

MESH–СЕТИ: ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ, ВОЗМОЖНЫЕ ПРИМЕНЕНИЯ

Г. В. Попков

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН,
630090, Новосибирск, Россия

УДК 004.9

Рассмотрены вопросы построения самоорганизующихся сетей связи (MESH), а также топология построения сетей такого класса. Выявлены основные преимущества и недостатки MESH-сетей, их возможности по организации беспроводных сервисов для мобильных абонентов сотовых сетей связи. Выделены проблемы проектирования такого рода сетей.

Ключевые слова: самоорганизующиеся сети, беспроводной доступ, сотовые сети связи, MESH-сети, мобильные сети связи, Wi-Fi, Wi-Max.

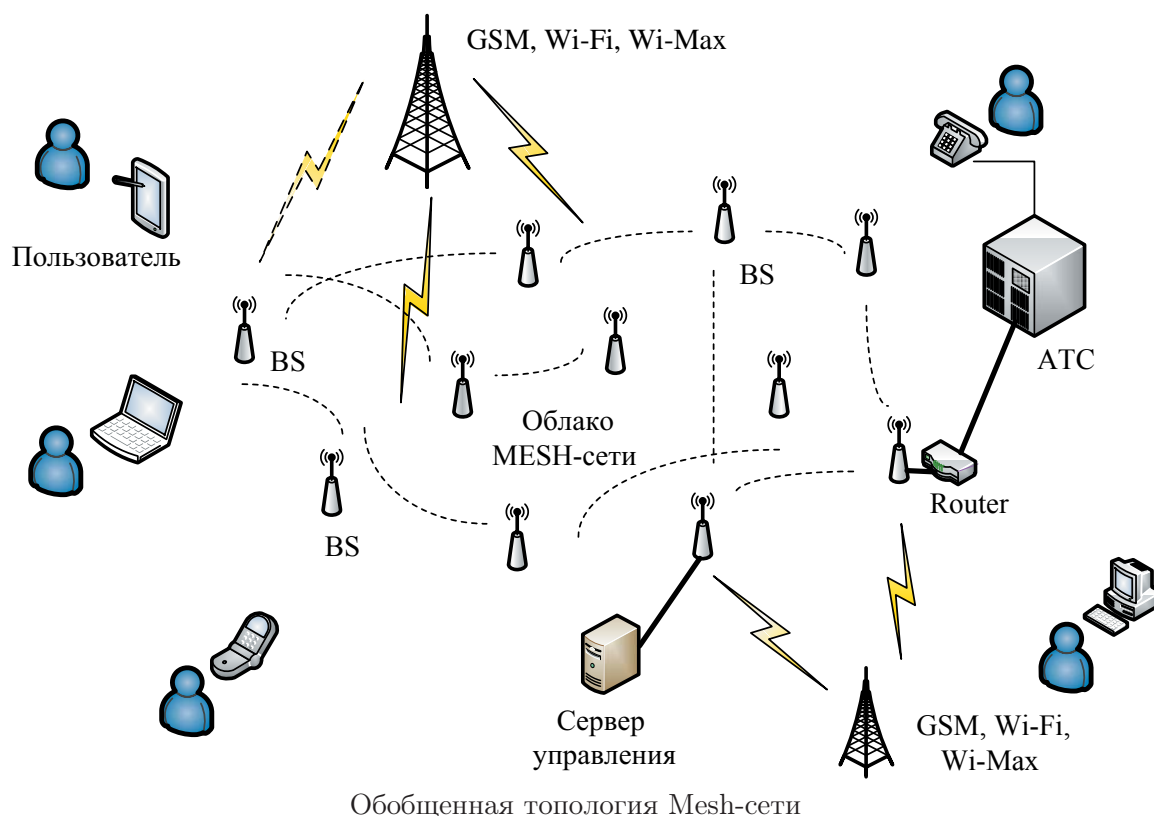
In article organization questions ad-hoc communication networks (MESH) are considered, the topology of creation of networks of such class is considered. The main merits and demerits of MESH networks of their possibility on the organization of wireless services for mobile subscribers of cellular communication networks are considered. The questions connected with problems of design of such networks are taken up.

Key words: self-organizing networks, wireless access, cellular communication networks, MESH-networks, mobile communication networks, Wi-Fi, Wi-Max.

Mesh (multi-hop) — сетевая топология, в которой беспроводные устройства объединяются многочисленными (часто избыточными) соединениями, вводимыми по стратегическим соображениям. Это определение достаточно хорошо соответствует функциям развертываемых сетей такого класса. Идея самоорганизующейся сети, имеющей децентрализованное управление и обладающей высокой степенью надежности, была предложена давно, но эффективная реализация подобной технологии стала возможной в результате быстрого развития беспроводных технологий.

