Анализ архитектуры многоуровневых сетей WiMAX-Wi-Fi

Multi-tier WiMAX-Wi-Fi – многоуровневая WiMAX-Wi-Fi сеть возникла как перспективное решение для быстрого развертывания услуг предоставления широкополосного доступа абонентам, использующим беспроводные устройства. Эта технология является гибридом сетей Wi-Fi и WiMAX, она (как и любая беспроводная технология) будет особенно полезна в тех местах, где прокладка проводной инфраструктуры обойдется слишком дорого, либо необходима организация временного доступа к сети Интернет.

Сеть WiMAX для качественного обеспечения радиодоступа имеет улучшенный алгоритм управления качеством обслуживания QoS (Quality of Service), высокую надежность и широкий диапазон используемых частот. Однако технология WiMAX использует лицензируемый диапазон частот, а в настоящее время масштабное развитие этих сетей несколько приостановлено по причине внедрения технологии LTE.

Технология Wi-Fi же, наоборот, несмотря на повсеместное использование сетей LTE, не утратила своей популярности, а беспроводное оборудование диапазона 2.4 ГГц по-прежнему пользуется большой популярностью и широко доступно на рынке телекоммуникационного оборудования. Wi-Fi имеет довольно высокую производительность и относительно низкую стоимость, правда диапазон частот ограничен, да и надежность низкая, а QoS и вовсе не предусмотрен.

Таким образом, ведущим специалистам области инфокоммуникаций пришло в голову синтезировать гибрид из технологий Wi-Fi и WiMAX, объединив их сильные стороны для создания многоуровневых (multi-tier) сетей. В таких сетях предполагается организовывать радиопокрытие с помощью оборудования Wi-Fi, где WiMAX базовая станция будет установлена в качестве транзитного узла, обслуживающего Wi-Fi станции.

Появление многоуровневых WiMAX-Wi-Fi сетей предвещает появление большого числа вариантов ее организации, в частности может быть различно: количество абонентского Wi-Fi оборудования на узел, соотношение между WiMAX и Wi-Fi станциями в зоне обслуживания и т.д. Трудно предугадать, как различные конфигурации сети скажутся на качестве услуг, и будут-ли они удовлетворять требованиям пользователей (скорость передачи данных, качество радиопокрытия) и каковы будут условия эксплуатации (количество поддерживаемых абонентов).

В настоящее время специалистами рассматриваются различные гибридные архитектуры таких многоуровневых сетей. В некоторых вариантах работают над улучшением архитектуры с целью организовать полную поддержку услуг QoS. В других вариантах предлагается использовать совместную полосу пропускания в сетях WiMAX и Wi-Fi. В этом случае пропускная способность распределяется между абонентскими станциями WiMAX и точками доступа Wi-Fi. Усилия также направлены на решения таких вопросов, как оптимизировать такую разнородную архитектуру не затрагивая ключевые параметры: ширина полосы пропускания, количество каналов, поддерживаемое количество абонентов и т.д. Перечисленные характеристики имеют решающее значение для успешного развертывания сетей беспроводного доступа.

Самым же перспективным направлением конечно же является направление развития бесшовной интеграции двух этих технологий с целью обеспечения необходимого качества обслуживания и в то же время обеспечения разгрузки полосы пропускания.

В статье мы рассмотрим, как различные варианты конфигурации таких сетей работают в разных условиях и насколько они отвечают требованиям пользователей.

Архитектура сети multi-tier

Сетевая архитектура multi-tier сети состоит из сети транспортного уровня WiMAX, а также транзитного уровня и уровня доступа – Wi-Fi, как показано на рисунке 1.

