

基于 DMR 通信协议的信道编解码研究

邓 晓,潘学军

(大连理工大学,辽宁 大连 116024)

摘 要: 为了提高 DMR 系统基带算法的性能,分析研究了 DMR 通信协议中的 BPTC 码和变长 BPTC 码。针对这两种码,提出了利用和积算法作为软输入软输出译码器,进行迭代译码的新方案。该方案在 MATLAB 下进行了仿真,并与伴随式译码方案进行了对比分析。BPTC 和变长 BPTC 码的仿真实验结果表明,采用软判决迭代译码的方案在低信噪比和高信噪比时都有更好的编码增益。

关键词: DMR; BPTC; 变长 BPTC; 和积算法; 软输入软输出; 迭代译码

中图分类号: TP911.22

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2013)09-0051-03

Research on channel coding and decoding based on DMR communication protocol

Deng Xiao, Pan Xuejun

(Dalian University of Technology, Dalian 116024, China)

Abstract: For better performance of DMR system, this paper focused on the Block Product Turbo Code (BPTC) and variable length BPTC. And it proposed the soft-decision iterative decoding scheme based on the Sum-product algorithm. Simulation results of the soft-decision iterative decoding and Syndrome decoding based on Matlab are analysed, which shows that the soft-decision iterative decoding scheme has better coding gain at both low SNR and high SNR.

Key words: DMR; BPTC; variable BPTC; sum-product algorithm; SISO; iterative detection and decoding

DMR (Digital Mobile Radio) 协议是由欧洲电信标准协会 (ETSI) 推出的数字集群通信协议。在现代通信领域,专网的数字通信系统将逐渐取代过去的模拟通信系统。无线信道易受噪声、干扰和其他信道因素的影响,对数字通信系统的服务质量产生较大的影响。为了保证实时通信业务的服务质量,降低误码率,在数据传输中采用前向纠错编码的方式使其具有一定的纠错能力。DMR 中有两种重要的前向纠错码,即 BPTC (Block Product Turbo Code) 码和变长 BPTC 码,它们分别在语音帧和广播信令中起到非常重要的作用。本文提出了软判决迭代译码方案,其仿真实验结果明显优于参考文献[1]、[2]中提出的两种方案。

1 DMR 信道编解码介绍

1.1 BPTC 码编码过程

控制信令中,未确认和确认的数据都用一个(196, 96) Turbo 乘积码^[3]对信源进行编码,然后分别对矩阵的行和列使用(15, 11, 3)和(13, 9, 3)汉明编码。对编码后

的新矩阵按从左到右再从上到下的顺序编号,一个额外的保留位增添到原有序列中,形成 196 位。最后采用公式(1)进行交织。

$$m = (n \times 181) \bmod 196 \quad (1)$$

其中, m 表示交织后的序列号, n 表示交织前的序列号。 m 决定了传输阵列中的每个位的位置。整个编码过程如图 1 所示。

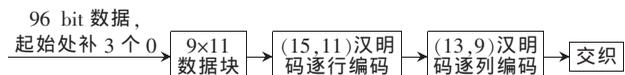


图 1 BPTC 编码的原理

BPTC 解码是编码的逆过程,对接收到的 196 bit 序列先排成 13×15 的矩阵,通过(13, 9)列译码后再通过(15, 11)行译码,最后得出 9×11 的矩阵,去除前 3 bit 后得到译码的 96 bit 序列。

1.2 变长 BPTC 码编码过程

在 DMR 协议中, CACH 信令、嵌入式信令和反向信道采用 3 种方式的变长 BPTC 编码。3 种编码方式十分

类似,本文以 CACH 信令为例对变长 BPTC 编码进行研究。

CACH 信令采用 BPTC 编码,如图 2 所示,每一行采用 (17, 12, 3) 汉明编码,每列采用简单的奇偶校验。图 2 也表明了 CACH 信令的交织过程。信令信息经过汉明行编码和简单列奇偶校验并将校验位填入最后一行中形成编码矩阵形式。把编码矩阵按从上到下从左到右的顺序读出,再按照从左到右的顺序写入传输矩阵中。每一行的长度为 17 位。将矩阵左上编号为序号 1,用从上向下、从左到右的方式递增排序,并排成左上为序号 1,从左向右从上到下的方式序号递增的新序列。

