

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ РЕЗЕРВИРОВАНИЯ И ФРАГМЕНТАЦИИ ПАКЕТОВ ПРИ ПЕРЕДАЧЕ ПО АГРЕГИРОВАННЫМ КАНАЛАМ

В. А. БОГАТЫРЕВ<sup>1</sup>, С. В. БОГАТЫРЕВ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Университет ИТМО, 197101, Санкт-Петербург, Россия  
E-mail: Vladimir.bogatyrev@gmail.com

<sup>2</sup>Компания „Самсунг-электроник“, Сеул, Корея

Проанализированы возможности повышения вероятности своевременной безошибочной доставки пакетов при фрагментации и резервировании передачи копий пакетов через несколько каналов. Исследована эффективность резервированной передачи данных при реализации множественного доступа к каждому каналу или к группе каналов, объединяемых для параллельной передачи копий пакетов или их фрагментов.

**Ключевые слова:** агрегирование каналов, фрагментация, резервирование передач копий пакетов, вероятность своевременного обслуживания, множественный доступ

Для обеспечения высокой эффективности, безопасности [1—3], надежности [4] и устойчивости процессов функционирования [5] распределенных компьютерных систем различного назначения [6—9] требуются структурная избыточность сети и резервирование процессов обработки, хранения и передачи данных [10—14].

Увеличение вероятности безошибочной доставки пакетов в системах с агрегированием каналов за требуемое время возможно при резервированной передаче копий пакетов по нескольким каналам [15].

Резервированная передача копий пакетов, потенциально увеличивая вероятность своевременной безошибочной доставки адресуемому узлу хотя бы одной копии, приводит к повышению интенсивности потока передаваемых данных и может увеличивать задержки передачи.

Эффективность систем с резервированным обслуживанием запросов исследовалась в работах [16—22]. Многоканальные модели систем массового обслуживания (СМО) с общей очередью, обеспечивающие резервированное (широковещательное) обслуживание копий запросов всеми свободными в заданный момент каналами (приборами), предложены в работе [16], а их параллельное выполнение свободными приборами — в [17].

При занятости каналов резервированное обслуживание копий поступившего запроса в [16, 17] не предусмотрено, это существенно ограничивает применение исследуемого в этих работах подхода для систем, критичных к задержкам передачи пакетов через каналы с повышенной вероятностью ошибок передачи. В качестве основного показателя качества обслуживания в моделях работ [16, 17] используется среднее время пребывания запросов. Эффективность систем, критичных ко времени обслуживания запросов, определяется не только средним временем ожидания [18], но в большей мере — вероятностью неперевышения допустимого времени при безошибочном обслуживании [19].

Модели СМО, позволяющие оценить вероятность своевременного безошибочного резервированного обслуживания запросов, критичных к задержкам, для кластерной архитектуры предложены в [19, 20]. В работе [23] исследована эффективность параллельного обслуживания с фрагментацией запросов.

Возможности резервированного обслуживания запросов на передачу пакетов в системах с агрегированием каналов проанализированы в [15]. Модели [19—23] позволяют оценить эффективность резервированного обслуживания копий запросов в системах, представляемых

группой одноканальных СМО с локальными очередями. В работах [19—23] предполагается использовать резервирование вне зависимости от длины очередей в момент поступления запроса. При этом влияние фрагментации и объединения каналов (с возможностью реализации для группы каналов единой процедуры множественного доступа) на вероятность своевременной безошибочной доставки пакетов в случае параллельной передачи копий пакетов и их фрагментов в работе [15] не анализировалось.

Целью настоящей статьи является исследование механизмов повышения вероятности безошибочной и своевременной доставки критичных к задержкам пакетов через агрегированные каналы при возможном резервировании передач копий пакетов и их фрагментации. Рассматриваются варианты как независимого множественного доступа к отдельным каналам (вариант А), так объединения каналов в группы с реализацией для них единой процедуры множественного доступа (вариант Б). В случае А необходимо учитывать независимость процессов передачи по отдельным каналам, а в случае Б — одновременность (параллельность) передачи копий или фрагментов пакетов через группы каналов.

