

УДК 621.391

doi: 10.26102/2310-6018/2018.23.4.013

Д.Ю. Пономарев
**ОЦЕНКА СРЕДНЕГО ВРЕМЕНИ ЗАДЕРЖКИ В
ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЯХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
МЕТОДОВ ТЕНЗОРНОГО АНАЛИЗА**

*ФГБОУ ВО Сибирский государственный университет науки и
технологий им. акад. М.Ф. Решетнева
Красноярск, Россия*

Инфокоммуникационные сети представляют собой телекоммуникационные сети, предназначенные для целей передачи информационных потоков различного рода. Для оценки качества обслуживания данных потоков в инфокоммуникациях используются различные характеристики, к которым также относится и среднее время задержки, максимальное значение которого определяется международными стандартами. В работе представлены результаты применения методов тензорного анализа к задаче оценки среднего времени задержки в инфокоммуникационных сетях с целью определения уровня качества предоставления услуг в данных сетях. Основные положения применения тензорного анализа к задаче моделирования инфокоммуникационных сетей позволяют использовать узловой и контурный методы для реализации тензорного подхода к оценке вероятностно-временных характеристик исследуемых сетей. Разработанная с использованием тензорной методологии узловая модель инфокоммуникационной сети в качестве исходных данных рассматривает интенсивности трафика и интенсивности обслуживания, что совпадает с основными параметрами, задаваемыми при анализе инфокоммуникационных сетей. Контурная модель инфокоммуникационной сети, несмотря на сложности в выборе исходных данных, демонстрирует хорошие возможности по оценке среднего времени задержки «в целом» для маршрута передачи информации по сети. По представленным в работе результатам моделирования инфокоммуникационных сетей можно сделать вывод о том, что необходимо узловой и контурный метод тензорного анализа использовать совместно. Узловой метод обеспечивает возможность расчета загрузки каждой системы сети с учетом топологии и влияния нескольких источников, а контурный метод на основе результатов, полученных узловым, позволяет определить среднее время задержки для маршрута передачи информации по сети.

Ключевые слова: тензорный анализ сетей, инфокоммуникационная сеть, качество обслуживания, вероятностно-временные характеристики, среднее время задержки.

Введение. Технологии современных инфокоммуникационных сетей базируются на протоколах в той или иной мере, использующих Internet Protocol (IP), для реализации алгоритмов и процессов предоставления услуг. Поэтому широкое внедрение методов протокола IP происходит не только для организации процессов передачи различных пользовательских данных (data), включая мультимедийные (аудио, видео и др.), например, концепция IMS (IP Multimedia Subsystem) [1], но и для все более возрастающего по объему и доле трафика межмашинного обмена в результате построения сетей Internet of Things (IoT) [2].

В любом случае, в независимости от концепции построения инфокоммуникационной сети требуется обеспечить заданный уровень

качества обслуживания (QoS) для потоков разного вида. В соответствии с рекомендациями МСЭ и общепринятыми подходами основными показателями QoS являются: среднее время задержки и вероятность потерь, значения которых регламентируются для потоков разного вида [1].

В основу теоретического подхода по оценке качественных показателей работы инфокоммуникационных сетей положены методы теории массового обслуживания [3], но могут быть использованы и другие, например, Network Calculus. Вышеуказанные показатели, как с теоретической, так и с практической точки зрения, независимо от методов исследования, зависят в основном от загрузки системы (сети, устройства). Таким образом, определив загрузку систем сети, можно оценить качественные показатели инфокоммуникационной сети. В свою очередь, значения загрузки определяются распределением трафика по исследуемой сети. Поэтому можно сделать вывод о том, что расчет значений интенсивностей поступления для каждой системы сети позволяет оценить качественные показатели инфокоммуникационной сети.

В данной работе рассматривается применение тензорного анализа к задаче оценки качественных показателей инфокоммуникационных сетей [4-7]. Основу представленного в работе подхода составляют узловые и контурные модели инфокоммуникационных сетей, позволяющие определить распределения трафика в исследуемой сети, и, таким образом, найти требуемые характеристики QoS, как для отдельных систем, так и для маршрутов передачи или всей сети в целом.

