

高斯白噪声背景下的直扩信号检测

丁国栋¹, 向新^{1,2}, 张敬利¹, 易克初¹

(1. 西安电子科技大学综合业务网国家重点实验室, 陕西西安 710071; 2. 空军工程大学工程学院, 陕西西安 710038)

摘要:证明了直接扩频信号短时傅立叶谱的周期性,利用自适应滤波器提取周期,根据周期的有无来判断是否存在扩频信号的发送。经过计算机仿真,表明这种方法可用于直扩信号的侦察。

关键词:直扩信号检测;短时傅立叶变换;自适应滤波器

中图分类号:TN91 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-3516(2003)02-0059-03

采用直扩信号,通讯可在负的信噪比下隐蔽进行,因而直扩信号具有抗侦察的能力。通讯对抗中,如何有效地检测出直扩信号有着重要意义。文献[1]提出用接收到信号平方后进行时域相关,在时域积累后形成相关峰,但是在推导中作者不恰当地省略了交叉项,并且认为白噪声平方的自相关趋于零,这是不符合实际。文献[2]利用接收信号的功率谱进行伪码周期检测,但工作前提是确定存在直扩信号。到目前为止,如何在高斯白噪声背景下检测出直扩信号没有很好的方法。

1 直扩信号的周期性

直扩信号在一个信息码元之内很明显没有周期性,而且由于信息码元是一随机序列,因此在码元之间也没有时间域的周期性。但是直扩信号是由一PN序列乘信息码元得到的,我们对其取短时傅立叶变换,很明显,当时间窗长等于一个信息码元宽度时,滑动距离等于信息码元宽度整数倍时,并且,时间窗与信息码元同步,则信息码元只会导致傅立叶变换结果的幅角变化,而傅立叶变换结果的模值保持恒定。因此,直扩信号在这种特殊的条件下具有短时傅立叶模的周期性。然而这种特殊的条件过于苛刻,不能利用它来侦察扩频信号。

当时间窗长不等于一个信息码元宽度,假设包括 $N + 1/m + 1/p$ ($N, m, p > 1$) 个信息码元宽度,即 N 个整码元,两个残缺码元 $1/m, 1/p$, 当 N 比较大时,可以将 $1/m, 1/p$ 省略掉。这样,其信号的短时傅立叶变换的模特征的分析如下:

设PN序列时域的函数为 $g(t)$, 信息码元序列为 $d(n) = +1, -1$ 。则短时窗截取的信号时间表达式近似为 $s(t) \approx \sum_{n=1}^N d(n) \cdot g(t - nT)$ 。对其进行ST-FFT分析: $S(W) = G(W) \cdot \sum_{n=1}^N d(n) \cdot \exp(-jwnT)$, $G(w)$ 为 $g(t)$ 的频谱模值。

$$|S(w)| = |G(w)| \cdot \left| \sum_{n=1}^N d(n) \cdot \exp(-jwnT) \right| = |G(w)| \cdot \sqrt{\left[d(1) \cdot \cos(-jwT) + d(2) \cdot \cos(-j2wT) + \dots + d(N) \cdot \cos(-jNwT) \right]^2 + \left[d(1) \cdot \sin(-jwT) + d(2) \cdot \sin(-j2wT) + \dots + d(N) \cdot \sin(-jNwT) \right]^2}$$

当 N 足够大且 $d(n)$ 取 $+1, -1$ 的概率相等,各为 $1/2$, 各交叉项相互抵消,得 $|S(w)| \approx |G(w)| \cdot \sqrt{N}$ 。因

收稿日期:2002-06-14

基金项目:国家自然科学基金资助项目(69872027)

作者简介:丁国栋(1976-),男,陕西蒲城人,硕士生,主要从事通讯信号处理方面的研究;

易克初(1943-),男,湖南涟源人,教授,博士生导师,主要从事通讯信号处理,卫星通信方面研究。

此,当时间窗长取信息码元宽度或较多信息码元宽度时,其频谱模值为周期性重复。

2 提取模的周期性

将接收机接收到的时域信号,采样后利用 N 点的 FFT 算法进行短时傅立叶变换。短时窗长的点数为 N ,每次滑动 N 点。短时窗长横跨若干个信息码元,信息码元包括越多,如以上分析 $|S(w)|$ 越大,周期性越明显。取 FFT 结果的模,由于模左右对称,所以取模的 $(0, N/2)$ 部分,组成新的序列 $X(n)$,由以上叙述可知,新序列 $X(n)$ 具有以 $N/2$ 为周期的周期性。由于这种周期收到白噪声的 FFT 模值的干扰,并且这种干扰的数学特征不易确定,因此采用自适应滤波器提取出周期性,设提取出的序列为 $Y(n)$,系统结构见图 1。

