

文章编号: 2095-4980(2020)01-0116-07

## 缩短 RS 码的伽罗华域傅里叶变换识别方法

王甲峰, 吴 辉, 蒋鸿宇, 胡茂海\*

(中国工程物理研究院 电子工程研究所, 四川 绵阳 621999)

**摘 要:** 为了解决缩短里德-所罗门(RS)码的识别问题, 提出一种基于任意长度伽罗华域傅里叶变换(GFFT)的识别方法。把限定长度GFFT扩展到任意长度, 在阶数、本原多项式、码长三个维度上计算缩短RS码GFFT谱, 统计谱累积量; 再根据谱累积量的概率分布确定判决阈值, 并进行判决, 从而实现缩短RS码编码参数的识别。仿真结果表明, 当阶数不大于8, 误比特率不大于0.001时, 采用文中识别方法可实现不小于99%的正确识别率。

**关键词:** 缩短里德-所罗门码; 伽罗华域傅里叶变换; 伽罗华域傅里叶变换谱; 谱累积量

**中图分类号:** TN791.1

**文献标志码:** A

**doi:** 10.11805/TKYDA2018080

## Shortened RS code recognition based on Galois Field Fourier Transform

WANG Jiafeng, WU Hui, JIANG Hongyu, HU Maohai\*

(Institute of Electronic Engineering, China Academy of Engineering Physics, Mianyang Sichuan 621999, China)

**Abstract:** In order to recognize the shortened Reed-Solomon(RS) code, a recognition method based on the Galois domain Fourier transform of arbitrary length is proposed. Firstly, the limited length of the Galois Field Fourier Transform(GFFT) is extended to any length, then the GFFT spectrum of the shortened RS code is calculated for different orders, primitive polynomial and code length, and the spectral cumulant is calculated; then the decision threshold value is determined according to the probability distribution of the spectral cumulant, and the decision is made so as to realize the identification of the coding parameters of the shortened RS code. The simulation results show that when the order is no more than 8 and the bit error rate is no more than 0.001, the correct recognition rate is no less than 99%.

**Keywords:** shortened Reed-Solomon code; Galois Field Fourier Transform; GFFT spectrum; spectrum cumulants

伽罗华域傅里叶变换(GFFT)是识别 RS 码编码参数的一种非常有效的方法。与传统的欧几里得分析法<sup>[1-2]</sup>和矩阵分析法<sup>[3-6]</sup>相比, GFFT 分析法在抗误码方面具有明显的优势, 已成为目前 RS 码的主流分析方法<sup>[7-13]</sup>, 并且已形成完善的理论体系<sup>[10-11]</sup>。但是, 现有文献中所涉及的研究对象都是非缩短的 RS 码, 而缩短 RS 的应用更为广泛, 因此非常有必要讨论缩短 RS 的识别问题。本文把有限长度 GFFT 扩展到任意长度, 使其能够适用于缩短 RS 码, 并利用文献[10]中的类似方法, 定义缩短 RS 码谱累积量, 根据其概率分布确定判决门限, 从而得到缩短 RS 码的 GFFT 识别方法, 解决了缩短 RS 码的识别问题。

### 1 缩短 RS 码的谱累积量

#### 1.1 任意长度 GFFT

经典 GFFT(限定长度 GFFT)要求序列长度必须为  $2^m - 1$  ( $m \geq 3$ ), 非缩短 RS 码的码长恰好满足这个条件; 但是缩短 RS 码的码长不满足这个条件, 不能直接应用经典 GFFT, 所以需要讨论如何对任意长度序列进行 GFFT。限于篇幅, 这里直接给出任意长序列 GFFT 的定义。

收稿日期: 2018-04-15; 修回日期: 2018-05-15

基金项目: 中国工程物理研究院科学技术发展基金—基于异构体系架构的高性能信号处理技术研究(2015B0403087)

作者简介: 王甲峰(1974-), 男, 副研究员, 主要研究方向为通信信号及信息处理。email:2399196532@qq.com

\*通讯作者: 胡茂海(1982-), 男, 硕士, 副研究员, 主要研究方向为无线通信、数字信号处理。email:humaohai@caep.cn

令  $v(x) = v_0 + v_1x + \cdots + v_{l-1}x^{l-1}$  为  $GF(2^m)$  ( $m \geq 3$ ) 上的多项式, 其中  $l$  为大于 0 的整数。若  $\alpha$  为  $GF(2^m)$  中的本原元, 则  $v(x)$  的 GFFT 谱为  $GF(2^m)$  上的多项式  $V(x)$ :

$$V(x) = V_0 + V_1x + \cdots + V_{n-1}x^{n-1} \quad (1)$$

式中  $n = 2^m - 1$ , 且

$$V_j = v(\alpha^j) = \sum_{i=0}^{l-1} v_i \alpha^{ij}, \quad j = 0, 1, \dots, n-1 \quad (2)$$

