

ТРАНСПОРТНЫЕ СЕТИ FRONTHAUL НА ОСНОВЕ ОТКРЫТЫХ ОПТИЧЕСКИХ КАНАЛОВ (FSO) В 5G РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН

ИБРАИМОВ Рефат Рафикович

кандидат технических наук, доцент

доцент кафедры «Технологии мобильной связи»

Ташкентский университет информационных технологий

г. Ташкент, Республика Узбекистан

Беспроводные оптические каналы (FSO-free-space optics) рассматриваются применительно к сотовым сетям 5G разворачиваемые в Республике Узбекистан. Обосновывается необходимость в 5G оптимизации работы всей сети в целом и непосредственно транспортных сетей в частности. Показывается возможность в качестве сети Fronthaul в 5G использовать беспроводные оптические каналы связи.

Ключевые слова: LTE, стандарт, характеристики, архитектура, 5G, FSO.

На современных условиях развития сотовых систем связи, следующим закономерным этапом стала новая технология 5G/IMT-2020, основным достоинством которого является обеспечение скорости передачи 10-100 раз больше в расчете на абонента, т.е. до 10 Гбит/с (DL-downlink) и до 5 Гбит/с (UL-uplink). Основные эксплуатационные характеристики сетей 5G, определены международным союзом по электросвязи (МСЭ-R) и опубликованы в [10; 11].

Рекомендованные МСЭ-R характеристики 5G/IMT-2020, реализуются на основе современных технологий и схемных решений, а также на базе каналов с полосой не менее 200 МГц. При этом возникнет необходимость существенного пересмотрена способов развертывания транспортного домена сетей радиодоступа [6].

В существующих базовых станциях радиопередающий блок (RRU- *Remote Radio Unit*) располагают недалеко от антенны, в будущем предполагают их внедрить в саму антенну. При такой схеме построения радиопередающие блоки (RRH- *Remote Radio Head*) и блоки управления (BBU- *Baseband Unit*) можно располагать на значительном удалении друг от друга, что позволит применять облачную радиосистему (cloud-RAN или C-RAN). В этом случае блок (RRH- *Remote Radio Head*) разделяет функции базовой станции на два основных блока eREC (eCPRI Radio Equipment Control) и eRE (eCPRI Radio Equipment), взаимодействующие между собой транспортной сетью оператора связи. Конструктивно блок eREC может располагаться возле антенны, а eRE быть установлен на некотором удалении в телекоммуникационном шкафу или дата центре.

Транспортные сети, предназначенные для организации взаимодействия базовых станций 5G (eNB/gNB), не зависят от функций наделенных блокам eREC и eRE, получили названия сети Fronthaul network (FH) (рис.1).

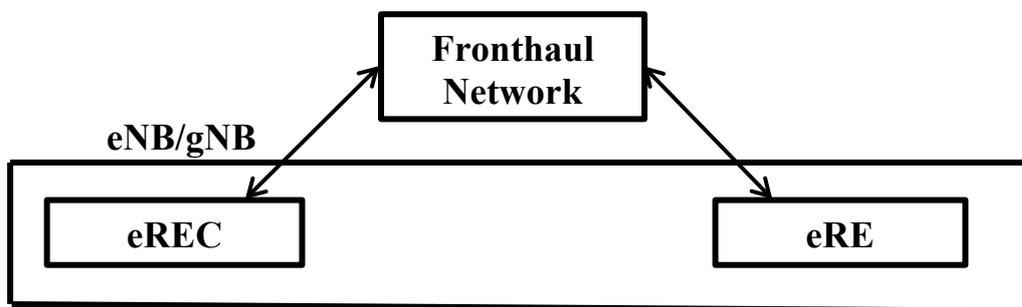


Рисунок 1. Fronthaul network

В общем случае транспортные сети служат для организации взаимодействия различных узлов сотовой связи друг с другом, с опорной сетью и с центром обработки данных (ЦОД) и называются xHaul. В сетях 5G ЦОД состоят из локальных и удаленных, поэтому в отличие от сетей используемых в 4G и обеспечивающих взаимодействие сетей радиодоступа (RAN-Radio Access Network) и ЦОД требуют кардинальной модернизации с целью реализации потенциальных возможностей сквозной производительности модулей образующих сеть 5G.

