

УДК 004.057.4

## ПРОТОКОЛЫ МАРШРУТИЗАЦИИ В БЕСПРОВОДНЫХ САМООРГАНИЗУЮЩИХСЯ СЕТЯХ

© 2013 г.

*А.П. Метелёв, А.В. Чистяков, А.Н. Жолобов*

Вятский госуниверситет, Киров

metap@inbox.ru

*Поступила в редакцию 09.01.2013*

Рассматриваются основные группы протоколов маршрутизации в MANET (mobile ad hoc network) сетях. Приводится вариант разработанного протокола. Анализируются результаты исследования протоколов в сетевом симуляторе NS-3.

*Ключевые слова:* протокол маршрутизации, беспроводные самоорганизующиеся сети, MANET.

### Введение

MANET (Mobile Ad Hoc Network) – беспроводные децентрализованные самоорганизующиеся сети, состоящие из мобильных устройств. Каждое такое устройство может независимо передвигаться в любых направлениях и, как следствие, часто разрывать и устанавливать соединения с соседями. Клиентские устройства соединяются «на лету», образуя собой сеть. Каждый узел сети пытается переслать данные, предназначенные другим узлам. При этом определение того, какому узлу переслать данные, производится динамически, на основании связности сети. Это является отличием от проводных сетей и управляемых беспроводных сетей, в которых задачу управления потоками данных выполняют маршрутизаторы (в проводных сетях) или точки доступа (в управляемых беспроводных сетях) [1]. Минимальное конфигурирование и быстрое развёртывание позволяет применять самоорганизующиеся сети в чрезвычайных ситуациях, таких как природные катастрофы и военные конфликты.

Самоорганизующиеся сети MANET обладают следующими преимуществами над беспроводными сетями традиционной архитектуры:

- возможность передачи данных на большие расстояния без увеличения мощности передатчика;
- устойчивость к изменениям в инфраструктуре сети;
- возможность быстрой реконфигурации в условиях неблагоприятной помеховой обстановки;
- простота и высокая скорость развёртывания.

Беспроводные сети, построенные на базе мобильных устройств, обладают рядом особенностей:

- мобильность узлов ведет к дополнительному повышению динамичности топологии сети, так как к возможности обрыва связи из-за помех или включения/выключения узла добавляется вероятность его перемещения;

- запас источников питания мобильных узлов может быть ограничен, в связи с чем при проектировании аппаратных средств и протоколов необходимо учитывать еще и энергопотребление (особенно это касается сенсорных сетей).

В настоящее время можно выделить несколько классов проблем в MANET:

- проблема обеспечения помехоустойчивости;
- проблема обеспечения безопасности передаваемых данных;
- проблема общей пропускной способности сетей;
- проблема эффективности применяемых методов маршрутизации.

Выделенные выше особенности MANET приводят к тому, что протоколы и технические решения, используемые в классических проводных сетях, например централизованная маршрутизация с иерархией заранее назначенных маршрутизаторов, в ad hoc сетях оказываются неэффективными и не обеспечивают нужную производительность.

### Протоколы маршрутизации в беспроводных самоорганизующихся сетях

Протоколы маршрутизации мобильных самоорганизующихся сетей можно подразделить на четыре основные группы [2]: протоколы с проактивной маршрутизацией, протоколы с реактивной маршрутизацией, гибридные протоколы, а также протоколы, использующие данные о географическом положении узлов.

Таблица

Таблица маршрутизации

Идентификатор узла	Вектор маршрута	Координаты узла	Время актуальности записи
IP	IP_nexthop	<x,y,z>	<tm>
...	...	...	...

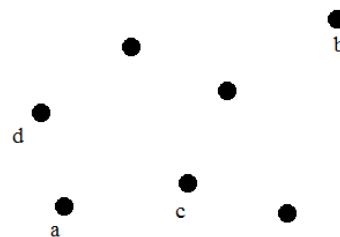


Рис. 1. Фрагмент сети

Проактивные протоколы предполагают наличие на каждом узле таблиц маршрутизации, где указаны маршруты, которые позволяют достичь любого абонента сети. Узлы сети осуществляют периодический обмен управляющими сообщениями для поддержки целостности и достоверности информации о структуре сети. Использование проактивных протоколов приводит к быстрому росту загрузки сети и энерго-ресурсов каждого узла при увеличении подвижности и количества узлов сети.

