

ПЛАНИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ КАНАЛА СВЯЗИ С УЧЕТОМ ТРЕБОВАНИЙ К КАЧЕСТВУ ОБСЛУЖИВАНИЯ СЕТЕВОГО ТРАФИКА

С.И. Баландин, Н.А. Мустафин, А.П. Хейнер

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет

УДК: 681.324

С.И. Баландин, Н.А. Мустафин, А.П. Хейнер **Планирование параметров канала связи с учетом требований к качеству обслуживания сетевого трафика** // Труды СПИИРАН. Вып. 1, т. 3. — СПб: СПИИРАН, 2003.

Аннотация. Предложенный метод позволяет вычислять минимальный объем ресурсов необходимых каналу связи для предоставления требуемого качества обслуживания сетевого трафика. Метод базируется на информации о смежных каналах связи и оценках параметров трафика. Если известно, что части сетевого трафика будет отказано в обслуживании, то лучше удалить этот трафик из сети как можно раньше. Предложенный метод был разработан для расчета параметров резервных каналов связи, но может применяться для обще-сетевого планирования. — Библ. 5 назв.

UDC 681.324

S.I. Balandin, N.A. Mustafin, A.P. Heyner **Communication Channel Parameters Planning under Given Requirements on the Quality of Network Traffic Service** // SPIIRAS Proceedings. Issue 1, v. 3. — SPb: SPIIRAS, 2003.

Abstract. The proposed method provides an algorithm to calculate the minimal volume of resources, necessary for a communication channel under given requirements on the quality of network traffic service. The method is based on the information about joint communication channels and estimates of the traffic parameters. If a part of traffic is certainly known to be denied, this part should be eliminated from the network as early as possible. Although the provided method has been developed for the calculations on parameters of reserved communication channels, it can be applied for the planning in the network as a whole. — Bibl. 5 items.

1. Введение

Вопрос введения критериев качества сервиса (QoS) в сетевое планирование активно прорабатывается коммуникационными компаниями, которые ощущают все нарастающее давление со стороны сетевых операторов. Как отмечает один из лидеров на рынке систем сетевого планирования [1], в последнее время требуются все более сложные решения, учитывающие разнообразие пользовательских потребностей. Разработка подобных комплексных решений требует значительных затрат времени и средств.

Особенностью современной ситуации является тяжелое материальное положение сетевых операторов, в частности западноевропейских. В результате схемы, позволяющие эффективную модернизацию уже существующих сетей, более востребованы, по сравнению с системами комплексного сетевого планирования. Психологически, операторы охотнее доверяют простым системам с очевидными принципами работы.

В статье предлагается простая схема планирования параметров каналов связи с учетом требований предъявляемых к качеству обслуживания. Первоначально схема была предложена для случая расширения сети за счет резервных каналов связи, но она так же может быть использована на любой стадии жизненного цикла сети. Главным элементом схемы является формула расчета эффективной пропускной способности канала связи на базе информации о его непосредственном окружении. Описание окружения индивидуально для каждого канала

связи и включает в себя: оценку трафика проходящего через узлы связи на обоих концах канала, эффективную пропускную способность соседних каналов, и информацию о требуемом качестве сервиса. Основой для создания формулы послужили следующие наблюдения:

- 1) Нет смысла определять эффективную пропускную способность выше, чем максимальный объем данных, который может достигнуть входа в канал связи
- 2) Нет смысла передавать по каналу связи больше информации, чем объем, который может быть обработан и передан далее на выходе из канала связи.
- 3) В большинстве моделей обслуживания не существует прямой зависимости между сервисом, предоставляемым потокам данных в канале связи, и адресом конечного получателя.

Мы определили эффективную пропускную способность канала связи как величину, одновременно удовлетворяющую первым двум наблюдениям. Третье наблюдение использовалось при выводе формулы.

Определение эффективной пропускной способности ниже рассчитанного значения, приводит к искусственному снижению объема передаваемых данных, при не полном использовании ресурсов сети, в которую посылаются трафик (далее именуемую подсеть). При эффективной пропускной способности превышающей рассчитанное значение, подсеть получает больше трафика, чем она может обслужить. Это создает дополнительную нагрузку на узлы и приводит к образованию каскада перегруженных каналов. Дополнительные расходы, связанные с созданием канала с большей пропускной способностью, в конечном итоге не увеличивают объем передаваемых данных, но увеличивают задержку передачи данных и вероятность отказа в обслуживании пакетам, принадлежащим подсети. Последний факт является чрезвычайно болезненным, если речь идет о канале связи между сетями, принадлежащими разным операторам. Канал с эффективной пропускной способностью позволяет передавать максимум трафика при минимуме расходов, за счет раннего удаления обреченного трафика.

Современные протоколы маршрутизации, такие как Open Shortest Path First (OSPF) [2], позволяют быстро перенаправлять данные в случае сбоя основного канала связи. Однако для предоставления должного качества сервиса с минимальными накладными расходами, необходимо определить оптимальные параметры резервного канала связи. Требование качества сервиса сформулировано как доля трафика, которой не должно быть отказано в обслуживании. Это является упрощенным, но допустимым определением, так как остальные требования качества эффективно достигаются использованием схем качественного обслуживания, таких как дифференцированное обслуживание (DiffServ) [3].

Также, схема может использоваться для вычисления оптимальных параметров Label Switched Path (LSP) в Multi-Protocol Labelled Switching (MPLS) [4] среде, где понятие канала заменяется логическим соединением.

В качестве примера использования разработанной схемы, приводится планирование резервных каналов связи для IP сети с радио доступом (IP RAN). В настоящее время это является актуальной задачей в связи с начавшимся переходом к мобильным сетям третьего поколения.

2. Постановка задачи

На рис. 1 представлено определение области окружения канала связи. Деление на главную и второстепенную сеть (подсеть) очень условно и сделано для упрощения разделения понятий относящихся к входу в канал связи (принадлежат главной сети) и выходу из канала связи (принадлежат подсети).

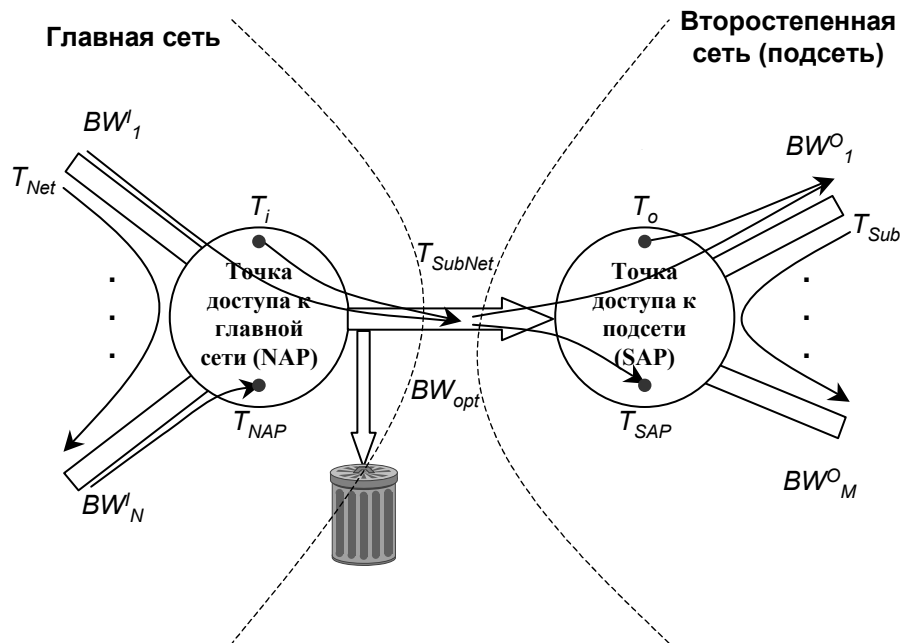


Рис. 1. Определение области окружения однонаправленного канала связи

Далее будут использованы следующие обозначения, построенные на основе определения области окружения однонаправленного канала связи:

- T_{Net} Объем трафика, проходящего транзитом через точку доступа к главной сети (NAP), отправители и получатели которого расположены внутри главной сети
- T_{Sub} Объем трафика, проходящего транзитом через точку доступа к подсети (SAP), отправители и получатели которого расположены внутри подсети
- T_{NAP} Объем трафика, адресованного узлу NAP, с отправителем расположенным в главной сети
- T_i Объем трафика, производимого узлом NAP, с получателем расположенным в подсети
- $T_{Sub-Net}$ Общий объем трафика передаваемого по однонаправленному каналу из узла NAP в SAP
- T_{SAP} Объем трафика, адресованного узлу SAP, с отправителем расположенным в главной сети ($T_{SAP} \square T_{SubNet}$)
- T_o Объем трафика, производимого узлом SAP, с получателем расположенным в подсети
- BW_i Максимум эффективной суммарной пропускной способности каналов связи входящих в NAP, взятый по всем группам каналов связи:

$$= \max_N \left(\sum_{I_n} BW_n^I \right)$$
 где, I_n определяет набор каналов связи принадлежащих группе n

BW_0 Максимум эффективной суммарной пропускной способности каналов связи выходящих из SAP, взятый по всем группам каналов связи:

$$= \max_M \left(\sum_{O_m} BW_m^O \right)$$

где, O_m определяет набор каналов связи принадлежащих группе m

Каналы принадлежат одной группе, если они могут быть одновременно использованы для передачи данных. Один канал может входить в несколько групп. Предполагается, что значение T_{SubNet} строго больше 0, в противном случае канал не нужен. Значения остальных величин должны быть большими или равными 0.

Как было отмечено во введении, критерии качества сервиса определяются в виде долей “важных” данных:

- α – доля “важных” данных во внутрисетевом трафике; включает следующий трафик: T_{Net} , T_{NAP} , T_{Sub} и $(T_{SubNet} - T_i)$; ($0 \leq \alpha \leq 1$)
- β – доля “важных” данных в трафике, производимом на узлах NAP и SAP; включает следующий трафик: T_i и T_o ; ($0 \leq \beta \leq 1$)
- ε – доля “важных” данных в трафике, передаваемом по каналу из узла NAP в SAP: T_{SubNet} ; ($0 \leq \varepsilon \leq 1$)

Поток данных, передаваемый по однонаправленному каналу связи между узлами NAP и SAP (T_{SubNet}), состоит из трафика произведенного внутри главной сети ($T_{SubNet} - T_i$) и на узле NAP (T_i). Уравнение 1 выражает значение ε через α , β и соответствующие типы трафика.

$$\alpha \times (T_{SubNet} - T_i) = \varepsilon \times T_{SubNet} - \beta \times T_i \Rightarrow \varepsilon = \alpha + (\beta - \alpha) \times \frac{T_i}{T_{SubNet}} \quad (1)$$

В большинстве случаев, доля “важных” данных одинакова для всех рассматриваемых группах трафика ($\alpha = \beta = \varepsilon$). В случае использования схемы обслуживания Best Effort, все доли “важных” данных должны быть равны 1, так как схема не имеет механизмов качественного обслуживания. Напротив, очень важно определить правильные значения α и β для сетей с DiffServ или MPLS.

При выводе формулы также были использованы следующие функции:

- $\delta(x)$ дельта-функция: 1 если $x = 0$; 0 в противном случае
- $\max(x; y)$ максимум двух значений: x если $x \geq y$; y в противном случае
- $\min(x; y)$ минимум двух значений: x если $x \leq y$; y в противном случае

2.1. Вычисление эффективной пропускной способности канала связи

Как было отмечено, нет смысла определять пропускную способность канала выше, чем максимальный объем данных, который может достигнуть входа в канал связи. Максимальный объем данных, который может достичь узла NAP, равен BW_i и может быть разделен на три группы: данные, адресованные непосредственно узлу NAP (T_{NAP}), данные, адресованные узлам в главной сети (T_{Net}), и данные для передачи в подсеть ($T_{SubNet} - T_i$). Мы полагаем, что в большинстве моделей обслуживания нет прямой зависимости между сервисом предоставляемым данным в канале связи и адресом получателя. При перегрузке входных каналов связи, процент данных для передачи в подсеть, которым не было отказано в обслуживании, определяется простым отношением ко всему объему данных. Также входа в канал связи достигают все данные, производимые на узле NAP (T_i). Таким образом, пропускная способность канала, обеспе-

чивающая передачу всех данных достигнувших входа (BW') определяется согласно уравнению 2.

$$BW' = \frac{(T_{SubNet} - T_i)}{(T_{SubNet} - T_i) + T_{NAP} + T_{Net}} \cdot BW_I + T_i \quad (2)$$

При введении критериев качества α для внутрисетевого трафика T_{Net} , T_{NAP} , и $(T_{SubNet} - T_i)$, и β для трафика произведенного на узле NAP (T_i), получаем уравнение 3.

$$BW' = \frac{\alpha \cdot (T_{SubNet} - T_i)}{\alpha \cdot (T_{SubNet} - T_i) + \alpha \cdot T_{NAP} + \alpha \cdot T_{Net}} \cdot BW_I + \beta \cdot T_i \quad (3)$$

Возможно, что весь трафик для подсети генерируется на узле NAP ($T_i = T_{SubNet}$, и $T_{Net} = T_{NAP} = 0$). Тогда знаменатель дроби в уравнении 3 обращается в 0. Введение в знаменатель дельта-функции $\square(T_{SubNet} - T_i)$ решает эту проблему и не приводит к смысловому изменению уравнения. Значение BW' определяется уравнением 4.

$$BW' = \frac{T_{SubNet} - T_i}{(T_{SubNet} - T_i) + \delta(T_{SubNet} - T_i) + T_{NAP} + T_{Net}} \cdot BW_I + \beta \cdot T_i \quad (4)$$

Нет смысла передавать по каналу связи больше информации, чем объем, который может быть обработан и передан далее на выходе из канала связи. Максимальный объем данных, который может быть передан далее в подсеть, равен: максимальной эффективной пропускной способности каналов связи выходящих из SAP (BW_O) минус эффективная пропускная способность необходимая для трафика генерируемого внутри подсети (T_o и T_{Sub}). Это значение может быть меньше нуля, но этот случай исключает возможность использования канала связи, и по этому мы его не рассматриваем. Таким образом, максимальный объем данных, который может быть передан далее в подсеть, определяется как $\max(0, BW_O - (T_o + T_{Sub}))$.

Данные, получаемые по каналу связи между узлами NAP и SAP можно разделить на две группы: адресованные узлу SAP (T_{SAP}) и трафик для подсети ($T_{SubNet} - T_{SAP}$). Учитывая отсутствие прямой зависимости между сервисом предоставляемым данным в канале связи и адресом получателя, процент данных для подсети которым не будет отказано в обслуживании, определяется отношением свободной эффективной пропускной способности подсети к объему трафика адресованного в подсеть, но не превышает единицы.

