу комутаційної матриці, пристрій агрегує потоки з низькою змінною бітовою швидкістю в трафік з вищою швидкістю. Коефіцієнт концентрації сильно корельований з характеристиками вхідних потоків. Концентрація потоків може застосовуватись при динамічному розподілі трафіку по декількох площинах маршрутизації, а також при його буферизації і дублюванні в цілях підвищення відмовостійкості.

Мультиплексування потоків PDU на входах комутатора дуже схоже з процесом концентрації.

Основними функціями поля комутації є маршрутизація і буферизація. Вхідний модуль доповнює кожний блок даних тегом маршрутизації, а комутаційне поле просто направляє їх з вхідних портів на відповідні вихідні. Надходження PDU може бути розподілене в часі за допомогою використання реєстрів зсуву, кожен ємкістю в один блок даних. Оскільки не виключена одночасна адресація PDU на один і той же вихід, має бути передбачена можливість їх буферизації. Аналіз різних схем маршрутизації і алгоритмів буферизації, що застосовуються в комутаторах, дозволив сформулювати ряд важливих принципів їх проектування [4]: забезпечення розподіленого управління і високої міри паралелізму при обробці трафіку, реалізація функцій маршрутизації на апаратному рівні.

Наведемо головні показники, якими вони характеризуються:

- продуктивність (відношення сумарних швидкостей вихідного потоку до вхідного);
- коефіцієнт використання (відношення середньої швидкості вхідного потоку до максимально можливої швидкості вихідного);
- вірогідність втрат блоків даних при близькій до максимальної продуктивності;
- середній час затримки (середній час комутації) - це кількість часових проміжків, між моментом отримання пакету та моментом передачі;
- довжини черг;
- складність реалізації.

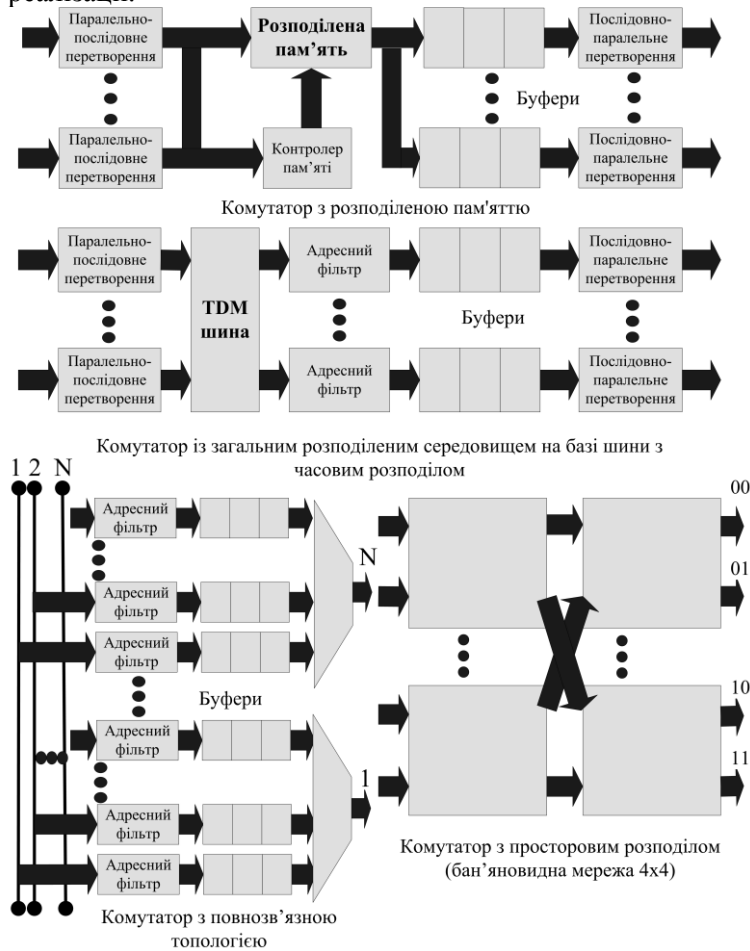


Рис. 2 Базові методи комутації

Методи комутації (рис. 2) слід поділити на наступні:

- Із розподіленою пам'яттю. Вона повинна мати продуктивність $2NV$ біт/с (N – кількість каналів) при швидкості поступлення даних по каналу V біт/с. Обмеження продуктивності пам'яті усувається використанням паралельної організації. Розмір пам'яті залежить від кількості вхідних і вихідних каналів N , від інтенсивності поступлення вхідних блоків даних і від характеру розподілу вхідних запитів. В загальному випадку пам'ять може бути організована як розподілена чи суміщена.

