

# АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПРОТОКОЛОВ МАРШРУТИЗАЦИИ В БЕСПРОВОДНЫХ САМООРГАНИЗУЮЩИХСЯ AD-HOC СЕТЯХ

*Харченко Н.А., Мякинникова Н.Д., Альбоца К.И., Апалькова К.В.*

## **Введение**

Главным предназначением компьютерных сетей была и остается возможность осуществления передачи данных между разными типами пользовательских оконечных устройств. При этом такая возможность должна обеспечиваться, независимо от технологии передачи данных или типа соединения устройств.

Проводные компьютерные сети за счет более раннего развития имеют очень высокую скорость и согласованность соединений. Они гораздо надежнее и быстрее, чем беспроводные сети. Но в последнее время все больше устройств оснащается беспроводными модулями передачи данных, так как такие подключения обеспечивают пользователям необходимую мобильность в пределах определенной территории.

В настоящее время существует множество беспроводных технологий, наиболее известны пользователям по их маркетинговым названиям следующие:

- Bluetooth 11 – область применения: беспроводные персональные сети (WPAN – Wireless Personal Area Networks).

- Wi-Fi – область применения: беспроводные локальные сети (WLAN – Wireless Local Area Networks).

- WiMAX – область применения: беспроводные сети масштаба города (WMAN – Wireless Metropolitan Area Networks).

При этом внутри каждого стандарта на данном этапе развития сетей ведутся постоянные исследования по разработке новых стандартов и технологий, повышающих скорость передачи данных, новых принципов организации связи, возможностей защиты информации и управления трафиком. Одной из таких перспективных разработок являются беспроводные самоорганизующиеся сети. Под самоорганизацией понимают процесс упорядочения элементов одного уровня в системе за счет внутренних факторов, без внешнего специфического воздействия. Следовательно, самоорганизующиеся сети – это сети, для которых не требуется создание никакой дополнительной инфраструктуры кроме самих узлов передающих информацию. Такие сети не имеют единого центра управления, после подключения узла происходит его автоматическая настройка после чего все узлы берут на себя функции управления сетью.

Применение самоорганизующихся сетей имеет ряд преимуществ над беспроводными сетями традиционной архитектуры за счет возможности передачи данных на большие расстояния без увеличения мощности передатчика, устойчивости к изменениям в инфраструктуре сети, возможности быстрой реконфигурации в условиях неблагоприятной помеховой обстановки, а также простоты и высокой скорости развертывания.

Но к сожалению также можно выделить несколько классов проблем:

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

Выделенные выше особенности 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.

Из-за постоянных изменений структуры самоорганизующейся сети пути передачи данных и эффективность их доставки также подвергаются изменениям, что выводит проблему маршрутизации потоков трафика на первые места. Поэтому в первую очередь необходимо разрабатывать такие протоколы маршрутизации, которые будут решать данную проблему.

Существует множество стандартов и протоколов реализации беспроводных ad-hoc сетей, для которых разработан соответствующий алгоритм маршрутизации, каждый из которых потенциально имеет свои преимущества и недостатки при различных условиях (плотности узлов и скорости передачи) использования в рамках мобильных Ad-hoc сетей.

Технология беспроводных Ad-hoc сетей в настоящее время дорабатывается и модернизируется, некоторые ведущие фирмы мира предлагают свои разработки, использующие собственные запатентованные закрытые протоколы, что замедляет процесс поиска оптимальных вариантов протоколов для завершения стандартизации данной технологии.

Следовательно, разработка собственных и совершенствование существующих алгоритмов маршрутизации с целью повышения эффективности передачи данных, является актуальной научно-прикладной задачей.

### **Классификация беспроводных сетей**

Рассмотрим классификацию сетей связи общего пользования приведенную на рис. 1.

Как видно на рисунке сети связи условно можно разделить на самоорганизующиеся и инфраструктурные. Это разделение произведено исходя из того имеют сети устойчивую архитектуру или же постоянно изменяются.

