

0,5 дБ, очевидно, из-за представления входной информации кодом Грея, тогда как в первом случае (аналитические оценки) кодирование входной информации не использовалось. Слово «теоретических» взято в кавычки, так как пороги интервалов декодирования сигнала были определены методом последовательных приближений с помощью численных расчетов на ЭВМ.

Заключение. При одинаковой спектральной эффективности рассматриваемых способов модуляции, определяемой величиной m , метод КАИМ по показателю ОСШ, приходящемуся на бит информации, приблизительно на 6 дБ лучше, чем КАМ, т.е. энергетически предпочтительнее.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Проксис Дж.** Цифровая связь.: Пер. с англ. / Под ред. Д.Д. Кловского.— М.: Радио и связь, 2000.— 800 с.
2. **Еланечников В.А., Цветков А.Н.** Справочник по прикладным программам для микрокалькуляторов.— М.: Финансы и статистика, 1988.— 320 с.
3. **Хастингс Н., Пикок Дж.** Справочник по статистическим распределениям.— М.: Статистика, 1980.— 371 с.
4. **Левин Б.Р.** Теоретические основы статистической радиотехники. Т. 1.— М.: Сов. радио, 1974.— 552 с.

Получено 12.01.15

УДК 621.396.1

СТЕК ПРОТОКОЛОВ МОБИЛЬНОЙ САМООРГАНИЗУЮЩЕЙСЯ СЕТИ

С.Н. Жарков, старший инженер АО «Концерн «Созвездие»; szharkov@mail.ru

В.В. Бессонов, начальник отдела АО «Концерн «Созвездие»; stvm@list.ru

Описаны функциональные особенности мобильной самоорганизующейся сети и предложен двухмерный стек протоколов для ее исследования и проектирования.

Ключевые слова: мобильная самоорганизующаяся (ad hoc) сеть (MANET), стек протоколов.

Введение. В последние десять лет активно развиваются мобильные самоорганизующиеся (ad hoc) сети (MANET) [1–3], которые представляют собой множество географически распределенных мобильных узлов, связанных друг с другом радиоканалами. Их отличительной особенностью является отсутствие фиксированной инфраструктуры. MANET динамически формируются мобильными узлами таким образом, что создание маршрутов существенно не зависит от конкретных узлов, и если какие-то из них «покинут» сеть или выйдут из строя, то она продолжит функционировать без ухудшения своих характеристик. С учетом того, что оставшиеся узлы должны быть способны выполнять функции вышедших из

строения или переместившихся узлов, они должны обладать функциональной однородностью. Тем не менее, на практике при развертывании MANET возникает задача использования разнофункциональных радиостанций и поэтому актуальным становится объединение таких радиостанций в узлы MANET при условии обеспечения функциональной однородности узлов.

Один из способов решения задачи — проектирование мобильной сети на основе принципов самоорганизующихся систем. В статье для исследования и проектирования MANET предложен двухмерный стек протоколов.

Описание мобильной самоорганизующейся сети (MANET). При разработке мобильной сети на основе принципов самоорганизующихся систем ставится задача спроектировать сеть, узлы которой должны:

- выполнять различные задачи в зависимости от изменения сетевой топологии и среды, в которой сеть функционирует, т.е. быть взаимозаменяемыми для обеспечения надежности выполнения сетевых задач;

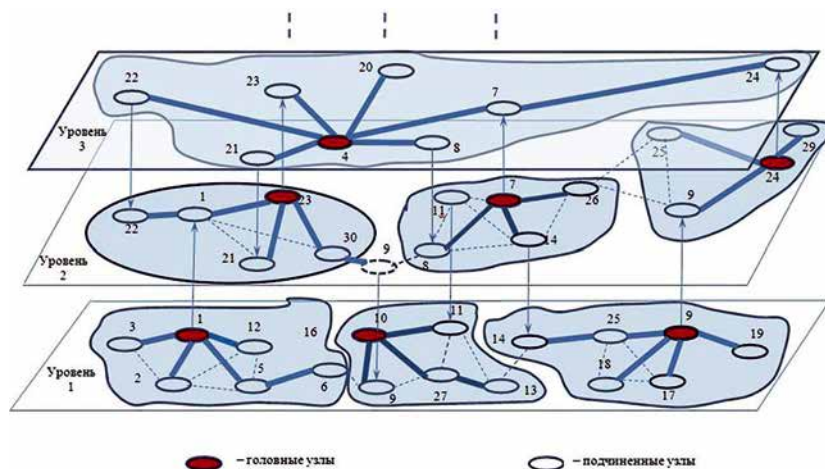


Рис. 1. Пример иерархической структуры MANET

• обладать возможностью самоорганизации в иерархическую сеть [2] (рис. 1), где выбор головных и подчиненных узлов, правила перехода узлов с одного уровня иерархии на другой с возможностью функционирования на нескольких уровнях и другие особенности функционирования MANET определяются адаптивно в зависимости от изменения условий функционирования сети и возможной корректировки поставленной перед ней задачи.

Кроме того, проектируемая мобильная сеть должна быть масштабируемой относительно используемых узлов, т.е. обеспечивать вхождение в сеть новых узлов без ухудшения ее характеристик.

Наиболее важной особенностью проектируемой MANET является возможность ее самоорганизации на различных уровнях (физическом, передачи данных, сетевом, транспортном), а также на уровне приложений в соответствии с гибридной эталонной моделью, предложенной в [4] Э. Таненбаумом.

Под самоорганизацией на физическом уровне понимается автоматический адаптивный выбор физических параметров радиоканала. На уровне передачи данных самоорганизация осуществляется как адаптация параметров управления потоком данных, обработки ошибок при передаче данных и др. На прикладном уровне цель самоорганизации — предоставить приложениям доступ к ресурсам самоорганизующейся радиосети. Самоорганизация на сетевом уровне реализуется с помощью протоколов маршрутизации. Ее задачами являются:

- определение списков соседей узлов;
- автоматическое формирование сетевой иерархии в MANET (образование и поддержание кластеров в радиосети);
- нахождение маршрутов к заданному узлу и их поддержка, в том числе восстановление маршрутов после их разрывов.

Для обеспечения самоорганизации в составе MANET радиостанций, обладающих различными свойствами (например, с поддержкой сетевых функций или с их отсутстви-

ем), необходимо выполнить следующие задачи, каждая из которых представляет собой особый функциональный слой (рис. 2):

- 1) объединить разнофункциональные радиостанции в узлы MANET, т.е. обеспечить функционирование объединенных в узлы радиостанций для адаптивного управления физическими параметрами передаваемых сигналов, адаптации параметров управления потоками данных и др.;
- 2) обеспечить самоорганизацию узлов (заполнение таблиц маршрутизации информацией о соседях узлов, поддержку ее в актуальном состоянии и др.);
- 3) обеспечить функционирование MANET (объединение узлов в кластеры многоуровневой иерархии, их поддержку, формирование реактивных и проактивных одноканальных/многоканальных маршрутов, их поддержку и восстановление в случае необходимости и др.);
- 4) реализовать функции мониторинга функционирования MANET, сетевого управления и предоставления услуг.

Таким образом, для построения стека протоколов MANET требуется выделение подуровней, соответствующих указанным четырем слоям. Такое выделение может быть реализовано посредством расщепления уровней гибридной эталонной модели [4] на подуровни. По аналогии со стеком протоколов, разработанным для беспроводных сенсорных сетей [5], предлагается использовать не одномерный стек, а двухмерный (рис. 3), в котором введены следующие дополнительные новые слои (будем называть их функциональными уровнями MANET). Это уровни:

- функционирования радиостанций;
- функционирования узла;
- функционирования MANET;
- мониторинга функциональности MANET, сетевого управления и предоставления услуг.

Подробное описание двухмерного стека протоколов приведено ниже.

Описание стека протоколов MANET. Основой для создания узла рассматриваемой MANET является управля-

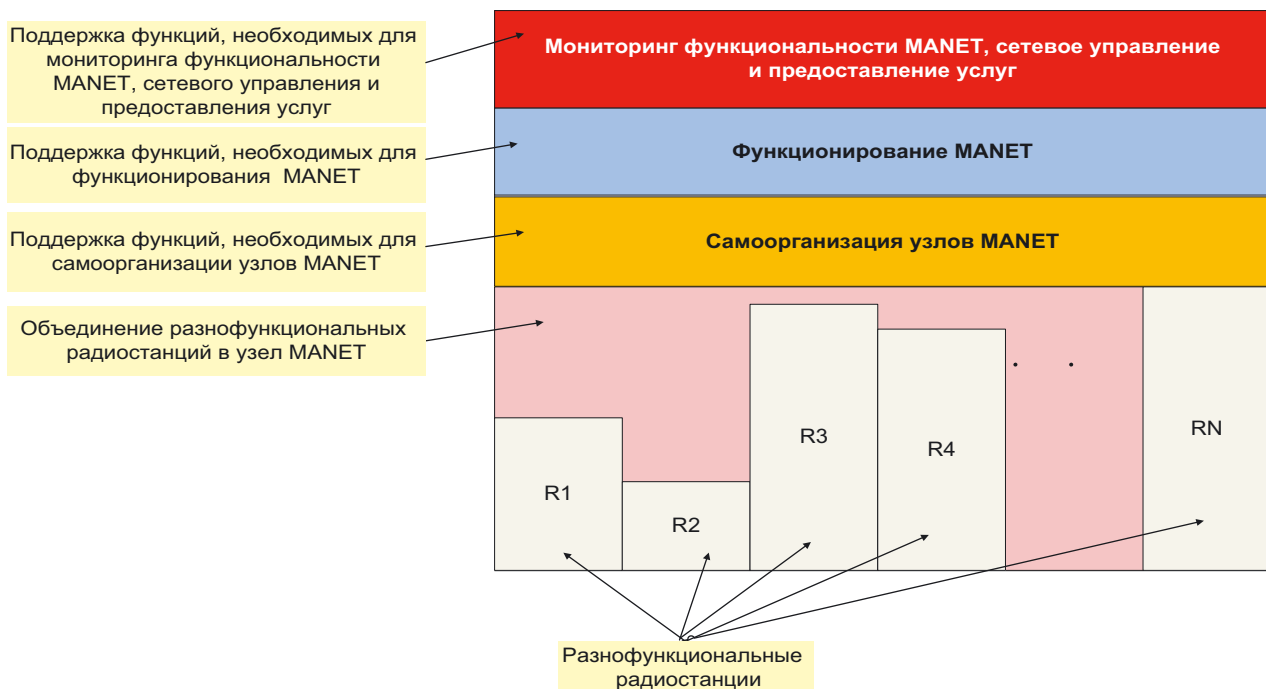


Рис. 2. Дополнение функционала радиостанций для работы в MANET

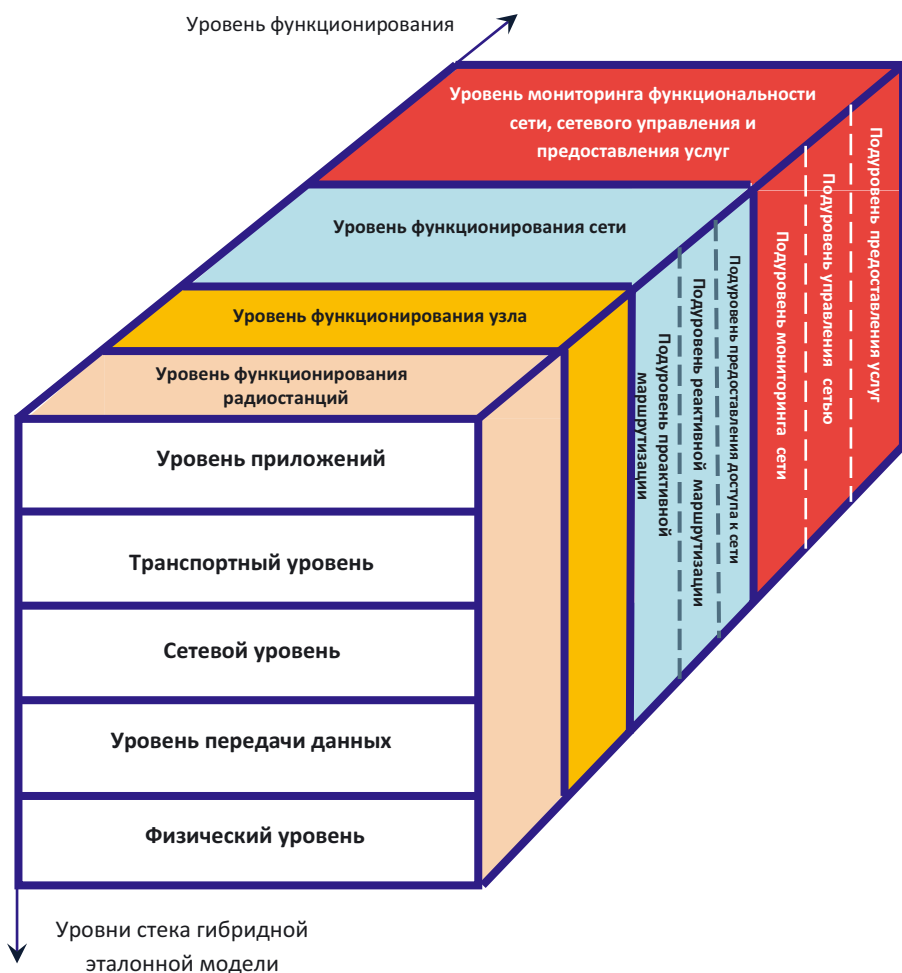


Рис. 3. Предлагаемый стек протоколов MANET

ющий модуль (УМ, рис. 3) [8], к которому подключаются: радиостанции с разными функциональными возможностями (R_1, \dots, R_N) и навигационный приемник (опционально).

Управляющий модуль обеспечивает решение тех задач, которые не заложены в функциональные возможности подключенных к нему радиостанций. Навигационный приемник используется для обеспечения УМ навигационной информацией; она может применяться при формировании и поддержании маршрутов (в том числе и кластеров, которые можно рассматривать как проактивные маршруты), а также для проведения мониторинга функциональности узлов MANET.

Дополнительные уровни, соответствующие задачам, решаемым в MANET, описаны ниже.

На *уровне функционирования радиостанций* решаются задачи уровней, например, стека гибридной эталонной модели [4], для которых эти радиостанции предназначены. Если какие-то задачи радиостанции не способны решить в силу своих технических характеристик, то решение осуществляется на более высоких дополнительных уровнях функционирования после объединения радиостанций с УМ в узел MANET с помощью протоколов управления радиостанциями, реализуемых программным обеспечением УМ.

На *уровне функционирования узла MANET* происходит объединение УМ, подключаемых к нему радиостанций и навигационного приемника в узел MANET (рис. 4). При этом УМ позволяет дополнить функционал радиостанций

для формирования и поддержания в работоспособном состоянии узла MANET.

На *уровне функционирования MANET* осуществляется кластеризация, формирование реактивных и проактивных маршрутов, а также поддержка службы имен, например, реализованной на основе DNS [5]. Данный уровень делится на подуровни проактивной и реактивной маршрутизации и подуровень предоставления доступа к MANET.

Таким образом, на уровне функционирования узла реализуются алгоритмы выбора его поведения с передачей управляющих воздействий на уровень функционирования радиостанций.

Подуровень проактивной маршрутизации предназначен для решения задач формирования и поддержания проактивных маршрутов. В частности, к задачам этого подуровня относятся:

1) реализация алгоритма кластеризации, например, по наименьшему идентификатору [6] или на основе признаков настроечных данных, загружаемых в узел MANET:

- обмен служебными сообщениями протокола кластеризации (включая формирование и отправку маячковых сообщений, сообщений-запросов и ответных сообщений, содержащих при необходимости списки соседних и соседей соседних радиостанций);

- конфигурирование алгоритма функционирования радиостанций при формировании и поддержке кластеров в соответствии с признаками и параметрами, полученными из настроечных данных;

- расформирование существующих кластеров и формирование новых;

- слияние кластеров для повышения эффективности функционирования головных/подчиненных узлов в кластерах MANET (см. рис. 1);

2) обеспечение сбора данных о соседних и соседях соседних радиостанций;

3) формирование проактивных маршрутов (например, с помощью проактивной компоненты гибридного протокола маршрутизации HWMP [3]), в том числе формирование проактивного дерева для исследования сетевой топологии,

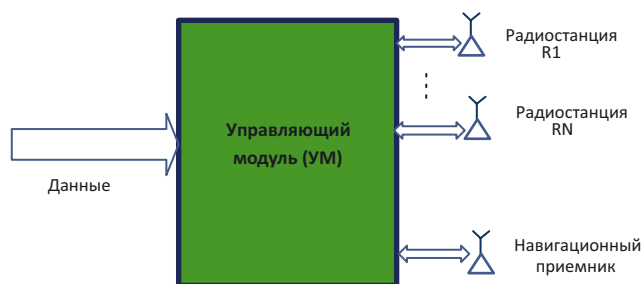


Рис. 4. Общая схема функционирования узла MANET

а также восстановление проактивных маршрутов при обнаружении их разрывов.

Подуровень реактивной маршрутизации предназначен для решения задач формирования и поддержания реактивных маршрутов. К задачам этого подуровня относятся, в частности:

1) реактивное формирование маршрутов, например, с помощью реактивной компоненты гибридного протокола маршрутизации HWMR [3];

2) локальное восстановление реактивных маршрутов;

3) обнаружение разрывов в реактивных маршрутах и формирование новых реактивных маршрутов.

Подуровень предоставления доступа к MANET предназначен для решения задач предоставления узлам доступа к MANET. К задачам этого подуровня, в частности, относятся:

1) управление порядковыми номерами узлов MANET [7] для учета актуальных маршрутов (в том числе и кластеров), в которых участвуют узлы;

2) управление идентификаторами отправляемых сообщений;

3) определение необходимого типа маршрутизации (реактивной, проактивной и гибридной).

