

对流层散射信道下 MIMO-OFDM 系统性能分析

谢泽东, 陈西宏

(空军工程大学防空反导学院, 陕西西安, 710051)

摘要 针对对流层散射信道下的通信存在信号微弱和多变的问题, 采用 MIMO-OFDM 技术能够有效解决。论文分析了对流层散射信道的突出特性, 建立了散射信道模型; 在 MIMO-OFDM 系统模型基础上, 结合实际进行了参数选取, 搭建了散射信道下 MIMO-OFDM 系统实验平台; 在验证散射信道下 MIMO-OFDM 系统性能的基础上, 对不同传输速率和不同调制方式在同一散射信道下的系统性能进行了仿真分析。仿真结果表明, MIMO-OFDM 在高速率信号传输情况下带来的信道容量的提升是明显的, 在满足系统 BER 要求前提下, 能够实现高速率散射通信; 在高速率传输时, 64QAM 调制更加有利于降低散射通信中的 BER, 而 BPSK、QPSK 和 16QAM 调制方式差别不大。该仿真为散射通信设备中多速率多体制调制解调器设计与优化提供了思路, 为实现大容量高可靠度散射通信提供了方向指导。

关键词 对流层散射信道; MIMO-OFDM; 性能分析; 多速率多体制

DOI 10.3969/j.issn.1009-3516.2013.06.015

中图分类号 TN92 **文献标志码** A **文章编号** 1009-3516(2013)06-0064-04

Performance Analysis of MIMO-OFDM System in Troposcatter Channel

XIE Ze-dong, CHEN Xi-hong

(Air and Missile Defense College, Air Force Engineering University, Xi'an 710051, China)

Abstract: The communication problem of weak and variable signal in troposcatter channel can be effectively solved using MIMO-OFDM technology. This paper analyzes the troposcatter channel characteristics and builds a scattering channel model. Then based on the MIMO-OFDM system model, combined with the actual situation, the parameters are selected and the experimental platform of the MIMO-OFDM system in scattering channel is established. And then under the promise of verification of performance of MIMO-OFDM system, the different transmission rate and different modulation system performance in the same scattering channel are simulated and analyzed. The simulation results show that, the communication capacity increase brought by MIMO-OFDM is obvious and on the premise of meeting the BER requirements, it can realize high speed scattering communication. And they also show than in the high speed transmission, 64QAM modulation is more conducive to reduce BER in scatter communication, meanwhile BPSK, QPSK and 16QAM modulation have little difference. The simulation provides a way for design and optimization of scattering equipment, which has multi rare and multi modem. It provides direction for the realization of large capacity and high reliability scattering communication.

Key words: troposcatter channel; MIMO-OFDM; performance analysis; multi rate multi modem

收稿日期: 2013-08-28

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61172169)

作者简介: 谢泽东(1989—), 男, 湖北枣阳人, 硕士生, 主要从事战术导弹通信对抗技术研究。

E-mail: 15129054136@163.com

对流层散射通信是一种超视距无线通信,具有建站快、抗毁性强、机动性好、适应复杂地形能力强等优点^[1]。然而,由于散射信道是典型的随参信道,存在传输损耗、快衰落和慢衰落严重等缺点^[2]。

针对上述问题,文献[3~5]采用 MIMO 技术来抑制散射信道衰落,能够在不增加带宽的情况下成倍提高通信容量,但对于频率选择性衰落却无能为力。文献[6~7]采用 OFDM 技术,较好解决了散射信道多径时延对系统的不利影响,但是对频率偏移和相位噪声非常敏感,并且会降低射频功率放大器的效率。

MIMO-OFDM 组合了 MIMO 和 OFDM 2 大关键技术,不仅能有效对抗多径干扰和频率选择性衰落,而且可以提供更高的速率和频谱利用率,将其应用于散射通信是有效降低高速率通信中符号间干扰的技术途径。因此,本文研究将 MIMO-OFDM 技术应用于对流层散射通信中,在验证方案可行性的基础上,分析了不同传输速率和不同调制方式下的系统性能。

1 对流层散射信道

1.1 散射信道特性

对流层中散射体随机变化,使得接收信号具有以下 2 个突出特性^[8]:①信号微弱。同等条件下,经历对流层散射信道后的接收信号电平通常要比卫星、视距微波低 20 dB 左右。②信号多变。散射通信设备的接收端信号强度变化大,既存在由于气象条件变化等引起的慢衰落,又存在多径信号相互干扰引起的快衰落。

1.2 散射信道模型

在对散射信道进行建模时,通常利用其统计特性。典型的散射信道模型有 Kailath 提出的抽头延迟线模型和 Sunde 提出的 Sunde 模型。本文采用 Sunde 模型^[8]。Sunde 散射信道模型着眼于信道的输入与输出关系,并采用传输函数来对信道的输入输出关系进行描述。

