

УДК 004.75

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ МНОГОКАНАЛЬНОГО ПРИОРИТЕТНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ РЕЗЕРВИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

И.А. Сластихин^a

^a Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация

Адрес для переписки: Stopgo89@gmail.com

Информация о статье

Поступила в редакцию 09.03.18, принята к печати 13.04.18

doi: 10.17586/2226-1494-2018-18-3-505-510

Язык статьи – русский

Ссылка для цитирования: Сластихин И.А. Имитационная модель многоканального приоритетного обслуживания резервированной системы передачи данных // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2018. Т. 18. № 3. С. 505–510. doi: 10.17586/2226-1494-2018-18-3-505-510

Аннотация

Предмет исследования. Проведен анализ эффективности приоритетного обмена с учетом ненадежности передач в системах передачи данных, представляемых многоканальными системами массового обслуживания с общей очередью. Выполнено исследование возможности повышения эффективности приоритетного обмена в условиях ненадежности передач при резервировании каналов связи. **Метод.** Анализ эффективности резервированных передач пакетов проведен на основе имитационного моделирования. Комплексная эффективность резервированной передачи пакетов определена на основе мультипликативного показателя, учитывающего безошибочность передачи и средний запас времени относительно предельно допустимой задержки передачи. **Основные результаты.** Предложена имитационная модель системы передачи данных с введением приоритетов и резервирования передач, критичных к задержкам запросов. Проведены имитационные эксперименты по оценке эффективности при повышении приоритета и кратности резервирования, критичных к времени ожидания запросов. Показано существование области эффективности применения приоритетных резервированных передач запросов, критичных к времени ожидания. **Практическая значимость.** Представленные результаты могут быть использованы при проектировании высоконадежных компьютерных систем, в том числе систем предоставления информационных услуг.

Ключевые слова

сеть, приоритеты, резервированная передача, имитационное моделирование

SIMULATION MODEL FOR MULTICHANNEL PRIORITY SERVICE OF REDUNDANT DATA TRANSFER SYSTEM

I.A. Slastikhin^a

^a ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation

Corresponding author: Stopgo89@gmail.com

Article info

Received 09.03.18, accepted 15.04.18

doi: 10.17586/2226-1494-2018-18-3-505-510

Article in Russian

For citation: Slastikhin I.A. Simulation model for multichannel priority service of redundant data transfer system. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2018, vol. 18, no. 3, pp. 505–510 (in Russian). doi: 10.17586/2226-1494-2018-18-3-505-510

Abstract

Subject of Research. The paper presents analysis of the priority exchange effectiveness, taking into account the unreliability of transmissions in data transmission systems represented by multichannel queuing systems with a common queue. The aim of the work is the study of efficiency upgrading possibility for priority data exchange in conditions of unreliable transmissions while communication channels are reserved. **Method.** The efficiency analysis of the redundant packet transmissions is carried out on the basis of simulation modeling. The complex efficiency of the redundant packet transmission is determined on the basis of the multiplicative index, which takes into account the error-free transmission and the average time margin relative to the maximum permissible transmission delay. **Main Results.** The simulation model of data transmission system with the introduction of priorities and transmission redundancy of time-critical queries is proposed. Simulation experiments were carried out on efficiency evaluation at the increase of priority and the redundancy multiplicity of time-critical queries. The existence of effectiveness field for the application of priority redundant transmissions of critical-

to-latency queries is shown. **Practical Relevance.** The presented results can be used in the design of high-reliable computer systems including computer systems providing information services.

Keywords

network, priorities, redundant transmission, simulation modeling

Введение

Высокая надежность, отказоустойчивость, производительность и безопасность [1–5] распределенных вычислительных систем и сетей [6–9] достигаются при резервировании и консолидации ресурсов вычислительных узлов и каналов связи [10–19]. Резервирование узлов хранения, передачи и обработки данных позволяет повысить не только структурную надежность системы, но и ее функциональную надежность в результате резервирования вычислительных процессов.

