

## Turbo 码中伪随机交织器盲识别方法

张伟杰, 张 玉

(解放军电子工程学院, 安徽 合肥 230037)

**摘要:** Turbo 码中所采用的伪随机交织器起到产生随机数据和扰乱信息序列的作用。借助扩频通信中对 PN 码进行盲识别的二阶循环统计量和分段互相关法, 解决在无任何先验知识的情况下, 对基于伪随机序列的伪随机交织器进行盲识别。仿真表明, 将二阶循环统计量和分段互相关法引入对伪随机交织器进行盲识别, 在低信噪比下取得了较好的正确率。

**关键词:** Turbo 码; 伪随机交织器; 盲识别; 二阶循环统计量法; 分段互相关法

中图分类号: TN929

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2010)17-0065-02

## Blind identification of pseudo-random interleaver of Turbo code

ZHANG Wei Jie, ZHANG Yu

(People's Liberation Army Institute of Electronic Engineering, Hefei 230037, China)

**Abstract:** The pseudo-random interleaver in Turbo code is used to produce the random dates and disturb the order of the sequence of the information. Without prior knowledge, the method of second-order cyclic-cumulant and segmented cross-correlation for estimating PN sequence is applied to identify the pseudo-random sequence used in pseudo-random interleaver. Both theoretical analysis and simulations show that this method can get a good estimation in the blind identification of The pseudo-random interleaver even if the intercepted signal is far below the noise.

**Key words:** Turbo code; pseudo-random interleaver; blind identification; second-order cyclic-cumulant; segmented cross-correlation

利用 Turbo 码的数字通信具有低截获和抗干扰的特性, 在现代军事通信和 CDMA 系统中得到了广泛应用。在非协作方式下, 这些特性使直扩信号的检测和盲估计变得更加困难, 成为现代通信侦察中的一个研究难点。在信号截获领域, 在没有任何先验知识的情况下, 为了实现 Turbo 码的盲识别, 必须对伪随机交织器进行盲识别, 这也是其中的难点。因此, 对伪随机交织器中的伪随机序列的估计是信息截获成功与否的关键。

通过对伪随机交织器原理分析, 发现其原理同扩频通信中的 PN 码发生器原理类似, 因此将直接序列扩频信号 PN 序列盲估计方法移植到 Turbo 码中伪随机交织器的盲识别中去。仿真结果表明, 该方法可以在发送端没有任何先验知识的情况下, 适用于对 m 序列、Gold 序列等伪随机交织器的盲识别。

## 1 伪随机交织器原理

设输入的信息序列为  $U_N$ , 以一维数组的形式存储。

为了乱序数据, 需要建立一个额外的数组, 并称为索引数组, 存放着  $N+1$  个随机数据, 分别对应着不同的随机地址, 随机地址可通过程序中随机数的调用来获得, 并且之间的每一个数据都必须出现且仅出现一次。图 1 为  $N=11$  时的伪随机交织器的示意图<sup>[1]</sup>。

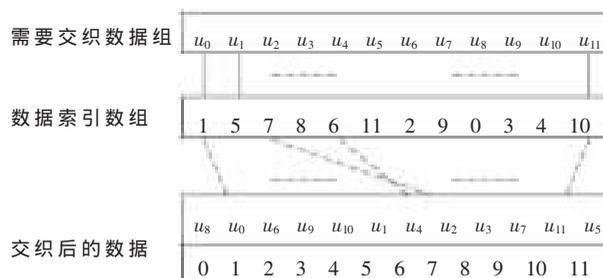


图 1 伪随机交织示意图

实际中的交织器通常采用 m 序列来产生随机数, 图 1 表示的只是 m 序列一个周期的示意图。由 m 序列的

性质可知,在一个周期内的  $m$  序列各个状态除了全零状态以外,其他状态只在  $m$  序列中出现一次。以  $m$  序列作为读写地址时, $m$  序列状态的唯一性保证了地址的唯一性,同时也保证了输出数据的唯一性和随机性。

通过对伪随机交织原理的分析,想要得到原始信息序列,就需要对数据索引组进行恢复,即对伪随机交织器产生的伪随机序列进行盲恢复。

## 2 $m$ 序列周期估计

估计伪随机交织器中伪随机码周期是伪随机序列估计的必要条件,估计伪随机码周期可以借助于对 PN 码的周期估计,主要有二次谱法<sup>[2]</sup>、周期谱法<sup>[3]</sup>和基于二阶循环统计量法<sup>[4]</sup>。下面借助基于二阶循环统计量的方法估计  $m$  序列周期。设截获到的交织信号形式为:

$$s(n)=u(n) \cdot p(n) \quad (1)$$

式中, $u(n)$ 为信息码, $p(n)$ 为伪随机交织器产生的  $m$  序列。

$$u(n)=\sum_{k=-\infty}^{+\infty} u_k q(n-kF_s T_o) \quad (2)$$

$$p(n)=\sum_{k=-\infty}^{+\infty} p_k q(n-kF_s T_o) \quad (3)$$

式(2)、式(3)中, $u_k, p_k \in \{0, 1\}$ , $q(\cdot)$ 为幅度为 1 的矩形脉冲, $F_s$ 为采样频率, $T_o$ 为  $m$  序列周期。

