

УДК 621.391

Новіков В. І. , ст. викладач,
НТУУ «КПІ»

АНАЛІЗ МЕТОДІВ АКТИВНОГО УПРАВЛІННЯ ЧЕРГАМИ В МЕРЕЖАХ TCP/IP

Метою статті є порівняльний аналіз існуючих методів активного управління чергою в мережах TCP/IP та визначення перспективних напрямків подальших досліджень в даній області.

Целью статьи является сравнительный анализ существующих методов активного управления очередью в сетях TCP/IP и определение перспективных направлений дальнейших исследований в данной области.

The purpose of this paper is a comparative analysis of existing methods of active queue management in TCP/IP networks and identifying promising areas for further research in this area.

Вступ. Перевантаження в телекомунікаційній IP-мережі зменшує продуктивність мережі і збільшує затримку передачі даних. Стан перевантаження в мережі характеризується різким зростанням розмірів черг в мережевих вузлах - маршрутизаторах.

До недавнього часу при переповненні черги в маршрутизаторі найбільш часто використовувався пасивний механізм скидання надлишку пакетів даних (Drop Tail). Недоліком даного механізму при передачі TCP-трафіку є явище глобальної синхронізації, при якому при переповненні буфера маршрутизатора скидаються пакети, які надходять від всіх TCP-сесій, в результаті чого всі TCP-джерела трафіку одночасно зменшують розмір TCP-вікна, а потім синхронно його збільшують, викликаючи нове перевантаження. Даний метод не передбачає застосування активних дій для запобігання перевантаження.

Для завчасного запобігання переповнення черги розроблені алгоритми активного управління чергами, що дозволяють контролювати навантаження в рамках черзі маршрутизатора і при виявленні перевантаження або стану близького до перевантаження здійснювати імовірнісне скидання пакетів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано вирішення даної проблеми. Детальний аналіз методів активного управління чергами в сучасних IP-мережах проведено дослідниками Гостевим В.І., Скуртовим С.М. [1] та ін.

Мета статті. Провести порівняльний аналіз існуючих алгоритмів активного управління чергами в мережах TCP/IP і та визначити перспективні напрямки подальших досліджень в даній області.

Викладення основного матеріалу.

Метод випадкового раннього виявлення (RED). Метод раннього виявлення перевантажень RED (Random Early Detection, [2]) у випадковому порядку скидає пакети з ймовірністю, яка лінійно збільшується із зростанням усередненої довжини черги. Механізм RED оцінює середнє значення черги шляхом обчислення зваженого ковзного середнього за формулою:

$$avg(m) = (1 - w_g)avg(m - 1) + w_g \cdot q(m) \quad (1)$$

де q - поточне значення довжини черги, w_g - ваговий коефіцієнт, що визначає вагу черги, m – дискретний час.

Оцінка середнього значення довжини черги в період відсутності пакетів дорівнює:

$$avg(m) = avg(0) \cdot (1 - w_g)^m \quad (2)$$

Ймовірність маркування/скидання пакетів лінійно змінюється в інтервалі від 0 до \max_p за формулою (рис. 1):

$$P_b = \frac{\max_p (avg - \min_{th})}{(\max_{th} - \min_{th})} \quad (3)$$

де \min_{th} — мінімальний поріг середнього значення черги, до якого не відбувається скидання, а \max_{th} — максимальний поріг, після якого скидаються всі пакети.