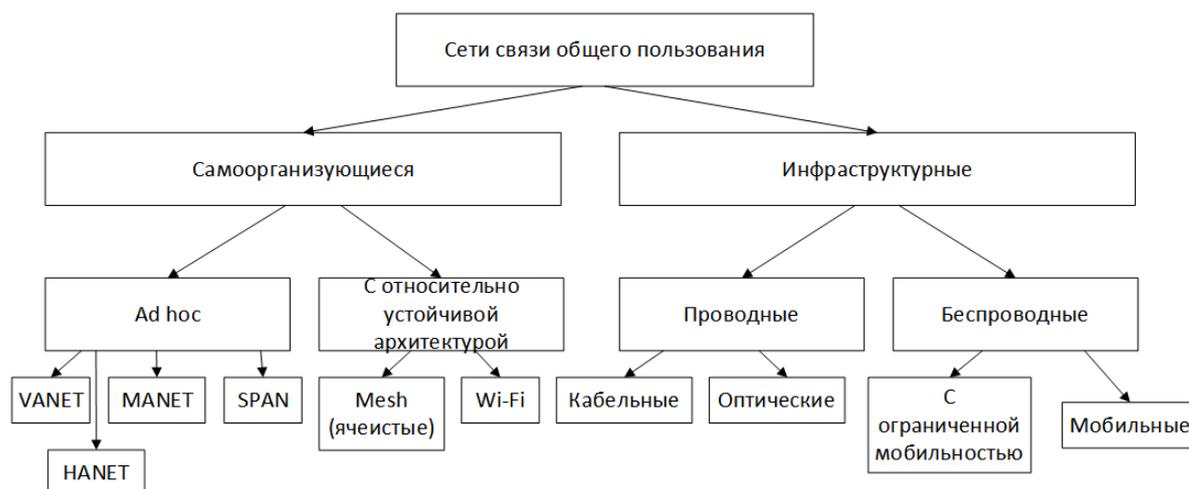
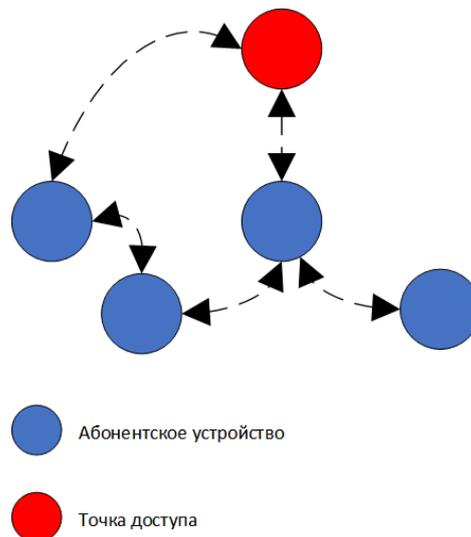


Рис. 1. Классификация сетей связи общего пользования

Самоорганизующиеся сети в классификации подразделяются на Ad-hoc сети и сети с относительно устойчивой архитектурой. К классу Ad-hoc сетей отнесены такие сети, как VANET (Vehicular ad hoc network), HANET (Home ad hoc network), SPAN (Smart phone ad hoc network) и т. п., т. е. сети, в которых изменение архитектуры происходит автоматически при наступлении неких новых условий ее функционирования или даже существования. К сетям с относительно устойчивой архитектурой отнесены такие сети, как транзитная Mesh-сеть, Mesh-сеть микрорайона, Wi-Fi, также к неинфраструктурным можно отнести технологии Bluetooth и UWB (Ultra WideBand) (последние на рис. не показаны), т. е. сети, в которых изменение архитектуры происходит достаточно редко или при участии человека.

Одной из перспективных современных технологий передачи данных являются беспроводные сети типа «Ad-hoc» (от лат. ad hoc — «для этого»), или самоорганизующиеся динамически сети. Их отличительной особенностью является то, что узлы сети соединяются автоматически «на лету» при подключении нового пользователя в сеть. Ниже на рис. 2 приведен пример ad-hoc сети.

