

变换域通信系统的仿真分析

李佳珉 康桂华 闫 洁

(河海大学计算机及信息工程学院 江苏 常州 213022)

摘要 研究变换域通信系统(TDCS)独特的频谱利用方法 ,对其净化干扰的能力进行分析 .在阐述变换域通信技术特点和基本原理的基础上 ,设计其实现框图 ,并利用 MATLAB 对变换域通信系统的干扰抑制能力进行仿真 .仿真结果表明 ,变换域通信系统能自适应躲避干扰 ,具有较强的干扰抑制能力 ,与 OFDM ,MC-CDMA 相比具有更好的误码性能 .

关键词 变换域通信 ;干扰抑制 ;MATLAB 仿真

中图分类号 :TN914.3 **文献标识码** :A **文章编号** :1000-198X(2008)02-0275-04

传统的变换域处理是对已接收的信号进行处理 ,而不是对信号本身进行设计 .变换域滤波的共同之处是去除信号频率中含干扰的频率 .这种处理方式虽能有效抑制窄带干扰 ,但在滤除干扰的同时也会使滤波频带中的有用信号受到损失 ,降低了信号的信噪比 .

变换域通信系统(transform domain communication system ,TDCS)采用另外一种抗干扰思路^[1] ,在发射机和接收机两端避免使用已被干扰的频段 ,经过信息调制的信号不包含干扰频率的频谱成分 ,使信噪比不受变换域滤波的影响 .目前国内外已有一些院校和科研单位对 TDCS 进行了研究 ,并取得了一些成果 ,但大多数都是对基于小波变换的系统的仿真研究^[2-4] .本文在阐述 TDCS 原理的基础上 ,利用 MATLAB 对基于离散傅立叶变换的系统进行仿真 ,并对 TDCS ,OFDM 和 MC-CDMA 的误码性能进行比较 .

1 变换域通信系统

1.1 主要特点

变换域通信技术(TDC)是一种新的无线通信技术 ,与传统的通信技术相比 ,其新颖之处主要表现在^[5] : (a)根据信道的频谱特性在变换域(频域、时间-尺度域)进行信号波形设计 ,使信号能够主动避开干扰 ; (b)不需要采用载波调制 ,而是用一个类似于噪声的时域基函数进行数据调制 .

1.2 基本原理

文献 [6] 设计了基于离散傅立叶变换的变换域通信系统的实现框图 ,如图 1 所示 .从图 1 可以看出 ,TDCS 主要由频谱估计模块、幅度谱构造模块、随机相位模块、逆傅立叶变换(IDFT)模块、调制模块等组成 .

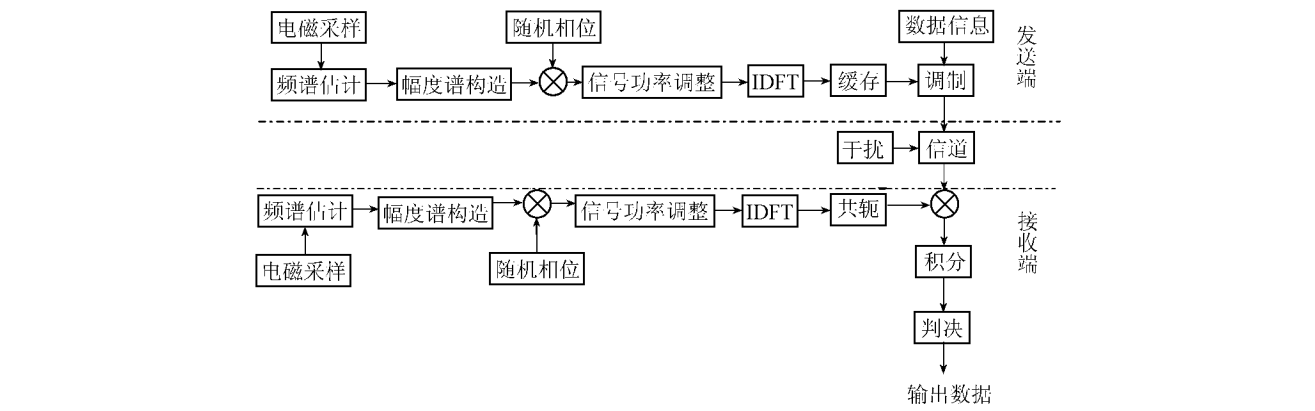


图 1 TDCS 实现框图

Fig.1 The flowchart of TDCS

在发送端 ,TDCS 首先对系统所处的电磁环境进行采样 ,然后将采样结果输入频谱估计器 ,确定可用于传送数据的频带 .频谱估计可采用周期图法和自相关法等 2 种算法^[7] ,最后通过计算功率谱密度(PSD)确定系统所处电磁环境中干扰的频率 .

