

МОДЕЛЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАГРУЗКИ В IP СЕТЯХ

Д.Ю. Пономарев

Сибирский федеральный университет

Работа поддержана грантом Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых МК-2070.2008.9

Стремительный рост потребностей современного общества в информационных услугах приводит к созданию как новых услуг, так и новых технологий для их предоставления, а следовательно к усложнению и так достаточно сложных телекоммуникационных сетей. Кроме того, конвергенция и интеграция технологий, требования к гибкости изменения структуры сети, ее надежности: все это необходимо учитывать при определении основных параметров качества обслуживания. В данной работе предлагается метод, позволяющий в какой то мере обеспечить определение данных параметров мультисервисных сетей связи с учетом всевозможных факторов.

На сегодняшний день независимо от технологий нижних уровней модели взаимодействия открытых систем (ВОС) основными протоколами, обеспечивающим процессы обработки информационных потоков в современных сетях связи (в т.ч. и с поддержкой механизмов поддержки качества обслуживания), является стек протоколов TCP/IP (Transmission Control Protocol/ Internet Protocol). Массовый характер использования данного стека в качестве транспорта данных обусловлен как широким спектром и распространенностью оборудования с его поддержкой, так и тем, что его программная реализация предусмотрена в большинстве современных операционных систем. Однако, следует отметить, что данный этап развития современного общества предъявляет более высокие требования к объемам и качеству информации передаваемой по телекоммуникационным сетям. При построении любой сети связи, помимо выбора технологии передачи информации, определяется способы и возможности организации качественного обслуживания передаваемой информации.

Для инженерного анализа инфокоммуникационных сетей в данной работе предлагается использовать в качестве инвариантного уравнения выражение для определения загрузки канала ρ , дающее связь между интенсивностью поступления информации от источника λ , выраженная в значениях скорости, в Мб/с и максимальной пропускной способностью канала (B - bandwidth), определяемая стандартными скоростями технологии Ethernet, как основной используемой для построения IP сетей: $\rho = \lambda/B$ (т.к. $1/B$ имеет размерность времени, данное выражение можно записать, как $\rho = \lambda T$). В данной работе предлагается использовать метод распределения пропускной способности, основанный на следующих предположениях. Во-первых, что поток вызовов с одной и той же интенсивностью (λ) поступления вызовет при неизменной скорости интерфейса одну и ту же загрузку (ρ) каналов при изменении структуры и можно считать, что будет выполняться соотношение (инвариант): $\rho\lambda = \rho'\lambda'$, где переменные со штрихом для одной структуры сети, без штриха для другой. Во-вторых, объединение систем в единую сеть не вызывает никаких изменений процесса обслуживания информационного потока. В-третьих, изменение структуры сети не предполагает качественное изменение основных соотношений между физическими величинами, описывающими простейший элемент, а определяет только их численное изменение. Данные предположения в литературе получили название постулатов обобщения [1].

Тогда, исходя из инварианта $\rho\lambda=\rho'\lambda'$, определяя соотношение между интенсивностями потоков информации в исходной и примитивной сетях, как: $\bar{\lambda}' = \bar{C}\bar{\lambda}$, где \bar{C} - матрица перехода и используя соотношение $\rho = \lambda T$, можно записать: $\bar{\rho}'\bar{C}\bar{\lambda} = \bar{\rho}\bar{\lambda}$. Далее, находим соотношение между загрузками примитивной и исходной сетей, как $\bar{\rho} = \bar{C}^T \bar{\rho}'$ или $\bar{\rho}' = (\bar{C}^T)^{-1} \bar{\rho}$, и получаем: $(\bar{C}^T)^{-1} \bar{\rho} = \bar{T}' \bar{C} \bar{\lambda}$. Окончательно уравнение будет иметь вид:

$$(\bar{C}^T \bar{T}' \bar{C}) \bar{\lambda} = \bar{C}^T \bar{\rho}', \quad (1)$$

в котором исходная сеть описана в символах примитивной, а, следовательно, сети с заданными параметрами. Далее, решая полученное уравнение относительно контурных $\bar{\lambda}$, находим интенсивности потоков в каждый канал $\bar{\lambda}' = \bar{C}\bar{\lambda}$ и определяем коэффициенты загрузок каналов в исходной сети. Данный подход позволяет при минимальных затратах оценить загрузку сетей и произвести распределение пропускной способности сети в зависимости от заданных характеристик интерфейсов сети, обеспечив тем самым возможность оптимального использования ресурсов, систем в частности, и сети в целом.

