

УДК 621.39

Максимов В. В., к.т.н.; **Воробчук І. М.**, магістрантка
(Національний технічний університет України «КПІ», ІТС. +380 (68) 810 40 47. maksimov46@ukr.net)

АНАЛІТИЧНИЙ ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ АЛГОРИТМІВ ЗАВЧАСНОГО ВИЯВЛЕННЯ ПЕРЕВАНТАЖЕННЯ RED/WRED ТА МЕХАНІЗМІВ РОЗПОДІЛУ РЕСУРСІВ MDRR/WFQ

Максимов В. В., Воробчук І. М. Аналітичний порівняльний аналіз алгоритмів завчасного виявлення перевантаження RED/WRED та механізмів розподілу ресурсів MDRR/WFQ. В роботі здійснено аналітичне моделювання алгоритмів активного керування чергами та механізмів розподілу ресурсів на системі з восьми черг, реалізований на вихідному порту мережевого пристрою. На кожен чергу було згенеровано по десять пакетів, розподіл довжин яких здійснено за законом Парето, що реалізований у вигляді «скрипту» на мові Python з виводом результату у вікно командного рядка. Також в роботі проведено порівняння алгоритмів керування чергами, а саме алгоритму довільного раннього виявлення RED (Random early Detection) та його модифікації: зваженого довільного раннього виявлення WRED (Weighted Random Early Detection) за такими показниками як ймовірність втрат та кількість відкинутих пакетів в черзі; та порівняння механізмів розподілу ресурсів: модифікованого алгоритму кругового обслуговування з дефіцитом MDRR (Modified Deficit Round Robin) та зваженого справедливого обслуговування WFQ (Weighted Fair Queuing).

Ключові слова: пакетна мережа, керування чергами, RED, WRED, MDRR, WFQ, закон Парето, перевантаження, алгоритм кругового обслуговування, QoS.

Максимов В. В., Воробчук І. М. Аналитический сравнительный анализ алгоритмов заблаговременного выявления перегрузки RED/WRED и механизмов распределения ресурсов MDRR/WFQ. В работе проведено аналитическое моделирование алгоритмов активного управления очередями и механизмов распределения ресурсов на системе из восьми очередей, реализованной на выходном порту сетевого устройства. На каждую очередь было сгенерировано по десять пакетов, распределение длин которых осуществлено по закону Парето, который реализован у виде «скрипта» на языке Python с выводом результата в окно командной строки. Также в работе проведено сравнение алгоритмов управления очередями, а именно алгоритма случайного раннего обнаружения RED (Random early Detection) и его модификации: взвешенного произвольного раннего выявления WRED (Weighted Random Early Detection) по таким показателям как вероятность потерь и количество отброшенных пакетов в очереди; и сравнения механизмов распределения ресурсов: модифицированного алгоритма кругового обслуживания с дефицитом MDRR (Modified Deficit Round Robin) и взвешенного справедливого обслуживания WFQ (Weighted Fair Queuing).

Ключевые слова: пакетная сеть, управление очередями, RED, WRED, MDRR, WFQ, закон Парето, перегрузка, алгоритм кругового обслуживания, QoS.

Maksymov V. V., Vorobchuk I. M. Analytic analysis of preventive congestion detection algorithms RED/WRED and scheduling mechanisms MDRR/WFQ. Analytic modeling of active queue management algorithms and scheduling mechanisms on system of eight queues were done in this paper. The system is implemented on an output port of a network device. Ten packets were generated for each queue. The size of the packets is under Pareto distribution, which was implemented as a Python script, result of which was printed in a command window. Analytic comparison of two queuing disciplines for a network scheduler, videlicet: random early detection RED algorithm and its modify version – weighted random detection WRED algorithm – were done on such attributes as loss probability and number of dropped packets in a queue. Also, comparison of Modified Deficit Round Robin MDRR and Weighted Fair Queuing WFQ mechanisms were completed.

Keywords: packet network, queue management, RED, WRED, MDRR, WFQ, Pareto distribution, congestion, deficit round robin, QoS.

