

Б. С. Гольдштейн, А. Е. Кучерявый

Сети связи пост-NGN

Санкт-Петербург

«БХВ-Петербург»

2014

УДК 621.372.88 (075)
ББК 32.883
Г63

Гольдштейн, Б. С.

Г63 Сети связи пост-NGN / Б. С. Гольдштейн, А. Е. Кучерявый. — СПб.: БХВ-Петербург, 2014. — 160 с.: ил.

ISBN 978-5-9775-3251-8

Книга описывает инфокоммуникационные сети пост-NGN второго десятилетия текущего века. Предназначается студентам, бакалаврам и магистрам, а также аспирантам, исследования которых прямо или косвенно затрагивают разные аспекты построения, технической эксплуатации и развития перспективных телекоммуникационных сетей. Инженеры и менеджеры, работающие в области инфокоммуникаций, тоже найдут для себя новое. Авторы излагают самые последние идеи и подходы к инфокоммуникациям, основные ре(э)волюционные технологии и архитектуры, включая такие разные векторы развития инфокоммуникаций, как Интернет вещей (IoT – Internet of Things) и сети мобильной связи 4G поколения SAE/LTE-Advance, всепроникающие сенсорные сети (USN – Ubiquitous Sensor Networks) и мультимедийная IP-подсистема (IMS – IP Multimedia Subsystem), сети для транспортных средств (VANET – Vehicular Ad-Hoc Networks) и молекулярные наносети.

Книга будет полезна топ-менеджерам, инженерам, студентам, аспирантам и всем специалистам, работающим в инфокоммуникационной отрасли.

Рецензенты:

Доктор технических наук Н.С. Мардер
Кандидат технических наук А.Е. Крупнов

© Гольдштейн Б. С., Кучерявый А. Е., 2013, 2014

Издательство «БХВ-Петербург», 190005, Санкт-Петербург, Измайловский пр., 29

Книга выходит при поддержке
Научно-технических центров Аргус и Протей (Санкт-Петербург).



Содержание

Предисловие	6
--------------------------	----------

Глава 1. Ре(Э)волюция NGN	8
--	----------

1.1. Времена не выбирают.....	8
1.2. Эволюция фиксированных сетей связи общего пользования....	10
1.2.1. Три тройки ТфОП.....	10
1.2.2. Модемы xDSL и технологии FTTx в сетях доступа.....	11
1.2.3. Интеллектуальная сеть	12
1.2.4. ISDN	13
1.3. Эволюция сетей мобильной связи.....	14
1.3.1. Поколения сетей мобильной связи	14
1.3.2. Релиз 99. Основы UMTS.....	15
1.3.3. Релиз 4. Усовершенствование домена коммутации каналов CS	16
1.3.4. Релиз 5. IMS и высокоскоростной нисходящий пакетный доступ	17
1.3.5. Релиз 6. Высокоскоростной восходящий пакетный доступ HSPA	19
1.3.6. Релиз 7. Быстродействующая HSPA и непрерывная пакетная связь	20
1.3.7. Релиз 8. LTE и Femtocells	22
1.3.8. Релиз 9. Цифровой дивиденд	24
1.3.9. Релиз 10. LTE-Advanced	24
1.4. Конвергенция FMC	25
1.5. Эволюция IP-сетей	25
1.6. Далее в книге	26

Глава 2. Интернет вещей.....	28
-------------------------------------	-----------

2.1. Прогнозы и новые концепции развития сетей связи	28
2.2. Самоорганизация сетей в концепции IoT	33
2.3. Муниципальные сети	35
2.4. Медицинские сети.....	38

Глава 3. IP Multimedia Subsystem 42

3.1. Идея IMS	42
3.2. Функциональные преимущества.....	43
3.2.1. Мультимедийные IP-сеансы	45
3.2.2. Качество обслуживания.....	45
3.2.3. Взаимодействие с другими сетями	46
3.2.4. Инвариантность доступа.....	47
3.2.5. Создание услуг и управление услугами	47
3.2.6. Роуминг	48
3.2.7. Защита информации	48
3.2.8. Начисление платы	48
3.3. Архитектура IMS	49
3.4. Пользовательские базы HSS и SLF	52
3.5. Функция SIP-сервера	54
3.6. Серверы приложений	57
3.7. Медиасерверы MRF	59
3.8. Шлюз PSTN/CS.....	59
3.9. Шлюз защиты SEG.....	61
3.10. Опции оплаты и биллинга в IMS	61
3.11. Идентификация в IMS.....	63
3.12. IMS в стационарных сетях.....	66
3.13. Нововведения и перспективы IMS	72

Глава 4. Долговременная эволюция LTE-A/SAE 75

4.1. Продолжение ре(э)волюции мобильной связи.....	75
4.2. Цели LTE/SAE	77
4.3. E/UTRAN.....	79
4.3.1. Архитектура E/UTRAN	79
4.3.2. Особенности радиointерфейса	81
4.3.3. Структура каналов на радиоучастке	82
4.4. Эволюция сетевой архитектуры SAE.....	84
4.5. Узел управления мобильностью MME.....	85
4.6. Обслуживающий шлюз S-GW.....	86
4.7. Шлюз пакетной сети передачи P-GW	86
4.8. Другие сетевые элементы LTE/A.....	87
4.9. Самоорганизующиеся сети SON	88

Глава 5. Всепроникающие сенсорные сети ... 93

- 5.1. Основы появления сенсорных сетей как составляющей ССОП 93
- 5.2. История создания сенсорных сетей 95
- 5.3. Архитектура сенсорных сетей..... 98
- 5.4. Архитектура сенсоров 102
- 5.5. Алгоритмы маршрутизации USN..... 106
 - 5.5.1. Классификация алгоритмов маршрутизации в USN 108
- 5.6. Алгоритмы выбора головного узла в кластере 111
 - 5.6.1. Алгоритм случайного выбора головного узла LEACH 111
 - 5.6.2. Алгоритм HEED с предопределенным выбором
головного узла 113
 - 5.6.3. Алгоритм ERA случайного выбора головного узла 113
 - 5.6.4. Алгоритмы PEGASIS и иерархический PEGASIS 114
 - 5.6.5. Алгоритм RRCH 115
- 5.7. Алгоритм распределенной кластеризации 116
 - 5.7.1. Мобильные сенсорные сети 116
 - 5.7.2. Комбинированный критерий прогнозирования 117
 - 5.7.3. Предикторы 121
 - 5.7.4. Распределенный алгоритм кластеризации 122
 - 5.7.5. Результаты моделирования 125
 - 5.7.6. Новые алгоритмы для мобильных сенсорных сетей 129

Глава 6. Сети автомобильного транспорта . 131

- 6.1. Общие сведения о VANET 131
- 6.2. Функциональная архитектура, станции и подсистемы ИТС 133
- 6.3. Виды взаимодействия в сетях VANET 137
- 6.4. Приложения сетей VANET 138

Глава 7. Молекулярные наносети 142

- 7.1. Наносети как направление развития сетей связи 142
- 7.2. Классификация молекулярных наносетей 144
- 7.3. Приложения наносетей 147

Литература..... 148

Глоссарий 153

**Светлой памяти своего
директора, учителя и друга
Анатолия Николаевича Голубева
посвящают авторы эту книгу**

Предисловие

Став ректором Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, я получил в свои сотрудники многих замечательных и заслуженных профессоров университета и авторов этой книги, общение с которыми с первых дней оказалось и приятным, и полезным.

В наших вечерних дискуссиях о перспективах ИТ-образования, о том, чему и зачем надо учить сегодняшних студентов в направлении инфокоммуникационных сетей и систем, отчасти и родилась идея этой книги.

Заведующие двумя ведущими кафедрами университета Борис Гольдштейн и Андрей Кучерявый – не только признанные в отрасли специалисты, авторы многочисленных статей и монографий, профессора, доктора наук, но и весьма харизматические личности в современных инфокоммуникациях. Именно поэтому, скорее всего, они и пошли на такой смелый и рискованный шаг, взявшись за описание инфокоммуникационных сетей 2020 года.

При всей неблагодарности такого занятия шаг этот мне представляется вынужденным. Ведь в нашем общем с авторами университетском труде мы, принимая абитуриентов на 1 курс в 2012 – 2014 годах, выпустим их в жизнь бакалаврами

и магистрами только в 2018 – 2020. И выпустить должны не с набором устаревших знаний о телекоммуникациях эпохи их поступления в ВУЗ, а подготовленными к работе именно в тех сетях пост-NGN конца второго десятилетия XXI века, о которых повествует эта книга.

Помимо общих проблем преподавания современных инфокоммуникаций нас с авторами объединяет и многолетний опыт работы в НИИ отрасли связи. В этом смысле замечательно то, что книга посвящена памяти легендарного генерального директора Ленинградского отраслевого НИИ связи (ЛОНИИС) А.Н. Голубева, более 17 лет руководившего этим головным институтом отрасли.

По общему признанию это были годы наивысшего расцвета института, много давшего российским телекоммуникациям того времени. Все эти годы авторы были ближайшими помощниками и заместителями генерального директора ЛОНИИС, там приобрели опыт, имена, ученые степени и звания, причем в те годы, когда все это доставалось несколько труднее, чем сегодня.

И хотя книга эта – о телекоммуникациях второго десятилетия XXI века, а работа авторов с А.Н. Голубевым относилась к телекоммуникациям второй половины восьмидесятых и девяностых годов XX века и начала нулевых века текущего, общий подход, смелость научного прогноза, сам дух и творческая атмосфера ЛОНИИС эпохи его расцвета сохранились в этой книге, которую я смело могу рекомендовать нашим студентам и аспирантам, да и далеко не только им.

С.В. Бачевский,

ректор СПбГУТ им. проф. М.А. Бонч-Бруевича,
доктор технических наук, профессор

Глава 1

Ре(Э)волюция

NGN

Не говори: «отчего это прежние времена были лучше нынешних?», потому что не от мудрости ты спрашиваешь об этом.

Ветхий завет 7:1-10

1.1. Времена не выбирают...

Приведенная в эпиграфе мысль многократно цитируется на протяжении последних тысячелетий и, тем не менее, полностью сохраняет актуальность.

Одной из причин такого феномена является некоторая неопределенность понятий *прежних* и *нынешних* времен, которые в разных контекстах легко относятся к совершенно разным историческим периодам в Древнем Вавилоне или Древней Греции, в Древнем Риме или в Европе эпохи Возрождения, к разным этапам промышленной и научно-технической революций, равно как и к каждому десятилетию нашего бурно меняющегося прямо на глазах мира. По тем же причинам весьма удачным следует признать введенное уже довольно давно понятие *сетей связи следующего поколения NGN (Next Generation Networks)*, широкое и длительное использование которого обусловлено отчасти тем, что оно однозначно не указывает на те или иные сетевые технологии. Поэтому к NGN в разные годы относили и сети IP-телефонии H.323, и сменившие их сети, построенные на про-

токоле SIP [5, 8], и поколение 3G мобильной связи с технологией *UMTS (Universal Mobile Telecommunications System)* [6], и сетевые архитектуры с Softswitch [1] и медиашлюзами, и *WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access)*, а в самые последние годы – мультимедийную IP-подсистему *IMS (IP Multimedia Subsystem)* и новую сетевую архитектуру *LTE/SAE (Long Term Evolution/Service Architecture Evolution)*.

В этой книге авторы решили сосредоточиться на сетях *пост-NGN* или *FGN (Future Generation Networks)*, но не углубляться в детализацию этих несколько расплывчатых понятий, а просто ограничить рассматриваемую область инфокоммуникационными сетями текущего десятилетия. Т.е. в книге речь идет о сетях связи 2010-х годов и только о них.

Некоторые причины такого решения наш уважаемый ректор уже отметил в своем предисловии. Действительно, значительную часть своего сегодняшнего рабочего времени авторы посвящают обучению студентов, магистрантов, аспирантов на своих кафедрах и, следовательно, не могут не задумываться о том, какими именно инфокоммуникациями придется заниматься их ученикам после окончания обучения. Притом, по нашему мнению, недавно принятые федеральные образовательные программы третьего поколения (ФГОС III) устарели не совсем безнадежно. Много возможностей они оставляют университетам, и при желании можно преподавать то, что действительно нужно в современных условиях. Поэтому основную часть изложенного в книге материала авторы уже «обкатали» в учебных курсах.

Другая, также упомянутая в предисловии причина – более личная. Действительно, основную часть жизни авторы работали в Ленинградском отраслевом научно-исследовательском институте связи (ЛОНИИС), попав туда по распределению после окончания ЛЭИС им. проф. М.А. Бонч-Бруевича и пройдя бок о бок параллельные пути от инженеров, младших и старших научных сотрудников до руководителей крупных подразделений и заместителей генерального директора по науке. Все это время под руководством Анатолия Николаевича Голубева они дружно и самоотверженно (к сожалению, не все годы одинаково дружно, но, к счастью, всегда самоотверженно и с полной отдачей) трудились над проблемами телекоммуникаций сначала восьмидесятых, девяностых, а затем и нулевых годов.

