

# 一种循环码参数的全盲识别方法

王兰勋 贾层娟 熊政达

(河北大学电子信息工程学院 保定 071000)

**摘要** 针对循环码参数的全盲识别问题,利用实际序列与随机序列码重分布差异最大的特性,提出了基于数据挖掘中的相似性度量函数与统计学中的斯皮尔曼等级相关系数进行融合来识别码长和起始点的方法,在此基础上,利用有限域同构的原理,选取码重概率最大的码字进行伽罗华域的傅里叶变换来识别生成多项式,实现了对循环码的全盲识别。理论分析及仿真实验表明,该算法简单易行,容错性较强,在误码率为 0.01 的条件下对中短码的识别效果较好。

**关键词** 循环码,全盲识别,码重分布,生成多项式

**中图分类号** TN911.22 **文献标识码** A **DOI** 10.11896/j.issn.1002-137X.2017.03.058

## Blind Recognition Method of Cyclic Codes Parameters

WANG Lan-xun JIA Ceng-juan XIONG Zheng-da

(College of Electronic and Information Engineering, Hebei University, Baoding 071000, China)

**Abstract** In view of the problem of the blind recognition of cyclic code parameters, the code length and starting point are identified by the recognition method based on the fusion of a similarity measuring function in data mining and Spearman Rank correlation coefficient in statistics. The method was proposed by the maximum difference between the code weight distribution of the actual sequence and random sequence. Then, on the basis of the isomorphic principle of finite fields, the generator matrix is solved by selecting code words of code weight with the highest probability for Galois field Fourier transform. The blind recognition of cyclic code is finally realized. Theoretical analysis and simulation experiments show that the method is simple and has stronger error-tolerance, and it can identify medium short code better under the condition of BER of 0.01.

**Keywords** Cyclic code, Blind recognition, Code weight distribution, Generator polynomial

## 1 引言

在数字通信系统中,信道编码技术<sup>[1]</sup>可以增加数据传输的稳定性和可靠性。在通信对抗或网络对抗中,为提高频谱资源的利用率和数据传输率,需对信道编码进行识别<sup>[2]</sup>。目前,据现在公开发表的文献来看,大部分研究主要集中在卷积码<sup>[3-5]</sup>的盲识别上,较少研究循环码的盲识别。文献[6]根据矩阵秩信息熵来识别码长及根据码重信息熵来识别起始点;文献[7]根据矩阵变换和码重分布来识别码长和起始点,二者虽容错性较好,但需多次对矩阵进行变换,计算量较大;文献[8]根据码重分布概率方差识别码长,通过计算码多项式的公因式来求解生成矩阵,容错性较好,但起始点已知;文献[9]根据截获矩阵与对偶空间来判决识别码长和起始点;文献[10]利用文献[9]的对偶空间法,通过“3倍标准差”准则制定判决门限,完成了对码长和起始点的识别,二者需进行多次迭代,且不适用于高误码率的环境;文献[11]根据欧几里得算法得到最大公因式的系数矩阵,由次数分布识别码长并确定生成

多项式;文献[12]根据概率逼近的算法,在不同的域间搜索并识别码长,利用根的连续性及其共轭根系的性质识别生成多项式,二者虽无复杂运算,但均只适用于本原 BCH 码;文献[13]根据 BCH 码是汉明码的子空间,利用汉明码的校验矩阵识别码长、起始点和生成多项式,虽复杂度低,但随码长的增加,遍历本原多项式的个数也会增加,运算量会急剧增加。

上述识别算法的计算量大,它们适用于低误码率的环境或不能达到全盲识别,针对这些不足,本文基于相似性度量函数及斯皮尔曼等级相关系数,提出一种对循环码码长和码序列起始点进行盲识别的融合测度函数,进一步基于有限域谱函数,根据码重概率分布进行生成多项式的识别,最终实现循环码参数的全盲识别。理论分析及仿真结果表明,本算法的容错性较好且识别效果明显。

## 2 循环码的定义及分析

**定义 1**<sup>[14]</sup> 一个码字的重量等于该码字中非零元素的个数。在二进制码中码重就是二元序列中含有“1”的个数。设

到稿日期:2016-05-31 返修日期:2016-09-22 本文受河北省自然科学基金项目(F2014201168)资助。

王兰勋(1956—),男,教授,主要研究方向为数字通信、信道编码、调制识别等,E-mail:wanglanxun56@163.com;贾层娟(1988—),女,硕士,主要研究方向为信道编码盲识别,E-mail:1403014317@qq.com(通信作者);熊政达(1989—),女,硕士,主要研究方向为信道编码盲识别,E-mail:308775923@qq.com。

