Тенденции развития 5G сетей. Новые частоты E-диапазона и технология OAM

Уже ни для кого не секрет, что с развитием систем беспроводной связи пятого поколения (5G) предлагается использование миллиметрового диапазона длин волн. Не так давно для соединений точка-точка был стандартизирован E-диапазон, работающий на частотах 71-76 и 81-86 ГГц. Подробнее с его особенностями можно ознакомиться на сайте компании Huawei.

Темпы развития сетей пятого поколения настолько стремительные, что опережают все предыдущие поколения сетей 1G-4G. И если еще пару лет назад внедрение сетей пятого поколения планировалось на 2020 год, то буквально в прошлом году уже стало известно, что некоторые коммерческие сети начнут свою работу уже в 2018 году, опережая тем самым все прогнозы. Технологии 5G позволят обеспечить самые высокие скорости передачи данных, доступные на сегодняшний день. На рисунке 1 показана диаграмма сравнения технологий IMT-Advanced (4G) и IMT-2020 (5G).

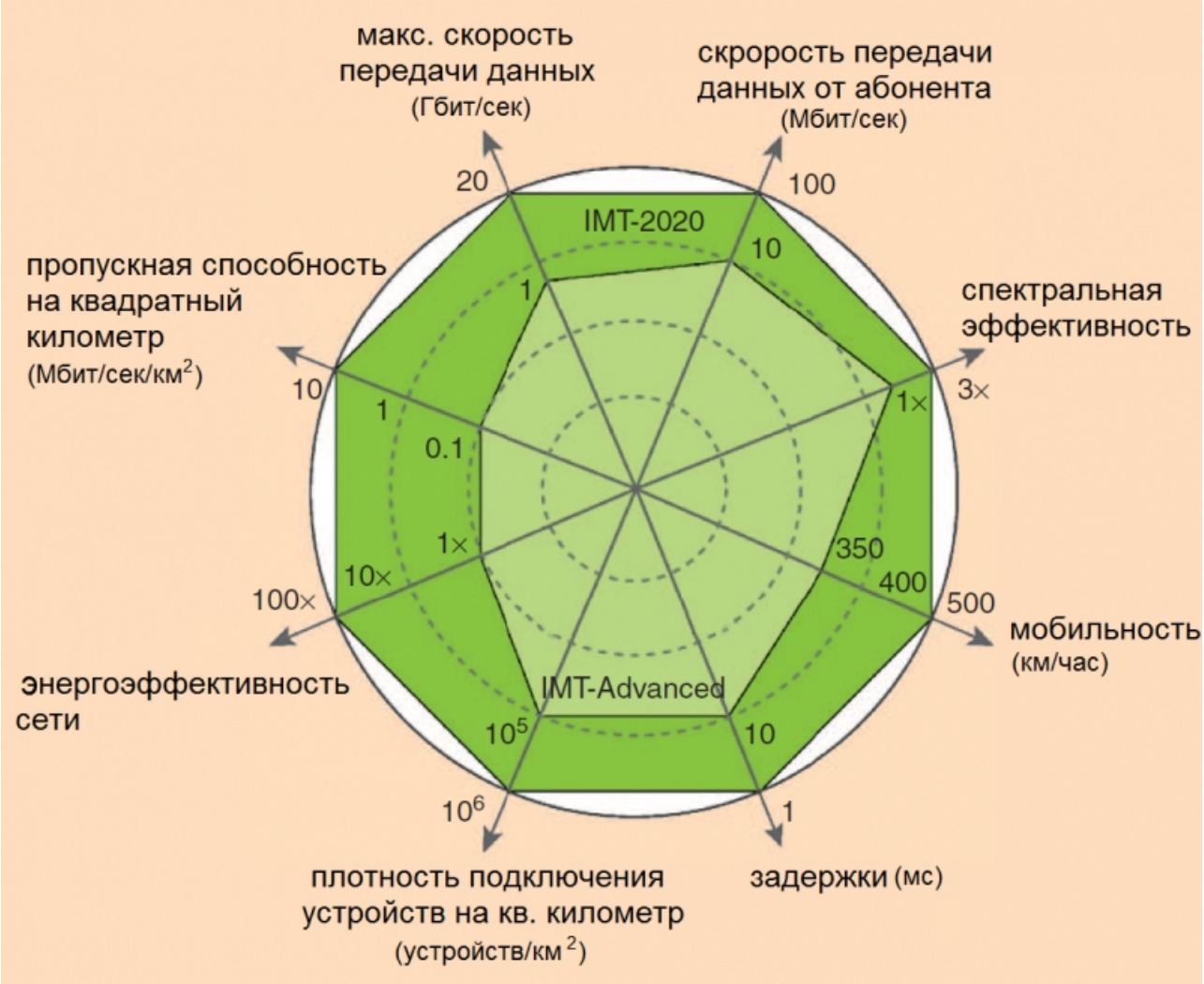
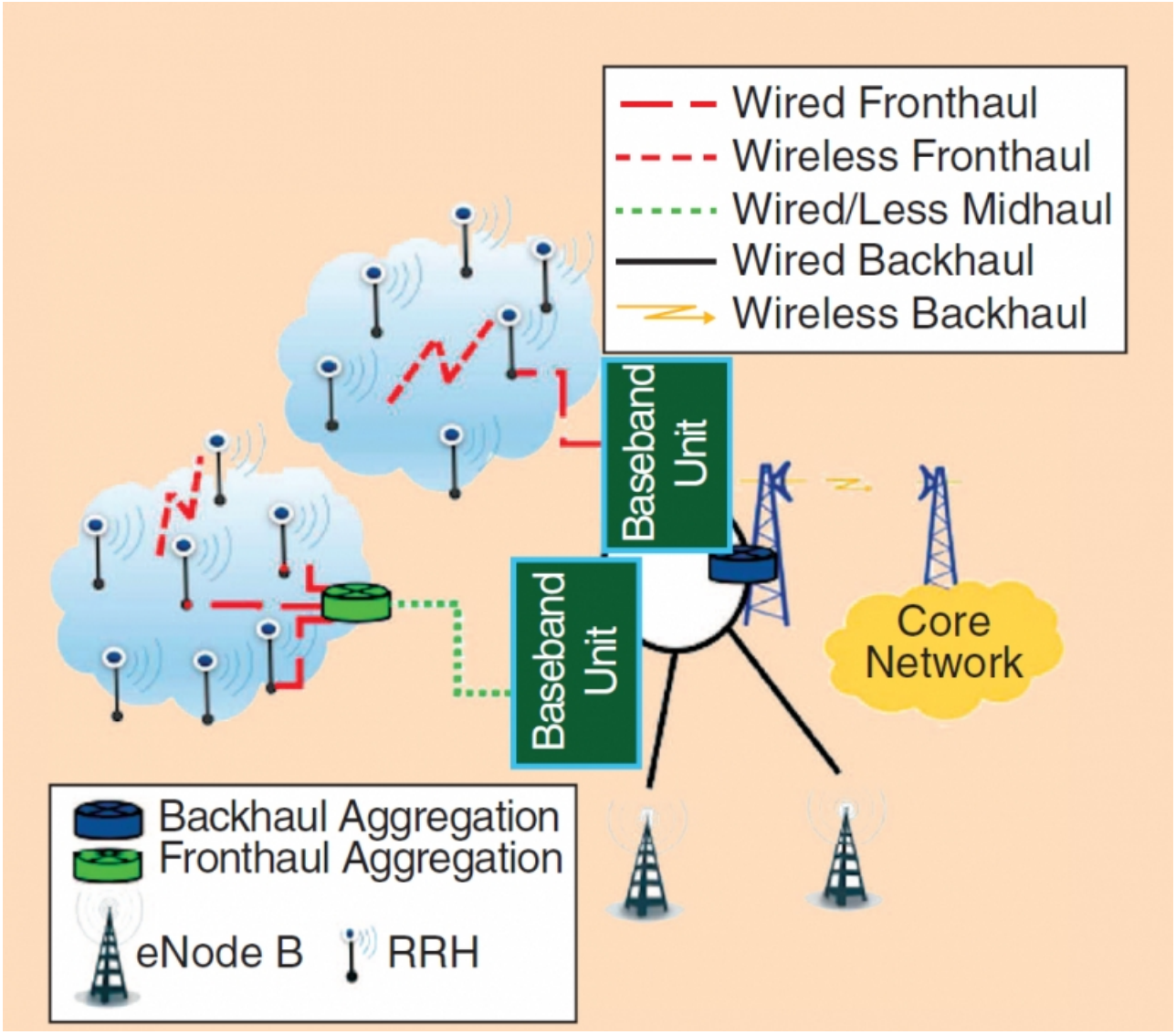
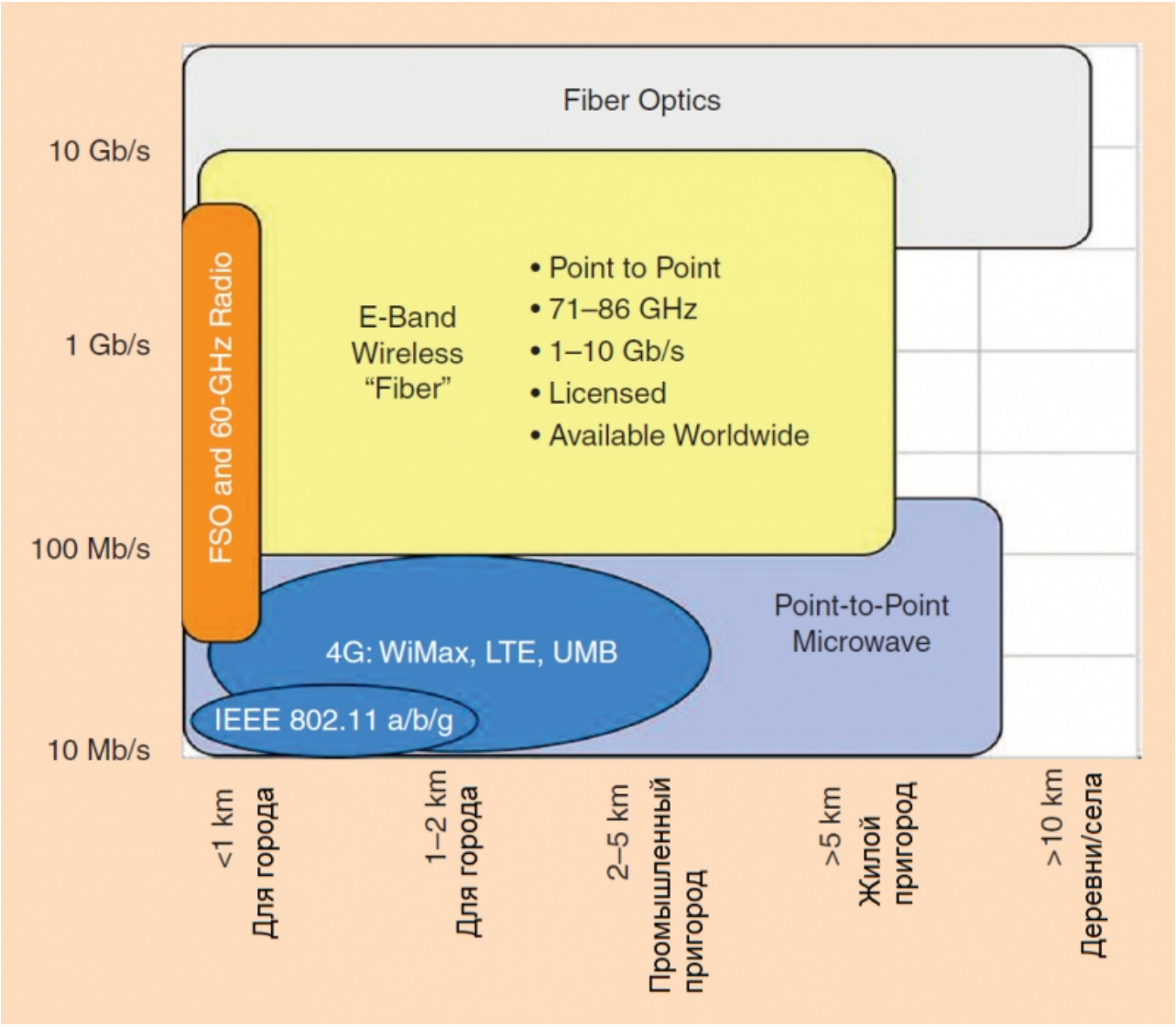


