

Учреждение образования
БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

УДК 004.67

ЧЕРНЯВСКИЙ
Павел Сергеевич

**МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ ПРИОРИТЕТНОГО УПРАВЛЕНИЯ
НЕОДНОРОДНЫМИ ДАННЫМИ БУФЕРНЫХ НАКОПИТЕЛЕЙ
МАРШРУТИЗАТОРОВ**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

по специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка
информации

Минск 2022

Научная работа выполнена в учреждении образования «Военная академия Республики Беларусь».

Научный руководитель

Пылинский Максим Валерьевич, кандидат военных наук, доцент, начальник кафедры связи учреждения образования «Военная академия Республики Беларусь»

Официальные оппоненты:

Булойчик Василий Михайлович, доктор технических наук, профессор, начальник научно-исследовательской лаборатории моделирования военных действий учреждения образования «Военная академия Республики Беларусь»

Касанин Сергей Николаевич, кандидат технических наук, доцент, заместитель директора по науке научно-производственного республиканского унитарного предприятия «Научно-исследовательский институт технической защиты информации»

Оппонирующая организация

Учреждение образования «Белорусская государственная академия связи»

Защита состоится «17» февраля 2022 г. в 14.00 на заседании совета по защите диссертаций Д 02.15.01 при учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» по адресу: 220013, г. Минск, ул. П. Бровки, 6, корп. 1, ауд. 232, тел. 293-89-89, e-mail: dissovet@bsuir.by.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

Автореферат разослан « » января 2022 г.

Ученый секретарь

совета по защите диссертаций

кандидат технических наук, доцент

М. П. Ревотюк

ВВЕДЕНИЕ

Существующие на сегодняшний день методы и алгоритмы управления неоднородными данными абонентов, используемые в маршрутных процессорах современных маршрутизаторов, не позволяют в полной мере удовлетворять требованиям, предъявляемым к распределению неоднородных данных абонентов сети связи специального назначения, а использование существующих подходов к аналитическому описанию процессов функционирования буферных накопителей маршрутизаторов, в которых реализованы алгоритмы управления неоднородными данными, не может гарантировать точность расчетов основных характеристик качества обслуживания по причине наличия потоков информации, содержащих сложную иерархию абонентов специальной сети связи, а также неоднородных сообщений различных групп важности и категорий срочности.

В целях обеспечения требуемой степени управления сети связи специального назначения в условиях воздействия неоднородного трафика абонентов в диссертации предложен метод моделирования процессов обработки неоднородных данных в буферных накопителях маршрутизаторов, метод управления неоднородными приоритетными данными буферных накопителей маршрутизаторов и алгоритм приоритетного управления неоднородными данными маршрутизаторов сети связи специального назначения, реализация которых в специальном программном обеспечении «ПРИОРИТЕТ-СПО» позволяет установить степень управления сети связи специального назначения «В полном объеме».

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с научными программами (проектами), темами

Результаты диссертационной работы использовались при проведении:

1. ОКР «Разработать и поставить на производство полевой коммутатор сети Ethernet» (шифр «Вектор»), выполненной в соответствии с Планом научной работы в Вооруженных Силах на 2014 год, утвержденным начальником Генерального штаба, по заказу управления связи Генерального штаба Вооруженных Сил Республики Беларусь.

2. НИР «Разработка и обоснование рекомендаций по организации сети помехоустойчивой УКВ радиосвязи в отдельной механизированной бригаде» (шифр «Успех»), выполненной в соответствии с Планом научной работы в Вооруженных Силах на 2013 год, утвержденным начальником Генерального штаба, по заказу управления связи Генерального штаба Вооруженных Сил Республики Беларусь.

3. НИР «Разработка и обоснование рекомендаций по обеспечению

одновременной передачи речи и данных в симплексной радиосети с использованием современных средств радиосвязи» (шифр «Биплан»), выполненной в соответствии с Планом научной работы в Вооруженных Силах на 2014 год, утвержденным начальником Генерального штаба, по заказу управления связи Генерального штаба Вооруженных Сил Республики Беларусь.

4. НИР «Система общих технических требований к видам вооружения и военной техники. Системы военной связи. Командно-штабные машины. Общие тактико-технические требования», выполненной в соответствии с Планом научной работы в Вооруженных Силах на 2019 год, утвержденным начальником Генерального штаба, по заказу управления связи Генерального штаба Вооруженных Сил Республики Беларусь.

5. НИР «Обоснование подходов и порядка создания программного обеспечения в интересах Вооруженных Сил» (шифр «Перспектива»), выполненной в соответствии с Планом научной работы в Вооруженных Силах на 2020 год, утвержденным начальником Генерального штаба, по заказу заместителя начальника Генерального штаба Вооруженных Сил Республики Беларусь по научной работе.

Цель и задачи исследования

Целью диссертационной работы является разработка методов и алгоритмов приоритетного управления неоднородными данными буферных накопителей маршрутизаторов для обеспечения требуемой степени управления сети связи специального назначения.

Для достижения поставленной цели в диссертации решены следующие *задачи*:

1. Проведен анализ существующих методов и алгоритмов управления неоднородными данными буферных накопителей маршрутизаторов.

2. Определены требования, предъявляемые к распределению неоднородных данных абонентов сети связи специального назначения.

3. Обоснована необходимость совершенствования существующих методов и алгоритмов приоритетного управления неоднородными данными маршрутизаторов сети связи специального назначения.

4. Разработан метод моделирования процессов обработки неоднородных данных в буферных накопителях маршрутизаторов.

5. Разработан метод управления неоднородными приоритетными данными буферных накопителей маршрутизаторов.

6. Разработан алгоритм приоритетного управления неоднородными данными буферных накопителей маршрутизаторов сети связи специального назначения, реализация которого в специальном программном обеспечении

«ПРИОРИТЕТ-СПО» позволяет обеспечить требуемую степень управления сети специального назначения.

Объект исследования – маршрутизаторы сети связи специального назначения. *Предмет* исследования – методы и алгоритмы приоритетного управления неоднородными данными буферных накопителей маршрутизаторов сети связи специального назначения.

Выбор объекта и предмета исследования обусловлен актуальностью разработки методов и алгоритмов приоритетной обработки неоднородных данных буферных накопителей маршрутизаторов для обеспечения требуемой степени управления сети связи специального назначения.

Научная новизна

Научная новизна результатов диссертационного исследования заключается в разработке:

метода моделирования процессов обработки неоднородных данных в буферных накопителях маршрутизаторов, отличающегося от существующих применением теории клеточных автоматов при аналитическом описании процессов функционирования буферных накопителей маршрутизаторов сети связи специального назначения;

метода управления неоднородными приоритетными данными буферных накопителей маршрутизаторов, позволяющего учитывать составляющие трафика сети связи специального назначения, такие как группы важности, категории срочности, что позволило увеличить объем информационных посылок, обработанных в буферном накопителе маршрутизатора первого приоритетного уровня на 19 %, второго приоритетного уровня на 29 % при допустимом значении потерь третьего приоритетного уровня.

