

Разработка достоверного алгоритма модели IPTV-канала для определения пропускной способности

С. С. Абрамов, П. А. Дунаев

В предлагаемой статье разрабатывается достоверный алгоритм, позволяющий оценить пропускную способность IPTV-канала мультисервисной сети, вероятность доставки и потери пакетов. Результатом этого исследования является разработанная модель канала IPTV, а также её программная реализация DelayProg 2, которая позволяет в динамике произвести оценку пропускной способности. Разработанная модель позволяет сравнить эффективность работы компрессора, маршрутизатора и сервера с цифровой обработкой сигналов по критерию достоверности времени обслуживания и вариации задержки пакетов в IPTV-канале. Проводятся эксперименты с учетом размера информационного пакета видеосигнала.

Ключевые слова: IPTV-канал, пропускная способность, достоверность, задержка, вариация задержки.

1. Введение

В настоящее время большое количество каналов в телекоммуникационных сетях работает по IP (Internet Protocol). Как известно, эти каналы под воздействием количества потоков данных вследствие увеличения числа предлагаемых услуг и других условий имеют разную пропускную способность. В этих условиях одним из эффективных методов определения пропускной способности канала IPTV является разработка соответствующих алгоритмов и процедур с учетом специфики организации доступа к телекоммуникационной сети. Канал связи представляют в виде блок-схемы с указанием основных узлов, входящих в канал. При наличии в канале нескольких узлов или устройств актуальной становится задача контроля их функционирования при прохождении через них IPTV-пакета.

Большинство известных методов оценки пропускной способности IP-сетей строится на моделях в виде сетей массового обслуживания, в которых узлы отображают задержки IP-пакетов [1–3]. Использование в качестве дополнительного информационного признака вариации задержки (IPDV – Internet Protocol packet Delay Variation) в разрабатываемом алгоритме позволит получить более достоверную информацию о пропускной способности IPTV-канала.

2. Разработка алгоритма модели

2.1. Метод моделирования

Представляет интерес количественная оценка достоверности получаемой информации о пропускной способности канала IPTV-сети. Такую оценку можно провести аналитически и с помощью вероятностно-статистического моделирования. Были проведены расчеты с использованием аппарата теории вероятности. При этом принимались во внимание следующие величины: вносимое время задержки компрессором, маршрутизатором, сервером с цифровой

обработкой сигналов; вероятность отказа работы компрессора $P(\bar{C})$; вероятность отказа работы сервера $P(\bar{S})$; вероятность отказа работы маршрутизатора $P(\bar{R})$; джиттер; размер информационного пакета. Считая, что вышеперечисленные события независимы и совместны, определим вероятность отказа всех трёх устройств $P(m)$:

$$P(m) = P(\bar{C}) + P(\bar{S}) + P(\bar{R}) - P(\bar{S})P(\bar{R}) - P(\bar{S})P(\bar{C}) - P(\bar{R})P(\bar{C}) - P(\bar{C})P(\bar{S})P(\bar{R}). \quad (1)$$

Согласно ГОСТ Р получены следующие величины вероятностей [4, 5]:

$$P(C) = 0.95; P(S) = 0.95; P(R) = 0.95. \quad (2)$$

Очевидно, что при заданных (2) значениях величин, входящих в формулу (1), произведения трёх и более сомножителей пренебрежимо малы по сравнению с заданными величинами и, следовательно, в расчёте величины $P(m)$ их можно не учитывать. При этом допущении $P(m) = 0.14$. Следовательно, действительная достоверность $P(r)$ прохождения IPTV-пакета через три указанных устройства при заданных значениях вероятности равна:

$$P(r) = 1 - P(m) = 0.86. \quad (3)$$

Вероятностные характеристики функционирования канала IPTV-сети и пропускная способность рассчитываются следующим образом.

