

УДК 371.687:621.3.037.37

П.А. Дунаев, С.Ю. Рябцунов

Статистическое моделирование IPTV-сети для оценки пропускной способности канала с учетом времени обслуживания пакетов

Рассматривается статистический алгоритм, реализующий метод Монте-Карло. Произведено моделирование влияния задержек на пропускную способность IPTV-сети. В программной среде Delphi реализована программа DelayProg для расчета пропускной способности канала (авт. свид. РК № 008473), что подтверждает научную новизну данной работы.

Ключевые слова: моделирование, алгоритм работы, время задержки, вероятность, пропускная способность.

doi: 10.21293/1818-0442-2017-20-3-172-176

На мультисервисной IP-сети важными элементами транспортной инфраструктуры являются компрессоры, маршрутизаторы и серверы с цифровой обработкой сигналов, вносящие основные задержки в сеть. С увеличением количества абонентов, ростом числа потребительских услуг становится актуальным вопрос исследования пропускной способности телекоммуникационных сетей, которые не справляются с возросшими нагрузками. В результате можно наблюдать ухудшение качества видео- и аудиосигналов.

Анализ любых реальных процессов выполняется с помощью методов математического моделирования.

Модель может включать элементы случайности, учитывающие вероятности возможных действий по обработке реальных параметров рассматриваемой системы.

При исследовании сложных систем и явлений используется процесс имитационного моделирования.

При имитационном моделировании реализующий модель алгоритм воспроизводит процесс функционирования системы во времени. Имитируются элементарные явления, составляющие процесс, с сохранением их логической структуры и последовательности протекания во времени [1].

Результаты имитационного моделирования работы стохастической системы являются реализациями случайных величин или процессов. Поэтому для нахождения характеристик системы требуется многократное повторение и последующая обработка данных. Чаще всего в этом случае применяется разновидность имитационного моделирования – статистическое моделирование (или метод Монте-Карло) [2].

Одной из разновидностей моделирования является численное моделирование, которое заключается в получении необходимых количественных данных о поведении систем или устройств каким-либо подходящим численным методом.

В результате численного моделирования можно получить достаточно полные данные о поведении моделируемых систем и устройств, а также построить графики зависимостей, описывающих их поведение.

Статистический алгоритм метода математического моделирования

Учитывая вероятностный характер потерь и задержек пакетов, для разработки модели времени

обслуживания пакетов и оценки пропускной способности сети возможно воспользоваться методом статистического моделирования [3].

В общем виде схема метода Монте-Карло выглядит так. Необходимо вычислить некоторую величину Z . Подразумевается, что можно построить случайную величину s с математическим ожиданием Ms , равным Z , и с конечной дисперсией Ds , причем выборочные значения s_i случайной величины s довольно просто реализуются на компьютере. Выстроив большое количество n выборочных значений s_1, \dots, s_n , на основе закона больших чисел находим приближение искомой величины [4]:

$$Z = Ms \approx \bar{s}_n = \frac{s_1 + \dots + s_n}{n}. \quad (1)$$

Главным фактором при использовании приближения (1) является возможность эффективной реализации выборочных значений случайных величин на компьютере.

Ориентировочно вносимое время задержки составляет: компрессорами – 15...50 мс, маршрутизаторами – 10...20 мс, серверами с цифровой обработкой сигналов – 80...150 мс [5].

На рис. 1 представлена блок-схема сети IPTV, которая позволяет оценить пропускную способность канала абонента IPTV.

Согласно [6, 7] вероятность отказа оборудования равна 0,05–0,2.

Тогда

– вероятность безотказной работы компрессора $P(C) = 0,95$;

– вероятность безотказной работы сервера $P(S) = 0,95$;

– вероятность безотказной работы маршрутизатора $P(R) = 0,95$.

Вероятность отказа всех трех устройств $P(m)$ будет рассчитываться по следующему выражению [6, 7]:

$$P(m) = P(\bar{C}) + P(\bar{S}) + P(\bar{R}) - P(\bar{S})P(\bar{R}) - P(\bar{S})P(\bar{C}) - P(\bar{R})P(\bar{C}) - P(\bar{C})P(\bar{S})P(\bar{R}), \quad (2)$$

где $P(\bar{C}) = 1 - P(C)$ – вероятность отказа компрессора; $P(\bar{S}) = 1 - P(S)$ – вероятность отказа сервера; $P(\bar{R}) = 1 - P(R)$ – вероятность отказа маршрутизатора.

