

doi:10.3969/j.issn.1001-893x.2014.07.012

引用格式:李灿,张天骐,刘瑜.基于伽罗华域高斯列消元法的 RS 码盲识别[J].电讯技术,2014,54(7):926-931. [LI Can,ZHANG Tian-qi,LIU Yu. Blind Recognition of RS Codes Based on Galois Field Columns Gaussian Elimination[J]. Telecommunication Engineering,2014,54(7):926-931.]

## 基于伽罗华域高斯列消元法的 RS 码盲识别\*

李 灿\*\*,张天骐,刘 瑜

(重庆邮电大学 信号与信息处理重庆市重点实验室,重庆 400065)

**摘 要:**为解决高码率 RS(Reed Solomon)码盲识别问题,提出了一种基于伽罗华域高斯列消元法的 RS 码盲识别方法。先利用矩阵秩的差值函数识别符号数及码长;再遍历此时符号数对应的本原多项式,对矩阵进行伽罗华域高斯列消元,并引入熵函数差值来识别本原多项式;最后求码字多项式的根,其中连续根即为生成多项式的根。该方法可以较好地识别 RS 码码长、生成多项式及本原多项式,并且避免了遍历符号数时多次进行伽罗华域傅里叶变换的繁琐过程。仿真结果表明,在误码率为  $3 \times 10^{-3}$  的情况下,对 RS 码的识别概率高于 90%。

**关键词:**RS 码;盲识别;伽罗华域;高斯列消元法

**中图分类号:**TN911.22 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-893X(2014)07-0926-06

## Blind Recognition of RS Codes Based on Galois Field Columns Gaussian Elimination

LI Can,ZHANG Tian-qi,LIU Yu

(Chongqing Key Laboratory of Signal and Information Processing,Chongqing University of Posts and Telecommunications,Chongqing 400065,China)

**Abstract:**In order to solve the blind recognition problem of the high rate Reed Solomon(RS) codes,this paper presents a blind recognition method based on Galois Field columns Gaussian elimination. Firstly,code length and symbolic number are recognized by using the difference function of the matrix rank. Then the primitive polynomials corresponding to the number of symbol at this time are traversed. And the matrix is eliminated with columns in Galois field. By using the difference of entropy,the primitive polynomial is identified. Finally,as the code word polynomial roots are found,the continuous roots are the roots of the generator polynomial. Code length,the primitive polynomial and the generator polynomial are identified by the method. The tedious process of Galois field Fourier transform is avoided. Simulation results show that the recognition probability is higher than 90% at an error code rate of  $3 \times 10^{-3}$ .

**Key words:**RS codes; blind recognition; Galois field; columns Gaussian elimination

\* 收稿日期:2014-01-08;修回日期:2014-04-17 Received date:2014-01-08;Revised date:2014-04-17

基金项目:国家自然科学基金资助项目(61371164,61071196,61102131);信号与信息处理重庆市市级重点实验室建设项目(CSTC2009CA2003);重庆市杰出青年基金项目(CSTC2011jjjq40002);重庆市自然科学基金资助项目(CSTC2012JJA4008);重庆市教育委员会科研项目(KJ20525,KJ130524)

**Foundation Item:**The National Natural Science Foundation of China(No. 61371164,61071196,61102131);The Project of Key Laboratory of Signal and Information Processing of Chongqing(CSTC2009CA2003);The Chongqing Distinguished Youth Foundation(CSTC2011jjjq40002);The Natural Science Foundation of Chongqing(CSTC2012JJA40008);The Research Project of Chongqing Educational Commission(KJ120525,KJ130524)

\*\* 通讯作者:lican12124913@163.com **Corresponding author:**lican12124913@163.com

## 1 引言

RS (Reed Solomon) 码是一种多进制的线性分组码,具有很强的纠随机错误和突发错误的能力。它首先由 Reed 和 Solomon 应用 MS 多项式于 1960 年构造出来,目前已应用到无线通信、深空通信、军事通信等领域<sup>[1]</sup>。

