

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Локтионова Оксана Геннадьевна
Должность: проректор по учебной работе
Дата подписания: 30.05.2022 19:56:56
Уникальный программный ключ:
0b817ca911e6668abb13a5d426d38e1011caab57319a3d4111f1a0c99

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Юго-Западный государственный университет»
(ЮЗГУ)

Кафедра космического приборостроения и систем связи

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе



О.Г. Локтионова

» 02

2018 г.

Планирование сети радиодоступа Mobile WiMAX и расчёт основных параметров

Методические указания
по выполнению лабораторной работы №4
по курсу «Проектирование систем и сетей радиодоступа»
для студентов направления подготовки 11.04.02

Курск 2018

УДК 621.3.095

Составитель А.Е.Севрюков

Рецензент

Доктор технических наук, профессор *В.Г. Андронов*

Планирование сети радиодоступа Mobile WiMAX и расчёт основных параметров: методические указания по выполнению лабораторной работы по курсу «Проектирование систем и сетей радиодоступа» / Юго-Зап. гос. ун-т; сост. А.Е.Севрюков. Курск, 2017. 10 с.

Содержат методические указания по выполнению лабораторной работы «Планирование сети радиодоступа Mobile WiMAX и расчёт основных параметров» по курсу «Проектирование систем и сетей радиодоступа».

Методические указания соответствуют требованиям типовой программы, утвержденной УМО по направлению подготовки «Инфокоммуникационные технологии и системы связи», рабочей программы дисциплины «Проектирование систем и сетей радиодоступа».

Предназначены для студентов направления подготовки 11.04.02 очной и заочной форм обучения.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано печать 14.02 Формат 60x841/16.

Усл. печ. л. 0,58. Уч.-изд. л.053. Тираж 100 экз. Заказ 892. Бесплатно

Юго-Западный государственный университет.

305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94

Общие исходные данные для расчета

Сеть проектируется для городского района площадью 17,6 км², высота подвеса антенн БС = 30 м, АС = 3 м. Оператору связи выделен частотный ресурс в диапазоне 3 500 МГц, ширина канала – выбрать из варианта задания.

Параметры физического уровня:

- защитный интервал OFDM-символа 1/8 от общей длины символа,
- вид модуляции со скоростью кодирования выбрать из варианта задания,
- отношение распределения ресурсов при передаче данных по направлениям вниз/вверх 3 : 1,
- для передачи системной информации отводится 20 % времени от всего времени передачи.

Оборудование БС выбрано с поддержкой технологии ММО с двумя антеннами – на прием и передачу, мощность излучения составляет 33 дБм, КУ антенн – 16,5 дБи, 4-секторная конфигурация.

Параметры АС: чувствительность $P_{A0AC} = 95$ дБ, мощность – 27 дБм, КУ антенны – 3 дБи, расстояние от БС до АС $d=510$ м

Исходные данные для расчета по вариантам:

№ вар	Ширина канала	Вид модуляции/ скорость кодирования	Тип застройки	Ландшафт местности
1	1,25	QPSK 1/2	Пригород	Равнина
2	5,00	QPSK 3/4	Городской район	Равнина с редкими холмами
3	5,00	16QAM 1/2	Плотная городская	Равнина
4	10,00	16QAM 3/4	Пригород	Равнина
5	10,00	64QAM 1/2	Плотная городская	Равнина с редкими холмами
6	20,00	64QAM 2/3	Городской район	Равнина
7	20,00	64QAM 3/4	Плотная городская	Равнина с редкими холмами
8	1,25	QPSK 1/2	Плотная городская	Равнина
9	10,00	64QAM 1/2	Плотная городская	Равнина с редкими холмами
0	20,00	64QAM 2/3	Городской район	Равнина

Цель работы – показать, какие особенности и рекомендации стандарта IEEE 802.16e следует учитывать при моделировании сети связи, а также определить минимальный набор характеристик при проектировании сети Mobile WiMAX.