Эффективность резервирования вычислительного процесса в кластерных системах ранее исследована в предположении одинаковой кратности резервирования всех запросов. Возможности использования избыточности сетевых ресурсов, в том числе резервированных магистралей для повышения надежности структурной и функциональной надежности компьютерных систем и отказоустойчивости при различных вариантах передачи данных показаны в работах [16–19]. В [18] предложена организация обмена при объединении каналов в группы, с реализацией для каждой группы общей очереди запросов и единой процедуры множественного доступа для всех каналов группы. В результате множественного доступа по каждому запросу одновременно предоставляются ресурсы всех каналов одной из групп. При предоставлении узлу доступа к группе каналов пакет из его общей очереди копируется, и каждая резервная копия передается через отдельный канал группы. В [19] рассмотрены имитационные модели систем с агрегированными каналами и организацией множественного доступа как к группе целиком, так и к отдельным каналам.

В реальных системах передачи данных у пакетов, поступающих в систему, могут быть различные приоритеты на доставку. Целью работы является разработка имитационной модели, ориентированной на исследование возможностей повышения эффективности приоритетного обмена в условиях ненадежности передач. Разрабатываемая имитационная модель поддержки выбора проектных решений по организации обмена через резервированные каналы реализуется в среде AnyLogic 7.

Объект и задачи исследования

В качестве объекта исследования рассмотрим систему передачи данных с m зарезервированными каналами связи (рис. 1).

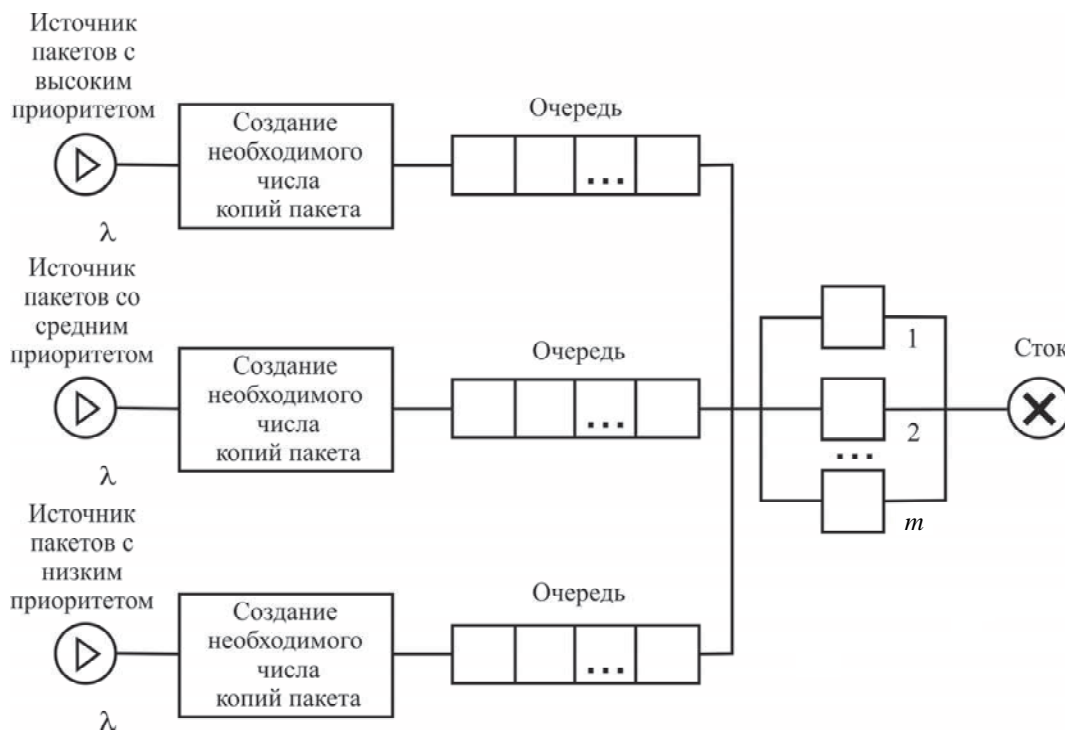


Рис. 1. Схема системы передачи данных с приоритетной передачей

Во время передачи пакетов по каналу связи могут возникать битовые ошибки с вероятностью B . Входной поток пакетов делится на 3 потока с различными приоритетами, а именно высоким, средним и низким. Каждый поток является простейшим с интенсивностью λ . В первую очередь происходит отправка пакетов с высоким приоритетом, если таковых в системе нет, то осуществляется отправка пакетов со

средним приоритетом, если же в системе нет ни одного пакета с высоким и средним приоритетом, то осуществляется отправка пакетов с низким приоритетом. Все пакеты имеют ограничение длины сверху и снизу.