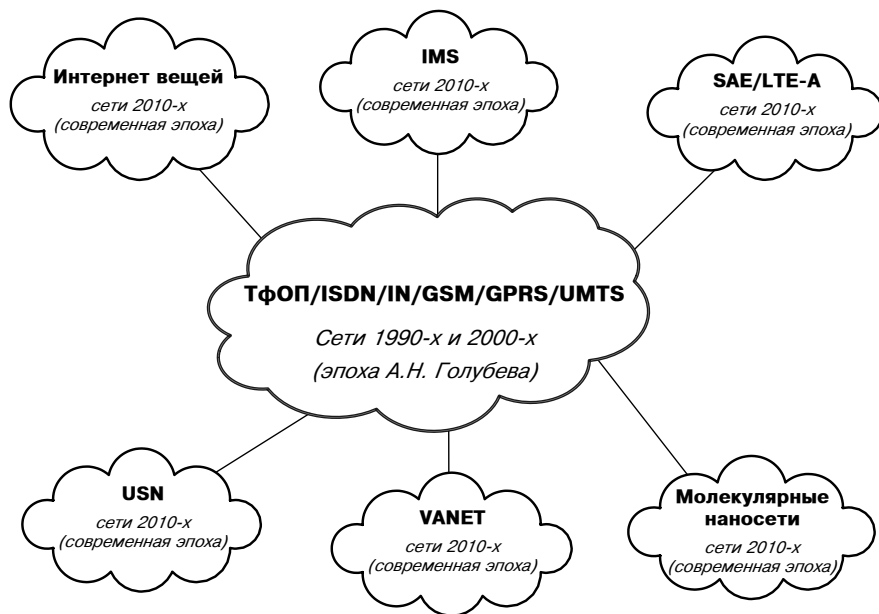


Рис. 1.1. Инфокоммуникационные сети второго десятилетия XXI века

Об этих телекоммуникациях авторами уже написано несколько десятков книг, начиная с [2] в период высшего расцвета TDM-сетей с коммутацией каналов и включая [1] и [11], посвященные сетям NGN нулевых годов текущего столетия. Поэтому, чтобы не терять время читателей и свое собственное, и не переписывать свои тексты из одной книги в другую, авторы решили выстроить эту книгу в соответствии с рис. 1.1. Как показано на этом рисунке, содержимое всех следующих глав соответствует перспективным сетям 2010-х годов, и лишь в этой первой главе мы кратко остановимся на текущем состоянии мобильных и фиксированных телекоммуникационных сетей.

1.2. Эволюция фиксированных сетей связи общего пользования

1.2.1. Три тройки ТФОП

Действительно, обойти полным молчанием ядро сетей на рис. 1.1 не представляется возможным. Начнем его краткое описание с сетей фиксированной телефонной связи ТФОП.

Такая последовательность вполне обоснована, т.к. новые тенденции и разработки, отмеченные в фиксированных сетях предыдущих десятилетий, в сетях мобильной связи также появлялись со средней задержкой приблизительно в 3 – 6 лет.

В сетях фиксированной связи число абонентов, использующих ТфОП не только и не столько для традиционной речевой телефонии, а для широкополосного доступа в Интернет, увеличивается так же быстро и неуклонно, как скорости передачи. А ведь первоначально вся ТфОП была спроектирована просто и исключительно по принципу трех троек: 3 телефонных вызова в час наибольшей нагрузки (ЧНН) плюс 3 минуты разговора (его средняя длительность) плюс полоса 3 кГц (0.3 – 3.4 кГц, вполне достаточная для хорошего качества телефонного разговора). И именно в таком виде ТфОП существовала, мало изменяясь, от самого начала почти до самого конца XX века, когда в начале 1990-х годов Интернет «взорвала» эти три тройки установлением коммутируемых соединений *dial up* с помощью Интернет-модемов. В середине 90-х первые модемы характеризовались скоростями приблизительно 14.4 кбит/с, но весьма быстро более поздние модели достигли скорости 56 кбит/с.

1.2.2. Модемы xDSL и технологии FTTx в сетях доступа

Важной вехой стало появление на массовом рынке в 2003 году модемов по технологии *асимметричной цифровой абонентской линии ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line)*, с помощью которых легко достигались скорости передачи в несколько мегабитов в секунду.

Дальнейшая эволюция привела к высокоскоростным фиксированным абонентским линиям, основанным на оптоволокне, которое по технологии *FTTx (Fiber To The x)* подводится непосредственно в жилые дома (волокно к зданию), к наружным шкафам с распределительным оборудованием (волокно к шкафу) и т.п.

Технология волокна к шкафу предусматривала, что последний участок линии в зданиях или квартирах реализуется на медных проводах с Ethernet. Даже этот способ, когда для последнего участка соединения используется короткий медный кабель, уже позволял достичь скоростей 50 и 100 Мбит/с на линию. Разумеется, технологиями xDSL и FTTx не ограничиваются сегодняшние достижения сетей абонентского дос-

тупа, которые также пережили революционные изменения на рубеже XX и XXI веков.

В исторической аналогии можно даже назвать три источника и три составные части этого революционного движения. Тремя источниками стали речевой трафик, трафик данных и видеотрафик, а тремя составными частями – металлический кабель, оптоволокно и радиоканал. Эти аспекты революции сети доступа подробно рассмотрены в [3]. Здесь же подчеркнем, что сегодня понятие доступа получает совершенно новое значение. В главе 3 будет показано, что в мире IMS разделение между проводной линией и беспроводным каналом как составными частями сети доступа фактически исчезает. И если в мире традиционной телефонии доступ означает доступ к сети, в мире IMS это означает доступ к заказанной услуге.

1.2.3. Интеллектуальная сеть

Не менее радикальные изменения происходили и в Core Network. Это – широкое распространение и развитие сети общеканальной сигнализации ОКС7 и возникшая на основе ОКС7 концепция Интеллектуальной сети *IN (Intelligent Network)*.

В новых инфокоммуникационных сетях 2010-х, когда все услуги могут быть представлены клиенту в виде облачных сервисов средствами программного обеспечения *SaaS (Software as a Service)*, инфраструктуры *IaaS (Infrastructure as a Service)*, платформы *PaaS (Platform as a Service)*, бизнес-процессов *BPaaS (Business Processes as a Service)* или *WaaS (Web as a Service)*, Интеллектуальные сети 90-х годов могут показаться анахронизмом. И все же той концепции, как и архитектуре компьютера фон Неймана, например, были свойственны черты великого творения. И как сегодняшние компьютеры слабо напоминают прежнюю архитектуру компьютера с арифметико-логическим устройством, памятью команд и данных, но базируются на тех давних идеях, так и концепция Интеллектуальной сети с INAP совсем не похожа на сегодняшние серверы приложений с развитыми на идеях IN интерфейсами *API (Application Program Interfaces)*, *OSA (Open Service Access)* и др. В посвященной IMS главе 3 мы вернемся к этой преемственности.

1.2.4. ISDN

Определение *ISDN (Integrated Services Digital Network)* впервые появилось в списке терминов Оранжевой книги сектора стандартизации телекоммуникаций Международного союза электросвязи *ITU-T (International Telecommunication Union – Telecommunication Standardization Sector)*, именовавшегося тогда Международным консультативным комитетом по телеграфии и телефонии (МККТТ). В следующих цветных книгах ИТУ-Т были опубликованы рекомендации серии I, описывавшие концепцию, сетевые и пользовательские аспекты, эталонные точки и услуги ISDN.

