

УДК 004.75

ЭФФЕКТИВНОСТЬ РЕЗЕРВИРОВАННЫХ ПЕРЕДАЧ В РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СИСТЕМАХ С ОГРАНИЧЕНИЕМ НА ДЛИНУ ОЧЕРЕДЕЙ УЗЛОВ

Паршутина С.А.

Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики

E-mail: svetlana.parshutina@gmail.com

В работе представлены результаты имитационного моделирования распределенных систем с ограничением на длину очередей и варьирующимся размером буферов памяти узлов передачи и обработки. В качестве показателей эффективности резервированной передачи критичных к времени задержки пакетов при беспriorитетной дисциплине обслуживания выбраны среднее время задержки в сети и вероятность своевременной доставки в адресуемые узлы. Показана область целесообразности резервированных передач, определяемая текущей нагрузкой в системе (интенсивностью потока запросов). Установлено, что отбрасывание резервированных копий пакетов при переполнении очередей узлов приводит, с одной стороны, к уменьшению вероятности доставки части из них в узлы назначения, но с другой стороны, к повышению вероятности *своевременной* доставки оставшихся в системе копий.

Ключевые слова: надежность, резервированная передача пакетов, системы массового обслуживания, распределенные системы, имитационное моделирование

EFFECTIVENESS OF REDUNDANT TRANSMISSIONS IN DISTRIBUTED SYSTEMS WITH LIMITED QUEUE CAPACITIES OF THE NODES

Parshutina S.A.

The results of simulating distributed systems with limited queue capacities of nodes and varying sizes of their memory buffers are presented. The effectiveness of redundant transmission of packets that are critical to delays is indicated based on the average delay and the probability of their timely delivery, given that packets are handled using the FIFO service discipline. The scope of effectiveness of redundant transmissions, which depends on the current load in the system – the intensity of requests, is shown. It is found that dropping redundant copies of packets in case of queue overflows leads, on the one hand, to the decrease in the probability of delivery of some of them but, on the other hand, to the increase in the probability of *timely* delivery of those copies that have not been dropped.

Keywords: reliability, redundant packet transmission, queueing systems, distributed systems, simulation

Введение

Необходимость разработки методов обеспечения надежности и своевременности обмена данными в распределенных вычислительных системах обусловлена наличием неблагоприятных факторов: ненадежности среды передачи, перегрузки задействованных компьютерных сетей, возможных программных и аппаратных ошибок сетевого оборудования, отказов и временной недоступности узлов передачи и обработки.

Эти факторы принимались во внимание при построении аналитических и имитационных моделей распределенных систем с многопутевым резервированным распределением запросов к группе серверов кластера и многопутевой резервированной передачей данных между парой взаимодействующих узлов [2–4, 7, 8, 11]. На основе предложенных моделей было показано существование области целесообразности и оптимальной кратности резервирования передач (распределения запросов через сеть), то есть передач резервных копий пакетов (запросов) более чем по одному пути в системах с многопутевой маршрутизацией.

Однако в предложенных моделях не исследовалось влияние длины очередей и размера выделяемых из памяти буферов в коммуникационных узлах (маршрутизаторах) и адресуемых узлах (серверах) на среднее время задержки пакетов в сети (среднее время пребывания запросов в системе) и вероятность своевременной доставки пакетов в узлы назначения с учетом предельно допустимого времени задержки.

В сетях с коммутацией пакетов основная причина роста задержек и «потерь» (отбрасывания) пакетов – их буферизация в коммуникационных узлах и обслуживание согласно заданному приоритету при выбранной политике управления перегрузками [1, 5]. Представляет интерес исследование влияния заполненности очередей узлов системы на среднее время задержки и вероятность успешной (своевременной) доставки пакетов в узлы назначения при задании максимального объема буферной памяти и максимальной задержки (предельно допустимого времени пребывания в системе).

Модель резервированных передач в распределенных системах с ограничением на длину очередей узлов

На рисунке 1 представлена построенная в AnyLogic 7 Professional имитационная модель распределенной системы с передачей запросов (пакетов данных) от узла-источника (*source*) к пяти узлам-приемникам (*server1–server5*).

Создаваемые источником запросы клонируются (*req_clone*), и их резервные копии отправляются в узлы назначения по маршрутам с общими коммуникационными узлами (*router1, router2, ..., router20*), причем выбор пути в блоках *ch_1, ch_2...* происходит на основе алгоритма

кругового обслуживания (Round Robin). Успешно доставленные в адресуемые узлы (*server1–server5*) запросы покидают систему через блоки *serviced1–serviced5*. Поток запросов интенсивности Λ , c^{-1} – однородный; интервалы между поступлениями в систему запросов распределены экспоненциально; дисциплина обслуживания – беспriorитетная; запросы обслуживаются в порядке их поступления в очередь (FIFO).

