

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ



**НАУКОВІ ПРАЦІ
ДОНЕЦЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО
ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ**

*Серія: “Обчислювальна техніка
та автоматизація”*

№ 1(26) 2014

Донецьк
2014

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**НАУКОВІ ПРАЦІ
ДОНЕЦЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО
ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ**

*Серія: “Обчислювальна техніка
та автоматизація”*

Всеукраїнський науковий збірник

Заснований у липні 1998 року

Виходить 2 рази на рік

№ 1(26) 2014

Донецьк
2014

УДК 681.5: 658.5: 621.3

Друкується за рішенням Вченої ради державного вищого навчального закладу «Донецький національний технічний університет» (протокол № 6 від 20.06.2014).

У збірнику опубліковано статті науковців, аспірантів, магістрів та інженерів провідних підприємств і вищих навчальних закладів України, в яких наведено результати наукових досліджень та розробок, виконаних у 2013-2014 роках згідно напрямків: автоматизація технологічних процесів, комп'ютерні інформаційні технології, інформаційно-вимірювальні системи, електронні і мікропроцесорні прилади.

Матеріали збірника призначено для викладачів, наукових співробітників, інженерно-технічних робітників, аспірантів та студентів, що займаються питаннями розробки і використання автоматичних, комп'ютерних і електронних систем.

Засновник та видавець – Донецький національний технічний університет.

Редакційна колегія: О.А. Мінаєв, чл-кор. НАН України, д-р техн. наук, проф., головний редактор; Є.О. Башков, д-р техн. наук, проф., заступник головного редактора; Є.Б. Ковальов, д-р техн. наук, проф., відп. секретар випуску; Ахім Кінле д-р техн. наук, проф.; Іван Тауфер д-р техн. наук, проф.; А.А. Зорі, д-р техн. наук, проф.; О.Г. Воронцов, д-р техн. наук, проф.; Ю.О. Скобцов, д-р техн. наук, проф.; Н.І. Чичикало, д-р техн. наук, проф.; М.М. Заблодський, д-р техн. наук, проф.; В.В. Турупалов, канд. техн. наук, проф.; К.М. Маренич, канд. техн. наук, проф.; О.В. Хорхордін, канд. техн. наук, доц.; М.Г. Хламов, канд. техн. наук, доц.; Б.В. Гавриленко, канд. техн. наук, доц.

Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації: серія КВ № 7376 від 03.06.2003.

Збірник включено до переліку наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук (затверджено постановою президії ВАК України № 1-05/5 від 01. 07. 2010 р., надруковано в бюлетені ВАК №7, 2010).

Збірник включено до бібліографічної бази даних наукових публікацій Російський індекс наукового цитування (РІНЦ) (http://elibrary.ru/title_about.asp?id=38108)

ЗМІСТ

Стор.

Розділ 1 Автоматизація технологічних процесів	5
Борисов А.А. Применение FF-, FB-, MFC-AGC регуляторов в концепции управления приводами клетей прокатного стана по мощности.	6
Воротникова З.Е. Формирование и использование архивной базы данных в системе «советчик оператора доменной печи»	14
Суздаль В.С., Тавровский И.И., Соболев А.В., Кобылянский Б.Б. Система с параметрической инвариантностью для процессов кристаллизации	24
Лапта С.С., Масолова Н.В., Зиновьева Я.В. Развитие теории моделирования переходного процесса в сложной гомеостатической системе	29
Мироненко Л.П., Петренко И.В., Власенко А.Ю. Интеграл Ньютона-Лейбница и вторая интегральная теорема о среднем	36
Найденова Т.В., Федюн Р.В. Синтез САУ процессом биохимической водоочистки	41
Федюн Р.В. Автоматичне управління занурювальними насосами водовідливу ліквідованих шахт	51
Гарматенко А.М. Алгоритм поиска кратковременной памяти в данных акустической эмиссии угольных пластов	61
Розділ 2 Інформаційні технології та телекомунікації	69
Воропаєва А.О. Розробка методу керування безпроводовими телекомунікаційними мережами нового покоління на основі застосування підходу максимізації завантаженості мережі	70
Гостев В.И., Кунах Н.И., Артюшик А.С. Аппроксимация звена чистого запаздывания для АQM-систем комплексной передаточной функцией звена Паде	77
Дегтяренко И.В., Лозинская В.Н. Динамические модели средств управления трафиком в сетевом узле	85
Дмитриева О.А. Оптимизация выполнения матрично-векторных операция при параллельном моделировании динамических процессов	94
Євсєєва О.Г. Використання комп'ютерно-орієнтованих засобів проектування і організації навчання математики на засадах діяльнісного підходу в технічному університеті	101
Воропаєва В.Я., Жуковська Д.О. Оцінка впливу алгоритмів обробки черг на показники QOS	111
Воропаєва В.Я., Кабакчей В.И. Выбор методов оценки количества меток в рабочей зоне RFID-ридера для достижения максимальной пропускной способности	119
Кануннікова К.П., Червинський В.В. Алгоритм динамічного регулювання споживаної потужності мікростілками гетерогенної мережі LTE	126
Klymash M.M., Haider Abbas Al-Zayadi, Lavriv O.A. Improving throughput using channel quality indicator in LTE technology	134