$B_i$  是  $[n, k]$  分组码中重量为  $i$  的码字数目, 则集合  $\{B_0, B_1, \dots, B_n\}$  称为该分组码的重量分布。码重分布概率  $P_i$  是重量为  $i$  的码字个数在码字总数中出现的概率。

定义 2<sup>[14]</sup> 设  $GF(q)$  上的多项式:

$$a(x) = a_{n-1}x^{n-1} + \dots + a_1x + a_0, a_i \in GF(q) \quad (1)$$

定义  $GF(q^n)$  上的谱多项式 (MS 多项式):

$$A(z) = A_{n-1}z^{n-1} + \dots + A_1z + A_0 = \sum_{j=0}^{n-1} A_j z^j \quad (2)$$

其中,  $A_j = a(a^j) = \sum_{i=1}^{n-1} a_i a^{ji}, j=0, 1, 2, \dots, n-1, a^n=1$ 。显然  $a(x)$  以  $a^j$  为根, 当且仅当  $A_j=0$ 。

定理 1<sup>[14]</sup>  $GF(q)$  上的  $[n, k]$  循环码中存在唯一的  $n-k$  次首一多项式  $g(x) = x^{n-k} + g_{n-k-1}x^{n-k-1} + \dots + g_1x + g_0$ , 且  $g(x)$  一定是  $x^n+1$  的因式:

$$x^n + 1 = g(x)h(x) \quad (3)$$

其中,  $h(x)$  为校验多项式且  $h(x) = x^k + h_1x^{k-1} + \dots + h_{k-1}x + 1$ , 并且每一码多项式  $c(x)$  都是  $g(x)$  的倍式, 即

$$c(x) = m(x)g(x) \quad (4)$$

由式 (3) 和式 (4) 可得如下关系式:

$$h(x)c(x) = 0 \pmod{x^n + 1} \quad (5)$$

### 3 码长和起始点的识别

对于实际的循环码序列而言, 码组内监督位与信息位之间具有相对应的较强的线性约束关系, 不同码组的码重分布是非等概率的, 而随机序列随机性较大, 导致码重分布不平衡。根据实际序列与随机序列码重分布概率的不平衡性, 实现对码长和起始点的全盲识别。

将两个码重概率分布看成是两个  $n+1$  维向量, 对  $(n, k)$  分组码来说, 设码重分布概率  $\{P_0, P_1, \dots, P_n\}$  为实际序列分布, 码重分布概率  $\{C_n^0/2^n, C_n^1/2^n, \dots, C_n^n/2^n\}$  为随机序列分布。当二者差异最小时, 实际序列与随机序列接近, 此时对应的值不是码长和起始点的真实值; 相反, 差异最大时, 即为真实值。下面介绍并分析将数据挖掘与统计学两种参数进行融合的算法。

#### (1) 相似性度量函数<sup>[15]</sup>

该函数表示两个对象间的相似程度, 取值范围为  $0 \sim 1$ , 函数值越大, 相似度越高, 定义码重相似性度量函数 ( $n$  为截获序列对应的码长) 的公式为:

$$Hsim(P, C) = \frac{1}{n+1} * \left( \sum_{i=0}^n \frac{1}{1 + |p_i - \frac{C_i^n}{2^n}|} \right) \quad (6)$$

经上述分析可知: 根据码元之间具有的较强的线性约束关系, 当函数值较小时, 说明实际序列与随机序列相似度低, 差异性较大, 当取值最小时, 对应最小值的坐标即为码长和起始点; 反之, 则不能实现码长和起始点的全盲识别。

#### (2) 斯皮尔曼等级相关系数<sup>[16]</sup>

该函数反映两组变量之间联系的密切程度, 取值在  $-1 \sim 1$  之间,  $0 < r_s(P, C) \leq 1$  表示正相关,  $-1 < r_s(P, C) \leq 0$  表示负相关,  $r_s(P, C) = 0$  表示零相关, 即该函数适用于反映两组序列的相关性, 定义为:

$$r_s(P, C) = 1 - \frac{\sum_{i=0}^n (p_i - \frac{C_i^n}{2^n})^2}{(n+1)^3 - (n+1)} \quad (7)$$