Узловая модель инфокоммуникационной сети. При моделировании инфокоммуникационных сетей методами тензорного анализа вводятся понятия: исходной сети (совокупность систем распределения информации, моделирующих основные процессы в устройствах сети и связанных между собой в соответствии с топологией исследуемой сети), примитивной сети (совокупность систем распределения информации, моделирующих основные процессы в устройствах сети, но не связанных между собой, и их число совпадает с количеством систем в исходной сети), вспомогательной сети (набор систем распределения информации, связанных между собой, позволяющий ввести топологическую информацию в тензорную модель сети). При необходимости структура моделируемой сети приводится к узловому виду путем размыкания замкнутых путей и введением мнимых систем [5-7].

Для описания исходной сети в узловой форме используется уравнение поведения данной сети в следующем виде [5-7]: $\lambda^\alpha = \mu^{\alpha\alpha} \rho_\alpha$, где λ^α – тензор интенсивностей поступления в системы исходной сети, ρ_α – тензор загрузок систем исходной сети, $\mu^{\alpha\alpha}$ – тензор интенсивностей

обслуживания потоков в системах исходной сети. В матричном виде уравнение поведения исходной сети имеет следующий вид:

$$\begin{pmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \dots \\ \lambda_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \mu_{11} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \mu_{22} & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & \mu_{nn} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \rho_1 \\ \rho_2 \\ \dots \\ \rho_n \end{pmatrix}.$$

Как видно из данного уравнения элементы, не находящиеся на главной диагонали равны нулю (предполагается, что системы сети не оказывают влияния друг на друга), и, в уравнении отсутствует информация о топологии сети, хотя элементы вектора интенсивностей поступления являются зависящими от структуры сети.

Примитивная сеть формируется системами разнесенными друг от друга на бесконечное расстояние, что приводит к отсутствию связей между ними, и описывается аналогичным, как и выше, уравнением поведения: $\lambda^\beta = \mu^{\beta\beta} \rho_\beta$, где: λ^β – тензор интенсивностей поступления в системы примитивной сети, ρ_β – тензор загрузок систем примитивной сети, $\mu^{\beta\beta}$ – тензор интенсивностей обслуживания потоков в системах примитивной сети.

Для задания места системы примитивной сети в структуре исходной сети используется тензор преобразования A_β^α , участвующий в выражении, связывающем загрузки исходной и примитивной сетей: $\rho_\beta = A_\beta^\alpha \rho_\alpha$.

Вспомогательная сеть позволяет описать исходную сеть в форме, пригодной для анализа узловым или контурным методом [7]. Уравнение состояния вспомогательной сети для узлового метода записывается, как: $\lambda^{\beta'} = \mu^{\beta'\beta'} \rho_{\beta'}$. Исходя из того, что при использовании узлового метода воздействием являются загрузки систем, то уравнения преобразования для узловой формы записываются, как ($A_\beta^{\beta'}$ – тензор преобразования, содержащий информацию о топологии исходной сети): $\rho_\beta = A_\beta^{\beta'} \rho_{\beta'}$.

Используя это уравнение, задается связь между загрузками систем примитивной сети, не содержащей информацию о топологии сети, и загрузками систем вспомогательной сети, которая содержит информацию о структуре связей в исходной сети, что в матричной форме можно записать в виде: $\mathbf{P} = \mathbf{A}\mathbf{P}'$, где \mathbf{P} – вектор загрузки в примитивной сети; \mathbf{A} – матрица (тензор) преобразования; \mathbf{P}' – вектор загрузки вспомогательной сети (вектор узловых загрузок).

Относительно матрицы преобразования следует отметить, что элементы i -ой строки показывают какие узловые загрузки, формируют

загрузку i -ой системы; а элементы j -го столбца демонстрируют с какими системами сети связана j -ая система. Для формирования тензора преобразования $A_{\beta}^{\beta'}$ в виде матрицы преобразования \mathbf{A} , необходимо определить соотношения между нагрузками примитивной и вспомогательной сетей.