Положения, выносимые на защиту

1. Метод моделирования процессов обработки неоднородных данных в буферных накопителях маршрутизаторов, отличающийся от существующих применением теории клеточных автоматов при аналитическом описании процессов функционирования буферных накопителей маршрутизаторов сети связи специального назначения, что позволило на 9 % повысить точность расчета основных характеристик качества обслуживания по сравнению с известными подходами.

2. Метод управления неоднородными приоритетными данными буферных накопителей маршрутизаторов, отличающийся учетом составляющих трафика сети связи специального назначения, таких как группы важности, категории срочности генерируемых данных, и позволяющий увеличить объем обработанных информационных посылок в буферных накопителях маршрутизатора первого

приоритетного уровня на 19 %, второго приоритетного уровня на 29 % при допустимом значении потерь третьего приоритетного уровня информации.

3. Алгоритм приоритетного управления неоднородными данными буферных накопителей маршрутизаторов, отличающийся учетом иерархии трафика абонентов и обеспечивающий на 20 % увеличение общего объема обработанных приоритетных данных буферных накопителей маршрутизаторов, что позволило обеспечить степень управления сети связи специального назначения «В полном объеме».

Личный вклад соискателя ученой степени

Результаты, характеризующиеся научной новизной и выносимые на защиту, получены автором самостоятельно. Соавторами основных публикаций являются: научный руководитель – кандидат военных наук, доцент М. В. Пылинский, который осуществлял определение целей и постановку задач. С ним проводилось обсуждение возможных способов решения поставленных задач, оценка полученных результатов. Кандидат технических наук, доцент Е. В. Машкин определял основные направления совершенствования систем связи специального назначения. Анализ тенденций развития коммутационных устройств проводился при участии Г. Г. Меженцева, А. А. Бысова, Т. П. Троцкого, Д. М. Леонова.

Апробация диссертации и информация об использовании ее результатов

Теоретические и практические результаты диссертационного исследования докладывались и обсуждались на следующих конференциях:

Международная научно-практическая конференция «Вооруженные Силы на защите национальных интересов: образование, опыт, перспективы» (г. Минск, 2011);

XIV Республиканская научная конференция студентов и аспирантов «Новые математические методы и компьютерные технологии в проектировании, производстве и научных исследованиях» (г. Гомель, 2011);

28-я научно-техническая конференция, посвященная Дню радио (г. Минск, 2011);

XVII Международная научно-техническая конференция «Современные средства связи» (г. Минск, 2012);

XV Республиканская научная конференция студентов и аспирантов «Новые математические методы и компьютерные технологии в проектировании, производстве и научных исследованиях» (г. Гомель, 2012);

Международная военно-научная конференция «Современная военно-техническая политика: проблемы и перспективы» (г. Минск, 2013);

XVI Республиканская научная конференция студентов и аспирантов «Новые

математические методы и компьютерные технологии в проектировании, производстве и научных исследованиях» (г. Гомель, 2013);

XVIII Международная научно-техническая конференция «Современные средства связи» (г. Минск, 2013);

Международная военно-научная конференция «Обеспечение безопасности государства: проблемы и перспективы» (г. Минск, 2017);

Международная военно-научная конференция «Проблемы обеспечения безопасности государства в современных условиях» (г. Минск, 2019).

Опубликование результатов диссертации

По результатам исследований, представленных в диссертации, опубликованы 19 печатных работ, в том числе 9 статей в научных рецензируемых журналах и сборниках, общим объемом 6 авторских листов, 10 публикаций по результатам докладов на международных и республиканских научных (научно-технических, научно-практических) конференциях.

Структура и объем диссертации

Диссертация содержит введение, 4 главы, заключение и 8 приложений.

В *первой главе* проведен аналитический обзор литературы по теме исследования, анализ существующих методов и алгоритмов управления данными буферных накопителей маршрутизаторов сети связи специального назначения. По результатам анализа существующих методов и алгоритмов приоритетной обработки данных выработаны требования, предъявляемые к распределению неоднородных данных абонентов сети связи специального назначения.

Вторая глава посвящена разработке метода моделирования процессов обработки неоднородных данных в буферных накопителях маршрутизаторов, аналитическому описанию процесса обработки неоднородных данных на основе модели клеточного автомата, анализу и проверке адекватности полученных результатов.

В *третьей главе* представлен метод управления неоднородными приоритетными данными буферных накопителей маршрутизаторов, позволяющий учитывать составляющие трафика сети связи специального назначения, такие как группы важности и категории срочности.

В *четвертой главе* представлен алгоритм приоритетного управления неоднородными данными буферных накопителей маршрутизаторов сети связи специального назначения, позволяющий обеспечить требуемую степень управления сети связи специального назначения.

Общий объем диссертационной работы составляет 129 страниц, из которых 85 страниц текста, 27 иллюстраций на 7 страницах, 14 таблиц на 4 страницах, 8 приложений на 30 страницах, список публикаций автора из 19 наименований на 3 страницах.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В первой главе проведен аналитический обзор литературы по теме исследования, анализ существующих методов и алгоритмов обработки данных буферных накопителей маршрутизаторов сети связи специального назначения. По результатам анализа существующих методов и алгоритмов приоритетной обработки информации выработаны требования, предъявляемые к распределению неоднородных данных абонентов сети связи специального назначения на основе реальной сети связи.

Установлено, что существующие стандартизированные алгоритмы управления данными абонентов сети связи, такие как CBQ, WFQ, CBWFQ, DRR, DCEF, DWFQ, FQ, FIFO, GPS, LFVC, LLQ, MDRR, MWRR, PFQ, PPS, PQ, RR, SCFQ, VC, W2FQ, WRR, WRED, WF2Q, при их использовании в специальных сетях связи не позволяют в полной мере обеспечить учет групп важности, категорий срочности неоднородных сообщений, а также приоритет отправителя и получателя сообщений.

На сегодняшний день в Республике Беларусь разработаны правила приоритетного обслуживания абонентов сети связи специального назначения, согласно которым неоднородные данные распределяются исходя из характеристик информации, долей потоков информации по приоритетам, направлениям связи по группам важности и категориям срочности. По характеристикам информации данные разделяются на три приоритета, при этом данные с меньшим номером приоритета имеют преимущество в обслуживании перед другими информационными посылками. Указатель на приоритет данных в таком случае передается в заголовке сообщения.

Кроме деления информации по характеристикам, принято делить направления связи по группам важности. При таком делении направления связи отдают гарантированный ресурс по долям потоков информации. Для направлений связи с высшей группой важности предусмотрено большее выделение потока информации с высшим приоритетом (таблица 1).

