

АНАЛИЗ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ ТЕЛЕМЕДИЦИНЫ

Тевдордзе М.

Грузинский Технический Университет

Резюме

Сети телемедицины характеризуются большими информационными нагрузками, поэтому становится необходимым оценить пропускную способность сети. В статье предложен подход, на основе которого для оценки пропускной способности поставлены и решены две задачи: определение вероятности блокировок и среднего времени задержки в маршрутизаторе, если известны значения потоков, поступающих на обслуживание в каждый маршрутизатор; определение максимально возможных значений потоков, при обслуживании которых в рассматриваемой сети обеспечивается требуемое допустимое среднее время доставки пакетов.

Ключевые слова: Компьютерные сети. Телемедицина. Пропускная способность сети.

1. Введение

Компьютерные сети телемедицины должны обеспечивать объединение различных сетей в одну и давать возможность проведения видеоконференций. В таком случае в сети имеет место передача потоков, генерируемых на каждом компьютере, всем остальным компьютерам с целью получения изображения всех участников видеоконференции на мониторах остальных участников. Следовательно, в сети данного типа имеется весьма значительный поток информации (включающей аудио и видео информацию). Следующий момент, который также необходимо отметить, является передача информации в реальном времени. Отсюда можно заключить, что на маршрутизаторы, которые используются в сети, ложится большая нагрузка, поскольку они должны обеспечить приемлемую скорость доставки информации на компьютеры сети. То же самое можно отметить относительно каналов сети.

Процесс функционирования данного типа сетей отличается высокой степенью сложности, а характеризующие их показатели, такие, например, как средние значения времени доставки пакетов абонентам различных категорий, зависят от весьма большого числа факторов. Вместе с тем значительные материальные затраты на создание и эксплуатацию подобных систем побуждают к получению количественных оценок различных аспектов функционирования рассматриваемых сетей с целью выбора рациональных инженерных решений на различных этапах их проектирования, эксплуатации, модернизации и развития. В этой связи особенно большое значение приобретает проблема решения комплекса задач, связанных с анализом сети.

2. Основная часть

К числу задач анализа функционирования сети можно отнести задачу анализа пропускной способности. В общем виде задача анализа пропускной способности сети телемедицины может быть представлена в следующем виде. Будем считать, что известны: топология сети (расположение маршрутизаторов и соединения между ними), схема организации и объем накопителя каждого маршрутизатора, емкости соединительных линий, алгоритм распределения потоков сообщений, допустимые значения среднего времени доставки сообщений по сети. Необходимо определить максимально возможные интенсивности потоков, поступающих на маршрутизаторы и обеспечивающие заданные значения среднего времени доставки. При этом нужно отметить, что время доставки сообщения определяется временем обслуживания в маршрутизаторе и временем передачи по линиям связи. Для анализа предлагаем разработанную для применения в телемедицине сеть (рис. 1), позволяющую объединять большое количество сетей разного характера: локальные, корпоративные, телефонные, ISDN, Интернет, спутниковую связь.

Для решения поставленной задачи для сети телемедицины можно рассмотреть две следующие задачи: 1. определить вероятность блокировок и среднее время задержки в маршрутизаторе, если известны значения потоков, поступающих на обслуживание в каждый маршрутизатор; 2. определить максимально возможные значения потоков, при обслуживании которых в рассматриваемой сети обеспечивается требуемое допустимое среднее время доставки пакетов.

