

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АППАРАТА ИДЕМПОТЕНТНЫХ АЛГЕБР ДЛЯ АНАЛИЗА ПРОЦЕССОВ В СЕТИ С ПРЕДОСТАВЛЕНИЕМ ИНТЕГРИРОВАННЫХ УСЛУГ

В.И. БЕССАРАБ, Э.Е. ЗАЙЦЕВА, Е.Г. КОВАЛЕНКО

Показано применение уравнений «min-plus» алгебры для анализа сети с предоставлением интегрированных услуг. Рассмотрена работа протокола RSVP. Показана возможность управления ресурсами сети в зависимости от требований к задержке по типу трафика. Предложен вариант расчета маршрута передачи с учетом ограничений на задержку.

ВВЕДЕНИЕ

Традиционные сетевые приложения, такие как передача файлов и электронная почта, не критичны к задержкам, тогда как для приложений мультимедиа увеличение задержки является неприемлемым. Гарантированное качество обслуживания в IntServ (Integrated Service — интегрированный сервис) обеспечивается за счет неперевышения верхней границы задержки передачи данных по сети. IntServ использует для своих целей протокол сигнализации RSVP (Resource ReSerVation Protocol — протокол резервирования сетевых ресурсов), что позволяет пограничным узлам резервировать сетевые ресурсы для получения необходимого качества услуг [1]. Механизм RSVP-резервирования ресурсов приведен на рис. 1. Для определения количественных характеристик этих требований с целью управления доступом, используются служебные параметры. RSVP-запросы передаются по сети при прохождении каждого узла, который используется для передачи потока. Протокол RSVP резервирует ресурсы для потока данных на каждом из этих узлов.

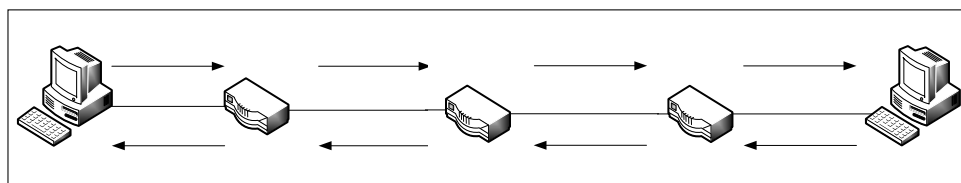


Рис. 1. Механизм RSVP-резервирования ресурсов

Цель работы — рассмотреть задачу анализа процессов в IntServ сети с целью обеспечения заданного качества обслуживания на основе протокола RSVP.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Рассмотрим сеть, состоящую из n узлов, по которой передается поток, определенный T-SPEC (traffic specification — характеристики трафика):

- максимальный размер пакета — M ;
- пиковая скорость передачи данных — p ;
- средняя скорость передачи данных — r ;
- максимальный размер всплеска — b .

В исследуемой сети необходимо по заданному ограничению на сквозную задержку d рассчитать резервируемую скорость R' .

Метод решения поставленной задачи. Для решения поставленной задачи предлагается использовать аппарат идемпотентных алгебр, а именно «min-plus» алгебры. «Min-plus» алгебра — это алгебраическое множество $R_{\min} = (R_{\varepsilon}, \vee, \wedge)$, где $R_{\varepsilon} = R \cup \{+\infty\}$, а операции \vee и \wedge определяются равенствами: $a \vee b \equiv \min(a, b)$ и $a \wedge b \equiv a + b$ для всех $a, b \in R_{\varepsilon}$ [2].

Результаты решения задачи. Для потока T-SPEC (2К, 15 Мбит/с, 1024 Кбит/с, 32 К), проходящего путь из трех маршрутизаторов, и требуемой сквозной задержки сети $d = 0,5$ с рассчитана резервируемая (гарантированная) скорость передачи $R' = 1200$ Кбит/с.