Если при этом сеть является телекоммуникационной, то есть предназначенной для передачи данных на значительные расстояния, превосходящие радиус действия используемых конечных приемопередающих устройств, то для передачи данных необходимо использовать принцип «возьми и передай дальше». Важным обстоятельством является то, что узлы такой сети независимы друг от друга и могут включаться и выключаться из нее в любой момент, что предопределяет случайный характер структуры сети. Кроме того, узлы сети типа Ad-hoc полностью или частично функционально идентичны, то есть могут выступать как в роли хоста, так и в роли шлюза, пользуясь терминологией IP-сетей. Последняя особенность позволяет отнести ad-hoc сети к разновидности одноранговых (peer-to-peer) коммуникационных систем.



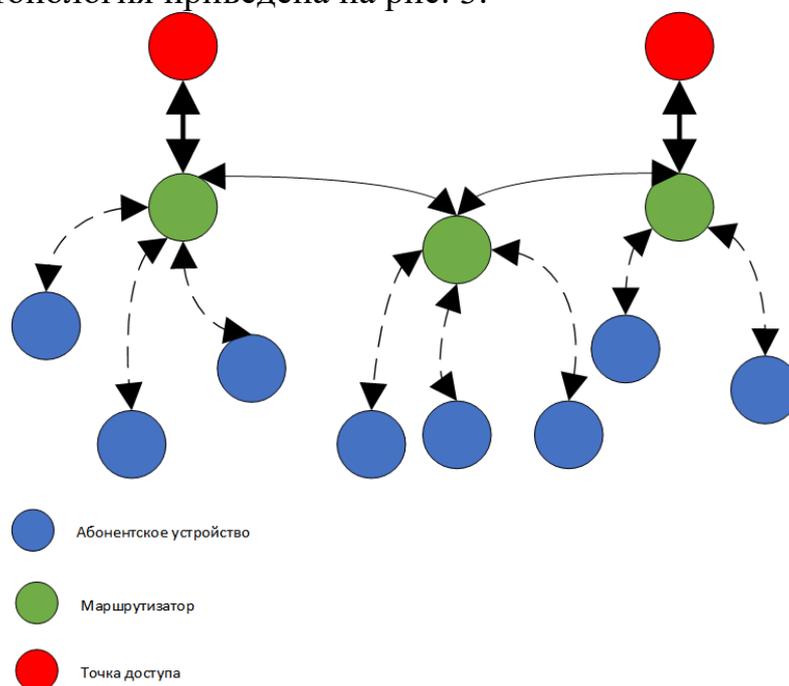
*Рис. 2. Пример Ad-hoc сети*

Привлекательность технологий ad-hoc сетей обуславливается многими факторами. Во-первых, подобные сети позволяют эффективно использовать бездействующий большую часть времени коммуникационный ресурс вычислительных систем, оснащенных интерфейсами беспроводной связи. Кроме того, одноранговый принцип организации динамических сетей обуславливает их высокую отказоустойчивость за счет исключения проблемы уязвимости центрального звена, характерной для систем с асимметричной функциональностью. В случае коммуникационных сетей таким звеном являются шлюзы или маршрутизаторы. Поскольку в ad-hoc сети каждый узел обязан выполнять роль маршрутизатора, то отказ любого из них не является критичным для работоспособности сети в целом. Кроме того, симметричность функциональности узлов сети создает предпосылки для придания ей свойства самоорганизации, что делает сеть не только отказоустойчивой, но и хорошо масштабируемой и наращиваемой. Минимальное конфигурирование и быстрое развертывание позволяет применять самоорганизующиеся сети в чрезвычайных ситуациях, таких как природные катастрофы и военные конфликты. Данные преимущества заставляют современных разработчиков активно развивать технологии Ad-hoc сетей, несмотря на относительно высокую, в общем случае, сложность их реализации.

Основной проблемой организации Ad-hoc сети является обеспечение эффективной маршрутизации передаваемых блоков данных. Сложность этой задачи обусловлена динамичным, а в некоторых реализациях – и случайным, характером структуры сети. Проблема становится еще более сложной, если в качестве узлов сети используются мобильные устройства. Однако, широчайшее распространение мобильных телефонов, карманных компьютеров, и т.п., оснащенных средствами беспроводной связи малого и среднего радиуса действия, делает весьма привлекательной идею использования их в основном бездействующего коммуникационного ресурса для передачи данных по принципу «возьми и передай дальше».

