

МОДЕЛЬ МНОГОКАНАЛЬНОЙ БУФЕРНОЙ ПАМЯТИ СЕТЕВОГО КОММУТАТОРА

И. В. Артемов¹, М. Н. Коннов², Д. В. Патунин³

^{1, 2, 3} Пензенский государственный университет, Пенза, Россия

¹ivartyomov@yandex.ru

²rapakmax@yandex.ru

³dvpatunin@gmail.com

Аннотация. Рассматриваются вопросы построения компактной подсистемы, моделирующей средствами цветных временных сетей Петри многоканальную буферную память коммутатора сети Ethernet с поддержкой QoS.

Ключевые слова: Ethernet, коммутатор, буферная память, сеть Петри, качество обслуживания, CPN TOOLS

Для цитирования: Артемов И. В., Коннов М. Н., Патунин Д. В. Модель многоканальной буферной памяти сетевого коммутатора // Вестник Пензенского государственного университета. 2021. № 3. С. 78–84.

В состав современных сетевых коммутаторов входит буферная память, предназначенная для хранения продвигаемых коммутатором кадров на время занятости порта назначения. Коммутаторы, поддерживающие качество обслуживания (QoS), включают механизмы диспетчеризации и управления очередями, которые предполагают организацию нескольких очередей FIFO, собирающие кадры определенных классов QoS, направляемые в порт назначения, что предполагает организацию многоканальной буферной памяти. От алгоритмов диспетчеризации очередей в буферной памяти коммутаторов зависят потери, а также значения задержки и ее разброс (джиттера) передаваемых кадров [1].

Для исследования эффективности алгоритмов диспетчеризации и управления буферной памятью применяются методы имитационного моделирования, в том числе с использованием аппарата временных цветных иерархических сетей Петри [2, 3].

Типичная структура сети Петри, моделирующей буфер выходного порта коммутатора Ethernet с поддержкой QoS, представлена на рис. 1 и содержит [4]:

- входную Buffer in и выходную Buffer out позиции буфера выходного порта;
- подсеть классификатора входящего кадра Classifier, направляющего его в одну из четырех очередей на обработку;
- набор подсетей Queue, каждая из которых моделирует одноканальные FIFO очереди, содержащие кадры одного класса QoS, ожидающие передачу;
- подсеть scan, реализующая приоритетное обслуживание очередей;
- позиции start selection, через которые подсеть scan передает в очередь разрешение на передачу кадра;

–позиции size queue, содержит информацию о количестве кадров, находящихся в соответствующей очереди.

Кроме указанных, сеть может содержать дополнительные компоненты и измерительные фрагменты для сбора статистики.

Авторами была предложена подсеть одноканальной буферной памяти коммутатора, которая позволяет учитывать различные примененные режимы буферизации (подробно описана в [5]).

Представленный на рис. 1 подход к построению модели многоканальной буферной памяти приводит к громоздким многоярусным схемам, которые плохо масштабируются, так как для каждой новой очереди необходимо было внесение изменений на более высоком уровне иерархии модели, что влечет за собой усложнение схемы и увеличение времени моделирования.