Возможно, что весь трафик для подсети адресован узлу SAP ($T_{SAP} = T_{SubNet}$). Аналогично уравнению 3, использование дельта-функции $\square(T_{SubNet} - T_{SAP})$ в знаменатели дроби предотвращает деление на 0. Также, в этом случае максимальный объем принимаемых данных не зависит от свободной пропускной способности подсети. Для отражения этого случая, заменяем 0 на $\square(T_{SubNet} - T_{SAP})$ в определении максимального объема данных который может быть передан далее в подсеть.

Пропускная способность, обеспечивающая передачу данных, которые могут быть обработаны и переданы далее на выходе из канала связи (BW''), определяется согласно уравнению 5.

$$BW'' = T_{SubNet} \cdot \min\left(1; \frac{\max(\delta(T_{SubNet} - T_{SAP}); BW_O - (T_o + T_{Sub}))}{T_{SubNet} - T_{SAP} + \delta(T_{SubNet} - T_{SAP})}\right) \quad (5)$$

Вводя критерии качества α для T_{Sub} , β для T_o , и γ для T_{SAP} и T_{SubNet} , получаем уравнение 6.

$$BW'' = \varepsilon \cdot T_{SubNet} \cdot \min\left(1; \frac{\max(\delta(T_{SubNet} - T_{SAP}); BW_O - (\alpha \cdot T_{Sub} + \beta \cdot T_o))}{\varepsilon \cdot T_{SubNet} - \varepsilon \cdot T_{SAP} + \varepsilon \cdot \delta(T_{SubNet} - T_{SAP})}\right) \quad (6)$$

Занося γ под $\min()$ и произведя замену согласно уравнению 1, получаем окончательную формулу для BW'' :

$$BW'' = T_{SubNet} \cdot \min\left(\alpha + (\beta - \alpha) \cdot \frac{T_i}{T_{SubNet}}; \frac{\max(\delta(T_{SubNet} - T_{SAP}); BW_O - (\alpha \cdot T_{Sub} + \beta \cdot T_o))}{T_{SubNet} - T_{SAP} + \delta(T_{SubNet} - T_{SAP})}\right) \quad (7)$$

Согласно определению, эффективная пропускная способность канала должна одновременно удовлетворять обоим требованиям, а следовательно, быть равной $\min(BW', BW'')$. Таким образом, эффективная пропускная способность канала связи (BW_{OPT}) определяется согласно уравнению 8.

$$BW_{OPT} = \min\left(\frac{T_{SubNet} - T_i}{(T_{SubNet} - T_i) + \delta(T_{SubNet} - T_i) + T_{NAP} + T_{Net}} \cdot BW_i + \beta \cdot T_i; T_{SubNet} \cdot \min\left(\alpha + (\beta - \alpha) \cdot \frac{T_i}{T_{SubNet}}; \frac{\max(\delta(T_{SubNet} - T_{SAP}); BW_O - (\alpha \cdot T_{Sub} + \beta \cdot T_o))}{T_{SubNet} - T_{SAP} + \delta(T_{SubNet} - T_{SAP})}\right)\right) \quad (8)$$

Предложенная формула проста в использовании, не требует значительных вычислительных ресурсов и имеет прозрачный принцип действия. Оценки параметров BW_i , BW_O , T_{Net} , T_{Sub} , T_{SubNet} , T_i , T_o , T_{NAP} и T_{SAP} могут быть получены на основе анализа реальных сетей, а также с использованием математического или компьютерного моделирования. Определение доли “важных” данных в сетевом трафике (α и β) зависит от характеристик выбранной модели обслуживания и качества сервиса требуемого в конкретной сети.

2.2. Субоптимизация буферной задержки

В формуле вычисления эффективной пропускной способности каналов связи используются усредненные оценки объемов сетевого трафика. В реальности, описание изменения объема сетевого трафика является сложной колебательной функцией. Кратковременное увеличение объема трафика приводит к большей загрузке буферов канала связи, увеличению задержки и вероятности отказа в обслуживании. Добавив в уравнение 8 параметр, учитывающий кратковременные колебания объема сетевого трафика, мы минимизируем использование канального буфера, со всеми вытекающими преимуществами. Рассмотрим, как учет кратковременных колебаний может быть отражен в определении BW' и BW'' :

Незначительным увеличением BW' , можно компенсировать колебания объема данных достигающих входа в канал связи. Колебания вызваны изменениями пропорции между типами данных, поступающими из сети (T_{Net} , T_{NAP} , и $(T_{SubNet} - T_i)$), а также свойствами трафика генерируемого на узле NAP (T_i).

В случае если BW_{OPT} ограничено значением BW'' , пропускная способность канала должна быть уменьшена. Это позволит снизить загрузку каналов на выходе из узла SAP и тем самым компенсировать колебания объема данных производимых на узлах подсети.

