

一种跳码直扩通信技术体制探讨*

姚富强 张少元

(总参第 63 研究所,江苏南京 210007)

摘要 :针对传统直扩通信技术体制在军事通信应用中存在的不足,提出了一种新型跳码直扩通信技术体制及其扩展型跳码/跳频混合扩谱通信技术体制,分析了其基本性能,该体制可望解决常规直扩通信技术体制中的一些难题,提高军事通信中直扩通信系统的反侦察能力。

关键词 :通信抗干扰,扩展频谱,跳码,跳频,直扩

中图分类号 :TN914.43 **文献标识码** :A

Research on a Kind of Communication Technical Architecture of Code-hopping DSSS

YAO Fu-qiang, ZHANG Shao-yuan

(The 63rd Research Institute of the General Staff Headquarter, Nanjing 210007, China)

Abstract :Based on some limitations of the traditional DSSS in military communication application, this paper puts forward a new kind of communication technical architecture of code-hopping DSSS and code-hopping/frequency-hopping mixed spread spectrum. It will probably solve some difficult problems in traditional DS/SS and improve the anti-reconnaissance capability of the DSSS communication system in military communication application.

Key words :communication anti-jamming, spread spectrum, code-hopping, frequency-hopping, DSSS.

自从扩展频谱通信的概念出现以来^[1],直接序列扩谱(简称直扩或 DS)技术体制在军民用通信中得到了较为广泛的应用。但直扩体制特别是直扩码分体制(DS/CDMA)的军事应用遇到了一些技术难题,比如:由于其远近效应,只好实行小区、微小区^[2],以实现有效的实时功率控制或降低实时功率控制的复杂度,但网络控制又变得复杂,不便于在一些大区制和野战条件下动态组网和使用。另一方面,由于码字的相关性和多址干扰,在作为码分使用时,同时工作的用户数量仍然受到限制。这些因素导致了直扩体制抗干扰能力与组网及用户数量之间的矛盾难以兼顾。尽管人们对直扩码型展开了很多研究,大区制条件下的直扩码型选择问题至今仍没有很好地解决,并且多数采用固定码型,或在一段时间内进行码字替换,限制了直扩体制在军事战术通信中的应用。然而,直扩体制有其独特的优点,主要是频谱密度低,反侦察性能好,抗多径能力强等,这些恰恰是跳频体制难以达到的。

如何避开直扩体制的不足,发挥其优势,使直扩体制在军事通信中得到更为广泛的应用,成为目前该领域的一个研究热点。文献[3]首次提出了基于可编程器件,从固定码型直扩演变到变码、跳码(Code-Hopping, CH)通信的基本思想,可望有利于解决直扩体制中的一些问题,但文献[3]没有考虑跳码通信系统的实现及其性能分析,本文在这些方面进行了研究。

1 跳码通信系统构成及原理

由于直扩体制用于码分通信时存在远近效应敏感、用户量受限、码型变换困难以及不便大区制组网等问题,人们针对直扩体制提出了一些改进型的扩谱体制,主要有两种,一是在直扩体制中加入时分

* 收稿日期:2005-04-12

基金项目:国家部委专项基金资助项目(02413)

作者简介:姚富强(1957—),男,研究员,博士生导师。

(TDM/TDMA)技术,形成 DS/TDM/TDMA 体制^[6,7];二是在直扩体制中加入跳频(FH)技术,形成 DS/FH 体制。在 DS/TDM/TDMA 体制中,由于采用时分信道区分用户,而不用码分和频分区分用户,全系统采用相同的直扩码和载频,在每个时分信道中只有约定的用户之间通信,远近效应具有单一性,便于功率控制,使得远近效应问题迎刃而解^[3,7]。但是,由于时分信道数随着用户数的增加而增加,时分所要求的数据压缩比也随之增加,系统的传输带宽和信号处理时延进一步增大,工程实现有困难,或者系统传输容量受到限制,使得系统用户数尽管优于频分制^[8],但在小区制条件下还是小于码分体制^[5,9]。在 DS/FH 体制中,由于可按跳频方式进行组网,以及直扩组大网,跳频组小网,远近效应也可以解决,在抗干扰、反侦察能力方面也有所提高,用户量一般能满足军用要求。同时,DS/FH 体制的抗多径能力决定于所采用的直扩码片速率,要强于常规跳速纯跳频体制的抗多径能力,但系统设计和管理的相对复杂些,并且直扩码型难以实时更换的问题仍然存在,反侦察能力有待于进一步提高。可见,以上两种改进型的扩谱体制尽管系统性能有所提高,但还是存在一些问题,影响实用性。为此,人们提出在直扩的前提下,能否不用码分信道区分用户和组网,实现一种跳码(CH)直扩通信体制。

