

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЦВЕТНЫМИ СЕТЯМИ ПЕТРИ ПРОЦЕССА РЕГИСТРАЦИИ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ ИНФОРМАЦИИ

Аннотация. Рассматриваются вопросы моделирования подсистемы регистрации радиолокационной станции временными раскрашенными сетями Петри. Предложенная модель позволяет оценивать взаимное влияние информационных потоков через сеть Gigabit Ethernet.

Ключевые слова: моделирование, раскрашенные сети Петри, Ethernet, регистрация радиолокационного сигнала.

Abstract. The article considers a problem of modeling a subsystem of radar data registration by means of timed colored Petri nets. An introduced model can be used for interference estimation between data flows in Gigabit Ethernet.

Key words: simulation, colored Petri nets, Ethernet, registration of radar signal.

Введение

При разработке алгоритмов обработки радиолокационных сигналов, отладке и испытаниях комплексов дальнего радиолокационного обнаружения (ДЛРЛО) нашли применение аппаратно-программные средства регистрации и анализа радиолокационных сигналов, которые обеспечивают запись потоков данных в трактах приемообработки бортовой радиолокационной станции (РЛС) с их временно-азимутальной привязкой и последующий анализ данных на ЭВМ [1, 2].

В статье рассмотрены вопросы моделирования подсистемы регистрации РЛС временными раскрашенными сетями Петри и проведена оценка взаимного влияния информационных потоков через сеть Gigabit Ethernet.

1. Описание объекта исследования

Укрупненная структурная схема регистрации радиолокационных сигналов в перспективном комплексе ДЛРЛО представлена на рис. 1.

С выхода приемной части РЛС реализации эхо-сигнала от зондирующих импульсов, подвергнутого квадратурному преобразованию частоты в нулевую область (DDC преобразование), поступают на вход спецвычислителя, производящего обработку в соответствии с режимом РЛС для обнаружения целей.

Контроллер, представляющий собой встроенную ЭВМ, завершает первичную обработку радиолокационной информации, формируя кодограммы формуляров целей и направляя их через сеть бортовой информационно-управляющей системы (БИУС), реализованной по технологии коммутируемого Gigabit Ethernet «потребителям» – ЭВМ, выполняющим вторичную и последующие обработки радиолокационной информации [3].

Концентратор выполняет съем данных с контрольных точек спецвычислителя, их форматирование (снабжение служебными заголовками) и передачу в контроллер, который передает их периодически через сеть БИУС в регистратор, представляющий собой ЭВМ в промышленном исполнении с накопителем на сменных твердотельных дисках.

