
УДК 621.39
DOI: 10.22363/2312-9735-2017-25-2-133-140

Построение и анализ модели входного коммутатора в сети с оптической коммутацией

К. Е. Самуйлов*, И. Г. Бужин†, Ю. Б. Миронов†

* *Кафедра прикладной информатики и теории вероятностей
Российский университет дружбы народов
ул. Миклухо-Маклая, д. 6, Москва, Россия, 117198*

† *в/ч 33965, Москва, Россия*

В настоящее время существует два общепризнанных принципа коммутации информационных сигналов в высокоскоростных сетях: сети с волновой маршрутизацией и сети с принципом оптической коммутацией пакетов. В сетях с волновой маршрутизацией не требуется производить оптико-электрических и электро-оптических преобразований и создавать буфер, но при данном принципе коммутации неэффективно используется рабочий диапазон длин волн. В сетях с оптической коммутацией пакетов трафик передаётся в виде пакетов, которые состоят из заголовка и информационной части постоянного размера. В данном случае частотный диапазон используется наиболее полно, но появляется необходимость оптико-электронных преобразований. Стремясь соединить преимущества двух технологий оптической коммутации, был предложен новый комбинированный принцип коммутации, получивший название оптической коммутации пачек. В данной технологии нет буферизации и электронной обработки данных в промежуточных узлах, присутствует резервирование канала на ограниченное время. Для эффективного внедрения такой сети связи необходимо рассчитать её вероятностные характеристики. Для оценки вероятностных характеристик сети широко используются методы теории массового обслуживания. Входной коммутатор является одним из ключевых устройств сети. В статье описывается работа входного коммутатора сети с оптической коммутацией пачек, производится расчёт вероятных характеристик сети с использованием аналитической и имитационных моделей. Приведены примеры расчёта вероятности блокировки пакетов, поступающих во входной коммутатор.

Ключевые слова: оптическая коммутация пакетов, волновая маршрутизация, оптическая коммутация пачек, контрольный пакет, информационный пачка

Введение

В настоящее время существует два общепризнанных принципа коммутации информационных сигналов в высокоскоростных сетях: сети с волновой маршрутизацией WR (Wavelength Routing) и сети с принципом оптической коммутацией пакетов OPS (Optical Packet Switching) [1–6]. В сетях с волновой маршрутизацией не требуется производить оптико-электрических и электро-оптических преобразований и создавать буфер, но при данном принципе коммутации не эффективно используется рабочий диапазон длин волн. В сетях с оптической коммутацией пакетов трафик передаётся в виде пакетов, которые состоят из заголовка и информационной части постоянного размера. В данном случае частотный диапазон используется наиболее полно, но появляется необходимость оптико-электронных преобразований. Стремясь соединить преимущества двух технологий оптической коммутации, был предложен новый комбинированный принцип коммутации, получивший название оптической коммутации пачек OBS (Optical Burst Switching). В данной технологии нет буферизации и электронной обработки данных в промежуточных узлах, присутствует резервирование канала на ограниченное время.

Сеть с данным принципом коммутации будет состоять из следующих основных компонентов: входного коммутатора, нескольких промежуточных коммутаторов и выходного коммутатора. Входной коммутатор принимает пакеты в электрическом виде, преобразовывает их в полностью оптические пачки (optical bursts) и передаёт следующему коммутатору по пути в целевую сеть, назначая при этом нужную длину

волны в оптическом волокне. Промежуточный коммутатор, используя один из протоколов сигнализации, принимает пачку, обрабатывает её без оптико-электрических преобразований и посылает пачку далее до нужного коммутатора. Когда пачка доходит до выходного коммутатора, она преобразовывается в электрический вид, разбивается по IP-пакетам и направляется до получателя в IP-сеть, к которой подключён граничный выходной коммутатор.

В данной статье будет подробно рассмотрен входной коммутатор, а именно его алгоритм работы, описана его аналитическая и имитационная модели, проведён численный анализ полученных результатов.