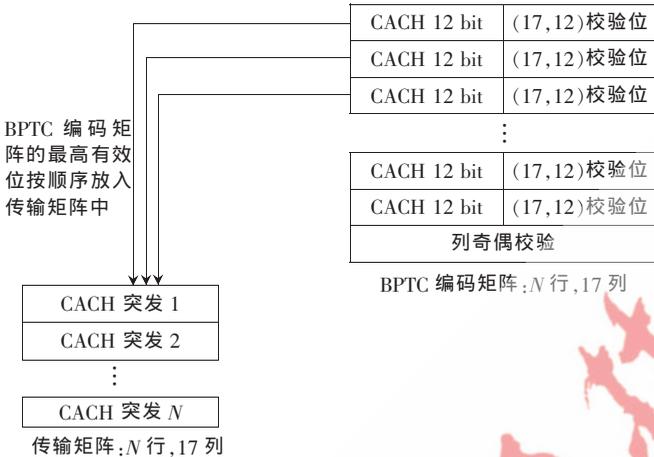


图 2 变长 BPTC 编码

变长 BPTC 码每行采用汉明译码,而每列可以进行奇偶校验,检测译码是否成功。

2 一种基于软输入软输出迭代译码的 BPTC 译码方案

2.1 BPTC 和变长 BPTC 软输入软输出迭代译码

2.1.1 BPTC 迭代译码方案

为了逼近最优译码引入了迭代译码的思想,两个分量译码器采用的是软输入软输出,接收到的序列中每个比特软信息在两个汉明码译码器之间相互交换,迭代更新。BPTC 译码的译码过程如图 3 所示。



图 3 BPTC(196,96)软判决迭代译码方案

2.1.2 变长 BPTC 迭代译码方案

在变长 BPTC 码中,每一列只采用奇偶校验并将校验值放置在最后一行中,奇偶校验只能检错不能纠错。但是在软判决中置信度高的比特会影响置信度低的比特,一个似然值低的错误比特会被多个似然值高的比特影响。采用这种置信度传播的思想,在变长 BPTC 译码中每个比特的软信息在每行的汉明码和每列的奇偶校验中进行迭代不断收敛完成译码,由于奇偶校验也参与到了译码中来,使得译码的性能得到了提高,变长 BPTC 软判决迭代译码方案如图 4 所示。



图 4 变长 BPTC 软判决迭代译码方案

2.2 SISO 译码器

SISO(Soft In Soft Out)译码器比硬输出译码器有更少的信息损失和更高的误码性能。在迭代译码中,一个译码器的软输出能作为另一个译码器的软输入,并且两个译码器对接收序列进行迭代处理,直到达到码的性能界。文中的 BPTC 译码新方案采用在两个 SISO 译码器间相互交换非本征信息完成迭代译码,该译码方案中对汉明码的译码方式采用置信度传播 BP(Belief Propagation)算法,也称和积算法 SPA(Sum-Product Algorithm)^[4]。在置信度传播算法中,节点到节点的消息是通过 Tanner 图传递。

2.2.1 Tanner 图

线性分组码可以采用网格表示,也可以采用 Tanner 图表示^[9]。Tanner 图表示了码元与校验码元的奇偶校验和的关联关系。Tanner 图中有两类节点,一类表示码元比特的顶点称为变量节点,另一类表示奇偶校验和或者约束方程的校验节点。以一个 (7,4) 汉明码为例,其生成矩阵如图 5 所示,Tanner 图如图 6 所示,其中圆形表示变量节点,方形的表示校验节点。可以看出,Tanner 图很清楚地表明了节点间的消息传递的路径。