Формула преобразования вектора интенсивностей потоков вспомогательной сети может быть записана, как [7]: $\lambda^{\beta'} = (A_{\beta}^{\beta'})_t \lambda^{\beta}$, или $\mathbf{\Lambda}' = \mathbf{A}^T \mathbf{\Lambda}$, а правило преобразования тензора интенсивности обслуживания при переходе от примитивной сети к вспомогательной в узловом методе инвариантного моделирования принимает вид [7]: $\mu^{\beta'\beta'} = (A_{\beta}^{\beta'})_t \mu^{\beta\beta} A_{\beta}^{\beta'}$. Исходя из представленных правил преобразования, уравнение состояния вспомогательной сети приобретает вид:

$$(A_{\beta}^{\beta'})_t \mu^{\beta\beta} A_{\beta}^{\beta'} \rho_{\beta'} = A_{\beta}^{\beta'} \lambda^{\beta}. \quad (1)$$

Решая полученное матричное уравнение относительно $\rho_{\beta'}$ (\mathbf{P}'), загрузки в исходной сети находятся, как (структура вспомогательной сети совпадает со структурой исходной, поэтому $A_{\alpha}^{\beta'} = A_{\alpha}^{\beta}$): $\rho_{\alpha} = A_{\alpha}^{\beta'} \rho_{\beta'}$ или $\mathbf{P} = \mathbf{A}\mathbf{P}'$. Следовательно, дальнейшее определение качественных показателей сети связано с заданием дисциплины обслуживания и использованием формул для среднего времени задержки и вероятностей состояний [3-5].

Контурная модель инфокоммуникационной сети. При формировании контурной модели также используются понятия исходной, примитивной и вспомогательной сетей. Но в данном случае, структура сети содержит только замкнутые пути (контуры), поэтому все разомкнутые пути замыкаются посредством мнимых систем [8].

В контурном методе исходная сеть описывается уравнением поведения $\rho_{\alpha} = t_{\alpha\alpha} \lambda^{\alpha}$ [7, 8]. Примитивная сеть, получаемая из исходной путем декомпозиции систем ее составляющих, в связи с чем количество систем в исходной и примитивной сетях совпадает, описывается уравнением поведения: $\rho_{\beta} = t_{\beta\beta} \lambda^{\beta}$. Как и ранее вспомогательная сеть обеспечивает учет структуры исходной сети при объединении систем примитивной сети и для инфокоммуникационных сетей также содержит информацию о путях передачи трафика. Уравнение поведения вспомогательной сети записывается, как: $\rho_{\beta'} = t_{\beta'\beta'} \lambda^{\beta'}$.

Правило преобразования интенсивностей поступления для данной модели записывается, как: $\lambda^{\beta} = C_{\beta'}^{\beta} \lambda^{\beta'}$, а правило преобразования для

длительностей обслуживания определяется в виде: $t_{\beta'\beta'} = (C_{\beta'}^\beta)_t t_{\beta\beta} C_{\beta'}^\beta$. Участвующий в правилах преобразования тензор преобразования $C_{\beta'}^\beta$ является геометрическим объектом, связывающим переменные примитивной и вспомогательной сети. При этом $C_{\beta'}^\beta$ позволяет задать маршруты передачи информации по сети.

Для контурной модели основным уравнением, позволяющим найти загрузки систем исходной сети, является следующее выражение:

$$(C_{\beta'}^\beta)_t \rho_\beta = (C_{\beta'}^\beta)_t t_{\beta\beta} C_{\beta'}^\beta \lambda^{\beta'}. \quad (2)$$

Решение этого уравнения относительно контурных интенсивностей $\lambda^{\beta'}$ позволяет определить распределение трафика по сети, как: $\lambda^\alpha = C_{\beta'}^\alpha \lambda^{\beta'}$. В таком случае, загрузка для каждой системы исходной сети может быть найдена исходя из: $\rho_\alpha = t_{\alpha\alpha} \lambda^\alpha$. Тогда для оценки характеристик качества обслуживания можно использовать известные (теоретические или эмпирические) выражения для нахождения вероятностей состояния систем p_i и среднего времени задержки \bar{T}_i , определяемых, как функциональные зависимости от загрузки $[P]_i$, ($i=1..n$) в соответствии с выбранной дисциплиной обслуживания системы распределения информации.