幅度谱构造将频谱估计得到的功率谱幅值和 1 个选定的门限进行比较 ,幅值大于门限的频带判定为被干扰频带 ,其频带的幅度值置为 0 ,幅值小于或等于门限的频带判定为未被干扰频带 ,其频带的幅度值置为 1 ,未干扰的频带用来进行数据传输 .经过幅度谱构造得到了 1 个由 0 和 1 构成的幅度向量 .

随机相位通常用一个伪随机序列产生 ,可以采用 m 序列、Gold 序列或 Kasami 码 .将上述幅度向量和一个长度相同的复随机相位相乘得到一个谱向量 ,该谱向量是基函数的频域形式 .在按一定比例调整其功率后 ,再对其进行反傅立叶变换 ,便可得到基函数的时域形式 .

对基函数的时域形式进行缓存 ,然后进行数据调制 .目前数据调制主要采用双极性调制、循环移位键控调制和正交编码调制等 3 种方案 .其中双极性调制实现简单 ,而且可用于所有的变换域通信系统 ,在加性高斯白噪声信道中误码性能基本相同^[8] ,循环移位键控在二进制调制时的误码性能不如双极性调制 ,约有 3 dB 的性能损失^[8] ,但其可实现多进制调制 ,从而降低误码率 .

由基函数的产生过程可知 ,基函数中不包含干扰频带 ,因此在传输过程中信号受信道干扰的可能性大大降低 .接收端产生基函数的过程和发送端相同 ,而发送端和接收端产生的基函数是否相同直接决定系统的性能 .在发送端和接收端距离较远、电磁环境相差较大的情况下 ,发送端可以向接收端提供基函数的参数 ,使接收端产生和发送端一致的基函数 .接收端取基函数的共轭函数 ,并对接收到的数据进行相干解调 ,便能恢复发送数据 .系统的同步可以在接收端采用匹配滤波器、相关器或者 German 技术来实现^[9] .

当信道中的干扰成分变化时 ,通过对环境的周期性重复采样可以使基函数产生相应的变化 ,从而使 TDCS 成为一个自适应躲避干扰的通信系统 .

2 系统仿真与分析

根据变换域通信技术的原理 ,本文利用 MATLAB 进行编程 ,初步实现了 TDCS 中各部分模块的主要功能 ,同时对其干扰抑制能力进行了仿真 .

2.1 系统部分模块仿真

2.1.1 频谱估计模块仿真

首先采用 Levinson 算法实现自回归(AR)方法 ,然后利用 AR 方法对 PSD 进行估计 ,估计结果如图 2 所示 .从图 2 可以看出 ,电磁环境在 10 Hz 和 40 Hz 处存在单音干扰 ,在 30 Hz 处存在窄带干扰 .

2.1.2 幅度谱构造模块仿真结果

门限设定为 10 W/Hz ,由于在频率 10 Hz 40 Hz 和 30 Hz 附近功率谱密度超过了门限值 ,所以把这些频率所对应的基函数的幅度置为 0 ,其余部分置为 1 .由此可见 ,门限值的选取十分重要 ,门限值太大则一些干扰将无法滤除 ,从而残留在信道中 ,门限值太小则会使大量可用的频带被剔除 ,不利于充分利用频率资源 .

2.1.3 逆傅立叶变换模块仿真

在频域中 ,经过门限剔除产生基函数的幅度向量(图 3) ,经过相位映射产生基函数的相位向量 ,幅度向量和相位向量两者相乘便生成了基函数的频域形式 .对其进行反傅立叶变换得到本地基函数的时域形式 ,如