为  $V(x)$  的第  $j$  个谱分量, 取值范围为  $0 \sim n$ 。当  $l = n$  时, 式(1)即退化为经典 GFFT。

由任意长 GFFT 的定义可知: a) 多项式  $v(x)$  的谱长度及谱分量取值范围是由定义该多项式的域  $GF(2^m)$  确定的, 而与  $l$  无关, 其中谱长度为  $n = 2^m - 1$ , 谱分量取值范围为  $0 \sim n$ ; b) 如果  $GF(2^m)$  中某个元素  $\alpha^j$  为多项式  $v(x)$  的根, 则对应的谱分量  $V_j = 0$ 。

## 1.2 缩短 RS 码及其谱累计量

假设  $(n, k)$  RS 码是定义在  $GF(2^m)$  ( $m \geq 3$ ) 上的, 则有  $n = 2^m - 1$ ,  $n - k = 2t$ , 并且生成多项式具有如下形式:

$$g(x) = (x - \alpha)(x - \alpha^2) \cdots (x - \alpha^{2^t}) \quad (3)$$

式中  $t \geq 1$  为该码所能纠正的最大误码数。

如果从  $(n, k)$  RS 码的码字集合中, 选取消息字前  $l$  个符号为 0 的子集, 并去掉这  $l$  个 0 符号, 则该子集就构成一个  $(n-l, k-l)$  缩短 RS 码, 通常简称为  $(n-l, k-l)$  RS 码。 $(n, k)$  RS 码称为  $(n-l, k-l)$  RS 码的母码。

令  $n_1 = n-l$  和  $k_1 = k-l$ , 根据编码原理可知,  $(n_1, k_1)$  RS 码与其母码  $(n, k)$  RS 码之间存在如下关系: a)  $n_1$  取值范围为  $2t+1 \sim n$ , 当  $n_1 = n$  时退化为非缩短 RS 码; b)  $n_1 - k_1 = n - k = 2t$ , 即缩短 RS 码与母码具有相同纠错能力; c) 缩短 RS 与母码具有相同的本原多项式及生成多项式。由上述 a) 可知缩短 RS 码的码长的取值范围与母码码长有关, 所以在识别缩短 RS 时, 需要首先选定母码长度(或阶数); 由上述 b) 和 c) 可知, 缩短 RS 码多项式与母码多项式具有相同的根, 即为生成多项式的根。

参考文献[10]定义  $(n_1, k_1)$  RS 码的谱累计量。假设接收端接收到  $M$  个  $(n_1, k_1)$  RS 码的码字, 每个码字构成一个码多项式, 对每个码多项式进行 GFFT 得到该码多项式的谱。假设第  $k$  个码字的 GFFT 谱为:

$$V_k = (V_{k,0}, V_{k,1}, \dots, V_{k,n-1}) \quad (4)$$

则可得到  $(n_1, k_1)$  RS 码的谱累计量:

$$W = (W_0, W_1, \dots, W_{n-1}) \quad (5)$$

式中

$$W_j = \sum_{k=1}^M V_{k,j}, \quad j = 0, 1, \dots, n-1 \quad (6)$$

## 1.3 缩短 RS 码谱累计量的概率分布

根据  $(n_1, k_1)$  RS 码与其母码之间关系可知: 不考虑误码的情况下,  $W$  中必有  $2t$  个连续 0 值。如果存在误码或者用于 GFFT 的参数与生成 RS 码的参数不同(包括阶数  $m$ 、本原多项式  $p(x)$ 、码长  $n_1$  等), 则  $W$  的每个分量  $W_j$  都是一个随机变量, 利用与文献[10]类似的分析方法, 可以得到不同情况下谱累积量的概率分布。