经上述分析可知, 该函数依据两列成对等级的各对等级之差来进行计算, 依次对码长和起始点进行遍历, 则码重概率分布也会随遍历的数值按等级次序求差, 其中  $0 \leq P_i \leq 1, 0 \leq C_i^n/2^n \leq 1 (i=0, 1, \dots, n, n \geq 6)$ , 由公式可知  $0 < r_s(P, C) \leq 1$ 。当两组序列差异较大时,  $r_s(P, C)$  取值较小, 当取值最小时, 该值对应的坐标即为真实的码长和起始点。

### 3.1 识别方法的步骤

假设接收序列的长度为  $R$ , 则识别码长、起始点的方法的步骤概括如下:

1) 初始化估计的码长为  $n$ , 取值范围为  $6 \sim t$  ( $t$  是指最大可能码长), 初始值为 6。

2) 初始化估计的起始点为  $m$ , 取值范围为  $1 \sim n+1$ , 初始值为 1。

3) 将接收序列以起始点  $m$  开始, 按码长  $n$  放入矩阵中, 列数为  $n$ , 行数为  $N$ , 且行数  $N = \lfloor (R-m+1)/n \rfloor$ , 即码字数, 其中  $N > 4n$ ; 则在  $(n, m)$  下的待测矩阵记为  $C_l = \{c_{1+(N-D)n}, c_{2+(N-D)n}, \dots, c_{n+(N-D)n}\}$ , 其中,  $l = N, N-1, \dots, 1$ 。

4) 将每个码字  $C_l$  中的元素进行模二求和计算码重, 即:  $H_l(n, m) = c_{1+(N-D)n} + c_{2+(N-D)n} + \dots + c_{n+(N-D)n}$ , 将  $H_l(n, m)$  中出现的值记为  $i (i=0, 1, \dots, n)$ 。将码重  $i$  出现的次数记为  $B_i$ , 码重分布概率  $\{P_0, P_1, \dots, P_n\} = \{B_0/N, B_1/N, \dots, B_n/N\}$ , 随机序列的码重分布概率为  $\{C_n^0/2^n, C_n^1/2^n, \dots, C_n^n/2^n\}$ 。

5) 码长  $n$  不变, 对起始点进行遍历, 即  $m = m+1$ , 转到步骤 3), 求出每种  $(n, m)$  下的码重分布概率。

6) 对码长进行遍历, 即  $n = n+1$ , 转到步骤 2), 求出每种  $(n, m)$  下的码重分布概率。

7) 利用公式分别求  $Hsim(P, C)$  和  $r_s(P, C)$  的值, 分别找出  $Hsim(P, C)$  和  $r_s(P, C)$  的最小值, 此值对应的  $(n, m)$  即为真实码长和起始点。

### 3.2 基于两种参数的识别仿真

利用 Matlab 仿真产生误码率  $Pe=0.03$  的  $(15, 5)$  的循环码序列, 码字起始点设为 6, 码组个数为  $10^3$ , 根据上述识别步骤, 仿真结果如图 1 和图 2 所示。

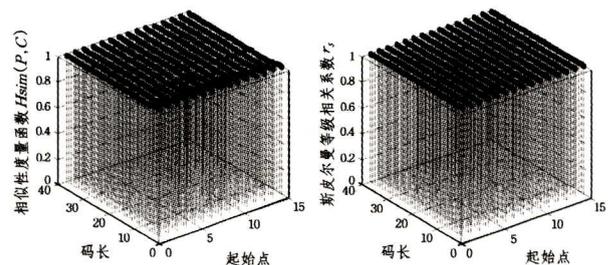


图 1 基于  $Hsim(P, C)$  全盲识别 图 2 基于  $r_s(P, C)$  全盲识别的仿真图

经上述分析可知,  $Hsim(P, C)$  与  $r_s(P, C)$  用于衡量对象之间的相似程度, 取值最小时说明实际序列与随机序列的差异性较大, 此时最小值对应的坐标即为真实的码长、起始点。由上图可知, 由于  $Hsim(P, C)$  与  $r_s(P, C)$  的取值范围较小, 变化并不明显且不易区分, 因此实现全盲识别的难度较大。

### 3.3 基于两种参数融合的识别仿真

根据上述分析得:  $0.93 < Hsim(P, C) < 1, 0.96 < r_s(P, C) \leq 1$ , 即二者变化范围较小, 最小值与最大值相差不大, 由