Вероятность получения достоверной информации о пропускной способности IPTV-канала в случае безотказной работы сервера, компрессора, маршрутизатора:

$$P(Z) = \frac{P1}{O}, \quad (4)$$

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

Вероятность получения достоверной информации с учетом отказов сервера, компрессора, маршрутизатора:

$$P(L) = \frac{S+C+R}{O}, \quad (5)$$

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

Пропускная способность IP-канала:

$$B = \frac{P1 \times P(n)}{1000000} \times 8, \quad (6)$$

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

Для получения количественных характеристик изменений вероятностей $P(Z)$, $P(L)$ в функции от величин $P(S)$, $P(C)$, $P(R)$ производятся расчеты на модели для следующих случаев:

$$\begin{aligned}
 & 1. \left. \begin{aligned} P(Z) &= f(P(S), P(C)) \\ P(L) &= f(P(S), P(C)) \end{aligned} \right\}, \text{ при } P(R) = 0.95; \\
 & 2. \left. \begin{aligned} P(Z) &= f(P(S), P(R)) \\ P(L) &= f(P(S), P(R)) \end{aligned} \right\}, \text{ при } P(C) = 0.95; \\
 & 3. \left. \begin{aligned} P(Z) &= f(P(C), P(R)) \\ P(L) &= f(P(C), P(R)) \end{aligned} \right\}, \text{ при } P(S) = 0.95.
 \end{aligned} \tag{7}$$

2.2. Модель IPTV-канала

Блок-схема алгоритма модели функционирования IPTV-канала на основе двух информационных признаков изображена на рис. 1.

Введение дополнительного информационного признака IPDV позволяет повысить достоверность получаемой информации о пропускной способности IPTV-канала, что подтверждается расчетами. Для реализации данного способа была разработана вероятностно-статистическая модель, позволяющая учесть дополнительный признак IPDV.

Моделирование работы IPTV-канала для исследования времени задержек, вариации задержки и расчета пропускной способности, связанной с этими факторами, осуществляется следующим образом. С помощью генератора псевдослучайных чисел получаем случайные числа $C2$, $S2$, $R2$, позволяющие оценить, отказали или нет соответствующие устройства – компрессор, сервер, маршрутизатор [6].

Алгоритм моделирования IPTV-канала для исследования времени задержек пакетов, джиттера и пропускной способности можно представить в виде последовательности программных шагов:

1. Для IPTV-канала вводится массив входной информации. Времена задержек IPTV-пакетов, значения вероятностей $P(C1)$, $P(S1)$, $P(R1)$, размер IPTV-пакета $P(n)$, джиттер.

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

3. Определяется, исправен ли компрессор. С этой целью случайное число $C2$, выработанное датчиком случайных чисел, сравнивается с вероятностью отказа компрессора $P(C1)$. Если выполняется условие $C2 < P(C1)$, то фиксируется отказ компрессора, счетчик C увеличивается на единицу, счетчик потерь D увеличивается на единицу и п. 2 выполняется сначала. При $C2 > P(C1)$ 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. Если не выполняется условие $IPDV \leq 50$ мс, при каждом последующем срабатывании датчика случайных чисел п. 2 выполняется сначала.

5. Определяется, исправен ли сервер. С этой целью случайное число $S2$, выработанное датчиком случайных чисел, сравнивается с вероятностью отказа сервера $P(S1)$. Если выполняется условие $S2 < P(S1)$, то фиксируется отказ сервера, счетчик S увеличивается на единицу, счетчик потерь D увеличивается на единицу и п. 2 выполняется сначала. При $S2 > P(S1)$ фиксируется срабатывание сервера и выполняется следующий шаг.