设发射端发送频率为 ω 的正弦信号:

$$x(t) = \text{Re}[e^{j\omega t}] \quad (1)$$

式中 $\text{Re}[\cdot]$ 为取实部运算,得到发射信号的振幅信息,即信号强度。经历散射信道传播后,接收端接收到的信号为:

$$y_i(t) = \text{Re}[A(\omega, t)e^{-j\phi(\omega, t)}e^{j\omega t}] \quad (2)$$

式中: $A(\omega, t)$ 、 $\phi(\omega, t)$ 分别表示第 i 条传播路径的信道增益和多普勒频移信息。

在频率 ω 处,信道的传输函数可用如下的时变

函数来描述:

$$H(\omega, t) = A(\omega, t)e^{j\phi(\omega, t)} = U(\omega, t) + jV(\omega, t) \quad (3)$$

式中: $U(\omega, t)$ 和 $V(\omega, t)$ 分别为传输函数 $H(\omega, t)$ 的实部和虚部,代表 $H(\omega, t)$ 的同相和正交分量,为:

$$U(\omega, t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} u_n(t) \frac{\sin(\omega\Delta\tau/2 - n\pi)}{\omega\Delta\tau/2 - n\pi} \quad (4)$$

$$V(\omega, t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} v_n(t) \frac{\sin(\omega\Delta\tau/2 - n\pi)}{\omega\Delta\tau/2 - n\pi} \quad (5)$$

式中: $\Delta\tau$ 为第 i 条传播路径的信道时延信息; $u_n(t)$ 和 $v_n(t)$ 分别为其对应的时域信号。

对于每个 n , $u_n(t)$ 和 $v_n(t)$ 为相互独立的实随机变量。于是,复传输函数又可改写为以下形式:

$$H(\omega, t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} b_n(t) \frac{\sin(\omega\Delta\tau/2 - n\pi)}{\omega\Delta\tau/2 - n\pi} \quad (6)$$

$$b_n(t) = u_n(t) + jv_n(t) \quad (7)$$

2 对流层散射信道下 MIMO-OFDM 系统性能

2.1 MIMO-OFDM 系统模型及原理

MIMO-OFDM 技术既可以通过复用技术达到较高的传输效率,又可以通过分集技术达到较高的传输容量和可靠度^[9-11]。基于 MIMO-OFDM 技术的对流层散射通信系统的组成框图见图 1。

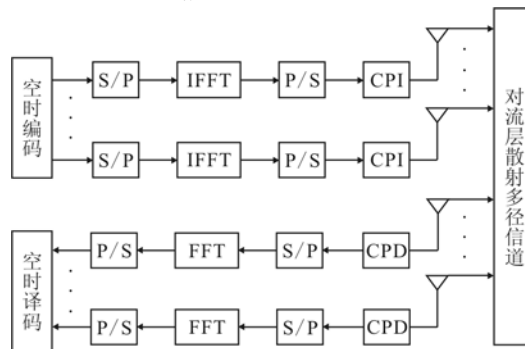


图 1 采用 MIMO-OFDM 的系统模型

Fig. 1 MIMO-OFDM system model

图 1 中的输入数据流在输入端经过必要的信息处理后,送入空时编码模块进行编码,编码后的数据流被送入 N_t 个支路分别进行串并变换、逆傅里叶变换、并串变换和循环前缀的插入(CPI)等步骤处理,最后经过上变频分别从 N_t 个天线发送出去。

发射信号经历对流层散射多径信道后,从 N_r 个接收天线进入接收端,下变频后经过与发端相反的处理步骤,最后经过空时译码等处理后得到输出数据流。

2.2 系统性能分析

为了评估 MIMO-OFDM 系统在散射信道下的

系统性能,需要准确地选择散射信道参数。通过参考大量的实测数据与相关文献^[12-14],在此给出我国华北地区比较典型的散射信道参数,见表1。

表1 300 km 散射通信链路参数表

Tab.1 300 km scatter communication link parameter

Path num	Delay/ μ s	Path power	Doppler/Hz
1	0.0	0.277 2	100
2	0.1	0.413 0	120
3	0.2	0.707 7	110
4	0.3	0.851 8	100
5	0.4	0.818 4	80
6	0.5	0.671 3	90
7	0.6	0.481 3	85
8	0.7	0.305 5	105
9	0.8	0.173 0	86

