

基于 OFDM 的调制解调技术

刘俊萍

(湖南工业大学 电气与信息工程学院, 湖南 株洲 412008)

摘要: 介绍了 OFDM 调制解调技术的基本原理及算法, 基于 IP Core-Xilinx Fast Fourier Transform V3.2 软件, 设计了 OFDM 调制解调系统各模块参数及硬件结构, 并利用 matlab 仿真实验验证了系统结构和各算法设计的正确性。

关键词: OFDM 调制解调; FFT; matlab 仿真

中图分类号: TN915.05

文献标志码: A

文章编号: 1673-9833(2010)03-0060-03

OFDM-Based Modulation and Demodulation Techniques

Liu Junping

(College of Electrical and Information Engineering, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412008, China)

Abstract: The basic principle and algorithms of OFDM modulation and demodulation are introduced. Based on IP Core-Xilinx Fast Fourier Transform V3.2, the module parameters and hardware structure of OFDM modulation and demodulation system are designed. And the system structure and algorithm design correctness are simulated with matlab.

Keywords: OFDM modulate and demodulate; fast fourier transform; matlab simulation

OFDM(orthogonal frequency division multiplexing, 即正交频分复用技术)是一种高效的多载波调制技术^[1], 它能够有效地对抗频率选择性衰落和窄带干扰。其主要思想是在信号传输频域内将给定信道分成许多正交子信道, 在每个子信道上使用 1 个子载波进行调制, 且各子载波并行传输^[2]。它采用一种不连续的多音调技术, 将被称为载波的不同频率中的大量信号合并成为单一的信号, 从而完成信号的传送。

1 OFDM 调制解调基本原理

OFDM 是一种无线环境下的高速传输技术。无线信道的频率响应曲线大多是非平坦的, 而根据 OFDM 技术的特点, 尽管总的信道是非平坦的, 具有频率选择性, 但每个子信道是相对平坦的, 在每个子信道上进行的是窄带传输, 信号带宽小于信道的相应带宽,

因此就可较好地消除信号波形间的干扰。由于在 OFDM 系统中各子信道的载波相互正交, 它们的频谱是相互重叠的, 这样不仅减小了子载波间的相互干扰, 同时还提高了频谱利用率。

OFDM 增强了抗频率选择性衰落和抗窄带干扰的能力。在单载波系统中, 单个衰落或者干扰可能导致整个链路不可用, 但在多载波的 OFDM 系统中, 只会有一小部分载波受影响。通过合理地挑选子载波位置, 可使 OFDM 的频谱波形保持平坦, 同时保证了各载波之间的正交。OFDM 的接收机实际上是通过 FFT (fast fourier transform, 即快速傅里叶变换) 实现的一组解调器。它将不同载波搬移至零频, 然后在 1 个码元周期内积分, 其它载波信号因其与所积分的信号正交, 故不会对信息的提取产生影响。OFDM 的数据传输速率与子载波数量有关。

收稿日期: 2010-03-19

通信作者: 刘俊萍 (1980-), 女, 山西五寨人, 湖南工业大学教师, 硕士, 主要研究方向为电力电子与电子信息,

E-mail: 42817805@qq.com

2 OFDM 调制解调算法分析

OFDM 每个载波所使用的调制方法可以不同。各载波可根据信道状况选择不同的调制方式，如 BPSK（二进制相位键控）、DPSK（差分相位键控）、8PSK（8 进制相位键控）、16QAM（16 进制正交振幅控制）、64QAM（64 进制正交振幅控制）等^[3-4]，以频谱利用率和误码率之间的最佳平衡为原则。为了提高频谱利用率，应该使用与信噪比相匹配的调制方式。

设在 1 个 OFDM 系统中有 N 个子信道，每个子信道采用的子载波为：

$$x_k(t) = B_k \cos(2\pi f_k t + \varphi_k) \quad (k = 0, 1, 2, \dots, N-1), \quad (1)$$

式中： B_k 为第 k 路子载波振幅，它是一个复数，为第 k 路子信道的复输入数据，受基带码元调制；

f_k 为第 k 路子载波频率；

φ_k 为第 k 路子载波的初始相位。

则在此系统中的 N 路子信号之和可表示为：

$$s(t) = \sum_{k=0}^{N-1} x_k(t) = \sum_{k=0}^{N-1} B_k \cos(2\pi f_k t + \varphi_k), \quad (2)$$