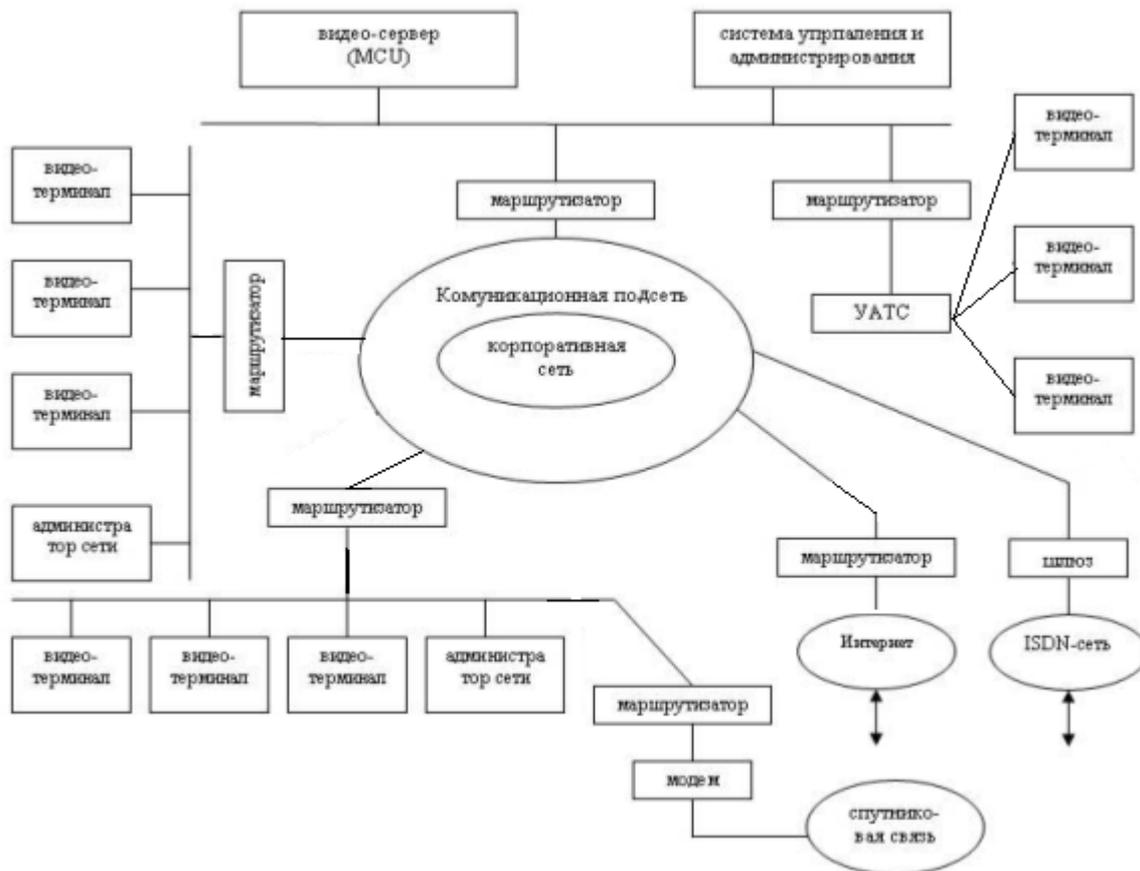


Рис.1. Структура сети телемедицины для проведения видеоконференций

Для решения задачи определения вероятности блокировки и среднего времени задержки в маршрутизаторе каждый маршрутизатор и линии связи, исходящие из него, представим объединением систем массового обслуживания определенного типа. В маршрутизатор поступают так называемые внешние потоки сообщений (потоки, генерируемые абонентами данного узла), которые смешиваются с транзитными (внутренними) потоками сети. Предположим, что потоки, поступающие на различные маршрутизаторы, независимы, а также что по каждой соединительной линии сети может проходить $(1, 2, \dots, i, \dots, n)$ каналов; при этом все n потоков являются пуассоновскими с интенсивностью поступлений λ_i . План распределения потоков определен заранее и задается соответствующей матрицей маршрутов (фиксированная маршрутизация). Время передачи по j -ой исходящей линии распределено по экспоненциальному закону с параметром μ_j и не зависит от времени передачи по другим линиям связи. Таким образом, в i -ый маршрутизатор поступает L независимых пуассоновских потоков (L – число исходящих линий связи из i -го маршрутизатора) с постоянной интенсивностью λ_i^l ($l=1, \dots, L$). Сообщения l -го потока обслуживаются соответствующей l -ой исходящей линией в порядке поступления с длительностью обслуживания $1/\mu_l$. При этом поступающее сообщение принимается на обслуживание, если хотя бы один из буферов накопителя i -го маршрутизатора свободен. Если все буферы заняты, то маршрутизатор считается заблокированным. В этом случае интенсивность суммарного потока, принятого на обслуживание, или пропускная способность маршрутизатора определяется как

$$\lambda_i^{\text{исх}} = \lambda_i^{\text{вх}} (1 - P_{N_i}) \text{ сообщ./с} \quad (1)$$