1) 码长为真实码长, 并且 GFFT 参数与 RS 码编码参数相同。假设接收误码率为  $\varepsilon$ 。设谱累积量中与生成多项式根对应的分量为  $W_r$ , 其他分量为  $W_{nr}$ , 则  $W_r$  与  $W_{nr}$  均服从二项分布, 当  $M$  足够大时趋近于高斯分布, 其均值及方差分别为:

$$\begin{cases} E_1 = E\{W_r\} = \frac{Mn}{2} [1 - (1 - \varepsilon)^{n_1}] \\ D_1 = D\{W_r\} = \frac{Mn(2n+1)}{6} [1 - (1 - \varepsilon)^{n_1}] - \frac{Mn^2}{4} [1 - (1 - \varepsilon)^{n_1}]^2 \end{cases} \quad (7)$$

$$\begin{cases} E_0 = E\{W_{nr}\} = \frac{Mn}{2} \\ D_0 = D\{W_{nr}\} = \frac{Mn(n+2)}{12} \end{cases} \quad (8)$$

另外, 在接收端通常给出的误比特率而不是误码率, 需要进行转换。假设接收误比特率为  $\tau$ , RS 码定义在  $GF(2^m)$  上, 即  $m$  比特构成一个码(符号), 假设传输的符号是随机的, 则误码率  $\varepsilon$  可表示为:

$$\varepsilon = 1 - (1 - \tau)^m \quad (9)$$

重写  $E_1$  和  $D_1$  如下:

$$\begin{cases} E_1 = \frac{Mn}{2} [1 - (1 - \tau)^{mn_1}] \\ D_1 = \frac{Mn(2n+1)}{6} [1 - (1 - \tau)^{mn_1}] - \frac{Mn^2}{4} [1 - (1 - \tau)^{mn_1}]^2 \end{cases} \quad (10)$$

2) 其他情况。若码字为随机码字, 则其根在有限域上也是随机分布的, 即此时累积量中每个分量的分布都与情况 1) 中谱分量  $W_m$  的分布相同。

由上述可知, 缩短 RS 码谱累积量的分量近似服从 2 个不同均值和方差的高斯分布, 其概率密度分布分别为:

$$p_0(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi D_0}} \exp \left[ \frac{-(x - E_0)^2}{2D_0} \right] \quad (11)$$

$$p_1(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi D_1}} \exp \left[ \frac{-(x - E_1)^2}{2D_1} \right] \quad (12)$$

式中:  $p_1(x)$  表示与生成多项式根对应的分量的概率分布;  $p_0(x)$  表示其他分量的概率分布。

## 2 识别方法

### 2.1 识别原理

缩短 RS 码的识别包括域的识别、码长的识别以及生成多项式的识别, 域的识别又包括阶数  $m$  的识别和本原多项式  $p(x)$  的识别, 而生成多项式  $g(x)$  是在确定域及码长后, 根据满足条件的连续码根数来确定的, 因此分析过程中需要遍历阶数、码长及本原多项式 3 个参数。

由 1.3 中讨论可知, 当阶数、本原多项式、码长都与实际参数相同时, 谱累积量中存在分量服从概率分布  $p_1(x)$ , 其他情况下所有分量都服从概率分布  $p_0(x)$ 。因此, 阶数、本原多项式及码长识别问题就转换为如下二元假设检验问题:

$$H = \begin{cases} H_1 & \exists j, 1 \leq j \leq n, W_j \leq T \\ H_0 & \forall j, 1 \leq j \leq n, W_j > T \end{cases} \quad (13)$$

式中:  $T$  为设定的阈值;  $W_j$  为在某阶数  $m$ 、本元多项式  $p(x)$ 、码长  $n_1$  下计算的谱累积量的一个分量;  $n = 2^m - 1$ 。如果假设  $H_1$  成立, 则阶数、本原多项式及码长的识别结果即为  $m$ ,  $p(x)$  和  $n_1$ 。

在成功完成阶数、本原多项式及码长的识别后, 统计谱累积量中小于等于阈值的连续分量的个数  $n_t$ , 则可以得到  $t$  的估计值  $\hat{t} = \lceil n_t/2 \rceil$ , 进而得到生成多项式的识别结果:

$$\hat{g}(x) = (x - \alpha)(x - \alpha^2) \cdots (x - \alpha^{2^{\hat{t}}}) \quad (14)$$

