

# 基于 MATLAB 的跳频扩频通信系统的仿真研究

王玉德<sup>①</sup>, 王金新<sup>②</sup>

(<sup>①</sup>曲阜师范大学 物理工程学院, 山东 曲阜 273165; <sup>②</sup>山东理工职业学院, 山东 兖州 272105)

**【摘要】**介绍了跳频扩频通信的理论基础和实现方法,应用 MATLAB 的可视化工具 Simulink 建立了扩频通信系统的仿真模型。设置仿真模型的参数,以伪随机整数信号控制系统的跳频载频,通过仿真实现了扩频通信系统的跳频检测和系统的性能指标分析。仿真研究结果较好,对研究以扩频通信为基础的现代通信系统具有一定的理论应用价值。

**【关键词】**扩频通信; 跳频; 仿真模型

**【中图分类号】**TN914.43

**【文献标识码】**A

**【文章编号】**1002-0802(2010)06-0021-03

## MATLAB - based Simulation on Frequency-hopping Spread Spectrum Communication System

WANG Yu-de<sup>①</sup>, WANG Jin-xin<sup>②</sup>

(<sup>①</sup>Physics and Engineering College, Qufu Normal University, Qufu Shandong, 273165, China;

<sup>②</sup>Shandong Polytechnical Vocation College, Yanzhou Shandong, 272105, China)

**【Abstract】**This paper gives the theory and implementation of the frequency hopping spread spectrum system. The simulation model is built by using SIMULINK provided by MATLAB. Through setting the simulation parameters of the model and using pseudo-random integer signal to control the hopping carrier frequency, the detection of frequency hopping and the analysis of performance indicators are implemented. Simulation result is precise and of theoretical value in studying modern spread spectrum-based communication system.

**【Key words】**spread spectrum communication; frequency hopping; simulation mode

### 0 引言

扩频通信与光纤通信、卫星通信是进入信息时代的三大高技术通信传输方式,将发送的信息展宽到很宽的宽带,在接收端通过相关的接收将信号恢复信息带宽的一种信息传输系统。扩频通信进行信号通信的好处在于用扩展频谱的方法换取信噪比的明显改善,即接收机输出的信噪比相对于发射机的信噪比有很大的改善,从而提高系统的抗干扰能力<sup>[1]</sup>。

MATLAB 具有强大的 Simulink 动态仿真环境,为用户提供了用方框图进行建模的图形接口。与传统的仿真软件相比,具有方便、直观、灵活的优点<sup>[2]</sup>。本文根据跳频扩频通信的原理,利用 MATLAB 提供的可视化仿真工具 Simulink 建立跳频扩频通信系统的仿真模型,研究扩频通信的特性,为研究以扩频通信为基础的现代通信提供理论依据。

**收稿日期:**2009-02-17。

**基金资助:**曲阜师范大学科研基金资助(编号:XJZ200838)。

**作者简介:**王玉德(1970-),男,硕士,副教授,主要研究方向为通信与信息系统、信号处理等;王金新(1974-),男,学士,讲师,主要研究方向为信号处理等。

### 1 理论基础

扩频通信的基本理论依据是信息论中的 Shannon 公式<sup>[1-3]</sup>,即:

$$c = B \lg(1 + P/N),$$

式中:  $c$  为系统的信道容量 (bits/s),  $B$  为系统的信道带宽 (Hz);  $P$  为信号的平均功率;  $N$  为噪声功率。公式表明了一个系统信道无误差的传输信息的能力跟存在于信道中的信噪比以及用于传输信息的系统信道带宽之间的关系。在一定的信道容量的条件下,可以用减少发送信号功率、增加信道带宽的办法提高信道容量或者减少信道带宽而增加发送信号功率的办法来提高信道容量。

根据 Shannon 定理在信息速率一定时,可以在不同的信号带宽和信噪比之间进行取舍,用不同的信号带宽和信噪比进行信号传输,信号带宽越宽可信信噪比越小,甚至在信号被淹没的情况下也可以实现可靠的通信。扩频通信与一般的通信系统相比,主要在发射端增加了扩频调制,而在接收端增加了扩频解调的过程。跳频扩频系统是一种瞬时窄带系