3.2 节的仿真图可知,最小值并不能在仿真图中明显地显示出,即不能实现码长和起始点的全盲识别。为此,若能使最小值与最大值具有明显的差异性,即最小值最小,最大值最大,本文利用两种参数先进行乘积运算,取值范围为  $0.9 < Hsim(P, C) * r_i(P, C) < 1$ ,虽然取值范围变化不大,但最小值与最大值的差异相对于单个函数来说明显增大。为使最小值幅度高于最大值幅度(在仿真图中明显显示出),将两种参数的乘积作为分母,即  $1/[Hsim(P, C) * r_i(P, C)]$ ,使得最小值幅度更大,最大值幅度更小,取值范围为  $1 < 1/[Hsim(P, C) * r_i(P, C)] < 1.1$ 。虽然最小值与最大值的差异增大,但差距仅在 0.1 之内,故再将其与 1 相减,即取值范围进一步缩小,差距进一步扩大,在仿真图中可以明显看出最小值的位置,相减后取值范围变为  $(0, 0.1)$ ,由此,两种参数融合的公式如下:

$$D = \frac{1}{Hsim(P, C) * r_i(P, C)} - 1 \quad (8)$$

将式(6)和式(7)代入式(8),可得:

$$D = \left\{ \frac{n^4 + 4n^3 + 5n^2 + 2n}{\left[ \sum_{i=0}^n \left( \frac{1}{1 + |p_i - \frac{C_i}{2^n}|} \right) \right] * [(n^3 + 3n^2 + 2n) - 6 \sum_{i=0}^n (p_i - \frac{C_i}{2^n})^2]} \right\} - 1 \quad (9)$$

其中,  $n$  为截获序列对应的码长,  $P_i$  与  $C_i/2^n$  分别为实际序列与随机序列码重为  $i$  的码字对应的概率。

按照 3.1 节的识别步骤,将步骤 7)中的公式换成式(9)。选取误码率  $Pe=0.03$  的(15,5)且码字起始点设为 6,  $Pe=0.02$  的(31,16)且码字起始点设为 14,  $Pe=0.005$  的(63,18)与  $Pe=0.001$  的(127,50)且起始点均设为 16 的 4 种循环码,码组个数为  $10^3$ ,运用 Matlab 进行试验仿真,结果如图 3 所示。

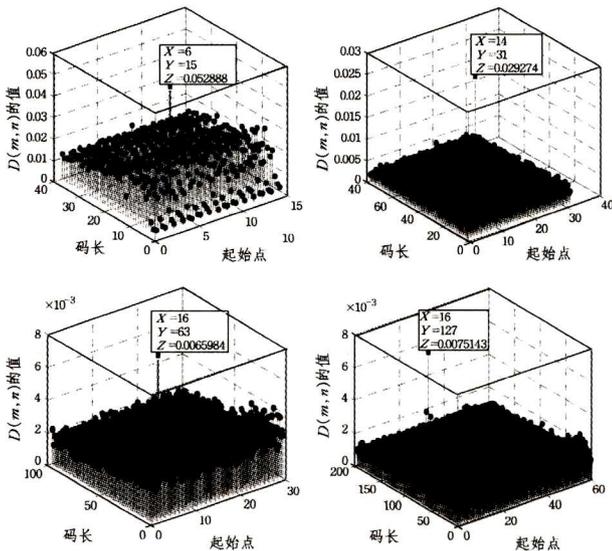


图 3 全盲识别仿真图

由图 3 可以看出,坐标位置分别在(6,15),(14,31),(16,63)和(16,127)处函数值  $D$  取得峰值,而在其他坐标  $(m, n)$  处对应  $D$  值均较小,由此可知该处的坐标即为码长和起始点的真实值。因此,该算法可以实现对码长和起始点的全盲识别,且识别效果明显。

### 4 生成多项式的识别

识别出码长和起始点后,为达到无误码字最大化,选取在编码识别过程中出现码重概率最大的码字,根据有限域同构原理<sup>[17]</sup>,选取本原多项式,对码字进行伽罗华域的傅里叶变换,并计算谱系数为 0 的概率值,进而识别生成多项式。

