
А.В. Лемешко, М.В. Семеняка, А.В. Симоненко

**МОДЕЛЬ АКТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ОЧЕРЕДЯМИ НА МАРШРУТИЗАТОРАХ
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ**

Харьковский национальный университет радиоэлектроники

Ключевые слова: модель, очередь, маршрутизатор, перегрузка, поток, пакеты.

Предложена модель активного управления очередями на маршрутизаторах телекоммуникационной сети. Новизна модели состоит в обеспечении согласованного решения задач по распределению поступающих потоков между отдельными очередями сетевого узла (Congestion Management); выделению пропускной способности интерфейса для каждой из очередей (Resource Allocation) и превентивному ограничению интенсивности поступающих на интерфейс потоков пакетов (Congestion Avoidance). В рамках предложенной модели сформулирована оптимизационная задача нелинейного программирования с квадратичной целевой функцией и нелинейными ограничениями.

A.V. Lemeshko, M.V. Semenyaka, A.V. Simonenko

**ACTIVE QUEUE MANAGEMENT MODEL ON THE TELECOMMUNICATION
NETWORK ROUTERS**

Kharkiv National University of Radio Electronics

Keywords: model, queue, router, overload, flow, packets.

A model of the active queue management on the telecommunication network routers proposed. The novelty of the model is providing a consistent solution of congestion management problems of incoming flows distribution between the individual queues on the network node; resource allocation of interface throughput for each queue, and congestion avoidance preventive restriction of arriving packet flows intensity at the interface. Within the framework of the proposed model it was formulated a nonlinear programming optimization problem with quadratic objective function and nonlinear constraints.

Технологические средства обслуживания очередей, представленные механизмами FIFO, Priority Queues, Custom Queues, Weighted Fair Queue и др., имеют ряд недостатков, среди которых преобладающими являются статичность настроек, проявляющаяся в необходимости вмешательства администратора при конфигурировании механизма; неспособность к адаптации под изменения в состоянии интерфейса и сети в целом; несогласованность получаемых решений с другими средствами управления очередями, например, механизмами предотвращения перегрузок Random Early Detection (RED) и Weighted Random Early Detection (WRED), что способно нивелировать достоинства как первой, так и второй группы решений [1, 2]. Поэтому актуальным видится направление исследований, связанное с разработкой новых моделей и методов активного управления очередями, которые могли быть положены в основу соответствующих управляющих механизмов на маршрутизаторах телекоммуникационной сети.

В этой связи в данной работе предлагается потоковая модель активного управления очередями, в рамках которой обеспечивается согласованное решение следующих важных задач для повышения качества обслуживания потоков пользователей: распределение поступающих потоков между отдельными очередями маршрутизатора (Congestion Management); выделение пропускной способности (ПС) интерфейса для каждой из очередей (Resource Allocation); превентивное ограничение интенсивности поступающих на интерфейс потоков пакетов (Congestion Avoidance).

Пусть в рамках предлагаемой модели на обслуживание сетевого узла поступает M потоков со следующими характеристиками: a_i – интенсивность i -го потока, pr_i – приоритет пакетов i -го потока ($i = \overline{1, M}$). Отличительной особенностью модели является возможность превентивного ограничения интенсивности потоков, поступающих на интерфейс маршрутизатора.

Тогда в предлагаемую модель вводится множество управляющих переменных первого типа α_i , ($i = \overline{1, M}$), каждая из которых характеризует долю i -го потока, получившего отказ в обслуживании на интерфейсе маршрутизатора при реализации функций Congestion Avoidance. По своему физическому смыслу переменные α_i численно определяют вероятность отбрасывания пакетов i -го потока на рассматриваемом интерфейсе маршрутизатора.

Пакеты, поступившие на обслуживание, должны распределяться между N очередями в ходе решения задач Congestion Management путем расчета множества переменных второго типа $x_{i,j}$ ($i = \overline{1, M}$, $j = \overline{1, N}$), каждая из которых характеризует долю i -го потока, направленного на обслуживание в j -ю очередь. Для решения задач класса Resource Allocation в рамках предлагаемой модели необходимо обеспечить расчет множества переменных третьего типа – b_j , каждая из которых определяет величину пропускной способности интерфейса, выделенную для обслуживания j -й ($j = \overline{1, N}$) очереди. Пусть b – пропускная способность канала связи. Далее искомые переменные всех трех типов удобно представить в виде соответствующих управляющих векторов \bar{x} , $\bar{\alpha}$, \bar{b} с координатами $x_{i,j}$, α_i и b_j соответственно.