### 2.2 阈值的选取

在 2.1 识别方法中, 阈值的选取是影响识别性能的关键。由于已经获取  $(n_1, k_1)$  缩短 RS 码谱累积量的概率分布, 因此可据此确定阈值。

如果选定的阈值为  $T$ , 则虚警概率和漏警概率分别为:

$$P_f = \int_{-\infty}^T p_0(t) dt = \frac{1}{\sqrt{2\pi D_0}} \int_{-\infty}^T \exp \left[ \frac{-(t - E_0)^2}{2D_0} \right] dt \quad (15)$$

$$P_n = \int_T^{\infty} p_1(t) dt = \frac{1}{\sqrt{2\pi D_1}} \int_T^{\infty} \exp \left[ \frac{-(t - E_1)^2}{2D_1} \right] dt \quad (16)$$

以  $P_f = P_n$  为目标选取门限值, 则可得

$$T = \frac{E_0 \sqrt{D_1} + E_1 \sqrt{D_0}}{\sqrt{D_0} + \sqrt{D_1}} \quad (17)$$

可见,  $T$  为  $E_0$  和  $E_1$  分别以  $1/\sqrt{D_0}$  和  $1/\sqrt{D_1}$  为权值的加权平均值。

### 2.3 误码适应性、数据量需求及算法有效性评估

令

$$\alpha = \frac{E_0 - E_1}{\sqrt{D_0} + \sqrt{D_1}} = \frac{E_0 - T}{\sqrt{D_0}} = \frac{T - E_1}{\sqrt{D_1}} \quad (18)$$

此时,

$$P_f = P_n = \int_{\alpha}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt = Q(\alpha) \quad (19)$$

显然  $\alpha$  越大,  $P_f$  和  $P_n$  越小。根据  $3\sigma$  准则, 当  $\alpha \geq 3$  时, 则可认为  $P_f$  及  $P_n$  已经足够小, 发生虚警、漏警都是小概率事件, 此时要求

$$\frac{E_0 - E_1}{\sqrt{D_0} + \sqrt{D_1}} \geq 3 \quad (20)$$

代入  $E_0, E_1, D_0, D_1$  的表达式, 可得

$$M \geq 9 \left( \frac{\sqrt{d_1} + \sqrt{d_0}}{e_0 - e_1} \right)^2 \quad (21)$$

式中:  $e_0 = \frac{n}{2}$ ;  $d_0 = \frac{n(n+2)}{12}$ ;  $e_1 = \frac{n}{2} [1 - (1-\tau)^{mn_1}]$ ;  $d_1 = \frac{n(2n+1)}{6} [1 - (1-\tau)^{mn_1}] - \frac{n^2}{4} [1 - (1-\tau)^{mn_1}]^2$ 。

如果取定  $M$ , 并且要求  $\alpha \geq 3$ , 则可由  $\alpha$  的表达式得到算法所能适应的误比特率范围:

$$\tau \leq 1 - \left( \frac{2\sqrt{3Mn(n+2)} + 6(n-1)}{9n + Mn} \right)^{1/mn_1} \quad (22)$$

此外, 当  $\alpha \geq 3$  时, 可以保证算法是有效的。

综上所述: a) 误码适应能力评估: 码字数、编码参数确定条件下, 根据式(22), 估计所能适应的误比特率; b) 数据量需求评估: 误比特率、编码参数确定条件下, 可根据式(21)估计所需要的数据量; c) 算法有效性评估: 如果  $\alpha \geq 3$  则算法有效, 并且  $\alpha$  取值越大, 算法性能越好。

## 3 仿真验证

### 3.1 误码适应能力评估

本试验验证 2.3 中数据量误码适应能力评估方法的正确性。以 (31,29) RS 码生成的缩短 RS 码为例进行仿真分析, 其中  $m=5, n=31, t=1, n_1=3, 4, \dots, 31$ 。给定  $M=50$ , 则根据式(22), 可得到  $\alpha=3$  时不同码长对应的最大误比特率, 见表 1。

表 1  $\alpha=3$  和  $M=50$  时(31,29)RS 码生成的缩短 RS 码不同码长对应的最大误比特率

Table 1 Maximal bit error rate of different code lengths for shortened RS code from (31,29)RS when  $\alpha=3$  and  $M=50$