Статья построена следующим образом:

- в первом разделе описывается работа входного коммутатора сети с OBS;
- во втором разделе построена математическая модель входного коммутатора;
- в третьем разделе приводится листинг программы имитационного моделирования данного коммутатора в среде GPSS, приведены сравнения расчётов вероятности блокировок на основе математической модели и моделирования входного коммутатора в GPSS при различных законах распределения длительности обслуживания;
- заключение содержит основные выводы исследования.

1. Алгоритм работы входного коммутатора

Входной коммутатор является одним из ключевых устройств сети с OBS. Функциональная схема коммутатора представлена на рис. 1.

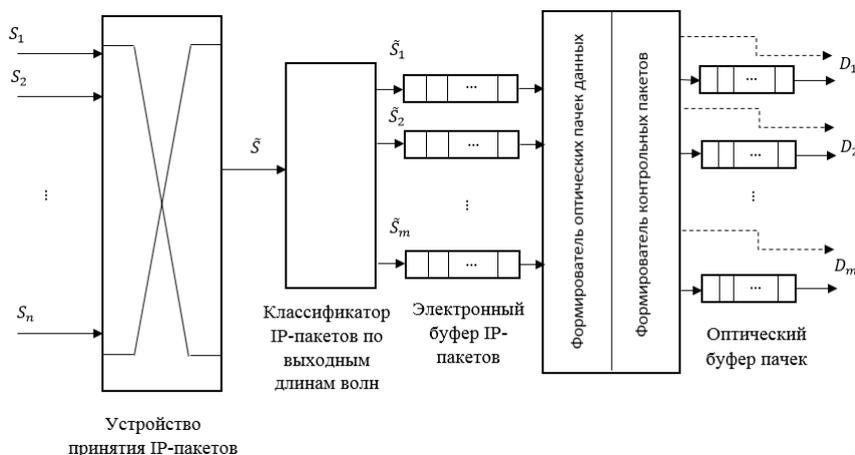


Рис. 1. Функциональная схема входного коммутатора сети с OBS

На вход данного устройства прибывают IP-пакеты от источников S_1, \dots, S_n . Их принятие осуществляет устройство принятия пакетов. Далее принятые пакеты посылаются на классификатор пакетов по выходным длинам волн. Это устройство осуществляет классификацию пакетов по адресу получателя. В соответствии с этим адресом классификатор находит нужную длину волны на выходе входного коммутатора и посылает пакет на соответствующий выходной порт. Затем классифицированные пакеты становятся в электронные очереди в соответствии со своей выходной длиной волны. Данные буферы имеют ограниченную длину, поэтому при большом времени ожидания в очереди пакет может быть заблокирован. Устройство формирования контрольных пакетов (КП) и информационных пачек (ИП) периодически

опрашивает эти буферы. Если в буфере накопилось определённое количество пакетов, они поступают в формирователь ИП и КП. В этом устройстве формируется контрольный пакет для будущей ИП, в который записывается информация о пачке: адрес получателя, длина будущей пачки, адрес отправителя, время задержки между КП и ИП и другие параметры, которые находятся в заголовках IP-пакетов. Затем из нескольких IP-пакетов выделяются поля данных, и эта информация помещается в ИП.

Сформировавшиеся оптическая пачка с выхода устройства формирования КП и ИП поступает на нужную длину волны, если эта волна свободна. Если же она занята в этот момент, то пачка помещается в оптический буфер и ожидает некоторое количество времени до отправки.

Таким образом, алгоритм работы входного коммутатора может быть представлен следующим образом:

1. Устройство принятия IP-пакетов осуществляет приём от S_1, \dots, S_n источников пакетов. После принятия это устройство посылает весь IP-трафик на вход классификатора IP-пакетов;
2. Классификатор IP-пакетов считывает заголовок IP-пакета, определяет адрес получателя и посылает пакет в очередь, которая соответствует выходной длине волны;
3. После классификации пакетов они прибывают в нужные электрические буферы. В буфере собирается определённое количество пакетов, нужное для формирования оптической пачки;
4. Далее блоки пакетов помещаются в устройство формирования контрольного пакета и оптической пачки данных. Формирователь КП и ИП последовательно опрашивает электрические буферы. После поступления в формирователь пакетов собирается оптическая пачка, затем формируется КП, в который записывается информация об информационной пачке, адрес получателя и т.п. Также формируется время задержки между КП и ИП;
5. После формирования КП, ИП и времени задержки, информация поступает на выходную длину волны. Если длина волны в этот момент занята, КП и ИП сначала поступают в оптический буфер, затем после освобождения длины волны поступают на выход.

