

УДК 004.7

МОДЕЛИРОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК БЕСПРОВОДНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ОДНОРАНГОВЫХ СЕТЕЙ КАК КОМБИНАЦИЙ СИСТЕМ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ С ОБЩЕЙ ПАМЯТЬЮ

И.А. АДУЦКЕВИЧ, канд. техн. наук, доц. В.С. САДОВ
(Белорусский государственный университет, Минск)

Исследуются характеристики беспроводных одноранговых сетей с использованием теории массового обслуживания. На основании проведенных исследований разработан алгоритм моделирования комбинации систем массового обслуживания требований случайного объема с ограниченным объемом общей памяти. Приведены результаты моделирования системы массового обслуживания с абсолютным приоритетом обслуживания требований двух классов в комбинациях с системами массового обслуживания с относительным приоритетом, справедливым разделением процессора (Egalitarian Process Sharing – EPS), произвольным ранним обнаружением (Random Early Detection – RED). Показано, что использование комбинаций систем массового обслуживания с общей памятью позволяет оптимизировать характеристики сети, предъявляемые для различных типов трафика.

Введение. Беспроводные одноранговые сети с ячеистой топологией используются в ситуации, когда необходимо организовать сеть между вычислительными устройствами в условиях отсутствия либо нежелательности использования инфраструктуры, обеспечивающей сетевое взаимодействие. В этом случае мобильные устройства могут создать временную сеть для обеспечения связи в данный момент времени, другими словами – организовать сеть «на лету». Беспроводные одноранговые децентрализованные самоорганизующиеся сети способны организовать обмен информацией без поддержки какой-либо фиксированной инфраструктуры. Каждый узел такой сети способен генерировать данные, адресованные любому другому узлу в сети. Все узлы сети при необходимости обеспечивают возможность ретрансляции данных конечному адресату. В общем случае беспроводная одноранговая сеть может быть подключена к другим сетям передачи данных через один или несколько узлов, выполняющих функцию шлюза. Поддержка многоскачковой передачи данных в беспроводных одноранговых сетях является ключевым отличием данного типа сетей от других беспроводных телекоммуникационных систем, в которых задачу управления потоками данных выполняют маршрутизаторы (точки доступа).

Область применения беспроводных одноранговых сетей можно определить исходя из преимуществ, которыми они обладают:

- 1) возможность быстрого развертывания и свертывания;
- 2) отсутствие затрат на фиксированную инфраструктуру;
- 3) уменьшение суммарных затрат энергии за счет многоскачковой передачи данных;
- 4) иерархические и распределенные механизмы управления и контроля;
- 5) возможность передачи данных узлам, находящимся за пределами видимости.

Данные сети могут найти широкое применение в различных сферах деятельности человека. Возможно создание небольших мобильных устройств, оборудованных видеокамерами, звуковыми датчиками, датчиками давления и т.д., которые могут быть развернуты в любой пересеченной местности, образуя, таким образом, беспроводные сенсорные сети для сбора информации о местоположении объектов, экологической информации и т.п. Минимальное конфигурирование и быстрое развёртывание позволяет применять данные сети в чрезвычайных ситуациях, таких как природные катастрофы и военные конфликты.

Моделирование беспроводных одноранговых сетей. В беспроводных одноранговых сетях любой узел может устанавливать соединение с несколькими другими узлами в зоне своего радиопокрытия, а также каждый узел, при необходимости, может выступать в роли ретранслятора для передачи данных до конечного получателя. Вне зависимости от способов радиопередачи и модели передвижения узлов топология спонтанной сети в любой фиксированный момент времени может быть представлена в виде графа [1]. Для описания спонтанных сетей с помощью графов узлы сети сопоставляются с вершинами графа, а соединения между узлами соответствуют ребрам графа (рис. 1).

Узлы в беспроводных одноранговых сетях передают данные, создаваемые в процессе работы устройств, подключенных к узлу (например, микрофон, различные датчики, видеокамера и т.д.), а также данные, принятые от соседних узлов для ретрансляции. Для простоты изложения будем называть их собственными данными, или трафиком, и ретранслируемыми данными соответственно. Исходя из этого об-

щее количество информации, передаваемое узлом, сильно зависит от такой характеристики сети, как среднее расстояние между узлами, другими словами, от среднего количества скачков между исходным узлом и узлом назначения.