Мы предлагаем ввести коэффициент изменчивости сетевого трафика γ учитывающий кратковременные колебания объема трафика, где $0 \leq \gamma \leq 1$. На практике значения γ не должны превышать 0.05 (5%), что является нормальным определением для кратковременных колебаний. Предлагаемое решение не может компенсировать изменения, происходящие в долгосрочной перспективе.

Умножение первой части уравнения 8 на коэффициент $(1 + \gamma)$, позволяет уменьшить сетевую задержку, життер (jitter) и вероятность отказа в обслуживании, за счет незначительного увеличения стоимости канала связи (увеличении пропускной способности). Умножение второй части уравнения 8 на $(1 - \gamma)$, позволяет улучшить качество обслуживания в подсети, за счет незначительного уменьшения объема данных передаваемого из сети в подсеть.

Уравнение 9 позволяет вычислять эффективную пропускную способность канала связи с учетом колебаний значений, формирующих область окружения канала связи.

$$BW_{OPT} = \min \left\{ \begin{array}{l} \left\{ \frac{T_{SubNet} - T_i}{(T_{SubNet} - T_i) + \delta(T_{SubNet} - T_i) + T_{NAP} + T_{Net}} \cdot BW_I + \beta \cdot T_i \right\} \cdot (1 + \gamma); \\ T_{SubNet} \cdot \min \left(\alpha + (\beta - \alpha) \cdot \frac{T_i}{T_{SubNet}}; \frac{\max(0; BW_O - (\alpha \cdot T_{Sub} + \beta \cdot T_o))}{T_{SubNet} - T_{SAP} + \delta(T_{SubNet} - T_{SAP})} \right) \cdot (1 - \gamma) \end{array} \right. \quad (9)$$

Модифицированное уравнение позволяет одновременно проводить оптимизацию пропускной способности и канальной задержки. Оценка коэффициента γ может быть проведена на основе существующих моделей сетевого трафика (например, с использованием нормализованного среднеквадратического отклонения $\gamma = \chi \cdot \sigma / T_{avr}$) или вычислена непосредственно в сети. Рекомендуется использовать γ в сетях со всеми моделями трафика, за исключением самой простой модели с постоянной скоростью передачи битов (CBR).

2.3. Использование предложенного подхода для общесетевого планирования

Предложенное уравнение может быть итеративно использовано для расчета эффективных пропускных способностей каналов связи при любом типе сетей. При общесетевом планировании, сначала рассчитываются параметры каналов, принадлежащих критическим участкам (если таковые имеются), для которых жестко определены требования объема и качества обслуживания сетевого трафика. При отсутствии критических участков, расчет должен начинаться с основных точек входа в сеть и постепенно продвигаться вниз по структуре сети. Это обусловлено тем, что информация необходимая для первой части формулы всегда определена в точках входа в сеть. При движении по структуре сети, результаты предшествующих вычислений используются в качестве входных данных на последующих шагах.

В случае если на очередной итерации все параметры, относящиеся к подсети, не определены, то вторая часть формулы (BW'') не учитывается. Предполагается, что если нет ограничений, то подсеть может предоставить необходимый объем ресурсов.

В случае наличия общих неизвестных в определении нескольких каналов связи, производится совместное решение соответствующих уравнений. Количество итераций при использовании формулы линейно зависит от количества однонаправленных каналов связи в сети.

3. Результаты

Для проверки предложенного метода был выбран сценарий, представляющий один сегмент сети с радиодоступом. Сеть состоит из трех базовых станций, подсоединенных к IP маршрутизатору с помощью радиоканалов. IP маршрутизатор соединен с Radio Network Controller (RNC) высокоскоростным фиксированным каналом, а RNC в свою очередь, подсоединен по высокоскоростному каналу к сети более высокого уровня. Требуется найти эффективную пропускную способность резервных каналов построенных на базе радиосоединений, и используемых при выходе из строя основных каналов.

На рис. 2 представлена структура сети с двумя резервными каналами, показанными пунктирными линиями.

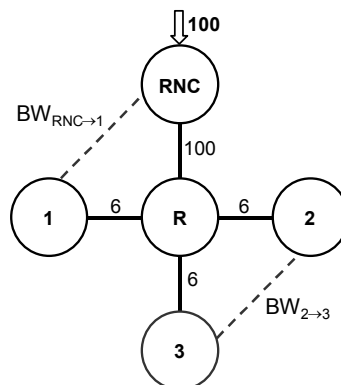


Рис. 2. Сегмент сети с радио доступом, числа показывают пропускную способность каналов (Мбит/с)

Объем данных посылаемых RNC каждой базовой станции (показанных узлами 1–3) составляет 5.26 Мбит/с. Каждая базовая станция поддерживает функцию мягкой передачи соединения (soft handover), для чего осуществляет обмен данными с двумя ближайшими базовыми станциями. Одно соединение soft handover требует 0.37 Мбит/с. Предполагается, что сигнальный трафик включен в трафик реального времени. Таким образом, суммарный объем данных, получаемых каждой базовой станцией, составляет 6 Мбит/с. Передача данных осуществляется с использованием трех радиоканалов (по 2 Мбит/с каждый).