Пример использования тензорного подхода к оценке характеристик инфокоммуникационной сети. Рассмотрим модель сети, состоящую из двух маршрутизаторов (Рисунок 1а). В таком случае, интерфейсы маршрутизатора 1 будут представлены в модели системами QS1, QS5 (входящие интерфейсы), QS3, QS4 (исходящие интерфейсы).

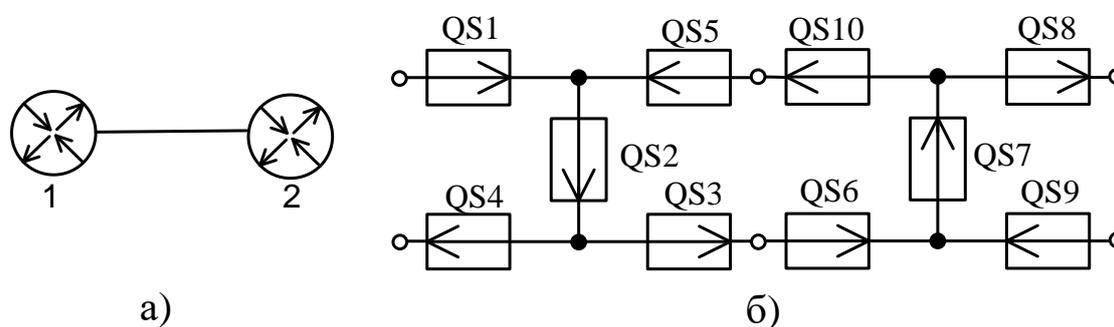


Рисунок 1 - Сеть из двух маршрутизаторов (а) и ее модель (б)

Система QS2 является моделью коммутационной матрицы. Системы QS1 и QS4 обеспечивают моделирование процессов ввода/вывода потоков информации в сеть со стороны маршрутизатора 1, например, поступление информационных потоков от пользователей, подключенных к этому маршрутизатору и направление трафика из сети к этим пользователям.

Аналогично, для маршрутизатора 2 системы QS6, QS9 являются моделями входящих интерфейсов, а QS8, QS10 – исходящих. Система QS7, как и выше, моделирует поведение коммутационной матрицы.

Представленная модель позволяет разделить входящие и исходящие потоки трафика, поступающие в маршрутизаторы. В противном случае, при отсутствии систем QS2 и QS7, при использовании моделей тензорного анализа возможно прямое включение потоков, поступающих через системы QS1 и QS9, в системы QS4 и QS8 без передачи трафика в сеть. Кроме того, системы QS2 и QS7 позволяют учесть задержки, возникающие при обработке пакетов в маршрутизаторе на сетевом уровне.

Для построения узловой модели представленной сети приводим структуру сети у узловому виду путем размыкания контура, образованного системами QS2, QS3, QS5, QS6, QS7 и QS10. В таком случае, для сохранения интенсивности трафика в системе QS5 в модель сети вводится мнимая система QS11 с параметрами, соответствующими системе QS10 (Рисунок 2: интенсивность поступления $\lambda_{11} = \lambda_{10}$ и интенсивность обслуживания $\mu_{11} = \mu_{10}$).