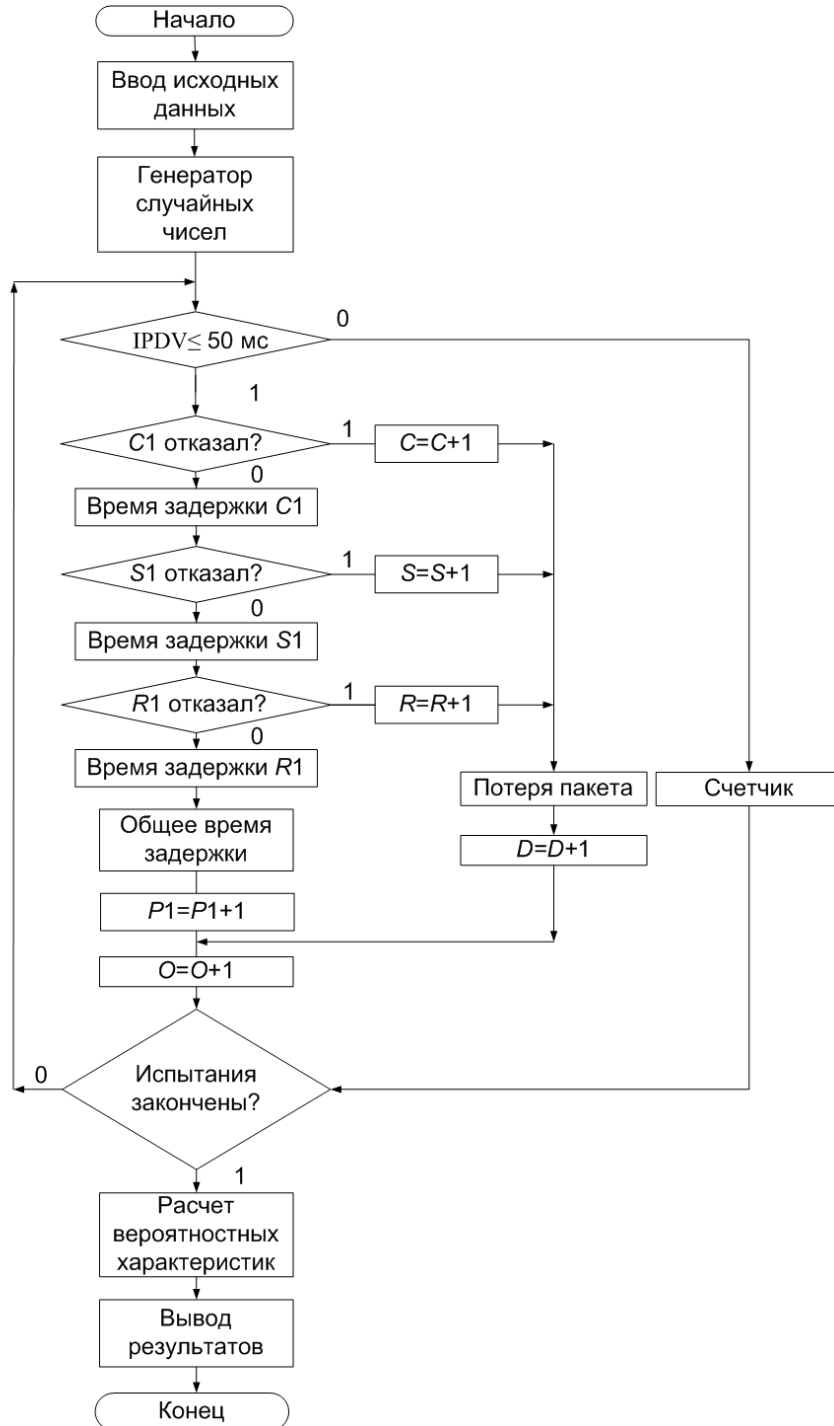


Рис. 1. Алгоритм работы IPTV-канала с учетом вариации задержки

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. Если не выполняется условие $IPDV \leq 50$ мс, при каждом последующем срабатывании датчика случайных чисел п. 2 выполняется сначала.

7. Определяется, исправен ли маршрутизатор. С этой целью случайное число $R2$, выработанное датчиком случайных чисел, сравнивается с вероятностью отказа маршрутизатора $P(R1)$. Если выполняется условие $R2 < P(R1)$, то фиксируется отказ маршрутизатора, счетчик R увеличивается на единицу, счетчик потерь D увеличивается на единицу и п. 2 выполняется сначала. При $R2 > P(R1)$ 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. Если не выполняется условие $IPDV \leq 50$ мс, при каждом последующем срабатывании датчика случайных чисел п. 2 выполняется сначала.

9. Рассчитывается общее время задержки, пропускная способность канала.

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

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

Вероятностные характеристики, пропускная способность и вероятность получения достоверной информации о пропускной способности алгоритма функционирования IPTV-канала с дополнительным признаком IPDV рассчитывались по формулам (4–7).

3. Результаты моделирования

Разработанная программная реализация алгоритма позволяет получить данные о достоверности оценки пропускной способности IPTV-канала (табл. 1).

