

基于 Simulink 的 OFDM 通信系统仿真

欧 鑫¹, 龚远强², 杨万全³

(1. 信息产业部电子 29 所国家重点实验室, 成都 610036; 2. 重庆市政设施管理局 3 处, 重庆 430000;
3. 四川大学电子信息学院, 成都 610065)

摘要: 正交频分复用(OFDM)是第四代移动通信的核心技术, 它是实现多媒体业务发展的基础. 讨论了如何利用 Simulink 进行 OFDM 系统仿真, 并给出了具体的仿真模型. 利用仿真模型得到 OFDM 差错性能分析结果, 通过对结果的分析, 提出了改善性能的方法.

关键词: Simulink; OFDM; LDPC

中图分类号: TN929.5 **文献标识码:** A

OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing), 即正交频分复用^[1]. 它是一种多载波数字调制技术, 采用正交的 N 个子载波来并行传输数据, 从而使每个子载波上的数据速率降到原来的 $1/N$, 因而可以有效地克服多径衰落. 虽然 OFDM 的概念已经存在很长时间, 但是直到最近随着多媒体业务的发展, 它才被人们认识到是一种实现高速双向无线数据通信的优良方法, 目前正受到越来越多的关注.

Matlab 是集数值计算、符号运算及图形处理等强大功能于一体的科学计算语言, 可以直接处理矩阵或者数组, 语句精炼, 编程效率高. Simulink 软件包是 Matlab 环境下的仿真工具, 它可以进行动态系统建模、仿真及综合分析. Simulink 提供了 S 函数, 即系统函数, 它使用户可以利用 MATLAB, C 语言, C++ 语言以及 FORTRAN 等语言的程序创建自定义的 Simulink 模块^[2].

1 OFDM 基本原理

OFDM 是将高速串行数据分成成百上千路并行数据, 并分别对不同的载频进行调制, 这种并行传输体制大大扩展了符号的脉冲宽度, 提高了抗多径衰落的性能. 同时, 在传统的频分复用方法中, 各子载波之间的频谱互不重叠, 频谱利用率较低. 而采用 OFDM 技术, 一个 OFDM 符号之内包括多个经过调制的子载波的合成信号, 每个子载波在频谱上相互重叠, 这些频谱在整个符号周期内满足正交性, 因而在接收端可以保证不失真恢复, 从而大大提高频谱利用率.

用 N 表示子信道的个数, T 表示 OFDM 符号的宽度, $d_i (i = 0, 1, \dots, N-1)$ 是分配给每个子信道的数据符号, f_c 是第 0 个子载波的载波频率, 则从 $t = t_s$ 开始的 OFDM 符号可以表示为

$$s(t) = \begin{cases} \operatorname{Re}\left\{\sum_{i=0}^{N-1} d_i \operatorname{rect}(t - t_s - T/2) \exp[j 2\pi(f_c + i/T)(t - t_s)]\right\} & t_s \leq t < t_s + T \\ 0 & \text{other} \end{cases} \quad (1)$$

式中, $\operatorname{rect}(t) = 1, |t| \leq T/2$. 而在实际仿真时, 通常采用复等效基带信号来描述 OFDM 的输出信号

$$s(t) = \begin{cases} \sum_{i=0}^{N-1} d_i \operatorname{rect}(t - t_s - T/2) \exp[j \pi i(t - t_s)/T] & t_s \leq t < t_s + T \\ 0 & \text{other} \end{cases} \quad (2)$$

式中, 实部和虚部分别对应 OFDM 符号的同相和正交分量. 图 1 给出了 OFDM 系统基本模型.