Для обеспечения приблизительно равного качества обслуживания пакетов одного и того же потока каждый их пакетов целесообразно обрабатывать в рамках одной из очередей. Таким образом, переменная $x_{i,j}$ является булевой, т.е.

$$x_{i,j} \in \{0,1\} \quad (1)$$

Дифференциация качества обслуживания обеспечивается за счет того, что потоки с разными приоритетами (требованиями к качеству обслуживания) обрабатываются в различных очередях. Согласно физическому смыслу переменных α_i и b_j на них накладываются следующие ограничения:

$$0 \leq \alpha_i \leq 1, (i = \overline{1, M}), \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^R b_j \leq b, \quad 0 \leq b_j, (j = \overline{1, N}). \quad (3)$$

Взаимосвязь между управляющими переменными первого и второго типа, развивая подход, предложенный в работах [3-5], можно отразить в рамках следующих условий сохранения потока на интерфейсе маршрутизатора:

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

Согласно условию (4) пакеты i -го потока могут быть либо направлены на обслуживание одной из очередей интерфейса, либо отброшены. С целью обеспечения управляемости процессом предотвращения перегрузки важно удовлетворить условие:

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

выполнение которого гарантирует, что суммарная интенсивность потоков, направленных на обслуживание в j -ю очередь, не превысит пропускную способность интерфейса, выделенную для данной очереди. Условия (5) отражают функциональную взаимосвязь между переменными второго и третьего типа.

Для предотвращения перегрузки очереди по ее длине (в пакетах) условия (1)-(5) могут также быть дополнены нелинейными ограничениями:

$$\bar{n}_j < n_j^{\max}, \quad (6)$$

где n_j^{\max} – максимальный размер j -й очереди; \bar{n}_j – средняя длина j -й очереди, которая в зависимости от характеристик, формирующих данную очередь потоков, поддерживаемой дисциплины обслуживания пакетов, может быть рассчитана с использованием выражений, описанных в [3].

Расчет управляющих переменных целесообразно осуществить в ходе решения оптимизационной задачи, связанной с минимизацией как использования пропускной способности интерфейса, так и возможных отказов в обслуживании, вызванных превентивным ограничением интенсивности потоков

$$\min_{x, b, \alpha} F,$$

$$F = \bar{x}^t H_x \bar{x} + \bar{\alpha}^t H_\alpha \bar{\alpha} + \bar{b}^t H_b \bar{b}, \quad (7)$$

где $(\cdot)^t$ – операция транспонирования, H_x – диагональная матрица с координатами $h_{i,j}^x$; H_α – диагональная матрица с координатами h_i^α ; H_b – диагональная матрица с координатами h_j^b ; $h_{i,j}^x$ – условная стоимость (метрика) обслуживания i -го потока j -й очередью; h_i^α – условная стоимость отбрасывания пакетов i -го потока; h_j^b – условная стоимость выделения пропускной способности интерфейса для j -й очереди. Метрики $h_{i,j}^x$, h_i^α и h_j^b должны прямо пропорционально зависеть от приоритета пакетов обслуживаемых потоков Pr_i , ($i = \overline{1, M}$).

Расчетные решения, полученные в ходе использования модели (1)-(7), должны обеспечивать адаптивный характер ограничения интенсивности потока при перегрузке

интерфейса. Кроме необходимости учета приоритета пакетов обслуживаемых потоков в ходе решения важно обеспечить превентивный характер отказов в обслуживании по аналогии с функционалом механизма RED/WRED. Это сопряжено с обоснованием параметров самой модели (1)-(7), что, прежде всего, касается выбора численных значений и соотношения весовых коэффициентов $h_{i,j}^x$, h_i^α и h_j^b в целевой функции (7), отвечающих за величины удельной стоимости при согласованном решении задач Congestion Management, Congestion Avoidance и Active Queue Management.