Вступ. Перевантаження є фундаментальною проблемою в комп'ютерних мережах, що може спостерігатись на буфері мережевих маршрутизаторів, коли кількість вхідних пакетів не може бути обробленою за рахунок відсутності доступних мережевих ресурсів, таких як буферні простори. Однією з задач по забезпеченню якості обслуговування в мультисервісних мережах є мінімізація заповнень черг на буферах мережевих пристроїв впродовж тривалого часу, і як наслідок мінімізація ймовірності втрат пакетів. Також слід диференціювати трафік, що передається від користувача, за класом, з метою надання різної пропускної спроможності каналу. Таким чином для забезпечення необхідних вимог до різних потоків даних використовуються два методи по забезпеченню якості обслуговування QoS (Quality of

Service): управління перевантаженням (congestion management) і запобігання перевантажень (congestion avoidance).

Перший метод заснований на присвоєнні квот і пріоритетів потокам, і в разі перевантаження, потоки отримують якість, обмежену їх квотою та пріоритетом (наприклад, WFQ). Другий метод обмежує розмір черги, сигналізуючи джерелам даних про необхідність зменшити швидкість передачі інформації (наприклад, WRED).

Принцип роботи вибраних алгоритмів

Алгоритм RED відстежує середній розмір черги, та, в лінійній залежності від його значення, довільно відкидає пакети. Для виявлення майбутнього перевантаження, даний алгоритм здійснює порівняння значення середнього розміру черги з мінімальним (min_th) та максимальним (max_th) порогом. Якщо значення середнього розміру черги знаходиться між min_th і max_th, RED випадковим чином відкидає вхідні пакети з ймовірністю, що лінійно зростає від нуля до максимальної ймовірності (max_p) разом зі зростанням середнього розміру черги від мінімального до max_th. Однак, у випадку, коли середній розмір черги більше ніж max_th, RED відкидає всі вхідні пакети, поки середній розмір черги не опуститься нижче max_th.

Основною відмінністю **алгоритму WRED** від RED є те, що WRED забезпечує надання кожній з черг буфера свого значення мінімального порогового значення глибини черги, а як наслідок, і різного значення ймовірності відкидання пакетів в черзі. Ця умова необхідна для надання різних рівнів якості обслуговування пакетів, що забезпечує вибіркове налаштування параметрів забезпечення якості обслуговування.

Принцип роботи алгоритму RED аналітично виражається виразами:

- *середній розмір черги*: $R_{cp} = R_{cn-1} \left(1 - \frac{1}{2^n}\right) + R_n \cdot \frac{1}{2^n}$ (байт), де R_{cp} – поточне середнє

значення глибини черги; R_{cn-1} – попереднє розраховане середнє значення глибини черги; R_n – поточне значення глибини черги; n – експоненціальний ваговий коефіцієнт, що визначається користувачем.

- *ймовірність відкидання пакетів*: $P = \frac{R_{cp} - R_{\min}}{R_{\max} - R_{\min}} \cdot \frac{1}{K}$, де R_{\min} – мінімальне

порогове значення розміру черги; R_{\max} – максимальне порогове значення розміру черги; K – ваговий коефіцієнт, з яким видаляються пакети.

При аналітичному аналізі алгоритму RED мінімальний поріг черги був встановлений $R_{\min}=80$, в той час як для WRED R_{\min} було змінним для кожної черги ($R_{\min1}=310$, $R_{\min2}=400$, $R_{\min3}=440$, $R_{\min4}=190$, $R_{\min5}=320$, $R_{\min6}=440$, $R_{\min7}=250$, $R_{\min8}=400$).

При перевищенні R_{\min} , алгоритм починає відкидання пакетів з ймовірністю, прямо пропорційною зростанню розміру черги. При досягненні максимального порогу R_{\max} розміру черги, пакети відкидаються з 100% ймовірністю. Тобто RED переходить в режим tail-drop.

За умовою, для здійснення порівняльного аналізу механізмів розподілу ресурсів, розглядаються алгоритми MDRR та WFQ.