Таблица 1. Результаты моделирования изменения достоверности получаемой информации о пропускной способности IPTV-канала

Вероятность безотказной работы					
$P(S)$	$P(C)$	$P(Z)$	$P(S)$	$P(C)$	$P(Z)$
0.8	0.8	0.620	0.95	0.9	0.838
0.85	0.8	0.672	1	0.9	0.869
0.9	0.8	0.702	0.8	0.95	0.744
0.95	0.8	0.744	0.85	0.95	0.788
1	0.8	0.776	0.9	0.95	0.833
0.8	0.85	0.662	0.95	0.95	0.882
0.85	0.85	0.710	1	0.95	0.921
0.9	0.85	0.748	0.8	1	0.770
0.95	0.85	0.793	0.85	1	0.821
1	0.85	0.821	0.9	1	0.871
0.8	0.9	0.703	0.95	1	0.921
0.85	0.9	0.743	1	1	0.959
0.9	0.9	0.795			

Изменение достоверности получаемой информации получено при значениях вероятностей безотказной работы оборудования от 0.8 до 1 (рис. 2).

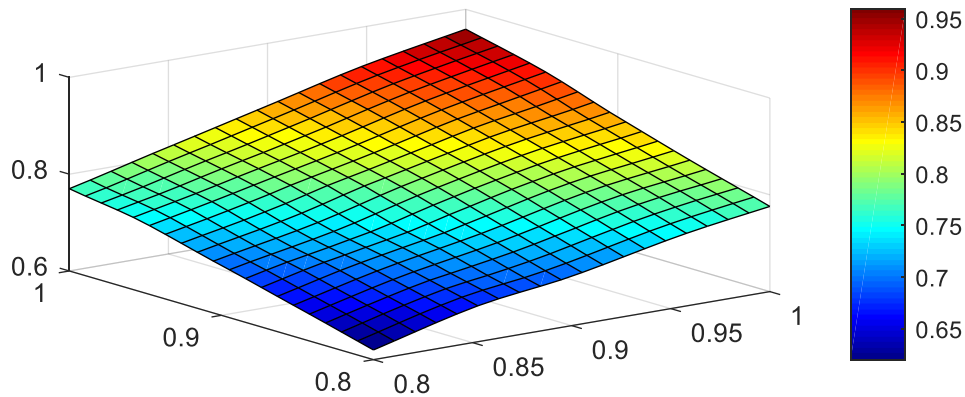


Рис. 2. Достоверность получаемой информации о пропускной способности IPTV-канала

В результате моделирования с помощью программы DelayProg 2 получаем данные об изменении пропускной способности канала IPTV (табл. 2) [7].

Таблица 2. Результаты моделирования пропускной способности IPTV-канала

$P(C), P(S), P(R)$	$B, \text{Mb/s}$
0.8	0.97
0.85	6.9
0.9	16.2
0.95	29.6
1	48.3

Представим данные табл. 2 графически (рис. 3).

