

УДК 621.391

## САМООРГАНИЗУЮЩИЕСЯ СЕТИ И НОВЫЕ УСЛУГИ

**А.Е. Кучерявый**, советник генерального директора ЦНИИС, д.т.н.

**Введение.** До последнего времени сети связи общего пользования (ССОП) развивались на основе теории конвергенции сетей, хорошо зарекомендовавшей себя на протяжении последних 10—12 лет, и гармонизации услуг, явившейся базой для формирования концепции сетей связи следующего поколения (NGN — Next Generation Network) [2,3]. Такое развитие привело к созданию пакетных ССОП и возможности предоставления пользователю любых услуг гармонизированным образом. Появление пакетной ССОП стало основой для создания электронного общества, которое в ряде стран уже практически полностью реализовано. Последнее вкпе с опережающим развитием телекоммуникаций и информационных технологий потребовало поиска новых направлений развития и информационного общества и сетей связи. Действительно, возможности существующих принципов построения сетей связи и предоставления услуг постепенно исчерпываются.

В настоящее время уже общепризнано, что глобальным ответом на вопрос о дальнейшем общественном развитии является создание так называемого всепроникающего (ubiquitous) общества или кратко *u-общества* и *u-сети* [4,5]. Основное отличие *u-сети* от предшествующих этапов развития ССОП состоит в том, что в качестве терминалов сети рассматриваются и биомассы, и механизмы, и конструкции и т. д. Очевидно, что это требует несколько иного концептуального подхода к развитию сети. Сеть перестает обладать устойчивой структурой или архитектурой и преобразовывается в так называемую самоорганизующуюся (self-organizing) сеть [1].

Самоорганизующиеся сети в зависимости от требований к скорости самоорганизации, возможности или невозможности участия в ней человека и ряда других факторов подразделяются на *целевые сети* (Ad Hoc — по латыни, for this purpose — по-английски) и *ячеистые сети* (Mesh) [11].

**Самоорганизующиеся сети.** Представим себе, что для предоставления каких-либо новых услуг (эти услуги не эфемерны и рассмотрены в [6, 7]) необходимо организовать взаимодействие между автомобилями на автомагистрали. Естественно, что такие услуги можно подразделить на несколько классов, например, услуги безопасности и услуги комфорта. При этом в любом случае потребуются передача информации между автомобилями как терминалами и/или узлами такой сети.

При организации подобной сети нужно будет решить ряд нетривиальных задач. Действительно, рассматривая функционирование такой сети на вполне конкретном пространстве, например, на автомагистрали Москва — С.Петербург, можно установить, что число терминалов и/или узлов в ней случайно и в общем случае колеблется от 0 до  $N$ . Кроме того, взаимосвязи между терминалами и/или узлами также случайны, и каждый терминал и/или узел находится в пределах зоны действия сети случайное время. При этом очевидно, что в такой сети терминалы и/или узлы должны не только сами заявить о вхождении на ее территорию, но и организовать взаимодействие с иными терминалами и/или узлами, например, ближайшими к ним в текущий момент. Сеть должна как бы самоорганизовываться в различные промежутки времени со случайным числом терминалов и/или узлов и со случайными взаимосвязями между ними.

Такие сети называются самоорганизующимися и подразделяются в настоящее время на целевые (Ad Hoc) и ячеистые

(Mesh). Основное отличие между Ad Hoc и Mesh сетями состоит в том, что, как правило, Ad Hoc относится к терминальной сети, а Mesh — к транзитной, хотя деление это весьма условно, но принято в настоящее время.

**Ad Hoc-сеть на основе стандартов IEEE 802.11x.** Беспроводные локальные сети WLAN (Wireless Local Area Network) семейства стандартов IEEE 802.11x (коммерческое название Wi-Fi — Wireless Fidelity) могут функционировать в нескольких режимах, при этом в одном из них (неинфраструктурном) без наличия точки доступа (AP — Access Point). В этом режиме появляется возможность совместного функционирования терминалов между собой без наличия какой-либо устойчивой инфраструктуры сети, что и позволяет реализовать принципы Ad Hoc-сети. На рис. 1 и 2 изображены соответственно инфраструктурная и неинфраструктурная сети Wi-Fi, иллюстрирующие подход к построению Ad Hoc-сети [1].

