METIS пятого поколения

Есть множество эмпирических правил, которые на первый взгляд являются абсурдными, на второй - забавными, а на третий - практически применимыми. К таким правилам, выведенным остроумными и наблюдательными людьми, можно отнести "Закон Мура", "Правило Паретто" и множество наблюдений типа "Законов Мерфи"и "Правил Паркинсона" Похоже, мы наблюдаем рождение еще одного эмпирического правила, относящегося к телекоммуникациям. Назовем его "Законом следующей G".

Разумеется, это никакой не закон. Это всего лишь наблюдение за тем, как развиваются телекоммуникационные технологии в части мобильной связи. Смотрите:

Первое поколение беспроводных коммуникаций (здесь и далее все условно - 1G) было разработано и внедрено в начале 1980-х годов. Существовало два конкурирующих стандарта: NMT (Nordic Mobile Telephone) и AMPS (Advanced Mobile Phone System), которые получили наибольшее распространение, в том числе и в России. В последней с превеликим опозданием, почти на десять лет, но суть не в этом.

Второе поколение (2G) стало уже цифровым по большей части, и первые опытные эксплуатации опять двух распространенных стандартов GSM и CDMA начались в начале 1990-х. К простой голосовой связи добавились короткие текстовые сообщения SMS, а чуть позже появилась и полноценная передача данных, сначала GPRS (2,5G) и более быстрый стандарт EDGE (2,75G). Но на весь жизненный цикл, включая разработку стандартов, ввод в эксплуатацию и захват Мира, поколение 2G затратило десять лет.

В начале 2000-х появился полностью цифровой стандарт, где при приоритете передачи голоса, все же главным является передача данных - поколение 3G, которое было какое-то время модной темой со множеством подковерных игр вокруг радиочастот, терминалов и искусственно замедленным строительством. Стандартов так же было множество по началу, но в итоге победили опять два - UMTS и CDMA-2000 с разной степенью популярности на континентах. За десять лет фактически пройден полный жизненный цикл.

И вот, с началом 2010-х на арене появляется следующее поколение, которое тут же окрестили "fourth generation" и до фаз внедрения в массах дошли опять два стандарта - LTE (Long Term Evolution) и Б-г знает какая-то там версия WiMAX. В 4G на голосовую связь уже не особо заморачивались - главное это передача данных, где были и достигнуты впечатляющие результаты, аж до 1 Гб/сек (если вы неподвижно сидите прямо под базовой станцией, в лесу, без помех и вспышек на Солнце).

Таким образом, если включить эмпирику и попробовать спрогнозировать... то "Закон следующей G" можно сформулировать следующим образом: "на смену поколения мобильной связи необходимо десять лет".

Это эмпирическое правило вполне себе уже официально применимо на уровне международного телеком-сообщества (via ITU-R 2009 год):