1. Чувствительность приемника

Чувствительность – одна из важнейших характеристик, под которой понимают способность радиоприемника принимать слабые сигналы. На чувствительность оказывают влияние мощность тепловых шумов приемника, отношения сигнал/шум, коэффициент шума, а также потери реализации, учитывающие неидеальность приемника, ошибки квантования, фазовый шум и др. Тепловой шум зависит от ширины полосы канала (BW) и может быть вычислен по формуле

$$P_{т.ш} = -174 + 10 \log(\Delta f),$$

где Δf – используемая полоса частот.

Стандарт IEEE 802.16 ориентирован на использование полос частот шириной в 1,25; 5,0; 10,0; 20,0 МГц и основан на технологии OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing – мультиплексирование посредством ортогональных несущих). За счет наличия защитного интервала между поднесущими эффективная ширина спектра сигнала несколько больше ширины канала (BW), поэтому Δf можно рассчитать как произведение ширины канала BW, числа используемых поднесущих ($N_{исп}$), полного числа поднесущих OFDM сигнала ($N_{всего}$) и коэффициента дискретизации (n) [2]. Табл. 1 содержит для каждой ширины канала значения $N_{исп}$ и $N_{всего}$.

При расчете учесть, что $N_{исп}$ состоит из суммы числа поднесущих данных ($N_{дан}$) и числа пилотных поднесущих ($N_{пилот}$). Число поднесущих данных определяется для нисходящего направления ($N_{данDL}$) и восходящего направления ($N_{данUL}$). Коэффициент дискретизации n определяет интервал между поднесущими (вместе с шириной полосы и количеством поднесущих данных) и полезное время символа. Он равен 28/25 для канала, ширина полосы которого кратна 1,25; 1,50; 2,00; 2,75 МГц. Таким образом, тепловой шум может быть определен по формуле

$$P_{тш} = -174 + 10 \log [BWn(N_{исп}/N_{всего})]. \quad (1)$$

$$P_{тш} =$$

Таблица 1 Параметры, определяемые шириной полосы канала

Ширина полосы, МГц	$N_{всего}$	$N_{исп}$	$N_{данDL}$	$N_{данUL}$
1,25	128	85	72	56
5,00	512	421	360	280
10,00	1 024	841	720	560
20,00	2 048	1 681	1 440	1 120

Отношение сигнал/шум приемника зависит от схемы модуляции. Табл. 2 содержит перечень схем модуляций, утвержденных стандартом WiMAX, и их требования к отношению сигнал/шум ($K_{с/ш}$). Значения $K_{с/ш}$ приведены для сверточного кодирования (СК) и сверточного турбокодирования (СТК). Приведенные данные справедливы для канала с аддитивным белым гауссовским шумом и коэффициентом ошибок равным 10^{-6} .

Таблица 2 - Параметры схем модуляции

Схема модуляции	$K_{с/ш}$ при СК, дБ	$K_{с/ш}$ при СТК, дБ	Количество бит на символ, $R_{сим}$
QPSK 1/2	5,0	2,5	1,0
QPSK 3/4	8,0	6,3	1,5
16QAM 1/2	10,5	8,6	2,0
16QAM 3/4	14,0	12,7	3,0
64QAM 1/2	16,0	13,8	3,0
64QAM 2/3	18,0	16,9	4,0
64QAM 3/4	20,0	18,0	4,5

Потери реализации (L_l), вызванные повышенным фазовым шумом приемника,

снижают его чувствительность, и для нормальной работы такой системы требуется более мощный радиосигнал. Значение L_I принято равным 5 дБ. Таким образом, формула для расчета необходимого уровня чувствительности приемника имеет вид

$$P_{\text{тш}} = -174 + 10\log[\text{BW}n(N_{\text{исп}}/N_{\text{всего}})] + K_{c/ш} + K_{ш} + L_I, \quad (2)$$

$$P_{\text{тш}} =$$

где коэффициент шума $K_{ш} = 7$ дБ, согласно рекомендациям WiMAX Forum.

2. Бюджет линии

Для расчета дальности связи используется уравнение бюджета линии, которое связывает уровни мощности на входе приемника и выходной мощности передатчика, находящихся друг от друга на заданном расстоянии. При расчете дальности связи выбирается наименьшее из значений бюджета для нисходящего (DL) и восходящего (UL) направлений. Бюджет линии зависит от технических характеристик базовой и абонентской станций. Замирания сигнала не учитываются моделью распространения радиоволн, поэтому их следует учесть при расчете бюджета линии (запас на замирания F составляет 10 дБ).

