


КП "Локальная радиосеть". Часть 3. Калинин В.В.

 Vlad Kalinkin, 8 декабря 2012г.

1.6. Построение канального уровня системы.

1.6.1. Описание назначения сервисов канального уровня исходя из контекста решаемых задач. Определение способов адресной и ширококвещательной доставки сообщений канального уровня.

На канальном уровне разрабатываемой системы выполняется адресная доставка сообщений, передаваемых с уровня принятия решения, проверка целостности принимаемых с физического уровня сообщений, а также управление доступом к физическому КС. Следует рассмотреть службы канального уровня.

Служба *адресации* реализует адресную передачу сообщений посредством вставки адреса терминала или точки доступа в соответствующее поле пакета канального уровня. Эти адреса представляют собой уникальные идентификаторы (ID) терминалов, которые известны точке доступа и хранятся в ее информационной системе. В свою очередь, терминалы записывают в своей памяти ID точки доступа, извлекая его из ширококвещательной рассылки AP, в зоне действия которой находятся. В связи с тем, что данная система рассчитана на 30 терминалов, то поле адреса терминала будет состоять из 5 бит ($2^5 = 32$). Поле адреса точки доступа также примем равным 5.

Служба *проверки целостности* на основе расчета контрольных сумм CRC производит проверку достоверности принимаемых сообщений канального уровня. В разрабатываемой системе в качестве CRC будем использовать CRC-16, поэтому соответствующее поле пакета канального уровня будет содержать 16 бит.

Канальный уровень можно разделить на MAC и CAC - подуровни. На MAC - подуровне помимо описанных выше служб, должны быть предусмотрены также службы сбора и разбора пакетов канального уровня. На CAC - подуровне реализуется служба управления доступом к физическому КС. Подробно алгоритм множественного доступа описан в предыдущих статьях [2,3].

1.6.2. Выделение типов логических каналов связи (ЛКС), используемых на канальном уровне. Назначение сообщений, передаваемых по каждому ЛКС. Оценка возможности применения ARQ (Automatic Repeat-Quest) в ЛКС. Способ обеспечения достоверности принимаемых сообщений.

Рассмотрим логические каналы связи, используемые в данной системе на канальном уровне на основе изложенных ранее сценариев [3].

1. **BCCH** (Broadcast Control Channel) - ширококвещательный канал, предназначенный для неадресной рассылки общей информации о сети. Содержит всю информацию о сети, а также идентификатор точки доступа, предназначенные для всех терминалов, находящихся в зоне обслуживания AP.
2. **RACH** (Random Access Channel) - канал случайного доступа, за который ведут конкурентную борьбу зарегистрированные в сети терминалы.
3. **AGCH** (Access Grant Channel) - канал разрешенного доступа, по которому передаются пакеты оповещения точки доступа, включающие в себя ID терминала, выигравшего конкурентную борьбу, а также время, занимаемое передачей сообщения этого терминала.
4. **TCH** (Traffic Channel) - предназначен для непосредственной передачи данных, а также передачи пакетов подтверждения передачи или приема. На этот канал отводится до 90% от всей пропускной способности физического канала.

Для оценки достоверности будем использовать поле контрольной суммы, которая вычисляется на приемной стороне. Неверно принятые пакеты будут переданы повторно благодаря тому, что каждый пакет нумеруется, и это позволяет осуществить передачу только недостающих пакетов. Это более удобный способ, чем ARQ, когда передатчик ожидает от приемника подтверждения успешного приема предыдущего блока данных, перед тем как начать передачу следующего.

1.6.3. Долевая оценка пропускной способности ЛКС, оценка полного трафика системы. Составить сводную таблицу ЛКС с указанием наименования, назначения и типа КС.

Обратимся к временной диаграмме работы системы (рис. 1)



Рисунок 1. Распределение логических каналов системы.

Примем пропускную способность физического канала за 100%, то есть $\tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \tau_4 = 100\%$.

τ_1 - интервал передачи широковещательной информации по каналу ВССН, на который отводится 1% всей пропускной способности.

τ_2 - интервал конкурентной борьбы по каналу RACH, использующий 2% от всей пропускной способности.

τ_3 - интервал времени для выделения КС по каналу AGCH, на который отводится 1% всей пропускной способности.

τ_4 - время передачи сообщения и отчета о доставке по каналу трафика TCH, на который выделено 96% пропускной способности ФК.