Таблица 1. – Соотношение долей потоков информации в направлениях связи

Группа важности	Доля потоков информации (в %) по приоритетам		
	1-й приоритет	2-й приоритет	3-й приоритет
1	25	30–35	35–40
2	15	35	50
3	5	20–35	70–75

В таблице 2 приведены критерии определения степени управления специальными сетями связи в зависимости от объемов информации, обработанной в буферных накопителях маршрутизаторов.

Таблица 2. – Зависимость степени управления сети связи от объема информации

Степень обеспечения управления	Объем обработанной информации (% от заданного)			
	Всего	1-й приоритет	2-й приоритет	3-й приоритет
В полном объеме	80–100	95–100	95–100	50–100
Затруднено	60–80	95–100	95–100	10–20
Нарушено	30–60	95–100	80–100	0
На грани срыва	20–30	95–100	0	0
Сорвано	менее 20	менее 20	0	0

По результатам проведенного эксперимента установлено, что при использовании стандартизированных алгоритмов управления неоднородными данными буферных накопителей маршрутизаторов общий объем обработанной приоритетной информации не превышает 63 %, а показатель степени управления сети связи специального назначения находится на границе между «Затруднено» и «Нарушено».

Во второй главе диссертации представлены результаты разработки метода моделирования процессов обработки неоднородных данных в буферных накопителях маршрутизаторов.

При описании процессов функционирования буферных накопителей маршрутизаторов в условиях неоднородного трафика предложено использовать модели клеточных автоматов с окрестностью фон Неймана. В этом случае приоритет пакета данных будет зависеть от состояния приоритетов пакетов данных четырех его соседей.

Процесс обработки неоднородных данных в буферных накопителях маршрутизаторов на основе модели клеточного автомата представлен в следующем виде:

1. Буферный накопитель обеспечивает возможность обработки пакетов сообщений по направлениям групп важности. Каждое направление характеризуется приоритетом P_n , при этом $P_1 > P_2 > P_n$.

Максимальная производительность обеспечивается при минимальном количестве направлений связи. Производительность каждого направления зависит от общей производительности устройства коммутации данных. Для повышения производительности маршрутизатора в случае незанятости направлений N_v число таких направлений должно быть минимальным.

2. Каждое направление, если оно существует, обеспечивает передачу пакетов с гарантированными долями важности приоритетов пакетов по характеристике обрабатываемой информации $P_{х.и.}$. Выражение для определения долей потоков информации по группам важности имеет вид

$$\begin{aligned}
P_{1Г.В} &= 0,25P_{11} + 0,35P_{12} + 0,4P_{13}; \\
P_{2Г.В} &= 0,15P_{21} + 0,35P_{22} + 0,5P_{23}; \\
P_{3Г.В} &= 0,05P_{31} + 0,2P_{32} + 0,7P_{33},
\end{aligned}
\tag{1}$$

где P_{ij} – i -й приоритет по характеристике информации j -й группы важности; $P_{NГ.В}$ – общая доля приоритета N -го направления связи.

3. На пакет в очереди накладывается ограничение по категории срочности сообщения в виде $P_{к.с}$, при этом

$$P_{к.с1} > P_{к.с2} > P_{к.с3} > P_{к.с4} > P_{к.с5} > P_{к.с6}, \tag{2}$$

где $P_{к.с1}$ – категория срочности абонента «Вне всякой очереди»; $P_{к.с2}$ – категория срочности абонента «Гранит»; $P_{к.с3}$ – категория срочности абонента «Воздух»; $P_{к.с4}$ – категория срочности абонента «Ракета»; $P_{к.с5}$ – категория срочности абонента «Самолет»; $P_{к.с6}$ – категория срочности абонента «Обыкновенная».

4. Каждый пакет характеризуется приоритетом по типам данных, при этом:

– $P_{т.д1}$ – данные, чувствительные к задержке передачи сообщения в маршрутизаторе (трафик реального времени, голосовой трафик);

– $P_{т.д2}$ – данные, не чувствительные к задержке передачи сообщения в маршрутизаторе.

Каждый пакет данных в буферном накопителе устройства коммутации характеризуется локальным приоритетом, определяемым в соответствии с выражением

$$P_{ij} = P_{т.д} + P_{к.с} + P_{х.и}. \tag{3}$$

Таким образом, задача моделирования процессов функционирования буферных накопителей маршрутизаторов заключается в определении вероятности своевременной доставки пакетов для долей потоков трафика различного приоритета согласно (1) с учетом выражений (2) и (3).

Для описания вероятности перехода пакетов данных в буферном накопителе маршрутизатора приняты возможные значения для движения клетки по ареалу с учетом использования окрестности фон Неймана. На каждом этапе состояние клетки меняется в зависимости от состояния соседних клеток, при этом $f_{ij}^{(\alpha)} = 1$ означает наличие клетки (данных) в ареале (буферном накопителе), $v_{ij}^{(\alpha)} = 1$ – наличие препятствия в данной клетке.

Запрет движения за границы буферного накопителя либо в клетки, содержащие препятствия, определяется выражением

$$P'_{ij}(\alpha) = \frac{1}{4}(1 - f_{ij}^{(\alpha)})(1 - v_{ij}^{(\alpha)}). \tag{4}$$

Таким образом, в общем виде модель процесса обработки неоднородных данных в буферном накопителе маршрутизатора примет вид

$$P''_{ij}(N) = \left(1 - \frac{1}{r} (\sum_{k=1}^{r^*} f_{i,j+k} + r - r^*)\right) P'_{ij}(N); \quad (5)$$

$$P''_{ij}(S) = \left(1 - \frac{1}{r} (\sum_{k=1}^{r^*} f_{i,j-k} + r - r^*)\right) P'_{ij}(S); \quad (6)$$

$$P''_{ij}(E) = \left(1 - \frac{1}{r} (\sum_{k=1}^{r^*} f_{i+k,j} + r - r^*)\right) P'_{ij}(E); \quad (7)$$

$$P''_{ij}(W) = \left(1 - \frac{1}{r} (\sum_{k=1}^{r^*} f_{i-k,j} + r - r^*)\right) P'_{ij}(W), \quad (8)$$

где $P'_{ij}(N)$, $P'_{ij}(S)$, $P'_{ij}(E)$, $P'_{ij}(W)$ – вероятности смещения пакета в одну из четырех соседних клеток, которые рассчитываются по формуле (4);

r – количество клеток, на которое маршрутный процессор способен анализировать ситуацию в буферном накопителе;

r^* – расстояние от данной клетки до ближайшей в данном направлении, содержащей препятствие.

При наличии сложной иерархии абонентов, а также использовании групп важности и приоритетов по характеристике информации, вариант структуры буферного накопителя будет иметь следующий вид (рисунок 1).