Наличие резервного канала RNC→1 позволяет поддерживать работу всей сети при выходе из строя канала RNC→R, а также нормальную работу узла 1 при обрыве канала R→1. Очевидно, что второй случай требует меньше ресурсов, так что в дальнейшем будем ориентироваться на выход из строя канала RNC→R. Канал 2→3 служит для сохранения связи с узлом 3 в случае выхода из строя канала R→3.

Стандартная схема расчета эффективной пропускной способности резервных каналов связи проводится по принципу 2/3 объема трафика адресованного в соответствующую подсеть. В данном примере: $BW_{RNC \rightarrow 1} = 12$ Мбит/с, $BW_{2 \rightarrow 3} = 4$ Мбит/с.

Значения параметров, необходимых для вычисления эффективной пропускной способности обоих резервных каналов связи, приведены в таблице 1.

Таблица 1. Значения параметров для вычисления оптимальной пропускной способности резервных каналов

| Параметр | RNC→1 (Мбит/с) | 2→3 (Мбит/с) |
|--------------|----------------|--------------|
| T_{Net} | 0.00 | 0.00 |
| T_{NAP} | 0.00 | 5.63 |
| T_{SubNet} | 15.78 | 6.00 |
| T_i | 0.00 | 0.37 |
| T_{SAP} | 5.26 | 6.00 |
| T_o | 0.74 | 0.00 |
| T_{Sub} | 0.00 | 0.00 |
| BW_I | 100.00 | 6.00 |
| BW_O | 6.00 | 0.00 |

Доли “важных” данных определены: $\alpha = 0.55$, что соответствует оценки доли трафика реального времени; $\beta = 1$, данные генерируемые базовыми станциями (soft handover) является трафиком реального времени.

Применяя предложенную формулу (уравнение 8), получаем: $BW_{RNC \rightarrow 1} = 7.89$ Мбит/с, $BW_{2 \rightarrow 3} = 3.37$ Мбит/с. Для канала RNC→1 эффективная пропускная способность ограничена объемом данных, которые могут быть переданы из узла 1 другим узлам сети. Для канала 2→3 эффективная пропускная способность ограничена объемом данных, которые могут достигнуть узла 2.

Для организации канала RNC→1 необходимо выделить четыре радиоканала, а при использовании стандартной схемы — шесть. Кроме того, на базе незадействованной пропускной способности можно построить дополнительные логические каналы емкостью: 0.11 Мбит/с для RNC→1 и 0.63 Мбит/с для 2→3.

Для проверки оптимальности полученных результатов применялся метод компьютерного моделирования. В качестве базовой платформы использовался сетевой симулятор Network Simulator (NS-2) [5].

На рис. 3 показано изменение объема получаемых данных и среднестатистической задержки пакетов в сети, в зависимости от пропускной способности резервных каналов связи, заданной относительно рассчитанного значения. Случай использования канала RNC→1 показан сплошной линией, а канала 2→3 пунктирной.

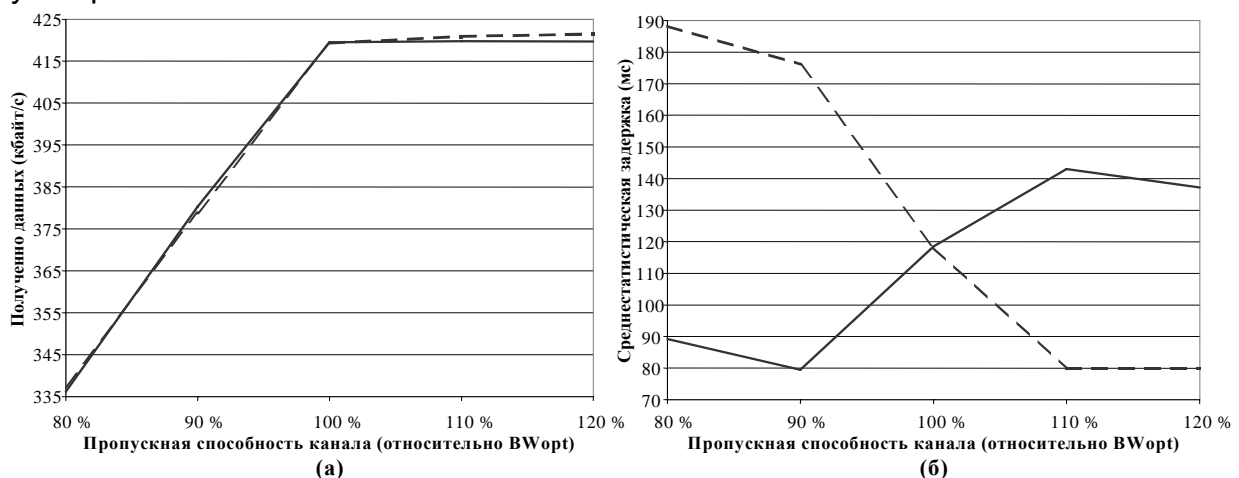


Рис. 3. Изменение объема данных (а) и среднестатистической задержки пакетов (б) получаемых узлом 3, в зависимости от эффективной пропускной способности резервных каналов связи