Преждевременное удаление запросов из системы происходит в случае:

- повреждения пакетов (искажений и стираний битов) из-за внешних и внутренних помех и других ошибок, включая недоступность узлов назначения, возникающих с заданной вероятностью при передачах от одного узла к другому, и переполнения очередей (через блоки *loss1, loss2, ..., loss1_N–loss5_N*);
- превышения предельно допустимого времени пребывания запроса в системе t_0 , с (*timeout1–timeout5*);
- если одна из резервных копий данного запроса уже была успешно доставлена в один из узлов назначения (*relevant1–relevant5*).

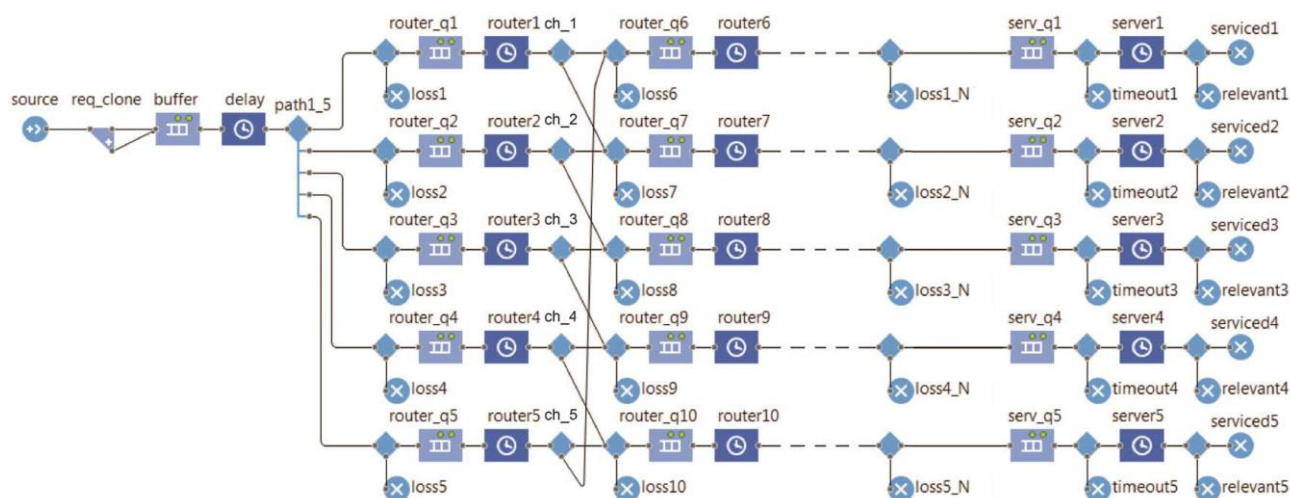


Рисунок 1 – Фрагмент модели распределенной системы с резервированием передач

Примем, что задержка, возникающая при передаче по линиям связи и приводящая к задержке в очередях выходных портов промежуточных узлов, либо отсутствует, либо учитывается при нахождении запросов в очередях входных портов следующих на пути узлов и задержке обслуживания RD , с (в коммуникационных узлах) и SD , с (в адресуемых узлах). Таким образом, пропускную способность линий связи BW , бит/с учитываем только при буферизации запросов в принимающих портах промежуточных узлов и узлов назначения.

Пусть время распространения сигнала $t_{prg} = l/S$, где l , м – протяженности сегментов линий связи; S , м/с – скорость распространения электромагнитных волн, которая зависит от физической среды и колеблется от 0,6 до 0,9 скорости света в вакууме [6]. Задержка обслуживания в узлах: RD

$= SD = t_{prg} + buffTime + procTime$; время буферизации: $buffTime = (N + 64)/BW + 0,96 \cdot 10^{-6}$, включая преамбулу кадра в 64 бита и время межкадрового интервала $0,96 \cdot 10^{-6}$ с; время обработки пакета – $procTime$, которое в данной работе задается с использованием экспоненциального распределения с параметром λ .

Предположим, что промежуточные узлы, узлы назначения и сегменты линий связи имеют одинаковые технические характеристики. Пусть $l = 100$ м; $S = 0,7$ м/с; $BW = 100$ Мбит/с; $\lambda = 2,5$; $t_0 = 4,2 \cdot 10^{-3}$ с. Число передаваемых копий пакетов, или кратность резервирования передач, $k_1 = 1$ (без резервирования), $k_2 = 2$, $k_3 = 3$; общее число поступающих в систему запросов $M = 5 \cdot 10^4$ (альтернативно задается время моделирования).