Рассмотрим систему с организацией обмена через агрегированные (резервированные) каналы передачи данных. К каждому из каналов возможно организовать множественный доступ.

Для вариантов А и Б способы организации обмена с фрагментацией пакетов и резервированием их копий представим векторами  $A(n, k, h)$  и  $B(n, k, h)$ , где  $n$  — число агрегированных каналов,  $k$  — кратность резервирования пакетов (число передаваемых копий пакетов),  $h$  — кратность фрагментации (число фрагментов, на которое разбивается передаваемый пакет).

При варианте А каждый канал представим одноканальной СМО типа М/М/1 [24] (простейший поток запросов, экспоненциальное распределение времени обслуживания) с общей бесконечной очередью. При варианте Б группа каналов может быть целиком представлена одной СМО типа М/М/1 с единой очередью. Влиянием организации множественного доступа, диспетчеризации и подтверждений доставки блоков данных на задержки обслуживания будем пренебрегать.

Вероятность превышения времени ожидания запросом заданного предельно допустимого порога  $t_0$  для СМО типа М/М/1 определяется как

$$p = 1 - \frac{\Lambda_0}{n} v_0 \exp \left[ -t_0 \left( v_0^{-1} - \frac{\Lambda_0}{n} \right) \right], \quad (1)$$

где  $\Lambda_0$  — интенсивность поступления,  $v_0$  — среднее время передачи блоков данных.

Определим вероятность  $P$  своевременной и безошибочной доставки пакетов через агрегированный канал.

Для систем  $A(n, k, 1)$  [19]:

$$P_1 = 1 - \left[ 1 - p(1-b)^L \right]^k, \quad (2)$$

для систем  $B(n, k, 1)$ :

$$P_2 = \left[ 1 - (1 - (1-b)^L)^k \right] p. \quad (3)$$

В формулах (2) и (3) значение  $p$  вычисляется по (1) при  $\Lambda_0 = \Lambda k$ ,  $v_0 = L/s$ , где  $\Lambda$  — интенсивность потока запросов,  $L$  — средняя длина пакетов (бит),  $s$  — скорость передачи (бит/с),  $b$  — битовая вероятность ошибок при передаче.

Для систем  $A(n, 1, h)$ :

$$P_3 = \left[ p(1-b)^{(L/h)+a} \right]^h, \quad (4)$$

для  $B(n, 1, h)$ :

$$P_4 = p \left[ (1-b)^{(L/h)+a} \right]^h, \quad (5)$$

здесь  $p$  рассчитывается по (1) при  $\Lambda_0 = \Lambda h, v_0 = (L / hs) + (a / s)$ ,  $a$  — объем адресной и служебной информации, присоединяемой к каждому передаваемому блоку данных.

Для систем А( $n, k, h$ ):

$$P_5 = 1 - \left[ 1 - \left[ p(1-b)^{(L/h)+a} \right]^h \right]^k, \tag{6}$$

для Б( $n, k, h$ )

$$P_6 = 1 - \left( 1 - p \left[ (1-b)^{(L/h)+a} \right]^h \right)^k, \tag{7}$$

в формулах (6) и (7) вероятность  $p$  определяется по (1) при  $\Lambda_0 = \Lambda hk, v_0 = (L / hs) + (a / s)$ .

При расчетах будем полагать, что число агрегированных каналов  $n=6$ , длина пакета  $L=1000$  бит, скорость передачи  $s=10^8$  бит/с, вероятность битовых ошибок  $b=10^{-4}$ ,  $a=48$  бит, предельно допустимое время ожидания  $t_0=2 \cdot 10^{-5}$  с.

На рис. 1 представлена зависимость вероятности своевременной и безошибочной передачи пакетов от интенсивности входного потока запросов  $\Lambda$ . Рис. 1, а соответствует случаю резервированной передачи копий пакетов либо их фрагментации, а рис. 1, б — вариантам, сочетающим фрагментацию и резервированную передачу копий пакетов.