所谓跳码通信,实际上是借用跳频通信的原理实现对固定码型直扩体制的一种扩展,即选定 M 组直扩码的直扩码集(码字表),系统采用同一个载频,并按照跳码图案在 M 组直扩码上伪随机地跳变。在每一个瞬时,系统各用户均同步地跳到同一组直扩码上。对应于跳频通信系统中的各要素,可得到跳码通信系统组成示意图如图 1 所示。采用对偶分析的方法,可得跳频通信系统与跳码通信的对应关系如表 1 所示。

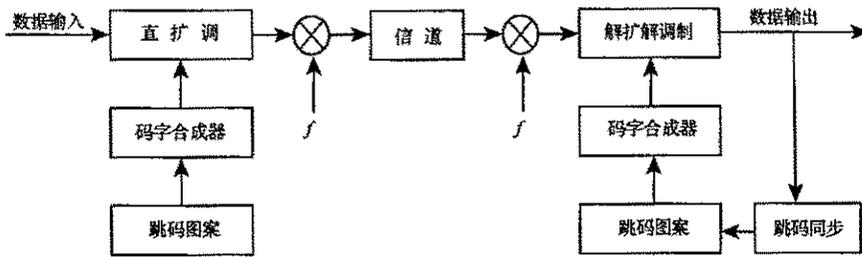


图 1 跳码通信系统组成

Fig. 1 Constitute of code-hopping system

若将跳码通信中的固定载频扩展为跳频,就可以得到一种跳码/跳频(CH/FH)通信系统。实际上,若将 DS/FH 通信中的固定码型扩展为跳码,也可以得到 CH/FH 通信系统。所以,CH/FH 通信系统既可以看作是 CH 体制的扩展,也可以看作是 DS/FH 体制的扩展,其系统同时在频率和码字二维空间上分别按照跳频图案和跳码图案伪随机地跳变,可望进一步提高系统的性能。

2 性能分析

2.1 远近效应性能

对于跳码通信系统,由于全网在每一个瞬间都采用同一个直扩码,且全网各用户的直扩码根据跳码图案规律同时随着时

表 1 跳频通信系统与跳码通信系统的对应关系

Tab. 1 The contrast of frequency-hopping and code-hopping

跳频通信系统	跳码通信系统
频率	码字
频率表	码字表
频率数	码字数
跳频速率	跳码速率
跳频图案	跳码图案
跳频密钥	跳码密钥
跳频同步	跳码同步
频率合成器	码字合成器
跳频处理增益	跳码处理增益
频率自适应	码字自适应
异步跳频组网	异步跳码组网
同步跳频组网	同步跳码组网

间的变化而伪随机地同步跳变,相当于全网各用户同时工作在相同的载频和相同的直扩码上,功率控制技术容易实现,不存在传统直扩码分系统中由于功率和距离不一致,造成不能从多个码分信号中正确解扩有用码分信号的问题(即远近效应)。所以,跳码通信系统可以克服传统直扩码分系统的远近效应问题。

对于跳码/跳频通信系统,由于系统在每个瞬时,全网各用户仍工作在相同的频率上,维持了跳码的基本特征不变,并且跳频体制本身就具有很好的远近效应性能,所以,跳码/跳频通信系统的远近效应性能至少不低于跳频通信系统和跳码通信系统。

2.2 多址干扰性能

在跳码通信系统(或者跳码/跳频通信系统)中,由于在某一时刻,全网各用户同时工作在相同的载频和相同的直扩码上,因此不存在多址干扰问题。可在寻址信息中通过设置台号(一组编号)的方式区分用户(类似于电台的单呼功能)。对于直扩码分系统,由于多个用户的码分信号在同一载频上随机进入接收机,且各用户所使用的直扩码字一般并非严格正交,会引起各用户间的相互干扰,即多址干扰,此时系统误码性能下降,或在保持一定误码率的条件下,用户数量受到限制。

