# 时间选择性莱斯衰落信道条件下的OFDM 系统

## 刘鹏,张殿富

(武警部队工程学院 通信工程系,陕西 西安 710086)

摘 要:给出了时间选择性莱斯无线衰落信道条件下一种 64-QAM OFDM 系统的理论论证,并给出了仿 真结果。首先,对波形形成技术和 TCM 编码使 AWGN (加性高斯噪声信道)条件下的 OFDM 系统性能得 到改善进行了探讨;其次,讨论了 COFDM (编码 OFDM 调制)系统抗时间选择性莱斯衰落性能。选择有效 的信道编码和波形形成方法可以得到系统的理想抗衰落性能。

关键词:64-QAM OFDM;TCM 编码;波形形成技术 中图分类号:TN911.4 文献标识码:A 文章编号:1004-5694(2003)02-0092-03

## An OFDM System in a Time-Selective Rician Fading Channel

LIU Peng, ZHANG Diana-fu

(Communication Engineering College of Army Police Force, Xi'an 710086, P. R. China) Abstract: In this paper, the theory and the simulation results of a 64-QAM OFDM system in a timeselective Rician fading channel are presented. First, the results dealing with the improvement of OFDM system performance by waveform shaping and TCM coding in an AWGN channel are reported. Then, coded OFDM system performance in a time-selective Rician fading channel is discussed, and the conclusion is drawn that selecting effective signal coding and waveform shaping method helps obtain ideal anti-fading effect in the system.

Key words:64 QAM OFDM; TCM coding; waveform shaping technology

## 0 引 言

作为一种高数码率传输的调制方式,OFDM (正交频分复用)调制在无线传输中已被广泛认可。 OFDM 原理是将原始信息流分为许多子信息流分 别调制许多子载波,并行传输。这样使得每路载波的 数码率大为降低,而低码率的载波是不易受传输环 境影响的,因而可很好地抗频率选择性衰落。

OFDM 与多电平调制结合是一种很有效的技术,可较容易地实现高数据率传输,而设备的复杂性 与代价也容易接受。如 64-QAM OFDM 和 64DAPSK OFDM 已被作为数字视频广播建议<sup>[1,2]</sup>,二 者调制性能的比较报告见文献「1]及文献「6]。

OFDM 系统通常用方波进行设计,而方波的功 率谱旁瓣很大,当信号通过多径信道时,易发生 ICI (通道间干扰)和 ISI (符号间干扰),影响通信。近 来,针对该情况提出的波形形成技术的研究取得了 进展,其思想就是减小带外的能量以抗 ICI 或 ISI。 如有人提出一种"时间限制函数"波形形成方法<sup>[3]</sup>, 它应用均衡器在时域减小干扰的影响。但这增加了 接受设备的复杂性。另外一种叫"奈奎斯特波形形 成"的方法<sup>[4]</sup>避免了使用均衡器,这在子载波数量很

★ 收稿日期:2001-12-04

作者简介:刘鹏(1974-),男,山西太原人,研究生,助理工程师。研究方向是移动通信与组网技术;张殿富,教授,硕士研 究生导师。

• 92 •

大的情形下是非常有利的。

我们利用 SPW (信号处理工作系统)仿真了 TCM 编码和波形形成方式对 64-QAM OFDM 调 制系统的影响,给出了详细性能分析,证明该系统具 有良好的抗衰落特性。

#### 1 OFDM 系统

首先给出 OFDM 系统理论分析。图 1 所示为 COFDM 系统,是加入 TCM (格码调制)编码的 OFDM 系统。二进制信息经串变并模块分为 N 路, 分别进行 TCM 编码后再进行 N 点 IFFT 变换成为