Оба случая (выход из строя канала $RNC \rightarrow R$ и использования канала $RNC \rightarrow 1$, и выход из строя канала $R \rightarrow 3$ и использования канала $2 \rightarrow 3$) были протестированы с пятью вариантами пропускной способности резервных каналов (80%, 90%, 100%, 110% и 120% от оптимального значения вычисленного по предложенной схеме). Для получения более надежной статистики, каждый из перечисленных выше случаев был смоделирован шесть раз из различных начальных состояний. Всего было выполнено шестьдесят симуляций, где длительность каждой симуляции была достаточной для достижения сетью стабильного состояния и сбора необходимых данных. Построенные зависимости базируются на пяти измеренных значениях. Так как у нас нет информации о форме зависимости, переходы на графике показаны прямыми линиями.

Полученные результаты показывают линейное возрастание объема принимаемых данных с увеличением пропускной способности резервных каналов до уровня 100% от оптимального значения, а затем, практически горизонтальная линия. Это доказывает, что вычисленное значение действительно является оптимальным.

На графике изменения среднестатистической задержки пакетов (на рис. 3б) видно, что значение задержки претерпевает значительное изменение в области вычисленного значения пропускной способности резервных каналов. Это может быть вызвано только изменением загрузки канальных буферов, что позволяет надеяться на эффективность идеи оптимизации буферной задержки с использованием уравнение 9.

3.1. Субоптимизация буферной задержки

На рис. 4 показано изменение объема получаемых данных и среднестатистической задержки пакетов в сети, в зависимости от значения параметра γ . Случай использования канала $RNC \rightarrow 1$ показан сплошной линией, а канала $2 \rightarrow 3$ пунктирной.

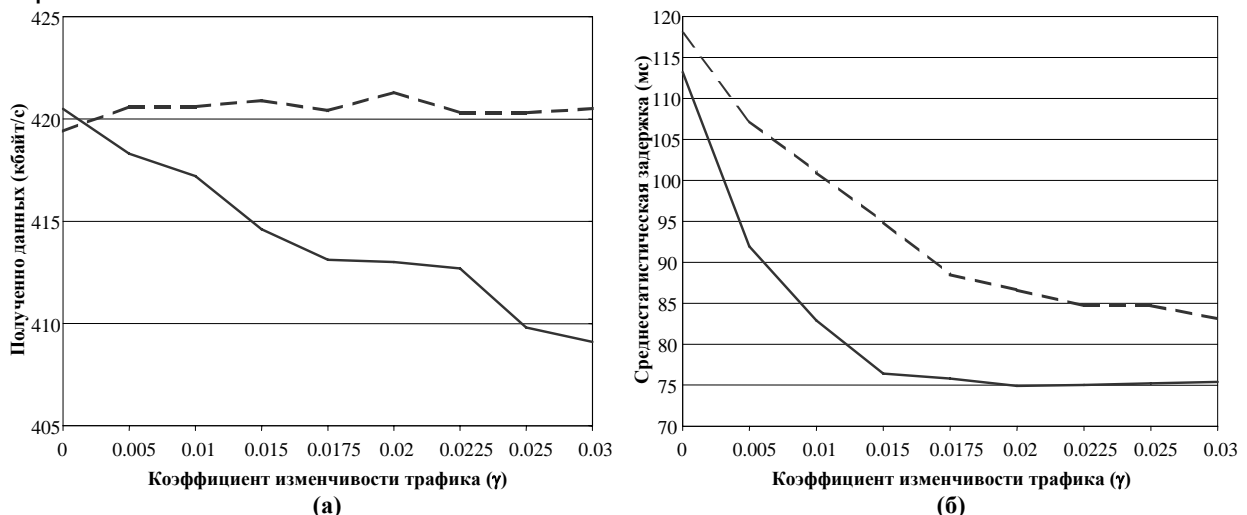


Рис. 4. Изменение объема данных (а) и среднестатистической задержки пакетов (б) получаемых узлом 3, в зависимости от значения параметра γ

Как и ожидалось, наблюдается значительное уменьшение среднестатистической задержки пакетов при использовании даже небольших значений параметра γ . Для канала $RNC \rightarrow 1$, определение значения γ отличным от нуля означает уменьшение значения эффективной пропускной способности канала, что ведет к линейному уменьшению объема получаемых данных. Для канала $2 \rightarrow 3$, определение значения γ отличным от нуля означает увеличение значения эффек-

тивной пропускной способности канала, что практически не влияет на объема получаемых данных.

Представленные результаты получены с использованием симуляций, на базе процедуры описанной выше. В таблице 2 представлены значения основных характеристик при $\gamma = 0.02$.

