doi:10.16018/j.cnki.cn32-1650/n.202003007

RS 码的分布式编码协作系统方案设计

黄雅云
(南京航空航天大学 电子信息工程学院,江苏 南京　210000)

摘要:为了降低 RS 码分布式编码协作系统的误码率,在深入研究 RS 编译码算法的基础上,提出了合并-智能联合译码算法。该算法在智能译码算法中增加一个合并器,以充分利用 RS_1 和 RS_2 两路信号。仿真实验表明,当误比特率为 10^{-3} 时,与简单联合译码算法相比,采用合并-智能联合译码算法的编码协作系统能获得 3.7 dB 的增益;在使用自适应系数的情况下,合并-智能联合译码算法能够使编码协作系统获得最佳的性能。因此,合并-智能联合译码算法可以有效提高 RS 码编码协作系统的性能。

关键词:RS 码;编码协作;合并-智能联合译码算法
中图分类号:TN929.5　　**文献标志码**:A　　**文章编号**:1671-5322(2020)03-0035-06

1959 年,Reed 和 Solomon 提出可以利用有限域中的多项式构造 RS 码(Reed-Solomon code)[1]。RS 码的基础是循环码,可以用代数方法来构造和分析,因此可以找到多种实用的译码方法,且易于硬件实现。1961 年 Gorenstein 等[2]发现 RS 码是 BCH 码(Bose, Ray-Chaudhuri, Hocquenghem Code)的一种子码,并提出了译码算法,但该算法在纠正大量错误时不够理想;1967 年,Berlekamp[3]提出了 Berlekamp-Massey 译码算法,使得 RS 码能够纠正大量随机错误;1975 年,Sugiyama 等[4]证明欧几里得算法能够用于译码。现今 RS 码因具有强大的纠错性能,在无线通信、广播电视以及深空通信中有着广泛的应用[5]。

目前,RS 码编码协作系统中使用的简单联合译码算法或智能联合译码算法,目的节点均不能充分利用获得的两路信号,误码率也不够理想。本文在参考前人文献资料的基础上,提出合并-智能联合译码算法。该算法能够充分利用获得的两路信号,进一步降低信噪比和误码率,提高 RS 码分布式编码协作系统的性能。

1　相关工作

1.1　信源与中继的相关编码

基于协作通信的三节点经典通信模型[6],RS 码编码协作场景的方案如图 1 所示。一个完整的编码协作传输流程,从信源产生信息到目的节点完整地译出信息,需要 2 个时隙[7]。在第 1 个时隙,信源首先将二进制序列 m_1 映射为 GF (2^m) 中符号序列 a_1,其中 $2^m = n+1$,n 是码字长度;然后系统 $RS_1(n,k_1,d_1)$ 编码将符号序列 a_1 编码,其中 k_1 为信息位长度,d_1 为码字最小距离。由 RS 码的基础理论[8-9]可知,RS 码的码字最小距离 $d_1 = n-k_1+1$。

RS_1 的生成多项式 $g_1(x)$ 由 $n-k_1$ 个根组成,$g_1(x)$ 多项式可表示为:

$$g_1(x) = (x-\alpha)(x-\alpha^2)\cdots(x-\alpha^{n-k_1}) = g_0^{(1)} + g_1^{(1)}x + g_2^{(1)}x^2 + \cdots + g_{n-k_1-1}^{(1)}x^{n-k_1-1} + g_{n-k_1}^{(1)}x^{n-k_1} \quad (1)$$

式中:$\alpha^i(1 \leqslant i \leqslant n-k_1)$ 是 $g_1(x)$ 的根,且 $\alpha^i \in \mathrm{GF}(2^m)$;$g_j^{(1)}(0 \leqslant j \leqslant n-k_1)$ 是 $g_1(x)$ 的系数。

