

РЕЗЕРВИРОВАННАЯ ПЕРЕДАЧА ДАННЫХ ЧЕРЕЗ АГРЕГИРОВАННЫЕ КАНАЛЫ В СЕТИ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

В. А. БОГАТЫРЕВ¹, С. В. БОГАТЫРЕВ²

¹Университет ИТМО, 197101, Санкт-Петербург, Россия

E-mail: Vladimir.bogatyrev@gmail.com

²Компания „Самсунг“, Сеул, Корея

Для информационно-коммуникационных систем реального времени исследованы возможности повышения вероятности безошибочной и своевременной доставки пакетов через агрегированные каналы в результате резервированной передачи копий пакетов через несколько каналов при условии доставки адресату копии пакета хотя бы через один из них.

Ключевые слова: агрегирование каналов, реальное время, резервирование, вероятность своевременного обслуживания, пакет, резервные копии пакетов

Введение. Эффективность и безопасность функционирования информационно-коммуникационных систем реального времени определяется структурной надежностью сети и функциональной надежностью процесса передачи данных, выражаемой в безошибочной и своевременной доставке пакетов адресату [1—5].

Методы обеспечения структурной надежности предполагают резервирование каналов, агрегирование которых позволяет сбалансировать нагрузки, снизить задержки и повысить производительность сети [1]. Для обеспечения надежности доставки данных адресуемым узлам используются протоколы с подтверждениями передачи пакетов и их повторными посылками, что для систем реального времени может привести к недопустимому увеличению задержек доставки пакетов [6].

Для систем с резервированием каналов увеличение вероятности безошибочной доставки пакетов за ограниченное время возможно путем резервированной передачи копий пакетов по нескольким каналам при условии, что хотя бы одна копия пакета будет доставлена адресату своевременно.

При таком подходе надежность доставки пакетов адресату обеспечивается без использования протоколов подтверждений и повторных передач. Следует отметить, что резервированная передача пакетов адресуемому узлу приводит к увеличению интенсивности потока передаваемых пакетов, что, в свою очередь, может привести к увеличению задержек передачи каждой копии пакета (увеличению среднего времени пребывания запросов на передачу пакетов). С другой стороны, резервированная передача, из-за стохастичности независимого обслуживания запросов на передачу пакетов через разные каналы, может привести к увеличению вероятности своевременной доставки копии пакета хотя бы по одному из каналов.

Таким образом, резервированная передача данных приводит к техническому противоречию, которое должно учитываться при проектировании сетей передачи пакетов, критичных к времени доставки, в том числе для сетей реального времени.

Возможности сокращения среднего времени ожидания резервированных копий запросов в идеально надежных многоканальных системах массового обслуживания с общей очередью исследованы в работе [7]. Механизмы повышения вероятности своевременного выполнения резервированных запросов в кластере, каждый узел которого представляется одноканальной системой обслуживания, проанализированы в работах [8, 9] с учетом с учетом отказов, ошибок и требований своевременности вычислений, при этом возможности повышения

эффективности кластерных систем на основе перераспределения запросов исследованы в работах [10—13].

Цель настоящей статьи — исследование возможностей повышения вероятности безошибочной и своевременной доставки пакетов через агрегированные каналы в результате резервированной передачи копий пакетов через несколько каналов.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

— выбор критериев эффективности передачи данных в реальном времени через резервированные каналы;

— формирование вариантов организации резервированной передачи данных через агрегированные каналы;

— обоснование выбора вариантов передачи данных через агрегированный канал, идеальный по надежности;

— обоснование выбора вариантов передачи данных через агрегированный канал с учетом возможности отказов и недоставки безошибочных пакетов.

Влиянием потерь на реализацию множественного доступа к каналам будем пренебрегать [14—16].

Критерий эффективности передачи данных в реальном времени. Эффективность передачи данных в распределенных системах и сетях характеризуется комплексом показателей, в том числе средним временем пребывания запросов на передачу пакетов в сети, вероятностью безошибочной доставки пакетов в адресуемые узлы, вероятностью потери пакетов, коэффициентами готовности и оперативной готовности.

В работе [7] в качестве основного показателя эффективности резервированного обслуживания, в том числе запросов на передачу через агрегированный канал, рассматривается среднее время пребывания запросов в системе. Вместе с тем для систем реального времени эффективность обслуживания запросов оценивается вероятностью неперевышения времени ожидания запросов относительно заданного предельно допустимого порога t_0 .

Вероятность неперевышения времени ожидания одной копии запросов с учетом увеличения интенсивности запросов (при k -кратном резервировании копий запросов), приходящейся на каждый канал, до $\Lambda k/n$ определяется как [10—13]

$$d = 1 - \frac{k}{n} \Lambda v \exp \left[-t_0 \left(v^{-1} - \frac{k}{n} \Lambda \right) \right],$$

где $v=L/s$ — среднее время передачи пакета длиной L бит при битовой скорости передачи s , Λ — интенсивность входного потока запросов на передачу пакетов, n — общее число работоспособных каналов.

