Проектирование Mesh-сетей

Сколько сетевого инженера ни корми (обещаниями про дальность линка и количества абонентов на точку), а он все равно на Mesh смотрит. Если мы не говорим о музыкальной группе или строительных сетках, то Википедия отправит нас на страницу "Ячеистая топология". И вроде бы все правильно, но Mesh - это больше, чем просто сетевая топология. Это большой пул технологий и, скорее всего, философия. После того как погружаешься в тему и проникаешься подобными идеями, обратного пути уже нет и смотреть на мир по-старому не получается. После цикла статей у вас вряд ли сохранится привычный стиль мышления и решения возникающих задач. Так что, если по новому законодательству вы планируете в ближайшие месяцы выйти на пенсию и провести остаток дней на любимой даче, то дальше эту статью можно не читать. Но если вы еще полны сил открывать для себя что-то новое - милости прошу ознакомиться со статьей в Википедии, а затем окунуться в этот ~~омут~~ цикл.

Итак. Давайте определимся, что мы будем понимать под термином Mesh:

1. Ячеистая топология.
Это обязательный пункт. Если кто-то вам пытается втирать про "главный роутер" или "дерево маршрутов", то смело отправляйте этого человека почитать цикл статей, и помните, что он - мошенник. Никаких деревьев или "главных" маршрутизаторов в Mesh-сетях быть не может. Это всегда плоская сеть и всегда одноранговая. Возможны случаи, когда поверх одной Mesh-сети построена другая, но это сложно для восприятия в самом начале и будет раскрыто в следующих статьях.

2. Наличие алгоритмов управления трафиком (выбор пути).
Не менее важный пункт. Его отсутствие означает, что перед вами простой повторитель или даже несколько повторителей, которые не способны оптимально передавать трафик и являются пережитком прошлого.

3. Возможность перестроения топологии сети в любой момент с сохранением связности.
По сути, вытекает из второго пункта. В любой момент кто-то может покинуть сеть или переместиться в другое место. Сеть обязана незамедлительно продолжить работу. Можно назвать это "автовосстановление", что будет не совсем корректно, так как этот пункт еще и про динамические сети. То есть, представьте, что все маршрутизаторы постоянно находятся в хаотичном движении, а трафик передавать надо. Пограничное состояние и частный случай, но именно он сразу про Mesh, автовосстановление, перестроение топологии и вот это вот все.

В следующих статьях мы с вами обязательно затронем тему full mesh VPN, оверлейных сетей и алгоритмов маршрутизации, а пока раскроем основы основ и сконцентрируемся именно на беспроводных сетях.
Итак... Неразрывно с термином Mesh всегда идет довесок с пачкой других терминов, без которых сложно отделить мух от котлет и пояснить хоть что-то, так что место им в самом начале.

- Нода/Узел (Node) - равноправный участник сети. Обычно представляет собой роутер.
- Путь/Маршрут (Path/Route) - цепочка промежуточных нод, необходимых для передачи пакета в данный момент. Разные варианты могут применяться в зависимости от алгоритма по которому осуществляется передача трафика.
- Шлюз (Gateway) - пограничный маршрутизатор, через который ноды могут соединиться с другими сетями.

В большинстве случаев трафик всегда идет от ноды по некоторому пути до шлюза, либо от шлюза до этой же самой ноды, также по некоторому пути. Бывает и такое, что ноды обмениваются трафиком внутри сети. С точки зрения построения пути/маршрута, это должна быть абсолютно аналогичная операция по которой строится этот же самый маршрут до шлюза (помните что я говорил про дерево).

Давайте уже перейдем к примерам.

На сегодняшний день самым распиаренным проектом и, пожалуй, самой крупной Mesh-сетью является Guifi. Территориально сеть располагается в Каталонии и по состоянию на 2018 год даже имеет собственный AS. Около тридцати тысяч нод задействовано ежесекундно для передачи пользовательского трафика. Только вдумайтесь в эти цифры... А когда-то давно все начиналось с одного роутера для того, чтобы прокинуть интернет в зону, куда ни один провайдер его тянуть не решался. Потом соседям, друзьям, и т.п. Так образовалось одно из самых мощных сообществ.
Не менее круты ребята из Freifunk, немецкого сообщества, занимающегося тем же самым. Это сообщество является примером того, как Mesh перерастает в философию. Они провозглашают одними из своих главных принципов свободу доступа к информации и коммуникации. Фактически, группа энтузиастов активно развивают СПО и даже делают коммиты в ядро Linux, попутно строя

беспроводные Mesh сети в Германии.
Но есть и коммерческие проекты, такие как Village Telco. У них смешная реклама на ютубе, посмотрите обязательно. Фактически, они не просто разворачивают сети, но и предоставляют сервис IP-телефонии. Все началось с исследования, показавшего, что наибольшее количество звонков совершается жителями деревень друг другу. Оно же показало, что во многих деревнях связь очень плохая, а местами ее просто нет. Поскольку установка базовых станций по всем правилам была не по карману этому стартапу, они решили проблему элегантно - взяли за основу Wi-Fi. Компания существует и сейчас, продолжая свое благое дело.
Был еще когда-то African WUG (Wireless User Group) и проект OLPC (One Laptop per Child).

Все эти сообщества и проекты можно объединить по одному критерию - "**Построение Mesh-сетей в местах с малоразвитой или отсутствующей инфраструктурой**". Именно для этого Mesh-сети подходят лучше всего. Удаленые от райцентра поселки, пустынная местность или деревня в горах. Используя Mesh, можно не только обеспечивать такие места связью и доступом в интернет, но еще и зарабатывать на этом.

Вторым распространенным сценарием применения является "**Массовый доступ в интернет для жителей города**". В Европе много исторических центров и туристических мест, где оптику тянуть просто невозможно, потому что никто на это разрешения не даст, а пару веков назад строительство кабельной канализации еще не было таким очевидным требованием. Приходится выкручиваться и снова для решения такой задачи идеально вписываются Mesh-сети.

В Барселоне сейчас практически на каждом фонарном столбе можно встретить Wi-Fi-хотспот, предоставляющий доступ в интернет туристам. В студенческом городке MIT с 2006 года существует похожая сеть (ее еще называют "Roofnet"). Фактически, это все о случае, когда вокруг на расстоянии от нескольких сотен метров до километра есть точка выхода в интернет, но в силу обстоятельств покрыть район связью не получается. Это могут быть огромные склады, где для нужд автоматизации требуется покрытие Wi-Fi на всей площади, либо парки отдыха, где есть только деревья и фонари освещения.

Просто представьте, люди 21 века останавливаются в уютных апартаментах, выходят на утреннюю пробежку, надевают наушники с любимой музыкой и обнаруживают, что в парке возле гостиницы их любимый стриминговый сервис не работает, потому что интернет пропал! В итоге, гостиница получает кучу негативных отзывов, бизнес страдает. И вроде бы расширить зону покрытия Wi-Fi надо, а тянуть провода нельзя, иначе вид парка испортится и это будет еще одна волна негативных отзывов. Попробуйте угадать, при помощи какой технологии можно решить данную проблему быстро и эффективно? Думаю, вы меня поняли.

Еще одним немаловажным сценарием является "**Поддержание связности между движущимися объектами**". Как бы так попроще объяснить… Помните проект Google Loon? В котором воздушные шары летали и раздавали интернет? У меня для вас новости. Они еще и организовывались в Mesh-сеть. Я серьезно, вот патент. Фактически, такая Mesh-сеть между шарами использовалась как Backbone для базовых станций LTE. Этакий симбиоз, но дело не в этом. Воздушные шары - штука непредсказуемая, которая может изменить свое положение в пространстве в любое время. Топология подобной сети изменяется постоянно, ноды могут прилетать и улетать в прямом смысле.

Поддерживать связность в таком режиме под силу только Mesh-алгоритмам маршрутизации.

Аналогичные решения востребованы на промышленных площадках с большим количеством перемещающейся техники (погрузчики на складах, самосвалы в карьерах, группы беспилотников или транспортных средств в одну колонну, так называемое "караванное движение").

Про транспорт, кстати, стоит раскрыть подробнее.

В современном мире все стремится к автоматизации и месту под солнцем в "интернете вещей", и автомобили не стали исключением. Слышали про V2V или V2X? Технологии для умных автомобилей, позволяющие им связываться друг с другом или с чем угодно еще, принимать на основе полученной информации решения и действовать коллективно. По сути, роевой интеллект. Вот это тоже про Mesh, даже стандарт есть - 802.11p. Да, снова на базе Wi-Fi. И это прекрасно, так как можно строить решения на Commodity hardware и сразу с порога снизить стоимость конечного продукта. Поддержку в Linux завезли много лет назад под именем OCB.

