

文章编号 : 1672-2892(2010)01-0015-04

基于 Simulink 的联合战术信息分发系统仿真

刘武刚, 杨建波, 周 瑞

(空军航空大学 信息对抗系, 吉林 长春 130022)

摘 要: 通过研究联合战术信息分发系统(JTIDS)采用的主要技术, 利用 Simulink 仿真软件, 实现了对信源的差错控制编码; 以 32 位的循环码移位键控(CCSK)码字 S_0 为基础建立扩频空间, 完成软扩频; 最后通过 VCO 模块实现了 51 个频点的随机跳变, 完成了 JTIDS 数据链路的仿真, 并在白噪声信道和干扰环境中分析了该系统的抗干扰性能, 为下一步对其进行有效干扰奠定基础。

关键词: 联合战术信息分发系统; 编码; 扩频; 仿真; Simulink 软件

中图分类号: TN972

文献标识码: A

JTIDS signal simulation based on Simulink

LIU Wu-gang, YANG Jian-bo, ZHOU Rui

(Department of Aerial Information Rivalry, Aviation University of Air Force, Changchun Jilin 130022, China)

Abstract : By studying the key technologies of Joint Tactical Information Distribution System(JTIDS), and utilizing Simulink software, this study realized the source error control coding. By using 32 bit Cyclic Code Shift Keying(CCSK) code-word S_0 to establish spread spectrum space, the tamed spread spectrum was completed. The random transformation of 51 frequency points was achieved with VCO module and the link simulation of JTIDS was prosecuted. The anti-jamming performance of this system was analyzed in the Additive White Gaussian Noise(AWGN) channel and jamming environment, which laid the foundation for the study of effective jamming to this system.

Key words : Joint Tactical Information Distribution System; encode; spread spectrum; simulation; Simulink

联合战术信息分发系统(JTIDS)作为美军联合作战指挥、控制、通信、计算机、情报、监视和侦察(Command Control Communication Computer Intelligence Surveillance Reconnaissance, C⁴ISR)系统的重要组成部分, 是一种采用了软扩频/跳频相结合的混合扩频通信方式, 并集合了检/纠错编码的优点, 因而要完成对该系统的全面研究, 首先需要根据其技术特点, 完成对该系统的建模仿真。文献[1]仿真实现了 JTIDS 的差错控制编码和软扩频技术, 但只是在基带对系统的抗噪性能做了分析; 文献[2]仿真实现了系统的整体性能, 但没有真正完成软扩频和 51 个跳频点的随机跳变。本文通过建立软扩频空间, 完成软扩频, 并将 51 个跳频频点引入最小频移键控(Minimum Shift Keying, MSK)调制/解调模块, 用 Simulink 实现了整个系统的仿真。

1 JTIDS 的主要技术

JTIDS 采用了多种现代通信技术, 以提高系统的抗干扰能力和保密能力, 本文建立了该系统的模型框图, 见图 1, 并在此基础上分析了系统信道编码和扩频的方式与原理。

1.1 信道编码

JTIDS 系统的信道编码采用了(16,4)和(31,15)里德-索洛蒙(Reed-Solomon, RS)纠错编码^[1]。在数据

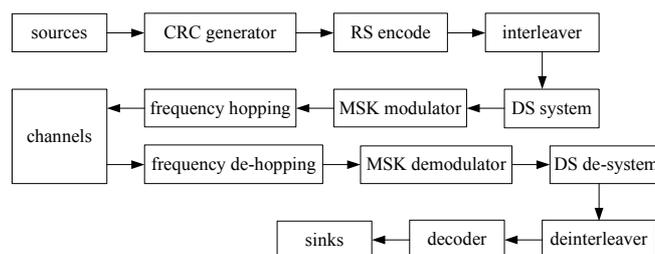


Fig.1 JTIDS model chart
图 1 JTIDS 模型框图

部分,采用的是(31,15)RS 码,每组可纠 8 个错误。这种信道编码使得在由 31 个字符组成的大组中,由于干扰或传播等原因,即便在 16 个字符无法判决,或者有 8 个字符判决错误的情况下,在信道译码时也能纠正过来。另外,为了防止突发性干扰引起的误码,在纠错编码后还进行交织编码(交织是一种常用的构造码的方法,它能把比较长的突发错误离散为短的随机的错误)。JTIDS 的数据段采用了 31×3 的字符交织,可以纠正长为 3×8 个符号的突发错误。