Диаграмма была разработана Международным союзом электросвязи (МСЭ), специализированным учреждением Организации Объединенных Наций по информационно-коммуникационным технологиям. Из диаграммы можно сделать вывод, что планируется значительное увеличение скорости передачи данных пользователей (почти на порядок для некоторых характеристик), а также значительное увеличение пропускной способности и зоны радиопокрытия. Для создания сетей следующего поколения потребуется не только реализация нового аппаратного и программного обеспечения, удовлетворяющего требованиям 5G сетей, но также возникает необходимость в разработке инфраструктуры для микроячеистых сетей, так как передача данных будет вестись, в том числе, и на маленьких дистанциях, на частотах до 100 ГГц. До сетей пятого поколения основное внимание уделялось совершенствованию беспроводных устройств и интерфейсов, но с учетом того, что 5G в перспективе будет перекачивать гигабитный трафик, то остро также встанет вопрос об оптимизации работы всей сети в целом. Именно поэтому в последнее время мы так часто слышим об интернете вещей (IoT), облачных технологиях и пр. Они станут неотъемлемой частью стандарта 5G. Оптимизация коснется непосредственно транзитного узла, соединяющего базовую станцию сотовой связи с поставщиком Интернет-услуг (Fronthaul Aggregation на рисунке 2).



Из рисунка 2 следует, что в соответствии с рабочим документом 5G, транзитная связь от абонента может быть реализована как по проводному каналу с помощью выделенной линии (медной или оптоволоконной) так и с использованием высокоскоростных беспроводных радиомостов (по топологиям точка-точка или точка-многоточка). Развертывание проводного транзитного пути в некоторых местах может быть довольно дорогостоящим и сложным техническим решением. Поэтому в 5G сетях предусмотрены "мультихоповые" (multihop wireless) беспроводные станции, способные обслуживать большие зоны покрытия. К тому же их использование позволит в дальнейшем быстро масштабировать участки сети. В перспективе помимо беспроводных технологий радиодиапазона в 5G планируется использовать оборудование АОЛС (атмосферные оптические линии связи). Но все же основную нишу в 5G сетях займет E-диапазон (E-Band). На рисунке 3 показаны характеристики E-диапазона в сравнении (по скорости передачи данных и расстоянию) с другими технологиями связи:



Оптоволоконная связь обеспечивает скорость передачи данных до 10 Гбит/сек, а достоинством беспроводных сетей E-диапазона является то, что по скорости соединения они приближаются к скорости передачи данных по волокну. Для этого нужно располагать беспроводное оборудование на прямой видимости и использовать высоконаправленные антенны, имеющие узкую ширину луча диаграммы направленности, что минимизирует помехи для соседнего оборудования, работающего в том же диапазоне частот. Для работы оборудования в E диапазоне международный союз электросвязи ITU выделил частоты: 24.25-27.5, 37-40.5, 42.5-43.5, 45.5-47, 47.2-50.2, 50.4-52.6, 66-76 и 81-86 ГГц. Интересно отметить тот факт, что исторически сложилось так, что системы связи, работающие в указанном диапазоне частот, были разработаны для военных целей, а также для космической связи. Поэтому довольно удивительно сейчас то, что этими диапазонами теперь "делятся" с телекоммуникационными компаниями и частными лицами.