Казалось бы, бери и делай, но бурного роста, Mesh не снискал ни по одному из направлений.
Почему же так получилось? Ответ прост и состоит из нескольких пунктов:

1.Низкие канальные скорости.

В двухтысячные годы максимум, что можно было реально получить - это 300 Мбит/с в диапазоне 5 ГГц. Для OCB и того меньше, в два или четыре раза. Реальные скорости при таких битрейтах даже по тем временам никого не впечатляли. Потому все как-то заглохло и было отложено в ящик до лучших

времен.

2. Отсутствие структурированных обучающих материалов.
В то время Mesh являлся, по большей части, уделом энтузиастов как в лице пользователей, так и в лице компаний, пытающихся развивать эту технологию. Порог входа оказался выше, чем для традиционных сетей, что и привело к низкой популярности Mesh.

Сегодня ситуация изменилась. 802.11ac позволяет добиться 1.7 Гбит/с канальной скорости на существующем оборудовании. Уже на подходе массовые роутеры с поддержкой 802.11ax. Появились стандарты 802.11ad на 60 ГГц и канальную скорость 4 Гбит/с. Вот уже почти вышел 802.11ay с реальными канальными скоростями 44-176 Гбит/с, а MU-MIMO так и просится в Mesh. Другими словами, набралась критическая масса технологий и пропускная способность вышла на необходимый уровень только сейчас. Остается, правда, второй пункт - про обучающие материалы. И если я мало могу сделать по части стандартов беспроводной связи, то рассказать и объяснить попробую. Глядишь, что-то и получится.

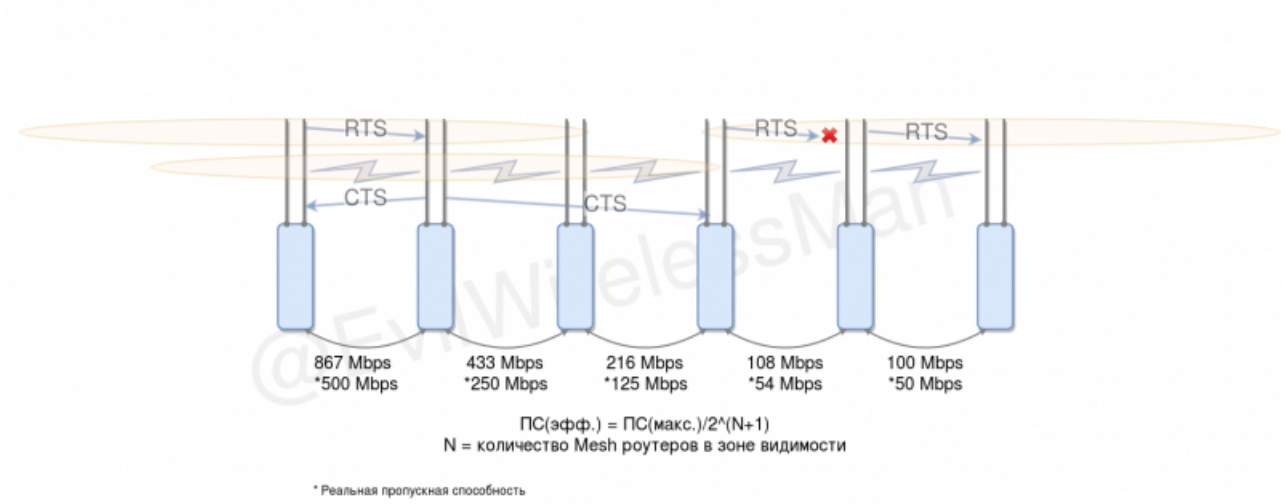
Вычисление емкости и пропускной способности

Для того чтобы понять как проектируются Mesh-сети, нужно забыть на первое время методы проектирования стандартных сетей Точка-Многоточка. Да, это важно. Просто представьте, что в голове у вас только знания о распространении радиосигнала, примерное понимание того, как работает Wi-Fi и математика с логикой...
Также, сразу определимся в одном: эта статья – про технологии, а не про регуляторику в РФ и других странах. Сценарии специально, считайте искусственно, упрощены и даже искажены лишь для того, чтобы было понятнее.

Итак, условия равные. Все устройства - 802.11ac, (MU-)MIMO 2x2, ширина канала 80 МГц.

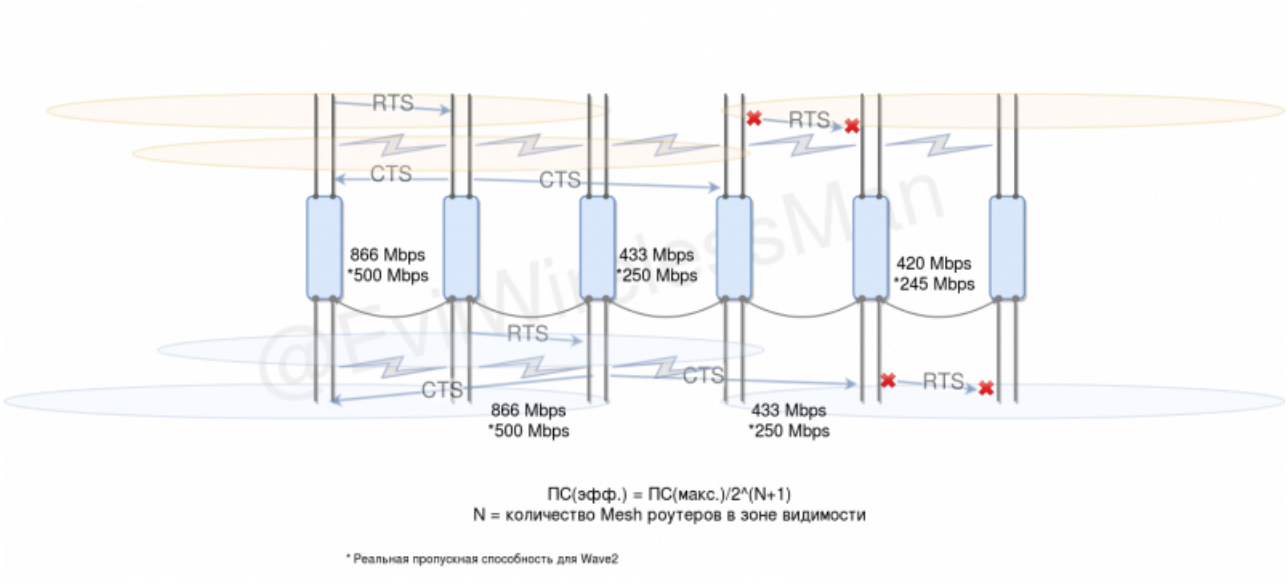
Основные отличия от привычного сектора - тут скорость не падает, она делится.

Для того, чтобы лучше понять, представьте себе пожарных, которые передают ведро с водой по цепочке (ВОТ). Точно так же передается пакет в Mesh-сетях. Отличие состоит в том, что пожарный может передать ведро и тут же взять еще одно, но в радио ситуация другая. Пока один роутер вещает в эфир, его слышат несколько соседей и не могут в этот момент ничего передавать.