1.2 扩频

JTIDS 采用了基于循环移位的 32 位直序扩频^[2],它的带宽仅为传统二进制扩频系统的 1/5,特别适合于频谱宽度受限又要求一定处理增益的通信系统。在扩频过程中,按照伪码序列图案,每 5 bit 信息去控制特定的 32 位伪码循环移位,这样能够提高系统白噪声干扰和欺骗干扰的能力。在通信模式 1 中, JTIDS 采用了跳频技术,跳频在各脉冲之间进行,载频在频段 960 MHz~1 215 MHz 之间伪随机选择,跳频点以 3 MHz 间隔均匀分布,共 51 个频点,相邻脉冲的载频最小间隔为 30 MHz,为了避免和同样占用该频段的敌我识别(Identification Friend or Foe, IFF)系统的干扰,排除了 1 030 MHz 和 1 090 MHz 的频率及其保护区域(±20 MHz)。实际频段分为 969 MHz~1 008 MHz, 1 053 MHz~1 065 MHz 和 1 113 MHz~1 206 MHz 3 个子频段。

2 仿真实现

通过 Simulink 仿真工具,以 JTIDS 数据模型框图为基础,建立仿真框图见图 2。从信源得到的二进制信息码,首先进行内部编码,即循环冗余校验(Cyclical Redundancy Check, CRC)编码,然后将数据以每 5 位为一组,采用(31,15)的 RS 编码,进行外编码,即由 15 个字符的数据加入 16 个字符的冗余码构成。同时为了防止突发性干扰的出现,在纠错编码后,还要在每个时隙所传输的数据范围内进行字符交织;接着对数据进行扩频(CCSK 扩频),即以 S_0 的 32 种不同位移位置来对应每个 5 bit 的 32 种不同数据。最后引入跳频子系统完成仿真。通过信道后,对数据进行解跳、解调、解扩和解码等,其中解扩利用的是 M 序列的特殊自相关性进行。

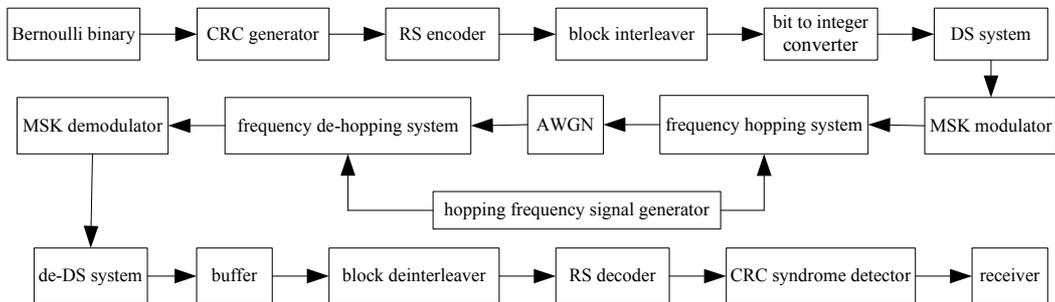


Fig.2 JTIDS simulation chart
图2 JTIDS仿真框图

2.1 软扩频

在 JTIDS 中 CCSK 编码被用于完成交织后的消息^[3]。表 1 列出了 5 bit 码元和 CCSK 码字之间的对应关系。通过对长度为 32 的 CCSK 码字 S_0 左循环移位 n 次,生成第 n 个码元对应的 CCSK 码字(n 值为 0~31)。本文依据 CCSK 的原理,以表 1 为基础建立扩频空间,利用差错控制编码以 5 bit 为一个字符,来对应 CCSK 码字,完成软扩频,见图 3。在仿真中设定扩频码周期为 0.2 μ s。

表1 CCSK码字
Table1 CCSK code

5 bit code	CCSK code(32 bit)
00000	$S_0=01111100111010010000101011101100$
00001	$S_1=11111001110100100001010111011000$
00010	$S_2=11110011101001000010101110110001$
00011	$S_3=11100111010010000101011101100011$
00100	$S_4=11001110100100001010111011000111$
⋮	⋮
11111	$S_{31}=00111110011101001000010101110110$

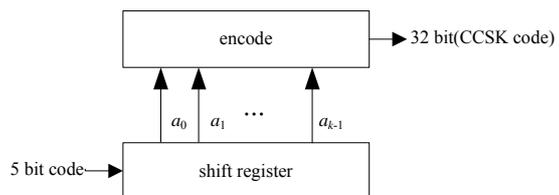


Fig.3 CCSK chart
图 3 CCSK 原理框图

2.2 跳频

图 4 为仿真系统中跳频子系统展开图,跳频信号同步地馈送到跳频与解跳模块的载波输入端口(In 2),完成载波信号的加载与卸载功能(这里认为仿真链路跳频同步),其中 Transport Delay 模块使得 VCO 输出的实信号延迟 $\pi/2$ 相位变为虚信号,然后与 VCO 输出的实信号通过 Real-Imag to Complex(实-虚变复数)模块复合成复信号^[4],以适应跳频与解跳模块需要复信号输入的要求。