Транспортная сеть Fronthaul в сетях 4G соединяет разделенные радио блоки (RRH) с централизованными/облачными блоками формирования модулирующих сигналов (BBU). В транспортную сеть входит также сеть Backhaul предназначенная для обратного соединения BBU с Evolved Packet.

В отличии от 4G в 5G приемопередатчики (NR) подключаются к BBU, которые в свою очередь могут быть деагрегированы (и виртуализированы) на центральный блок (CU) и распределенный блок (DU). Новая сеть Midhaul соединяет CU с DU посредством нового стандартизированного интерфейса 3GPP F1. Изначально сеть Backhaul 5G, ориентированная на предоставление операторами услуг для eMBB, аналогична сети 4G, но с большой пропускной способностью, обеспечиваемой благодаря более высокой производительности и пропускной способности новых приемопередатчиков 5G (рис.2) [2].

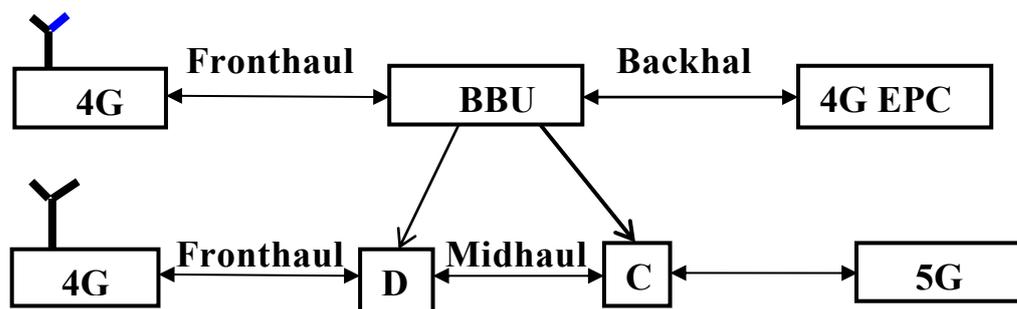


Рисунок 2 Архитектуры 5G C-RAN и 4G C-RAN высокого уровня

Транспортные сети xHaul могут быть построены на общеизвестных в телекоммуникационных системах технологиях, которые основаны на волоконно-оптических, беспроводных и проводных системах связи. Выбор какого-либо решения производится по следующим параметрам: пропускная способность, отказоустойчивость, скорость восстановления, прозрачность масштабируемость, гибкость, управляемость.

Требования к одному из основных критериев, пропускной способности сетей xHaul, приведены на рисунке 3.

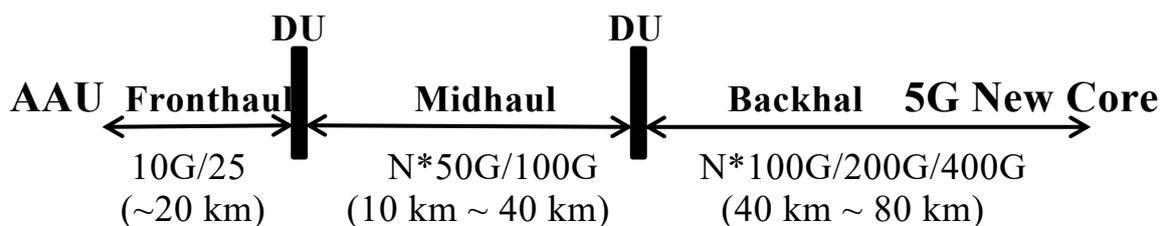


Рисунок 3. Требования к сетям xHaul

В соответствии с рабочим документом для 5G, транспортная сеть Fronthaul может быть реализована как по проводному каналу с помощью выделенной линии (медной или оптоволоконной), так и с использованием высокоскоростных беспроводных радиомостов (по топологии точка-точка) [1]. Развертывание проводной транспортной сети в некоторых местах может быть довольно дорогостоящим и сложным, а иногда и невозможным техническим решением. Поэтому в 5G сетях предусматривается и беспроводные линии связи, при этом полагают, что при использовании беспроводных технологий радиодиапазона, основную нишу в 5G сетях займет E-диапазон (E-Band).

