

М. Н. Петров, Д. Ю. Пономарев

Об одном методе оценки вероятностно-временных характеристик сетей обработки информации

Моделирование информационных систем различного назначения очень часто сводится к исследованию различных параметров и характеристик систем и сетей массового обслуживания. Теория массового обслуживания предлагает достаточно много возможностей по оценке вероятностно-временных характеристик систем массового обслуживания различного вида, однако объединение систем в единую сеть массового обслуживания приводит к усложнению задачи анализа характеристик систем, особенно при исследовании сетей большой размерности. В данной работе предлагается метод оценки вероятностно-временных характеристик сетей обработки информации с использованием тензорной методологии, что позволяет обеспечить более простое решение данной задачи.

Развитие современного общества предъявляет все 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 решения данной задачи в любом протоколе передачи данных по сетям связи предусмотрены механизмы обеспечения качества обслуживания (QoS – Quality of Service). Основной задачей данного сервиса является разделение входящего потока информации по категориям (классам) обслуживания и, в зависимости от присвоенной категории, обслуживание данного информационного потока по определенным правилам.

В сетях с IP протоколом могут использоваться следующие принципы поддержки QoS: на базе интегрированных служб (IntServ – Integrated Services Architecture) и на базе дифференцированных служб (DiffServ – Differentiated Services Framework). Механизм IntServ ориентирован на периферийное сетевое оборудование, а масштабируемая архитектура DiffServ используется в магистральной части сетей. Модель IntServ применяется совместно с протоколом резервирования ресурсов (RSVP) в качестве рабочего сигнального протокола, а, следовательно, требует решения как вопросов управления запросами при резервировании ресурсов, так и проблемы резервирования в случае отсутствия поддержки протокола RSVP некоторыми устройствами сети. На всем пути передачи информационного потока с определенным классом обслуживания QoS необходимо поддерживать определение параметров передачи, а также обеспечить гибкое управление пропускной способностью, что определяется временным характером резервируемого ресурса и необходимостью периодических обновлений с помощью RSVP-сообщений. Модель IntServ для поддержки QoS определяет три класса обслуживания: гарантированное обслуживание, максимально доступное качество и контролируемая загрузка. В DiffServ по сравнению с IntServ акцент в большей степени сделан не на сигнализации, а на способе обработки потоков в каждом узле маршрута передачи на основе заданного класса обслуживания данного информационного потока.

В сетях с асинхронной обработкой информации, в т.н. сетях ATM, изначально закладывались принципы поддержки механизмов QoS. Для этого определялись как уровни адаптации ATM (AAL – ATM Adaptation Layer), так и категории источников нагрузки. Так, например AAL2 предназначен для потоков с переменной скоростью передачи и синхронизацией: к такому типу сигнала можно отнести передачу речи с переменной скоростью и сжатого (например, MPEG) видеосигнала. Категории источников также

определяют взаимодействие информационного потока и сети через параметры, которым должно соответствовать обслуживание определенного типа для заданного вида информации. Например, категория rt-VBR (Real Time - Variable Bit Rate) предполагает обслуживание потоков с переменной скоростью передачи и определяет необходимость оценки следующих параметров при передаче таких информационных потоков: максимальная пропускная способность, временная задержка передачи ячейки, девиация времени задержки передачи ячейки, вероятность потери ячейки и др.

Кроме рассмотренных технологий можно определить достаточно большой класс технологий и сетей, построенных на их базе, где существует задача нахождения вероятностно-временных характеристик систем с целью поддержания необходимого качества и надежности обслуживания. Кроме того, следует отметить, что сложность решения такой состоит не только в самих технологиях, но и в структурах сетей, использующих данные технологии, а также в необходимости принятия быстрых решений для задач управления ресурсами сети, как в локальном, так и глобальном масштабах.