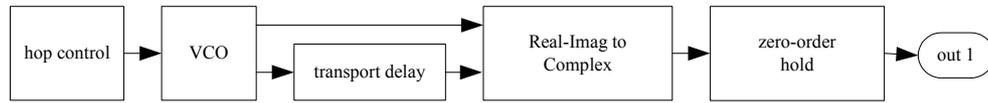
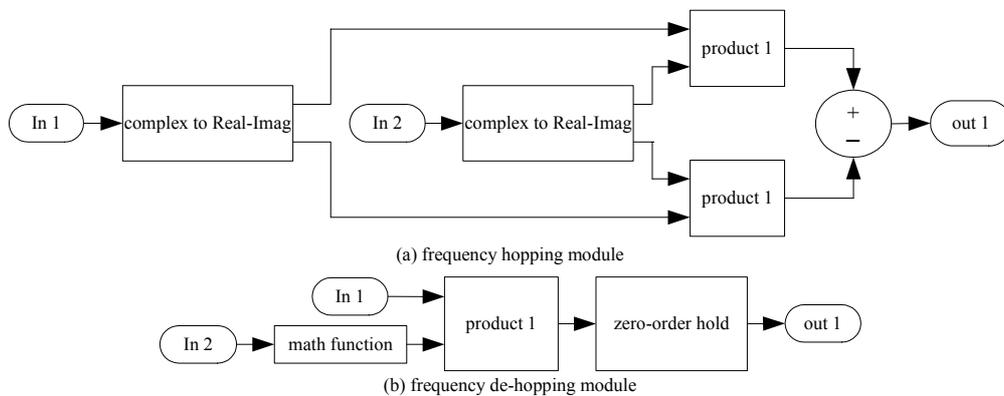


Fig.4 Hopping frequency signal generator
图4 跳频信号产生器

与跳频子系统相配合的跳频与解跳模块见图 5,对于解跳模块,本文用零阶采样保持模块来保证解跳前后采样率的统一。



(a) frequency hopping module
(b) frequency de-hopping module
Fig.5 Hopping and de-hopping frequency modules in simulation
图5 仿真系统中的跳频和解跳模块

跳频子系统输出端的输出载波频率随时间变化规律见图 6。可以看出,该跳频子系统实现载频在频段 960 MHz~1 206 MHz 之间伪随机选择,跳频图案呈现出 3 个子频段,这与 JTIDS 信号实际划分的 3 个子频段(969 MHz~1 008 MHz,1 053 MHz~1 065 MHz 和 1 113 MHz~1 206 MHz)基本一致,较为真实地体现出 JTIDS 的频点分布特征。

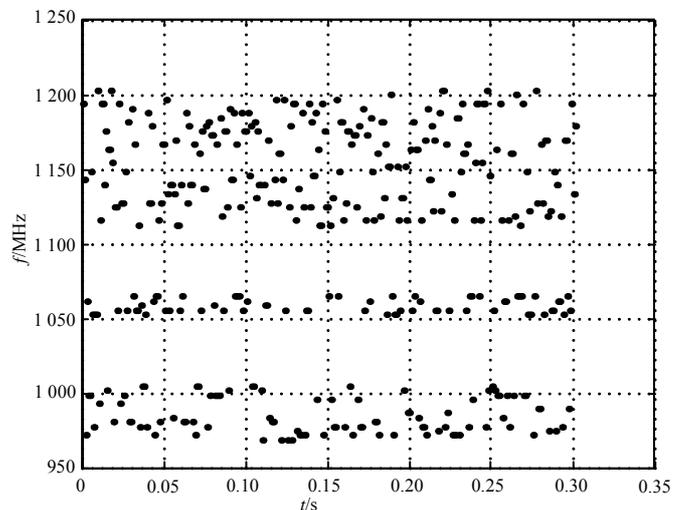


Fig.6 Carrier frequency varying with time
图 6 载波频率随时间变化规律

3 JTIDS 性能分析

3.1 白噪声环境

首先在白噪声环境下,对 JTIDS 的抗噪性能进行分析,并通过与 MSK 和差错控制编码的抗噪性能进行对比研究,结果见图 7。可以看出,本文建立的仿真系统较为真实地反映了 JTIDS 具有的抗噪性能:RS 编码的纠错能力在低信噪比下没有很好地体现出来,而当信噪比逐渐增加时,由于 RS 编码的作用,系统的抗噪性能得到极大的提高;再加上软扩频和跳频带来的扩频增益,使系统具有了很好的抗白噪声的能力。