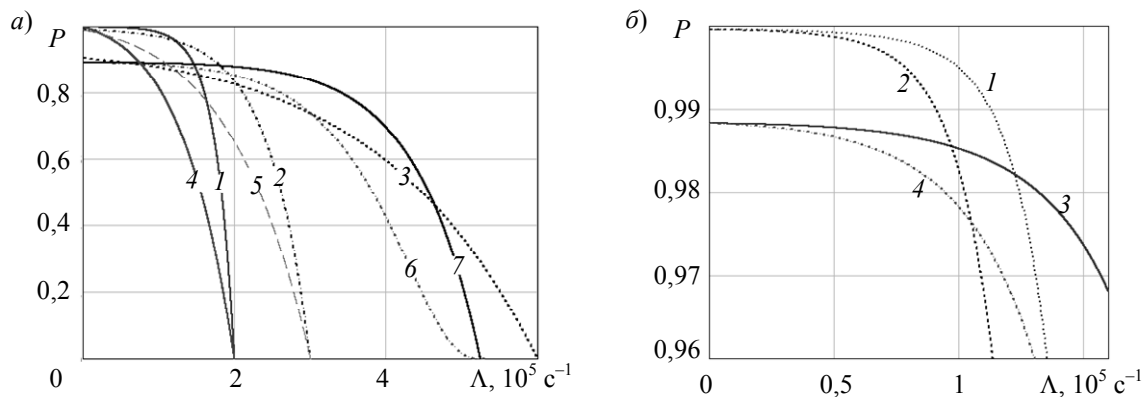


Рис. 1

Кривые 1—3 на рис. 1, а соответствуют варианту А,  $k=3, 2, 1$ ; кривые 4, 5 — варианту Б,  $k=3, 4$ . Фрагментированной передаче пакетов по трем каналам при независимой процедуре доступа к ним (А) соответствует кривая 6, а при реализации единой процедуры доступа к трем каналам с параллельной передачей по ним фрагментов (Б) — 7. На рис. 1, б кривые 1 и 2 соответствуют  $k=3$  и  $h=2$ , кривые 3 и 4 —  $k=2$  и  $h=3$ . Кривые 1 и 3 представляют вариант А, а кривые 2 и 4 — Б. Число формируемых групп каналов определяется значением  $k$ . Представленные на рис. 1 зависимости показывают эффективность резервированной передачи и целесообразность снижения кратности резервирования по мере увеличения интенсивности потока запросов. Причем более эффективны варианты обмена при независимой передаче копий пакета или его фрагментов через каналы. Следует отметить, что одновременная передача фрагментов или копий пакетов существенно упрощает протоколы обмена и обработку принятых блоков данных, а также снижает издержки при необходимости передачи подтверждений доставки данных.

На рис. 2 представлена зависимость вероятности своевременной и безошибочной передачи пакетов от кратности резервирования  $k$  (рис. 2, а) и кратности фрагментации  $h$  (рис. 2, б).

Кривые 1—4 (рис. 2, а) соответствуют независимой передаче копий пакетов по  $k$  каналам (вариант А), 5—8 — варианту Б;  $\Lambda=6 \cdot 10^4$  (1, 5),  $8,5 \cdot 10^4$  (2, 6),  $9,5 \cdot 10^4$  (3, 7),  $9,9 \cdot 10^4 \text{ c}^{-1}$  (4, 8).

Кривые 1—3 на рис. 2, а соответствуют варианту А, передаче фрагментов пакетов по  $h$  каналам, кривые 4—6 варианту Б; интенсивность входного потока запросов  $\Lambda=1 \cdot 10^5$  (1, 4),  $2 \cdot 10^5$  (2, 5),  $3 \cdot 10^5 \text{ с}^{-1}$  (3, 6).