1	0	0	0	1	0	1
0	1	0	0	1	1	1
0	0	1	0	1	1	0
0	0	0	1	0	1	1

图 5 (7,4)汉明码生成矩阵

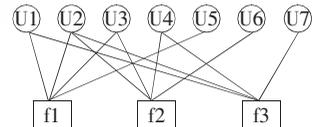


图 6 (7,4)汉明码 Tanner 图

2.2.2 和积算法

由奇偶校验矩阵 H 确定码长为 n 的汉明码, H 由 h_1, h_2, \dots, h_j 共 J 行构成, $h_j=(h_{j,0}, h_{j,1}, \dots, h_{j,n-1})$,对于 $1 \leq j \leq J$,定义如下指标集:

$$B(h_j)=\{l:h_{j,l}=1, 0 \leq l < n\} \quad (2)$$

该指标集称为 h_j 的支撑集。

和积算法译码的实现是基于对边缘后验概率 $P(v_l|y)$ ($0 \leq l < n$) 的计算,其中 y 是软判决接收序列。这样每个码比特的对数似然比可以表示为:

$$L(v_l)=\log \frac{P(v_l=1|y)}{P(v_l=0|y)} \quad (3)$$

分别记 $p_l^0=P(v_l=0)$ 和 $p_l^1=P(v_l=1)$ 为 $v_l=0$ 和 $v_l=1$ 的先验概率。

对于 $0 \leq l < n, 1 \leq j \leq J$ 和每个 $h_j \in A_l$,令 $q_{j,l}^{x,(i)}$ 为在第 i 次迭代中给定基于 $A_l \setminus h_j$ (“\”表示在集合 A_l 且除去 h_j 中的集合)中校验向量计算得到的校验和条件下,发送码比特 v_l 取值为 x 的条件概率。对于 $0 \leq l < n, 1 \leq j \leq J$ 和每个 $h_j \in A_l$,令 $\sigma_{j,l}^{x,(i)}$ 为给定 $v_l=x$ (0 或 1) 和 $B(h_j)$ 中其他码

网络与通信

Network and Communication

比特的可分离的分布 $\{q_{j,l}^{x,(i)}; t \in B(h_j) \setminus l\}$ 的条件下, 校验和 $s_j=0$, 即正确的条件概率^[4]:

$$\sigma_{j,l}^{x,(i)} = \sum_{\{v_t: t \in B(h_j) \setminus l\}} P(s_j=0|v_t-x, \{v_t: t \in B(h_j) \setminus l\}) \cdot \prod_{t \in B(h_j) \setminus l} q_{j,l}^{v_t,(i)} \quad (4)$$

计算得到的 $\sigma_{j,l}^{x,(i)}$ 用来更新 $q_{j,l}^{x,(i+1)}$ 的值, 更新公式如下:

$$q_{j,l}^{x,(i+1)} = \alpha_{j,l}^{(i+1)} p_l \prod_{h_i \in A_i} \sigma_{j,l}^{x,(i)} \quad (5)$$

其中, $\alpha_{j,l}^{(i+1)}$ 的选取满足如下条件: $q_{j,l}^{0,(i+1)} + q_{j,l}^{1,(i+1)} = 1$ 。再根据式(4)计算出 $q_{j,l}^{x,(i+1)}$, 更新 $\sigma_{j,l}^{x,(i+1)}$ 的值。译码过程中, $q_{j,l}^{x,(i)}$ 和 $\sigma_{j,l}^{x,(i)}$ 交替更新。

当迭代到第 i 步时, 伪后验概率为:

$$P^{(i)} = (v_l=x|y) \alpha_l^{(i)} p_l \prod_{h_j \in A_i} \sigma_{j,l}^{x,(i-1)} \quad (6)$$

其中, $\alpha_l^{(i)}$ 的选取要满足条件 $P^{(i)}(v_l=0|y) + P^{(i)}(v_l=1|y) = 1$ 。基于这一组概率, 可以形成如下向量作为译码条件:

$$\mathbf{z}^{(i)} = (z_0^{(i)}, z_1^{(i)}, \dots, z_{n-1}^{(i)})$$

其中

$$z_l^{(i)} = \begin{cases} 1, & \text{对于 } P^{(i)}(v_l=1|y) > 0.5 \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (7)$$