在电子对抗和智能通信领域中,纠错码的盲识别很重要。国内目前对纠错码的研究主要集中在卷积码的盲识别上<sup>[2-4]</sup>。线性分组码与卷积码不同,其码间没有相关性,识别比卷积码复杂。文献[5]首次提出了 RS 码的盲识别方法,通过对码字进行伽罗华域傅里叶变换(GFFT)得到连零码谱来实现 RS 码参数的识别,该法需对 RS 码的零码谱进行反复检验,且 RS 码为长码长时,需要遍历符号数  $m$  进行 GFFT 变换,过程复杂,计算量大。文献[6-7]根据码重分布距离及信息熵来识别分组码的参数,但只适用于低码率线性分组码的识别,对高码率识别效果不佳。文献[8]提出了一种 RS 码编码参数的盲识别方法,该方法在识别其等价二进制线性分组码的分组长度后,对矩阵进行变换,再确定其生成多项式及本原多项式。但存在误码时,该算法只能识别出码长,不能正确识别出本原多项式及生成多项式。文献[9]将 RS 码转化为其等效二进制码,采用欧几里德算法去识别参数,该方法计算量有所减少,但如果选取的码字中含误码,就会导致识别结果出现错误。文献[10]利用对偶码字的统计特性及对偶空间归一化维数对线性分组码的参数进行盲估计,但该方法存在码长较长时计算量大的问题。

因此,针对 RS 码,本文提出了一种基于伽罗华域高斯列消元法的识别方法。该方法利用矩阵秩的差值和伽罗华域高斯列消元后矩阵每列中零元素出现的概率不同以及码字多项式的连续根对 RS 码进行识别。

## 2 RS 码识别基础

定义<sup>[11]</sup>:GF( $q$ )( $q \neq 2$ , 通常  $q = 2^m$ )上,码长  $N = q - 1$  的本原 BCH 码称为 RS 码。

RS 码有不同于二进制线性分组码的特点,因而对其进行分析与一般的二进制线性分组码不同。RS 码识别是在符号的基础上,不是单个的 0、1 比特。 $(n, k)$  RS 码的每组信息码有  $k$  个符号,每个符

号有  $m$  个二进制比特。

在伽罗华域中以  $\alpha^i$  为根的最小多项式的形式为  $m_i(x) = (x - \alpha^i)$ ,  $0 \leq i < 2^m - 1$ , 其中  $\alpha$  为本原元,则生成多项式为

$$g(x) = \prod_{i=f}^{f+2t-1} (x - \alpha^i) \quad (1)$$

其中,  $2t = n - k$ 。由上述表达式可知,生成多项式的根有  $2t$  项,且为连续根。RS 码最主要特点之一是码元取自 GF( $q$ ) 上,而它的生成多项式的根也在 GF( $q$ ) 上,所以 RS 码是码元的符号域与根域一致的 BCH 码。

引理<sup>[12]</sup>:设  $V$  是由 GF( $2^m$ ) 上的  $k \times n$  阶生成矩阵  $G$  生成的 RS 码,则  $V$  的向量表示  $(mn, mk)$  是 GF(2) 上由  $G'$  生成的线性分组码。

将 GF( $2^m$ ) 上  $(n, k)$  RS 码映射为 GF(2) 上的线性分组码,其 GF(2) 上的等价线性分组码码长  $mn = m(2^m - 1)$ , 其中  $m \geq 3$ 。

## 3 RS 码盲识别原理

RS 码在实际应用中都是以二进制形式传输的,故截获的 GF( $2^m$ ) 上的 RS 码,实际为其对应的等价二进制  $(mn, mk)$  线性分组码。实际中通常 RS 码都是以帧结构形式传输的,一帧数据里包含一个或多个 RS 码字,通过帧头可找到 RS 码的起始位置,所以本文只对 RS 码的码长  $n$ 、本原多项式及生成多项式进行识别。