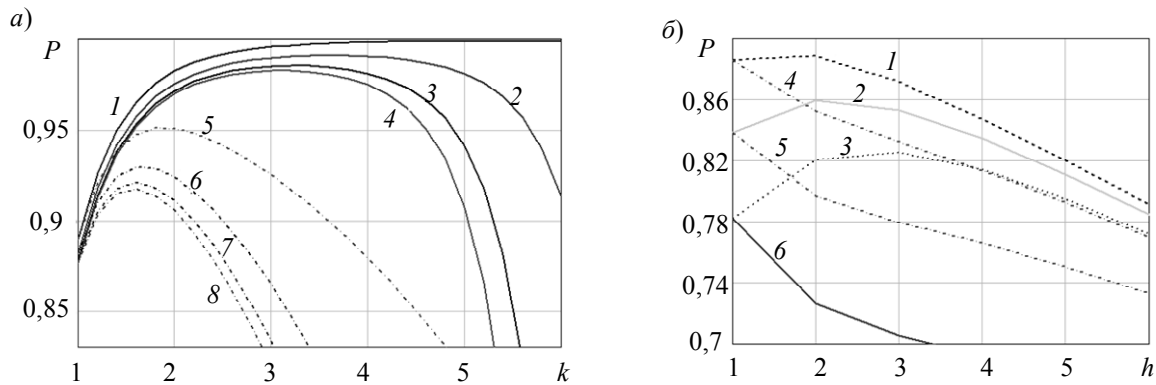


Рис. 2

Проведенные расчеты позволяют судить о существовании области эффективности фрагментации и резервирования при передаче через агрегированные каналы пакетов, критичных к задержкам. Зависимости на рис. 2 подтверждают эффективность реализации варианта А. Из рис. 2 видно, что существуют оптимальные значения  $k$  и  $h$ , при которых достигается максимум вероятности своевременной безошибочной доставки пакетов. Причем чем больше интенсивность потока запросов, тем выше эти значения.

Проанализирована возможность повышения вероятности безошибочной своевременной доставки пакетов при резервированной передаче копий пакетов и их фрагментации в системах с агрегированием каналов.

Установлено существование области эффективности резервированных передач через агрегированные каналы при возможной фрагментации пакетов.

Показано существование оптимальной кратности резервирования и фрагментации, при которых в зависимости от интенсивности потока запросов достигается максимум вероятности своевременной безошибочной доставки данных через агрегированные каналы.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Колбанёв М. О., Кориунов И. Л., Левкин И. М., Микадзе С. Ю. К вопросу информационно-экономической безопасности // Геополитика и безопасность. 2015. Т. 31, № 3. С. 87—91.
2. Максимцев И. А., Колбанёв М. О., Кориунов И. Л., Левкин И. М., Микадзе С. Ю. О технологических основаниях новой доктрины информационной безопасности Российской Федерации // Новые горизонты глобального мира: сб. научн. тр. СПб: Балт. гос. техн. ун-т, 2015. С. 270—281.
3. Пуха Г. П., Попов П. В., Чемиренко В. П., Жидков А. М. Интеллектуальная поддержка принятия решений в интересах управления связью ВМФ. СПб: ВУНЦ ВМФ „ВМА“, 2015. 280 с.
4. Богатырев В. А. Информационные системы и технологии. Теория надежности. М.: Юрайт, 2016. 318 с.
5. Богатырев В. А., Богатырев С. В. Критерии оптимальности многоустойчивых отказоустойчивых компьютерных систем // Науч.-техн. вестн. информационных технологий, механики и оптики. 2009. № 5(63). С. 92—98.
6. 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.
7. Колбанёв М. О., Татарникова Т. М. Физические ресурсы информационных процессов и технологий // Науч.-техн. вестн. информационных технологий, механики и оптики. 2014. № 6(94). С. 113—122.
8. Головкин Ю. Б., Гусаренко А. С. Применение нечетких гиперграфов в моделях генерации web-компонентов // Изв. вузов. Приборостроение. 2014. Т. 57, № 9. С. 47—53.

