

具有认知干扰躲避能力的 MC-CDMA 系统

张洋祥¹, 易玉燕², 韩鹏¹

(1. 华南师范大学 物理与电信工程学院, 广东 广州 510631;

2. 佛山市华材职业技术学校, 广东 佛山 528000)

摘要: 无线应用的增长和频谱资源的日益紧张, 促使认知无线电技术的提出和发展。基于认知无线电的基本思想及变换域通信的基本原理, 建立了具有认知干扰及躲避能力的 MC-CDMA 系统, 给出了其单用户系统的数学模型, 并推导出窄带干扰下的信号的误比特率性能公式, 通过 MATLAB 仿真验证了该系统的抗干扰能力。仿真结果表明, 该系统具有较强的抗单音、多音和窄带干扰的能力。

关键词: 多载波-码分多址; 抗干扰; 变换域通信; 认知无线电

中图分类号: TN914.42

文献标识码: A

An MC-CDMA system with ability of waring and avoiding interference

ZHANG Yang Xiang¹, YI Yu Yan², HAN Peng¹

(1. Department of Physics, South China Normal University, Guangzhou 510631, China;

2. Foshan Huacai Vocational Technical School, Foshan 528000, China)

Abstract: The increasing of wireless application and spectrum decreasing promoted the development of cognitive radio. An MC-CDMA system, based on cognitive radio and transform domain communication, and with the ability of cognizing and avoiding interference, was established, and its mathematic model was given. Finally, the ability of suppressing interference of the system was validated by MATLAB.

Key words: MC-CDMA; anti-jamming; transform domain communication; cognitive radio

无线应用需求的增长和频谱资源的限制, 是通信研究人员十分关注的问题。为更加有效地使用频谱, 人们寄希望于认知无线电^[1]CR(Cognitive Radio)。CR 通过增加智能学习和决策过程, 适时地调整工作参数以适应不断变化的电磁环境, 以避免用户间干扰。而 OFDM^[2]、MC-CDMA^[3]等多载波技术的出现, 极大地提高了频谱效率, 成为 CR 的候选技术。同时, 变换域通信系统^[4]TDCS(Transform Domain Communication System)的出现, 为基于 CR 技术的无线通信提供了又一条实现途径。

TDCS 本身作为一种频域非连续扩频通信系统, 在实现形式上类似于 MC-CDMA, 两者都采用了 IFFT 变换。但在解调上, TDCS 不像 MC-CDMA 利用 FFT 变换在频域实现, 而是采用了时域相关解调, 同时 TDCS 提供比 MC-CDMA 更好的抗窄带干扰能力。为了提高 MC-CDMA 的抗干扰性能, 本文研究建立了基于 TDCS 思想实现的具有自适应干扰躲避能力的 MC-CDMA 系统, 给

出了其单用户系统的数学模型, 并推导出了窄带干扰下的信号的误比特率性能公式, 最后通过 MATLAB 仿真验证了该系统的抗干扰能力。

1 系统模型

图 1 为具有认知干扰躲避能力的 MC-CDMA 系统发射机结构框图。发射机采样空间电磁环境, 经 FFT 变换得到系统工作带宽内的离散环境幅度谱矢量 $A'(w)$, $A'(w)$ 与设定的门限相比较, 元素值高于门限时置 0, 低于门限时置 1, 从而产生代表空间电磁分布的谱幅值矢量。

同时, 随机相位映射单元产生伪随机相位谱矢量 $e^{j\phi_w}$, 经 $A'_w e^{j\phi_w}$ 作对应元素相乘及功率调整后得到谱向量 $B_b(w)$ 。数据流 $b(k)$ 经扩频单元扩频, 形成频域扩频数据矢量, 与 $B_b(w)$ 作对应元素相乘, 从而完成数据的频域扩频及干扰躲避过程。随后, 合成的频域矢量经 IFFT 变换、数模转换及功率放大后由天线发送出去。