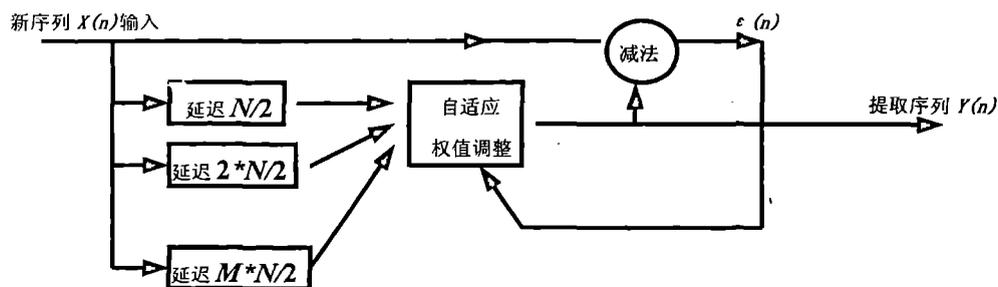


图 1 用自适应滤波器提取周期性的系统框图

由于 $X(n)$ 是以 $N/2$ 为周期,所以为了更好的提取周期,延迟单元的延迟时间等于 $N/2$ 。设自适应滤波器的参数为 $W(k) k=1 \cdots M, \varepsilon(n) = X(n) - \sum_{k=1}^M W(k) \cdot X(n - N \cdot k/2)$ 。 $W(k)$ 的调整可用多种方法,当 $W(k)$ 趋于最佳解时,可知 $Y(n)$ 是 $X(n)$ 中可预测的分量,即是周期分量,通过对 $Y(n)$ 波形的分析,即可侦察出是否有直扩信号的存在。

3 系统仿真和实验结果

假设通讯系统采用 16 bit 平衡 PN 码扩频,码片波形为矩形波。载频为 f ,占用带宽为 $2B$, (B 为码片频谱的主瓣宽度)。侦察方的频谱侦察范围为 $[f - 2.5B, f + 2.5B]$,侦察方的 ST-FFT 的窗长取 8.75 个信息码元宽度,如第 1 节分析,可以近似认为包括 8 个完整的信息码元。时间窗长的滑动距离和时间窗长相等。短时窗取法见图 2。利用信号载频 8 倍速率进行采样,每个信息码元采样 160 个点,短时窗长为 1400 个点,由第 2 节可知, $X(n), Y(N)$ 的周期为 700 个点。



图 2 短时窗截取示例

自适应滤波器延迟单元选定为半短时窗长的整数倍,自适应滤波器权值取 40 个。

在信噪比的计算中,信号取第一主瓣的能量,噪声能量取噪声功率谱密度乘主瓣宽度 $2B$ 。实验结果见图 3、4、5、6(各图横坐标代表采样点数 N ,纵坐标表示 ST-FFT 的模值 F)。