где $\lambda_i^{\text{исх}} = \sum_{l=1}^L \lambda_i^l$ – интенсивность суммарного потока, поступающего на обслуживание в i -

ый маршрутизатор; P_{N_i} – вероятность блокировки i -ого маршрутизатора, емкость накопителя которого составляет N_i . Вероятность блокировки маршрутизатора для рассматриваемых допущений и полнодоступной схемы организации буферного накопителя определим выражением:

$$P_{N_i} = P_0 G(N_i), \quad (2)$$

где P_0 - вероятность того, что система пуста: $P_0^{-1} = \sum_{l=1}^L A_l \frac{1 - \rho_l^{N_l+1}}{1 - \rho_l}$; $G(N_l) = \sum_{l=1}^L A_l \rho_l^{N_l}$;

$$A_l = \prod_{k=1}^l \frac{1}{1 - \rho_k / \rho_l}, \text{ где } \rho_l - \text{ загрузка } l\text{-й исходящей линии: } \rho_l = \frac{\lambda_l^i}{\mu_i} .$$

При определении пропускной способности каждого маршрутизатора и сети в целом, будем предполагать, что в процессе обслуживания сообщения l -й исходящей линией (соответствующей СМО) его копия сохраняется в накопителе маршрутизатора до тех пор, пока не будет получено подтверждение (квитанция) по истечении времени T^{ack} или пока не истечет время T^{out} . Если квитанция на переданное сообщение поступит до истечения времени T^{out} , то буфер освобождается, если квитанция не поступит, а время T^{out} истекло, то передача сообщения повторяется. Повторная передача происходит до тех пор, пока не будет получена квитанция. Допустимые значения величин T^{ack} и T^{out} будут считаться заданными. Учитывая сделанные выше допущения и вероятность того, что передаваемое по l -ой линии связи сообщение может иметь одну или несколько ошибок (вероятность этого события определяется величиной ρ_{ou}), среднее время T_l^i пребывания сообщения l -го направления в i -м маршрутизаторе может быть определено, как:

$$T_l^i = \frac{1}{\mu_l \{1 - (f_l + \rho_{ou}) + f_l \rho_{ou}\}} + \frac{T^{out} \{f_l + \rho_{ou} - \rho_{ou} f_l\}}{\{1 - (f_l + \rho_{ou}) + f_l \rho_{ou}\}} + T^{ack} \quad (3)$$

В выражении (3) f_l - вероятность блокировки соседнего маршрутизатора, соединенного с рассматриваемым l -исходящей линией. В этих условиях интенсивность обслуживания потока на l -й исходящей линии будет определяться величиной $\mu_l^i = \frac{1}{T_l^i}$, а загрузка l -ой линии – величиной

$$\rho_l = \frac{\lambda_l^i}{\mu_l^i} = \lambda_l^i T_l^i .$$

Таким образом, будем предполагать, что маршрутизаторы сети представляют объединение СМО типа М/М/1 с общим полнодоступным накопителем емкости N_i , вероятность блокировки которого определяется выражением (2).