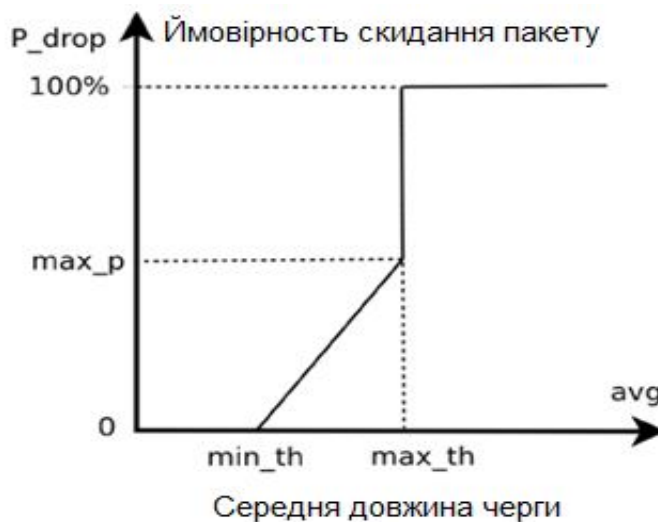


Рис. 1. Залежність ймовірності скидання пакету від середньої довжини черги для протоколу RED

Реальна ймовірність скидання пакетів обчислюється на основі лічильника надійшли пакетів з моменту останнього скидання:

$$P_a = \frac{P_b}{(1 - count \cdot P_b)} \quad (4)$$

У роботі [3] проведено моделювання в ns-2 каналу передачі даних з пропускнуою здатністю 64 Мбіт / с і ємністю буфера маршрутизатора 120 пакетів в режимах Drop Tail і RED. Розмір кожного пакета 1 Кбайт. По

каналу передаються дані 160 TCP-сесій (NewReno) з однаковою затримкою розповсюдження (RTT) 80 мсек. 20 користувачів активні в вихідний момент часу 0, після чого кожні 50 сек активізується по 20 користувачів, поки всі 160 користувачів не стануть активними. Для RED використовується два набори параметрів. Перший набір відноситься до RED (20:80), який має \min_{th} пакетів, \max_{th} пакетів і $\alpha = 0,1$.

Другий набір відноситься до RED (10:30), який має \min_{th} пакетів, \max_{th} пакетів і $\alpha = 0,1$. Для обох наборів $w_g =$.

Результати моделювання наведені на рис. 2-4. Із збільшенням часу по осі "x" число джерел збільшується від 20 до 160 і середній розмір вікна зменшується від 32 до 4 пакетів. Ось "y" ілюструє характеристики (NewReno/DropTail, NewReno/RED) у кожному періоді (між введенням нових джерел). Goodput являє собою відношення загального числа пакетів, прийнятих у всіх місцях призначення за одиницю часу до пропускної здатності каналу зв'язку. Норма втрат є відношення загального числа відкинутих пакетів до загального числа відправлених пакетів.