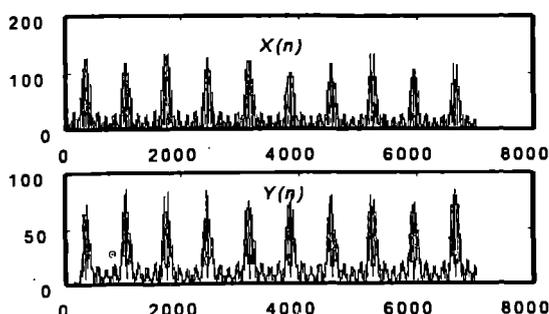


图 3 无白噪声干扰的检测结果

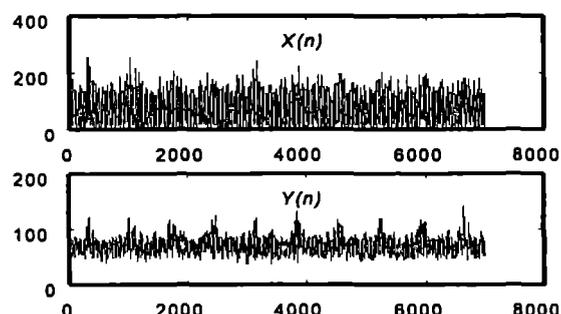


图 4 信噪比为 -2.5 dB 的检测结果

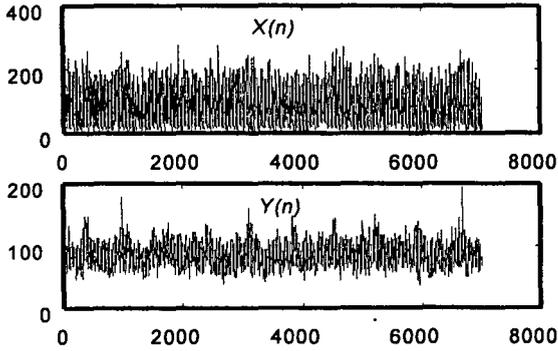


图5 信噪比为 -4.4 dB 的检测结果

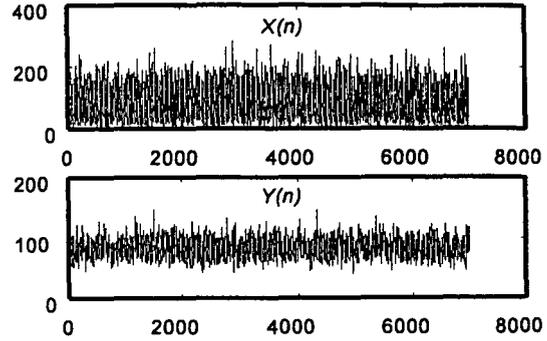


图6 信噪比为 -4.4 dB 情况下信号消失的检测结果

由图5、6可知,在信噪比为 -4.4 dB 情况下,可以判断直扩信号的有无。

如果频率侦察范围在 $[f - 1.25 B, f + 1.25 B]$ 内,其他各项参数不变,实验结果见图7、8。由图7、8可知,在信噪比为 -5.5 dB 情况下,可以判断直扩信号的有无。

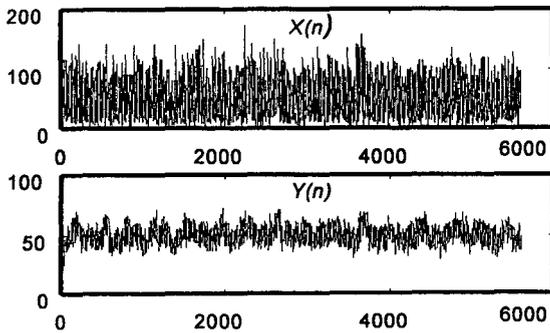


图7 信噪比为 -5.5 dB 的检测结果

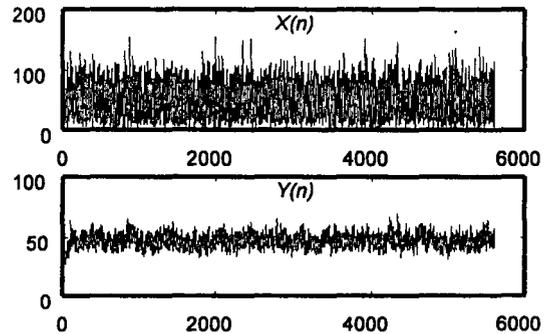


图8 信噪为 -5.5 dB 情况下,信号突然消失的检测结果

由以上图形可知,当存在直扩信号发送时,在 $Y(n)$ 图中有以一半的短时窗长为周期的周期分量,检测此周期分量的存在,就可以判断是否有扩频信号的发送。在检测过程中,如果可以预先知道通讯双方的通讯频带。侦察带宽略大于通讯带宽时,则检测的可靠性则可大大提高,并可在相当的负信噪比下检出信号。

4 结束语

本文提出了一种新的检测直扩信号的方法。在利用自适应滤波器提取周期时,如果能够对白噪声频谱模值的数学统计特征加以利用,并且对自适应滤波器的算法加以精选,相信对周期的提取可以工作在更低的信噪比下。

参考文献:

[1] 孟建,胡来松 直扩信号检测的相关积累技术[J]. 电子对抗技术,2000,16(2):1-4.
 [2] 张天琪,周正中. 直扩信号伪码周期的谱检测 [J]. 电波科学学报,2001,17(4):518-521.
 [3] 沈福民. 自适应信号处理[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,2000.

(编辑:姚树峰)

Direct Spread Spectrum Signal Detection in Gauss White Noise

DING Guo - dong¹, XIANG Xin^{1,2}, ZHANG Jing - li¹, ° YI Ke - chu¹

(1. Xidian University, Xi'an 710071, China; 2. The Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an 710038, China)

Abstract:Periodicity in absolute value of DS signal ST - FFT is proved in this paper. The periodicity can be abstracted by adaptive filter. The existence of DS signal can be determined by finding if the periodicity exists. In computer simulation, the result shows that this method can be used to scout DS signal.

Key words:detection of DS; ST - FFT; adaptive filter