УДК 621.324

Ю.И. Лосев, З.З. Закиров

Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕРОЯТНОСТНО-ВРЕМЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ С УЧЕТОМ СПЕЦИФИКИ ПРОТОКОЛОВ

В статье разрабатывается методика анализа количественных характеристик процесса обмена данными в телекоммуникационных сетях, учитывающая свойства информационного потока и специфику протоколов взаимодействия.

вероятностно-временной граф, производящая функция, методика, информационный поток

Введение

Постановка проблемы. Успешное решение задач, которые стоят перед Воздушными Силами Украины, зависит не только от соотношения сил и средств, но и от качества управления.

В настоящее время формируются и развиваются новые принципы управления войсками. Это обусловлено революционными изменениями в инфотелекоммуникационных технологиях, которые фундаментально изменяют содержание войн нового поколения, способы их ведения и управление войсками (силами) и оружием. Высокий уровень информационного обеспечения становится определяющим условием достижения преимущества над противником.

Значительно возрастает зависимость системы управления от ее технологической составляющей – современных информационных технологий, которые позволяют осуществлять переход к системам более высокого уровня – информационно-телекоммуникационным. Телекоммуникационная составная представленная системой связи, а также информационными технологиями, определяет тип, архитектуру, порядок и правила функционирования сетей связи. Переход к информационно-телекоммуникаци-

© Ю.И. Лосев, З.З. Закиров

онным системам обеспечит устойчивый оперативный информационный обмен как в мирное, так и в военное время. Однако этот переход невозможен без количественного анализа как используемых, так и передовых технологий, применяемых в современных телекоммуникационных сетях (ТКС). В настоящее время для анализа количественных характеристик применяются методы моделирования сетей, использующие различный математический аппарат. Эти методы описывают отдельные процессы обмена информацией и имеют свои достоинства и недостатки.

Цель статьи. Разработка методики анализа количественных характеристик процесса обмена данными в ТКС, учитывающей свойства информационного потока и специфику протоколов взаимодействия.

Анализ литературы. В известных источниках анализ количественных характеристик процесса информационного обмена в ТКС основывается на использовании математических аппаратов теории массового обслуживания (ТМО) [1, 2], теории графов [3], вероятностно-временных графов (ВВГ) [4 – 6] и теории телетрафика со свойством самоподобия [7].

Однако применение рассматриваемых математических аппаратов позволяет анализировать частные характеристики процесса доставки сообщений, задачи маршрутизации потоков, оценить вероятностно-временные характеристики протоколов информационного взаимодействия, характеристики сетевого трафика.

Проанализировав возможности и ограничения различных подходов к анализу количественных характеристик процесса информационного обмена в ТКС, разработаем методику, которая учитывает специфику протоколов информационного обмена, а также позволяет определить среднее время доставки сообщений с учетом процессов передачи и задержки в очереди на обслуживание информационного потока устройством обработки.

Изложение основного материала

Важными характеристиками информационного обмена в ТКС является время доставки сообщений от источника к потребителю, вероятности ошибки и вероятности потери. Результаты исследований времени доставки влияют на выбор методов обмена данными, управления потоком и маршрутизацию. Методической основой анализа времени доставки сообщений является ТМО.

Применение математического аппарата ТМО дает хорошие результаты при малой загрузке КС и имеет ряд ограничений, таких как [8]: стационарность и ординарность входного и выходного потока заявок; отсутствие последействия, возможности учета широковещательного трафика и топологии, специфики протоколов информационного обмена. При использовании ТМО возникают сложности учета мультисервисности сети, механизмов управления потоком и очередями, профилирования и сглаживания трафика, работы планировщика, управления доступом входящего потока.

Телекоммуникационная сеть характеризуется различными по форме связями, а также различными видами взаимодействия. Часто для изучения характеристик таких связей и взаимодействий служит математический аппарат теории графов.

С помощью теории графов, как правило, успешно решаются задачи [8]: маршрутизации, поиска кратчайших путей и максимального потока, распределения ресурсов сети, оценки надежности передачи сообщений, поиска маршрута для доставки информации с заданными параметрами качества, многопутевой маршрутизации, маршрутизации широковещательной рассылки, оптимизации сетей с выигрышами и проигрышами, а также синтез глобальной структуры сети.