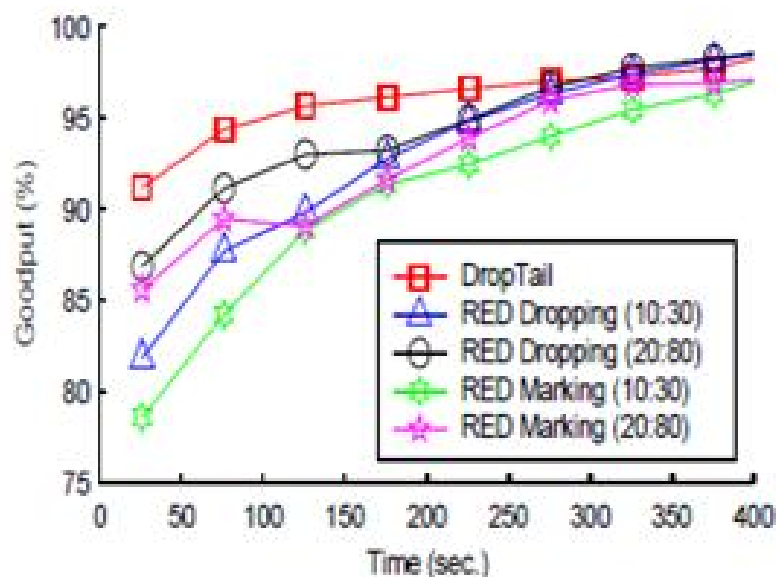


Рис. 2. Залежність ефективної пропускної здатності каналу від часу

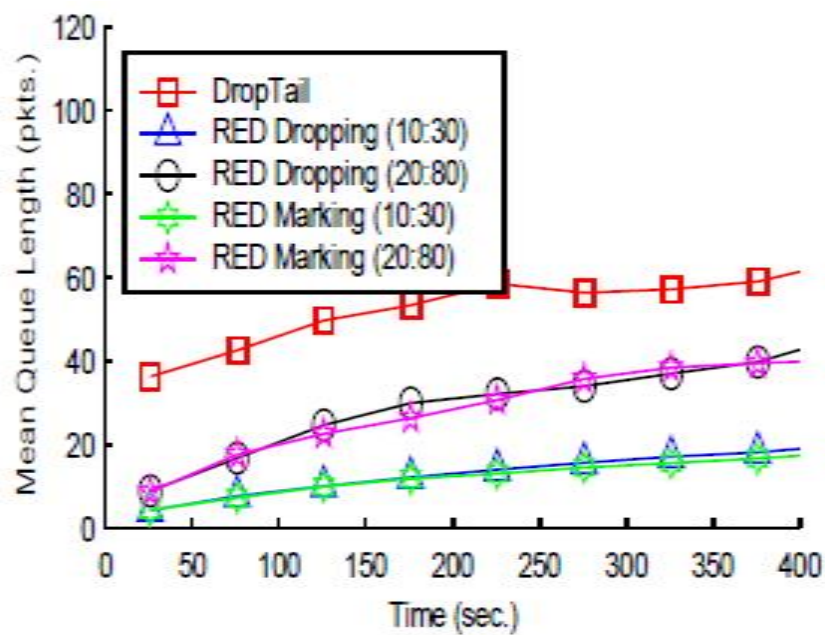


Рис. 3. Залежність довжини черги (в пакетах) від часу

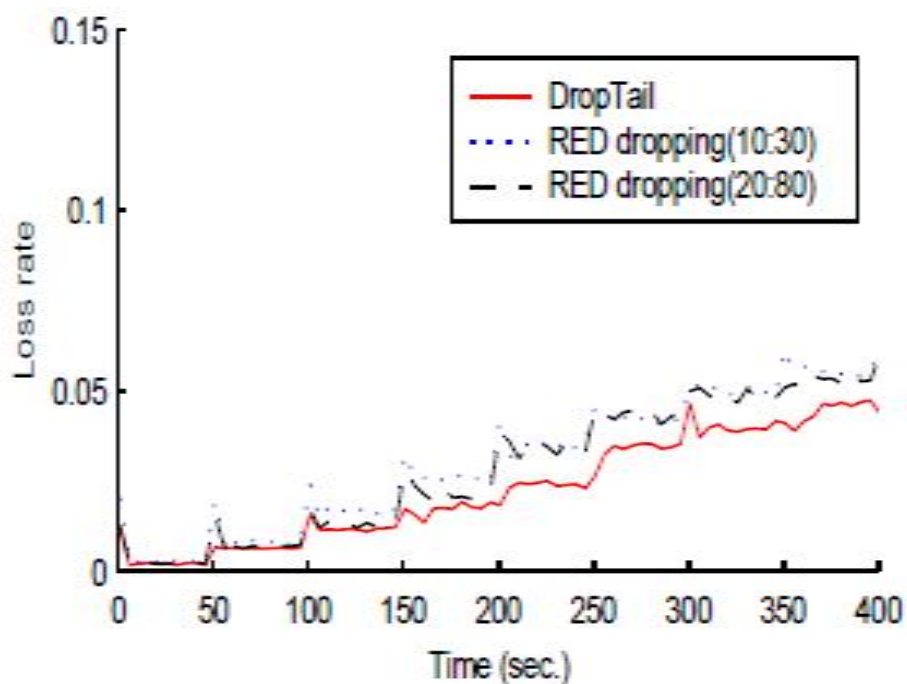


Рис. 4. Залежність відносного розміру втрат пакетів від часу

Порівняльний аналіз характеристик RED і DropTail показує, що при використанні DropTail середня довжина черги значно більше, ніж при використанні RED, тому значення Goodput у DropTail вище меж всіх

варіацій RED. При збільшенні числа джерел середня довжина черги у всіх 5 схем постійно збільшується. Як і очікувалося, RED (20:80) має більш високі і Goodput, і середню чергу, ніж RED (10:30) при всіх розмірах вікон.

