



Анализ алгоритмов обработки очередей с понижающей задержкой



Николай ИГНАТОВ

Nickolay A.IGNATOV

Особенности применения алгоритмов обработки очередей с понижающей задержкой, используемых в IP-сетях для обеспечения гарантированного обслуживания. Проведен сравнительный анализ работы основных спецификаций алгоритма CBWFQ с помощью имитационных моделей. Представлены такие их вычислительные показатели, как среднее время ожидания пакета в очереди, эффект джиттера, потеря пакета при различных значениях входных параметров. Сделан вывод, что метод Голестани эффективен в штатном режиме сети, в условиях же повышенной нагрузки (чрезвычайной ситуации) следует использовать метод случайного выбора классов пакетов алгоритма CBWTQ.

Ключевые слова: система связи, теория массового обслуживания, алгоритм Голестани, IP-технологии, имитационные очереди, LLQ, сравнительный анализ.

Игнатов Николай Александрович — аспирант кафедры «Вычислительные системы и сети» Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ), Москва, Россия.

В IP-сетях для поддержания связи на требуемом уровне используются механизмы обеспечения качества обслуживания (Quality of Service, далее — QoS). Особенно важным это является в чрезвычайных ситуациях, когда отсутствие слаженного действия и эффективного управления может привести к серьезным финансовым или человеческим потерям.

Определение QoS имеет множество значений. В данном случае под QoS будем понимать способность сети предоставлять требуемый уровень обслуживания заданному трафику в определенных технологических рамках. Причем здесь актуален прежде всего выбор наиболее эффективного алгоритма в экстремальных условиях на этапе проектирования системы связи.

Абстрагируясь от особенностей функционирования приложений и сервисов, рационально непосредственно рассматривать различные виды трафика, что ограничивает виды задач типами передаваемых данных. При этом можно говорить о трех основных параметрах, характеризующих эффективность сети: время ожидания пакета в очереди, значение джиттера и потеря пакета при передаче. Под джиттером имеется в виду разброс максималь-

ного и минимального времени прохождения пакета от среднего. Чем меньше будут значения взятых параметров, тем эффективнее окажется работа сети.

ОСНОВНЫЕ АЛГОРИТМЫ

Пакеты в IP-сетях могут обрабатываться на основе различных алгоритмов, включая First in First Out, Priority queuing (далее – PQ), Weighted Fair Queuing, Class-Based Weighted Fair Queuing (они же CBWFQ), Low Latency Queuing (LLQ) и др. Они подробно описываются в научной литературе [2].

В работе [8, с. 2267] рекомендуется использовать алгоритм LLQ для обработки трафика в условиях повышенной нагрузки. LLQ применяется при наличии голосового (VoIP) трафика, а также по ходу видеоконференций. В алгоритме можно задать до четырех приоритетных очередей, остальные классы обслуживать методом CBWFQ.

Задание очереди приоритетов как части LLQ предполагает обработку трафика, требующего немедленной передачи и имеющего приоритет над классами, обрабатываемыми CBWFQ (классами данных). В литературе по теории массового обслуживания [3] дается описание аналитических моделей, которые применяются при настройке оборудования для обработки высокоприоритетного трафика.

Наряду с этим наибольший интерес представляет исследование особенностей конфигурирования работы CBWFQ как части алгоритма обработки очередей с понижающей задержкой.

АНАЛИЗ МОДИФИКАЦИЙ

В алгоритме CBWFQ веса пакетов распределяются в зависимости от класса трафика. Каждый класс занимает необходимую ему часть полосы пропускания в соответствии со своим весом. Если один класс трафика не занимает всю полосу пропускания, тогда другие классы используют свободное пространство. На практике трудно определить, какие правила используются в алгоритмах для выбора класса пакетов, передаваемых в обработку, когда маршрутизатор освобождается. Производители сетевого оборудования не предадут огласке подобную информацию.

В различном оборудовании, использующем алгоритмы CBWFQ, применяются

свои правила обработки очередей. В большинстве платформ CBWFQ реализован с использованием реестра очереди или временного механизма, работа которого заключается в распределении интервалов времени обработки пакетов [8, с. 2267]. Каждый пакет связывается с соответствующим слотом в реестре очереди и вычисляется временное значение его обработки. Но как вычисляется это временное значение, нам неизвестно.

На данный момент наиболее часто упоминаемыми являются два метода планирования очередей [8, 9, 10, 11]:

- алгоритм случайного выбора класса пакетов;
- алгоритм Голестани виртуального времени обработки.