Размер пакетов зависит от типа трафика (особенностей взаимодействующих через сеть приложений) и, следовательно, используемых сетевых протоколов. Примем, что исследуются распределенные системы «поверх» сетей на базе технологии Ethernet; размер пересылаемых кадров варьируется от 512 до 12144 бит и задается согласно равномерному дискретному или триангулярному распределению (в AnyLogic – ‘uniform_discr’ и ‘triangular’, соответственно). При равномерном дискретном распределении выбор длины пакета происходит из набора значений: 512, 1024, 2048, 4096, 8192, 12144 бит. Применять триангулярное распределение имеет смысл тогда, когда известен наиболее вероятный размер кадров (пусть 4096 бит). Получаемые с помощью триангулярного распределения значения округляются до ближайшего целого.

Требуется задать емкость буферов выходного порта (портов) источника, входных портов промежуточных и адресуемых узлов – максимальную длину очередей RQ_b (*buffer*), RQ_r (*router_q1*, *router_q2...*) и RQ_s (*serv_q1–serv_q5*) соответственно. Считаем, что при одинаковом размере (длине) пакетов емкости буферов технически совпадают с максимальными размерами очередей, и значения RQ_b , RQ_r и RQ_s соответствуют максимальному числу находящихся в очередях запросов – в штуках. При варьирующейся длине пакетов эти значения соответствуют максимальным размерам буферов – в битах. Во втором случае вычисляются: длина N , бит поступившего в очередь пакета и сумма длин уже находящихся в данном буфере (очереди) пакетов. При сопоставлении значений этих величин принимается решение о наличии достаточного места в очереди для очередного запроса. В ситуации нехватки места данный запрос отбрасывается.

Узлы безотказны и непрерывно доступны, битовые и иные ошибки отсутствуют, а запросы досрочно покидают систему либо из-за переполнения очередей, либо из-за превышения максимального времени пребывания в системе. Длину очередей и размер блоков выделяемой на создание буферов памяти в коммуникационных узлах (и в качестве упрощения – адресуемых) определим для примера исходя из возможностей конфигурации маршрутизаторов Cisco серии

10000, моделей с процессором PRE3/PRE4 [10]. Пусть длина очередей во входных портах узлов минимальна – $RQ_r = RQ_s = 16$, а $RQ_b = 4096$. Размер буферов: 104 байта (*small buffers*), 600 байт (*middle buffers*) и 1524 байта (*big buffers*) [9].

Для примера выберем варианты создания буферов:

- одинакового размера в 1524 байт (12192 бит), подходящих для кадров максимального размера выбранной технологии (12144 бит) – *вариант I*;
- одинакового размера в 600 байт (4800 бит), способных принять кадры наиболее вероятного размера (4096 бит) – *вариант II*;
- разного размера в 104, 600 и 1524 байт в количестве 3, 10 и 3 шт. – *вариант III*.

Соответственно, отбрасывание запросов происходит, если:

- текущий размер очереди равен ее максимальному размеру (емкости);
- размер прибывшего запроса $N > 4800$;
- не осталось буферов нужного размера для очередного запроса.

В последнем случае размер каждого находящегося в настоящий момент времени в очереди запроса сопоставляется с буфером подходящего размера, после чего определяется число и размер оставшихся «свободных» буферов.

На рисунке 2 – результаты моделирования резервированной передачи пакетов через сеть при кратности резервирования k_1 (кривые 1, 4, 7, 10), k_2 (кривые 2, 5, 8, 11) и k_3 (кривые 3, 6, 9, 12). Кривые 7–12 соответствуют *варианту I* создания буферов и их последующего выделения для запросов, поступающих в узел из сети, кривые 1–6 – *варианту III*. Длины пакетов заданы согласно треугольному (кривые 1–3 и 10–12) и равномерному дискретному распределению (кривые 4–9).