Требуется определить границы эффективности применения приоритетных передач пакетов. Также существует возможность повышения эффективности передач за счет увеличения кратности передач, а именно для пакетов с высоким приоритетом кратность передач может быть 2/1, для остальных – кратность 1/1. Однако данное решение приводит к техническому противоречию: с одной стороны, повышается вероятность доставки пакетов за счет увеличения кратности передачи, с другой стороны, происходит увеличение нагрузки, что приводит к увеличению времени пребывания пакетов в системе.

Построение имитационной модели системы передачи данных с наличием приоритетов у поступающих в систему пакетов

Для определения эффективности своевременной доставки пакетов с приоритетами рассмотрим имитационную модель (рис. 2).

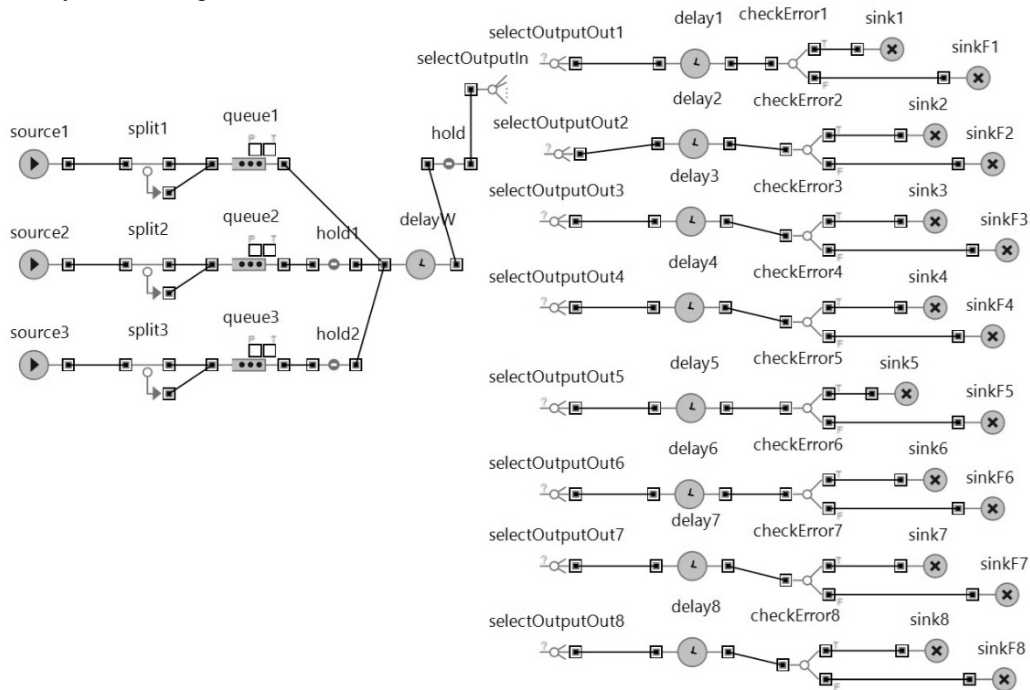


Рис. 2. Имитационная модель системы с приоритетами на доставку

В данной модели блок *source1* – источник пакетов с высоким приоритетом, блок *source2* – источник пакетов со средним приоритетом, блок *source3* – источник пакетов с низким приоритетом. Блок *spliti* создает необходимое число копий, блоки *queuei* – бесконечные очереди пакетов. Блоки *hold1* и *hold2* отвечают за блокировку отправки пакетов с более низким приоритетом, *delayW* и *hold* – задержка на предоставление канала. Блоки *selectOutputIn*, *selectOutputOuti* – технические блоки, отвечающие за распределение пакетов по каналам связи. Блоки *delayi* – 8 идентичных каналов связи. Блоки *checkErrori* осуществляют проверку правильности доставки пакета. Блоки *sinki* отвечают за учет правильно доставленных пакетов, блоки *sinkFi* – за учет пакетов, доставленных с ошибкой.

