

Simulation and Analysis on Anti-Jamming Performance of Frequency-Hopping Communication System

Kun Liu, Fuhong Zhang

College of Communication Engineering, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou
Email: lkun_sky@163.com

Received: Jan. 20th, 2014; revised: Feb. 10th, 2014; accepted: Feb. 12th, 2014

Copyright © 2014 Kun Liu, Fuhong Zhang. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited. In accordance of the Creative Commons Attribution License all Copyrights © 2014 are reserved for Hans and the owner of the intellectual property Kun Liu, Fuhong Zhang. All Copyright © 2014 are guarded by law and by Hans as a guardian.

Abstract: Frequency-hopping communication is a main means of military communication, so it is very important to guarantee the normal work of this system in the complex communication environment. First, this paper introduces the theory of Frequency-hopping communication and the simulation of this system. Then, it analyses several common types of jamming in frequency-hopping communication, including broadband noise jamming, partial band noise jamming and tracking jamming. According to the pattern and feature of different jamming, it simulates different types of jamming by using Simulink software. At last, it gets the Bit Error Rate (BER) curves of system in different types of jamming by adding interference noises into the frequency-hopping communication system which has been set up. With the getting data and the BER curves, it analyses the anti-jamming ability of frequency hopping communication system under different types of jamming, summarizes and proposes some improved methods.

Keywords: Frequency-Hopping Communication; Jamming; Simulink; Ber; Anti-Jamming Ability

跳频通信系统抗干扰性能仿真与分析

刘 坤, 张福洪

杭州电子科技大学通信工程学院, 杭州
Email: lkun_sky@163.com

收稿日期: 2014 年 1 月 20 日; 修回日期: 2014 年 2 月 10 日; 录用日期: 2014 年 2 月 12 日

摘 要: 跳频通信是军事通信的主要手段之一, 因此在复杂的通信环境下保证跳频通信系统的正常工作就变得十分重要。文章首先介绍了跳频系统, 并给出了跳频系统整体仿真图。其次分析了跳频系统中常见的几种干扰, 主要包括: 宽带噪声干扰、部分频带噪声干扰及跟踪式干扰。根据各个干扰的干扰机制及特点, 利用 Simulink 软件对各种干扰类型进行仿真建模。最后通过将各干扰信号加入已搭建好的跳频通信系统模型中得到不同类型干扰下系统的误码率曲线。通过仿真得到的数据与误码率曲线图, 分析跳频通信系统对抗各干扰的能力, 总结并提出了相应的改进措施。

关键词: 跳频通信; 干扰; Simulink; 误码率; 抗干扰能力

1. 引言

在现代战争大规模的电磁干扰和对抗下, 为了争

取良好的战略态势, 掌握战争中的主动权, 维持通信系统的稳定性, 提高军事指挥的准确性, 已成为军事

通信领域的主要研究方向。由于跳频通信技术具有良好地抗衰落、抗干扰、多址组网能力,因此被军事通信广泛采用^[1],与此同时,各种专门针对跳频系统的干扰也应运而生,对跳频系统的抗干扰能力提出了严峻的挑战。跳频通信在军事领域中的应用最具代表性的当属美国的 JTIDS 数据链系统^[2],我军也在积极筹建自己的数据链军事通信系统,由于跳频系统为数据链系统中一个非常重要的环节,因此对跳频通信系统的抗干扰性能进行研究和分析就变得十分重要。

2. 跳频通信系统原理及模型

跳频通信系统全称为频率跳变扩展频谱通信系统^[3](frequency hopping spread spectrum communication system, FH-SS),跳频通信系统原理如图 1 所示^[4]。跳频系统是利用二进制伪随机码序列控制载波频率合成器产生随伪随机码的变化而跳变的本振载波频率,利用该本振载频将待发射的信号发送出去。跳频通信是扩展频谱通信技术之一。

