

基于大数逻辑可译 LDPC 码的译码算法研究

陈海强^{1,2,3}, 罗灵山¹, 孙友明¹, 黎相成¹, 李道丰¹, 覃团发^{1,2,3}

(1. 广西大学计算机与电子信息学院, 广西南宁 530004;

2. 广西大学广西多媒体通信与网络技术重点实验室培育基地, 广西南宁 530004;

3. 广西大学广西高校多媒体通信与信息处理重点实验室, 广西南宁 530004)

摘要: 本文提出两种基于可靠度的迭代大数逻辑译码算法, 从以下两个方面降低译码复杂度: (1) 校验节点使用伴随式信息处理, 可节省外信息的计算操作; (2) 变量节点使用伴随信息进行总信息的投票计数过程. 结合非均匀量化技术, 接收信号在判决门限附近获得更加精细的处理. 此外, 本文利用量化参数和列重比例信息对可靠度偏移方向和幅度进行了设计. 仿真实验表明, 本文提出的算法能够在很低的量化比特(3~4 bits)下有效工作, 具有优良的译码性能和快速的收敛速度.

关键词: LDPC 码; 迭代译码; 大数逻辑; 非均匀量化

中图分类号: TN911.22 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2015)06-1169-05

电子学报 URL: <http://www.ejournal.org.cn>

DOI: 10.3969/j.issn.0372-2112.2015.06.019

Decoding Algorithms for Majority-Logic Decodable LDPC Codes

CHEN Hai-qiang^{1,2,3}, LUO Ling-shan¹, SUN You-ming¹, LI Xiang-cheng¹, LI Dao-feng¹, QIN Tuan-fa^{1,2,3}

(1. School of Computer, Electronics and Information, Guangxi University, Nanning, Guangxi 530004, China;

2. Guangxi Key Laboratory of Multimedia Communications and Network Technology, Guangxi University Cultivating Base, Guangxi University, Nanning, Guangxi 530004, China;

3. Guangxi Colleges and Universities Key Laboratory of Multimedia Communications and Information Processing, Guangxi University, Nanning, Guangxi 530004, China)

Abstract: In this paper, we present two iterative reliability-based majority-logic decoding algorithms. The proposed algorithm has a lower complexity due to the following two modifications. First, at check nodes, syndrome messages instead of extrinsic messages are calculated and passed back to variable nodes. Second, at the variable nodes, the syndrome messages are directly involved in the voting process. The non-uniform quantization scheme and a new iterative process of reliability-message shifting are also presented in this paper. The received signal achieve a higher quantization resolution near the decision threshold. The shifting direction/step are jointly designed with the quantization parameter and the column weights. Simulation results show that, the presented algorithms can achieve excellent BER performance and fast decoding speed, even with very small quantization levels (3~4 bits resolution).

Key words: LDPC code; iterative decoding; majority-logic; non-uniform quantization

1 引言

经典基于可靠度的译码算法包括加权一步大数逻辑(WOSMLGD)译码, 加权比特翻转算法(WBF)以及它们的改进版本等^[1~3]. 这一类译码算法使用了有别于概率形式的可靠度信息, 在此基础上引入适当的迭代策略可以进一步提高译码性能. 相关的工作包括 Huang 等人提出的基于可靠度的迭代大数逻辑译码算法(RBI-MLGD)^[4]以及基于可靠度的加权迭代大数逻辑译码算法

(WISRB-MLGD)^[5]等. Ngatched 等人通过校验节点信息加权, 对 RBI-MLGD 算法进行了改进^[6], 但获得的性能提升不明显. 文献[7]中, Chen 等人利用离散密度进化^[8]以及系数修正技术, 提出 MRBI-MLGD 译码算法. 该算法能够在稍微增加译码复杂度的基础上, 获得更好的译码性能和更快的译码收敛速度. Zhang 和 Chen 等人在文献[9]中提出, 译码过程只处理部分“活”状态的校验节点, 可进一步降低译码复杂度. 本文针对有限域和有限几何构造的大数逻辑可译 LDPC 码^[1,10,11], 提出两种

基于可靠度的迭代译码算法,与现有的几种基于可靠度的译码算法相比,本文提出的算法能够在较低量化比特下,获得优良的译码性能和快速的译码收敛速度.