По условию T3 гарантируемая скорость передачи данных в обоих направлениях составляет 5 Мбит/с. Прибавим 20% от этого значения, приходящиеся на CRC, флаги, адреса и номер пакета. С учетом помехоустойчивого кодирования на физическом уровне общая пропускная способность увеличивается до 12 Мбит/с (при скорости кодирования 1/2), плюс 10% на реализацию синхронизации в виде преамбулы и защитных интервалов. В итоге общая пропускная способность канала трафика составляет 12.5 Мбит/с. Это 96% пропускной способности от всего КС.

Приведем соответствующие значения для остальных каналов:

τ_1 - ВССН - 0.125 Мбит/с;

τ_2 - RACH - 0.25 Мбит/с;

τ_3 - AGCH - 0.125 Мбит/с;

τ_4 - TCH - 12.5 Мбит/с.

В итоге общая пропускная способность ЛКС = 13 Мбит/с.

Таблица 1. Сводная таблица ЛКС канального уровня.

Наименование ЛКС	Назначение ЛКС	Тип ЛКС
ВССН	Передача широковещательной информации о сети	Широковещательный Downlink
RACH	Запрос на предоставлении индивидуального КС	Случайного доступа Uplink
AGCH	Оповещение о предоставлении индивидуального КС	Разрешенного доступа Downlink
TCH	Передача данных	Трафика Downlink/Uplink

1.6.4. Анализ необходимости наличия разных профилей настройки физического уровня. Способ оперативного управления профилями физического уровня.

На основании анализа, приведенном в предыдущей статье [3], можно сделать вывод о том, что разные профили настройки физического уровня необходимы. Выбор того или иного профиля осуществляется на основании результатов работы подсистемы радиоизмерений, расположенной на физическом уровне. По умолчанию установим профиль с высокой помехозащищенностью передачи данных. При выявлении ухудшения качества КС, подсистема радиоизмерений посылает сообщение сигнализации на уровень управления. В ответ уровень управления должен сформировать сообщение управления и отправить его подсистеме управления профилями. Подсистема управления профилями должна изменить вид модуляции, кодирования и перемежения на низкоскоростной и более помехозащищенный. Информация о профиле функционирования РМ, передается по каналу RACH вместе с запросом на предоставление индивидуального КС. Информация о профиле функционирования ТС, передается по каналу AGCH в пакете оповещения. Прежде чем осуществить передачу данных, РМ и ТС должны настроиться на одинаковый профиль функционирования физического уровня.

1.6.5. Пояснение структуры сообщения (пакета) канального уровня: описание предполагаемых видов пакетов и необходимых полей. Описание процедуры типового обмена сообщениями между объектами канального уровня.

Приведем структуру пакета канального уровня (рис. 2) для разрабатываемой сети. Этот пакет будет фиксированной длины вне зависимости от типа передаваемого сообщения.

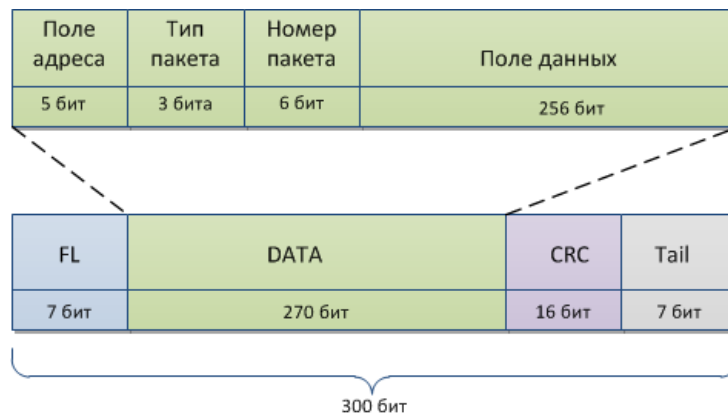


Рисунок 2. Общая структура пакетов канального уровня.

Поле FL - является флагом, указывающим на начало пакета. Поле адреса содержит адрес получателя пакета. В поле "Тип пакета" содержится информация об одном из двух типов передаваемого пакета: трафика (111) или служебный (000). При помощи поля "Номер пакета" все передаваемые пакеты получают уникальный номер, чтобы восстановить ошибочную передачу с потерянного пакета. Поле данных содержит пользовательскую информацию. Поле CRC служит для определения целостности пакета. Поле Tail заполняется нулями для обнуления помехоустойчивого декодера для следующего пакета.