Сегодня существует довольно значительное количество технологий и практических реализаций сетей, которые могут быть отнесены к категории Ad-hoc. Наиболее распространены сети, использующие в качестве технологии передачи данных протоколы Wi-Fi (стандарт IEEE 802.11). Отдельную, довольно крупную и активно развивающуюся группу технологий динамических сетей, базирующихся на Wi-Fi, составляют так называемые Mesh-сети.

Наиболее общее определение для Mesh-сети звучит как: «Mesh - сетевая топология, в которой устройства объединяются многочисленными (часто избыточными) соединениями, вводимыми по стратегическим соображениям». Несмотря на созвучие наименования технологии с полносвязной топологией сетей (mesh-топологией), Mesh-сети не обязательно являются полносвязными. Их обобщенная топология приведена на рис. 3.



*Рис. 3. Обобщенная топология mesh-сети*

Сеть можно представить в виде узлов, которые не только предоставляют возможность связи с сетью, но и выполняют функции маршрутизаторов/ретрансляторов для других узлов этой же сети. Благодаря этому появляется возможность создания самоустанавливающейся и самовосстанавливающейся сети. Mesh-сети строятся как совокупность кластеров. Территория покрытия разделяется на зоны, число которых теоретически не ограничено. В зависимости от конкретного решения узлы сети могут выступать в роли ретранслятора (транспортный канал) либо ретранслятора и абонентской точки доступа.

Если рассматривать существующие реализации Mesh-сетей, то можно сделать вывод, что отличительной особенностью технологии Mesh от других технологий динамических сетей является пространственная стационарность узлов сети. Это существенно упрощает решение задачи маршрутизации потоков данных, поскольку динамика структуры сети проявляется лишь в том,

что узлы могут выходить из состава сети, что приводит к терминированию проходящих через них маршрутов. Статичность узлов Mesh-сети обуславливает ограниченное для отдельно взятого узла число соседей и, тем самым, позволяет формировать и хранить на узлах полную топологию сети или ее отдельные фрагменты. Это обстоятельство позволяет реализовывать в Mesh-сетях довольно разнообразные алгоритмы маршрутизации, в том числе – использование для передачи данных нескольких параллельных маршрутов одновременно. В некоторых реализациях Mesh-сетей используются специальные протоколы, позволяющие каждому узлу создавать таблицы абонентов сети с контролем состояния транспортного канала и поддержкой динамической маршрутизации трафика по оптимальному маршруту. При отказе какого-либо из узлов, происходит автоматическое перенаправление трафика по другому маршруту, что гарантирует не просто доставку трафика адресату, а доставку за минимальное время.

Следует отметить, что большинство реализаций Mesh-сетей предполагают разделение узлов на две категории: хост (или абонентские) узлы и узлы-ретрансляторы. Последние, как правило, совмещают функции узлов обоих типов. Такое разделение функций в определенной степени дистанцирует Mesh-сети от полностью одноранговых коммуникационных систем. Узлы, выполняющие роль ретрансляторов, образуют своеобразное ядро сети, от которого полностью зависит работоспособность коммуникационной среды в целом.

В отличие от Mesh-сетей, мобильные Ad-hoc сети, которые принято относить к категории MANET (mobile ad-hoc network), строятся на базе перемещающихся в пространстве узлов. Каждый узел такой сети должен играть роль как хоста, так и маршрутизатора. При этом, вследствие динамичности структуры сети, следующей из мобильности и негарантированной доступности узлов, вопрос выбора маршрутов доставки данных в таких сетях становится первостепенным.

### **Маршрутизация в Ad-hoc сетях**

Беспроводные Ad-hoc сети относятся к мобильным децентрализованным динамическим самоорганизующимся сетям и не имеют постоянной структуры. Каждое устройство, принимающее участие в организации такой сети, является одновременно приемником, передатчиком, ретранслятором и представляет конечное устройство. Каждый узел Ad-hoc сети может свободно перемещаться в любое время и в любом направлении, причем вследствие этого некоторые старые связи могут быть утрачены, а также могут быть установлены новые связи, уже с другими узлами сети.