2 系统模型

假设信息序列为 $\underline{u} = (u_0, u_1, \dots, u_{k-1}) \in F_2^k$, 编码码字为 $\underline{c} = (c_0, c_1, \dots, c_{n-1}) \in F_2^n$. 码字 \underline{c} 经调制后得到实数信号 $\underline{x} = (x_0, x_1, \dots, x_{n-1})$, 其中 $x_j = 1 - 2c_j$ (BPSK 映射). 信号 \underline{x} 通过加性高斯白噪声信道 (AWGNC) 传输, 接收信号 $\underline{y} = (y_0, y_1, \dots, y_{n-1})$, 其中 $y_i = x_i + n_i$, $n_i \sim N(0, \sigma^2)$ 是高斯白噪声的一个实现. \underline{y} 经量化处理后, 得到整数可靠度信息 $\underline{q} = (q_0, q_1, \dots, q_{n-1})$.

3 译码信息

3.1 伴随式信息

$\underline{z} = (z_0, z_1, \dots, z_{n-1})$ 表示硬判决信息: 如果 $q_j \geq 0$, 则 $z_j = 0$; $q_j < 0$, 则 $z_j = 1$. 与 \underline{z} 相对应的是伴随式信息 $\underline{s} = \underline{H}^T \underline{z} = (s_0, s_1, \dots, s_{m-1})$, 其中第 i ($0 \leq i \leq m-1$) 个伴随式计算如下

$$s_i = \sum_{0 \leq j \leq n-1} \oplus z_j h_{i,j} = \sum_{j \in N_i} \oplus z_j \quad (1)$$

记号 \oplus 表示模 2 加运算.

3.2 外信息

定义第 i 个校验节点传递给第 j 个变量节点的外信息如下

$$\sigma_{i,j} = \sum_{j' \in N_i \setminus j} \oplus z_{j'} h_{i,j'} = \sum_{j' \in N_i \setminus j} \oplus z_{j'} \quad (2)$$

其中, $0 \leq i \leq m-1$, $0 \leq j \leq n-1$. 对第 j 个变量节点定义其总外信息如下

$$\xi_j = \sum_{i \in M_j} (1 - 2\sigma_{i,j}) \quad (3)$$

其中, $0 \leq j \leq n-1$. 该总外信息是所有相邻校验节点传输过来的外信息总和 (投票计数).

4 量化方案与译码算法

4.1 非均匀量化

本文使用非均匀的量化策略对实数信道信息进行量化处理^[12]. 对于接收值 y_j , 对应的 b 比特非均匀量化函数定义如下

$$q_j = \begin{cases} \text{sgn}(y_j)(2^b - 1), & |y_j| \geq r^0 \\ \text{sgn}(y_j)(2^b - 1 - p), & r^{p+1} \leq |y_j| < r^p \\ \text{sgn}(y_j)(2^b - 1), & 0 \leq |y_j| \geq r^{2^b - 2} \end{cases} \quad (4)$$

其中 $0 \leq j \leq n-1$, p 为整数且 $0 \leq p \leq 2^b - 3$, 参数 $0 < r < 1$ 跟量化解析度相关, 可用仿真的方法预先设定. 需要指出, 译码性能对参数 r 较为敏感, 在实际实现中, 对硬件精度具有一定的要求.