Приведем описание процедуры типового обмена сообщениями между объектами канального уровня, основываясь на рисунке 1.

1. В интервале времени t_1 осуществляется широковещательная рассылка от AP пакета, содержащего служебную информацию, отраженную в полях пакета канального уровня (рис. 2): "Тип пакета" - указывает на то, что данный пакет содержит служебную информацию, "Поле данных" информирует о том, что канал свободен, разрешена конкурентная борьба. Так как данная рассылка является неадресной, "Поле адреса" заполняется нулями.

2. В интервале времени t_2 терминалы отправляют служебные сообщения о запросе на предоставление физического канала для передачи, что отражается в "Поле данных", а поле "Тип пакета" в данном случае сигнализирует о том, что данная информация является служебной.

3. В интервале времени t_3 точка доступа отправляет служебное сообщение ("Тип пакета" - служебный), оповещающее все терминалы об ID победившего терминала и длине сообщения или сигнализирует конкретным терминалам о готовности принять сообщения. Эти сведения отражены в "Поле данных"

4. В интервале времени t_4 , наконец, происходит непосредственная передача пакетов трафика и отчета о доставке. Здесь "Тип пакета" - пакет трафика, а в "Поле данных" будет содержаться вся пользовательская информация.

1.7. Разработка физического уровня системы.

1.7.1. Назначение физического уровня, проработка структуры радиointерфейса, обеспечивающего двусторонний обмен данными. Пояснение инкапсуляции сообщений ЛКС в радиointерфейсе.

Рассмотрение физического уровня было затронуто в предыдущей статье [3]. Рассмотрим структуру радиointерфейса.

Интервалы времени передачи данных от терминалов представляют собой мультикадры, каждый из которых в свою очередь разбивается на некоторое количество кадров. В пределах одного кадра (рис. 5, [3]) происходит широковещательная рассылка, конкурентная борьба, передача сообщений, передача отчета о доставке. Кадр разделяется на временные слоты, в рамках которых происходит передача сообщений определенных типов. Несмотря на то, что нам известно количество терминалов в сети, нельзя точно определить количество временных кадров, так как число попыток терминалами занять канал связи непредсказуемо. Возможно лишь определить количество временных слотов, предоставляемых каждому типу ЛКС, исходя из долевого оценки пропускной способности.

При передаче по радиointерфейсу сообщения ЛКС проходят процесс инкапсуляции, состоящий в добавлении к сообщению, пришедшего с верхнего уровня в виде единого блока данных, служебной информации текущего уровня. Другими словами, служебная информация вышележащего уровня на текущем уровне не представляет никакого интереса, а лишь передается наряду с остальными данными.

1.7.2. Расчет полной пропускной способности физического КС соединения «терминал-БС».

Расчет полной пропускной способности был выполнен в п. 1.6.3 и составляет 13 Мбит/с с учетом помехоустойчивого кодирования, реализации преамбулы, защитных интервалов на физическом уровне.

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

Технология OFDM является эффективным средством в борьбе с многолучевостью, обладает высокой спектральной эффективностью. Поэтому используя OFDM, дополнительных мер борьбы с многолучевым распространением не требуется.

1.7.4. Энергетический расчет системы: обоснованный выбор частотного диапазона (на основании документов ГРЧ); оценка уровня потерь при распространении радиоволн выбранного диапазона; обоснование выбора вида модуляции; расчет отношения сигнал/шум, требуемого для обеспечения заданной вероятности битовой ошибки для выбранного вида и типа модуляции/демодуляции.

В соответствии с документом ГРЧ [4] (решение от 06 декабря 2004 г № 04-03-04-003 г. Москва «Об использовании полосы радиочастот 2400-2483,5 МГц для внутриофисных систем передачи данных»)[4], в котором предусмотрено свободное использование частотного диапазона 2,4 ГГц выберем рабочую полосу частот 2,4-2,4835 ГГц.

Для оценки уровня потерь распространения выберем модель ITU-R 1238, исходя из того, что предполагается нахождения AP и терминалов в одном здании в несколько этажей. Данная модель учитывает потери при многократном прохождении сигнала через пол, что позволяет предусмотреть такие характеристики, как повторное использование частоты на различных этажах здания. Дистанционные коэффициенты потери мощности, приводимые ниже, включают в неявном виде поправку на потери при прохождении сигнала через стены и над или через препятствия, а также на остальные механизмы возникновения потерь, которые могут возникнуть в пределах одного этажа здания [5].