#### 4.1 生成多项式识别验证

针对有误码的情况,选取 200 组码字,在含有  $Pe=0.01$  的误码的条件下,以(7,4)循环码为例,利用识别码长描述中 3.1 节中的步骤 4)记录码重  $i$  出现的次数记为  $B_i$ ,则码重分布如表 1 所列。

表 1 误码率  $Pe=0.01$  时的码重分布

码重	0	1	2	3	4	5	6	7
码重分布	12	1	2	83	96	0	2	4

由表 1 可知,码重为 3 和 4 的码字在接收序列中所占的个数较多,选取这两种码重对应的码字构成  $y$  行  $n$  列( $y > n$ )的矩阵,利用 unique 函数去除重复的码字,利用定义 2 对剩余的码字求谱多项式,如表 2 所列。

表 2 码字与其谱多项式

$x^6$	$x^5$	$x^4$	$x^3$	$x^2$	$x^1$	1	$z^6$	$z^5$	$z^4$	$z^3$	$z^2$	$z^1$	1
0	0	0	0	1	1	1	$a^3$	$a^6$	$a^6$	$a^5$	$a^3$	$a^5$	1
0	0	0	1	0	1	1	$a$	$a^2$	0	$a^4$	0	0	1
0	0	1	0	1	0	1	$a^6$	$a^5$	$a^5$	$a^3$	$a^6$	$a^3$	1
0	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1	0	0	1
0	0	1	1	1	0	1	$a^3$	$a^6$	0	$a^5$	0	0	0
0	1	0	0	1	1	1	$a^5$	$a^3$	0	$a^6$	0	0	0
0	1	0	1	0	1	1	$a^4$	$a$	$a^6$	$a^2$	$a^3$	$a^5$	0
0	1	0	1	1	0	0	$a^6$	$a^5$	0	$a^3$	0	0	1
0	1	1	0	0	0	1	$a^4$	$a$	0	$a^2$	0	0	1
0	1	1	1	0	1	0	$a^2$	$a^4$	0	$a$	0	0	0
1	0	0	0	1	0	1	$a^2$	$a^4$	0	$a$	0	0	1
1	0	0	1	1	1	0	$a^4$	$a$	0	$a^2$	0	0	0
1	0	1	0	0	1	1	$a^6$	$a^5$	0	$a^3$	0	0	0
1	0	1	1	0	0	0	$a^5$	$a^3$	0	$a^6$	0	0	1
1	0	1	1	0	0	1	$a^4$	$a$	1	$a^2$	1	1	0
1	1	0	0	0	1	0	$a^3$	$a^6$	0	$a^5$	0	0	1
1	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1
1	1	0	1	0	0	1	1	1	0	1	0	0	0
1	1	0	1	0	1	0	$a^6$	$a^5$	$a^5$	$a^3$	$a^6$	$a^3$	0
1	1	1	0	1	0	0	$a$	$a^2$	0	$a^4$	0	0	0

由定义 2 可知:若  $a(x)$  以  $a^j$  为根,当且仅当  $A_j=0$  时成立。分析表 1 可知,对 20 行 7 列的矩阵进行伽罗华域的傅里叶变换,对每一行的谱多项式进行分析,可以看出,对于第一行而言: $A_6=A_2=a^3, A_5=A_4=a^6, A_3=A_1=a^5, A_0=1$ ,且都不为 0;第二行: $A_6=a, A_5=a^2, A_3=a^4, A_0=1, A_4=A_2=A_1=0$ ,可以看出,码字以  $a^4, a^2, a$  为根,由于误码的存在,则谱系数为 0 的概率最大对应的符号根即为码根,依次对剩余行进行分析,总结并得出谱系数为 0 的概率值,如表 3 所列。

表 3 谱系数为 0 的概率分布

谱系数	$A_6$	$A_5$	$A_4$	$A_3$	$A_2$	$A_1$	$A_0$
概率分布	1/20	1/20	14/20	1/20	14/20	14/20	10/20

由表 3 可知, $A_4=A_2=A_1=0$  所占的概率最大,即码字的根应为  $a^4, a^2, a$ ,利用有限域的乘法原理,则该码序列的生成多项式  $g(x)=(x-a^4)(x-a^2)(x-a)=x^3+x+1$ ,由式(3)可求出码的校验多项式  $h(x)=x^4+x^2+x+1$ 。

