

一种新的通信抗干扰技术体制:预编码跳码扩谱

姚富强, 张毅

(总参第六十三研究所, 南京 210007)

[摘要] 基于常规直扩体制的不足, 笔者分析了跳码扩谱的必要性, 提出和研究了一种新的预编码跳码扩谱通信抗干扰技术体制, 重点讨论了预编码跳码扩谱的基本原理与自编码跳码扩谱的异同点、关键技术等, 最后分析了其基本性能。该体制和性能已在实际中得到初步验证。

[关键词] 通信抗干扰; 直接序列扩谱; 预编码跳码扩谱; 自编码跳码扩谱

[中图分类号] TN911.3 [文献标识码] A [文章编号] 1009-1742(2011)10-0069-07

1 前言

在常规的直扩通信系统中多采用固定的直扩码组^[1,2], 或在一段时间内进行直扩码组替换, 虽然随着信码符号的变化, 所用码组中的直扩码字在传输中也随之变化, 但各直扩码与信码符号之间的对应关系是固定的, 因而直扩码字的变化具有重复性。这种固定性和重复性使得常规直扩体制受到截获和相关干扰的严重威胁。

无论是截获信息还是相关干扰, 其前提都是对通信信号实施正确的侦察。目前对直扩信号的侦察是建立在时间累积的基础上的, 在低输入信噪比和高斯白噪声条件下, 直扩信号侦察的理论极限由下式给出^[3]:

$$(S/N_0)_0 = (S/N_0)_1^2 \cdot T \cdot W \quad (1)$$

式(1)中, $(S/N_0)_0$ 和 $(S/N_0)_1$ 分别为侦察接收机的输出和输入信噪比; T 为观察(累积)时间; W 为直扩信号带宽。

由式(1)可见, 对于固定码直扩, 在直扩信号带宽一定的情况下, 无论信噪比多低, 通过 T 时间的积累, 总是能检测到直扩码的存在和所需的直扩码。但是, 如果直扩码组随时间伪随机跳变, 且其每个码组驻留时间远小于直扩侦察所需的积累时间 T , 其

输出端将难以达到所需的信噪比, 也就提高了直扩通信的抗截获和相关干扰性能。

至此, 希望实现一种直扩码字随时间跳变的跳码扩谱(code hopping spread spectrum, CHSS)通信体制, 即: 时变直扩, 其直扩码组及其与信码符号之间的对应关系按照规定的算法随时间伪随机跳变, 使得直扩信号体积增加一维时域分割空间, 以实现以上目的。

根据目前的研究成果和跳变码组形成的机理, 文章中将跳码扩谱分为两种基本类型, 一种是基于预编码直扩(pre-encoded spread spectrum, PESS)的跳码, 简称预编码跳码, 即: 基于预知码集上的直扩码伪随机跳变。笔者在文献[4]中较早提出了基于可编程器件, 从固定码型直扩演变到变码、跳码直扩的基本思想, 并在文献[5]中提出了初步的预编码跳码直扩技术方案; 文献[6,7]也进行了相关的研究。另一种是基于自编码直扩(self-encoded spread spectrum, SESS)的跳码, 简称自编码跳码, 即: 利用信码作为直扩码, 信码是随机变化的, 所以也实现了跳码; 文献[8]首次提出了这种自编码跳码的基本原理; 文献[9~13]从不同的层面分别对自编码跳码进行了相应的研究。

跳码扩谱是近年来提出的一种新的扩展频谱技

[收稿日期] 2011-08-05

[基金项目] 国防预研计划资助项目(X1001020205)

[作者简介] 姚富强(1957—), 男, 安徽安庆市人, 总参第六十三研究所研究员, 博士, 主要研究方向为通信抗干扰; E-mail: yfq57@sina.com

术体制,且出现了两种基本类型,笔者在已有研究基础上^[4,5,14,15],重点研究预编码跳码扩谱及其基本性能。

2 跳码扩谱基本原理

2.1 预编码跳码扩谱基本原理

所谓预编码跳码扩谱,实际上是借用跳频扩谱的原理对固定码直扩体制的一种扩展,即:选定 M 组直扩码组成直扩码集(类似于跳频通信中的频率表),网内各用户采用同一个载频,并按照跳码图案在 M 组直扩码上伪随机地同步跳变。