式 (2) 还可写成如下复数形式

$$s(t) = \sum_{k=0}^{N-1} B_k e^{j(2\pi f_k t + \varphi_k)}. \quad (3)$$

为了使这 N 路子信道的信号在接收时能够完全分离，要求它们必须满足正交条件，即要求最小的子载频间隔为 $1/T_s$ ， T_s 为子信道码元持续时间。

现今式 (3) 中 OFDM 信号的初相位 $\varphi_k=0$ ，则 OFDM 信号为：

$$s(t) = \sum_{k=0}^{N-1} B_k e^{j(2\pi f_k t)}, \quad (4)$$

又因 $f_k=k/T_s$ ，所以式 (4) 可表示为：

$$s(t) = \sum_{k=0}^{N-1} B_k e^{j(2\pi k t/T_s)}, \quad (5)$$

对式 (5) 进行速度为 T_s/N 的 A/D 转换，即令

$t=nT_s/N$ ，可得：

$$S_k = \sum_{n=0}^{N-1} B_k e^{j(2\pi k n/N)}. \quad (6)$$

从式 (6) 可知，对调制信息序列进行 IFFT (inverse fast fourier transform，即快速傅立叶反变换)，可算出 OFDM 已调信号的时域抽样序列，即通过 IFFT 可实现 OFDM 的调制。同理，通过 FFT，即逆向操作 IFFT，可实现 OFDM 的解调。

3 OFDM 调制解调系统设计

利用 matlab 可以很方便的搭建复杂的调制解调系统，一方面它的函数有现成的，再者它有非常强大的

工具箱，并自带了很多常见的 demo。研究这些 demo 可以对调制解调系统有个大概的了解，然后可以参照 demo 搭建自己的调制解调系统。本设计参照的 demo 为基于 simulink 的 802.11a 的 demo 仿真模型，OFDM 调制解调系统结构设计如图 1 所示。

本设计的 OFDM 调制解调系统结构由信号源、串并、数字调制、IFFT、加循环前缀、并串、串并、去循环前缀、FFT、数字解调、并串等模块构成。

在 OFDM 的调制和解调过程中，IFFT/FFT 是至关重要的一环。本设计采用 IP Core-Xilinx Fast Fourier Transform V3.2 实现 OFDM 调制解调系统中的 IFFT /FFT 运算模块。

所设计系统的调制解调参数为：i) 输入数据位宽 16；ii) 采用 Scaled fixed-point 算法；iii) 转换长度为 8；iv) 采用允许连续处理输入数据的 Pipelined, Streaming I/O 结构；v) 自然顺序输出。

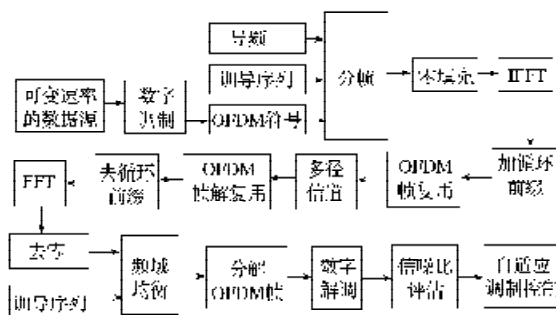


图 1 基于 simulink 的 OFDM 调制解调系统结构

Fig. 1 OFDM modulation/demodulation system structure based on simulink

在调制解调模块中，设置参数 fwd_inv='0' (FFT 运算)，scale="0000" (因为星座映射后的码元不会因为有限字长而引起有效数据位丢失)。

按照预定设置的参数，对 IP 核进行测试。将 modelsim 的仿真结果与 matlab 进行 FFT 运算的结果进行对比，可确定对 IP 核的设置及输入的时序关系是否正确。

4 系统仿真实现

为了验证算法的正确性，采用理想信道，通过比较输入和输出，便可验证算法的正确性和系统结构的合理性。常用的系统仿真方法有 2 种，一种是根据图 1 所给出的调制解调系统结构编写 M 文件^[7]来完成，另一种是采用大规模可编辑逻辑器件 (FPGA) 电路仿真完成。本系统的仿真是通过编写 M 文件^[7]来完成的。由于系统的 M 文件比较大，不便于放在论文中，下面将仿真结果采集如下，图 2 为 OFDM 调制解调系统的 matlab 仿真结果。