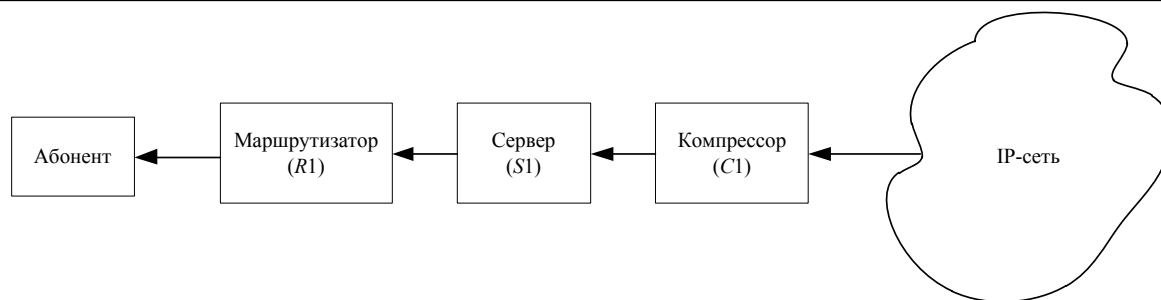


Рис. 1. Обобщенная блок-схема сети IPTV

При заданных значениях величин вероятностей безотказной работы, входящих в формулу (2), произведения трех сомножителей будут пренебрежимо малы по сравнению с заданными величинами и, следовательно, при расчете величины $P(m)$ их можно не учитывать. Тогда $P(m) = 0,14$. Следовательно, действительная достоверность $P(r)$ прохождения пакета через три указанных устройства при заданных значениях вероятности равна

$$P(r) = 1 - P(m) = 0,86. \tag{3}$$

При использовании метода статистического моделирования существенным является определение необходимого количества испытаний [8].

Увеличение количества испытаний повышает точность определения статистических характеристик, но одновременно увеличивает затраты времени на моделирование.

Число опытов N , необходимое для того, чтобы с заданной вероятностью Q можно было ожидать, что исследуемая частота события « r » отклонится от его вероятности $P(r)$ на величину ε , определяется по формуле [9]

$$N = \frac{P(r) - (1 - P(r)) \left[\Phi^{-1} \left(\frac{1}{2} Q \right) \right]^2}{\varepsilon^2}, \tag{4}$$

где Φ – функция Лапласа.

Моделирование влияния задержек пакетов на пропускную способность

Для оценки пропускной способности канала IPTV-сети сделаем следующие допущения:

- при передаче видеоизображений применяются короткие пакеты длиной в 53 байта;
- пакеты, прежде чем попасть к абоненту (последний пункт, для которого важно время задержки в разрабатываемой модели), проходят три узла, а именно: компрессор, сервер, маршрутизатор;
- путей прохождения пакетов существует конечное множество (n);
- для качественной оценки пропускной способности канала в зависимости от изменения времени задержек достаточно рассмотреть один путь, состоящий из трех характерных узлов $C1-S1-R1$ (см. рис. 1).

Алгоритм работы модели сети IPTV представлен на рис. 2.

Представим статистический алгоритм моделирования в виде последовательности программных шагов:

1. Для IP-сети вводится массив входной информации. Времена задержки пакетов, значения вероятностей $P(C) 1, P(S) 1, P(R) 1$, размер пакета $P(n)$.

2. Обнуляются счетчики C -отказов компрессоров, S -отказов серверов, R -отказов маршрутизаторов, Π -потерь пакетов, $P1$ – количества обработанных пакетов в потоке данных к абоненту, O – общего количества пакетов, отправленных к абоненту в потоке данных.

Потеря пакета фиксируется при превышении TTL (Time to live – время жизни пакета данных в протоколе IP).

3. Определяется, исправен ли компрессор, с этой целью случайное число $C2$, выработанное датчиком случайных чисел, сравнивается с вероятностью отказа компрессора $P(C) 1$. Если выполняется условие $C2 < P(C) 1$, то фиксируется отказ компрессора, счетчик C увеличивается на единицу, счетчик потерь Π увеличивается на единицу и п. 2 выполняется сначала. При $C2 > P(C) 1$, фиксируется срабатывание маршрутизатора и выполняется следующий шаг.