На русском языке эквивалентами термина ISDN являлись аббревиатуры ЦСИО (цифровая сеть интегрального обслуживания) и ЦСИС (цифровая сеть с интеграцией служб). Но наиболее точной оказалась шутливая англоязычная расшифровка *I Still Don't Need it* (мне все еще это не нужно).

Идея ISDN-сети базируется на двух специфических типах интерфейсов: интерфейс базового доступа *BRI (Basic Rate Interface)*, регламентирующий соединение узла коммутации с абонентом, и интерфейс первичного доступа *PRI (Primary Rate Interface)*, обеспечивающий включение учрежденческих АТС и корпоративных сетей в ТфОП.

Логически BRI представляет собой особым образом структурированный цифровой поток, разделенный на три логических канала: два информационных канала типа В со скоростью передачи 64 кбит/с каждый и один служебный канал типа D со скоростью передачи 16 кбит/с. При этом через один BRI можно передавать два независимых потока сообщений – по числу В-каналов. Разумеется, сегодня сама идея базового доступа 2В+D, предполагавшая один В-канал использовать для речи, а второй В-канал (или оба В-канала) – для передачи данных, выглядит анахронизмом.

Такой принцип разделения каналов можно охарактеризовать высказыванием из «Трех мушкетеров» Александра Дюма: «Для Атоса это слишком много, а для графа де Ла Фер это слишком мало». Действительно, 2В+D для передачи речи чрезмерно много, а для передачи данных безобразно мало. И все же не стоит рассматривать ISDN как ошибочную стратегию развития цифровых телефонных сетей.

ISDN оказала существенное влияние на развитие инфокоммуникаций, позволила Операторам связи накопить полезный опыт, способствовала созданию важнейшего протокола стека OKC7 – протокола *ISUP (ISDN User Part)*. Ряд инновационных разработок, выполненных для ISDN, оказался востребован другими телекоммуникационными технологиями.

Функциональная модель цифровой абонентской линии ISDN содержала 4 эталонные опорные точки, обозначаемые латинскими буквами R, S, T, U. Успех подхода с эталонными точками к описанию сетевой архитектуры в ISDN способствовал его использованию в самых разных новейших технологиях, что будет показано в следующих главах этой книги.

1.3. Эволюция сетей мобильной связи

1.3.1. Поколения сетей мобильной связи

Изображенные в ядре на рис. 1.1 первые три поколения сетей мобильной связи параллельно существовали и постепенно сменяли друг друга в 1990-х и 2000-х годах. Всего насчитывается четыре поколения сетей мобильной связи.

Первое поколение 1G почему-то часто называют аналоговым, хотя это уже были цифровые сети связи по аналогии с фиксированными сетями: аналоговый радиодоступ и цифровые узлы коммутации.

Это и система северной мобильной телефонии NMT (Nordic Mobile Telephony) на частоте 450 МГц, и усовершенствованная подвижная телефонная служба AMPS (Advanced Mobile Phone Service), с которой начинал один из Операторов нынешней Большой тройки.

Система NMT-450 была признана первым российским федеральным стандартом мобильной связи, на котором в начале 1990-х начал работать петербургский Оператор связи «Дельта Телеком».

Первые мобильные телефоны сети «Дельта» стоили порядка \$2000 – \$3000 и весили несколько килограммов. Но для них же в середине 1990-х был организован первый автоматический роуминг региональных Операторов NMT-450 в рамках национальной сети.

Вспомним, что технология NMT-450 была наиболее экономичной для организации связи на больших территориях с малой плотностью населения, хотя и обладала существенными недостатками, обусловленными селективными замираниями из-за многолучевого распространения радиоволн в условиях городской застройки, возможностью прослушивания переговоров с помощью обычных УКВ приемников, легкостью организации клонов телефонов и т.п. Первый звонок через наиболее успешную систему второго поколения – Глобальную систему мобильной связи *GSM (Global System for Mobile Communications)* – состоялся 1 июля 1991 года в одном из парков города Хельсинки, а уже в 1994 году сеть GSM заработала в Москве.

1.3.2. Релиз 99. Основы UMTS

Разумеется, в полном соответствии с законом Мура, число транзисторов в интегральных схемах не прекратило свой экспоненциальный рост и после появления технологий 2G, что в свою очередь привело к появлению намного более интенсивных в вычислительном отношении методов мобильной связи, чем сравнительно простой радиоинтерфейс GSM. Это в полной мере проявилось в технологии третьего поколения UMTS, которая может быть в равной степени отнесена как к эволюции, так и к революции в сетях подвижной связи (СПС).

Для поколения 3G ставилась задача: в зависимости от степени мобильности абонента (скорости его передвижения в зоне обслуживания) обеспечить доступ 2.048 Мбит/с для обслуживания стационарных и передвигающихся внутри зданий абонентов (скорость менее 3 км/ч), 384 кбит/с при низкой мобильности (скорость от 3 до 12 км/ч) и локальной зоне покрытия, 144 кбит/с при высокой мобильности (скорость от 12 до 120 км/час). Для достижения этих и больших скоростей при ограниченном частотном ресурсе, для организации постоянно расширяющегося набора услуг разработаны релизы 3GPP, которые и отражают эволюцию мобильной связи в мире.

Первоначально эти релизы (выпуски спецификаций) 3GPP [128] именовались по году ратификации, а позже использовался номер версии. Напомним, что партнерство 3GPP было создано 4 декабря 1998 г. с целью проведения практических работ по стандартизации систем подвижной связи 3G.

Первый комплект выпуска 3GPP для GSM/UMTS был завершен в конце 1999 г., поэтому его называли релизом 99, но все последующие версии стали называть релизами 4, 5, 6 и т.д. Сегодня, когда пишется эта книга, 3GPP завершает работы над релизом 11. Согласно релизу 99, в технологию UMTS (сеть радиодоступа UTRAN) из GSM были перенесены понятия базовых станций и контроллеров с соответствующим переименованием – эти элементы в сети GSM назывались BTS и BSC, а в UTRAN их называют узлом-B (Node B) и контроллером радиосети RNC. Мобильный терминал MS также получил новое имя и теперь называется пользовательским оборудованием UE.

Кроме того, в релиз 99 для UMTS вошли улучшения программного обеспечения, чтобы поддерживать новый интерфейс Iu (CS) между MSC и UTRAN, причем на верхних уровнях интерфейс Iu (CS) пока остался подобен A-интерфейсу GSM, а вот нижние уровни были полностью переработаны на технологию ATM.