Метод пропорційно-інтегрального контролера (PI). Пропорційно-інтегральний контролер PI (Proportional-Integral) [4] є класичним регулятором зі зворотним зв'язком, який використовується в системах автоматичного управління. Робота контролера ґрунтується на обчисленні помилки між поточною довжиною черги $q(t)$ і заданої довгою :

$$e(t) = 1(t) - q_{ref} \quad (5)$$

Керуючий сигнал $u(t)$, що змінює ймовірність скидання, обчислюється як сума трьох значень: значення першого доданку пропорційно поточної помилки $e(t)$, значення другого доданку пропорційно інтегралу помилки (для усунення постійної складової) і останнього доданку - диференціалу помилки (для протидії майбутнім відхиленням) :

$$u(t) = K_p e(t) + K_I \int e(t) dt + K_D \frac{d}{dt} e(t) \quad (6)$$

де — відповідні коефіцієнти пропорційності.

На практиці для управління чергою використовується спрощена дискретна формула обчислення ймовірності скидання без диференціального доданку:

$$p(k) = (a - b)(q(k) - q_{ref}) + b(q(k) - q(k - 1)) + p(k - 1) \quad (7)$$

Рекомендовані коефіцієнти пропорційності a і b фіксовані і дорівнюють **1,822** і **1,816** відповідно.

У роботі [4] проведено моделювання в ns-2 системи з дискретним PI-регулятором, що має параметри $a = 1,822$, $b = 1,816$ і

працює на частоті 160 Гц. Також проведено моделювання системи з RED-регулятором, що має параметри: $w_g = 1,33$, \max_p ,

\min_{th} : пакетів, \max_{th} : пакетів. Робоча точка q_0 : пакетів.

Ємність буфера 800 пакетів. Пропускна здатність лінії 15 Мбіт / сек. Затримка поширення від 160 до 240 мсек. Середній розмір пакета 500 байт.

На рис. 5 показано регулювання довжини черги PI-регулятором і RED-регулятором, коли по мережі передається 180 TCP потоків і 360 HTTP потоків. Аналіз показує, що PI-регулятор забезпечує найкращі характеристики системи, ніж RED-регулятор, швидко встановлюючи довжину черги навколо робочої точки q_0 : пакетів.

При збільшенні числа TCP потоків до 400 PI-регулятор продовжує утримувати довжину черги навколо робочої точки, хоча реакція системи сповільнюється (див. рис. 6). У той час система з RED-регулятором має велику помилку в сталому режимі, дуже великий час досягнення сталого значення черги і великі коливання, а при 400 TCP потоках тримає буфер переповненим і довжину черги далеко від робочої точки.