图 2 为相应的接收机结构框图。接收机采用与发射机相同的方法识别空间电磁干扰分布, 生成与发射机同

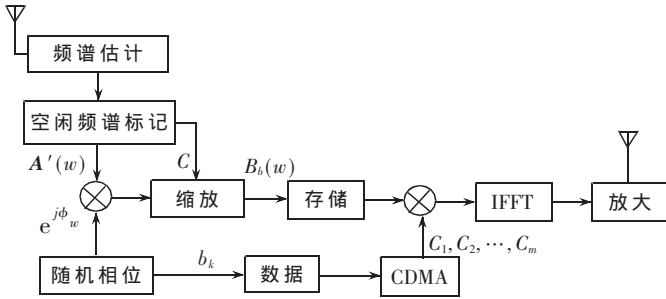


图1 基于MC-CDMA的TDACS发射机

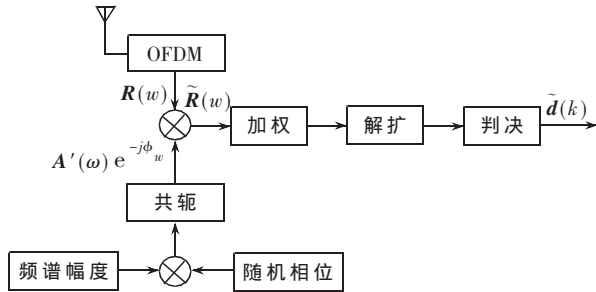


图2 基于MC-CDMA的TDACS接收机

步的伪随机相位。经OFDM同步及采样并变换到频域后得到向量 $R(w)$ ，该向量与频谱估计及相位生成单元合成的频谱矢量 $A'(w)e^{-j\phi_w}$ 对应元素相乘，以消除随机相位，得到 $\tilde{R}(w)$ ，该矢量经均衡加权及解扩后得到统计判决变量，从而判决得到数据估计 $\tilde{d}(k)$ 。

2 性能分析

本文讨论单用户在单音、多音、窄带干扰下与高斯信道下的系统性能。

为了便于分析，首先根据发射机框图给出发射信号数学模型：

$$x_i[n] = \frac{1}{N} C' \sum_{w=0}^{N-1} A_w C_w D_i e^{j\phi_w} e^{j \frac{2\pi w n}{N}} \quad (1)$$

这里 N 为 IFFT 变换的长度， $A_w \in \{0,1\}$ 为频谱空闲标记， $C_w \in \{-1,+1\}$ 为用户扩频码， D_i 为用户第 i 个待传递数据， ϕ_w 为伪随机相位， $C' = \sqrt{N/N_{A_w}}$ 为功率调整常量， N_{A_w} 为 A_w 中 1 的数量。

根据接收机框图，得到高斯信道下的接收信号数学模型：

$$R_i[n] = \frac{1}{N} C' \sum_{w=0}^{N-1} A_w C_w D_i e^{j\phi_w} e^{j \frac{2\pi w n}{N}} + n_0(n) + j_0(n) \quad (2)$$

这里 $n_0(n)$ 为均值为 0，方差为 $N_0/2$ 的加性高斯白噪声， $j_0(n)$ 为干扰。在执行 FFT 之后，消除随机相位 ϕ_w ，得到频域信号：

$$R(w) = C' A_w A_w' C_w D_i + A_w' n_1(w) e^{-j\phi_w} + A_w' j_1(w) e^{-j\phi_w} \quad (3)$$

$w=0, 1 \dots N-1$

其中， $n_1(w) = \sum_{n=0}^{N-1} n_0(n) e^{j \frac{-2\pi w n}{N}}$ 为均值为 0，方差为 $\frac{N_0 N}{2}$ 的

加性复高斯白噪声序列，相应的 $j_1(w)$ 为干扰的频域信号。MC-CDMA 作为一种多载波频域分集技术^[5]，因此采用用户的扩频码来分集信号的频域离散功率，则得到变量：

$$R = C' \sum_{w=0}^{M-1} C_w A_w A_w' C_w D_i + \sum_{w=0}^{M-1} C_w A_w' n_1(w) e^{-j\phi_w} + \sum_{w=0}^{M-1} C_w A_w' j_1(w) e^{-j\phi_w} \quad (4)$$