Новые функции UMTS, кроме того, потребовали развития программного обеспечения HLR и центра аутентификации и контроля доступа абонентов AuC (*Authentication Center*). Не подвергалась изменениям базовая сеть передачи пакетов GPRS, которая была относительно новой технологией во время спецификации релиза 99 и вполне подходила для высокоскоростного доступа, кроме интерфейса Iu(PS) между SGSN и сетью радиодоступа. Основным отличием от GSM/GPRS является использование ATM вместо Frame relay на нижних уровнях стека протоколов интерфейса Gb. Кроме того, программное обеспечение SGSN было изменено, чтобы прозрачно туннелировать пользовательские пакеты данных GTP (GPRS Tunneling Protocol) к и от RNC, вместо того, чтобы анализировать содержание пакетов и перестраивать их на новый стек протоколов, как было ранее сделано в GSM/GPRS.

1.3.3. Релиз 4. Усовершенствование домена коммутации каналов CS

В релизе 99, как и до него, все речевые вызовы с коммутацией каналов направлялись через базовую сеть GSM или UMTS посредством каналов с временным разделением со скоростью 64 кбит/с внутри трактов E1.

Важным усовершенствованием в релизе 4 явилось новое понятие независимой от носителя базовой сети BICN. Вместо того, чтобы использовать временные интервалы 64 кбит/с с коммутацией каналов, трафик можно было передавать в пакетах IP. С этой целью MSC разделялся на MSC-сервер (MSC-S), который отвечал за управление вызовами (CC) и управление мобильностью (MM), и медиашлюз (MG), который отвечал за медиатрафик, а также за перекодировку пользовательских данных для различных методов передачи.

Таким способом можно, например, получить речевые вызовы через A-интерфейс GSM во временном интервале E1, и преобразовать в медиашлюзе этот поток цифровой речевой информации в пакеты IP.

1.3.4. Релиз 5. IMS и высокоскоростной нисходящий пакетный доступ

Следующим шагом к беспроводной сети полностью на IP является *мультимедийная IP-подсистема (IMS)* [18]. Основа для IMS была заложена 3GPP в релизе 5. Последующие релизы расширили ее новыми функциональными возможностями. Вместо того, чтобы использовать домен CS, подсистема IMS обеспечивает установление мультимедийной сессии, в том числе и телефонного соединения, используя в качестве доступа RNS и оборудование домена PS (GPRS).

Ядро IMS состоит из ряда узлов, которые формируют *функцию управления сеансами связи CSCF (Call Session Control Function)*, базирующуюся на протоколе инициирования сеансов SIP, который был первоначально разработан для фиксированных сетей NGN. CSCF продвигает эту концепцию на шаг дальше и расширяет стандарт SIP рядом функциональных возможностей, необходимых для мобильных сетей. IMS может транспортировать речевые вызовы по IP не только в базовой сети, но также и из конца в конец, то есть, от мобильного устройства до мобильного устройства.

CSCF отвечает за установление соединений и управление сеансами связи, а обмен пользовательскими пакетами данных, которые, например, переносят речь или видео, происходит непосредственно между устройствами конечных пользователей.

Важным нововведением стало объединение функций HLR и AuC в единый *сервер абонентов домашней сети HSS (Home Subscriber Server)*, содержащий информацию о каждом абоненте домашней сети. Более подробно об этом в главе 3.

С помощью сети радиодоступа UMTS стало возможным реализовать основанную на IP архитектуру мобильной передачи речи и видео. Это произошло не только потому, что UMTS предложила достаточную пропускную способность радиоинтерфейса для таких приложений, но также в силу способность обеспечения мобильности для активных пакетных сессий.

В случае с GPRS мобильностью для соединений с коммутацией пакетов управляет само устройство пользователя, что приводит к прерыванию пакетного трафика на 1-3 секунды. Для речевых вызовов или видеовызовов такое прерывание является неприемлемым. В случае с UMTS управлением мобильностью для активных соединений с коммутацией пакетов осуществляется средствами сети, что гарантирует непрерывный пакетный трафик даже в процессе перемещений пользователя. Поскольку IMS – система, основанная на IP, она не может непосредственно обмениваться информацией с системами телефонии с коммутацией каналов, которые пока еще доминируют в существующих сетях связи. Однако, каждый пользователь должен иметь возможность говорить с любым другим пользователем независимо от вида коммутации (каналов или пакетов), который используется на каждом участке сети между ними.

Это достигается за счет применения медиашлюзов MG, которые осуществляют преобразование между IP и классической передачей во временных каналах тракта E1 сетей с коммутацией каналов, а также MGC, которые осуществляют преобразование SIP (SIP-T) в ISUP.

К сожалению, IMS страдала от ряда ограничений, которые тормозили полную замену ею релиза 99 или релиза 4 с архитектурой MSC. Вот некоторые из них:

- IMS разработана не только и не столько для речевых вызовов, а как платформа интегрального обслуживания всеми видами новых мультимедийных услуг, включая видеоконференции, обмен изображениями, мгновенный обмен сообщениями и другие сервисы. Как следствие, система оказалась относительно сложна;

- чтобы быть принятой пользователями, система IMS должна обеспечивать непрерывность установленного сеанса связи в медиасреде с коммутацией каналов, когда пользователь покидает зону охвата UMTS;
- IMS была разработана для того, чтобы быть платформой, которую сторонние разработчики услуг могли бы использовать для интегрирования своих сервис-платформ на базе IP в среду мобильной сети. Однако Интернет-компаниями традиционно предоставляются услуги на пользовательских терминалах, соединенных с Интернет не важно каким способом, и, следовательно, не всегда интересуются использованием специальных платформ типа IMS, которые либо есть, либо отсутствуют в сетях разных телекоммуникационных Операторов.

Проблематике IMS целиком посвящена глава 3 этой книги. Более подробную информацию об IMS, ее архитектуре и возможном применении можно также найти в [77, 127]. Относительно подробное описание есть в [96]. Рекомендации ITU-T по IMS изложены в [98, 99].

Еще одной важной функцией, введенной 3GPP в релизе 5, была новая схема передачи данных с названием *высокоскоростной нисходящий пакетный доступ HSDPA (High-Speed Downlink Packet Access)*.

Схема предназначена для увеличения скорости передачи данных от сети к пользователю. В то время как максимальная скорость в релизе 99 была 384 кбит/с, HSDPA увеличила скорость доступа при обычных условиях до нескольких мегабитов в секунду. Многие специалисты телекоммуникационной отрасли видят HSDPA в сочетании со смартфонами и аппаратными модемами 3G для ноутбуков как комбинацию, которая помогла UMTS получить признание массового рынка и широкое использование.

1.3.5. Релиз 6. Высокоскоростной восходящий пакетный доступ HSUPA

Увеличение скорости передачи данных при пакетном доступе продолжалось и в релизе 6. Эта версия спецификации принесла внедрение методов увеличения восходящих скоростей, которые оставались теми же самыми, начиная с релиза 99.