2.3 组网性能

与跳频组网^[10]一样,跳码组网也可以分为跳码异步组网和跳码同步组网两种基本类型。

所谓跳码异步组网是指各跳码网在同一个频率或不同频率上具有独立的跳码图案,且没有网间同步关系,使用较方便。跳码异步组网的码字配置有两种具体方法,一是各网码字表中的码字正交,网间不存在码字碰撞。此时,一个码字表即代表一个跳码网,即码字表的数量等于跳码异步组网数量。二是各网码字表中的码字非正交或部分非正交,此时要么用一张码字表组多个跳码异步网,要么用 N 张具有部分码字相关的码字表组 N 个跳码网,其组网数量与各码字表中相同码字的碰撞概率有关,跳码异步组网数量与跳频异步组网数量类似^[10]。

如果希望用一张码字表在一个频率实现多个不碰撞的跳码网,则需按跳频同步组网方式实现跳码同步组网,此时需要网间同步,其组网数量理论上等于码字表中的码字数,也与跳频同步组网类似^[10]。

可见,无论是跳码异步组网还是跳码同步组网,一个频率可以组多个跳码网,占用的频率资源要比跳频组网少得多,组网效率要高于跳频组网。在采用多个载频的条件下,不同的频率即可区分和代表不同的跳码网集,在这个网集中,又可以利用不同的码字表或网号或跳码密钥区分不同的跳码网。因此,跳码组网具有频率(f)、码字表(c)、网号(n)和密钥(k)等多维特性,比跳频组网多了码字表一维分割^[10],比传统直扩组网多了更多的分割空间,改变其中的任意一个参数,即可得到不同的跳码网集和跳码网。可用的频率数量、码字表、网号和密钥即为组网资源。可见,在相同资源的前提下,跳码系统的组网数量要大于跳频组网和传统直扩组网的数量,同步跳码组网的数量会更大。

跳码组网的这种多维特性可以表示为 (f, c, n, k) ,一组 (f, c, n, k) 即确定了一个跳码网,所以 (f, c, n, k) 也就是网址。只要 (f, c, n, k) 相同,就可以实现网系间的协同互通,使用方便。

对于跳码/跳频通信系统 (f, c, n, k) 中的 f 不再是单个频率,而是扩展为一张频率表,但仍维持原来多维特性关系。所以,跳码/跳频通信系统的组网数量与跳码通信系统相当。但是,由于引入了跳频,需占用更多频率资源,在提高其它有关性能的同时,对于同样的组网数量,其频谱利用率有所降低。

经过以上处理和分析可知,在跳码和跳码/跳频通信系统中可不采用码字来区分用户,而用台号区分用户,所以在同一个网内,只要功率可以覆盖,用户量几乎不受限制,这一点与跳频体制类似,克服了直扩码分系统中呼通率与用户量的动态制约特性。

2.4 抗多径性能

跳码通信系统维持了直扩相关峰尖锐性的特点,一般可以做到直扩码元宽度小于多径时延,在有效分离多径的基础上还可以实现多径分集^[7,11],因而具有较好的抗多径性能。由于该性能只与直扩码元宽度有关,与码字是否跳变无关,所以跳码通信系统的抗多径性能与固定码型直扩通信系统的抗多径性能类同^[10]。

跳码/跳频通信系统与跳码通信系统相比,主要是引入了跳频,尽管跳频在理论上也可以实现抗多

径,但要求跳频的驻留时间要小于多径时延,陆地移动通信多径时延的典型值一般在 $0.2 \sim 10 \mu\text{s}^{[2]}$,而常规中低速跳频的频率驻留时间一般在 ms 和几十 ms 数量级,所以常规跳频系统是不能抵抗这种多径干扰的,至多只能抵抗极低概率出现的时延在 ms 以上的多径干扰。也就是说,引入跳频以后,跳码/跳频通信系统的抗多径能力并没有明显提高,但也没有降低。所以,跳码/跳频通信系统的抗多径性能与跳码通信系统及固定码型直扩通信系统的抗多径性能相当。