В протоколах реактивной группы узел ищет путь к пункту назначения только при возникновении необходимости. Для установления связи узел может использовать существующий маршрут либо создать новый маршрут, используя информацию о доступных каналах. Недостатком данной группы протоколов является рост задержек на поиск первичного маршрута при увеличении подвижности и количества узлов.

Гибридные протоколы сочетают в себе подходы проактивных и реактивных протоколов на разных уровнях иерархии, определяя, помимо метода поиска маршрута, метод разбиения сети на иерархические структуры или домены. Недостатком гибридных протоколов являются относительная сложность реализации и снижение эффективности маршрутизации, связанные с необходимостью разбиения структуры сети на кластеры.

В процессе изучения существующих аналогов был разработан вариант протокола с дистанционно-векторной геомаршрутизацией (DVG). Основная идея протокола маршрутизации заключается в следующем. Все узлы сети с определенной периодичностью осуществляют широковещательную рассылку hello-сообщений, содержащих идентификатор узла (IP-адрес), его географические координаты и время инициализации рассылки, являющееся идентификатором данного hello-сообщения.

На каждом узле вводится кэш сообщений для предотвращения безграничной лавинной ретрансляции hello. Таким образом, каждый узел может ретранслировать конкретное hello-

сообщение только один раз. Получив ранее ретранслированное hello-сообщение, содержащееся в кэше, узел просто его отбрасывает.

Каждый терминал содержит список узлов сети, вид которого представлен в таблице.

Таблица маршрутизации заполняется при получении hello-сообщений. Например, узел *a* (рис. 1) получил ретранслированное сообщение от узла *b* через узел *d*. Следовательно, у узла *a* появилась информация, что узел *b* доступен через узел *d*, и в таблицу маршрутизации добавляется новая запись. При получении узлом *a* ретранслированного сообщения от узла *b* через узел *c* будет осуществляться вычисление расстояния *cb* и его сравнение с расстоянием *db*. И поскольку  $cb < db$ , в таблице маршрутизации узла *a* будет обновлена запись, соответствующая узлу *b*, а именно поменяется вектор маршрута.

Алгоритм обработки hello-сообщений можно записать в таком виде:

1. При получении hello-сообщения текущий узел извлекает из пакета следующую информацию: идентификатор узла-источника, географические координаты, время отправки пакета.
2. Просматривается кэш истории. Если пакет с данным идентификатором и временем отправления уже обрабатывался, дальнейшая обработка пакета прекращается, пакет не ретранслируется.
3. Если пакет с данным идентификатором и временем отправления ранее не обрабатывался, то информация об идентификаторе узла-источника и времени отправки пакета заносится в кэш для дальнейшего использования, пакет обрабатывается и ретранслируется (широковещательная рассылка).
4. В таблице маршрутизации обновляется поле «время актуальности записи». В соответствии с алгоритмом маршрутизации обновляется вектор маршрута до узла-источника.

### Результаты исследования

Адекватное сравнение протоколов с чисто теоретических позиций затруднено тем, что на