信源数据 $d(t)$ 可用下式表示:

$$d(t) = \sum_{k=0}^{\infty} d_k g_d(t - kT_s) \quad (2)$$

式(2)中, T_s 为码元符号持续时间; d_k 为双极性信号,即取 ± 1 ; $g_d(t)$ 为门函数,有:

$$g_d(t) = \begin{cases} 1 & 0 \leq t \leq T_s \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (3)$$

跳码合成器的输出(即:跳变的伪码信号)可以表示为

$$p_i(t) = \sum_{k=0}^{n-1} p_{ik} g_c(t - kT_c) \quad (4)$$

式(4)中, p_{ik} 为第 i 个直扩码的第 k 个码元,与数据一样取双极性信号; n 为直扩码长。同理有:

$$g_c(t) = \begin{cases} 1 & 0 \leq t \leq T_c \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (5)$$

对于双极性信号,相乘与模 2 加是相同的,因此发送的跳码信号表达式为

$$s_{CH}(t) = Ad(t)p_i(t)\cos(\omega_0 t + \varphi), \quad i = 1, 2, \dots, M \quad (6)$$

式(6)中, A 为信号振幅; ω_0 为信号载频; φ 为信号相位; M 为直扩码组数量。

对于接收机解跳解扩过程可表示为

$$r'(t) = r(t)\cos(\omega_0 t)c'(t) \quad (7)$$

式(7)中, $r(t) = s_{CH}(t) + n(t) + J(t) + s_j(t)$, 为接收机接收的混合信号;后三项分别代表噪声、人为干扰和用户间的多址干扰; $c'(t)$ 为接收端的伪码。

由以上原理可见,预编码跳码直扩谱是常规直扩体制的推广,常规直扩是预编码跳码直扩的一种

特殊形式,当预编码跳码直扩采用一个直扩码组时即退化为常规直扩,预编码跳码直扩对于常规固定码直扩具有很好的兼容性。

2.2 自编码跳码扩谱基本原理

自编码跳码扩谱利用无冗余信码序列的自身及其随机性来实现跳码直扩,其实质是利用前 n 个信码比特作为第 $n+1$ 个信码的直扩码^[8~13]。其最大优点是跳码图案和直扩码直接受信码控制,跳码的码集是动态变化的,跳码图案没有明显的重复周期。

然而,自编码跳码扩谱还有一些问题需要研究解决,主要有:一是收发跳码图案的同步,由于直扩码直接受信码控制,相邻直扩码之间没有约束关系,很难实现收发直扩码实时同步,如果隔跳或每跳插入引导码或导频,或周期性地发送同步头^[12]等勤务信息,可能会影响原有的无冗余设计,且发送的导频或勤务跳会降低反侦察和抗干扰性能;二是原始信码的随机化处理,由于自编码跳码中时变的直扩码直接来源于信码,而未经处理的信码会出现长连 0 和长连 1,难以保证局部的 0、1 对称,存在直扩调制和发送信号的载波泄漏,所以需要信码进行随机化处理,使得发送的信源达到最大熵,否则会影响系统的反侦察和安全性能;三是各直扩码之间的相关性,即使对信码进行了很好的随机化处理,但因为来源于信码的各直扩码之间的相关性没有相应的约束,难以保证各直扩码之间具有很好的正交性,使得相邻直扩码之间会出现很大的互相关和部分相关,对相关性较强的信源,还可能预测出所用的直扩码^[13],不利于反侦察;四是误码传播,因为自编码跳码通信系统收端的直扩码序列依赖于解扩后恢复的信码,在低信噪比条件下或某一跳受到人为干扰,恢复的数据就会出现误码,直接导致下一跳直扩码和数据解扩的错误,即误码传播,需要采取相应的措施。

