

УДК 621.391.28

Лемешко А.В., д.т.н., проф., Харьковский нац. унив-т радиоэлектроники

Симоненко А.В., аспирант, Харьковский унив-т Воздушных Сил им. И.Кожедуба

Ватти Махмуд, аспирант, Харьковский нац. унив-т радиоэлектроники

ПОТОКОВАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ ОЧЕРЕДЯМИ С ДИНАМИЧЕСКИМ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ИСХОДЯЩЕГО КАНАЛА СВЯЗИ

Лемешко О.В., Симоненко О.В., Ватти Махмуд. Потокowa модель управління чергами з динамічним розподілом пропускної спроможності вихідного каналу зв'язку. Запропоновано модель управління чергами з динамічним розподілом за ними пропускної здатності вихідного каналу зв'язку. У рамках моделі задача управління чергами зведена до розв'язання оптимізаційної задачі лінійного програмування.

Лемешко А.В., Симоненко А.В., Ватти Махмуд. Потокowa модель управління очередями с динамическим распределением пропускной способности исходящего канала связи. Предложена модель управления очередями с динамическим распределением за ними пропускной способности исходящего канала связи. В рамках модели задача управления очередями сведена к решению оптимизационной задачи линейного программирования.

Lemeshko O.V., Symonenko O.V., Vatti Makhmud. Flow model of queue management with dynamic allocation of the outgoing communication channel capacity. In this work a mathematical model of queue management with dynamic allocation of outgoing communication channel capacity is presented. Within this model the task of queue management is reduced to the solving of the optimization task of linear programming.

Введение. Превалирующей тенденцией в развитии средств обеспечения качества обслуживания (Quality of Service, QoS) является переход к динамическим стратегиям управления сетевыми ресурсами – буферным пространством сетевых узлов, пропускной способностью каналов связи и сетевым трафиком. Это, прежде всего, касается протоколов динамической маршрутизации, пришедших на смену статическим планам распределения пакетов. С целью повышения гибкости управления сетевыми ресурсами динамический характер становится характерным и для других средств, в частности и для механизмов управления очередями, от эффективности которых во многом зависят значения таких показателей качества обслуживания, как средняя задержка, джиттер и потери пакетов. В этой связи, на смену статическим и квазидинамическим схемам, положенных в основу существующих механизмов управления очередями [1, 2], должны прийти математические модели динамического управления очередями, ориентированных на получение адаптивных решений по отношению к загруженности узла и телекоммуникационной сети (ТКС) в целом, а также к требуемым значениям показателей QoS.

Модель динамического управления очередями на узлах ТКС. Для формализации процесса управления очередями с динамическим распределением пропускной способности (ПС) исходящего канала связи (тракта передачи) предлагается математическая модель, в которой считается фиксированным количество классов (приоритетов) обслуживаемых трафиков M . Например, в случае использования 3-битового поля IP Precedence при назначении приоритетов поддерживается маркировка до восьми классов трафика ($M = 8$), а при использовании 6 бит кода дифференцированной услуги (Differentiated Services Code Point, DSCP) число классов трафика равно шестидесяти четырем ($M = 64$).

Кроме того, условимся, что число очередей на сетевом узле также фиксировано (N) или назначается административно и, в общем случае не превышает количества классов поддерживаемых сетью трафиков. Например [1], для алгоритма заказного (обычного) обслуживания (Custom Queuing, CQ) число очередей равно семнадцать ($N = 17$),

шестнадцать обычных очередей плюс нулевая – системная очередь, а в алгоритме приоритетного обслуживания (Priority Queuing, PQ) сетевой администратор может выделить до четырех очередей для сетевого трафика высокого, среднего, нормального и низкого приоритета ($N = 4$).

Ввиду потокового характера современного, преимущественно мультимедийного трафика, при решении задач обеспечения QoS необходимо оперировать с интенсивностью трафика, а сами математические модели управления очередями должны носить потоковый характер, а не ориентироваться лишь на описание схем обслуживания одиночных пакетов, как это происходит в существующих алгоритмах FQ (Fair Queuing), WFQ (Weighted Fair Queuing) и др. [1, 2]. Поэтому обозначим через a_i ($i = \overline{1, M}$) – интенсивность трафика i -го класса, поступающего на обслуживание сетевым узлом. Кроме того, пусть b_j ($j = \overline{1, N}$) – часть пропускной способности исходящего тракта передачи, которая выделена j -й очереди ($j = \overline{1, N}$), что характерно, например, для алгоритма CBWFQ (Class-Based Weighted Fair Queuing). При этом необходимо выполнить условие

$$\sum_{j=1}^N b_j = b, \quad (1)$$

где b – пропускная способность исходящего тракта передачи.