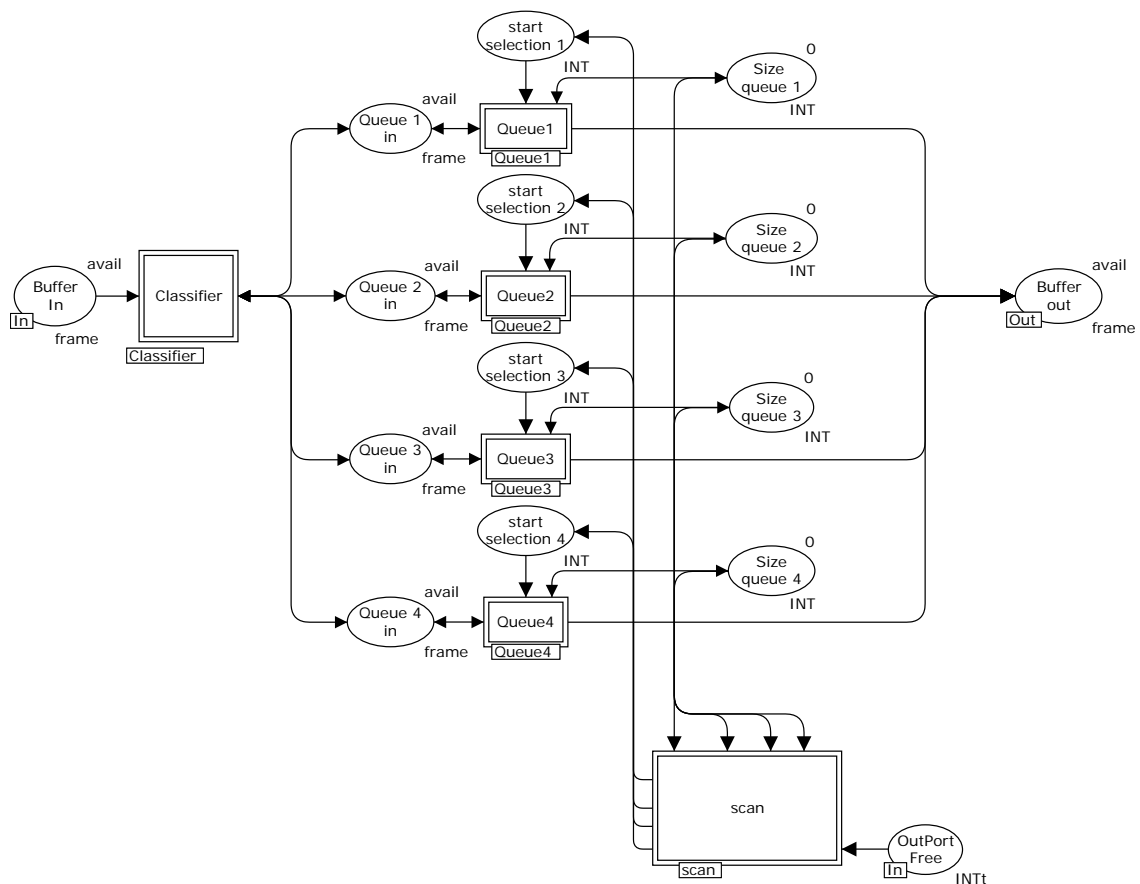


Рис. 1. Сеть Петри, моделирующая буфер выходного порта коммутатора

В настоящей работе предлагается компактная реализация цветной временной подсети Петри, моделирующей многоканальную буферную память, в которой количество сетевых компонент (позиций и переходов) не зависит от количества моделируемых каналов (очередей FIFO). Это достигается использованием возможностей языка CPN ML: составного множества цветов product, представляющих кортеж из номера очереди и самой очереди кадров [6].

Реализация возможной реализации компактной модели четырехканального буфера для коммутатора с полной буферизацией представлена на рис. 2. В отличие от предыдущих моделей [5] в позиции, сохраняющей очередь в виде маркера цвета типа список (например, NewBuffer), хранится не один список, а сразу несколько списков, значения

цветов которых соответствуют очередям отдельных каналов, а обращение к которым осуществляется при помощи числового идентификатора очереди в одном маркере составного цвета.