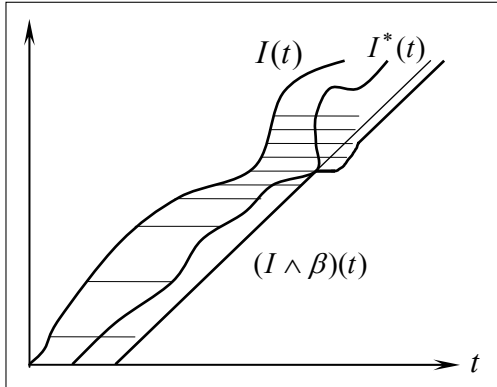
Протокол RSVP работает следующим образом: узел-источник до передачи данных, требующих определенного нестандартного качества обслуживания (например, постоянной полосы пропускания для передачи видеоинформации), посылает по сети специальное сообщение в формате протокола RSVP. Это сообщение о пути (PATH) содержит данные о типе передаваемой информации и требуемой пропускной способности. Оно передается между маршрутизаторами по всему пути от узла-отправителя до узла назначения, при этом определяется последовательность маршрутизаторов, в которых необходимо зарезервировать определенную полосу пропускания. Сообщение PATH направляется по тому же маршруту, по которому движутся информационные пакеты. Маршрутизатор, получив такое сообщение, проверяет свои ресурсы с целью определения возможности выделения требуемой пропускной способности. При ее отсутствии маршрутизатор отвергает запрос. Если требуемая пропускная способность достижима, то маршрутизатор настраивает алгоритм обработки пакетов таким образом, чтобы указанному потоку всегда предоставлялась требуемая пропускная способность, а затем передает сообщение (RESV — reservation — сообщение о резервировании) предыдущему маршрутизатору. Сообщения RESV несут в себе запросы в направлении противоположном движению потока данных.

В результате, по всему пути от узла-отправителя до адреса назначения резервируется необходимая пропускная способность с целью обеспечения запрашиваемого качества обслуживания по задержке.

Протокол RSVP передает сигнальную информацию о запросах резервирования ресурсов по доступному маршрутизируемому пути в сети. При этом RSVP не производит собственную маршрутизацию. Маршрут, при определении пути для данных и управляющего трафика RSVP, определяется применяемым в сети протоколом маршрутизации, в основе которого лежит алгоритм нахождения кратчайшего пути между любой парой узлов [3].

Каждый узел вдоль маршрута задает для потока кривую сервиса — убывающую функцию β , такую, что $\beta(0) = 0$ и для входящего в узел потока $I(t)$ и покидающего узел потока $I^*(t)$ выполняется неравенство $I^*(t) \geq (I \wedge \beta)(t)$ (рис. 2).

Для потока, определенного T-SPEC, кривая сервиса для n -го сетевого маршрутизатора задается функцией β_{R_n, T_n} , которая определяет



характер зависимости скорости R_n и задержки T_n , где $T_n = (C_n)^{1/R} \wedge D_n$, здесь C_n, D_n — константы, зависящие от характеристик n -го маршрутизатора, а именно C_n — максимальный размер пакета, проходящего через n -й маршрутизатор; $D_n = \frac{L}{c}$, L — максимальный размер пакета в n -м маршрутизаторе по всем потокам, проходящим через него, c — скорость планировщика [4].

Рис. 2. Кривая сервиса узла сети

Необходимо по заданному ограничению на сквозную задержку d рассчитать резервируемую скорость R' .

В результате процедуры резервирования протоколом RSVP узел n присваивает потоку значение скорости $R_n \geq r$, а именно:

$$\begin{cases} R = \bigvee_{n=1}^N R_n, \\ T = \bigwedge_{n=1}^N ((C_n)^{1/R_n} \wedge D_n). \end{cases}$$

Ограничение на сквозную задержку — d , при условии, что все узлы на пути зарезервируют $R' = R_n$ определяется:

$$f(R') = \left(\frac{(b \oslash M)}{R'} \right) \left(\frac{p \oslash R'}{p \oslash r} \right) \wedge \frac{(M \wedge C_{\text{tot}})}{R'} \wedge D_{\text{tot}}, \quad (1)$$

где $C_{\text{tot}} = \bigwedge_{n=1}^N C_n$, $D_{\text{tot}} = \bigwedge_{n=1}^N D_n$, C_{tot} и D_{tot} — параметры AD-SPEC (Ad Specifications — дополнительная информация о потоке), которые несут в себе информацию о потоке (OPWA — One Pass With Advertising — вариант однопроходного алгоритма). С помощью OPWA управляющие пакеты RSVP, посланные вдоль маршрута для сбора данных, могут быть использованы для предсказания значения QoS маршрута в целом. На рис. 3 приведен расчет параметра AD-SPEC.