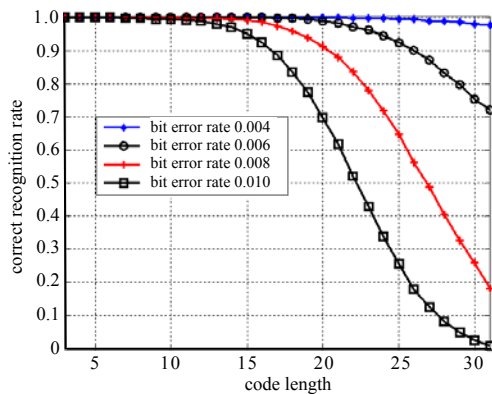
| code length $n_1$ | bit error rate $\tau$ | code length $n_1$ | bit error rate $\tau$ | code length $n_1$ | bit error rate $\tau$ | code length $n_1$ | bit error rate $\tau$ |
|-------------------|-----------------------|-------------------|-----------------------|-------------------|-----------------------|-------------------|-----------------------|
| 3                 | 0.041 8               | 11                | 0.011 6               | 19                | 0.006 7               | 27                | 0.004 7               |
| 4                 | 0.031 5               | <b>12</b>         | <b>0.010 6</b>        | 20                | 0.006 4               | 28                | 0.004 6               |
| 5                 | 0.025 3               | 13                | 0.009 8               | <b>21</b>         | <b>0.006 1</b>        | 29                | 0.004 4               |
| 6                 | 0.021 1               | 14                | 0.009 1               | 22                | 0.005 8               | 30                | 0.004 3               |
| 7                 | 0.018 1               | 15                | 0.008 5               | 23                | 0.005 6               | <b>31</b>         | <b>0.004 1</b>        |
| 8                 | 0.015 9               | <b>16</b>         | <b>0.008 0</b>        | 24                | 0.005 3               |                   |                       |
| 9                 | 0.014 1               | 17                | 0.007 5               | 25                | 0.005 1               |                   |                       |
| 10                | 0.012 7               | 18                | 0.007 1               | 26                | 0.004 9               |                   |                       |

根据表 1 数据可以预期, 当误比特率分别取 0.004, 0.006, 0.008 和 0.010 时, 如果对应码长不大于 31, 21, 16 和 12, 则可获得较好识别性能。为此, 误比特率分别取 0.004, 0.006, 0.008 和 0.010, 进行仿真试验, 在每种码长下, 试验 1 000 次, 统计正确识别率。

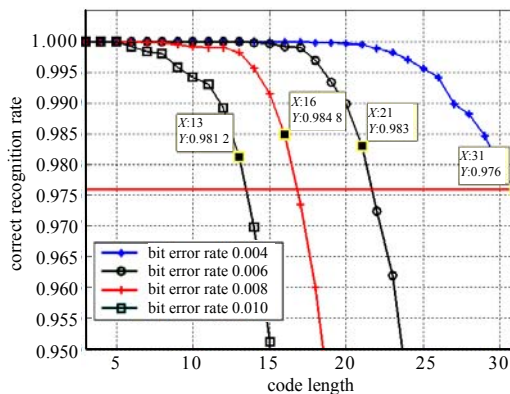
图 1 给出了误比特率为 0.01 时的仿真结果。从结果中可以看出: 阶数的正确识别率明显优于其他参数; 码长、本原多项式、生成多项式的正确识别率随码长增加而降低, 这是由于当码字数和误比特率固定时,  $\alpha$  随码长

的增加而减小从而导致正确识别率降低。其他误码率条件下的仿真结果类似。阶数的识别性能之所以远优于其他参数,是由于不论本原多项式是否正确,只要满足判决条件,则可正确识别,显然不适合以阶数作为对比参数。这里以码长作为待识别参数进行对比。

图 2 给出了不同误码率条件下码长的正确识别率曲线。从图 2(a)中可以看出,识别性能随误比特率增加而恶化。图 2(b)对图 2(a)进行了局部放大。由图 2(b)可知,当误比特率 0.004,码长 31 时,正确识别率为 0.976;以 0.976 为阈值,可以得到误比特率为 0.006,0.008 和 0.010 时,正确识别率大于 0.976 所对应的码长分别为 21,16 和 13,与理论分析基本一致,所以验证了 2.3 中误码适应能力评估方法的正确性。



(a) correct recognition rate of code length



(b) detail of figure (a)