В настоящее время одной из важных проблем является поиск и создание эффективных протоколов маршрутизации, поскольку большинство существующих протоколов эффективны только в небольших сетях и сталкиваются с проблемой масштабируемости. При этом в зависимости от вида самоорганизующейся сети их использование может привести к

неэффективному распределению ресурсов сети, а иногда и к ее неработоспособности.

Технология ad-hoc сетей в настоящее время находится в стадии доработки, поскольку появляются новые методы и алгоритмы маршрутизации. Оценка параметров производительности различных протоколов является важной задачей при разработке новых и модернизации уже имеющихся протоколов маршрутизации.

За счет постоянного изменения структуры сети могут возникнуть проблемы с маршрутизацией, так как изменяются возможные пути доставки информации между узлами, эти проблемы решаются с помощью проактивных, реактивных и гибридных протоколов маршрутизации

Проактивные протоколы маршрутизации управляются таблицами маршрутизации, которые формируются при создании сети и обновляются при каждом изменении структуры сети. Таблицы маршрутизации в данных протоколах являются полными и постоянно обновляются. Наиболее применяемыми проактивными протоколами являются DSDV, OLSR и WRP.

DSDV(Destination-Sequenced Distance-Vector Routing) – проактивный протокол, основанный на алгоритме Беллмана-Форда, пересылающий обновления сразу после их получения. Каждое обновление маршрутов каждого узла имеет свой уникальный порядковый номер, что позволяет обеспечить актуальность информации о маршрутах. Предусматривает возможность подключения одного из узлов ad-hoc сети к любой другой сети, в таком случае этот узел является шлюзом.

OLSR(Optimized Link State Routing Protocol) – основанный на алгоритме Дейкстры. В нем введена концепция сетевых устройств, которые играют роль MPR (Multi Point Relay) и, по сути, являются основой Ad-hoc сети. Именно устройства MPR могут формировать и рассылать обновления через всю Ad-hoc сеть. Каждое устройство, не исполняющее роль MPR, выбирает один или несколько таких MPR устройств, от которых получает обновления маршрутной информации, но не транслирует ее в сеть.

WRP (Wireless Routing Protocol) – по принципу работы схожий с протоколом RIP: периодический обмен таблицами маршрутизации и основные средства защиты от возникновения петель маршрутизации. Создает соединения, которые постоянно поддерживаются между соседними Ad-hoc узлами сети.

Реактивные протоколы маршрутизации занимаются поиском маршрута до конечного узла только в случае необходимости взаимного обмена информацией между узлами. После обмена информацией между двумя конечными узлами маршрут некоторое время хранится в памяти этих устройств. Если возникает потребность еще раз передать информацию по тому же маршруту, но время прошедшее после последней передачи превышает время хранения маршрута в памяти, процесс поиска маршрута повторяется. Наиболее применяемыми реактивными протоколами являются AODV, DSR, DYMO.

AODV (Ad-hoc On-Demand Distance Vector) – реактивный протокол, использующий вектор расстояния по запросу. Позволяет клиенту при необходимости установить соединение с другим клиентом с помощью распространения запроса по всей Ad-hoc сети. Все узлы, получившие запрос, сохраняют информацию об отправителе в таблице маршрутизации, и ответ на запрос возвращается по установленному маршруту.

DSR (Dynamic Source Routing Protocol) – похож на AODV, однако он использует маршрутизацию от источника. Здесь путь прохождения пакета по всем узлам указывается внутри пакета, и ответный пакет возвращается по тому же маршруту, каким пришел запрос.

DYMO (Dynamic MANET On-Demand Routing) – базируется на AODV, однако имеет упрощенный механизм поиска и поддержки маршрута.

Гибридные протоколы маршрутизации используются для Ad-hoc сетей с большим количеством конечных устройств, разбивая сеть на сектора. Они объединяют в себе механизмы работы проактивных и реактивных протоколов в зависимости от уровня иерархии (обычно проактивные используются внутри одного сектора, а реактивные – за пределами сектора). Среди таких протоколов следует выделить HWMP, ZHLS, ZRP.

