

# Радиосеть передачи данных. Физический уровень. Часть 2 (Исправленная)

Dmitriy, 3 февраля 2017г.

## 1.6. Обоснование и подробное описание задач, выполняемых на физическом уровне. Проработка вопросов, связанных с обеспечением синхронизации сетевых устройств на физическом уровне.

Физический уровень - нижний уровень модели, основная задача которого – достоверная передача потока битов, поступающего с верхнего, канального уровня, посредством радиоканала физическому уровню другого узла сети.

В системе будет использоваться множественный доступ с разделением по TDMA с целью использования минимальной полосы частот.

В соответствии с п.1.5.2 <http://omokled.ru/publications/view/1047> требуется обеспечить 4 физических канала, из которых 2 - канала ТСН для передачи и ретрансляции трафика (1268 канальных интервалов), 1 - широкополосный канал ВССН для временной синхронизации терминалов (50 канальных интервалов), 1 - канал для передачи команд управления SACCH (50 канальных интервалов).

### 1.6.1. Анализ и обоснованный выбор мер по защите физического уровня от многолучевости.

Для борьбы с многолучевостью используются выравнивание характеристик канала на приемной стороне. В проектируемой системе будем использовать фильтр – эквалайзер. Для его работы необходимо наличие обучающей последовательности, следовательно в структуре сообщения физического уровня будем учитывать поле настройки фильтра эквалайзера.

### 1.6.2. Пояснение способа реализации проведения радиоизмерений на физическом уровне.

Терминал производит радиоизмерения во время приема сообщений посредством измерения флага начала пакета. Если это значение первое или отличается от предыдущего на величину отличную от установленного порога, то уровень принятия решений T формирует сообщение и отправляет его на смежный T, который принимает решение об изменении уровня мощности сигнала.

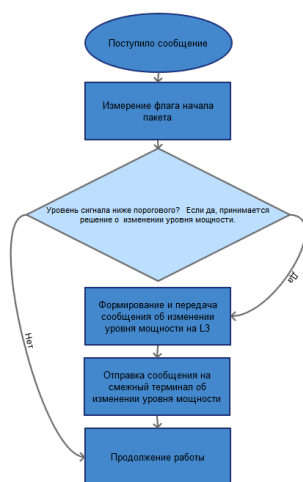


Рисунок 1 – Общий вид радиоизмерений физического уровня

### 1.6.3. Проработка структуры радиointерфейса L1-уровня, обеспечивающего двусторонний обмен пакетами физического уровня. Проработка профилей физического уровня и сценария их выбора. Определение типов пакетов физического уровня, обоснование структуры полей пакетов каждого типа, оценка размеров полей.

Сообщения, поступающие на уровень L1, проходят этап радиоизмерений, декодирование и выделение адреса на L2, затем вместе с радиоизмерениями поступают на уровень L3. Для упрощения работы системы длина пакетов сообщения L2 уровня всегда остается неизменной.

В работе используются два профиля передачи данных: BPSK и QAM-16.

BPSK – используется для передачи служебных сообщений, для обеспечения высокой достоверности передаваемых сообщений.

QAM-16 - используются для передачи трафика для обеспечения высокой скорости.

Количество бит на символ различно в зависимости от выбранного профиля: для BPSK-1 бит на IQ-символ, а для QAM-16-4 бит на символ.

Поле данных необходимо для непосредственной передачи трафика или команд управления.

FEC (блок избыточных разрядов) для исправления ошибок в процессе передачи.

В работе системы присутствует эквалайзер, значит, имеет место быть поле настройки фильтра эквалайзера.

Так же в структуре пакета присутствуют флаги начала, конца пакета FL.

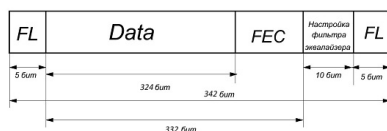


Рисунок 2 – Общий вид структуры пакета физического уровня.

Соответственно, для QAM-16 информационная часть после кодирования будет состоять минимум из  $342 \cdot 4 = 171$  символов, а для BPSK из  $342 \cdot 2 = 684$  символов.

### 1.6.4. Пояснение способа обеспечения частотной и временной синхронизации.

В нашей системе частотная и временная синхронизация обеспечивается широкополосным каналом ВССН.