Fig.2 Correct recognition rate of code length for different bit error rates

图 2 不同误比特率条件下码长正确识别率

### 3.2 数据量需求评估

本次仿真试验验证 2.3 中数据量需求评估方法的正确性。仍以 (31,29) RS 码生成的缩短 RS 码为例进行仿真分析,其他参数同 3.1。给定误比特率为 0.01,则根据式(21)可得到,  $\alpha=3$  时对应的最小  $M$  值见表 2。

表 2  $\tau=0.01$  和  $\alpha=3$  时(31,29)RS 码生成的缩短 RS 码不同码长对应的最小  $M$  值

Table2 Minimal  $M$  of different code lengths for shortened RS code from (31,29)RS when  $\tau=0.01$  and  $\alpha=3$

| code length $n_1$ | code number $M$ | code length $n_1$ | code number $M$ | code length $n_1$ | code number $M$ | code length $n_1$ | code number $M$ |
|-------------------|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|-----------------|
| 3                 | 13              | 11                | 41              | <u>19</u>         | <u>99</u>       | 27                | 219             |
| 4                 | 16              | <u>12</u>         | <u>46</u>       | 20                | 109             | 28                | 242             |
| 5                 | 18              | 13                | 52              | 21                | 121             | 29                | 267             |
| 6                 | 21              | 14                | 58              | 22                | 134             | 30                | 294             |
| 7                 | 25              | 15                | 65              | 23                | 148             | <u>31</u>         | <u>325</u>      |
| 8                 | 28              | 16                | 73              | 24                | 163             |                   |                 |
| 9                 | 32              | 17                | 80              | 25                | 180             |                   |                 |
| 10                | 37              | 18                | 89              | <u>26</u>         | <u>199</u>      |                   |                 |

根据表 2 可以预期,当码字数分别取 50,100,200,325 时,如果对应码长不大于 12,19,26,31,则可获得较好识别性能。为此,码字数分别取 50,100,200 和 325,进行仿真试验,在每种码长下,试验 1 000 次,统计正确识别率,仿真结果见图 3。从图 3(a)中可以看出,识别性能随码字数增加而提高。图 3(b)对图 3(a)进行了局部放大。由图 3(b)可知,当码字数取 325 时,码长 31 时的正确识别率为 0.971;以 0.971 为阈值,可以得到码字数为 50,100,200 时,正确识别率大于 0.971 所对应的码长分别为 13,20 和 26,与理论分析基本一致,从而验证了 2.3 中数据量估计方法的正确性。

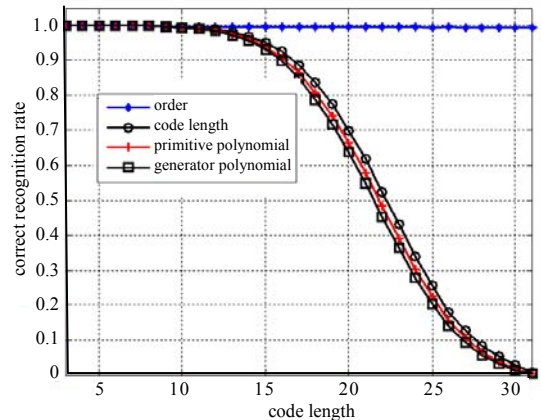
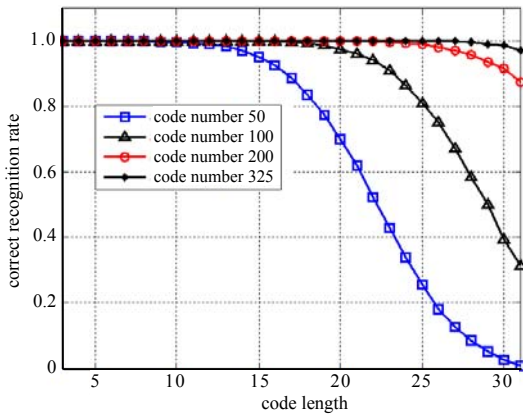
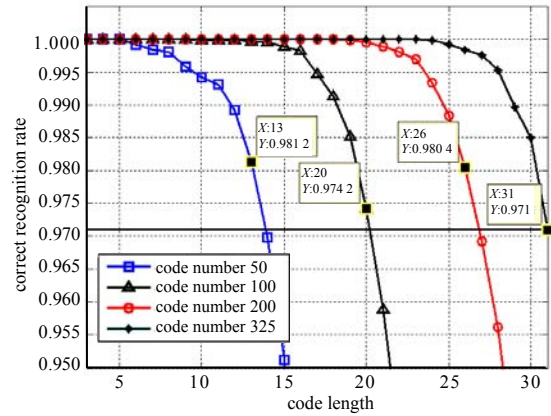