RS_1 码可以通过下式产生。

$$b(x) = a(x)g_1(x) \quad (2)$$

式中:$a(x)$ 是待传输信息 a_1 的多项式表达式,$a(x) = a_0^{(1)} + a_1^{(1)}x + a_2^{(1)}x^2 + \cdots + a_{k_1-1}^{(1)}x^{k_1-1}$,其中 $a_i^{(1)} \in \mathrm{GF}(2^m), 0 \leqslant i \leqslant k_1-1$;$b(x)$ 是码字的多项式表达式,$b(x) = b_0^{(1)} + b_1^{(1)}x + \cdots + b_{n-1}^{(1)}x^{n-1}$,其

收稿日期:2020-05-02
作者简介:黄雅云(1994—),女,江苏常州人,硕士生,主要研究方向为信道编码。

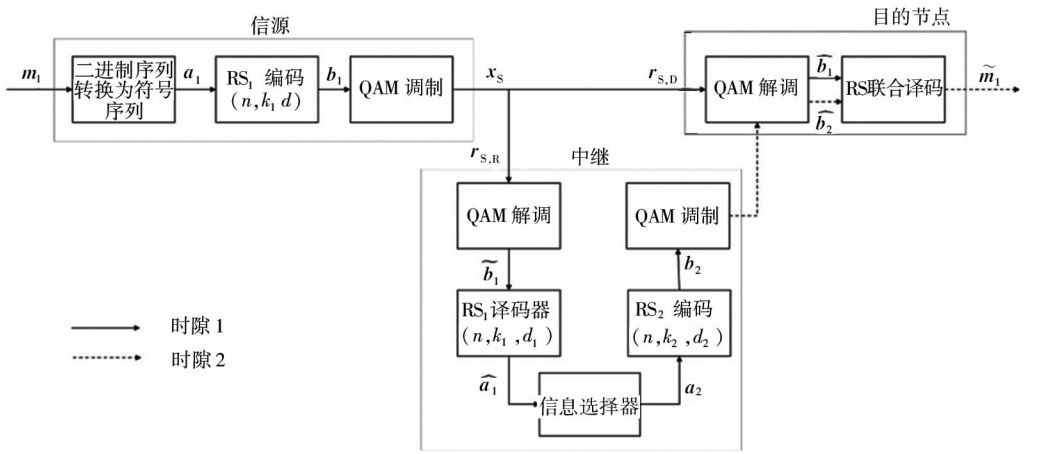

图 1 RS 码的编码协作系统框架结构

Fig 1 Frame structure of RS code coding cooperation system

中 $b_i^{(1)} \in \mathrm{GF}(2^m)$,$0 \leqslant i \leqslant n-1$。

在编码协作方案中,使用系统 RS 码,其生成多项式可表示为:

$$b_1(x) = x^{n-k_1}a_1(x) + p_1(x) \tag{3}$$

式中:$p_1(x)$ 为校验多项式,$p_1(x) = p_0^{(1)} + p_1^{(1)}x + p_2^{(1)}x^2 + \cdots + p_{n-k_1-1}^{(1)}x^{n-k_1-1}$,其中 $p_i^{(1)} \in \mathrm{GF}(2^m)$,$0 \leqslant i \leqslant n-k_1-1$。

$p_1(x)$ 可以通过 GF(2^m) 中的多项式除法得到,计算式如下:

$$p_1(x) = \frac{x^{n-k_1}a_1(x)}{g(x)} \tag{4}$$

因此系统 RS 码的码字多项式 $b_1(x)$ 可以表达为 $b_1 = [b_0^{(1)}, b_1^{(1)}, b_2^{(1)}, \cdots, b_{N-1}^{(1)}] = [p_1, a_1]$,其中 p_1 为校验序列,a_1 为信息序列,且 $p_1 = [p_0^{(1)}, p_1^{(1)}, \cdots, p_{n-k_1-1}^{(1)}]$,$a_1 = [a_0^{(1)}, a_1^{(1)}, \cdots, a_{k_1-1}^{(1)}]$。由此,可以得到非二进制序列 b_1。