Сети подобного класса широко применяются военными ведомствами разных стран для организации оперативной связи в тактических целях, например во время проведения анти-террористических операций, в зонах локальных военных конфликтов.

В последнее время получили распространение телекоммуникационные сети передачи данных, организованные в соответствии с топологией Mesh. Масштабы проектов увеличились до десятков тысяч точек доступа и сотен тысяч пользователей по всему миру. Mesh-сети представляют наиболее интересные решения, интегрирующие различные технологии беспроводного доступа. Возможность организации с помощью Mesh-топологии локальных (LAN) и городских (MAN) сетей, легко интегрируемых в глобальные сети (WAN), является положительным фактором для операторов связи, разворачивающих свои сети в мегаполисах [1].



Топология MESH-сетей основана на децентрализованной схеме организации связи между активными узлами сети. Узлы доступа, используемые в Mesh-сетях, не только предоставляют услуги абонентского доступа, но и выполняют функции маршрутизаторов (ретрансляторов) для других узлов той же сети. За счет этого появляется возможность создания больших зон покрытия сети с взаимозаменяемыми активными узлами, а также возможность масштабирования (в этом случае новые узлы добавляются в сеть автоматически). Обобщенная топология такой сети показана на рисунке.

Mesh-сеть имеет следующие возможности:

- создание зон сплошного информационного покрытия большой площади;
- масштабируемость сети (увеличение площади зоны покрытия и плотности информационного обеспечения) в режиме самоорганизации;
- использование беспроводных транспортных каналов (backhaul) для связи точек доступа в режиме “каждый с каждым”;
- устойчивость сети к потере отдельных элементов.

Mesh-сети строятся как совокупность кластеров. Территория покрытия разделяется на кластерные зоны, количество которых теоретически не ограничено. В одном кластере размещается от 8 до 16 точек доступа. Одна из таких точек является узловой (gateway) и подключается к магистральному информационному каналу с помощью кабеля (оптического либо электрического) или по радиоканалу (с использованием систем широкополосного доступа). Узловые точки доступа, как и остальные точки доступа (nodes) в кластере, соединяются между собой (с ближайшими соседями) по транспортному радиоканалу. В зависимости от конкретного решения точки доступа могут выполнять функции ретранслятора (транспортный канал) либо функции ретранслятора и абонентской точки доступа. Особенностью Mesh-сети является использование специальных протоколов, позволяющих каждой точке доступа

создавать таблицы абонентов сети с контролем состояния транспортного канала и поддержкой динамической маршрутизации трафика по оптимальному маршруту между соседними точками. При отказе какой-либо из них происходит автоматическое перенаправление трафика по другому маршруту, что гарантирует не просто доставку трафика адресату, а доставку за минимальное время. Процедура расширения сети в пределах кластера ограничивается установкой новых точек доступа, интеграция которых в существующую сеть происходит автоматически. Сеть способна к самовосстановлению и адаптации в условиях резких скачков трафика как внутри сети, так и на ее границах.

Недостаток подобных сетей заключается в том, что они используют промежуточные пункты для передачи данных. Это может вызвать задержку при пересылке информации и как следствие снизить качество трафика реального времени (например, речи или видео). Вследствие этого существуют ограничения на количество точек доступа в одном кластере.

В настоящее время в стандарте 802.11 отсутствуют строгие спецификации по реализации Hand-over. Однако для обеспечения такого перехода предусмотрены специальные процедуры сканирования эфира и присоединения. Реализация Hand-over в сетях Wi-Fi может осуществляться различными способами, как правило, на базе протокола Radius или под управлением интеллектуального беспроводного контроллера, организующего “туннель” при переходе клиента в зону обслуживания соседней точки доступа. В спецификации 802.11k описаны процедуры, позволяющие клиентскому устройству выбрать точку доступа, к которой следует подключиться перед разрывом текущего соединения.

Данное оборудование с поддержкой механизмов управления 802.11k обеспечивает переключение абонентского устройства на новую точку доступа за время не более 50 мс. Столь малая задержка не будет замечена пользователем, так как она в несколько раз меньше порога восприятия человека.

Одной из основных задач построения Mesh-сетей состоит в предоставлении полного спектра услуг мобильной и фиксированной связи абоненту без изменения его личного “единого” сетевого номера. В данном случае одной из главных задач является организация межсетевого роуминга для абонента в различных сетях без потери качества предоставляемых услуг, имеющих приемлемую стоимость. При этом важную роль играют QoS и соглашения SLA между сетью и пользователем услуг.