Новая технология OAM в 5G

Для специалистов в области беспроводной связи не секрет, что существующие на сегодняшний день способы увеличения скорости передачи данных реализуются по большей части программно (это технологии цифровой обработки сигналов, мультиплексирования и пр.). В каких-то аспектах горизонт вычислительных ресурсов достигнут, в связи с чем, большой интерес разработчиков стандартов связи направлен в сторону аппаратного увеличения скорости передачи. Среди прочих, в последнее время наибольшее внимание специалистов сосредоточено вокруг относительно новой технологии OAM (Orbital Angular Momentum). OAM - это технологии мультиплексирования с разделением по орбитальному угловому моменту (ОУМ в русскоязычной литературе), которая ранее уже рассматривалась нашими коллегами [2]. С помощью OAM сигналы можно детектировать по их "закрученности". Сигналы с разной степенью завихрения принадлежат разным информационным потокам.

Интерес к OAM вызван неспроста, ведь в перспективе она может стать неплохим дополнением к многоантенным системам MIMO, позволившим в свое время многократно увеличить доступные скорости передачи данных в радиодиапазоне. И на сегодняшний день накопилось довольно много

практических примеров удачной реализации этой технологии. В 2012 году на основе OAM была реализована атмосферная оптическая линия связи на длине волны 1550 нм, которая обеспечила скорость передачи данных в 2.56 терабита в секунду на расстоянии в 1 метр. Примерно в то же время аналогичный эксперимент с применением OAM был реализован на частоте 2.414 ГГц на основе беспроводной технологии Wi-Fi. Достигнутая дальность связи составила 442 метра. Также встречаются варианты реализации OAM на частотах 60 и 28 ГГц.

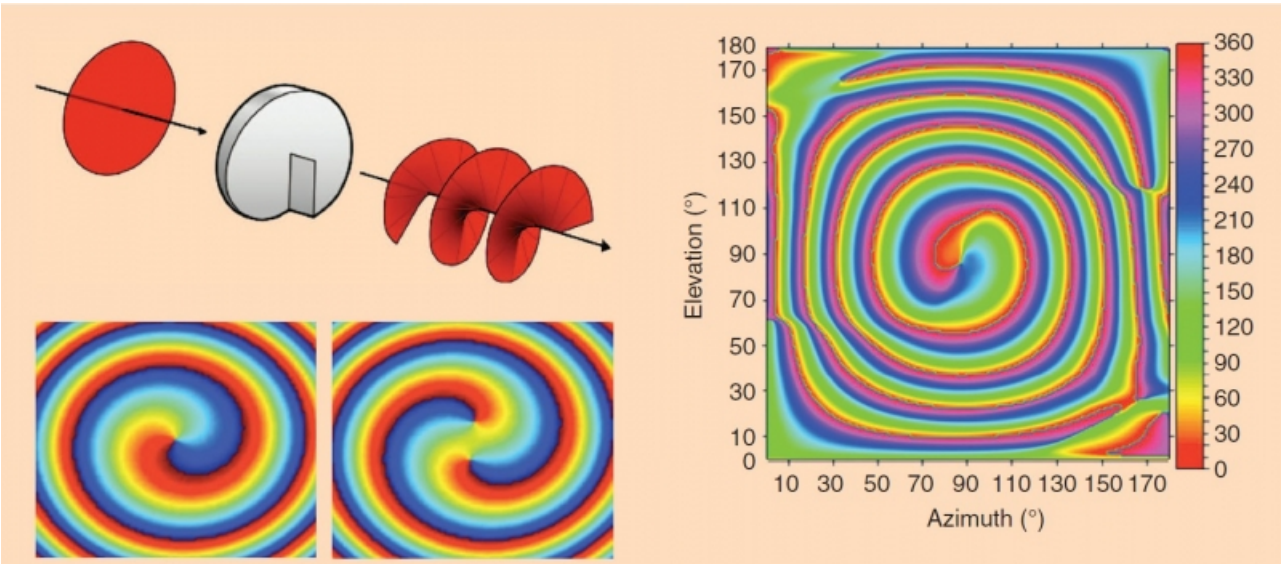
Пока что демультиплексировать OAM сигнал довольно сложно, так как в процессе распространения сигналы OAM быстро разделяются в пространстве и в конечном итоге их трудно собрать и разделить. В оптическом диапазоне для разделения сигналов используется метод сортировки мод, но затраты на его реализацию довольно материальнозатратны. Описанные эксперименты с удачной реализацией OAM за последние 5 лет сведены в таблицу ниже.