将得到的序列 b_1 进行调制后得到长度为 $N-1$的消息 $x_S = [x_S^0, x_S^1, \cdots, x_S^{N-1}]^T$,其中 x_S^i($0 \leqslant i \leqslant N-1$)是调制后的符号;然后信源将 x_S 同时传输至中继和目的节点。在第 1 个时隙,中继收到经信道传输的信源信息 x_S,令其为信息 $r_{S,R}$,表达式为:

$$r_{S,R} = h_{S,R}^T x_S + n_{S,R} \tag{5}$$

式中:$n_{S,R}$是高斯噪声序列,且 $n_{S,R} = [n_{S,R}^0, n_{S,R}^1, \cdots, n_{S,R}^{N-1}]^T$;$h_{S,R}$是瑞利衰落系数,且 $h_{S,R} = [h_{S,R}^0, h_{S,R}^1, \cdots, h_{S,R}^{N-1}]^T$。

同样地,在第 1 个时隙,目的节点也将收到经信道传播的信息 x_S,令其为 $r_{S,D}$,表达式为:

$$r_{S,D} = h_{S,D}^T x_S + n_{S,D} \tag{6}$$

式中:$n_{S,D}$是高斯噪声序列,且 $n_{S,D} = [n_{S,D}^0, n_{S,D}^1, \cdots, n_{S,D}^{N-1}]^T$;$h_{S,D}$是瑞利衰落系数,且 $h_{S,D} = [h_{S,D}^0, h_{S,D}^1, \cdots, h_{S,D}^{N-1}]^T$。

在第 2 个时隙,中继首先解调收到的信息 $r_{S,R}$ 以获得信息 $\widetilde{b_1}$;然后通过 RS_1 的译码器使用 Berlekamp-Massey 译码算法得到 $\hat{a_1}$[10-11];最后再对序列 $\hat{a_1}$ 进行 RS_2 编码。RS_2 码是码率为 k_2/n、码长为 n、信息位长度为 k_2、码字最小距离 $d_2 = n-k_2+1$ 的系统(n, k_2, d_2)RS 码。RS_2 码的生成多项式 $g_2(x)$有 $n-k_2$ 个根,$g_2(x)$表达式可表示为:

$$\begin{aligned} g_2(x) &= (x-\alpha)(x-\alpha^2)\cdots(x-\alpha^{n-k_2}) = \\ &g_0^{(2)} + g_1^{(2)}x + g_2^{(2)}x^2 + \cdots + \\ &g_{n-k_2-1}^{(2)}x^{n-k_2-1} + g_{n-k_2}^{(2)}x^{n-k_2} \end{aligned} \tag{7}$$

式中:$\alpha^j \in \mathrm{GF}(2^m)$是 $g_2(x)$的根,$g_j^{(2)} \in \mathrm{GF}(2^m)$是 $g_2(x)$的系数,且$0 \leqslant j \leqslant n-k_2$。

由于 $k_1 > k_2$,$g_2(x)$比 $g_1(x)$有更多的根,所以 RS_2 的纠错能力比 RS_1 的高。系统 RS_2 码可以表示为:

$$b_2(x) = x^{n-k_2}a_2(x) + p_2(x) \tag{8}$$

式中:$b_2(x)$是中继处编码器得到的码字多项式,$b_2(x) = b_0^{(2)} + b_1^{(2)}x + b_2^{(2)}x^2 + \cdots + b_{n-1}^{(2)}x^{n-1}$,其中 $b_{i_2}^{(2)} \in \mathrm{GF}(2^m)$,$0 \leqslant i_2 \leqslant n-1$;$a_2(x)$是中继处编码器的输入信息多项式,$a_2(x) = a_0^{(2)} + a_1^{(2)}x + a_2^{(2)}x^2 + \cdots + a_{k_2-1}^{(2)}x^{k_2-1}$,其中 $a_{f_2}^{(2)} \in \mathrm{GF}(2^m)$,$0 \leqslant f_2 \leqslant k_2-1$,可化简为 $a_2 = [a_0^{(2)}, a_1^{(2)}, a_2^{(2)}, \cdots, a_{k_2-1}^{(2)}]$。