选择合适的子载波数目,使得系统的符号周期满足:

$$\tau_{\max} < T_b < \frac{1}{f_D} \quad (8)$$

式中: τ_{\max} 为最大多径时延; f_D 为最大多普勒频移。考虑到多径数目太少不能准确反映散射信道的多径衰落特性,数目太多又不便于系统仿真,本文不失准确性地选定散射链路多径数目为6,其对应的最大多径时延为 0.5μ s,最大多普勒频移为 90 Hz ,代入公式(8)计算可取符号周期为 4μ s。选择2发2收天线,STBC空时编码。这里为简化仿真,未使用信道编码,并假设系统得到理想同步。

2.2.1 MIMO-OFDM 在散射信道下的性能验证

这里采用BPSK调制,信号传输速率为 512 kB/s 。MIMO-OFDM技术的核心思想是将OFDM与MIMO技术结合,通过多发多收的MIMO系统结构,实现空间分集,通过每个天线上发送OFDM信号,提高传输系统信号质量。从图2分析,在散射信道模型下,与单纯采用MIMO或单纯采用OFDM的系统相比,MIMO-OFDM能够显著降低系统BER,从仿真角度证实了方案的可行性。

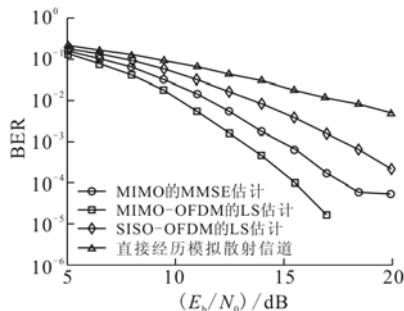


图2 散射信道下MIMO-OFDM性能验证

Fig.2 Verify the performance of MIMO-OFDM in scattering channel

2.2.2 不同传输速率信号的性能对比

这里采用16QAM调制,通过改变信号传输速

率(单位:B/s),仿真出在同一散射信道下,系统BER随信噪比改变情况。

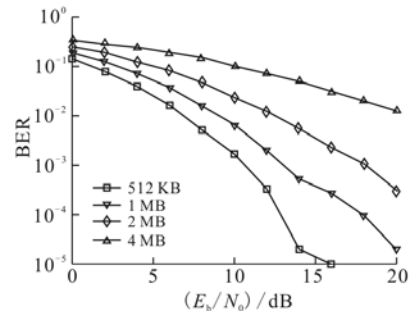


图3 散射信道下不同传输速率信号系统性能

Fig.3 The performance of different signal transmission rate system in scattering channel

MIMO-OFDM技术利用空间分集和复用,能够在保证通信质量的前提下成倍提高系统容量。由图3可知,虽然在同一信噪比情况下,随着信号传输速率的提高,系统BER会增大;但MIMO-OFDM在高速率信号传输情况下带来的信道容量的提升却是明显的。在满足系统BER要求前提下,能够实现高速率散射通信。

2.2.3 不同调制方式信号的性能对比

这里在 2 MB/s 的信号传输速率下进行仿真,通过改变信号调制方式,仿真出在同一散射信道下,系统BER随信噪比改善情况。选取载波相位调制中的BPSK、QPSK和正交幅度调制中的16QAM、64QAM。

正交幅度调制用载波的不同幅度及不同相位来表示数字信息,既调幅又调相,是一种频带利用率很高的数字调制方式。而载波相位调制仅利用相位差来代表相位信息。从图4分析,在高速率传输时,64QAM调制更加有利于降低散射通信中的BER,而其它3种调制方式差别不大。在散射信道下,随着信号传输速率的降低,可以依次选择64QAM、16QAM、QPSK和BPSK调制方式。

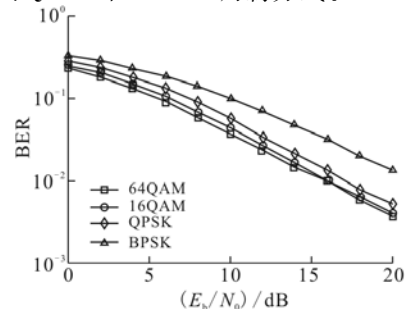


图4 散射信道下不同调制方式信号系统性能

Fig.4 The Performance of Different modulation signal System in Scattering Channel

将MIMO-OFDM技术应用于散射通信已成为未来的发展趋势。以上仿真和分析为散射通信设备

中调制解调器的多速率多体制化设计与优化提供了理论依据和参考,可以提高散射通信对多用户的适应性。

3 结语

随着 MIMO-OFDM 技术在对流层散射通信中的应用,大容量、高可靠度的散射通信将成为可能^[15-16]。本文在对散射信道下 MIMO-OFDM 系统性能进行仿真验证的基础上,在同一散射信道下对不同传输速率和不同调制方式信号的系统性能进行仿真及分析,为散射设备中多速率多体制调制解调器的设计与优化提供了思路。