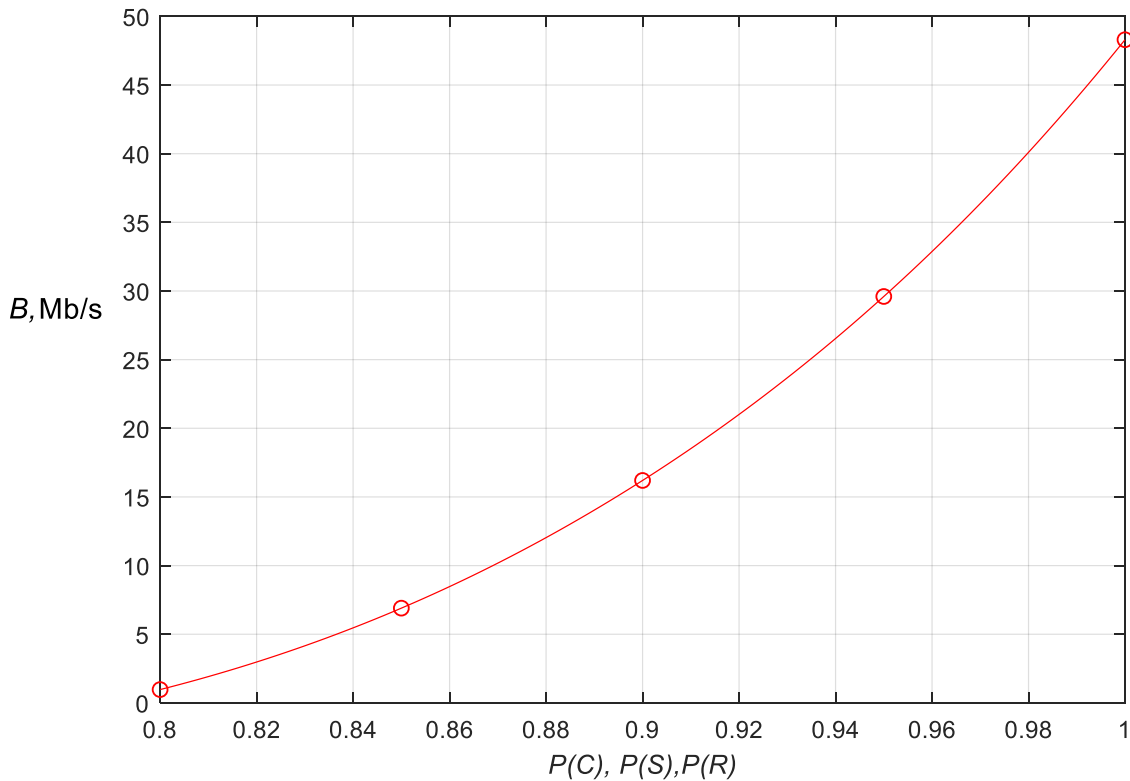


Рис. 3. Пропускная способность IPTV-канала в результате моделирования

Приведенные результаты моделирования на основе двух информационных признаков имеют большую достоверность и, следовательно, по ним можно более точно судить о пропускной способности IPTV-канала.

Вероятностно-статистическая модель функционирования канала IPTV написана на языке высокого уровня Delphi.

Литература

1. *Столлингс В.* Современные компьютерные сети. 2-е изд. СПб: Питер, 2003. 783 с.
2. *Вишневский В. М.* Теоретические основы проектирования компьютерных сетей. М.: Техносфера, 2003. 512 с.
3. *Дунаев П. А.* Разработка и исследование методов оценки качества изображения в цифровом телевидении // дис. ... канд. техн. наук. Новосибирск, СибГУТИ, 2018. 229 с.
4. ГОСТ Р 27.403-2009. Надежность в технике. Планы испытаний для контроля вероятности безотказной работы. М.: Стандартинформ, 2011. 10 с.
5. ГОСТ Р 51901.16-2017 Повышение надежности. Статистические критерии и методы оценки. М.: Стандартинформ, 2017. 39 с.
6. *Дунаев П. А., Рябцунов С. Ю.* Статистическое моделирование IPTV-сети для оценки пропускной способности канала с учетом времени обслуживания пакетов // Доклады ТУСУР. 2017. № 3 (20). С. 172–176.
7. Свидетельство о государственной регистрации прав на объект авторского права. DelayProg 2 (программа для ЭВМ) / П. А. Дунаев. № 6789; дата создания 11.10.2019; опублик. 04.12.2019. РГП «Национальный институт интеллектуальной собственности» Министерство Юстиции Республики Казахстан.

*Статья поступила в редакцию 05.12.2019;
переработанный вариант – 27.12.2019.*

Абрамов Сергей Степанович

д.т.н., профессор, заведующий кафедрой радиотехнических устройств СибГУТИ (630102, Новосибирск, ул. Кирова, 86), тел. (383) 2-698-202, e-mail: abramov@sibsutis.ru.

Дунаев Павел Александрович

к.т.н., старший преподаватель кафедры радиотехники, электроники и телекоммуникаций НАО «КАТУ им. С. Сейфуллина» (010000, Республика Казахстан, Нур-Султан, пр. Победы, 62), e-mail: dunayev.kz@mail.ru.

Reliable algorithm development for determining an IPTV channel throughput

S. Abramov, P. Dunayev

In the proposed article, a reliable algorithm is developed to evaluate the throughput of the IPTV channel of a multiservice network, the probability of delivery and packet loss. The result of this study is the developed model of the IPTV channel, as well as its DelayProg 2 software implementation, which allows you to evaluate dynamically the bandwidth throughput. The developed model allows you to compare the efficiency of the compressor, router and server with digital signal processing according to the reliability criterion of service time and packet delay variation in the IPTV channel. Experiments are conducted taking into account the size of the video signal information packet.

Keywords: IPTV channel, bandwidth throughput, reliability, delay, delay variation.