Механізм роботи алгоритму кругового обслуговування з дефіцитом **MDRR** полягає в круговому обслуговуванні непустих черг на деякому мережевому пристрої. Критерієм обслуговування нової черги є від'ємне або нульове значення лічильника дефіциту, початкове значення якого встановлюється рівним квантовому показнику черги, що, в свою чергу, визначається в залежності від ваги черги та фіксованого значення MTU (maximum transmission unit), що для Ethernet мереж рівне 1500 байт [1]. Зазначимо, що в кожному новому циклі, значення лічильника дефіциту збільшується на квантовий показник [2].

Значення лічильника дефіциту зменшується на розмір пакету, що передається. Після того, як пакет успішно передався системою, відбувається порівняння поточного значення лічильника дефіциту та розміру пакету, що стоїть в черзі. У випадку, якщо розмір пакету менший за значення лічильника дефіциту відбувається його передача, у противному – обслуговування переходить до наступної черги.

Слід зазначити, що в даному алгоритмі присутня так звана черга з малою затримкою, яка на відміну від інших черг, не обслуговується в круговому режимі. Привілейованість черги з малою затримкою забезпечується режимом її обслуговування:

- режимом строгого пріоритету, який характеризується обслуговуванням даної черги при присутності в ній хоча б одного пакету;
- режимом з чередуванням – черга з малою затримкою кожного разу обслуговується після обслуговування однієї з решти черг. Тобто, кожний непарний крок алгоритму MDRR з даним режимом забезпечуватиме обробку черги з малою затримкою.

В нашому випадку припустимо, що черга №1 має найвищий пріоритет, тому при розрахунку даного алгоритму в режимі з чередуванням, саме вона буде обслуговуватись кожен непарний крок.

Іншим алгоритмом розподілу ресурсів, що розглядається, є алгоритм зваженого рівномірного обслуговування **WFQ** на основі потоку. Основною відмінністю даного алгоритму є присвоєння кожному потоку трафіка певного значення ваги, на основі якого визначається порядок обслуговування пакетів цього потоку. Порядковий номер пакета визначається як добуток його довжини та присвоєної йому ваги. Відповідно до алгоритму WFQ порядковий номер пакета визначає відносне положення пакету в WFQ-планувальнику, а лічильник циклів – порядковий номер останнього обслуженого WFQ-планувальником пакета.

Моделювання. Для здійснення аналітичного порівняння вибраних алгоритмів, в якості вихідних даних задавались інтенсивність вхідних пакетів (пак/сек) в кожен чергу, кількість пакетів в черзі, закон розподілу довжин пакетів в черзі, вага кожної черги при дослідженні механізму MDRR, пріоритет для кожної черги при дослідженні механізму WFQ на основі потоку, максимальний, мінімальний поріг черги, середній розмір черги при дослідженні алгоритмів RED/WRED.

Перед початком моделювання процесу обслуговування пакетів створюються 8 джерел пакетів – списки об'єктів класу Packet. Кожен елемент списку моделює пакет, якому при створенні присвоюються атрибути:

- номер черги;
- порядковий номер пакету;
- розмір пакету;
- час його появи на вході в систему.

Розмір пакету, відповідно до завдання, підпорядкований закону розподілу Парето. Значення розміру пакету обчислюється як значення функції, оберненої до закону розподілу Парето, від випадкового числа з рівномірним розподілом на проміжку від 0 до 1 [3]:

$$Size = \left[\frac{\sigma}{k} \cdot (1 - (1 - random(0;1))^k) + \theta \right].$$

Моменти часу появи вираховуються як послідовність чисел, де кожне наступне значення більше від попереднього на величину підпорядковану експоненціальному закону розподілу [4]:

$$\Delta t = \frac{1}{\lambda} \cdot \ln(1 - random(0;1)).$$

Після створення джерел формується послідовність моментів часу появи нових пакетів у системі. Під час роботи системи в цю послідовність будуть додаватися нові моменти часу, що будуть відповідати моментам обслуговування певного пакету та виходу його з системи.