В данной работе предлагается использовать метод анализа вероятностно-временных характеристик систем, основанный на следующих предположениях. Во-первых, что поток вызовов с одной и той же интенсивностью (λ) поступления вызовов при неизменной интенсивности обслуживания одну и ту же загрузку (ρ) устройств при изменении структуры и можно считать, что будет выполняться соотношение (инвариант):

$$\rho\lambda = \rho'\lambda', \quad (1)$$

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, т.е. тогда анализ любой сложной системы (сети) будет связан с определением простейшего элемента, его свойств и переносом алгоритма анализа на всю сложную систему (сеть). 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 [1-3].

Тогда, исходя из (1), применив соотношение между интенсивностями исходной и примитивной сетей: $\bar{\lambda} = \bar{C}\lambda'$ и используя известное соотношение $\rho = \lambda t$, где t - среднее время обслуживания одного требования, 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 $\bar{\rho} = (\bar{C}^T)^{-1} \bar{\rho}'$. Следовательно, подставив полученное в выражение $\rho = \lambda t$, получим: $(\bar{C}^T)^{-1} \bar{\rho}' = \bar{T}\bar{C}\bar{\lambda}'$. Следовательно, можно записать: $\bar{C}^T (\bar{C}^T)^{-1} \bar{\rho}' = \bar{C}^T \bar{T}\bar{C}\bar{\lambda}'$. Окончательно уравнение будет иметь вид:

$$(\bar{C}^T \bar{T} \bar{C}) \bar{\lambda} = \bar{C}^T \bar{\rho}', \quad (2)$$

в котором исходная сеть описана в символах примитивной, а, следовательно, известной сети. Далее, решая полученное уравнение относительно λ , находим коэффициенты использования устройств в исходной сети ρ . Данный подход позволяет при минимальных затратах оценить загрузку сетей, обеспечив тем самым определение остальных характеристик сети: распределение вероятностей состояний по отдельным системам:

$p_n = f(\rho)$, а также средней очереди \bar{N} и среднего времени задержки \bar{T} . Применительно к сетям связи, исходя из решения уравнения (2) можно найти: как вероятность потерь пакетов, время задержки (и его девиацию), так и оценить пропускную способность сети в целом.

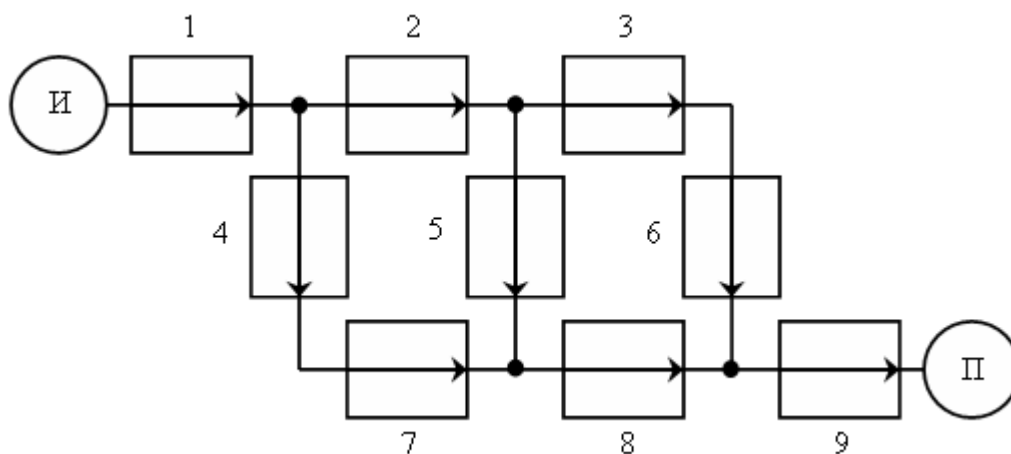


Рис. 1 – Исследуемая сеть передачи информации

Например, сеть передачи информации имеет структуру, представленную на рис.1. Обозначения «источник» (И) и «получатель» (П) информации абсолютно условны, т.к. информационный источник «И» может создавать информационные потоки различного типа от определенного количества пользователей или генераторов запросов. Аналогично, получатель информации «П» условно обозначает приемник запросов или окончательную систему обработки заявок (пакетов). Таким образом, определив например маршрут для информационного потока определенного типа как пролегающий через узлы 1-2-5-8-9, необходимо найти параметры качества обслуживания, такие как среднее время задержки и вероятность потерь пакетов на данном маршруте. Исходя из теории графов, вероятность потерь будет определяться простым последовательным графом и выражение для этого параметра примет вид:

$$p = 1 - (1 - p_1)(1 - p_2)(1 - p_5)(1 - p_8)(1 - p_9), \quad (3)$$

где p_i – вероятность потери пакета в i -ом узле, находится исходя из модели узла (одно- или многоканальный, с ожиданием или с потерями, с приоритетным обслуживанием или нет). Среднее время задержки для определенного выше маршрута можно найти как:

$$T = T_1 + T_2 + T_5 + T_8 + T_9, \quad (4)$$

где T_i – время задержки в i -ом узле, аналогично p_i задается моделью узла.

Следует отметить, что в основном как вероятностные, так и временные характеристики описываются выражениями с функциональной зависимостью от загрузки (нагрузки) узла. Поэтому основной задачей при исследовании качественных показателей обработки информации в данной сети является нахождение значений загрузки узлов. В соответствии с [4] построим модель исследуемой сети для анализа вероятностно-временных характеристик контурным методом с использованием уравнений (1) и (2).

Модель исследуемой сети имеет структуру, которая представлена на рис.2. В терминах тензорного анализа данная модель называется исходной сетью. В данной модели для

применения контурного метода между узлами 1 и 9 введена мнимая ветвь, которая создает замкнутый контур с интенсивностью λ_a . Дальнейший процесс исследования заключается в определении примитивной сети. В данном случае примитивная сеть состоит из 9 несвязанных друг с другом узлов сети (рис.3).