На границах секторов в канал связи вносит искажения межканальная интерференция, уровень которой принят:

- для нисходящего канала - $I_{DL} = 2$ дБ,
- для восходящего - $I_{UL} = 3$ дБ [3].

Для учета того факта, что здания препятствуют распространению электромагнитных волн, кроме запаса на замирания радиосигнала $F = 10$ дБ, необходимо ввести дополнительную поправку U_C , значение которой зависит от плотности застройки. Табл. 3 содержит значения поправочного коэффициента U_C .

Таблица 3 Значения поправочного коэффициента U_C

Тип застройки	U_C , дБ
Сельская местность	5
Пригород	0
Городской район	-3
Плотная городская застройка	-4

Бюджет линии для нисходящего направления от базовой станции к абонентской станции (БС ® АС) можно рассчитать по формуле

$$DL_{\text{БП}} = P_{\text{Tx БС}} - P_{\text{A0AC}} + G_{\text{Tx БС}} + G_{\text{RxAC}} - L_f - F - I_{DL} + U_C, \quad (3)$$

$$DL_{\text{БП}} =$$

где $P_{\text{Tx БС}}$ - излучаемая мощность передатчика БС, дБм;

P_{A0AC} - чувствительность приемника АС, дБм;

$G_{\text{TxБС}}$ - коэффициент усиления антенны передатчика БС, дБи;

G_{RxAC} - коэффициент усиления антенны приемника AC, дБи;

L_f - потери в фидере, принять равным 3 дБ;

F - замирание радиосигнала, дБ;

I_{DL} - уровень межканальной интерференции, дБ;

U_c - поправочный коэффициент типа застройки, дБ.

Для восходящего направления от абонентской станции к базовой станции (AC→BC) бюджет линии имеет вид

$$UL_{БП} = P_{Tx AC} - P_{A0B0} + G_{TxAC} + G_{RxBC} - F - I_{UL} + U_c. \quad (4)$$

$$UL_{БП} =$$

3. Модель распространения радиоволн

Для расчета оптимального расстояния от базовой станции до абонента необходимо оценить уровень потерь при распространении радиоволн. Потери на трассе при распространении электромагнитных волн в реальной среде определяют уменьшение уровня мощности сигнала. Эти потери не должны превышать энергетический бюджет линии (минимальный из двух значений). Для расчета уровня потерь используется модель Эрцега - Гринштейна, применяемая рабочей группой IEEE 802.16. Эта модель базируется на экспериментальных измерениях, проведенных в США. С учетом некоторого минимального расстояния d_0 уровень потерь рассчитывается по формуле

$$L = 20 \log_{10}(4\pi d_0 \lambda) + 10\gamma \log_{10}(d/d_0) + s + \Delta L_f + \Delta L_h, \quad (5)$$

$$L =$$

где d - расстояние от БС до AC ($d \geq d_0$, $d_0 = 100$ м);

λ - длина волны, м;

s - уровень затенения сигнала;

ΔL_f - поправочный коэффициент для частоты;

ΔL_h - поправочный коэффициент для высоты антенны AC, зависящий от типа местности;

$\gamma = a - bh_b + c/h_b$, где h_b - высота антенны БС.

Постоянные a , b , c зависят от ландшафта местности (табл. 4). Уровень затенения сигнала s , изменяющийся по логнормальному закону распределения с нулевым средним, также зависит от типа ландшафта местности: A - холмистая местность, умеренный лес; B - равнина с редкими холмами; C - равнина, редкий лес.

Таблица 4 Параметры, зависящие от ландшафта местности

Параметр	A	B	C
a	4,6	4,0	3,6
b	0,0075	0,0065	0,0050

c	12,6	17,1	20,0
s , дБ	10,6	9,6	8,2

Без использования поправочных коэффициентов ΔL_f , ΔL_h формула (5) действительна только для частот меньше 2 ГГц и высоты антенны приемника до 2 м. Поправочный коэффициент для другой частоты ΔL_f записывается следующим образом:

$$\Delta L_f = 6 \log_{10}(f/2000), \quad (6)$$

$$\Delta L_f =$$

где f - частота радиосигнала, МГц.