Fig. 1 CDFDM System Frame

OFDM 信号,OFDM 信号再加前缀并合成为两路进入波形形成滤波器,然后去调制正交载波,最后合并发射。经过AWGN 信道后,接收端按相反的顺序恢复信息。被传送的OFDM 信号第*m* 帧是

$$y(t_m) = \sum_{n=0}^{N-1} x_{m,n} e^{j 2\pi f_n t_m}, ((m-1)T \le t_m \le mT)$$

其中, $x_{m,n} = a_{m,n} + jb_{m,n}$ 是QAM 信号, $T = N\Delta t$  是帧 持续时间,第n 个子载波的频率是 $f_n = n/T = n\Delta f_o$ 由 IFFT 导出的 $v(v \ll N)$ 个样本作为循环前缀加入 帧。最后经过波形形成模块和调制后,被传送的 OFDM 信号为

$$y(t) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} y(t_m) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} \sum_{k=0}^{N+\nu-1} y'_{m,k} \delta_i(t_m - k\Delta t)$$
(2)

其中,

$$\mathbf{y}_{m,k}^{'} = \begin{cases} \mathbf{y}_{m,k+N-v}, & 0 \leqslant k \leqslant v-1 \\ \mathbf{y}_{m,k-v}, & v \leqslant k \leqslant N+v-1 \end{cases}$$

波形函数g(t)由奈奎斯特低通滤波器决定:

 $g(t) = g_t(t) \otimes g_r(t)$ 

其中, $g_t(t)$ , $g_r(t)$ 分别表示发射端、接收端滤波器的 冲激响应,它们被2J+1个符号的Blackman 窗函数 截取,这里J=4。莱斯多径信道被模型化为一条直 射路径与多条瑞利衰落路径的总和。瑞利平坦衰落 模型是基于 Jakes 模型的<sup>[5]</sup>。

### 2 仿真结果及分析

#### 2.1 仿真条件

通过在不同信道条件下经出系统的BER(误比 特率)来进行系统仿真分析。首先,给出仿真的 OFDM 系统主要参数和信道参数(见表1、表2)。仿 真假设是在良好同步条件下进行的。直射路径幅度 衰减系数D 与瑞利路径幅度衰减系数R 用来表示各 种信道特性。

表1 COFDM 系统参数 Tab.1 COFDM system parameter

Tab. I COFDM system parameter	
名称	参数
比特率	1.875 Mbit/s
FFT 变换样本点数	32
子载波数	30
子载波调制方式	64-QAM
维特比解码方式	8 电平软判决 维特比译码
仿真路径数	100

表 2 多径衰落信道参数 Tab 2 Parameter of multinath fading channels	
名 称	参数
多普勒频移范围	$ f_d  \leq f_m$
无线载波频率	20 GHz
直射路径信号幅度衰落系数	$I \geqslant D \geqslant 0.87$
多径路径信号幅度衰落系数	$0 \le R \le 0.5$

#### 2.2 仿真结果

(1)

我们给出各信道条件下OFDM 系统的 BER 和  $E_b/N_o$ (信噪比)性能。第一,示出AWGN 信道条件 下加了TCM 编码和波形形成方式后的OFDM 系统 性能的改进;第二,探讨时间选择性莱斯信道 COFDM 的性能。图2 给出AWGN 信道条件下,加 了信道编码和波形形成技术后OFDM 系统的性能。 最后,给出莱斯信道条件下加了波形形成和信道编 码后系统获得性能的改善;分析给出移动速度对 COFDM 系统的影响。

(1) AWGN 信道条件下,TCM 编码和波形形 成技术可以增强OFDM 系统性能,如图2 所示。独用 TCM 编码可使系统在误比特率  $R_{BE} = 10 \exp(-4)$ 情况下, $E_b/N_o$ 改善4 dB;独用波形形成技术可使系 统在  $R_{BE} = 10 \exp(-4)$ 时, $E_b/N_o$ 改善3.2 dB;编码 和 波形形成结合使用时,可使系统在  $R_{BE} = 2 \times 10$  $\exp(-4)$ 时, $E_b/N_o$ 改善7.3 dB。可以看出,编码和 波形形成可单独地改善系统性能,而二者结合使用 时,信噪比得到很大的改善。