其算法实现的步骤如下:

(1)由于  $m$  序列具有周期性,其在时域仍具有循环平稳性,且以  $m$  序列的周期为周期。若信号  $s(n)$  的自相关是周期的,即存在  $T \neq 0$ ,使  $R_s(n, m)=R_s(n+T, m)$  成立,则信号  $s(n)$  是循环平稳的。对  $R_s(n, m)$  进行傅里叶级数展开,可得:

$$R_s(n, m)=\sum_a R_s(a, m) e^{j2\pi a n} \quad (4)$$

这样就可以得到循环自相关函数的一致估计为:

$$\hat{R}_s(a, m)=\frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} s(n) s^*(n+m) e^{-j2\pi a n} \quad (5)$$

式中  $a$  为循环频率, $N$  为数据长度。所以对输入信号,可利用式(5)估计其循环自相关函数。

(2)可以证明,交织信号的循环自相关函数由多个冲击函数组成,这些冲击函数位于信号的各个谐波频率处  $k/T_o(k=0, \pm 1, \pm 2, \dots)$ ,相邻谱线的间隔即是  $m$  序列周期。因此,通过估计相邻循环频率间的差值可以得到  $m$  序列周期的估计。根据对称性,在正频率部分设置门限  $h$ ,计算大于  $h$  的相邻循环频率值间的最小差值  $d_{\min}$ 。设置门限是为减少噪声影响,提高估计精度。

(3)估计  $m$  序列周期  $T_o=1/d_{\min}$ 。

## 3 $m$ 序列起始点与码序列估计<sup>[5]</sup>

为了正确估计伪随机交织器产生的  $m$  序列,以至进一步解扩数据信息,还需要估计信息码与  $m$  序列的同步起始点。本文采用分段互相关法来估计信息码的起始

点  $T_p$ 。

在已知  $m$  序列周期  $T_o$  的条件下,设采样起始点与数据调制起始点相距为  $T_p$ ,将接收到的信号按照  $T_o$  分段,当分段的起点与数据调制起点重合时,则每一个分段对应的向量都应包含一个完整的  $m$  序列,此时得到的各个向量组之间有最大的相关性。为此,采用计算段之间互相关最大值的方法实现调制起始点的估计。算法的步骤如下:

(1)以  $m$  序列周期  $T_o$  分段截获解调带直扩信号。设数据总周期  $T=T_p+(N-1)T_o$ ,其中  $F_s=1$ ,则数据段数为  $m=N-1$ ,起始位置为第 1 个信息码调制对应的  $m$  序列内的第  $k$  个采样点,用矩阵表示为:

$$D=(D_1 \ D_2 \ \dots \ D_m)^T=\begin{pmatrix} d_{11} & d_{12} & \dots & d_{1T_o} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ d_{m1} & d_{m2} & \dots & d_{mT_o} \end{pmatrix} \quad (6)$$

式中,每一行元素表示 1 个分段内的  $T_o$  个向量,共有  $m$  行。

(2)计算分段数据向量两两间的相关函数,得到相关矩阵为:

$$R_k=E\{D_1 \ D_2 \ \dots \ D_m\}_k=\begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1T_o} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mT_o} \end{pmatrix}_k \quad (7)$$

式中, $r_{ij}$ 为第  $i$  个分段和第  $j$  个分段的相关; $R_k$ 为 1 个对称矩阵。

(3)求矩阵  $R_k$  中所有元素的绝对值之和  $n_k$ 。

(4) $k$  从  $1 \sim T_o$  取值,求  $n_k$ ,最大的  $n_k$  所对应的  $k$  值即为信息码与 PN 码波形同步起始点。

预先估计出  $m$  序列周期与同步起始点后,就可以估计  $m$  序列。对于  $m$  序列的估计,与估计  $m$  序列同步起始点相似,仍采用基于多重互相关平均的方法。对于截获的交织数据,从  $m$  序列同步起始点开始,以  $m$  序列周期  $T_o$  分段,依次取其中一段数据与其他段数据作相关运算,并将相关值为所对应的所有数据段取平均值作为新的数据段。每取一段,重复以上步骤,这样就产生了一组新的数据段。为了进一步降低噪声的影响,可将该组数据作为原始数据,可多次重复以上步骤,最后取其中任意一段作为估计得到的  $m$  序列。

