

Текст к лекции 1 “История и перспективы развития телекоммуникаций. Триллионные и самоорганизующиеся сети.

Цель лекции – ознакомиться с развитием телекоммуникаций в 20-м веке - первом десятилетии 21-ого века и с новыми концепциями и технологиями телекоммуникаций на горизонте планирования их развития до 2020 и 2030 годов.

На слайде 2 приведены характеристики всемирной сети связи на начало второго десятилетия 21 века. Как видим, сеть связи является гетерогенной, т.е включающей в себя множество разнообразных сетей. Доход сетей связи общего пользования составляет около 1 трлн евро, что подчеркивает роль телекоммуникаций в жизни общества. На 3 слайде рассматривается история развития сетей связи во взаимосвязи со стадиями развития общества. Не всегда сеть связи была гетерогенной. Изначально сеть была предназначена для передачи только одного вида информации – речи и, естественно, была гомогенной. Использование сети связи только для передачи речи подчеркивало ее незначительную роль в развитии общества. И для аналоговых сетей, и для цифровых доля информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) в Валовом Внутреннем Продукте (ВВП) составляла единицы процентов. Однако с появлением сетей связи следующего поколения NGN (Next Generation Networks) появилась возможность предоставления услуг не только по передаче речи, но и по передаче данных и видео. Сеть стала гетерогенной и позволила приступить к созданию электронных обществ, в том числе и электронной России. Электронное общество подразумевает в своем широком представлении возможность доступа пользователей к любым легальным базам данных, в первую очередь обеспечивающих предоставление государственных услуг населению. Как видим при полной реализации электронного общества доля ИКТ в ВВП превышает 10 %, т.е. телекоммуникации становятся одной из основных структурообразующих государственных отраслей. Сети NGN как концепция были сформированы в начале 21-века, первые рекомендации Сектора Стандартизации Телекоммуникаций Международного Союза Электросвязи (МСЭ-Т) по NGN появились в 2001 году. Прошло уже более десяти лет, и сети NGN или их фрагменты реализованы у многих операторов сетей связи общего пользования, концепция NGN уже полностью оправдала себя. Стремительное развитие телекоммуникаций привело к тому, что в настоящее время уже разработана новая концепция Интернета Вещей, в которой основную роль в создании клиентской базы играют физические вещи и вещи информационного мира (об этом – в отдельной лекции). Для реализации этой

концепции потребовалась разработка иного вида сетей, так называемых самоорганизующихся, и доля ИКТ в ВВП при таком развитии сетей связи может превысить 20 %, что сделает отрасль телекоммуникаций доминирующей по сравнению с другими отраслями. Общество станет при этом всепроникающим (от английского слова ubiquitous) или как его еще называют – обществом знаний.

Прежде чем перейти к детальной характеристике самоорганизующихся сетей, обратимся к структурным характеристикам ведущих операторских компаний и к архитектурным вопросам построения сетей связи в эпоху инфраструктурных, т.е. не самоорганизующихся сетей. На слайдах 4 и 5 изображены структурные характеристики компаний France Telecom и British Telecom в конце первого десятилетия 21-ого века. Сами по себе представляющие несомненный интерес, эти характеристики дают нам возможность понять некоторые стратегические подходы этих операторов, из которых выделим следующие. Первое, что можно отметить – преобладающее развитие широкополосного доступа (у France Telecom технологическая реализация – Livebox). Кроме того, стратегически важно намерение оператора стать провайдером услуг №1, крупнейшим провайдером электронного государства, занять ведущие позиции в реализации сети для программы электронного здоровья, использовать облачные технологии для привлечения клиентской базы из малого бизнеса.

Слайды 6, 7, 8 иллюстрируют развитие архитектурных принципов для инфраструктурных сетей – от простейших нерайонированных сетей до структуры телефонной сети связи общего пользования (ТфОП) Российской Федерации. Эти слайды нужны нам для последующего понимания принципиального отличия самоорганизующихся сетей от инфраструктурных.