### 3.1 码长识别

将截获的二进制序列横向依次放入  $p \times q$  矩阵中,其中  $p > 2mn$ ,  $q = mn$ , 当估计的分组长度  $mn$  不是真实 RS 码的等价二进制线性分组码码长时,每行不是完整码字,每行中信息位与其他行中的信息位没有对齐,信息位个数也不同,真正的码字被分解为不规则的两段或多段。这导致此时估计的 RS 码等价二进制分组码的码字相当于随机码字,其对应矩阵的秩等于  $mn$ 。有误码时,存在少数原本不为全零的列因为误码变为全零列,此时矩阵的秩小于或等于  $mn$ 。

当估计的分组长度为真实 RS 码的等价二进制线性分组码码长时,每一行是一个完整的码字,每行中信息位与其他行中的信息位对齐,校验位也对齐,又因为校验位是信息位的线性结合,因此,无误码时,构造的矩阵中校验位所在的列与信息位所在的

列线性相关,这些列全为零,此时矩阵的秩小于或等于  $mk$ 。存在误码时,原本全为零的校验列中因为误码会出现 1,但校验列中仍存在大量全为零的列,此时矩阵的秩明显小于  $mn$ 。

设  $(mn, mk)$  二进制线性分组码构成  $p \times q$  矩阵  $\mathbf{A}$ , 其秩为  $gfrank(\mathbf{A})$ ,  $mn$  与  $gfrank(\mathbf{A})$  的差值为  $d_r$ , 即

$$d_r = mn - gfrank(\mathbf{A}) \quad (2)$$

当假定的 RS 码等价二进制分组码的分组长度  $mn$  不是待识别 RS 码对应的分组长度时,矩阵  $\mathbf{A}$  类似于随机矩阵,其秩  $gfrank(\mathbf{A})$  接近于  $mn$ ,此时  $d_r$  的值较小;当假定的 RS 码等价二进制分组码的分组长度为待识别 RS 码对应的分组长度时,矩阵  $\mathbf{A}$  中存在大量线性相关的列,此时  $d_r$  的值明显大于分组长度不为矩阵列数时  $d_r$  的值,此时  $mn$  的值即为待识别 RS 码等价二进制分组码的分组长度,由此可估计出该 RS 码的码长及符号数。

### 3.2 本原多项式的识别

识别出码长及符号数  $m$  之后,将二进制序列转化为  $2^m$  进制的序列。假设此时  $m$  值对应的本原多项式有  $l$  个,写出此时所有的本原多项式  $pr_s(x)$  ( $s = 1, 2, 3, \dots, l$ ), 列出每个本原多项式生成的伽罗华域,即有  $l$  个伽罗华域。

将  $2^m$  进制的序列横向放入  $p' \times q'$  ( $p' > 2n, q' = n$ ) 的矩阵  $\mathbf{B}$  中。

对于矩阵  $\mathbf{B}$ , 从第  $i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) 列开始,找到第一个非零元素  $B_{j,i}$ , 其中  $j$  表示该元素所在的行。从每个伽罗华域中找到元素  $a_s$ , 其中  $a_s$  与  $B_{j,i}$  在该伽罗华域中乘积为 1。

将第  $i$  列在该域中乘以数  $a_s$ , 把  $B_{j,i}$  化为 1, 得到新的第  $i$  列。将新的第  $i$  列在该伽罗华域中乘以  $B_{j,i}$ , 其中  $t = i+1, i+2, \dots, n$ , 再将其与第  $t$  列在该域中进行加法运算, 把得到的结果作为新的第  $t$  列。这样,  $B_{j,i}$  右边的元素都被化为零。最终得到  $l$  个新的矩阵  $\mathbf{C}_1, \mathbf{C}_2, \mathbf{C}_3, \dots, \mathbf{C}_l$ , 这些矩阵均为非方阵下三角矩阵。

统计这  $l$  个新的矩阵每列中零元素出现的概率  $p_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ )。