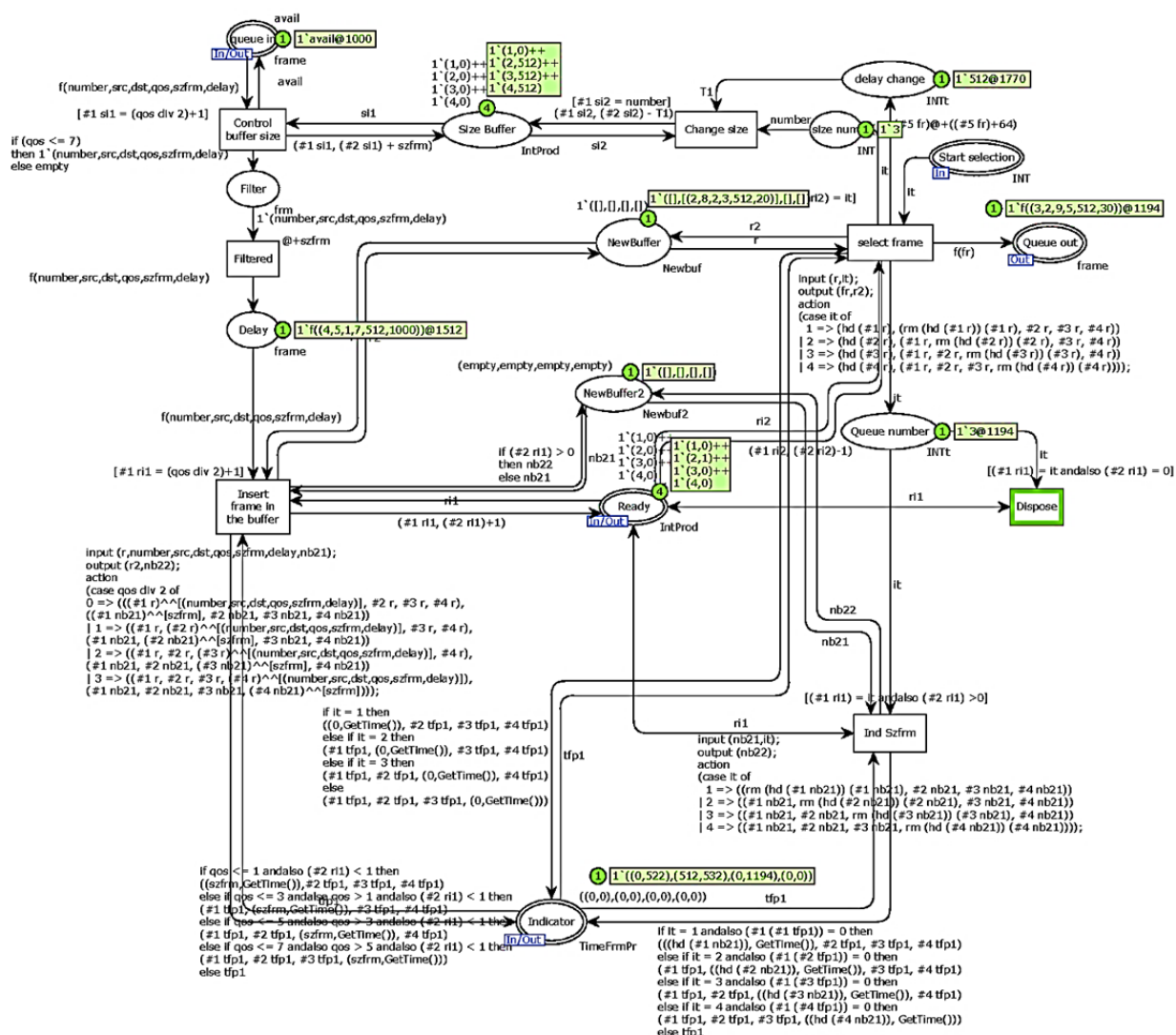


Рис. 2. Компактная модель многоканальной буферной памяти (вариант 1)

Кадры сетевого трафика коммутатора моделируются последовательностью маркеров, цвет которых составляет кортеж *frm*-полей, соответствующих формату кадров Ethernet 802.1 q/p (МАК адреса, поля тега класса QoS, поле общей длины кадра, поля времени прихода и исхода кадров).

Маркер, моделирующий очередной кадр, принимается в позицию *queue in*. Переход *Control buffer size* проверяет, достаточно ли места в одном из четырех буферов для поступившего кадра, а затем либо отправляет маркер кадра в позицию *Garbage*, собирающую кадры, которые не могли быть полностью помещены в очередь, либо рассылает маркеры, моделирующие процесс записи кадра в буфер, для чего:

- корректирует размер одной из четырех очередей в позиции *Size queue* на размер принятого кадра;

- моделируется процесс загрузки кадров в очередь, для чего маркер помещает в позицию *Filter*, задерживается на *szfrm* тактов (размер кадра в битах) срабатыванием переходом *Filtered* с задержкой *szfrm*, после попадает в позицию *Delay*.

Переход Insert frame in the buffer добавляет очередной загруженный кадр в один из четырех списков кадров в позиции NewBuffer, находящихся в очереди FIFO, для работы с которым используются специальные функции языка CPN ML. Одновременно инкрементирует счетчик готовых к передаче из буфера кадров для данного списка в позиции Ready.

При помещении первого пакета в очередь его размер передается в позицию Indicator, при помещении пакетов в непустую очередь их размеры хранятся в позиции NewBuffer2 в маркерах для данной очереди. Когда подсеть принимает сигнал о разрешении передачи пакета, пакет передается из очереди на выходную позицию. Значения из позиции Indicator применяются в различных алгоритмах диспетчеризации очередей [6, 7].

В позициях Size Buffer и Ready содержится четыре маркера, представляющих собой пару значений идентификатора и количественного параметра. Идентификатор обозначает очередь, для которой хранит значение конкретный маркер. В условии перехода указывается условие, определяющее выбор необходимого маркера при срабатывании перехода.