Слайды 9, 10, 11 посвящены конвергенции как философско-теоретическому обоснованию тенденций развития телекоммуникаций. Конвергенция позволяет более осмысленно подходить к прогнозированию развития телекоммуникаций, концентрируя внимание на возможном совместном использовании ресурсов: сначала ТфОП, сотовых сетей подвижной связи и Интернет в форме NGN, а затем Вещей и сетей в форме самоорганизующихся сетей.

Слайды 12, 13, 14 посвящены ключевым прогнозам развития клиентской базы сетей связи, концепции Интернета Вещей и предстоящему переходу от миллиардных сетей к триллионным и от инфраструктурных – к самоорганизующимся. Прогнозы развития от ведущих специалистов в мире

показывают, что клиентская база уже в обозримом будущем будет формироваться в количественной части, в основном, за счет Вещей и ее численные значения составят триллионы пользователей. Инфраструктурные сети до настоящего времени создавались исходя из предельных значений числа пользователей в единицы и несколько десятков миллиардов. Очевидно, что такие сети по своей сути не могут служить для создания триллионных сетей. Поэтому, создание триллионных сетей требует архитектурного преобразования сетей связи, чему отвечает идея построения самоорганизующихся сетей. Стратегически данное направление поддерживается концепцией Интернета Вещей, разработанной МСЭ-Т. По Интернету Вещей будет отдельная лекция в предлагаемом курсе. Тем не менее, уже здесь рекомендуется познакомиться с книгами А.Е.Кучерявый, А.В.Прокопьев, Е.А.Кучерявый “Самоорганизующиеся сети”, издательство “Любавич”, 2011г. и Б.С.Гольдштейн, А.Е. Кучерявый “Сети связи пост-NGN”, издательство БХВ, 2013 г. Обе книги изданы в Санкт-Петербурге.

На слайде 15 дается определение самоорганизующейся сети, на слайде 16 – ее архитектура, а на слайде 17 – наиболее известные приложения самоорганизующихся сетей. Самоорганизующаяся сеть, как и все сети связи, состоит из сетей доступа и транзитной сети. Сеть доступа называется Ad Hoc (целевая сеть), а транзитная сеть – mesh (ячеистая). Узлы сети Ad Hoc не имеют функций маршрутизации и могут осуществлять взаимосвязь лишь с ближайшими узлами. В связи с этим достаточно часто узлы сети Ad Hoc называют дочерними. Последнее в силу самоорганизации сети вовсе не означает, что дочерний узел строго привязан к какому-либо родительскому узлу. В процессе жизненного цикла сети дочерний узел может быть привязан к любому наиболее близко расположенному родительскому узлу, а при определенных условиях может и сам превратиться на время или навсегда в родительский узел, например, в однородных сенсорных сетях.

Узлы mesh имеют встроенные функции маршрутизации и могут поддерживать установление соединения не только к ближайшему узлу, но и ко многим другим. Такой сетевой режим называется multi-hop (многошаговое соединение) в отличие от соединений для дочерних узлов Ad Hoc сети, ограниченных одним шагом в установлении соединения (one-hop). Mesh узлы достаточно часто называют родительскими узлами, что подчеркивает транзитную функцию mesh узлов. Очевидно, что узлы самоорганизующейся сети могут совмещать родительские и дочерние функции.

На сегодняшний день наиболее известными являются следующие приложения ИВ (самоорганизующихся сетей):

- всепроникающие сенсорные сети (USN – Ubiquitous Sensor Networks),
- сети для транспортных средств (VANET – Vehicular Ad Hoc Networks),
- муниципальные сети (HANET – Home Ad Hoc Networks),
- медицинские сети (MBAN – Medical Body Area Network).

Далее остановимся более подробно на всепроникающих сенсорных сетях как технологической основе ИВ. На слайде 18 приведены возможные приложения сенсорных сетей, что и позволяет называть их всепроникающими, а на слайде 19 – архитектура сенсорной сети. Беспроводные всепроникающие сенсорные сети USN представляют собой самоорганизующиеся сети, состоящие из множества беспроводных сенсорных узлов, распределённых в пространстве и предназначенных для мониторинга и/или управления характеристиками окружающей среды или объектами, расположенных в ней. Пространство, которое покрывается сенсорной сетью, называют достаточно часто сенсорным полем. Собственно беспроводные сенсорные узлы представляют собой миниатюрные устройства с ограниченными ресурсами: зарядом батареи, объемом памяти, вычислительными возможностями и т.д. Однако, объединение большого числа этих элементов в сеть обеспечивает возможность получения реальной картины происходящих событий и процессов в рамках этого сенсорного поля.