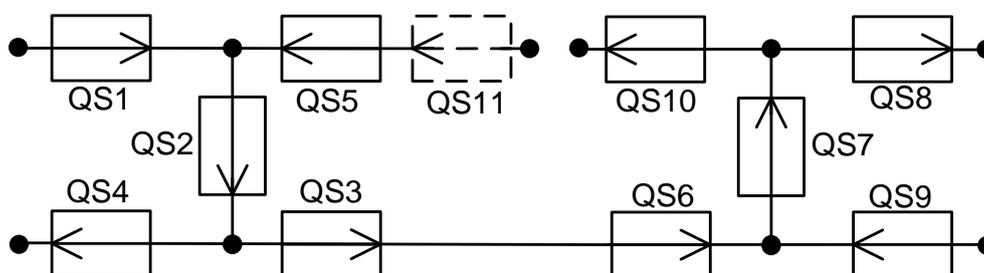


Рисунок 2 - Узловая модель исследуемой сети

Для рассматриваемого случая тензор преобразования $A_{\beta}^{\beta'}$ записывается в виде:

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \end{pmatrix}.$$

Используя данный тензор преобразования получаем элементы матричного уравнения (1): вектор интенсивностей потоков вспомогательной сети $\lambda^{\beta'}$; тензор интенсивности обслуживания $\mu^{\beta'\beta'}$. Решение полученного уравнения (1) позволяет найти загрузки в исходной сети, как: $\rho_{\alpha} = A_{\alpha}^{\beta'} \rho_{\beta'}$. В дальнейшем для оценки качественных показателей исследуемой сети используем контурную модель данной сети (Рисунок 3).

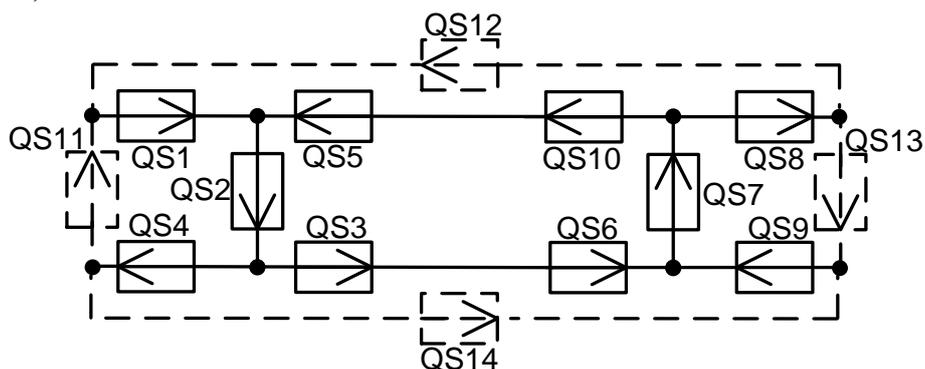


Рисунок 3 - Контурная модель исследуемой сети

Для рассматриваемой сети предполагаем, что информационные потоки используют четыре маршрута передачи: QS1-QS2-QS4, QS1-QS2-QS3-QS6-QS7-QS8, QS9-QS7-QS8, QS9-QS7-QS10-QS5-QS2-QS4, которые, собственно, и становятся контурами при их дополнении мнимыми системами (показаны на Рисунке пунктиром): QS11, QS12, QS13, QS14.

Тогда, тензор преобразования $C_{\beta'}^{\beta}$ приобретает следующий вид:

$$\left(C_{\beta'}^{\beta} \right)_t = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix},$$

где в правой части (последние четыре столбца) транспонированной матрицы видно участие мнимых систем в формировании замкнутых контуров.

Среднее время задержки в отдельных системах примитивной сети может быть представлено в виде вектора:

$$T_{\text{прим}} = (T_1 \ T_2 \ T_3 \ T_4 \ T_5 \ T_6 \ T_7 \ T_8 \ T_9 \ T_{10} \ T_{11} \ T_{12} \ T_{13} \ T_{14}).$$

Так как в данном случае распределение трафика получено узловым методом, то для получения качественных показателей сети, используем полученный тензор $C_{\beta'}^{\beta}$ для нахождения среднего времени задержки для заданных маршрутов передачи:

$$T = C_{\beta'}^{\beta} T_{\text{прим}} = \begin{pmatrix} T_1 + T_2 + T_4 + T_{11} \\ T_1 + T_2 + T_3 + T_6 + T_7 + T_8 + T_{12} \\ T_7 + T_8 + T_9 + T_{13} \\ T_2 + T_4 + T_5 + T_7 + T_9 + T_{10} + T_{14} \end{pmatrix},$$