当识别的 RS 码是低码率分组码时,可用下列方法识别本原多项式。

定义  $p_i$  的熵函数与  $(i-1)/p'$  的熵函数之差为  $d_l$ , 即

$$d_l = \sum_{i=1}^n p_i \text{lb}(p_i) - \sum_{i=2}^n \left( \frac{i-1}{p'} \right) \text{lb} \left( \frac{i-1}{p'} \right) \quad (3)$$

其中,  $(i-1)/p'$  表示矩阵  $\mathbf{C}_s$  每列中零元素出现的最小概率。

遍历  $m$  值对应的所有本原多项式, 当其不为真实的本原多项式且有误码时, 存在少数零元素概率大于  $(i-1)/p'$  的列。当其为真实本原多项式时, 与之对应的非方阵下三角矩阵中会出现全零列, 无误码时, 校验列都是全零列; 有误码时, 误码会导致校验列中存在不全为零的列, 但这些列中存在大量零元素的概率  $p_i$  接近于 1 的列, 此时非方阵下三角矩阵中零元素概率大于  $(i-1)/p'$  的列数明显多于非真实本原多项式对应矩阵中零元素概率大于  $(i-1)/p'$  的列数。因此, 与之对应的  $d_l$  的值也明显大于非本原多项式对应的  $d_l$  的值, 可以据此识别低码率 RS 码的本原多项式。

当识别的 RS 码是高码率分组码时, 因高码率 RS 码中校验列的列数较少, 其对应矩阵列中零元素概率大于  $(i-1)/p'$  的列数比低码率时少些。如果仍用识别低码率 RS 码的方法识别高码率, 则在真实本原多项式时  $d_l$  的值与非真实本原多项式时  $d_l$  的值差别不大, 识别效果不明显, 不易区分本原多项式与非本原多项式。因此, 不宜使用识别低码率 RS 码的方法识别高码率 RS 码。

当 RS 码为高码率时, 遍历  $m$  值对应的本原多项式, 当其为非真实本原多项式时, 与之对应的非方阵下三角矩阵的上部分为  $n \times n$  的下三角矩阵, 下部分为一般矩阵。该矩阵每列中零元素出现的概率为  $(i-1)/p'$  加上矩阵左下部分中随机出现的零元素概率之和, 又矩阵  $\mathbf{C}_s$  的行数大于列数的 2 倍, 故此时矩阵每列中零元素的概率均小于 0.5; 当其为真实本原多项式时, 与其对应的非方阵下三角矩阵的上部分为  $n \times n$  的下三角矩阵, 下部分矩阵校验列中会出现大量零元素, 此时整个矩阵的校验列中存在一些零元素概率接近于 1 的列, 即存在零元素概率大于 0.5 的列, 可据此识别高码率 RS 码的本原多项式。

### 3.3 生成多项式的识别

识别出码长及本原多项式后, 再识别生成多项式。码字多项式与生成多项式的关系为

$$C(x) = q(x)g(x) = m(x)x^{n-k} + r(x) \quad (4)$$

其中,  $C(x)$  为码字多项式, 其表达式为

$$C(x) = c_{n-1}x^{n-1} + c_{n-2}x^{n-2} + \dots + c_1x + c_0 \quad (5)$$

$g(x)$  为生成多项式,其表达式为

$$g(x) = x^{2t} + g_{2t-1}x^{2t-1} + \dots + g_1x + g_0 \quad (6)$$

$m(x)$  为信息多项式,  $r(x)$  为  $m(x)$  乘以  $x^{n-k}$  然后再除以  $g(x)$  得到的余式。

由上述关系式可知,在真实本原多项式对应的伽罗华域中,  $g(x)$  的根必然是  $C(x)$  的根。故可求  $C(x)$  的根,其中幂指数连续的  $2t$  个码根就是生成多项式的根。