В пределах городской сети, состоящей из набора кластеров, проблема роуминга при переходе клиента из кластера в кластер решается механизмами ESSID, WEP/802.1x и VPN. Свободно перемещающийся клиент идентифицируется по IP-адресу с организацией виртуальных IP-каналов.

В дальнейшем в спецификации 802.11s будет описана процедура объединения сетей, в том числе сетей различного типа. Создание крупных сетей 802.11s позволит устранить проблему перехода между сетями Wi-Fi, развернутыми в различных городах.

Обеспечение мультисервисности предполагает организацию для клиента полного спектра телекоммуникационных услуг. Стандарт IEEE 802.11e позволяет при сохранении полной совместимости с действующими стандартами 802.11a/b/g расширить функциональность за счет обслуживания потоковых данных в реальном режиме времени, а также предоставить гарантированное качество услуг QoS. Механизм основан на методах приоритизации трафика и предполагает организацию контроля полосы пропускания по группам пользователей и типам сетевого трафика [2].

Вопросы безопасности Mesh-сети являются весьма актуальными. Широко применяемый в настоящее время стандарт шифрования (wired equivalent privacy (WEP)) является несовер-

шенным, поэтому принятие стандарта 802.11i (WPA2) делает доступной более безопасную схему аутентификации и кодирования трафика. Стандарт IEEE 802.11i предусматривает использование в продуктах Wi-Fi таких средств, как поддержка алгоритмов шифрования трафика, например TKIP (temporal key integrity protocol), WRAP (wireless robust authenticated protocol) и CCMP (counter with cipher block chaining message authentication code protocol). Эти стандарты позволяют достаточно надежно защищать каналы сети от несанкционированного доступа.

На данном этапе представляет интерес интеграция существующих GSM-сетей и Mesh-сетей. В этом направлении ведется работа по созданию универсального механизма Hand-over. Такие компании, как Motorola, Avaya и Pro-xim, разработали универсальные беспроводные устройства и создали форум SCCAN (seamless converged communication across networks), уже одобренный IEEE. Альянс SCCAN занимается разработкой спецификаций взаимодействия между мобильными устройствами, способными работать как в Mesh-сетях, так и в сетях GSM.

Учитывая преимущества Wi-Max и сетей LTE, следует ожидать, что при создании Mesh-сетей этот стандарт будет активно конкурировать с Wi-Fi, но не ранее появления дешевых абонентских устройств. При этом вряд ли произойдет полное замещение технологий вследствие ограничений Wi-Max на производительность (Мбит/с), заложенных в стандарт 802.16. В таких условиях неизбежны совместное существование и взаимная интеграция сетей [3, 4].

Усложнение Mesh-систем по мере увеличения их масштаба и необходимость объединения с альтернативными сетями (GSM, 3G, Wi-Max, LTE и т. д.) потребуют создания более сложных систем управления, основанных на централизованных унифицированных решениях.

Наибольшей эффективности такого рода сетей следует ожидать при реализации Mesh-сетей в масштабах города (MAN). Особенности организации и использования подобных сетей определяются социальной и коммерческой целесообразностью, при этом сети могут либо строиться только как корпоративные или абонентские, либо решать обе задачи одновременно.

Главная задача сетей абонентского доступа состоит в обеспечении доступа пользователей к ресурсам сети Интернет и организации мобильной телефонии. Особенностью таких сетей является, как правило, высокая плотность установки точек доступа (порядка 10–15 точек/км²). В значительной степени этот параметр определяется низкой выходной мощностью клиентских устройств (Wi-Fi-адаптеры, телефоны), высокой плотностью размещения абонентов (и, следовательно, необходимостью обеспечивать высокую пропускную способность абонентского трафика), а также характеристиками чувствительности точек доступа. Развертывание подобных сетей становится выгодным при достаточно большом числе пользователей и в настоящее время определяется не техническими, а экономическими аспектами.

Ниже указаны основные проблемы, возникающие при создании Mesh-сетей:

- ограниченность частотного ресурса (частотные диапазоны 802.11 в крупнейших городах);
- необходимость подтверждения результатов радиочастотного планирования практическими исследованиями состояния радиообстановки в зоне развертывания сети (наличие незарегистрированных пользователей);
- организация размещения точек доступа в максимальной близости от абонентов, обеспечение круглосуточного электропитания и т. д.

Mesh-топология позволяет реализовать уникальные по своим возможностям сети муниципального назначения, ориентированные на службы оперативного реагирования.

