

УДК 621.391

Ю.Т. Загидуллин, А.С. Шичаев

Исследование качества обнаружения сигналов OFDM в зависимости от структуры преамбулы

Проведено исследование качества обнаружения сигналов с ортогональным частотным разделением подканалов (OFDM) в зависимости от выбора структуры преамбулы. Рассмотрено восемь случаев расположения поднесущих частот преамбулы для канала с аддитивным белым гауссовым шумом (АБГШ) и канала с многолучевым распространением.

Ключевые слова: OFDM, преамбула, обнаружение сигналов, АБГШ, многолучевой канал.

Постановка задачи. В настоящее время одним из наиболее перспективных методов построения надежных и высокоскоростных систем связи является использование сигналов OFDM (Orthogonal frequency division multiplexing – ортогональное частотное разделение подканалов). Сигналы OFDM широко используются при передаче данных в условиях многолучевого распространения, поскольку позволяют решить проблемы межсимвольной интерференции (МСИ) и частотно-селективных замираний (ЧСЗ). При этом эффективно используется выделенная полоса частот канала и сохраняется высокая скорость передачи информации [1, 2].

Для обеспечения высокой эффективности передачи в первую очередь требуется обнаружить сигнал. Для обнаружения сигнала используется преамбула – часть сигнала, формируемая непосредственно перед передачей данных. Преамбула также используется для начальной синхронизации всей системы связи. Исследуемая задача является актуальной, поскольку подбор некоторой оптимальной структуры преамбулы для заданного типа канала позволит наиболее качественно обнаруживать сигналы OFDM.

Разработка структуры преамбулы. Преамбула строится на основе сигнала OFDM путем выбора нескольких тонов, отстающих друг от друга на некоторое частотное расстояние. В исследовании использовался сигнал OFDM со следующими параметрами:

- длительность полезной части символа OFDM (интервал ортогональности) $T = 20$ мс;
- длительность циклического префикса $T_{CP} = 2,5$ мс;
- частота дискретизации 8 кГц;
- полоса сигнала 300–3400 Гц;

Расстояние между поднесущими частотами для сигнала OFDM определяется по формуле [1,3]:

$$\Delta f = \frac{1}{T} = 50 \text{ Гц.} \quad (1)$$

Очевидно, что в указанной полосе (3,1 кГц) размещается 60 поднесущих. Спектр преамбулы должен иметь гребенчатую структуру, а для ее обнаружения используется энергетический приемник [1]. Принцип обнаружения преамбулы подробно описан в [4, 5]. Исходя из [4], минимальное расстояние Δ между тонами преамбулы должно составлять 4 поднесущих. Например, на рис. 1 изображен спектр 5-тоновой преамбулы с расстоянием между тонами $\Delta = 10$ поднесущих (по оси абсцисс отложен номер поднесущей).

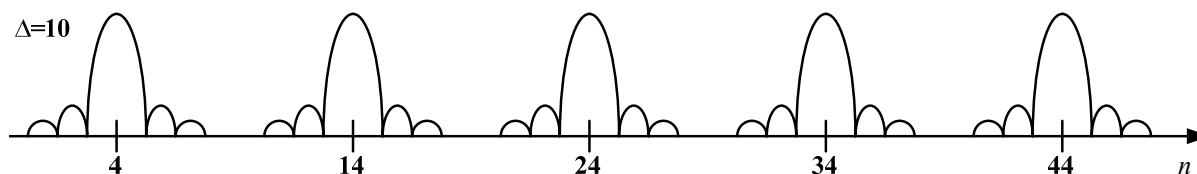


Рис. 1. Пример спектра преамбулы

В работе предлагается рассмотреть несколько структур преамбулы, параметры которых указаны в табл. 1.

Таблица 1

Параметры структур преамбулы		
Количество преамбульных тонов	Номера преамбульных тонов	Расстояние между тонами Δ
3	[3,24,45]	21
4	[3,17,31,45]	14
5	[4,14,24,34,44]	10
6	[2,11,20,29,38,47]	9
7	[3,10,17,24,31,38,45]	7
8	[3,9,15,21,27,33,39,45]	6
10	[2,7,12,17,22,27,32,37,45,47]	5
12	[2,6,10,14,18,22,26,30,34,38,42,46]	4

Имитационное моделирование. Для оценки качества обнаружения используются вероятности ложного обнаружения и пропуска сигнала. Дестабилизирующими факторами являются АБГШ, а также многолучевость и связанные с ней МСИ и ЧСЗ.

В качестве модели многолучевого канала связи используется двухлучевой канал, реализованный в соответствии с рекомендацией ITU-R F.1487 для среднеширотной трассы. Для средних широт описаны три состояния канала: спокойные условия; умеренные условия; возмущенная ионосфера. Каждое из этих состояний характеризуется своими параметрами.

Таблица 2

Параметры двухлучевого канала для различных условий		
Состояние канала связи	Задержка между лучами (мс)	Частотное рассеяние (Гц)
Спокойные условия	0,5	0,1
Умеренные условия	1	0,5
Возмущенная ионосфера	2	1

Имитационное моделирование проводилось в программе MATLAB. Исследование проводилось для трех каналов связи: канал с АБГШ, двухлучевой канал по ITU-R F.1487 с возмущенной ионосферой и с умеренными условиями распространения. Для исследования был взят ряд значений отношений сигнал/шум (ОСШ) от -10 до 10 дБ с шагом 2 дБ. Ложные обнаружения сигнала по преамбуле фиксировались в моменты времени, когда принимался шум либо искаженный многолучевостью сигнал. Пропуски сигнала фиксировались в моменты времени, когда принималась преамбула. Объем выборки составил 10000 повторений преамбулы, поэтому точность вычислений равна 10^{-4} .

Для обозначения различных структур преамбул введена маркировка PRM X, где X – количество тонов преамбулы. Результаты моделирования приведены на рис. 2–4.

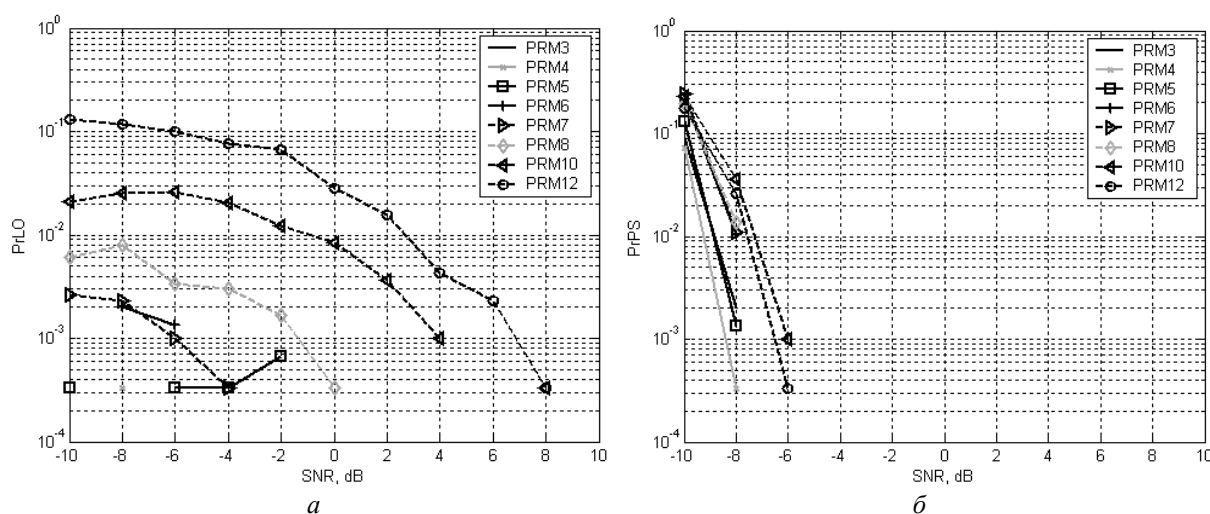


Рис. 2. Вероятность ложного обнаружения (а) и пропуска сигнала (б) в зависимости от ОСШ в канале с АБГШ

Из рис. 2 видно, что в канале с АБГШ вероятности ложного обнаружения PrLO и пропуска сигнала PrPS убывают с ростом ОСШ, а также с уменьшением количества преамбульных тонов. Наилучшей для канала с АБГШ является 4-частотная преамбула, для которой $PrLO < 10^{-4}$ при $ОСШ > -6$ дБ, а $PrPS < 10^{-4}$ при $ОСШ > -8$ дБ. 5-частотная преамбула показала ненамного худшие результаты.