Именно они нами и взяты для исследования и сравнения.

АЛГОРИТМ ГОЛЕСТАНИ

В [10] С. Голестани описывает алгоритм CBWFQ, в котором виртуальное время обработки вычисляется для каждого пакета. Это сумма времени передачи пакета, учитывающая вес класса и как максимальное значение виртуального времени прибытия пакета определенного класса, так и классово независимое его значение относительно общих затрат на транспортировку.

Значение виртуального времени обработки или времени обслуживания каждого пакета вычисляется по формуле [10, с.639]:

$$\tilde{F}_k^i = \frac{1}{r_k} \times L_k^i + \max(\tilde{F}_k^{i-1}, \tilde{v}(a_k^i))$$

где $\tilde{F}_k^0 = 0$, i – индекс пакета,

k – указывает на класс пакета i ,

r_k – вес класса k , $r_k \neq 0$,

L_k^i – время передачи пакета i ,

$\tilde{v}(a_k^i)$ – классово независимое

значение виртуального времени

прибытия пакета i .



Таблица 1

Входные параметры модели

№ № экспе-ри-мен-тов.	Класс 1				Класс 2				Класс 3				общая полоса пропус-кания
	интенсивность поступления пакето- в (пак/мс)	размер буфера (пакетов)	вес класса	полоса пропускания, предоставля- емая классу трафика	интенсивность поступления пакето- в (пак/мс)	размер буфера (пакетов)	вес класса	полоса пропускания, предоставля- емая классу трафика	интенсивность поступления пакето- в (пак/мс)	размер буфера (пакетов)	вес класса	полоса пропускания, предоставля- емая классу трафика	
Работа сети в штатном режиме													
1	0,08	20	0,4	0,42	0,015	512	0,45	0,08	0,045	512	0,15	0,24	0,74
2	0,08	20	0,33	0,42	0,015	512	0,33	0,08	0,045	512	0,33	0,24	0,74
3	0,096	20	0,4	0,50	0,018	512	0,45	0,09	0,054	512	0,15	0,28	0,88
4	0,064	20	0,4	0,34	0,012	512	0,45	0,06	0,036	512	0,15	0,19	0,59
Работа сети в условиях повышенной нагрузки													
5	0,1056	20	0,4	0,55	0,0198	512	0,45	0,10	0,0594	512	0,15	0,31	0,97
6	0,8	20	0,4	4,20	0,015	512	0,45	0,08	0,45	512	0,15	2,36	6,64

Пакет с наименьшим значением виртуального времени обработки выбирается для передачи, когда маршрутизатор свободен. Так, собственно, устанавливается приоритет.

Мы проанализировали результаты работы имитационной модели алгоритма Голестани CBWFQ в программном пакете OPNET modeler.

Существует сходство между этим алгоритмом планирования и правилом наименьшего времени обслуживания в теории массового обслуживания, в котором наивысший приоритет предоставляется группе покупателей, имеющей в среднем более быстрый уровень обслуживания. Такое правило понижает время ожидания в очереди.

АЛГОРИТМ СЛУЧАЙНОГО ВЫБОРА КЛАССА

Второй алгоритм CBWFQ, который нами рассмотрен, предложен Мартином Дж. Фишером [8, 9]. В нем класс пакета для передачи выбирается случайным образом, основываясь на весах класса. Метод сохраняет «справедливость» алгоритма при распределении предоставляемой полосы пропускания между классами передаваемых пакетов. Его легко реализовать в имитационной модели, при этом случайная природа выбора пакетов может в дальней-

шем послужить развитию аналитической модели.

Имитационная модель формирует серии пакетов трех классов. При освобождении маршрутизатора класс следующего пакета для передачи выбирается случайным образом, согласно упорядоченным весам классов. Если в различных классах размеры пакетов не совпадают, тогда веса сначала регулируются делением по среднему значению размера пакета и потом упорядочиваются.

Первый пакет в очереди выбранного класса передается. Класс пакета, который необходимо передать следующим, определяется случайным образом в соответствии с унифицированными весами классов.

Каждому классу присваивается конечный буфер и отслеживается количество пакетов в системе на каждой точке прибытия и отправления. Поточечно отслеживаются и изменения, которые произошли после очередного обслуженного и переданного из системы пакета.

Контроль количества пакетов на входе используется для блокировки прибывающих пакетов в случае переполнения буфера. Время ожидания в очереди фиксируется для каждого пакета.