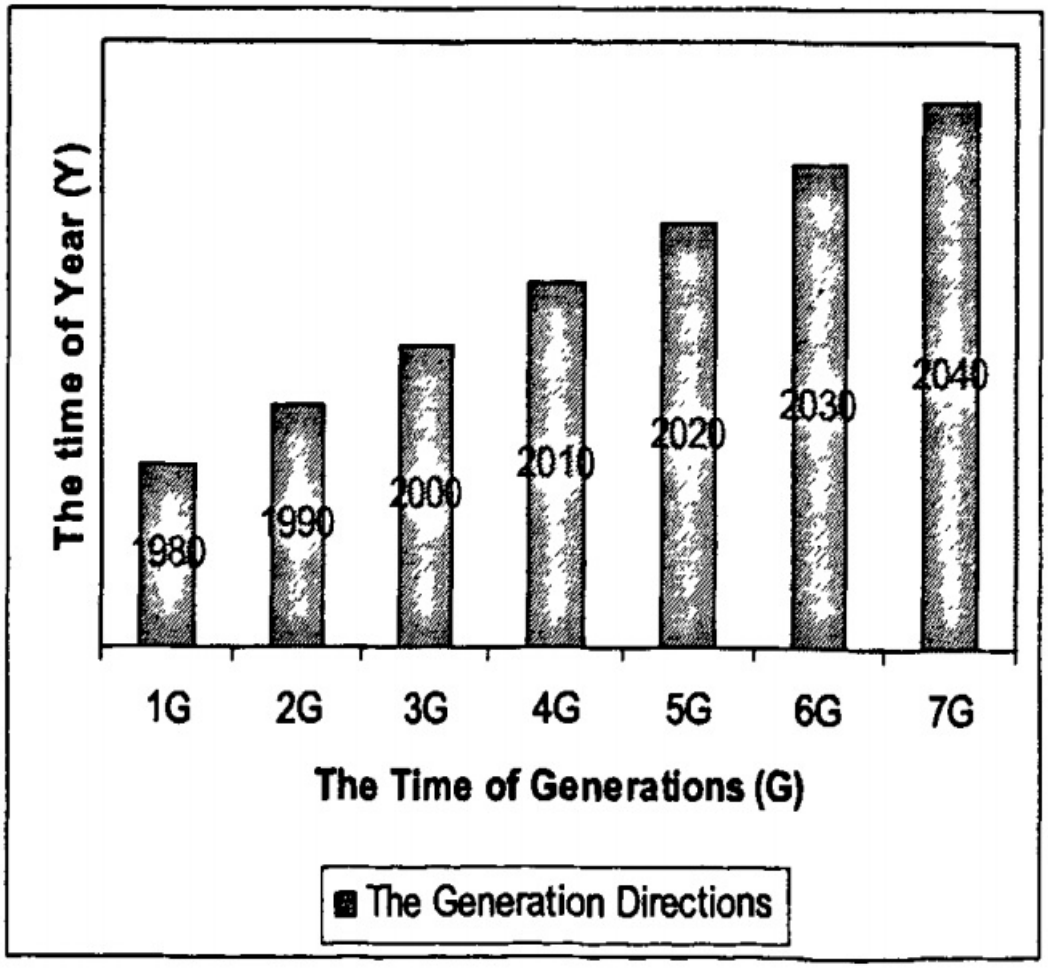


Figure 3. The Generation Directions

4G полным ходом внедряется в такой, прямо скажем, не самой передовой в части новейших телекоммуникационных технологий стране, как Российская Федерация. Ожидать появления сетей следующего, пятого, поколения следует примерно в 2020-х годах, то есть через шесть-семь лет.

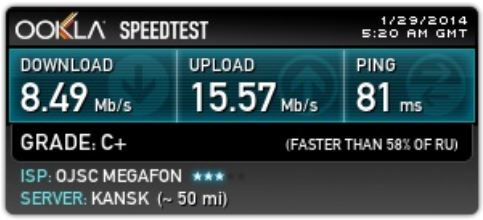
Лично у меня 4G-модем уже имеется в эксплуатации, за что объявляется благодарность компании Мегафон (кофе/чай тоже их):



Не могу пока однозначно заявить, что "4G - это хорошо". Дело в том, что модемом пользуюсь мало ввиду отсутствия наличия покрытия в местах наиболее частого пребывания. Понятно, что сеть новая,

соответствующее оборудование установлено далеко не везде, и так получилось, что в тех местах, где я бываю, не работает не только 4G, но и вообще иногда сеть пропадает. Репорты в соответствующие операторские службы отправлены, но я вполне понимаю, что из-за одного меня никто инвест-планы перекраивать не станет.

В центре Екатеринбурга сеть работает, но существенного прироста к скорости передачи данных по сравнению с предыдущим поколением я не зафиксировал - так же имеет место быть довольно длительное время соединения, относительно большой ping, и ко всему еще и системы геопозиционирования настаивают, что я нахожусь в пятидесяти милях от Канска.