В соответствии с моделью взаимодействия открытых систем, можно определить следующие уровни, на которых необходимо исследовать структуры исследуемой сети: физический (определяется интерфейсный, нижний уровень взаимодействия узлов сети), канальный (задается структура взаимодействия всех узлов сети друг с другом), сетевой (назначаются пути передачи определенных информационных потоков: речь, видео, данные и др.) Следует отметить, что в некоторых случаях структуры сетей на разных уровнях могут совпадать: это будет определяться видом технологий которые использованы для построения исследуемой сети. Кроме того, при моделировании процесса обслуживания запросов абонентов условно можно выделить три этапа обслуживания вызовов в данной сети: этап запроса услуги (направление передачи информации от абонента к опорной сети, установление путей передачи информации), этап предоставления услуги (направление передачи информации, как от абонента, так и к абоненту), этап завершения предоставления услуги. Следовательно, можно выделить несколько различных сетевых структур, которые в совокупности будут определять общую модель обработки информационных и сигнальных потоков в исследуемой сети.

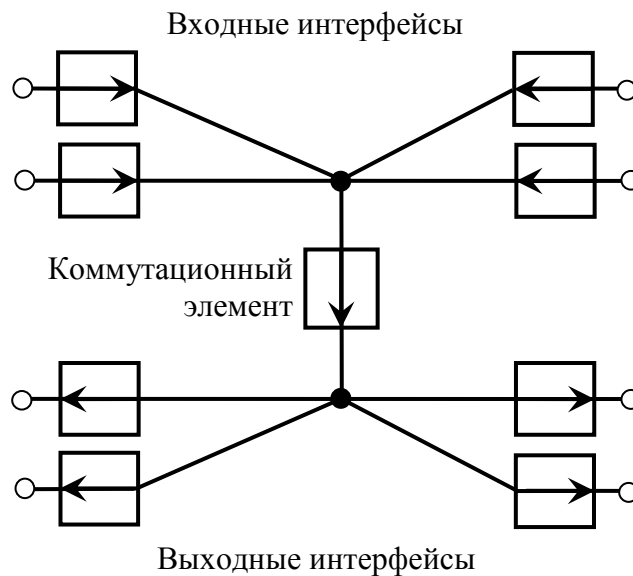
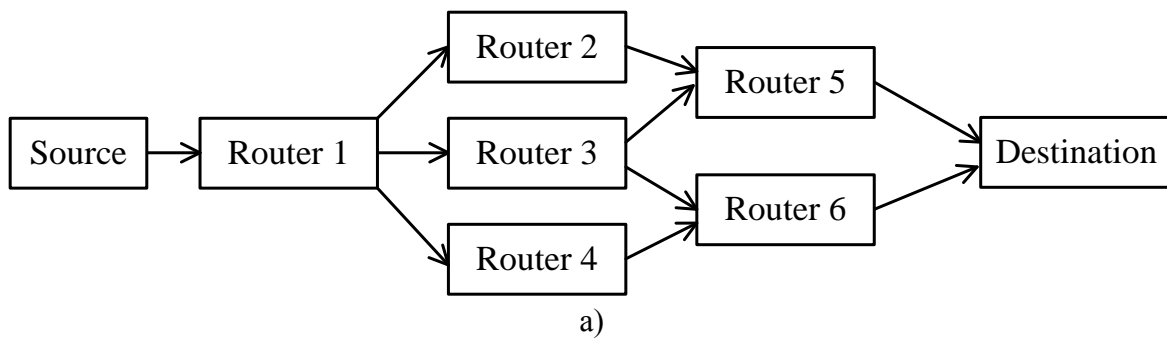


Рис. 1 Схема узла сети

Рассматривая интерфейсный уровень взаимодействия узлов, любому устройству IP сети можно сопоставить модель сети массового обслуживания, каждая система которой будет моделировать отдельный физический интерфейс устройства передачи информации (входной/выходной интерфейс). Рассматриваемый интерфейс можно представить в виде одноканальной системы массового обслуживания с условными потерями, для большего соответствия реальному объекту с ограниченным числом мест ожидания. Пример модели такого устройства представлен на рисунке 1.