С целью предотвращения перегрузки узла и сети в целом необходимо обеспечить выполнение следующего условия:

$$\sum_{i=1}^M a_i \leq b. \quad (2)$$

Выполнение условия (2) обеспечивается, прежде всего, за счет эффективной маршрутизации трафика в сети, в противном случае – путем использования алгоритмов произвольного раннего обнаружения перегрузки и ограничения длины очереди (RED – Random Early Detection, WRED – Weighted RED).

Если в известных алгоритмах обслуживания очередей порядок распределения пакетов того или иного трафика в очереди сетевого узла, как правило, строго фиксирован, то придать динамический характер этому процессу удалось в предлагаемой модели за счет введения переменной x_{ij} , под которой подразумевалась часть i -го трафика, который будет направлен для обслуживания в j -ю очередь. Согласно физическому смыслу переменной x_{ij} имеют место следующие дополнительные условия:

$$x_{ij} \geq 0 \quad (i = \overline{1, M}, j = \overline{1, N}), \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^N x_{ij} = a_i \quad (i = \overline{1, M}), \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^M x_{ij} \leq b_j \quad (j = \overline{1, N}). \quad (5)$$

Выполнение условия (4) гарантирует обслуживание всех пакетов трафика, поступающих на рассматриваемый сетевой узел. Условия (5) вводятся для предотвращения перегрузки очередей сетевого узла в процессе управления. В отличие от ранее известных решений [3, 4] в качестве искомого вектора выберем вектор

$$X = \begin{bmatrix} x_{ij} \\ - \\ b_j \end{bmatrix} \quad (i = \overline{1, M}; j = \overline{1, N}), \quad (6)$$

в ходе расчета которого удастся обеспечить согласованность в решении задач обслуживания очередей и динамического распределения за ними пропускной способности исходящего канала связи (тракта передачи). В связи с тем, что, в общем случае, выбор x_{ij} и b_j в рамках ограничений (1), (3)-(5) можно произвести множеством случаев, то целесообразно задачу, связанную с расчетом искомым переменных, сформулировать в виде оптимизационной задачи со следующей (в дальнейшем минимизируемой) целевой функцией:

$$T(x) = c^t X, \quad (7)$$

в которой координаты вектора весовых коэффициентов

$$c = \begin{bmatrix} c_{ij} \\ - \\ c_j \end{bmatrix} \quad (8)$$

характеризуют условную стоимость (c_{ij}) использования пакетами i -го трафика ресурсов j -й очереди, а также стоимость (c_j) выделения j -й очереди того или иного объема пропускной способности исходящего канала связи.

Важно уточнить, что, как правило, выбирается $c_{ij} > c_{in}$ в том случае, если в рамках реализуемой дисциплины обслуживания j -я очередь должна использоваться для обслуживания трафика i -го класса лишь при заполнении n -й очереди. Аналогично, если $c_i > c_j$ (т.е. удельная стоимость выделения пропускной способности исходящего канала связи для i -й очереди выше, чем для j -й очереди), то ПС канала будет первоочередно выделяться именно j -й очереди. Таким образом, путем ранжирования численных значений координат c_{ij} и c_j вектора весовых коэффициентов (8) можно добиться реализации в рамках предложенной модели различных типов очередей – заказных, приоритетных, справедливых и др.

Предложенная математическая модель управления очередями (1)-(8) представлена в виде задачи линейного программирования, для решения которой известны точные методы решения, например симплекс метод, метод ветвей и границ и др. [5].

