

Построение беспроводных локальных сетей на основе ячеистой топологии

Андрей БРАЖУК
brazhuk@yandex.ru

Беспроводные сети являются одним из самых перспективных направлений развития современных телекоммуникационных технологий. Перспективы их использования связаны, во-первых, с заменой кабельной инфраструктуры на радиоэфир; во-вторых, с новыми возможностями коммуникаций между различными устройствами. При этом наряду с построением централизованных сетей, интерес представляет использование элементов децентрализации, которые присутствуют в ячеистых (mesh) сетях.

Особенности ячеистой топологии

Беспроводная ячеистая сеть (Wireless Mesh Network — WMN) образуется на основе множества соединений «точка–точка» узлов, находящихся в области радиопокрытия друг друга (mesh peer-to-peer, multi-hop). Ключевое свойство самоорганизации ячеистых сетей заключается в том, что, во-первых, соединения между узлами устанавливаются автоматически; во-вторых, любой узел может выполнять функции транзитной передачи пакетов (маршрутизации) для других участников сети. Сеть на основе ячеистой топологии характеризуется высокой надежностью, большой пропускной способностью и сниженным энергопотреблением. Высокая надежность обеспечивается избыточностью узлов (при отказе одного узла данные будут передаваться в обход, по другому пути). Использование нескольких альтернативных маршрутов повышает пропускную способность сети. Снижение энергопотребления достигается снижением мощности сигналов посредством передачи данных через большее количество узлов, разделенных меньшими расстояниями. Одноранговые mesh-сети способны стихийно возникать в тех местах, где необходимо взаимодействие между пользователями, и исчезать, когда эта потребность отпадает. Такие сети могут быть построены на основе только клиентского беспроводного оборудования. Однако большинство существующих mesh-технологий в беспроводных

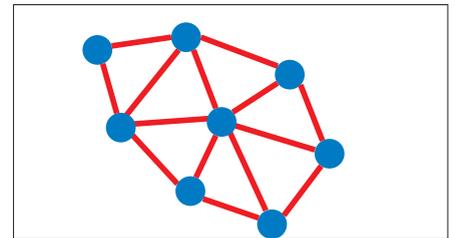


Рис. 1. Ячеистая (mesh) топология

сетях используются на уровне устройств доступа к сети (инфраструктурные сети).

Область применения ячеистой топологии

Общепринята классификация беспроводных сетей по функционально-территориальному признаку (по аналогии с проводными сетями) на персональные (Wireless Personal Area Network — WPAN), локальные (Wireless Local Area Network — WLAN), городские (Wireless Metropolitan Area Network — WMAN) и глобальные (Wireless Wide Area Network — WWAN). При этом сопоставление беспроводных технологий соответствующим классам сетей достаточно условно, так как современные разработки в сфере беспроводных коммуникаций имеют широкие возможности использования. Область применения каждой конкретной технологии определяется множеством связанных друг с другом параметров, таких как пропускная способность, энергопотребление, стоимость оборудования, дальность передачи, диапазон частот, возможные топологии, качество обслуживания, безопасность и т. д.

Ячеистая топология для экономичных низкоскоростных сетей успешно реализована в технологии ZigBee. Низкое энергопотребление позволяет использовать эту технологию в беспроводных сетях датчиков (Wireless Sensor Network) и различных бытовых устройств в рамках концепции цифрового дома (Digital Home), в компьютерных устройствах беспроводных персональных сетей WPAN, не предъявляющих высоких требований к скорости каналов связи (пульты управления, джойстики, мыши и т. д.). Низкая пропускная способность (до 250 кбит/с) ограничивает применение ZigBee для передачи больших объемов данных и мультимедиа-трафика.

С беспроводными локальными сетями WLAN традиционно связывают технологию Wi-Fi, построенную на основе семейства стандартов IEEE 802.11. В настоящее время для данной технологии стандартизирована пропускная способность 54 Мбит/с (IEEE 802.11a/g), которая приемлема для решения многих задач, не требующих сверхскоростных каналов связи. Использование 802.11 не ограничивается только локальными сетями. Технологии семейства IEEE 802.11 успешно применяются как в персональных сетях для соединения устройств в рамках личного пространства пользователя, так и для соединения разделенных многими километрами сетей. Ячеистая топология реализована в исследовательских проектах по организации сетей MANET (Mobile Ad Hoc Network), использующих режим Ad hoc IEEE 802.11b. Вопросы использования ячеистой топологии в беспроводных глобальных (WWAN) и городских (WMAN) сетях также активно изучаются. Например, в рамках рабочей группы IEEE 802.16, которая занимается стандартизацией технологии WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access), ведутся исследования mesh-технологий.

Ячеистая топология в беспроводных локальных сетях

Ячеистая топология в WLAN используется для объединения точек доступа в беспроводную систему распределения сообщений (Wireless Distribution System — WDS). WDS предназначена для замены проводных каналов взаимодействия устройств

в одном частотном диапазоне для всех коммуникаций, что требует от разработчиков протоколов физического уровня усовершенствования и оптимизации технологий модуляции, кодирования и передачи (Multiple Input Multiple Output — MIMO, многоканальные и многоантенные системы и т. д.).