На следующем уровне можно рассматривать уже не только физические соединения, существующие между узлами, а учитывать направления передачи к узлам сети. Каждое направление будет задано отдельной системой массового обслуживания, тип которой определяется дисциплиной обслуживания реальной системы обработки информационных потоков.



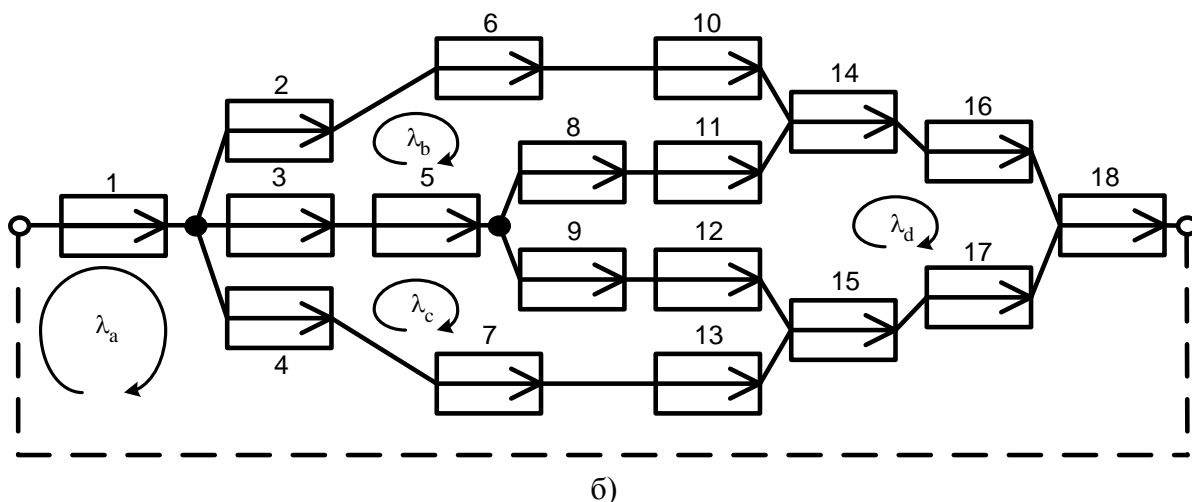


Рис. 2 Исследуемая сеть и модель

На рисунке 2а представлен пример IP сети, рассматривается односторонняя передача. Модель распределения интенсивности информационных потоков по сети представляет собой набор интерфейсов с заданными параметрами по скорости передачи информации (рисунок 2б). Источник Source направляет информационный поток в маршрутизатор Router 1, и так как это единственный источник нагрузки в сети, то нет необходимости представлять его в модели распределения трафика по сети в виде отдельной системы. Маршрутизатор Router 1 в модели представлен системами 1-4, т.к. имеет один входной и три выходных интерфейса, скорость передачи в которых может быть различна. Аналогично, маршрутизатор Router 3 представлен набором из систем 5,8 и 9. Маршрутизаторы Router 2 и Router 4 в модели отображены в виде систем 6 и 7 соответственно, так как имеют по одному входному и выходному интерфейсам, и, следовательно, с точки зрения распределения трафика, использование двух систем только усложняет модель. Модель распределения потоков в маршрутизаторах Router 5 и Router 6 состоит из систем 10,11,14 и 12,13,15 соответственно. Далее по двум интерфейсам (системы 16 и 17) информация от источника поступает получателю (Destination), где в системе 18 осуществляется окончательная обработка информации. В связи с тем, что рассматривается сеть с бесконечно малыми потерями, т.е. весь трафик сгенерированный источником поступает к получателю, в модели введена мнимая связь между выходом системы 18 и входом системы 1.