Мірошкін О.М. Модифікація системи адресації мікрокоманд у пристрої керування при його реалізації у базисі гібридних FPGA	144
Молоковский И.А. Моделирование процессов распространения радиоволн в подземной части угледобывающего предприятия	152
Пасічник В.В., Назарук М.В. Інформаційно-технологічний супровід системних трансформацій вітчизняної освітньої галузі	160
Батыр С.С., Хорхордин А.В. Особенности оценки эффективности методов управления очередью маршрутизатора	169
Розділ 3 Інформаційно-вимірювальні системи, електронні та мікропроцесорні прилади	177
Вовна А.В., Зори А.А. Оптический измеритель концентрации метана с аппаратно-программной компенсацией температурного дрейфа	178
Жукова Н.В., Литвинов В.И., Голиков В.В. Лабораторный стенд регулируемого линейного асинхронного электропривода – аналога электропривода постоянного тока	189
Кузнецов Д.Н., Чупис Д.А. Исследование физической модели ступенчатого испытательного воздействия для определения динамических характеристик термопреобразователей	202
Куценко В.П. Математичне моделювання властивостей діелектричних матеріалів при використанні мікрохвильових експертних систем	210
Лыков А.Г., Косарев Н.П. Исследование влияния ширины спектра излучения источника на чувствительность измерительных каналов газоанализаторов выхлопных газов автомобильного транспорта	218
Штепа А.А. Обоснование концепции структурно алгоритмической организации модульной компьютеризированной информационно-измерительной системы электрофизиологических сигналов	226

Розділ 2

Інформаційні технології та телекомунікації

УДК 621.39

И.В. Дегтяренко (канд. техн. наук, доц.), В.Н. Лозинская
ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк
кафедра «Автоматика и телекоммуникации»
e-mail: ilya_degtyarenko@ukr.net, lvn_04@mail.ru

ДИНАМИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ СРЕДСТВ УПРАВЛЕНИЯ ТРАФИКОМ В СЕТЕВОМ УЗЛЕ

Разработаны динамические модели планировщика, как средства управления трафиком в сетевом узле. Представленные модели позволяют повысить эффективность использования сетевых ресурсов за счет управления размерами буферного пространства каждой из очередей планировщика. Предложенные математические модели отражают динамику работы планировщиков в пространстве состояний, а переход в базис Max-plus алгебры позволяет получить заданные оценки, с учетом необходимых параметров качества обслуживания.

Ключевые слова: *параметры качества обслуживания, средства управления трафиком, дисциплина обслуживания очереди, Max-plus алгебра, дискретно-событийная система, пространство состояний.*

Общая постановка проблемы

Обеспечение необходимого уровня качества предлагаемых услуг является основополагающей функцией общей системы управления в современных телекоммуникационных сетях (ТКС) [1]. Одним из средств обеспечения заданного качества обслуживания (QoS) [2] является концепция Traffic Engineering, в рамках которой «заложены» средства управления трафиком, как на отдельном сетевом узле, так и в сети в целом. Иерархичность и мультисервисность современных ТКС стали причиной усложнения задач управления сетью в целом, переместив при этом часть функций управления в управляемый сетевой узел (коммутатор, маршрутизатор).

На данный момент в рамках сетевого узла, в зависимости от модели качества обслуживания предоставляемых услуг (Integrated Service, Differentiated Service), реализованы такие средства управления как: функции «управления допустимостью соединения», классификация пакетов, планировщик, протокол резервирования ресурсов [3]. Особенностью многих видов сетевого оборудования является ограниченность всех вышеперечисленных функций. Это связано с невозможностью перенастройки алгоритмов и введения новых, если это потребуется. Однако, с появлением концепции открытых программно-конфигурируемых сетей (SDN) [4], у поставщиков телекоммуникационных услуг появилась возможность перенастраивать политики планирования с целью повышения эффективности использования сетевых ресурсов.

Так как задачи управления трафиком с учетом эффективности использования сетевых ресурсов, при заданном качестве обслуживания, стали основополагающими в русле управления ресурсами ТКС, то разработка математических моделей алгоритма эффективного управления трафиком, является актуальной проблемой для исследований.

Целью данной работы является разработка динамических моделей работы планировщиков в современных ТКС для нахождения оптимальной величины буферного пространства очередей планировщика, при обеспечении заданных параметров качества обслуживания.

Анализ существующих алгоритмов планировщиков

Алгоритмы планирования обслуживания очередей, как было упомянуто выше, относятся к классу средств, реализованных непосредственно в сетевых узлах. За счет основной функции планировщика, сглаживания профиля трафика, можно достичь таких целей как уменьшение пачечности трафика, повышение эффективности использования канальных ресурсов, осуществление защиты от перегрузки, при обеспечении заданных параметров QoS. Наибольшее распространение в телекоммуникационных сетях получили следующие алгоритмы как DRR, PQ, CQ, LLQ, WFQ, CWFQ и др. Все эти алгоритмы можно разделить на несколько классов [5-8]:

- без приоритетного обслуживания (DRR);
- приоритетного обслуживания (CQ, PQ);
- взвешенного обслуживания (WFQ, PGPS, W2FQ);
- гибридные (LLQ, CWFQ).