2. Модель входного коммутатора в виде двухфазной СМО

Модель входного коммутатора можно представить в виде двухфазной СМО, показанной на рис. 2.

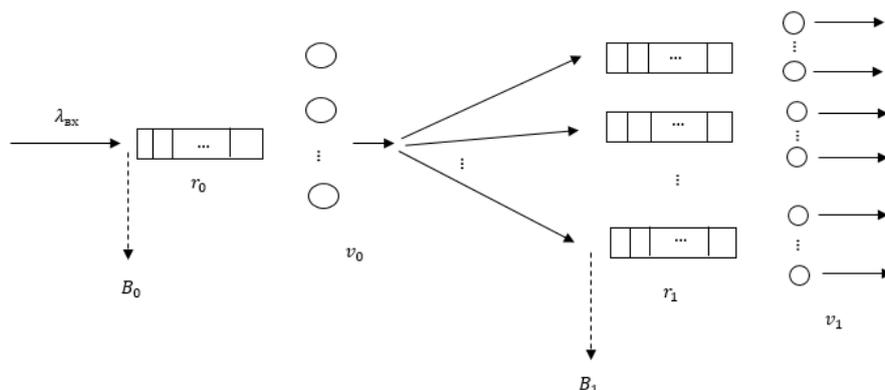


Рис. 2. Модель входного коммутатора сети с оптической коммутацией пачек

Пусть на вход коммутатора поступают пакеты от n IP-источников. От каждого IP-источника поступает пуассоновский поток пакетов с интенсивностью λ_i . Средняя интенсивность потока от n источников равна $\lambda_{\text{вх}} = \sum_{i=0}^n \lambda_i$. Тогда работа классификатора IP-пакетов и электронных очередей (см. рис. 1) может быть описана как $M_{\lambda_{\text{вх}}}/M_{\mu_0}/v_0/r_0$ -система с v_0 -линейными СМО с $r_0 < \infty$ местами для ожидания, в которую поступает пуассоновский поток с интенсивностью $\lambda_{\text{вх}}$, а времена обслуживания пакетов независимы и время обслуживания каждого пакета распределено по экспоненциальному закону с параметром μ_0 . Это система с явными потерями, т.е. если пакет поступает в переполненную систему (все приборы и все места ожидания заняты), пакет блокируется и удаляется. Тогда стационарная вероятность потери пакетов определяется формулой:

$$B_0 = \frac{\rho^{v_0+r_0}}{v_0! \cdot v_0^{r_0}} \cdot \left(\sum_{i=0}^{v_0-1} \frac{\rho^i}{i!} + \frac{\rho^{v_0}}{v_0!} \cdot \frac{1 - (\frac{\rho}{v_0})^{r_0+1}}{1 - \frac{\rho}{v_0}} \right)^{-1},$$

где $\rho = \frac{\lambda_{\text{вх}}}{\mu_0}$.

Также можно получить среднее число пакетов, обслуженных системой в единицу времени (или интенсивность выходного потока):

$$\lambda_{\text{вых}} = \lambda_{\text{вх}} \cdot (1 - B_0).$$

Пусть данный поток является также пуассоновским. Далее этот поток с интенсивностью $\lambda_{\text{вых}}$ поступает в формирователь КП и ИП и в выходные оптические буферные накопители ограниченной длины r_1 и далее в выходные длины волн. Тогда работа этих устройств можно представить в виде системы $M_{\lambda_{\text{вых}}}/M_{\mu_1}/v_1/r_1$, у которой n_1 -линейных СМО с $r_1 < \infty$ местами для ожидания, а времена обслуживания пакетов независимы и время обслуживания каждого пакета распределено по экспоненциальному закону с параметром μ_1 . Нагрузка на каждый буферный накопитель будет распределена равномерно. Далее вероятность блокировки считается аналогичным образом:

$$B_1 = \frac{\beta^{v_1+r_1}}{v_1! \cdot v_1^{r_1}} \cdot \left(\sum_{i=0}^{v_1-1} \frac{\beta^i}{i!} + \frac{\beta^{v_1}}{v_1!} \cdot \frac{1 - (\frac{\beta}{v_1})^{r_1+1}}{1 - \frac{\beta}{v_1}} \right)^{-1},$$

где $\beta = \frac{\lambda_{\text{вых}}}{\mu_1}$.