Среднее число \bar{n}_l и среднее время задержки D_l^i сообщений l -го направления i -го маршрутизатора определяется как:

$$\bar{n}_l = \frac{\rho_l}{1 - \rho_l} \frac{\sum_{k=0}^{N_l-1} (1 - \rho_l^{N_l-k}) G(k)}{\sum_{k=0}^{N_l} G(k)} \quad (4)$$

$$\text{где } G(k) = \sum_{l=1}^L A_l \rho_l^k \text{ и } D_l^i = \frac{\bar{n}_l}{\lambda_l^{ucx}} = \frac{\bar{n}_l}{\lambda_l^i (1 - P_{N_i})} \quad (5)$$

Таким образом, используя выражения (2) – (5), можно определить вероятность блокировки P_N и среднее значение задержки сообщений D_l на исходящих направлениях каждого маршрутизатора сети при условии, что: все маршрутизаторы независимы; известны маршруты для каналов передачи сообщений; пропускная способность маршрутизатора определяется в соответствии с выражением (1).

При решении задачи определения максимально возможных значений внешних потоков, насыщающих рассматриваемую сеть и обеспечивающих заданные средние величины задержки по линиям связи при передаче от исходного до маршрутизатора назначения, представим каждый маршрутизатор сети объединением СМО типа М/М/1 с общим накопителем неограниченной емкости. При этом будем предполагать, что длины сообщений имеют экспоненциальное распределение со средним значением b бит; пропускная способность l -й линии связи определяется величиной $\mu(l) = C(l)/b$ сообщ./с, где $C(l)$ – емкость l -й линии связи; среднее время задержки

сообщения определяется временем передачи по линии связи; по каждой линии связи может проходить $(1, \dots, n)$ каналов передачи сообщения, при этом поступление пакетов в i канал передачи сообщения является пуассоновским процессом с интенсивностью γ_i ; система рассматривается в статическом состоянии. При этих предположениях, если по l линии связи проходит $(1, \dots, n)$ канал передачи сообщения с интенсивностями поступления $(\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_n)$, то средняя задержка сообщений, проходящих по этой линии связи будет равна:

$$B_l = \frac{1}{(\mu(l) - \sum_{i=1}^n \gamma_i)}$$

Средняя общая задержка сообщений на всем j -ом канале передачи сообщений, включающем линии связи (k_1, k_2, \dots, k_m) , в этом случае равна

$$Z_j = \sum_{i=1}^m B_{k_i}$$

Далее задача сводится к определению максимально возможных интенсивностей поступления сообщений γ_i для всех каналов передачи сообщений сети, обеспечивающих требуемое среднее значение задержки сообщений по сети при заданных емкостях линий связи и плане распределения потоков, т.е. к получению оптимального соотношения между пропускной способностью сети и допустимыми значениями задержки. При этом интенсивность потока, поступающего в l линию связи $\gamma(l)$, равна сумме интенсивности потоков γ_i каналов передачи

сообщений $(1, \dots, n)$, использующих данную линию связи: $\gamma(l) = \sum_{i=1}^n \gamma_i$

Для решения рассматриваемой задачи воспользуемся методом оптимального распределения емкостей линий связи между корреспондирующими парами маршрутизаторов сети при фиксированном плане распределения потоков.

Пусть γ_i – интенсивность потока между i -й парой маршрутизаторов, использующей l -ю линию связи. Тогда i -ая пара “насыщает” l -ю линию связи, если $\gamma_i = x_i(r(l))$, где $r(l) = \mu(l) - \bar{\gamma}(l)$ – оставшаяся неиспользуемой емкость линии связи, $\bar{\gamma}(l)$ суммарная интенсивность потоков между другими парами маршрутизаторов (кроме i -й), использующими l -ю линию связи; x_i – некоторый коэффициент, определяющий использование емкости данной линии связи i -й парой маршрутизаторов. Линия связи считается перегруженной, если $\gamma_i > x_i(r(l))$. Таким образом, i -я пара маршрутизаторов «насыщена», если хотя бы одна из линий связи, по которым проходит канал передачи сообщений для обслуживания потока с интенсивностью γ_i насыщена и ни одна не перегружена. Распределение емкостей линий связи считается оптимальным, если все корреспондирующие пары маршрутизаторов насыщены.