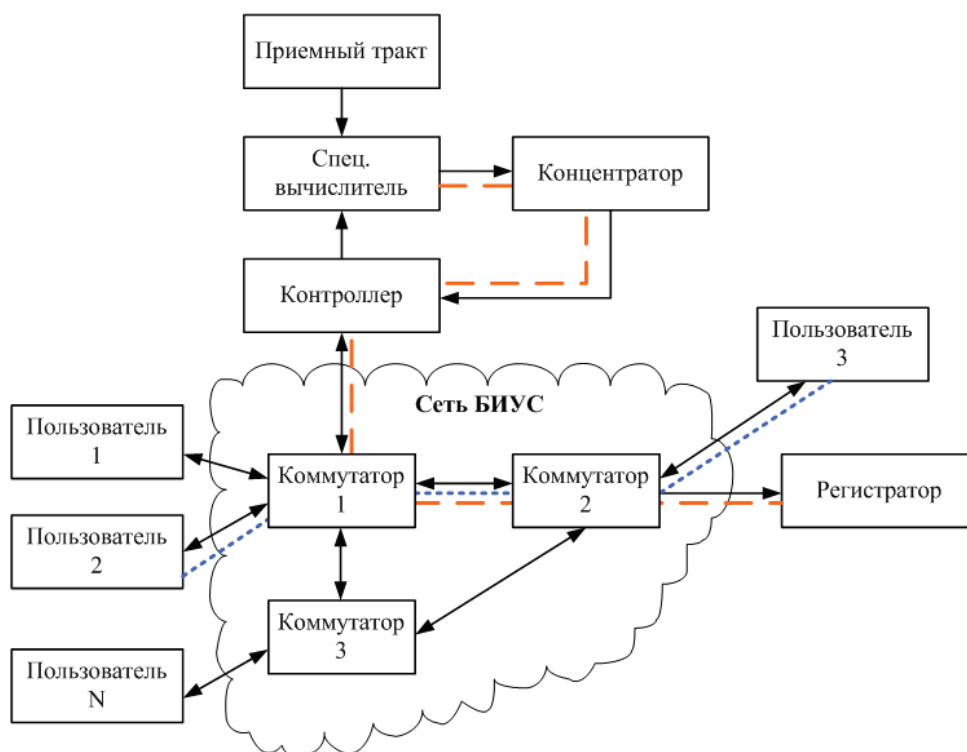


Рис. 1. Структурная схема регистрации радиолокационных сигналов

Поток данных, направляемый на регистрацию, может достигать сотен Мбит/с и действует в течение нескольких минут. В связи с этим возникают следующие задачи:

- формирование потока данных, снимаемых с аппаратуры РЛС (определение форматов, размеров буферов в концентраторе и контроллере, а также алгоритма формирования передаваемого потока);
- организация передачи потока регистрируемых данных через сеть БИУС (оценка влияния потока регистрации на работу сети, выбор алгоритма обслуживания потока в сетевом оборудовании);
- организация регистрации на носителе (оценка требуемой пропускной способности ЭВМ регистратора, разработка алгоритма взаимодействия сетевого подключения, оперативной и дисковой памяти).

2. Описание модели

В связи со сложностью аналитического описания системы автором для решения указанных задач предлагается использовать имитационные методы иерархических временных раскрашенных сетей Петри, которые представляют собой универсальную алгоритмическую систему, позволяющую описывать алгоритмически сложные объекты [4]:

- свойства «цвета» позволяют описывать алгоритмы обработки, зависящие от параметров обрабатываемых потоков данных;
- иерархичность позволяет строить сложные многокомпонентные модели;
- свойство времени обеспечивает возможность моделирования динамических характеристик объекта.

В качестве инструментальной системы моделирования выбран свободно распространяемый пакет CPN Tools, что обусловлено его гибкостью и широкими возможностями.

Для улучшения выразительных свойств модели решено строить ее в виде иерархической сети и вести разработку методом нисходящего проектирования. Верхний уровень модели представлен на рис. 2 и включает следующие компоненты:

- формирователь потока регистрации из РЛС, который моделируется сложным переходом **SIGNAL SOURCE**, вырабатывающим последовательности маркеров, соответствующих кадрам Gigabit Ethernet с регистрируемыми данными;
- сеть БИУС, которая представлена сложным переходом **NET**;
- приемник потока регистрации представлен сложным переходом **REGISTRATOR**.

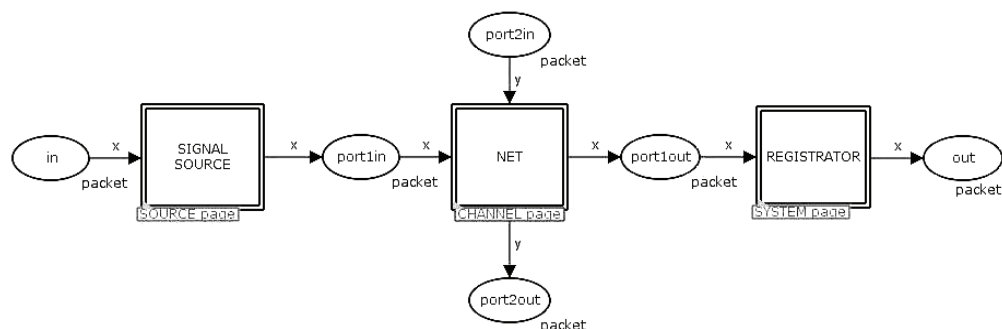


Рис. 2. Верхний уровень модели

Кроме того, модель содержит генератор исходных данных, поступающих в позицию **in** сложного перехода **SIGNAL SOURCE**, и генератор рабочего потока БИУС, поступающего в **port2in** сложного перехода **OTHER SYSTEMS**. Эти генераторы реализуются стандартными средствами CPN Tools и на схеме не показаны.