Терминал прослушивая канал, и не обнаружив широкополосное сообщение, занимает свободный КИ и передает свое ВССН сообщение. Тем самым организуя сеть, базирующуюся на шкале времени первого терминала. В свою очередь, другой терминал обнаружив широкополосное сообщение от T1, занимает свободный КИ и передает свое ВССН сообщение.

В случае пересечение уже сформированных сетей, происходит перестройка временной шкалы под сеть с наибольшим количеством активных терминалов.

### 1.6.5. Оценка пропускной способности физического канала связи с учетом избыточности, вносимой на L1-уровне. Оценка требуемых частотных ресурсов.

Исходя из п.1.5.8 требуемая пропускная способность физического канала приблизительно равна 0,98 Мбит/с.

С учетом внесенной избыточности на обслуживание ВСCH и SACCH требуется:

$(342 \cdot 50) + 60 = 17160$  [бит] - на обслуживание ВСCH по 50 канальным интервалам

$(342 \cdot 50) + 60 = 17160$  [бит] - на обслуживание SACCH по 50 канальным интервалам

С учетом внесенной избыточности на обслуживание каналов трафика требуется:

$409600 / 324 \cdot 342 = 432356$  [бит]

С учетом помехоустойчивого кодирования со скоростью  $1/2$ , пропускная способность должна быть увеличена вдвое. Таким образом, пропускная способность физических каналов должна быть не менее:

$17160 \cdot 2 = 34320$  [бит/с] - на обслуживание ВСCH

$17160 \cdot 2 = 34320$  [бит/с] - на обслуживание SACCH

$432356 \cdot 2 = 864712$  [бит/с] - на обслуживание каналов приема и ретрансляции трафика

общая пропускная способность каналов:

$864712 + 34320 + 34320 = 933352$  [бит/с]

Необходимую минимальную полосу можно рассчитать по формуле:

$$\Delta f = R / \log_2 16 = 933352 / \log_2 16 = 0,24 \text{ МГц} - \text{ для каналов с 16QAM модуляцией}$$

1.6.6. Обоснованный выбор частотного диапазона (на основании документов ГРЧ4); аргументированный выбор модели оценки потерь при распространении радиоволн выбранного диапазона, расчет уровня потерь.

В соответствии с приложением «Инструкция о порядке регистрации и эксплуатации любительских радиостанций»: полоса частот 1260-1300 МГц может использоваться любительской службой с мощностью передатчика до 5 Вт на вторичной основе. Ширина используемого канала 0,26 МГц. В соответствии с «Приложением к решению ГРЧ4 от 10 марта 2011 г. №1 1-11-03» уточним выбранный диапазон: 1279- 1281 МГц, предназначенный для всех видов модуляции и использования с уровнем излучаемой мощности до 5 Вт.

Принято решение выбрать диапазон УВЧ, потому что распространение волн данного типа возможно только в пределах прямой видимости, практически полностью отсутствуют явления интерференции волн, следовательно, искажения сообщений. Так же важным преимуществом для данного диапазона является использование антенн малых размеров.

Предполагаем, что терминалы находятся в плотной городской застройке. В качестве модели потерь выберем модель для широкополосных систем связи 3-го поколения; она подходит для использования в нашей сети, потому что у нас небольшая зона радиопокрытия в условиях городской застройки, вследствие чего расстояние между терминалами меняется в пределах километра, что не совсем подходит для использования других моделей оценки потерь.

Математическая модель имеет вид:

$$L = 49 + 40 \lg R + 30 \lg f_0 \text{ где } R - \text{ расстояние между терминалами, } f_0 - \text{ несущая частота.}$$

Для расчёта расстояние между терминалами выберем равным 0,08 км. В таком случае получим:

$$L = 49 + 40 \lg (0,08) + 30 \lg (1280) = 98,4 \text{ дБ}$$

1.6.7. Расчет отношения сигнал/шум, требуемого для обеспечения заданной вероятности битовой ошибки для выбранного вида и типа модуляции/демодуляции. Обоснование выбора метода помехоустойчивого кодирования, перемежения/деперемежения, расчет эффективности кодирования. Коррекция данных расчета отношения сигнал/шум с учетом метода помехоустойчивого кодирования. Окончательная оценка требуемых частотных ресурсов.