HWMP (Hybrid Wireless Mesh Protocol) – базируется на AODV и является базовым для сетей построенных согласно технологии IEEE 802.11s.

ZHLS (Zone-Based Hierarchical Link State) – базируется на системе GPS и для разбиения сети на зоны использует привязку к географическим координатам сетевых устройств. Каждый узел имеет номер и получает два типа пакетов с маршрутной информацией: один сообщает о порядке доступа к узлам внутри его географической зоны, второй – к узлам сети расположенным вне этой зоны.

ZRP (Zone Routing Protocol) – также разбивает сеть на части, и маршрутизацией между частями занимаются пограничные узлы. Среди существующих типов протоколов маршрутизации различаются также иерархические (формируют иерархию из мобильных терминалов абонентов, часть сетевых устройств выполняет роль транспортной сети), ориентированные (позволяют изучить маршрут при обработке данных, которых проходят через мобильные станции пользователей) и многоадресные (позволяют передавать информационный поток нескольким получателям одновременно).

Гибридные протоколы комбинируют механизмы проактивных и реактивных протоколов. Как правило, они разбивают сеть на множество подсетей, внутри которых функционирует проактивный протокол, а взаимодействие между ними осуществляется реактивными методами. В крупных сетях это позволяет сократить размеры таблиц маршрутизации, которые ведут узлы сети, так как им необходимо знать точные маршруты лишь для узлов подсети, к которой они принадлежат. Также сокращается и объем рассылаемой по сети служебной информации, так как основная ее часть распространяется лишь в пределах подсетей.

## Сравнительный анализ протоколов маршрутизации

В таблицах 1-3 приведены сравнительные анализы проактивных и реактивных протоколов маршрутизации.

Таблица 1

### Сравнительный анализ основных характеристик проактивных протоколов

Имя	Маршрутная структура	Число таблиц	Частота обновления	Особенности
DSDV	Плоская	2	Периодически и по запросу	Защита от петель
OLSR	Плоская	3	Периодически	Защита от петель на основании предшествующей информации
WRP	Плоская	4	Периодически	Использует MPR

Проанализировав приведенные таблицы можно сказать, что реактивные протоколы отличаются большими задержками, чем проактивные, и используют более длинные маршруты для передачи данных, чем проактивные. Протоколы, использующие таблицы маршрутизации, в свою очередь доставляют информацию с большими потерями и потребляют больше трафика на передачу служебной информации, чем протоколы, использующие информацию лишь о текущих маршрутах.

Таблица 2

### Сравнительный анализ основных характеристик реактивных протоколов

Имя	Маршрутная структура	Множественные маршруты	Метод расчета маршрут	Хранение маршрутов	Стратегия
AODV	Плоская	Нет	Новый кратчайший путь	Маршрутная таблица	Полная либо частичная перезапись маршрутов
DSR	Плоская	Да	Кратчайший путь или следующий в маршрутной таблице	Кэш маршрутов	Полная перезапись маршрутов

Таблица 3

### Сравнительный анализ сложности протоколов маршрутизации

Имя	Время конвергенции	Память	Управление	Преимущества/недостатки
DSDV	$O(D*I)$	$O(N)$	$O(N)$	Защита от петель / на верхнем уровне
OLSR	$O(D*I)$	$O(N)^2$	$O(N)^2$	Защита от петель на основании предшествующей

				информации / необходимость обмена данными
WRP	$O(h)$	$O(N)^2$	$O(N)$	Защита от петель / высокое потребление памяти
AODV	$O(2D)$	$O(2N)$	$O(2N)$	Адаптируется к высокодинамичным топологиям
DSR	$O(2D)$	$O(2N)$	$O(2N)$	Множество маршрутов, невозможно прослушать

где  $O()$  – порядок сложности;  $D$  – диаметр сети;  $I$  – среднее время обновления;  $N$  – количество узлов в сети;  $h$  – высота дерева маршрутизации.