Опыт работы с пакетом CPN Tools показал, что исследование модели целесообразно проводить для каждого компонента отдельно ввиду требуемых значительных вычислительных ресурсов.

В настоящей работе рассматривается моделирование прохождения потока регистрируемой информации через сеть БИУС и ее влияние на рабочий поток информации.

Известны работы, посвященные моделированию коммутаторов Ethernet [5, 6]. Из них следует, что очереди формируются на выходных портах коммутатора. Задача вырождается в задачу прохождения трафика через транзитный порт линка, связывающего коммутаторы 1 и 2 (рис. 1), через который проходит агрегатный трафик, объединяющий рабочий поток БИУС и поток регистрации. Эта связь является узким местом сети, поэтому ее следует исследовать путем моделирования, для чего необходимо решить вспомогательные задачи:

- построить модель источника для разных режимов работы РЛС и оценить загрузку канала;

- оценить влияние размера буфера в концентраторе на загрузку канала;
- оценить влияние различных алгоритмов арбитража в коммутаторе (равноправные потоки, приоритетное обслуживание);
- оценить влияние потока регистрации на фоновый поток (джиттер прихода пакетов, среднее время ожидания в очереди) при различных режимах работы РЛС;

- оценить пропускную способность канала связи при условии, что через него протекает поток регистрации и фоновый поток.

При проведении исследования будем использовать следующие показатели эффективности:

- загрузка буферов;
- загрузка каналов связи;
- наличие переполнения.

Использование технологии коммутируемого Ethernet, с одной стороны, обеспечивает высокую производительность сети, с другой – вносит неопределенную задержку из-за буферизации кадров в коммутаторах, что отрицательно сказывается на работе чувствительных к задержкам и потерям приложений. Методы обеспечения качества обслуживания (QoS) предоставляют гибкие механизмы перераспределения имеющейся пропускной способности сети между приложениями [5].

Обслуживание в сети рабочего и регистрируемого потоков по методу QoS Best Effort Service (негарантированная доставка) в данном случае нежелательно, так как приведет к значительным задержкам и потерям рабочего трафика, потому что полоса пропускания сети может занимать поток регистрации. Поэтому будем рассматривать сеть с поддержкой приоритетного обслуживания (рис. 3).

Основной единицей передачи данных является кадр Ethernet. Направления дуг соответствуют направлению движения информационных потоков.

Позиции **port1in**, **port2in**, **port1out**, **port2out** представляют собой входные и выходные порты сложного перехода NET. Данные позиции имеют множество цветов **packet**, которое представляет собой кадр Ethernet и описывается следующим образом:

```
colset pnum = int;
colset psize = int;
colset time_ = int;
colset packet = product pnum * psize * time_ timed;
```

Маркеры, имеющие цвет **packet**, описываются тремя параметрами: **pnum** – номер кадра, **psize** – размер кадра в информационных блоках (ИБ), используемый для расчета задержки; **time** – модельное время создания кадра, которое учитывается при расчете общего времени пребывания кадра в очередях. Размер кадра Ethernet и его отдельных полей представляется в ИБ. Например, размер служебной информации в кадре составляет 18 байт, т.е. 2 ИБ.