Вместе с тем, в экспериментальных беспроводных сетях E-диапазона немецкими специалистами, максимальная скорость соединения получена не более 6 Гбит/сек [7]. Поэтому на первом этапе внедрения 5G, для транспортной сети Fronthaul одним из вариантов является использование FSO. Здесь в качестве среды передачи используется луч лазера, распространяющийся в свободном пространстве. Скорости передачи в FSO системах на сегодняшний день достигают 10 Гбит/сек, с достаточной достоверностью на интервалах до 5 – 6 км. Кроме того они обладают преимуществом перед другими беспроводными системами в том, что работают в диапазоне более 400 ГГц и для её применения не требуется получать разрешения на использование частот. Главным недостатком FSO является подверженность влиянию состояния атмосферы. Проявляются они в изменении величины атмосферного затухания и рассеяние инфракрасного (ИК) излучения [8; 9].

Структурный состав аэрозолей в атмосфере очень сложен и поэтому расчет потерь оптического излучения, с максимальной точностью, весьма трудоемкое

занятие. На практике эти значения приблизительно заменяет такой параметр как метеорологическая дальность видимости (МДВ, S_m). Зная интегральную функцию распределения метеорологической дальности видимости (ИФР-МДВ), за 3 - 5 летний период, можно рассчитать среднюю доступность канала связи для конкретного географического региона [5]. Поэтому при проектировании FSO, кроме обеспечения прямой видимости между пунктами соединения, также необходимо иметь статистические данные по метеорологической обстановке в регионе, а именно ИФР – МДВ и интегральную функцию распределения километического затухания (ИФР_{кз}).

В свою очередь для определения ИФР_{кз}, используют статистические данные аэропортов, где предусмотрены метеостанции с непрерывными метеоизмерениями МДВ. Аэропорт имеет достаточно протяженную территорию, и поэтому можно утверждать, что там устанавливаются практически некоторые усредненные условия для данного географического региона (ГР).

Метеоизмерения аэропорта ведутся на длине волны $\lambda=0,55\text{мкм}$ (соответствует наивысшей чувствительности глаза и приняты для измерений МДВ во всех аэропортах мира). Затухание в измерительном атмосферном канале (АК) ведется автоматически, а полученные данные по известной в метеорологии зависимости между МДВ и КЗ на $\lambda = 0,55 \text{ мкм}$ пересчитывается в величину МДВ_{0,55}. Период измерения переменный и автоматический: при неизменных метеоусловиях – через 15 минут, при резком изменении, интервал измерениями уменьшается вплоть до 1 мин, что решает проблему достоверности измеренных результатов. Для удовлетворения требований к информации о минимальной дальности видимости на взлетно-посадочной полосе, метеорологическая оптическая дальность измеряется с погрешностью не более $\pm 5 \%$ [3; 5].

Вместе с тем следует отметить, что все АК для данного ГР индивидуальны, и нет совершенно одинаковых. Каждый АК обладает своей индивидуальной ИФР_{кз}, так как везде свой микроклимат, один на солнечной стороне, другой на затененной, третий на возвышенности, четвертый в низине и т.д. Однако отличия, в пределах одного района таковы, что ИФР-МДВ или ИФР_{кз}, полученные в

данном районе, близки друг к другу и не приводят к существенному изменению величины AK_{K3} , если грубо не нарушены требования к выбору трассы FSO. Поэтому в качестве исходной ИФР_{K3}, для определения AK_{K3} на этапе проектирования FSO может быть использована усредненная ИФР_{K3} для данного ГР. После набора достаточного количества ИФР-МДВ в ГР могут быть определены пределы разброса ИФР-МДВ, а также погрешность усредненных ИФР_{K3}.