На данный момент планировщики без приоритетного обслуживания «трансформировались» в средства циклического обслуживания очередей в сетевом устройстве. Именно поэтому данный класс не будет подробно рассматриваться.

Алгоритмы приоритетного обслуживания - обслуживают очереди, согласно их приоритетам. Существует 4 класса очередей при приоритетном обслуживании: High, Medium, Normal, Low. Пакеты попадают в очереди соответственно значению класса обслуживания в поле ToS. Логика работы такого класса планировщиков в следующем: если активна более приоритетная очередь, то из нее обслуживаются все пакеты, затем обслуживание получает очередь, приоритет у которой ниже и т.д. Из логики работы данного алгоритма, очевидно, что постоянное наличие высокоприоритетного трафика в очереди приведет к значительным потерям низкоприоритетного трафика. Исключение данного недостатка возможно путем применения алгоритмов взвешенного обслуживания очередей.

Алгоритмы взвешенного обслуживания очередей на данный момент является самым распространенным классом планировщиков, реализованных в сетевых устройствах. Логика работы данных планировщиков сводится к определению так называемых весов для обслуживания пакетов. Фактически вес определяет долю пропускной способности выходного интерфейса, которую необходимо предоставить для обслуживания каждой из очередей, формируемых согласно договору о предоставлении обслуживания (SLA). В итоге, каждый из пакетов, находящихся в любой из очередей, получает обслуживание. К недостаткам данного класса планировщика можно отнести низкую скорость обработки, что является достаточно критичным для приложений, чувствительных к временным задержкам. Для устранения этого недостатка разработчики предложили ряд гибридных алгоритмов.

Наиболее известным гибридным алгоритмом, который реализован в сетевом оборудовании большинства производителей, остается алгоритм очередей с малыми задержками (Low Latency Queue - LLQ). В данном алгоритме для трафика, чувствительного к задержкам, выделяется одна очередь, для обслуживания которой резервируется определенная пропускная способность исходящего интерфейса, а все остальные очереди обслуживаются в соответствии с алгоритмом взвешенного обслуживания. В этом случае также настраиваются доли пропускных способностей исходящего интерфейса для каждой очереди. Рассмотрим детально алгоритм взвешенного обслуживания очередей и алгоритм очереди с малыми задержками.

Алгоритм взвешенного обслуживания очередей

Реализация алгоритмов планировщиков с взвешенным обслуживанием очередей основана на вычислении значения функции «виртуального времени» ($V(t)$) Функция «виртуальное время» отображает количество циклов, пройденных планировщиком к моменту времени t . Исходя из значений этой функции, вычисляется значение параметра «время окончания обслуживания»:

$$F_{i,k} = S_{i,k} + \frac{L_{i,k}}{r_i}, \quad (1)$$

$$S_{i,k} = \max\{F_{i,k-1}, V(a_{i,k})\}, \quad (2)$$

где $F_{i,k}$ - значение параметра «время окончания обслуживания» k -го пакета i -го потока; $S_{i,k}$ - значение параметра «время поступления» k -го пакета i -го потока в очередь; $L_{i,k}$ - длина k -го пакета, i -го потока; r_i - величина пропускной способности, выделяемая для обслуживания i -го потока; $V(a_{i,k})$ - значение функции «виртуальное время» в момент времени $a_{i,k}$ для k -го пакета i -го потока.

Для формализации задачи об эффективном использовании пропускной способности исходящего канала (канала выходного интерфейса, например) с заданным качеством обслуживания введем следующие ограничения:

$$\mathbf{d} \leq \mathbf{d}_{\max}, \quad (3)$$

$$\mathbf{r}^{\text{был}} \leq \mathbf{r}^{\text{треб}}, \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^N r_i^{\text{был}} \leq C, \quad i = 1, 2, \dots, N, \quad (5)$$

где \mathbf{d}_{\max} - вектор максимально допустимых задержек для потоков в очередях; N - число «бэжлог» потоков и размерность векторов; $\mathbf{r}^{\text{треб}}$ - вектор требуемых, согласно SLA, интенсивностей обслуживания очередей; $\mathbf{r}^{\text{был}}$ - вектор интенсивностей обслуживания потоков; C - скорость выходного интерфейса, по которому происходит передача.

Оптимизационная задача эффективного использования канального ресурса планировщиком может быть сформулирована следующим образом [9]:

$$\frac{\sum_{i=1}^N r_i^{\text{был}}}{C} \rightarrow 1, \quad i = 1, 2, \dots, N. \quad (6)$$

Исходя из логики работы планировщика, интенсивность обслуживания потоков можно оценить по формуле:

$$\mathbf{r}^{\text{был}} = \frac{\mathbf{L}(k+1)}{\mathbf{F}(k+1) - \mathbf{F}(k)}. \quad (7)$$

Решение поставленной оптимизационной задачи сводится к нахождению необходимого времени нахождения пакетов в буферах различных очередей, что может быть интерпретировано как внесение некоторых задержек \mathbf{D} в процесс обслуживания каждой из очередей. Особенность решения поставленной оптимизационной задачи сводится к тому, что вектор $\mathbf{r}^{\text{был}}$ может быть задан в зависимости от поставленной задачи.