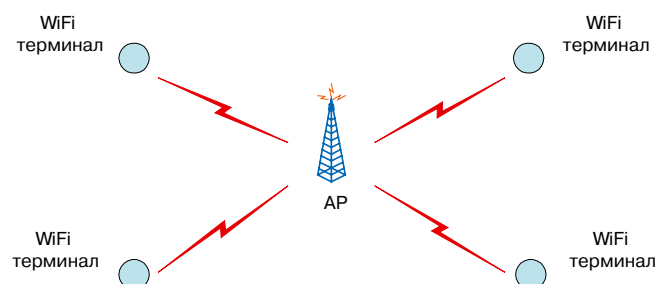


Рис. 1

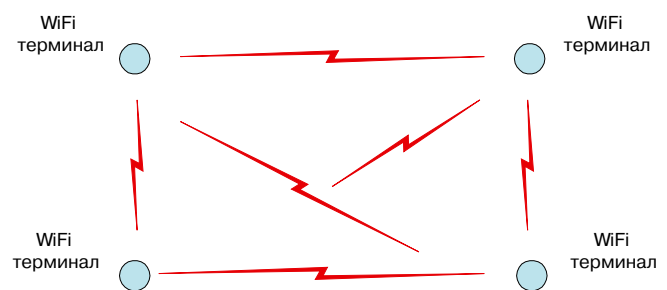
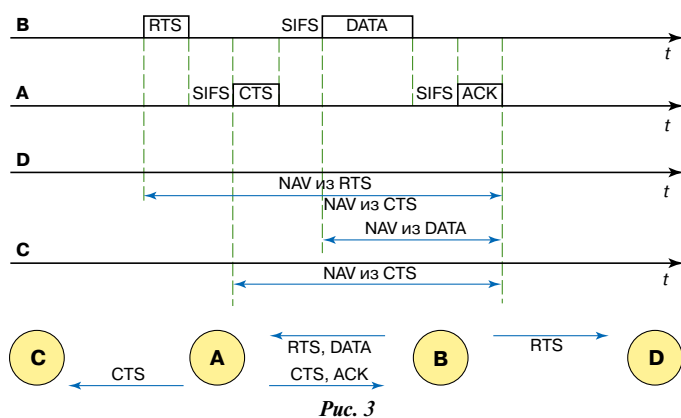


Рис. 2

Последнее становится возможным вследствие широковещательного характера реализации процедуры доступа к среде MAC (Medium Access Control) в стандартах семейства IEEE 802.11x. На рис. 3 приведен алгоритм функционирования RTS/CTS (Request to Send/Clear to Send), обеспечивающий широковещательную процедуру передачи информации и способствующий снижению вероятности коллизий. При этом информацию воспринимает только тот терминал, который имеет соответствующий адрес. Существует ли этот терминал в настоящее время в сети или нет, не так важно для функционирования Ad Hoc-сети — главное, чтобы его адрес был в списке адресов этой сети.

Функционирование механизма RTS-CTS происходит по следующему алгоритму (рис. 3). Передатчик В посылает кадр RTS, который содержит адрес приемника и полное время, необходимое для передачи информационного кадра приемнику.



В связи с широковещательной процедурой передачи информации для IEEE 802.11x кадр RTS принимается всеми терминалами (A,D) в пределах досягаемости. Необходимый приемник определяется по адресу и отвечает кадром CTS (A) после SIFS (SIFS — Short InterFrame Space — короткий межкадровый интервал), а остальные терминалы в пределах досягаемости устанавливают вектор резервирования сети NAV (Network Allocation Vector). Кадр CTS также принимается всеми терминалами в пределах досягаемости, но уже другими (B,C). Передатчик передает информационный кадр DATA после SIFS и устанавливает новый вектор резервирования сети. При этом все терминалы, находящиеся в пределах досягаемости RTS, и CTS проинформированы о резервировании канала. Если передача успешна, то приемник передает подтверждение ACK (Acknowledgement) после SIFS. Вектор резервирования сети истекает, канал снова свободен.

Для предотвращения коллизий в IEEE 802.11x используется хорошо известная процедура множественного доступа с детектированием несущей и предупреждением коллизий CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance). Таким образом, мы видим, что на технологиях стандартов IEEE 802.11x могут быть организованы Ad Hoc-сети.

