

УДК 004.724.4.(045)

Муранов О.С.

## УДОСКОНАЛЕННЯ МЕХАНІЗМУ ЗГЛАДЖУВАННЯ ПАКЕТНОГО ТРАФІКА ТИПУ „ВІДРО ТОКЕНІВ”

Національний авіаційний університет

*Для реалізації системи адаптивного керування механізмом перерозподілу пропускної здатності пакетного комутатора між його портами необхідно створити структуру фізичного механізму згладжування потоків пакетів, що був би здатним забезпечити синхронність змін ширини їхніх смуг із змінами середніх швидкостей згладжених потоків. За основу механізму згладжування було взято алгоритм «відра токенів»*

### **Сутність проблеми**

Для підвищення рівня завантаженості вузлового обладнання пакетних мереж в роботах [1] пропонується використовувати покроковий дискретний механізм адаптивного перерозподілу пропускної здатності комутатора між його портами. Цей механізм адаптує у реальному часі смуги пропускання портів комутатора під динаміку змін інтенсивності потоків пакетів, що надходять до цих портів. Але за умови, що сумарна смуга усіх портів у будь-який поточний момент часу не перевищує пропускну здатність комутатора. Завдяки роботі цього механізму динаміка процесу перерозподілу смуги комутатора між його портами майже співпадає із динамікою тренду трафіка на портах. Це дає суттєвий корисний ефект: підвищується коефіцієнт можливого завантаження обладнання комутатора трафіком. Механізм перерозподілу повинен мати високі динамічні характеристики, досягнення котрих, зважаючи на високі швидкості обробки пакетів у сучасному вузловому обладнанні, являє собою нетривіальну задачу. Зокрема, в моменти часу, коли інтенсивність потоку пакетів на якомусь порту швидко збільшується, то необхідно швидко збільшити його смугу пропускання, тобто цьому порту треба якомога швидше виділити більшу частку пропускної спроможності комутатора (звісно, за рахунок зменшення часток пропускної спроможності, що виділяються іншим портам). І навпаки. Неважко передбачити, що за таких умов уведення у контур адаптивного керування будь-якого механізму коротко-

строкового прогнозування трафіку, що просувається через порти комутатора, може суттєво покращити ефективність роботи системи керування.

Проте робота системи адаптивного перерозподілу супроводжується виникненням системних помилок регулювання, що призводить, в одних випадках, до підвищення рівню втрат пакетів, а в інших, до зниження коефіцієнту завантаження комутатора корисним трафіком [2]. В якості одного із можливих шляхів зменшення впливу системних помилок на якість управління механізмом перерозподілу пропонується включення у контур управління механізму прогнозування характеристик пакетного трафіку, що надходять до портів комутатора. У [2] показано, яким чином механізм прогнозування інтегрується у склад системи адаптивного керування. Запропонована відповідна структура адаптивної системи керування, що використовує механізм прогнозування. Проте для ефективного функціонування цього механізму у складі системи керування необхідно певним чином сформувати тренди потоків пакетів, що просуваються через порти пристрою пакетної комутації. З цією метою пропонується використати фізичний механізм згладжування потоку, що базується на звісному алгоритмі так званого «відра токенів». Цей механізм за певних умов, що виконуються на практиці, перетворює нестаціонарний потік пакетів із «гострими» пульсаціями у стаціонарний потік із згладженими контрольованими коливаннями його інтенсивності відносно звісного се-

реднього значення. Для забезпечення можливості включення цього механізму у контур адаптивного керування запропоновано відповідні доробки механізму «відра токенів».

Механізм формування пакетного трафіка із назвою „відро токенів” дозволяє перетворити у певних межах первісний нестаціонарний потік пакетів у вторинний стаціонарний згладжений потік, що є більш прогнозованим. Якщо нестаціонарний потік характеризується невизначеністю як його середньої швидкості, так і обсягом пульсацій, то засобами названого механізму можливо встановити наперед заданому проміжку часу (інтервалі усереднення) майже постійну величину середньої швидкості вторинного

потіку і отримати, хай і не визначену, але контрольовану величину пульсацій згладженого потоку пакетів.

### Робота механізму прогнозування у складі системи керування

Алгоритм відра токенів широко висвітлений у публікаціях, але щодо відносно вузьких сфер його застосування. У даному випадку модифікуємо механізм роботи цього алгоритму з тим, щоб його можливо було б включити у контур адаптивного управління смугами портів комунікатора.

Принцип дії запропонованої модифікації механізму відра токенів показано на рис. 1.

