

УДК 621.391

Варфоломеєва О. Г., к.т.н.; Лісковський І. О., к.т.н.

(Державний університет телекомунікацій, м. Київ. +380995480376. o_g_var@i.ua. lisaknod@mail.ru)

АНАЛІТИЧНИЙ МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ЯКОСТІ ДЛЯ СИСТЕМИ ЧЕРГ У МЕРЕЖНОМУ ВУЗЛІ

Варфоломеєва О. Г., Лісковський І. О. Аналітичний метод визначення параметрів якості для системи черг у мережному вузлі. У статті розглянуто метод, що дозволяє розрахувати системні параметри для системи черг в мережному вузлі, що функціонують з використанням MDRR, WRED. Як параметри використовується імовірність знаходження системи черг в конкретних станах, середнє число байт, що знаходяться в черзі, середня продуктивність системи черг, середній час затримки. Запропонований метод дозволяє визначити основні параметри системи черг, які базуються на основних алгоритмах передачі даних в пакетних мережах, що дозволить провести аналіз ефективності використання мережних ресурсів, а також визначити якість наданої послуги для заданої інтенсивності надходження пакетів на вхідний інтерфейс мережного елемента.

Ключові слова: передача даних, пакетна мережа, аналітична модель, система черг, продуктивність, якість обслуговування, імовірність втрати пакетів, QoS, MDRR, WRED

Варфоломеєва О. Г., Лісковський І. О. Аналітичний метод визначення параметрів якості для системи черг у мережному вузлі. В статье рассмотрен метод, позволяющий рассчитать системные параметры для системы очередей в сетевом узле, функционирующих с использованием MDRR, WRED. В качестве параметров используются вероятности нахождения системы очередей в конкретных состояниях, среднее число байт, находящихся в очереди, средняя производительность системы очередей, среднее время задержки. Предложенный метод позволяет определить основные параметры системы очередей, базирующихся на основных алгоритмах передачи данных в пакетных сетях, с целью проведения анализа эффективности использования сетевых ресурсов, а также определения качества предоставляемой услуги для заданной интенсивности поступления пакетов на входной интерфейс сетевого элемента.

Ключевые слова: передача данных, пакетная сеть, аналитическая модель, система очередей, производительность, качество обслуживания, вероятность потери пакетов, QoS, MDRR, WRED

Varfolomeieva O. H., Liskovsky I. O. Analytical method of determination of quality parameters for the system of turns in a network node. A method, allowing to expect system parameters for the system of turns, functioning with the use of MDRR, WRED is considered in the article. As parameters are used probabilities of finding of the system of turns in the concrete states, middle number byte, being in a turn, middle productivity of the turns system, mean time of delay. The offered method allows to define the basic parameters of the turns system, based on the basic algorithms of forwarding of data in package networks, with the purpose of analyses of efficiency of the network resources use, and also determination of quality of the given service for the set intensity packages receipt on the entrance interface of network element.

Keywords: data communication, package network, analytic models, system of turns, utilization, quality of service, probability of loss of packages, QoS, MDRR, WRED

Вступ. В даний час пред'являються жорсткі вимоги до передачі мультимедійної інформації. Сучасні механізми розподілу ресурсів мережного елемента (вузла), а також алгоритми запобігання перевантаженню потребують постійного настроювання для забезпечення заданої якості [1]. Параметри цих механізмів є величинами, настроювання яких проводиться для кожного конкретного випадку, і нерідко базуються на інтуїції системного адміністратора або рекомендаціях виробника устаткування, а не на аналітичному розрахунку. Таким чином, на даний момент не існує гарантії, що при конфігурації мережного устаткування і плануванні мережі в цілому буде встановлений режим оптимального

використання ресурсів мережних елементів, а значить, забезпечено надання послуги з необхідною якістю. Автори пропонують метод визначення параметрів якості для системи черг при заданій конфігурації мережного елементу.