#### 4.2 生成多项式的置信度分析

考虑到 BSC 信道受噪声的影响,接收序列中存在误码,

为验证生成多项式  $g(x)$  的正确性,故要从概率的角度间接讨论  $g(x)$  的置信度,由关系式(5)进行验证。

假设接收  $N$  组码字,当码字  $c_i(x)(i=1,2,\dots,N)$  满足关系式(5)时,令  $\xi_i=1$ ,码组总数目为  $N_1$ ,成立的概率为  $p$ ;不满足时,令  $\xi_i=-1$ ,码组总数目为  $N_2$ ,概率为  $q$ 。则有如下关系式: $N_1+N_2=N, N_1-N_2=\Omega$ ,且  $\Omega=\xi_1+\xi_2+\dots+\xi_N$ ,则  $E(\Omega)=N(p-q), D(\Omega)=4Npq$ 。当  $N$  足够大时,由中心极限定理有: $X=[\Omega-E(\Omega)]/\sqrt{D(\Omega)}\sim N(0,1)$ ,选取统计量  $X$ ,并给出检验准则  $p(\bar{X}\geq Z_{\alpha/2})\leq\beta$ ,假设显著性水平  $\beta=0.05$ ,则查表得到  $Z_{\beta/2}=1.96$ ,即  $X$  的置信区间为  $X=[\Omega-E(\Omega)]/\sqrt{D(\Omega)}\geq Z_{\beta/2}$ ,取  $N=200$  及  $p=0.5$ ,可求得  $\Omega(\geq 27.72)=28$ 。

在上述误码率  $Pe=0.01$  且取  $N$  为 200 组的码字中,满足关系式(5)的码组个数  $N_1=187$ ,不满足的码组个数  $N_2=13$ ,因此  $\Omega=174\gg 28$ ,即  $h(x)$  验证正确,由于  $h(x)$  是由  $g(x)$  计算得到,所以该算法能够在较高误码率的条件下识别生成多项式,复杂度低且容错性较好。

### 5 容错性比较分析

对于不同参数的循环码,在误码率取值不同的条件下,选取  $10^3$  组码字进行 2000 次蒙特卡洛仿真实验,得出全盲识别下码长和起始点的正确识别率,如图 4 所示。从图中明显看出,(7,4)和(15,5)在高误码率为 0.2 时,正确识别率达到 90%以上,即具有较好的容错性能;(15,7)在误码率为 0.07 时,识别率高达 80%;(31,16)在误码率为 0.05 时,识别率接近 80%;(63,18)在误码率为 0.01 时,识别率高达 80%,且对于(15,5)与(15,7)两种码长相同但码率不同的码字,由图可知,前者的抗误码能力要优于后者,而对于(15,5)与(63,18)两种码率接近但码长不同的码字,随着误码率的增加,前者的正确识别率要高于后者。可以得出,随着误码率的增加,正确识别率是下降的;且随着码长与码率的增加,码字之间的线性约束关系减弱,导致正确识别率降低。综上可得,该算法在高误码率 0.01 的条件下能有效实现码长和起始点的全盲识别。

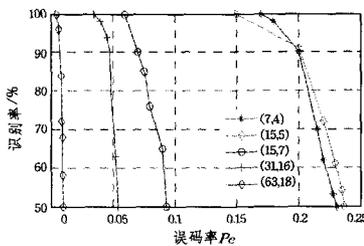


图 4 全盲识别概率曲线图

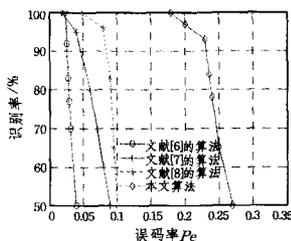


图 5 码长识别概率比较

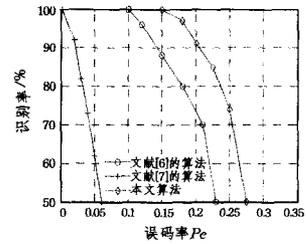


图 6 起始点识别概率比较

循环码也是一种线性分组码,以(15,5)循环码作为实验对象,选取码组数目相同的码字进行仿真,本文算法分别与文献[6-8]中的算法进行码长和起始点的容错性比较,由图 5 可知,在码字种类、码组数目相同时,对各种算法分别进行 2000 次蒙特卡洛仿真实验,本文算法在误码率为 0.2 时的码长正确识别率高达 95%以上,而其他 3 种算法均不如本文算法;由图 6 可知,由于文献[8]是在已知起始点的条件下进行识别,因此本文只对文献[6-7]进行了起始点的对比,本文算法在误码率为 0.2 时,起始点正确识别率接近 90%,高于其他两种算法,因此本文算法在识别码长和起始点时比以往的算法更具有误码适应能力<sup>[18]</sup>,即具有较强的容错性能。