2.3 两种跳码扩谱体制的比较

根据两种跳码扩谱体制及其原理的讨论,既有共性问题,也有个性问题,表 1 列出了两种体制主要异同点的比较。

表1 两种跳码扩谱体制主要异同点的比较

Table 1 Comparison of two code hopping spread spectrum systems

比较的内容	预编码跳码	自编码跳码
跳码码集	每次通信前预先设置	来源于信码
跳码码集的动态性	随着时间的变化而变化	随着信码的变化而变化
直扩码与信息码流的关系	跳变直扩码组与信息码流无关,但在驻留时间内的每个码字与信码符号一一对应	当前所用直扩码字由前有限个信码或信码符号产生,并与当前信码符号直接对应
跳码速率	与信码符号速率无关	等于信码符号速率
跳码图案产生	由跳码图案算法产生,相邻直扩码组之间有约束关系	直接受信码控制,相邻直扩码之间没有约束关系
跳码图案随机性	伪随机	直接受信码随机性的影响
跳码图案周期	有重复周期	无重复周期
跳码图案同步	类似跳频图案同步	较为复杂
信源的随机化处理	无特殊要求	有严格要求
各直扩码之间的相关性	预先选定	难以保证,需要改进
误码传播	不存在	存在,需要改进
直扩处理增益	与直扩码长有关	与直扩码长有关
反侦察性能	强于常规直扩	理论上反侦察性能强
抗相关干扰性能	强于常规直扩	理论上抗相关干扰性能强
抗非相关干扰性能	等于直扩码长	等于直扩码长
组网性能	类似于跳频组网	待深入研究
对常规直扩的兼容性	可以兼容	可以兼容
工程可实现性	强	不强

如果将跳码分别与跳频、跳时扩谱相结合,形成跳码/跳频和跳码/跳时扩谱通信系统,会进一步提高性能,但这是以提高系统复杂性为代价的。

3 预编码跳码扩谱关键技术

3.1 预编码跳码合成技术

所谓预编码跳码合成技术是指实时地为收、发信机提供满足要求的跳变直扩码组的技术,其执行单元为跳码合成器,这是预编码跳码扩谱通信引出的新概念。对应于跳频频率合成器的指标,预编码跳码合成器也有相应的指标,这两类合成器主要指标的对应关系如表2所示。由此可见,尽管这两类合成器功能及其指标有对应关系,但其内涵有本质的区别。

表2 两种合成器主要指标的对应关系

Table 2 Corresponding relationship of the main indexes between two synthesizers

跳频合成器	预编码跳码合成器
每次输出一个频率	每次输出一个码组/字
频率间隔	码距
频谱特性(相噪、杂散)	各码字之间的相关特性
换频时间	换码时间
跳频速率	跳码速率
频率个数	码组/字数
频率范围	—

由于预编码跳码通信中的直扩码组与信息码流之间没有约束关系,其直扩码组是单独合成的,其过程主要有两个环节,一是直扩伪码的优选,它是进行预编码跳码合成和预编码跳码通信的前提和基础;二是在直扩伪码优选的基础上,进行直扩码组的合成。

根据已有的研究基础,直扩伪码优选的方法大致可以分为两大类,第一类是基于优化理论的伪码搜索方法,比如:0-1规划伪码优选方法或条件穷搜索方法等^[2],将预先优化搜索得到的满足要求的跳码码集放在存储器中,经跳码控制器的控制,以跳码图案产生器输出的控制字作为地址,对码字存储器进行寻址,从对应的存储单元中实时取得所需的直扩码组,即:查表法合成;第二类是基于生成多项式的伪码生成方法,比如: m 序列、Gold序列、 M 序列的生成方法等,根据预先选定的码型,采用实时产生的方法进行直扩码合成。以上两种方法的换码时间都主要取决于读取码序列所需的时间(或称查表时间)和器件速度。

3.2 预编码跳码图案产生技术

所谓跳码图案是指各直扩码组按照一定的算法随时间伪随机变化的规律,其性能的优劣直接关系到预编码跳码通信系统的反侦察和抗相关干扰性能。

与常规跳频图案的产生方法类似,预编码跳码图案的产生与信息码流没有关系,需要预先设置跳码图案算法。

参考跳频图案产生算法的构造及其流程,根据其使用的伪随机序列的不同,有多种跳码图案产生

方法,但都具备一个基本的物理模型,如图 1 所示,其中 TOD(time of day)为实时时间参数,PK(primary key)为跳码原始密钥,输出的控制字用于控制直扩码跳变。