Классический протокол 802.11 MAC также имеет ограничения для применения в mesh-сети. Во-первых, данный протокол ориентирован на одно соединение, а ячеистая топология подразумевает множество одновременных соединений с соседними узлами. Во-вторых, 802.11 MAC описывает только передачу данных между двумя узлами (one-hop), и транзитная доставка сторонним узлам (multi-hop) выходит за рамки его применения. Решение последней задачи (схожей с маршрутизацией в обычных сетях) возможно как на сетевом, так и на канальном уровнях. При этом протокол транзитной доставки должен эффективно использовать множество возможных маршрутов, иметь интеллектуальный механизм выбора оптимального пути, быть надежным и отказоустойчивым, в то же время быть масштабируемым и совместимым с различными технологиями радиопередачи.

Маршрутизация на сетевом уровне обладает высокой совместимостью и расширяемостью в силу независимости от нижележащих протоколов. На сетевом уровне работает протокол PWRP (Predictive Wireless Routing Protocol), разработанный компанией Tropos Networks. PWRP во многом аналогичен известному протоколу маршрутизации для про-

(Extended Service Set — ESS) для mesh-топологии в беспроводной системе распределения сообщений на базе протоколов IEEE 802.11 для физического и канального уровней.

Очевидно, что функциональность, связанная с реализацией ячеистой топологии, породит новые уязвимости и возможности для атак. Поэтому защищенность протоколов транзитной доставки пакетов является актуальной темой для исследований.

В то же время для централизованно управляемых, корпоративных mesh-сетей применимы концепции надежно защищенной сети (Robust Security Network — RSN), описываемые в стандарте IEEE 802.11i. Концепция RSN основана на существовании только надежно защищенных сетевых соединений (RSN Association — RSNA) между всеми участниками сетевых взаимодействий в беспроводной среде на уровне доступа к сети.

RSNA использует защищенную аутентификацию, принцип контроля доступа по порту и управление криптографическими ключами (протокол аутентификации IEEE 802.1X). Конфиденциальность и целостность передаваемой информации обеспечивают протоколы TKIP (Temporal Key Integrity Protocol) или CCMP (Counter Mode with CBC-MAC).

Вместо заключения

Дальнейшее развитие беспроводных ячеистых технологий независимо от типа и архитектуры сети определяется следующими факторами:

- совершенствованием технологий радиопередачи;
- адаптацией существующих и разработкой новых беспроводных протоколов MAC-уровня для многоточечных мобильных соединений;
- повышением надежности и преодолением ограничений к расширяемости и мобильности протоколов маршрутизации для mesh-сетей;
- обеспечением качества обслуживания (Quality of Service — QoS), чувствительного к задержкам трафика;
- обеспечением безопасности mesh-технологий.

Именно эти вопросы должны решить разработчики стандарта IEEE 802.11s, издание которого может стать отправной точкой повсеместного внедрения mesh-технологий в компьютерных сетях. ■

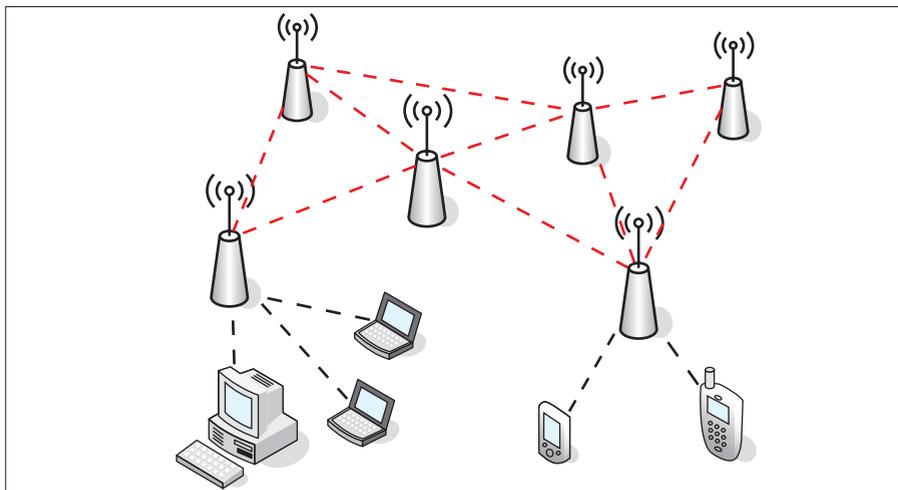


Рис. 2. Инфраструктурная mesh-сеть

доступа к сети на беспроводные.

Очевидно, что для представленной организации сети необходимы изменения в протоколах физического, канального уровней и маршрутизации. Беспроводные ячеистые сети имеют определенные особенности, связанные с применением как беспроводной среды передачи, так и ячеистой топологии.

Использование беспроводной системы распределения увеличивает трафик, передаваемый по каналам, что повышает требования к физическому уровню. Одним из путей решения данной проблемы для существующих протоколов радиопередачи является разделение взаимодействия точек доступа между собой (5 ГГц IEEE 802.11a) и точек доступа с клиентами (2,4 МГц IEEE 802.11g/b), что и сделано в большинстве реализаций. Альтернативный подход заключается в использо-

вании протоколов маршрутизации для mesh-сетей являются TBRPF (Topology Broadcast Reverse Path Forwarding) компании Firetide Networks, LQSR (Link Quality Source Routing) от Microsoft, AODV (Ad hoc On-demand Distance Vector) и др.

Однако максимальная эффективность достигается при тесном взаимодействии с используемыми технологиями радиопередачи, что возможно на канальном уровне. Примером может служить AWPP (Adaptive Wireless Path Protocol) компании Cisco Systems.

В настоящее время решения разных производителей несовместимы друг с другом. Однако работы по стандартизации ведутся в рамках рабочей группы IEEE 802.11s (ESS Mesh Networking Task Group). Областью исследования этой группы является разработка расширенного набора служб