или без учета мнимых систем (так как им не соответствуют объекты в реальной сети):

$$T = \begin{pmatrix} T_1 + T_2 + T_4 \\ T_1 + T_2 + T_3 + T_6 + T_7 + T_8 \\ T_7 + T_8 + T_9 \\ T_2 + T_4 + T_5 + T_7 + T_9 + T_{10} \end{pmatrix}.$$

Таким образом, оценивая среднее время задержки для маршрутов передачи информации в исследуемой сети можно сделать вывод о соответствии одного из качественных показателей работы инфокоммуникационной сети заданным значениям, определяемым соответствующими международными и российскими стандартами.

Численные результаты. Как показано выше, узловая модель позволяет найти распределение трафика по сети и загрузку каждой системы исследуемой сети; а через контурный метод на основе рассчитанных значений загрузки можно произвести оценку среднего времени задержки для каждого маршрута передачи информации.

Численные результаты были получены для сети, структура которой представлена на Рисунке 1а. В качестве переменной рассматривалась

интенсивность трафика, поступающего на маршрутизатор 1. Этому в модели сети соответствует интенсивность поступления трафика λ_1 (система QS1: Рисунок 1б). Пределы изменения λ_1 (от 7.5 до 10 условных единиц в единицу времени) выбраны, как находящиеся в наиболее показательной области изменений значений. Интенсивность трафика, поступающего через маршрутизатор 2 (Рисунке 1а) остается постоянной и выбрана равной 4 условным единицам в единицу времени. Интенсивности обслуживания выбраны равными 10 условных единиц в единицу времени для всех систем, кроме QS1, QS2 и QS7. В указанных системах, как обслуживающих суммарные потоки интенсивности обслуживания выбраны равными 30 условных единиц в единицу времени.

Кроме того, определены доли трафика, обслуживаемого тем же маршрутизатором на котором этот трафик, был сгенерирован. В модели это соответствует поступлению потоков по путям QS1-QS2-QS4 и QS9-QS7-QS8. Для первого эта доля задана 0.1 (что дает вероятность перехода с QS2 на QS3 $p_3 = 0.9$), а для второго 0.2 (вероятность перехода с QS7 на QS10 $p_{10} = 0.8$).

Тогда для четырех маршрутов передачи информации по сети (1: QS1-QS2-QS4, 2: QS1-QS2-QS3-QS6-QS7-QS8, 3: QS9-QS7-QS8, 4: QS9-QS7-QS10-QS5-QS2-QS4) получены значения среднего времени задержки при использовании модели систем вида M/M/1. Результаты расчетов представлены на Рисунке 4, как зависимости от интенсивности поступления λ_1 .

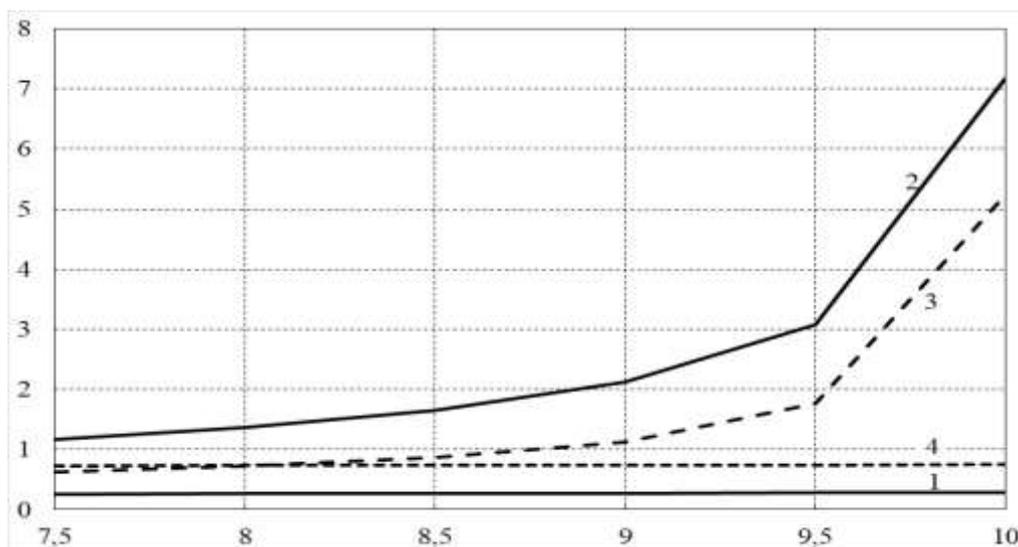


Рисунок 4 - Зависимость среднего времени задержки для четырех маршрутов передачи информации от интенсивности поступления λ_1