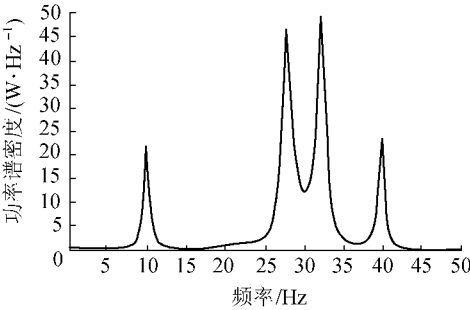


图 2 自回归方法估计得到的功率谱密度
Fig.2 PSD estimated by AR

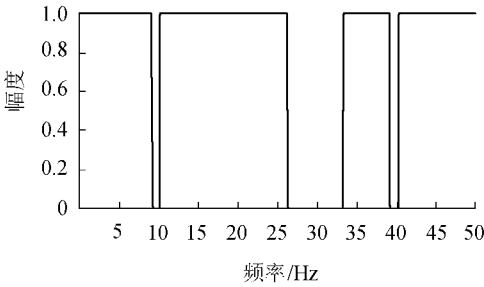


图 3 经过门限剔除后的幅值向量
Fig.3 Amplitude vector after threshold process

图 4 所示.从图4 可以看出,基函数在时域中确实具有类似于噪声的性质,这有利于提高信号的抗干扰能力和传输的可靠性,也便于接收端采用相干解调或匹配滤波等处理技术,实现数据的正确接收.由于基函数相位由 1 个伪随机序列产生,只要为每个用户分配 1 个独有的身份码,就可以实现系统的多址接入,增加用户的数量,因此 TDCS 可以扩展成一个变换域 CDMA 系统^[10].

2.2 系统误码性能仿真

为了衡量 TDCS 对单音干扰、多音干扰、占频带较宽的窄带干扰和占频带较窄的窄带干扰的抑制能力,对其误码性能进行了仿真试验.试验采用离散傅立叶变换(DFT)作为变换方法,以双极性方式调制,信道模型为加性高斯白噪声(AWGN),仿真结果如图 5 所示.从图 5 可以看出, TDCS 由于避免使用被干扰的频率,所以具有很强的干扰抑制能力,尤其是对单音和占频带较窄的部分带干扰有较好的抑制能力,但是对多音干扰和占频带较宽的部分带干扰的抑制能力较弱.分析其原因,主要是因为这 2 种干扰的能量在工作频带上分布较宽,门限判决后较宽的频带幅度被置为 0,相应的基函数的多个频带被置为 0 或大大削弱,使得基函数的频率构成变得简单,从而导致基函数自相关序列的旁瓣变大,因此在接收时出现错误判决的可能性大为增加.同样,干扰能量增加也是导致误码率提高的原因之一.

为了比较 TDCS 和 OFDM、MC-CDMA 的误码性能,分别对其进行仿真试验.试验时在 TDCS、OFDM 和 MC-CDMA 中分别添加高斯白噪声和单音干扰,OFDM 和 MC-CDMA 中都未加入多径干扰,且未进行信道估计.仿真结果如图 6 所示.从图 6 可以看出, TDCS 的误码率最低,具有较强的抑制干扰的能力.

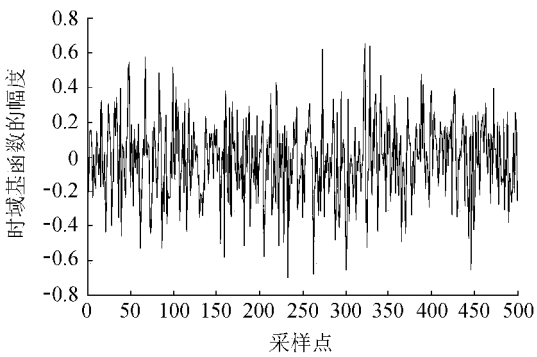


图 4 基函数的时域

Fig.4 Time-domain of basis function

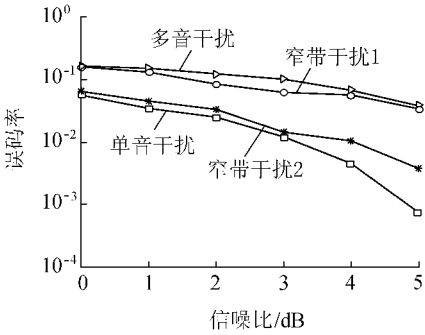


图 5 变换域通信系统的干扰抑制能力

Fig.5 Interference suppression capability of TDCS

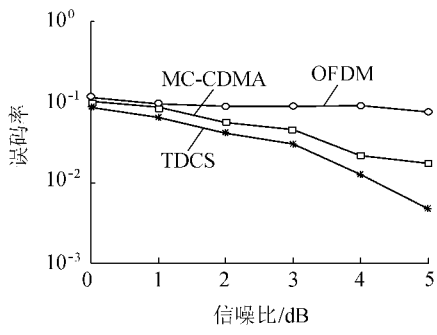


图 6 TDCS、OFDM 和 MC-CDMA 的误码率曲线

Fig.6 BER curve of TDCS, OFDM and MC-CDMA

3 结 论

利用 MATLAB 编写程序,初步实现了变换域通信系统的功能,并对其抗干扰能力进行了仿真分析.仿真结果表明,变换域通信系统与扩频系统相比可以自适应躲避信道中的干扰,具有很强的干扰抑制能力.变换域通信技术以其独特的频谱利用和净化干扰的特性有望成为认知无线电的潜在技术,应用前景广阔.