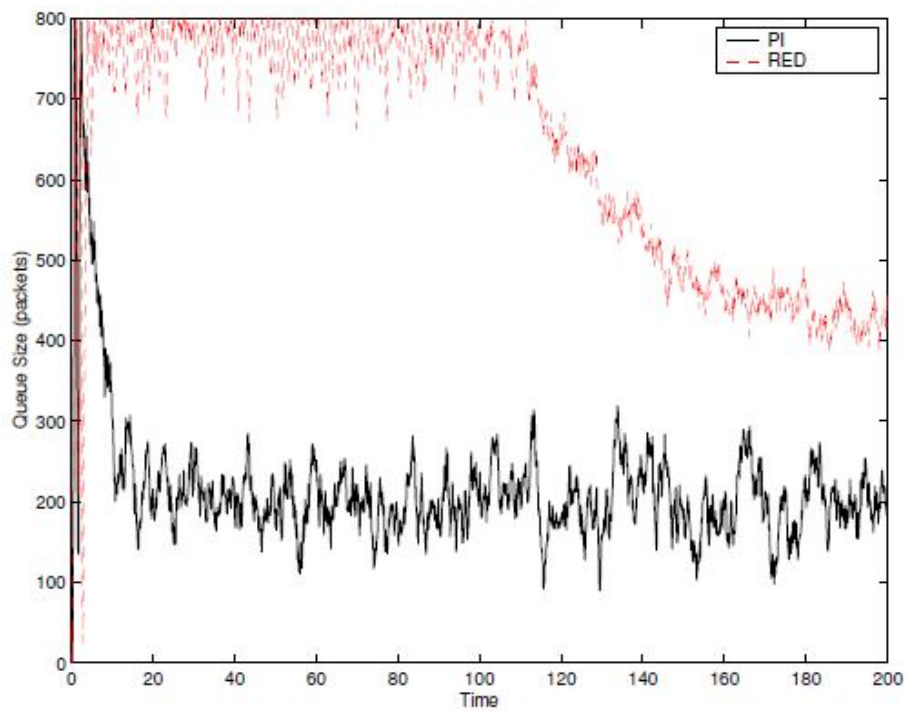


Рис. 5. Регулювання довжини черги PI-регулятором і RED-регулятором

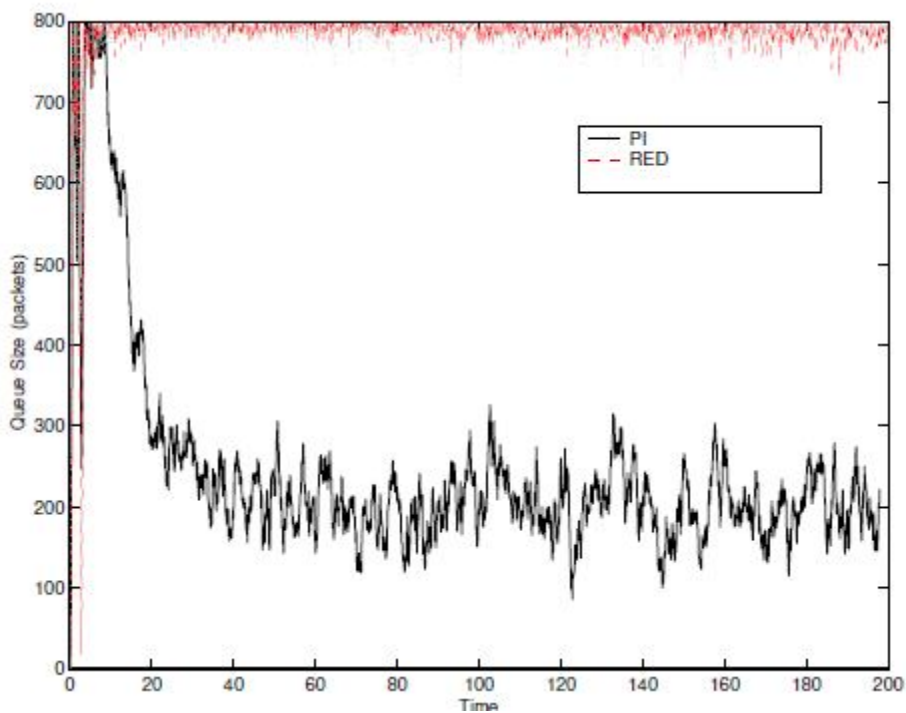


Рис. 6. Регулювання довжини черги PI-регулятором і RED-регулятором

Метод випадкового експоненціального маркування (REM). У методі випадкового експоненціального маркування REM (Random Exponential Marking) [3] використовується міра перевантаження p , яку звать «ціною», і яка в момент часу kT обчислюється за формулою:

$$p(kT) = \max(0, p(k-1)T) + \gamma(\alpha(q(kT) - q_{ref}) + x(kT) - c) \quad (8)$$

де c - пропускна здатність каналу (пакетів за інтервал часу), $q(kT)$ - поточна довжина черги, $x(kT)$ - швидкість надходження пакетів, α і γ - константи більше нуля, T - інтервал часу вимірів, k - номер інтервалу.