4.2 基于伴随式信息的迭代大数逻辑算法

本文提出的算法直接使用伴随式信息在校验点和变量点之间进行信息的传递和处理:

(1) 校验节点处理: 假设第 k 次迭代的硬判决信息为 $\underline{z}^{(k)} = (z_0^{(k)}, z_1^{(k)}, \dots, z_{n-1}^{(k)})$, 则从校验节点 i 传递到与其相邻变量节点的信息为

$$s_i^{(k)} = \sum_{j \in N_i} \oplus z_j^{(k)} \quad (5)$$

其中 $0 \leq i \leq m-1$.

(2) 变量节点处理: 在第 k 次迭代, 变量节点 j 收集来自与其相邻的校验节点信息如下

$$\eta_j^{(k)} = \sum_{i \in M_j} (1 - 2s_i^{(k)}) \quad (6)$$

结合当前迭代的可靠度信息符号, 上式可写成

$$\tilde{\eta}_j^{(k)} = \text{sgn}(R_j^{(k)}) \sum_{i \in M_j} (1 - 2s_i^{(k)}) \quad (7)$$

其中 $0 \leq j \leq n-1$, $\tilde{\eta}_j^{(k)}$ 的作用相当于式 (3) 的总外信息, 用于对当前的译码可靠度信息进行迭代修正. 记第 j 个变量点的可靠度信息为 $R_j^{(k)}$, 则变量节点的迭代规则为

$$R_j^{(k+1)} = R_j^{(k)} + \tilde{\eta}_j^{(k)} = R_j^{(k)} + \text{sgn}(R_j^{(k)}) \sum_{i \in M_j} (1 - 2s_i^{(k)}) \quad (8)$$

与 (M)RBI-MLGD 算法不一样, 这里的校验节点和变量点的处理只涉及伴随式信息. 我们指出几点: (1) 当与第 j 个硬判决信息 $z_j^{(k)}$ 相互正交的伴随式信息 $s_i^{(k)}$ 正确 ($s_i^{(k)} = 0, i \in M_j$) 的个数占多数时, 变量节点 j 收集到的总信息 $\eta_j^{(k)}$ 是一个处于 $(0, +\gamma]$ 的正整数, 则对当前可靠度 $R_j^{(k)}$ 的修正方向正好与当前可靠度信息方向 $\text{sgn}(R_j^{(k)})$ 保持一致 (正叠加); (2) 当与第 j 个硬判决信息 $z_j^{(k)}$ 相互正交的伴随式信息 $s_i^{(k)}$ 错误 ($s_i^{(k)} = 1, i \in M_j$) 的个数占少数时, 变量节点 j 收集到的总信息 $\eta_j^{(k)}$ 是一个处于 $[-\gamma, 0)$ 的负整数, 则对当前可靠度 $R_j^{(k)}$ 的修正方向正好与当前可靠度信息方向 $\text{sgn}(R_j^{(k)})$ 相反 (负叠加); (3) 如果 $\eta_j^{(k)} = 0$, 则当前可靠度信息保持不变. 基于上述信息处理的算法简称为译码算法 1, 描述如下.

算法 1 基于伴随式信息的迭代大数逻辑译码算法

输入: 接收值 \underline{y} , 参数 b , 参数 r 以及最大迭代次数 I_{\max} ;

初始化: 将接收信号 \underline{y} 按非均匀量化为整数信息可靠度 \underline{q} , 设置循环迭

代次数变量 $k = 0$, 初始化可靠度信息 $R_j^{(0)} = q_j, 0 \leq j \leq n-1$;

译码迭代: 当 $k < I_{\max}$ 时, 执行以下步骤

步骤 1: 计算硬判决序列 $\underline{z}^{(k)} = (z_0^{(k)}, z_1^{(k)}, \dots, z_{n-1}^{(k)})$;

步骤 2: 计算 $\underline{s}^{(k)}$, 如果 $\underline{s}^{(k)} = \underline{0}$, 退出迭代;

步骤 3: 对 $0 \leq j \leq n-1$, 计算信息 $\tilde{\eta}_j^{(k)}$;

步骤 4: 对 $0 \leq j \leq n-1$, 更新信息, 得到 $R_j^{(k+1)}$;

步骤 5: 令 k 步进一个单位;

输出: 迭代过程结束, 最终译码输出为 $\underline{z}^{(k)}$.