通过上述的方法就可以得到伪随机交织器产生的  $m$  序列,这个难点解决之后,为 Turbo 码的盲识别扫清了前期的障碍。因为 Gold 序列与  $m$  序列有相似的性质,通过下面的仿真发现,此方法同样可以对产生 Gold 序列的伪随机交织器进行盲识别。

## 4 仿真分析

在参考文献[4]中,已经对  $m$  序列周期、起始点和码序列估计方法的性能进行了仿真分析,得到了在低信噪比下也可得到较高正确率结果,对此不再证明并给出仿

真图。本文则对 Turbo 码下的基于 m 序列以及 Gold 序列的伪随机交织器部分进行仿真,验证方法引用的正确性。

首先对基于分段多重互相关平均法的 m 序列估计方法进行仿真。信息码位数  $N=300$ , 码周期  $T_c$  分别取 42 和 71, 采用二重相关估计 m 序列。进行 100 次 Monte-Carlo 仿真实验,得到的 m 序列正确估计概率曲线如图 2 所示。由图可知,当信噪比  $SNR > -8$  dB 时,算法对 m 序列的正确估计达到 100%; 在  $SNR = -9$  dB 时,仍可以达到 75% 的正确估计概率。

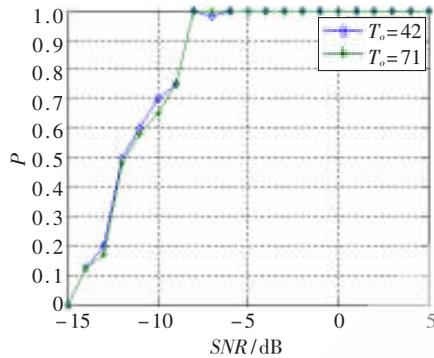


图 2 m 序列正确估计概率与信噪比关系

利用同样的环境与方法再对交织器产生的 Gold 序列进行仿真。得到如图 3 的仿真图。同样可以看到在低信噪比的环境下,引用的算法对 Gold 序列也有较好的正确估计率。

随着 Turbo 码的广泛应用,对 Turbo 码的盲识别必将成为信息截获领域中的热点问题。其中不可避免的难题就是,如何识别其中的随机交织过程,即对伪随机交织器实现盲识别。本文借助于扩频通信中对 PN 码进行盲识别的二阶循环统计量和分段互相关法,来解决伪随机交织器的盲识别问题。仿真结果表明,根据 m 序列的特性,利用上述方法完全可以对伪随机交织器产生的伪随机序列进行准确估计,从而为 Turbo 码的盲识别做好

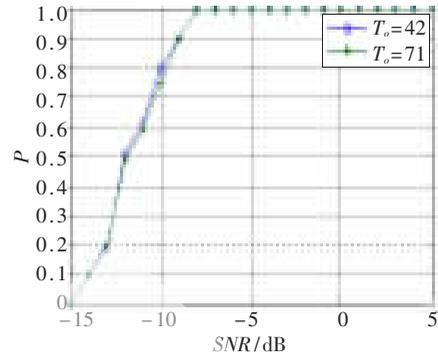


图 3 Gold 序列正确估计概率与信噪比关系

必要的准备,因此具有广泛的应用前景。

#### 参考文献

- [1] 白宝明,马啸.随机交织器的设计与实现[J].通信学报, 2000, 21(6):6-11.
- [2] ZHANG Tian Qi, ZHOU Zheng Zhong. Algorithms for period and sequence estimation of the PN code in DS-SS signals [J]. Systems Engineering and Electronics, 2005, 27(8):1365-1368.
- [3] DOUGLAS A, BODIE H J B. Carrier detection of PSK signals[J]. IEEE Transactions on Communications, 2001, 49(3): 487-496.
- [4] 罗军辉,姬红兵,江莉.直接序列扩频信号 PN 序列盲估计方法[J].电子科技大学学报, 2008, 37(4):408-492.
- [5] JIN Yan, Ji Hong Bing, LUO Jun Hui. A cyclic-cumulant based method for DS-SS signal detection and parameter estimation [J]. Acta Electronica Sinica, 2006, 34(4):634-637.
- [6] 吕明,张红波,唐斌.基于 E-PASTd 的盲扩频码序列估计算法[J].电子科技大学学报, 2007, 36(5):886-888.

(收稿日期:2010-03-06)

#### 作者简介:

张伟杰,男,1985 年生,硕士研究生,主要研究方向:高速信号处理,信道编码盲识别。