4. Определяется время задержки пакета в компрессоре, для этого случайное число $C3$, выработанное датчиком случайных чисел из диапазона задержек пакетов компрессором, принимается за время задержки.

5. Определяется, исправен ли сервер, с этой целью случайное число $S2$, выработанное датчиком случайных чисел, сравнивается с вероятностью отказа сервера $P(S) 1$. Если выполняется условие $S2 < P(S) 1$, то фиксируется отказ сервера, счетчик S увеличивается на единицу и п. 2 выполняется сначала.

При $S2 > P(S) 1$ фиксируется срабатывание сервера и выполняется следующий шаг.

6. Определяется время задержки пакета в сервере, для этого случайное число $S3$, выработанное датчиком случайных чисел из диапазона задержек пакетов сервером, принимается за время задержки.

7. Определяется, исправен ли маршрутизатор, с этой целью случайное число $R2$, выработанное датчиком случайных чисел, сравнивается с вероятностью отказа маршрутизатора $P(R) 1$. Если выполняется условие $R2 < P(R) 1$, то фиксируется отказ маршрутизатора, счетчик R увеличивается на

единицу, счетчик потерь Π увеличивается на единицу и п. 2 выполняется сначала. При $R2 > P(\bar{R})$ фиксируется срабатывание маршрутизатора и выполняется следующий шаг.

8. Определяется время задержки пакета в маршрутизаторе, для этого случайное число $R3$, выработанное датчиком случайных чисел из диапазона задержек пакетов маршрутизаторами, принимается за время задержки.

9. Рассчитываются общее время задержки и пропускная способность канала.

10. Проверяется условие реализации заданного числа испытаний. Если испытания закончены, то делается расчет вероятностно-статистических характеристик исследуемой модели и производится переход к следующему пункту, в противном случае осуществляется переход к п. 2.

11. Результаты расчетов выводятся на экран, и работа программы завершается.