**Mesh-сети на основе Zig Bee.** Рассмотрим принципы организации и функционирования Mesh-сетей на основе сетей, построенных на базе протокола Zig Bee [8]. Протокол Zig Bee является в настоящее время основным протоколом, используемым для построения беспроводных сенсорных сетей.

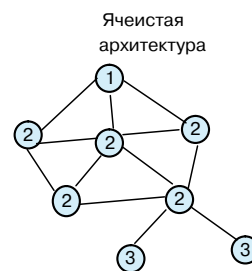
Протокол Zig Bee разработан на основе стандарта IEEE 802.15.4 организацией Zig Bee Alliance, в состав которой входят ведущие производители оборудования и программного обеспечения для беспроводных сенсорных сетей. Последняя версия спецификации Zig Bee была выпущена в 2007 г.

Сеть на базе протокола Zig Bee может включать в себя три типа логических устройств: координатор, маршрутизатор и оконечное устройство. Соединение не менее двух устройств, одно из которых обязательно является координатором Zig Bee, образует ZigBee-сеть.

В соответствии с [8] сетевой уровень протокола ZigBee поддерживает архитектуры: звезда, кластерное дерево и ячеистую. Ячеистые сети, а именно они нас интересуют, используют одно-ранговые связи. Маршрутизация в таких сетях осуществляется децентрализованным способом. Архитектура ячеистой сети на основе протокола Zig Bee изображена на рис. 4.

ZigBee-сети являются самоорганизующимися. После включения координатора сети и выбора первичных настроек все остальные устройства могут подключаться самостоятельно.

Ячеистая маршрутизация поддерживается на уровне координатора и маршрутизаторов. Оконечные устройства не обеспечивают ячеистую маршрутизацию и передают пакеты данных только своим родительским узлам, поскольку оконечные устройства не



① Координатор      ② Маршрутизатор      ③ Оконечное устройство

**Рис. 4**

имеют таблиц маршрутизации. Маршрутизаторы, получив пакет данных, не предназначенный для его узла-потомка или узла-родителя, и не имея соответствующей записи в таблице маршрутизации, инициируют процедуру обнаружения маршрута. Она начинается с рассылки соответствующих широковещательных команд всем маршрутизаторам в пределах радиовидимости. Все маршрутизаторы сети, принявшие команду, создают у себя временные записи о принятом запросе и случайным образом (это специально обеспечивается таймерами со случайно выбранной задержкой) ретранслируют команду дальше, опять же широковещательно.

Возможно существование многих маршрутов прохождения пакетов до узла назначения, но каждый маршрутизатор на пути следования отбрасывает и не ретранслирует пакеты с командами обнаружения маршрута, имеющим большую стоимость пути, чем уже зафиксированная этим маршрутизатором у предыдущих пакетов. Если пакет имеет ту же стоимость пути, что уже была зафиксирована маршрутизатором, то он обновляет данные в таблице обнаружения маршрута. Приоритет отдается последнему. Стоимость пути содержится в самом пакете и обновляется в нем всякий раз, когда пакет ретранслируется маршрутизатором.

Спецификации Zig Bee предлагают несколько вариантов расчета стоимости пути. Самый простой — это подсчет количества ретрансляций по маршруту. Более сложный — вычисление стоимости пути по сумме параметров качества обслуживания (QoS) между узлами. И, наконец, самый точный и трудно реализуемый — это вычисление функций от вероятности прохождения пакетов между узлами, которая, в свою очередь, определяется из статистических данных.

Рассмотренный выше алгоритм ячеистой маршрутизации предусматривает создание однонаправленного пути. В протоколе ZigBee предусмотрена процедура использования того же пути и для обратной передачи, иначе для обнаружения обратного пути требуется запускать алгоритм маршрутизации заново. Очевидно, что обратный путь может не совпадать с прямым даже при расчете цены по методу простого счетчика переходов, поскольку ветвления по маршруту выбираются на основе генератора случайных чисел.

Итак, Mesh-маршрутизация используется для обеспечения функций транзитных сетей, что целесообразно учитывать при разработке системных решений по внедрению сетей беспроводного доступа.