Этот набор функций, называемый *высокоскоростной восходящий пакетный доступ HSUPA (High Speed Uplink Packet Access)*, допускает восходящие скорости передачи данных в несколько мегабитов в секунду для единственного пользователя при идеальных условиях. Даже принимая во внимание реалистические условия распространения сигнала, количество пользователей в соте и возможности мобильного устройства, HSUPA все равно позволяет устройствам достичь значительно более высоких восходящих скоростей, чем это было возможно с релизом 99. Кроме того, HSUPA также увеличивает максимальное количество пользователей, которые могут одновременно передавать данные в одной и той же соте. Комбинацию HSDPA и HSUPA часто называют также *высокоскоростным пакетным доступом HSPA*.

В релизе 6 также были введены адаптивные многоскоростные широкополосные кодеки AMR-WB+ (Adaptive Multi-Rate-Wideband-i-codec), позволяющие передавать и принимать речь и музыку с высоким качеством, введена поддержка мультимедийного вещания MBMS (Multimedia Broadcast/Multicast Service) и расширены диапазоны частот 2100/1900/1800/900/800 МГц для мобильных терминалов и сети радиодоступа UTRAN. С точки зрения IMS релиз 6 был призван ликвидировать некоторые недоработки релиза 5 и добавить несколько новых функций.

Было обеспечено взаимодействие с сетью коммутации каналов, с другими IP-сетями и с разными технологиями доступа (в частности, WLAN), добавлены некоторые объекты и эталонные точки, функции групповой маршрутизации, установления сеансов связи с экстренными службами и множественная регистрация. К возможностям защиты данных были добавлены конфиденциальность сообщений SIP и использование ключей. Были определены сервисные возможности для мультимедийных услуг многоадресной рассылки информации.

1.3.6. Релиз 7. Быстродействующая HSPA и непрерывная пакетная связь

Одним из недостатков систем радиодоступа UMTS и HSPA по сравнению с GSM является высокое потребление мощности во время перерывов передачи, например, между загрузками двух веб-страниц. Даже при том, что никакие пользо-

вательские данные не передаются и не принимаются в это время, требуется существенное количество энергии, чтобы отправлять управляющую информацию, сохранить установленное соединение и произвести сканирование для новых входящих данных.

Только спустя некоторое время, обычно порядка 15-30 с, система переводит состояние соединения в более эффективный по потреблению питания режим. Но даже это состояние все еще требует существенного количества энергии, и батарея продолжает расходоваться до момента, когда сеть, наконец, переводит соединение радиоинтерфейса в состояние сна.

В типичном случае это происходит еще через 30-60 с. Требуется приблизительно 2-3 с, чтобы «проснуться» в этом состоянии, когда пользователь, например, щелкает по ссылке на веб-странице после того, как соединение радиоинтерфейса уже вошло в режим сна.

Сокращение расхода энергии и быстрый возврат к полностью активному состоянию были задачами, решаемыми в релизе 7 и названными *непрерывной пакетной связью СРС*.

Кроме того, релиз 7 3GPP еще раз увеличил максимально возможные скорости передачи данных в нисходящем направлении благодаря использованию нескольких антенн и схем *передачи с многократным вводом/многократным выводом MIMO и квадратурной амплитудной модуляции 64 (64-QAM)*.

Максимальные скорости, достигнутые благодаря этим улучшениям при идеальных условиях для сигнала, составляют 21 Мбит/с с модуляцией 64 QAM и 28 Мбит/с с MIMO.

В восходящем направлении функции HSUPA в этом релизе тоже были расширены. В дополнение к схеме модуляции с *квадратурной фазовой манипуляцией QPSK* для восходящего направления в этом релизе специфицирована также 16-QAM, что дополнительно увеличивает пиковые скорости передачи данных до 11.5 Мбит/с при очень хороших условиях для сигнала.

В части IMS релиз 7 был направлен на гармонизацию стандартов 3GPP со стандартами ETSI TISPAN (см. главу 3) и работу IMS в фиксированных сетях связи. В частности, был описан доступ к услугам IMS из проводной сети, эмуляция услуг

ТФОП и взаимодействие с сетями не-IMS, что в совокупности составило содержание усовершенствованной подсистемы *E-IMS (Enhanced IMS)*. Подробнее об этом в главе 3.

1.3.7. Релиз 8. LTE и Femtocells

В релизе 8 был введен ряд функциональных возможностей, которые окажут значительное влияние на дальнейшее развитие беспроводных сетей.

Во-первых, релиз 8 вводит преемника радиосети UMTS – так называемую *eUTRAN*, а также новую архитектуру базовой сети – *EPC (Evolved Packet Core)*.

Вместе они известны под названием долговременная эволюция мобильной связи *LTE/SAE* [19]. Поскольку *LTE/SAE* является во многих отношениях революционным преобразованием сетей 2010-х, она обсуждается отдельно в главе 4.

Для радиодоступа UMTS этот выпуск стандарта тоже содержит некоторые заметные улучшения, чтобы идти в ногу с возрастающими потребностями в скоростях передачи данных. Чтобы достигнуть еще более высоких скоростей, теперь можно агрегировать два смежных носителя UMTS и получить общую полосу пропускания 10 МГц. Тому же способствовало одновременное использование 64-QAM и MIMO. При идеальных условиях радиосвязи может быть достигнута пиковая скорость 42 Мбит/с в нисходящем направлении.

Для приложений VoIP было определено улучшение, которое позволяет сети готовить канал с коммутацией каналов в GSM, для обеспечения хэндовера сеансов связи с коммутацией пакетов из зоны обслуживания UMTS или LTE в зону обслуживания GSM.

В предыдущих выпусках требовалось, чтобы мобильное устройство связывалось одновременно с сетью UMTS и сетью GSM. Поскольку такие абонентские терминалы фактически отсутствуют, была введена функция *непрерывности речевого радиовызова VCC SR*. Этот аспект более подробно обсуждается в главе 4 при рассмотрении опций VoIP в LTE.

Одной маленькой, но важной возможностью, определенной в релизе 8, является функция «В случае крайней необходимости» – *ICE (In Case of Emergency)*.

Устройства, которые реализуют эту функцию, позволяют пользователю хранить информацию на SIM-карте, к которой можно получить доступ стандартизованным способом в чрезвычайных ситуациях, когда пользователь телефона не способен идентифицировать себя или связаться со своими родственниками. И наконец, релиз 8 заложил основу для управления *Femtocells* (фемтосотами), называемыми в стандарте *домашними Node-B*, и группу функций *самоорганизующейся сети SON (Self-Organizing Network)*, чтобы облегчить развертывание и обслуживание сетей.

В области IMS в релизе 8 были проработаны централизация предоставления услуг и организация вызовов к экстренным службам. Начиная с этого релиза, архитектурных изменений в IMS практически не производится – ведутся доработки отдельных функций, интерфейсов и процедур. Поэтому содержание главы 3 этой книги преимущественно базируется именно на релизе 8.