4.3 基于列重比例信息的迭代大数逻辑算法

算法 1 具有较低的译码复杂度, 其译码性能与 RBI-MLGD 相当; 但与传统的 SPA 相比, 仍存在不小差距, 其原因主要是: (1) 每个校验方程的加权值都相同 (即 $1 - 2s_i^{(k)}$), 在任何情况下对当前可靠度的修正幅度都只有 1 个单位, 这里有待优化; (2) 迭代过程中使用了最近一次的迭代信息 $R_j^{(k)}$ 作为当前可靠度基准, 这种迭代策略会使算法可能发生“溢出”的情况. 本节在算法 1 的基础上, 提出一种联合量化参数以及列重比例信息的迭代大数逻辑译码算法. 在校验节点, 算法的信息处理规则仍然保持不变; 在变量节点, 我们设计了一种新的信息更新和迭代策略.

总信息仍然使用基于伴随式信息的形式, 为了便于区别, 我们用 $E_j^{(k)}$ 表示, 即

$$E_j^{(k)} = \sum_{i \in M_j} (1 - 2s_i^{(k)}) \quad (9)$$

其中 $0 \leq j \leq n - 1$. 引入量化参数以及列重信息对上式进行如下修正

$$\tilde{E}_j^{(k)} = \text{sgn}(R_j^{(k)}) \left[\frac{E_j^{(k)}}{\gamma_j} (2^{b+1} - 2) \right] \quad (10)$$

其中 $0 \leq j \leq n - 1$, b 为量化比特数, γ_j 为第 j 个变量节点的列重, 记号 $[x]$ 返回距离 x 最近的整数.

变量节点使用如下的更新策略

$$\begin{aligned} R_j^{(k+1)} &= R_j^{(0)} + \tilde{E}_j^{(k)} \\ &= R_j^{(0)} + \text{sgn}(R_j^{(k)}) \left[\frac{(2^{b+1} - 2)}{\gamma_j} \sum_{i \in M_j} (1 - 2s_i^{(k)}) \right] \end{aligned} \quad (11)$$

其中 $0 \leq j \leq n - 1$, $R_j^{(0)} = q_j^{(0)}$ 是信道的初始量化信息.

上述迭代策略的合理性解释如下: 式(11)的右半部分可看作是对当前可靠度信息 $R_j^{(0)}$ 的迭代修正过程. 由于 $R_j^{(0)}$ 是经量化处理后的信息, 则对其修正的步进幅度应当与具体的量化方案相关联. 实际上, 式(9)的 $E_j^{(k)}$ 是一个指示与变量节点 j 相关的校验方程正确与错误之间的差值参量. 特别地, 当 $E_j^{(k)}$ 值为正时, 说明当前正确的校验方程占大多数, 则可靠度的修正方向即可确定 (与当前可靠度方向 $\text{sgn}(R_j^{(k)})$ 一致), 而修正的步进幅度应正比于差值参量与当前列重的比例系数 $\frac{E_j^{(k)}}{\gamma_j} \in [-1, +1]$. 考虑一个极端情况, 假设比例系数的

绝对值 $|\frac{E_j^{(k)}}{\gamma_j}| = 1$, 则当前与变量节点 j 相关的校验方程 100% 正确 (或错误), 此时应使用最大的修正步进幅度, 其跨度设计为量化区间 $[-(2^b - 1), +(2^b - 1)]$ 的

长度, 即 $(2^{b+1} - 2)$.