参考文献:

[1] ROBERTS M L, TEMPLE M A, RAINES R A. Initial acquisition performance of a transform domain communication system modeling and simulations result[C]//MILCOM 2000. 21 Century Military Communications Conference Proceedings. Los Angeles, CA :IEEE, 2000 : 1119-1123.

[2] 赵艳. 基于小波包的变换域通信系统窄带干扰抑制技术[J]. 应用科技, 2007, 2(2): 13-16.

[3] 何智青. 变换域通信系统动态仿真平台设计与系统研究[J]. 系统仿真学报, 2004(4): 692-695.

[4] KLEN R W, TEMPLE M A, CLAYPOOLE R L. Wavelet domain communication system(WDSCS) interference avoidance capability : analytic modeling and simulation results[C]//Military Communications Conference. Mclean, Virginia :IEEE Publications, 2001 :1034-1038.

- [5] RADELIFFE R A. Design and simulation of a transform domain communication system[D]. Ohio :Wright Patterson AFB ,1998.
- [6] 康桂华. 变换域通信技术及其应用[J]. 河海大学常州分校学报 2006(4) 5-8.
- [7] 凯依 S M. 现代谱估计原理与应用[M]. 北京 :科学出版社 ,1994.
- [8] BERNARD S. Digital communications fundamentals and applications[M]. Englewood Cliffs ,NJ :Prentice Hall ,1988.
- [9] 张贤达. 通信信号处理[M]. 北京 :国防工业出版社 2000.
- [10] SWACKHAMMER P J ,TEMPLE M A ,RAINES R A. Performance simulation of a transform domain communication system for multiple access application[C]//IEEE Military Communication. Atlantic City ,NJ :IEEE Publications ,1999 :1055-1059.

Simulation and analysis of transform-domain communication system

LI Jia-min , KANG Gui-hua , YAN Jie

(College of Computer and Information Engineering , Hohai University , Changzhou 213022 , China)

Abstract : The particular spectrum-using means and interference suppression capability of transform-domain communication system (TDCS) were studied and analyzed. Based on the discussion of its basic principle and main technical characteristics , a flowchart of the TDCS was designed , and its interference suppression capability was simulated with MATLAB. The results indicate that the TDCS can evade interference adaptively and has strong capability in interference suppression. Its BER performance is better than that of OFDM and MC-CDMA.

Key words : transform-domain communication ; interference suppression ; MATLAB simulation

《河海大学学报(自然科学版)》征订启事

(邮发代号 28-63 ,CN32-1117/TV ,ISSN1000-1980 ,双月刊)

《河海大学学报(自然科学版)》是以水资源开发、利用与保护为重点的综合性学术期刊 ,主要刊登河海大学在水资源、水文、地质、测量、水利工程、水电工程、水运工程、海洋及海岸工程、水工结构、工程力学、水力学及河流动力学、岩土工程、计算机科学、电力工程、电子技术及自动化工程、工业与民用建筑、管理工程、水利经济、环境工程、机械工程等学科方面的科研成果、学术论文、学术讨论、研究动态等学术性文章 ,可供上述有关专业的科技工作者及大专院校师生阅读和参考。

《河海大学学报(自然科学版)》创办于 1957 年 ,是全国中文核心期刊、中国科技核心期刊 ,在国内工程技术界和学术界有较大影响。刊载的文章中 ,有不少国家科技攻关(重点)项目和各种科学基金资助项目的研究成果 ,部分达到了国内领先和国际先进水平 ,为我国水利、水电、水运工程及其他有关工程建设的规划、设计、施工和管理提供了科学理论、方法和具体建议 ,发挥了较大的社会效益和经济效益 ,深受工程界和科技界赞许 ,并获得首届中国高校优秀科技期刊奖以及中国期刊方阵“双效期刊”、江苏省优秀期刊、全国水利系统优秀期刊称号。

《河海大学学报(自然科学版)》每逢单月出版 ,国内外公开发行 ,每期定价 12.00 元 ,全年 6 期共 72.00 元。欢迎广大读者通过全国各地邮局订阅或直接与编辑部联系。编辑部地址 210098 南京市西康路 1 号《河海大学学报(自然科学版)》编辑部 ,联系电话 025-83786343 ,E-mail :xb@hhu.edu.cn.