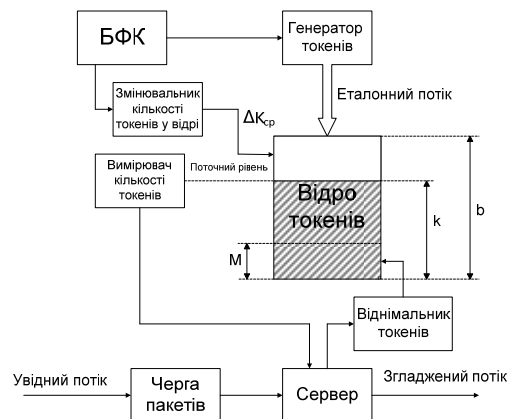


Рис. 1. Модифікований механізм реалізації алгоритму відра токенів

Зазначимо, що робота цього механізму базується на порівнянні параметрів вхідного (реально надходячого до порту) пульсуючого потоку із параметрами синтезованого цим механізмом еталонного потоку. Еталонний потік – це утворений генератором токенів потік, що втікає в умовне відро. А токен – це абстрактний об’єкт, носій порції інформації, що використовується для побудови еталонного потоку. Генератор токенів періодично із постійним інтервалом  $\tau$  спрямовує черговий токен у відро, що має обмежений об’єм  $b$  байт. Усі токени мають однакову довжину  $m$  байт, а період подачі токенів обирається таким чином, щоб відро заповнювалося токенами із швидкістю  $r$  біт/с, де  $r=8m/\tau$ . Алгоритм роботи механізму відра токенів побудовано таким чином,

що параметр  $r$  задає інтенсивність (тобто, середню швидкість) згладженого потоку пакетів, а об’єм відра  $b$  задає максимально дозволений розмір пульсацій цього потоку. Якщо відро заповнюється до країв (тобто, коли сумарний обсяг токенів у відрі стає рівним  $b$  байт), то надходження токенів до відра тимчасово припиняється. У той же час після проходження кожного окремого пакета через сервер (рис. 1) із відра витікає порція інформації розміром  $M$  байт, що переноситься цим пакетом. Тобто, віднімальник токенів (рис. 2, 3) із поточної кількості токенів, що знаходяться у відрі, віднімає ту кількість інформації, що переносить один пакет. Таким чином, в залежності від „поведінки” потоку, що просувається через сервер, рівень токенів у відрі коливається, проте кожні  $\tau$

секунд він збільшується на  $r\tau/8$  байт. Якщо інтенсивність реального потоку на сервері перевищує інтенсивність еталонного потоку, то рівень токенів у відрі збільшується, а у протилежному випадку – навпаки. Фактично відро токенів являє собою лічильник, поточні показання якого коливаються, але кожні  $\tau$  секунд вони збільшуються на  $m$  байт.

В процесі роботи механізму здійснюється порівняння еталонного потоку із реальним первісним потоком пакетів, що надходять до порта комутатора та утворюють черги пакетів. Таке порівняння виконує сервер – абстрактний пристрій, що за певної умови пропускає через себе пакети із виходу черг (рис. 1). Сервер передає пакет із увідної черги на вивід сервера тільки, якщо у момент надходження пакета на сервер відро було заповнено токенами не менш, ніж на  $M$  байт, де  $M$  – довжина (розмір) пакета. Тому у механізм відра токенів включено вимірювач поточної кількості (тобто, рівня) токенів  $k$  у відрі. Якщо сервер пропустив пакет через себе, то у цей момент завдяки віднімальнику із відра викидається  $M$  байт. Якщо ж у момент надходження пакета із черги до сервера, відро було заповнено менш, ніж на  $M$  байт, то вивід пакетів із черги призупиняється доти, поки відро заповниться хоча б на  $M$  байт.

Як бачимо, алгоритм відра токенів забезпечує саморегуляцію та взаємоузгодження двох потоків. Якщо середня швидкість еталонного потоку перевищує інтенсивність реального потоку, то відро поступово заповнюється, аж поки не переповниться (у момент переповнення припиняється подача токенів у відро). Якщо ж середня швидкість еталонного потоку буде нижчою, ніж інтенсивність реального потоку, то відро поступово спустошується, аж поки кількість токенів у відрі стане меншою, ніж довжина пакета (у цей момент пропуск пакетів через сервер припиняється).