Беспроводные сенсорные узлы могут собирать информацию о наблюдаемых явлениях и передавать её далее для обработки и анализа. Примерами собираемой информации могут быть данные о температуре, влажности, условиях освещения, сейсмической активности и т.д. Такие данные могут быть использованы как для выявления каких-либо событий, так и для управления ими.

Выбор конкретных решений для сенсорных узлов при распределении беспроводной сенсорной сети в первую очередь зависит от функциональных возможностей, размера, затрат, энергетических характеристик и в настоящее время при начале достаточно широкого внедрения сенсорных сетей – от обеспечения требуемого качества обслуживания.

На слайде 20 приведена информация о протоколах для сенсорных сетей. Самоорганизация сетей ИВ, их кластеризация, необходимость минимизации энергопотребления потребовали и разработки новых протоколов сигнализации для таких сетей. Требования по низкому энергопотреблению, а также численные оценки потребного числа IP адресов не позволили в начале внедрения USN в условиях существования сетей IPv4 использовать стек протоколов TCP/IP для сенсорных сетей. Потребовалась разработка новых

протоколов, что успешно было выполнено для физического и канального уровня - протокол IEEE 802.15.4, а для сетевого и выше – протокол ZigBee.

Протокол ZigBee имеет достаточную для ИВ пространственную масштабируемость – число узлов сети может составлять до 64 тысяч. Пространственная масштабируемость сопровождается также и гибкой функциональной масштабируемостью. Одна и та же сеть может использоваться одновременно во многих системах мониторинга и/или управления. Протокол ZigBee обеспечивает реализацию принципов самоорганизации: узлы сети сами объявляют о предоставляемых ими услугах и возможностях и посредством координатора (головного узла) находят другие узлы, с которыми они должны взаимодействовать для выполнения целевых задач, поставленных перед сетью. Однако, отсутствие IP адреса не позволяет использовать все преимущества IP сетей и, кроме того, требует установки шлюза для взаимодействия с иными сетями.

С началом внедрения IPv6 были сняты проблемы с необходимостью большого адресного пространства для элементов сетей ИВ и стала возможной разработка IP протокола с малым энергопотреблением. Такой протокол имеет название 6LoWPAN (IPv6 Low energy protocol for Wireless Personal Area Networks) и позволяет передавать IP пакеты поверх каналов IEEE 802.15.4. Каждый узел сетей ИВ становится доступен из внешних сетей по IP адресу. При этом нет более необходимости иметь шлюзы с иными IP сетями. Множество устоявшихся программных ресурсов, таких как ping, traceroute, SNMP и т.п. могут быть непосредственно использованы для сетей 6LoWPAN. Существующие сервисы на базе HTTP/XML/SOAP, естественно, позволяют упростить процесс разработки приложений для сетей 6LoWPAN и унифицировать их интеграцию в IP сети.

В последнее время в качестве дополнения к протоколу 6LoWPAN был разработан протокол RPL (Routing Protocol for Low power and Lossy networks). При разработке RPL протокола в качестве основных приложений рассматривались городские сети, включая умные дома, промышленную автоматизацию и т.п. Таким образом, протокол RPL предназначен в первую очередь для сетей ИВ с большой плотностью узлов. Кроме того, в качестве физического и канального уровней рассматриваются не только стандарт IEEE 802.15.4, но и, например, стандарт IEEE 1901.2, предусматривающий организацию передачи информации по цепям электросетей.

Объединение большого числа элементов в сеть, требования по минимизации энергопотребления помимо собственно самоорганизации приводят к необходимости дополнительных структурных решений при создании сенсорных сетей. Важнейшим из них является кластеризация сети,

предполагающая к тому же постоянную ротацию головного узла кластера в течение жизненного цикла сети. На слайдах 21-25 приведена информация как о моделях для анализа сенсорных сетей, так и о наиболее распространенных алгоритмах кластеризации. Существует множество разнообразных алгоритмов выбора головного узла кластера, но, поскольку, этот выбор существенным образом может зависеть и от приложения USN, задачи создания новых алгоритмов являются одними из самых актуальных в настоящее время.