Из Рисунка видно, что для маршрутов 1 и 4 среднее время задержки практически не меняется. Для маршрута 1 это объясняется тем, что доля трафика слишком мала для выбранных значений интенсивностей

обслуживания, а на маршруте 4 интенсивность создаваемого трафика, поступающего через систему QS9, остается постоянной. Маршруты 2 и 3 сформированы системами, в которых производится обслуживание трафика, сгенерированного в QS1, поэтому среднее время задержки на данных маршрутах зависит от интенсивности λ_1 .

Для подтверждения полученных теоретических результатов было произведено имитационное моделирование в среде GPSS World. Сравнение результатов для маршрута 2, как наиболее загруженного, представлено в Таблице 1. Для остальных маршрутов результаты аналогичны.

Таблица 1 - Результаты расчета среднего времени задержки (в условных единицах времени) по маршруту 2 в сравнении с результатом имитационного моделирования

Интенсивность λ_1 , условные единицы в единицу времени	7,5	8	8,5	9	9,5	10
теоретический расчет	1,172	1,366	1,65	2,121	3,082	7,168
имитационное моделирование	1,169	1,364	1,652	2,12	3,07	7,154

Сравнение результатов теоретических расчетов и имитационного моделирования демонстрирует практически полное количественное совпадение, что позволяет сделать вывод о возможности использования предложенных в работе моделей для оценки среднего времени задержки, как одного из качественных показателей эффективности работы инфокоммуникационной сети.

Заключение. В работе рассмотрены модели инфокоммуникационной сети, построенные с использованием контурного и узлового методов тензорного анализа сетей. Для моделей инфокоммуникационных сетей, сформированных как узловым, так и контурным методами, установлены основные уравнения, позволяющие оценить вероятностно-временные характеристики исследуемых сетей. При этом определено, что применение узлового метода позволяет получить значения характеристик для отдельных систем, а контурный метод предоставляет возможность по оценке качественного показателя для маршрутов передачи информации в исследуемой сети. Таким образом, контурная модель дополняет узловую по возможностям оценки среднего времени задержки маршрутов передачи информации.

Основными достоинствами представленных тензорных моделей являются возможность учета топологии сети уже на этапе формирования модели без дополнительных процедур и инвариантность методов разработки узловых и контурных моделей к структуре сети, числу систем и количеству связей между ними. Более того, представленные результаты позволяют сделать вывод о том, что использование в комплексе контурного и узлового моделирования на базе тензорного анализа реализуют возможность по многоуровневому анализу качественных показателей инфокоммуникационных сетей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гольдштейн Б.С., Кучерявый А.Е. Сети связи пост-NGN. – СПб.: БХВ-Петербург, 2014.
2. Соколов Н. Сценарии реализации концепции “Интернет вещей” // Первая миля. – 2016. – 5 (58). – С. 32-36.
3. Саати Т.Л. Элементы теории массового обслуживания и её приложения. – М.: Либроком, 2010.
4. Lemeshko O., Yevsieieva O., Yevdokymenko M. Tensor flow-based model of quality of experience routing // 2018 14th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET). – Lviv-Slavske, 2018. – Pp. 1005-1008.
5. Пономарев Д.Ю. Узловая модель распределения трафика для перспективных спутниковых сетей связи // Успехи современной радиоэлектроники. – 2015. – 10. – С. 55-58.
6. Пономарев Д.Ю. Особенности применения тензорного анализа к моделированию инфокоммуникационных сетей [Электронный ресурс] // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. Научный журнал. – 2018. – Том 6. – № 2. – Режим доступа: https://moit.vivt.ru/wp-content/uploads/2018/04/Ponomarev_2_18_1.pdf (дата обращения: 31.05.2018).
7. Пономарев Д.Ю. Тензорная методология в информационных коммуникациях // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. – 2012. – Т. 55, 5. – С. 18-23.
8. Пономарев Д.Ю. Оптимизация среднего времени доставки информации в спутниковой инфокоммуникационной сети // Системы связи и радионавигации. – Красноярск: АО «НПП «Радиосвязь», 2016. – С. 59-62.