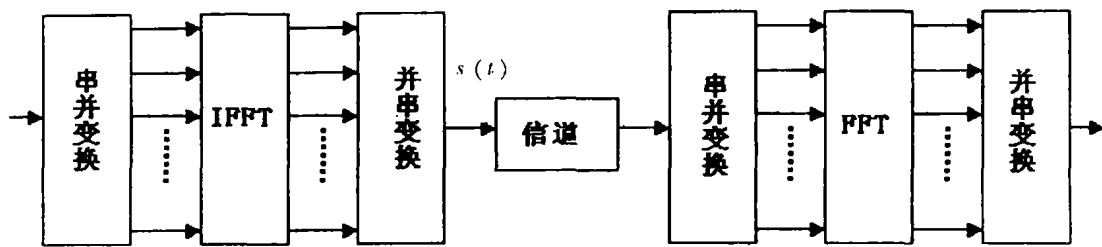


图 1 OFDM 系统基本框图
Fig. 1 OFDM basic model

2 OFDM 系统仿真

要进行 OFDM 系统的研究,需建立一个完整的 OFDM 系统. 我们采用 Simulink 搭建一个 OFDM 链路层系统模型,如图 2 所示. 由于多径衰落下的 OFDM 信道多出现突发错误,而 RS 编码特别实用于纠正突发错误,因此采用 RS 编解码. 同时,发射端采用 QPSK 调制方式,接受端采用相干解调. 考虑到 Rayleigh 衰落和高斯信道对信号的畸变,采用信道估计和信道补偿策略^[3].

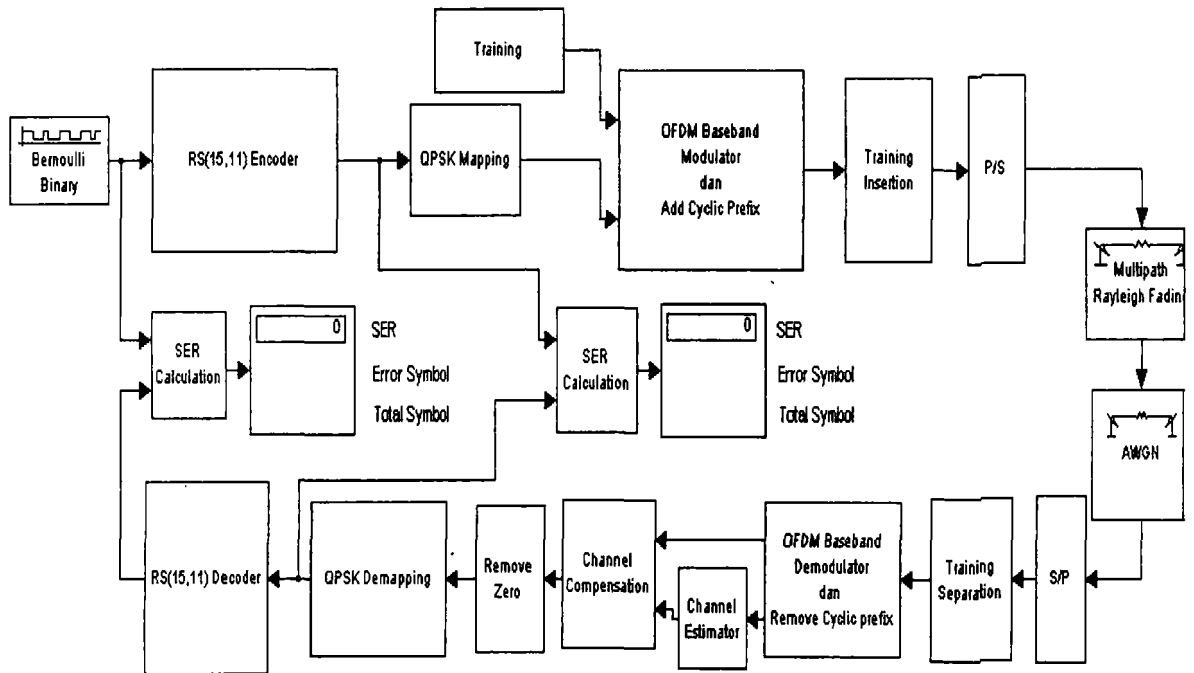


图 2 OFDM 仿真系统
Fig. 2 OFDM simulation system

整个系统的流程为:产生二进制数据 y 经过 RS 编码 y QPSK 调制 y OFDM 系统基带信号调制并加入循环前缀 y 插入保护间隔 y 并/串变换 y 多径瑞利衰落信道 y 高斯信道 y 串/并变换 y 删除保护间隔 y OFDM 系统基带信号解调并删除循环前缀 y 进行信道估计 y 进行信道补偿 y 进行 0 删除 y QPSK 解调 y RS 译码 y 进行误码率计算.