Таким образом, общая вероятность блокировки во входном коммутаторе рассчитывается по формуле:

$$B_{\text{общ}} = B_0 \cdot B_1.$$

Итак, вероятность блокировки пакетов во входном коммутаторе зависит от числа ТСП-источников и количества мест в электронных буферах. Другие устройства в незначительной степени влияют на вероятность блокировки.

3. Имитационная модель входного коммутатора сети

Алгоритм программы (рис. 3) моделирует линейную разомкнутую СМО с однородным потоком заявок на 2 узла. Из внешней среды в узел 1 поступает простейший поток заявок со средним интервалом 5 миллисекунд. После обслуживания в узле 1 заявки с вероятностью $P = 1$ переходят на обслуживание в узел 2.

Команда **STORAGE** задаёт число приборов в узле. Далее формируется поток заявок (пакетов) командой **GENERATE**. Затем заявка пытается занять один прибор командой **ENTER** и после этого формируется задержка командой **ADVANCE**. Затем заявка покидает прибор узла 1 и заявка передаётся в узел 2, в котором действия происходят аналогичным образом.

```

Uz_1 STORAGE 1; задания число приборов в узле
Uz_2 STORAGE 4; задания число приборов в узле
*****
GENERATE (Exponential(1,.00005,.005)); формирование детерминированного потока
TEST L Q$ch_2,180,Otkaz; проверка длины очереди ch_2
Met_1 QUEUE ch_1; отметка момента поступления заявки в очередь ch_1
ENTER Uz_1; попытка занять один из приборов устройства Uz_1
DEPART ch_1; регистрация момента покидания заявки очереди ch_1
ADVANCE 0.001; формирование задержки
LEAVE Uz_1; освобождение одного прибора многоканального устройства Uz_1
TRANSFER ,Met_2; безусловная (с вероятностью 1) передача заявки в узел 2
*****
Met_2 QUEUE ch_2;
SEIZE Uz_2;
DEPART ch_2;
ADVANCE 0.01;
Met_3 QUEUE ch_3;
RELEASE Uz_2;
TERMINATE 1;
otkaz TERMINATE 1|

```

Рис. 3. Алгоритм расчёта вероятности блокировки

Длительность обслуживания заявок в узле 1, представляющем собой двухканальную СМО, — детерминированная величина.

Длительность обслуживания заявок в узле 2, представляющем собой четырёхканальную СМО, — также детерминированная величина.

На вход системы поступает детерминированный поток заявок, распределённый по экспоненциальному закону (поток IP-пакетов). Первый прибывший пакет поступает в классификатор IP-пакетов. При моделировании он реализуется блоком **ADVANCE**. Время задержки в классификаторе пакетов представляет собой детерминированную величину. Пройдя процедуру классификации, пакет поступает в электронные очереди. Затем пакеты попадают в формирователь КП и ИП. Данная процедура также осуществляется при помощи блока **ADVANCE**, но на значительно большем интервале. Таким образом, программа моделирует двухфазную СМО, в которой первая фаза представляет собой систему $M_{\lambda_{\text{вх}}}|D_{\mu_0}|v_0|r_0$, вторая фаза — $M_{\lambda_{\text{вых}}}|D_{\mu_1}|v_1|r_1$.

Проведя расчёты вероятности блокировки при помощи аналитической модели и путём имитационного моделирования с детерминированными длительностями обслуживания в программе GPSS, можно построить зависимости вероятностей блокировки пакетов от числа мест в очереди (рис. 4 и 5).

Заключение

В статье предложена математическая модель входного коммутатора сети с оптической коммутацией пачек. Проведён расчёт вероятности блокировки информационной пачки во входном коммутаторе при помощи аналитической и имитационных моделей.