Слід зазначити, що механізм відра токенів припускає можливість обробки пульсацій лише у певних межах. Нехай

пропускна здатність вивідного інтерфейсу сервера дорівнює  $R$  біт/с. Тоді середня швидкість потоку на виводі сервера на проміжках часу  $t$  дорівнює мінімуму, що обирається із двох величин:  $R$  або  $r+b/t$ . При великих значеннях  $t$  швидкість вивідного потоку буде наближатися до  $r$  (що вказує на те, що механізм забезпечує бажану середню швидкість). У той же час не виключено, що на протязі невеликого проміжку часу реальна швидкість вивідного потоку буде перевищувати середню швидкість  $r$ . Якщо  $r$  наближається до  $b/t$  (при умові, що  $b/t$  менше  $R$ ), то швидкість цього потоку наближається до  $r+b/t$ . При цьому проміжок  $t$  відповідає тривалості пульсації трафіка. Ця ситуація спостерігається тоді, коли на протязі певного часу пакети не надходили до сервера, так що відро повністю наповнилося токенами. Якщо після цього на увід сервера надійде тривала послідовність пакетів, то ці пакети будуть подаватися на вивід сервера без інтервалів один за одним із швидкістю  $R$ . Максимальна тривалість такої пульсації складає  $b/(R-r)$  сек, після чого обов'язково настане пауза, що необхідна для заповнення спустошеного відра. Обсяг пульсації складе  $R b/(R-r)$  байт. Із наведеного співвідношення видно, що механізм починає гірше працювати, якщо  $r$  обирається близькою до  $R$ .

Якщо механізм відра токенів включити у контур адаптивного управління смугою пропускання порту комутатора, то необхідно забезпечити синхронність змін ширини смуги цього порту із змінами середньої швидкості згладженого потоку. Для цього керуючі сигнали із виходу блока формування команд (БФК) слід подати на генератор токенів. Ці сигнали мають керувати змінами довжини токенів відповідно до змін смуги пропускання порту. Якщо БФК на певному кроці управління прийняв рішення збільшити смугу порту, то на генератор токенів подається команда на збільшення довжини токenu  $m$  (у цьому випадку збільшиться середня швидкість згладженого потоку). У разі необхідності зменшення смуги

порту подається команда на зменшення довжини токена. Щоб робота модифікованого механізму відра токенів у складі адаптивної системи управління була коректною, необхідно також забезпечити стрибкоподібні зміни рівню заповнення відра на границях інтервалів  $\tau$ . Зокрема, у ці моменти часу необхідно змінювати середній рівень токенів у відрі пропорційно змінам ширини смуги порту, що здійснює

адаптивний механізм перерозподілу. Величина зміни визначається виразом:

$$\Delta k_{\bar{n}\delta} = |k_{\bar{n}\delta} - k_{\bar{n}\delta(i+1)}|,$$

де  $k_{\bar{n}\delta}$ ,  $k_{\bar{n}\delta(i+1)}$  – середні рівні заповнення відра токенів на границях інтервала усереднення;  $\Delta k_{\bar{n}\delta}$  – абсолютне значення величини стрибка у тренді зміни рівня токенів у відрі. Тренд зміни рівня токенів у відрі показано на рис. 2.

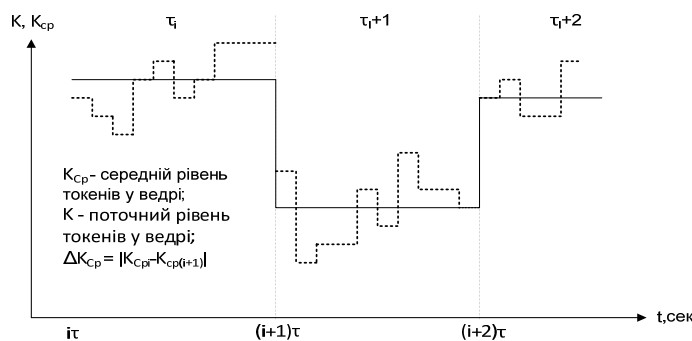


Рис. 2. Характер змін рівня токенів у відрі (поточні показання лічильника)

На рис. 3 показана структура системи адаптивного керування перерозподілом пропускної здатності пакетного комутатора між його портами. З урахуван-

ням модифікованого варіанту механізму згладжування трендів потоків роботи цієї системи можливо пояснити наступним чином.

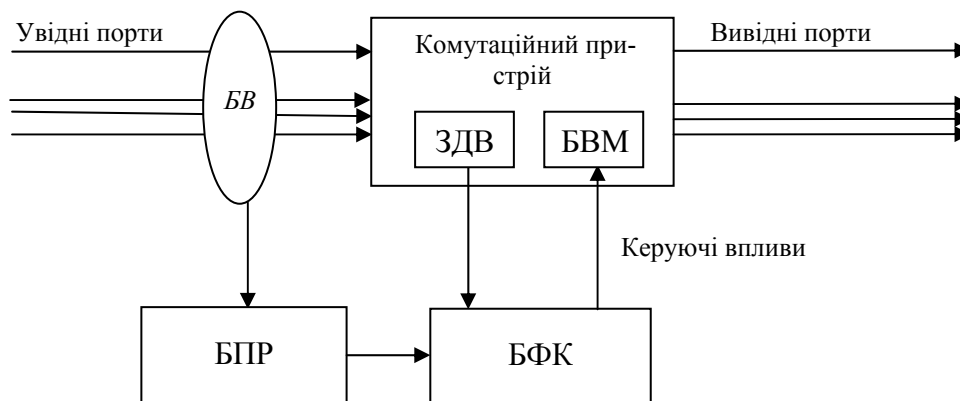


Рис. 3. Узагальнена структура системи адаптивного керування

Потоки пакетів, які на рис. 3 зображені стрілками, перш ніж потрапити на увідні порти комутаційного пристрою (ПК) проходять через блок вимірювання (БВ), котрий послідовно, крок за кроком, у реальному часі із наперед заданим часовим інтервалом вимірює поточні значення параметрів цих потоків, а результати вимірювань надсилає на вхід блоку прогно-