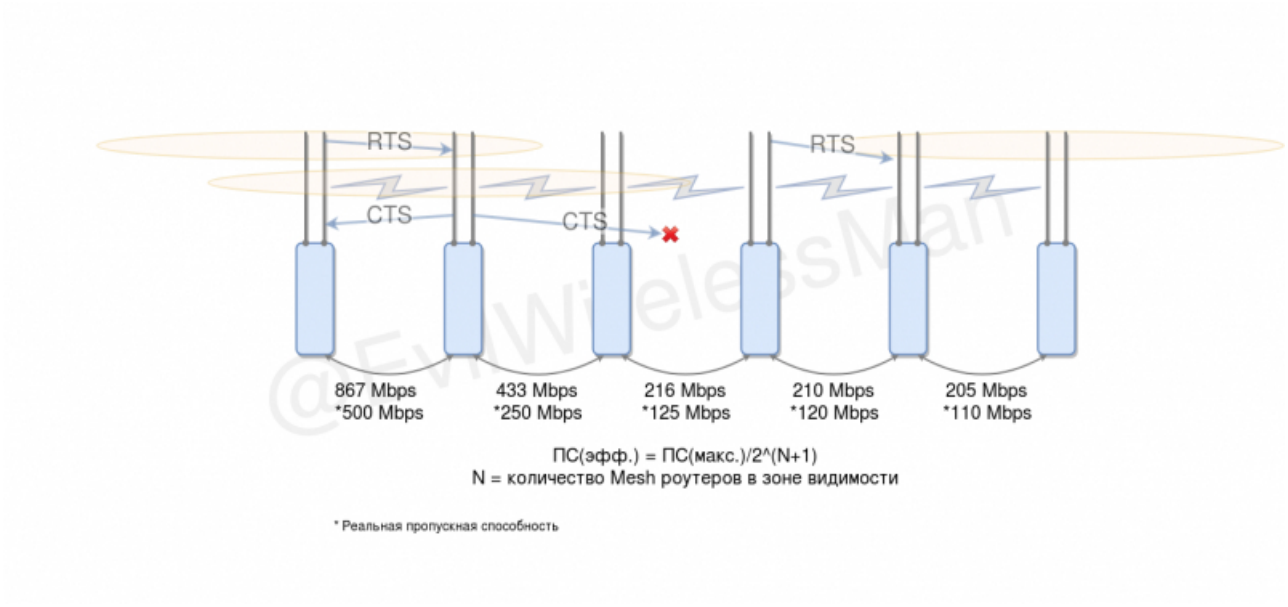


Связано это с несколькими факторами. Во-первых, есть такая вещь как CCA и она не позволяет посылать что-либо в эфир, пока уровень сигнала не упадет до приемлемого. Во-вторых, даже если выключить CCA, то механизм RTS/CTS (Request to Send / Clear to Send) будет работать именно так как на картинке выше, не позволяя роутеру передать кадр, если он услышал CTS-подтверждение от соседа. Так как антенны обычно всенаправленные, то подобная схема деления пропускной способности распространяется на 360 градусов.

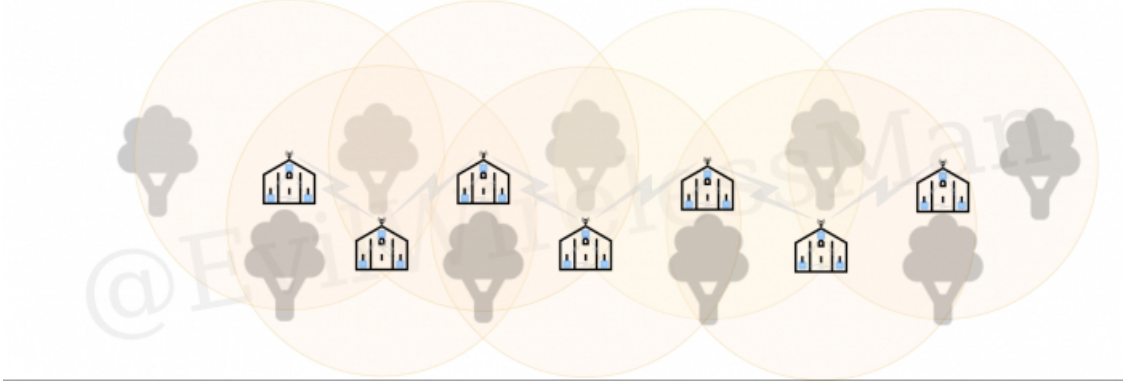
То есть, представьте, что у пожарных ведро не классическое конусное, а тяжелое и с длинным горизонтальным шестом, который одновременно вынуждены держать три человека. Первый передал второму, второй третьему, третий начал передавать четвертому, но второй все еще не может отпустить шест и первый вынужден его ждать. Передать следующее ведро он сможет только тогда, когда четвертый гарантированно передаст ведро пятому и у второго руки точно будут свободны. Просто прокрутите в голове эту ситуацию несколько раз.



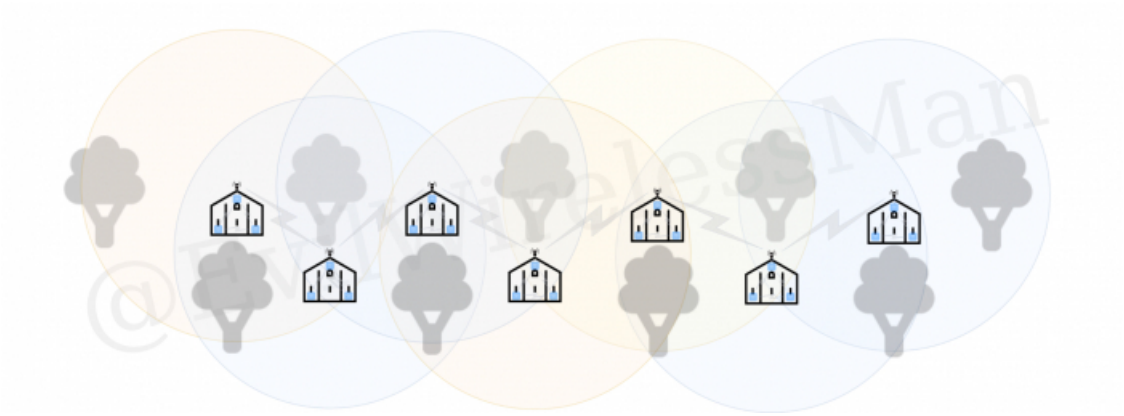
Можно улучшить ситуацию добавлением еще одного радиомодуля. В таком случае пропускная способность вырастет, так как устройство получит возможность одновременной передачи/приема сразу двух кадров. Чуть более лучшим подходом считается передавать кадр не через тот радиоинтерфейс с которого он был получен, то есть, чередовать. Это позволяет оптимизировать прохождение и максимально отдалить в пространстве next-hop в рамках одного и того же беспроводного канала.



Еще один способ увеличения пропускной способности - это занижение мощности. Если применять эту технику, то за счет нелинейности затухания сигнала в открытом пространстве можно добиться снижения зоны видимости, избежав тем самым еще одной итерации деления пропускной способности в два раза.
То есть, представим, что пожарные все так же передают ведро, но теперь шест стал короче и держат его одновременно только два человека. И вот, первый передал второму, ждет пока второй передал третьему, третий – четвертому, и можно снова передавать ведро, так как у второго руки свободны.



Иногда получается воспользоваться ландшафтом и распределить точки таким образом, что у каждой ноды (узла) будет связь только с двумя соседями. Получается, что мы убираем еще одну итерацию деления и все становится совсем хорошо, но не идеально.

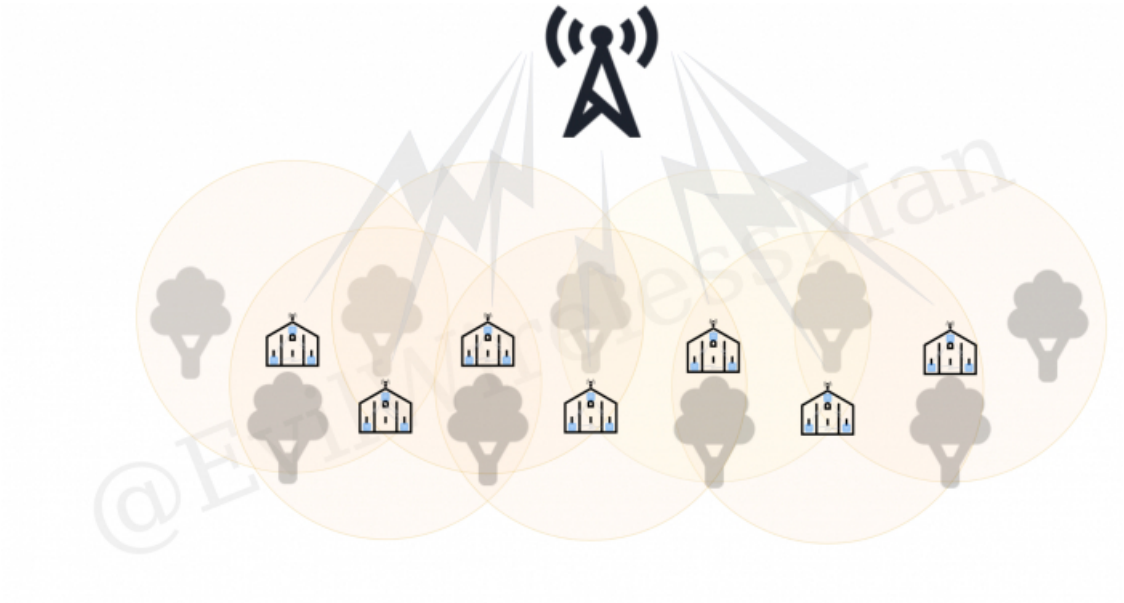


Идеально становится тогда, когда мы снижаем мощность, учитываем ландшафт, ставим два радиомодуля и применяем технику чередования интерфейсов. Скорость в таком случае попросту перестает делиться.
Тут нужно оговориться, что он частный и в реальности подобное бывает редко. Обычно есть некоторые участки в зданиях или на местности, где получается организовать сеть таким образом в пределах двух-трех хопов. Пример с домами искусственный и предназначен для демонстрации, как уже было отмечено выше.