Таблица 1 – Демонстрация эволюции "закрученных" волн в связи за 2012-2017 года

Год	**Диапазон***	**Дистанция**	**Скорость**	**Ссылки на лит-ру**
2012	2.414 ГГц	442 м	–	3
2012	1550 нм	1 м	1.37 Тбит/сек	4
2014	28 ГГц	2.5 м	32 Гбит/сек	5
2014	532 нм	3000 м	4 пикселя/сек	6
2014	8.3 ГГц	–	375 Мбит/сек x2	7
2016	60 ГГц	0.15 м	Гбод	8
2017	71-76 ГГц	2 м	3 Гбит/сек	9

* Диапазон частот указан в ГГц для радиодиапазона и в нанометрах для оптического

На методах генерации OAM сигналов останавливаться не будем, отметим лишь, что в ранее указанной статье, опубликованной на nag’e, приводились примеры реализации антенной системы для генерации сигналов такого типа. Один из наиболее очевидных вариантов – это конструктивное изменение зеркальной антенны, приводящее к "закручиванию" радиоволны, как показано на рисунке 4 ниже:

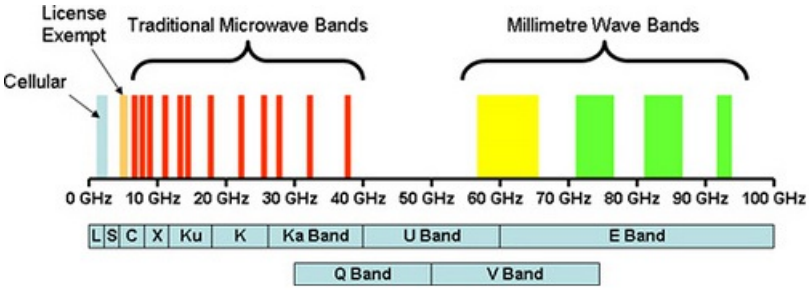


Также отметим, что реализаций антенн, генерирующих OAM, уже сделано довольно много и первое упоминание о них встречается в 1996 году в [10]. Сегодня на предмет использования "закрученных" радиоволн для увеличения пропускной способности канала связи идут большие споры. Одни специалисты довольно оптимистично смотрят на OAM и пророчат ей большое будущее при работе совместно с MIMO, или предполагают даже вытеснение этой технологии. Другие же полагают, что существует ряд причин, по которым применение OAM невозможно в радиодиапазоне, среди них: многолучевое распространение сигнала, необходимость точной фокусировки луча и пр.