Результаты имитационных экспериментов по оценке эффективности приоритетных передач пакетов

Для определения эффективности передачи пакетов воспользуемся критерием $M = P(t_0 - T)$, который отражает среднее время своевременной и безошибочной доставки пакета, где P – вероятность доставки пакета (определяется имитационно), t_0 – запас времени на своевременную доставку, T – среднее время пребывания пакета в системе.

Проведен ряд экспериментов варьирования параметров при следующих значениях: $L = 1$ Мбит/с – пропускная способность канала; $t_0 = 0,00025$ с – запас времени на доставку; вероятность битовой ошибки в канале связи $B = 0,0001$; $\lambda = 0-20000$ 1/с – интенсивность поступления пакетов.

На рис. 3 представлены графики значений критерия M от интенсивности поступления запросов λ . Как видно из графика, существует область эффективности передачи пакетов с приоритетами. Чем выше интенсивность поступления пакетов, тем более эффективной становится передача пакетов с приоритетами.

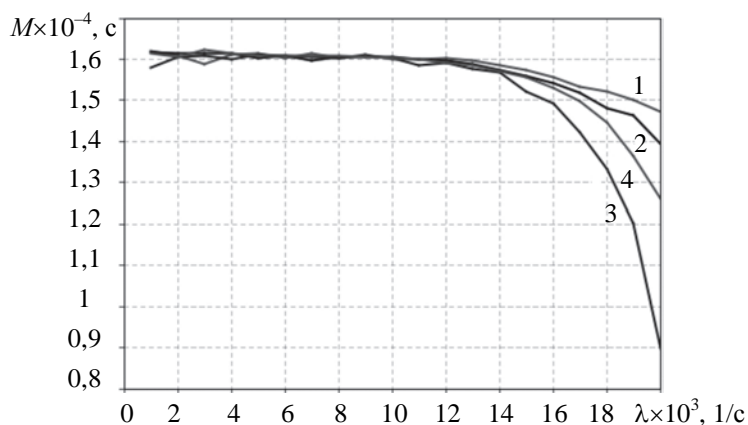


Рис. 3. Критерий M от λ : пакеты с высоким приоритетом (1); пакеты со средним приоритетом (2); пакеты с низким приоритетом (3); передача без приоритетов (4)

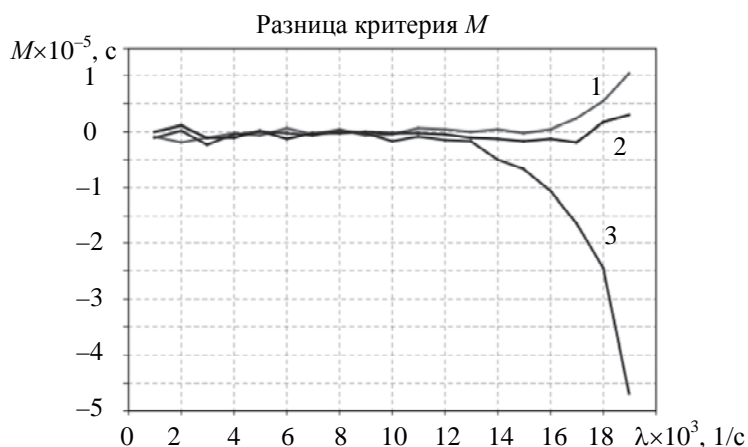


Рис. 4. Разница критерия M пакетов с приоритетом обслуживания и передачей без приоритета: с высоким приоритетом (1); со средним приоритетом (2); с низким приоритетом (3)

На рис. 4 представлен график разности критерия M пакетов с разными приоритетами и передачей без приоритета. Из графика видна тенденция увеличения эффективности передачи пакетов с приоритетами при увеличении интенсивности поступления пакетов в систему.

Результаты имитационных экспериментов по оценке эффективности приоритетных передач пакетов в случае кратных передач

Рассмотрим вариант передачи данных при кратности резервирования передач 2/1 для пакетов с высоким приоритетом. Для определения эффективности передачи пакетов воспользуемся критерием M . Проведен ряд экспериментов варьирования параметров при следующих значениях: $L = 8388608$ бит/с – пропускная способность канала; $t_0 = 0,00025$ с – запас времени на доставку; вероятность битовой ошибки в канале связи $B = 0,0001$; $\lambda = 0-16000$ 1/с – интенсивность поступления пакетов.

