

П. С. ЧЕРНЯВСКИЙ

## МЕТОД МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ НЕОДНОРОДНЫХ ДАННЫХ В БУФЕРНЫХ НАКОПИТЕЛЯХ МАРШРУТИЗАТОРОВ

«Военная академия Республики Беларусь»

*В статье предложен метод моделирования процессов обработки неоднородных данных в буферных накопителях маршрутизаторов. В отличие от существующих подходов в разработанном методе при аналитическом описании процессов функционирования буферных накопителей маршрутизаторов в условиях влияния неоднородного трафика абонентов сети связи специального назначения использован аппарат теории клеточных автоматов, что позволило внести учет вероятности своевременной обработки данных всех используемых приоритетных уровней направлений связи.*

*В результате проведенного эксперимента на основе реальной сети специальной связи установлено, что разработанный метод моделирования процессов обработки неоднородных данных в буферных накопителях маршрутизаторов позволяет повысить точность определения вероятности своевременной доставки приоритетной информации абонентов сети связи специального назначения, в сравнении с существующими стандартизированными методами.*

**Ключевые слова:** управление, клеточный автомат, неоднородные данные, буферный накопитель, метод моделирования, трафик, приоритет.

### Введение

Использование существующих подходов к аналитическому описанию процессов функционирования буферных накопителей маршрутизаторов в условиях влияния неоднородного трафика абонентов позволяет получать чрезвычайно громоздкие и неудобные выражения для расчета основных характеристик качества обслуживания, а их точность расчета влияет на оценку степени управления всей сети связи специального назначения [3].

С целью обеспечения требуемой степени управления сетью связи специального назначения разработан метод моделирования процессов обработки неоднородных данных в буферных накопителях маршрутизаторов.

Использование разработанного метода позволяет повысить точность определения вероятности своевременной обработки неоднородных данных буферных накопителей маршрутизаторов, за счет введения учета обработки данных всех приоритетных уровней направлений связи. Это достигается путем применения аппарата теории клеточных автоматов при описании процессов функционирования буферных накопителей маршрутизаторов цифровой сети связи специального назначения.

### Основная часть

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  $n = N_B$  направлениям (группам важности). Каждое направление характеризуется приоритетом  $P_n$ , при этом  $P_1 > P_2 > P_n$  (рис. 1) [4].

Максимальная производительность  $\rho = \rho_{max}$ , обеспечивается при  $N = N_{min}$ .

$N_1$	$P_{nc1}$
$N_2$	$P_{nc2}$
$N_3$	$P_{nc3}$

Рис. 1. Вариант распределения приоритетных данных абонентов по направлениям связи

Производительность каждого направления зависит от общей производительности следующим образом:

$$N = N_{max} \rho_n = \frac{\rho}{N_{max}}. \quad (1)$$

Для повышения производительности  $\rho$  маршрутизатора в случае незанятости направлений  $N_B$ , число таких направлений  $N$  должно быть минимальным,  $\rho_n = \frac{\rho}{n}$ .

2. Каждое направление, если оно существует обеспечивает передачу пакетов с гарантированными долями важности приоритетов пакетов по характеристике обрабатываемой информации  $P_{хи}$ .

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

где  $P_{NГВ}$  – общая доля приоритета  $N$ -направления связи,

$P_{ij}$  –  $i$ -ый приоритет по характеристике информации  $j$ -ой группы важности.

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

$$P_{кс1} > P_{кс2} > P_{кс3} > P_{кс4} > P_{кс5} > P_{кс6}, \quad (3)$$

где  $P_{кс1}$  – категория срочности абонента «Вне всякой очереди»;

$P_{кс2}$  – категория срочности абонента «Гранит»;  
 $P_{кс3}$  – категория срочности абонента «Воздух»;  
 $P_{кс4}$  – категория срочности абонента «Ракета»;  
 $P_{кс5}$  – категория срочности абонента «Самолет»;  
 $P_{кс6}$  – категория срочности абонента «Обыкновенная».

4. Каждый пакет характеризуется приоритетом по типам данных.

$P_{тд1}$  – данные, чувствительные к задержке передачи сообщения в маршрутизаторе (трафик реального времени, голосовой трафик).

$P_{тд2}$  – данные, не чувствительные к задержке передачи сообщения в маршрутизаторе.