在此系统中,中继从信号

$$\hat{a}_1 = [\hat{a}_0^{(1)}, \hat{a}_1^{(1)}, \hat{a}_2^{(1)}, \cdots, \hat{a}_{k_1-1}^{(1)}]$$

中选择前 k_2 个符号作为信息 a_2。同样地,可以得到校验多项式 $p_2(x)$,计算式如下:

$$p_2(x) = \frac{x^{n-k_2} a_2(x)}{g_2(x)} \tag{9}$$

式中:$p_2(x) = p_0^{(2)} + p_1^{(2)} x + p_2^{(2)} x^2 + \cdots + p_{n-k_2-1}^{(2)} \cdot x^{n-k_2-1}$,其中 $p_i^{(2)} \in \mathrm{GF}(2^m)$,$0 \leqslant i \leqslant n-k_2-1$。

因此 $p_2 = [p_0^{(2)}, p_1^{(2)}, p_2^{(2)}, \cdots, p_{n-k_2-1}^{(2)}]$,系统 RS_2 码的码字多项式 $b_2(x)$ 可以表达为 $b_2 = [b_0^{(2)}, b_1^{(2)}, b_2^{(2)}, \cdots, b_{N-1}^{(2)}] = [p_2, a_2]$。由此,可以得到非二进制序列 b_2;然后对序列 b_2 进行调制,得到序列 x_R,并传输至目的节点。

在第 2 个时隙,目的节点收到中继传输的信息 $r_{R,D}$,可表示为:

$$r_{R,D} = h_{R,D}^{T} x_R + n_{R,D} \tag{10}$$

式中:$h_{R,D}$ 是瑞利衰落系数,$n_{R,D}$ 是高斯白噪声序列。

目的节点收到消息 $r_{S,D}$ 和 $r_{R,D}$ 后,首先对其分别进行解调,得到序列 $\hat{b}_1$ 和 $\hat{b}_2$;然后再对得到的这两个序列进行联合译码,估计输入序列。

1.2　目的节点联合译码算法

联合译码是编码协作系统的关键特征之一,常用的联合译码算法有简单联合译码算法和智能联合译码算法。

1.2.1　简单联合译码算法

简单联合译码算法的原理如图 2 所示。图 2 中,RS 编码协作系统的简单联合译码器在时隙 1 收到输入信息 $\hat{b}_1$ 后,在 RS_1 译码器中使用 Berlekamp-Massey 译码算法进行译码,得到非二进制序列 $\hat{a}_1$;在时隙 2 收到输入信息 $\hat{b}_2$ 后在对应的 RS_2 译码器使用 Berlekamp-Massey 译码算法进行译码,得到非二进制序列 $\hat{a}_2$;然后将非二进制序列 $\hat{a}_1$ 和 $\hat{a}_2$ 输入至混合器。由 2.1 节可知,$\hat{a}_2$ 是 $\hat{a}_1$ 的子序列,即 $\hat{a}_2$ 是 $\hat{a}_1$ 的前 k_2 个符号。由于 $k_2 < k_1$,RS_2 码的纠错能力比 RS_1 码的大,由 RS 码的传输特性可知,在高信噪比条件下,纠错能力大的码字的误码率比纠错能力小的码字的误码率低,但在低信噪比条件下,情况正好相反。因此该算法需要设置信噪比阈值以决定混合器的输出序列,即当信噪比大于阈值时,使用 $\hat{a}_2$ 的信息替代 $\hat{a}_1$ 的前 k_2 个符号,即混合器的输出序列 $\widetilde{a_1} = [\hat{a}_2, \hat{a}_1']$,其中 $\hat{a}_1' = [\hat{a}_{k_2}^{(1)}, \hat{a}_{k_2+1}^{(1)}, \cdots, \hat{a}_{k_2+(k_1-k_2)-1}^{(1)}]$;但当信噪比低于阈值时,$\widetilde{a_1} = \hat{a}_1$。最后将混合器的输出序列 $\widetilde{a_1}$ 映射为二进制序列 $\widetilde{m_1}$。