Основна частина. Розглянемо систему черг, представлену на Рис. 1. Буфери А, В і С є чергами, в які надходить трафік певного класу. Буфер D є чергою до вихідного інтерфейсу (канальний рівень моделі OSI). Черги А, В і С можна представити як систему з кінцевим числом станів (кінцева черга). А це означає, що існує імовірність втрати інформації в даних чергах, тобто відкидання пакетів при переповненні черги. Черга D може розглядатися як черга без втрат, оскільки технічна швидкість канального рівня є фіксованою величиною. Продуктивність черги D дорівнює інтенсивності вхідного потоку і, відповідно, сумі продуктивностей черг А, В і С.

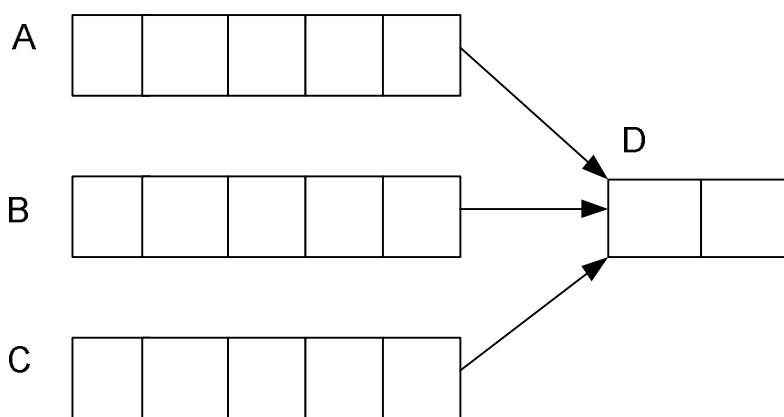


Рис. 1. Система черг в мережному вузлі

Кожну з черг можна представити у вигляді сукупності подій, визначуваних станами, в яких ця черга може знаходитися. Наприклад, п'ятьма станами, для черги А це: A_0 – буфер порожній; A_1 – в буфері знаходиться від 1 байта включно до 33% ; A_2 – в буфері знаходиться від 33% включно до 66% ; A_3 – в буфері знаходиться від 66% байт включно до 100% мінус 1 байт ; A_4 – буфер заповнений на 100%. Граф переходів між станами для черги А представлений на Рис. 2.

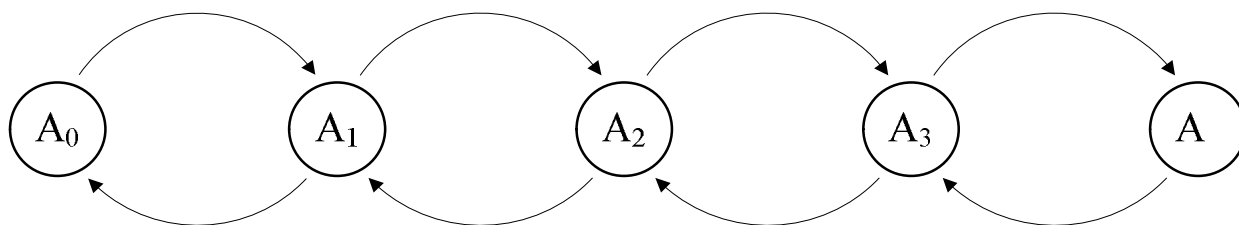


Рис. 2. Граф переходів між станами для черги А

Для кожної з даних черг існує своя інтенсивність надходження пакетів, яка залежить від налаштувань політики управління трафіком в частині його обмеження (policing) і вирівнювання (shaping), а також параметрів налаштування механізму боротьби з

перевантаженням WRED (Weighted Random Early Detection – алгоритм довільного раннього виявлення). Інтенсивність обробки пакетів є величиною що настраюється алгоритмом модифікованого кругового обслуговування MWRR (Modified Weighted Round Robin) або алгоритмом модифікованого обслуговування з дефіцитом MDRR (Modified Déficit Round Robin).