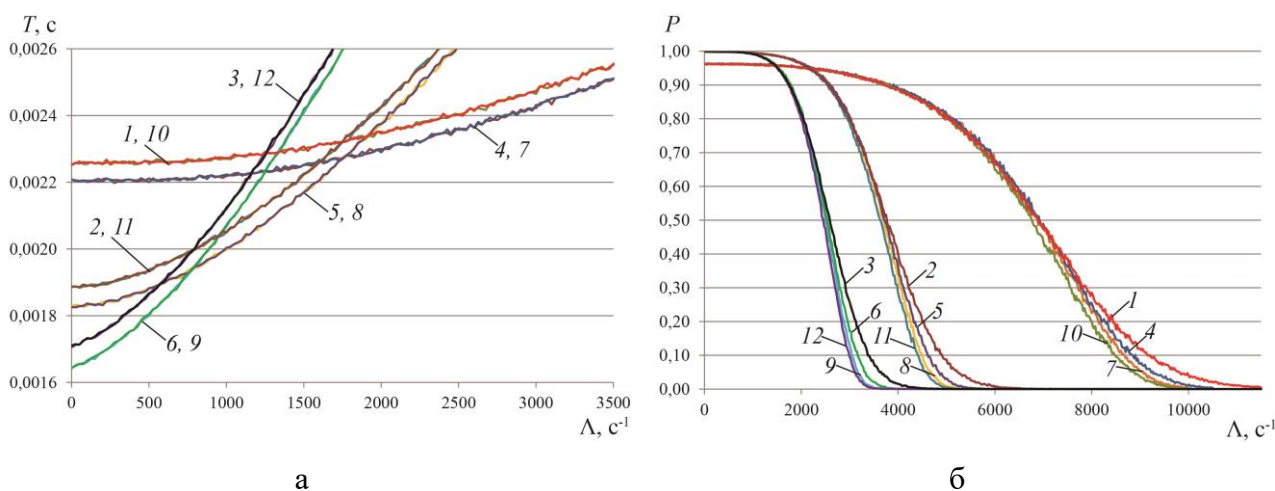


Рисунок 2 – Среднее время задержки в сети (а) и вероятность своевременной доставки запросов (пакетов) в узлы назначения (б) для вариантов создания буферов I и III

Область целесообразности резервирования передач существует для всех рассмотренных вариантов создания буферов и распределения размеров передаваемых кадров. Отметим, что

среднее время задержки пакетов в сети (рисунок 2а) оказывается ниже для случая с равномерным дискретным распределением размеров пересылаемых кадров, по сравнению со случаем триангулярного распределения, за счет меньшего среднего размера кадра и, как результат, меньшего времени буферизации. Влияние выбранного варианта создания буферов и распределения размеров передаваемых кадров на вероятность своевременной доставки запросов в узлы назначения (рисунок 2б) повышается по мере возрастания интенсивности потока запросов и, соответственно, роста заполнения очередей и числа отброшенных запросов.

Сравним варианты с варьирующимися по размеру буферами при триангулярном (кривые 1–3) и равномерном дискретном (линия 4–6) распределении размеров передаваемых запросов. Так, при численном превалировании недоставленных запросов вероятность успешной доставки в случае триангулярного распределения выше. Это может быть следствием либо большего числа «попаданий» (*hits*), то есть успешного выделения буферов заданного размера для поступающих из сети запросов, либо большего числа «промахов» (*misses*) при нехватке буферов запрашиваемого размера [9]. Во второй ситуации «промахи» приводят к потере запросов, но одновременно с этим и к уменьшению нагрузки в сети, в результате чего повышается вероятность доставки остальных запросов. Применительно к рассматриваемым вариантам причиной более высокой вероятности доставки запросов при триангулярном распределении размеров кадров (кривые 1–3), чем при равномерном дискретном распределении (кривые 4–6), является большее число «промахов» и, как следствие, большая доля «отброшенных» запросов.

На рисунке 3 приведены результаты моделирования для *варианта II* создания буферов. Длины пакетов заданы согласно триангулярному (кривые 1–3) и равномерному дискретному распределению (кривые 4–6).