**Новые услуги при внедрении Ad Hoc- и Mesh-сетей.** В начале статьи для примера, иллюстрирующего принципы организации Ad Hoc-сетей, мы обратились к потоку автомобилей, движущихся по автотрассе Москва — С.Петербург. Такая сеть, называемая VANET (Vehicular Ad Hoc Network), может предоставлять принципиально новые услуги [7, 14].

Приложения VANET для автомобильных сетей можно разделить на две большие группы по обеспечению безопасности и повышенного комфорта.

В части приложений обеспечения безопасности, в первую очередь, можно выделить три группы:

- помощь водителю (навигация, объезд массовых столкновений, изменение дорожной разметки);
- информационная поддержка водителя (скоростной режим, информация о проведении дорожных работ);
- предупредительная сигнализация (аварийные ситуации, преграды или происшествия, неблагоприятные дорожные условия).

В качестве примера можно привести отказ подушки безопасности у движущегося автомобиля, информация о нем по сети VANET сразу же будет передана следующим за ним автомобилям. В части навигации сети VANET могут предоставить информацию не только о местоположении своего автомобиля как GPS/ГЛОНАСС/ГАЛИЛЕО, но и любого другого, а также о пробках, в том числе и их численные оценки.

Среди приложений по обеспечению повышенного комфорта можно выделить следующие. Создание группы по интересам POI (Points of Interest) в локальных пробках, информация о текущем трафике на дорогах, погода, возможности приема сообщений, игры в режиме online и т. д. Интересной представляется также возможность осуществления P2P соединений, в том числе с домом через придорожную сеть и NGN. Полезной может стать также информация от придорожной сети об отелях, станциях заправки, меню в ресторанах и т. д.

Анализируя приложения VANET для автомобильных сетей, следует отметить, что эти приложения дают качественно новые возможности с точки зрения как безопасности, так и комфорта.

**Локальное позиционирование.** Системы локального позиционирования (RTLS — Real Time Location System) [21] в последнее время приобретают достаточно большое значение. RTLS — это система определения местоположения в реальном времени, предназначенная для позиционирования текущего нахождения объекта в некотором заданном пространстве (двумерном или трехмерном). Решения по системам RTLS, предлагаемые сегодня на рынке средств связи, основаны на стандартах IEEE 802.11.

Строится RTLS как сеть клиент-сервер, в которой каждый объект, входящий в систему, отмечается специальной меткой. Как правило, в рамках RTLS создаются некоторые логические зоны. О перемещении объектов через границы этих зон поступают уведомительные сигналы, а при перемещении объектов внутри логической зоны за ними ведется постоянный контроль, историю которого можно хранить в соответствующей базе данных. Вследствие изначально малого размера соты Wi-Fi точность позиционирования объектов в системе RTLS — до 1 м.

Рассмотрим подробнее построение систем RTLS и их технические характеристики на примере системы RTLS фирмы Ekahau [21].

Архитектура системы локального позиционирования Ekahau RTLS представлена на рис. 5. Основу модульной системы управления составляет Ekahau Positioning Engine (EPE), обеспечивающая точность позиционирования до 1 м любого объекта, оснащенного персональным компьютером (ПК), карманным ПК (КПК), интегральным телефоном с возможностью работы в сети Wi-Fi или специальными метками фирмы Ekahau.

Ekahau Finder является web-приложением, которое позволяет определить местоположение человека (сотрудника) и/или имущества по названию цели, зоне нахождения или карте. Ekahau Positioning Engine — это модуль EPE, который непрерывно в реальном времени отслеживает перемещения сотрудников и/или имущества, сигнализирует об их перемещении за пределы логической зоны. Ekahau Logger обеспечивает хранение полученной информации, создает отчеты и базы данных. Контроль за пере-

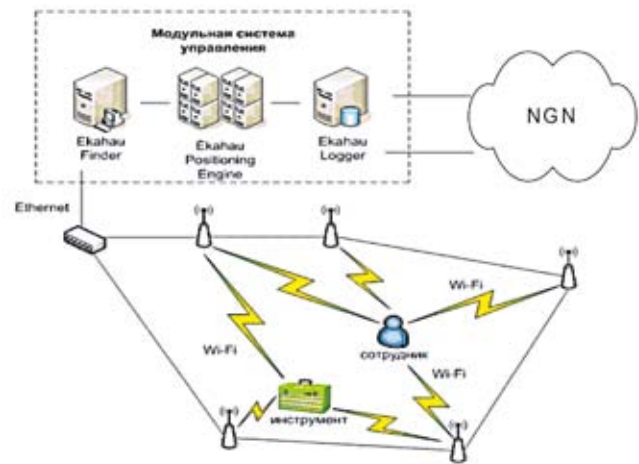


Рис. 5

мещением сотрудников и имущества может осуществляться локально или удаленно по сети NGN или Интернету.

