

# 正交频分复用技术及其在4G移动通信中的应用

刘巧平<sup>1</sup>, 李艳萍<sup>2</sup>

(1. 延安大学 物电学院, 陕西 延安 716000;  
2. 中国石油庆阳石化公司, 甘肃 庆阳 745000)

**摘要:**正交频分复用(OFDM)技术是一种特殊的多载波数字调制技术。由于OFDM的各个子载波存在正交性,极大地利用了频谱资源,所以在一定程度上缓解了未来频谱资源紧缺的问题;OFDM有良好的抗码间干扰能力和对抗频率选择性衰落,能够适应未来无线通信无失真高速数据传播的要求;各个子信道的调制和解调能用FFT和IFFT实现,因而能够满足无线通信系统中的业务要求。文中首先介绍了OFDM技术的基本原理,接着阐述了它的优势以及需要克服的缺陷,再分析了4G移动通信技术的特点,最后讨论了OFDM技术在4G移动通信系统中的应用。

**关键词:**正交频分复用;循环前缀;峰值平均功率比;4G移动通信系统

**中图分类号:** TN914

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1673-629X(2014)11-0238-04

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2014.11.060

## Orthogonal Frequency Division Multiplexing Technology and Its Application in 4G Mobile Communication

LIU Qiao-ping<sup>1</sup>, LI Yan-ping<sup>2</sup>

(1. Institute of Physics and Electronics Communication Engineering, Yan'an University, Yan'an 716000, China;  
2. Qingyang Petrochemical Company of Petro China, Qingyang 745000, China)

**Abstract:** OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) is a special kind of multi-carrier digital modulation technique. Each OFDM subcarrier orthogonality exists, great using of spectrum resources, to a certain extent, ease the problem of shortage of spectrum resources in the future. OFDM has a good ability to resist intersymbol interference and fight against frequency selective fading, able to adapt to the future wireless high-speed data transmission without distortion. Each channel modulation and demodulation with FFT and IFFT is easy to implement, and thus can satisfy the requirements for the business in the wireless communication system. In this paper, introduce the key techniques of OFDM, describe the advantages of OFDM and the need to overcome the defects, and then analyze the characteristics of 4G mobile communication technology, finally discuss the application of OFDM in 4G mobile communication system.

**Key words:** OFDM; cyclic prefix; PAPR; 4G mobile communication system

## 0 引言

随着移动通信技术的不断发展和逐渐成熟,人们渴望得到越来越高的数据传输速率,拥有更大的信道容量和带宽,来满足不同业务、不同移动终端的需求。于是第四代移动通信系统(4G)的研究应运而生,4G成为目前移动通信系统研究的热点<sup>[1]</sup>。4G采用正交频分复用(OFDM)技术、智能天线技术、多输入输出技术、软件无线电(SDR)技术、多用户检测技术、IPv6技术等。其中正交频分复用技术(OFDM)是一种多载波数字调制技术,它能有效对抗多径效应,消除符号间干

扰,对抗频率选择性衰落,并且具有很高的频谱利用率。随着通信技术的不断成熟和发展,OFDM在移动通信系统中发挥出越来越重要的作用,并将成为4G移动通信系统的关键技术之一。

## 1 OFDM技术的基本原理

OFDM英文全称是Orthogonal Frequency Division Multiplexing,翻译成中文是正交频分复用技术。它是一种无线信道高速数据的传输技术,既可以作为一种复用技术,也可以作为一种多载波技术。由于OFDM

技术可以有效地抵抗多种干扰,所以常常被用在容易受到外界信号干扰或者不能很好地抵抗外界干扰的无线传输环境中。OFDM 技术的中心思想是:在频域内将信道分成许多独立的正交子信道,在每个子信道上再使用一个子载波进行调制,并且各个子载波并行传输。显而易见,每条链路都可以独立调制,所以无论在上行还是在下行链路上,都可以容易地同时采用多种混合调制方式。故虽然总信道是非平坦的,且具有频率选择性,但每个独立的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,信号在每个子信道仅仅有平坦性衰落,从而可以很好降低信号波形间的干扰<sup>[2]</sup>。由于每个子信道的带宽仅仅只是原信道带宽的一小部分,信道均衡变得相对简单。因为 OFDM 系统中各个子载波存在正交性,它们的频谱是相互重叠的,所以既能很大程度地利用信道的频谱资源,又一定程度减小了子载波(ICI)间的相互干扰<sup>[3]</sup>。OFDM 系统组成如图 1 所示。