Для того, чтобы избежать резкого возрастания величины B_l , когда значение $(x_i r(l)) \rightarrow 0$, вводим некоторый предел для использования емкости линии связи. Будем считать, что $\gamma(l)$ не должна превышать $0,8\mu(l)$. Таким образом, насыщение i -й пары маршрутизаторов определяется выражением

$$\gamma_i = \min_{l \in l(i)} x_i(r(l)), \tag{6}$$

где $l(i) = \{l_1, l_2, \dots, l_m\}$ – множество линий связи, по которым проходит i -ый канал передачи сообщений (для обслуживания потока между i -й парой маршрутизаторов).

Выражение (6) имеет также другую форму записи:

$$\gamma_i = \min \frac{x_i}{B_l^i}, \tag{7}$$

так как $B_l^i = \frac{1}{\{\mu(l) - \tilde{\gamma}(l)\}} = \frac{1}{r(l)}$

Очевидно, что выражение (7) определяет зависимость между средним значением задержки и пропускной способностью l -й линии связи.

Итерационная процедура определения интенсивностей внешних потоков, обеспечивающих заданные средние значения задержки при передаче сообщений от исходного до маршрутизатора назначения включает следующие операции:

1. Определить максимально допустимое значение емкости линий связи $\gamma(l, j)$, которая может быть использована на j - итерации каждой ненасыщенной парой маршрутизаторов для всех $l=1, \dots, L_{общ}$, где $L_{общ}$ – общее число линий связи в сети :

$$\gamma(l, j) = x \left[\frac{\mu(l) - \gamma_{нас}(l, j)}{1 + \xi x} \right]$$

где $\gamma_{нас}(l, j)$ – суммарная интенсивность потоков между парами маршрутизаторов, которые использовали l линию связи и были насыщены до j итерации; ξ – число пар маршрутизаторов, использующих l -линию связи и еще ненасыщенных до j итерации;

2. Определить интенсивность внешних потоков γ_h для всех $h=1, 2, \dots, H$ (где H – число ненасыщенных пар маршрутизаторов) как $\gamma_h = \min_{l \in I(h)} \gamma(l, j)$

3. Определить, какие пары маршрутизаторов перешли в состояние насыщения после выполнения операции 2, т.е. пары, для которых $\gamma_q = \min x_q / B_i^q$,

где $q=1, \dots, Q$ – число тяготеющих пар маршрутизаторов в сети.

4. Сравнить значения интенсивностей потоков, полученных на j -итерации, со значениями, полученными на предыдущей, $(j-1)$ -й итерации. т.е. проверить, все ли пары маршрутизаторов насыщены. При этом: а) если хотя бы одна пара маршрутизаторов ненасыщенна, то перейти к выполнению операции 1; б) если все пары маршрутизаторов насыщены, то закончить работу.

В процессе работы описанного выше алгоритма каждая пара маршрутизаторов, насыщенная на j -й итерации, остается насыщенной и на $(j+1)$ -й итерации, поэтому после выполнения числа итераций $U \leq Q$ будут насыщены все тяготеющие пары маршрутизаторов.

Каждая из рассмотренных задач имеет самостоятельное значение, а также может быть использована как один из этапов при решении задачи анализа пропускной способности сети, заключающейся в определении максимально возможных интенсивностей внешних потоков, насыщающих анализируемую сеть и обеспечивающих допустимые величины доставки сообщений при передаче от исходного до маршрутизатора назначения, определяемые временем обслуживания в маршрутизаторе и временем передачи по линиям связи.

3. Заключение

Алгоритм определения пропускной способности сети с фиксированной маршрутизацией будет включать следующие этапы расчета:

I. Определение интенсивностей внешних потоков, насыщающих анализируемую сеть и обеспечивающих заданные средние значения задержек при передаче сообщений от исходного до маршрутизатора назначения при условии, что объем буферного накопителя в каждом маршрутизаторе неограничен, а среднее значение задержки определяется только временем передачи по линиям связи. На этом этапе анализа выполняются операции 1-4 алгоритма, используемого для решения второй задачи. После выполнения данного этапа получаем значения потоков, передаваемых между всеми тяготеющими парами маршрутизаторов в рассматриваемой сети.