Как видим, современная система локального позиционирования обеспечивает оперативное определение местоположения объектов и отображает их реальное перемещение во времени. Система позволяет накапливать историю перемещений (трейсов) и сигнализировать о выходе объекта из определенной для него логической зоны.

Важно отметить, что система RTLS органично сочетается с Wi-Fi-сетью по стандартам IEEE 802.11b/g/n и с любыми техническими средствами (ПК, КПК, интегральный телефон с Wi-Fi, метки), выполненными с соблюдением стандартов IEEE 802.11b/g/n. Таким образом, система RTLS не является чем-то требующим совместимости с Wi-Fi, а представляет собой дополнительные услуги, которые пользователь может получить, если он является зарегистрированным пользователем сети Wi-Fi.

Важно отметить, что RTLS позволяет обеспечить быстрый поиск объекта на карте или плане, включая его координаты, скорость перемещения и область (логическую зону) нахождения. Системы RTLS работают как на открытом пространстве, так и в помещениях, где возможности GPS/ГЛОНАСС/ГАЛИЛЕО могут быть ограничены или работа упомянутых спутниковых систем невозможна. Как правило, системы RTLS поддерживают планы и карты распространенных форматов.

**Сети HANET и Mesh-сети для микрорайонов.** С точки зрения дальнейшего развития сети наиболее важным сегодня представляются возможности по созданию домашних Ad Hoc-сетей (HANET — Home Ad Hoc Network) и Mesh-сетей для микрорайонов.

В основе построения домашней сети лежат два взаимодополняющих процесса: предстоящее широкое распространение беспроводных сенсорных сетей [10] и возможности Wi-Fi по предоставлению как традиционных для NGN услуг, так и новых, базирующихся на Ad hoc- и Mesh-технологиях. Рассмотрим последнее более подробно.

В настоящее время достаточно широко распространены системные и технические решения по предоставлению пакета услуг Triple Play (речь + данные + видео) либо на основе ADSL и его модификаций ADSL 2 и ADSL2+, либо на основе доведения оптического кабеля до жилища (FTTH — Fiber to the Home). Последнее из этих двух решений продвигается как более современное, поскольку при использовании ADSL могут возникнуть и возникают проблемы с обеспечением необходимой скорости передачи, например, при передаче телевидения высокой четкости HDTV (High Definition Television).

Однако появление технических средств Wi-Fi, реализующих проект рекомендации IEEE 802.11n, может принципиально из-

менить эти системные решения. Действительно, в проекте рекомендации IEEE 802.11n D5. 01 (июнь 2008 г.) [19] регламентирована скорость передачи свыше 100 Мбит/с на уровне приложений. В связи с этим не случайно, что Wi-Fi (по рекомендации IEEE 802.11n) рассматривается как перспективный способ реализации IPTV [12]. Кроме того, к настоящему времени решен, причем в практической плоскости, вопрос об обеспечении гарантированного QoS при предоставлении услуг по передаче речи и видео при использовании технических средств Wi-Fi.

Стандарт IEEE 802.11e [18] предоставляет категории обслуживания AC (Access Category), полностью отвечающие концепции дифференцированных услуг и имеющие соответствия с классами обслуживания рекомендаций МСЭ-Т Y.1540 и Y.1541 [16,17].

Введение в стандарте IEEE 802.11e интервала «возможность передачи» TXOP (Transmission Opportunity) позволяет обеспечить гарантированный QoS и для речи, и для видео. Период длительности TXOP определяет интервал времени, в течение которого терминал Wi-Fi имеет право инициировать передачу данных через беспроводный канал [1].