На основании ИФР-МДВ_{0,55} может быть определены ИФР_{K3} на рабочей длине волны путем пересчета, так как FSO работают, как правило, в диапазонах 0,785 мкм (диапазон прозрачности - ДП). АК 0,77 ÷ 0,80 мкм) и 1,55 мкм (ДП АК 1,48 ÷ 1,56 мкм) или ДП АК 0,83 ÷ 0,84 мкм, 0,86 ÷ 0,90 мкм) [3; 5].

Таким образом, из изложенного следует, что основной задачей является определение ИФР_{K3}, которую в свою очередь можно решить путем набора и обработки статистических данных по МДВ для соответствующего ГР. Подобная работа была проделана и собраны статистические данные в соответствии с районированием территории Республики Узбекистан с метеостанций аэропортов г. Ургенча, г. Бухары, г. Самарканда, г. Карши, г. Ферганы, г. Андижана и г. Ташкента за трехлетний временной интервал. Обработанные и усредненные метеорологические данные минимальной дальности видимости $L=F(t\%)$ приведены в [3]. В качестве примера возьмем МДВ для Бухарского региона [3].

Таблица 1.

ИФР – МДВ по г. Бухара

S (км)/ F(Sm)		10	7	4,1	3,5	3	2,2	1,5	1,3	1,1	0,7	0,45
Месяцы	I	1.00	0.52	0.32	0.16	0.11	0.08	0.06	0.04	0.02	0.01	0
	II	1.00	0.40	0.19	0.14	0.11	0.08	0.07	0.04	0.02	0.01	0
	III	1.00	0.25	0.09	0.03	0.01	0	0	0	0	0	0
	IV	1.00	0.22	0.06	0.04	0.03	0.02	0.01	0	0	0	0
	V	1.00	0.16	0.05	0.03	0.02	0	0	0	0	0	0
	VI	1.00	0.16	0.04	0.02	0.01	0	0	0	0	0	0
	VII	1.00	0.18	0.03	0.01	0	0	0	0	0	0	0
	VIII	0.86	0.14	0.04	0.01	0	0	0	0	0	0	0
	IX	0.85	0.15	0.05	0.02	0.01	0	0	0	0	0	0

	X	1.00	0.17	0.05	0.01	0	0	0	0	0	0	0
	XI	1.00	0.24	0.10	0.03	0.01	0	0	0	0	0	0
	XII	1.00	0.37	0.21	0.12	0.06	0.01	0	0	0	0	0
Среднегодовая		1.00	0.25	0.11	0.06	0.04	0.03	0.02	0.01	0	0	0

Для удобства работы при проектировании FSO эмпирические данные по ИФР – МДВ, желательно аппроксимировать, т.е. представить в виде математической функции, максимально точно описывающую кривую распределения. Автоматизированный метод, с помощью которого можно математически описать кривую распределения основан на использовании программы MATLAB [4]. Полученные аналитические функции всех месяцев ИФР – МДВ для Бухарского региона с использованием данной программы приведены в (табл.2) [3].

Таблица 2.