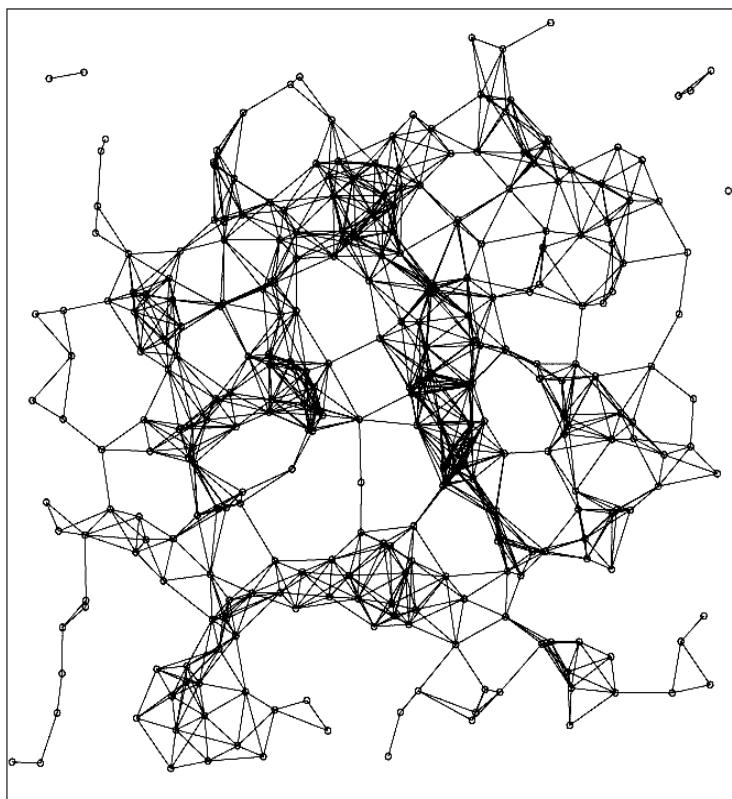


Рис. 1. Пример топологии беспроводной одноранговой сети
(точки на рисунке представляют собой узлы сети, а линии означают беспроводные соединения между узлами)

Обычно данные, создаваемые устройствами, подключенными к узлу, принято моделировать с помощью простейшего потока событий [2; 3]. Полагая, что все узлы сети идентичны (к ним подключены одни и те же устройства, генерирующие трафик), будем считать, что средние значения генерируемого собственного трафика для каждого узла за фиксированный промежуток времени одинаковы. Как известно, для простейшего потока событий интенсивность потока λ имеет смысл среднего числа событий, происходящих в единицу времени. Тогда вероятность того, что за промежуток t произойдет k событий, будет равна

$$P_k(t) = \frac{(\lambda t)^k}{k!} e^{-\lambda t}. \quad (1)$$

Так как среднее расстояние между узлами в сети есть $E h$, то в среднем между любыми двумя узлами находится $E h - 1$ узлов-ретрансляторов. Поэтому для равномерно распределенных по всей зоне обслуживания сети узлов справедливо предположение, что любой узел в сети может быть ретранслятором трафика для любого другого узла с вероятностью $\frac{E h - 1}{N - 1}$, а ожидаемый поток событий будет равен $\frac{\lambda(E h - 1)}{N - 1}$. Учитывая, что любой узел в сети может быть ретранслятором для $N - 1$ других узлов, и принимая во внимание свойство суммы простейших потоков [2], интенсивность потока ретранслируемого трафика будет равна $\lambda(E h - 1)$. Очевидно, что суммарный трафик, передаваемый узлом, будет состоять из суммы собственного и ретранслируемого трафиков:

$$\Lambda = \lambda + \lambda(E h - 1) = \lambda E h. \quad (2)$$

Тогда вероятность того, что за время t узел передаст сообщение, будет равна

$$A(t) = 1 - e^{-\Lambda t} = 1 - e^{-\lambda E h t}. \quad (3)$$

Использование простейшего потока событий при моделировании трафика в сетях позволяет снизить вычислительную нагрузку при оценке пропускной способности и емкости сети. Однако необходимо учитывать влияние приоритетности пакетов, а также различных способов организации очередей и дисциплин обслуживания. Требования, накладываемые на различный тип трафика, приводят к необходимости выбора дисциплины обслуживания, которая лучшим образом позволит соблюдать установленный уровень качества обслуживания (QoS). Чаще всего параметры, фигурирующие в разнообразных определениях качества обслуживания, регламентируют следующие показатели работы сети [4]:

- пропускная способность;
- задержки передачи пакетов;
- уровень потерь и искажений пакетов;
- среднеквадратичное отклонение задержки – «джиттер».

В трафике любой сети можно выделить две основные части: полезный трафик, несущий информационные сообщения, и служебный трафик, обеспечивающий целостное функционирование сети. Полезный трафик может иметь различный характер, например, быть потоком пакетов телефонных сообщений, электронной почты, видеовещания, HTTP-пакетов, передающих Web-страницы, и т.п. Если передачу потоков разных приложений обеспечивает одна и та же сеть с едиными протоколами и законами управления, ее называют мультисервисной [5].

Характеристики различных систем массового обслуживания (далее – СМО) требований случайного объема с ограниченной памятью на сегодняшний день хорошо изучены в теории массового обслуживания [2]. Но поскольку современные сети являются мультисервисными, то для моделирования узлов таких сетей имеет смысл ввести комбинацию СМО с общей памятью для обработки различных типов трафика. Таким образом, общая динамическая память является одним из способов оптимизации работы всей сети, так как позволяет перераспределять память в реальном времени между устройствами, обрабатывающими различные виды трафика.

Модели комбинаций систем массового обслуживания с общей памятью. В рамках данного исследования были рассмотрены СМО $M/G/1/\infty(V)$, имеющие существенные различия по способу обработки требований, а именно:

- СМО с приоритетным обслуживанием (абсолютным и относительным) [6];
- СМО со справедливым разделением процессора (Egalitarian Process Sharing – EPS) [7; 8];
- СМО с произвольным ранним обнаружением (Random Early Detection – RED) [9];
- их комбинации.

Под комбинацией систем массового обслуживания будем понимать совместную работу описанных выше СМО, которые используют общую ограниченную память. При построении таких комбинаций СМО получение аналитического выражения их характеристик является крайне сложной задачей, так как необходимо учитывать влияние одной стохастической системы на другую. Поэтому в рамках проведенного исследования мы ограничились построением имитационных моделей.

В данной работе для построения исходного алгоритма моделирования и проверки его функционирования используется классическая СМО $M/M/1/\infty(V)$, с заранее известными характеристиками [2]. Этот алгоритм является основой для моделирования рассматриваемых комбинаций СМО.

Структура алгоритма базируется на особых состояниях СМО. Особыми являются состояния прихода нового либо завершения обслуживания ранее поступившего требования [10]. В момент завершения или прихода нового требования пересчитываются статистические данные СМО:

- вероятность потери требования;
- время нахождения требования в системе;
- среднеквадратичное отклонение времени ожидания в системе.

На рисунке 2 представлена общая структурная схема алгоритма.

Следует отметить, что при моделировании по разработанному алгоритму интенсивности входных потоков умножаются на среднее расстояние между узлами $E h$, тогда, используя выражения (2), можно получить интенсивность суммарного трафика, передаваемого узлом.

Загрузка системы ρ определяется как отношение интенсивности входного потока к среднему числу требований, обслуживаемых в течение единицы времени