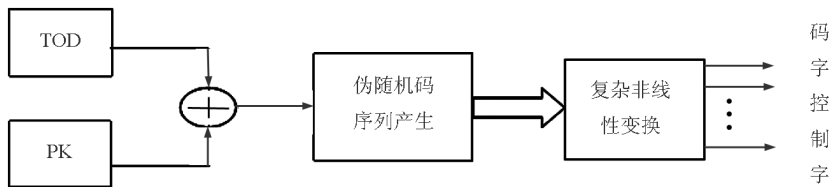


图 1 基于伪随机码的预编码跳码图案产生示意图

Fig. 1 Pre-encoded code hopping pattern based on PN code

由于该方法中 TOD 与 PK 运算后实际上产生了流动密钥,并且经过多次变换,可大大增加破译预编码跳码图案的难度。同时通过改变所采用的伪随机码序列和密钥 PK,就可以生成不同的预编码跳码图案。

为了满足预编码跳码通信的要求和方便对预编码跳码图案的性能进行检验,预编码跳码图案的设计应满足以下基本的要求,也是其应具备的特点:遍及跳码码集中的所有码字或码组;具有良好的一维均匀性;具有良好的随机性(功率谱平坦);具有较大的非线性和复杂度;具有尽可能多的算法数目。

3.3 预编码跳码同步技术

预编码跳码同步技术包括初始同步、连续同步、伪码序列同步、位同步和帧同步等,如果使用同步跳码组网,还有网间同步问题,其中最重要的是跳码初始同步。

所谓预编码跳码初始同步是指消除收发两端时间、码字不确定性的过程,实现收发两端起跳时刻相同(即跳码图案同步),再经约定的算法保证收发两端在每一驻留时间内的码字相同。由于众多不确定性的存在,使得收发双方即使实现了跳码图案同步,但只要收发双方的直扩码相位偏差超过一个码片时间,接收机也无法对直扩信号进行有效地解扩处理。所以,在直扩码已知的条件下,还需要完成直扩码的捕获与跟踪。其中,捕获的任务是通过调整接收机本地直扩码的相位,使收发直扩码的相位偏差控制在一个码片之内;跟踪的任务是在捕获完成后,进一步调整本地直扩码的参考相位,使接收机能够保持捕获状态,同时收发直扩码相位偏差尽可能保持在足够小的范围内。捕获又称为粗同步,跟踪称为细

同步。因此,预编码跳码初始同步主要有跳码图案同步、直扩码捕获与跟踪三部分。

另外,由于收发两端时钟漂移等原因,会造成通信中的同步误差甚至失步,需要考虑通信中预编码跳码同步的维持问题,即:连续同步;为了解扩解调的需要,在解跳后的驻留时间内(中频或基带)需要实现伪码序列同步和数据位同步,此时的数据是按跳间断的,所以对伪码序列同步和数据位同步的速度提出了更高的要求,并且要解决和权衡速度与精度的矛盾。

为了便于数据处理和系统的同步控制,需要准确地提取帧同步信号,由于在预编码跳码通信系统中是以跳为基本的帧结构,所以关键是提取跳同步信号。

预编码跳码通信系统的同步过程如图 2 所示。在初始同步阶段也以跳码的方式完成直扩码的捕获与跟踪,当初始同步完成后,系统则转入数据传输阶段,而此时预编码跳码中的直扩码成为已知跳变规律和码型的直扩码。在数据传输阶段,除了直扩码需要跳变和收端需要提取跳帧信号以外,其伪码同步与普通的直扩系统的同步过程一致。

4 预编码跳码扩谱基本性能分析

4.1 预编码跳码扩谱抗干扰性能

4.1.1 抗相关干扰性能

常规固定码直扩通信系统对于非相关干扰具有处理增益,对于相同码型和载频的相关干扰,扩谱处理增益将失去作用。然而,跳码通信系统不仅具有对非相关干扰的扩谱处理增益,而且还具有对相关干扰的跳码处理增益。