Модель потерь имеет вид:

$$L_{total} = 20 \log_{10} f + N \log_{10} d + L_f(n) - 28 \text{ дБ}, \quad (1)$$

N - дистанционный коэффициент потерь мощности;

f - частота (МГц);

d - расстояние разнесения (м) между базовой станцией и переносным терминалом (где $d > 1$ м);

L_f - коэффициент потерь за счет прохождения сигнала через пол (дБ);

n : количество этажей между базовой станцией и переносным терминалом ($n \geq 1$).

Характерные параметры, основанные на результатах различных измерений, приведены в таблицах 2 и 3.

Таблица 2. Коэффициенты потери мощности, N, используемые при расчете потерь передачи внутри помещения

Частота	Жилые дома	Офисы	Промышленные здания
900 МГц	-	33	20
1.2-1.3 ГГц	-	32	22
1.8 - 2 ГГц	28	30	22
4 ГГц	-	28	22

Таблица 3. Коэффициенты потерь при прохождении сигнала через пол, L_f (дБ), n - число пройденных этажей, используемые при расчете потерь передачи внутри помещения (n ≥ 1)

Частота	Жилые дома	Офисы	Промышленные здания
900 МГц	-	9 (1 этаж) 19 (2 этажа) 24 (3 этажа)	-
1.8 - 2 ГГц	4n	15 + 4(n-1)	6+3(n-1)
5.2 ГГц	-	16 (1 этаж)	-

Приведем исходные данные для расчета, предположив, что разрабатываемая система находится в пределах 4 этажей здания.

$$N = 28;$$

$$f = 2,4 \text{ ГГц};$$

$$d = 100 \text{ м};$$

$$L_f = 27 \text{ дБ};$$

$$n = 4.$$

$$L_{\text{total}} = 20 \log_{10} f + N \log_{10} d + L_f(n) - 28 = 20 \log_{10}(2400) + 28 \log_{10}(100) + 27 - 28 = 122.604 \text{ (дБ)}.$$

В разрабатываемой системе существует возможность смены профиля в зависимости от состояния качества связи. Рассмотрим два вида модуляции, применяемых в данной системе: QPSK и QAM-16.

Построим графики зависимости вероятности символьной ошибки от E_b/N_0 для QPSK и QAM-16 (рис. 3).

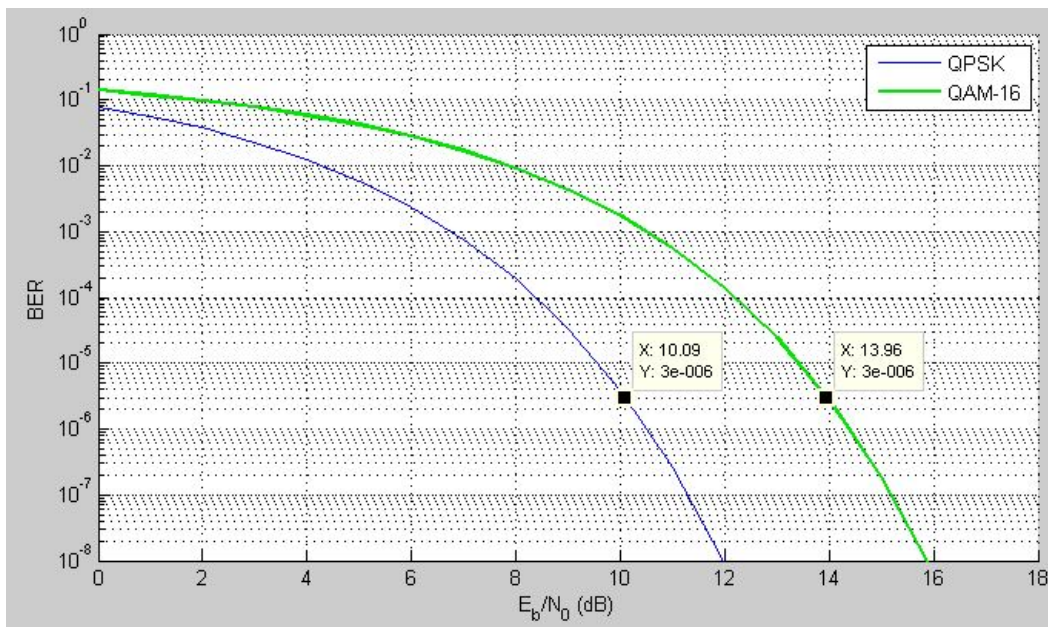


Рисунок 3. Графики зависимости вероятности символьной ошибки от E_b/N_0 для QPSK и QAM-16