$$\rho = \frac{\lambda E h}{\mu}.$$

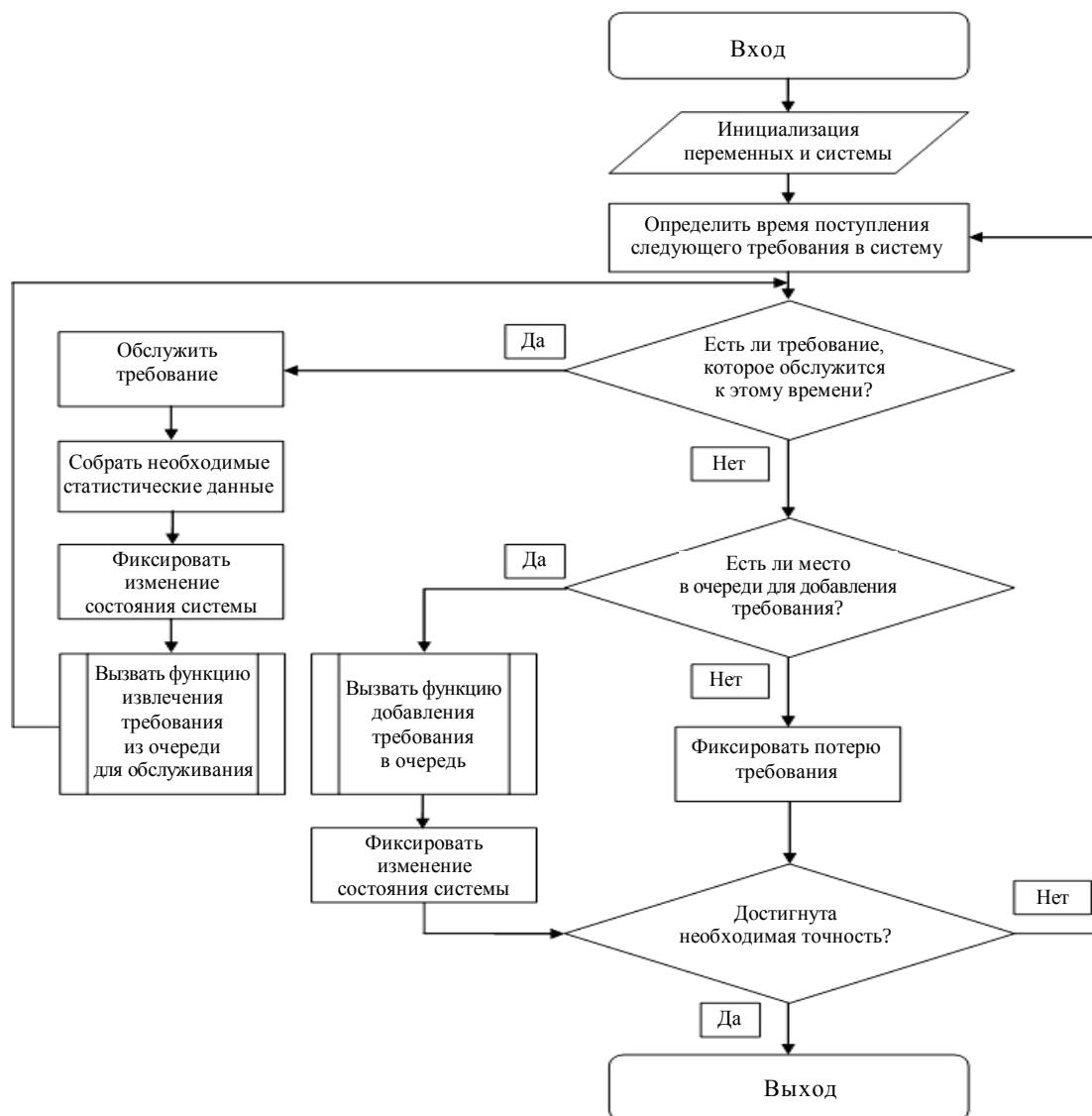


Рис. 2. Структурная схема имитационной модели функционирования системы массового обслуживания

Комбинация системы с абсолютным приоритетом с другими системами. Ниже представлен один из результатов моделирования с использованием разработанного алгоритма. Все отдельные системы характеризуются общими параметрами: время обслуживания не зависит от объема требования и имеет экспоненциальное распределение со средним значением времени обслуживания $\mu = 1$ требований в единицу времени. Объем требования имеет равномерное распределение с параметрами $a = 0,05$ и $b = 1,95$ единиц объема. Интенсивность поступающих на вход системы требований для непероритетных систем $\lambda = 0,2$ требований в единицу времени, для пероритетных систем $\lambda_1 = 0,15$ и $\lambda_2 = 0,05$. Стоит отметить, что общая интенсивность требований двух пероритетов остается постоянной – $\lambda = 0,2$ требований в единицу времени. Среднее расстояние между узлами сети изменяется в интервале $4,5 < E h < 5,3$. Для RED СМО значения верхнего и нижнего порогов интервала активного управления очередью приняты равными $c = 100$ и $d = 200$ соответственно, максимальная вероятность потерь для активного управления очередью $p_{\max} = 0,5$. Комбинация характеризуется общей ограниченной динамической памятью $V = 400$ единиц.

Рассмотрим значения, полученные в результате моделирования комбинаций СМО на примере влияния СМО с относительным приоритетом, справедливым разделением процессора, RED-системы на СМО с абсолютным приоритетом.

На рисунке 3 представлены зависимости вероятности потери требования p_{Π} в СМО с абсолютным приоритетом от загрузки системы ρ .