Были получены графики зависимости вероятности блокировки от числа мест в очереди в каждой фазе, согласно которым при увеличении числа мест ожидания вероятность блокировки пакетов уменьшается (рис. 4 и 5). Ранее были проведены

исследования вероятности блокировок ИП в промежуточном коммутаторе [3]. Значения вероятностей блокировок во входном коммутаторе будут в разы меньше, чем в промежуточном коммутаторе. Таким образом, основное влияние на общую вероятность блокировки пользовательской информации во всей сети OBS оказывают промежуточные коммутаторы.

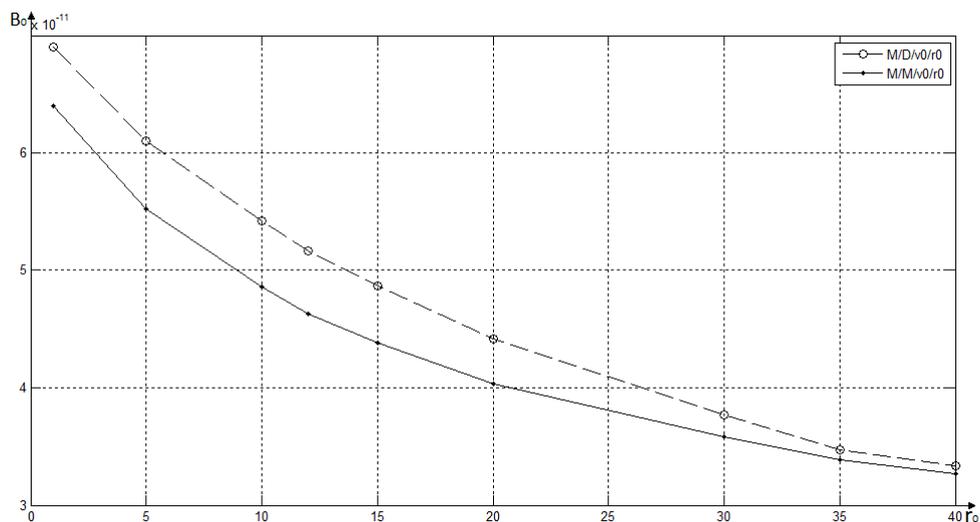


Рис. 4. Зависимость вероятности блокировки от числа мест в очереди на первой фазе СМО

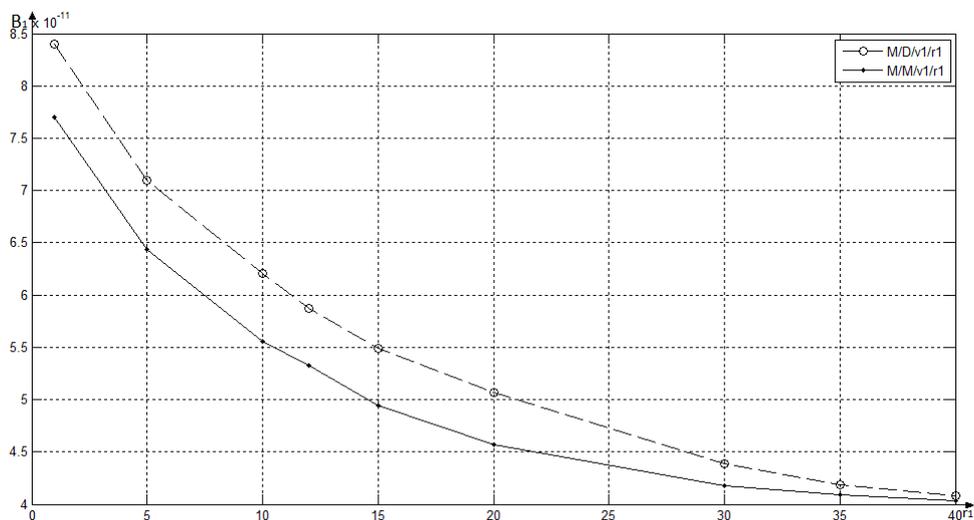


Рис. 5. Зависимость вероятности блокировки от числа мест в очереди на второй фазе СМО