载波频率合成器为跳频技术中的关键,其整体仿真模型^[5,6]如图 2 所示。

由于本文主要讨论跳频通信系统作为一种通信机制在不同干扰下的性能表现,故系统仿真框架图中接收端与发射端使用同一频率合成器^[7],接收端并未设置同步模块。在对系统的抗干扰性进行测试时采用

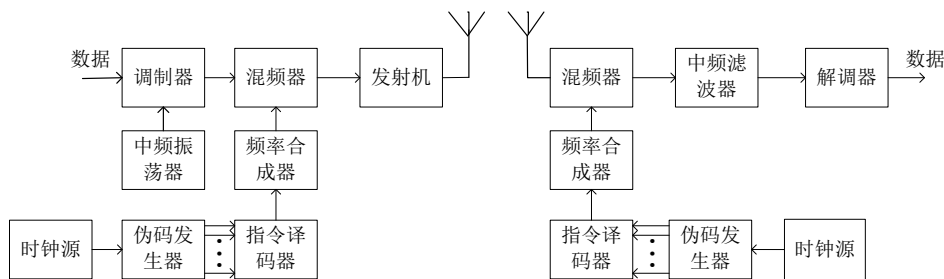


Figure 1. Simplified block diagram of frequency hopping system
图 1. 频率跳变系统简化原理框图

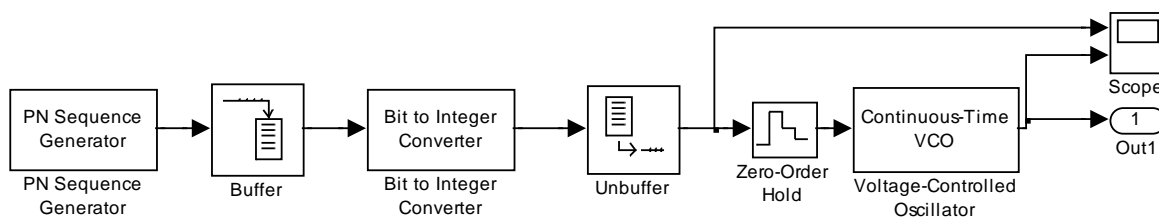


Figure 2. Frequency hopping carrier generating module simulation diagram
图 2. 跳频载波生成模块仿真链路图

BPSK 调制的跳频系统,仿真系统^[8]如图 3 所示。

3. 干扰类型及其仿真建模

3.1. 宽带噪声干扰

宽带噪声干扰^[9]是指干扰方在跳频系统的整个工作带宽上发送噪声进行干扰,如图 4 所示。假定宽带噪声功率为 J ,跳频系统带宽为 W ,则可得宽带噪声功率谱密度为 $N_j = J/W$ 。

宽带噪声本身对通信系统类型不敏感,但由于跳频通信系统的频带宽度很大,宽带噪声的干扰功率必须达到足够的强度,才能对跳频系统进行有效的干扰。此种干扰方式付出的代价相当高,但实现简单。

当宽带噪声干扰被施放时,干扰噪声覆盖整个跳频频带,由于其特征依然为高斯白噪声,因此直接采用 AWGN 信道模块来模拟宽带噪声干扰,其仿真模型^[10]如图 5 所示。