Буфер D можна представити у вигляді сукупності подій, визначуваних трьома станами: D_0 – буфер порожній; D_1 – в буфері знаходиться від 1 байта включно до 50% ; D_2 – буфер заповнений від 50% свого об'єму включно до 100%. Граф переходів між станами для черги D представлений на Рис. 3.

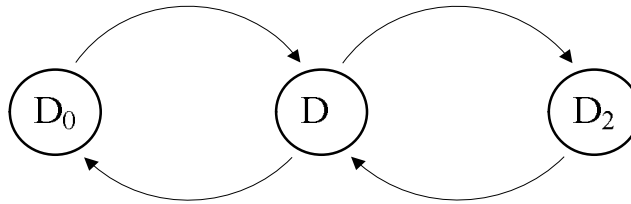


Рис. 3. Граф переходів між станами для черги D

Складемо повну групу несумісних подій, які визначаються всіма можливими комбінаціями станів черг A, B, C і D. Кількість таких станів визначається як:

$$N = N_A \cdot N_B \cdot N_C \cdot N_D,$$

де N_A, N_B, N_C, N_D – кількість станів кожній з черг.

Прийmemo, що перехід із стану в стан здійснюється послідовно, тобто з нульового стану черга не може потрапити в четвертий, не пройшовши попередньо через перший, другий і третій стани.

Тоді, повна група подій має вигляд:

$$\begin{aligned} S_0 &= A_0 \cdot B_0 \cdot C_0 \cdot D_0 \cdot \\ S_1 &= A_1 \cdot B_0 \cdot C_0 \cdot D_0 \cdot \\ S_2 &= A_0 \cdot B_1 \cdot C_0 \cdot D_0 \cdot \\ S_3 &= A_0 \cdot B_0 \cdot C_1 \cdot D_0 \cdot \\ S_4 &= A_0 \cdot B_0 \cdot C_0 \cdot D_1 \cdot \\ S_5 &= A_2 \cdot B_0 \cdot C_0 \cdot D_0 \cdot \\ S_6 &= A_1 \cdot B_1 \cdot C_0 \cdot D_0 \cdot \\ S_7 &= A_1 \cdot B_0 \cdot C_1 \cdot D_0 \cdot \\ S_8 &= A_1 \cdot B_0 \cdot C_0 \cdot D_1 \cdot \\ S_9 &= A_0 \cdot B_2 \cdot C_0 \cdot D_0 \cdot \\ S_{10} &= A_0 \cdot B_1 \cdot C_1 \cdot D_0 \cdot \\ S_{11} &= A_0 \cdot B_1 \cdot C_0 \cdot D_1 \cdot \\ &\dots\dots\dots \\ S_{374} &= A_4 \cdot B_4 \cdot C_4 \cdot D_2 \cdot, \end{aligned}$$

де S_0 – подія, що означає, що всі буфери порожні;

S_{374} – подія, що означає, що всі буфери заповнені.

Враховуючи можливість покрокового переходу із стану в стан, можна отримати граф розмічених станів, який відображає динаміку зміни станів системи. Фрагмент графа приведений на Рис. 4.

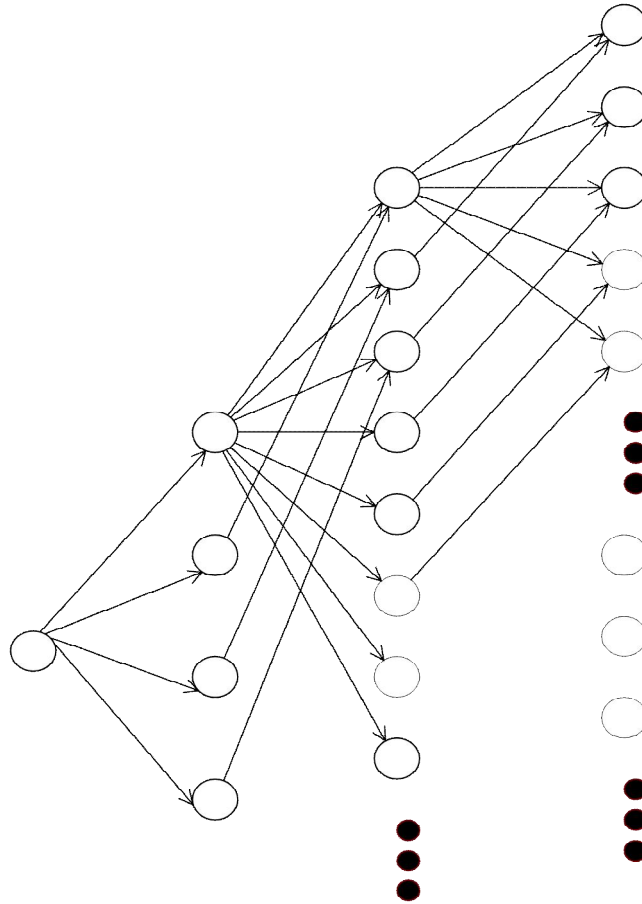


Рис. 4. Граф розмічених станів

Використовуючи теорію марківських процесів з безперервним часом і дискретними станами [2, 3], визначимо імовірність знаходження системи черг в кожному з можливих станів. Для цього, вочевидь, необхідно задати інтенсивності потоків надходження пакетів і продуктивності кожній з черг, які визначають швидкості обробки пакетів кожною чергою. Необхідно врахувати, що на інтенсивності надходження потоків пакетів впливає вибрана конфігурація параметрів алгоритму управління перевантаженнями (WRED), оскільки ці параметри визначатимуть умови превентивного відкидання пакетів. У загальному випадку інтенсивності як надходження, так і обробки пакетів є функціями часу.

Припустимо, що перехід черги А із стану в стан у міру заповнення буфера визначатиметься інтенсивностями потоку $\lambda_{A0}, \lambda_{A1}, \lambda_{A2}, \lambda_{A3}$; заповнення буфера В – інтенсивностями потоку $\lambda_{B0}, \lambda_{B1}, \lambda_{B2}, \lambda_{B3}$; заповнення буфера С – інтенсивностями потоку $\lambda_{C0}, \lambda_{C1}, \lambda_{C2}, \lambda_{C3}$ і заповнення буфера D – інтенсивностями потоку $\lambda_{D0}, \lambda_{D1}$.

Продуктивність обробки черг А, В, С і D визначатиметься потоками відновлення з інтенсивностями $\mu_A, \mu_B, \mu_C, \mu_D$.

Вирішуючи систему лінійних диференціальних рівнянь із змінними коефіцієнтами, отримуємо розподіл імовірності знаходження системи черг по станах, що може бути інтерпретоване як відносний час знаходження системи в даному стані. Для даного прикладу дана система рівнянь має вигляд [4]:

$$\begin{aligned}
 p'_0 &= p_1\mu_A + p_2\mu_B + p_3\mu_C + p_4\mu_D - (\lambda_{A0} + \lambda_{B0} + \lambda_{C0} + \lambda_{D0})p_0 \\
 p'_1 &= p_5\mu_A + p_6\mu_B + p_7\mu_C + p_8\mu_D + p_0\lambda_{A0} - (\lambda_{A1} + \lambda_{B0} + \lambda_{C0} + \lambda_{D0} + \mu_A)p_1 \\
 p'_2 &= p_8\mu_A + p_9\mu_B + p_{10}\mu_C + p_{11}\mu_D + p_0\lambda_{B0} - (\lambda_{A0} + \lambda_{B1} + \lambda_{C0} + \lambda_{D0} + \mu_B)p_2 \\
 &\dots\dots\dots \\
 p'_{374} &= p_{371}\lambda_{A3} + p_{372}\lambda_{B0} + p_{373}\lambda_{C0} + p_{374}\lambda_{D0} - (\mu_A + \mu_B + \mu_C + \mu_D)p_{374}
 \end{aligned}$$

Вирішуючи систему диференціальних рівнянь, отримаємо імовірність знаходження системи черг в кожному із станів. Кожна з імовірностей може бути інтерпретоване як відносний період часу знаходження системи в даному стані, що визначається мірою заповнення буфера в кожній з черг.