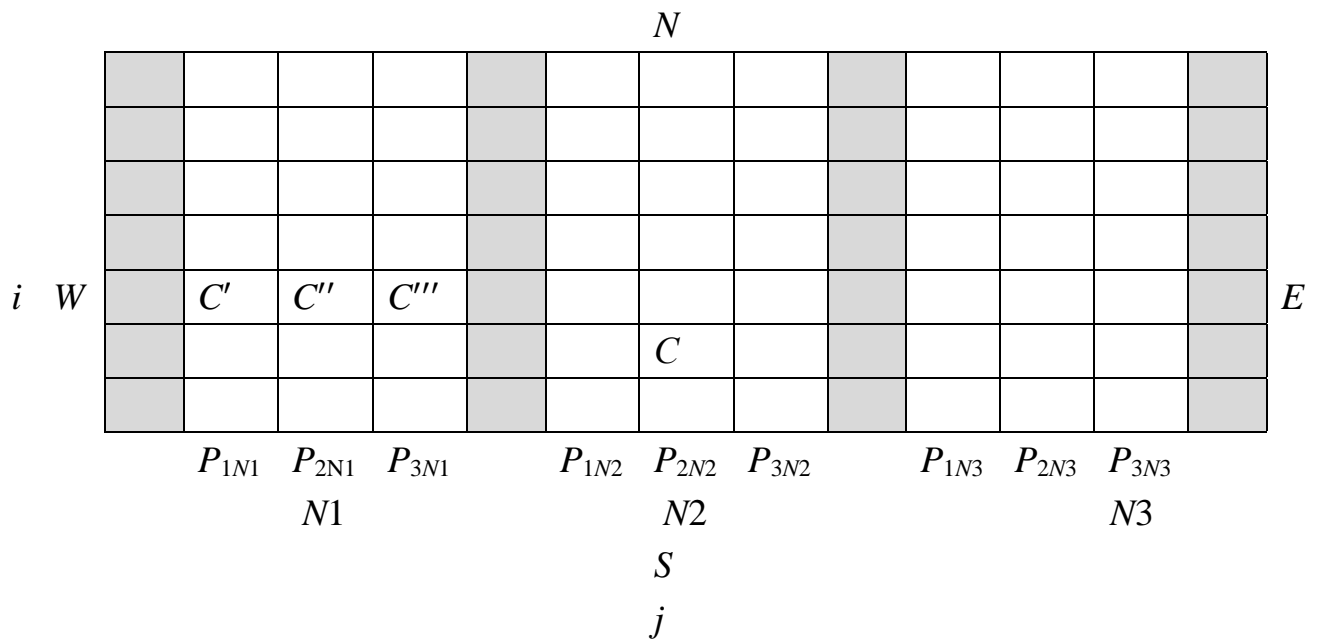


Рисунок 1. – Вариант структуры буферного накопителя с делением приоритетных направлений

В данной модели в буферных накопителях будут реализованы три группы важности с тремя приоритетными направлениями в каждой группе. В зависимости от требований к объемам долей приоритетной информации каждое приоритетное направление будет иметь свой вес приоритета.

Модель буферного накопителя маршрутизатора с учетом выражений (5) – (8) для первого приоритета $P_{C'} = 0,25P_{N1}$ первого направления C' примет вид:

$$P''_{ij}(N) = \left(1 - \frac{1}{l-s} (\sum_{k=1}^{r^*} f_{i,j+k} + l - s - r^*)\right) P'_{ij}(N); \quad (9)$$

$$P''_{ij}(S) = \left(1 - \frac{1}{s} (\sum_{k=1}^{r^*} f_{i,j-k} + s - r^*)\right) P'_{ij}(S); \quad (10)$$

$$P''_{ij}(E) = \left(1 - \frac{1}{n-1} (\sum_{k=1}^{r^*} f_{i+k,j} + n - 1 - r^*)\right) P'_{ij}(E); \quad (11)$$

$$P''_{ij}(W) = 0, \quad (12)$$

где s – количество пройденных клеток; l – величина буфера приоритетной доли информации; n – количество приоритетных уровней в направлении связи.

Модель буферного накопителя маршрутизатора для второго приоритета $P_{C''} = 0,35P_{N1}$ первого направления C'' примет вид

$$P''_{ij}(N) = \left(1 - \frac{1}{l-s} (\sum_{k=1}^{r^*} f_{i,j+k} + l - s - r^*)\right) P'_{ij}(N); \quad (13)$$

$$P''_{ij}(S) = \left(1 - \frac{1}{s} (\sum_{k=1}^{r^*} f_{i,j-k} + s - r^*)\right) P'_{ij}(S); \quad (14)$$

$$P''_{ij}(E) = \left(1 - \frac{2}{n-1} (\sum_{k=1}^{r^*} f_{i+k,j} + (n-1)/2 - r^*)\right) P'_{ij}(E); \quad (15)$$

$$P''_{ij}(W) = \left(1 - \frac{2}{n-1} (\sum_{k=1}^{r^*} f_{i-k,j} + (n-1)/2 - r^*)\right) P'_{ij}(W). \quad (16)$$

Модель буферного накопителя маршрутизатора для третьего приоритета $P_{C'''} = 0,4P_{N1}$ первого направления C''' примет вид

$$P''_{ij}(N) = \left(1 - \frac{1}{l-s} (\sum_{k=1}^{r^*} f_{i,j+k} + l - s - r^*)\right) P'_{ij}(N); \quad (17)$$

$$P''_{ij}(S) = \left(1 - \frac{1}{s} (\sum_{k=1}^{r^*} f_{i,j-k} + s - r^*)\right) P'_{ij}(S); \quad (18)$$

$$P''_{ij}(E) = 0; \quad (19)$$

$$P''_{ij}(W) = \left(1 - \frac{1}{n-1} (\sum_{k=1}^{r^*} f_{i-k,j} + n - 1 - r^*)\right) P'_{ij}(W). \quad (20)$$

По результатам эксперимента по сбору и анализу статистических данных, полученных в ходе использования существующих стандартизированных методов моделирования буферных накопителей маршрутизаторов, установлено, что использование разработанного метода моделирования процессов обработки неоднородных данных в буферных накопителях маршрутизаторов, отличающегося применением теории клеточных автоматов при аналитическом описании процессов функционирования буферных накопителей маршрутизаторов, позволяет на 9 % повысить точность расчета основных характеристик качества обслуживания по сравнению с известными методами.

В третьей главе представлен метод управления неоднородными приоритетными данными буферных накопителей маршрутизаторов, позволяющий учитывать составляющие трафика сети связи специального назначения, такие как группы важности, категории срочности сообщений при принятии решения

на обработку требуемого объема информации в буферных накопителях маршрутизаторов, на основе которого разработано специальное программное обеспечение «ПРИОРИТЕТ-СПО» (сервер) (рисунок 2).