Примеры решения задачи управления очередями с динамическим распределением пропускной способности исходящего канала связи. Для демонстрации особенностей работы предлагаемой модели приведем пример решения задачи управления очередями с динамическим распределением пропускной способности исходящего канала связи. В качестве исходных данных будут выступать: число классов трафика равно пяти ($M = 5$), а число очередей – трем ($N = 3$). При этом условимся, для примера, что трафик первого класса может обслуживаться лишь первой и второй очередью, а трафик пятого класса – лишь второй и третьей, остальные классы трафика могут обслуживаться произвольной очередью. Пусть также характеристики обслуживаемых трафиков и пропускная способность исходящего канала связи приведены в табл.1. В ходе моделирования (рис.1) было установлено, что при одинаковой удельной стоимости выделения той или иной очереди пропускной способности исходящего канала связи (пример 1), т.е. при $c_1 = c_2 = c_3$ (табл.1),

распределение трафика по очередям происходило в соответствии со значениями весовых коэффициентов c_{ij} .

Исходные данные для расчета

Табл. 1

Интенсивности трафика различного класса (Мбит/с) (суммарный трафик 200 Мбит/с)					Пропускная способность исходящего канала связи (Мбит/с)										
a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	b										
40	60	35	40	25	200										
Весовые коэффициенты c_{ij} и c_j															
Пример 1															
$c_{1,1}$	$c_{1,2}$	$c_{2,1}$	$c_{2,2}$	$c_{2,3}$	$c_{3,1}$	$c_{3,2}$	$c_{3,3}$	$c_{4,1}$	$c_{4,2}$	$c_{4,3}$	$c_{5,2}$	$c_{5,3}$	c_1	c_2	c_3
20	30	35	25	30	30	20	25	10	10	10	30	10	25	25	25
Пример 2															
$c_{1,1}$	$c_{1,2}$	$c_{2,1}$	$c_{2,2}$	$c_{2,3}$	$c_{3,1}$	$c_{3,2}$	$c_{3,3}$	$c_{4,1}$	$c_{4,2}$	$c_{4,3}$	$c_{5,2}$	$c_{5,3}$	c_1	c_2	c_3
20	30	35	25	30	30	20	25	10	10	10	30	10	25	15	10