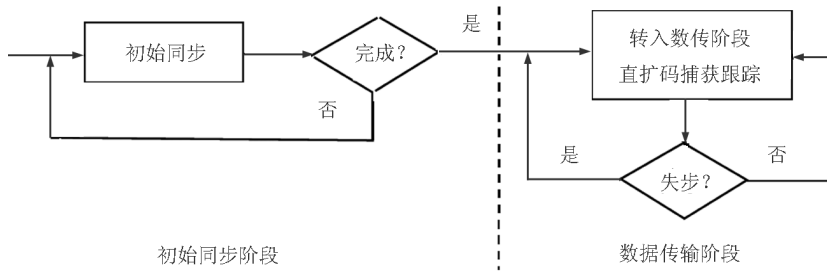


图2 预编码跳码通信初始同步流程图

Fig. 2 Primary synchronous flow chart of pre-encoded code hopping communication

如果干扰方采用一个或几个与跳码码集中相同的直扩码进行相关干扰,在不能实时破译跳码图案的条件下,仅能对直扩码相同或相似的跳码信号形成相关干扰,而对其他直扩码相当于受到非相关干扰,扩谱处理增益仍然存在,可将这种情况称为部分码字相关干扰。此时,总的处理增益为

$$G_{CH} = \lfloor M - j \rfloor n, 1 \leq j \leq M \quad (8)$$

取分贝数为

$$G_{CH} = 10\lg \lfloor M - j \rfloor + 10\lg n \text{ (dB)}, \quad 1 \leq j \leq M \quad (9)$$

式(8)、(9)中, M 为跳码码集中可用直扩码字的个数; j 为被相关干扰的直扩码字的个数; n 为直扩码的长度,即为直扩处理增益; $\lfloor M - j \rfloor$ 为跳码增益,当 $j = M$ 时, $\lfloor M - j \rfloor = 0$,即所有码字都受到相关干扰,称为全相关干扰,此时直扩处理增益将失去作用。

在全相关干扰情况下,跳码通信系统从理论上相当于固定直扩码受到有效相关干扰。但实际上干扰方需要与 M 个正交的直扩码字相匹配,亦即干扰方在理论上要付出比相关干扰一个固定码字高 M 倍的代价,这也是由于跳码带来的好处。

可见,跳码通信系统抗相关干扰的性能要高于固定码直扩通信系统,即具有跳码增益。

即使在单网工作条件下,要想匹配跳变的直扩码是相当困难的,目前的干扰手段还很难做到。当跳码通信系统多网工作时,多网的跳码信号在空中交织在一起,要想相关干扰其中的一个目标网可以说是难上加难,即:同时工作的多个跳码网具有更强的抗相关干扰能力。

4.1.2 抗非相关干扰性能

如果跳码通信系统中 M 个正交的码字同时受

到非相关干扰,由于各码字均在同一个频率上和同一个带宽内工作,每一个码字的受扰情况相同,此时失去跳码增益,但仍有直扩处理增益,设直扩码长为 n ,则无论是二进制直扩还是多进制直扩^[16],此时跳码通信系统抗非相关干扰的处理增益为

$$G_{CH} = G_{DS} = n \quad (10)$$

取分贝数为

$$G_{CH} = 10\lg n \quad (11)$$

可见,跳码通信系统抗非相关干扰的性能与固定码直扩系统相同,即:跳码对抗非相关干扰没有贡献。

4.2 预编码跳码扩谱反侦察性能

4.2.1 跳码信号的载波估计

平方倍频检测法是对常规直扩信号载波估计的典型方法^[17]。为了比较,对于跳码信号的载波估计也采用平方倍频检测法。

假设,接收的跳码信号为

$$r(t) = s(t) + n(t) = \sqrt{2s}d(t)p_i(t)\cos\omega_0 t + n(t) \quad (12)$$

式(12)中, $s(t)$ 为发射信号; s 为信号功率; ω_0 为载波频率; $n(t)$ 为宽带噪声; $d(t)$ 为数据信息,取双极性信号形式,即 $d(t) = \pm 1$; $p_i(t)$ 为跳码码集中的第 i 个直扩码,也为双极性信号,即有:

$$d^2(t) = p_i^2(t) = 1 \quad (13)$$

则接收跳码信号的平方为

$$\begin{aligned} y(t) &= s(t)s(t) + 2s(t)n(t) + n(t)n(t) \\ &= 2scos^2\omega_0 t + 2s(t)n(t) + n(t)n(t) \\ &= s + scos2\omega_0 t + 2s(t)n(t) + n(t)n(t) \end{aligned} \quad (14)$$