Таким образом пакет данных в буферном накопителе маршрутизатора характеризуется следующим весом приоритета:

$$P_{ij} = P_{тд} + P_{кс} + P_{хи}. \quad (4)$$

С учетом принятых обозначений разработана задача математического моделирования процесса обработки неоднородных данных в буферных накопителях

маршрутизаторов: определить вероятности своевременной доставки пакетов для долей трафика различного приоритета в цифровой сети связи такие, что:

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

Для описания вероятности перехода пакетов данных в буферном накопителе маршрутизатора приняты возможные значения для движения клетки по ареалу с учетом использования окрестности Мура. В случае отсутствия данных в буферном накопителе модель движения клетки примет вид:

$$\begin{aligned} f_{i+1,j} &= f_{ij}^{(N)}, \\ f_{i,j+1} &= f_{ij}^{(E)}, \\ f_{i-1,j} &= f_{ij}^{(S)}, \\ f_{i,j-1} &= f_{ij}^{(W)}, \\ f_{ij} &= f_{ij}^{(C)}. \end{aligned} \quad (6)$$

На каждом этапе состояние клетки меняется в зависимости от состояния соседних клеток, при этом,  $f_{ij} = 1$  означает наличие клетки (данных) в ареале (буферном накопителе),  $v_{ij}^{(\alpha)} = 1$ , при наличии препятствия в данной клетке.

Для запрета движения за границы буферного накопителя, либо в клетки, содержащие препятствия, определяем выражение [1]:

$$P_{ij}(\alpha) = \frac{1}{4} (1 - f_{ij}^{(\alpha)}) (1 - v_{ij}^{(\alpha)}). \quad (7)$$

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

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

$$P_{ij}''(S) = \left( 1 - \frac{1}{r} \left( \sum_{k=1}^{r^*} f_{i,j-k} + r - r^* \right) \right) P_{ij}'(S), \quad (9)$$

$$P_{ij}''(E) = \left( 1 - \frac{1}{r} \left( \sum_{k=1}^{r^*} f_{i+k,j} + r - r^* \right) \right) P_{ij}'(E), \quad (10)$$

$$P_{ij}''(W) = \left( 1 - \frac{1}{r} \left( \sum_{k=1}^{r^*} f_{i-k,j} + r - r^* \right) \right) P_{ij}'(W), \quad (11)$$

где  $P'_{ij}(N)$ ,  $P'_{ij}(S)$ ,  $P'_{ij}(E)$ ,  $P'_{ij}(W)$  – вероятности смещения пакета в одну из четырех соседних клеток, рассчитываются по формуле 7,

$r$  – количество клеток, на которые текущий пакет может анализировать ситуацию в буферном накопителе,

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

При наличии сложной иерархии абонентов и использовании групп важности и приоритетов характеристики информации вариант структуры буферного накопителя будет иметь следующий вид (рис. 2).

В данной модели в буферных накопителях будут реализованы 3 группы важности по три приоритета в каждой группе. В зависимости от требований к объемам долей приоритетной информации каждое приоритетное направление будет иметь свой вес приоритета.

Модель буферного накопителя маршрутизатора для первого приоритета  $P_{C'}=0,25P_{N1}$  первого направления  $C'$  примет вид:

$$P''_{ij}(N) = \left( 1 - \frac{1}{l-s} \left( \sum_{k=1}^{r^*} f_{i,j+k} + l - s - r^* \right) \right) P'_{ij}(N), \quad (12)$$

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

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

$$P''_{ij}(W) = 0, \quad (15)$$

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:

$$P''_{ij}(N) = \left( 1 - \frac{1}{l-s} \left( \sum_{k=1}^{r^*} f_{i,j+k} + l - s - r^* \right) \right) P'_{ij}(N), \quad (16)$$

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

$$P''_{ij}(E) = \left( 1 - \frac{2}{n-1} \left( \sum_{k=1}^{r^*} f_{i+k,j} + (n-1)/2 - r^* \right) \right) P'_{ij}(E), \quad (18)$$

$$P''_{ij}(W) = \left( 1 - \frac{2}{n-1} \left( \sum_{k=1}^{r^*} f_{i-k,j} + (n-1)/2 - r^* \right) \right) P'_{ij}(W). \quad (19)$$

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

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

$$P''_{ij}(S) = \left( 1 - \frac{1}{s} \left( \sum_{k=1}^{r^*} f_{i,j-k} + s - r^* \right) \right) P'_{ij}(S), \quad (21)$$

$$P''_{ij}(E) = 0, \quad (22)$$

$$P''_{ij}(W) = \left( 1 - \frac{1}{n-1} \left( \sum_{k=1}^{r^*} f_{i-k,j} + n - 1 - r^* \right) \right) P'_{ij}(W). \quad (23)$$