Из рисунка 3 видно, что для обеспечения заданной вероятности ошибки $P_b = 3 \cdot 10^{-6}$ необходимо добиться значения ОСШ на выходе не менее 10.09 дБ для QPSK и 13.96 для QAM-16.

1.7.5. Обоснованный выбор метода помехоустойчивого кодирования, перемежения, деперемежения, оценка эффективности кодирования. Коррекция данных расчета п.1.7.4 и проверка на соответствие исходным данным.

Очевидно, что использование системы будет неэффективным, если не предпринимать меры для увеличения ОСШ при заданной вероятности ошибки. С этой целью в проекте используется сверточное кодирование [3] со скоростью 1/2, где каждому биту на входе соответствует 2 бита на выходе. Построим графики, аналогичные рис. 3, но уже с кодированием и оценим выигрыш в ОСШ при помощи инструмента bertool пакета Matlab (рис. 3).

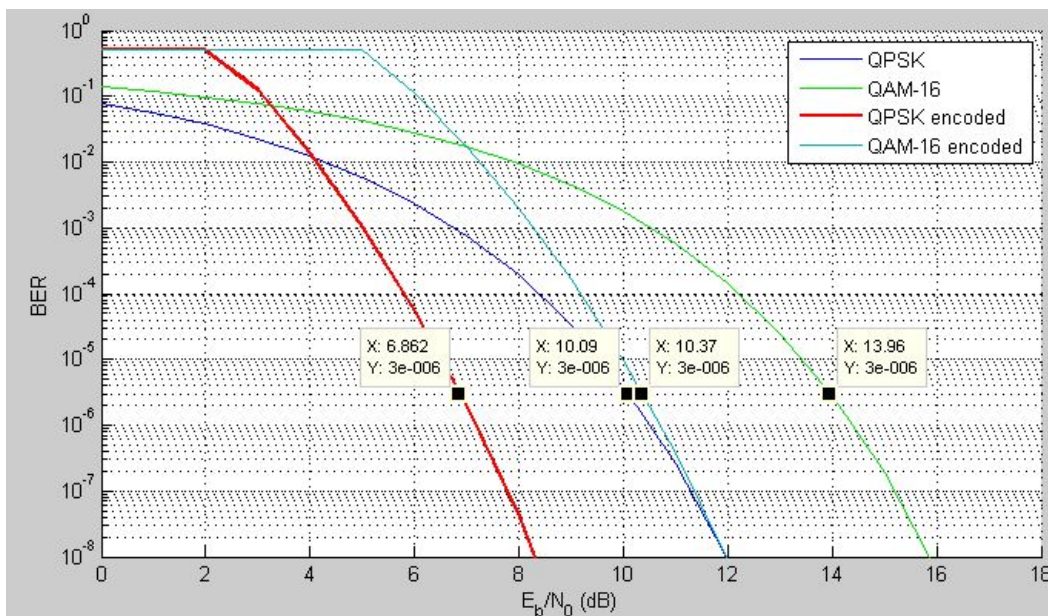


Рисунок 4. Графики зависимости вероятности символьной ошибки от E_b/N_0 для QPSK и QAM-16 с кодированием.

Был использован метод сверточного кодирования со значением порождающего многочлена (171, 133), выставленного в пакете Matlab по умолчанию.

Для QPSK с кодированием ОСШ = 6.862 дБ, выигрыш составляет 3,228 дБ.

Для QAM-16 с кодированием ОСШ = 10.37 дБ, выигрыш составляет 3,59 дБ.

Перемежение в данной сети используется для обеспечения борьбы с пакетными ошибками. В данной сети будем использовать случайное перемежение. При данном типе перемежения символы расставляются в случайном порядке по всей длине пакета по псевдослучайному закону, который вычисляется только один раз.