3 仿真过程及结果分析

3.1 仿真参数

Simulink 是基于时间流的仿真. 所谓时间流仿真,即在 Simulink 仿真中,所有的模块在每一个时间步

长上同时执行. 其中仿真参数如附表所示.

附表 仿真参数
Add. Tab. Simulation parameters

仿真参 数名	每帧 OFDM 符号数	短前置 码个数	长前置 码个数	每个 OFDM 符号子载波数	编码 方式	调制 方式	多径信 道数	信道最 大时延	最大多普 勒频移
参数取值	16	10	2	64	RS(15, 11)	CQPSK	3	10Ls	200Hz

3.2 仿真结果

采用上述系统进行仿真, 可以得到图 3 所示的 OFDM 基带信号波形图.

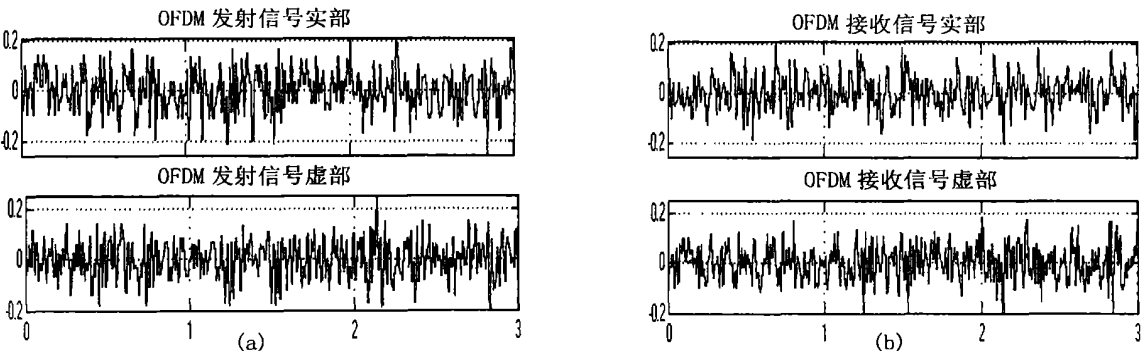


图 3 发射器和接收器输出的 OFDM 基带信号波形
Fig. 3 Signal waveform of transmitted and received OFDM baseband signals
(时间 $t@10^{-4}$)

为了验证仿真结果的正确性, 同时给出了 OFDM 信号的归一化功率谱图, 如图 4 所示.

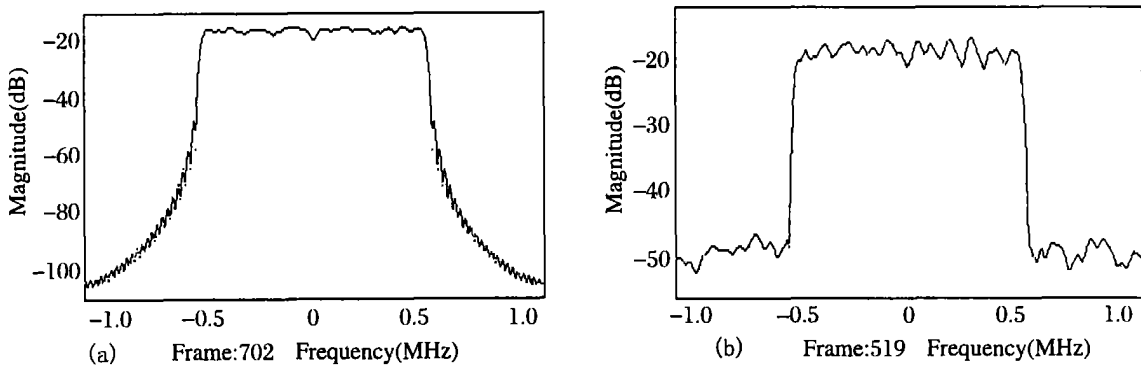


图 4 发射器和接收器输出信号功率谱
Fig. 4 Power spectrum of transmitted and received signal from transmitter