**结束语** 本文依据码重分布的不平衡性,提出了基于数据挖掘中的相似性度量函数与统计学中的斯皮尔曼等级相关系数进行融合来实现对码长和起始点的全盲识别的方法。为达到无误码字最大化,利用码重概率出现最多的码字进行伽罗华域的傅立叶变换,根据谱系数为零且概率最大来识别生成多项式,并利用置信度分析进行验证,进而实现了循环码参数的全盲识别。最后,在不同的误码率下,对不同的码字进行了大量的仿真实验,并与其他算法进行了比较,结果表明,该算法简单易懂,对先验信息要求较少,误码适应性性能优于文献[6-8]中已有的算法,且在较高误码率 0.01 条件下对低码率的中短码的识别效果较明显,容错性能较好。

### 参考文献

[1] XIE H, HUANG Z T, WANG F H. Research progress of blind recognition of channel coding[J]. Acta Electronica Sinica, 2013, 41(6):1166-1176. (in Chinese)  
解辉,黄知涛,王丰华. 信道编码盲识别技术研究进展[J]. 电子学报, 2013, 41(6):1166-1176.

[2] ZHANG Y G, LOU C Y. Channel coding and discriminatory analysis[M]. Beijing: Electronic Industry Press, 2010. (in Chinese)  
张永光,楼才义. 信道编码及其识别分析[M]. 北京:电子工业出版社, 2010.

[3] LIU J C, YANG X J. Blind recognition of  $(n, 1, m)$  convolution code based on solving check-sequence[J]. Journal of Electronics & Information Technology, 2012, 34(10):2363-2368. (in Chinese)  
刘建成,杨晓静. 基于求解校验序列的  $(n, 1, m)$  卷积码盲识别[J]. 电子与信息学报, 2012, 34(10):2363-2368.

[4] YU P D, LI J, PENG H. A novel algorithm for channel coding recognition using soft-decision [J]. Acta Electronica Sinica, 2013, 41(2):301-306. (in Chinese)