在以往文献研究中，均假设干扰信号的时域形式为^[6]：

$$j(n) = \frac{1}{N} \sum_{w=0}^{N-1} j(w) e^{j\theta_w} e^{j \frac{2\pi w n}{N}} \quad (5)$$

θ_w 为均匀分布于 $[0, 2\pi]$ 的随机变量，相应的频域信号为 $j(w) e^{j\theta_w}$ ，则有 $E(j(w) e^{j\theta_w}) = 0$ ，其中 E 表示期望。

当把变量 R 视为高斯分布并取实部时，其期望为：

$$E(\text{real}(R)) = E(\text{real}(C' \sum_{w=0}^{M-1} C_w A_w A_w' C_w D_i) + E(\sum_{w=0}^{M-1} C_w A_w' n_1(w) e^{-j\phi_w}) + E(\sum_{w=0}^{M-1} C_w A_w' j_1(w) e^{-j\phi_w}))$$

$$= C' D_i \sum_{w=0}^{M-1} A_w A_w' + 0 + 0 \quad (6)$$

方差为：

$$\text{VAR}(\text{real}(R)) \approx \text{VAR}(\text{real}(\sum_{w=0}^{M-1} C_w A_w' n_1(w) e^{-j\phi_w})) + \text{VAR}(\text{real}(\sum_{w=0}^{M-1} C_w A_w' j_1(w) e^{-j\phi_w}))$$

$$= \frac{NN_0}{2} \sum_{w=0}^{M-1} A_w' + \frac{1}{2} \sum_{w=0}^{M-1} A_w' j_1^2(w) \quad (7)$$

从而得到统计变量的 SINR：

$$\text{SINR} \approx \frac{E^2(R)}{\text{VAR}(R)} = \frac{(C' D_i \sum_{w=0}^{M-1} A_w A_w')^2}{\frac{NN_0}{2} \sum_{w=0}^{M-1} A_w' + \frac{1}{2} \sum_{w=0}^{M-1} A_w' j_1^2(w)} \quad (8)$$

采用 BPSK 调制的系统性能近似为：

$$P_b \approx \frac{1}{2} \times \text{erfc}(\sqrt{\text{SINR}/2}) \quad (9)$$

3 数值仿真

上面给出了单用户系统的数学模型，推导出了窄带干扰下的信号的误比特率性能公式，这一节将基于 MATLAB 仿真验证该系统的抗干扰能力及公式的正确性。仿真参数：扩频码采用 32-WALSH 码，FFT 变换的长度为 64，在子载波 $[0 \sim 14]$ 及 $[48 \sim 63]$ 设计为保护频带，用于滤波器的设计^[7]。

3.1 单音干扰下的系统性能

图 3 给出了单音干扰下的系统仿真结果。仿真采用的信噪比为 5 dB。可以看到采用认知干扰躲避以后，系统的性能基本保持不变。而常规 MC-CDMA 系统的性能

随着干扰强度的增加而降低。在干信比为 14 dB 时系统已经变得不可用。从仿真结果来看,采用干扰躲避并调整功率后系统的性能基本不变。

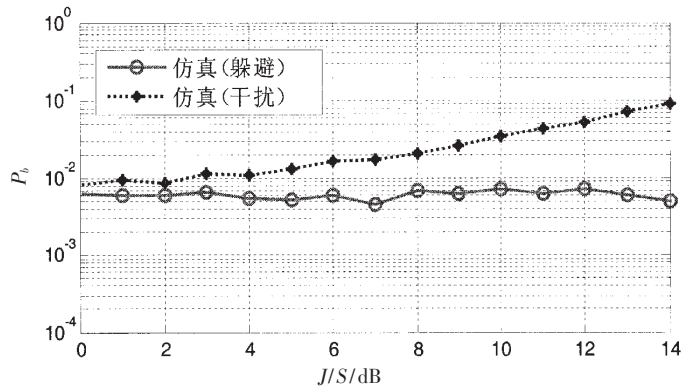


图 3 系统抗单音干扰性能图

3.2 多音干扰下的系统性能

图 4 给出了多音干扰下的系统仿真结果。仿真采用的信噪比为 5 dB。与单音干扰的结果基本一致,但干扰效果来看,多音干扰要好一点,但采用干扰躲避以后,系统性能得到了保持,基本不变。