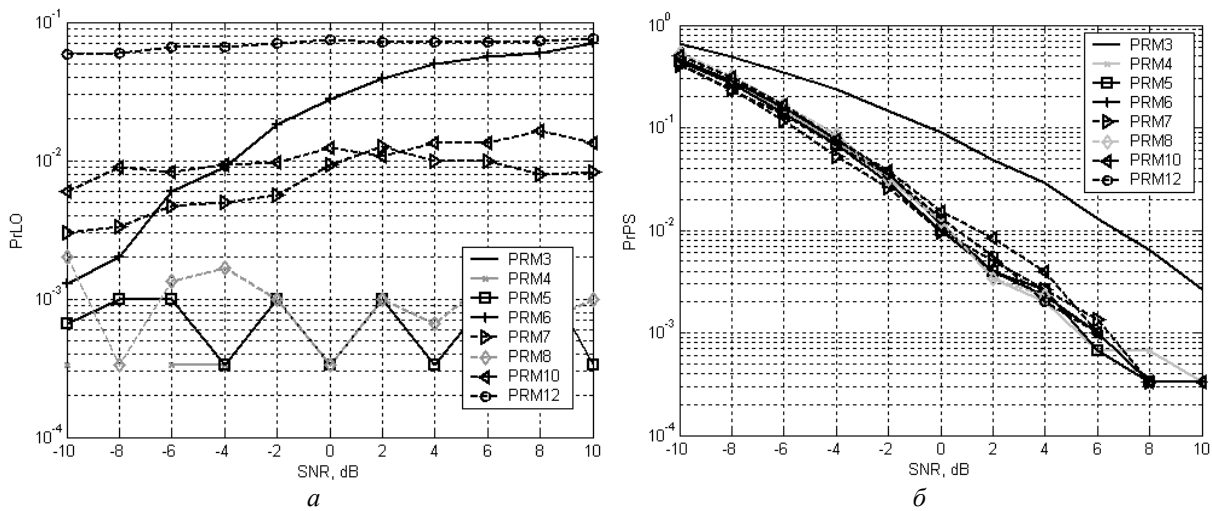


Рис. 3. Вероятность ложного обнаружения (а) и пропуска сигнала (б) в зависимости от ОСШ в двухлучевом канале (возмущенная ионосфера)

Из рис. 3 видно, что в двухлучевом канале с возмущенной ионосферой вероятность ложного обнаружения PrLO слабо зависит от ОСШ, зато убывает с уменьшением количества преамбульных тонов. Исключение составляет 6-частотная преамбула, для которой PrLO увеличивается с ростом ОСШ. Это связано с тем, что под воздействием ЧСЗ спектр сигнала перестает быть равномерным и принимает гребенчатую структуру, которая схожа со структурой 6-частотной преамбулы. Вероятность пропуска сигнала PrPS убывает с ростом ОСШ и практически не зависит от структуры преамбулы. Наилучшей для данного типа канала является 5-частотная преамбула, для которой $PrLO < 10^{-3}$ на всем диапазоне ОСШ, а $PrPS < 10^{-2}$ – при $ОСШ > 0$ дБ.