Уровень мониторинга функциональности MANET, сетевого управления и предоставления услуг. В условиях применения в MANET узлов, автоматически корректирующих свое поведение, функционирование сети становится «непрозрачным» для пользователя/администратора сети. Поэтому необходимо реализовать протоколы мониторинга функционирования MANET и сетевого управления.

Протоколы данного уровня предназначены для обеспечения системы управления сетью необходимой актуальной информацией о состоянии узлов, включающей список зарегистрированных абонентов, навигационную информацию, информацию о составе кластеров, состоянии отдельных абонентов и др. Данный уровень делится на подуровни мониторинга, управления и предоставления услуг.

Подуровень мониторинга MANET предназначен для выполнения задач мониторинга функциональности объектов MANET: узлов, кластеров, радиоподсетей и др.

Подуровень управления MANET предназначен для выполнения задач управления функциональностью объектов MANET: узлов, кластеров, радиоподсетей и др.

Подуровень предоставления услуг предназначен для реализации:

- функционирования серверов услуг связи;
- межсерверного обмена;
- службы имен;
- авторизации и аутентификации пользователей сети;
- протокола управления доступом прикладных процессов к сетевым ресурсам.

Заключение. Предложенный двухмерный стек протоколов функционирования узлов мобильной сети MANET реализован на основе принципов самоорганизующихся систем. Для исследования и проектирования таких сетей необходимо расщепление уровней традиционного стека протоколов на подуровни, соответствующие выполнению задач самоорганизации управления функционированием MANET и предоставления услуг связи. Для удобства представления стека протоколов предложено использовать не одномерный, а двухмерный стек, в котором введены дополнительные новые слои, названные уровнями функционирования MANET.

ЛИТЕРАТУРА

1. Conti M., Giordano S. Mobile ad hoc networking: milestones, challenges, and new research directions // IEEE Com. Mag.— Jan. 2014.— Vol. 52, Issue: 1.— P. 85–96.
2. Pun N.-Ch. Cluster Head Election in Ad Hoc Network / Патент № US 8,134,950 B2. Дата патентования — 13 марта 2012. Патентодержатель — Харрис корпорейшн (Harris Corporation).
3. IEEE Standard 802.11s-2011 — IEEE Standard for Information Technology — Telecommunications and information exchange between systems. Local and metropolitan area networks. Specific requirements. Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications Amendment 10. Mesh Networking.— 10 September 2011.
4. Танненбаум Э. Компьютерные сети.— 4-изд.— СПб.: Питер, 2010.— 992 с.
5. Alkhatib A. A., Baicher G. S. Wireless Sensor Network Architecture / 2012 International Conference on Computer Networks and Communication Systems (CNCS 2012). — P.11–15.
6. Tavli B., Heinzelman W. Mobile Ad Hoc Networks Energy-Efficient Real-Time Data Communication.— Springer 2006.— 265 p.
7. Perkins C. Belding-Royer E., Das S. Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing / RFC 3561.— July 2003.
8. Бессонов В.В., Кузнецов А.В. Технология создания самоорганизующейся радиосети с функциями когнитивного радио на основе принципов программно-определяемого радио/Материалы междунар. науч.-техн. конф. «Кибернетика и высокие технологии». — 2013. — Т. 2. — С. 176–187.

Получено 10. 06. 14

ИНФОРМАЦИЯ

ХІХ МЕЖДУНАРОДНЫЙ ФОРУМ МАС

«ФОРМИРОВАНИЕ ИНФОКОММУНИКАЦИЙ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ В ИНТЕРЕСАХ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ»

состоится 13 мая 2015 г. в рамках деловой программы выставки «Связь-Экспокомм-2015»

(Москва, ЦВК «Экспоцентр», павильон 7, конференц-зал).

Форум проводится в год **150-летия образования Международного союза электросвязи** и **70-летия ООН**.

На Форуме планируется обсудить вопросы, связанные с вступлением в действие нового Регламента международной электросвязи, стратегических планов и программ, принятых Всемирной конференцией по развитию электросвязи (апрель 2014 г.) под общим девизом «Широкополосная связь в интересах устойчивого развития», а также стратегической резолюции Полномочной конференции МСЭ (ноябрь 2014 г.), содержащей

концепцию и общие цели развития сектора электросвязи/ИКТ в мире на период до 2020 г.

В рамках Форума состоится награждение лауреатов Профессиональной премии Международной академии связи «За вклад в развитие информационного общества России», лауреатов Молодежного конкурса инноваций и инновационных проектов МАС 2014/2015 года «Новое поколение», а также академиков МАС — ветеранов (к 70-летию Победы в Великой Отечественной войне).