### 4 仿真实验与分析

该仿真实验包括码长、本原多项式及生成多项式的识别,其中本原多项式的识别还分为高码率、低码率 RS 码的识别。本文中待识别序列是用 Matlab 随机产生的误码率为  $p_e = 0.001$  的仿真码字。

#### 4.1 码长的识别

以 (63, 45) RS 码为例,码长识别结果如图 1 所示,其中纵坐标为公式(2)中的差值  $d_r$ ,横坐标为符号数  $m$ 。

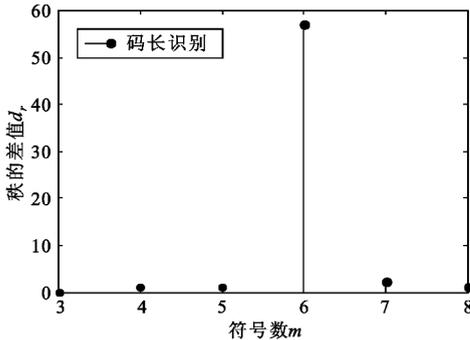


图 1 (63, 45) RS 码  
Fig. 1 (63, 45) RS code

由图 1 可知,  $m = 6$  时,矩阵秩的差值  $d_r$  较大,  $m$  为其他值时,  $d_r$  较小。因  $m$  为 3、4、5、7、8 时,进行分组的二进制码不是真实 RS 码的等价二进制码,矩阵的每行不是一组完整的分组码,其秩的差值接近于零,而  $m = 6$  时,矩阵的每行是一组完整的线性分组码,其校验列会出现全零列,故此时  $d_r$  的值大于其他情况下  $d_r$  的值。据此可识别符号数  $m$ ,再由  $n = 2^m - 1$  可知该 RS 码的码长。

#### 4.2 本原多项式的识别

本原多项式的识别分为高码率和低码率两个部分。本实验在识别本原多项式时,分别对不同编码

长度的低码率 (63, 31) RS 码以及高码率 (31, 25) RS 码进行仿真分析。

低码率时,本原多项式的识别如图 2 所示,其中本原多项式由 `primpoly()` 函数产生。其纵坐标为公式(3)中熵函数的差值  $d_r$ ,横坐标为本原多项式对应的位置,其顺序按照本原多项式十进制表示从小到大依次排列。

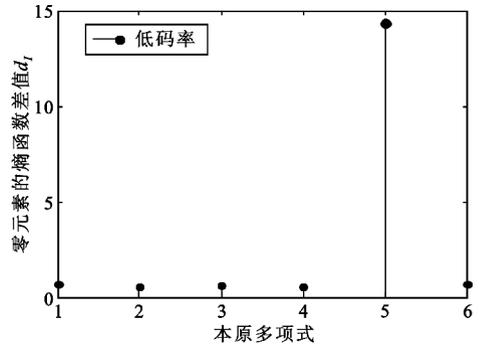


图 2 低码率 RS 码本原多项式识别  
Fig. 2 The primitive polynomial recognition of the low rate RS codes

从图 2 中可知,对 (63, 31) RS 码,遍历到第五个本原多项式,即  $m = 6$  时 `primpoly()` 函数产生的第五个本原多项式,其对应零元素的熵函数差值  $d_r$  取得最大值,故该 (63, 31) RS 码的本原多项式为  $x^6 + x^5 + x^3 + x^2 + 1$ 。

高码率时,本原多项式的识别如图 3 所示。由图 3 可知,第一、二、四、五、六个本原多项式对应的非方阵下三角矩阵列中零元素的概率均小于 0.5,而第三个本原多项式对应的矩阵列中存在零元素概率大于 0.5 的列,故第三个本原多项式为 (31, 25) RS 码的本原多项式,即为  $x^5 + x^3 + x^2 + x + 1$ 。