Формула для вычисления поправочного коэффициента для высоты антенны ΔL_h зависит от ландшафта местности:

$$\Delta L_h = 10,8 \log_{10}(h/2) \text{ для } A \text{ и } B \text{ типов,}$$

$$\Delta L_h = -20 \log_{10}(h/2) \text{ для } C \text{ типа,} \quad (7)$$

$$\Delta L_h =$$

где h - высота антенны приемника, м.

4. Расчет скорости передачи данных на сектор

Скорость передачи данных зависит от ширины полосы канала и используемой схемы модуляции [6]. На скорость передачи данных влияют защитный интервал символа T_g , отношение распределения ресурсов вниз/вверх (DL/UL) и время передачи протокольной информации (T_h). Момент времени, в течение которого никакие данные не передаются, а посылается различная системная информация, необходимая для инициализации и синхронизации, называется временем передачи протокольной информации. Тогда по формуле (8), можно рассчитать скорость передачи данных по направлению вниз (БС \rightarrow АС):

$$R_{DL} = BW n (N_{дан DL} / N_{всего}) R_{сим} [1 - (T_h/1 + T_g)] K_{TDD DL}, \quad (8)$$

$$R_{DL} =$$

где $N_{дан DL}$ - число поднесущих для передачи данных по направлению БС \rightarrow АС;

$R_{сим}$ - количество бит на символ;

T_h - время передачи протокольной информации;

T_g - защитный интервал;

$K_{TDD DL}$ - коэффициент распределения ресурсов по направлению БС \rightarrow АС .

Для расчета скорости передачи данных по направлению вверх (АС \rightarrow БС):

$$R_{UL} = BW n (N_{дан UL} / N_{всего}) R_{сим} [1 - (T_h/1 + T_g)] K_{TDD UL}, \quad (9)$$

$$R_{UL} =$$

где $N_{\text{данUL}}$ - число поднесущих для передачи данных по направлению АС →БС ;

K_{TDDUL} -коэффициент распределения ресурсов UL.

При расчетах T_h принимается равным 20 % от основного времени передачи, а значение защитного интервала - 1/8 от длительности полезного символа. Стандартом IEEE 802.16e также предусматриваются значения защитного интервала 1/4, 1/8, 1/16, 1/32. Соотношение между направлениями вниз/вверх позволяет регулировать отношение скоростей. Значения $N_{\text{дан UL}}$, $N_{\text{данDL}}$, $N_{\text{всего}}$ были приведены выше в табл. 1, значение $R_{\text{сим}}$ зависит от выбранной схемы модуляции (см. табл. 2).

5. Расчет дальности связи

Для определения предельной дальности связи необходимо рассчитать суммарное усиление тракта, компенсирующее потери на трассе распространения, и по графику определить соответствующую этому значению дальность. Усиление тракта в дБ определяется по формуле (5):