Чем больше различных техник мы применяем - тем больший выигрыш в итоге получим. Помимо занижения мощности и чередования интерфейсов, есть и другие. Например, если мы установим исключительно Wave2 роутеры с MIMO 2x2 и включим MU-MIMO, то в некоторых случаях пропускная способность может увеличиться. Это сильно зависит от характера трафика и конфигурации самой сети, но именно в Mesh такие технологии как MU-MIMO работают с наибольшей эффективностью.

Практика

А теперь давайте посмотрим как прикинуть по-быстрому параметры беспроводной сети и сравним Сектор VS Mesh.



Да, вспоминать свои наработки по секторам уже можно.
Итак, основное отличие в том, то Mesh прекрасно работает там, где классические секторные решения просто не будут работать. Например, плотная застройка таунхаусами/коттеджами с большим количеством деревьев. Юстировать CPE сквозь листву - то еще удовольствие. А Mesh наоборот будет чувствовать себя хорошо, так как листва и дома подавляют сигнал от следующих за **next-hop** роутеров.
Второе главное отличие - масштабируемость. Если в классическом секторе уже присутствуют 30-40 абонентов, то добавление еще пяти ощутят на себе все без исключения. Увеличится средняя задержка и сильно упадет емкость, особенно если это плохой абонент с хреновым показателем LOS. Точные цифры зависят от того как работает TDMA/Polling и какой слот выделяется на абонента. Если

слот около 10 мс и сектор постоянно загружен, то я бы поставил на 20-30 мс увеличение средней задержки.
Инфинет предлагает считать по формуле:

(C*2.5*F)/S, где:

C - количество подключенных абонентских устройств (CPE),
F - размер фрейма, в миллисекундах,
S - используемое количество субслотов.

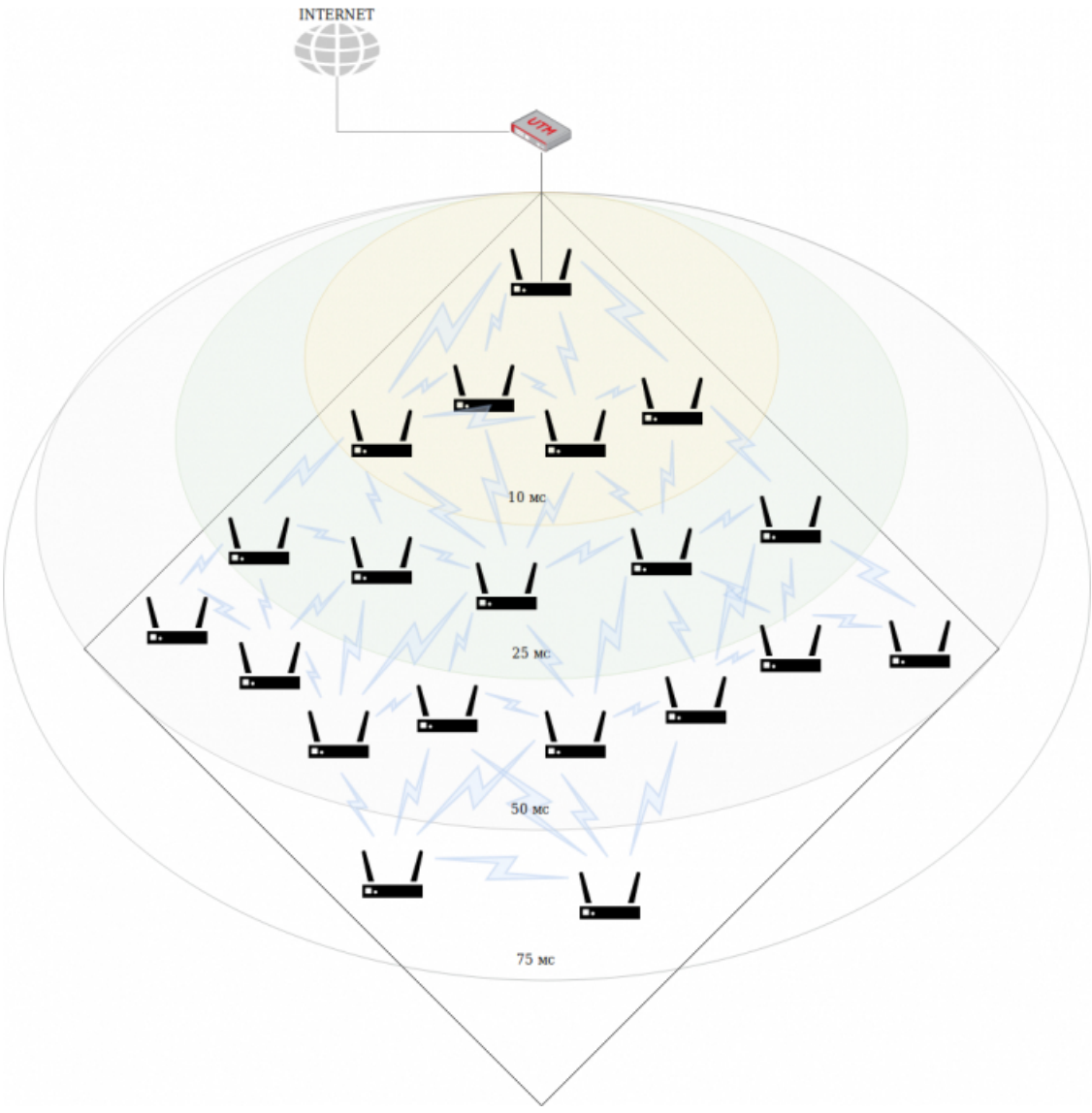
На 40 клиентах и полной нагрузке, это около 400 мс задержки. TDMA, чтоб его. В этом главный минус централизованного подхода с установкой БС - весь сектор делит одно и то же эфирное время.

Для Mesh показатель будет разный в разных участках сети. Те станции, что ближе к шлюзу, будут иметь наименьшую задержку, а самые дальние - максимальную.
Считать я предлагаю по такой же формуле:

(C*2.5*F), где:

C - количество Mesh роутеров в цепочке,
F - размер фрейма, в миллисекундах.

Если бы наш Mesh представлял из себя длинную вязанку из роутеров (частный случай), то в худшем варианте результаты расчетов максимальной задержки были бы точно такими же. Правда, с одной оговоркой - "только для крайних устройств". В середине это были бы, соответственно, 200 мс, а ближе к шлюзу у нас жили бы самые счастливые абоненты с задержкой около 10 мс.
Тут стоит учесть, что из-за относительно близкого расположения устройств, битрейт будет выше, чем в секторе примерно в два-три раза. А это значит, что время передачи одного фрейма снизится на эту величину и задержка также пропорционально уменьшится.



Если еще ближе подойти к реальности, то сеть имеет ячеистую топологию (ну, Mesh же) и количество

роутеров в цепочке будет примерно равняться (A/N), где:

A - общее количество роутеров,
N - среднее количество соседей.

Обычно N равняется 8 и по формуле получится примерно 50-75 мс максимальной задержки, 25 мс средней и около 5-10 мс на границе сети рядом со шлюзом.

А что получится при добавлении еще пяти абонентов?

Для этого предстоит ответить еще на один вопрос - "а в какую часть сети мы этих абонентов добавляем?". Если это самая дальняя от шлюза сторона, то остальная сеть ничего не заметит, так как для них количество роутеров в цепочке не изменилось. Если в середину, то это около 5 мс дополнительной задержки для дальней (от шлюза) половины сети. Как ни крути, а в данном случае влияние на задержку меньше примерно в десять раз. Почему так получается - ответ лежит на поверхности. Роутеры делят между собой только эфирное время соседей. Пока на дальнем конце кто-то передает свой кадр, в другой части сети происходит то же самое. Отсюда и выигрыш.

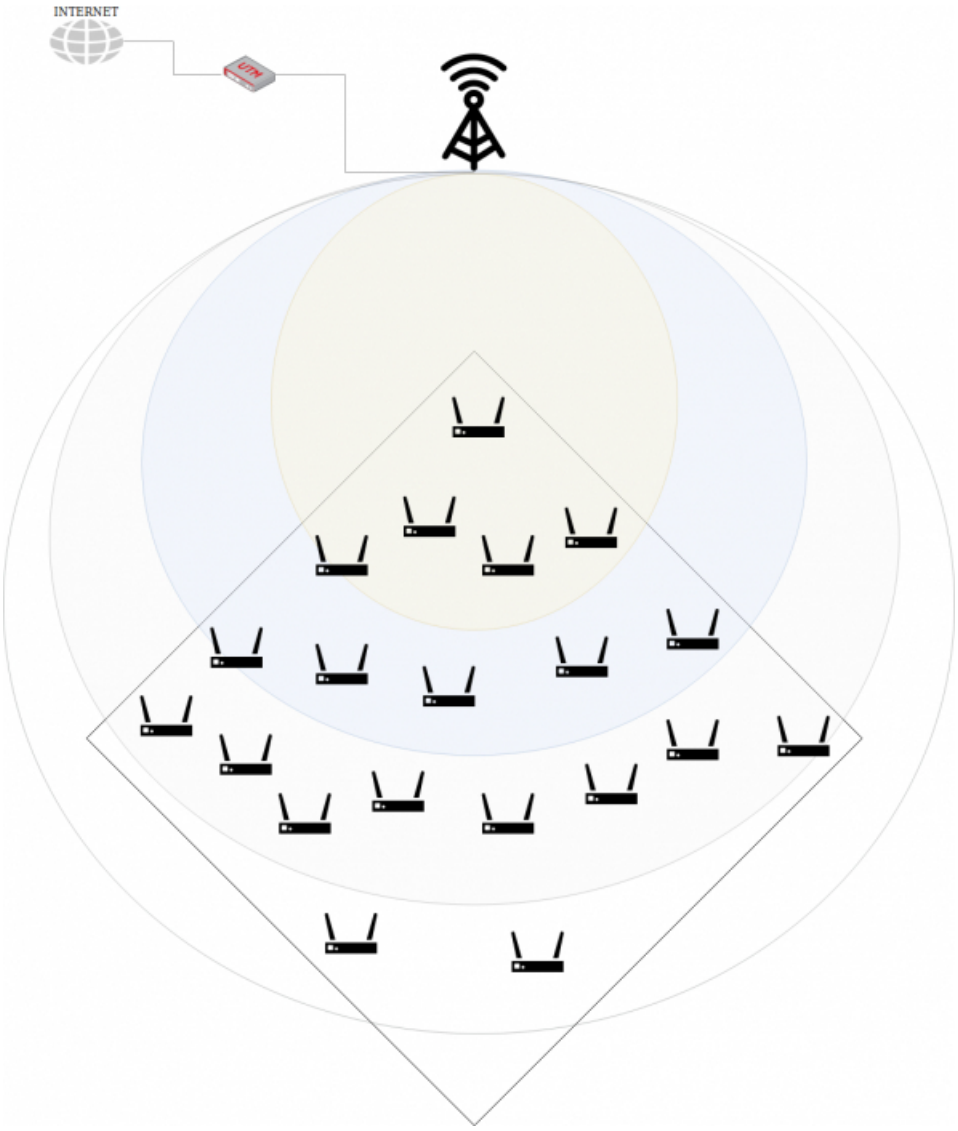
С пропускной способностью все чуть сложнее, но суть примерно та же. Я предлагаю считать емкость по такой формуле:

(B/A/K), где:

B - средневзвешенный битрейт. Пусть в нашем случае он будет равным 300 Мбит/с,
A - количество CPE,
K - эмпирический коэффициент издержек при использования эфира, равный 2.

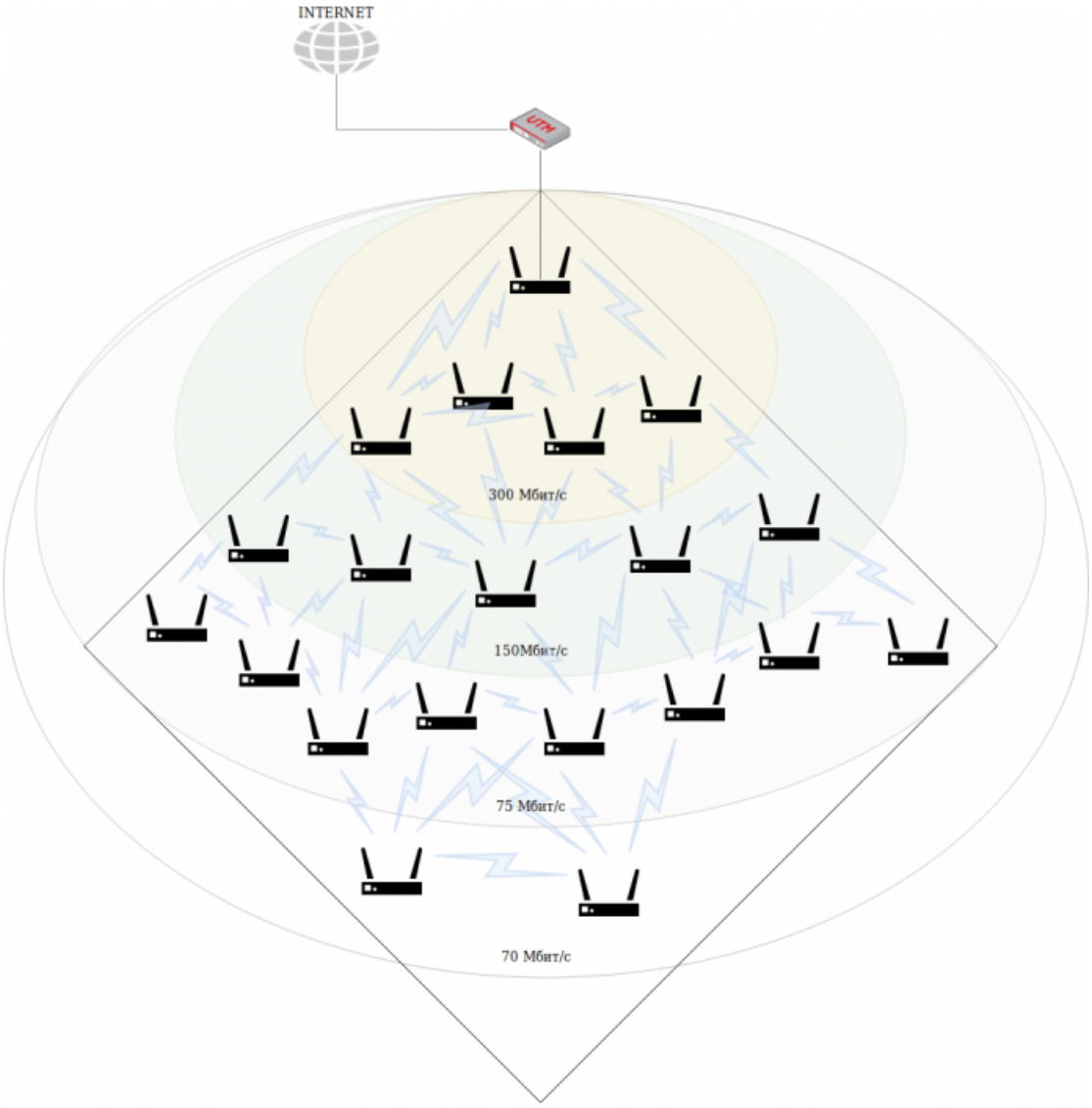
Для 40 абонентов получится среднее значение 3,75 Мбит/с. Если мы добавим пять дальних абонентов с не самым высоким битрейтом, то средний уменьшается, скажем до 280 Мбит/с. Получается уже среднее значение в 3,1 Мбит/с на каждый CPE.

Это при условии, что мы пытаемся выровнять трафик между всеми абонентами. В реальности будет большой дисбаланс между ближайшими к БС устройствами и отдаленными/с нарушением LOS.



В этом плане сектор очень похож на Mesh: чем дальше от шлюза/БС - тем хуже.

В Mesh-сети, как я уже писал ранее, у нас вновь будет неравномерность между ближайшими к шлюзу устройствами (первый-второй-третий хопы) и теми кто подальше. Картину сильно улучшают высокие, по сравнению с сектором, битрейты устройств. В нашей лаборатории это примерно 500-600 Мбит/с. Пропускную способность будем считать исходя из того же эмпирического коэффициента накладных расходов, равного 2. Графически это можно представить вот так:



Самые дальние абоненты получаются самыми дорогими. Ради доставки кадра придется "отнимать" эфирное время у других по несколько раз хоп за хопом.