На рис. 5 представлены графики значений критерия M от интенсивности поступления запросов λ в случае резервированных передач кратности 2/1 для пакетов с высоким приоритетом. На графике видно, что увеличение кратности резервирования передач для пакетов с высоким приоритетом приводит к снижению эффективности передач пакетов с высоким приоритетом при низких значениях λ . На рис. 6 представлен график разниц критерия M для пакетов с приоритетами и передач без приоритетов, который показывает, что при больших значениях λ эффективность передач пакетов с высоким приоритетом в случае резервированных передач повышается относительно случая некрatных передач.

Заключение

Предложена имитационная модель системы передачи данных с введением приоритетных передач и возможностью повышения кратности резервирования передач. Проведены имитационные эксперименты по оценке эффективности приоритетных передач в случае некрatных передач и в случае кратных передач пакетов с высоким приоритетом. Выявлены области эффективности применения приоритетных передач.

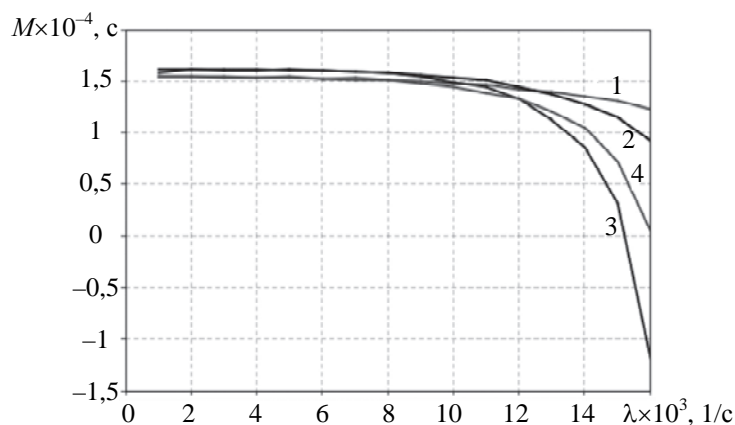


Рис. 5. Критерий M от λ с кратностью резервированных передач 2/1 для пакетов с высоким приоритетом: пакеты с высоким приоритетом (1); пакеты со средним приоритетом (2); пакеты с низким приоритетом (3); передача без приоритетов (4)

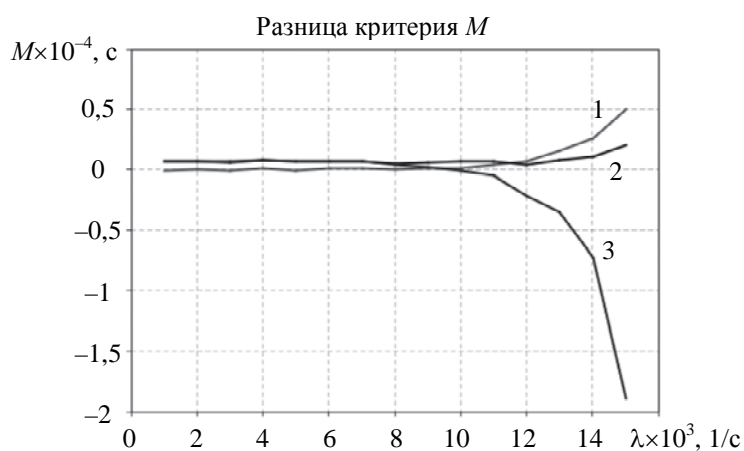


Рис. 6. Разница критерия M пакетов с приоритетом обслуживания и передачей без приоритета с кратностью резервированных передач 2/1 для пакетов с высоким приоритетом: с высоким приоритетом (1); со средним приоритетом (2); с низким приоритетом (3)