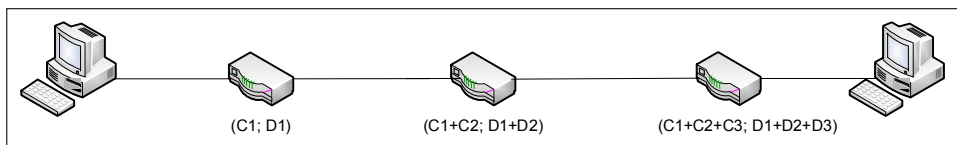


Рис. 3. Расчет параметра AD-SPEC

Получатель рассчитывает R' , как наименьшее значение из всех $\geq r$, для которого, такое значение существует только, если $D_{tot} \leq d$.

Для получения количественных характеристик по предлагаемой методике используется сеть, топология которой приведена на рис. 4.

Для определения алгоритма маршрутизации используется уравнение «min-plus» алгебры:

$$\mathbf{A}^+ = \bigvee_{k \in N} (\mathbf{A}^k). \quad (2)$$

Элементами матрицы \mathbf{A} являются метрики дуг графа, которым представлена сеть. Метрика представляет собой оценку эффективности связи в канале: чем меньше метрика, тем эффективнее организация связи. В частном случае, метрика, оценивающая пропускную способность канала определяется, как количество времени необходимое для передачи 100 Мбит потока данных. Для сети, изображенной на рис. 4, матрица \mathbf{A} имеет вид:

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} \varepsilon & 11 & 11 & 48 & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon \\ 11 & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & 48 & 48 & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon \\ 11 & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & 11 & 2 & 11 & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon \\ 48 & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & 11 & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon \\ \varepsilon & 48 & 11 & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & 2 & 2 & \varepsilon & \varepsilon \\ \varepsilon & 48 & 2 & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & 2 & 11 & 48 & \varepsilon & \varepsilon \\ \varepsilon & \varepsilon & 11 & 11 & \varepsilon & 2 & \varepsilon & \varepsilon & 11 & 48 & \varepsilon \\ \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & 2 & 11 & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & 48 \\ \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & 2 & 48 & 11 & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & 11 \\ \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & 48 & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & 2 \\ \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & 48 & 11 & 2 & \varepsilon \end{bmatrix}.$$

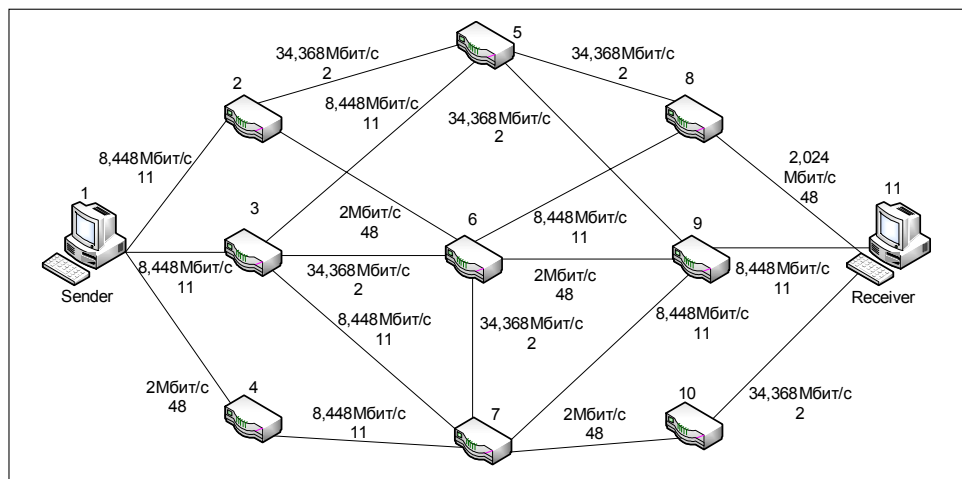


Рис. 4. Топология исследуемой сети

В соответствии с (2) рассчитана матрица кратчайших расстояний между любой парой узлов сети \mathbf{A}^+ :