Если отдать все на откуп великому рандому, то ближайшие к шлюзу устройства будут захватывать ресурсы быстрее и доминировать над провинцией (прямо как в жизни). Это позволит естественным образом ограничить доставку "драгоценных" кадров и не давать сети деградировать до 70 Мбит/с ради нескольких роутеров с периферии. Ценой такого упрощения будет абсолютно непредсказуемая задержка и пропускная способность в каждый момент времени.

Для более-менее равномерного распределения пропускной способности можно пойти двумя путями:

- Тяжелая наркомания в виде хитрых методов доступа к среде с выделением слота, основанных на сверхточной синхронизации времени между нодами через GPS или еще более наркоманских алгоритмов синхронизации времени по "lossy"-линкам. Эдакая попытка натянуть сову на глобус и сделать децентрализованный TDMA.
- Простое инженерное решение по ограничении скорости на AP или Ethernet-интерфейсах.

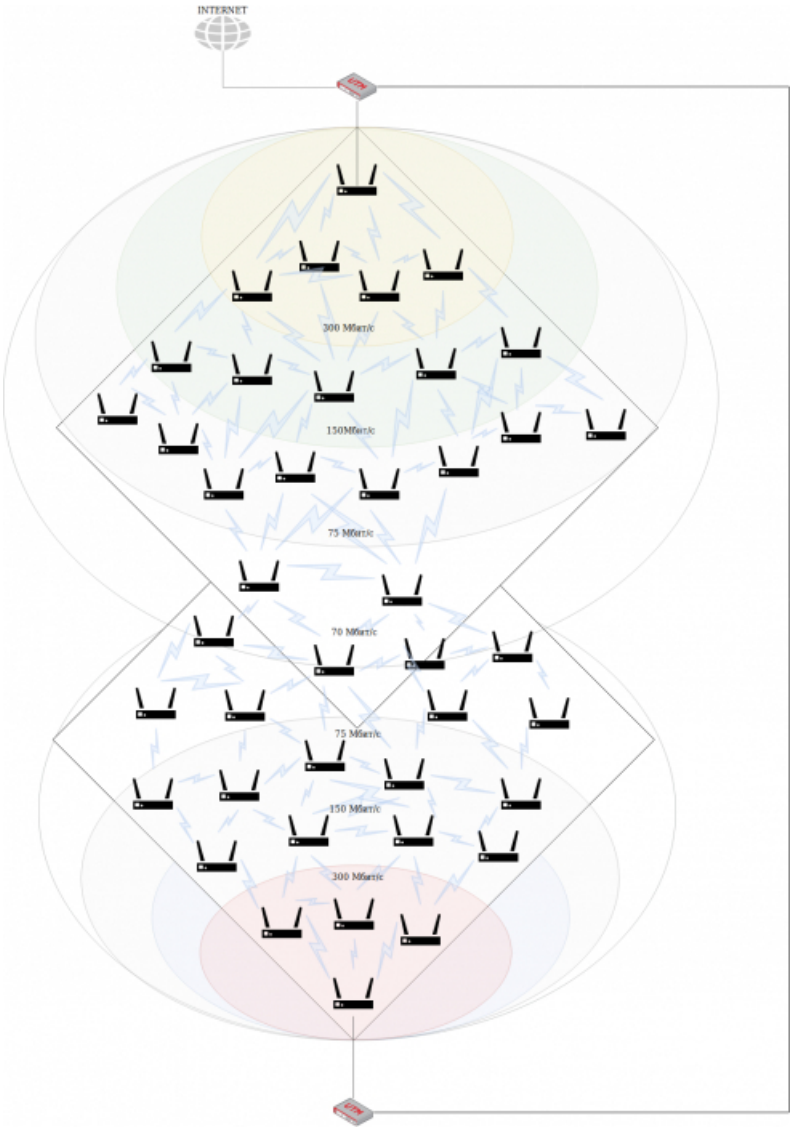
Какой же порог в мегабитах нам задать? Давайте попробуем посчитать. Для удобства выложу таблицу.

Пропускная способность участка Мбит/с	Количество роутеров на участке (шт.)	Итог Мбит/с
300	5	60
150	8	18.75
75	12	6.25
70	20	3.5
	Среднее значение	2.21

Это примерно в 1,7 раз меньше, чем результат, который мы получили в путем вычисления аналогичного параметра на секторе. Так как Mesh-сеть редко будет нагружена под 100%, я бы ограничил клиентское подключение порогом в 5 Мбит/с. Маловато? Я уже говорил выше, есть техники, позволяющие увеличить пропускную способность примерно в два раза. **MU-MIMO** на физическом уровне и **Linear Network Coding** на канальном. Исходя из различных тестов, можно говорить о приросте примерно в полтора раза за счет **MU-MIMO** и до 30% за счет **Linear Network Coding**. О них я расскажу как-нибудь в следующий раз. Можно догнать среднюю скорость до 4,5 Мбит/с ценой небольшой потери в задержке (10-20%) и это будет даже больше, чем на секторе с таким же количеством абонентов.

Тут уже сценарий для провайдеров: ограничить на Ethernet в соответствии с тарифом "5 Мегабит" и пользоваться тем, что в любой точке можно смело увеличивать до 10 Мбит/с.

Нет, я не ставлю себе цель показать, что Mesh лучше и по всем показателям обходит сектор. Я лишь хочу показать, что порядок цифр одинаков и разница на уровне погрешности в вычислениях. Так что, внимания заслуживают оба подхода.
Хотя, тут стоит добавить очень важную деталь. **MU-MIMO** и **Linear Network Coding** - это техники, относящиеся непосредственно к роутерам. Есть и другой подход - техники, относящиеся к архитектуре сети. Если учесть, что базовых станций мы не ставим и затраты на подведение канала кратно снижены, можно установить на границе сети второй шлюз. Желательно сделать это на противоположном краю, и ниже я объясню почему.



В Mesh-сетях деление пропускной способности начинается от шлюза или точки входа. Градиент устремляется примерно в середину сети и там находятся самые дорогие, в плане затрат на доставку кадров, абоненты. Установкой такого шлюза на другом конце сети мы, фактически, делим количество максимальных хопов пополам, а каналы первого и второго хопов обоих шлюзов будут абсолютно независимы в плане разделения эфирного времени, так что их пропускную способность можно смело складывать. В идеале, конечно, подвести третий канал прямо в середину (ну а что, LHG60 стоит очень дешево).

Горизонтальное масштабирование - это главный конек Mesh. Сектор с трудом, но вытянет 60-80

абонентов. Mesh-сеть совершенно спокойно может включать в себя 100-300 устройств. Для сектора это уже тот уровень, когда задержки перевалят за 1-2 секунды и многие приложения начнут говорить "Давай, до свидания!" при попытке подключиться.