Вероятность своевременной (за время, меньшее t_0) доставки хотя бы одной из k копий, передаваемых по разным каналам, вычисляется как

$$D = 1 - (1 - d)^k.$$

Рассмотренные показатели характеризуют вероятность своевременной резервированной доставки пакетов хотя бы по одному из k каналов в условиях безотказности и безошибочности передачи.

Для более полной (всесторонней) оценки эффективности передачи данных в реальном времени с учетом ненадежности резервированных каналов предлагается ввести комплексный показатель, учитывающий следующие вероятности:

— работоспособного состояния системы в момент поступления запроса;

— безотказности k каналов, выделенных для передачи пакета во время его пребывания в системе;

— не превышения времени ожидания запросов относительно заданного значения t_0 в одном выделенном канале или хотя бы в одном из k каналов, задействованных в передаче k копий пакетов;

— безошибочности передачи пакета по каналам связи и хотя бы в одном из k каналов, задействованных в передаче k копий пакетов.

При агрегировании N каналов предлагаемый неформальный критерий K имеет физический смысл, так как соответствует вероятности своевременной доставки (за время, меньшее t_0) хотя бы одной из k копий пакета, передаваемых через k каналов, выбранных из n каналов, работоспособных в момент поступления запроса на передачу пакета:

$$K = \sum_{n=1}^N P_n \{1 - (1 - pbd)^k\},$$

здесь P_n — вероятность работоспособности n из N агрегированных каналов в момент поступления запроса на передачу пакета; p — вероятность безотказности для каждого канала во время пребывания запроса на передачу через него пакета; $b = (1 - B)^L$ — вероятность безошибочности передачи пакета длиной L бит; B — битовая вероятность ошибочной передачи.

Эффективность резервирования передачи данных. Вероятность безошибочной и своевременной доставки хотя бы одной копии пакета адресату при работоспособности n каналов определяется как

$$R = 1 - \left(1 - (1 - B)^L \left(1 - \frac{Lk}{sn} \Lambda \exp \left[-t_0 \left(\frac{s}{L} - \frac{k}{n} \Lambda \right) \right] \right) \right)^k. \quad (1)$$

Результаты расчета вероятности R в зависимости от кратности резервирования k передач приведены на рис. 1. Расчет выполнен при $n=6$, $L = 1000$ бит, $B=5 \cdot 10^{-5}$ бит $^{-1}$, $s = 10^8$ бит/с. На рис. 1, а представлена зависимость, рассчитанная при предельно допустимой задержке в очереди $t_0=2 \cdot 10^{-5}$ с, кривые 1—5 соответствуют интенсивностям входного потока запросов на передачу пакетов $\Lambda = 0,6 \cdot 10^5$; $0,85 \cdot 10^5$; $0,95 \cdot 10^5$; $1,2 \cdot 10^5$; $1,5 \cdot 10^5$ с $^{-1}$. На рис. 1, б приведена зависимость, рассчитанная при $\Lambda = 0,95 \cdot 10^5$ с $^{-1}$, кривые 1—5 соответствуют $t_0 = 0,5 \cdot 10^{-5}$; $1 \cdot 10^{-5}$; $2 \cdot 10^{-5}$; $3 \cdot 10^{-5}$; $4 \cdot 10^{-5}$ с.

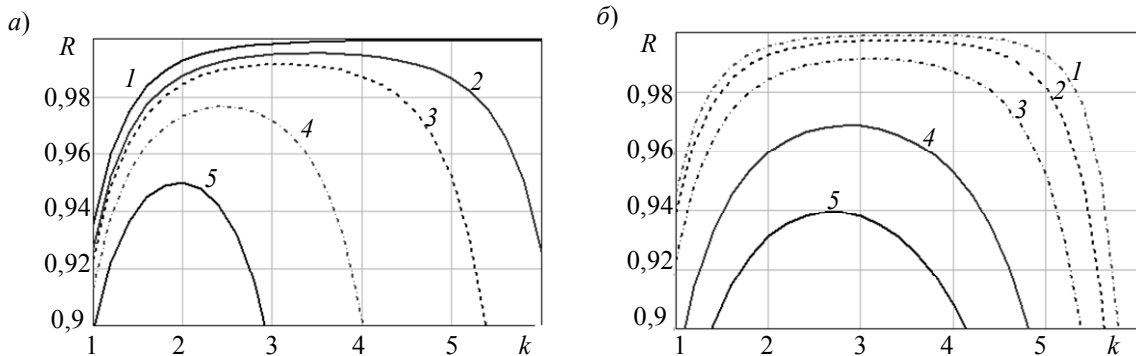


Рис. 1

Представленные зависимости показывают наличие области эффективности резервированных передач пакетов, что позволяет сделать вывод о существовании оптимальной кратности резервирования при необходимости своевременной и безошибочной доставки адресату хотя бы одной из копий передаваемых пакетов.