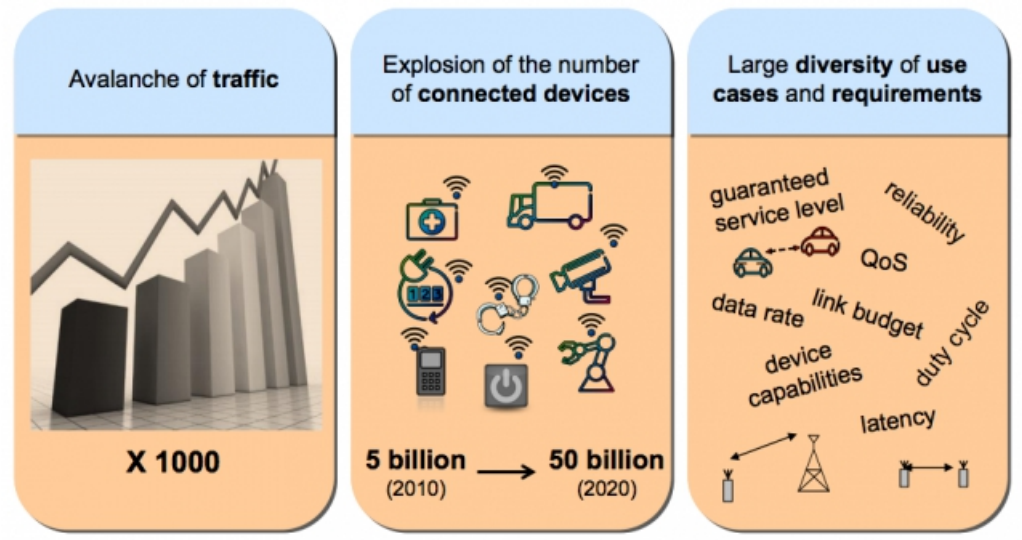
Хотя, может это вспышки на Солнце...

Связь 2020

Итак, согласно "Закону следующей G", появление пятого поколения мобильной связи следует ожидать в 2020 году. И основное отличие от сетей текущего (модного) поколения будет заключаться в том, чтобы:

- увеличение объемов возможной передаваемой информации на единицу площади в 1000 раз (тот самый Мбит/(с*км^2));
- увеличение от 10 до 100 раз большее количество подключаемых устройств;
- увеличение от 10 до 100 раз выше скорость передачи данных на одного "типичного пользователя";
- увеличение в 10 раз времени автономной работы устройств за счет низкого энергопотребления;
- снижение уровня латентности (задержек) сигнала в 5 раз.

Задачи насущные, благородные и весьма амбициозные. Причины именно таких требований обусловлены форкастами аналитиков-футурологов и в официальных документах иллюстрируются следующей инфографикой:



Требование по тысячекратному увеличению плотности передачи данных на квадратный километр понятен и, наверное, не требуется в объяснении - "Citius, Altius, Fortius!" хотелось всем и всегда. Это такое состояние человеческого ума на биологическом уровне.

Взрывной рост устройств, подключаемых к Сети беспроводным способом можно углядеть уже сегодня - смартфоны, планшеты, "умные часы" продаются как горячие пирожки (это камушек в сторону планшетоненавистников). Если добавить к происходящему мобильному буму еще и "умные вещи", смысл существования которых заключается в постоянном интернет-коннекте, то есть мнение,

что десятикратное увеличение он-лайн-устройств в течение десяти лет, это слишком пессимистический прогноз.

Все остальные умные слова, произносимые докладчиками на всевозможных конференциях с трибун про QoS и link budget, просто сбросили в один квадратик с заглавием "Огромное разнообразие вариантов использования и требований".

И картина начинает складываться во вполне осмысленные очертания весьма вероятного ближайшего (кто сказал, что не доживет до 2020 года?) будущего.

Пусть это и звучит как фантастика, но британские ученые уже видят беспроводную связь поколения шестого, которую представляют себе примерно так:

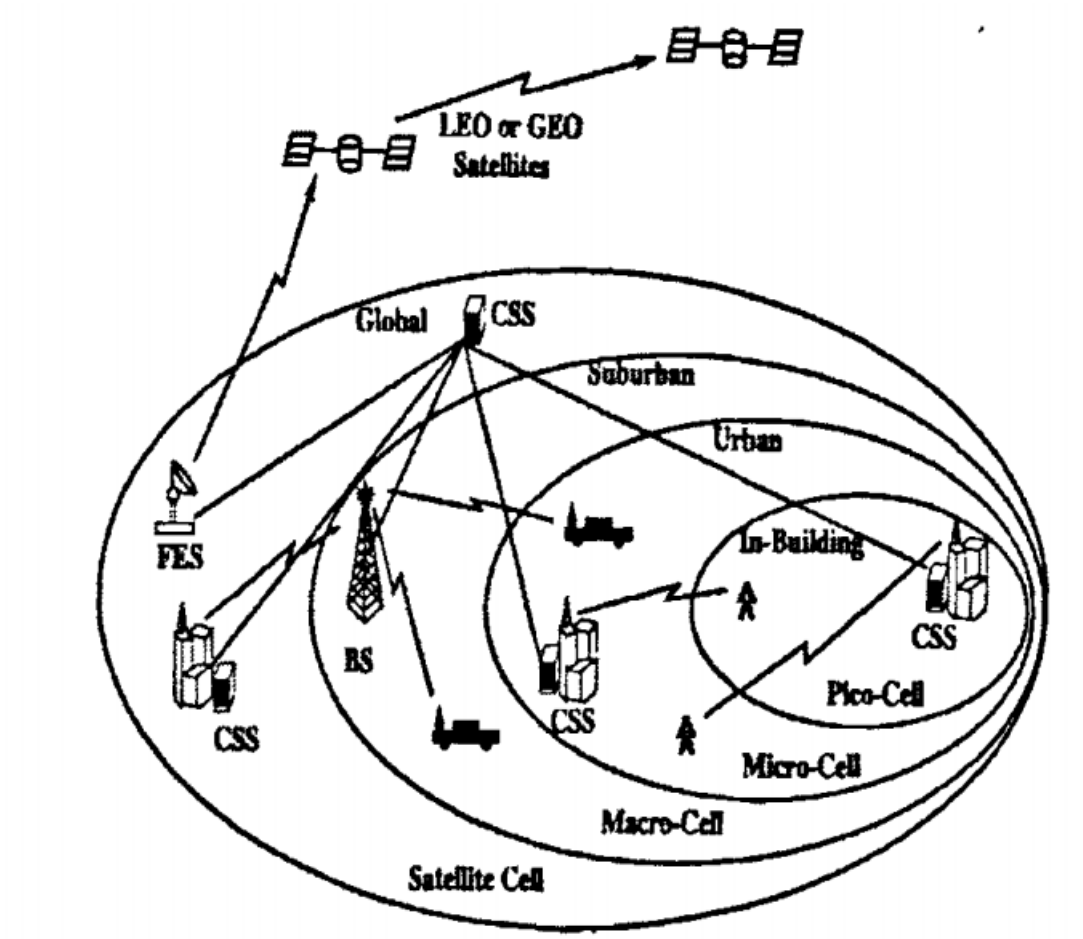
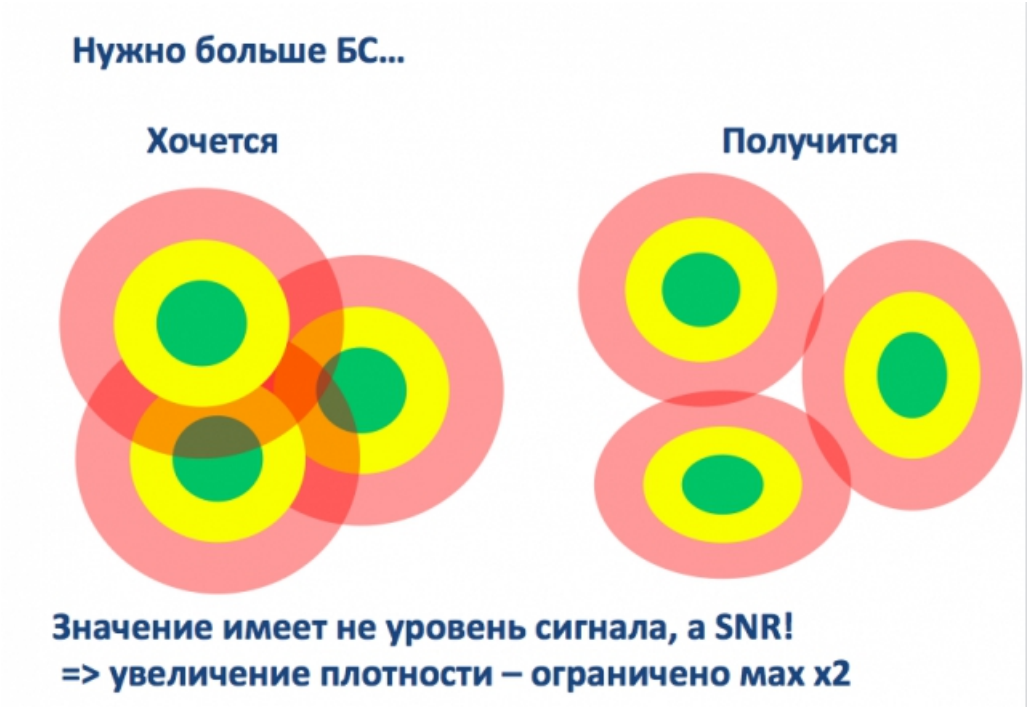