统。在接收机端,本地恢复载波受伪随机码的控制,并保持与发送的跳频变化规律一致,以频率跳变的本地恢复对接收信号进行变频,就能得到解跳频信号,然后对相应的解跳频信号进行解调即可恢复数据。

跳频系统中载波频率不断变化,在接收机中跟踪载波相位很困难,所以跳频系统一般采用可非相干解调的调制方式,常用的方式是频移键控 FSK 调制。数据流载波为  $a(t)$ ,数据速度为  $R_b$ ,取值为  $\pm 1$  (双极性),进行频移键控调制(频率偏差为  $\Delta f$ )后输出的等效低通信号为  $b(t)$ ,有:

$$b(t) = \exp(j2\pi a(t)\Delta f)。(1)$$

跳频扩频系统中伪随机序列控制下的瞬时频率为  $f(t)$ ,随着时间改变,瞬时频率  $f(t)$  的取值在频率点  $f_i, i=1,2,\dots,N$  上改变。则跳频载波信号的等效低通信号  $c(t)$  为:

$$c(t) = \exp(j2\pi f(t))。(2)$$

跳频扩频系统就是以跳频载波对数据调制信号的频率搬移过程,跳频输出的等效低通信号  $d(t)$  为:

$$d(t) = b(t)c(t) = \exp(j2\pi(a(t)\Delta f + f(t)))。(3)$$

在系统接收端,以同步伪随机码控制的频率伪随机变化的载波和接收信号混频,得到解跳输出信号  $b_{sj}$ ,即:

$$b_{sj} = (d(t) + N(t) + I(t))c^*(t) = \exp(2j\pi a(t)\Delta f) + (N(t) + I(t))\exp(-j2\pi f(t)),(4)$$

其中,  $N(t), I(t)$  分别表示噪声和干扰信号,以同步跳变的本地恢复载波对接收信号混频后,就得到了解跳后的窄带信号  $b(t)$  和宽带噪声以及干扰信号。图 1 为跳频扩频通信系统的原理图。

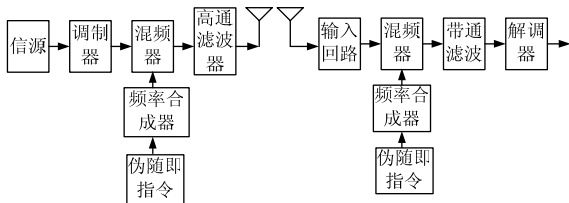


图 1 跳频扩频系统原理

## 2 系统仿真模型的建立

### 2.1 Simulink 仿真工具

Simulink 是 MATLAB 中建立系统方框图和基于方框图的系统仿真环境,是一个对动态系统进行建模、仿真和仿真结果可视化分析的软件包<sup>[4-6]</sup>。

Simulink 采用基于时间流的链路级仿真方法,将仿真系统建模与工程中通用的方框图设计方法统一起来,可以更加方便地对系统进行可视化建模,并将仿真结果可以几乎实时的通过可视化模块将输入输出数据显示出来,使系统设计、仿真调试和模型检验工作更为方便。经过多年的应用 MATHWORK 公司开发出了包括通信系统在内的多个工具箱,成为目前科学研究和工程应用的软件工具包。

### 2.2 模型建立

基于 Simulink 建立的跳频扩频通信系统仿真模型,能够反映跳频扩频通信系统的动态工作过程,可以几乎实时的观测到系统扩频前后信号的频谱,还可以根据需要研究和设计的需要扩展仿真模型,实现以跳频通信为基础的现代通信的模拟仿真,为系统的研究和设计提供强有力的研究平台。图 2 为系统仿真模型。