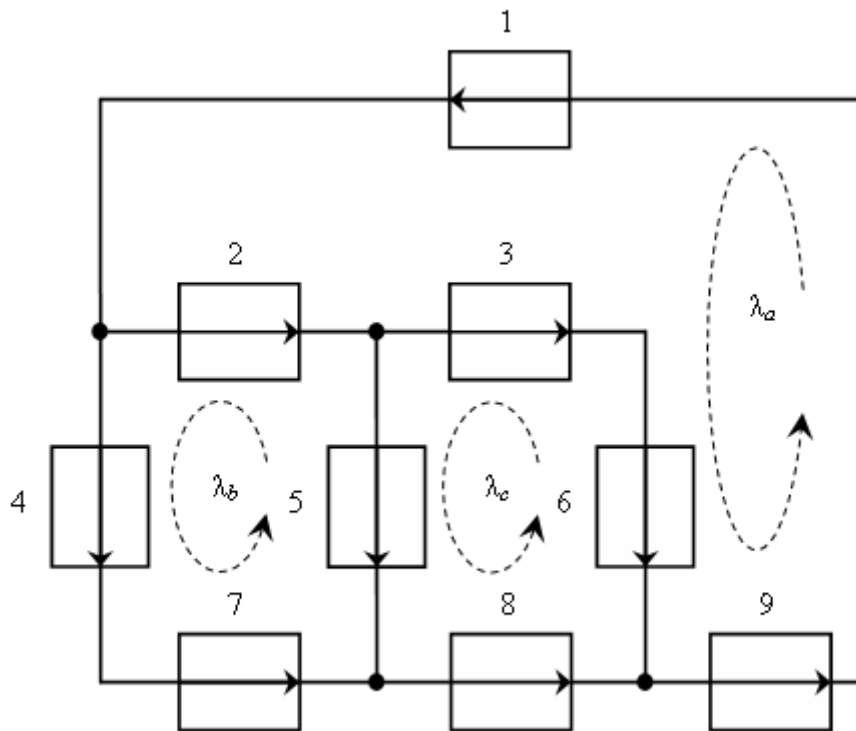


Рис. 2 – Модель исследуемой сети

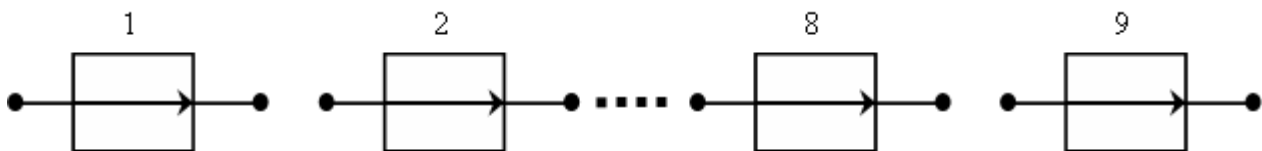


Рис. 3 – Примитивная сеть

Зададим среднюю длительность обслуживания в примитивной сети, как:

$$\bar{t} = \begin{pmatrix} t_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & t_2 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & t_9 \end{pmatrix}. \text{ Тогда, загрузку узлов, выраженную через время обслуживания и}$$

интенсивность ветвей можно представить как:

$$\begin{pmatrix} \rho'_1 \\ \rho'_2 \\ \vdots \\ \rho'_9 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} t_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & t_2 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & t_9 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \lambda'_1 \\ \lambda'_2 \\ \vdots \\ \lambda'_9 \end{pmatrix}.$$

Для исходной сети инвариантное уравнение будет иметь вид:
$$\begin{pmatrix} \rho_a \\ \rho_b \\ \rho_c \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} t_{aa} & t_{ab} & t_{ac} \\ t_{ba} & t_{bb} & t_{bc} \\ t_{ca} & t_{cb} & t_{cc} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \lambda_a \\ \lambda_b \\ \lambda_c \end{pmatrix}.$$

Для определения матрицы перехода \bar{C} составляем таблицу соответствия интенсивностей ветвей в примитивной сети и контурных интенсивностей исходной сети (табл.1). Следует отметить, что направления контурных интенсивностей определяются самим исследователем и могут быть заданы произвольно, что, следовательно, приводит к влиянию исследователя (наблюдателя) на процесс исследования, при этом результат остается неизменным [1,2].

Таблица 1

Соответствие интенсивностей модели сети

| | λ_a | λ_b | λ_c |
|-------------|-------------|-------------|-------------|
| λ_1 | 1 | | |
| λ_2 | 1 | -1 | |
| λ_3 | 1 | | -1 |
| λ_4 | | 1 | |
| λ_5 | | -1 | 1 |
| λ_6 | 1 | | -1 |
| λ_7 | | 1 | |
| λ_8 | | | 1 |
| λ_9 | 1 | | |

Окончательно, матрица перехода \bar{C} будет иметь следующий вид:

$$\bar{C} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 1 \\ 1 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Следовательно, переходя от одной сети к другой, для загрузки исходной сети получим следующее выражение, из уравнения (2):

$$\begin{pmatrix} \rho_a \\ \rho_b \\ \rho_c \end{pmatrix} = \bar{C}^T \bar{\rho}' = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & -1 & 0 & 1 & -1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 1 & -1 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \rho'_1 \\ \rho'_2 \\ \vdots \\ \rho'_9 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \rho'_1 + \rho'_2 + \rho'_3 + \rho'_6 + \rho'_9 \\ -\rho'_2 + \rho'_4 - \rho'_5 + \rho'_7 \\ -\rho'_3 + \rho'_5 - \rho'_6 + \rho'_8 \end{pmatrix}, \text{ а для средней}$$