Fig.1 Correct recognition rate of different parameters when  $\tau=0.01$

图 1  $\tau=0.01$  时不同参数的正确识别率



(a) correct recognition rate of code length



(b) detail of figure (a)

Fig.3 Correct recognition rate of code length for different code numbers

图 3 不同码组数下码长正确识别率( $\tau=0.01$ )

### 3.3 算法有效性评估

实际应用中, RS 码的阶数一般不会超过 8, 可选定阶数为 3~8。此外, 实际的处理平台的处理能力与硬件资源总是有限, 所以  $M$  不可能无限大, 假定  $M$  最大可取 800。

首先根据  $M$  的最大取值, 评估算法的误码适应能力。在阶数 3~8 范围内的所有 RS 码中, 当  $n_1=255$  时的抗误码能力最弱, 此时为非缩短 RS 码。根据式(19)可以得到,  $\tau \leq 0.001$ 。可知, 误比特率不大于 0.001 时, 利用 800 个码字, 可对所有阶数在 3~8 内的 RS 码(非缩短的和缩短的)进行识别。

随机选取阶数、码长、最大纠错数、本原多项式进行仿真试验,  $M$  取 100~1 000, 步进间隔为 100, 在每个  $M$  取值下试验 1 000 次, 统计正确识别率。仿真结果如图 4(a)所示。从仿真结果来看, 当码字数不小于 800 时即可获得不小于 99% 的正确识别率, 这与理论分析一致。为了进一步验证理论分析的正确性, 取误比特率 0.000 2~0.002, 步进间隔为 0.000 2, 在每个误比特率取值下试验 1 000 次, 统计正确识别率, 仿真结果如图 4(b)所示。图 4 证明了 2.3 中算法有效性评估方法的正确性。

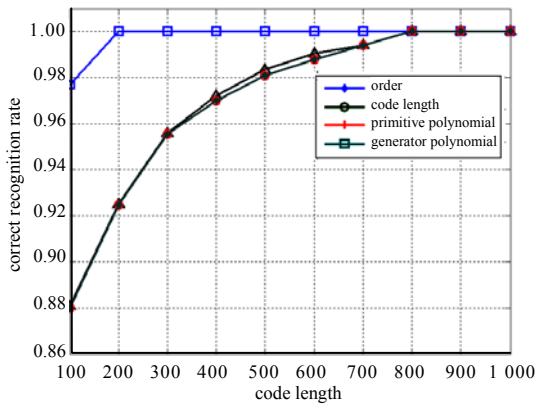
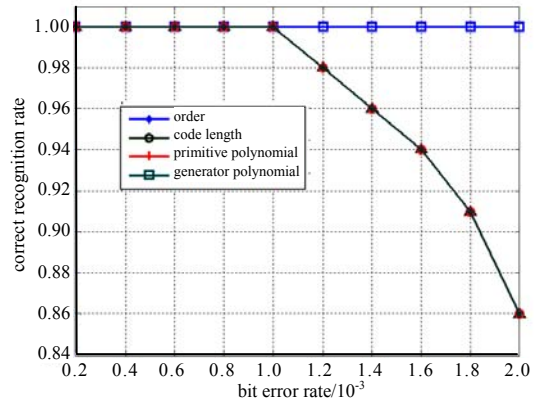
(a) correct recognition rate curve with code number when  $\tau=0.001$ (b) correct recognition rate curve with bit error rate when  $M=800$ 

Fig.4 Simulation results for RS code with randomly selected parameters

图 4 随机选取缩短 RS 码参数时的仿真结果

值得说明的是, 按照 2.3 中评估方法, 当  $\alpha \geq 3$  时算法一定有效, 但这并不能说明,  $\alpha < 3$  时算法一定无效, 此时算法是否有效与  $\alpha$  取值、待识别 RS 码的参数有关, 非常复杂, 有待深入研究。

## 4 结论

本文把用于非缩短 RS 码 GFFT 识别方法经过拓展后应用于缩短 RS 码的识别, 并给出了缩短 RS 码 GFFT 谱累积量的概率分布及阈值确定方法。在此基础上, 从理论上分析了误码适应性、数据量需求以及算法有效性的评估方法, 从而建立了完整的理论体系, 为识别算法的实际应用提供了理论依据。仿真试验在验证算法性能的同时,