2.5 抗干扰性能

类似于跳频和直扩通信系统,跳码通信系统的抗干扰性能也可以从两个方面予以考虑,即抗相关干扰性能和抗非相关干扰性能^[10]。如果干扰方对跳码通信系统中 M 个正交的码字实施有效的相关干扰,则受相关干扰的码字将失去直扩处理增益,但理论上要付出比相关干扰一个固定码字高 M 倍的代价,此时具有跳码处理增益,可以用类似于跳频处理增益的计算方法,得到相对于一个固定码字的跳码处理增益为 $G_c = M$ (取分贝数为 $G_c = \lg M$ (dB))。可见,跳码通信系统抗相关干扰的性能要高于固定码型直扩通信系统。当然,与跳频类似,这里也会出现相关干扰的门限效应,即如果码集中三分之一的码字被有效干扰,则系统将难以正常工作。如果干扰方对跳码通信系统中 M 个正交的码字实施非相关干扰,由于各码字均在同一个频率和同一个带宽内工作,每一个码字的受扰情况相同,此时失去跳码处理增益,但有直扩处理增益,设直扩码长为 L ,则无论是二进制直扩还是多进制直扩,其直扩处理增益^[4]为 $G_d = L$ (取分贝数为 $G_d = \lg L$ (dB))。可见,跳码通信系统抗非相关干扰的性能与固定码型直扩系统相同。跳码通信系统总的系统处理增益为跳码处理增益和直扩处理增益之和: $G_g = G_c + G_d$ (dB),与纯直扩通信系统相比,增加了跳码处理增益。跳码/跳频通信系统比跳码通信系统多了一维频率的跳变,设频率表中可用频率个数为 N ,则跳码/跳频通信系统总的系统处理增益为跳码处理增益、直扩处理增益和跳频处理增益之和, $G_g = MLN$ (取分贝数为 $G_g = \lg M + \lg L + \lg N$ (dB)),可见,跳码/跳频通信系统抗相关干扰和非相关干扰的性能均有所提高。

2.6 反侦察性能

电子进攻方对直扩通信系统的侦察主要是对直扩码型及载频的侦察。对于跳码通信系统,由于从单一固定码型发展到 M 个正交的码型,且快速跳变,从这个意义上讲,其系统反侦察性能相对于固定码型直扩通信系统要提高 M 倍,对于跳码/跳频通信系统,由于引入了 N 个频率的跳变,其系统反侦察性能相对于固定码型直扩通信系统要提高 MN 倍;从这个意义上看,也可以认为系统获得了反侦察增益。

3 结束语

提出了一种新型跳码扩谱通信体制及其扩展型跳码/跳频扩谱通信体制,分析了其基本性能,该体制可望解决直扩体制的一些难题,进一步扩大直扩体制应用范围和提高系统抗干扰及反侦察性能。

参考文献:

- [1] 狄克逊 R C. 扩展频谱系统 [M]. 王守仁, 项海格, 迟惠生, 译. 北京: 国防工业出版社, 1982.
- [2] Lee W C Y. Mobile Communication Engineering [M]. New York: McGraw-Hill, 1982.
- [3] 姚富强, 扈新林. 通信反对抗发展战略研究 [J]. 电子学报, 1996 (4): 75 - 81.
- [4] 姚富强. 扩展频谱处理增益算法修正 [J]. 现代军事通信, 2003 (1).
- [5] Lee W C Y. Overview of Cellular CDMA [J]. IEEE Trans. on Vehicular Technology, 1991 A(2).
- [6] Kreutzer P. Experimental Investigation on a Digital Mobile Radio Telephone System, Using TDMA and Spread Spectrum Techniques [A]. Proc. of Nordic Seminar on Digital Land Mobile Radio Communication [C]. Espoo, Finland, Fed. 1985.
- [7] 姚富强. 现代专用移动通信系统研究 [D]. 西安电子科技大学博士学位论文, 1992.
- [8] Raith K, Uddenfeldt J. Capacity of Digital Cellular TDMA System [J]. IEEE Trans. on Vehicular Technology, 1991 A(2).
- [9] 朱雪龙. 蜂窝移动通信的频谱效率与数字化 [J]. 移动通信, 1991 (3).
- [10] 姚富强. 军事通信抗干扰及网系应用 [M]. 北京: 解放军出版社, 2004.
- [11] 姚富强. 一种新型直扩 PDI 多径分集接收机 [J]. 军事通信技术, 1993, sum. 48.
- [12] 姚富强, 张少元. 一种新型跳码扩谱通信体制研究 [A]. 2004 军事电子信息学术会议论文集 [C]. 长沙, 2004.