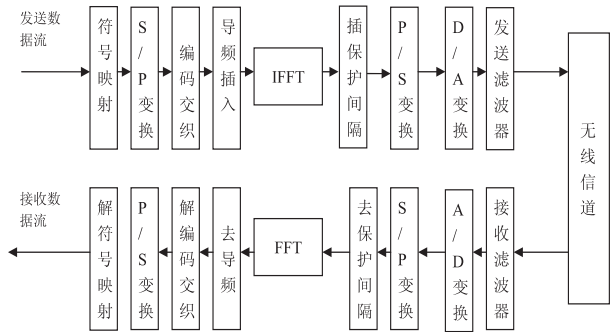


图 1 OFDM 系统框图

2 OFDM 技术的优势

- (1) 抗多径干扰与频率选择性衰落能力强。  
这是 OFDM 系统最大的优点。OFDM 技术把高速率数据流分解成多路低速率的子数据流,使调制符号的有效持续时间远大于信道的最大时延扩展,减少了系统对信道时延扩展的敏感程度,能在较大失真和突发脉冲干扰的环境下对传输的数字信号提供有效的保护,大大减小了 ISI。同时通过添加循环前缀,可以很好地克服多径效应引进的 ICI,保持子载波之间的正交性<sup>[4]</sup>。
- (2) 提高了信道的频谱利用率。

因为 OFDM 系统中各个子载波存在正交性,它们的频谱允许相互重叠,所以 OFDM 系统可以最大限度地利用无线信道的频谱资源<sup>[5]</sup>。这一特点在频谱资源有限的无线环境中尤为重要。OFDM 技术与传统的 FDM 技术带宽利用率比较如图 2 所示。从图 2 中可以看出,FDM 多载波调制技术需要在两个相邻的信道之间存在较大的频率间隔来抵抗各种干扰,大大降低

了信道频谱利用率,而 OFDM 技术的子载波正交复用技术大大减少了保护带宽,节省了带宽资源<sup>[6]</sup>。

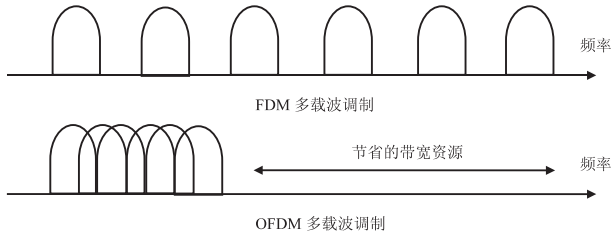


图 2 FDM 和 OFDM 频带利用率的比较

- (3) 调制解调容易实现。  
各个子信道的正交调制和解调可以分别通过离散傅里叶变换(DFT)和离散傅里叶反变换来实现。当子载波数量大时,还可以采用快速傅里叶变换(FFT)和快速傅里叶反变换(IFFT)来实现。伴随着大规模集成电路与数字信号处理技术的不断成熟和发展,FFT 和 IFFT 都可以非常容易的实现<sup>[7]</sup>,如图 1 所示。
- (4) OFDM 系统支持非对称业务。

无线数据业务一般存在非对称性(下行链路中的业务速率要大于上行链路中的业务速率),而 OFDM 系统能够采用不同子信道来实现无线业务中上下行链路中的不同传输速率<sup>[8]</sup>,确保物理层支持非对称的高速率数据传输。

- (5) OFDM 技术易于和其他多址方式使用。  
OFDM 系统能与其他多种多址方式相结合使用,其中包括调频 OFDM 以及 OFDM-TDMA、MIMO-OFDM、多载波码分多址 MC-CDMA 等,可以使多个用户同时利用 OFDM 技术进行信息传输<sup>[8]</sup>,有效地提高了通信质量。