基于上述信息处理的算法简称为译码算法 2, 描述如下:

算法 2 基于列重比例信息修正的迭代大数逻辑译码算法

输入: 接收值 \underline{y} , 参数 b , 参数 r 以及最大迭代次数 I_{\max} ;

初始化: 将接收信号 \underline{y} 非均匀量化为整数信息可靠度 q , 设置循环迭代次数变量 $k = 0$, 初始化可靠度信息 $R_j^{(0)} = q_j, 0 \leq j \leq n - 1$;

译码迭代: 当 $k < I_{\max}$ 时, 执行以下步骤

步骤 1: 计算硬判决序列;

步骤 2: 计算 $\underline{z}^{(k)}$, 如果 $\underline{z}^{(k)} = 0$, 退出迭代;

步骤 3: 对 $0 \leq j \leq n - 1$, 计算 $E_j^{(k)}$;

步骤 4: 对 $0 \leq j \leq n - 1$, 修正总信息得到 $\tilde{E}_j^{(k)}$;

步骤 5: 对 $0 \leq j \leq n - 1$, 更新信息, 得到 $R_j^{(k+1)}$;

步骤 6: 令 k 步进一个单位;

输出: 迭代过程结束, 最终译码输出为 $\underline{z}^{(k)}$.

5 性能和复杂度分析

5.1 译码复杂度

计算译码算法 1 的硬判决信息需 n 次逻辑运算; 计算 m 个伴随式信息需 $m(\rho - 1)$ 次逻辑运算; 计算 n 个变量节点的 $\tilde{\gamma}_j^{(k)}$ 计算共需 $n(\gamma - 1)$ 次整数加法运算和 n 次逻辑运算; 计算 n 个变量节点的信息可靠度更新需 n 次整数加法运算. 基于此, 算法 1 每次迭代产生的总运算量为 $n\gamma + 2n - m$ 次逻辑运算以及 $n\gamma$ 次整数加法运算. 译码算法 2 使用了系数对总信息 $E_j^{(k)}$ 进行修正, 增加了 n 次实数乘法, 其译码复杂度略有增加.

表 1 给出了本文提出的两种算法一次迭代产生的计算量. 为了便于比较, 表中同时给出 RBI-MLGD 算法, MRBI-MLGD 算法和 SPA 译码算法的复杂度. 由表 1 可见, 算法 1 的译码复杂度最低, 与 RBI-MLGD 算法相比, 每次迭代节省的运算量为 $m\rho - n = n(\gamma - 1)$ 次逻辑操作, 对于行长/列重较大的中长码而言, 是具有一定优势的. 算法 2 的复杂度略有增加, 但比 MRBI-MLGD 算法低.

表 1 译码算法一次迭代的计算复杂度比较

算法名称	每次迭代的计算量			
	逻辑操作	整数加法	实数乘法	对数运算
译码算法 1	$n\gamma + 2n - m$	$n\gamma$		
译码算法 2	$n\gamma + 2n - m$	$n\gamma$	n	
RBI-MLGD	$2n\gamma + n - m$	$n\gamma$		
MRBI-MLGD	$2n\gamma + n - m$	$n\gamma$	n	
SPA			$6n\gamma$	n

5.2 译码性能

实验 1 考虑文献[11]的(961, 721)规则准循环 LDPC 码. 参数设置: (1) 对算法 1, $b = 6$ 比特时, 参数 r

= 0.978; (2) 对算法 2, $b = 4$ 比特时, 参数 $r = 0.88$; (3) 对算法 2, $b = 3$ 比特时, 参数 $r = 0.83$. 译码算法的最大迭代次数都设为 30 次. 译码性能如图 1 所示, 由图可见: ① 6-bit 的算法 1 性能略好于 8-bit 的 RBI-MLGD; ② 3-bit 的算法 2 性能与 6-bit 的算法 1 相当, 略好于 8-bit 的 RBI-MLGD; ③ 4-bit 的算法 2 性能优于 8-bit 的 RBI-MLGD (BER = 10^{-4} 时, 约有 0.3dB 增益); 与 8-bit 的 MRBI-MLGD 相当.