Однако применение математического аппарата теории графов ограничивается возникающими сложностями учета очередей и мультисервисности, механизмов управления потоком, очередями и доступом входящего потока, профилирования и сглаживания трафика, а также работы планировщика; невозможности работы с нестационарными потоками, учета специфики протоколов информационного взаимодействия.

Используя математический аппарат ВВГ и производящих функций можно решать задачи оценки вероятностно-временных характеристик протоколов информационного взаимодействия и сетевых устройств; моделировать поведение абонентов сети (входного трафика сети), механизмов управления доступом, трафиком и очередями, профилирования и сглаживания трафика, а также работы планировщика [8].

Однако имеются ограничения по возможности учета топологии, типа трафика и динамики информационного обмена.

Применение математического аппарата теории телетрафика со свойствами самоподобия позволяет учитывать сложность характера трафика. Фрактальный анализ может быть применен только по отношению к трафику, имеющему свойство самоподобия, степень которого может быть оценена по коррелированности значений параметров трафика в широком временном диапазоне. Применение данного математического аппарата позволяет строить эффективные модели прогнозирования поведения параметров трафика процесса информационного обмена.

Разработаем методику исследования количественных характеристик процесса информационного обмена в ТКС, учитывающую специфику протоколов информационного обмена. При этом определе-

ние среднего времени доставки сообщений будем производить с учетом процессов передачи и задержки в очереди на обслуживание информационного потока устройством обработки по формуле:

$$T_{ср\ дост} = T_{ср\ прд} + T_{ср\ зад},$$

где $T_{ср\ прд}$ – среднее время передачи (обслуживания) сообщения; $T_{ср\ зад}$ – среднее время задержки в очереди на обслуживание информационного потока устройством обработки.

Среднее время передачи сообщений определяется применяемой технологией (спецификой протоколов взаимодействия) и длительностью предаваемого кадра. Методика определения этого времени будет приведена ниже.

Среднее время задержки в очереди на обслуживание определяется интенсивностью поступления потока сообщений – λ, интенсивностью обслуживания – μ и законом поступления заявок. Так для наиболее распространенного простейшего потока, принятого в классической теории телетрафика, справедливо выражение:

$$T_{ср\ зад} = \frac{\lambda}{\mu \cdot (\mu - \lambda)}. \qquad (1)$$

Стационарный поток, подчиняющийся распределению Пуассона, не в полной мере описывает поведение информационного трафика. Поэтому будем учитывать фрактальный характер потока, обладающего свойством самоподобия, что позволит эффективнее прогнозировать поведение параметров трафика в сети. Под свойством самоподобия будем понимать случайный процесс, ряд статистик которого имеют сходный характер при рассмотрении в различном масштабе по шкале времени. Для трафика, обладающего свойством сапоподобия, можно показать справедливость следующей зависимости среднего времени задержки сообщения в очереди на обслуживание от параметров μ и λ:

$$T_{ср\ зад} = \frac{\lambda}{\mu} \cdot \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^{\frac{1}{2(1-H)}} \Bigg/ \left(\lambda \cdot \left(1 - \frac{\lambda}{\mu}\right)^{\frac{H}{1-H}}\right), \qquad (2)$$

где H – параметр Херста ($0,5 \le H < 1$).

Для выявления условий необходимости учета самоподобного характера потока построим график зависимости среднего времени задержки заявки в очереди на обслуживание от параметра H для постоянного значения λ=6 (рис. 1).

Графики построены при значении коэффициента загрузки $\rho = \lambda / \mu$, равном 0,5 (кривая 1), 0,6 (кривая 2), 0,7 (кривая 3), 0,8 (кривая 4).

Анализ зависимостей среднего времени задержки в очереди на обслуживание от параметра Херста показывает, что чем больше коэффициент загрузки, тем более ярко проявляется фрактальные свойства.