9. *Корицунов И. Л.* Состояние и концепция развития информационных технологий в сфере сервиса // Изв. вузов. Приборостроение. 2014. Т. 57, № 9. С. 7—10.
10. *Богатырев В. А., Богатырев С. В., Богатырев А. В.* Оптимизация древовидной сети с резервированием коммутационных узлов и связей // Телекоммуникации. 2013. № 2. С. 42—48.
11. *Татарникова Т. М., Елизаров М. А.* Имитационная модель виртуального канала // Науч.-техн. вестн. информационных технологий, механики и оптики. 2016. Т. 16, № 6. С. 1120—1127. DOI: 10.17586/2226-1494-2016-16-6-1120-1127.
12. *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.
13. *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.
14. *Верзун Н. А., Колбанев М. О., Омелян А. В.* Введение в инфокоммуникационные технологии и сети future networks. СПб: СПбГЭУ, 2016. 51 с.
15. *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.
16. *Dudin A. N., Sun B.* A multiserver MAP/PH/N system with controlled broadcasting by unreliable servers // Automatic Control and Computer Sciences. 2009. Vol. 43, N 5. P. 242—251.
17. *Дудин А. Н., Сунь Б.* Ненадежная многолинейная система с управляемым ширококвещательным обслуживанием // Автоматика и телемеханика. 2009. Т. 70, № 12. С. 147—160.
18. *Богатырев В. А.* Комбинаторный метод оценки отказоустойчивости многомагистрального канала // Методы менеджмента качества. 2000. № 4. С. 30—35.
19. *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.
20. *Богатырев В. А., Богатырев А. В.* Оптимизация резервированного распределения запросов в кластерных системах реального времени // Информационные технологии. 2015. Т. 21, № 7. С. 495—502.
21. *Богатырев В. А., Богатырев А. В.* Модель резервированного обслуживания запросов реального времени в компьютерном кластере // Информационные технологии. 2016. Т. 22, № 5. С. 348—355.
22. *Богатырев В. А., Богатырев С. В.* Резервированное обслуживание в кластерах с уничтожением неактуальных запросов // Вестн. компьютерных и информационных технологий. 2017. № 1. С. 21—28.
23. *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.
24. *Алиев Т. И.* Основы моделирования дискретных систем. СПб: СПбГУ ИТМО, 2009. 363 с.

#### 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-электроникс“, Сеул; старший инженер; E-mail: realloc@gmail.com

Рекомендована кафедрой  
информационных систем и технологий  
СПбГЭУ

Поступила в редакцию  
29.06.16 г.

**Ссылка для цитирования:** *Богатырев В. А., Богатырев С. В.* Эффективность резервирования и фрагментации пакетов при передаче по агрегированным каналам // Изв. вузов. Приборостроение. 2017. Т. 60, № 2. С. 165—170.

**EFFECTIVENESS OF REDUNDANCY AND PACKET FRAGMENTATION IN TRANSMISSION  
VIA AGGREGATED CHANNELS****V. A. Bogatyrev<sup>1</sup>, S. V. Bogatyrev<sup>2</sup>**<sup>1</sup>*ITMO University, 197101, St. Petersburg, Russia  
E-mail: Vladimir.bogatyrev@gmail.com*<sup>2</sup>*Samsung-Electronics, Seoul, Korea*

The possibilities of increasing the probability of timely error-free delivery of packet with the use of fragmentation and redundant transmission of copies of packets through multiple channels is analyzed. Investigated effectiveness of redundant data transmission at implementation of multiple access to each channel or group of channels that are grouped for parallel transmission of copies of the packets or their fragments is studied.

**Keywords:** channel aggregation, fragmentation, reservation of packet copies transmission, probability of timely service, multiple access

**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, Seoul; Senior Engineer; E-mail: realloc@gmail.com

**For citation:** *Bogatyrev V. A., Bogatyrev S. V.* Effectiveness of redundancy and packet fragmentation in transmission via aggregated channels // *Journal of Instrument Engineering*. 2017. Vol. 60, N 2. P. 165—170 (in Russian).

DOI: 10.17586/0021-3454-2017-60-2-165-170