若信号平均功率为 P 。定义 J/P 为干信比^[11],即干扰信号功率与有用信号功率之比,用 JSR(Jamming to signal Ratio)表示。

3.2. 部分频带噪声干扰

部分频带噪声干扰^[12,13]是指干扰机将干扰噪声功率集中到跳频工作频带的某一部分上,此时形成部分频带干扰,如图 6 所示。部分频带干扰是战场通信时

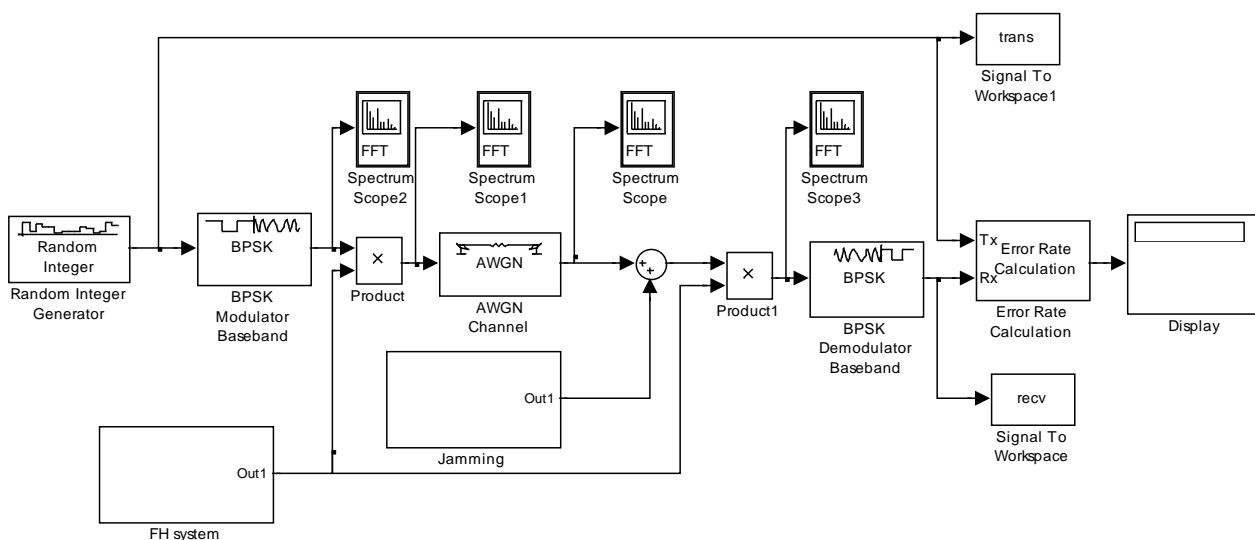


Figure 3. Simulation diagram of FH/BPSK system

图 3. FH/BPSK 系统仿真图

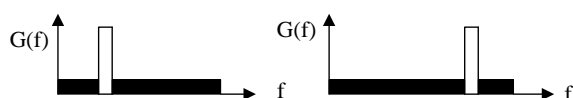


Figure 4. Schematic diagram of broadband noise

图 4. 宽带噪声干扰示意图

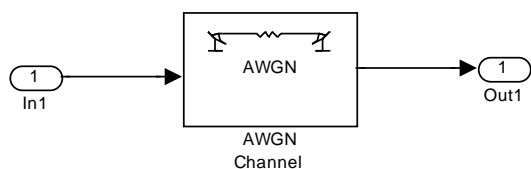


Figure 5. Diagram of broadband noise block

图 5. 宽带噪声干扰模块图

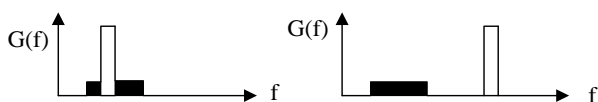


Figure 6. Schematic diagram of partial band noise

图 6. 部分频带噪声干扰图

干扰方所采用的主要手段之一。

除了传输带宽不同外，部分频带干扰与宽带噪声干扰基本上相同。由于部分频带干扰带宽更窄，较宽带噪声干扰更容易产生；同时，部分频带干扰具有一些类型的扩展频谱^[14]，也使得它比宽带噪声干扰性能更好。

设干扰带宽为 W_j ，跳频带宽为 W ，定义干扰因子 $\rho = W_j/W$ ，即 ρ 为干扰带宽与跳频带宽之比。

由于部分频带干扰是对某一特定的频段实施干

扰，因此窄带噪声可以看做一个宽带噪声通过带通滤波器后形成的信号，因此，宽带噪声可由高斯噪声生成模块来产生，再经过一个带通滤波器，此过程便可以产生部分频带噪声^[15]，如图 7 所示。

高斯噪声发生器能控制产生干扰信号功率的大小，可以实现系统输入干信比的变化，进而满足不同干信比条件下的仿真需要。干扰因子 ρ 可以通过带通滤波器通带带宽的变化来设定。