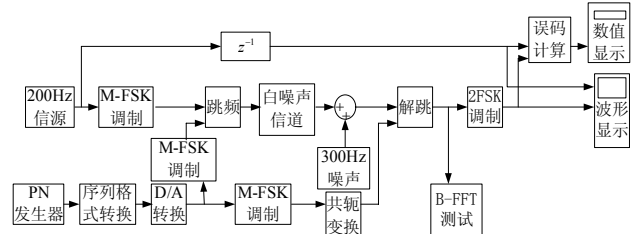


图 2 系统仿真模型

### 3 仿真结果分析

在给定下列仿真条件下,以伪随机整数信号控制系统的跳频载频,跳频频率间隔为 50 跳/秒,跳频点数为 64 个,数据调制采用 FSK 且频率间隔为 200 Hz,每个符号的采样点数为 120,接收机中解跳用到的本地恢复载波良好地跟踪了发送载波频率变化。设置系统仿真时间 1 000 s,仿真结果如图 3~图 6 所示。

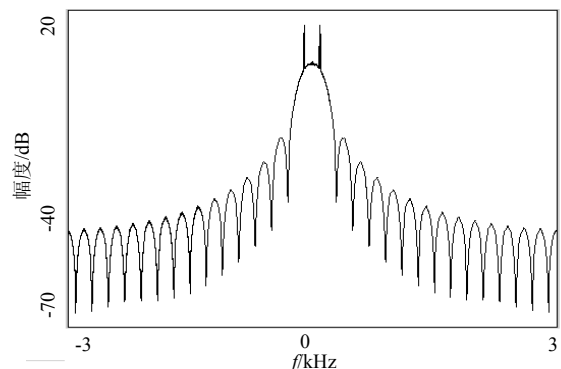


图 3 跳频前信号频谱

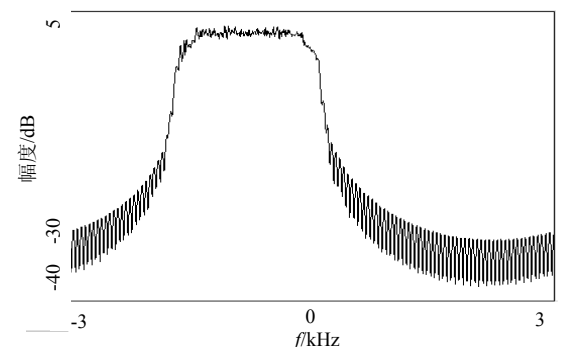


图 4 跳频后频谱

通过观察,可以看出跳频信号的波形是不连续的,每一跳频信号的驻留时间的瞬时所占的信道带宽是窄带频谱,这时窄带频谱在一个很宽的频带内跳变(在本次仿真中,频段为  $-3 \sim 3$  kHz,跳频点数为 64 个),形成一个跳频带宽。由于跳频速率很快,在宏观上实现了频谱的扩展。

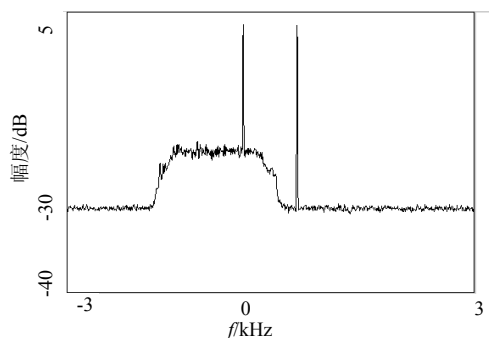


图5 信道传输并受噪声干扰跳频接收信号频谱

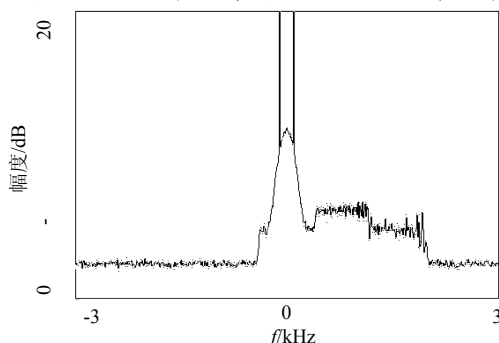


图6 解跳后信号频谱

## 4 结语

本文介绍了跳频扩频系统的基本原理和相关技术,应用

SIMULINK 仿真工具建立了跳频扩频通信系统的仿真模型。在仿真模型中以伪随机整数信号控制系统的跳频载频,设置了跳频频率间隔、调频点数及数据调制方式等仿真参数,实验结果表明接收机中解跳用到的本地恢复载波良好地跟踪了发送载波频率变化,较好地实现了系统的跳频检测。在仿真研究的基础上研究了跳频扩频通信系统的性能,为研究跳频通信为基础的现代通信理论提供了理论依据。