Решение поставленной оптимизационной задачи сводится к нахождению величин интенсивностей обслуживания, удовлетворяющих выражению (6) с ограничениями (3-5). В общем случае значения выходных интенсивностей могут быть рассчитаны один раз на все время работы планировщика. Недостатком математической модели планировщика представленной выражениями (1) и (2) является невозможность синхронной работы нескольких очередей. В работе [10] автором предлагалась дискретно-событийная модель процесса обслуживания пакетов с буфером ограниченной величины. Для внесения синхронизации в работу нескольких очередей воспользуемся эти же подходом.

Рассмотрим следующую дискретно-событийную модель управления планировщиком с 3-мя очередями, представленную на рис. 1. События соответствуют поступлениям пакетов на вход планировщика, например от классификатора. Через время q_1, q_2, q_3 пакеты помещаются

в соответствующие буфера емкостью N_1, N_2, N_3 . По мере формирования управляющих воздействий u_1, u_2, u_3 пакеты извлекаются из буферов и обслуживаются с временами обслуживания e_1, e_2, e_3 . По мере поступления управляющих воздействий u_4, u_5, u_6 пакет поступает в сеть, а планировщик начинает обслуживать следующую очередь. Для описания динамики работы модели перейдем к уравнениям в пространстве состояний.

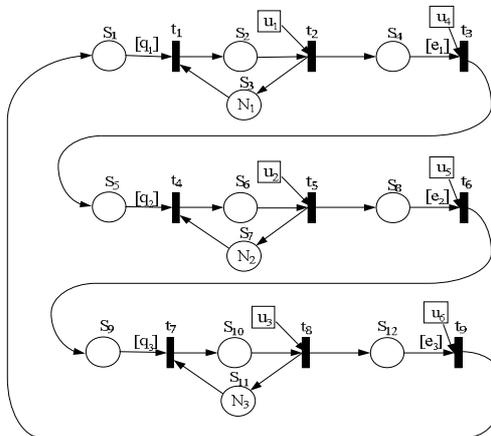


Рисунок 1 - Временно-событийный граф с несколькими управляемыми переходами

Моменты k -х запусков t_i переходов соответствуют переменным $x_i(k)$. В соответствии с представленным временно-событийным графом уравнения состояний системы примут вид:

$$\begin{aligned}
 x_1(k+1) &= x_2(k - N_1 + 1) \oplus q_1 \cdot x_9(k+1), \\
 x_2(k+1) &= x_1(k+1) \oplus u_1(k+1), \\
 x_3(k+1) &= x_2(k+1) \oplus e_1 \cdot u_4(k+1) \\
 x_4(k+1) &= x_5(k - N_2 + 1) \oplus q_2 \cdot x_3(k+1), \\
 x_5(k+1) &= x_4(k+1) \oplus u_2(k+1), \\
 x_6(k+1) &= x_5(k+1) \oplus e_2 \cdot u_5(k+1) \\
 x_7(k+1) &= x_8(k - N_3 + 1) \oplus q_3 \cdot x_6(k+1), \\
 x_8(k+1) &= x_7(k+1) \oplus u_3(k+1), \\
 x_9(k+1) &= x_8(k+1) \oplus e_3 \cdot u_6(k+1).
 \end{aligned}
 \tag{8}$$

Или в матрично-векторной форме:

$$\mathbf{x}(k+1) = \underbrace{\begin{pmatrix} \varepsilon & q_1 \\ e & \varepsilon \\ \varepsilon & e & \varepsilon \\ \varepsilon & \varepsilon & q_2 & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon \\ \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & e & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon \\ \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & e & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon \\ \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & q_3 & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon \\ \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & e & \varepsilon & \varepsilon \\ \varepsilon & e & \varepsilon \end{pmatrix}}_{=A_0} \cdot \mathbf{x}(k+1) \oplus \dots \oplus \underbrace{\begin{pmatrix} \varepsilon & e & \varepsilon \\ \varepsilon & \varepsilon \\ \varepsilon & \varepsilon \\ \varepsilon & \varepsilon \\ \varepsilon & \varepsilon \\ \varepsilon & \varepsilon \\ \varepsilon & \varepsilon \\ \varepsilon & \varepsilon \\ \varepsilon & \varepsilon \end{pmatrix}}_{=A_{N_1}}.$$