Позиция Indicator хранит размер первого кадра в очереди и время поступления данного кадра в эту позицию для четырех очередей в одном маркере. Составные множества цветов позволяют обращаться к отдельному цвету в составе маркера при помощи операции #i name, где #i – это указание на i-й элемент в кортеже, а name – имя переменной составного множества цветов. Для обращения к отдельным элементам составного цвета, относящегося к конкретной очереди, выполняется обращение к цвету, описывающему пару значений, затем производится выбор отдельного цвета из полученной части маркера.

В первых вариантах модели многоканальной буферной памяти позиции Size Buffer и Ready содержали четыре значения для каждого из каналов в одном маркере. При срабатывании переходов, использующих значения из данных позиций, передаются значения всех очередей в составе одного маркера, что требует составления условий для каждого случая по взаимодействию только с необходимой частью маркера, описывающей текущую очередь.

В позициях NewBuffer и NewBuffer2 в одном маркере содержатся четыре списка для каждого из каналов. В позиции NewBuffer в списках в качестве элементов выступают кадры, в позиции NewBuffer2 – размеры кадров. Работа с маркерами из данных позиций производится в сегменте кода перехода из-за передачи при срабатывании перехода всех списков в составе маркера. В сегменте кода перехода определяется условие для каждой очереди, в каждом условии выполняются действия по добавлению или удалению элементов в списках посредством операций по работе со списками. В данной модели параметр качества обслуживания в кадре принимает значения от 0 до 7, поэтому четыре очереди были организованы путем разделения диапазона значений QoS на четыре пары.

Считывание кадра из определенной очереди инициирует маркер, поступающий в позицию Start selection от диспетчера с номером очереди, из которой будет считываться соответствующий кадр.

Переход Select frame выбирает маркер кадра, стоящего в голове очереди, и помещает в позицию Queue out. В позиции Ready декрементируется счетчик готовых к передаче кадров для данной очереди, в позиции Indicator сменяется значение размера кадра на нуль, если в списке нет других кадров, и на размер кадра в голове списка в противном случае. В переход Change size подаются номер очереди, из которой был выбран кадр, и его размер с временной задержкой, моделирующей процесс чтения кадра из буфера.

Позиция Output data queue собирает статистические данные об изменении размеров очередей.

Данная модель многоканальной буферной памяти решает проблемы масштабирования на верхних уровнях, но создает новые проблемы для масштабирования на уровне самой буферной памяти. Определение количества элементов в составном цвете по количеству каналов в позициях Indicator, NewBuffer и NewBuffer2 при масштабировании потребует переопределения цветов с указанием нового количества элементов в цвете. При срабатывании переходов выполняется передача в составе маркера всех элементов для каждой из очередей, поэтому при масштабировании данной модели необходимо определение условий по работе с частью составного цвета для каждого из каналов буферной памяти.

Для разрешения новых проблем при масштабировании предлагается компактная реализация модели четырехканального буфера для коммутатора с полной буферизацией, которая отображена на рис. 3.