В данной модели используются следующие описания:

```
var cap: INT;
var cnt: INT;
var x: packet;
var y: packet;
```

```

colset signal = bool timed;
var en: signal;
colset PACKETS = list packet timed;
var packets: PACKETS;
var packets1: PACKETS;
var packets2: PACKETS;
fun ChDelay (packet_sz : int, chan_delay : int) = packet_sz *
chan_delay;
val gbe_delay = 76;
val gbe_IPG = 96;
val net_buf_sz = 100000.

```

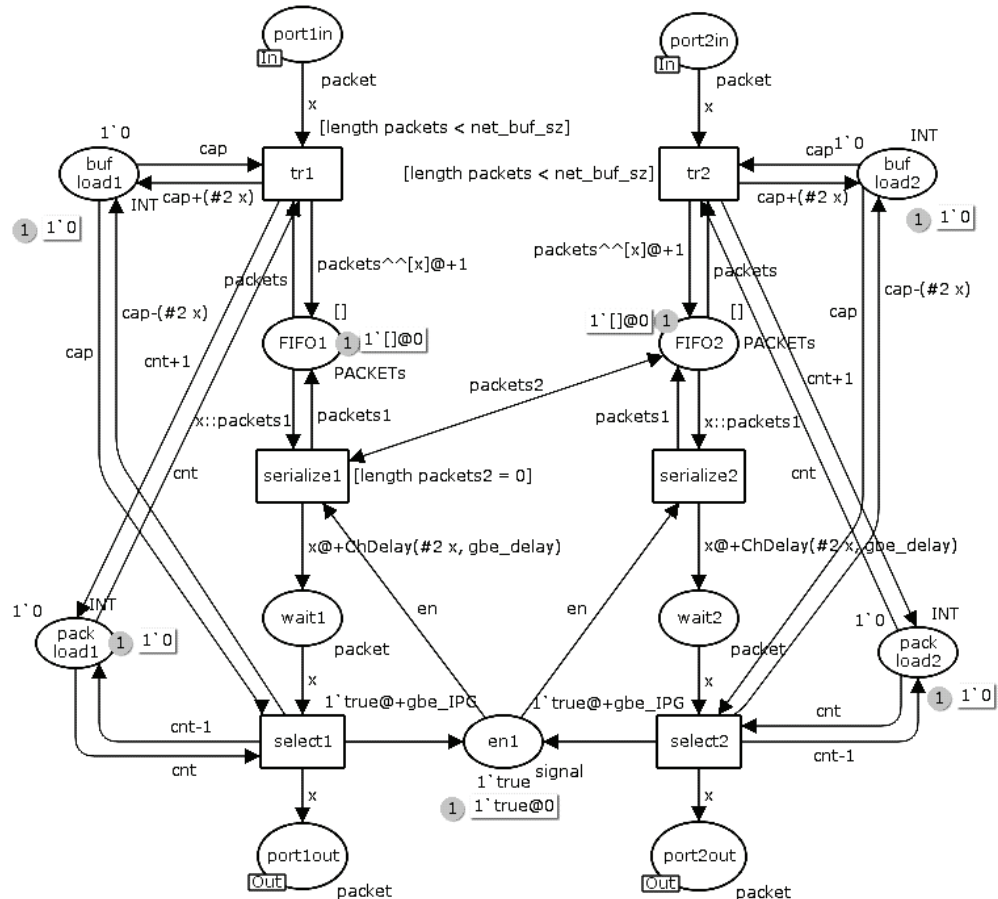


Рис. 3. Модель коммутатора с приоритетным обслуживанием

Предлагаемая модель сети имеет два канала, входные и выходные порты которых представлены в виде позиций **port1in**, **port2in** и **port1out**, **port2out** соответственно. Эти позиции имеют множество цветов **packet**, т.е. попадающие в них фишки символизируют собой кадры Ethernet. Позиции входных портов соединены дугами с переходами **tr1** и **tr2**.

Условием срабатывания данных переходов является выполнение неравенства $length\ packets < net_buf_sz$, где **length packets** – суммарный размер пакетов, пребывающих в очереди, а **net_buf_sz** – размер буфера. Пакет CPN

Tools предоставляет удобное средство моделирования очередей – список (**list**), для определения размера которых используется встроенная функция **length**. Она возвращает число маркеров в списке. Если число пакетов в очереди превышает некоторое значение, пакет теряется. В данном исследовании считается, что очередь бесконечна, поэтому константа **net_buf_sz** установлена большим значением 100000.

Буферы первого и второго каналов коммутатора организованы в виде списков в позициях **FIFO1** и **FIFO2**. При срабатывании перехода **trx**, т.е. при наличии свободного места в буфере коммутатора, прибывший кадр присоединяется к списку. Список также является меткой, имеющей цвет **PACKETS**.

После позиции **FIFO** фишки через переход **serialize** переходят в позицию **wait**. При этом из списка будет выбрана фишка в соответствии с правилом «первым вошел, первым вышел». Механизм приоритетного обслуживания реализован в модели с помощью перехода **serialize**. Переход в первом канале сработает только в том случае, если очередь во втором канале пуста. Таким образом, второй канал коммутатора имеет высший приоритет. Вторым условием срабатывания перехода **serialize** является отсутствие заявки в позиции **wait**, т.е. условие, что в данный момент ничего не передается. Это можно описать следующим выражением:

Serialize1 = (FIFO2 == 0)&&(not (wait1 || wait1));

Serialize2 = not (wait1 || wait1);

Дуги из переходов **serializex** в состояния **waitx** обоих каналов моделируют задержку сериализации. Для этого используется функция **ChDelay**, которая определяет задержку на передачу кадра, исходя из размера кадра в информационных блоках, и задержку на передачу одного информационного блока. Размер кадра берется из параметров маркера. Задержка на передачу одного ИБ в сети Ethernet установлена константой **gbe_delay**.

Когда фишка переходит из позиции **wait** в позицию **port_out**, к ней добавляется минимальный межкадровый интервал (IPG) при прохождении переходов **selectx**. Для сети Gigabit Ethernet он равен 96 нс.

Пакет CPN Tools предоставляет средства сбора статистики по модели – мониторы. Мониторы представляют собой позиции либо переходы, осуществляющие запись в лог файл информации при наступлении определенного события.

В данном случае потребовалось организовать 4 монитора: позиции **bufload1**, **bufload2**, **packload1**, **packload2**. Первые два отслеживают длину очереди в байтах, два других – длину очереди в пакетах. Каждый раз, когда в список попадает очередной маркер или маркер покидает список, в лог-файл записывается сообщение.

Построенная модель позволяет оценить загрузку буферов коммутатора в байтах и в пакетах, джиттер прихода пакетов потока регистрации и рабочего потока.

3. Результаты исследования модели

Рассмотрим свойства потоков. Трафик потока регистрации имеет квазипериодический характер, его параметры зависят от режима работы бортовой РЛС (квазинепрерывное или низкочастотное излучение) и алгоритма

упаковки регистрируемых данных в кадры Ethernet в контроллере. Будем считать, что контроллер накапливает данные, упаковывает их в кадры Ethernet максимальной длины (полезная нагрузка – 1500 байт) и с постоянным периодом передает в сеть, т.е. формирует регулярную последовательность кадров.

Рабочий поток в сети БИУС является случайным. Будем считать, что процесс поступления кадров рабочего потока описывается пуассоновским распределением, хотя это не совсем точно отражает рассматриваемую систему. Рабочий поток состоит из команд, квитанций и формуляров целей, которыми обмениваются потребители. Так как квитанции высылаются узлом в ответ на принятую им команду, то трафик можно также рассматривать как самоподобный, однако это свойство учитывать не будем, так как квитанция обычно занимает не более одного кадра Ethernet.