$$\mathbf{x}(k - N_1 + 1) \oplus \underbrace{\begin{pmatrix} \varepsilon & \varepsilon \\ \varepsilon & \varepsilon \\ \varepsilon & \varepsilon \\ \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & e & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon \\ \varepsilon & \varepsilon \\ \varepsilon & \varepsilon \\ \varepsilon & \varepsilon \\ \varepsilon & \varepsilon \end{pmatrix}}_{=\mathbf{A}_{N_2}} \cdot \mathbf{x}(k - N_2 + 1) \oplus \underbrace{\begin{pmatrix} \varepsilon & \varepsilon \\ \varepsilon & \varepsilon \\ \varepsilon & \varepsilon \\ \varepsilon & \varepsilon \\ \varepsilon & \varepsilon \\ \varepsilon & \varepsilon \\ \varepsilon & e & \varepsilon \\ \varepsilon & \varepsilon \\ \varepsilon & \varepsilon \end{pmatrix}}_{=\mathbf{A}_{N_3}} \cdot \mathbf{x}(k - N_3 + 1) \oplus \underbrace{\begin{pmatrix} \varepsilon \\ e \\ \varepsilon \\ e_1 \\ e \\ e_2 \\ \varepsilon \\ e \\ e_3 \end{pmatrix}}_{=\mathbf{B}_0} \cdot \mathbf{u}(k + 1),$$

где $\mathbf{x}(k) = (x_1(k) \ x_2(k) \ x_3(k) \ x_4(k) \ x_5(k) \ x_6(k) \ x_7(k) \ x_8(k) \ x_9(k))^T$, а все матрицы $\mathbf{A}_i = \mathbf{N}$, $i = 2, N_l - 1$, $l = 1, 2, 3$. Изначально буферы каждой из очередей равны. Перепишем (8) в явном виде и для удобства представления разделим вектора управления на два различных следующим образом ($u(k + 1), u_1(k + 1)$):

$$\mathbf{x}(k + 1) = \mathbf{A}_0^* \cdot (\mathbf{A}_1 \cdot \mathbf{x}(k) \oplus \mathbf{A}_2 \cdot \mathbf{x}(k - 1) \oplus \dots \oplus \mathbf{B}_0 \cdot u(k + 1) \oplus \mathbf{B}_1 \cdot u_1(k + 1)). \tag{9}$$

Введем обозначения: $\tilde{\mathbf{x}}(k) = (\mathbf{x}(k)^T \ \mathbf{x}(k - 1)^T \ \dots \ \mathbf{x}(k - N_q + 1)^T)^T$, $\tilde{u}(k) = u(k + 1)$, $\tilde{u}_1(k) = u_1(k + 1)$ для $N_i = 3$ тогда из (9):

$$\begin{pmatrix} \mathbf{x}(k + 1) \\ \mathbf{x}(k) \\ \mathbf{x}(k - 1) \\ \mathbf{x}(k - 2) \\ \mathbf{x}(k - 3) \\ \mathbf{x}(k - 4) \\ \mathbf{x}(k - 5) \\ \mathbf{x}(k - 6) \\ \mathbf{x}(k - 7) \end{pmatrix} = \underbrace{\begin{pmatrix} \overline{\mathbf{A}}_1 & \mathbf{N} \\ \mathbf{N} & \overline{\mathbf{A}}_2 & \mathbf{N} \\ \mathbf{N} & \mathbf{N} & \overline{\mathbf{A}}_{N_1} & \mathbf{N} & \mathbf{N} & \mathbf{N} & \mathbf{N} & \mathbf{N} & \mathbf{N} \\ \mathbf{N} & \mathbf{N} & \mathbf{N} & \overline{\mathbf{A}}_4 & \mathbf{N} & \mathbf{N} & \mathbf{N} & \mathbf{N} & \mathbf{N} \\ \mathbf{N} & \mathbf{N} & \mathbf{N} & \mathbf{N} & \overline{\mathbf{A}}_5 & \mathbf{N} & \mathbf{N} & \mathbf{N} & \mathbf{N} \\ \mathbf{N} & \mathbf{N} & \mathbf{N} & \mathbf{N} & \mathbf{N} & \overline{\mathbf{A}}_{N_2} & \mathbf{N} & \mathbf{N} & \mathbf{N} \\ \mathbf{N} & \mathbf{N} & \mathbf{N} & \mathbf{N} & \mathbf{N} & \mathbf{N} & \overline{\mathbf{A}}_7 & \mathbf{N} & \mathbf{N} \\ \mathbf{N} & \overline{\mathbf{A}}_8 & \mathbf{N} \\ \mathbf{N} & \overline{\mathbf{A}}_{N_3} \end{pmatrix}}_{=\mathbf{A}} \cdot \begin{pmatrix} \mathbf{x}(k) \\ \mathbf{x}(k - 1) \\ \mathbf{x}(k - 2) \\ \mathbf{x}(k - 3) \\ \mathbf{x}(k - 4) \\ \mathbf{x}(k - 5) \\ \mathbf{x}(k - 6) \\ \mathbf{x}(k - 7) \\ \mathbf{x}(k - 8) \end{pmatrix} \oplus \underbrace{\begin{pmatrix} \overline{\mathbf{B}}_0 \\ \mathbf{N} \end{pmatrix}}_{=\mathbf{B}_0} \cdot \tilde{u}(k) \oplus \underbrace{\begin{pmatrix} \overline{\mathbf{B}}_1 \\ \mathbf{N} \end{pmatrix}}_{=\mathbf{B}_1} \cdot \tilde{u}_1(k),$$

а в пространстве состояний (9) будет иметь вид:

$$\tilde{\mathbf{x}}(k+1) = \mathbf{A} \cdot \tilde{\mathbf{x}}(k) \oplus \mathbf{B}_0 \cdot u(k) \oplus \mathbf{B}_1 \cdot u_1(k). \tag{10}$$

Данная математическая модель описывает динамику работы планировщика со взвешенным обслуживанием очередей. Однако, как представлено выше, также в сетевых устройствах используются гибридные алгоритмы планировщика.