Для расчета ОСШ, требуемого для обеспечения заданной вероятности битовой ошибки, используем утилиту BER Analysis Tool, входящую в состав пакета прикладных программ MATLAB. По техническому заданию необходимо обеспечить вероятность ошибки на бит не более, чем  $P_b: 10^{-6}$ . В результате исследования были получены графики, представленные на рисунке.

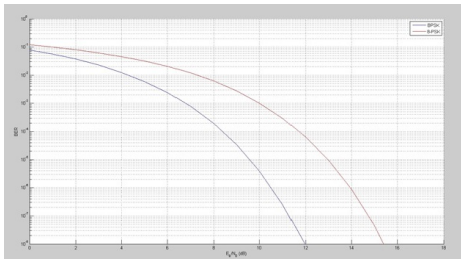


Рис.3- Зависимость вероятности битовой ошибки от ОСШ (без кодирования)

Основываясь на полученном графике, можно сделать вывод, что для обеспечения заданной ошибки необходимо ОСШ составит: 14,7 дБ для 16QAM и 10,7 дБ для BPSK.

Для увеличения порога ОСШ добавим избыточность посредством сверточного кодирования.

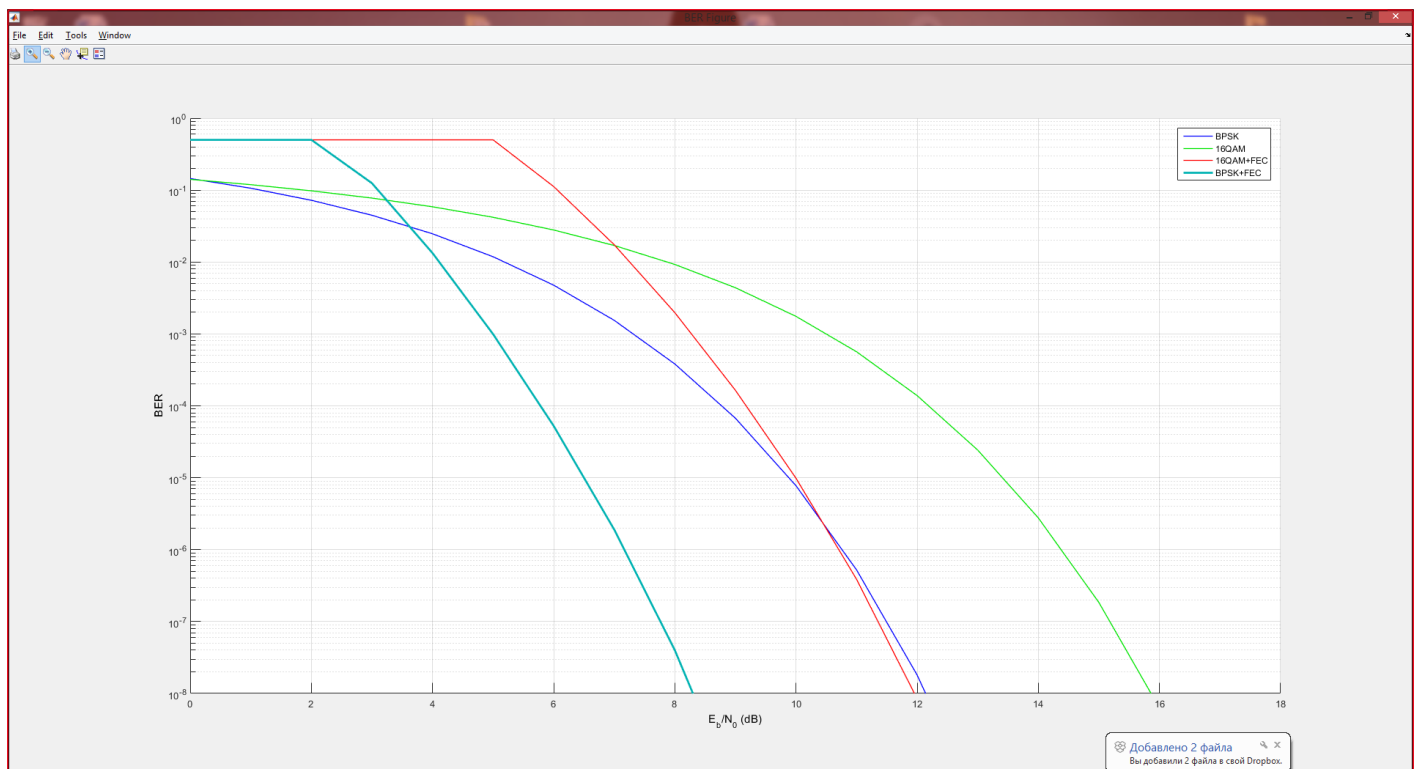


Рис.4 -Зависимость вероятности битовой ошибки от ОСШ(без кодирования и с применением кодирования)