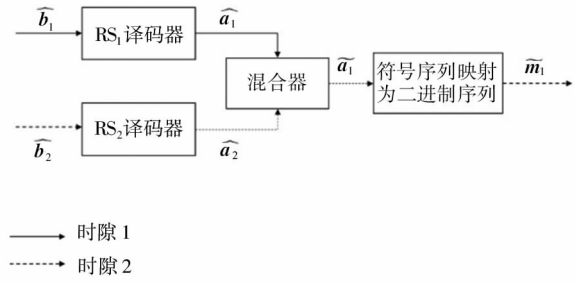

图 2　简单联合译码算法框架

Fig 2　Framework of simple joint decoding algorithm

1.2.2　智能联合译码算法

智能联合译码算法的原理如图 3 所示。首先,将解调后的序列 $\hat{b}_2$ 在 RS_2 译码器中使用 Berlekamp-Massey 译码算法[3]进行译码,得到非二进制序列 $\hat{a}_2$;由上一节内容可知,解调后的序列 $\hat{b}_1$ 由非二进制序列 $\hat{a}_1$ 和校验序列 $\hat{p}_1$ 组成,即 $\hat{b}_1 = [\hat{p}_1, \hat{a}_1]$,因为 $\hat{a}_2$ 是 $\hat{a}_1$ 的子序列,即 $\hat{a}_2$ 是 $\hat{a}_1$ 的前 k_2 个符号,因此在混合器中,使用 $\hat{a}_2$ 替代 $\hat{a}_1$ 的前 k_2 个符号,这样混合器的输出为 $\overline{b_1} = [\hat{p}_1, \hat{a}_2, \hat{a}_1']$;由于使用 RS_2 译码器后可以纠正一部分传输导致的错误,因此 $\overline{b_1}$ 的可靠性比 $\hat{b}_1$ 更高,在将混合后的信息序列 $\overline{b_1}$ 作为 RS_1 译码器的输入信息后,使用 Berlekamp-Massey 译码算法进行译码,得到非二进制序列 $\widetilde{a_1}$;最后将非二进制序列 $\widetilde{a_1}$ 映射为二进制序列 $\widetilde{m_1}$,译码结束。

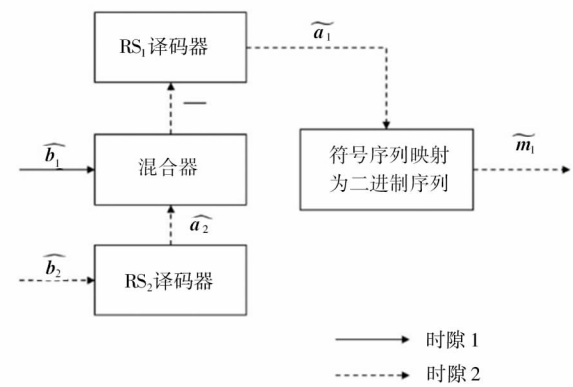

图 3　智能联合译码算法原理

Fig 3　Principle of intelligent joint decoding algorithm

1.3　两种联合译码算法的比较

简单联合译码算法的实现方式较为简单,但

是需要引入信噪比阈值以判断是否使用$\hat{a}_2$的前 k_2 个符号替代$\hat{a}_1$的前 k_2 个符号,且目的节点不能充分利用 RS_1 和 RS_2 这两路信号以降低系统误码率。

在智能联合译码算法中,不需要使用信噪比阈值来判断混合器的使用方式,而是使用 RS_2 译码器的输出作为 RS_1 译码器输入的一部分,因为 RS_2 译码器可以纠正一部分传输错误,所以智能联合译码算法能够提高系统性能。但是在该联合译码算法中,目的节点仍旧不能充分利用获得的两路信号以降低系统误码率。