Релизы 7 и 8, в которых впервые упомянута и описана архитектура LTE/SAE и соответствующие ей ключевые новшества на радиоучастке, в домене коммутации пакетов и в ядре сети, а также и все предыдущие релизы 3GPP сведены в табл. 1.1.

Таблица 1.1. Релизы 3GPP (Release 99- Release 8)

	R99	R4	R5	R6	R7	R8
Новые термины	UMTS		HSDPA; IMS	HSUPA	HSPA+ и LTE	LTE/ SAE и common IMS
Базовая сеть		Отделение управления от транспорта: MSC Server+Media Gateway; All-IP сеть	Управление сетью в соответствии с концепцией IMS	VoIMS (SIP, RTP, RTCP)	Развитие IMS	SAE – плоская all-IP архитектура сети для сети LTE
Домен коммутации пакетов PS	EDGE			Созданы механизмы взаимодействия между сетью UMTS и WLAN	EDGE Evolution	EPC
Радиоучасток	UTRAN (W-CDMA)		HSDPA; IP-транспорт в UTRAN	HSUPA	MIMO	

1.3.8. Релиз 9. Цифровой дивиденд

С точки зрения LTE релиз 9 [20,42,50] является, главным образом, релизом, который включает в себя функции и исправления, не считавшиеся важными для первых спецификаций LTE в релизе 8. Кроме того, спецификации архитектуры SON и Femtocell (домашний Node-B и домашний eNode-B), введенные в релизе 8, были продолжены и в этом релизе.

Там же, в релизе 9, появилась возможность совершать экстренные вызовы через GPRS и EPS, была введена система предупреждения о массовой опасности PWS (Public Warning System) при стихийных бедствиях, а также были доработаны механизмы информационной защиты GSM и GPRS, которые не менялись в течение некоторого времени, и в которых был обнаружен ряд уязвимостей. Этим релизом 3GPP добавил алгоритм шифрования A5/4 вместе с удвоением длины *ключа шифрования СК* до 128 битов. Были также развиты инфокоммуникационные услуги с определением местонахождения абонентов *LBS (Location Base Services)* и услуги *M2M* на основе сетей «машина-машина», чему посвящена глава 2.

1.3.9. Релиз 10. LTE-Advanced

Здесь наиболее важным элементом является развитие LTE до LTE-Advanced и дальнейшее увеличение скорости передачи данных различными средствами: максимальная скорость нисходящей передачи данных – до 1 Гбит/с, восходящей передачи данных – до 500 Мбит/с, т.е. средняя пропускная способность для одного мобильного устройства втрое превышает скорость LTE.

Кроме того, втрое улучшена максимальная эффективность использования спектра для нисходящей передачи – 30 бит/с/Гц, а для восходящей – 15 бит/с/Гц.

В этом релизе продолжились также работы с экстренными вызовами, добавилась возможность перевода вызовов между терминалами. Последняя версия спецификации на момент написания этой книги – релиз 11. В нем добавляются услуга эмуляции USSD, информация о местонахождении терминала и передача SMS без *MSISDN (Mobile Station International ISDN Number)*. Подробнее обо всем этом в главе 4.

1.4. Конвергенция FMC

Как следует из вышеизложенного, в новых инфокоммуникационных сетях с архитектурой IMS не будет «вертикального» разделения Операторов по типу базовой услуги. Понятия «Оператор фиксированной сети», «Оператор мобильной сети» постепенно отойдут в прошлое. Собственно говоря, эти термины уже далее в книге не встречаются. Разумеется, понятие конвергенция имеет гораздо более широкий смысл, чем отсутствие «вертикального» разделения, о чем будет не раз говориться в следующих шести главах книги, посвященных самым разным, но всегда конвергентным инфокоммуникационным сетям 2010-х.

1.5. Эволюция IP-сетей

Короткой, но чрезвычайно насыщенной истории Интернет посвящены многие сотни книг. Хотя само слово «Интернет» появилось в первых работах Уинтона Серфа и Роберта Канна, а три ключевых протокола – TCP, UDP и IP – появились уже в конце 1970-х годов, непосредственно Интернет-революцию следует отнести к началу 1990-х.

Главным событием 1990-х годов, вероятно, следует считать появление Web (всемирной паутины). Придумал всемирную паутину Тим Бернерс-Ли, базируясь на идеях гипертекста, предложенных еще в 40-х и 60-х годах прошлого века Бушем и Нельсоном [9]. Кстати, Тим Бернерс-Ли с соавторами изобрел также язык HTML, протокол HTTP, Web-сервер и браузер, что и обеспечило в совокупности WWW-революцию, которая привела IP в миллионы офисов и квартир по всему миру и дала толчок разработке и внедрению тысяч новых IP-приложений.

Важнейшим из этих тысяч IP-приложений, по мнению авторов, является IP-телефония. Открытие *VoIP (Voice over IP)* как промышленной технологии совершила израильская компания VocalТес, сумевшая к 1995 году собрать воедино достижения в областях цифровых сигнальных процессоров, кодеков, компьютеров и протоколов маршрутизации, чтобы сделать реальными разговоры между фактически любыми точками на планете через Интернет без оглядки на расстояние между абонентами и длительность разговора. О дальнейшем развитии, основных сценариях и алгоритмах IP-телефонии говорится в [6].

1.6. Далее в книге

О чем эта книга, показано на первом рисунке (рис. 1.1). Находящиеся в облаке в центре рисунка традиционные телекоммуникационные сети 1990-х и 2000-х годов кратко рассмотрены в главе 1.

Остальные 6 глав посвящены новым инфокоммуникационным сетям, контуры которых только начинают формироваться к началу десятых годов нашего века, что и определяет ответ на вопрос, когда следует читать эту книгу. Последнее отнюдь не означает, что после 2021 года в нее не будет нужды заглядывать. Более того, есть все основания считать, что именно тогда все или почти все эти новые инфокоммуникационные сети эпохи пост-NGN начнут оказывать решающее воздействие на новое постиндустриальное инфокоммуникационное U-общество [10].

Этапы общественного развития, как они видятся авторам, представлены в табл. 1.2.

Строго говоря, минувшая индустриальная эра зарождалась еще на рубеже века XIX, когда на английских, а затем других технологически передовых европейских фабриках и заводах вместе с паровыми машинами и механическими ткацкими станками начала создаваться новая система организации труда людей в условиях крупномасштабного индустриального производства. И развитие этой индустриальной эры продолжалось без малого два века.