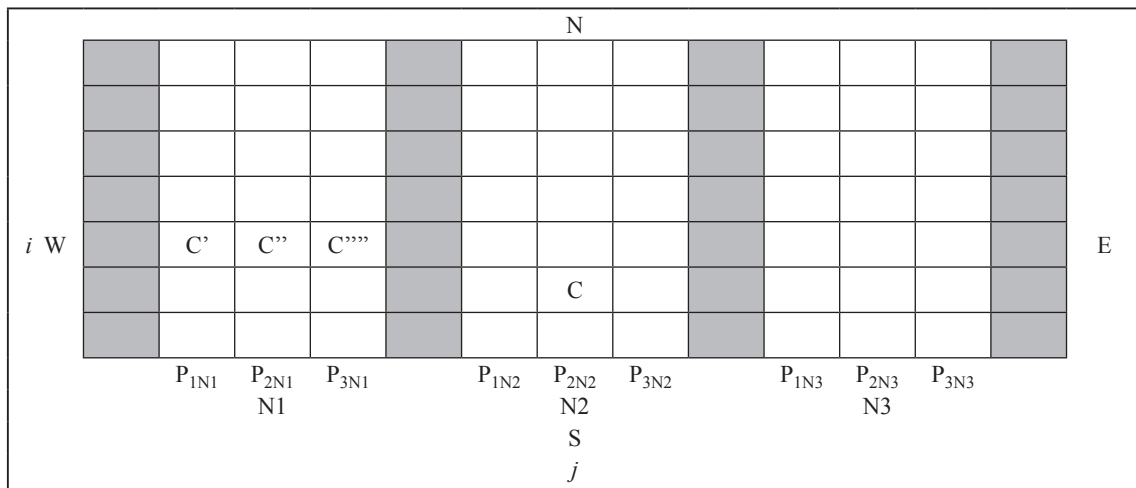


Рис. 2. Вариант структуры буферного накопителя с делением приоритетных направлений

Эксперимент по сбору статистических данных позволил оценить вероятностно-временные характеристики процесса обработки информационных посылок в цифровой сети связи с учетом приоритизации неоднородного трафика абонентов сети связи специального назначения [2].

Результаты проведенного эксперимента, а также аналитического расчета и имитационного моделирования отражены на рис. 3

Для оценки точности определения вероятности своевременной доставки приоритетных данных абонентов цифровой сети связи специального назначения использовано выражение:

$$x_{рм} = \frac{p_{рм}}{p_{см}} = \frac{0,95}{0,87} = 1,091, \quad (24)$$

где  $x_{рм}$  – оценка точности расчета;

$p_{см}$  – доверительная вероятность для существующего метода,

$p_{рм}$  – доверительная вероятность для разработанного метода.

### Заключение

Использование разработанного метода моделирования процессов обработки неоднородных данных в буферных накопителях маршрутизаторов позволяет на 9% повысить точность расчета основных характеристик качества обслуживания по сравнению с известными методами.