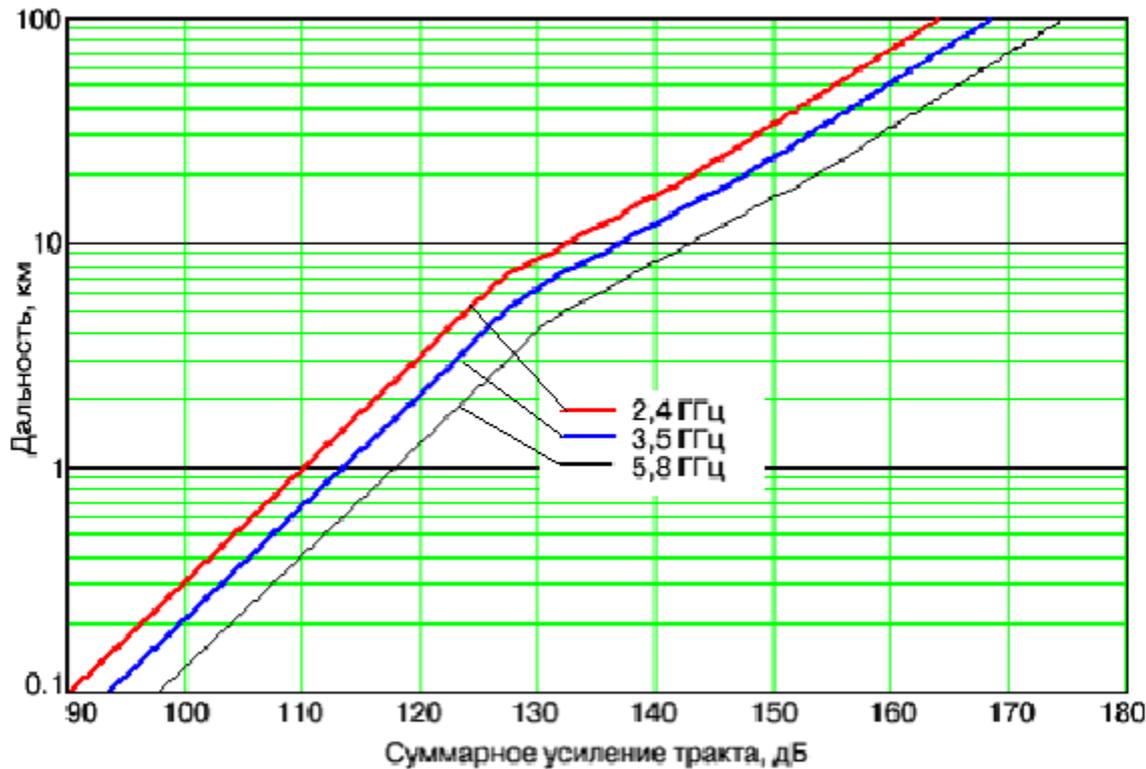


Рисунок 1 -График зависимости дальности связи от суммарного усиления тракта

Провести сравнение полученных результатов расчета сети с помощью программы планирования сети.

Программа планирования сети

По приведенному алгоритму написана программа расчета сети, учитывающая рассмотренные особенности мобильного WiMAX [7]. Программа написана на языке высокого уровня Object Pascal с использованием среды разработки Delphi 5.

Программа позволяет по введенным исходным данным, таким как параметры канала (частота, ширина канала, тип модуляции и т. д.); параметрам базовой станции (мощность, коэффициент усиления (КУ) антенны, количество секторов и т. д.); параметрам абонентской станции (мощность, КУ антенны, чувствительность и т. д.); параметрам модели распространения радиоволн и площади покрываемой территории, рассчитать количество базовых станций, радиус соты, количество абонентов, бюджет линии, скорость передачи данных на сектор. На рисунке показано окно разработанной программы для планирования сети мобильного WiMAX.



Рисунок 1 - Окно программы для планирования сети мобильного WiMAX

Окно программы включает в себя пять блоков.

1. *Параметры канала.* Содержит параметры, определяющие характеристики канала связи, такие как частота несущей, ширина канала, защитный интервал, тип модуляции, коэффициент соотношения ресурсов вниз/вверх, время, затрачиваемое на передачу системных данных, в процентах от основного времени.

2. *Параметры базовой станции.* В этом блоке сгруппированы технические характеристики БС, которые используются при расчете бюджета линии. Тип БС определяет количество антенн на сектор. Установка двух антенн на передачу увеличивает скорость передачи данных в нисходящем направлении, а двух антенн на прием позволяет одновременно обрабатывать два потока информации (технология MIMO 2x2).

3. *Параметры абонентской станции.* Блок содержит поля для ввода характеристик АС (мощность передатчика, чувствительность приемника, коэффициент усиления антенны).

4. *Параметры модели.* В этом блоке определяются параметры для расчета потерь при распространении радиоволн. С помощью списков «Местность» и «Тип

застройки» выбираются ландшафт и плотность застройки территории. Помимо учета потерь, блок содержит поля для установки высот базовой и абонентской станций.

5. *Параметры сети.* Площадь территории, которую надо обеспечить связью и скорость передачи данных на одного абонента задаются в полях «Площадь» и «Скорость».

При нажатии на кнопку «Расчет» производится расчет параметров сети, в результате которого выдается радиус соты (расстояние от БС до абонента), количество БС и число одновременно обслуживаемых абонентов при заданной скорости передачи данных.