Figure 2. 6G with Satellite Networks

Седьмого поколения пока не видят, но вероятнее всего она будет глобальной, быстрой, с широким использованием космоса и нанотехнологий. Без иронии.

Главным стоит вопрос, как добиться увеличения плотности передачи данных в ограниченном и забитом до изумления радиоресурсе? Инда, "Шеннон и Котельников играют на стороне проводных технологий ПД" ©Прохожий. Картина, нарисованная Алексеем с натуры, выглядит так:



… далее следуют рассуждения о стоимости оборудования одной базовой станции, экономической эффективности квадратно-гнездового метода окучивания абонентской базы и так далее. Но конечным выводом, если привлечь банальную эрудицию, может стать еще одно эмпирическое правило, которое не столь очевидно, как кажется:

У поставщиков услуг БШПД есть два пути увеличить показатель Мб/(сек*км^2): усложнение оборудования на сайтах с большим охватом или увеличение количества сайтов на данной территории.

Если еще проще: или дорогое оборудование на большую площадь, или много дешевого на ту же самую площадь.

Причем, экономическая эффективность того или иного подхода не всегда однозначна ввиду массы параметров, независящих от оператора.

В технологиях 5G пока нет однозначного ответа на выбор решения. Очевидно, что применяться будет решение гибридное, а требования пока установлены следующие:

- Эффективность (проектируемой технологии) должна учитывать постоянный рост емкости сети при общей приемлемости экономической и энергетической составляющих конечного решения;

- Масштабируемость решений должна реагировать на широкий спектр требований независимо от количества трафика (низкое или высокое);

- Универсальность (или многофункциональность) технологии должна поддерживать столь различные требования (например, доступность, мобильность, качество в обслуживании), сколько требуется при вариантах использования.

Или простым языком: 5G должна быть универсальной настолько, чтобы Сеть могли использовать любые устройства со своими требованиями, масштабируемой в зависимости от назначения использования и при этом быть достаточно экономичной, чтобы использовать в различной окружающей среде (от мегаполиса до деревни).

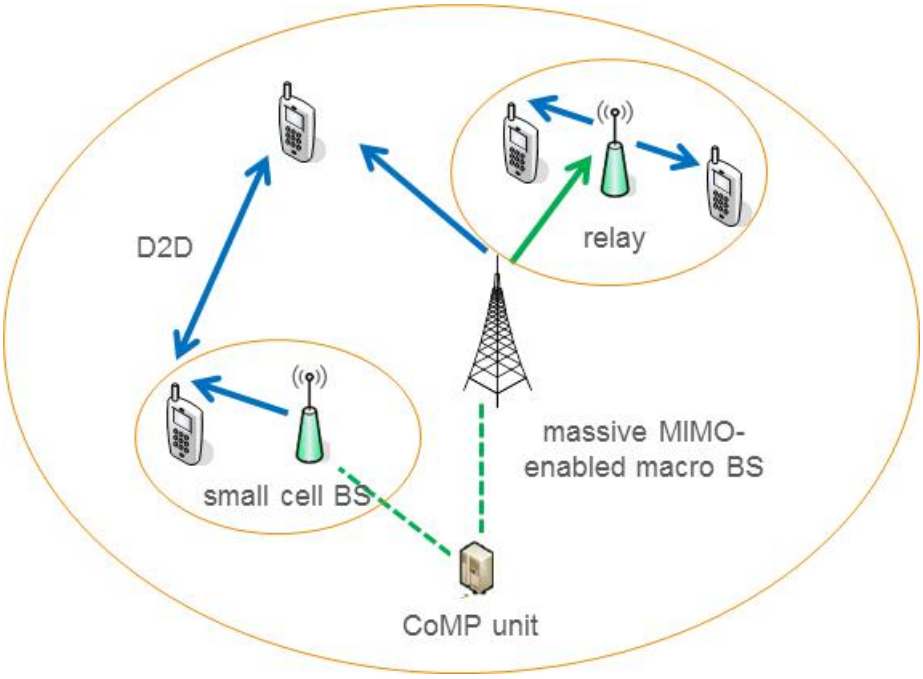
Звучит красиво. Но как этого достигнуть?