#### 4.3 生成多项式的识别

识别出码长及本原多项式之后,在真实本原多项式对应的伽罗华域中,  $g(x)$  的根也是  $C(x)$  的根,其中连续的  $2t$  个码根即是生成多项式的根。以 (63, 31) RS 码为例,求码字多项式的码根,其中  $\alpha, \alpha^2, \alpha^3, \dots, \alpha^{30}, \alpha^{31}, \alpha^{32}$  为其码根,故其生成多项式为

$$g(x) = \prod_{i=1}^{32} (x - \alpha^i) = x^{32} + 59x^{31} + 20x^{30} + 37x^{29} + 13x^{28} + 47x^{27} + 61x^{26} + 56x^{25} + 46x^{24} + 17x^{23} + 11x^{22} + 51x^{21} + 3x^{20} + 38x^{19} + 15x^{18} + 46x^{17} + 26x^{16} + 36x^{15} + 21x^{14} + 12x^{13} + 26x^{12} + 5x^{11} + 58x^{10} + 24x^9 + 41x^8 + 31x^7 + 63x^6 + 15x^5 + 62x^4 + 53x^3 + 47x^2 + 25x + 15$$

至此,完成了 RS 码的整个识别过程。

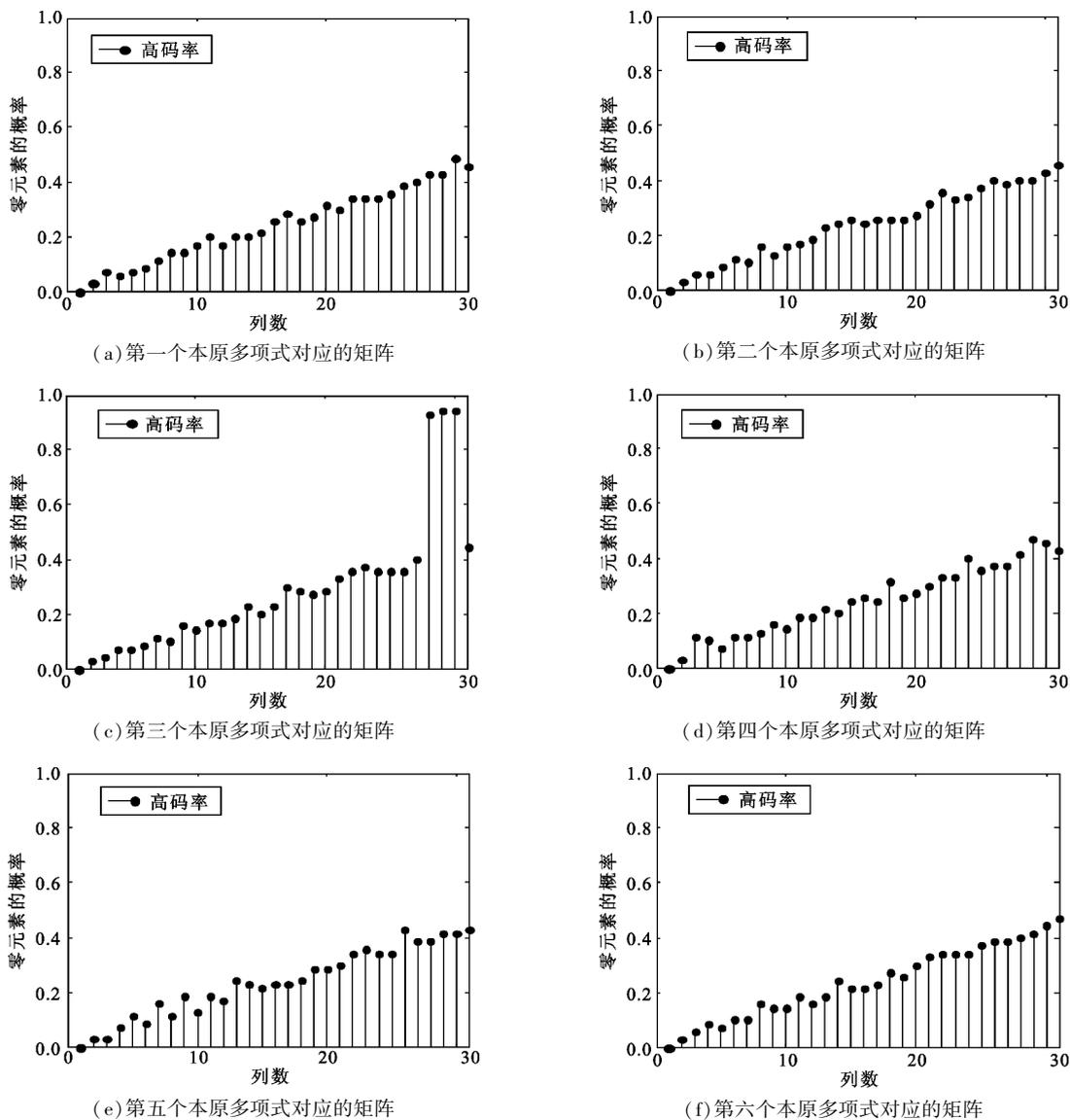