Таблица 2. Значения основных характеристик при $\gamma = 0.02$

| Сценарий | BW_{OPT} (Мбит/с) | Объем принятых данных (Кбайт/с) | Среднестатистическая задержка пакетов (мс) |
|----------|---------------------|---------------------------------|--|
| RNC→1 | 7.73 | 413 | 75 |
| 2→3 | 3.44 | 421 | 87 |

В сценарии RNC→1, уменьшение BW_{OPT} на 2% приводит к 2% уменьшению объема принятых данных и 34% снижению среднестатистической задержки пакетов. В сценарии 2→3, увеличение BW_{OPT} на 2% приводит к 27% снижению среднестатистической задержки пакетов и не влияет на объем принятых данных.

Это показывает, что использование коэффициента изменчивости сетевого трафика γ позволяет значительно уменьшить задержку пакетов в сети, при минимальных расходах.

4. Заключение

Основной областью применения для предложенного метода является содействие в планировании расширения уже существующих сетей с целью удовлетворения новым требованиям по объему и качеству обслуживания данных. Конкретной прикладной задачей является планирование расширения сетей с радиодоступом при переходе к третьему поколению мобильных сетей.

Благодаря небольшому объему вычислений, предложенный подход может быть использован для оперативного управления пропускной способностью каналов связи, в случаях, когда это допускается используемыми технологиями. Примером может служить задача установки радио каналов связи между базовыми станциями. Выделяемые на эту задачу ресурсы могут перераспределяться между канала в зависимости от изменения потребностей, вызванных дневными колебаниями объемов трафика в различных частях сети.

Использование схемы в задачах комплексного сетевого планирования возможно, но оправданность этого существенно зависит конкретного случая. Также, метод может быть использован для расчета оптимального набора LSP в MPLS среде.

Предложенная схема может быть использована для вывода обратных формул. Например, формулы, позволяющей оценивать максимальный объем данных, который может быть обслужен в сети при заданном уровне качества сервиса. В этом случае должна использоваться только первая часть общей формулы (представленная уравнением 4), так как она отражает эту взаимосвязь.

Реализация схемы чрезвычайно проста. Благодаря линейной зависимости сложности вычислений от количества каналов в сети, механизм не накладывает специальных ограничений на мощность процессора и объем оперативной памяти.

Наиболее сложным при использовании схемы является определение параметров BW_i и BW_o . Значения этих параметров одновременно зависят от настроек протокола маршрутизации и схемы обслуживания в сети. Во многих случаях, именно этот фактор препятствует использованию схемы в сетях со сложной внутренней структурой.

Предложенная формула предоставляет простой, но достаточно точный метод для расчета эффективной пропускной способности канала связи, позволяющий добиться максимального объема передаваемых данных при минимальном увеличении задержки пакетов в сети. Формула основана на простых и понятных предположениях и требует информацию об объемах трафика и ограничениях пропускной способности каналов связи в конкретной области сети. Дополнительными параметрами, позволяющими уточнить оценку эффективной пропускной способности являются: доля “важных” данных в общем трафике и коэффициент изменчивости сетевого трафика. Долю “важных” данных следует определять только при нехватке ресурсов.

Проведенные нами исследования показывают, что во многих случаях, особенно в иерархических сетях, определение одного постоянно перегруженного канала в непосредственной близости от точки входа в сеть является более выгодным, чем попытка тащить обреченные данные через всю сеть. Такой подход позволяет избежать образования каскадов перегруженных каналов и уменьшить задержку передачи данных. Кроме того, уменьшается вероятность потери внутри-сетевых данных, например, сигнальных пакетов.

Список литературы

1. Technical Support: Network Planning and Consulting [Электронный ресурс] / Paradyne Corp. — Электрон.дан. — Ларго (США): Paradyne Corp., 2002. — Режим доступа: http://www.paradyne.com/tech_support/, свободный. — Загл. с экрана. — Яз. англ.
2. OSPF version 2: RFC 2328 [Электронный ресурс] / Moy J. T. — Электрон.дан. — [Б. м.], 1998. — Режим доступа: <http://www.ietf.org/rfc/rfc2328.txt>, свободный. — Загл. с экрана. — Яз. англ.
3. An Architecture for Differentiated Services: RFC 2475 [Электронный ресурс] / Blake S., Black D., Carlson M. и др. — Электрон.дан. — [Б. м.], 1998. — Режим доступа: <http://www.ietf.org/rfc/rfc2475.txt>, свободный. — Загл. с экрана. — Яз. англ.
4. Requirements for Traffic Engineering Over MPLS: RFC 2702 [Электронный ресурс] / Awduche D., Malcolm J., Agogbua J., и др. — Электрон.дан. — [Б. м.], 1999. — Режим доступа: <http://www.ietf.org/rfc/rfc2702.txt>, свободный. — Загл. с экрана. — Яз. англ.
5. Network Simulator — NS-2, the official ns homepage [Электронный ресурс] / University of California. — Электрон.дан. — Berkeley (US): University of California, 2002. — Режим доступа: <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>, свободный. — Загл. с экрана. — Яз. англ.