Почему METIS

На самом деле термин METIS не так уж и прост. Это не банальная аббревиатура к которым привыкли за без малого сорок лет существования мобильной связи - было же как: называем AMPS, что означает Advanced Mobile Phone System (усовершенствованная (передразнивая О’Генри) система мобильной телефонии) или там GSM, что на французском звучит как Group Spécial Mobile. А вот METIS - это, во-первых, "**M**obile and wireless communications **E**nablers for the **T**wenty-twenty **I**nformation **S**ociety", сиречь "Мобильные и беспроводные инструменты решения задач информационного общества в 2020 году"

(мой, WF, авторский перевод). А во-вторых, METIS это набор алгоритмов решения задач решения многоуровневых графов. И это второе имеет решающее значение для ответа на вопрос "как этого достигнуть".

Дело в том, что сети пятого поколения планируется строить не привычным способом покрытия территории N-нным количеством базовых станций, а сильно хитрее, не ограничиваясь количеством юнитов в сети численностью два - "базовая станция" и "абонентский терминал". METIS предполагает следующую абстрактную топологию:



1. Понятие базовой станции остается незыблемым. Это мощное и умное устройство будет заниматься собственно коннектом с "большим интернетом", в чем его основное предназначение, и передачей радиосигнала другим устройствам Сети METIS. Но помимо привычной роли, на БС возлагается функция буквального планирования радиочастотного спектра в режиме реального времени с целью оптимизации этого конечного и ценного ресурса. Фактически базовая станция будет дирижировать оркестром из подчиненных устройств, в число которых входят и подчиненные "малые БС", связь с которыми может быть организована и по радио и кабелем.

2. Разумеется, оркестровать устройства будет не сама БС, но некий компьютерный юнит (CoMP unit - на схеме), который достаточно умный, чтобы работать самостоятельно, но в то же время должен будет получать информацию от некой центральной управляющей системы, ибо это Сеть и она глобальна. Вообще, в концепции 5G много внимания уделяется облачным технологиям, что не только модно, но еще и экономически целесообразно - разделение ресурсов, повышенная надежность, виртуализация и общее программное обеспечение прямо напрашиваются в данную архитектуру. И да, концепция Software Delivery Network в любой из будущих реинкарнаций будет органично смотреться в итоговом решении. CoMP unit при этом совсем не обязательно должен находиться в составе макростанции. А может и находиться.