Таблица 1.2. Этапы общественного развития

Этапы развития общества	Доля ИКТ в ВВП	Инфокоммуникационные сети и услуги
Индустриальное (~ 1800 – 1980)	1-2%	ТфОП, ТгОП
Постиндустриальное (~ 1980 – 2005)	2-3%	ТфОП/ISDN/IN +СПС +VoIP
Электронное (2005 – 2015)	10%	+е-бизнес, +е-обучение, +е-правительство, etc
Информационное всепроницающее (~2005 – 2025)	>20%	+сети u-общества в главах 2-7 этой книги

Для постиндустриальной же эры все радикально убыстрилось, роль эффективности использования машин и механизмов – наиболее ценного в индустриальную эру производственного ресурса – упала, инфокоммуникационные технологии стали отвоевывать все более значимую долю всепланетного валового продукта (табл. 1.2).

Начало нового постиндустриального мира – весьма условное, как и все подобные хронологии – авторы относят к 1975 г., когда встретились «два Стива» – Стефан Возняк и Стив Джобс. Это пересечение жизненных путей двух будущих основателей новой компьютерной отрасли произошло в одном из городков Кремниевой долины, как обычно называют густонаселенный компьютерными и другими наукоемкими фирмами район штата Калифорния вдоль дороги 101 от Сан-Франциско до Сан-Хосе.

Впрочем, к моменту встречи Возняк работал там же в крупнейшей компьютерной фирме – Hewlett Packard, а Джобс – в не менее знаменитой тогда компьютерной фирме Atari, так что начало постиндустриальной эры можно датировать и началом 1970-х. А можно и началом 1980-х, основываясь на истории создания Интернет, о чем говорилось в предыдущем параграфе.

Так или иначе, но именно с этого перехода к постиндустриальному обществу началось развитие инфокоммуникационных технологий (ИКТ), что иллюстрирует табл. 1.2. И темпы развития никак не замедляются в 2010-х, что отражает содержание последующих 6 глав нашей книги.

И еще одно замечание к этим 6 главам. С учетом того, что авторы посвящают часть своего времени чтению лекций в СПбГУТ им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, настоящая книга ориентирована также и на использование в качестве учебника по новым аспектам курсов основ построения телекоммуникационных сетей и систем, сетей связи и некоторым другим.

Преподавательский уклон книги и новаторский характер излагаемых в ней вопросов требуют от авторов поддержать каждого читателя, который собирается продолжить знакомство с ее следующими главами, первой строкой знаменитого бестселлера «Ребенок и уход за ним» Бенджамина Спока: *«Доверяй себе. Ты знаешь больше, чем тебе кажется».*

Глава 2

Интернет вещей

Жизнь – большая связка мелких вещей.
Оливер Холмс (1809 – 1894)

2.1. Прогнозы и новые концепции развития сетей связи

В период интенсивного развития концепции NGN в 2000-х годах сетевые структуры всепроникающих сенсорных сетей *USN (Ubiquitous Sensor Networks)* входили в NGN как составная часть. В то время считалось, что клиентскую базу USN составят сотни миллионов сенсорных узлов. Однако стремительное развитие этой новой технологии, появление концепций Интернет вещей *IoT (Internet of Things)* [14,91,101,103,121] и Веб вещей *WoT (Web of Things)* [107,112] привели к пересмотру перспектив развития сенсорных сетей, а согласно сегодняшним прогнозам число беспроводных устройств составит 7 триллионов на 7 миллиардов человек к 2017 – 2020 годам [123].

На рис. 2.1 приведены примеры использования сенсорных узлов, включая радиоиентификаторы *RFID (Radio Frequency Identification)*, в том числе и такие новейшие приложения USN, как мониторинг роста животных и растений [91].

Планируемое принципиальное изменение клиентской базы потребовало от мирового телекоммуникационного сообщества пересмотра концептуальных основ построения сетей связи с учетом существенного преобладания в клиентской базе сетей будущего разнообразных устройств, биомасс, конструкций и т.п.

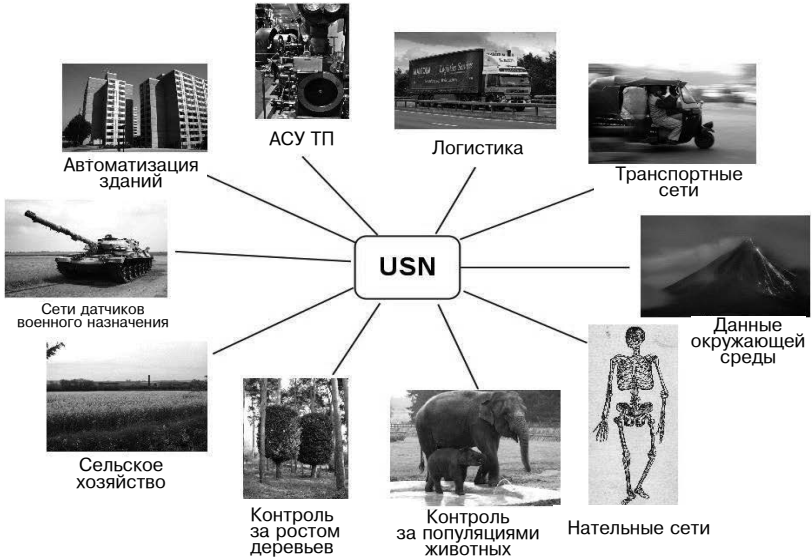


Рис. 2.1. Примеры использования USN сетей

Сектор стандартизации Международного союза электросвязи в начале 2011 года рассматривал возможность замены концепции NGN концепцией умных всепроникающих сетей SUN (*Smart Ubiquitous Networks*) [114], включающей в себя концепцию NGN, как одну из составных частей.

Структура концептуальной модели SUN приведена на рис. 2.2.

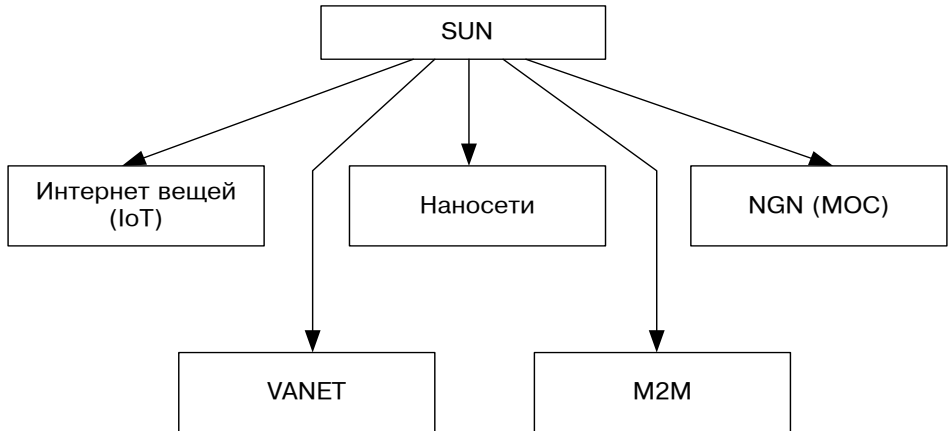


Рис. 2.2. Структура концептуальной модели SUN