由式(14)可知,第一项为直流,第二项得到跳码信号的倍频信号,而后两项均为宽带的低功率谱

噪声,将 $y(t)$ 通过一个带通滤波器即可得到一个相当大的载波倍频分量,该频率的一半处可能存在一个直扩信号,从而获得跳码信号的载频值。当接收信号为多个不同载频值的跳码信号时(多网工作),将得到多个载频的倍频值,同时当存在窄带干扰时,也会检测到窄带信号的倍频。

由式(12)、(13)、(14)还可以看出,跳码直扩信号与固定码直扩信号的差别是:固定伪码为 $p(t)$,跳变伪码为 $p_i(t)$,但由于 $p^2(t) = p_i^2(t) = 1$,所以平方检测不仅消除了直扩码数字调制的影响,也消除了跳码的影响,即:与常规固定码直扩相比,跳码直扩对抵抗采用平方倍频检测原理的载波估计没有贡献。

4.2.2 跳码信号的直扩码长估计

对于常规的固定码直扩信号,其直扩码长通常也是恒定的。因此,广泛利用自相关法估计直扩码长。根据其基本原理,假定以 τ 表示延时量,那么自相关函数为

$$\begin{aligned} R(\tau) &= \frac{1}{T} \int_0^T r(t)r(t-\tau) dt \\ &= \frac{1}{T} \int_0^T s(t)s(t-\tau) dt + \frac{1}{T} \int_0^T s(t)n(t-\tau) dt \\ &\quad + \frac{1}{T} \int_0^T n(t)s(t-\tau) dt + \frac{1}{T} \int_0^T n(t)n(t-\tau) dt \end{aligned} \quad (15)$$

当 τ 等于直扩信号码长的整数倍时,自相关函数中 $\frac{1}{T} \int_0^T s(t)s(t-\tau) dt$ 出现周期性峰值,而第二、第三项是信号与噪声的相关值,在低信噪比条件下其值很小,而最后一项是噪声的自相关值,对于白噪声而言,不同时刻的噪声是互不相关的,不具有周期性。因此只要获得了信号的周期性自相关函数,那么直扩码的码长也就确定了。

对于跳码信号,利用相关法估计直扩码的码长主要存在以下难点:

首先,对于跳码信号,当 $s(t)$ 和 $s(t-\tau)$ 的直扩码相同时,可以得到自相关函数的相关峰,而当它们的直扩码不同时,则无法得到相关峰。因此,虽然可以通过长时间的统计,对跳码的直扩码长进行估计,但与常规固定码直扩信号的侦察相比,其时效性和准确性大为降低。

其次,当跳码码集的直扩码具有不同的直扩码长度时,自相关法也很难得到多个准确的直扩码长估计。

最后,对于多进制直扩的跳码信号,如果信息数据具有很好的随机性,自相关法几乎难以获取相应的直扩码长。

综上所述,与常规直扩相比,跳码直扩对于直扩码长的反侦察性能有了很大程度的提高。

4.2.3 跳码信号的直扩码估计

目前对直扩码估计的方法主要有比特延迟相关法和互相关法等。但是,跳码直扩从单一固定的直扩码型发展到多个直扩码型,且伪随机跳变,假定跳码码集中直扩码的个数为 M ,其系统的反侦察性能相对于固定码型直扩通信系统提高了 αM 倍 ($\alpha \geq 1$)。因此,从这个意义上看,系统获得了反侦察增益。

同时,直扩码的伪随机跳变也极大地提高了对直扩码估计时效性的要求,并且跳码图案码序列又提供了伪随机性和线性复杂度,使得对跳码条件下直扩码估计更为困难。因此,无论从直扩码型估计的有效性、复杂性上讲,还是从其实时性上讲,跳码直扩都具备更强的反侦察、抗截获能力。

4.2.4 跳码图案的估计

要实现对跳码扩谱真正意义上的跟踪和相关干扰,还要估计出跳码图案,即:破译跳码图案。与破译跳频图案相比,破译跳码图案有相同之处,也有不同之处。

在破译跳频图案的过程中,一般先侦察出工作频段、跳频频率集、跳速(跳频周期)等基本参数,然后在并行接收的基础上,进行大量的递推和逆推运算,其前提是跳频的频谱是暴露的,其工作频段、频率集、跳速(跳频周期)等基本参数容易得到。