Помимо всего вышесказанного следует отметить, что стоимость точки доступа Wi-Fi в настоящее время составляет 50—150 долл. США в зависимости от реализуемых возможностей. Это позволяет предположить широкое внедрение точек доступа Wi-Fi в жилища абонентов и офисах, причем в данном случае точка доступа Wi-Fi является собственностью пользователя. Перспективы развития беспроводного доступа настолько широки, что в [15] положительно оценивается даже возможность передачи речи поверх Zig Bee-протокола.

Таким образом, наиболее вероятным представляется такой сценарий развития домашних сетей и сетей абонентского доступа, когда технология FTTH будет заменена Wi-Fi и, как увидим далее, возможно и FTTC (Fiber to the Curb), т. е. доведение волокна до распределительной коробки потребует современных Mesh-сетей, оставляя для оптических технологий, в первую очередь, ядро сети и организацию сетей доступа на уровне микрорайона.

На рис. 6 приведена архитектура домашней Ad Hoc-сети, Mesh-сети микрорайона и показано их взаимодействие с иными элементами ССОП.

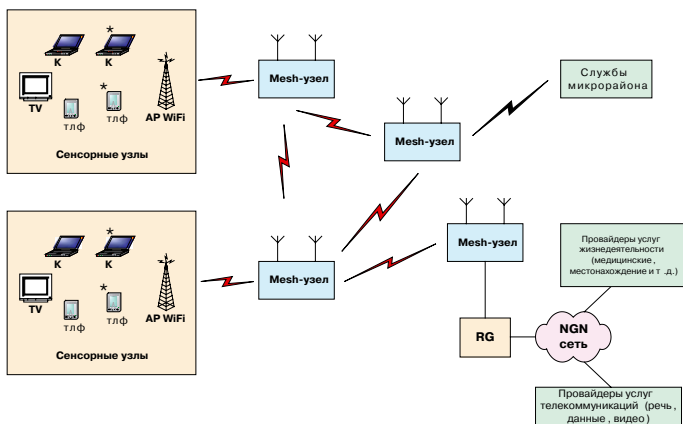


Рис. 6

В состав домашней Ad Hoc-сети входят телефон, компьютер, телевизор (естественно, все с возможностью взаимодействия с точкой доступа Wi-Fi), являющиеся некими постоянными элементами этой сети, а также разнообразные беспроводные сенсорные узлы, обеспечивающие контроль жизнедеятельности и эксплуатационных характеристик жилища. Кроме того, поскольку сеть Ad Hoc, то к ней могут быть временно подсоединены мобильные телефоны и компьютеры гостей, а также мобильные те-

лефоны и компьютеры работников различных служб микрорайона и/или города (на рис. 6 отмечены \*)

Домашние Ad Hoc-сети объединены с помощью Wi-Fi Mesh-маршрутизаторов (или Mesh-маршрутизаторов, выполненных на иной беспроводной технологии) в сеть микрорайона, которая имеет выход на жилищные и эксплуатационные службы микрорайона, а также через абонентские шлюзы (RG — Residential Gateway) к ССОП и далее к провайдерам услуг телекоммуникаций и услуг жизнедеятельности.

В такой сети помимо традиционных услуг NGN могут быть предоставлены новые услуги, точнее, даже группы новых услуг, среди которых можно выделить услуги:

- по взаимодействию современной бытовой техники и человека;
- по обеспечению безопасности жилища, офисов и т. д.;
- по мониторингу состояния жилых и рабочих помещений, включая мониторинг освещения, климатических условий, водоснабжения, загазованности и т. д.;
- по мониторингу здоровья;
- по мониторингу здоровья, местонахождения и адекватности поведения пожилых людей;
- по контролю местонахождения детей;
- по другим задачам локального позиционирования в реальном времени RTLS, включая мониторинг дорогостоящих предметов в жилище и оборудования в офисах;
- по взаимодействию сотрудников служб микрорайона, района, города при выполнении ими ремонтных и профилактических работ;
- по взаимодействию медицинского персонала, находящегося по вызову на дому, в офисе и т. д., с районной поликлиникой, больницей, медицинскими базами данных;
- вида “Push to Buy” (понуждение к покупке) в крупных торговых центрах при создании сетей SHANET (Shopping Ad Hoc Network);
- роуминга для пользователей сетей 3G при нахождении этих пользователей в качестве гостей сети HANET [13];
- роуминга и доступа в Интернет для пользователей персональных компьютеров и многофункциональных терминалов при нахождении этих пользователей в качестве гостей в сети HANET.