Например, проактивные протоколы обладают явным преимуществом перед реактивными по времени построения маршрута. У проактивных протоколов этот процесс, происходит заранее, и требуется лишь считать маршрут из таблицы, тогда как реактивным протоколам необходимо разослать широковещательный запрос и дождаться подтверждения от адресата. Однако проактивным протоколам необходимо постоянно осуществлять широковещательные рассылки, на что может расходоваться значительная доля пропускной способности сети, особенно в сетях с большим количеством и высокой мобильностью узлов. К недостаткам гибридных протоколов следует отнести относительную сложность реализации и снижение эффективности маршрутизации, связанные с необходимостью разбиения структуры сети на кластеры.

Одной из проблем при выборе протоколов маршрутизации является также их доступность. В связи с тем, что стандарт Mesh-сетей находится в стадии доработки, многие ведущие фирмы мира предлагают свои собственные протоколы маршрутизации. Известно довольно много различных разработок, но, к сожалению, в большинстве своем они лишь поверхностно описаны разработчиками и соответственно это усложняет процесс стандартизации самоорганизующихся сетей.

Так, в беспроводной платформе Cisco Aironet 1520 Series фирмы Cisco Systems используется проприетарный протокол маршрутизации Cisco's Adaptive Wireless Path Protocol (AWPP). Логика протокола скрыта, однако по косвенным данным можно предположить, что он базируется на одной из версий HWMP, работающего в проактивном режиме. Управление и мониторинг сети, т.е. функция корневого узла, реализует специальное устройство – контроллер беспроводной сети Cisco Wireless LAN Controller, компания рекомендует использовать в Mesh-сетях контроллеры серии 4400.

Довольно много информации о маршрутизации в своих сетях представила корпорация Microsoft. Компания разработала реактивный протокол маршрутизации, основанный на алгоритме динамической маршрутизации источника DSR (Dynamic Source Routing). Он очень похож на протокол Ad Hoc On Demand Distance Vector (т.е. на HWMP), с той лишь разницей, что для маршрутизации от источника до адресата используется маршрутная таблица источника, а не промежуточных узлов. Компания Microsoft предложила и протокол маршрутизации источника по качеству

канала (Link Quality Source Routing, LQSR), который является адаптацией DSR на виртуальный второй с половиной уровень эталонной сетевой модели взаимодействия открытых систем OSI. Введение промежуточного уровня предпринято компанией, чтобы сделать протокол прозрачным для более высокого уровня, но при этом обеспечить его корректную работу при переходе между проводной и беспроводной сетями. К предложенному протоколу прилагается пять различных метрик: количество шагов; время на получение ответа (Round Trip Time, RTT); время на посылку пробного пакета от источника до адресата и обратно (Packet Pair); ожидаемое время передачи (Expected Transmission Time, ETT) и взвешенное совокупное ожидаемое время передачи (Weighted Cumulative ETTs, WCETT). Помимо основного протокола LQSR, есть версия многоинтерфейсного LQSR (MR-LQSR – MultiRadio Link Quality Source Routing), которая, согласно экспериментам, дает существенный прирост производительности сети, узлы которой поддерживают несколько интерфейсов.

Компания Tropos Networks также представила свое решение в области маршрутизации в Mesh-сетях. Яркий пример внедрения ее разработок – сеть Google Wi-Fi, объединяющая свыше 400 маршрутизаторов в опорной сети, охватывающая более 12 квадратных миль и 15 тыс. домов для обслуживания 25 тыс. пользователей. Данного результата удалось достичь благодаря разработке и использованию протокола Predictive Wireless Routing Protocol (PWRP), способного работать в больших сетях без потери пропускной способности. PWRP является закрытым проприетарным протоколом, поэтому точных данных о его работе нет. Однако из официальных документов разработчика следует, что данный протокол – полностью распределенный и в первую очередь ориентирован на обеспечение связи клиент-сервер, которая динамически оптимизируется и с легкостью масштабируется при расширении сети. Про метрику, используемую в протоколе, известно лишь то, что она основана на измерении действительной производительности беспроводной сети.

Группа OLPC team (известный проект One Laptop per Child – каждому ребенку по ноутбуку) предложила упрощенную версию протокола HWMP. Неоспоримые преимущества этого решения – открытость проекта и исходных кодов и его поддержка крупными компаниями.