Власне процес полягає у переході системи в циклі від першого моменту часу в послідовності до наступних. Під час кожного кроку відбуваються події, що відповідають роботі системи (перенесення пакету з джерела у буфер або відкидання його механізмом RED/WRED, обслуговування одного з пакетів, що стоїть у черзі, вихід пакету з системи).

Після здійснення генерації пакетів, було отримані наступний розподіл їх відносно черг:

- Черга 1: 129, 173, 178, 131, 144, 133, 131, 131, 155, 184;
- Черга 2: 276, 310, 271, 262, 278, 313, 298, 258, 271, 300;
- Черга 3: 522, 530, 534, 549, 554, 533, 542, 528, 528, 525;
- Черга 4: 162, 134, 193, 138, 141, 206, 141, 132, 151, 153;
- Черга 5: 296, 301, 305, 282, 265, 290, 268, 292, 265, 295;
- Черга 6: 550, 514, 545, 524, 523, 533, 523, 530, 522, 513;
- Черга 7: 136, 137, 131, 147, 129, 134, 143, 173, 155, 202;
- Черга 8: 282, 259, 296, 286, 274, 288, 259, 266, 275, 322.

Нижче приведені Табл. 1 з ймовірностями втрат та кількістю відкинутих пакетів для кожної черги та графічне зображення результату при порівнянні алгоритмів раннього довільного виявлення RED та його зваженої модифікації WRED при передачі з другого по сьомий пакети (Рис. 1, 2).

Ймовірність відкидання пакетів в чергах при передачі 2-7 пакетів **Табл. 1**

Алгоритм	№ черги							
	1	2	3	4	5	6	7	8
	Ймовірність відкидання пакетів в черзі i ($i = 1, \dots, 8$) при передачі 2-7 пакетів, $P_{i(2-7)}$							
RED	0,296	0,463	0,769	0,311	0,462	0,751	0,284	0,452
WRED	0,16	0,307	0,631	0,253	0,353	0,663	0,187	0,292
Алгоритм	Кількість відкинутих пакетів в черзі i , $n_{i(2-7)}$							
RED	1	2	4	1	2	4	1	2
WRED	0	1	3	1	2	3	1	1

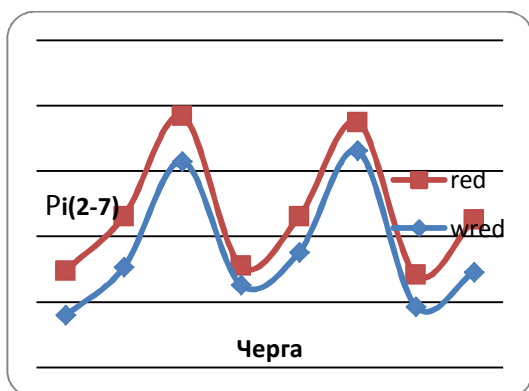


Рис. 1. Ймовірності втрат в чергах в залежності від обраного алгоритму при передачі 2-7 пакетів

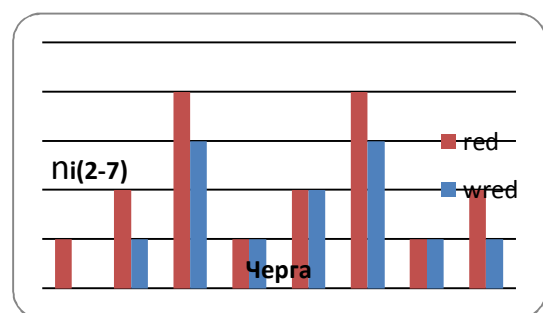


Рис. 2. Кількість відкинутих пакетів в залежності від обраного алгоритму при передачі 8-10 пакетів

Після відсіювання пакетів, для зменшення навантаження на кожну з черг, за сценарієм №1 відбувається визначення послідовності відправки пакетів згідно з алгоритмом MDRR. Кожна черга характеризується значенням лічильника дефіциту, або яке ще називають квантовим значенням, що являє собою середню кількість байтів, що обслуговуються протягом одного циклу. Пакети черги обробляються до тих пір, поки значення лічильника дефіциту стає рівним 0 або від'ємним, після чого починає обслуговуватись наступна черга.