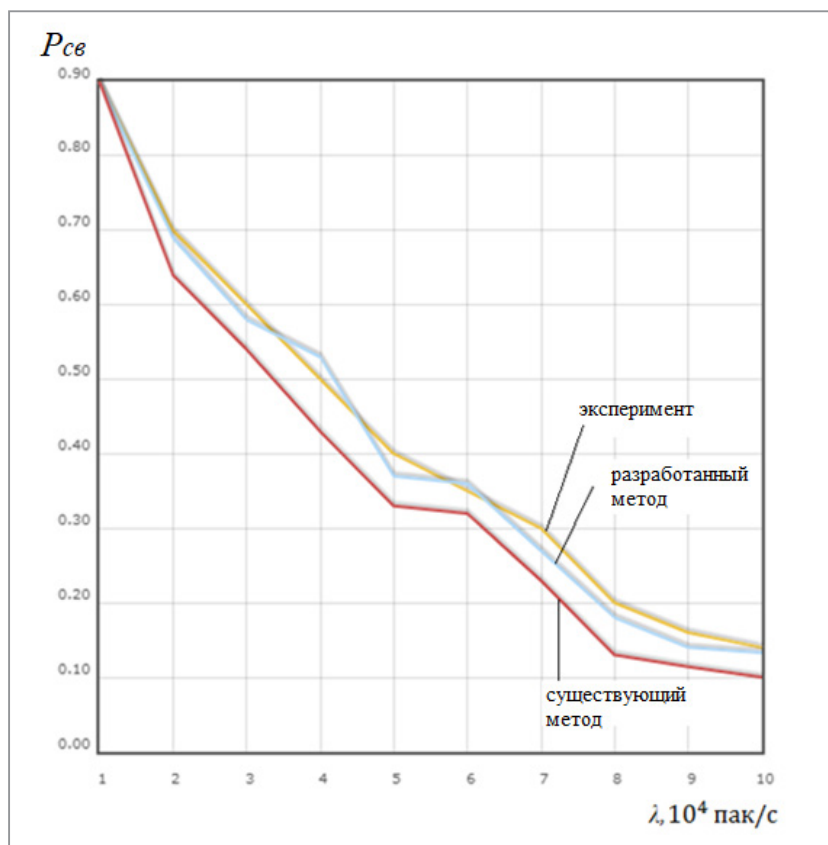


Рис. 3. Зависимость вероятности своевременной доставки сообщений от интенсивности поступления пакетов информации

### ЛИТЕРАТУРА

1. Степанцов, М. Е. Математическая модель направленного движения группы людей // Матем. моделирование. – 2004. – С. 43–49.
2. Чернявский, П. С. Имитационная модель системы приоритетной обработки неоднородного трафика центра коммутации / П. С. Чернявский [и др.] // Весн. сувязі. – 2014. – № 2 (124). – С. 44–47.
3. 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.
4. Чернявский, П. С. Рекомендации по совершенствованию центров коммутации сети связи специального назначения / П. С. Чернявский, А. А. Бысов // Доклады БГУИР. – 2014. – № 7 (85). – С. 90–95.

## REFERENCES

1. **Stepantsov, M. E.** Mathematical model of directed motion of a group of people // *Matem. modeling.* – 2004. – S. 43–49.
2. **Chernyavski, P. S.** Simulation model of the system of priority processing of non-uniform traffic of the switching center / P. S. Chernyavski [et al.] // *Vesn. svyazi.* – 2014. – No. 2 (124). – S. 44–47.
3. **Chernyavski, P. S.** Method of priority processing of non-uniform traffic of a military communications network / P. S. Chernyavski, A. A. Bysov, G. G. Mezhtentsev, // *Vestn. Military. acad. Rep. Belarus.* – 2014. – No. 2 (43). – S. 151–157.
4. **Chernyavski, P. S.** Recommendations for improving the switching centers of a special-purpose communication network / P. S. Chernyavski, A. A. Bysov // *Reports of BSUIR.* – 2014. – No. 7 (85). – S. 90–95.

*Поступила*  
28.06.2021

*После доработки*  
30.08.2021

*Принята к печати*  
01.09.2021

*CHERNYAVSKI P. S.*

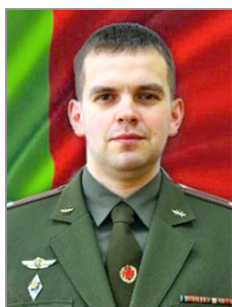
## METHOD FOR SIMULATING PROCESSES OF PROCESSING INHOMOGENEOUS DATA IN BUFFER DRIVES OF ROUTERS

*Military academy of the Republic of Belarus*

*The article proposes a method for modeling the processing of heterogeneous data in the buffer storage of routers. In contrast to the existing approaches, in the developed method, in the analytical description of the processes of functioning of buffer storage devices of routers under the influence of heterogeneous traffic of subscribers of a special-purpose communication network, the apparatus of the theory of cellular automata was used, which made it possible to take into account the probability of timely processing of data of all used priority levels of communication directions.*

*As a result of the experiment carried out on the basis of a real special communication network, it was found that the developed method of modeling the processes of processing inhomogeneous data of buffer storage devices of routers makes it possible to increase the accuracy of determining the probability of timely delivery of priority information to subscribers of a special purpose communication network, in comparison with the existing standardized methods.*

**Keywords:** control, cellular automaton, heterogeneous data, buffer storage, simulation method, traffic, priority.



**Чернявский Павел Сергеевич**, научный сотрудник научно-исследовательской части учреждения образования «Военная академия Республики Беларусь».

**Chernyavski Pavel Sergeevich**, Researcher, Research Unit educational establishment «Military academy of the Republic of Belarus».

E-mail: [charnyayski@gmail.com](mailto:charnyayski@gmail.com)