зування (БПР). Перш за все, вимірюються на односекундних часових інтервалах поточні значення інтенсивності потоку пакетів  $I_1, I_2, \dots, I_N$ , де  $N$  – кількість портів у ПК. У свою чергу, блок БПР послідовно, крок за кроком, приймає від блоку БВ результати вимірювань значень параметрів потоків пакетів, здійснює їхню обробку таким чином, щоб сформувати послі-

довності виборок даних (часових рядів), що задовольняють встановленим вимогам у рамках задіяного методу прогнозування. Окрім того, блок БПР безпосередньо реалізує задану процедуру прогнозування, а результати прогнозних оцінок значень параметрів трафіку, зроблених на момент прийняття управлінських рішень, передає на вхід блоку формування команд управління (БФК). Слід зазначити, що блок БПР здійснює прогнозування не за поточними значеннями пульсацій пакетного трафіку, а за їх усередненими значеннями  $I'_1, I'_2, \dots, I'_N$ . Тобто, на кожному кроці прогнозування на основі кількох останніх точок тренду потоку пакетів на кожному із портів визначається найближча майбутня точка цього тренду. Тренд – це згладжений потік, що формується шляхом усереднення первісного поточного потоку пакетів. На практиці в залежності від конкретних умов застосування ПК коефіцієнт усереднення обирається у діапазоні від 5 до 120 (і більше). Найчастіше використовуються п'ятисекундні, десятисекундні, п'ятнадцятисекундні та тридцятисекундні інтервали усереднення.

У той же час в момент початку кожного кроку керування від задавальника параметрів портів (ЗДВ), що функціонує у складі ПК, на інший вхід блоку БФК надсилається інформація щодо поточних значень встановлених параметрів для кожного із портів комутаційного пристрою. Тобто, від ЗДВ на БФК передаються встановлені на попередньому кроці керування значення ширин смуг пропускання портів. На основі цієї інформації та отриманих поточних прогнозних оцінок параметрів потоків блок БФК виробляє потік керуючих впливів (у формі відповідних команд управління), що подаються на вхід блоку виконавчих механізмів (БВМ) вузлу керування ПК. Ці виконавчі механізми блоку БВМ згідно з отриманими командами від блоку БФК здійснюють відповідні зміни параметрів портів ПК (тобто, збільшують або зменшують смуги пропускання портів) у блоці ЗДВ цього комутатора. Алгоритм керування вибирають, виходячи із

технічних умов застосування обладнання. У будь-якому випадку швидкодію системи регулювання узгоджують із динамічною зміною тренді.

### **Висновки**

1. Для практичної реалізації системи адаптивного керування механізмом перерозподілу пропускної здатності пакетного комутатора між його портами необхідно створити структуру фізичного механізму згладжування потоків пакетів, що був би здатним забезпечити синхронність змін ширини їхніх смуг із змінами середніх швидкостей згладжених потоків.

2. За основу створюваного механізму згладжування було взято алгоритм «відра токенів». У цей механізм було внесено наступні зміни. У класичну схему алгоритму додано змінювальник кількості токенів у відрі, а керуючі сигнали із виходу блоку формування команд (БФК) системи керування подано на генератор токенів. Як результат, забезпечено стрибкоподібні зміни рівню заповнення відра на границях інтервалів  $\tau$ . Зокрема, у ці моменти часу середній рівень токенів у відрі змінюється пропорційно змінам ширини смуги порту, що здійснює адаптивний механізм перерозподілу.

### **Список літератури**

1. Муранов О.С., Чуприн В.М., Потапов В.Г. Метод динамічного перерозподілу продуктивності пакетного комутатора між його портами з використанням механізму прогнозування пульсацій трафіка // Проблеми інформатизації та управління: Зб. наук. пр. – К.: НАУ, 2008. – Вип. №2(24). – С. 136–144.

2. Муранов О.С., Кочергін Ю.А., Чуприн В.М. Дослідження впливу механізму прогнозування трафіка на якість системи адаптивного керування комутатором // Проблеми інформатизації та управління: Зб. наук. пр. – К.: НАУ, 2009. – Вип. №1(25). – С. 137–142.