也证明了理论分析的正确性。尽管如此,从理论分析和仿真可以看出,当 RS 码的阶数较大(例如阶数大于 8)或误码率更高(例如误比特率为 0.01)时,很难获得较好的识别性能,或者所付出的代价是难以承受的,因此如何提高算法在高阶、高误码条件下的性能是当前亟需解决的问题。

#### 参考文献:

- [1] 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 Shiqi,LI Jinshan. Recognition method of RS codes based on Euclidean algorithm in Galois field[J]. Journal of Detection & Control, 2011,33(2):63-67.)
- [2] 甘露,周攀. 基于中国剩余定理分解的 RS 码快速盲识别算法[J]. 电子与信息学报, 2012,34(12):2837-2842. (GAN Lu,ZHOU Pan. Fast blind recognition method of RS codes based on Chinese remainder theorem decomposition[J]. Journal of Electronics & Information Technology, 2012,34(12):2837-2842.)
- [3] 杨晓静,闻年成. 基于秩函数和 Euclidean 算法的循环码盲识别[J]. 电路与系统学报, 2011,17(5):120-124. (YANG Xiaojing,WEN Niancheng. A blind method of cyclic codes based on rank function and Euclidean arithmetic[J]. Journal of Circuits and Systems, 2011,17(5):120-124.)
- [4] 闻年成,杨晓静,白彧. 一种新的 RS 码识别方法[J]. 电子信息对抗技术, 2011,26(2):36-40. (WEN Niancheng,YANG Xiaojing,BAI Yu. A new recognition method of RS codes[J]. Electronic Information Warfare Technology, 2011,26(2):36-40.)
- [5] LI Wenwen,LEI Jing,WEN Lei. An improved method of blind recognition of RS code based on matrix transformation[C]// 15th IEEE International Conference on Communication Technology Proceedings. Guilin,China:IEEE, 2013:196-200.
- [6] 朱联祥,李荔. RS 码的盲识别方法研究[J]. 电子测量与仪器学报, 2013,27(8):781-787. (ZHU Lianxiang,LI Li. Research on blind recognition for RS code[J]. Journal of Electronic Measurement and Instrument, 2013,27(8):781-787.)
- [7] 刘健,谢锯,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 Ju,ZHOU Xiyuan. Blind recognition method of RS coding[J]. Journal of University of Electronic Science and Technology of China, 2009, 38(3):363-367.)
- [8] 闻年成,杨晓静. RS 码的盲参数识别[J]. 计算机工程与应用, 2011,47(19):136-139. (WEN Niancheng,YANG Xiaojing. Blind recognition of RS codes parameters[J]. Computer Engineering and Applications, 2011,47(19):136-139.)
- [9] 王平,曾伟涛,陈健. 一种利用本原元的快速 RS 码盲识别算法[J]. 西安电子科技大学学报(自然科学版), 2013,40(1):105-110. (WANG Ping,ZENG Weitao,CHEN Jian. Fast blind recognition algorithm for RS codes by primitive element[J]. Journal of Xidian University, 2013,40(1):105-110.)
- [10] XIE Hui,WANG Fenghua,HUANG Zhitao. Blind recognition of Reed-Solomon codes based on histogram statistic of Galois field spectra[J]. Advanced Materials Research, 2013(791-793):2088-2091.
- [11] 王丰华,解辉,黄知涛,等. 基于频谱累积量的线性分组码检测识别方法[J]. 系统工程与电子技术, 2013,35(12):2595-2599. (WANG Fenghua,XIE Hui,HUANG Zhitao,et al. Blind recognition of linear block code based on spectral cumulants[J]. Systems Engineering and Electronics, 2013,35(12):2595-2599.)
- [12] 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. (XIE Hui, WANG Fenghua,HUANG Zhitao,et al. Blind detection and recognition of RS code based on spectral preprocessing[J]. Journal of Astronautics, 2013,34(1):128-132.)
- [13] 包昕,陆佩忠,游凌. 基于伽罗华域傅里叶变换的 RS 码识别方法[J]. 电子科技大学学报, 2016,45(1):30-35. (BAO Xin,LU Peizhong,YOU Ling. Recognition of RS coding based on Galois Field Fourier Transform[J]. Journal of University of Electronic Science and Technology of China, 2016,45(1):30-35.)