- Із розподіленим середовищем передачі (кільце, шина чи подвійна шина). Всі вхідні пакети синхронно комутуються на високопродуктивну паралельну шину, що працює зі швидкістю в $N+1$ раз більшою ніж частота надходження вхідних блоків даних. Вихідний інтерфейс складається з фільтра адрес та вихідної пам'яті типу FIFO. Основна проблема - це високопродуктивна шина та буферні елементи, швидкодія яких повинна дорівнює $(N+1)*V$, де V – швидкодія порту. Перевагою є максимальна пропускна здатність при мінімальному часі комутації.

- Із повнозв'язною топологією. Переваги в буферизації блоків даних на вихідних портах і відсутності обмежень на групову і ширококомовну передачі. Метод допускає просте масштабування в широких межах і дозволяє досягти високої швидкості функціонування комутатора, оскільки всі його апаратні модулі працюють з однаковою швидкістю. Однак, квадратичне зростання числа

буферів обмежує кількість вихідних портів, хоча швидкість обміну через порт лімітується лише фізичною швидкістю адресних фільтрів і вихідних буферів.

• Із просторовим поділом (з єдиним і множинними шляхами від вхідного порту до вихідного). Для мережі бан'яного типу критичним є наявність внутрішнього блокування. Одним із рішень є розміщення буферів в точках конфлікту. Щоб уникнути внутрішнього блокування, перед комутуючою структурою можна розмістити паралельний пристрій сортування за алгоритмом Бетчера.

Принципи проектування комутаторів

Крім вже наведених критеріїв і вимог до комутаторів необхідно звернути увагу також на наступні:

- внутрішнє блокування;
- методи буферизації;
- розподіл буферів;
- масштабованість комутаційного поля;
- відмовостійкість;
- багатонадресна передача;
- використання пріоритетів в управлінні буферами.

Ситуація, при якій декілька блоків вхідних даних одночасно мають бути зкомутувані на один вихідний порт називається вихідним змаганням (конфліктом). Комутаційне поле є внутрішньо блокуєчим, якщо набір з N блоків даних, адресованих на N різних вихідних портів, здатний викликати конфлікти при передачі через це поле [5]. Наявність внутрішніх блокувань призводить до зниження максимально можливої продуктивності.

Для кожної з архітектур комутаційного поля необхідна буферизація. Найбільш поширеними варіантами розміщення буферів в комутаторі можна вважати 4 наступних (рис.3):

• організація черг на вході - небезпека виникнення блокування на початку черги. Якщо два блока даних, що одночасно поступили, прямують на один і той же вихідний порт, один з них попаде у вхідний буфер і перешкоджатиме проходженню наступних за нею блоків даних, знижуючи тим самим пропускну спроможність комутатора;

• організація черг на виході - оптимальна за продуктивністю та затримками, але вимагає вживання додаткових засобів для організації одночасної множинної доставки блоків даних на будь-який вихідний порт

• внутрішня організація черги - може стати причиною небажаних випадкових затримок при проходженні блоків даних структури комутатора;

• вживання рециркуляційних буферів - дозволяє блокам повторно проходити по мережі з просторовим розподілом, коли декілька блоків даних одночасно адресуються на один вихідний порт, причому заблоковані PDU, прямують на вхідні порти мережі через рециркуляційні буфери. Однак, ємність комутаційного поля має бути достатньою для розміщення рециркульованих блоків і ускладнюється управління комутацією через необхідність зберегти вихідну послідовність PDU.

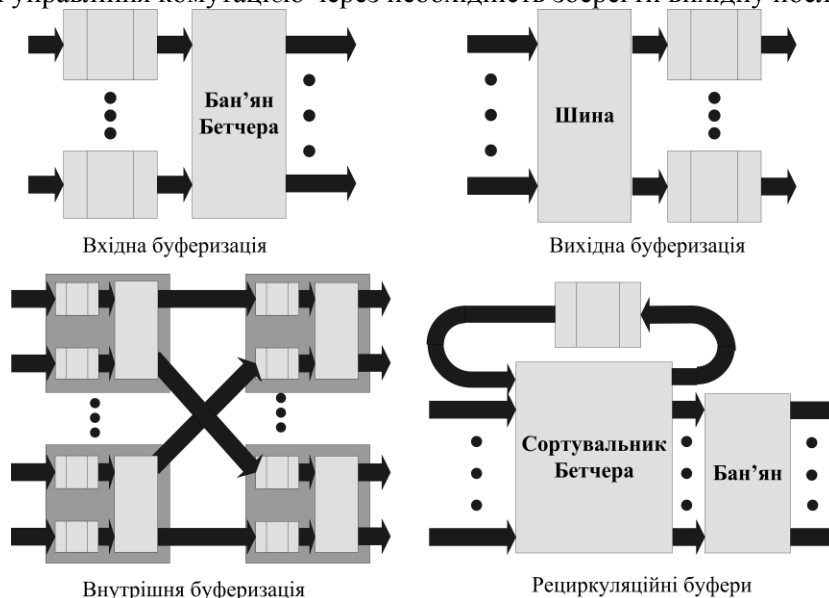


Рис.3 Різні методи буферизації

Кожен з них має сильні і слабкі сторони, проте сьогодні перевага віддається організації черг на виході комутатора. При побудові комутаторів доцільне використання декількох способів розміщення буферної пам'яті.