Вместе с тем данные зависимости, демонстрируя целесообразность резервированной передачи копий пакетов, не позволяют оценить степень влияния на одновременное повышение своевременности и безошибочности резервированной передачи каждой из этих составляющих.

Вероятность своевременной и безошибочной доставки адресату хотя бы одной из k резервных копий пакетов для идеальных безотказных и безошибочных агрегированных каналов определим как

$$R = 1 - \left(\frac{Lk}{sn} \Lambda \exp \left[-t_0 \left(\frac{s}{L} - \frac{k}{n} \Lambda \right) \right] \right)^k. \quad (2)$$

На рис. 2 представлены зависимости $R(k)$, вычисленные по формуле (1) с учетом возможных ошибок передач и по формуле (2) без их учета. Расчет выполнен при $n=6$ и $t_0=2 \cdot 10^{-5}$ с. При интенсивностях $\Lambda = 0,85 \cdot 10^5$; $0,95 \cdot 10^5$; $1,5 \cdot 10^5$ с $^{-1}$ кривые 1—3 соответствуют вероятностям своевременной доставки хотя бы одной из k копий пакетов, передаваемых через идеальные по безошибочности каналы, а кривые 4—6 — через каналы с битовой вероятностью ошибок $B=5 \cdot 10^{-5}$ бит $^{-1}$.

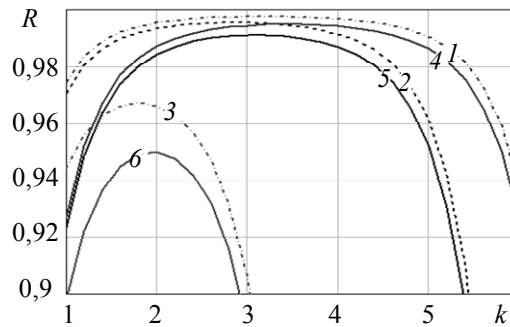


Рис. 2

Представленные зависимости позволяют сделать вывод, что основной эффект от резервированной передачи заключается в повышении вероятности своевременной доставки хотя бы одной копии адресату даже без учета возможных ошибок, возрастание же битовой вероятности ошибок усиливает эффект от резервирования передач. Из графиков видно, что существует оптимальная кратность резервирования передач копий запросов, при которой достигается максимум вероятности своевременной и безошибочной резервированной доставки пакетов адресатам, причем при возрастании вероятности ошибок увеличивается оптимальное значение кратности резервирования.

Предлагаемый подход может быть реализован при построении информационных систем различного прикладного назначения [17—20].

Заключение. Для информационно-коммуникационных систем реального времени, критичных к безошибочной доставке пакетов данных за ограниченное время, исследованы возможности повышения вероятности безошибочной и своевременной доставки пакетов через агрегированные каналы в результате резервированной передачи копий пакетов через несколько каналов.

Представлены зависимости, показывающие существование области эффективности резервированных передач пакетов и оптимальной кратности резервирования при необходимости своевременной и безошибочной доставки адресату хотя бы одной из копий передаваемых пакетов.

Установлено, что в силу стохастичности времени ожидания пакетов в очередях разных каналов повышается вероятность своевременной доставки копии пакета хотя бы через один из каналов, причем возрастание битовой вероятности ошибок в каналах усиливает эффект от резервирования передач.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Черкесов Г. Н. Живучесть и отказобезопасность ответственных технических систем // Проектирование и технология электронных средств. 2015. № 1. С. 15—24.