(2) 莱斯信道条件下,TCM 编码和波形形成技 术对OFDM 系统性能的改善。基本OFDM 系统的 BER 在莱斯信道条件下,由于多普勒效应,接收信 号包络起伏较大,BER 变坏。系统通过波形形成来 获得 BER 改善,但还不足以克服多径衰落。再加上 信道编码后,系统性能在  $R_{\rm BE}$ =10 exp(-3)时, $E_{\rm b}/N_{\rm o}$ 改善约7 dB。与在AWGN 条件时比,在 $R_{\rm BE}$ =10 exp(-4)时, $E_{\rm b}/N_{\rm o}$ 仅仅有2 dB 之差。

(3) 编码和波形形成对系统的改善与移动速度 有密切关系。仿真结果表明,当移动速度是135 km/ h时,系统性能最佳。大于或小于此速度都会使系统 性能变坏。这是由于多普勒频移效应对载波正交性 的影响:速度小时,信道呈现慢衰落,使得信道编码 效用降低;速度大时,信道变化又很快,使得接收端 信号剧烈起伏,波形形成的作用变得不明显。因而, 只有当信道以一恒定速度变化时,(这里v=135km/h, $f_m=2500$  Hz)信道编码和波形形成的效用才 能最大发挥,此时系统性达到最佳状态。

(4) 我们在仿真中还看到,当K(直射路径信号 功率与多径路径信号功率之比)下降时,BER 一般 是随着*E*<sub>b</sub>/*N*<sub>o</sub>的增大而降低的,但并不是无限度的, BER 是有底部的,在底部,*E*<sub>b</sub>/*N*<sub>o</sub>的增大不会再使 BER 进一步降低,原因是当*K* 降到一定程度,传输 信号被瑞利衰落扭曲,表现为在频域子载波的正交 性由于多普勒效应而被破坏,在时域接收信号包络 起伏带来信号相位旋转。相位旋转在经过FFT进行 反变换时,就会产生许多错误。而错误超出OFDM 系统容错能力时,就会导致BER的底部的出现。

#### 3 结 论

TCM-64-QAM OFDM 发射系统在时间选择 性莱斯衰落信道中的仿真结果表明:波形形成技术 能有效减小 ISI 影响,改善OFDM 系统性能,TCM 编码调制与维特比软解码对于系统抗衰落性能是非 常有益的;而二者又是可以单独改善系统性能的。因 此我们若选择不同的波形形成方法和信道编码方法 组合,那么是可以得到理想的系统抗衰落性能的。 COFDM 调制系统得到了很好的 BER 性能,在未来 多媒体无线通信中,可以预见它将是一个很有前途 的调制解调技术。

#### 参考文献

- [1] ENGELS V, ROHLING H. Multilevel differential modulation techniques (64-DAPSK) for multicarrier transmission system[J]. European Trans. Telecom, 1995, (6):633-640.
- [2] MONNIER R, RAULT J B, T. de COUAS-NONT de. Digital television broadcasting with high spectral efficiency [C]. Proc. Int. Broadcasting Convention Amsterdam. The Netherlands, 1992, 380-384.
- [3] BENDETTO V, ARIA G D, SCARABOSIO L, et al. Performance of the COFDM system with waveform shaping [C]. IEEE Conference, On Com, 1997, 2:1241-1245.
- [4] MACEDO A S, SOUSA E S. Coded OFDM for Broadband Indoor Wireless System [C]. IEEE Conference, on Com, 1997, 2:934-938.
- [5] JAKES Willion C. Microwave Mobile Communications [M]. IEEE press, Piscataway, New Jersery, 1982.
- [6] 李方伟,梅国宇.OFDM 系统的干扰分析[J]. 重庆邮电学院学报(自),2000,12(1):24.

(编辑:郭继笃)