- (6) 适合高速数据传输。  
OFDM 自适应调制机制可以使不同的子载波能够按照噪音背景和信道的不同自行选用合适的调制方式。当无线信道条件较优的时候,可以采用较高阶的如 64QAM 调制以获得最大频谱效率。当信道条件比较差的时候,可以选择抗干扰能力强的 QPSK(四相移相键控)调制等低阶调制来确保信噪比。再有 OFDM 采用加载算法,能够把大量的数据集中放在条件优越的无线信道上以高速率传送出去。因此,OFDM 技术非常适合高速数据传输<sup>[9]</sup>。

3 OFDM 技术需要克服的缺陷

- (1) OFDM 系统对频率偏移很敏感。  
接收机本地振荡器与发射机载波频率之间有频率偏差或者无线传输信道存在的时变性,都可能破坏 OFDM 系统子载波之间的正交性,从而造成各子信道间的信号互相干扰。对频率偏移敏感是 OFDM 系统最主要的缺点<sup>[7]</sup>。

为了保持子载波间的正交性,需要在接收端对传输过程中产生的频率偏移进行估计和补偿。OFDM 系统中的频率偏移分为整数倍子载波间隔频偏和小数倍频偏。整数倍频偏的抽样点仍然在顶点,只是子载波位置发生了改变,故不会引起载波间干扰(ICI),这种频偏引起的符号错误率为 50%。小数倍频偏破坏了子载波间的正交性,故引入了 ICI,在这种情况下,即使很小的频偏也会造成很大的性能损失。

在接收端对频偏的估计和补偿过程一般可分为粗同步(捕获)和细同步(跟踪),即首先在时域内估计小数倍频偏,然后在频域内再完成整数倍频偏的估计<sup>[10]</sup>。

(2)存在较高的峰值平均功率比。

由于 OFDM 系统的输出是多个子信道信号的叠加,因此如果当多个信号同相时,所得叠加信号的瞬时功率将会远远大于信号的平均功率,导致出现较大的峰值平均功率比(Peak to Average Power Ratio, PAPR)<sup>[5]</sup>。PAPR 过大,既会增加 A/D 以及 D/A 的复杂度,又会对发射机内放大器的线性度提出严格的要求,可能因为非线性带来信号畸变,使得叠加信号的频谱发生变换,从而破坏子信道信号之间的正交性。这将会造成 OFDM 系统性能恶化,通信质量下降。

目前降低 OFDM 信号 PAPR 的算法总体上可分为三类:信号预畸变算法(主要有压缩变换算法和限幅类算法)、编码类算法和概率类算法(主要有选择映射法、部分传输序列算法等)。其中,信号预畸变算法是在信号被放大之前,首先对功率大于阈值的信号进行非线性预畸变<sup>[8,11]</sup>。编码类算法利用编码将原来的信息码字映射到一个具有较低峰均比值的传输码集上,从而避开了那些可能会出现信号峰值的码字。因为是线性过程,从而不会产生信号畸变。但编解码过程比较复杂,况且因为在原有码字中引进了信息比特,故降低了信息传输速率,所以编码类算法只适合于子载波数较少的场合。概率类算法旨在减少信号峰值出现的概率,信息冗余度较小,只要求发送很少比特的额外信息<sup>[7]</sup>。概率类算法采用的方法是线性过程,不但不会产生信号畸变,并且能够降低信号的 PAPR 值<sup>[12]</sup>。

## 4 OFDM 技术在 4G 移动通信系统中的应用

与 3G 相比,4G 更接近于个人通信,在技术上比 3G 更完善,4G 将提供更高速、大容量、低网络建设成本和基于全 IP 的核心网平台。4G 理想的数据传输速率预计超过 100 Mbit/s;4G 手机将可以提供高性能的汇流媒体内容,并可以通过 ID 应用程序成为个人身份鉴定设备;它也可以接收高分辨率的电影和电视节目,

从而成为合并广播和通信的新基础设施中的一个纽带;4G 的无线连接等某些服务费用将比 3G 便宜;另外 4G 有望集成不同模式的无线通信,移动用户可以在各个网络间自由的漫游<sup>[13]</sup>。

目前,业界对 4G 移动通信技术的共识主要有以下几点:

(1)4G 具有很高的数据传输速率。最低数据传输速率为 2 Mb/s,最高可以达到 100 Mb/s。

(2)可以实现真正的无缝漫游。4G 移动通信系统实现全球统一的标准,能实现与通信主机、网络以及各类媒体之间进行“无缝连接”。

(3)是一种高度智能化的网络。4G 网络将采用智能技术,自适应、动态地进行资源分配,以满足不断变化的业务和容量的需求。因此在操作上和技术上将有很强的智能性、适应性和灵活性。

(4)具有优越的覆盖性能。4G 系统应具有更强大的覆盖能力,并能提供高速可变速率传输。

(5)实现不同 QoS 的业务。4G 通信系统通过动态带宽分配和调节发射功率来提供各种不同质量、不同类型的业务,使任何用户能够在任何地方、任何时间都可以获得所需的信息服务,将广播和娱乐、个人通信等各个行业结合成一个整体,更加安全、快捷方便地向每位用户提供更加丰富的服务。

(6)基于 IP 的网络。4G 通信系统将会采用全分组方式传送数据的 IPv6 协议,IPv6 协议主要有如下优点<sup>[14-15]</sup>:具有巨大的地址空间,IPv6 采用 128 位地址长度,能够为所有网络设备提供一个全球唯一的地址并能在 IP 网络上实现话音和多媒体业务;IPv6 能提供无状态和有状态 2 种地址自动配置方式;IPv6 能在新的功能和新服务方面发挥更灵活的作用。

为了达到 4G 的目标,必须从网络的交换、数据的传输以及接入等各个环节进行突破,尤其在无线移动环境和有限频谱资源的条件下,如何稳定、可靠、高效地进行高速率的数据传输成了大家关注的热点。在移动通信中由于信道存在多径时延扩展,因此限制了数据传输速率的提高。因为如果数据传输速率高于信道的相关带宽,信号将产生严重失真,信号传输质量将大幅度下降,所以普遍存在符号间干扰(ISI)<sup>[16]</sup>。

OFDM 技术是 4G 系统中最主要的技术,它能够在进行高速数据传输的同时,避免高速引起的各种干扰(包括 ISI),并且 OFDM 技术还具有良好的抗噪声性能、对抗频率选择性衰落和频谱利用率高等优点。特别是在容易受到外界信号干扰或者不能很好地抵抗外界干扰的无线传输环境中采用 OFDM 技术传输将会获得良好的通信性能,这点对 4G 移动通信系统尤为重要。



5 结束语

正是由于 OFDM 技术能有效对抗多径效应,消除符号间干扰,对抗频率选择性衰落,并且具有很高的频谱利用率,这才使它符合 4G 对于在无线条件下稳定可靠地实现高速率数据传输的需求,使它成为 4G 的核心技术。OFDM 技术的应用潜力是非常巨大的,但还有诸多问题需要解决,只有对 OFDM 技术进行更加深入的研究,很好地克服 OFDM 的缺陷,才能使其在 4G 移动通信等诸多领域发挥巨大的作用。

参考文献:

[1] 李荣秀,王心水. 4G 中的关键技术[J]. 甘肃科学学报, 2006,18(3):87-90.

[2] Steendam H, Moeneclaey M. Sensitivity of orthogonal frequency division multiplexed systems to carrier and clock synchronization errors [J]. Signal Processing, 2000, 80(7):1217-1229.

[3] 陈良明,韩泽耀. OFDM—第四代移动通信的主流技术[J]. 计算机技术与发展,2008,18(3):184-187.

[4] 覃凤清,郭洪容. 正交频分复用系统及其关键技术研究[J]. 宜宾学院学报,2008(6):58-60.

[5] 江秀萍. OFDM 中的峰均比降低技术[D]. 西安:西安理工大学,2007.

[6] 陈明. 基于流星余迹通信的 OFDM 实现研究[D]. 西安:

西安电子科技大学,2008.

[7] 吴胜楠. OFDM 系统峰均比降低算法研究[D]. 西安:西安理工大学,2009.

[8] 苏红卫. OFDM 系统中降低峰平比问题的研究[D]. 无锡:江南大学,2008.

[9] 李晓明,段红梅,李强. 宽带无线通信的核心技术 OFDM [J]. 电信工程技术与标准化,2006,19(2):64-67.

[10] 郭建英. OFDM 关键技术及应用[J]. 山西电子技术,2011(2):60-61.

[11] Wang X, Tihuang T T, Ng C S. Reducing of peak to average power ratio of OFDM System using a companding technique [J]. IEEE Trans on Broadcasting,1999,45(3):303-307.

[12] 王林,江秀萍. 降低 OFDM 信号峰均比的 PTS 技术[J]. 计算机工程与应用,2007,43(5):153-158.

[13] Atallah J G, Ismail M. Future 4G front-ends enabling smooth vertical handovers [J]. IEEE Circuits & Devices Magazine, 2006,22(1):6-15.

[14] 田春阳,刘泉,梁学俊. 第四代移动通信 IP 网络关键技术[J]. 武汉理工大学学报(信息与管理工程版),2005,27(5):112-115.

[15] Natarajan N. On systems beyond 3G: requirements and approaches[C]//Proc of international conference on communication technology. [s.l.]:IEEE,2003:1305-1309.

[16] 姚成凤,葛万成. OFDM 原理及其在现代高速无线数据传输中的新应用[J]. 现代电视技术,2005(1):89-92.

(上接第 237 页)

2003,15(6):1373-1396.

[3] Xu Qianfang, Xiao Bo, Guo Jun. A mining algorithm with alarm association rules based on statistical correlation[J]. Journal of Beijing University of Posts and Telecommunications, 2007,30(1):66-70.

[4] Knorr E M, Ng R T, Tucakob V. Distance-based outliers in near linear time with randomization and a simple pruning rule [C]//Proc of SIGKDD. Washington, DC, USA: [s. n.], 2003.

[5] Hammer M A, Acar U A, Chen Yan. CEAL: a C-based language for self-adjusting computation[C]//Proceedings of the 2009 ACM SIGPLAN conference on programming language design and implementation. Dubin: ACM, 2009.

[6] Logothetis D, Trezzo C, Webb K, et al. In-situ MapReduce for log processing[C]//Proc of USENIXATC. [s. l.]: [s. n.], 2011.

[7] Olston C, Chiou G, Chitnis L, et al. Nova: continuous pig/Hadoop workflows [C]//Proc of SIGMOD. [s. l.]: [s. n.], 2011.

[8] Peng D, Dabek F. Large-scale incremental processing using distributed transactions and notifications[C]//Proc of OSDI. [s. l.]: [s. n.], 2010.

[9] Tan Pangning, Steinbach M, Kumar V. Introduction to data mining[M]. Beijing: Post & Telecom Press, 2006:403-405.

[10] Shekhar S, Lu C T, Zhang P. A unified approach to spatial outliers detection[J]. Geoinformatica, 2003,7(2):139-166.

[11] Shekhar S, Lu C T, Zhang P. Detecting graph-based spatial outliers[J]. International Journal of Intelligent Data Analysis, 2002,6(5):451-468.

[12] Lu Chang-Tien, Chen Dechang, Kou Yufeng. Algorithms for spatial outlier detection [C]//Proc of 3rd IEEE international conference on data mining. Blacksburg, VA, USA: IEEE, 2003:597-600.


[13] Lu Chang-Tien, Chen Dechang, Kou Yufeng. Detecting spatial outliers with multiple attributes [C]//Proc of the 15th IEEE international conference on tools with artificial intelligence. [s. l.]: IEEE, 2003:122-128.

[14] 文俊浩,吴中福,吴红艳. 空间孤立点检测[J]. 计算机科学, 2006,33(5):186-187.

# 正交频分复用技术及其在4G移动通信中的应用

作者：[刘巧平](#)，[李艳萍](#)，[LIU Qiao-ping](#)，[LI Yan-ping](#)

作者单位：[刘巧平,LIU Qiao-ping\(延安大学 物电学院,陕西 延安,716000\)](#)，[李艳萍,LI Yan-ping\(中国石油庆阳石化公司,甘肃 庆阳,745000\)](#)

刊名：[计算机技术与发展](#)

英文刊名：[Computer Technology and Development](#)

年，卷(期)：2014(11)

本文链接：[http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_wjfz201411060.aspx](http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_wjfz201411060.aspx)