Стандартна формула розрахунку початкового значення дефіцита [5, 6]:

$$D = [MTU + (weight - 1) \cdot 512] \text{ (байт)}, \text{ де}$$

$weight$ – вага, що присвоюється для кожної черги ($weight = 0.8, 0.7, 0.6, \dots, 0.1$).

По завершенні алгоритму, черги обслуговувались в наступному порядку 1, 7, 3, 4, 5, 6, 8.

За сценарієм №2, планування потоків здійснюється згідно механізму зваженої справедливої черги WFQ на основі потоку, принцип роботи якого визначається знаходженням порядкового номера пакету за двома параметрами: розмір пакету в байтах та його вага. Вага пакета знаходиться на підставі значення поля IP-пріоритету в заголовку пакета. Нижче наведені формули розрахунку ваги IP-пакета і порядкового номеру пакету [2]:

$$V = \frac{4096}{IP + 1}, \text{ (байт)}; \quad N = 100 + V \cdot L_n \text{ (байт)},$$

де L_n – значення найбільшого порядкового номера пакету, поставленого в чергу цього потоку.

Алгоритм WQF працює за принципом передачі пакету з найменшим порядковим номером.

Після розрахунку порядкових номерів пакетів встановлено наступний порядок їх обслуговування в чергах: 1, 4, 2, 3, 5, 6, 7, 8. Відмітимо, що спершу обслуговуються пакети з 1-ої черги.

Порівнюючи два алгоритми розподілу ресурсів MDRR та WFQ, можна помітити, що найпріоритетніша черга 1 обслуговувалась першою в двох випадках, що свідчить про забезпечення необхідного рівня якості обслуговування.

Висновки. Здійснено генерацію довжин пакетів за законом Парето для восьми черг та аналітичний порівняльний аналіз алгоритмів превентивного виявлення перевантаження RED та WRED. Показано, що розрахована ймовірність втрат пакетів під час використання алгоритму RED є вищою, ніж за використання алгоритму WRED. Оскільки в роботі розглядається передача мультисервісного трафіку, то високий рівень втрат у випадку не диференційованості трафіку є не обґрунтованим, та може призвести до відчутного зниження якості обслуговування чутливих до затримок даних.

Проведено аналіз роботи механізмів розподілу ресурсів MDRR та WFQ. Показано, що обидва алгоритми забезпечують найперше обслуговування найбільш пріоритетної черги, що зменшує ризик погіршення якості отримання послуг.

Література

1. The Linux Information Project. MTU Definition, 2005 [Електронний ресурс] // – Режим доступу : <http://www.linfo.org/mtu.html>
2. Шринивас Вегешна «Качество обслуживания в сетях IP» . К.: Вильямс. 2003 – 368 с.
3. Chunlin Wang. A New Hybrid Estimation Method for the Generalized Pareto Distribution, 2011 [Електронний ресурс] // – Режим доступу : http://www.stats.uwo.ca/gradwebs/jlee/sosgssd2011/files/presentations/Chunlin_Wang_SOSGSSD2011.pdf
4. Новоселов А. А. Современные риски системы [Електронний ресурс] // – Режим доступу : http://risktheory.ru/distr_exp.htm
5. Understand and Configure MDRR/WRED on the Cisco 12000 Series Internet Router [Електронний ресурс] // – Режим доступу : <http://www.cisco.com/c/en/us/support/docs/routers/12000-series-routers/18841-mdrr-wred-18841.html>
6. Sally Floyd, Ramakrishna Gummadi, and Scott Shenker. Adaptive RED: An Algorithm for Increasing the Robustness of RED's Active Queue Management, 2001. [Електронний ресурс] // – Режим доступу : <http://www.icsi.berkeley.edu/pubs/networking/adaptivered01.pdf>