图3 高码率 RS 码本原多项式识别

Fig. 3 The primitive polynomial recognition of the high rate RS codes

#### 4.4 识别概率分析

在各误码率下,对(15, 11)、(31, 25)及(63, 55) RS 码分别进行1 000次识别实验,得到识别概率曲线如图4所示。

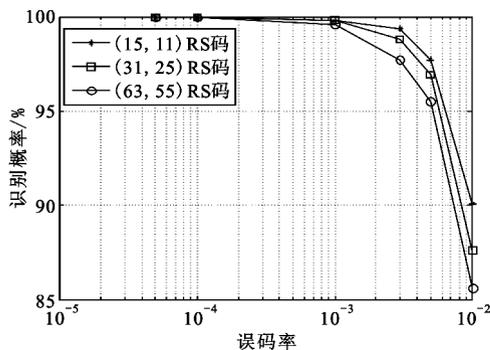


图4 RS 码盲识别概率曲线图

Fig. 4 Blind recognition probability of RS codes

由图4可知,当误码率低于 $10^{-3}$ 时,各RS码的识别概率接近于100%;当误码率为 $3 \times 10^{-3}$ 时,各RS码的识别概率均到了90%以上。对于相同的RS码,误码率越高,其识别概率越低;误码率相同时,码长越长,识别概率越低。

#### 5 结论

根据RS码的结构及性质,本文提出了一种基于伽罗华域高斯列消元法的RS码盲识别方法;通过秩的差值识别符号数 $m$ 及码长 $n$ ,根据高斯列消元后的非方阵下三角矩阵列中零元素的概率分布不同识别本原多项式,利用码字多项式的根识别生成多项式。对不同码长的RS码在不同误码率条件下

进行了多次仿真,仿真结果表明该方法可以对高码率 RS 码进行盲识别,并且有较好的容错性能。

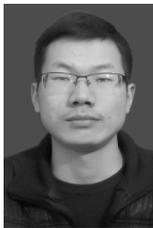
### 参考文献:

- [1] Lin Shu, Costello D J. Error Control Coding [M]. 2nd ed. New Jersey: USA, Prentice Hall, 2007: 156-179.
- [2] SHEN Li, LU Pei-zhong, LUO Xiang-yang, et al. Equivalence of punctured convolutional codes from shift equivalent puncturing patterns [C]//Proceedings of 2004 IEEE International Conference on Information Technology: Coding and Computing. Las Vegas: IEEE, 2004: 786-790.
- [3] WANG Feng-hua, HUANG Zhi-tao, ZHOU Yi-yu. A method for blind recognition of convolution code based Euclidean algorithm [C]//Proceedings of 2007 IEEE International Conference on Wireless Communications. Shanghai: IEEE, 2007: 1414-1417.
- [4] 邹艳, 陆佩忠. 关键方程的新推广[J]. 计算机学报, 2006, 29(5): 711-718.  
ZOU Yan, LU Pei-zhong. A new generalization of key equation [J]. Chinese Journal of Computers, 2006, 29(5): 711-718. (in Chinese)
- [5] 刘建, 谢锴, 周希元. RS 码的盲识别方法[J]. 电子科技大学学报, 2009, 38(3): 363-367.  
LIU Jian, XIE Nuo, ZHOU Xi-yuan. Blind recognition method of RS coding [J]. Journal of University of Electronic Science and Technology of China, 2009, 38(3): 363-367. (in Chinese)
- [6] 笱俊军, 李艳斌. 低码率二进制线性分组码的盲识别[J]. 无线电工程, 2009, 38(1): 19-24.  
ZAN Jun-jun, LI Yan-bin. Blind recognition of low code-rate binary linear block code [J]. Radio Engineering, 2009, 38(1): 19-24. (in Chinese)
- [7] 陈金杰, 杨俊安. 基于码重信息熵低码率线性分组码的盲识别[J]. 电路与系统学报, 2012, 17(1): 41-46.  
CHEN Jin-jie, YANG Jun-an. Blind parameters identification approach for low code-rate linear block code based on code weight information entropy [J]. Journal of Circuits and Systems, 2012, 17(1): 41-46. (in Chinese)
- [8] 张永光, 楼才义. 一种 RS 码编码参数的盲识别方法: 中国, 201010131104. 8[P]. 2012-04-11.  
ZHANG Yong-guang, LOU Cai-yi. A blind parameters identification method for RS coding: China, 201010131104. 8[P]. 2012-04-11. (in Chinese)
- [9] 戚林, 郝士琦, 李今山. 基于有限域欧几里德算法的 RS 码识别[J]. 探测与控制学报, 2011, 33(2): 63-67.

QI Lin, HAO Shi-qi, LI Jin-shan. Recognition method of RS codes based on Euclidean algorithm in Galois field [J]. Journal of Detection & Control, 2011, 33(2): 63-67. (in Chinese)

- [10] 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.  
YANG Xiao-wei, GAN Lu. Blind Estimation Algorithm of the Linear Block Codes Parameters Based on WHT [J]. Journal of Electronic & Information Technology, 2012, 34(7): 1642-1646. (in Chinese)
- [11] 王新梅, 肖国镇. 纠错码——原理与方法[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2002: 124.  
WANG Xin-mei, XIAO Guo-zhen. Error correction code: Principles and Methods [M]. Xi'an: Xi'an University of Electronic Science and Technology Press, 2002: 124. (in Chinese)
- [12] 刘玉君. 信道编码[M]. 郑州: 河南科学技术出版社, 2007: 129-180.  
LIU Yu-jun. Channel coding [M]. Zhengzhou: Henan Science and Technology Press, 2007: 129-180. (in Chinese)

### 作者简介:



李 灿(1988—),男,湖北黄冈人,2012 年获学士学位,现为重庆邮电大学硕士研究生,主要研究方向为信道编码及伪随机序列的盲识别;

LI Can was born in Huanggang, Hubei Province, in 1988. He received the B. S. degree in 2012. He is now a graduate student. His research concerns blind recognition of channel coding and pseudo random sequence.

Email: lican12124913@163.com

张天骐(1971—),男,四川眉山人,博士,教授,主要研究方向为语音信号处理、通信信号的调制解调、盲处理、神经网络实现以及 FPGA、VLSI 实现;

ZHANG Tian-qi was born in Meishan, Sichuan Province, in 1971. He is now a professor with the Ph. D. degree. His research concerns speech signal processing, modulation and demodulation, blind process, realization of neural network, FPGA and VLSI of communication signals.

刘 瑜(1988—),男,湖南邵阳人,2012 年获学士学位,现为硕士研究生,主要研究方向为 OFDM 信号盲检测与估计。

LIU Yu was born in Shaoyang, Hunan Province, in 1988. He received the B. S. degree in 2012. He is now a graduate student. His research concerns blind detection and estimation of OFDM signals.