Алгоритм гибридного обслуживания очередей

Гибридный алгоритм планировщика подразумевает наличие одной очереди, при появлении в которой пакеты сразу же начинают обслуживаться. Т.е. пакеты не попадают в буфер, а сразу же передаются. Условно можно считать, что буфер в одной из очередей отсутствует. Т.к. модель (рис.1) составлена т.о., что номер по порядку очереди соответствует приоритету трафика в ней, то модель планировщика с гибридным алгоритмом обслуживания очередей будет с нулевым размером буферного пространства впервой очереди. Тогда (8) можно переписать в следующем виде:

$$\begin{aligned} x_1(k+1) &= x_2(k+1) \oplus q_1 \cdot x_9(k+1), \\ x_2(k+1) &= x_1(k+1) \oplus u_1(k+1), \\ x_3(k+1) &= x_2(k+1) \oplus e_1 \cdot u_4(k+1) \\ x_4(k+1) &= x_5(k - N_1 + 1) \oplus q_2 \cdot x_3(k+1), \\ x_5(k+1) &= x_4(k+1) \oplus u_2(k+1), \\ x_6(k+1) &= x_5(k+1) \oplus e_2 \cdot u_5(k+1) \\ x_7(k+1) &= x_8(k - N_2 + 1) \oplus q_3 \cdot x_6(k+1), \\ x_8(k+1) &= x_7(k+1) \oplus u_3(k+1), \\ x_9(k+1) &= x_8(k+1) \oplus e_3 \cdot u_6(k+1). \end{aligned} \tag{11}$$

Сделаем аналогичные преобразования и, учитывая (9), перепишем (11) в явном виде со следующими обозначениями: $\tilde{\mathbf{x}}(k) = (\mathbf{x}(k)^T \ \mathbf{x}(k-1)^T \ \dots \ \mathbf{x}(k - N_q + 1)^T)^T$, $\tilde{u}(k) = u(k+1)$, $\tilde{u}_1(k) = u_1(k+1)$ для $N_i = 3$.

$$\begin{pmatrix} \mathbf{x}(k+1) \\ \mathbf{x}(k) \\ \mathbf{x}(k-1) \\ \mathbf{x}(k-2) \\ \mathbf{x}(k-3) \\ \mathbf{x}(k-4) \end{pmatrix} = \underbrace{\begin{pmatrix} \overline{\mathbf{A}}_1 & \mathbf{N} & \mathbf{N} & \mathbf{N} & \mathbf{N} & \mathbf{N} \\ \mathbf{N} & \overline{\mathbf{A}}_2 & \mathbf{N} & \mathbf{N} & \mathbf{N} & \mathbf{N} \\ \mathbf{N} & \mathbf{N} & \overline{\mathbf{A}}_{N_1} & \mathbf{N} & \mathbf{N} & \mathbf{N} \\ \mathbf{N} & \mathbf{N} & \mathbf{N} & \overline{\mathbf{A}}_4 & \mathbf{N} & \mathbf{N} \\ \mathbf{N} & \mathbf{N} & \mathbf{N} & \mathbf{N} & \overline{\mathbf{A}}_5 & \mathbf{N} \\ \mathbf{N} & \mathbf{N} & \mathbf{N} & \mathbf{N} & \mathbf{N} & \overline{\mathbf{A}}_{N_2} \end{pmatrix}}_{=\mathbf{A}} \cdot \begin{pmatrix} \mathbf{x}(k) \\ \mathbf{x}(k-1) \\ \mathbf{x}(k-2) \\ \mathbf{x}(k-3) \\ \mathbf{x}(k-4) \\ \mathbf{x}(k-5) \end{pmatrix} \oplus \underbrace{\begin{pmatrix} \overline{\mathbf{B}}_0 \\ \mathbf{N} \\ \mathbf{N} \\ \mathbf{N} \\ \mathbf{N} \\ \mathbf{N} \end{pmatrix}}_{=\mathbf{B}_0} \cdot \tilde{u}(k) \oplus \underbrace{\begin{pmatrix} \overline{\mathbf{B}}_1 \\ \mathbf{N} \\ \mathbf{N} \\ \mathbf{N} \\ \mathbf{N} \\ \mathbf{N} \end{pmatrix}}_{=\mathbf{B}_1} \cdot \tilde{u}_1(k).$$

Общее уравнение в пространстве состояний для (11) имеет вид, аналогичный (10).