В конце имитационного процесса собирается статистика среднего времени ожидания в очереди, потери пакетов и значений джиттера для каждого класса трафика.

Таблица 2

Результаты работы имитационных моделей

№ № экс-пер.	полоса пропу- скания	Алгоритм «случайного выбора класса»			Алгоритм Голестани			Разница в%		
		Класс 1 (мс)	Класс 2 (мс)	Класс 3 (мс)	Класс 1 (мс)	Класс 2 (мс)	Класс 3 (мс)	Класс 1	Класс2	Класс3
Значения средних времен ожидания очереди										
Работа сети в штатном режиме										
1	0,74	12,38	7,88	20,57	10,50	5,37	19,20	17,9	46,6	7,1
2	0,74	16,68	9,79	12,31	15,36	8,11	10,76	8,6	20,7	14,4
3	0,88	26,52	11,28	70,19	22,95	7,69	67,74	15,5	46,6	3,6
4	0,59	6,72	5,35	9,45	5,83	3,80	8,65	15,2	40,9	9,2
Работа сети в условиях повышенной нагрузки										
5	0,97	46,37	13,65	334,60	42,42	9,72	342,02	9,3	40,5	-2,2
6	6,64	143,18	14,18	10110,21	155,74	10,57	10703,80	-8,1	34,2	-5,5
Значения джиттера										
Работа сети в штатном режиме										
1	0,74	122,82	73,72	238,77	110,48	47,20	228,02	11,2	56,2	4,7
2	0,74	167,70	101,02	127,39	161,97	69,01	108,12	3,5	46,3	17,8
3	0,88	189,82	87,77	726,60	183,44	57,94	660,46	3,5	51,5	10,0
4	0,59	73,65	57,98	123,21	66,46	35,58	115,42	10,8	63,0	6,7
Работа сети в условиях повышенной нагрузки										
5	0,97	227,65	96,31	2110,48	221,06	66,85	2141,63	3,0	44,1	-1,5
6	6,64	282,11	88,78	12283,85	274,51	62,11	12366,07	2,8	42,9	-0,7
Значения вероятности потери пакетов										
Работа сети в штатном режиме										
1	0,74	0	0	0	0	0	0	-	-	-
2	0,74	0	0	0	0	0	0	-	-	-
3	0,88	0,001	0	0	0,001	0	0	0	-	-
4	0,59	0	0	0	0	0	0	-	-	-
Работа сети в условиях повышенной нагрузки										
5	0,97	0,007	0	0	0,006	0	0	16,7	-	-
6	6,64	0,840	0	0,893	0,842	0	0,893	-0,1	-	0

ОБОСНОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Выбранные модели алгоритмов тестировались с использованием одинаковых входных параметров, что позволило наглядно показать особенности различных спецификаций CBWFQ. Фигурировали три класса трафика: 1, 2 и 3.

Классы трафика определялись такими параметрами, как интенсивность поступления пакетов, размер буфера, вес класса, полоса пропускания. В каждом из шести экспериментов входные параметры класса варьировались (таблица 1).

Голосовой трафик не моделировался. Для всех трех классов по умолчанию выбрано прибытие пакетов с распределением Парето. Было использовано три значения размера пакета данных, ставших преобладающими в IP-трафике [8, с. 2269]. Эти размеры распределились следующим образом: 40 байт (50%), 750 байт (10%) и 1500 байт (40%).

Эксперимент предполагает общую скорость полосы пропускания для всего трафика, включая голосовой, 1544 кбит/с. Размер полосы пропускания для трафика данных равен 1059 кбит/с. И для всех сценариев испытаний использовалась как раз эта цифра.

В таблице 1 представлены входные параметры экспериментов. Имитационные модели разработаны на основании реальных значений уровней полосы пропускания и перегрузки трафика. В ходе исследования проанализированы различия в имитационных моделях двух реализаций CBWFQ, а также зависимость распределения между классами полосы пропускания от изменения трафика. Эксперименты делятся на две группы. Первая (эксперименты 1–4) представляет работу сети в штатном режиме, вторая (эксперименты 5 и 6) – в аварийном режиме.





Эксперимент 1 (стандартная загрузка) — общая используемая полоса пропускания 74%. Здесь классу 2 выделяется полоса намного большая, чем ему требуется, в то время как классу 1 — почти один в один, а классу 3 — меньшая, чем надо.

Эксперимент 2 — полоса пропускания с равными весами, настраиваются которые как в эксперименте 1, но для класса 1 выделяется полоса меньшая, чем ему требуется.