3.3. 跟踪式干扰

跟踪式干扰^[16,17]是干扰方将干扰噪声调制到与跳频系统相同的频率上而实施的干扰，如图 8 所示，该干扰信号的频率必须要拥有与跳频系统相同的跳变规律，且必须在收发双方跳到一个新的频率之前将干扰送达到接收机，才能有效的对跳频系统进行干扰。

由于跟踪式干扰的分析与处理需要电子设备的支持，在信号处理过程中要消耗一定时间。因此在仿真该干扰模型时，我们直接采用跳频频率合成器模型与 Transport Delay 延时模块来组合产生，频率合成器模型主要仿真干扰方对信号处理后的输出波形，而延时模块主要用来模拟电子设备对信号的处理时间。其仿真搭建模型如图 9 所示。

4. 仿真结果及分析

对 FH/BPSK 仿真系统进行设置，部分主要参数

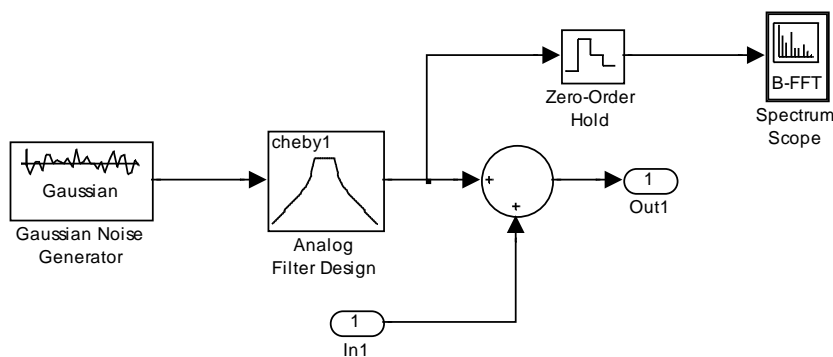


Figure 7. Diagram of partial band noise block
图 7. 部分频带噪声干扰模块图

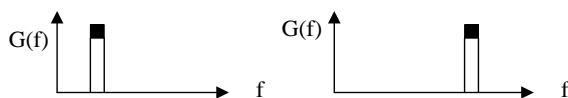


Figure 8. Schematic diagram of tracking jamming
图 8. 跟踪式干扰图

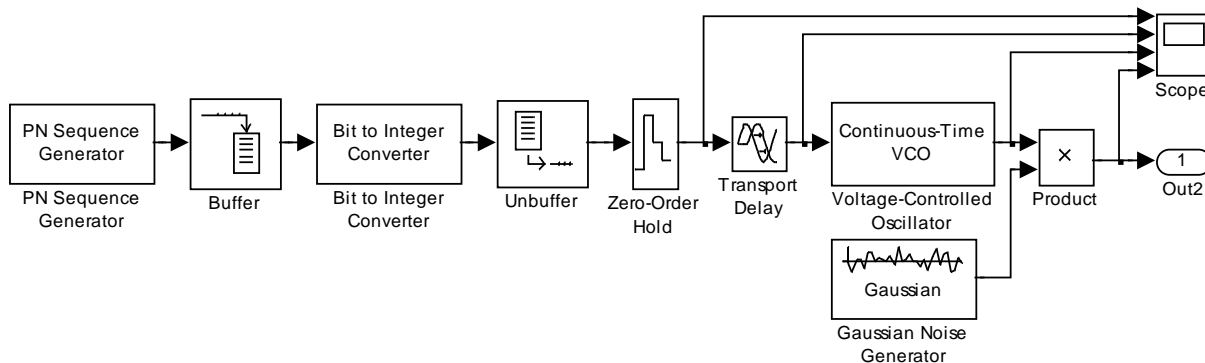


Figure 9. Diagram of tracking jamming block
图 9. 频率跟踪式干扰模块图

如下，传输信息的速率：9600 bits/s；频率跳变速率：28,800 Hop/s；跳频频点个数：127；频点间隔：50 KHz；频带范围：3 M~9.35 MHz。