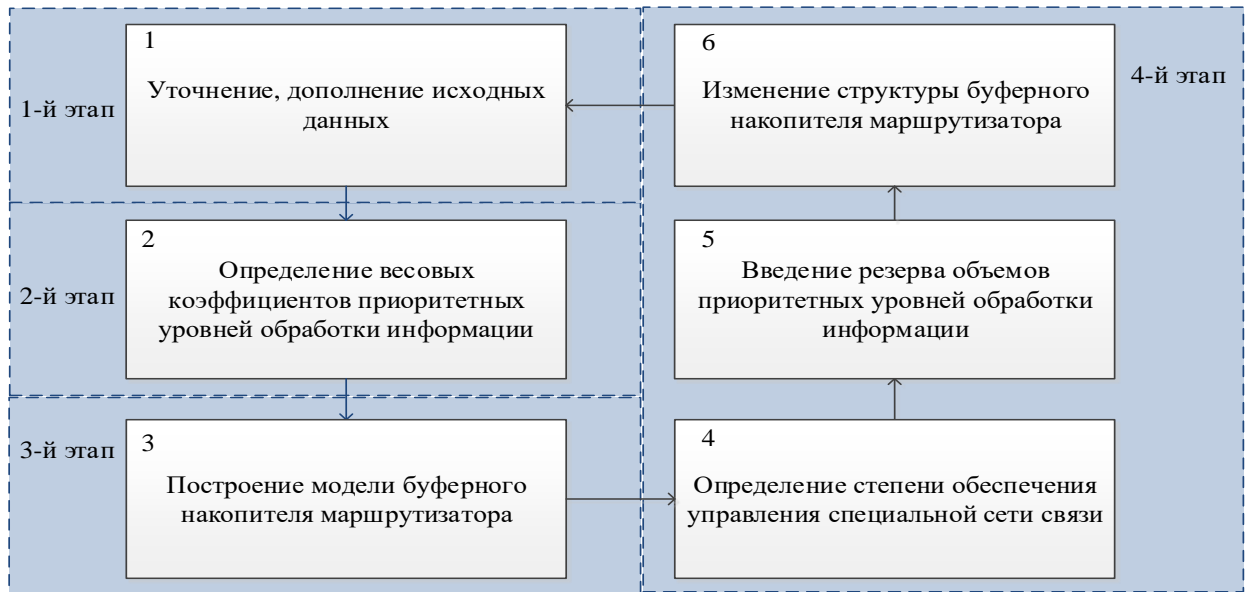


Рисунок 2. – Метод приоритетного управления неоднородными данными буферных накопителей маршрутизатора

В методе выделено четыре этапа с обратными связями, обеспечивающими возможность повторного выполнения этапов в случае необходимости изменения объемов приоритетных данных в буферных накопителях маршрутизатора. На каждом этапе решается частная задача обеспечения обслуживания требуемого объема приоритетной информации в буферных накопителях маршрутизаторов в соответствии с заданными требованиями обработки неоднородных данных. Успешное выполнение всех этапов позволяет получить вариант структуры буферных накопителей маршрутизаторов с учетом выражений (9) – (20), удовлетворяющий требованиям по распределению неоднородных данных абонентов сети связи специального назначения при допустимых потерях объемов низкоприоритетных данных.

Для управления неоднородными данными, генерируемыми абонентами сети, и обеспечения функционирования разработанного метода предложено использовать информационную часть поля кода дифференцированных услуг заголовка обрабатываемых сообщений. Данное решение позволяет организовать политику гарантированной передачи сообщений абонентов путем использования шести бит записываемой информации. В соответствии с данным подходом определяют три уровня обработки неоднородных приоритетных данных, каждый из которых может быть охарактеризован тремя уровнями приоритета. Соответствие классов трафика типам и объемам передаваемой и обрабатываемой информации представлено в таблице 3.

Таблица 3. – Соответствие классов трафика типам и объемам информации

Поле кода дифференцированных услуг	Имя селектора класса	Группа важности	Номер приоритета	Объем обрабатываемой информации (%)
001010	AF11	1	1	25
001100	AF12	1	2	35
001110	AF13	1	3	40
010010	AF21	2	1	15
010100	AF22	2	2	35
010110	AF23	2	3	50
011010	AF31	3	1	5
011100	AF32	3	2	20
011110	AF33	3	3	75

Сравнительная характеристика распределения долей потоков информации по приоритетам в направлениях связи с использованием разработанного метода приведена в таблице 4.

Таблица 4. – Соотношение долей потоков информации в направлениях связи согласно приоритетам

Группа важности информации	Доля потоков информации (в %) по приоритетам		
	1-й приоритет	2-й приоритет	3-й приоритет
1	25	34	23
2	14	34	25
3	5	19	35

Использование разработанного метода управления неоднородными приоритетными данными буферных накопителей маршрутизаторов позволяет учитывать такие составляющие трафика сети связи специального назначения, как группы важности, категории срочности генерируемых данных, а также обеспечивает увеличение объема обработанных информационных посылок в буферных накопителях маршрутизатора первого приоритетного уровня на 19 %, второго приоритетного уровня на 29 % при допустимом значении потерь третьего приоритетного уровня информации.

Четвертая глава посвящена разработке алгоритма приоритетного управления неоднородными данными буферных накопителей маршрутизатора сети связи специального назначения, на основе которого разработано специальное программное обеспечение «ПРИОРИТЕТ-СПО» (клиент) (рисунок 3).



Рисунок 3. – Алгоритм приоритетного управления неоднородными данными буферных накопителей маршрутизаторов

На первом этапе происходит генерация и маркировка исходных данных абонентов сети связи специального назначения в соответствии с именем селектора класса.

После поступления данных на вход маршрутизатора (2-й и 3-й этапы) маршрутный процессор производит:

- 1) анализ полей, характеризующих приоритет отправителя, получателя, а также категории срочности входящей информационной посылки;
- 2) назначение приоритета информационным посылкам в соответствии с данными системы управления;
- 3) расчет веса приоритета пакета p_i ;
- 4) распределение сообщений по направлениям групп важности;
- 5) анализ поля кода дифференцированной услуги;
- 6) распределение пакетов по приоритетным уровням каждого направления в зависимости от принадлежности к определенной характеристике информации пакета сообщения;
- 7) анализ времени прибытия, времени обработки маршрутизатором и времени следования к получателю информационной посылки.

На четвертом этапе в соответствии с требованиями, предъявляемыми к распределению неоднородных данных буферных накопителей, рассчитывается

матрица R потоков информации в направлениях связи согласно приоритетам, элементы r_{GP} которой характеризуют данные по долям потоков информации (%) по приоритетам в G -направлениях групп важности, P -приоритетов направлений.