$$A^+ = \begin{bmatrix} 22 & 11 & 11 & 26 & 22 & 13 & 15 & 24 & 24 & 37 & 35 \\ 11 & 22 & 22 & 37 & 33 & 24 & 26 & 35 & 35 & 48 & 46 \\ 11 & 22 & 4 & 15 & 11 & 2 & 4 & 13 & 13 & 26 & 24 \\ 26 & 37 & 15 & 22 & 24 & 13 & 11 & 24 & 22 & 35 & 33 \\ 22 & 33 & 11 & 24 & 4 & 13 & 13 & 2 & 2 & 15 & 13 \\ 13 & 24 & 2 & 13 & 13 & 4 & 2 & 11 & 13 & 26 & 24 \\ 15 & 26 & 4 & 11 & 13 & 2 & 4 & 13 & 11 & 24 & 22 \\ 24 & 35 & 13 & 24 & 2 & 11 & 13 & 4 & 4 & 17 & 15 \\ 24 & 35 & 13 & 22 & 2 & 13 & 11 & 4 & 4 & 13 & 11 \\ 37 & 48 & 26 & 35 & 15 & 26 & 24 & 17 & 13 & 4 & 2 \\ 35 & 46 & 24 & 33 & 13 & 24 & 22 & 15 & 11 & 2 & 4 \end{bmatrix}.$$

Например, в полученной матрице, расстояние между парами узлов составляет:

- 2-й узел – 11-й узел — 46 у.е.;
- 5-й узел – 8-й узел — 2 у.е.;
- 7-й узел – 5-й узел — 13 у.е.

Таким образом, кратчайший путь от отправителя к получателю в нашем примере составляет 35 (A^+)_{11,1} условных единиц оценки расстояния. Методом «обратного хода» определяем кратчайший маршрут, который проходит через узлы 1–3–5–8–11 (рис. 5).

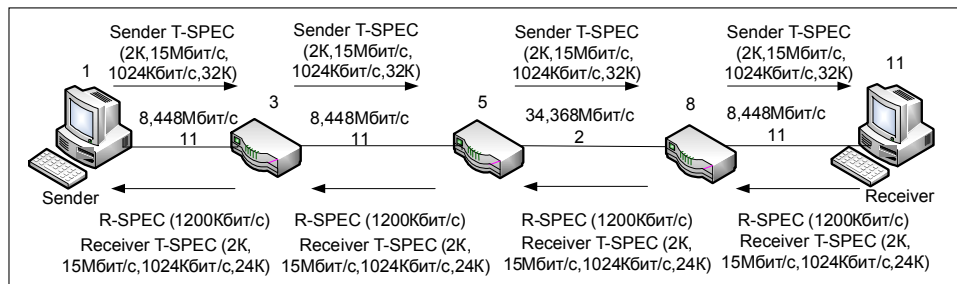


Рис. 5. Кратчайший маршрут

Для маршрутизаторов 3, 5 и 8 параметры C и D соответственно составляют: $C_3 = 9,8$ Кбит и $D_3 = 0,05$ с; $C_5 = 20,2$ Кбит и $D_5 = 0,05$ с; $C_8 = 12,5$ Кбит и $D_8 = 0,15$ с.

Итак, для найденного кратчайшего маршрута параметр AD-APES составляет: $C_{tot} = 42,5$ Кбит и $D_{tot} = 0,25$ с. Для заданного потока T-SPEC (2 К, 15 Мбит/с, 1024 Кбит/с, 32 К), проходящего путь через 3-й, 5-й и 8-й маршрутизаторы, и требуемой сквозной задержки сети, $d = 0,5$ в соответствии с формулой (1) рассчитана гарантированная скорость передачи $R' = 1200$ Кбит/с.

ВЫВОДЫ

В работе показано применение уравнений «min-plus» алгебр для анализа сети с предоставлением интегрированных услуг. Рассмотрена работа протоко-

ла RSVP, определены сквозная задержка сети и соответствующая ей резервированная скорость передачи.

1. Показана возможность управления ресурсами сети в зависимости от требований к задержке по типу трафика.

2. Предложен вариант анализа динамики процессов передачи по сети с использованием аналитических уравнений одной из разновидностей идемпотентных алгебр.

3. Предложен вариант расчета маршрута передачи с учетом ограничений на задержку.

ЛИТЕРАТУРА

1. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: учеб. для вузов. — 3-е изд. — СПб.: Питер, 2006. — 958 с.
2. Cohen G., Gaubert S. and Quadrat J.-P. Max-plus algebra and system theory: where we are and where to go now // Annual Reviews in Control. — 1999. — № 23(1):207. — P. 219.
3. Таненбаум Э.А. Компьютерные сети. — 4-е изд. — СПб.: Питер, 2007. — 992 с.
4. Boudec J.-Y. Le and Thiran P. Network calculus viewed as a min-plus system theory applied to communication networks // Technical Report. — 1998. — 34 p.

Поступила 27.05.2009