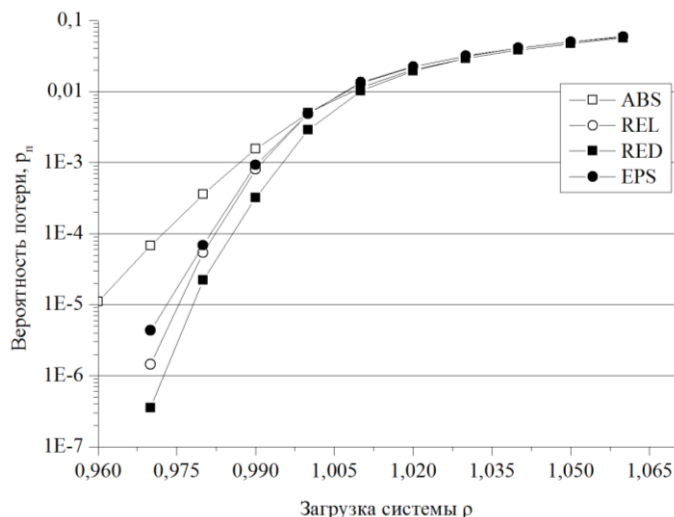


Рис. 3. Зависимость вероятности потери требования от загрузки СМО с абсолютным приоритетом:
 ABS – работа изолированной СМО; REL – работа в комбинации с СМО с относительным приоритетом;
 RED – работа в комбинации с RED-системой; EPS – работа в комбинации с СМО со справедливым разделением процессора

Как видно из результатов моделирования, при работе СМО с абсолютным приоритетом в комбинации с другими СМО при выполнении условия $\rho < 1$ можно достичь снижения вероятности потери требования, причем наиболее эффективно ведет себя комбинация с СМО RED. В данном случае предотвращается перегрузка памяти, и оставшаяся память используется второй СМО для размещения в очереди своих требований. При условии $\rho > 1$ вероятность потери требования для всех рассмотренных случаев ведет себя одинаково.

На рисунках 4 и 5 представлены зависимости времени нахождения требования первого и второго приоритетов в анализируемой СМО.

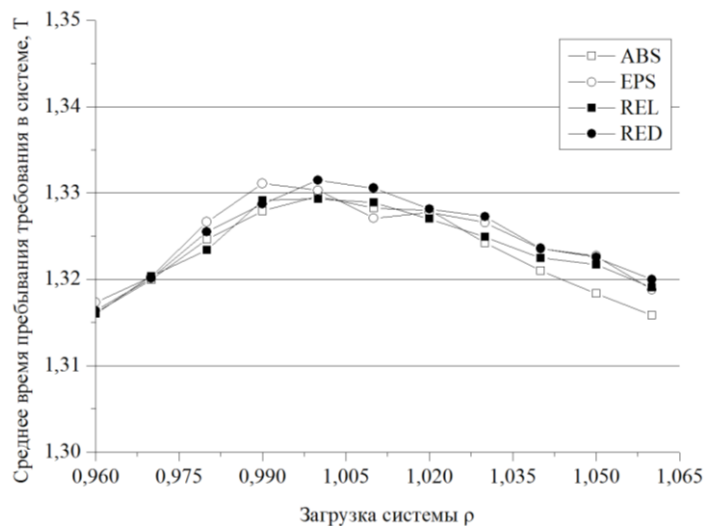


Рис. 4. Зависимость среднего времени нахождения требований первого приоритета от загрузки СМО с абсолютным приоритетом:
 ABS – работа изолированной СМО; EPS – работа в комбинации с СМО со справедливым разделением процессора;
 REL – работа в комбинации с СМО с относительным приоритетом; RED – работа в комбинации с RED-системой

При работе в комбинации системы практически не оказывают влияния на среднее время нахождения требований первого приоритета в области, где $\rho < 1$. При $\rho > 1$ наблюдается небольшое увеличение этого времени, что свидетельствует об увеличении средней длины очереди требований первого приоритета. Что касается среднего времени нахождения требования второго приоритета в системе, то использование общей памяти отрицательно влияет на него, что говорит об увеличении средней длины очереди этого требования. Наиболее сильное влияние на эти параметры в комбинации систем массового обслуживания оказывает СМО RED.