Несмотря на споры нельзя не заметить, что Метод Южной Калифорнии, описанный в статье [1] по приему "закрученных" волн на приеме и преобразование волны обратно в плоскую, является довольно хорошим решением, так как прием сигнала может осуществляться стандартной не модифицированной под OAM антенной. Да и дальность связи приличная, почти полкилометра, что является довольно хорошим результатом для тестового прототипа беспроводного антенного тракта.

E-диапазон в 5G сетях

E-диапазон представляет собой спектр электромагнитно излучения, лежащего в частотном диапазоне от 60 до 90 ГГц, рисунок 5:



В США уже выделены для коммерческого использования полосы частот, лежащие в диапазонах 71-76, 81-86 и 92-95 ГГц. А для частного использования могут быть использованы частоты 76-81 гигагерцового диапазона. Системы связи, работающие в E-радиодиапазоне, планируется использовать для организации последней мили в тех местах 5G сетей, где прокладка проводной гигабитной линии связи будет довольно дорогостоящим решением (это районы со сложными горными и водными участками). Так как радиосигналы этого диапазона быстро затухают при отражении от препятствий, то реализуемая топология подключения оборудования – исключительно "точка-точка". Над развитием беспроводных сетей 5G в этом направлении уже работают такие крупные телекоммуникационные компании как Ericsson, Huawei, NEC и Nokia.

Еще несколько лет назад никто и не мог представить себе, что беспроводную связь будут сравнивать по скорости подключения с оптическим волокном. Сейчас же полосу частот 70-80ГГц всерьез собираются использовать на узких участках сети в качестве замены оптоволоконного подключения со скоростью передачи данных до 3 Гбит/сек. Кроме того, беспроводное решение является еще и более экономичным по сравнению с прокладкой оптики.

Компании-поставщики Ericsson и Fujitsu уже успешно выпускают радиостанции E-диапазона. На рисунке 6 пример этого оборудования - Ericsson MINI-LINK PT 6020 от компании Ericsson, реализующий соединение на скорости 1 Гбит/сек и поддерживающий модуляцию до 64 QAM.



Для организации трехгигабитного подключения параболическая антенна должна быть установлена на прямой видимости, иметь высокий коэффициент усиления (> 30 дБ, у примера на рисунке выше 44 дБ) и ширину луча около 1 градуса. Аналогом этой антенной системы является Fujitsu’s BroadOne GX4000.

Сегодня уже идут тестирования на предмет применения OAM модуляции совместно с этими

антеннами.

Заключение

OAM модуляция является одним из многих методов, которые будут использоваться для достижения требуемой для 5G сетей пропускной способности и увеличения скорости передачи данных. Многие аспекты этой технологии еще требуют ряда теоретических и практических решений, начиная от генерации "закрученного сигнала" и заканчивая его обнаружением и минимизацией потерь. Несмотря на мнения некоторых скептиков на предмет этой технологии, довольно крупные компании уже начали работу по созданию оборудования под OAM, поэтому мы склонны думать, что "закрученные" радиоволны займут определенную нишу в 5G сетях и станут неотъемлемой частью технологий, позволяющих организовывать беспроводную связь на гигабитных скоростях.

При подготовке статьи были использованы материалы:

1. E-band Microwave
2. Повышение пропускной способности сети с помощью "закрученных радиоволн"
3. Encoding many channels on the same frequency through radio vorticity: first experimental test
4. Terabit free-space data transmission employing orbital angular momentum multiplexing
5. High-capacity millimetre-wave communications with orbital angular momentum multiplexing
6. Communication with spatially modulated light through turbulent air across Vienna
7. Development of wireless communication technologies for future multi-gigabit data transmission
8. A dual-channel 60 GHz communications link using patch antenna arrays to generate data-carrying orbital-angular-momentum beams
9. Experimental demonstration of a dual-channel E-band communication link using commercial impulse radios with orbital angular momentum multiplexing
10. The generation of free-space Laguerre-Gaussian modes at millimetre-wave frequencies by use of a spiral phaseplate