Список новых услуг можно продолжить, но приведенный выше достаточно многообразен для того, чтобы уяснить широту охвата жизнедеятельности человека при внедрении Ad Hoc- и Mesh-сетей. Эти системные решения приводят к необходимости развития существующих представлений об эволюции ССОП, что будет отражено ниже.

**Новая классификация ССОП.** В соответствии с законом «О связи» от 07.07.2003 ССОП предназначена для возмездного оказания услуг электросвязи на территории Российской Федерации и включает сети электросвязи, определяемые и не определяемые географически в пределах обслуживаемой территории и ресурса нумерации, а также сети связи, определяемые по технологии предоставления услуг связи.

В законе определены также выделенные сети связи, которые являются сетями электросвязи, предназначенными для возмездного оказания услуг электросвязи ограниченному кругу пользователей или группам пользователей. Выделенная сеть может быть присоединена к ССОП с переводом в категорию ССОП. Таким образом, понятие ССОП достаточно широко и в соответствии с предыдущим анализом технологий к ССОП могут быть отнесены и сенсорные сети (имеют шлюзы с ССОП), и сети VANET (также могут иметь шлюзы с ССОП), а также сети Wi-Fi, сети WiMAX и IPTV.

Все вышесказанное требует по-новому подойти к классификации ССОП. На рис. 7 представлена новая классификация

ССОП, основанная на технологических достижениях, в первую очередь, в области беспроводного широкополосного доступа.

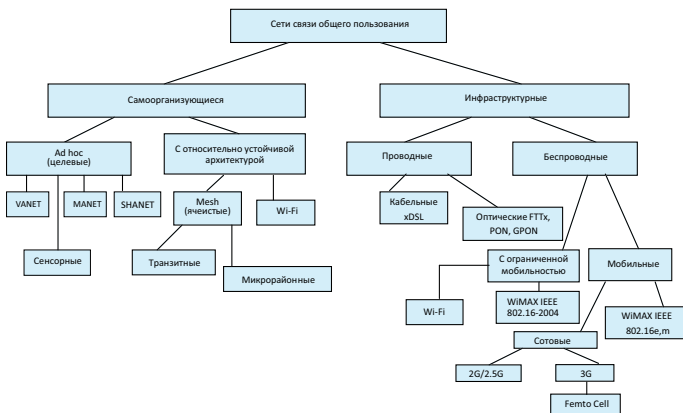


Рис. 7

Основное отличие современной классификации ССОП от существующей — это появление самоорганизующихся сетей, в состав которых входят Ad hoc-сети и Mesh-сети. Ad hoc-сети изначально являются выделенными сетями, но присоединение к ССОП и, кроме того, возмездный способ оказания услуг и использование общих с ССОП ресурсов нумерации, обращает их в категорию ССОП. И это, в общем-то, справедливо, поскольку услугами этих сетей, например VANET, будет пользоваться значительное число членов общества (сегодня в Российской Федерации 38 млн. зарегистрированных автотранспортных средств).

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, HANET, SHANET 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 в неинфраструктурном режиме по IEEE a, b, g, n, например, в условиях офиса, а также Bluetooth и UWB (Ultra WideBand) (последние на рисунке не показаны), т. е. сети, в которых изменение архитектуры происходит достаточно редко или при участии человека.

Классификация инфраструктурных сетей проведена подразделением их на проводные и беспроводные, при этом в беспроводном фрагменте выделяются сети с ограниченной мобильностью и мобильные. Сети с ограниченной мобильностью включают Wi-Fi в инфраструктурном режиме стандартов IEEE a, b, g, n и WiMAX по стандарту IEEE 802.16—2004.

Мобильные сети включают в свой состав WiMAX на базе стандарта IEEE 802.16e и находящегося в завершающей стадии разработки стандарта IEEE 802.16m. Сотовые сети представлены традиционными 2G/2,5G и 3G, а также технологией Femto Cell, позволяющей строить сети с малым размером сот.

Проводные инфраструктурные сети традиционно подразделяются на оптические (FTTx, PON, GPON и т. д.) и кабельные, представленные технологиями xDSL.