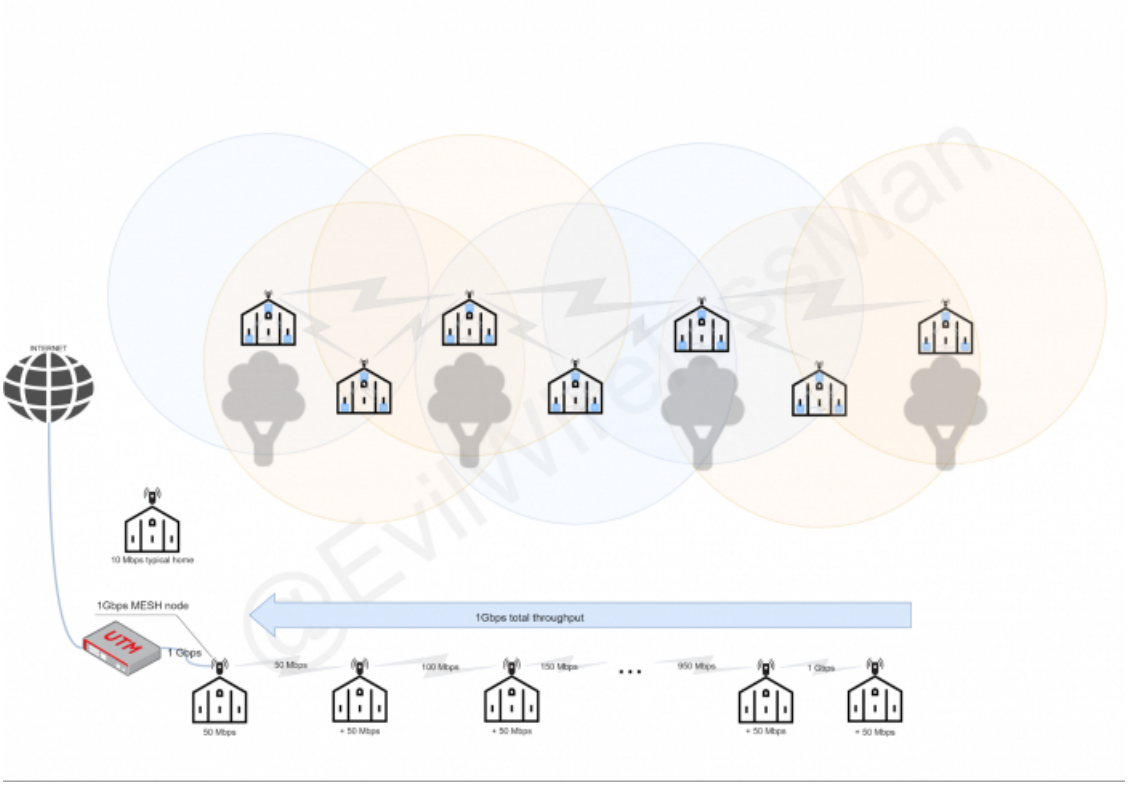
Типовые сценарии

Теперь решим задачу. У нас есть зажиточный коттеджный поселок на 200 домов, расположенный ООЧЕНЬ далеко от города в живописных местах, где берет только пара операторов мобильной связи и звонить можно, но из интернета доступен, разве что, EDGE. Все как один хотят интернет и чтоб 25 Мбит/с. Жители настолько круты и организованы, что грозятся периодическими флешмобами по одновременному тестированию пропускной способности всем поселком. Места очень живописные и портить внешний вид всякими вышками местные жители позволят, разве что, через свой труп, а так же грозятся засудить всякого, кто попробует построить хоть что-то высокое и уродливое (в их понимании) на расстоянии до 5 км от границы поселка. Всюду аккуратные дорожки из плитки, небольшие аккуратные фонари освещения и силовые провода, спрятанные под землю. Глава поселка, отвечающий за чистоту и красоту, после предложения покрыть поселок xPON и протянуть по столбам оптику, чуть было не запустил в вас папкой с документами, но вовремя остановился и пояснил, что такое решение нарушит внешний облик и категорически неприемлемо.

Вы уже поняли к чему я клоню. Вышки ставить нельзя, кабель тянуть нельзя. Возможны следующие варианты:

1. Подключение уже присутствует на границе сети

Каким-то чудом оказалось, что рядом проходит оптика xТелеком и, слава великому рандому, у начальника участка хорошее настроение. Он поведал, что как раз не знает, кому бы продать еще одно волокно, руководство задает неудобные вопросы, а тут вы. Цена всех устроила, жители не против, но ставят условие обязательно восстановить естественное покрытие местных холмов. На том и порешали. Гигабитный аплинк у нас есть, УРА!

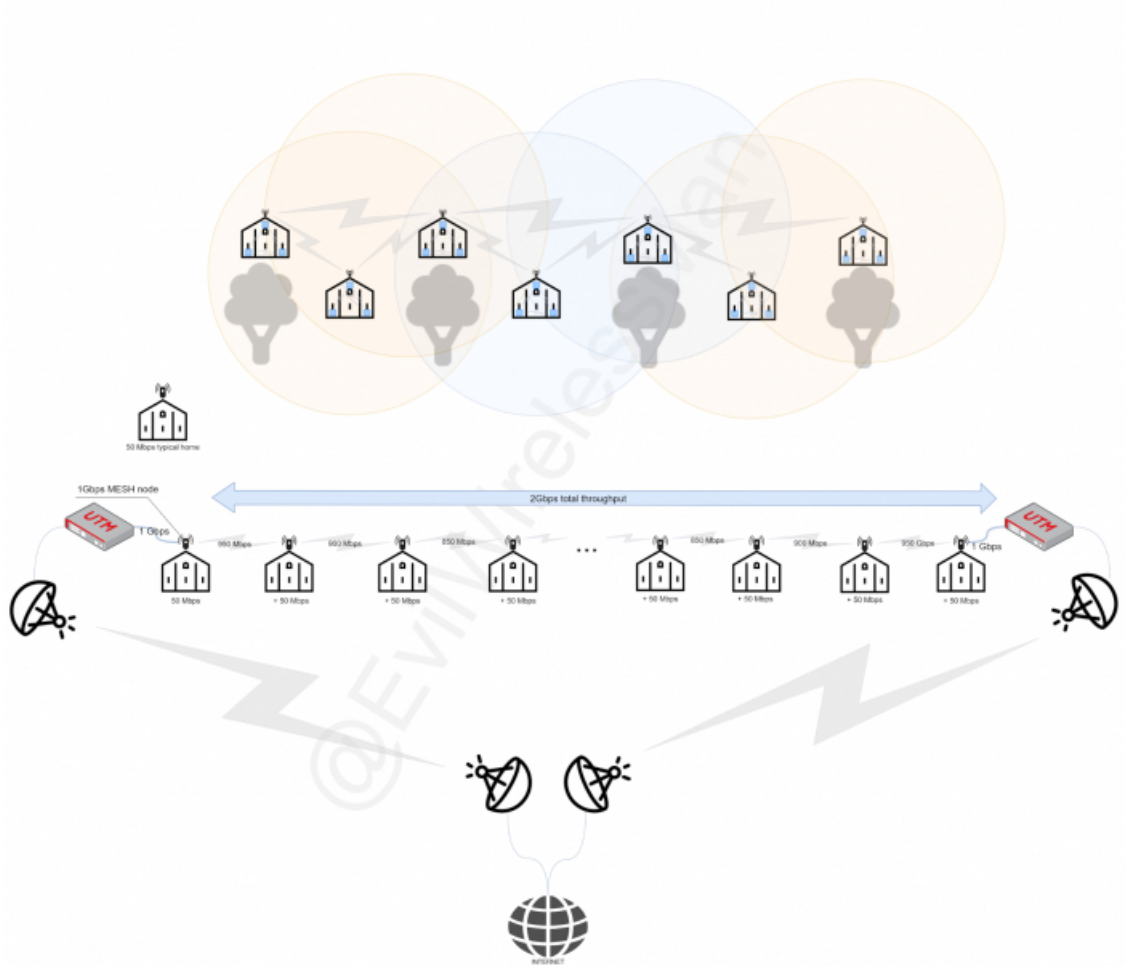


2. Подключение РРЛ

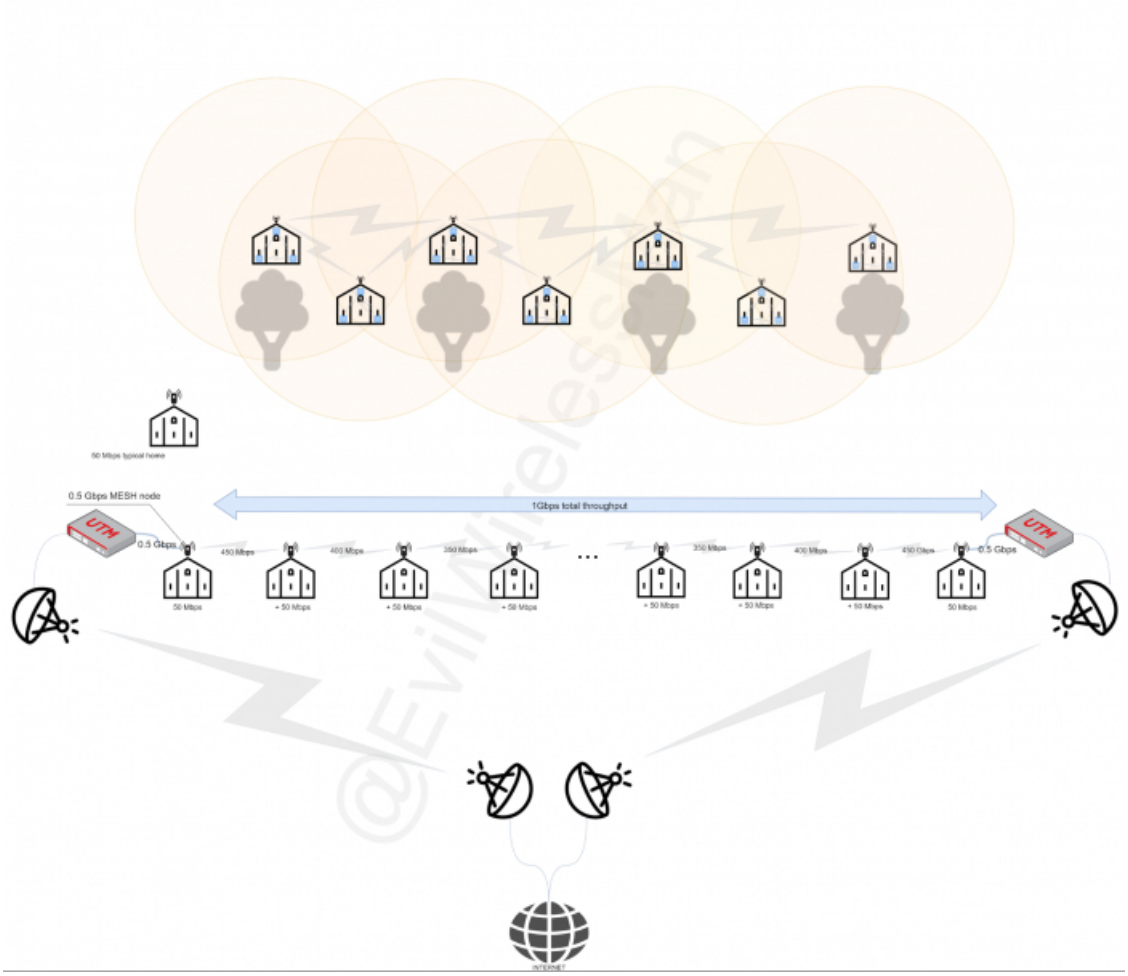
В этой вселенной судьба не была к вам так благосклонна и жители не согласились портить живописные луга.