Литература

1. Aysan H. *Fault-Tolerance Strategies and Probabilistic Guarantees for Real-Time Systems*. Vasteras, Sweden, Malardalen University, 2012. 190 p.
2. Cheng S.T., Chen C.M., Tripathic S.K. Fault-tolerance model for multiprocessor real-time systems // *Journal of Computer and System Sciences*. 2000. V. 61. N 3. P. 457–477. doi: 10.1006/jcss.2000.1704
3. Kopetz H. *Real-Time Systems: Design Principles for Distributed Embedded Applications*. Springer, 2011. 396 p. doi: 10.1007/978-1-4419-8237-7
4. Shooman M.L. *Reliability of Computer Systems and Networks: Fault Tolerance, Analysis, and Design*. John Wiley & Sons, 2002. 527 p.
5. Kolomoitcev V.S., Bogatyrev V.A. The fault-tolerant structure of multilevel secure access to the resources of the public network // *Communications in Computer and Information Science*. 2016. V. 678. P. 302–313. doi: 10.1007/978-3-319-51917-3_27
6. Parshutina S.A., Bogatyrev V.A. Models to support design of highly reliable distributed computer systems with redundant processes of data transmission and handling // *Proc. Int. Conf. on Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies*. St. Petersburg, 2017. P. 96–99. doi: 10.1109/ITMQIS.2017.8085772
7. Aliev T.I. The synthesis of service discipline in systems with limits // *Communications in Computer and Information Science*. 2016. V. 601. P. 151–156. doi: 10.1007/978-3-319-30843-2_16
8. Arustamov S.A., Bogatyrev V.A., Polyakov V.I. Back up data

References

1. Aysan H. *Fault-Tolerance Strategies and Probabilistic Guarantees for Real-Time Systems*. Vasteras, Sweden, Malardalen University, 2012, 190 p.
2. Cheng S.T., Chen C.M., Tripathic S.K. Fault-tolerance model for multiprocessor real-time systems. *Journal of Computer and System Sciences*, 2000, vol. 61, no. 3, pp. 457–477. doi: 10.1006/jcss.2000.1704
3. Kopetz H. *Real-Time Systems: Design Principles for Distributed Embedded Applications*. Springer, 2011, 396 p. doi: 10.1007/978-1-4419-8237-7
4. Shooman M.L. *Reliability of Computer Systems and Networks: Fault Tolerance, Analysis, and Design*. John Wiley & Sons, 2002, 527 p.
5. Kolomoitcev V.S., Bogatyrev V.A. The fault-tolerant structure of multilevel secure access to the resources of the public network. *Communications in Computer and Information Science*, 2016, vol. 678, pp. 302–313. doi: 10.1007/978-3-319-51917-3_27
6. Parshutina S.A., Bogatyrev V.A. Models to support design of highly reliable distributed computer systems with redundant processes of data transmission and handling. *Proc. Int. Conf. on Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies*. St. Petersburg, 2017, pp. 96–99. doi: 10.1109/ITMQIS.2017.8085772
7. Aliev T.I. The synthesis of service discipline in systems with limits. *Communications in Computer and Information Science*, 2016, vol. 601, pp. 151–156. doi: 10.1007/978-3-319-30843-2_16