Более серьезная ситуация возникает, когда коэффициент использования разделяемого канала близок к единице. Подсистема регистрации является системой реального времени, т.е. на длительность выполнения команд наложены жесткие ограничения. При высокой загрузке канала увеличивается время пребывания пакетов в очередях. Если это время превысит допустимое значение, определенное в некотором узле, узлом будут повторно запрошены данные, что приведет к лавинообразному увеличению трафика. Поэтому важно при исследовании системы отслеживать время пребывания пакетов фоновых потоков в очередях. Будем считать, что производительность системы неудовлетворительна, если это время превысит критическое значение. Считаем, что длина кадров рабочего потока имеет равномерное распределение между максимальным и минимальным значениями, определенными для Gigabit Ethernet.

При исследовании модели были выбраны тестовые значения средней скорости передачи данных: для потока регистрации: 130, 260 и 450 Мбит/с, а для рабочего потока: 200, 250, 300, 350, 400 Мбит/с.

На рис. 4 показана загрузка буфера коммутатора с равноправными потоками для максимального значения скорости потока регистрации (45 % от пропускной способности Gigabit Ethernet) при различных значениях скорости фоновых потоков. На рис. 5 приведены гистограммы распределения длины очередей для различных механизмов обслуживания потоков при их наивысшей средней скорости.

Как уже было отмечено, рабочий поток является чувствительным к задержкам. В табл. 1 приведены значения времени, затраченного на передачу пакетов рабочего потока и потока регистрации. Даже в случае, когда пропускная способность канала связи задействована на 85 %, время пребывания пакетов рабочего потока в очереди не превышает 23 мкс. При использовании равноправного механизма обслуживания максимальное время пребывания в очереди обоих потоков практически одинаково.

Заключение

1. Исследование системы методом имитационного моделирования показало, что при использовании механизма приоритетного обслуживания в коммутаторе поток регистрации не сказывается на рабочем потоке.

2. Построенная модель не является узко специализированной. Она может использоваться при оценке пропускной способности сети, по которой

пропускаются потоки информации, один из которых является чувствительным к задержкам.

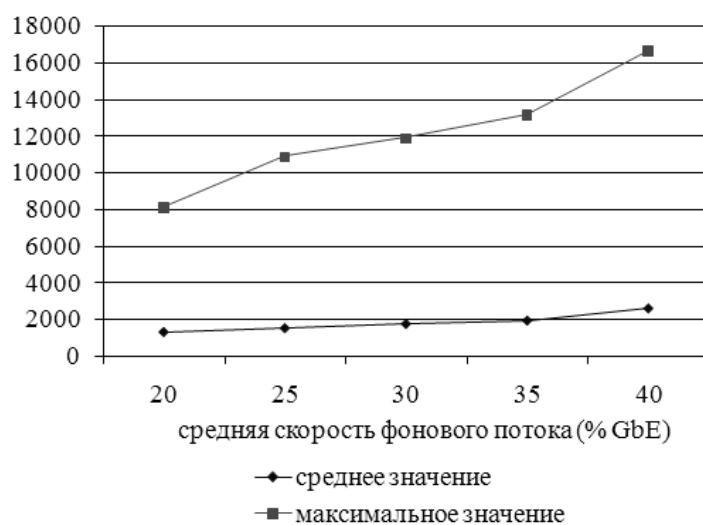
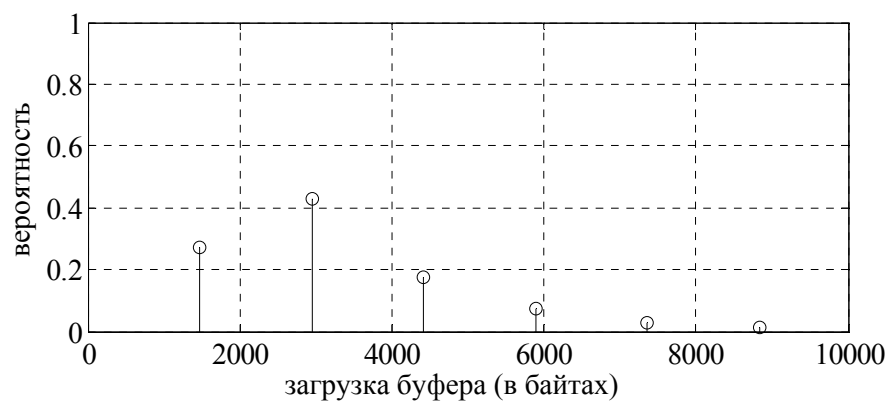
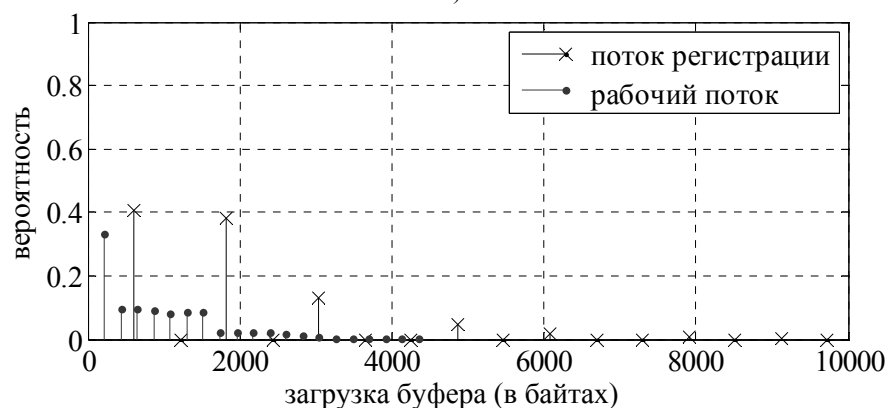