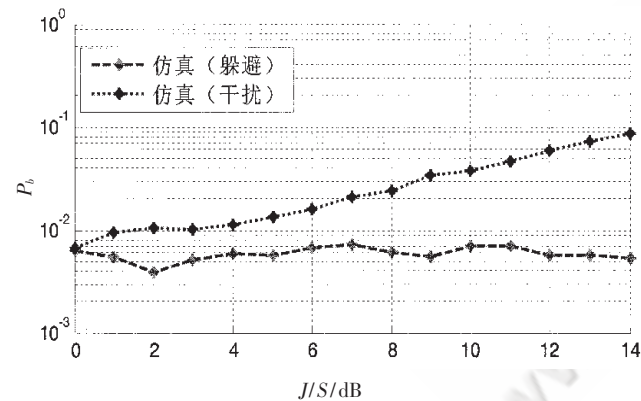


图 4 系统抗多音干扰性能图

3.3 窄带干扰下的系统性能

图 5 给出了窄带干扰下系统仿真及理论性能。仿真采用的信噪比为 5 dB。可以看到未采用干扰躲避后系统性能下降很快。相比之下,采用干扰躲避后系统性能下降变慢。与单音、多音干扰不同的是,窄带的干扰功率分布较宽,干扰躲避算法基于门限检测,而不能躲避低于门限的干扰功率。因此系统的性能随总干扰功率增加而下降。

本文结合认知无线电的基本思想及变换域通信的具体实现建立了具有认知干扰并躲避的 MC-CDMA 系统。理论及仿真表明,该系统抗单音、多音和窄带干扰的能力较强。本文的研究对 MC-CDMA 系统的发展具有一定的参考价值。

参考文献

[1] HAN Chuan, WANG Jun, LI Shao Qian. A spectrum exchange mechanism in cognitive radio contexts[A].

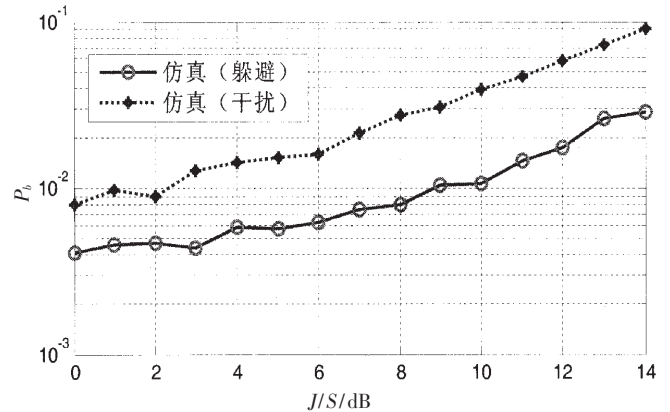


图 5 系统抗窄带干扰性能图

PIMRC'06[C]. Helsinki, Finland: 2006:1-5.

[2] NEE R, PRASAD R. OFDM for wireless multimedia communications[M]. Boston, America: Artech House, 2000.

[3] CHAKRAVARTHY V, NUNEZ A S, STEPHENS J P, et al. TDSC, OFDM, and MC-CDMA: a brief tutorial [J]. IEEE Radio Communications, 2005,43(9):S11-S16.

[4] ROBERTS M L, TEMPLE M A. Transform domain communications: interference avoidance and acquisition capabilities[A]. National Aerospace and Electronics Conference[C]. Dayton, 2000:610-617.

[5] ROBERTS M L, TEMPLE M A, RAINES R A, et al. Initial acquisition performance of a transform domain communication system: Modeling and Simulation Results [A]. IEEE MILCOM'2000[C]. Los Angeles, 2000:1119-1123.

[6] CHAKRAVARTHY V D, SHAW A K, TEMPLE M A, et al. Cognitive radio—an adaptive waveform with spectral sharing capability[A]. IEEE Wireless Communications and Networking Conference[C]. New Orleans, 2005:724-729.

[7] HARA S, PRASAD R. Overview of multicarrier CDMA[J]. IEEE Communication Magazine, 1997:126-133.

(收稿日期:2009-01-05)