В экспериментах 3 (стандартная полоса пропускания плюс 20% загрузки трафика) и 4 (стандартная полоса минус 20% загрузки) происходит отклонение от 74%-ной загруженности на плюс и минус 20%.

В экспериментах 5 (общая загруженность полосы пропускания 97%) и 6 (десятикратная перегрузка) происходит дальнейшее увеличение трафика. В последнем случае — до аварийной ситуации роста трафика в эксперименте 1 на классы 1 и 3 в десять раз. Предполагается, что класс 2 — контролируемый, используемый для приложений и не подлежащий увеличению нагрузки в эксперименте 6.

ИМИТАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ

В таблице 2 даны результаты работы имитационных моделей алгоритмов.

Приведено сравнение среднего времени ожидания очереди для классов, имеющих разные веса в ходе экспериментов. В первой группе (1–4 эксперименты) модель случайного выбора класса демонстрирует более высокие средние значения времени ожидания очереди (на 3,6–46,6%).

Когда в алгоритме CBWFQ задаются равные веса для всех классов (эксперимент 2), тогда веса классов 1 и 2 уменьшаются, а вес класса 3 увеличивается. Наряду с этим среднее значение времени ожидания очереди значительно увеличивается для классов 1 и 2 и уменьшается для класса 3 в обеих моделях. То есть видна важность выбора весов класса с точки зрения выполнения условий классности трафика.

Из таблицы 2 следует, что модель случайного выбора дает для первой груп-

пы экспериментов более высокие значения джиттера (на 3,5–63%) для всех трех классов трафика, чем модель Голестани. Применительно к эксперименту 2 отмечается увеличение джиттера по сравнению с экспериментом 1. Вместе с тем показаны вероятности потери пакетов, отличные от нуля, для случаев более загруженного трафика.

В таблице 2 представлена разница между результатами работы моделей в процентах. При возрастании общей нагрузки наблюдается уменьшение разницы между моделями Голестани и моделями случайного выбора класса.

ВЫВОДЫ

В рассмотренных вариантах метод Голестани при реализации CBWFQ дает более низкие средние значения времени ожидания очереди, чем метод случайного выбора класса. Это касается классов, которым предоставляется необходимая полоса пропускания для передаваемого трафика.

Анализ работы имитационных моделей алгоритмов CBWFQ позволяет сделать вывод, что алгоритм Голестани показывает наименьшие значения таких параметров, как время ожидания пакета в очереди, эффект джиттера и потеря пакета, в первых четырех экспериментах для всех трех классов трафика, которые отражают работу сети в штатном режиме.

В то же время работа моделей в экспериментах 5 и 6 для классов 1 и 3, которые характеризуются 97-процентной загруженностью полосы пропускания и десятикратным увеличением интенсивности поступления пакетов на маршрутизатор (то есть в момент чрезвычайной ситуации), показала, что наименьшие значения исследуемых параметров имеет алгоритм случайного выбора класса пакета.

Из сказанного следует, что использование метода Голестани в алгоритме CBWFQ является эффективным в штатном режиме сети. А в условиях повышенной нагрузки лучшим становится метод случайного выбора классов пакетов.

Наряду с полученными результатами интерес для дальнейшего исследования представляет определение порогового

значения, при котором происходит переключение с алгоритма случайного выбора класса пакета на метод Голестани.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бородакий В. Ю., Окороченко Г. Е. Анализ средств имитационного моделирования распределенных информационных систем // Научная сессия МИФИ-2007: Сборник научных трудов. В 15 томах. Т. 12: Компьютерные системы и технологии. — М.: МИФИ, 2007. — С. 129–130.
2. Вишневецкий В. М. Теоретические основы проектирования компьютерных сетей. — М.: Техносфера, 2003. — 506 с.
3. Гнеденко Б. В., Коваленко И. Н. Введение в теорию массового обслуживания. — М.: Наука, 1966. — 432 с.
4. Гольдштейн Б. С., Пинчук А. В., Суховицкий А. Л. IP-телефония. — М.: Радио и связь, 2001. — 336 с.

5. Олифер В. Г., Олифер Н. А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. — СПб.: Питер, 2010. — 916 с.

6. Олифер В. Г., Олифер Н. А. Средства анализа и оптимизации локальных сетей. — URL: <http://www.citforum.ru/nets/optimize/index.shtml> (дата обращения 28.06.2012).