В зависимости от количества приоритетных уровней и направлений связи строится матрица приоритетных объемов обработанных неоднородных данных:

$$V = \begin{pmatrix} v_{00} & v_{01} & \dots & v_{0P} \\ v_{10} & v_{11} & \dots & v_{1P} \\ \dots & & & \\ v_{G0} & v_{G1} & \dots & v_{GP} \end{pmatrix}, \quad (21)$$

где v_{GP} характеризуют доли объемов информации, обработанной в буферном накопителе маршрутизатора (% от заданного).

При работе в сетях связи специального назначения значения групп важности и приоритетных уровней направлений связи принимают $G = 3$ и $P = 3$ соответственно.

Для каждого из приоритетных уровней рассчитывается объем обработанной приоритетной информации, а матрица приоритетных объемов обработанных неоднородных данных в реальный момент времени принимает вид

$$P = \begin{pmatrix} p_{00} & p_{01} & \dots & p_{0v} \\ p_{10} & p_{11} & \dots & p_{1v} \\ \dots & & & \\ p_{r0} & p_{r1} & \dots & p_{rv} \end{pmatrix}, \quad (22)$$

где p_{rv} характеризуют доли объемов информации, обработанной в буферном накопителе маршрутизатора (% от заданного) в реальный момент времени.

На пятом этапе выполняется расчет резерва объемов приоритетных данных уровней обработки информации в буферных накопителях маршрутизаторов, результатом которого является построение матрицы $R_{рез}$:

$$R_{рез} = \begin{pmatrix} v_{00} - p_{00} & v_{01} - p_{01} & \dots & v_{0P} - p_{0v} \\ v_{10} - p_{10} & v_{11} - p_{11} & \dots & v_{1P} - p_{1v} \\ \dots & & & \\ v_{G0} - p_{r0} & v_{G1} - p_{r1} & \dots & v_{GP} - p_{rv} \end{pmatrix}. \quad (23)$$

При выполнении условия $p_{rv} \leq v_{GP}$ степень обеспечения управления считают «В полном объеме» (6-й этап). В случае невыполнения данного условия вводится резерв объемов приоритетных данных уровней обработки информации.

На седьмом и восьмом этапах в зависимости от значений элементов матрицы $R_{рез}$ в автоматическом режиме происходит управление выделенными объемами приоритетных данных для обработки сообщений в буферных накопителях

маршрутизаторов за счет внесения изменений в установленные доли потоков информации по группам важности направлений связи.

В результате функционирования алгоритма на девятом и десятом этапах происходит обработка необходимой доли приоритетных данных абонентов с учетом требований к обработке трафика сети связи специального назначения.

Соотношение долей потоков информации в направлениях связи с использованием алгоритма приоритетного управления неоднородными данными буферных накопителей маршрутизаторов сети связи специального назначения приведено в таблице 5.

Таблица 5. – Соотношение долей потоков информации в направлениях связи

Степень обеспечения управления	Объем обработанных приоритетных данных (% от заданного)			
	Всего	1-й приоритет	2-й приоритет	3-й приоритет
В полном объеме	83	98	97	53

Использование алгоритма приоритетного управления неоднородными данными буферных накопителей маршрутизаторов сети связи специального назначения в разработанном специальном программном обеспечении «ПРИОРИТЕТ-СПО» позволяет увеличить на 20 % общий объем приоритетной информации, обработанной в сети связи специального назначения, и обеспечить степень управления специальной сети связи «В полном объеме».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

В ходе выполнения диссертационной работы получены следующие результаты:

1. Проведен комплексный анализ методов и алгоритмов приоритетного управления неоднородными данными буферных накопителей маршрутизаторов, на основе чего определены требования, предъявляемые к распределению неоднородных данных абонентов сети связи специального назначения, выявлены недостатки существующих методов и алгоритмов обработки данных, обоснованы объемы обрабатываемой приоритетной информации в буферном накопителе маршрутизатора и необходимость совершенствования существующих подходов к обработке приоритетных данных абонентов сети связи специального назначения [1–6, 10–19].

2. Разработан метод моделирования процессов обработки неоднородных данных в буферных накопителях маршрутизаторов, отличающийся от существующих применением теории клеточных автоматов при аналитическом описании процессов функционирования буферных накопителей маршрутизаторов сети связи специального назначения, что позволило на 9 % повысить точность

расчета основных характеристик качества обслуживания по сравнению с известными подходами [9].

3. Разработан метод управления неоднородными приоритетными данными буферных накопителей маршрутизаторов, отличающийся учетом составляющих трафика сети связи специального назначения, таких как группы важности, категории срочности генерируемых данных, и позволяющий увеличить объем обработанных информационных посылок в буферных накопителях маршрутизатора первого приоритетного уровня на 19 %, второго приоритетного уровня на 29 % при допустимом значении потерь третьего приоритетного уровня информации [7].

4. Разработано специальное программное обеспечение «ПРИОРИТЕТ-СПО», позволяющее учитывать требования к объемам долей обрабатываемых данных приоритетных направлений групп важности, а также обеспечить приоритизацию трафика специального назначения в зависимости от типа и вида передаваемого сообщения в сети связи специального назначения [6].

5. Разработан алгоритм приоритетного управления неоднородными данными маршрутизатора сети связи специального назначения, обеспечивающий на 20 % увеличение общего объема приоритетных данных, обработанных в буферных накопителях маршрутизаторов, и позволяющий обеспечить степень управления сети связи специального назначения «В полном объеме» [8].

Рекомендации по практическому использованию результатов

Разработанные в диссертации методы и алгоритмы приоритетной обработки неоднородных данных буферных накопителей маршрутизаторов сети связи специального назначения могут применяться для сетей связи общего назначения путем уточнения требований к объему долей обрабатываемых приоритетных данных абонентов сети [3, 4, 9, 14, 19], а также путем уточнения таблиц соответствия классов трафика типам и объемам информации [5–7].

Программная реализация специального программного обеспечения «ПРИОРИТЕТ-СПО» позволяет обеспечить обработку требуемых объемов долей приоритетных данных абонентов без замены аппаратного обеспечения устройств коммутации, в том числе тех коммутаторов, которыми уже укомплектованы модернизированные аппаратные [6].