4.1. 宽带噪声干扰

在仿真时不断改变宽带干扰噪声的功率设置，得到如图 10 所示的误码率曲线图，其中横轴为干信比。

从图 10 中可以看出，在干信比很小时，仿真值的误码率为 0，主要是由于仿真数据有限造成的。之后，随着干信比的增长，仿真值在理论值上下进行波动，仅略有偏差，仿真值与理论值基本处于重合状态，说明对 FH/BPSK 系统的仿真设计是正确的，为下面干扰类型仿真分析的正确性提供了验证。从图 10 中还可以看出，在误码率为 10^{-2} 时，干信比已达到 24 dB，

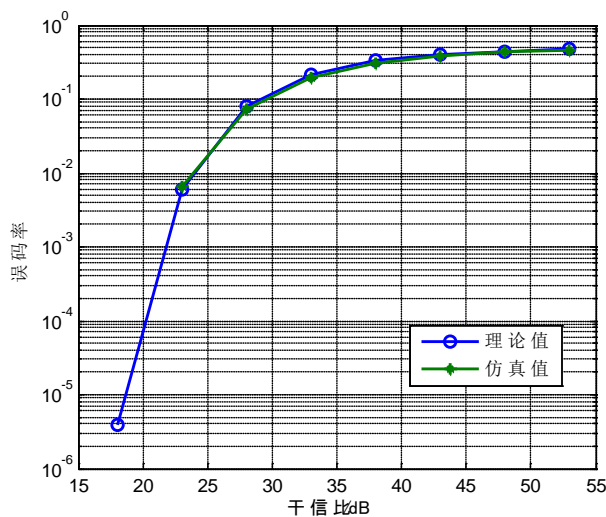


Figure 10. BER curves of FH/BPSK in broadband noise
图 10. 宽带噪声干扰下 FH/BPSK 误码率图

想要更有效的干扰通信需要付出更大的干扰功率。

4.2. 部分频带干扰

利用不同宽度的频带干扰, 得到干扰因子 ρ 分别取 $\rho=0.2$ 、 $\rho=0.3$ 、 $\rho=0.5$ 、 $\rho=1.0$ 时的噪声。得到不同干扰因子条件下的误码率如图 11 所示。

从图 11 中可以看出, 在不同的 ρ 值下, 每条曲线都对应着一个极值, 且 ρ 越大极值越大。说明在干扰功率很大的情况下选择的干扰频带越宽干扰效果越好。同时, 在还可看到在干信比较小的情况下, 若要达到 10^{-2} 量级的误码率, ρ 值越大所需要的干扰功率也越大, 而 $\rho=1.0$ 时干扰噪声就变为宽带噪声, 可知要达到相同的干扰效果, 宽带噪声干扰所需的干扰功率比部分频带干扰所需的功率要大。同时从图 11 中还可以看出, 在干信比为 20 dB~30 dB 之间时, 不同的干信比总有一个对应的干扰带宽使误码率达到最大。

将干信比设置为 28 dB, 将干扰因子 ρ 在 [0.1, 1] 间取值, 步进值设为 0.1, 在此种情况下对跳频系统进行仿真, 得到图 12 所示的干扰因子-误码率关系曲线图。

从图 12 中可以看到, ρ 从 0.1 逐渐增大到 1.0 的过程中, 理论值与仿真值均在 $\rho=0.7$ 时误码率达到最大。因此, 部分频带干扰在干扰功率有限的情况下, 总是存在一个最佳的 ρ 值能够使干扰效果达到最好。因此对于通信破坏而言, 在干扰功率有限时如何设