最后计算 $\mathbf{z}^{(i)} \cdot \mathbf{H}^T$, 如果 $\mathbf{z}^{(i)} \cdot \mathbf{H}^T = 0$ 说明校正子全为 0, 译码成功停止迭代, 输出 $\mathbf{z}^{(i)}$ 作为译码的结果。

3 仿真结果及分析

以 BPTC (196, 96) 为例, 数据采用 BPSK 调制经过 AWGN 信道加噪后进行解调和译码, 采用伴随式译码方案和软判决迭代译码方案得出的误码率曲线如图 7 和图 8 所示。由于伴随式译码方案每个汉明码只能纠正一个错误比特, 因此当接收矩阵中其中一列或者一行有多于一个的错误比特, 这种形式的错误就会造成错误的扩散。而软判决迭代译码方案采用的是每个比特置信度传播的方式, SISO 译码器不会对码字立即作出判决。当有一列或者一行中有多个比特错误时, 虽然其中一个译码器不能正确译码, 但是在另一个译码器中这些错误是分布在不同的码字中的, 因此能够正确译码, 这样在行列译码器中反复迭代使得每个比特的概率值逐渐收敛, 最后输出译码结果。由图 7 和图 8 也可以看出采用迭代译码的方案在低信噪比和高信噪比时都有明显的编码增益。

本文对传统的译码方法进行了改进, 提出了利用和积算法并加入迭代译码的新译码方法, 该方法适用于 DMR 系统的 BPTC 和变长 BPTC。该方法具有性能好和架构简单的优点。实验中还发现, 随着 SNR 增加, 迭代次数会相应降低。下一步工作的重点是将本文提出的算法在 DSP 平台上实现, 从运算速度和存储空间上进行进

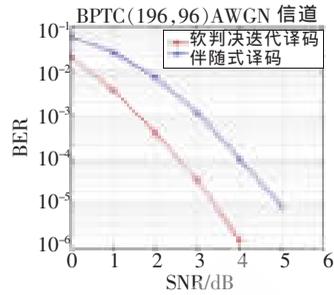


图 7 BPTC 译码性能图

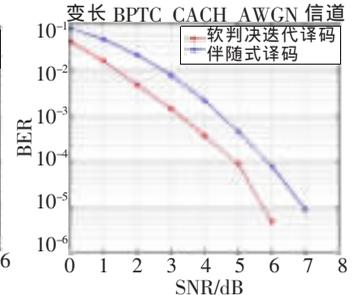


图 8 变长 BPTC 译码性能图

一步的优化改进。

参考文献

- [1] 刘辉, 谢晓明. 基于 DMR 通信协议的信道编码的研究[J]. 现代电子技术, 2009, 23(9): 37-39.
- [2] 代敏. DMR 系统的信道编码研究[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2008.
- [3] PYNDIAH R M. Near-optimum decoding of product codes: block turbo codes[J]. IEEE Transactions on Communications, 1998, 46(8): 1003-1010.
- [4] KSCHISCHANG F B, FREY B J, LOELIGER H-A. Factor graphs and the Sum-product algorithm[J]. IEEE Transactions on Information Theory, 2001, 47(2): 498-519.
- [5] TANNER R M. A recursive approach to low complexity codes [J]. IEEE Transactions on Information Theory, 1981, 27(5): 533-547.
- [6] MACKAY D J C. Good error-correcting codes based on very sparse matrices [J]. IEEE Transactions on Information Theory, 1999, 45(2): 399-431.

(收稿日期: 2013-01-05)

作者简介:

邓晓, 女, 1987 年生, 硕士研究生, 主要研究方向: 集群通信基带算法。

潘学军, 男, 1966 年生, 博士, 副教授, 主要研究方向: 自适应控制、优化与控制, 先进控制技术应用。