Исследование предложенной модели основывалось на результатах аналитического моделирования, в ходе которого минимизация функции (7) с учётом ограничений (1)-(6) производилась с использованием пакета Optimization Toolbox среды Matlab 7. Особенности решения задач по активному управлению очередями продемонстрированы на численном примере. Пусть на вход маршрутизатора поступал трафик, состоящий из пяти потоков. Интенсивность первого потока изменялась от 1 до 500 1/с ($a_1 = 1 \div 500$ 1/с), тогда как интенсивность остальных потоков оставалась постоянной ($a_2 = 160$ 1/с, $a_3 = 235$ 1/с, $a_4 = 200$ 1/с, $a_5 = 98$ 1/с). Пропускная способность канала связи составляла 1200 1/с. Обслуживание потоков организовывалось с использованием трёх очередей.

Результаты исследования показали, что в случае, если $h_{i,j}^x \ll h_i^\alpha$, т.е. соотношение $h = h_{i,j}^x / h_i^\alpha$ составляло 1:600 и выше, ограничение интенсивности потока наблюдалось лишь в условиях перегрузки, когда интенсивность поступающего на интерфейс трафика превосходит пропускную способность канала связи, что аналогично поведению механизма Tail Drop. В случае, когда условная стоимость за отбрасывание пакетов меньше, чем метрика распределения пакетов между очередями ($h_i^\alpha < h_{i,j}^x$), пакеты отбрасывались даже в случае наличия на интерфейсе достаточного объема свободных ресурсов по пропускной способности. Вероятность отбрасывания пакетов i -го потока численно оценивалась через параметр α_i .

Изменением соотношения весовых коэффициентов можно регулировать степень превентивности при отбрасывании пакетов в зависимости от загруженности интерфейса: в области низких нагрузок на интерфейс (при интенсивности потока 1÷150 1/с) отбрасывание пакетов нецелесообразно ввиду наличия достаточного объема пропускной способности, весовые коэффициенты должны выбираться из соотношения $h_{ij}^x / h_i^\alpha = 1:200$ и выше; в областях средних (151÷300 1/с) и высоких нагрузок (301÷500 1/с) можно организовать ограничение интенсивности потоков пакетов по аналогии с механизмом WRED, когда вероятность отбрасывания зависит от приоритета пакета.

Например, для потоков низкого приоритета, весовые коэффициенты стоит выбирать в пределах $h_{ij}^x / h_i^\alpha \approx 1:200 \div 1:400$, для потоков с более высоким приоритетом стоит выбирать весовые коэффициенты в пределах $h_{i,j}^x / h_i^\alpha \approx 1:400 \div 1:600$. Важно отметить, что для данного примера при соотношении $h_{i,j}^x / h_i^\alpha \approx 1:550$ вероятность отбрасывания пакетов будет соответствовать результатам работы механизма RED с параметрами, установленными «по умолчанию», т.е. для знаменателя граничной вероятности, равного десяти. Согласно полученным результатам в табл. 1 представлены рекомендованные значения для соотношения весовых коэффициентов h для потоков пакетов с различными IP-приоритетами (pr_i , $i = \overline{1, M}$).

Таблица 1. Соотношения весовых коэффициентов для потоков различного приоритета

IP-приоритет	0	1	2	3	4	5	6	7
Рекомендуемое отношение весовых коэффициентов, $h = h_{i,j}^x / h_i^\alpha$	1:200	1:250	1:300	1:400	1:450	1:500	1:550	1:600

Литература:

1. Вегенша Ш. Качество обслуживания в сетях IP: пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2003, 386 с.
2. Tsai T.-Y., Chung Y.-L., Tsai Z. Introduction to Packet Scheduling Algorithms for Communication Networks // Communications and Networking, Jun Peng, 2010, 434 p.
3. Лемешко А.В., Симоненко А.В., Ватти Махмуд. Поточковая модель управления очередями с динамическим распределением пропускной способности исходящего канала связи // Наукові записки УНДІЗ, 2008, №3(5), с. 34-39.
4. Али С. Али, Симоненко А.В. Поточковая модель динамической балансировки очередей в MPLS-сети с поддержкой Traffic Engineering Queues [Электронный ресурс] // Проблеми телекомунікацій, 2010, № 1 (1), с. 59-67. Режим доступа: http://pt.journal.kh.ua/2010/1/1/101_ali_balancing.pdf.
5. Семеняка М.В., Симоненко А.В., Али С. Али. Разработка и исследование метода динамической балансировки очередей на маршрутизаторах мультисервисной телекоммуникационной сети [Электронный ресурс] // Проблеми телекомунікацій, 2012, № 3 (8), с. 64-78. Режим доступа: http://pt.journal.kh.ua/2012/3/1/123_semenyaka_balancing.pdf.