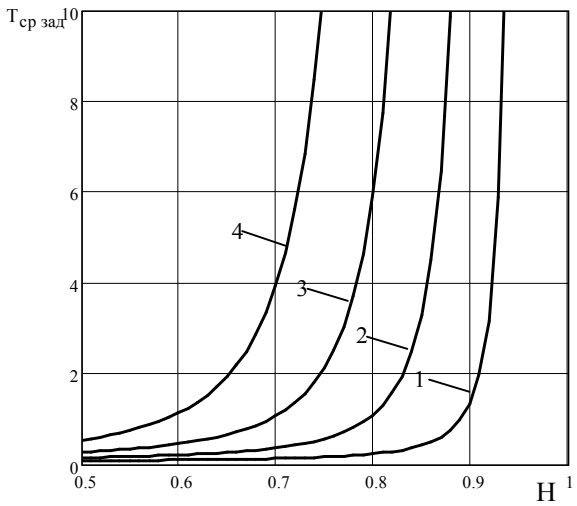

Рис. 1. Зависимость среднего времени задержки в очереди на обслуживание от параметра H

Равенство H=0,5 свидетельствует об отсутствии свойства самоподобия, а выражение (2) преобразовывается в (1).

Учитывая равенство $T_{ср\ прд} = \mu^{-1}$ и соотношение (2) приведем зависимости среднего времени доставки сообщения от интенсивности поступления потока и интенсивности обслуживания (рис. 2, 3).

Кривые 1 строились с учетом равенства H=0,5, т.е. для простейшего потока; для кривых 2 параметр Херста задавался H=0,8. Зависимости, представленные на рис. 2, получены с учетом заданного значения интенсивности обслуживания μ=8, а на рис. 3 – при интенсивности поступления потока сообщений λ=8.

Анализ зависимостей, представленных на рис. 1 – 3, показывает существенную зависимость среднего времени доставки сообщения от выбранного закона распределения входящего потока заявок на обслуживание при коэффициенте загрузки $\rho \ge 0,5$ и $H \ge 0,9$. Если $\rho < 0,5$, то можно считать, что поток заявок на обслуживание простейший и среднее время $T_{ср\ зад}$ можно вычислять по формуле (1).

Для определения среднего времени передачи сообщения – $T_{ср\ прд}$, дисперсии этого времени и других вероятностно-временных характеристик процессов с учетом особенностей протоколов информационного обмена воспользуемся математическим аппаратом ВВГ и производящих функций [5, 6].

Применение данного метода предполагает построение вероятностно-временного графа, описывающего процесс передачи сообщения. Каждая дуга ВВГ характеризуется вероятностью ее выбора – P и относительным временем перехода из одного состояния в другое – t (относительно длины передаваемого пакета). При этом вид функции дуги $f(P,t)$ должен быть таким, чтобы при нахождении произведений функций дуг вероятности умножались, а время суммировалось.

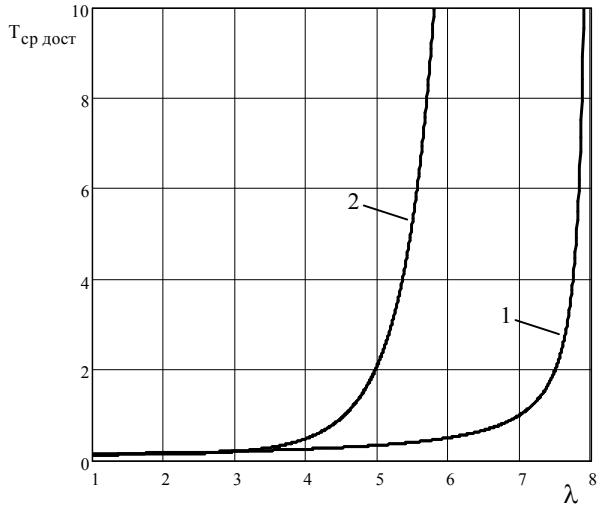

Рис. 2. Зависимости среднего времени доставки от интенсивности поступления потока сообщений