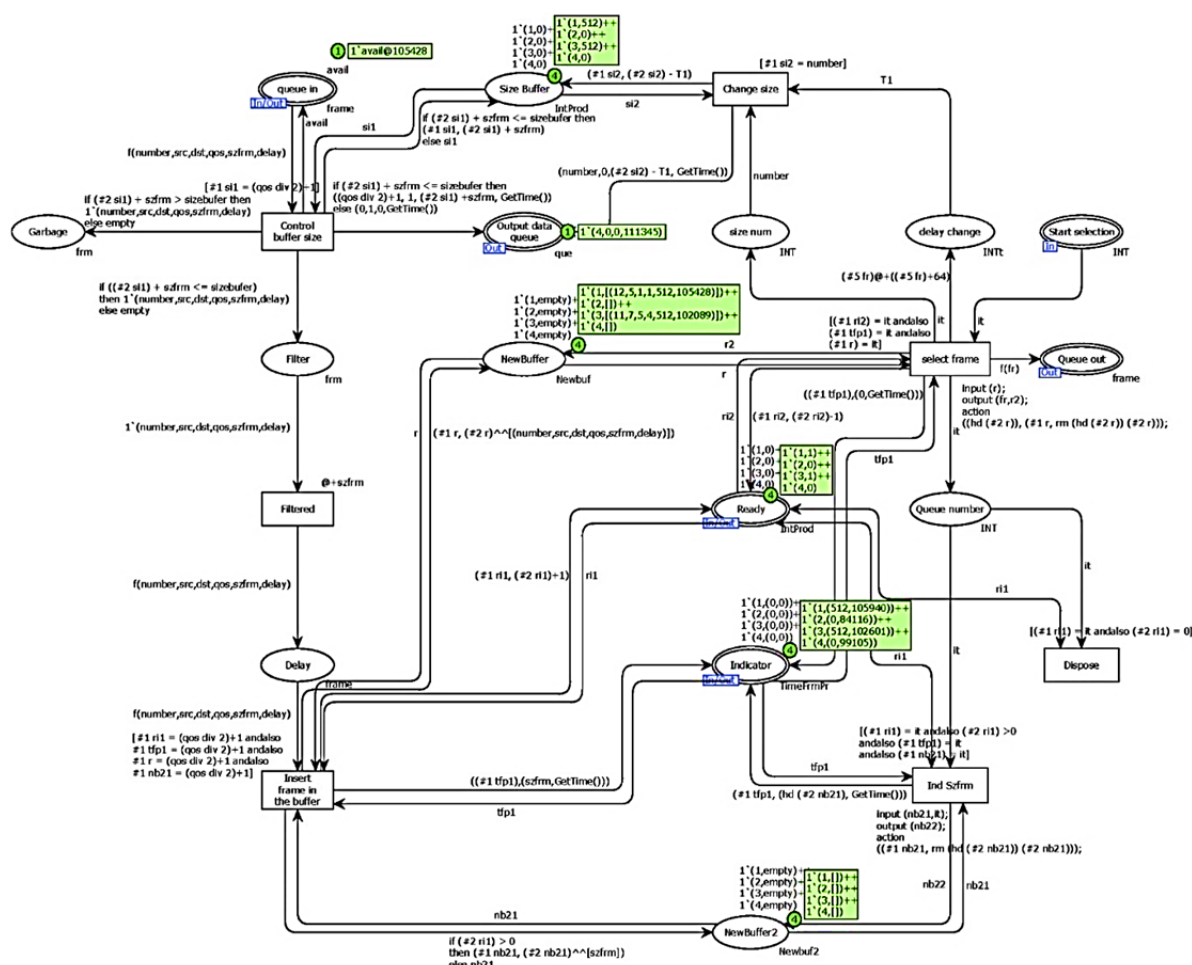
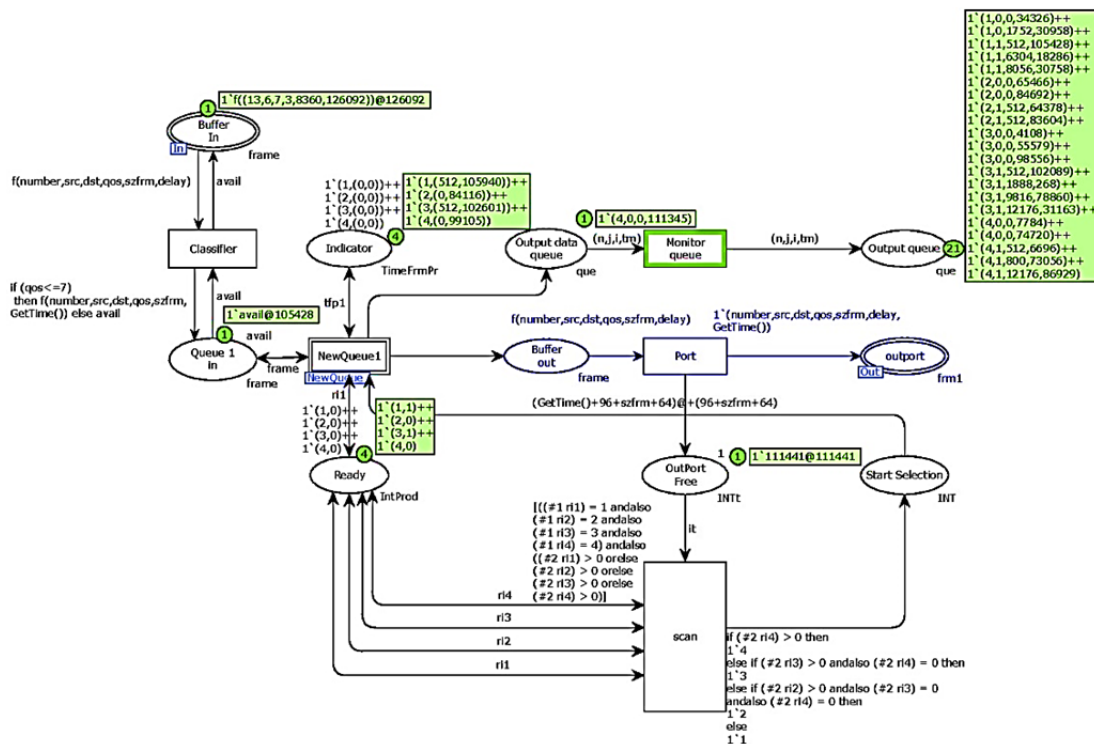