Новая классификация ССОП показывает дополнительные источники трафика, который может быть получен ССОП, и возможность по приумножению клиентской базы операторами связи. Еще раз подчеркнем, что электронное общество в развитом состоянии исчерпывает возможности человека по общению с базами данных сети. Поэтому дальнейшее приумножение клиентской базы операторов связи на этапе построения и-общества возможно только за счет включения в состав терминалов биомасс, механизмов, конструкций и т. д.

Этот процесс уже начался, и за автомобильными сетями VANET последуют другие, например, для пассажирских самолетов, а развитие сетей HANET может принципиально изменить жилищно-коммунальную сферу.

**Выводы.** 1. Современный уровень развития беспроводных технологий телекоммуникаций создает предпосылки для внедрения и широкого распространения самоорганизующихся сетей: Ad Hoc (целевых) и Mesh (ячеистых).

2. Внедрение Ad Hoc- и Mesh-технологий существенно расширяет клиентскую базу ССОП и набор услуг, предоставляемых пользователям сети.

3. Технологии Wi-Fi уровня IEEE 802.11n в совокупности с IEEE 802.11e и IEEE 802.11s, на базе которых строится HANET, обеспечивают гарантированный уровень QoS для традиционных услуг NGN (речь, данные, видео).

4. Приведенная новая классификация ССОП позволяет спрогнозировать их дальнейшее структурное развитие.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кучерявый А.Е., Парамонов А.И., Кучерявый Е.А. Сети связи общего пользования. Тенденции развития и методы расчета. — М.: ФГУП ЦНИИС, 2008.
2. Васильев А.Б., Тарасов Д.В., Андреев Д.В., Кучерявый А.Е. Тестирование технических средств NGN. — М.: ФГУП ЦНИИС, 2008.
3. Кучерявый А.Е., Цуприков А.Л. Сети связи следующего поколения. — М.: ФГУП ЦНИИС, 2006.
4. Кучерявый А.Е., Кучерявый Е.А. От e-России к u-России: тенденции развития электросвязи // Электросвязь. — 2005. — №5.
5. Кучерявый А.Е., Парамонов А.И. Модели трафика для сенсорных сетей в u-России // Электросвязь. — 2006. — №6.
6. Koucheryavy Y., Jakubiak J. Research Challenges in Vehicular Ad Hoc Networks // IEEE CCNC 2008, Proceedings. Las Vegas, USA. — January 10—12, 2008.
7. Кучерявый Е.А., Винель А.В., Ярцев С.А. Особенности развития и текущие проблемы автомобильных беспроводных сетей VANET // Электросвязь. — 2009. — №1.
8. Прокопьев А.В. Перспективы использования протокола 6 LoWPAN в сетях IEEE 802.15.4 // Электросвязь. — 2009. — № 1.
9. Федеральный закон «О связи». Утвержден Государственной Думой 07 июля 2003 года.
10. Akyildiz I.F. Key Wireless Networking Technologies in the Next Decade / NEW2AN 2006. — St. Petersburg, Russia, June 2006.
11. Akyildiz I.F., Wang X., Wang W. Wireless Mesh Networks: a Survey. Computer and ISDN Systems. — March 2005. — Vol.47, №4.
12. Xiao Y. and all. Internet Protocol Television (IPTV): The Killer Application for the Next-Generation Network // IEEE Communication Magazine. — November, 2007.
13. Panken F. and all. Extending 3G/WiMax Networks and Services through Residential Access Capacity // IEEE Communication Magazine. — December, 2007.
14. Dikaiakos M.D. and all. Location-Aware Services over Vehicular Ad Hoc Networks using Car-to-Car Communication // IEEE Journal on Selected Areas in Communications. — October, 2007. — Vol.25, №8.
15. Wang C. and all. Voice Communications over Zig Bee Networks // IEEE Communication Magazine. — January, 2008.
16. Recommendation Y.1540. IP packet transfer and availability performance parameters. ITU, 2007.
17. Recommendation Y.1541. Network performance objectives for IP-based services. ITU, 2006.
18. IEEE 802.11e: Medium Access Control (MAC) Quality of Service Enhancements, 2005.
19. Draft IEEE 802.11n: Enhancements for Higher Throughput. D5. 01, June, 2008.
20. Draft IEEE 802.11s: Mesh Networking. D2.0. March, 2008.
21. www.ubitel.ru