1.7.6. Оценка уровня мощности излучения передающего устройства, сравнение с заданным значением Ризл АС; сделать выводы, при необходимости вернуться к п.1.7.4, 1.7.5. Расчет чувствительности приемников АС (БС).

Оценка уровня мощности излучения передающего устройства при использовании QPSK модуляции.

- Минимальная полоса пропускания Δf :

$$\Delta f = R_N / \log_2(4),$$

R_N - скорость передачи данных по радиоканалу.

Минимальная полоса пропускания будет определяться исходя из канальной скорости передачи данных и количества поднесущих сигнала OFDM, использующихся для передачи данных. Скорость передачи данных по каждому из 58 параллельных каналов (58 поднесущих) будет равна:

R_c - скорость передачи после кодирования.

$R_c = 13$ Мбит/с - скорость передачи данных на выходе кодера.

$R_N = 2 * \frac{R_c}{58} = 2 * \frac{13 * 10^6}{58} = 448.3$ кбит/с - скорость передачи данных по каждому из 58 параллельных каналов.

$\Delta f = \frac{R_N}{\log_2(4)} = \frac{448.3}{2} = 224.14$ кбит/с - минимальная необходимая полоса пропускания (эффетивная полоса). Определяется исходя из канальной скорости передачи данных и количества поднесущих OFDM.

- Шумовая полоса приемника $P_{ш}$:

$$P_{ш} = \Delta f * 1.1 * 10^3 = 246.554 \text{ кГц},$$

- Аналоговое ОСШ определяется по формуле:

$$\frac{C}{N} = \frac{E_b}{N_o} + 10 * \log\left(\frac{R_N}{P_{ш}}\right) \text{ дБ},$$

$$\frac{E_b}{N_o} = 6.862 \text{ дБ} - \text{цифровое ОСШ}$$

$$\frac{C}{N} = \frac{E_b}{N_o} + 10 * \log\left(\frac{R_N}{P_{ш}}\right) = 6.862 + 2,6 = 9.46 \text{ (дБ)}.$$

$T = 296$ К - шумовая температура.

$k = 1.38 * 10^{-23}$ Дж/К - постоянная Больцмана:

- Мощность шума $P_{ш}$:

$$P_{ш} = k * T * P_{ш} = 1.38 * 10^{-23} * 296 * 246.554 * 10^3 = 10,071 * 10^{-16} \text{ Вт. (6)}$$

$$P_{ш} = 10,071 * 10^{-16} \text{ Вт} = -149,969 \text{ дБ}.$$

- Чувствительность приемника:

$$P_{прм} = P_{ш} + Nk + C/N = -149,969 + 10 + 9,46 = -130,5 \text{ (дБ)} = 8.913 * 10^{-14} \text{ (Вт)}$$

- Мощность излучения передатчика $P_{изл.т.}$

$$P_{изл.т.} = P_{прм} + Pз + L - G_T - G_R = -130,5 + 6 + 122.604 - 10 = -11,896 \text{ (дБ)} = 0,065$$

$L = 122.604$ дБ - затухание в радиоканале,
 $G_T = 10$ дБ - коэффициент усиления передающей антенны,
 $G_R = 0$ дБ - коэффициент усиления приемной антенны,
 $R_z = 6$ дБ - резерв по мощности, из-за замираний в канале связи.

$P_{изл\ T} = 0.065 < 0.15$ - что удовлетворяет требованиям ТЗ.

Данное значение рассчитано для одной поднесущей!

По всем 58 поднесущим мощность излучения равна 3.77 Вт.

Оценка уровня мощности излучения передающего устройства при использовании QAM-16 модуляции.

$R_N = 4 * \frac{R_c}{58} = 4 * \frac{13 * 10^6}{58} = 896.6$ кбит/с - скорость передачи данных по каждому из 58 параллельных каналов.

$\Delta f = \frac{R_N}{\log_2(16)} = \frac{896.6 * 10^6}{4} = 224.14$ кбит/с - минимальная необходимая полоса пропускания

- Шумовая полоса приемника $\Pi_{ш}$:

$\Pi_{ш} = \Delta f * 1.1 * 10^3 = 246.554$ кГц,

- Аналоговое ОСШ определяется по формуле:

$\frac{C}{N} = \frac{E_b}{N_o} + 10 * \log\left(\frac{R_N}{\Pi_{ш}}\right)$ дБ,

$\frac{E_b}{N_o} = 10.37$ дБ - цифровое ОСШ

$\frac{C}{N} = \frac{E_b}{N_o} + 10 * \log\left(\frac{R_N}{\Pi_{ш}}\right) = 10.37 + 5,6 = 15.977$ (дБ).