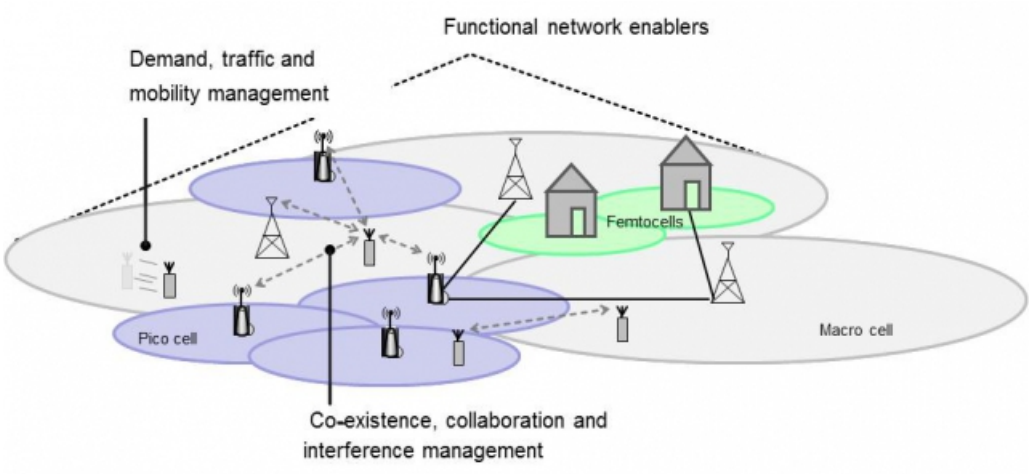
3. Малые и релейные базовые станции - следующий уровень архитектурного сететворчества. Уровень "умности" и "мощности" "малой БС" пока никак не оговорен в принципе (напомню, что речь идет пока о работе группы концептуальной разработки), но смысл ее существования очевиден - "накрыть территорию" там, где востребован большой трафик и есть достаточное количество абонентов. Т.е. использование подхода "много дешевого оборудования на меньшей территории". И слово "дешевого" тут так же концептуально, как и все описываемое в данном опусе - вполне может быть, что в итоге "малые БС" окажутся и не такими уж дешевыми. И никто не запретит использовать две совершенно одинаковые БС в двух разных режимах. Но есть мнение, что появление оборудования для десятков разных БС с разной энергетической мощностью, оснащенностью фичами и прочими параметрами никак не противоречит концепции "многофункциональности и универсальности".

4. Самое интересное в сетях 5 поколения - это режим D2D (device-to-device). Из названия уже понятно, что концепция предусматривает режимы использования клиентских терминалов в качестве узлов сети. Эдакое использование полносвязанной топологии класса mesh в мирных целях. И это вовсе не связано с желанием оператора переложить энергетические затраты на абонента (смотри PON). В ряде случаев, режим D2D будет полезен для экономии общих разделяемых ресурсов - например, довольно часто абоненты общаются, находясь в разных комнатах буквально в десятке

метров друг от друга. Ну и зачем гонять трафик по всем уровням, когда достаточно инициировать прямое соединение (много пишется об использовании IP v6). Кроме того, упомянутый уже "интернет вещей" подразумевает соединение очень большого количества устройств друг с другом для передачи небольших порций информации. И никто не запрещает инженерам METIS использовать наработки того же ZigBee в конечном архитектурном решении.

И вот тут-то без матана высшего порядка будет обойтись очень трудно, ибо каждое устройство является узлом графа со случайным (или закономерным) передвижением относительно других узлов. Это я про алгоритмическую бисекцию графов с целью нахождения оптимального пути с учетом энергоэффективности и потери данных в процессе - METIS.

В конченом итоге, landing-plan сети пятого поколения будет выглядеть как-то так:



Есть множество макроячеек, которые, по своей природе, совпадают с привычными базовыми станциями. Макроячейки могут включать в себя коннективити более мелких ячеек, которые пико- или даже фемто- (ЧСХ, наноячеек телекоминженеры опасливо избегают). Ну и на пользовательском уровне используется подход создания сетей D2D.

Сформулированные требования

Я уверен, что при прочтении довольно технических документов и вольном изложении оных я много чего неправильно интерпретировал. Надеюсь, что более продвинутые читатели развернут и раскроют более четко и конкретно. Ограничусь лишь описанием некоторых свойств 5G, которые публикуются в официальных документах группы METIS

A. Упомянутая уже D2D-связь между устройствами, очевидно, не сможет тарифицироваться 5G-операторами, но в виду "облачности" всей архитектуры сети управление доступом и аутентификации возможно централизовано. При этом в нормальных условиях сеть все же должна как-то управляться, с точки зрения использования радиоспектра, ибо интерференционные эффекты и занятость ресурсов является общей проблемой функционирования сети. Цели введения D2D-связей проста - увеличение охвата и разгрузка транзитных соединений, что увеличивает эффективность всей сети.