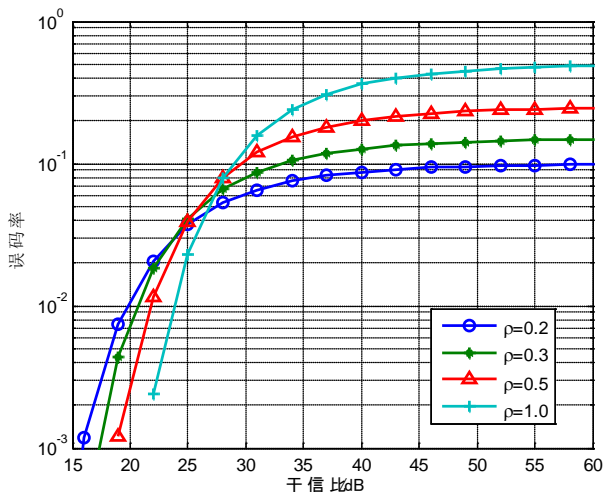


Figure 11. BER curves of FH/BPSK in partial band noise
图 11. 部分频带噪声干扰下 FH/BFSK 误码率图

置最优的干扰频带宽度是十分关键的。

仿真结果分析

在仿真时将信息处理设备耗费的时间用 T_p 表示, 每个频率持续的时间用 T_d 表示, 仿真中已假设收发两端信号间没有时延, 定义干扰因子 j 为: $j = (T_d - T_p) / T_d$, 由前文中的分析可知, 只有当 $T_p < T_d$, 即干扰因子 j 满足 $0 \leq j < 1$ 时, 跟踪干扰才能有效对跳频通信进行干扰。

将干扰加入 FH/BPSK 系统中进行仿真, 得到如图 13 所示的误码率曲线结果。

从图中可以看出, 固定干扰因子, 系统误码率随着干信比的增加而不断增大, 当干扰信号比 JSR = 8

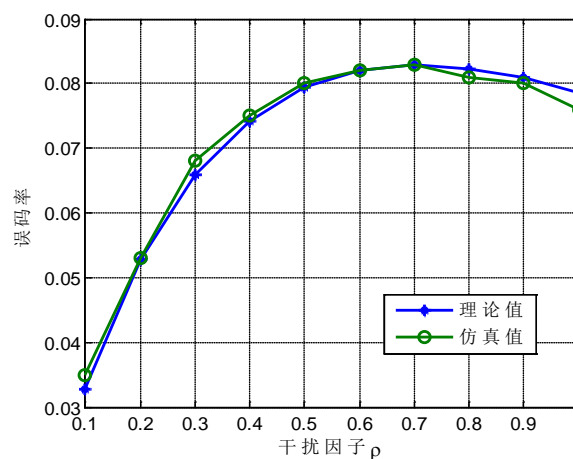


Figure 12. BER curves of different ρ values when JSR is fixed at 28 dB

图 12. 干信比固定为 28 dB 时 ρ 取不同值的误码率图

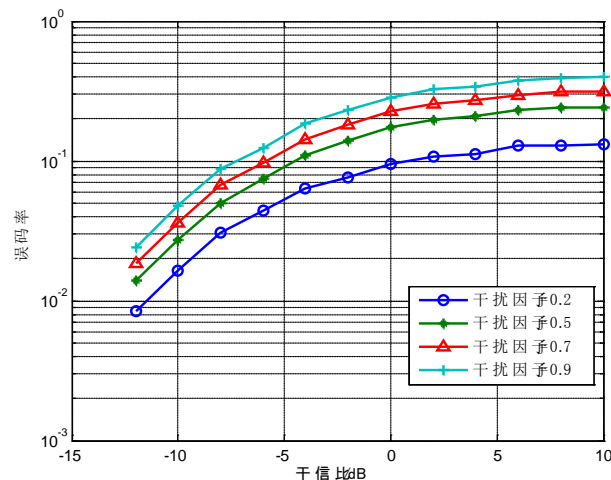


Figure 13. BER curves of tracking jamming in different jamming factors

图 13. 不同干扰因子下的频率跟踪式干扰误码率图

dB 时, 对于所有的 j , 误码率都基本上达到最大值, 之后再提高干扰功率对系统的影响已经很有限。从图 13 中我们还可以看到, 对于不同的干扰因子 j , 无论干信比大小, 总是 j 越大干扰效果越好。