**АППРОКСИМИРУЮЩИЕ ВЫРАЖЕНИЯ
ДЛЯ ПРОМЕЖУТКА 0,45-10 КМ**

Месяц	Аналитические выражения 0,45-7 км	Точность, %	Аналитические выражения 7-10 км
I	$F(S_m) = 1.47 S_m^{-8,67}$	99.971	$F(S_m) = 0.16 * S_m^{-0.6}$
II	$F(S_m) = 1.795 S_m^{-8,565}$	99.957	$F(S_m) = 0.2 * S_m^{-1}$
III	$F(S_m) = 2.188 S_m^{-8,723}$	99.991	$F(S_m) = 0.25 * S_m^{-1.5}$
IV	$F(S_m) = 1.75 S_m^{-9,69}$	99.993	$F(S_m) = 0.26 * S_m^{-1.6}$
V	$F(S_m) = 1.678 S_m^{-10,53}$	99.994	$F(S_m) = 0.28 * S_m^{-1.8}$
VI	$F(S_m) = 1.99 S_m^{-9,64}$	99.997	$F(S_m) = 0.28 * S_m^{-1.8}$
VII	$F(S_m) = 2.28 S_m^{-9,074}$	99.998	$F(S_m) = 0.2733 * S_m^{-1.733}$
VIII	$F(S_m) = 2.123 S_m^{-9,608}$	99.997	$F(S_m) = 0.24 * S_m^{-1.54}$
IX	$F(S_m) = 1.982 S_m^{-9,739}$	99.995	$F(S_m) = 0.2333 * S_m^{-1.483}$
X	$F(S_m) = 2.244 S_m^{-9,192}$	99.996	$F(S_m) = 0.2767 * S_m^{-1.767}$
XI	$F(S_m) = 2.213 S_m^{-8,797}$	99.99	$F(S_m) = 0.2533 * S_m^{-1.533}$
XII	$F(S_m) = 2.123 S_m^{-8,322}$	99.969	$F(S_m) = 0.21 * S_m^{-1.1}$
Средне- годовая	$F(S_m) = 1.758 S_m^{-9,455}$	99.986	$F(S_m) = 0.25 * S_m^{-1.5}$

Зависимость $F(S_{\text{мдв}})$ от $S_{\text{мдв}}(\text{км})$, построенная по данным табл.2 приведена на рис.4. По этой кривой можно оценить потери в атмосферных каналах связи в Бухарском регионе.

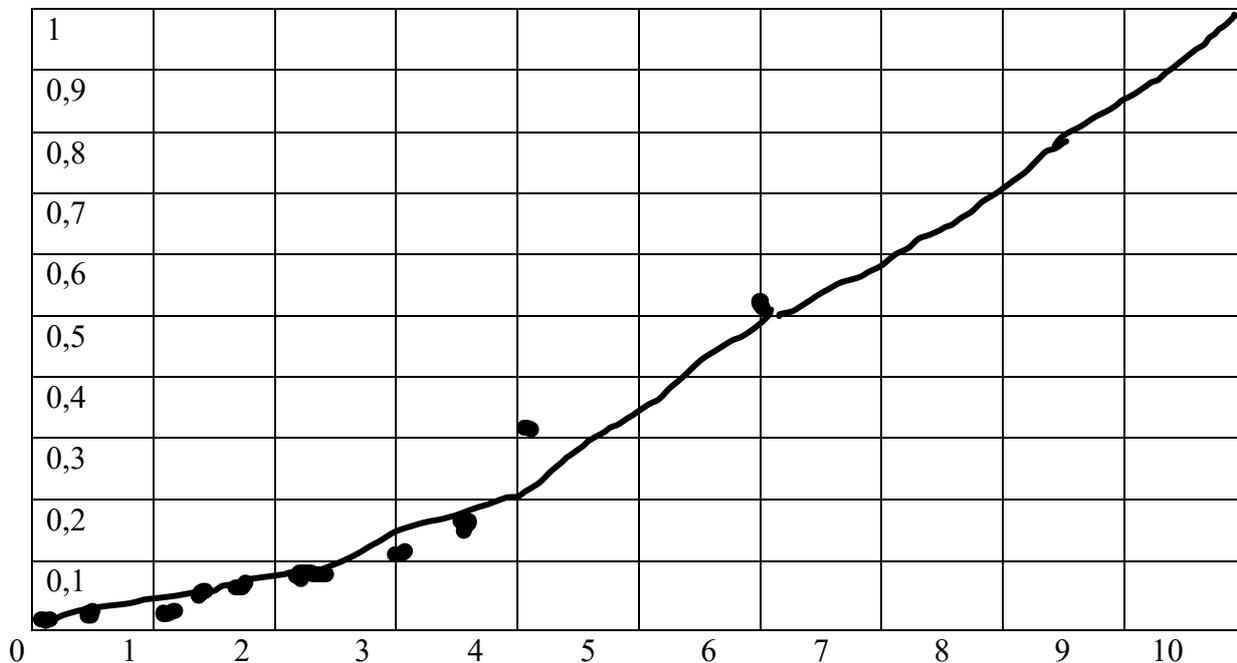


Рисунок 4. График зависимости ИФР-МДВ за январь

(точки – экспериментальные данные, сплошная линия – аппроксимирующая кривая)

Приведенные и обработанные статистические данные по МДВ, собранные для регионов Республики Узбекистан показывает, что при требуемой доступности АК протяженность интервалов, удовлетворяют требованиям к транспортным сетям Fronthaul в сетях 5G, при скорости передачи до 10 Гбит/сек.