2 合并-智能联合译码算法设计

2.1 系统设计

为了目的节点能够充分利用获得的 RS_1 和 RS_2 两路信号,进一步降低系统误码率,提出了合并-智能联合译码算法,其具体框图如图 4 所示。

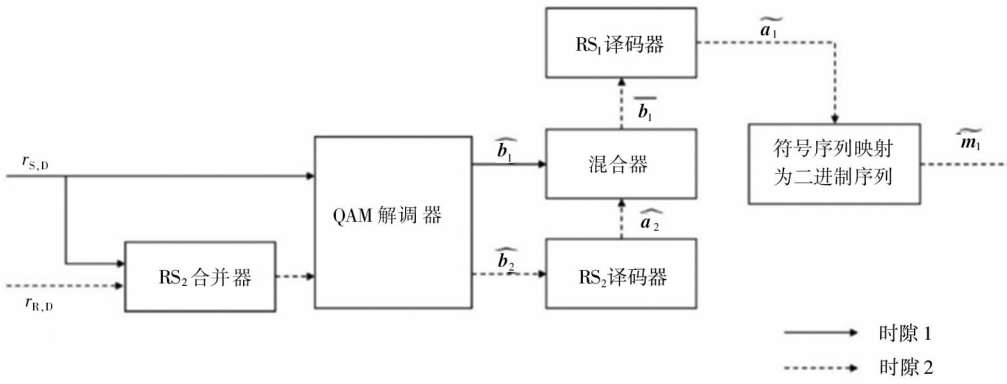

图 4 合并-智能联合译码算法原理图

Fig 4 Schematic diagram of merge-intelligent joint decoding algorithm

图 4 中,在目的节点的解调器之前增加一个合并器,将 RS_1 的前 k_2 个调制符号与 RS_2 的 k_2 个信息位的调制符号合并,合并系数参考协作通信中的最大比合并算法[12]。经过 RS_2 合并器之后,调制序列为

$$r_{R,D} = [p_{R,D}, \alpha \cdot r'_{R,D} + (1-\alpha) \cdot r'_{S,D}] \quad (11)$$

式中:$\alpha = \sigma_{R-D}/(\sigma_{R-D} + \sigma_{S-D})$,其中 σ_{R-D}表示中继—目的节点信道的信噪比(Signal-to-Noise Ratio, SNR),σ_{S-D}表示信源—目的节点信道的信噪比;$r'_{R,D}$为 RS_2 码中 k_2 个信息位的调制符号;$r'_{S,D}$为 RS_1 码中前 k_2 个信息位的调制符号;$p_{R,D}$为 RS_2 码中校验位的调制符号。

由此,系统可以充分利用 RS_1 和 RS_2 两路信号,使系统误码率进一步降低。

2.2 实现步骤

为实现上述算法,具体实现步骤如下:

(1)对来自信源的信息 $r_{S,D}$ 进行解调,得到序列 $\hat{b}_1$;

(2)按式(11)将信源信息 $r_{S,D}$ 的前 k_2 个调制符号与中继信息 $r_{R,D}$ 的 k_2 个信息位的调制符号合并,并与中继信息 $r_{R,D}$ 的校验调制符号 $p_{R,D}$ 合并,得到新序列 $r^{(2)}_{R,D}$;

(3)对新序列 $r^{(2)}_{R,D}$ 进行解调,得到序列 $\hat{b}_2$;

(4)将解调后的序列 $\hat{b}_2$ 在 RS_2 译码器中使用 Berlekamp-Massey 译码算法进行译码,得到非二进制序列 $\hat{a}_2$;

(5)在混合器中,使用$\hat{a}_2$替代$\hat{b}_1$的前 k_2 个符号,得到混合器的输出$\overline{b_1} = [\hat{p}_1, \hat{a}_2, \hat{a}_1']$,其中$\hat{a}_1' = [\hat{a}^{(1)}_{k_2}, \hat{a}^{(1)}_{k_2+1}, \cdots, \hat{a}^{(1)}_{k_2+(k_1-k_2)-1}]$;