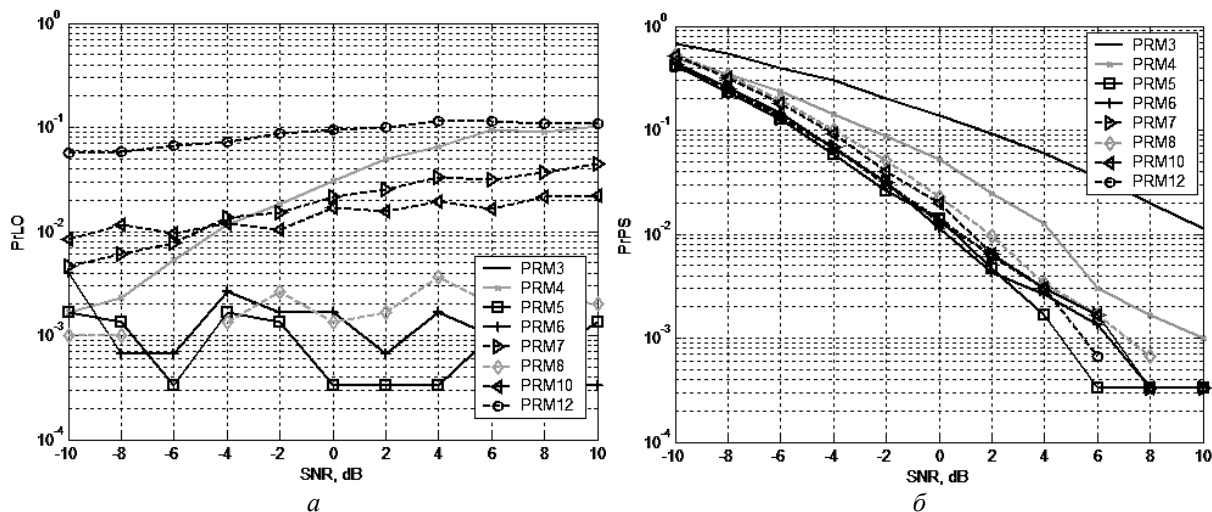


Рис. 4. Вероятность ложного обнаружения (а) и пропуска сигнала (б) в зависимости от ОСШ в двухлучевом канале (умеренные условия)

Из рис. 4 видно, что в двухлучевом канале с умеренными условиями вероятность ложного обнаружения PrLO слабо зависит от ОСШ, зато убывает с уменьшением количества преамбульных

тонов. Исключение составляет 4-частотная преамбула, для которой PrLO увеличивается с ростом ОСШ. Это связано с тем, что под воздействием ЧСЗ спектр сигнала перестает быть равномерным и принимает гребенчатую структуру, которая схожа со структурой 4-частотной преамбулы. Вероятность пропуска сигнала PrPS убывает с ростом ОСШ и практически не зависит от структуры преамбулы. Наилучшей для данного типа канала является 5-частотная преамбула, для которой $\text{PrLO} < 2 \cdot 10^{-3}$ на всем диапазоне ОСШ, а $\text{PrPS} < 10^{-2}$ – при $\text{ОСШ} > 1$ дБ.

Заключение. В ходе проведения исследования были получены следующие результаты:

1. Для всех каналов связи вероятность ложного обнаружения убывает с уменьшением количества преамбульных тонов.

2. Вероятность пропуска сигнала существенно зависит от ОСШ в канале и тем меньше, чем больше ОСШ. Кроме того, прослеживается тенденция к уменьшению вероятности пропуска сигнала с ростом количества преамбульных тонов. Однако при больших количествах преамбульных тонов (более 6) существенного выигрыша не наблюдается.

3. Для всех каналов связи наиболее выгодно использовать пятичастотную преамбулу, для которой вероятность ложного обнаружения не превышает 10^{-3} на всем диапазоне ОСШ, а вероятность пропуска сигнала не превышает 10^{-2} при ОСШ свыше -9 дБ для канала с АБГШ и при ОСШ свыше 0 дБ для многолучевого канала.

Работа выполнена в рамках Программы стратегического развития ФГБОУ ВПО «ИжГТУ им. М.Т. Калашникова» на 2012–2016 гг.

Литература

1. Прокис Дж. Дж. Цифровая связь: под ред. Д.Д. Кловского; пер. с англ. – М.: Радио и связь, 2000. – 800 с.

2. Альперт Я.Л. Распространение электро-магнитных волн в ионосфере. – М.: Наука, 1972. – 480 с.

3. Gill M.C. Coded-Waveform Design for High Speed Data Transfer over High Frequency Radio Channels / PhD Thesis, February. – Adelaide: University of South Australia, 1998. – 144 p.

4. Исследование качества обнаружения преамбульных символов в сигналах OFDM / Ю.Т. Загидуллин, М.С. Мерзлякова, В.В. Хворенков, А.Н. Копысов // Вестник ИжГТУ. – 2012. – № 2. – С. 118–121.

5. Липкин И.А. Статистическая радиотехника. Теория информации и кодирования. – М.: Вузовская книга, 2002. – 216 с.

Загидуллин Юрий Такиulloвич

Ст. преподаватель каф. радиотехники ИжГТУ им. М.Т. Калашникова

Тел.: 8 (341-2) 59-25-10

Эл. почта: dzurap@istu.ru

Шичаев Александр Сергеевич

Магистрант каф. радиотехники

Тел.: 8 (341-2) 59-25-10

Zagidullin Yu. T., Shichaev A.S.

The research on the efficiency of an OFDM signal detection depending on preamble structure

The research on the efficiency of an OFDM signal detection depending on preamble structure is investigated. Eight variants of a preamble structure for AWGN channel and multipath channel are considered.

Key words: OFDM, preamble, signal detection, AWGN, multipath channel.