

УДК 621.39

МОДЕЛИ КАНАЛОВ СВЯЗИ С ЗАМИРАНИЯМИ И РАССЕЯНИЕМ В СИСТЕМАХ С OFDM

Сульдин А. В.

ГОУВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва», г. Саранск

В данной статье описан типичный мобильный радиоканал, который подвергается действию сильных замираний за счет многолучевого распространения, что приводит к повышению коэффициента одноканальных ошибок. В системах с OFDM, имеющих большую длительность символов, поскольку сигналы имеют малую скорость потока, канал может рассматриваться как гладкий по частоте. Это имеет место, когда полоса когерентности канала больше скорости передачи символов. Но реальный канал селективен по частоте и системы с OFDM проявляют эффект разнесения в канале, селективном по частоте. Это является основным преимуществом при использовании систем с OFDM в условиях многолучевых замираний.

Импульсная характеристика канала с замираниями вследствие многолучевого распространения имеет вид

$$h(t) = \sum_{m=0}^{L-1} h_m e^{j\phi_m} \delta(t - \tau_m) \quad (1)$$

где h_m имеет рэлеевское распределение и ϕ_m имеет равномерное распределение.

Перед выводом частотной характеристики из импульсной характеристики для применения в системах с OFDM были сделаны следующие допущения:

- 1) Канал является стационарным во время прохождения одного символа OFDM.
- 2) Задержка между соседними лучами равна длительности отсчета (T).
- 3) Белый гауссовский шум имеет одинаковые статистические характеристики как во временной, так и в частотной областях.

Таким образом частотная характеристика канала выражается следующим образом:

$$H_n = \sum h_m e^{-j2\pi \frac{nm}{N}}, \quad n=0,1,\dots,N-1. \quad (2)$$

Многолучевой канал представляется моделью линии задержки с отводами и характеризуется профилем многолучевой интенсивности. Для практических целей модель канала в виде линии задержки с отводами [16] может быть ограничена L отводами по формуле

$$L = \left\lceil \frac{T_{max}}{T_s} \right\rceil + 1, \quad (3)$$

где T_{max} — полная многолучевая задержка с избытком. Если подразумевается типичная городская местность имеющая многолучевое распространение $3 \mu s$ и $T_s = 0.5 \mu s$, то канал можно смоделировать с $L=7$ отводами.

Профиль трассы интенсивности при многолучевом распространении изменяется так же как физический канал изменяется во времени. Он также изменяется с изменением положения приемника относительно передатчика. Статистически, различные трассы распространения сигнала имеют экспоненциальное затухание мощности. Это может быть реализовано путем присвоения различных дисперсий источникам шума отдельных отводов.

Полная средняя мощность в канале приводится к единице $\sum_{n=0}^{L-1} E\{\alpha_n^2\} = 1$.

Следующее уравнение используется для вычисления мощности на каждом отводе:

$$Q(n) = \frac{e^{-\frac{nT_c}{T_d}}}{\sum_{n=0}^{L-1} e^{-\frac{nT_c}{T_d}}} \quad (4)$$

где T_d – коэффициент затухания, который предполагается равным 1 μ s. Стандартное отклонение источников шума для каждой трассы имеет вид :

$$\sigma_n = \sqrt{\frac{Q(n)}{2}}, \quad n=0,1,\dots,L-1. \quad (5)$$

Математически, случайный сигнал с распределением амплитуд по рэлеевскому закону и равномерно распределенной фазой может быть сгенерирован путем генерации его действительной и мнимой частей из двух независимых источников гауссовского шума, имеющих нулевое среднее и одинаковые дисперсии. Средний коэффициент передачи канала определяется дисперсией источников шума, поскольку среднеквадратическое отклонение огибающей, распределенной по рэлеевскому закону равно $\sqrt{2}\sigma_m$ где σ_m стандартное отклонение его гауссовских компонент.

Многие каналы связи моделируются как многолучевые каналы с рэлеевскими замираниями, имеющие импульсную характеристику $h(k;l)$ и представляющие собой линию задержки с отводами, где k -й коэффициент – гауссовский случайный процесс с переменной времени l . В работе [1] предложена стационарная в широком смысле некоррелированная модель рассеяния для облегчения описания каналов с замираниями. Эта модель, которая пригодна для большинства радиоканалов, предполагает, что составляющие сигнала, приходящие с различными задержками, некоррелированы и что корреляционные свойства канала стационарны. Автокорреляционная функция, учитывающая эти предположения имеет вид:

$$E[h(k_1, l_1)h^*(k_2, l_2)] = \delta(k_1 - k_2)R(k_1; l_1 - l_2) \quad (6)$$

Канал, имеющий автокорреляционную функцию $R(k;l)$, характеризуется профилем интенсивности трассы при многолучевом распространении $R(k;0)$ и доплеровским спектром

$$S_D(e^{j2\pi fT}) = \sum_{l=-\infty}^{+\infty} \sum_{k=-\infty}^{+\infty} R(k;l)e^{-j2\pi f l T} \quad (7)$$

Без потери общности предполагается, что наибольшее значение интенсивности профиля трассы имеет место при $k=0$, т.е. кроме этого, принимаемый сигнал подвержен комплекснозначному аддитивному белому гауссовскому шуму со спектральной плотностью мощности N_0 .

Эффект доплеровского сдвига за счет перемещения мобильной станции может быть выражен при помощи классических доплеровских фильтров для фильтрации отсчетов комплексного гауссовского шума. Доплеровский фильтр одинаков для всех отводов, поскольку он определяется скоростью абонента и несущей частотой. Гауссовские случайные числа генерируются и фильтруются при помощи нормализованного доплеровского фильтра. Отфильтрованные отсчеты генерируются независимо для каждой трассы. Далее частотная характеристика канала получается после обратного БПФ сгенерированных и отфильтрованных отсчетов со всех трасс. Предполагается, что задержка сигнала за счет многолучевого распространения равна длительности одного символа. Средняя мощность сигнала и полная мощность всех лучей приводится к единице без потери общности. Такая модель канала с частотно-селективными замираниями использована в работе [2].

Кроме замираний в канале, сигнал также искажается действием шума. Дисперсия шума

зависит от отношения E_b/N_0 , скорости кодирования и эффективности использования спектра. Дисперсия шума имеет вид

$$\sigma_n^2 = \frac{1}{2n} \frac{1}{\text{coderate}} 10^{-1} \left(\frac{E_b/N_0}{10} \right) \quad (8)$$

где n интенсивность модуляции используемой схемы цифровой модуляции.

Литература

1. Финк Л.М. Теория передачи дискретных сообщений. Изд. 2-е, перераб., доп. Изд-во «Советское радио» 1970. – 728 с.
2. Jayalath A.D.S. "Application of Orthogonal Frequency Division Multiplexing with Concatenated Coding in Wireless ATM", Master Thesis, Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand.