

移动通信系统中 OFDM 技术的分析及其应用

1、OFDM 技术概述及其发展史

被称之为“第四代移动通信技术”，其核心技术为 OFDM。正交频分复用 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing)是一种无线环境下的高速传输技术。主要是在频域内将所给信道分成许多正交子信道，在每个子信道上使用一个子载波进行调制，且各个子载波并行传输。OFDM 特别适合于存在多径传播和多普勒频移的无线移动信道中传输高速数据。能有效对抗多径效应，消除 ISI，对抗频率选择性衰落，信道利用率高。OFDM 可视为一种调变技术及一种多任务技术，为多载波(Multicarrier)的传送方式。

OFDM 由多载波调制(MCM)发展而来。美国军方早在上世纪的 50-60 年代就创建了世界上第一个 MCM 系统，在 1970 年衍生出采用大规模子载波和频率重叠技术的 OFDM 系统。但在以后相当长的一段时间，OFDM 迈向实践的脚步放缓。由于 OFDM 的各个子载波之间相互正交，采用 FFT 实现这种调制，但在实际应用中，实时傅立叶变换设备的复杂度、发射机和接收机振荡器的稳定性以及射频功率放大器的线性要求等因素制约了 OFDM 技术的实现。经过大量研究，在 20 世纪 80 年代，MCM 获得了突破性进展，大规模集成电路促进了 FFT 技术的实现，OFDM 逐步进入高速 Modem 和数字移动通信的领域。90 年代，OFDM 开始被欧洲和澳大利亚广泛用于广播信道的宽带数据通信，数字音频广播(DAB)、高清晰度数字电视(HDTV)和无线局域网(WLAN)。随着 DSP 芯片技术的发展，格栅编码技术、软判决技术、信道自适应技术等成熟技术的应用，OFDM 技术的实现和完善指日可待。

2、OFDM 技术的基本原理

OFDM 技术的主要思想是将指配的信道分成许多正交子信道，在每个子信道上进行窄带调制和传输，信号带宽小于信道的相关带宽。OFDM 单个用户的信息流被串/并变换为多个低速率码流(100Hz-50kHz)，每个码流用一条载波发送。OFDM 采用跳频方式选用即便频谱混叠也能保持正交的波形，所以 OFDM 既有调制技术，也有复用技术。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，单个衰落或干扰会导致整条链路不可用，但在多载波系统中，只会有一小部分载波受影响。纠错码的应用可以恢复一些易错载波上的信息。

OFDM 允许各载波间频率互相混叠，采用基于载波频率正交的 FFT 调制，由于各个载波的中心频点处没有其他载波的频谱分量，所以能够实现各个载波的正交。不通过很多带通滤波器来实现，而是直接在基带处理，这也是 OFDM 有别于其他系统的优点之一。OFDM 的接收机实际上是一组解调器，它将不同载波搬移至零频，在一个码元周期内积分，其他载波由于与所积分的信号正交，不会对这

个积分结果产生影响。OFDM 的高数据速率与子载波的数量有关，增加子载波数目能提高数据的传送速率。OFDM 每个频带的调制方法可以不同，增加了系统的灵活性，OFDM 适用于多用户的高灵活度、高利用率的通信系统。

3、OFDM 系统的关键技术

(1) 时域和频域同步

OFDM 系统对定时和频率偏移敏感，特别是实际应用中与 FDMA、TDMA 和 CDMA 等多址方式结合使用时，时域和频率同步显得尤为重要。在下行链路中，基站向各个移动终端广播式发同步信号，所以下行链路同步较易实现；上行链路中，来自不同移动终端的信号必须同步到达基站，才能保证子载波间的正交性。基站根据各移动终端发来的子载波携带信息进行时域和频域同步信息的提取，再由基站发回移动终端，以便移动终端进行同步。

(2) 信道估计

在 OFDM 系统中，信道估计器的设计主要有两个问题：一是导频信息的选择，由于无线信道常常是衰落信道，需要不断地对信道进行跟踪，因此导频信息也必须不断的传送；二是信道估计器的设计应既有较低的复杂度又有良好的导频跟踪能力。

(3) 信道编码和交织

为了提高数字通信系统性能，信道编码和交织是通常采用的方法。对于衰落信道中的随机错误，可以采用信道编码；对于衰落信道中的突发错误，可以采用交织。实际应用中，通常同时采用信道编码和交织来进一步改善整个系统的性能。

在 OFDM 系统中，如果信道衰落不是太深，均衡是无法再利用信道的分集特性来改善系统性能的，因为 OFDM 系统自身具有利用信道分集特性的能力，但是 OFDM 系统的结构却为在子载波间进行编码提供了机会，形成 COFDM 方式。

(4) 降低峰均功率比

由于 OFDM 信号时域上表现为 N 个正交子载波信号的叠加，当这 N 个信号恰好均以峰值相加时，OFDM 信号也将产生最大峰值，该峰值功率是平均功率的 N 倍。尽管峰值功率出现的概率较低，但为了不失真地传输这些高峰均功率比 PAPR (Peak to Average Power Ratio) 的 OFDM 信号，发送端对高功率放大器 (HPA) 的线性度要求很高且发送效率极低，接收端对前端放大器以及 A/D 变换器的线性度要求也很高，因此高的 PAPR 使得 OFDM 系统的性能大大下降。为了解决这一问

题，人们提出了基于信号畸变技术、信号扰码技术和基于信号空间扩展等降低 OFDM 系统 PAPR 的方法。

(5) 均衡

在一般的衰落环境下，OFDM 系统均衡不是有效改善系统性能的方法。因为均衡的实质是补偿多径信道引起的码间干扰，而 OFDM 技术本身已经利用了多径信道的分集特性，因此在一般情况下，OFDM 系统不做均衡。但在高度散射的信道中，信道记忆长度很长，CP 的长度必须很长才能使 ISI 尽量不出现，而 CP 长度过长必然导致能量大量损失，尤其对于载波个数不是很大的系统，这时可以考虑加均衡器以使 CP 的长度适当减小，即通过增加系统的复杂性换取系统频带利用率的提高。

4、OFDM 技术的优缺点

OFDM 技术的优点：(1) OFDM 技术的最大优点是对抗频率选择性衰落或窄带干扰。在单载波系统中，单个衰落或干扰会导致整个通信链路失败，但是在多载波系统中，仅有很小一部分载波会受到干扰。对这些子信道可以采用纠错码来进行纠错。(2) 可以有效对抗信号波形间的干扰，适用于多径环境和衰落信道中的高速数据传输。当信道中因为多径传输而出现频率选择性衰落时，只有落在频带凹陷处的子载波以及其携带的信息受影响，其他的子载波未受损害，因此系统总的误码率性能要好得多。(3) 通过各个子载波的联合编码，具有很强的抗衰落能力。如果衰落不是特别严重，则没有必要再加时域均衡器。通过将各个信道联合编码使系统性能得到提高。(4) 可以选用基于 IFFT/FFT 的 OFDM 实现方法。(5) 信道利用率很高，这一点在频谱资源有限的无线环境中尤为重要。当子载波个数很大时，系统的频谱利用率趋于 2Baud/Hz。

OFDM 技术存在两个缺陷：对频率偏移和相位噪声很敏感；峰值与均值功率比相对较大，比值的增大会降低射频放大器的功率效率。

5、结论

OFDM 具有其自身的优势和良好的性能，因此在很多领域得到了广泛的应用。欧洲的 DAB 系统使用的就是 OFDM 调制技术。试验系统已在运行，明显改善了移动中接收无线广播的效果。用于 DAB 的成套芯片的开发正在欧洲发展项目中进行，它将使 OFDM 接收机的价格大大降低。市场前景非常看好。

OFDM 作为一种可以有效对抗信号波形间干扰的高速传输技术，引起了广泛关注。人们开始集中越来越多的精力开发 OFDM 技术在移动通信领域的应用，因此，第三代以后的移动通信的主流技术将是 OFDM。