由于 OFDM 符号的功率谱密度 $|S(f)|^2$ 为 N 个子载波上信号的功率谱密度之和

$$|S(f)|^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} |d_i T \sin(P(f - f_i)T) / [P(f - f_i)T]|^2$$

(3)

对(3)式分析发现, 当 N 增大时, $fT \in [-0.5, 0.5]$ 内幅频特性会更加平坦, 边缘会更加陡峭, 因此能逼近理想的低通滤波器. 这与所得归一化功率密度谱图吻合. 由此可以判断建立的仿真系统是正确的. 同时, 我们还给出了 OFDM 系统经过 RS 编码后, 误码率变化曲线如图 5 所示.

从图 5 可见,当信噪比达到一定数值时,经 RS 编码的系统差错性能曲线急剧下降,即在该区域内信噪比的微小变化都会带来性能的极大提高. 如果码长变长,曲线急剧下降处信噪比只比获得同样比特速率的理想信道容量所需的信噪比略大. 当然,差错性能曲线的急剧下降也从另一方面说明,采用 RS 编码提到信噪比到一定程度后,再提高信能就不会再有明显改善. 因此,要想进一步提高系统差错性能,必须

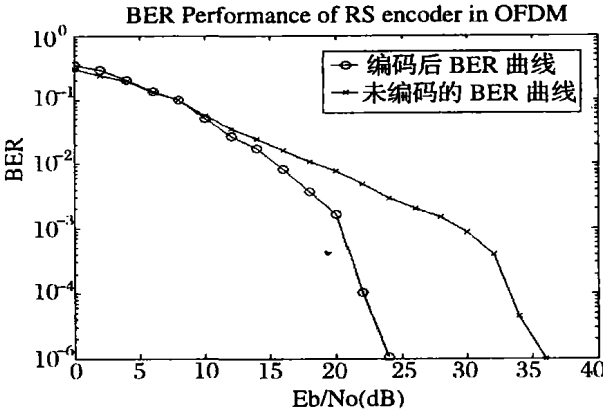


图 5 Rayleigh 衰落和高斯信道下采用 RS 编码的 OFDM 系统性能
Fig. 5 Performance of OFDM system on Rayleigh fading and Gaussian channel

改进编码方式,目前更好的编码方式有卷积编码、TCM 编码、LDPC 编码等,而 LDPC 在衰落信道中的优良性能,将很大程度上提高 OFDM 系统的差错性能^[5].

我们利用 Simulink 构建了 OFDM 系统模型,在 Rayleigh 衰落和高斯信道下,对其进行了仿真,通过对仿真结果的分析,确定了所建立模型的正确性,从而建立了适用于 OFDM 系统链路层研究的仿真平台. 利用该平台,可以研究 OFDM 的链路层技术,如编解码技术、

参考文献:

[1] John G P. Digital Communications Fourth Edition[M]. USA: McGraw2Hill, 2001.
[2] 佟学俭. OFDM 移动通信技术原理[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2003.
[3] 李建新. 现代通信系统分析与仿真) MATLAB 通信工具箱[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2000.
[4] 周正兰. OFDM 及其链路平台的 Simulink 实现[J]. 新技术与新业务, 2003, 10.
[5] Gallager R G. Low2Density Parity2Check Codes[M]. Cambridge, MA: MIT Press, 1963.

Simulating Communication System of OFDM in Simulink

OU Xin¹, GONG Yuan2qiang², YANG Wan2quan³

- (1. Southwese China Research Institute of Electronic Equipment, National Key Lab. ,
29th Institute, Chengdu 610036, China;
2. Chongqing City Planning establishment administration bureau, Chongqing 430000, China;
3. School of Electronics and Information, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

Abstract: Orthogonal frequency division multiplexing(OFDM) is a core technique in 4 G[1] , which is the ba2sis of the development of multimedia service. A method for simulation of OFDM in Simulink is discussed in detail and a model of simulation is given. By utilizing the model, we can get the results of error rate perfor2mance of OFDM system. By contrast, a method for improving the performance of system is proposed.

Key words: simulink; OFDM; LDPC