Вроде обидно, но есть шанс вывести ситуацию в положительное русло, а может даже и с выгодой для себя. Итак, следим за руками. Подвести интернет в поселок можно и РРЛ, особенно при ценах на такие устройства как LHG60. Подключить по старой схеме с одним шлюзом можно, но мы это уже считали и такое решение нам не интересно. По традиции я предлагаю два ~~стула~~ варианта: подключение в двух точках с увеличением пропускной способности на клиента до 100 Мбит/с и подключение в двух точках с удешевлением абонентского устройства в полтора-два раза.



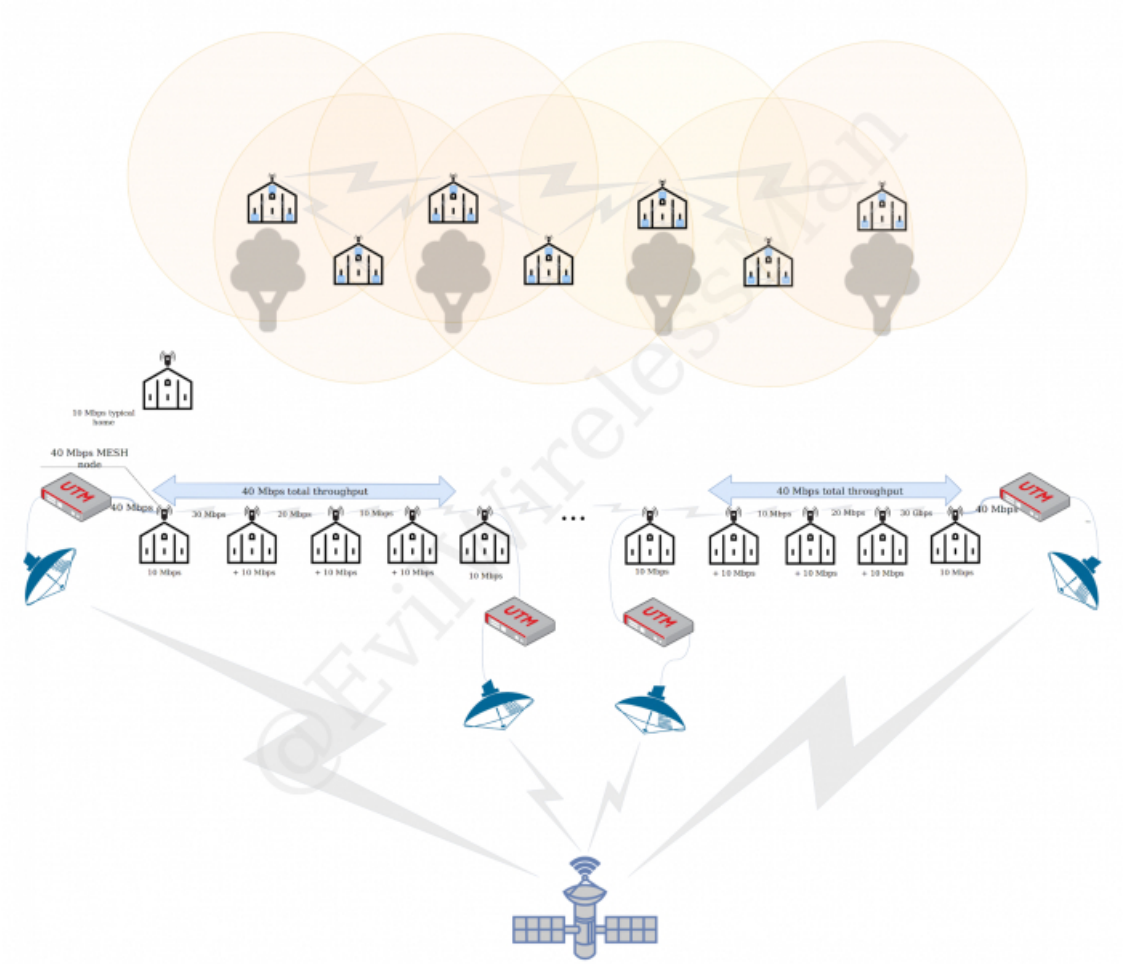
Начнем с первого варианта. Обратите внимание на картинку. Синий и оранжевый цвета вновь обозначают зоны распространения сигнала. В данном случае преимущество дорогих Mesh-роутеров с двумя радиомодулями позволяет увеличить реальную пропускную способность вдвое (и уменьшить вдвое задержки, да-да) за счет добавления второго шлюза. Таким образом, можно заложить увеличение пропускной способности всем клиентам до 100 МБит/с без какой-либо замены оборудования, устроить промо или сразу брать с них в два раза больше денег.



Во втором случае (без удвоения) мы придерживаемся той же стратегии, но используем устройства с одним радиомодулем. Ориентировочно, они обойдутся в два раза дешевле. Картинка с домами вся покрыта оранжевым, что символизирует использование одного общего канала на всех.

3. Подключение спутниковым каналом.

В этом случае начальник участка оказался мудаком и оптикой не поделился. Вокруг только лес, луга и холмы. Единственное решение, которое хоть как-то может подарить людям интернет - это двунаправленный спутниковый канал. Триколор сегодня предлагает безлимит до 40 Мбит/с на одного клиента за символическую цену. Дело осталось за малым - установить людям несколько комплектов в поселке, развернуть Mesh-сеть и наслаждаться своей маленькой монополией.



Скорости небольшие, но альтернатив нет. К тому же, всегда можно поставить еще пару спутниковых комплектов и увеличить общую пропускную способность (да, снова горизонтальное масштабирование).

Итоги

В общем и целом можно подытожить все вышесказанное в виде таблицы.

Особенности	**PTMP**	**MESH**
Деградация пропускной способности при добавлении новых клиентов	Высокая	Низкая
Увеличение средней задержки при добавлении новых клиентов	Значительное	Практически отсутствует
Эффективность при малом количестве абонентов	Высокая	Низкая
Эффективность при среднем количестве абонентов	Средняя	Средняя
Эффективность при большом количестве абонентов	Низкая	Высокая
Характер распределения задержки	Равномерный, задержки высокие	Градиент в сторону увеличения по направлению от шлюза.
Влияние естественных преград на пропускную способность (эффективность в среде плотной застройки с зелеными насаждениями)	Кратная деградация	Кратное увеличение
Стоимость развертывания	Высокая	Низкая
Стоимость абонентского комплекта	Низкая	Низкая/Средняя
Стоимость базовой станции	Высокая	Отсутствует

Скорость монтажа	Низкая	Высокая

Надеюсь, было познавательно. В следующих статьях мы разберем протоколы маршрутизации для Mesh сетей и, собственно, какие технологии в данных сетях применяются.

Еще увидимся.

Искренне ваш,
Злой Беспроводник.
@EvilWirelessMan