3.2 干扰环境

在仿真链路中加入干扰模块:宽带噪声调频和 PN 码 MSK 调制干扰。将噪声调频信号的有效干扰带宽设为 4 MHz,PN 码调制干扰信号采用与系统相同的调制方式,PN 码采样时间设为 0.2 μ s。设定信噪比为 10 dB 情况下,在 969 MHz~1 206 MHz 之间均匀取 26 个频点进行干扰。从图 8 中可以看到,PN 码 MSK 调制干扰信号的干扰效果较噪声调频干扰信号的干扰效果好,这是由于仿真中采用了与系统相似的扩频码,并且通过 MSK 调制使

得干扰信号的频谱图与系统信号的相似,其有效干扰功率可以最大进入接收端,形成有效干扰;而噪声调频干扰的作用相当于带限白噪声,虽然能够对系统形成一定的干扰,但效果不佳。

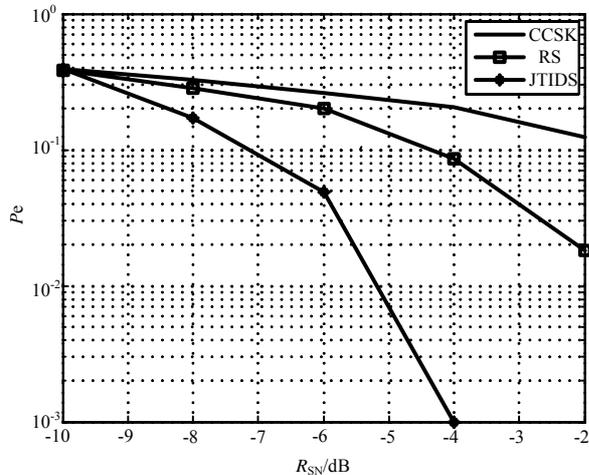


Fig.7 P_e of JTIDS in the AWGN
图 7 JTIDS 在高斯白噪声信道中的误码率

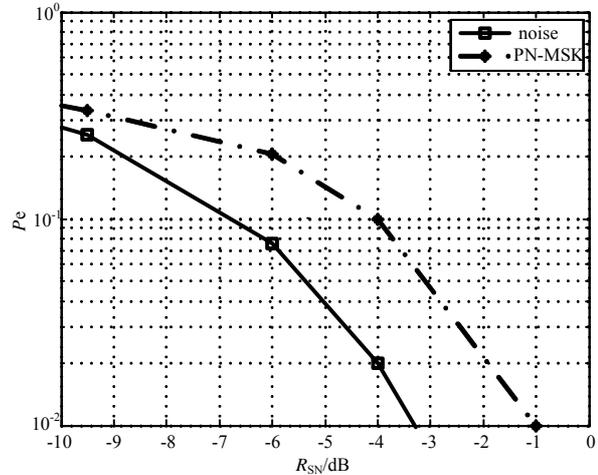


Fig.8 P_e of JTIDS with different jamming methods
图 8 JTIDS 在不同干扰方式下的误码率

4 结论

通过分析研究,本文得出 JTIDS 是一种具有良好的抗干扰性能的数据通信系统,一方面, JTIDS 采用扩频/跳频技术,以保证系统在低信噪比或干扰环境下有效运行;另一方面,系统采用 RS 编码实现错误纠正,保证信息有效传输,但通过对该系统的干扰仿真研究,本文得出对其施以多频点的 PN 码 MSK 调制干扰就可以产生较好的干扰效果,达到有效干扰的目的。

参考文献:

- [1] 薛春晖. 联合战术信息分发系统(JTIDS)的干扰技术研究[D]. 武汉:武汉理工大学, 2008.
- [2] 范小麟,马大玮,胡焰智,等. 基于 Simulink 的 JTIDS 抗干扰性能仿真[J]. 信息与电子工程, 2007,5(2):100-103.
- [3] Chi-Han Kao¹, Clark Robertson¹, Kyle Lin. Performance Analysis and Simulation of Cyclic Code-Shift Keying[C]// Proc. IEEE Military Commun. Conf.. 2008:1-6.
- [4] 徐明远,邵玉斌. MATLAB 仿真在通信与电子工程中的应用[M]. 西安:西安电子科技大学出版社, 2005.

作者简介:



刘武刚(1985-),男,陕西省咸阳市人,在读硕士研究生,研究方向为通信对抗 .email: liuwugang628@163.com.

杨建波(1962-),男,吉林省九台市人,博士,副教授,主要从事通信对抗研究.

周 瑞(1982-),男,陕西省咸阳市人,硕士,助教,主要从事雷达对抗研究.