Несмотря на весьма неудобное свойство этой технологии - существенную зависимость работоспособности линии связи от состояния погоды, заманчивые преимущества (высокие скорости передачи, отсутствие частотного лицензирования, быстрота организации канала и т.д.) позволяют ей занять свое место на рынке. Вместе с тем, выбор технологии FSO во многом обусловлен техническими требованиями заказчика к сети, но в условиях быстро развивающихся телекоммуникационных услуг, сложной электромагнитной обстановки необхо-

димо более тщательно и продуманно выбирать используемую технологию, не упуская из виду современные достижения в FSO.

ЛИТЕРАТУРА

1. Богданова Е. Транспортная сеть 5G/ИМТ-2020. – Первая миля. – 2019 – № 7. – С.40-48.
2. Денисов Д. Тенденции развития 5G сетей. Новые частоты E-диапазона и технология OAM. <https://nag.ru/articles/> (Дата обращения 5.10.2023).
3. Ибраимов Р.Р., Насыров Т.А. К вопросу проектирования открытых оптических систем передачи. // Инфокоммуникации: сети технологи и решения. - 2012. - № 4/24. – С.18-28.
4. Кункин С.Н., Востров В.Н., Кузнецов П.А., Рябинин А.Г. Математические методы обработки экспериментальных данных. Расчетные задания. Санкт-Петербургский государственный политехнический университет, 2002. – 67 с.
5. Милютин Е.Р., Гумбинас А.Ю. Статистическая теория атмосферного канала оптических информационных систем. – М.: «Радио и связь», 2002. – 254 с.
6. Степутин А.Н., Николаев А.Д. Мобильная связь на пути 6G. В 2 томах. – Вологда. – Инфра-Инженерия, 2017. – 796 с.
7. Эвзил Абдул Кадыр, Сити Мариан Шамсуддин, Тарек Абдул Рахман, Абдул Самад Исмаил. Большие данные: архитектура сети и технологии 5G. – Беспроводные технологии. – 2016. – № 2. – С. 56–61.
8. Ibraimov R.,Sultonova M. 5G TRANSIT CONNECTIONS. COMPUSOFT, An international journal of advanced computer technology, 8(5), May - 019 (Volume-VIII, Issue-V) – P.3135-3139.
9. Ibraimov R.R., Khalbaeva Z. Muazzam, Davronbekov N.D., Review of open optical transmission systems and their possible use in Urgench city " November 2016 DOI:10.1109/ICISCT.2016.7777401. Conference: 2016. International Conference on Information Science and Communications Technologies (ICISCT) (дата обращения 11.10.2023).
10. 3GPP TS 38.104. NR; Base Station (BS) radio transmission and reception.

11. 3GPP TS 33.501-Security architecture and procedures for 5G system (Release15).

FRONTAUL TRANSPORT NETWORKS BASED ON OPEN OPTICAL FIBERS CHANNELS (FSO) IN 5G OF THE REPUBLIC OF UZBEKISTAN

IBRAIMOV Refat Rafikovich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Associate Professor of the Department of Mobile Communication Technologies

Tashkent University of Information Technologies

Tashkent, Republic of Uzbekistan

The expected characteristics, architecture, and roadmap for the development of fifth generation cellular networks are provided. The need for 5G optimization of the operation of the entire network in general and transport networks in particular is substantiated. The possibility of using wireless optical communication channels as a Fronthaul network in 4G/5G is demonstrated.

Keywords: LTE, standard, characteristics, architecture, 5G, FSO.