7. Яновский Г. Г. Качество обслуживания в сетях IP // Вестник связи. — 2008. — № 1. — С. 1–16.

8. Denise M. Bevilacqua Masi, Martin J. Fischer, David A. Garbin Modeling the performance of low latency Queueing for emergency telecommunications. Proceedings of the 2007 Winter Simulation Conference, 2007. — P. 2266–2275.

9. Fischer, M. J. and D. M. B. Masi, A Quantitative Analysis of the Voice and Data Quality of Service Problem. The Telecommunications Review 2007, Noblis, Falls Church, VA, 2007. P. 66–75.

10. Golestani, S. J. A Self-Clocked Fair Queueing Scheme for Broadband Applications. Proceedings of the IEEE INFOCOM, 1994. P. 636–646.

11. Shortle J. F., Fischer M. J. Approximation for a two-class weighted fair queueing discipline. Performance Evaluation, vol. 67, no. 10, 2010. P. 946–958. ●

ANALYSIS OF ALGORITHMS OF QUEUE PROCEEDING WITH DOWNWARD DELAY

Ignatov, Nikolay A. — Ph.D. student at the department of computer systems and networks of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.

The author analyzes features of queue proceeding algorithms with downward delay used in IP-networks to ensure reliable services, describes comparative analysis of main specifications of CBWFQ algorithm conducted with the help of simulation models. The article demonstrates such computing indices there-of as mean queueing time

of a packet, jitter effect, packet loss under different values of entry parameters. The conclusion is that S. J. Golestani method is efficient when a network is in normal mode, while in extraordinary mode (increased load) it is necessary to use a method of random selection of the classes of packets with CBWTQ algorithm.

Key words: communication system, theory of mass service, Golestani algorithm, IP-technology, simulated queues, LLQ, comparative analysis.

REFERENCES

1. Borodakiy V. Yu., Okorochenko G. E. Analysis of means of simulated modeling of distributed information systems [Analiz sredstv imitatsionnogo modelirovaniya raspredelennykh informatsionnykh sistem]. Scientific session of MIFI-2007: Transactions in 15 volumes. Vol. 12: Computer systems and technology [Komp'yuternye sistemy i tehnologii]. Moscow, MIFI, 2007, pp. 129–130.
2. Vishnevskiy V. M. Theoretical grounds of designing of computer networks [Teoreticheskie osnovy proektirovaniya komp'yuternykh setey]. Moscow, Tehnosfera publ., 2003, 506 p.
3. Gnedenko B. V., Kovalenko I. N. Introduction into the theory of mass service [Vvedenie v teoriyu massovogo obsluzhivaniya]. Moscow, Nauka publ., 1966, 432 p.
4. Goldshteyn B. S., Pinchuk A. V., Suhovitskiy A. L. IP-telephony [IP-telefoniya]. Moscow, Radio i svyaz publ., 2001, 336 p.
5. Olifer V. G., Olifer N. A. Computer networks. Principles, technology, protocols [Komp'yuternye seti. Printsipy, tehnologii, protokoly]. St. Petersburg, Piter publ., 2010, 916 p.

6. Olifer V. G., Olifer N. A. Means of analysis and optimization of local networks [Sredstva analiza i optimizatsii lokal'nykh setey]. URL: <http://www.citforum.ru/nets/optimize/index.shtml> (last accessed 28.06.2012).

7. Yanovskiy G. G. Quality of service in IP-networks [Kachestvo obsluzhivaniya v setyah IP]. Vestnik svyazi, 2008, No 1, pp. 1–16.

8. Denise M. Bevilacqua Masi, Martin J. Fischer, David A. Garbin. Modeling the performance of low latency queueing for emergency telecommunications. Winter Simulation Conference 2007: 2266–2275.

9. Fischer, M. J., Masi D. M.B., A Quantitative Analysis of the Voice and Data Quality of Service Problem. The Telecommunications Review 2007, Noblis, Falls Church, VA, 2007: 66–75.

10. Golestani, S. J. A Self-Clocked Fair Queueing Scheme for Broadband Applications. Proceedings of the IEEE INFOCOM, 1994: 636–646.

11. Shortle J. F., Fischer M. J. Approximation for a two-class weighted fair queueing discipline. Performance Evaluation, vol. 67, Iss. 10, 2010, pp. 946–958.

Координаты автора (contact information): Игнатов Н. А. (Ignatov N. A.) – proterian2000@yandex.ru

Статья поступила в редакцию / article received 04.04.2013
Принята к публикации / article accepted 04.06.2013