Ймовірність скидання/маркування пакетів розраховується за формулою:

$$prob(kT) = 1 - \varphi^{-p(kT)} \quad (9)$$

У роботі [3] проведено моделювання в ns-2 каналу передачі даних з пропускною здатністю 64 Мбіт / с і ємністю буфера маршрутизатора 120 пакетів в режимах Drop Tail і REM. Розмір кожного пакета 1 Кбайт. По каналу передаються дані 160 TCP-сесій (NewReno) з однаковою затримкою розповсюдження (RTT) 80 мсек. 20 користувачів активні в вихідний момент часу 0, після чого кожні 50 сек активізується по 20 користувачів, поки всі 160 користувачів не стануть активними. Величини параметрів для REM $\varphi = 1,001$, $\alpha = 0,1$, $\gamma = 0,001$, цільова функція b^* пакетів. Пакети маркуються або відкидаються з імовірністю, визначеної відповідним алгоритмом зв'язку. Результати моделювання наведені на рис.7-9.

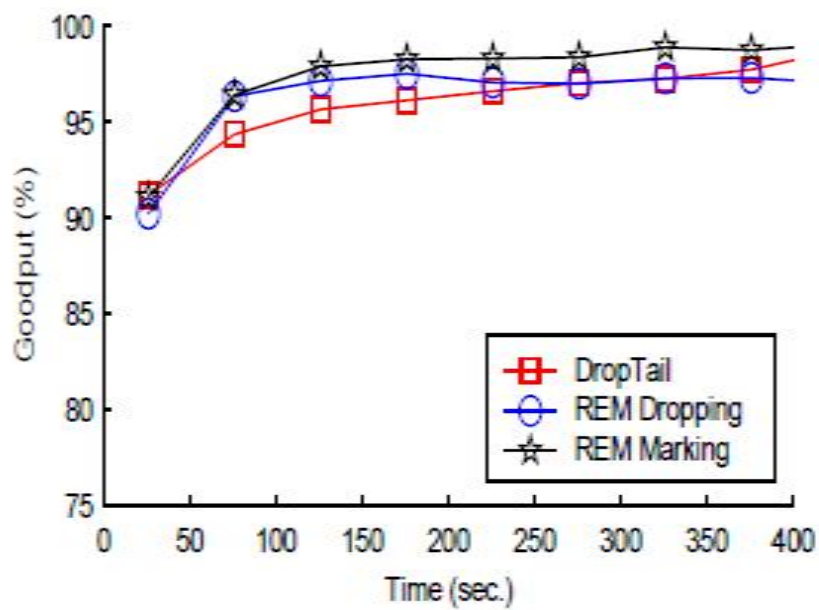


Рис. 7. Залежність ефективної пропускної здатності каналу від часу

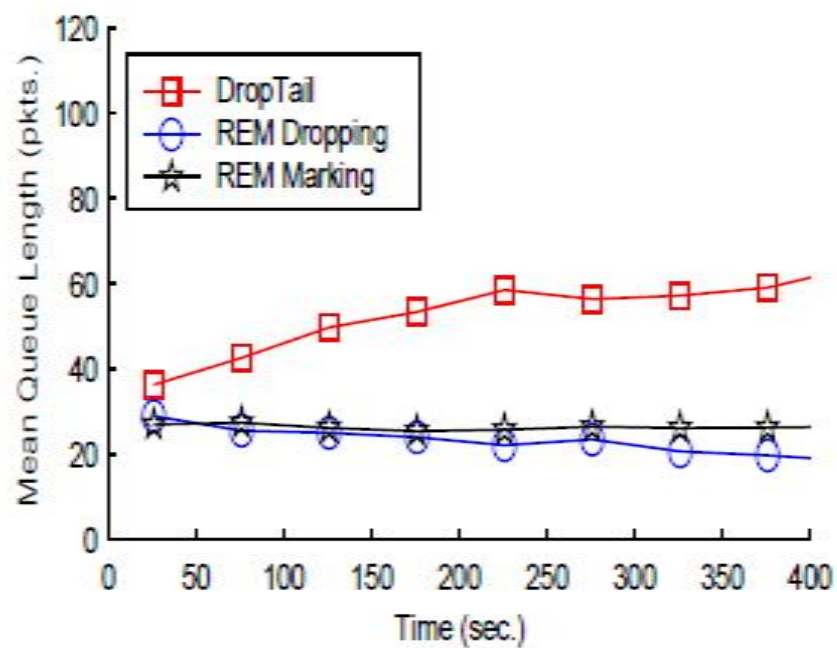


Рис. 8. Залежність довжини черги (в пакетах) від часу

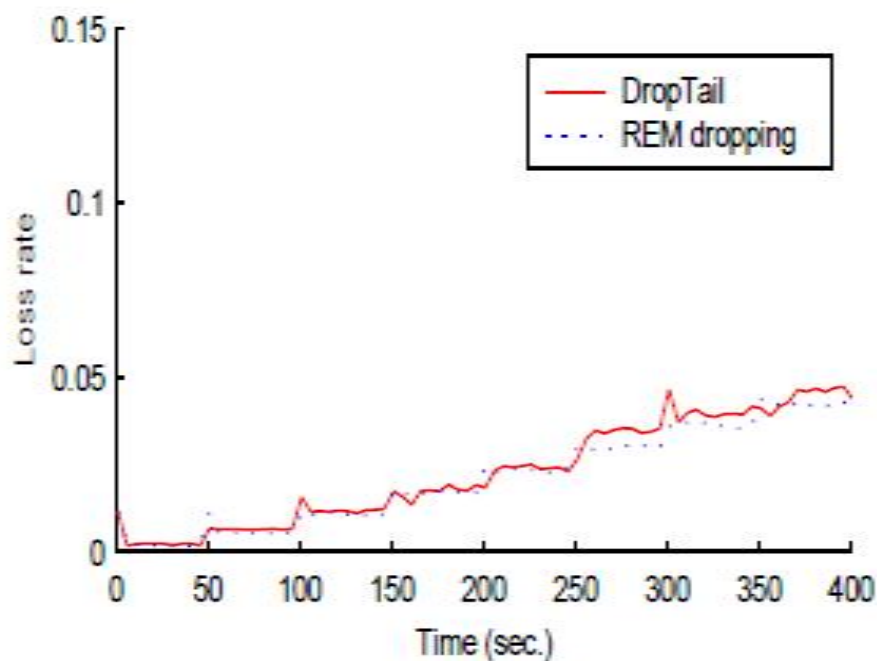


Рис. 9. Залежність відносного розміру втрат пакетів від часу

Порівняльний аналіз характеристик DropTail і REM показує, що REM досягає трохи вищого значення Goodput ніж DropTail майже для всіх розмірах вікон, як з відкиданням пакетів, так і з ECN маркуванням. Коли число джерел збільшується REM стабілізує довжину середньої черги навколо її цільового значення b^* пакетів, тоді як середня довжина у DropTail постійно збільшується. Норма втрат практично однакова у REM з відкиданням пакетів і у DropTail.

Недоліки існуючих систем активного управління чергою в мережах TCP/IP та напрямки їх вдосконалення. Алгоритм RED (і його численні модифікації) завдяки простоті своєї реалізації в мережевому обладнанні досить ефективний, але має низку недоліків. Зокрема, при використанні RED спостерігаються коливання черги, що негативним чином позначається на показниках якості обслуговування мережі (пропускної спроможності, затримці передачі пакетів і т.д.). Алгоритм RED дуже чутливий до значень його параметрів, щонайменше, повинні

бути правильно встановлені чотири параметри RED, а саме, мінімальний і максимальний пороги, максимальна ймовірність відкидання пакетів і ваговий коефіцієнт.