(6)将混合后的信息序列$\overline{b_1}$作为 RS_1 译码器的输入信息,使用 Berlekamp-Massey 译码算法进行译码,得到非二进制序列$\widetilde{a_1}$;

(7)将非二进制序列$\widetilde{a_1}$映射为二进制序列$\widetilde{m_1}$,译码结束。

3 系统仿真及性能分析

在系统采用 RS 码的编码协作方案的基本框架时,分别对简单联合译码算法、智能联合译码算法与合并-智能联合译码算法 3 种不同的联合译码算法进行仿真实验,仿真条件如下:RS_1 码字为

(63,51,13)RS 码,RS_2 码字为(63,39,25)RS 码,在 AWGN 信道中传输,使用 64-QAM 调制方式,设置信源—中继信道为理想信道,即 $\sigma_{S-R}=\infty$,且 $\sigma_{R-D}=\sigma_{S-D}+1$。仿真结果如图 5、图 6。图 5、图 6 中横坐标为信源—目的节点信道的信噪比,使用分贝数表示,单位为 dB;纵坐标为误比特率(Bit Error Ratio,BER)。所示。需要注意的是使用合并-智能联合译码算法时,合并系数 α 随信噪比而变化。

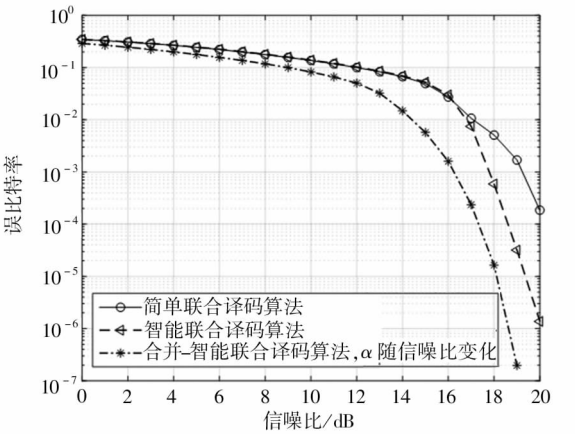

图 5　不同联合译码算法的性能比较

Fig 5　Performance comparison between different joint decoding algorithm

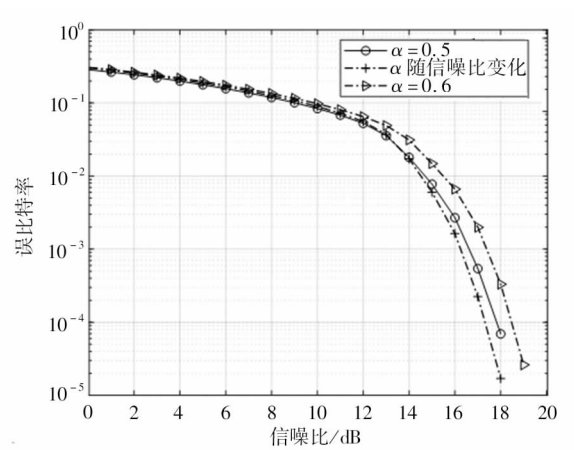

图 6　合并-智能联合译码算法中使用不同合并系数的性能仿真

Fig 6　Performance simulation of merge-intelligent joint decoding algorithm with different combining coefficients

图 5 为不同联合译码算法的性能仿真比较。从图 5 可以看出,当误比特率为10^{-3}时,与非协作系统(non-coop)相比,使用简单联合译码算法的系统获得的增益只有 0.6 dB,性能有限;使用智能译码算法的系统可以获得 2.2 dB 左右的增益;使用合并-智能译码算法的系统可以获得3.7 dB 左右的增益。由此可见,使用合并-智能译码算法的系统误比特性能比使用智能译码算法的系统好。在低信噪比条件下,即当信噪比低于 10 dB 时,使用 3 种不同译码算法的系统误比特率性能相近;但当信噪比大于 10 dB 后,使用合并-智能译码算法的系统可以获得较大的性能提升。