B. Массированные Машинные Коммуникации (MMC - Massive Machine Communications)

MMC будет иметь решающее значение для будущих систем мобильной беспроводной связи, поскольку на пороге явления "Интернета вещей" необходимо, с одной стороны, иметь возможность масштабирования решений для подключения десятков миллиардов сетевых устройств, а с другой стороны, требования к коммуникациям M2M сильно отличаются от требований и характеристик коммуникаций, предназначенных для человека. Посему, диапазон востребованных характеристик и профилей передачи данных должен быть сильно расширен. Например, профили по скорости передачи данных, задержке, стоимости соединения, частоты "выхода в эфир" etc для следящих датчиков, робототехники, систем реального времени и прочих видеотранслирующих устройств отличается друг от друга разительно.

C. Движущиеся сети (MN - Moving Networks)

Еще один вызов для пятого поколения - это сети, перемещающиеся в пространстве. Для понимания масштаба задач, стоящими перед инженерами можно представить себе сверхскоростной поезд (класса Сапсан), самолет или автомобильную трассу. Один движущийся узел сети или группа таких узлов должны формировать "подвижные сети", которые обязаны взаимодействовать с окружающей средой хотя бы для получения коннективити с сетью глобальной. Кроме того и стационарные, и мобильные узлы, которые находятся внутри или снаружи движущегося объекта, так же могут обмениваться информацией, например, в системах обеспечения безопасности и/или навигации относительно друг друга.

D. Ultra-dense Networks - UDN (не решился перевести корректно - Сверхплотные сети?)

UDN - ввиду ограниченности радиоресурса, будут основным драйвером для решения транспортных потребностей после 2020 года. Цель - увеличение пропускной способности и повышение энергоэффективности радиолинков. Кроме того, на высоких частотах существует физический предел расстояния передачи сигнала. Следовательно, чем "плотнее" находятся базовые станции (разумеется, с ограниченной до необходимости мощности излучения), тем выше утилизация спектра. Межсайтовая плотность прогнозируется до порядка 200 метров между БС и даже меньше.

E. Сверхнадежные сети (Ultra-reliable Networks - URN)

Поскольку все больше инфраструктуры, в том числе критического характера обеспечения жизнедеятельности человека, будет базироваться на беспроводных сетях передачи данных, сверхнадежность и высокая степень доступности сети является критическим свойством проекта. В этом контексте, METIS направлена на предоставление масштабируемых и экономически эффективных решений для сетей, поддерживающих услуги с экстремальными требованиями к доступности и надежности. Честное слово, я не понимаю, как можно будет защищаться от злонамеренных "глушилок радиочастотного спектра", но задача действительно архиважная.

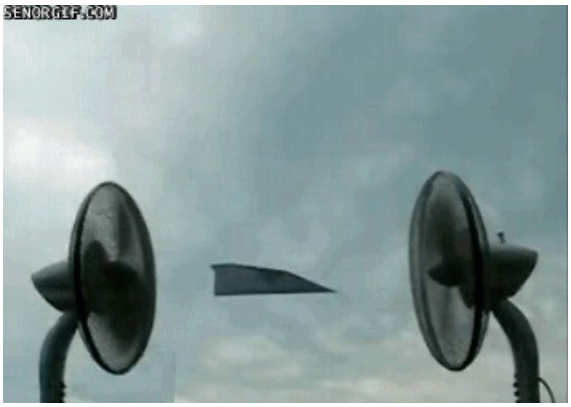
Пожалуй, следует пока остановиться на изложенном. Хотя бы потому, что материалов по теме не так уж и много даже на английском языке, а на русском информация практически отсутствует. Ограничусь ссылкой на источник публикаций собственно рабочей группы, где пытливый читатель, хорошо подкованный как в техническом, так и в языковом плане найдет массу интересного и занимательного.

Перевод официальной части концепции METIS доступен здесь.

Еще один перевод "Прожект рационале" от Алексея Бойко доступен тут.

И еще один (надо сказать, один из лучших) переводов презентационных документов METIS от Ericsson находится тут.

Хочу заметить, что из перечисленных выше документов я ничего не копипастил, и все расхождения в (не)правильном толковании терминов целиком и полностью на моей совести.



Всем Мир!