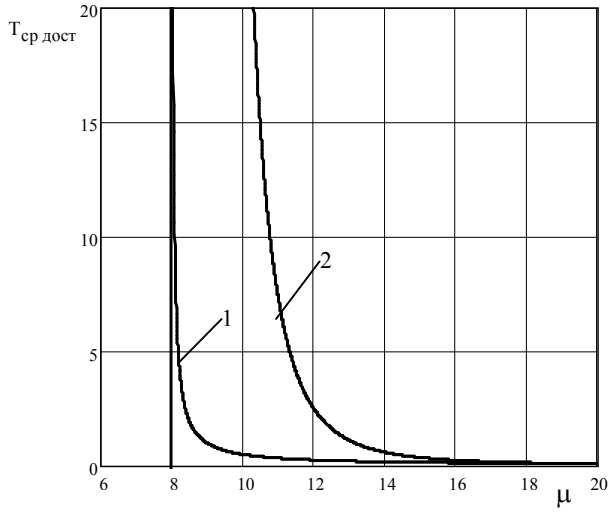

Рис. 3. Зависимости среднего времени доставки сообщения от интенсивности обслуживания

Такая функция имеет вид $f(P,t) = P \cdot Z^t$, где Z – параметр [5].

Производящая функция $F(Z)$, соответствующая ВВГ, является суммой функций всех путей, соединяющих начальную и конечные вершины графа. Для ее получения исходный ВВГ подвергают последовательным эквивалентным преобразованиям. При эквивалентных преобразованиях функция последовательного соединения κ - дуг записывается в виде

$$f_{1,2..\kappa}(Z) = \prod_{i=1}^{\kappa} P_{i,i+1} Z^{t_i, t_{i+1}} .$$

Функция параллельно соединенных κ - дуг имеет вид

$$f_{1,2..\kappa}(Z) = \sum_{i=1}^{\kappa} P_{i,i+1} Z^{t_i, t_{i+1}} .$$

Если в графе имеется петля с функцией $f_n(Z)$, то значит, имеется повторяющийся процесс, математически описываемый геометрической прогрессией. При эквивалентных преобразованиях дуга $f_1(Z)$ с петлей $f_n(Z)$ записывается дугой $f(Z) = f_1(Z) / (1 - f_n(Z))$. Эквивалентные преобразования обычно проводят до тех пор, пока не будут получены функции, характеризующие переход из начального в конечные состояния: прием сообщения правильный (функция $F_1(Z)$), с ошибкой (функция $F_2(Z)$) и потерей (функция $F_3(Z)$) (рис. 4). Производящая функция равна $F(Z)=F_1(Z)+F_2(Z)+F_3(Z)$.

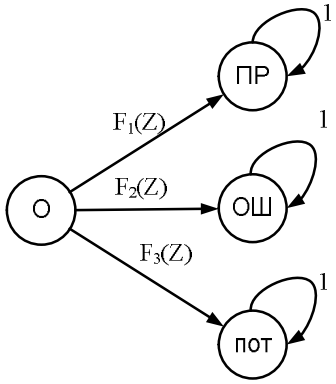

Рис. 4. Конечные функции, характеризующие переход из начального в конечные состояния

Из полученной производящей функции находят среднее время выполнения исследуемого процесса и его дисперсию – $D_{T_{ср\ прд}}$, вероятность ошибки – $P_{ош}$ и вероятность потери – $P_{пот}$ по формулам:

$$T_{ср\ прд} = \left.\frac{dF(Z)}{dZ}\right|_{Z=1},$$

$$D_{T_{ср\ прд}} = \left.\frac{d^2F(Z)}{dZ^2}\right|_{Z=1} + \left.\frac{dF(Z)}{dZ}\right|_{Z=1} - \left(\left.\frac{dF(Z)}{dZ}\right|_{Z=1}\right)^2,$$

$$P_{ош} = F_2(Z)\big|_{Z=1},\ P_{пот} = F_3(Z)\big|_{Z=1}. \qquad (3)$$

Учитывая равенство $\mu = T_{ср\ прд}^{-1}$ и подставляя его в (2), получим:

$$T_{ср\ зад} = \lambda \cdot T_{ср\ прд} \cdot \frac{\left(\lambda \cdot T_{ср\ прд}\right)^{\frac{1}{2(1-H)}}}{\lambda \cdot \left(1 - \lambda \cdot T_{ср\ прд}\right)^{\frac{H}{1-H}}}. \qquad (4)$$