Обоснованный алгоритм приоритетной обработки неоднородных данных использован при проектировании и модернизации устройств коммутации в ОАО «АГАТ-СИСТЕМ – управляющая компания холдинга «Системы связи и управления»» для обеспечения приоритетного обслуживания неоднородного трафика и предотвращения перегрузок.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ

Статьи в рецензируемых научных журналах

1. Чернявский, П. С. Приоритетное управление трафиком центра коммутации сети связи военного назначения / П. С. Чернявский, Г. Г. Меженцев, А. А. Бысов // Вестн. Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2012. – № 4 (37). – С. 119–124.
2. Бысов, А. А. Обоснование необходимости перехода к динамическим алгоритмам обработки пакетов голосового трафика / А. А. Бысов, Е. В. Машкин, П. С. Чернявский // Вестн. Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2012. – № 4 (37). – С. 70–74.
3. Пылинский, М. В. Обоснование требуемой пропускной способности, предъявляемой к узлу доступа системы связи / М. В. Пылинский, П. С. Чернявский, Д. М. Леонов // Вестн. Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2013. – № 4 (37). – С. 114–118.
4. Имитационная модель системы приоритетной обработки неоднородного трафика центра коммутации / П. С. Чернявский, А. А. Бысов, Т. П. Троцкий, Е. В. Машкин // Весн. сувязі. – 2014. – № 2 (124). – С. 44–47.
5. Чернявский, П. С. Методика приоритетной обработки неоднородного трафика сети связи военного назначения / П. С. Чернявский, А. А. Бысов, Г. Г. Меженцев // Вестн. Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2014. – № 2 (43). – С. 151–157.
6. Чернявский, П. С. Совершенствование центров коммутации сети связи специального назначения / П. С. Чернявский, А. А. Бысов // Доклады БГУИР. – 2014. – № 7 (85). – С. 90–95.
7. Чернявский, П. С. Метод управления неоднородными приоритетными данными буферных накопителей маршрутизаторов / П. С. Чернявский // Вестн. Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2021. – № 3 (72). – С. 11–16.
8. Чернявский, П. С. Алгоритм приоритетного управления неоднородными данными буферных накопителей маршрутизаторов / П. С. Чернявский // Весн. сувязі. – 2021. – № 3. – С. 48–50.
9. Чернявский, П. С. Метод моделирования процессов обработки неоднородных данных в буферных накопителях маршрутизаторов / П. С. Чернявский // Системный анализ и прикладная информатика. – 2021. – № 3. – С. 34–38.

Статьи в сборниках материалов научных конференций

10. Чернявский, П. С. Использование псевдопроводных технологий для эмуляции и предоставления сервисов в сетях с пакетной коммутацией / П. С. Чернявский // Новые математические методы и компьютерные технологии в проектировании, производстве и научных исследованиях : материалы XIV Респ. науч. конф., Гомель, 21–23 марта 2011 г. : в 2 ч. / Гомел. гос. ун-т. – Гомель, 2011. – Ч. 2. – С. 294.
11. Чернявский, П. С. Обоснование необходимости совершенствования алгоритмов формирования и обслуживания очередей пакетов в центрах

коммутации сети связи / П. С. Чернявский // Новые математические методы и компьютерные технологии в проектировании, производстве и научных исследованиях : материалы XV Респ. науч. конф., Гомель, 26–28 марта 2012 г. : в 2 ч. / Гомел. гос. ун-т. – Гомель, 2012. – Ч. 1. – С. 47.

12. Чернявский, П. С. Совершенствование способов управления пакетным трафиком абонентов сети связи военного назначения / П. С. Чернявский, Г. Г. Меженцев // Современные средства связи : материалы XVII Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 16–18 окт. 2012 г. / Высш. гос. колледж связи. – Минск, 2012. – С. 45–46.

13. Чернявский, П. С. Управление ресурсами центра коммутации сети связи военного назначения / П. С. Чернявский, Г. Г. Меженцев // Современная военно-техническая политика: проблемы и перспективы : материалы Междунар. науч. конф., Минск, 21–22 марта 2013 г. / Воен. акад. Респ. Беларусь. – Минск, 2013. – С. 198.

14. Чернявский, П. С. Оптимальное распределение ресурса центра коммутации в условиях неоднородного трафика / П. С. Чернявский // Новые математические методы и компьютерные технологии в проектировании, производстве и научных исследованиях : материалы XVI Респ. науч. конф., Гомель, 25–27 марта 2013 г. : в 2 ч. / Гомел. гос. ун-т. – Гомель, 2013. – Ч. 1. – С. 230–231.

15. Чернявский, П. С. Имитационная модель устройства приоритизации пакетного трафика для симулятора NS2 / П. С. Чернявский, Г. Г. Меженцев // Современные средства связи : материалы XVIII Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 15–16 окт. 2013 г. / Высш. гос. колледж связи. – Минск, 2013. – С. 49–50.

Тезисы докладов на научных конференциях

16. Чернявский, П. С. Wimax technology for broadband wireless access / П. С. Чернявский // Вооруженные Силы на защите национальных интересов: образование, опыт, перспективы : Междунар. науч. конф., Минск, 6–7 дек. 2010 г. : тез. докл.: в 2 ч. / Воен. акад. Респ. Беларусь. – Минск, 2011. – Ч. 2. – С. 224–227.

17. Чернявский, П. С. Качество связи в сетях с пакетной коммутацией / П. С. Чернявский, Г. Г. Меженцев // 28-я науч.-техн. конф., Минск, 14 марта 2011 г. : тез. докл. / Агат-системы управления. – Минск, 2011. – С. 29.

18. Чернявский, П. С. Совершенствование методов обработки трафика центра коммутации специальной сети связи / П. С. Чернявский, А. В. Бартошь // Обеспечение военной безопасности государства : Междунар. воен.-научн. конф., Минск, 23–24 марта 2017 г. тез. докл. / Воен. акад. Респ. Беларусь. – Минск, 2017. – С. 203.

19. Бысов, А. А. Характеристики качества обслуживания абонентов в сетях связи военного назначения. / А. А. Бысов, Г. Г. Меженцев, П. С. Чернявский // Проблемы обеспечения военной безопасности государства в современных условиях : Междунар. воен.-научн. конф., Минск, 17–18 апр. 2019 г. : тез. докл. / Воен. акад. Респ. Беларусь. – Минск, 2019. – С. 80.

РЭЗІЮМЭ

Чарняўскі Павел Сяргеевіч

Метады і алгарытмы прыярытэтнага кіравання неаднароднымі дадзенымі буферных накапіцеляў маршрутызатараў

Ключавыя словы: маршрутызатар, буферны назапашвальнік, клеткавы аўтамат, метады апрацоўкі трафіку, прыярэтызацыя дадзеных.

Мэта працы: распрацоўка метадаў і алгарытмаў прыярытэтнага кіравання неаднародным дадзенымі буферных назапашвальнікаў маршрутызатараў для забеспячэння патрабаванай ступені кіравання сеткі сувязі спецыяльнага прызначэння.

Метады даследавання: агульналагічныя – аналіз, сінтэз, параўнанне, абстрагаванне, абагульненне, індукцыя, дэдукцыя, аналогія і мадэляванне; эмпірычныя – назіранне, апісанне, вымярэнне і эксперымент; метады тэарэтычнага даследавання – фармалізацыя, гіпатэтыка-дэдуктыўны метады і матэматычная гіпотэза.