- 于沛东,李静,彭华.一种利用软判决的信道编码识别新算法[J].电子学报,2013,41(2):301-306.
- [5] XIE H, WANG F H, HUANG Z T. Blind recognition of  $(n, 1, m)$  convolutional code based on maximum likelihood detection [J]. Journal of Electronics & Information Technology, 2013, 35(7):1671-1676. (in Chinese)  
解辉,王风华,黄知涛.基于最大似然检测的 $(n, 1, m)$ 卷积码盲识别方法[J].电子与信息学报,2013,35(7):1671-1676.
- [6] CHEN J J, JI T Z, YANG J A. Blind recognition of linear block code under high error rate condition[J]. Journal of Applied Science, 2013, 31(5):459-467. (in Chinese)  
陈金杰,计同钟,杨俊安.高误码条件下线性分组码的盲识别[J].应用科学学报,2013,31(5):459-467.
- [7] ZHU L X, LI L. Improved blind recognition method for binary cyclic code[J]. Journal of Computer Applications, 2013, 33(33):2762-2764, 2768. (in Chinese)  
朱联祥,李荔.改进的二进制循环码盲识别方法[J].计算机应用,2013,33(33):2762-2764, 2768.
- [8] ZHENG R R, WANG L X. Recognition method of cyclic codes based on code weight distribution probability variance[J]. Journal of Terahertz Science and Electronic Information Technology, 2013, 11(5):792-796. (in Chinese)  
郑瑞瑞,汪立新.基于码重分布概率方差的循环码识别方法[J].太赫兹科学与电子信息学报,2013,11(5):792-796.
- [9] CLUZEAU M, FINIASZ M. Recovering a code's length and synchronisation from a noisy intercepted bitstream [C]// Proceedings of the 2009 IEEE International Symposium on Information Theory (ISIT09). Seoul, Coree, Juillet, 2009:1-5.
- [10] YANG X W, GAN L. Blind estimation Algorithm of the linear lock codes parameters based on WHT[J]. Journal of Electronics & Information Technology, 2012, 34(7):1642-1646. (in Chinese)  
杨晓炜,甘露.基于Walsh-Hadamard变换的线性分组码参数盲估计算法[J].电子与信息学报,2012,34(7):1642-1646.
- [11] WANG L X, LI D F. A new method for BCH codes of blind recognition[C]//2012 2nd International Conference on Materials Engineering for Advanced Technologies(ICMEAT). 2012:1403-1408.
- [12] KUO Y H, ZENG W T, CHEN J. Blind identification of primitive BCH codes parameters based on probability Approximation [J]. Journal of Electronics & Information Technology, 2014, 36(2):332-339. (in Chinese)  
阔永红,曾伟涛,陈健.基于概率逼近的本原BCH码编码参数的盲识别方法[J].电子与信息学报,2014,36(2):332-339.
- [13] REN Y B, ZHANG J, LIU Y N, et al. Blind recognition of BCH codes under error conditions[J]. Journal of Computer Applications, 2014, 34(12):3618-3620, 3623. (in Chinese)  
任亚博,张健,刘以农,等.误码条件下BCH码的盲识别方法[J].计算机应用,2014,34(12):3618-3620, 3623.
- [14] 王新梅,肖国镇.纠错码—原理与方法(修订版)[M].西安:西安电子科技大学出版社,2001.
- [15] YANG F Z. Research on technologies for high dimensional data mining[M]. Fujian: Southeast University Press, 2007. (in Chinese)  
杨风召.高维数据挖掘技术研究[M].福建:东南大学出版社,2007.
- [16] SHU P. Life cycle cost model sensitivity analysis in power transformer[J]. Sichuan Electric Power Technology, 2013, 36(5):59-63. (in Chinese)  
舒萍.电力变压器全寿命周期成本模型参量的敏感性分析[J].四川电力技术,2013,36(5):59-63.
- [17] LV X Z, HUANG Z P, SU S J. Fast recognition method for generator polynomial of BCH codes[J]. Journal of Xi'an University of electronic science and technology, 2011, 38(6):159-172. (in Chinese)  
吕喜在,黄芝平,苏绍瓌.BCH码生成多项式快速识别方法[J].西安电子科技大学学报,2011,38(6):159-172.
- [18] XIE H, WANG F H, HUANG Z T, et al. Blind detection and recognition of RS code based on spectral preprocessing[J]. Journal of Astronautics, 2013, 34(1):128-132. (in Chinese)  
解辉,王丰华,黄知涛,等.基于频谱预处理的RS码盲检测识别方法[J].宇航学报,2013,34(1):128-132.

(上接第 267 页)

- [2] ANDRDWS S, TSOCHANTARIDIS I, HOFMANN T. Support vector machines for multiple-instance learning[M]// Advances in Neural Information Processing Systems. 2002:561-568.
- [3] XU Y Y, SHIH C H. Image Classification via Multiple-Instance Decision-Based Neural Networks[C]// 2013 Seventh International Conference on Image and Graphics (ICIG). IEEE, 2013: 394-399.
- [4] TARRAG D S, CORNELIS C, BELLO R, et al. A multi-instance learning wrapper based on the Rocchio classifier for web index recommendation[J]. Knowledge-Based Systems, 2014, 59: 173-181.
- [5] FOULDS J, FRANK E. A review of multi-instance learning assumptions[J]. The Knowledge Engineering Review, 2010, 25(1):1-25.
- [6] RAMON J, DE RAEDT L. Multi instance neural networks [C]// Proceedings of the ICML-2000 Workshop on Attribute-value and Relational Learning. 2000:53-60.
- [7] ZHOU Z H, ZHANG M L. Neural networks for multi-instance learning[C]// Proceedings of the International Conference on Intelligent Information Technology. Beijing, China, 2002: 455-459.
- [8] XU Y Y, SHIH C H. Multiple-instance learning via decision based neural networks [M] // Intelligent Decision Technologies. Springer Berlin Heidelberg, 2011:885-895.
- [9] GHOSH J, SHIN Y. Efficient higher-order neural networks for classification and function approximation[J]. Int J Neural Syst, 1992, 3:323-350.
- [10] LAM A Y S, LI V O K. Chemical-reaction-inspired metaheuristic for optimization [J]. IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 2010, 14(3):381-399.
- [11] LAM A Y S, LI V O K, XU J. On the convergence of chemical reaction optimization for combinatorial optimization[J]. IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 2013, 17(5):605-620.