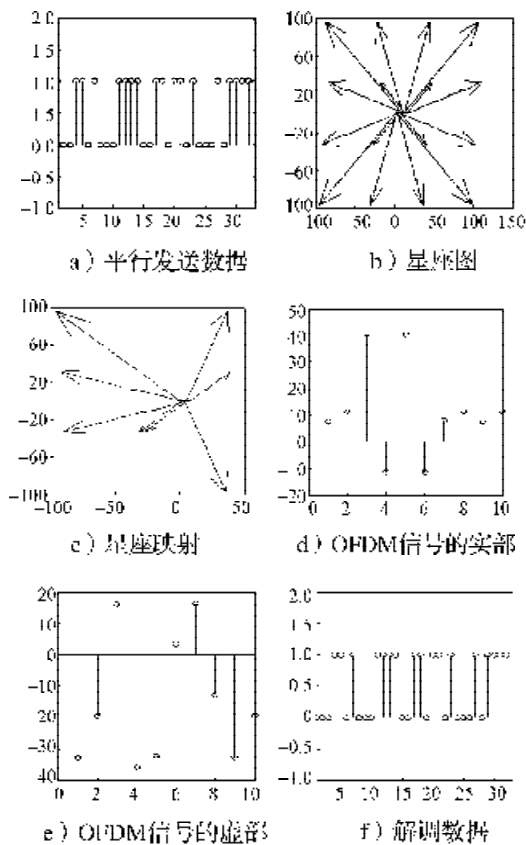


图2 OFDM调制解调的matlab仿真图
Fig. 2 The matlab simulation of OFDM modulation and demodulation

通过matlab仿真计算得到OFDM码元信号的实部和虚部, 结果见表1。

表1 OFDM码元信号的实部和虚部
Table 1 The real and imaginary OFDM code

实部	虚部	实部	虚部
7.500 000	-1.140 210e	-3.262 500e	3.402 097
1.140 210e	7.875 000	-1.940 210e	1.625 000e
4.031 500e	1.140 210e	1.600 000e	-1.284 790e
-1.140 210e	7.500 000	-3.565 210e	-3.262 500e
4.025 000e	1.140 210e	-3.212 500e	-1.940 210e

最后, 将调制解调后的输出信号与输入信号进行比较, 即

输入信号: (00011010001111001101101000101111),

输出信号: (00011010001111001101101000101111),

发现两者是完全一致的, 说明系统结构的设计合理, 算法正确。这对OFDM调制解调系统的设计具有重要的意义。

5 结语

利用IFFT/FFT的灵活性实现OFDM的调制解调, 不仅可以提高处理速度, 并且具有灵活性高, 开发费用低、周期短, 升级简单等特点。对于实现并行算法与硬件结构的优化配置起到一定的作用。

参考文献:

- [1] 汪裕民. OFDM关键技术与应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2007: 1-32.
Wang Yumin. OFDM Key Technologies and Applications [M]. Beijing: China Machine Press, 2007: 1-32.
- [2] 孙山林. OFDM原理及技术浅析[J]. 桂林航天工业高等专科学校学报, 2007(3): 1-3.
Sun Shanlin. Analysis of OFDM Principle and Technology [J]. Journal of Guilin College of Aerospace Technology, 2007(3): 1-3.
- [3] 樊昌信, 曹丽娜. 通信原理[M]. 6版. 北京: 国防工业出版社, 2007.
Fan Changxin, Cao Lina. Principles of Communications[M]. 6th ed. Beijing: National Defence Industrial Press, 2007.
- [4] 杨兴, 谢志远. OFDM中FFT处理器的设计及FPGA实现[J]. 电测与仪表, 2008, 45(7): 37-40.
Yang Xing, Xie Zhiyuan. Design and FPGA Implementation of FFT Processor for OFDM[J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2008, 45(7): 37-40.
- [5] Proakis John G, Salehi Masoud, Bauch Gerhard. 现代通信系统[M]. 刘树棠, 译. Matlab版. 北京: 电子工业出版社, 2005.
Proakis John G, Salehi Masoud, Bauch Gerhard. Modern Communication Systems[M]. Liu Shutang, Translated. Matlab Edition. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2005.
- [6] 蒋青, 吕翊. 一种OFDM调制解调的FPGA实现[J]. 信息技术, 2006(4): 47-49.
Jiang Qing, Lv Yi. Implementation of OFDM Modulator/Demodulator Based on FPGA[J]. Information Technology, 2006(4): 47-49.
- [7] 邓薇. MATLAB函数速查手册[M]. 北京: 人民邮电大学出版社, 2008.
Deng Wei. Quick Look-Up Handbook of MATLAB Function [M]. Beijing: People's University of Posts and Telecommunications Press, 2008.

(责任编辑: 李玉珍)