Імовірність втрат пакетів можна виразити за допомогою логічного критерію, що розділяє групу несумісних подій на дві підгрупи: з наявністю втрат (U_2) і з відсутністю втрат (U_1), а також що враховує час перебування системи в кожному із станів (вплив параметрів механізму WRED) [5].

Тоді імовірність втрати пакетів визначається як

$$P_m = \sum_{i \in U_2} p_i,$$

де U_2 визначає групу подій, при яких відбувається втрата пакетів.

Середня завантаженість системи черг визначається як математичне очікування числа байт, черг, що знаходяться в системі, в даний момент. Це число знаходиться в інтервалі між математичним очікуванням, відповідним нижній границі заповнення буфера для вибраного стану і математичним чеканням, відповідним верхній границі заповнення буфера для цього стану.

Нижня \bar{N}_{\min} і верхня \bar{N}_{\max} границі середньої завантаженості системи черг визначаються наступними виразами:

$$\bar{N}_{\min} = \sum_{i \in U} k_{i\min} \cdot p_i;$$

$$\bar{N}_{\max} = \sum_{i \in U} k_{i\max} \cdot p_i,$$

де U визначає повну групу несумісних подій;

$k_{i\min}$ і $k_{i\max}$ визначають, відповідно, нижню і верхню границі заповнення системи черг для кожного із станів;

p_i – імовірність знаходження системи в i -му стані.

Середня продуктивність системи черг

$$X = \sum_{i \in U} \mu_i \cdot p_i,$$

де μ_i – продуктивність системи черг для i -ї події, яка визначається по графу станів;

p_i – імовірність знаходження системи в i -му стані.

Середній час відгуку системи черг:

$$R = \frac{\bar{N}}{X}$$

Якість послуги, що надається, є функціоналом від приведених параметрів:

$$Q = F[P_{mn}, \bar{N}, X],$$

де P_{mn} – імовірність втрати пакетів в системі черг;

\bar{N} – середня завантаженість системи черг;

X – середня продуктивність системи черг.

Висновки. Запропонований метод дозволяє визначити основні параметри системи черг, що базуються на основних алгоритмах передачі даних в пакетних мережах, з метою проведення аналізу ефективності використання мережних ресурсів, а також визначення якості послуги, що надається, для заданої інтенсивності надходження пакетів на вхідний інтерфейс мережного елемента.

Література

1. Варфоломеева О. Г. О некоторых вопросах анализа и синтеза системы управления телекоммуникациями. / О. Г. Варфоломеева, И. О. Лисковский // Вісник Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій. – 2012. – Т.10, №1. – С. 64-68.
2. Вентцель Е. С. Прикладные задачи теории вероятностей / Е. С. Вентцель, Л. А. Овчаров. – Москва : Радио и связь, 1983. – 415 с.
3. Вентцель Е. С. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения / Е. С. Вентцель, Л. А. Овчаров. – Москва : Наука, 1991. – 383 с.
4. Гнеденко Б. В., Математические вопросы теории надежности / Б. В. Гнеденко, Ю. К. Беляев, И. Н. Коваленко. – Москва : Наука, 1965. – 524 с.
5. Daniel A. Menascé. Capacity Planning for Web Services: Metrics, Models, and Methods. / Daniel A. Menascé, Virgilio A.F. Almeida. – Published Sep 11, 2001 by Prentice Hall. – 608 p.

Дата надходження в редакцію: 15.04.2014 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Семенко А. І.