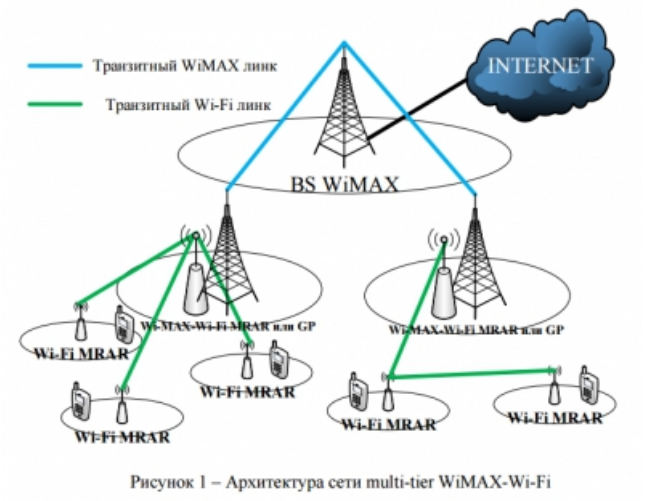

Рисунок 1 – Архитектура сети multi-tier WiMAX-Wi-Fi

Дадим небольшие комментарии к сетевой архитектуре. Ее можно разбить на несколько логических уровней: первый состоит из WiMAX узлов, работа которых координируется главной базовой станцией WiMAX (BS) – эта базовая станция предоставляет услуги беспроводной транспортной сети для маршрутизаторов радиодоступа MRAR (Multi Radio Access Routers). На втором уровне находятся MRAR, которые предоставляют услуги доступа и в то же время образуют множественный доступ к другим mesh-сетям, либо с другими MRAR.

Каждый MRAR может быть оснащен оборудованием радиодоступа как технологии Wi-Fi, так и иметь смесь из обоих WiMAX и Wi-Fi радиоинтерфейсов. Независимые линки транзитных соединений могут быть организованы через пару радиоинтерфейсов двух MRAR с использованием направленных антенн (справа на рисунке), так и с использованием всенаправленных антенн (слева на рисунке). Какой вариант выбрать зависит от компромисса между стоимостью организации сети и производительностью. На третьем уровне сети находятся беспроводные абонентские точки доступа AP (Access Point).

Различные варианты формирования многоуровневой сети

Ниже нами будут рассмотрены варианты формирования сети в городской зоне, где необходимо обеспечить равномерное радиопокрытие на всей обслуживаемой территории. В таких задачах радиопокрытие принято графически обозначать в виде шестигранников, такое представление типично и применяется при планировании сотовых сетей связи. На рисунке 2 показана двухуровневая топология формирования сети, имеющая структуру сот, состоящую из семи шестигранников (предполагается, что все шестигранники равны по размеру).

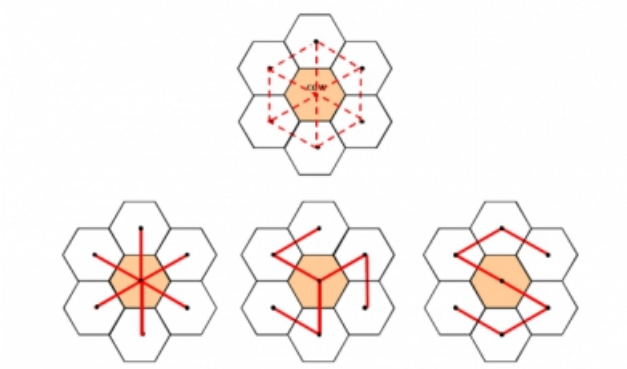

Рисунок 2 – Двухуровневая топология формирования сети (пример для семи ячеек в кластере)

Пунктирными линиями показаны возможные альтернативные пути прохождения сигнала. С точки зрения емкости, ячеистая сеть похожа на дерево с множеством возможных вариантов ретрансляции сигнала, когда вся сеть работает при максимальной нагрузке. Среди семи ячеек – центральная выбрана в качестве шлюза GP (Gateway Point). На серии рисунков ниже (3.A-3.F) показаны различные варианты организации многоуровневой архитектуры, но следует отметить, что вариантов реализации может быть намного больше. Варианты (3.A – 3.F) перечислены в порядке возрастания числа Wi-Fi ячеек в кластере и максимального числа транзитных Wi-Fi хопов.

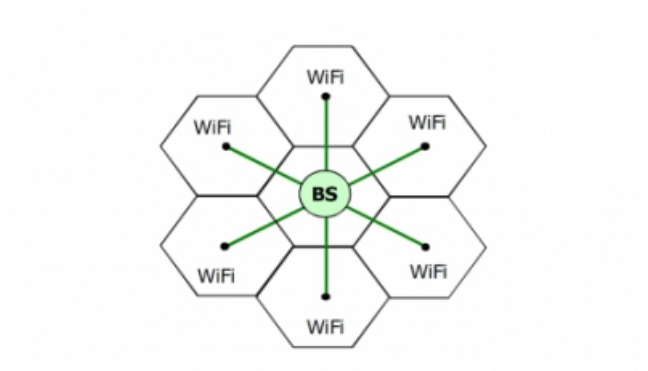

Рисунок 3. A – Конфигурация сети multi-tier 1:7:7; 1 хоп

Расшифровка конфигурации сети: в отношении 1:7:7 первая цифра означает количество WiMAX базовых станций; вторя – количество Wi-Fi шлюзов GP; третья – общее количество точек доступа. Цифра перед хопами – количество устройств, которые должен "преодолеть" пакет абонента до базовой станции. Рассмотрим другие варианты реализации сети:

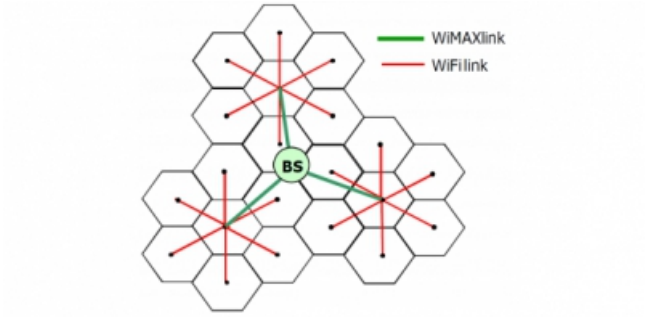

Рисунок 3. B – Конфигурация сети multi-tier 1:3:21; 2 хопа

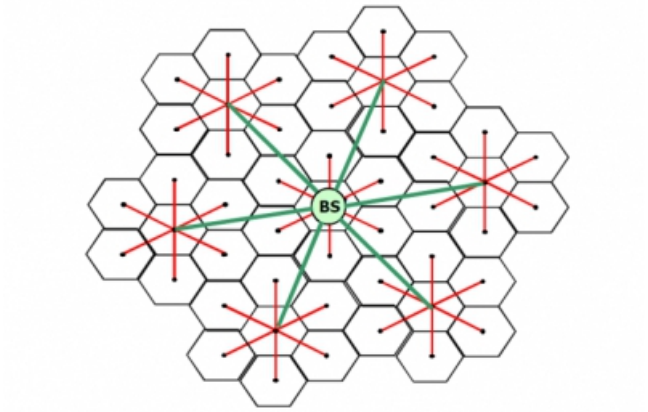

Рисунок 3. C – Конфигурация сети multi-tier 1:7:49; 2 хопа

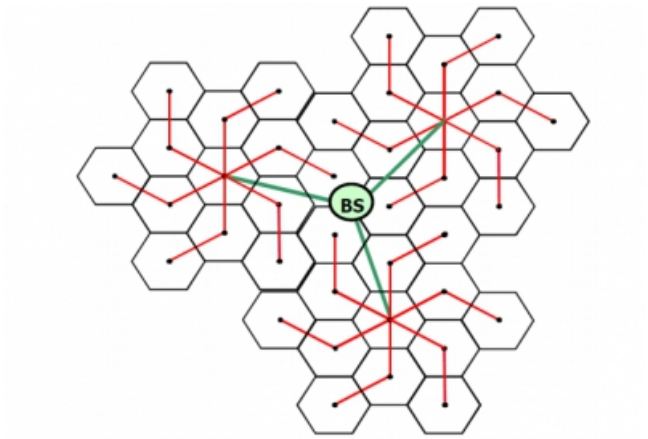

Рисунок 3. D – Конфигурация сети multi-tier 1:3:39; 3 хопа

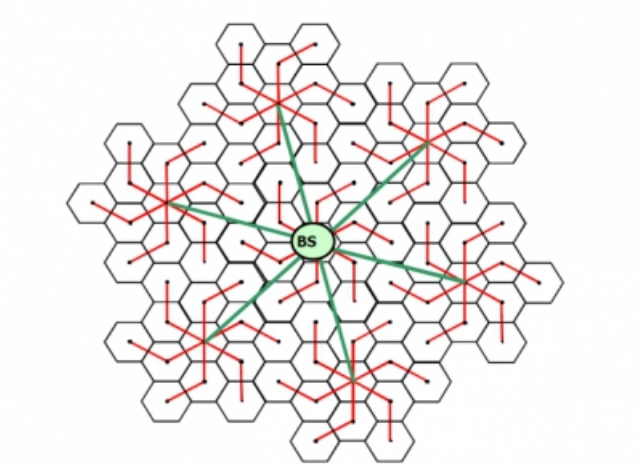

Рисунок 3. E – Конфигурация сети multi-tier 1:7:91; 3 хопа

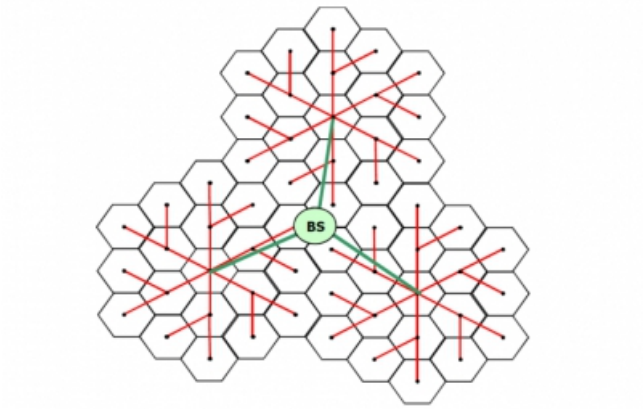

Рисунок 3. F – Конфигурация сети multi-tier 1:3:57; 3 хопа

Анализ вариантов реализации многоуровневой сети

Ниже будут приведены серии графиков, позволяющие оценить качество рассмотренных выше топологий. Для анализа сети были задача начальные условия, описанные в таблица ниже:

Наименование	Значение	WiMAX	Wi-Fi
Высота антенны	м	10	10
Частота	ГГц	2,3	2,4
Ширина канала	МГц	5, 10, 20	20
Усиление изотропной антенны	дБм	57, 60, 63	20
Усиление антенны BS и MRAR	дБи	17	17
Усиление антенны абонентского терминала	дБи	–	0
Скорость передачи данных на 1 пользователя	Мбит/сек	1	1

Помимо этого, было предположено, что в пределах одного кластера ширина полосы пропускания распределена между всеми точками доступа равномерно. Это значит, что узлы, достаточно удаленные от шлюза GP (то есть узлы, имеющие большое количество хопов) имеют ту же пропускную способность, что и узлы, расположенные ближе к шлюзу GP. На практике это достигается путем применения различных известных методик, описанных в существующей литературе, таких как