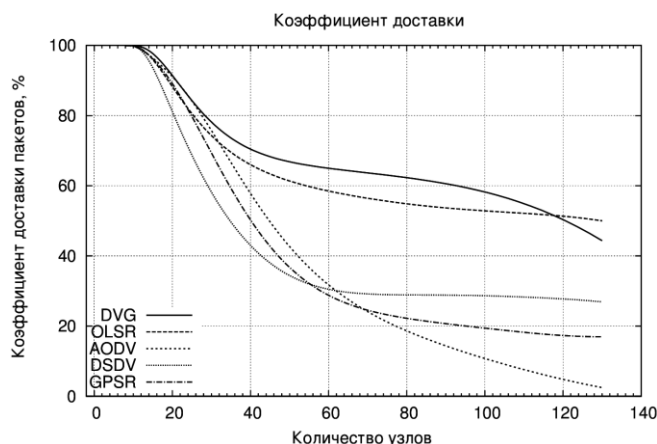


Рис. 2. Коэффициент доставки пакетов

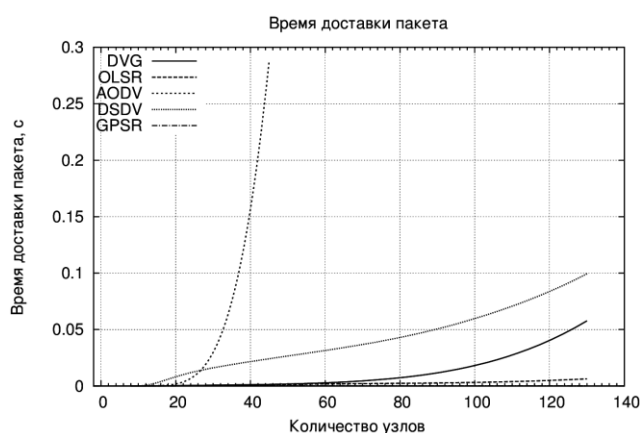


Рис. 3. Время доставки пакета

процесс передачи данных в ad hoc сетях оказывает влияние большое число различных факторов, многие из которых носят случайный характер и слабо поддаются строгому математическому анализу. Поэтому значительное число работ посвящено имитационному моделированию ad hoc сетей. При этом моделирование осуществляется как специализированными программными средствами для моделирования сетей: ns-2, ns-3, орнет, так и универсальными GPSS, AnyLogic.

В данной работе исследования протоколов маршрутизации ad hoc сетей проводились в сетевом симуляторе Network simulator 3. Сравнение проводилось с протоколами, модели которых реализованы в NS-3: OLSR [3], AODV [4], DSDV [5], GPSR [6]. Исходные данные имитационного моделирования для всех протоколов были одинаковы:

- случайное расположение узлов и, соответственно, источников и приемников трафика;
- узлы расположены на квадрате со стороной  $\sqrt{N} \cdot \text{distance}$ , где  $\text{distance} = 100$  м,  $N$  – число узлов сети;
- число источников трафика –  $0.1N$ ;
- общее время симуляции – 150 с;

- скорость движения узлов – 1.5 м/с.

На рис. 2 представлена зависимость коэффициента доставки пакетов от размера сети. Из графика видно, что разработанный протокол не уступает аналогам по коэффициенту доставки пакетов при объеме сети ~ 100 узлов.

На рис. 3 представлена зависимость времени доставки пакетов от размера сети. Можно отметить, что реактивный протокол AODV значительно уступает всем остальным уже при масштабах сети ~ 40 узлов.

### Заключение

Разработанный протокол маршрутизации достаточно эффективен на сетях до 100 узлов. При большем размере сети заметно падение коэффициента доставки пакетов с данными, поскольку широковещательная рассылка hello-сообщений приводит к большим накладным расходам. Решение данной проблемы возможно путем применения кластеризации.

Малое время доставки пакетов (порядка 20 мс на 100 узлах) свидетельствует о возможности применения разработанного протокола для передачи речевого трафика.

*Работа выполнена в рамках федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России».*

*Список литературы*

1. Иовлев Д.И. Алгоритм управления скоростью передачи данных в беспроводных ad hoc сетях // Научная сессия ТУСУР–2012: Материалы Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Томск: В-Спектр, 2012. Ч. 2. С. 69–72.
2. Винокуров В.М. и др. Маршрутизация в беспроводных мобильных Ad hoc-сетях / Доклады ТУСУРа. 2010. № 2 (22). Ч. 1. С. 288–292.
3. Clausen T. Optimized Link State Routing Protocol (OLSR). [Электронный ресурс]. URL: <http://www.ietf.org/rfc/rfc3626.txt> (дата обращения: 04.11.2012).

4. RFC 3561 – Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing [Электронный ресурс] // The Internet Engineering Task Force (IETF). URL: <http://www.ietf.org/rfc/rfc3561.txt> (дата обращения: 04.11.2012).

5. Perkins C.E., Bhagwat P. Highly Dynamic Destination-Sequenced Distance-Vector Routing (DSDV) for Mobile Computers // Sigcomm. 1994. P. 234–244.

6. Karp B., Kung H.T. GPSR: Greedy perimeter stateless routing for wireless networks // Proceedings of the 6-th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom'00). New York: ACM Press, 2000. P. 243–254.

## ROUTING PROTOCOLS IN WIRELESS AD HOC NETWORKS

*A.P. Metelyov, A.V. Chistyakov, A.N. Zholobov*

Main groups of routing protocols in mobile ad hoc networks (MANETs) are considered. A version of the developed protocol is presented. Investigation results on the protocols in the NS-3 network simulator are analyzed.

*Keywords:* routing protocol, wireless ad hoc networks, mobile ad hoc network (MANET).