Представленная математическая модель позволяет наиболее точно описывать работу планировщика, т.к. здесь учтены такие параметры, как: вносимые задержки при поступлении пакетов в очередь, времена обслуживания пакетов в очередях, буферное пространство каждой очереди; синхронизацию работы очередей.

Для осуществления функций управления в представленные математические модели внесены вектора \mathbf{q} и \mathbf{e} . Ограничение (3) учтено в векторе \mathbf{q} , а ограничение (4) – в векторе \mathbf{e} соответственно. Вектор \mathbf{e} , характеризующий время, затрачиваемое на обслуживание, вносит некоторую долю задержки в ее значение «из конца-в-конец» и фактически «замедляет» поток. В представленных математических моделях логика такова, что вектор управления «корректирует» эти задержки. Следовательно, решив обратную задачу можно найти вектор

необходимых корректировок для получения оптимального решения согласно (6). Введем следующую переменную:

$$\mathbf{W} = \mathbf{A} \cdot \tilde{\mathbf{x}}(k) \oplus \mathbf{B}_0 \cdot u(k), \quad (12)$$

тогда (11) переписывается в

$$\tilde{\mathbf{x}}(k+1) = \mathbf{W} \oplus \mathbf{B}_1 \cdot u_1(k). \quad (13)$$

Решая уравнение (13) относительно \mathbf{W} можно получить две оценки:

– точную, если $\mathbf{W} < \tilde{\mathbf{x}}(k+1)$, то $\mathbf{B}_1 \cdot u_1(k) = \tilde{\mathbf{x}}(k+1)$;

$$u_1(k) = \mathbf{B}_1^{-T} \cdot \tilde{\mathbf{x}}(k+1); \quad (14)$$

– грубую, если $\mathbf{W} = \tilde{\mathbf{x}}(k+1)$, то $\mathbf{B}_1 \cdot u_1(k) \leq \tilde{\mathbf{x}}(k+1)$; вектор корректировок вычисляется согласно (14).

Элементы рассчитанного вектора корректировок показывают, какой объем буферного пространства необходимо выделить для пакетов определенной очереди (при наличии в ней такового). Оцененный объем буферного пространства выделяется на время, затрачиваемое планировщиком для обслуживания по одному пакету из каждой очереди.

Выводы

В представленной статье произведен анализ средств управления трафиком. На его основе сформулирована задача оптимального использования сетевого ресурса для планировщика с заданными качествами обслуживания.

Проанализированы существующие алгоритмы планировщиков. Выявлено, что существующие алгоритмы обладают рядом недостатков, основным из которых является статическое представление их математических моделей.

В статье впервые разработаны дискретно-событийные модели работы планировщиков сетевого устройства в базисе Мах-Plus алгебры, которые учитывают задержки на обработку запросов и позволяют формализовать процесс синтеза алгоритма управления в пространстве состояний.

На основе разработанных моделей и сформулированной задачи оптимального использования ресурсов представлен метод управления трафиком, позволяющий улучшать эффективность использования сетевых ресурсов при заданном уровне качества обслуживания.

Список использованной литературы

1. Дымарский Я.С. Управление сетями связи: принципы, протоколы, прикладные задачи / Я.С. Дымарский, Н.П.Крутякова, Г.Г.Яновский // Серия изданий «Связь и бизнес». - М.: ИТЦ «Мобильные коммуникации», 2003. – 384 с.
2. ITU-T E.800 (09/2008): Определение терминов, относящихся к качеству обслуживания [Электронный ресурс] / ITU-T. – Режим доступа: <http://handle.itu.int/11.1002/1000/9524>.
3. Кучерявый Е.А. Управление трафиком и качество обслуживания в сети Интернет / Е.А. Кучерявый. – СПб.: Наука и Техника, 2004. – 336 с.: ил.
4. Aditya Akella. CS 5114 Network Programming Languages Software-Defined Networking [Электронный ресурс] / Aditya Akella, Aaron Gember, Nick McKeown. - Режим доступа: <http://www.cs.cornell.edu/courses/CS5114/2013sp/lectures/lec05.pdf>.
5. Adan Ivo, Queueing Theory [Электронный ресурс] / Ivo Adan, Jacques Resing. - Режим доступа: <http://www.win.tue.nl/~iadan/queueing.pdf>.
6. Feng Lu, Weighted Fair Queueing with Differential Dropping [Электронный ресурс] / Lu Feng, Geoffrey M. Voelker, Alex C. Snoeren. – Режим доступа: <http://cseweb.ucsd.edu/~snoeren/papers/ewfq-infocom12.pdf>.
7. Markaki M. Comparison of packet schedulers for differentiated services in the Internet / M. Marakaki, M.P. Saltouros, I.S. Venieris // Proc. ATM&IP 2000. – U.K., 2000. – PP. 120-125.