Специально для Mesh-сетей в Голландском институте беспроводной и мобильной связи (Twente Institute for Wireless and Mobile Communications) разработан протокол Forwarding LAyer for MESHing (FLAME). Он работает на виртуальном втором с половиной уровне модели OSI, аналогично протоколу LQSR. Это наделяет FLAME теми же преимуществами, что и LQSR, т.е. прозрачностью с точки зрения протоколов верхних уровней и независимостью от среды передачи данных. Однако в отличие от LQSR протокол FLAME не использует никаких метрик (первый пришедший от узла пакет считается пришедшим по кратчайшему пути, который и используется в дальнейшем), – любой полученный пакет является основанием для обновления информации о его источнике. При этом в таблицу маршрутизации заносится интерфейс и

соседний узел, через которые пролегает путь к источнику пакета. Для этого в сети под управлением FLAME ко всем передаваемым пакетам добавляется FLAME-заголовок.

### **Выводы**

На сегодняшний день существует множество проблем в области создания беспроводных самоорганизующихся сетей с переменной топологией. И одной из главных являются вопросы маршрутизации и определения конкретных протоколов маршрутизации в зависимости от области применения.

Существует множество стандартов и протоколов реализации беспроводных Mesh-сетей. Среди них самые известные это OLSR и HWMP, тем не менее и они обладают значительными недостатками. Сравнительная характеристика разных видов протоколов, проведенная в работе, показала что OLSR дает лучшие результаты при использовании в крупных и сложных сетях, маленькую задержку при соединениях, но неэффективно расходует энергию неактивных устройств. HWMP несмотря на гибкость и простоту развертывания использует не самые эффективные пути передачи трафика в топологии сети.

Также часть протоколов маршрутизации является закрытыми и не является стандартизированными, что приводит к возможным ошибкам при их взаимодействии друг с другом. Таким образом, можно сделать вывод о необходимости дальнейшего усовершенствования протоколов маршрутизации как с точки зрения принятия общих стандартов в беспроводных сетях, так и при их взаимодействии друг с другом.

Одним из дальнейших направлений развития в области беспроводных технологий должно стать построение системы связи, предназначенной для передачи интенсивного трафика, в том числе и трафика реального времени (голосовая и видеoinформация). А ключевым фактором, который будет оказывать влияние на такие параметры как производительность сети и задержка передачи данных – работа протоколов маршрутизации.

### **Литература**

1. Azzedine Boukerche. Algorithms and protocols for wireless, mobile ad hoc networks. - New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2009. - 495 p.
2. Carlos de Morais Cordeiro. Ad hoc & Sensor Networks, Theory and Applications / Carlos de Morais Cordeiro, Dharma Prakash Agrawal. - Singapore: World Scientific Publishing Co, 2006. - 642 p.
3. Julian Hsu Bhatia. Performance of Mobile Ad hoc Networking Routing Protocols in Large Scale Scenarios / Julian Hsu Bhatia, S. Tang, K. Bagrodia, R. Acriche // IEEE Military Communications Conference. - 2004. - Vol. 1. - P. 21-27.
4. Евланов М.В. Анализ возможностей применения подходов к самоорганизации отдельных сервисов в сервис-ориентированных информационных системах / О.Е. Неумывакина, А.Ю. Карамышева // Вестник Национального технического университета, 2013, № 16. С. 22-26.

5. Евдокимов И. Л. Применение технологии ММО в самоорганизующихся сетях связи ad hoc // Электронный ресурс. Режим доступа: <http://conf.mirea.ru/CD2011/pdf/p3/31.pdf> (16 июля 2015).

6. Польщиков К.А. Оценка вероятностно-временных характеристик доставки данных в беспроводной самоорганизующейся сети / К.А. Польщиков // Научные ведомости БелГУ. Сер. Экономика. Информатика, 2015, № 7. С. 183-187.

7. Орлов В.Г. Протоколы маршрутизации в мобильных ad-hoc-сетях / А.Н. Фадеев // Материалы Международной научно-технической конференции (INTERMATIC - 2012). Часть 6: С. 208-212.