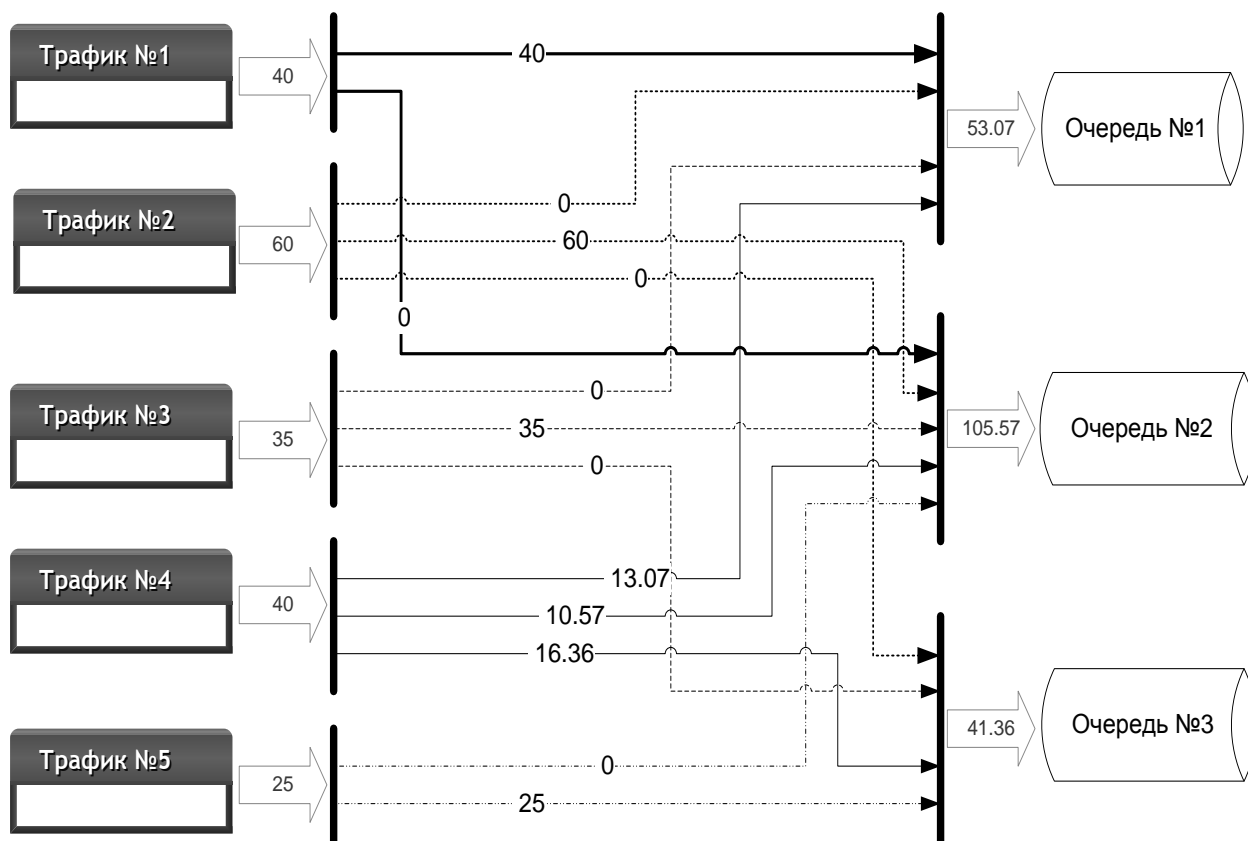


Рис.1. Порядок решения задачи управления очередями с динамическим распределением пропускной способности исходящего канала связи (пример 1)

Так например (рис.1), все пакеты первого трафика были обслужены первой очередью, т.к. $c_{1,1} < c_{1,2}$; пакеты второго и третьего трафика по той же причине были обслужены лишь

второй очередью ($c_{2,2} < c_{2,3} < c_{2,1}$ и $c_{3,2} < c_{3,3} < c_{3,1}$), а пакеты пятого трафика – третьей очередью ($c_{5,3} < c_{5,2}$). В отличие от первого, второго, третьего и пятого трафика балансировка четвертого трафика по всем очередям осуществлялась ввиду того, что $c_{4,1} = c_{4,2} = c_{4,3} = 10$.

При различной удельной стоимости выделения той или иной очереди пропускной способности исходящего канала связи (пример 2), т.е. при $c_1 \neq c_2 \neq c_3$ (табл.1), распределение трафика по очередям происходило в соответствии со значениями весовых коэффициентов как c_{ij} , так и c_j (рис.2). При этом, в рамках рассмотренного примера (рис.2) определяющее значение имели весовые коэффициенты c_{ij} , что отчетливо проявляется на примере обслуживания третьего трафика. В случае соизмеримости удельной стоимости обслуживания трафика в очереди со стоимостью выделения ПС канала той же очереди наблюдалась балансировка трафика по нескольким очередям, что характерно в рамках рассмотренного примера (пример 2) для первого, второго и третьего трафиков.