尽管 MIMO 和 OFDM 技术的结合可以有效解决散射通信中存在的现有问题,但要更好的将 MIMO-OFDM 技术应用于散射通信实际系统中,还需要把握好系统的同步、散射信道估计、系统峰均比降低、自适应调制等许多关键技术,而这还有待于后续进一步研究。

参考文献(References):

- [1] 马岚. 空时分组码在对流层散射通信中的应用研究[D]. 南京:南京理工大学, 2007.
MA Lan. Application of STBC in troposcatter communication [D]. Nanjing: Nanjing university of science and technology, 2007. (in Chinese)
- [2] 顾海龙, 陈树新. 对流层散射通信信道建模及系统性能仿真[J]. 通信技术, 2008, 41(9): 26-28.
GU Hailong, CHEN Shuxin. Model of troposcatter communication channel and simulation of system performance [J]. Communication technology, 2011, 37(3): 94-97. (in Chinese)
- [3] Alamouti S M. A simple transmit diversity technique for wireless communications [J]. IEEE journal on selected areas in communications, 1998, 16(8): 1451-1458.
- [4] 陈雁, 徐松毅, 刘庆家. MIMO 在对流层散射中的性能分析[J]. 无线电通信技术, 2009, 35(6): 28-30.
CHEN Yan, XU Songyi, LIU Qingjia. Performance analysis of MIMO in troposcatter system [J]. Radio communications technology, 2009, 35(6): 28-30. (in Chinese)
- [5] 刘晓鹏, 陈西宏, 刘强. MIMO 技术在对流层散射通信中的性能分析[J]. 电子科技, 2011, 24(9): 70-72.
LIU Xiaopeng, CHEN Xihong, LIU Qiang. Performance analysis of MIMO in troposcatter communication [J]. Electronic science and technology, 2011, 24(9): 70-72. (in Chinese)
- [6] 姚文珺. OFDM 技术在对流层散射系统中的应用[J]. 无线电工程, 2007, 37(2): 58-60.
YAO Wenjun. Application of OFDM technology in troposcatter system [J]. Radio engineering, 2007, 37(2): 58-60. (in Chinese)
- [7] 刘强, 陈西宏, 周进. 对流层散射多径信道估计性能分析[J]. 电子技术应用, 2011, 37(3): 94-97.
LIU Qiang, CHEN Xihong, ZHOU Jin. Analysis on multi-path channel estimation in troposcatter communication [J]. Electronic technology and application, 2011, 37(3): 94-97. (in Chinese)
- [8] Yong Soo Cho, Jaekwon Kim, Won Young Yang, et al. MIMO - OFDM wireless communications with MATLAB[M]. New York: John wiley & sons, 2010.
- [9] Chuang J, Sollenberger S. Beyond 3G: wideband wireless data access based on OFDM and dynamic packet assignment [J]. IEEE communications magazine, 2000, 38(7): 78-87.
- [10] Sampath H, Talwar S, Tellado J. et al. A fourth-generation MIMO-OFDM broadband wireless system: design, performance, and field trial results [J]. IEEE communications magazine, 2002, 40(9): 143-149.
- [11] 武刚, 张雷, 唐友喜, 等. 多天线 OFDM 系统空时频分组码的性能分析[J]. 电子科技大学学报, 2003, 25(5): 486-490.
WU Gang, ZHANG Lei, TANG Youxi, et al. Performance of space-time-frequency block codes in multiple-antenna OFDM systems [J]. Journal of UEST of China, 2003, 25(5): 486-490. (in Chinese)
- [12] 胡茂凯, 陈西宏, 刘斌. 对流层散射通信中基于改进 SVD 的信道估计算法[J]. 电讯技术, 2009, 49(8): 69-72.
HU Maokai, CHEN Xihong, LIU Bin. An improved singular-valued-decomposition channel estimation algorithm in troposcatter communications [J]. 2009, 49(8): 69-72. (in Chinese)
- [13] Fitting R C. Wideband troposcatter radio channel simulator [J]. IEEE transactions on communication technology, 1967, 15(4): 565-570.
- [14] Bello P A. A troposcatter channel model [J]. IEEE transactions on communication technology, 1969, 17(2): 130-137.
- [15] 徐松毅, 姜韬. 散射信道测量方法研究[J]. 无线电通信技术, 2003, 29(3): 5-7.
XU Songyi, JIANG Tao. Study of scattering channel measurement method [J]. Radio communications technology, 2003, 29(3): 5-7. (in Chinese)
- [16] 李荣海, 任香凝, 刘莹. 数字对流层散射传输技术新动向综述[J]. 无线电通信技术, 2007, 33(3): 8-11.
LI Ronghai, REN Xiangning, LIU Ying. Summarization of new developments of digital troposcatter transmission technology [J]. Radio communications technology, 2007, 33(3): 8-11. (in Chinese)

(编辑: 徐楠楠)