Следовательно, время доставки сообщений с учетом (3) и (4) будет определяться из следующего соотношения:

$$T_{ср\ дост} = \left.\frac{dF(Z)}{dZ}\right|_{Z=1} + \lambda \cdot \left.\frac{dF(Z)}{dZ}\right|_{Z=1} \times$$

$$\times \left(\lambda \cdot \left.\frac{dF(Z)}{dZ}\right|_{Z=1}\right)^{\frac{1}{2(1-H)}} \Bigg/ \left(\lambda \cdot \left(1 - \lambda \cdot \left.\frac{dF(Z)}{dZ}\right|_{Z=1}\right)^{\frac{H}{1-H}}\right). \qquad (5)$$

Учитывая указанное выше, методику определения вероятностно-временных характеристик информационных технологий с учетом специфики протоколов можно представить в виде алгоритма, представленного на рис. 5.

Рис. 5. Алгоритм определения вероятностно-временных характеристик информационных технологий с учетом специфики протоколов

В соответствии с приведенным алгоритмом при заданных значениях интенсивности поступления потока сообщений и обслуживания определяется коэффициент загрузки (блок 1).

Для определения среднего времени задержки в очереди на обслуживание информационного потока устройством обработки при $\rho < 0{,}5$ необходимо пользоваться зависимостью (1), а при $\rho \geq 0{,}5$ – выражением (2).

Воспользовавшись математическим аппаратом ВВГ и производящих функций, при заданных значениях вероятностей состояний и относительных значений времени перехода из одного состояние в другое, а также применяемой технологии, определяющей структуру кодограмм информационного обмена, вычисляется среднее время выполнения исследуемого процесса (блок 10) и его дисперсию в соответствии с (3) (блок 11). Зная функции дуг конечного состояния $f(P,t) = P \cdot Z^t$ (блок 4), при Z=1 определяются вероятностные характеристики правильного приема, с ошибкой и потерей сообщения (блок 11).

Определив средние значения времени передачи (обслуживания) сообщения и задержки в очереди на обслуживание информационного потока устройством обработки, вычисляется среднее время доставки сообщения потребителю в соответствии с (5) (блок 12).

Вывод

Учитывая достоинства и недостатки отдельных математических аппаратов, применяющихся по исследованию сетей, предложена комплексная методика анализа количественных характеристик процесса обмена данными в ТКС, учитывающая свойства информационного потока и специфику протоколов взаимодействия.

Список литературы

1. *Шварц М. Сети связи: протоколы, моделирование и анализ. В 2 ч.: Пер. с англ. – М.: Наука, Гл. ред. физмат. лит., 1992. – Ч. 1. – 336 с.*
2. *Клейнрок Л. Теория массового обслуживания: Пер. с англ. И.И. Грушко / Под ред. В.И. Неймана. – М.: Машиностроение, 1979.*
3. *Филлипс Д., Гарсиа-Диас А. Методы анализа сетей: Пер. с англ. – М.: Мир, 1984.*
4. *Дэвис Д., Барбер Д., Прайс У. Вычислительные сети и сетевые протоколы. – М.: Мир, 1982.*
5. *Адаптивная компенсация помех в каналах связи / Ю.И. Лосев, А.Г. Бердников, Э.Ш. Гойхман, Б.Д. Сизов / Под. ред. Ю.И. Лосева. – М.: Радио и связь, 1988. – 208 с.*
6. *Захаров А.И. Основы передачи данных. – Л.: ВАС, 1985. – 157 с.*
7. *Крылов В.В., Самохвалова С.С. Теория телетрафика и ее приложения. – С.-Пб.: БХВ Петербург, 2005. – 288 с.*
8. *Лосев Ю.И., Руккас К.М. Сравнительный анализ математического аппарата моделирования телекоммуникационных сетей // Системи обробки інформації. – Х.: ХУ ПС, 2007. – Вип. 8 (66). – С. 55-60.*

Поступила в редколлегию 9.01.2008

Рецензент: д-р техн. наук А.В. Лемешко, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.