Зазначимо, що з однієї сторони тип комутатора однозначно визначає множину ефективних в поєднанні з ним типів буферної пам'яті, а з іншої – тип буферної пам'яті задає можливі типи комутаторів.

Число і розмір буферів також важливі при розробці комутатора. Необхідно виділити п'ять схем розподілу буферної пам'яті:

- схема повного розподілу (CP), передбачає фіксоване розділення сумарної ємності буферного простору (може фізично об'єднувати різні буфери) між блоками даних, що направляються на різні виходи;
- повнодоступна схема (CS) – вхідні PDU буферизуються за наявності вільного місця в загальній пам'яті, незалежно від адреси виходу;
- повнодоступна схема з індивідуальними обмеженнями на довжини вихідних черг (SMQ) - число PDU кожного типу не може перевищувати заданого значення (межі), тобто за наявності загальної повнодоступної буферної пам'яті вводяться фіксовані максимальні значення кількості буферизованих блоків даних, що направляються на різні виходи;
- неповнодоступна схема (SMA) є комбінацією CP і CS, бо передбачається загальна буферна пам'ять (CS) і її виділені частини для блоків даних кожного типу (CP);
- неповнодоступна схема з індивідуальними межами (SMQMA) - відрізняється від попередньої введенням індивідуальних обмежень в загальній частині буферної пам'яті.

В усіх архітектурах комутаторів є "вузькі" місця, які заважають масштабувати комутаційне поле на велику кількість портів. У комутаторах з розподіленою пам'яттю і загальним середовищем лімітуючим є час звернення до запам'ятовуючого пристрою, а залежність між числом портів і їх швидкістю критична. При повнозв'язній топології можна отримати високі швидкості портів, але є обмеження на кількість буферів. Просторовий розподіл не накладає обмежень на час звернення до запам'ятовуючого пристрою і число буферів. Але, наприклад, розмір бан'яновидної мережі Бетчера фізично лімітується допустимою щільністю монтажу і параметрами вводу/виводу використовуваних інтегральних схем. Складність організації зв'язків між платами накладає додаткові обмеження на їх кількість. Також, в кожному каскаді потрібно забезпечити синхронізацію повного набору з N блоків даних. Нарешті, зростання геометричних розмірів комутатора знижує його надійність і ускладнює проведення сервісних і ремонтних робіт.

Таким чином, великі комутаційні структури можуть працювати лише зі взаємозв'язаними простими модулями обмеженої продуктивності, що використовують будь-який з методів комутації.

Відмовостійкість забезпечується надмірністю критично важливих компонентів - поля маршрутизації та структури буферів. Підвищити надійність можна розбиттям всієї сукупності комутуваних блоків даних на підмножини, що не перетинаються та розподіляються між паралельними площинами поля маршрутизації. Метод - найменш надмірний, ефективний, кожна площина несе малу долю загального трафіку. Інший варіант - тотожне дублювання всієї безлічі блоків даних - забезпечує велику відмовостійкість при меншій продуктивності. Компромісним методом вважатимемо використання підмножин, що частково перекриваються.

Часто при передачі відео і аудіо необхідно доставити вхідні блоки даних на декілька заданих вихідних портів або транслювати їх на всі виходи. Багатоадресна передача реалізується шляхом додавання до комутаційного поля окремої призначеної для копіювання блоків даних мережі, створення спеціального взаємозв'язаного комутаційного модуля чи інших комутаційних схем.

Комутаційне поле повинне по-різному обробляти трафік різних класів відповідно до рівнів якості сервісу (QoS). Класи трафіку розрізняються головним чином допустимими величинами затримок і пріоритетами блоків даних. Вищий пріоритет повинен надаватися класу із суворішими вимогами до параметрів передачі. В структурі комутатора слід мати розподілені буфери на кожному вихідному порту окремо для кожного класу трафіку, бо організація вихідних черг найпопулярніший метод буферизації. Буферне управління реалізує алгоритми відкидання блоків даних при їх вступі у вже заповнені буфери та перерозподілу на виході з буферів. Ці операції входять до складу функцій адміністрування трафіку та виконуються модулем управління комутатором. У середині комутаційного поля черги слід перевіряти на предмет перевантажень для своєчасного запуску необхідних процедур контролю за ними.