5. 小结

上文对几种干扰进行了介绍与仿真, 通过结果可以看到, 由于宽带噪声干扰要覆盖全部跳频带宽, 想要有效干扰跳频系统就需要很大的功率, 因此, 提高跳频频带宽度是对抗该种干扰的有效措施^[18]; 对于部分频带干扰, 跳频系统可以采用空闲信道搜索^[19]及自适应技术^[20]来缓解; 由于跟踪干扰必须在跳频驻留时间内将干扰送达才能有效的干扰跳频信号, 因此, 缩短跳频信号的驻留时间, 即提高跳频速率就可以有效抵抗跟踪干扰。

参考文献 (References)

- [1] 程凡超, 曹泽阳, 孙舒 (2008) 军事通信对抗中抗干扰技术和国内外发展研究现状. *第十二届全国青年通信学术会议论文集*, **4**, 1284-1289.
- [2] Paradise, R.Y. (1992) Technology insertion in JTIDS terminals. Conference Record. *IEEE Military Communications Conference on Communications-Fusing Command, Control and Intelligence*, **2**, 513-518.
- [3] Peterson, R.L. and Ziemer, R.E. (2006) 扩频通信导论. 沈丽丽译. 电子工业出版社, 北京, 17-18.
- [4] 田日才 (2007) 扩频通信. 清华大学出版社, 北京, 1-6.
- [5] 常文武 (2010) 浅析跳频通信的关键技术. *电子科学*, **4**, 14.
- [6] 张宝强 (2010) 高速跳频的关键技术研究. 硕士学位论文, 西安电子科技大学, 西安.
- [7] 赵岩 (2010) 跳频通信系统抗干扰性能研究. 硕士学位论文, 哈尔滨工业大学, 哈尔滨, 34-35.
- [8] 邵玉斌 (2007) Matlab/Simulink 通信系统建模与仿真实例分析. 清华大学出版社, 北京, 62-85.
- [9] 姜恩光 (2013) 跳频通信系统设计与同步捕获研究与仿真. 硕士学位论文, 杭州电子科技大学, 杭州, 37-38.
- [10] 寇志刚 (2010) 跳频通信系统干扰技术研究. 硕士学位论文, 西安电子科技大学, 西安.
- [11] 梅文华, 王淑波 (2005) 跳频通信. 国防工业出版社, 北京, 226-227, 236-238.
- [12] 赵岩, 郭庆, 贾敏 (2010) 基于 Simulink 的跳频通信系统抗干扰性能分析. *通信技术*, **11**, 15-20.
- [13] 王壮, 余国文, 胡一明 (2012) 部分频带干扰对跳频通信系统影响分析. *舰船电子对抗*, **12**, 36-39.
- [14] 崔晶, 汪立新, 卢聪敏 (2011) 多定频干扰中的跳频信号分离技术. *电子技术应用*, **5**, 107-109.
- [15] 胡晓娇 (2006) 跳频通信系统抗干扰性能研究及仿真分析. 硕士学位论文, 华中科技大学, 武汉.
- [16] 张帅帅 (2011) 数据链跳频抗干扰技术研究. 硕士学位论文, 电子科技大学, 成都, 62-66.
- [17] 马文勇, 杨曦, 尹斌 (2009) 跳频通信系统抗跟踪式干扰性能研究. *舰船电子工程*, **2**, 75-76.
- [18] 陈静, 杨明 (2008) 跳频系统抗干扰能力研究. *无线电工程*, **1**, 26-28.
- [19] 翟临博, 刘元安, 刘凯明 (2010) 利用最优空闲信道的认知无线电 MAC 协议. *北京邮电大学学报*, **2**, 121-125.
- [20] Stabellini, L., Shi, L., Al Rifai, A., Espino, J. and Magoula, V. (2009) A new probabilistic approach for adaptive frequency hopping. *IEEE 20th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*, Tokyo, 13-16 September 2009, 2147-2151.