2. Шубинский И. Б. Функциональная надежность информационных систем: методы анализа. М.: Изд-во «Журнал „Надежность“», 2012. 296 с.
3. Aleksanin S. A., Zharinov I. O., Korobeynikov A. G., Perezyabov O. A., Zharinov O. O. Evaluation of chromaticity coordinate shifts for visually perceived image in terms of exposure to external illuminance // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2015. Vol. 10, N 17. P. 7494—7501.
4. Богатырев В. А., Богатырев С. В., Богатырев А. В. Оптимизация древовидной сети с резервированием коммутационных узлов и связей // Телекоммуникации. 2013. № 2. С. 42—48.
5. Aliev T. I., Rebezova M. I., Russ A. A. Statistical methods for monitoring travel agencies // Automatic Control and Computer Sciences. 2015. Vol. 49, N 6. P. 321—327.
6. Богатырев В. А., Осипов А. В., Богатырев С. В. и др. Организация межмашинного обмена при резервировании магистралей // Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО. 2011. № 2. С. 171.
7. Dudin A. N., Sun B. A multiserver MAP/PH/N system with controlled broadcasting by unreliable servers // Automatic Control and Computer Sciences. 2009. N 5. P. 32—44.
8. Bogatyrev V. A., Bogatyrev A. V. Functional reliability of a real-time redundant computational process in cluster architecture systems // Automatic Control and Computer Sciences. 2015. Vol. 49, N 1. P. 46—56. DOI: 10.3103/S0146411615010022.
9. Богатырев В. А., Богатырев А. В. Оптимизация резервированного распределения запросов в кластерных системах реального времени // Информационные технологии. 2015. Т. 21, № 7. С. 495—502.
10. Богатырев В. А., Богатырев А. В., Богатырев С. В. Оценка надежности выполнения кластерами запросов реального времени // Изв. вузов. Приборостроение. 2014. Т. 57, № 4. С. 46—48.
11. Богатырев В. А., Богатырев А. В., Богатырев С. В. Перераспределение запросов между вычислительными кластерами при их деградации // Изв. вузов. Приборостроение. 2014. Т. 57, № 9. С. 54—58.
12. Богатырев В. А. Оценка надежности и оптимальное резервирование кластерных компьютерных систем // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2006. № 10. С. 18—21.
13. Богатырев В. А., Богатырев С. В., Богатырев А. В. Оптимизация кластера с ограниченной доступностью кластерных групп // Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО. 2011. № 1 (71). С. 63—67.
14. Bogatyrev V. A. An interval signal method of dynamic interrupt handling with load balancing // Automatic Control and Computer Sciences. 2000. Vol. 34, N 6. P. 51—57.
15. Bogatyrev V. A. Protocols for dynamic distribution of requests through a bus with variable logic ring for reception authority transfer // Automatic Control and Computer Sciences. 1999. Vol. 33, N 1. P. 57—63.
16. Bogatyrev V. A. On interconnection control in redundancy of local network buses with limited availability // Engineering Simulation. 1999. Vol. 16, N 4. P. 463—469.
17. Богатырев В. А., Богатырев С. В., Богатырев А. В. Функциональная надежность вычислительных систем с перераспределением запросов // Изв. вузов. Приборостроение. 2012. Т. 55, № 10. С. 53—56.
18. Богатырев В. А., Богатырев А. В. Модель резервированного обслуживания запросов реального времени в компьютерном кластере // Информационные технологии. 2016. Т. 22, № 5. С. 348—355.
19. Коршунов И. Л. Состояние и концепция развития информационных технологий в сфере сервиса // Изв. вузов. Приборостроение. 2014. Т. 57, № 9. С. 7—10.
20. Богатырев В. А., Богатырев А. В. Надежность функционирования кластерных систем реального времени с фрагментацией и резервированным обслуживанием запросов // Информационные технологии. 2016. Т. 22, № 6. С. 409—416.

Сведения об авторах

- Владимир Анатольевич Богатырев** — д-р техн. наук, профессор; Университет ИТМО; кафедра вычислительной техники; E-mail: Vladimir.bogatyrev@gmail.com
- Станислав Владимирович Богатырев** — Компания „Самсунг“, Сеул; старший инженер; E-mail: realloc@gmail.com

Рекомендована кафедрой
вычислительной техники

Поступила в редакцию
19.04.16 г.

Ссылка для цитирования: Богатырев В. А., Богатырев С. В. Резервированная передача данных через агрегированные каналы в сети реального времени // Изв. вузов. Приборостроение. 2016. Т. 59, № 9. С. 735—740.

**REDUNDANT DATA TRANSMISSION
USING AGGREGATED CHANNELS IN REAL-TIME NETWORK**

V. A. Bogatyrev¹, S. V. Bogatyrev²

¹*ITMO University, 197101, St. Petersburg, Russia*

E-mail: Vladimir.bogatyrev@gmail.com

²*Samsung Electronics Co. Ltd., Seoul, Korea*

For real-time information and communication systems, possibility of increasing the probability of errorless and timely delivery of packets over aggregated channels is investigated. The effect of redundant copies of packets transfer through multiple channels for delivery to the addressee a copy of the package via at least one of them is analyzed.

Keywords: link aggregation, real time, redundancy, probability of timely service, package, backup packages

Data on authors

Vladimir A. Bogatyrev — Dr. Sci., Professor; ITMO University, Department of Computation Technologies; E-mail: Vladimir.bogatyrev@gmail.com

Stanislav V. Bogatyrev — Samsung Electronics Co. Ltd., Seoul; Senior Engineer; E-mail: realloc@gmail.com

For citation: *Bogatyrev V. A., Bogatyrev S. V. Redundant data transmission using aggregated channels in real-time network // Izv. vuzov. Priborostroenie. 2016. Vol. 59, N 9. P. 735—740 (in Russian).*

DOI: 10.17586/0021-3454-2016-59-9-735-740