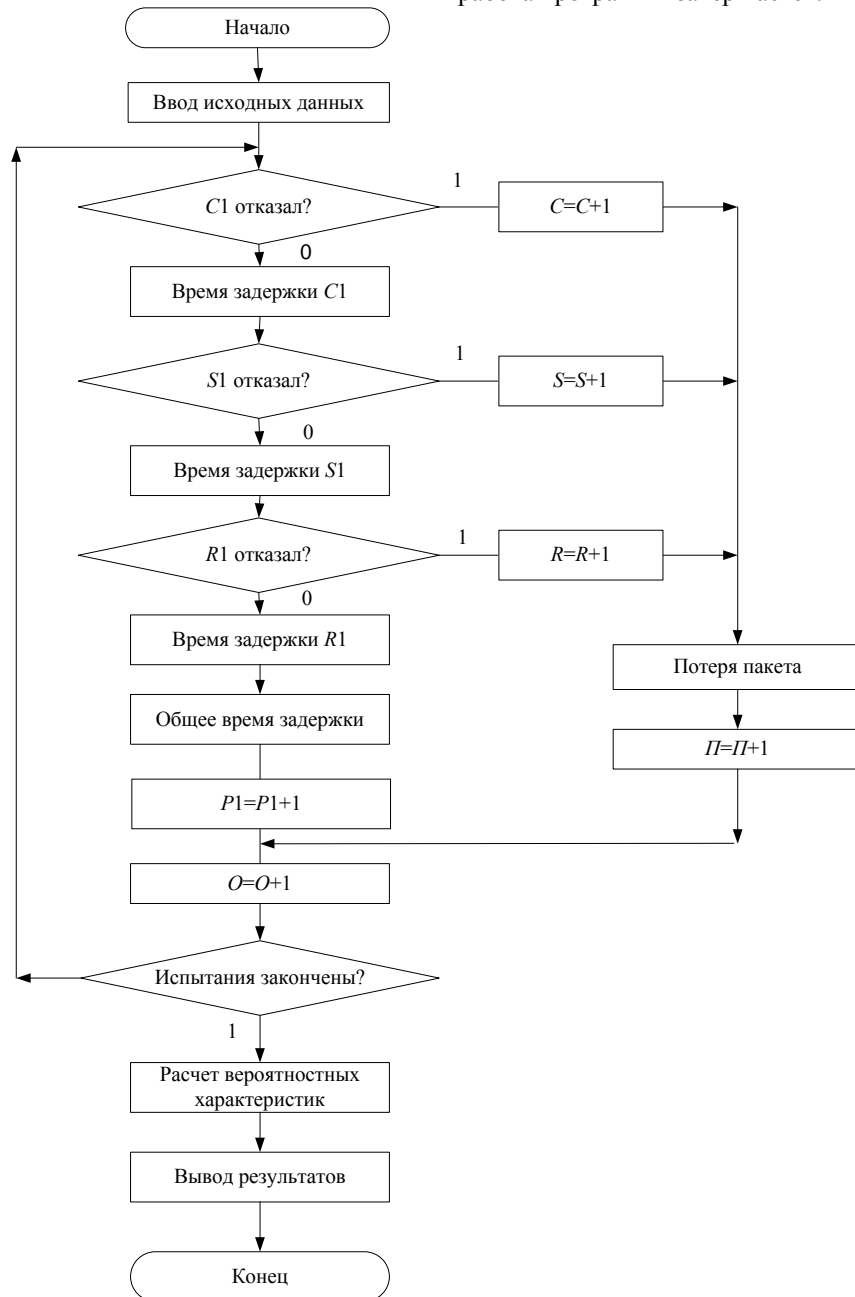


Рис. 2. Алгоритм работы модели сети IPTV

Полученные данные в результате работы программы:

- C – количество отказов компрессора;
- S – количество отказов сервера;
- R – количество отказов маршрутизатора;
- $P1$ – количество обработанных (доставленных) пакетов в потоке данных к абоненту;

– Π – количество потерянных пакетов в потоке данных к абоненту;

- O – общее количество пакетов, отправленных к абоненту в потоке данных;
- $P(Z)$ – вероятность доставки информационных пакетов абоненту IPTV;
- $P(L)$ – вероятность потери пакетов, проходящих по информационному каналу к абоненту сети IPTV.

Вероятностные характеристики и пропускная способность канала рассчитывались по следующим выражениям:

$$P(Z) = \frac{P1}{O}, \tag{5}$$

где $P1$ – количество обработанных пакетов в потоке данных к абоненту; O – общее количество пакетов, отправленных к абоненту в потоке данных.

$$P(L) = \frac{C+S+R}{O}, \tag{6}$$

где C – количество отказов компрессора; S – количество отказов сервера; R – количество отказов маршрутизатора.

$$B = \frac{P1 \times P(n)}{1000000} \times 8, \tag{7}$$

где $P1$ – количество обработанных пакетов в потоке данных к абоненту; $P(n)$ – размер пакета.

Результаты моделирования

Моделирование задержек пакетов и соответственно расчет пропускной способности канала осуществлялись в разработанной программе DelayProg.

Изменяя значения вероятности безотказной работы согласно [6, 7], в результате моделирования получаем данные, по которым строим графические зависимости от вероятности безотказной работы компрессора, сервера, маршрутизатора. На рис. 3 представлено изменение вероятности доставки и потери пакетов (п. 11).

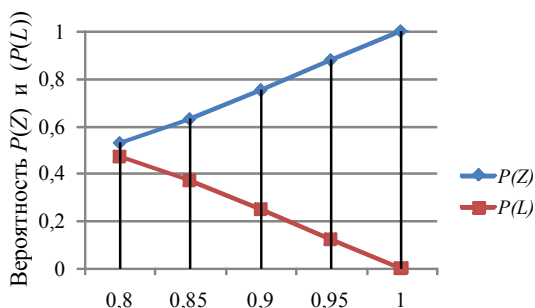


Рис. 3. Зависимость доставки и потери пакетов от вероятности безотказной работы

Разработанная программа при указанных значениях задержек позволяет определить количество потерянных, обработанных и общее число отправленных пакетов абоненту (рис. 4).

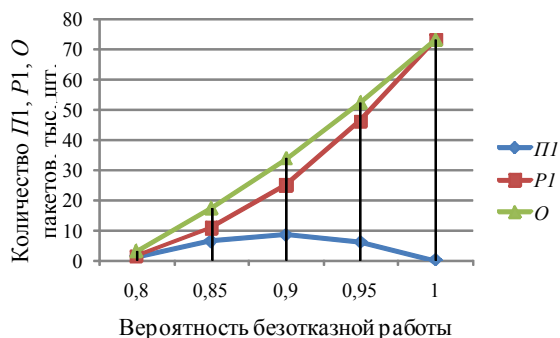


Рис. 4. Вариация количества потерянных, обработанных и отправленных пакетов от вероятности безотказной работы

В DelayProg реализована возможность задавать размер информационного пакета. При размере пакета 53 байта изменение пропускной способности канала представлено на рис. 5.