Атрыманыя вынікі і іх навізна:

1. Метады мадэлявання працэсаў апрацоўкі неаднародных дадзеных у буферных назапашвальніках маршрутызатараў, адрозны ад існых ужываннем тэорыі клеткавых аўтаматаў пры аналітычным апісанні працэсаў функцыянавання буферных назапашвальнікаў маршрутызатараў сеткі сувязі адмысловага прызначэння, што дазволіла на 9 % падвысіць дакладнасць разліку асноўных характарыстык якасці абслугоўвання ў параўнанні з вядомымі падыходамі.

2. Метады кіравання неаднароднымі прыярытэтнымі дадзенымі буферных назапашвальнікаў маршрутызатараў, які адрозніваецца ўлікам складнікаў трафіку сеткі сувязі спецыяльнага прызначэння, такіх як групы важнасці, катэгорыі тэрміновасці генераваных дадзеных, і які дазваляе павялічыць аб'ём апрацаваных інфармацыйных пасылак у буферных назапашвальніках маршрутызатара першага прыярытэтнага ўзроўню на 19 %, другога прыярытэтнага ўзроўню на 29 % пры дапушчальным значэнні страт трэцяга прыярытэтнага ўзроўню інфармацыі.

3. Алгарытм прыярытэтнага кіравання неаднароднымі дадзенымі маршрутызатара сеткі сувязі спецыяльнага прызначэння, які забяспечвае на 20 % павелічэнне агульнага аб'ёму прыярытэтных дадзеных, апрацаваных у буферных назапашвальніках маршрутызатараў, і які дазваляе забяспечыць ступень кіравання сеткі сувязі спецыяльнага прызначэння «У поўным аб'ёме».

Ступень выкарыстання: вынікі дысертацыйнага даследавання ўкаранены ў тэхналагічны працэс у ААТ «АГАТ-СІСТЭМ – кіруючая кампанія холдынгу «Сістэмы сувязі і кіравання» пры распрацоўцы і вытворчасці выраба П-215.

Абсяг ужывання: тэлекамунікацыйныя сістэмы.

РЕЗЮМЕ

Чернявский Павел Сергеевич

Методы и алгоритмы приоритетного управления неоднородными данными буферных накопителей маршрутизаторов

Ключевые слова: маршрутизатор, буферный накопитель, клеточный автомат, методы обработки трафика, приоритизация данных.

Цель работы: разработка методов и алгоритмов приоритетного управления неоднородными данными буферных накопителей маршрутизаторов для обеспечения требуемой степени управления сети связи специального назначения.

Методы исследования: общелогические – анализ, синтез, сравнение, абстрагирование, обобщение, индукция, дедукция, аналогия и моделирование; эмпирические – наблюдение, описание, измерение и эксперимент; методы теоретического исследования – формализация, гипотетико-дедуктивный метод и математическая гипотеза.

Полученные результаты и их новизна:

1. Метод моделирования процессов обработки неоднородных данных в буферных накопителях маршрутизаторов, отличающийся от существующих применением теории клеточных автоматов при аналитическом описании процессов функционирования буферных накопителей маршрутизаторов сети связи специального назначения, что позволило на 9 % повысить точность расчета основных характеристик качества обслуживания по сравнению с известными подходами.

2. Метод управления неоднородными приоритетными данными буферных накопителей маршрутизаторов, отличающийся учетом составляющих трафика сети связи специального назначения, таких как группы важности, категории срочности генерируемых данных, и позволяющий увеличить объем обработанных информационных посылок в буферных накопителях маршрутизатора первого приоритетного уровня на 19 %, второго приоритетного уровня на 29 % при допустимом значении потерь третьего приоритетного уровня информации.

3. Алгоритм приоритетного управления неоднородными данными маршрутизатора сети связи специального назначения, обеспечивающий на 20 % увеличение общего объема приоритетных данных, обработанных в буферных накопителях маршрутизаторов, и позволяющий обеспечить степень управления сети связи специального назначения «В полном объеме».

Степень использования: результаты диссертационного исследования внедрены в технологический процесс в ОАО «АГАТ-СИСТЕМ – управляющая компания холдинга «Системы связи и управления» при разработке и производстве изделия П-215.

Область применения: телекоммуникационные системы.

SUMMARY

Cherniavski Pavel

Methods and algorithms for priority management of inhomogeneous data of router buffers

Keywords: router, buffer storage, cellular automaton, traffic processing methods, data prioritization.

Work purpose: development of methods and algorithms for priority control of heterogeneous data of buffer storage devices of routers to ensure the required degree of control of a special-purpose communication network.

Research methods: the general-logical – the analysis, synthesis, comparison, abstraction, generalization, an induction, deduction, analogy and modeling; the empirical – supervision, the description, measurement and experiment; methods of theoretical research – formalization, a hypothetico-deductive method and a mathematical hypothesis.

The received results and their novelty:

1. A method for modeling the processing of heterogeneous data in buffer stores of routers, which differs from the existing ones by the application of the theory of cellular automata in the analytical description of the processes of functioning of buffer stores of routers of a special-purpose communication network, which made it possible to increase the accuracy of calculating the main characteristics of the quality of service by 9 % in comparison with the known approaches.

2. A method for managing heterogeneous priority data of buffer drives of routers, which is distinguished by taking into account the components of traffic of a special-purpose communication network, such as groups of importance, categories of urgency of generated data and allowing to increase the volume of processed data messages in the buffer drives of a router of the first priority level by 19 %, of the second priority level by 29 % with an admissible value of the loss of the third priority level of information.

3. Algorithm of priority control of heterogeneous data of a router of a special-purpose communication network, providing a 20 % increase in the total volume of priority data processed in the buffer storage of routers and allowing to ensure the degree of control of the special-purpose communication network «in full».

Extent of use: results of dissertation research are introduced in technological process in OJSC «AGAT-SYSTEM» – Management Company of Communication and Control Systems Holding» during the developing and production of the product P-215.

Scope: telecommunication systems.

Научное издание

Чернявский Павел Сергеевич

**МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ ПРИОРИТЕТНОГО УПРАВЛЕНИЯ
НЕОДНОРОДНЫМИ ДАННЫМИ БУФЕРНЫХ НАКОПИТЕЛЕЙ
МАРШРУТИЗАТОРОВ**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

по специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка
информации

Подписано в печать . Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная. Гарнитура «Гаймс».
Отпечатано на ризографе. Усл. печ. л. 1,63. Уч. изд. л. 1,4. Тираж 60 экз. Заказ .

Издатель и полиграфическое исполнение: учреждение образования
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 1/238 от 24.03.2014,

№ 2/113 от 07.04.2014, № 3/615 от 07.04.2014.

ЛП № 02330/264 от 14.04.2014.

220013, Минск, П. Бровки, 6