- Мощность шума $P_{ш}$:

$P_{ш} = k^*T * \Pi_{ш} = 1.38 * 10^{-23} * 296 * 246.554 * 10^3 = 10,071 * 10^{-16}$ Вт. (6)

$P_{ш} = 10,071 * 10^{-16}$ Вт = - 149,969 дБ.

- Чувствительность приемника:

$P_{прм} = P_{ш} + N_k + C/N = - 149,969 + 10 + 15.977 = -123,99$ (дБ) = $3.988 * 10^{-13}$ (Вт)

- Мощность излучения передатчика $P_{изл\ T}$.

$P_{изл\ T} = P_{прм} + R_z + L - G_T - G_R = -123,99 + 3 + 122.604 - 10 = -8,386$ (дБ) = 0,145 (Вт).

$L = 122.604$ дБ - затухание в радиоканале,
 $G_T = 10$ дБ - коэффициент усиления передающей антенны,
 $G_R = 0$ дБ - коэффициент усиления приемной антенны,
 $R_z = 3$ дБ - резерв по мощности, из-за замираний в канале связи.

$P_{изл\ T} = 0,145$ Вт < 0.15 - что удовлетворяет требованиям ТЗ.

Данное значение рассчитано для одной поднесущей!

По всем 58 поднесущим мощность излучения равна 8.41 Вт

1.7.7. Пояснение функциональной схемы физического уровня системы.

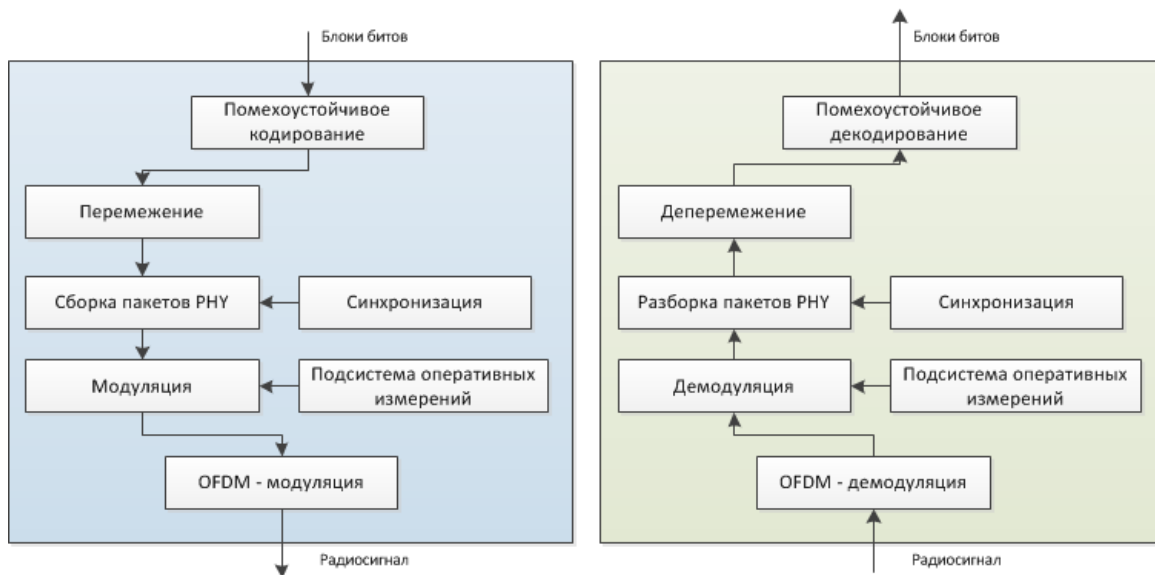


Рисунок 5. Функциональная схема физического уровня системы: передатчик (слева), приемник (справа).

Битовый поток, поступающий с канального уровня, проходит процедуру сверточного кодирования (рис. 5) со скоростью $1/2$ и поступает на перемежитель, который осуществляет перестановку битов по заданному алгоритму. Полученная последовательность битов поступает на блок сборки пакетов физического уровня, формируя пакет данных. На данном этапе к пакету добавляется преамбула для реализации временной и частотной синхронизации. Затем данные модулируются, преобразуясь в модуляционные символы, при помощи которых осуществляется модуляция информационных поднесущих OFDM сигнала в блоке OFDM-модулятора и передаются в канал. В приемнике осуществляются обратные операции.