Литература

1. Башарин Г. П., Гудкова И. А., Шibaева Е. Математическая модель функционирования коммутатора в OBS сетис FDL и маршрутизацией с отклонением // T-Comm — Telecommunications and Transport. — 2013. — № 11. — С. 33–36.
2. Battestilli T. Performance Analysis of Optical Burst Switched Network with Dynamic Simultaneous Link Possession. — Department of computer source, 2005.
3. Миронов Ю. Б., Бужин И. Г., Гаидамака Ю. В. Построение и анализ модели оптического коммутатора в сети с оптической коммутацией пачек при применении протокола резервирования JET // T-Comm — Telecommunications and Transport. — 2016. — № 2. — С. 12–18.
4. Kaheel A., Alnuweiri H., Gebali F. Analytical Evaluation of Blocking Probability in Optical Burst Switching Networks. — IEEE, 2004.
5. Вишневецкий В. М. Теоретические основы проектирования компьютерных сетей. — Москва: Техносфера, 2003.
6. Сети и системы передачи информации: телекоммуникационные сети: учебник и практикум. Серия 58 Бакалавр. Академический курс / К. Е. Самуйлов, И. А. Шалимов, Д. С. Кулябов, В. В. Василевский, Н. Н. Васин, А. В. Королькова. — Москва: Юрайт, 2016.

UDC 621.39

DOI: 10.22363/2312-9735-2017-25-2-133-140

The Construction and Analysis of Models of the Input Switch in a Network with Optical Switching

K.E. Samuylov*, I. G. Buzhin[†], Y. B. Mironov[†]

* Department of Applied Probability and Informatics
Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University)
6 Miklukho-Maklaya St., Moscow, 117198, Russian Federation

[†] m/u 33965, Moscow, Russian Federation

Currently, there are two generally recognized principles of switching of information signals in high-speed networks: networks with wave routing, and networks with the principle of optical packet switching. In networks with wave routing it is not required to produce opto-electrical and electro-optical conversions and to create a buffer, but with this switching principle the working range of wavelengths is not efficiently used. In networks with optical packet switching the traffic is transmitted in packets, which consist of a header and an information part of a consistent size. In this case, using of the frequency range is the most complete, but there is a need of optical-electronic conversions. In an effort to combine the advantages of two optical switching technologies, a new combined switching principle was proposed, called optical switching bursts. In this technology there are not buffering and electronic processing in intermediate nodes, there is a reservation of the channel for a limited time. For the effective implementation of such a network connection, we must calculate its probability characteristics. To assess probabilistic characteristics of the network the methods of theory of mass service are widely used. The input switch is one of the key devices on the network. The article describes the input switch of the network with the optical switching of bursts, calculates the probable characteristics of the network using analytical and simulation models. Examples of the calculation of the probability of blocking of packets flowing in the input switch are presented.

Key words and phrases: optical packet switching, wave routing, optical switching of bursts, control packet, information burst

References

1. G. P. Basharin, I. A. Gudkova, E. S. Shibaeva, The Mathematical Model of Functioning of the Switch in the OBS Network with FDL and Routing with Deviation, T-Comm — Telecommunications and Transport (11) (2013) 33–36, in Russian.

2. T. Battestilli, Performance Analysis of Optical Burst Switched Network with Dynamic Simultaneous Link Possession, Department of computer source, 2005.
3. Y. B. Mironov, I. G. Buzhin, Y. V. Gaidamaka, Optical Switch Modelling in Optical Burst Switching Network with Protocol JET, T-Comm — Telecommunications and Transport (2) (2016) 12–18, in Russian.
4. A. Kaheel, H. Alnuweiri, F. Gebali, Analytical Evaluation of Blocking Probability in Optical Burst Switching Networks, IEEE, 2004. doi:10.1109/ICC.2004.1312770.
5. V. M. Vishnevskiy, The Theoretical Basis for the Design of Computer Networks, Technosphere, Москва, 2003, in Russian.
6. K. E. Samuylov, I. A. Shalimov, D. S. Kulybov, V. V. Vasilevskiy, A. V. Korolkova, Networks and Data Transmission Systems: Telecommunications Networks: The Tutorial and Workshop for Undergraduate Academic, Urait, Moscow, 2016, in Russian.

© Самуйлов К. Е., Бужин И. Г., Миронов Ю. Б., 2017