图 6 给出了合并-智能联合译码算法中使用不同合并系数的性能仿真。从图 6 可以看出,当系统使用合并-智能联合译码算法时,不同的合并系数将会影响系统的性能,其中合并系数 α 随信噪比变化时,系统的性能会略好一些;当误比特率为 10^{-4} 、合并系数为自适应系数时,系统性能比系数为 0.5 的好 0.4 dB 左右,比系数为 0.6 的好 1 dB 左右。

综上所述,合并-智能联合译码算法能够充分利用获得的两路信号,进一步降低信噪比和误码率,提高 RS 码的分布式编码协作系统的性能。

4　结语

本文分析了 RS 码的编码协作系统,研究了基于 RS 码的简单联合译码算法、智能联合译码算法。在此基础上,提出了合并-智能联合译码算法,并通过仿真比较了简单联合译码算法、智能联合译码算法与合并-智能联合译码算法 3 种不同的联合译码算法的性能。结果表明:合并-智能联合译码算法能够充分利用获得的两路信号,使其分集增益,进一步降低信噪比和误码率,提高 RS 码的分布式编码协作系统的性能。

参考文献:

[1] 徐朝军. RS 码译码算法及其实现的研究[D]. 西安:西安电子科技大学,2006.
[2] GORENSTEIN D, HERSTEIN I N. Finite groups admitting a fixed-point-free automorphism of order 4[J]. American Journal of Mathematics, 1961,83(1):71-78.
[3] BERLEKAMP E R. Factoring polynomials over large finite fields[J]. Mathematics of Computation, 1970,24(111):713.
[4] SUGIYAMA Y. A method for solving key equation for decoding Goppa Codes[J]. Information and Control, 1975,27(1): 87-99.
[5] 聂鹏. OFDM 系统中高速 RS 码的研究与实现[D]. 武汉:华中科技大学,2012.
[6] 张愿,马社祥. 三协作节点的功率分配及其信道容量[J]. 计算机应用,2010,30(12):3151-3154.
[7] HUNTER T E, NOSRATINIA A. Diversity through coded cooperation[J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2006,5(2):283-289.
[8] 张宗橙. 纠错编码原理和应用[M]. 北京:电子工业出版社,2003.
[9] LIN S, COSTELLO J D. 差错控制编码:第 2 版[M]. 晏坚,何元智,潘亚汉,等,译. 北京:机械工业出版社,2007.
[10] 李锦明,刘梦欣,成乃朋. RS 编码算法的优化与 FPGA 实现[J]. 电子技术应用,2020,46(2):76-79.
[11] XU C L. Soft decoding algorithm for RS-CC concatenated codes in WiMAX system[C]//2007 IEEE 65th Vehicular Technology Conference, April 22—25, 2007. Dublin, Ireland.
[12] 张绮瑾,杨鸿文. 量化噪声对衰落信道下 MRC 合并信噪比的影响[J]. 通信技术, 2008,41(7): 37-38.

The Scheme Design of Distributed Cooperative System of RS Code

HUANG Yayun

(College of Electronic Information Engineering, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing Jiangsu 210000, China)

Abstract: In order to reduce the bit error rate of the RS code distributed coding cooperative system, based on the in-depth study of the RS codec algorithm, a merge-intelligent joint decoding algorithm is proposed. In this algorithm, a combiner is added to the intelligent decoding algorithm to make full use of the two signals(RS1 and RS2). When the bit error rate is 10^{-3}, compared with the simple joint decoding algorithm, the coding cooperation system using the combined-intelligent joint decoding algorithm can obtain a gain of 3.7 dB. In the case of using adaptive coefficients, the merge-intelligent joint decoding algorithm can make the coding cooperative system get the best performance. Therefore, merge-Intelligent joint decoding algorithm can effectively improve the performance of RS coding collaboration system.

Keywords: RS code; coded cooperation; merge-intelligent joint decoding algorithm

(责任编辑:李华云)