1.7.8. Пояснение назначения логических каналов связи, используемых на физическом уровне.

В проектируемой сети на физическом уровне будут использоваться следующие логические каналы связи:

1. Виртуальный канал синхронизации. Он необходим для установления и поддержания временной и частотной синхронизации. Будет реализован в виде преамбулы, добавляемой к передаваемому сообщению (направление Downlink/Uplink).
2. Канал трафика. Предназначен для непосредственной передачи сообщений (направление Downlink/Uplink).

1.7.9. Определение типов пакетов физического уровня, обоснование структуры полей пакетов каждого типа, оценка размеров полей.

Для передачи пакетов используется OFDM с модуляцией поднесущих QPSK и QAM-16 в зависимости от типа профиля (основной или дополнительный). В пакет физического уровня входят:

- Преамбула состоит из 12 OFDM символов, необходимых для временной и частотной синхронизации приемных устройств.
- Служебное поле состоит из одного OFDM символа, содержащего информацию о профиле, в соответствии с которым выбирается вид модуляции последующих символов.
- Поле данных и поле FEC состоят из 6 или 3 OFDM символов, в зависимости от используемого профиля. Эти поля необходимы для непосредственной передачи пользовательской информации и исправления ошибок в процессе передачи.

В одном символе OFDM содержится 58 информационных поднесущих и 6 пилот сигналов, необходимых для синхронизации. Также используется циклический префикс равный $1/16$ длительности символа OFDM. В преамбуле использованы 10 «укороченных» по времени и 2 полных OFDM символов.

Рассмотрим пакет физического уровня проектируемой сети (рис. 6).

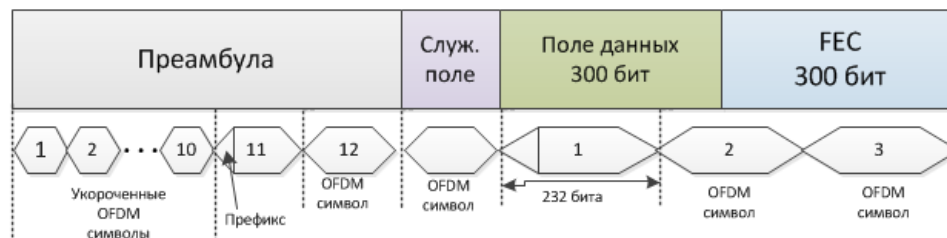
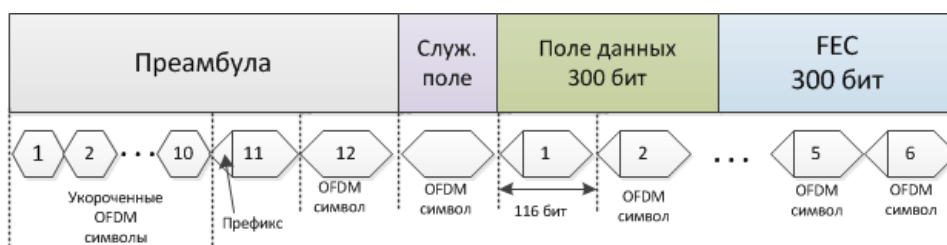


Рисунок 6. Пакет физического уровня при QPSK (верхний) и при QAM-16 (нижний).

Итак, приведем профили, доступные в данной системе.

Таблица 4. Профили работы физического уровня.

Вид модуляции	Скорость кодирования	Скорость передачи, кбит/с	Количество бит на поднесущую	Количество бит на OFDM символ	Количество передаваемых OFDM символов
QPSK	1/2	448.3	2	116	6
QAM-16	1/2	896.6	4	232	3

Список литературы:

1. Бакке А.В. Лекции по курсу ССПО. 2012
2. КП "Локальная радиосеть". Часть 1. Калинин В.В.
3. КП "Локальная радиосеть". Часть 2. Калинин В.В.
4. Решение ГКРЧ от 6 декабря 2004 г. № 04-03-04-003
5. Рекомендация МСЭ-R P.1238-5 ITU - R 1238