Найкращим вважається метод розкладу, при якому будь-який блок даних має встановлений, заснований на вимогах QoS час відправлення з черги (deadline). PDU, що пропустили встановлений час відправлення, можуть дістати відмову - залежно від параметрів трафіку і особливостей реалізації комутатора. Якщо послуга надається блоку даних з найбільш близьким граничним часом відправлення, то число відкинутих PDU вдається мінімізувати. Велике значення також має тип використовуваної буферної пам'яті. Вона повинна бути багато портовою. Існують наступні типи пам'яті: з довільним, впорядкованим, асоціативним, програмованим доступом [6]. Найпоширенішою є послідовна стекова пам'ять типу FIFO (first in first out), інколи типу FIRO (first in random out). Перспективним є використання буферної сортувальної пам'яті [7]. Її можна реалізувати двома основними підходами: на базі ОЗП і на базі процесора сортування чисел (ПСЧ). Конкретний варіант буферної сортувальної пам'яті визначається структурою ПСЧ. Застосування буферної дозволяє суттєво спростити структуру і підвищити ефективність обробки даних. Зокрема, відпадає необхідність накопичувати цілий масив даних, які підлягають обробці. Достатньо ввести стільки даних, щоби можна було би почати їх обробку одночасно з прийомом наступних.

Висновки

В даному дослідженні були сформульовані наступні задачі комутації в мережах: визначення інформаційних трафіків і маршрутів для них, повідомлення вузлів мережі про знайдені маршрути. розпізнавання трафіків і локальна комутація на кожному транзитному вузлі, мультиплексування і демультіплексування трафіків.

Визначальними робочими вимогами до комутаторів є збільшення пропускної спроможності, продуктивності, коефіцієнту використання; забезпечення можливості статистичного мультиплексування потоків, передачі різних видів трафіку з несхожими вимогами до кількісних характеристик функціонування мережі (вірогідність втрат блоків даних при близькій до максимальної продуктивності, доля втрачених блоків даних, допустимий відсоток помилок, час затримки), здатність управляти трафіком, окремими з'єднаннями та взагалі мережею; збільшення розміру буферної пам'яті; легкість реалізації. Відповідно критеріями проектування будуть забезпечення розподіленого управління, високої міри паралелізму при обробці трафіку, реалізація функцій маршрутизації на апаратному рівні.

Вузкими місцями комутаторів можна вважати: наявність внутрішнього блокування при недостатній пропускній спроможності комутаційного поля, різних методах буферизації, числа, розміру та розподілу буферів; слабку масштабованість архітектур через лімітування часу звернення до запам'ятовуючого пристрою, обмеження на кількість буферів, допустиму щільність монтажу, складність організації зв'язків; підвищення відмовостійкості та багатоадресна передача введенням надмірності компонентів; зниження надійності та ускладнення проведення сервісних і ремонтних робіт при зростанні геометричних розмірів апаратури; наявність розподілених буферів на кожному вихідному порту окремо для кожного класу трафіку.

При побудові комутаторів доцільно використовувати відповідні алгоритми та пристрої планування комутації, декілька способів розміщення буферної пам'яті, перспективним є використання буферної сортувальної пам'яті.

Перспективи

Подальші дослідження будуть направлені на аналіз типів пам'яті, розробку принципів і синтез структур запам'ятовуючих пристроїв на основі базових типів буферної сортувальної пам'яті.

1. Н. Jonathan Chao, Cheuk H. Lam, Eiji Oki. Broadband Packet Switching Technologies: A Practical Guide to ATM Switches and IP Routers, John Wiley & Sons Inc, (2001), с.17-18
2. В. Олвейн. Структура и реализация современной технологии MPLS. Руководство Cisco, — М.: Издательский дом "Вильямс", (2004), -280с., с.67-98
3. Cisco Systems, Inc. Руководство по технологиям объединенных сетей, 4-е издание. : Пер. с англ. — М.: Издательский дом "Вильямс", (2005). — 1040 с.: ил. - Парал. тит. англ., с. 509-537
4. Bellcore, Broadband switching system BSS generic requirements, BSS performance, GR-110-CORE, Issue 1, Sep. (1994).
5. Дунець Р. Б. Топології комп'ютерних систем. - Львів: Ліга-Прес, 2007 - 46 с
6. Мельник А.О. Архітектура комп'ютера. – Луцьк: Волинська обласна друкарня, (2008). – 470 с., с. 309-313