До цих пір немає чітких, обґрунтованих рекомендацій щодо вибору значень параметрів RED. Часто пропонується використовувати наперед встановлені в мережевому обладнанні параметри або налаштовувати їх за результатами натурального експерименту. Для вирішення цих проблем запропоновані різні варіанти RED, а також є інші підходи, такі як розглянуті метод пропорційно-інтегрального контролера (PI), метод випадкового експоненціального маркування (REM) та інші.

Одним з перспективних напрямів вдосконалення систем активного управління чергою в мережах TCP/IP є застосування апарату нечіткої логіки. Стан мережі передачі даних можна розділити на три фази, а саме, нормальне, запобігання перевантаження та наявність перевантаження. Через їх нечіткість ці три фази перетинаються один з одним. Розглянуті традиційні методи не можуть вирішити проблему боротьби з перевантаженнями з задовільною якістю, в той час як нечітка логіка забезпечує неаналітичний підхід до проектування динамічних і швидких схем управління для вирішення проблеми. Переваги нечіткої логіки, які явно проявляються в нечіткому управлінні, полягають перш за все у тому, що нечітка логіка дозволяє вдало представити мислення людини, а саме способи прийняття рішень людиною, і способи моделювання складних об'єктів засобами природної мови. Оскільки нечітке управління може добре пристосуватися до динамічної навколишньої середовищі без точної моделі, нечітка логіка стає широко застосовується в IP мережах.

Однак проектування регуляторів, що працюють на базі нечіткої логіки є складним завданням через евристично залучених в управління правил і функцій належності, відсутності автоматичних методів проектування нечіткої бази знань і налаштування параметрів регулятора. Тому параметри нечіткої системи управління звичайно настроюються за

допомогою проб і помилок з використанням евристичних методів і моделювання. Особливі складнощі виникають через широкого діапазону експлуатаційних умов, наприклад, числа сполук, пропускної спроможності каналів зв'язку, затримок поширення пакетів даних. Альтернативні процедури установки параметрів нечіткого регулятора базуються на еволюційних алгоритмах, які можуть забезпечити універсальну техніку оптимізації, близьку до генетичної адаптації.

Висновки. Проаналізувавши існуючі методи активного управління чергою в мережах TCP/IP можна зробити висновок, що всі представлені методи мають свої переваги і недоліки. Тому при виборі певного методу, перш за все, необхідно враховувати відповідність вимогам, які ставляться перед системою для вирішення конкретного завдання. У тому випадку, якщо існуючі методи не можуть вирішити проблему боротьби з перевантаженнями з задовільною якістю, стає актуальною задача створення нових методів управління чергою в мережах TCP/IP. Таким чином, рішення цього завдання є актуальною науковою проблемою і потребує подальших досліджень. Перспективним напрямком для її рішення можна вважати застосування регуляторів, що працюють на базі нечіткої логіки.

Використані джерела інформації:

1. Гостев В.И., Скуртов С.Н. *Автоматические системы активного управления очередью в сетях TCP/IP: монография.* – Нежин: НГУ им. Н. Гоголя, 2013. 528с.
2. Floyd, S., and Jacobson, V., *Random Early Detection gateways for Congestion Avoidance, IEEE/ACM Transactions on Networking, V.1 N.4, August 1993, p. 397-413.*
3. Athuraliya, S., Low, S.H., Li, V.H., Qinghe Yin, *REM: active queue management, IEEE Networking Magazine 15 (3) (2001) p. 48-53.*
4. Holot C.V., Misra V., Towsley D. and Gong W.B., *Analysis and Design of Controllers for AQM Routers Supporting TCP Flows, IEEE Transactions on Automatic Control, June 2002, pp. 945-959.*