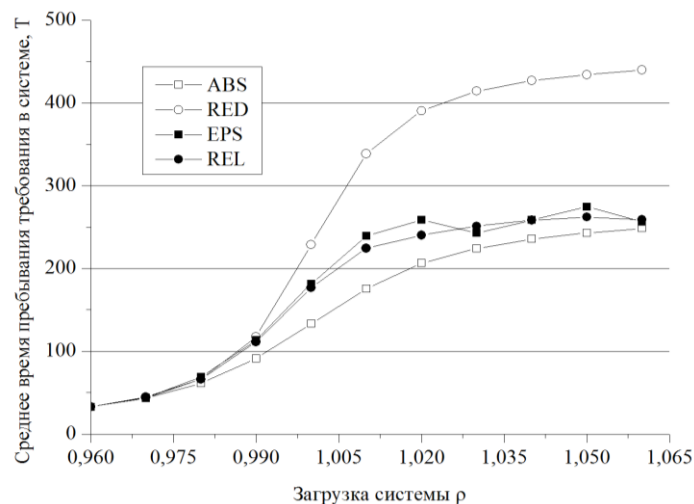


Рис. 5. Зависимость среднего времени нахождения требований второго приоритета от загрузки СМО с абсолютным приоритетом:

ABS – работа изолированной СМО; RED – работа в комбинации с RED-системой; EPS – работа в комбинации с СМО со справедливым разделением процессора; REL – работа в комбинации с СМО с относительным приоритетом

Закключение. В результате проведенного исследования определена степень влияния общей памяти на характеристики комбинаций различных СМО. Построенные имитационные модели систем массового обслуживания с различными дисциплинами обслуживания позволили оценить возможность улучшения характеристик сетей. Создана программная модель систем массового обслуживания на языке программирования Java. Исходные коды программы доступны по адресу: <https://mssmodel.svn.sourceforge.net/svnroot/mssmodel/>. Предложенный подход может быть применен к анализу беспроводных одноранговых сетей, для которых трафик может быть представлен простейшими потоками требований случайного объема.

ЛИТЕРАТУРА

1. Райгородский, А.М. Модели случайных графов и их применения / А.М. Райгородский. – М. – Ижевск: НИЦ «РХД», 2009. – 325 с.
2. Тихоненко, О.М. Моделирование процессов и систем обработки информации / О.М. Тихоненко. – Минск: БГУ, 2008.
3. Бочаров, П.П. Теория массового обслуживания / П.П. Бочаров, А.В. Печинкин. – М.: Изд-во РУДН, 1995.
4. Кучерявый, А.Е. Сети связи следующего поколения / А.Е. Кучерявый, А.Л. Цуприков. – М.: ФГУП ЦНИИС, 2006. – 278 с.
5. Бурдин, А.В. Общие тенденции эволюции современных сетей связи / А.В. Бурдин. – М., РАН, 2006.
6. Адуцкевич, И.А. Система с ограниченной памятью и абсолютным приоритетом / И.А. Адуцкевич, О.М. Тихоненко // Электроника инфо. – 2009. – № 4. – С. 50 – 54.
7. Яшков, С.Ф. Эгалитарное разделение процессора / С.Ф. Яшков, А.С. Яшкова // Информационные процессы. – Т. 6, № 4. – 2006. – С. 396 – 444.
8. Тихоненко, О.М. Система обслуживания с разделением процессора и ограниченными ресурсами / О.М. Тихоненко // Автоматика и телемеханика. – № 5. – 2010. – С. 84 – 98.
9. Королькова, А.В. К вопросу о классификации алгоритмов RED / А.В. Королькова, Д.С. Кулябов, А.И. Черноианов // Вестн. РУДН. Серия «Математика. Информатика. Физика». – № 3. – 2009. – С. 34 – 46.
10. Апанасович, В.В. Цифровое моделирование стохастических систем / В.В. Апанасович, О.М. Тихоненко. – Минск: Университетское, 1986. – 126 с.

Поступила 22.02.2012

COMBINATION OF QUEUING SYSTEMS WITH SHARED MEMORY AS A MODEL OF THE WIRELESS AD-HOC NETWORK

I. ADUTSKEVICH, V. SADOV

In this paper we study performance of the wireless ad-hoc networks with queuing system theory. We developed the algorithm for modeling a combination of queuing systems with non-homogenous customers and a limited amount of shared memory. We discuss the results acquired for queuing system with non-homogenous customers with absolute priority modeled in combination with different types of queuing system, namely, Egalitarian Process Sharing system, relative priority system, Random Early Detection system. Finally, we found that the use of shared memory can optimize the performance of network.