## 参考文献

- [1] 曾兴雯,刘乃安,孙献璞.扩展频谱通信及其多址技术[M].西安:西安电子科技大学出版社,2004:11-12.
- [2] 徐明远,邵玉斌.MATLAB 仿真在通信和电子工程中的应用[M].西安:西安电子科技大学出版社,2005:324-326.
- [3] 王理德,陈高平.扩频通信技术在 CDMA 中的应用[J].通信技术,2003(07):56.
- [4] 刘素心.基于 MATLAB 的通信系统的实验仿真设计[J].实验室科学,2008(06):101-102.
- [5] 宋永东.基于 MATLAB 的 2DPSK 低频感应通信系统仿真设计[J].通信技术,2009,42(09):26-27.
- [6] 陈奎.基于 SIMULINK 的 MC-CDMA 仿真与性能分析[J].计算机应用,2008(08):2133-2135.

(上接第 20 页)

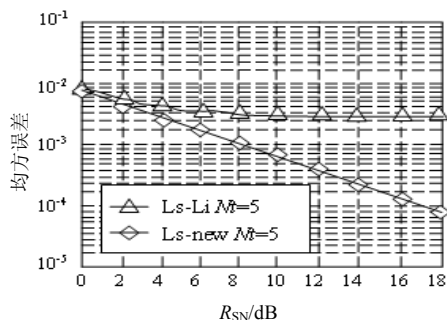


图1 序列长度为 128 时的均方误差性能比较

图 2 为不加信道编码时 16QAM 调制的 2X2MIMO-OFDM 系统的 BER 性能,由图可见采用本文提出的导频序列在  $10^{-2}$  性能时比传统方法在 16QAM 调制有 5 dB 的增益。由此可证明采用本文所采用的正交导频序列设计方法可以减少序列的长度,提高系统的性能。

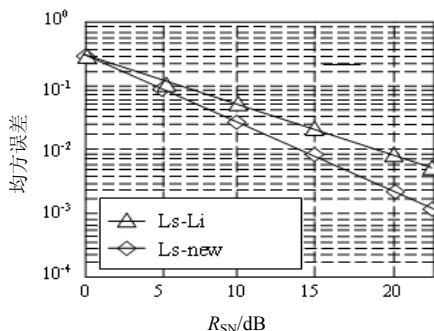


图2 16QAM 调制 BER 性能比较

## 4 结语

本文推导了 MIMO-OFDM 系统最优频域导频序列设计准则,推广传统两天线正交导频设计方法到了任意天线时的设计,并提出了一种能达到正交导频时信道估计 MSE 下界设计方法。最后进行了系统仿真,基于理论分析和仿真结果得到以下结论:传统正交导频设计方法要求序列长度与天线数目成指数增长,本文提出的方法则成线性增长,且导频序列发送信号的峰均比为 1;提出方法设计的导频序列能达到正交导频时信道估计 MSE 下界,且 MSE 性能具有对天线数目的鲁棒性,天线之间的导频干扰不随发送天线数目的增加而增加。

## 参考文献

- [1] 周围,朱立君.MIMO-OFDM 系统中的关键技术研究[J].通信技术,2008,41(12):25-26.
- [2] 龚爱斐,陈发堂.一种改进了的 OFDM 信道估计算法[J].通信技术,2008,41(06):100-102.
- [3] 邵怀宗,彭启琮.在 OFDM 系统中用导频符号进行信道估计的新方法[J].电波科学学报,2002,17(06):628-632.
- [4] 黄宇,郭晓金,陈兰兰,等. MIMO-OFDM 系统中的信道盲估计技术[J].通信技术,2008,41(05):35-37.
- [5] Seshadri N,Ariyavisitakul S.Channel Estimation for OFDM Systems with Transmitter Diversity in Mobile Wireless Channels[J].IEEE JSAC,1999,17(03):665-675.
- [6] Chu D.Polyphase Codes with Good Periodic Correlation Properties[J].IEEE Trans. Inform. Theory, 1972,18(04):531-532.