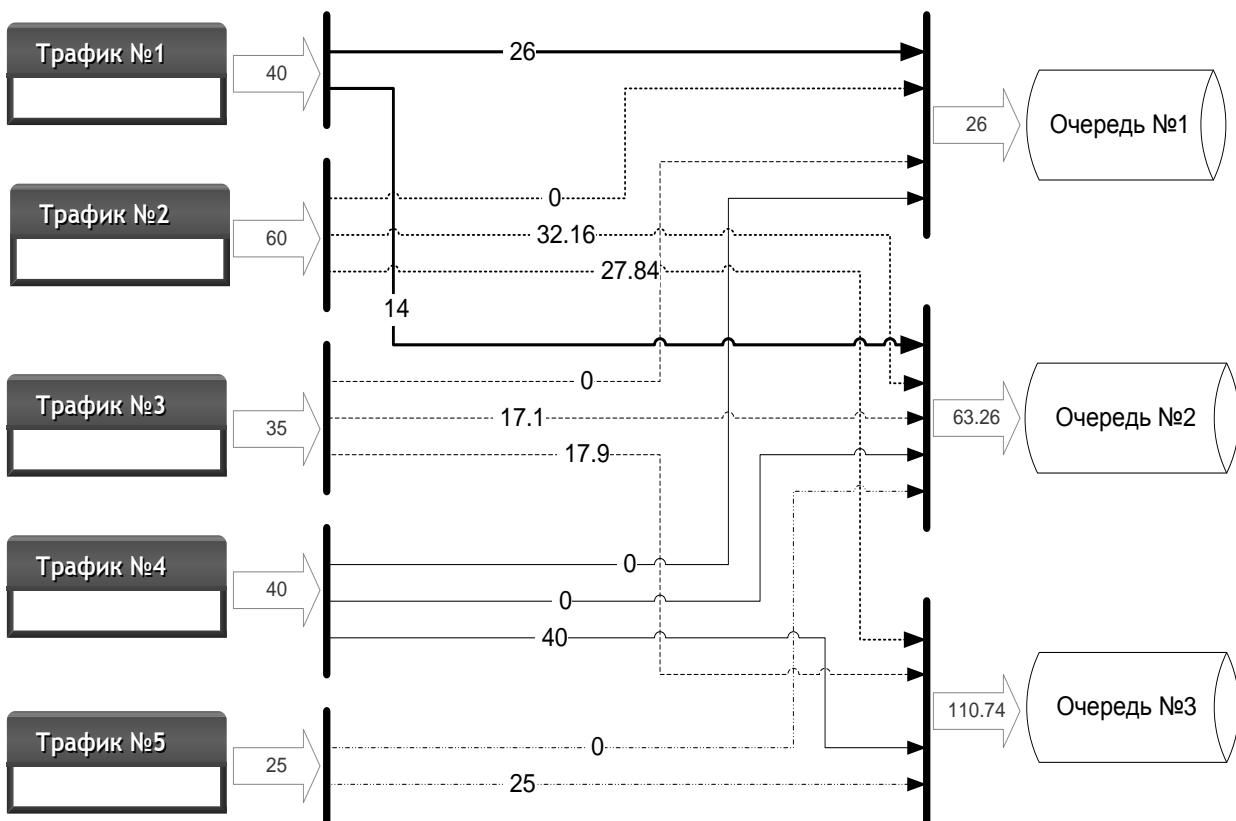


Рис. 2. Порядок решения задачи управления очередями с динамическим распределением пропускной способности исходящего канала связи (пример 2)

Выводы. Таким образом, в статье рассмотрен подход к динамическому управлению очередями (буферным ресурсом) в ТКС. Подход основан на использовании предложенных математических моделей управления очередями, в рамках которых в отличие от ранее известных решений обеспечивается согласованное решение задач распределения пакетов и пропускной способности исходящих трактов передачи по очередям сетевого узла. Динамический характер решений достигается за счет периодического или аperiodического перерасчета порядка использования буферного ресурса сетевых узлов адаптивно, т.е. в

зависимости от изменения требований к качеству обслуживания, интенсивности поступающего на узел информационного трафика, количества поддерживаемых очередей, пропускной способности исходящих трактов передачи.

Развитие данного подхода видится в расширении функциональности предложенных решений в сторону учета в явном виде требований к качеству обслуживания в рамках вновь разрабатываемых математических моделей управления очередями. Важное направление совершенствования предложенных моделей состоит в адаптивном определении числа поддерживаемых очередей в ходе решения задач управления в зависимости от числа и интенсивности поступающего на обслуживание пользовательского трафика. Кроме того, в дальнейшем необходимо более детально остановиться на задачах оценки влияния отдельных параметров модели (констант N и M ; отношения весовых коэффициентов c_{ij} и c_j в выражении (8)) на порядок решения задач управления очередями.

Литература

1. Вегенша Ш. Качество обслуживания в сетях IP: Пер. с англ. – М.: Издательский дом “Вильямс”, 2003. – 386 с.
2. Справочник по телекоммуникационным технологиям: Пер. с англ. – М.: Издательский дом “Вильямс”, 2004. – 640 с.
3. Лемешко А.В., Ватти М., Симоненко А.В. Управление очередями на узлах активной сети // Радиотехника: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2007. – Вып. 151. – С. 92-97.
4. Лемешко А.В., Ватти М. Метод динамического управления очередями на сетевом узле мультисервисной ТКС // Материалы второй международной научной конференции “Современные информационные системы. Проблемы и тенденции развития”. – Харьков: ХНУРЭ. 2007. – С. 117-118.
5. Матрашин Н.П., Макеева В.К. Математическое программирование. Изд. 2-е, перераб. и доп. – Х.: Вища школа, 1978. -160 с.