但是,在破译跳码图案的过程中,如果也采用以上类似的方法,所需的前提几乎是不存在的,因为跳码信号在直扩码长足够长的情况下,其功率谱密度是很低的,所用的工作频段、跳码码集、跳速(跳码周期)等参数是难以得到的。这是破译跳频图案和破译跳码图案的重要差别。即使得到了基本参数,跳码图案将以伪随机性抵抗侦察方的递推运算,以非线性抵抗侦察方的逆推运算,这一点与跳频图案是相同的。可见,破译跳码图案的难度比破译跳频图案更大。

5 结语

跳码扩谱通信是在常规直扩通信基础上发展起来的一种新的扩谱体制,是抗干扰、反侦察和抗截获

联合设计的一种典型范例。跳码扩谱通信有预编码跳码扩谱和自编码跳码扩谱两种基本类型,对抗结果表明,预编码跳码扩谱具有优越的反侦察和抗相关干扰性能,可望应用于多种通信频段。

参考文献

- [1] Dixon 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] 姚富强. 现代专用移动通信系统研究[D]. 西安:西安电子科技大学博士学位论文,1992.
- [3] 王铭三. 通信对抗原理[M]. 北京:解放军出版社,1999.
- [4] 姚富强,扈新林. 通信反对抗发展战略研究[J]. 电子学报,1996,24(4):75-81.
- [5] 姚富强,张少元. 一种跳码直扩通信技术体制探讨[J]. 国防科技大学学报,2005,27(5):52-55.
- [6] Stefan Parkvall. Variability of user performance in cellular DS-SS-MA-long versus short spreading Sequences[J]. IEEE Transactions on Communications. 2000,48(7):1178-1187.
- [7] Suwon Park, Dan Keun Sung. Orthogonal code hopping multiple- xing[J]. IEEE Communications Letters,2002,6(12):529-531.
- [8] Lim Nguyen. Self - encoded spread spectrum communications[C] // IEEE Military Communications Conference. USA: Atlantic City, 1999:182-186.
- [9] Kong Y, Nguyen L, Jang W M. Self - encoded spread spectrum and multiple access communications[C]// IEEE 6th International Symposium on Spread Spectrum Technology & Applications. USA: New Jersey,2000:394-398.
- [10] Won Mee Jang, Lin Nguyen. Capacity analysis of M - user self - encoded multiple access system in AWGN channels[C]//IEEE 6th International Symposium. Symp. on Spread Spectrum Technology. & Applications. USA:New Jersey,2000:216-220.
- [11] 陈仲林,周 亮,李仲令. 自编码直接扩谱通信原理与机制[J]. 系统仿真学报,2004,16(12):2842-2846.
- [12] 林 丹,甄维学,李仲令. 自适应滤波自编码扩频系统的同步捕获研究[J]. 信息与电子工程,2005,3(2):110-113.
- [13] 李仲令,郭 燕,周 亮. 自编码扩频和直接序列扩频的性能比较[J]. 电子科技大学学报,2003,59(5):3-6.
- [14] 蒋海霞,张 毅,姚富强. 跳码直扩通信性能分析[C]//2006 军事电子学术会议论文集. 武汉,2006:408-412.
- [15] 张 毅,蒋海霞,姚富强. 跳码扩谱通信抗干扰与抗截获性能分析[C]//2007 军事通信抗干扰研讨会论文集. 天津,2007:226-232.
- [16] 姚富强. 通信抗干扰工程与实践[M]. 北京:电子工业出版社,2008.
- [17] Marvin K S, Jim K O, Robert A S, et al. Spread Spectrum Communications Handbook[M]. New York: McGraw-Hill,2002.

A new anti-jamming communication technical system: pre-encoded code hopping spread spectrum

Yao Fuqiang , Zhang Yi

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

[Abstract] A kind of pre-encoded code hopping spread spectrum (PCHSS) communication technical system for anti-jamming communication is brought forward and researched after analyzing its necessity based on the deficiency of conventional direct-sequence spread spectrum(DSSS). The main discussions include the basic principle of PCHSS, the differences between PCHSS and self-coded spread spectrum(SCHSS), and some key techniques. The PCHSS basic performance is analyzed finally. The technical system and its basic performance have been proved in practice.

[Key words] anti-jamming communication; direct-sequence spread spectrum; pre-encoded code hopping spread spectrum; self-coded spread spectrum