II. Определение вероятностей блокировок маршрутизаторов и средних значений задержек, определяемых временем обслуживания в маршрутизаторе, возникающих при передаче потоков, полученных на I этапе анализа, при заданных ограничениях на объем буферных накопителей в N_i маршрутизаторах. Этот этап анализа выполняется в соответствии с алгоритмом, используемым при решении первой задачи.

III. Определение суммарного среднего значения задержки на каждом канале передачи сообщений - Z_r (для всех $r=1, \dots, R$, где R – число каналов передачи сообщений в сети), включающего средние времена обслуживания сообщений в соответствующих маршрутизаторах и

средние времена передачи по линиям связи, по которым проходит данный канал передачи сообщений.

IV. Сравнение полученных значений Z с допустимыми значением среднего времени доставки сообщений по сети - $D_{\text{дон}}^{\Sigma}$. Если $Z_r \leq D_{\text{дон}}^{\Sigma}$ ($r=1, \dots, R$), то закончить анализ сети; если хотя бы одно значение $Z_r > D_{\text{дон}}^{\Sigma}$, то возвратиться к I. этапу анализа, уменьшив соответствующие допустимые значения средней величины задержки при передаче по линиям связи - $D_{\text{дон}}$.

Литература:

1. Таненбаум Э. Компьютерные сети. Санкт-Петербург, "Питер". 2002
2. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети. Санкт-Петербург, "Питер", 2002
3. Andrew S. Tanenbaum. Computer Networks. Third Edition. Vrije University. Amsterdam. The Netherlands. Prentice-Hall International Inc. 2000
4. Модели информационных и коммутационных систем. Под редакцией Харкевича А.Д. и Гармаша В.А. Москва, "Мир", 1982
5. Морозов В.К., Долганов А.В. Основы теории информационных сетей. Москва, Высшая школа, 1987
6. Жожикашвили В.А., Вишневикий В.М. Сети массового обслуживания. Теория и применение к сетям ЭВМ. Москва, "Радио и связь", 1988
7. Арипов М.Н., Захаров Г.П., Малиновский С.Т., Яновский Г.Г. Под ред. Захарова Г.П. Проектирование и техническая эксплуатация сетей передачи дискретных сообщений. Москва, "Радио и Связь", 1988
8. Шварц М. Сети ЭВМ. Анализ и проектирование. Москва, "Радио и Связь", 1981

ტელემედიცინის ქსელის გამტარუნარიანობის ანალიზი

მედია თევდორაძე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

რეზიუმე

ტელემედიცინის ქსელები ხასიათდება დიდი ინფორმაციული დატვირთვებით. ამიტომაც საჭირო ხდება ქსელის გამტარუნარიანობის ანალიზი. სტატიაში შემოთავაზებულია მიდგომა, რომლის თანახმად გამტარუნარიანობის შეფასების მიზნით დასმულია და გადაჭრილია შემდეგი ორი ამოცანა: მარშრუტიზატორის ბლოკირებისა და მასზე დაყოვნების საშუალო დროის განსაზღვრა, თუ ცნობილია მარშრუტიზატორზე შემავალი ნაკადების მნიშვნელობები; ნაკადების მაქსიმალურად შესაძლო მნიშვნელობების განსაზღვრა, რომელთა მომსახურების დროს უზრუნველყოფილია პაკეტების მიწოდების მოთხოვნილი დასაშვები საშუალო დრო.

ANALYSIS OF TELEMEDICINE NETWORKS' THROUGHPUT

MedeaTevdoradze

Georgian Technical University

Summury

Networks of telemedicine are characterized with a big information loads, that is why are necessary to estimate throughtput of network. In the article there is offered approach on the bases of which for estimation of throughtput of network are defined and solved next **two** tasks: definition of probability of router' blocking and middle time of delay in router if there are known information streems which come to router; definition of maximum possible values of information streems during the servise of which in the given type of networks there is supported possible middle time of delivery of frames.