Рис. 4. Загрузка буфера (в байтах)



а)



б)

Рис. 5. Гистограмма размеров очереди:
а – равноправное обслуживание; б – приоритетное обслуживание

Время пребывания в очереди

Поток	Поток регистрации	Фоновый поток	Приоритетный канал	
			поток регистрации	фоновый поток
Среднее время в очереди (мкс)	21	21	29	12
Максимальное время в очереди (мкс)	128	123	250	23

Список литературы

1. **Васильев, А. В.** Аппаратно-программный комплекс для регистрации и имитации радиолокационной информации / А. В. Васильев и др. // Новые информационные технологии и системы : труды VII Международной научно-технической конференции. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2006. – Ч. 2. – С. 82–85.
2. **Коннов, Н. Н.** Программный комплекс для анализа сигналов РЛС / Н. Н. Коннов, Р. Н. Федюнин, Е. К. Таранцев, М. И. Чернышев // Новые информационные технологии и системы : труды IX Международной научно-технической конференции. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2010. – Ч. 2. – С. 195–200.
3. **Верба, В. С.** Авиационные комплексы радиолокационного дозора и наведения. Состояние и тенденция развития / В. С. Верба. – М. : URSS, 2008. – 432 с.
4. Coloured Petri Nets: modelling and validation of concurrent systems / K. Jensen, L. Kristensen. – Springer. – Verlag, 2009. – P. 384.
5. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы : учебник для вузов / В. Г. Олифер, Н. А. Олифер. – СПб. : Питер, 2010. – 944 с.
6. **Механов, В. Б.** Применение сетей Петри для моделирования механизмов обеспечения QoS в компьютерных сетях / В. Б. Механов // Новые информационные технологии и менеджмент качества (NIT&MQ'2010) : материалы Международного симпозиума. – М. : ЭГРИ, 2010. – С. 209–214.

Таранцев Евгений Константинович
аспирант, Пензенский
государственный университет
E-mail: etar@bk.ru

Tarantsev Evgeny Konstantinovich
Postgraduate student,
Penza State University

УДК 004.94

Таранцев, Е. К.

Моделирование цветными сетями Петри процесса регистрации радиолокационной информации / Е. К. Таранцев // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2011. – № 1 (17). – С. 70–78.