Исходя из изображенных графиков (рис. 3), можно сделать вывод, что для обеспечения заданной вероятности битовой ошибки требуется ОСШ равное:

7,577 дБ для модуляции BPSK, что на  $10,7 - 7,577 = 3,123$  дБ эффективнее по сравнению с передачей без кодирования;

10,75 дБ для модуляции 16QAM, что на  $14,7 - 10,75 = 3,95$  дБ эффективнее по сравнению с передачей без кодирования;

Сверточное кодирование является мощным средством борьбы с одиночными ошибками. Идея сверточного кодирования заключается в следующем: входящая последовательность информационных бит преобразуется в специальному сверточному кодеру таким образом, чтобы каждому входному биту соответствовало более одного выходного. Сверточный код - непрерывный код, здесь нет деления на кодовые комбинации, при одинаковой сложности кодирующих и декодирующих устройств такое кодирование просто в реализации.

Из-за того, что закодированная информация не группируется в блоки, обнаружение и исправление ошибок выполняется непрерывно, и именно в этом состоит преимущество сверточных кодов.

В разрабатываемой системе применяется сверточный код с параметрами (7, [171 133]) и жестким декодированием по Витерби, что позволяет декодировать полученную последовательность кодовых слов с большой степенью правдоподобия.

Перемежение в данной сети используется для обеспечения борьбы с пакетными ошибками. Оценка минимально необходимой полосы производилась в пункте 1.6.5 и коррекции не требует.

1.6.8. Оценка уровня мощности передачи с учетом необходимого запаса мощности сигнала для его уверенного приема с вероятностью PR % на границе радиопокрытия, оценка размера зоны радиопокрытия.

Исходя из предыдущих пунктов получаем:

Осш  $E_b/N_0 = 10,75$  дБ;

Коэффициент усиления передающей антенны  $G_T=2$  дБ;

Коэффициент усиления принимающей антенны  $G_R=2$  дБ;

Затухания в канале связи  $L = 98,4$  дБ;

Необходимая минимальная полоса  $\Delta f=0,24$  МГц;

Скорость передачи данных после кодирования  $R = 933352$ бит/с;

Шумы каскадов:  $N_k = 2$  дБ;

Постоянная Больцмана:  $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$  Дж/К;

Шумовая температура (нормальные условия):  $T = 296$  К.

Шумовая полоса одного канала  $\Pi_{ш} = \Delta f \cdot 1,1 = 0,24 \cdot 1,1 = 0,264$  МГц

Мощность шума:  $P_{ш} = k \cdot T \cdot \Pi_{ш} = 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 296 \cdot 0,264 \cdot 10^6 = 10^{-16}$  Вт = -160 дБ

Аналоговое отношение сигнал/шум  $C/N = (E_b / N_0) + 10 \log(R / \Pi_{ш}) = 10,75 + 10 \log(1,0,264) = 16,5$  дБ

Чувствительность приемника:  $P_{пр} = P_{ш} + N_k + C/N = -160 + 2 + 16,5 = -141,5$  дБ =  $=7,07 \cdot 10^{-15}$  Вт

Мощность передачи:  $P_{изл} = P_{пр} + L - G_T - G_R = -141,5 + 98,4 - 2 - 2 = -47,1$  дБ = 0,195 мВт

Оценим область уверенного приема в 75% точек. Для этого воспользуемся формулой:

В таблице функций Лапласа найдем значение, ближайшее к  $((100 - 75) / 100) = 0,25$  и получим  $W = 0,68$ . Примем  $\sigma = 10$  и  $n = 5$ , так как наша сеть мобильна и может находиться в плотной городской застройке.