Рис. 3. Компактная модель многоканальной буферной памяти (вариант 2)

В позициях NewBuffer, NewBuffer2, Indicator были изменены цвета: в позиции NewBuffer хранятся четыре маркера составного цвета из двух цветов – числа-идентификатора очереди и списка кадров для данной очереди; в позиции NewBuffer2 хранятся четыре маркера составного цвета, состоящего из числа-идентификатора и списка размеров кадров; в позиции Indicator цвет – идентификатор очереди, размер первого кадра в очереди и время его поступления на эту позицию. Для выбора конкретного маркера в условиях перехода определяются зависимости номера очереди и значения параметра качества обслуживания кадра.

Работа с кадрами в сегменте кода в данной модели выполняется только для извлечения кадра из очереди в одном из маркеров в позиции NewBuffer и для извлечения размера кадра из очереди в позиции NewBuffer2. Для этого производится получение первого элемента в очереди и удаление элемента, который полностью соответствует полученному кадру. В результате создаются новые две переменные: извлеченный элемент из очереди и очередь без этого элемента. Проверки для отдельных случаев, как в модели многоканальной буферной памяти, показанной на рис. 1, не требуются, так как условия срабатывания перехода гарантируют выборку требуемого маркера из множества по заданным условиям.

Применение рассмотренной модели многоканальной буферной памяти в сети Петри, моделирующей алгоритм диспетчеризации очередей с приоритетным обслуживанием [8], показано на рис. 4.



Список литературы

1. Кучерявый Е. А. Управление трафиком и качество обслуживания в сети Интернет. СПб. : Наука и техника, 2004. 336 с.
2. Зайцев Д. А., Шмелева Т. Р. Моделирование телекоммуникационных систем в CPN Tools. Одесса, 2008. 68 с.
3. Механов В. Б. Моделирование алгоритмов обслуживания очередей в сетях с поддержкой QoS // Информатизация образования и науки. 2011. № 4. С. 29–38.
4. Kizilov E., Konnov N., Nikishin K. [et al.]. Scheduling queues in the ethernet switch, considering the waiting time of frames // MATEC Web of Conferences «2016 International Conference on Electronic, Information and Computer Engineering, ICEICE 2016». Hong Kong, 2016. P. 01011.
5. Артемов И. В., Коннов М. Н., Патунин Д. В. Сеть Петри, моделирующая работу буферной памяти коммутатора // Информационные технологии в науке и образовании. Проблемы и перспективы : сб. ст. VII Всерос. межвуз. науч.-практ. конф. Пенза : Изд-во ПГУ, 2020. С. 5–7.
6. Jensen K., Kristensen L. Coloured Petri Nets: modeling and validation of concurrent systems. Berlin; Heidelberg: Springer-Verlag, 2009. P. 384.
7. Кизилев Е. А., Коннов Н. Н., Патунин Д. В. Моделирование адаптивной диспетчеризации очередей в коммутаторе с поддержкой QOS // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2017. № 2. С. 170–182.
8. Артемов И. В., Коннов М. Н. Модель адаптивного алгоритма формирования виртуального таймслота для коммутатора Ethernet // Новые информационные технологии и системы : сб. науч. ст. XVII Междунар. науч.-техн. конф. Пенза : Изд-во ПГУ, 2020. С. 99–103.
9. Kizilov E., Konnov N., Pashchenko D., Trokoz D. Modeling of QoS in the industrial Ethernet switches // The 5th International Workshop on Computer Science and Engineering-Information Processing and Control Engineering (WCSE 2015-IPCE) (Moscow, April 15–17, 2015). Moscow, 2015. P. 185–190.

Информация об авторах

Артемов Илья Владимирович, магистрант, Пензенский государственный университет.

Коннов Максим Николаевич, инженер, Пензенский государственный университет.

Патунин Дмитрий Васильевич, аспирант, Пензенский государственный университет.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.