Основу сети составляют узловые и абонентские точки доступа, размещаемые на улице и организующие зоны информационного покрытия, в которых обеспечивается подключение абонентов со стандартным Wi-Fi-оборудованием. Дополнительно точки доступа могут использоваться для организации управления движением и сбора видеоинформации о текущей обстановке в городе. Подключение пользователей, расположенных внутри помещений, осуществляется стандартно с помощью маломощных точек доступа стандарта Wi-Fi.

Представляют интерес мобильные точки доступа, предназначенные для эксплуатации в автомобилях. Использование этих устройств не только увеличивает радиус действия между точками доступа до $800 \div 1200$ м, но и позволит организовывать Mesh-сети, реализующие различные сервисы, такие как:

- фактически самоорганизующаяся отказоустойчивая Mesh-сеть в пределах мегаполиса, обеспечивающая в часы пик пропуск больших объемов разнородного трафика;
- сеть, реализующая информационное покрытие в радиусе 300 м вокруг автомобиля для абонентов со стандартными Wi-Fi-адаптерами 802.11b/g, что позволит решить проблему абонентского доступа для водителей и абонентов, находящихся в зоне действия такой сети;
- сервис, реализующий функцию постоянного контроля положения автомобиля при использовании встроенного в точку доступа GPS-приемника;
- ряд других специализированных сервисов, например мониторинг окружающей среды, метеобстановки и т. д.

Применение мобильных точек доступа позволяет оперативно расширить зону покрытия или увеличить информационную емкость сети за счет концентрации автомобилей в разных частях города. Кроме того, самоорганизация Mesh-сети позволит в течение минимального промежутка времени, определяемого концентрацией автомобилей, оборудованных Mesh-точками доступа, создать зону Wi-Fi [4].

В настоящее время выпускается Mesh-оборудование как внешнего, так и внутреннего размещения. Внедрение новых спецификаций стандарта Wi-Fi (особенно 802.11n) обеспечивает существенное увеличение скорости передачи информации, что в полной мере может компенсировать недостатки стандарта (коллизии доступа, в наибольшей степени проявляющиеся в условиях высокой загруженности сети).

Проблемы инсталляции подобного рода систем, как правило, связаны с классическими задачами планирования частот. Для обеспечения гибкой работы такого класса сетей необходимо использовать динамическое присваивание несущих частот в зависимости от текущего состояния сети. Частоты смежных узлов должны быть разными, иначе неизбежны коллизии, ухудшение передающих характеристик сети, сбой синхронизации и маршрутизации, увеличение количества переприемов и в конечном счете выход сети из штатного рабочего режима.

Живучесть такой сети в условиях чрезвычайных ситуаций достаточно велика за счет динамической переконфигурации и перемаршрутизации трафика, а также вследствие наличия большого количества обходных и резервных путей для трафика внутри сети. Как правило, каждый узел такой сети имеет связность, равную двум и более, что позволяет повысить отказоустойчивость структуры сети в целом и оперативно решать поставленные задачи.

Важным аспектом Wireless Mesh-сетей, обуславливающим высокий потенциал этой технологии, является возможность быстро и недорого предоставлять мобильным пользователям широкополосные услуги. Стоимость развертывания Mesh-сети может быть значительно меньше стоимости традиционных проводных сетей, поскольку для этого не требуется наличия дорогостоящей инфраструктуры и прокладки кабелей. Кроме того, Mesh-сеть эффек-

тивна при эксплуатации, поскольку, как отмечено выше, обладает способностью к самовосстановлению и самоадаптации.

Список литературы

1. Портнов Э. Л. Принципы построения первичных сетей и оптические кабельные линии связи. М.: Горячая линия — телеком, 2009.
2. Соколов Н. А. Задачи планирования сетей электросвязи. СПб.: Техника связи, 2012.
3. Вишневецкий В. В. Энциклопедия Wi-Max. Путь к 4G / В. В. Вишневецкий, С. Л. Портной, И. В. Шахнович. М.: Техносфера, 2010.
4. Вишневецкий В. В. Широкополосные беспроводные сети передачи информации / В. В. Вишневецкий, А. И. Ляхов, С. Л. Портной, И. В. Шахнович. М.: Техносфера, 2005.
5. Осипов И. Е. Mesh-сети: технологии, приложения, оборудование. Журнал Технологии и средства связи. № 4, 2006

*Попков Глеб Владимирович — канд. техн. наук, науч. сотр. Института
вычислительной математики и математической геофизики СО РАН;
тел. (383) 330-96-43; e-mail: glebpopkov@rambler.ru*

Дата поступления — 8.06.12