8. Braden R., RFC 2309. Recommendations on queue management and congestion avoidance in the Internet [Электронный ресурс] / D. Clark, J. Crowcroft, B. Davie, S. Deering, D. Estrin, S. Floyd, V. Jacobson, G. Minshall, C. Partridge, L. Peterson, K. Ramakrishnan, S. Shenker, J. Wroclawski, and L. Zhang. – Режим доступа: <http://tools.ietf.org/pdf/rfc2309.pdf>.
9. Лемешко О.В. Модель динамічного балансування мережних ресурсів у телекомунікаційній мережі / О.В. Лемешко, О.Ю. Євсєєва, Д.В. Симоненко // Системи обробки інформації. - 2008. - № 5(72). - С. 71 – 74.
10. Лозинская В.Н. Математические модели компонентов телекоммуникационных систем / В.Н. Лозинская // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Обчислювальна техніка та автоматизація. - 2013. - Випуск 1 (24). – С. 121-126.

References

1. Dimarskii, J.S., Krutjakova, N.P. and Janovskii, G.G. (2003), *Upravlenie setjami syjazi: principi, protokoli, prikladnie zadachi* [Telecommunication Networks management: principles, protocols, applied tasks], Mobilnie kommunikatsii, Moscow, Russia.
2. International Telecommunication Union (2008), “ITU-T E.800 (09/2008): Quality of telecommunication services: concepts, models, objectives and dependability planning – Terms and definitions related to the quality of telecommunication services”, available at: <http://handle.itu.int/11.1002/1000/9524> (Accessed 29 April 2014).
3. Kutcherjavii, E.A. (2004), *Upravlenie trafikom i kachestvo obslugivaniya v seti Internet* [Traffic management and quality of service at Internet], Nauka i tehnika, Saint-Petersburg, Russia.
4. Aditya Akella, Aaron Gember and Nick McKeown (2013), “Network Programming Languages Software-Defined Networking”, available at: <http://www.cs.cornell.edu/courses/CS5114/2013sp/lectures/lec05.pdf> (Accessed 29 April 2014)
5. Adan Ivo and Jacques Resing (2002), “Queueing Theory”, available at: <http://www.win.tue.nl/~iadan/queueing.pdf> (Accessed 29 April 2014).
6. Feng Lu, Voelker M., Geoffrey and Snoeren C., Alex, “Weighted Fair Queueing with Differential Dropping”, available at: <http://cseweb.ucsd.edu/~snoeren/papers/ewfq-infocom12.pdf> (Accessed 29 April 2014)
7. Markaki, M., Saltouros, M.P. and Venieris, I.S. (2000) “Comparison of packet schedulers for differentiated services in the Internet”, IFIP ATM&IP 2000, Proceedings of the IFIP ATN&IP 2000, U.K., pp 120-125.
8. Lemeshko O.V., Evseeva, O.J. and Simonenko D.V. (2008), “Dynamic balancing network resources model at telecommunication network”, *Systems of information processing*, vol. 5, no. 72, pp. 71-74.
9. Lozinskaya, V.N. (2013), “Mathematical models of telecommunication network components”, *Naukovi pratsi Donetskogo natsionalnogo tehnicnogo univercitety. Ser.: Obchysljuvalna tehnika ta avtomatyzatsija*, vol.1, no. 24, pp. 121-126.

Надійшла до редакції:
30.04.2014

Рецензент:
д-р техн. наук, проф. Скобцов Ю.О.

I.V. Дегтяренко, В.М. Лозинська

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»

Динамічні моделі засобів управління трафіком в мережевому вузлі. Розроблено математичні моделі планувальника, як засобу управління трафіком в мережевому вузлі. Моделі, що надані, дозволяють підвищити ефективність використання мережних ресурсів за рахунок управління розміром буферного простору кожної з черг планувальника. Запропоновані математичні моделі відтворюють динаміку роботи планувальника в

просторі станів, а перехід до базису Max-plus алгебри дозволяє отримати задані оцінки, з урахуванням необхідних параметрів якості обслуговування.

Ключові слова: параметри якості обслуговування, засоби управління трафіком, дисципліна обслуговування черги, Max-plus алгебра, дискретно-подієва система, простір станів.

I.V. Degtiarenko, V.M. Lozinskaya

Donetsk National Technical University

Dynamic models of traffic control means in a network node. We developed a mathematical model of a scheduler as a tool of traffic control in a network node. These models allow increasing the performance of network resources through the control of buffer space size for each scheduler queue. The mathematical models reflect the dynamics of the scheduler's work in state space, and transition to Max-plus algebra basis allows obtaining given estimates taking into account the required parameters of service quality.

Keywords: service quality parameters, traffic controls, queue service discipline, Max-plus algebra, discrete-event system, state space.



Дегтяренко Ілья Вячеславович, Україна, закончил Донецкий национальный технический университет, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры автоматизации и телекоммуникаций ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет» (ул. Артема, 58, г. Донецк, 83001, Украина). Основное направление научной деятельности – методы анализа нестационарных сигналов, методы управления ресурсами телекоммуникационных сетей.



Лозинская Виктория Николаевна, Украина, закончила Донецкий национальный технический университет, ассистент кафедры автоматизации и телекоммуникаций ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет» (ул. Артема, 58, г. Донецк, 83001, Украина). Основное направление научной деятельности – разработка и модернизация современных методов и алгоритмов управления трафиком, повышение эффективности использования сетевых ресурсов телекоммуникационных сетей.