контроль трафика приема в точке доступа и планирование полосы пропускания в MRAR. При анализе также предполагается, что абоненты равномерно распределены по всей площади развертывания сети и каждая область состоит из числа кластеров с повторяющимся рисунком. Также для упрощения исследования предполагается, что высота установки антенн одинакова для всех узлов – абонентских и базовых станций, а интерференция между каналами отсутствует. Это возможно, когда доступно достаточное количество ортогональных поднесущих.

Математические модели, позволяющие проанализировать поставленную задачу, были использованы следующие: модель потерь распространения радиосигнала COST231-HATA (urban), а также модель, описанная в статье IEEE Std 802.16-2009, Standard for Local and Metropolitan Area Networks, Part 16: Air Interface for Broadband Wireless Access Systems, May 2009. Здесь математические излишества даны не будут, сразу перейдем к рассмотрению результатов.

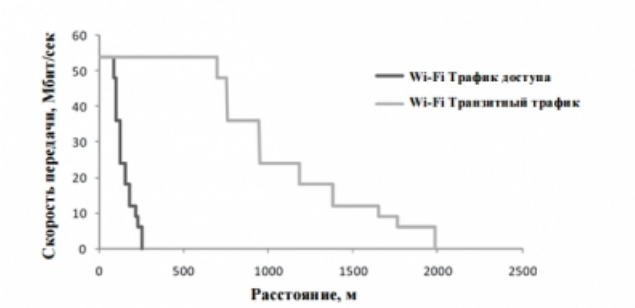

Рисунок 4 – Зависимость скорости передачи данных Wi-Fi от расстояния для линка доступа и транзитного линка

Под линком доступа понимается случай, когда абонент получает доступ к сети непосредственно через точку доступа, под транзитным линком понимается то, что точка доступа выступает в роли транзитного узла (хопа).

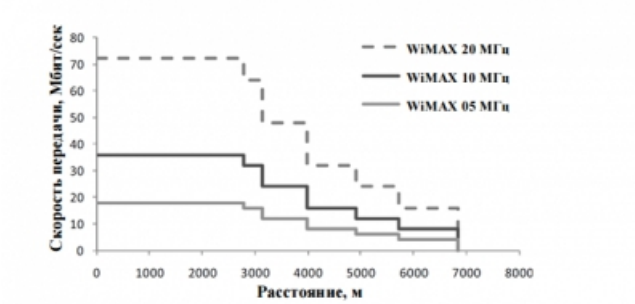

Рисунок 5 – Зависимость скорости передачи данных WiMAX транзитного линка от расстояния для каналов шириной 5, 10, и 20 МГц.