- transmission in real-time duplicated computer systems // *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2016. V. 451. P. 103–109.
9. Клейнрок Л. Теория массового обслуживания. М.: Машиностроение, 1979. 432 с.
 10. Lee M.H., Dudin A.N., Klimenok V.I. The SM/V/N queueing system with broadcasting service // *Mathematical Problem in Engineering*. 2006. V. 2006. Art. 98171. doi: 10.1155/MPE/2006/98171
 11. Dudin A.N., Sun' B. A multiserver MAP/PH/N system with controlled broadcasting by unreliable servers // *Automatic Control and Computer Sciences*. 2009. V. 43. N 5. P. 247–256. doi: 10.3103/S0146411609050046
 12. Богатырев В.А., Богатырев А.В., Голубев И.Ю., Богатырев С.В. Оптимизация распределения запросов между кластерами отказоустойчивой вычислительной системы // *Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики*. 2013. № 3(85). С. 77–82.
 13. Богатырев А.В., Богатырев В.А., Богатырев С.В. Оптимизация кластера с ограниченной доступностью кластерных групп // *Научно-технический вестник Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики*. 2011. № 1(71). С. 63–67.
 14. Богатырев В.А., Богатырев С.В. Резервированное обслуживание в кластерах с уничтожением неактуальных запросов // *Вестник компьютерных и информационных технологий*. 2017. № 1(151). С. 21–28. doi: 10.14489/vkit.2017.01.pp.021-028
 15. Богатырев В.А., Богатырев С.В. Резервированное обслуживание в группе одноканальных систем с назначением различных приоритетов копиям запроса // *Изв. вузов. Приборостроение*. 2017. Т. 60. № 11. С. 1033–1039. doi: 10.17586/0021-3454-2017-60-11-1033-1039
 16. 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. doi: 10.17586/0021-3454-2017-60-2-165-170
 17. Богатырев В.А., Сластихин И.А. Эффективность резервированного выполнения запросов в многоканальных системах обслуживания // *Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики*. 2016. Т. 16. № 2(102). С. 311–317. doi:10.17586/2226-1494-2016-16-2-311-317
 18. Богатырев В.А., Сластихин И.А. Резервирование передач через агрегированные каналы, разделяемые на группы // *Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики*. 2016. Т. 16. № 6(106). С. 1137–1140. doi: 10.17586/2226-1494-2016-16-6-1137-1140
 19. Богатырев В.А., Сластихин И.А. Эффективность резервированной передачи данных через агрегированные каналы // *Изв. вузов. Приборостроение*. 2016. Т. 59. № 5. С. 370–376. doi: 10.17586/0021-3454-2016-59-5-370-376
 8. Arustamov S.A., Bogatyrev V.A., Polyakov V.I. Back up data transmission in real-time duplicated computer systems. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2016, vol. 451, pp. 103–109.
 9. Kleinrock L. *Queueing Systems*. NY, Wiley Interscience, 1975. (in Russian)
 10. Lee M.H., Dudin A.N., Klimenok V.I. The SM/V/N queueing system with broadcasting service. *Mathematical Problem in Engineering*, 2006, vol. 2006, art. 98171. doi: 10.1155/MPE/2006/98171
 11. 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, no. 5, pp. 247–256. doi: 10.3103/S0146411609050046
 12. Bogatyrev V.A., Bogatyrev A.V., Golubev I.Yu., Bogatyrev S.V. Queries distribution optimization between clusters of fault-tolerant computing system. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2013, no. 3, pp. 77–82. (in Russian)
 13. Bogatyrev V.A., Bogatyrev S.V., Bogatyrev A.V. Clusters optimization with the limited availability of clusters groups. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2011, no. 1, pp. 63–67. (in Russian)
 14. Bogatyrev V.A., Bogatyrev S.V. Redundant service clusters with the destruction of irrelevant queries. *Herald of Computer and Information Technologies*, 2017, no. 1, pp. 21–28. (in Russian) doi: 10.14489/vkit.2017.01.pp.021-028
 15. Bogatyrev V.A., Bogatyrev S.V. Redundant service in group of single-channel systems with different priorities assigned to request copies. *Journal of Instrument Engineering*, 2017, vol. 60, no. 11, pp. 1033–1039. (in Russian) doi: 10.17586/0021-3454-2017-60-11-1033-1039
 16. Bogatyrev V.A., Bogatyrev S.V. Effectiveness of redundancy and packet fragmentation in transmission via aggregated channels. *Journal of Instrument Engineering*, 2017, vol. 60, no. 2, pp. 165–170. (in Russian) doi: 10.17586/0021-3454-2017-60-2-165-170
 17. Bogatyrev V.A., Slastikhin I.A. Efficiency of redundant query execution in multi-channel service system. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2016, vol. 16, no. 2, pp. 311–317. (in Russian) doi:10.17586/2226-1494-2016-16-2-311-317
 18. Bogatyrev V.A., Slastikhin I.A. Redundancy of transmissions over the aggregated channels divided into groups. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2016, vol. 16, no. 6, pp. 1137–1140. (in Russian) doi: 10.17586/2226-1494-2016-16-6-1137-1140
 19. Bogatyrev V.A., Slastikhin I.A. Effectiveness of redundant data transmission over aggregate channels. *Journal of Instrument Engineering*, 2016, vol. 59, no. 5, pp. 370–376. (in Russian) doi: 10.17586/0021-3454-2016-59-5-370-376

Авторы

Сластихин Иван Александрович – аспирант, Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация, ORCID ID: 0000-0002-0340-484X, Stopgo89@gmail.com

Authors

Ivan A. Slastikhin – postgraduate, ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation, ORCID ID: 0000-0002-0340-484X, Stopgo89@gmail.com