По графику на рисунке 5 мы определяем искомое значение  $r_{75}$

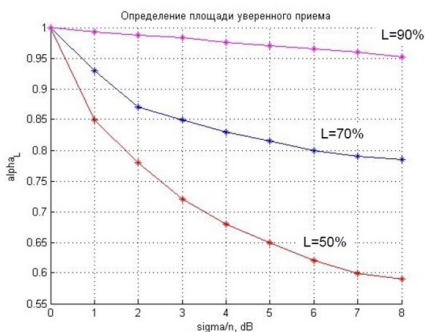


Рисунок 5 – определение площади уверенного приема

Примем  $\sigma = 10$  - дисперсия по месту,  $n = 5$  - коэффициент потерь.

Имея отношение  $\sigma/n=2$  получаем  $r_{50}=78$ .

Тогда область радиопокрытия в 75% точек:

$$R_{75} = 10^{\wedge}(-C_{г} / 10n) \cdot r_{50} = 10^{\wedge}(-6,8 / 50) \cdot 0,78 = 0,57 \text{ км}$$

1.6.9. Построение блок-схем алгоритмов приема/передачи сообщений физического уровня.

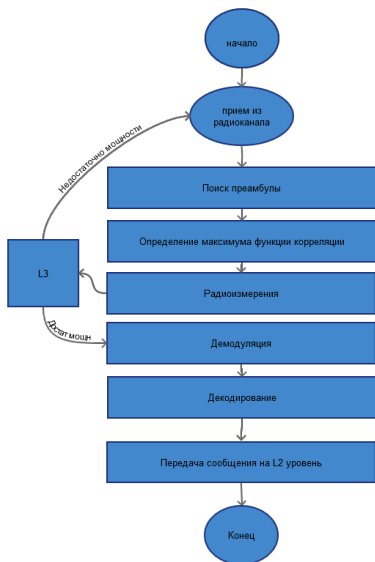


Рис.6 - Алгоритм приёма сообщений

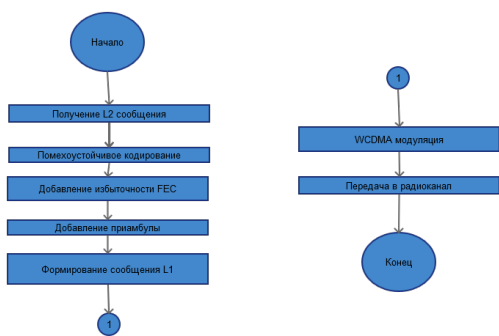


Рис.7- Алгоритм передачи сообщения

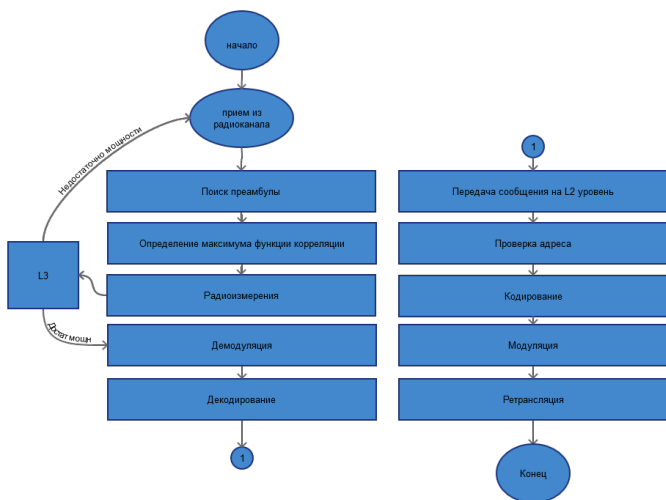


Рис.8- Алгоритм ретрансляции сообщений

**Используемая литература:**

1. Бажак А. В. "Лекции по курсу: Системы и сети связи с подвижными объектами".
2. Лукашин И.В. "Радиосистема дистанционного видеоконтроля" <http://omoled.ru/publications/view/447>
3. Хольмагорцев И.В. "Радиосеть сбора данных Часть 2" <http://omoled.ru/publications/view/931>
4. Курочкин В. "Радиосистема управления беспилотным аппаратом Часть 3. Физический

уровень" <http://omoled.ru/publications/view/1019>

5. Генеральский Д. "Радиосеть передачи данных. Часть 3" <http://omoled.ru/publications/view/613>

6. Федосов А.А. "Локальная радиосеть" <http://omoled.ru/publications/view/603>



Статья опубликована на сайте Omoled.ru - Образовательные сообщества  
Ссылка на статью: <http://omoled.ru/publications/view/1019>