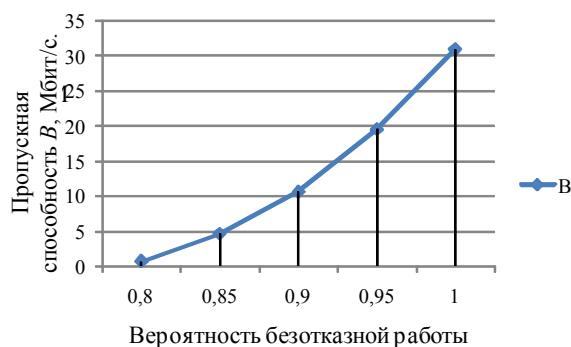


Рис. 5. Графическая зависимость ПС от вероятности безотказной работы

Заключение

Разработан алгоритм работы модели IPTV-сети для оценки пропускной способности канала в зависимости от времени обслуживания пакетов [10].

При заданных задержках компрессора (15–50 мс), сервера (80–150 мс), маршрутизатора (10–20 мс) и заданных вероятностях безотказной работы оборудования от 0,8 до 1 определено, что при размере информационного пакета в 53 байта пропускная способность изменяется от 0,65 до 30,9 Мбит/с.

Литература

1. Шеннон Р. Имитационное моделирование систем – искусство и наука / пер. с англ.; под ред. Е.К. Масловского. – М.: Мир, 1978. – 418 с.
2. Васильев К.К. Математическое моделирование систем связи: учеб. пособие / К.К. Васильев, М.Н. Служивый. – Ульяновск.: УлГТУ, 2008. – 170 с.
3. Горский Л.К. Статистические алгоритмы исследования надежности / Л.К. Горский – М.: Наука, 1970. – 400 с.
4. Михайлов Г.А. Численное статистическое моделирование. Методы Монте-Карло: учеб. пособие для студ. вузов / Г.А. Михайлов, А.В. Войтишек. – М.: Изд. центр «Академия», 2006. – 368 с.
5. Мамчев Г.В. Использование в телевизионном вещании интернет-протокола. – Новосибирск: СибГУТИ, 2009. – 156 с.
6. ГОСТ Р 27.002–2009. Надежность в технике. Термины и определения. – М.: Стандартинформ, 2011. – 26 с.
7. ГОСТ Р 27.403–2009. Надежность в технике. Планы испытаний для контроля вероятности безотказной работы. – М.: Стандартинформ, 2011. – 10 с.
8. Бусленко Н.П. Математическое моделирование производственных процессов на цифровых вычислительных машинах. – М.: Наука, 1964. – 364 с.
9. Вентцель Е.С. Исследование операций / Е.С. Вентцель. – М.: Сов. радио, 1972. – 552 с.
10. Авторское свидетельство на право интеллектуальной собственности 008473 РК. DelayProg (программа для ЭВМ) / П.А. Дунаев, С.Ю. Рябцунов. – № 1105; заявл. 07.04.2017; Опубл. 23.05.2017. – Министерство Юстиции Республики Казахстан.

Дунаев Павел Александрович

Ст. преп. каф. радиотехники, электроники и телекомму-
никаций Казахского агротехнического университета
им. С. Сейфуллина (КазАТУ), Астана
Тел.: 8-707-732-43-66
Эл. почта: dunayev.kz@mail.ru

Рябцунов Сергей Юрьевич

Канд. техн. наук, гл. специалист ТОО «ЭЛИТКОМ»,
Астана
Тел.: 8-705-100-56-56
Эл. почта: ryabtsunov@yandex.kz

Dunayev P.A., Ryabtsunov S.Y.

**Statistical modeling of IPTV-network for an assessment
of probable characteristics of packets' service and channel
throughput**

We consider a statistical algorithm realizing the Monte Carlo method. The effect of delays on the throughput of an IPTV network is simulated. In the Delphi software environment, DelayProg is implemented to calculate the bandwidth of the channel (authored by RK No. 008473), which confirms the scientific novelty of this work.

Keywords: simulation, operation algorithm, delay period, probability, throughput.