длительности обслуживания можно записать:

$$\begin{pmatrix} t_{aa} & t_{ab} & t_{ac} \\ t_{ba} & t_{bb} & t_{bc} \\ t_{ca} & t_{cb} & t_{cc} \end{pmatrix} = \bar{C}^T \bar{t} \bar{C} = \begin{pmatrix} t_1 + t_2 + t_3 + t_6 + t_9 & -t_2 & -t_3 - t_6 \\ -t_2 & t_2 + t_4 + t_5 + t_7 & -t_5 \\ -t_3 - t_6 & -t_5 & t_3 + t_5 + t_6 + t_8 \end{pmatrix}.$$

Окончательно, можно записать следующее уравнение в матричной форме:

$$\begin{pmatrix} \rho'_1 + \rho'_2 + \rho'_3 + \rho'_6 + \rho'_9 \\ -\rho'_2 + \rho'_4 - \rho'_5 + \rho'_7 \\ -\rho'_3 + \rho'_5 - \rho'_6 + \rho'_8 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} t_1 + t_2 + t_3 + t_6 + t_9 & -t_2 & -t_3 - t_6 \\ -t_2 & t_2 + t_4 + t_5 + t_7 & -t_5 \\ -t_3 - t_6 & -t_5 & t_3 + t_5 + t_6 + t_8 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \lambda_a \\ \lambda_b \\ \lambda_c \end{pmatrix}.$$

Решая полученное уравнение относительно $\lambda_a, \lambda_b, \lambda_c$ можно определить интенсивности поступления вызовов в системы исходной сети, как:

$$(\lambda_1 \quad \lambda_2 \quad \lambda_3) = \bar{\lambda}^T \bar{C}^T = (\lambda_a \quad \lambda_b \quad \lambda_c) \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & -1 & 0 & 1 & -1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 1 & -1 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix},$$

а коэффициенты

использования каждого устройства исходной сети находим через следующее выражение:

$$(\rho_1 \quad \rho_2 \quad \rho_3) = \bar{\lambda}^T \bar{C}^T \bar{t} = (\lambda_a \quad \lambda_b \quad \lambda_c) \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & -1 & 0 & 1 & -1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 1 & -1 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} t_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & t_2 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & t_9 \end{pmatrix}.$$

Теперь, для полученных значений загрузок определяем функциональные зависимости для вероятности потерь и среднего времени задержки в узлах сети и, используя (3), (4) находим качественные показатели для заданного маршрута передачи информации.

Рассмотренный метод анализа позволяет практически для любых сетей, в независимости от применяемых технологий обработки информации, способов организации потоков с различным классом обслуживания и масштабов сети, определять такие необходимые качественные показатели, как вероятность потерь пакетов, среднее время задержки при обслуживании пакета и его дисперсия (джиттер), а также при определенной модификации оценивать пропускную способность узлов обработки информации. 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 [5].

Библиографический список

1. Крон Г. Тензорный анализ сетей. – М: 1978.
2. Петров М.Н. Вероятностно-временные характеристики в сетях и системах передачи интегральной информации. Красноярск: КГТУ. – 1997. – 270с.
3. Петров М.Н., Веревкина Е.В., Захарченко М.О. Тензорная методология в информационных сетях. Красноярск: НИИ СУВПТ. – 2001. – 225с.
4. Пономарев Д.Ю. Тензорный метод для телекоммуникационных сетей // Труды КГТУ. – 2006. – №2-3. – С. 49-56.
5. Пономарев Д.Ю. Исследование вероятностно-временных характеристик информационных сетей тензорным методом // Компьютерные учебные программы и инновации. – 2007. – №7. – С. 160-161.

M.N.Petrov, D.U.Ponomarev

About information networks probability and time characteristics estimation method

Information systems modelling often reduce to investigation of different parameters and characteristics of queuing systems and networks. Queuing theory proposed many capabilities for probability and time characteristics estimation for different queuing systems. However, queuing systems connection in queuing network give difficulty to systems characteristics analysis, especially at investigation of large dimension networks. There is present information networks probability and time characteristics estimation method with tensor methodology that let provide more simple solution this task.