Предстоящее широкомасштабное внедрение USN как одной из основных реализаций концепции ИВ ставит и новые задачи, которые в то же время являются традиционными для любых сетей связи. Например, в части требований по качеству обслуживания наряду с традиционными параметрами, такими как потери и задержки, в USN вводятся требования по длительности жизненного цикла, доле покрытия пространства и остаточной энергии. Действительно, сенсорные сети, в основном, предназначены для решения задач мониторинга процессов, явлений, пространства и зачастую могут функционировать в условиях, не предполагающих возможности замены источников питания. Исходя из сказанного, отнесение к параметрам качества обслуживания для сенсорных сетей длительности жизненного цикла, доли покрытия пространства и остаточной энергии представляется необходимым.

Слайды 26-29 посвящены новому направлению исследований по сетевой безопасности сенсорных сетей, которое необходимо было открыть в связи с наличием существенных особенностей в задачах сетевой безопасности в сенсорных сетях. Анализ характеристик сенсорной сети подсказывает нам, что для атаки в сенсорных сетях можно использовать ее энергетическую систему. Действительно, различные воздействия на энергетическую систему сенсорных сетей рассматриваются в рекомендации МСЭ-Т X.1311 как перспективные виды атак на сенсорные сети наряду с клонированием сенсорных сетей. К настоящему времени известны предложения по атакам, направленным на лишение сна сенсорных узлов, находящихся в спящем состоянии (слайд 28). Недавно предложен еще один новый вид атаки – создание потоков ложных событий, воздействующих на любые сенсорные узлы сети независимо от их состояния в конкретный момент времени, и призванные уменьшить жизненный цикл сенсорной сети. Действительно, создавая потоки ложных событий, на которые сенсорные узлы должны реагировать, можно постепенно или достаточно быстро лишить энергии сенсорные узлы и сеть в целом. На слайде 29 приведены результаты моделирования подобных атак для различных интенсивностей потоков

ложных событий и различных характера потока, доказывающие уменьшение жизненного цикла сенсорной сети при воздействии потоков ложных событий.

Слайды с 30 по 36 посвящены перспективам развития сетей связи на горизонте планирования до 2030 года. Развитие нанотехнологий приводит в перспективе и к появлению наносетей, чему и посвящен представленный на слайдах материал. Наносеть является самоорганизующейся сетью, в которой в качестве узлов сети используются наномашинны, а информация и сигнализация могут быть переданы, в том числе и путем перемещения вещества.

Наномашина – устройство, состоящее из компонентов наноуровня, способное выполнять специфические задачи на наноуровне, такие как телекоммуникации, вычисление, хранение данных, измерения (сенсоры) и/или воздействия (актуаторы).

В классификации наносетей в настоящее время выделяются наносети, в которых информация передается с помощью электромагнитных волн, и наносети, в которых информация передается путем перемещения вещества (молекулярные наносети) Молекулярные наносети в свою очередь в настоящее время классифицируются следующим образом:

- наносети, в которых информация передается на расстояния в нано- и микрометры,
- наносети, в которых информация передается на расстояния в микро- и миллиметры,
- наносети, в которых информация передается на метры и более.

Для реализации последних в исследовательских работах рассматривается возможность использования феромонов, определение которых дано на слайде 34. Для передачи информации на короткие расстояния исследуются возможности по использованию положительных ионов кальция.

Несмотря на то, что наносети должны использоваться на наноуровне, им присущи многие атрибуты сетей связи как таковых. Кроме того, использование информации, полученной на наноуровне, в подавляющем большинстве случаев будет происходить в макромире. Поэтому, актуальной является задача обеспечения совместимости между сетями нано-, микро- и макро- миров, представленная архитектурно на слайде 36.

На слайдах 37-40 даны некоторые выводы по рассмотренному материалу.