D.U. Ponomarev

TENSOR ANALYSIS METHODS FOR ESTIMATION OF AVERAGE DELAY OF INFOCOMMUNICATION NETWORKS

*Reshetnev Siberian State University of Science and Technology,
Krasnoyarsk, Russia*

Infocommunication networks are telecommunication networks that intended for a transmission of different types streams. In infocommunication various characteristics are used for a quality of service estimation. One of them is an average delay for which a maximum value is defined by international standards. In this work we present results of the tensor analysis application to the estimating the average delay of infocommunication networks for determine the level of quality of service. Base definitions of the tensor analysis of the infocommunication networks modelling are suggest nodal and mesh methods for the implementation of the tensor approach to the estimation of probabilistic-temporal characteristics of the investigated networks. The nodal tensor model of infocommunication network uses intensity of traffic and intensity of service as an initial data that correspond to main initial parameters specified in the analysis of telecommunication networks. The mesh tensor model demonstrates good opportunities to estimate the average delay time for the routes of information transmission over the network, but the mesh method has some difficulties in the initial data selection. According to the obtained results it is possible to conclude that a nodal and mesh method of tensor analysis should be used together. The node method provides the ability to calculate the load of each network system based on the topology and influence of multiple sources, and the mesh method uses the results from the node model for the average delay determination for transmission routes in the infocommunication network.

Keywords: tensor analysis of networks, infocommunication network, quality of service, probability and time characteristics, average delay

REFERENCES

1. Gol'dshteyn B.S., Kucheryavyy A.E. *Seti svyazi post-NGN*. – SPb.: BKhV-Peterburg, 2014.
2. Sokolov N. *Stsenarii realizatsii kontseptsii “Internet veshchey” // Pervaya milya*. – 2016. – 5 (58). – pp. 32-36.
3. Saati T.L. *Elementy teorii massovogo obsluzhivaniya i ee prilozheniya*. – M.: Librokom, 2010.
4. Lemeshko O., Yevsieieva O., Yevdokymenko M. *Tensor flow-based model of quality of experience routing // 2018 14th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET)*. – Lviv-Slavske, 2018. – pp. 1005-1008.

5. Ponomarev D.Yu. Uzlovaya model' raspredeleniya trafika dlya perspektivnykh sputnikovykh setey svyazi // Uspekhi sovremennoy radioelektroniki. – 2015. – 10. – pp. 55-58.
6. Ponomarev D.Yu. Osobennosti primeneniya tenzornogo analiza k modelirovaniyu infokommunikatsionnykh setey [Elektronnyy resurs] // Modelirovanie, optimizatsiya i informatsionnye tekhnologii. Nauchnyy zhurnal. – 2018. – Vol. 6 – No. 2. – Rezhim dostupa: https://moit.vivt.ru/wp-content/uploads/2018/04/Ponomarev_2_18_1.pdf (data obrashcheniya: 31.0p.2018).
7. Ponomarev D.Yu. Tenzornaya metodologiya v informatsionnykh
8. kommunikatsiyakh // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Priborostroenie. – 2012. – Vol. 55, 5. – pp. 18-23.
9. Ponomarev D.Yu. Optimizatsiya srednego vremeni dostavki informatsii v sputnikovoy infokommunikatsionnoy seti // Sistemy svyazi i radionavigatsii. – Krasnoyarsk: AO «NPP «Radiosvyaz'», 2016. –pp. 59-62.