Матрица перехода определяется соответствием интенсивностей ветвей $\lambda_i, i = 1 \dots 18$ и контурных интенсивностей $\lambda_j, j = a \dots d$ (для схемы, представленной на рисунке) и правая часть уравнения (1) (левая часть не приведена в связи с громоздкостью) будут иметь вид:

$$C = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & -1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & -1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & -1 \\ 1 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}; \quad \bar{C}^T \bar{\rho}' = \begin{pmatrix} \rho_1 + \rho_4 + \rho_7 + \rho_{13} + \rho_{15} + \rho_{17} + \rho_{18} \\ \rho_2 - \rho_3 - \rho_5 + \rho_6 - \rho_8 + \rho_{10} - \rho_{11} \\ \rho_3 - \rho_4 + \rho_5 - \rho_7 + \rho_9 + \rho_{12} - \rho_{13} \\ \rho_8 - \rho_9 + \rho_{11} - \rho_{12} + \rho_{14} - \rho_{15} + \rho_{16} - \rho_{17} \end{pmatrix}$$

Особенность применения контурного тензорного метода в данном случае заключается в неоднозначности решения в связи с тем, что используются не полная размерность системы координат (для единственности решения необходимо задействовать все n осей, где n количество систем в модели сети), а ограниченная четырьмя, т.е. определяемая количеством контурных интенсивностей в исходной сети. Данная особенность не является недостатком метода, так как позволяет получать множество решений с возможностью выбора оптимального распределения пропускных способностей сети.

Используя уравнение (1) и определяя исходные данные для матрицы $\bar{T} : T_{i,j} = 0$ для $i \neq j$; $T_{i,j} = 1/100$ (что подразумевает скорость интерфейса 100 Мб/с) для $i = j$ и для вектора $\bar{\rho} : \rho_i = 0.5$; получаем следующее распределение (но не единственное) трафика по сети (таблица).

система	интерфейс	Задействованная пропускная способность, Мб/с	загрузка	Скорость, Мб/с
1	источник	94.167	0.942	100
2	1-2	24.583	0.246	
3	1-3	42.500	0.425	

4	1-4	27.083	0.271
5	1-3 (вх.)	42.500	0.425
6	2-5	24.583	0.246
7	4-6	27.083	0.271
8	3-5	19.375	0.194
9	3-6	23.125	0.231
10	2-5 (вх.)	24.583	0.246
11	3-5 (вх.)	19.375	0.194
12	3-6 (вх.)	23.125	0.231
13	4-6 (вх.)	27.083	0.271
14	5-получатель	43.958	0.440
15	6-получатель	50.208	0.502
16	5-получатель (вх.)	43.958	0.440
17	6-получатель (вх.)	50.208	0.502
18	получатель	94.167	0.942

В заключении, можно отметить следующее: протокол IP является наиболее распространенным и позволяет объединить практически все существующие на сегодняшний момент услуги сетей с обеспечением заданного уровня QoS; тензорный метод позволяет достаточно просто формализовать проектные процедуры для сетей такого типа; сложные топологии, необходимость учета особенностей передачи в различных технологиях, динамическое управление маршрутами потоков: всё это приводит к невозможности определения показателей качества классическими методами; тензорный метод позволяет оценивать требуемые показатели качества при приемлемых вычислительных затратах.

Следует отметить также, что основными достоинствами предложенного метода являются: линейная зависимость сложности расчетов от масштаба сети, возможность оценки характеристик сетей при обслуживании разнородных информационных потоков, возможность решения мультикритериальной задачи при оценке параметров телекоммуникационных сетей, а также простота программной реализации.

Литература

1. Крон Г. Тензорный анализ сетей [Текст] / Г. Крон. – М: Радио и связь, 1978.
2. Пономарев Д.Ю. Тензорная методология в телекоммуникациях [Текст] / Д.Ю. Пономарев. // Системы управления и информационные технологии. – 2006. – №1.1(23). – С. 161-165.
3. Пономарев Д.Ю. Исследование возможностей тензорного анализа сетей массового обслуживания [Текст] / Д.Ю. Пономарев. // Имитационное моделирование. Теория и практика. / ИММОД-2007: Сборник докладов Третьей всероссийской научно-практической конференции по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности. – СПб: ЦНИИТС. – 2007. – Т.1. – С. 205-209.