На основе тех параметров, которые были приведены выше, на рисунках 4 и 5 показаны расчётные теоретические максимумы скорости передачи данных для заданных расстояний. Следует отметить, что значительная разница в расстоянии для линка доступа и транзитного линка связана с коэффициентом усиления антенны (см. таблицу). Максимум скорости передачи данных для транзитного соединения WiMAX связана с заложенной шириной канала.

На рисунке 6 показано максимальное количество пользователей, подключенных на скорости до 1 Мбит/сек, которое могут обеспечить рассмотренные ранее конфигурации multi-tier сети (A, B, C, D, E, F) для различной ширины канала.

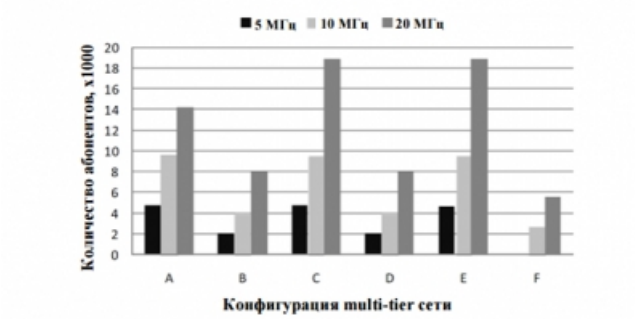

Рисунок 6 – Максимальное количество абонентов для multi-tier сетей (A-F)

На рисунке 7 показана площадь охвата для сетей различной конфигурации.

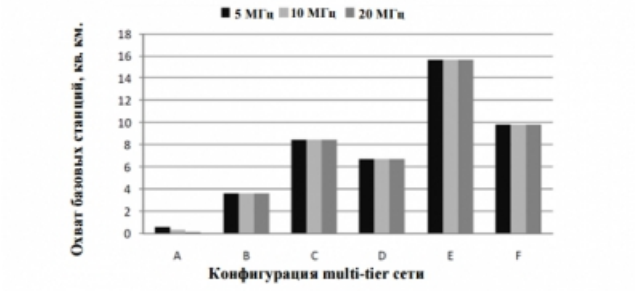

Рисунок 7 – Максимальная площадь охвата multi-tier сетей (A-F)

Следует отметить, что конфигурация сети E поддерживает наибольшее количество пользователей и

имеет максимальный охват по сравнению с другими конфигурациями, но в то же время она требует наибольшего количества WiMAX и Wi-Fi оборудования. Конфигурация сети A имеет наименьший охват из-за небольшого размера кластера.

Плотность установки базовых станций является критическим показателем с точки зрения стоимости развертывания сети, поэтому ниже приведены графики, показывающие, какое количество базовых станций необходимо для предоставления доступа 1000 пользователей на 1 квадратный километр. Отметим, что сети конфигурации C и E в этом плане также предпочтительнее. Для конфигурации A большое число базовых станций обусловлено ограниченным радиусом сети. Для полосы пропускания в 5 МГц возрастает количества базовых станций за счет того, что слишком возрастает количество транзитного трафика, передаваемого в узкой ширине полосы частот, то есть увеличение пропускной способности сети происходит не за счет увеличения ширины канала, а за счет установки дополнительных базовых станций.

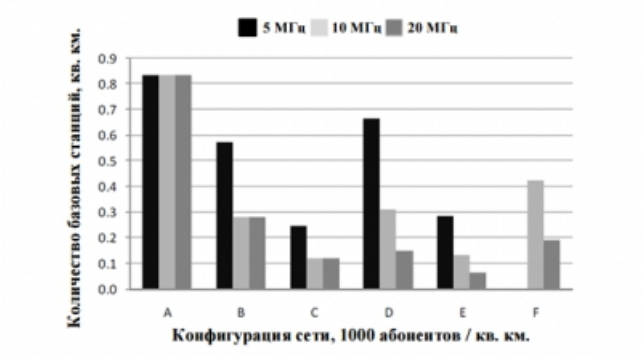

Рисунок 6 – Минимальное количество базовых станций для 1000 абонентов на кв. км.

Заключение

В статье приведены данные анализа производительности многоуровневой сети WiMAX-Wi-Fi для нескольких ее конфигураций, условий эксплуатации и требований пользователей. Из указанных графиков видно, что производительность WiMAX-Wi-Fi сети сильно зависит от различных факторов, начиная от ширины полосы пропускания; количества MRAR, поддерживаемых в сети, скорости передачи данных и плотности распределения абонентов.