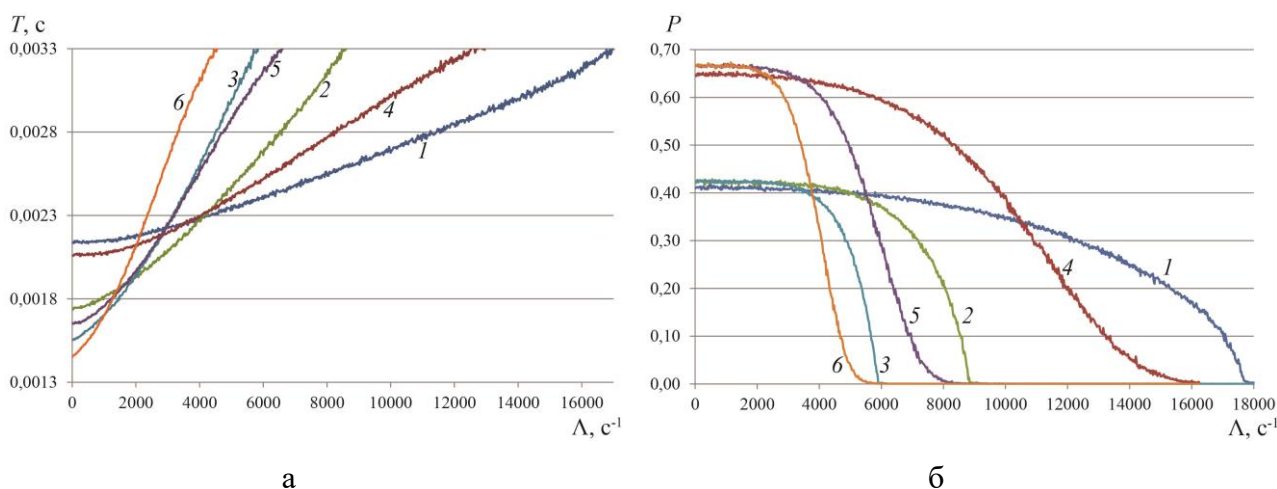


Рисунок 3 – Среднее время задержки в сети (а) и вероятность своевременной доставки запросов (пакетов) в узлы назначения (б) при создании буферов для варианта II

При треугольном распределении размеров пересылаемых пакетов вероятность своевременной доставки (рисунок 3а) существенно меньше, чем при равномерном дискретном распределении. В то же время из-за большего числа «промахов» и последующего уменьшения нагрузки в сети при треугольном распределении наблюдается выигрыш в среднем времени пребывания запросов в системе (рисунок 3б).

Заключение

Исследовано влияние политики управления очередями и выделения буферной памяти в узлах распределенной системы на эффективность многопутевых резервированных передач при учете предельно допустимого времени задержки пакетов в сети. При этом целесообразность резервирования оценена с точки зрения среднего времени задержки пакетов в сети (среднего времени пребывания запросов в системе) и вероятности их успешной доставки (доли своевременно доставленных пакетов) в адресуемые узлы.

По мере возрастания интенсивности потока запросов, с одной стороны, увеличивается число отбрасываемых пакетов из-за нехватки выделенной буферной памяти в узлах. С другой стороны, уменьшается нагрузка в системе и, следовательно, время ожидания в узлах, что приводит к снижению числа несвоевременно доставленных и, как результат, к увеличению числа принятых к обслуживанию адресуемыми узлами запросов. Таким образом, уменьшение емкости очередей в узлах может способствовать снижению среднего времени пребывания запросов в системе и увеличению вероятности их успешной доставки в узлы назначения.

Список литературы

1. Алиев Т.И. Основы моделирования дискретных систем. СПб: СПбГУ ИТМО, 2009. 363 с.
 2. Богатырев В.А., Паршутина С.А. Анализ влияния кратности резервирования многопутевых передач на вероятность их своевременного обслуживания // Информационные технологии. 2018. Т. 24. № 12. С. 772–781.
 3. Богатырев В.А., Паршутина С.А. Многопутевое резервированное распределение через сеть критичных к задержкам запросов // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2016. № 10 (148). С. 41–46.
 4. Богатырев В.А., Паршутина С.А. Модели многопутевой отказоустойчивой маршрутизации при распределении запросов через сеть // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2015. № 12 (138). С. 23–28.
 5. Вишневский В.М. Теоретические основы проектирования компьютерных сетей. М.: Техносфера, 2003. 512 с.
-

6. Олифер В., Олифер Н. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: Учебник для вузов. 5-е изд. СПб.: Питер, 2016. 992 с.
 7. Паршутина С.А. Организация имитационных экспериментов при проектировании распределенных компьютерных систем с резервированной передачей данных // Научно-технический вестник информационных технологий механики и оптики. 2017. Т. 17. № 5. С. 841–849.
 8. Bogatyrev V.A., Parshutina S.A. Efficiency of redundant multipath transmissions of requests through the network to destination servers // Communications in Computer and Information Science. 2016. V. 678. P. 290–301.
 9. Buffer Tuning for all Cisco Routers. 2016. URL: <https://www.cisco.com/c/en/us/support/docs/routers/10000-series-routers/15091-buffertuning.html> (дата обращения: 30.01.2019).
 10. Cisco 10000 Series Router Quality of Service Configuration Guide. 2013. URL: <https://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/routers/10000/10008/configuration/guides/qos/qoscf/10queue.html> (дата обращения: 30.01.2019).
 11. Parshutina S.A., Bogatyrev V.A. Simulation modeling and optimization of the redundant processes of transmitting and handling requests in distributed computer systems // В сборнике: Распределенные компьютерные и телекоммуникационные сети: управление, вычисление, связь (DCCN-2017). Материалы Двадцатой международной научной конференции под общ. ред. В.М. Вишневого. 2017. С. 206–213.
-