图 2 给出了译码收敛速度, 由图可以看出, 6-bit 的算法 1 具有比 8-bit 的 RBI-MLGD 更快的译码速度; 3-bit 的算法 2 的收敛速度快于 8-bit 的 RBI-MLGD 和 6-bit 的译码算法 1; 而在 4-bit 时即可获得与 8-bit 的 MRBI-MLGD 相当的译码速度.

实验 2 考虑文献 [1] 的 (4095, 3367) 规则循环 LDPC 码, 参数设置: (1) 对算法 1, $b = 6$ 比特时, 参数 $r =$

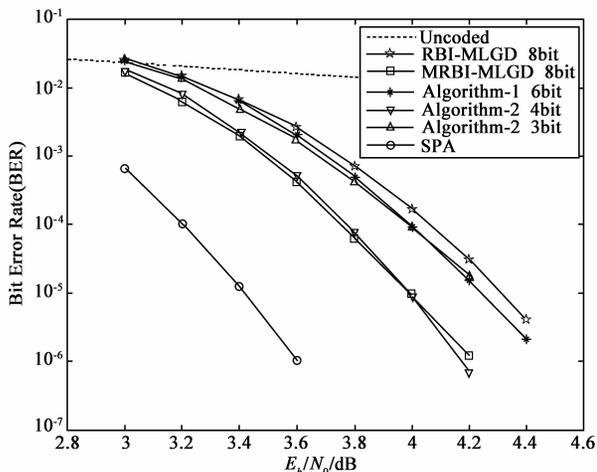


图1 (961,721)准循环LDPC码译码性能

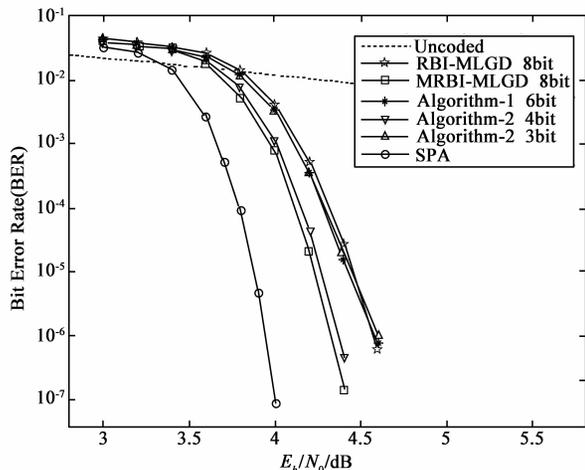


图3 (4095,3367)循环LDPC码译码性能

0.967; (2) 对算法 2, $b = 4$ 比特时, 参数 $r = 0.88$; (3) 对算法 2, $b = 3$ 比特时, 参数 $r = 0.79$. 译码算法的最大迭代次数为 30. 译码性能如图 3 所示, 由图可以看出: ① 6-bit 的算法 1 性能与 8-bit 的 RBI-MLGD 相当; ② 3-bit 的算法 2 的性能与 8-bit 的 RBI-MLGD 相当; ③ 4-bit 的译码算法 2, 其译码性能与 8-bit 的 MRBI-MLGD 非常接近 (0.1dB 以内); 与 8-bit 的 RBI-MLGD 相比, 在 BER = 10^{-4} 时, 可获得约 0.5dB 的译码增益.

图 4 是译码收敛速度, 由图可见: 对译码算法 2, 在 4-bit 量化时, 其收敛速度与 8-bit 的 MRBI-MLGD 非常接近; 在 3-bit 量化时, 其收敛速度与 8-bit 的 RBI-MLGD 接近. 此外, 6-bit 的译码算法 1, 其译码收敛速度与 8-bit 的 RBI-MLGD 相当.

此外, 仿真实验表明, 论文所提出的算法对于中短码长的有限几何 LDPC 码同样有效.

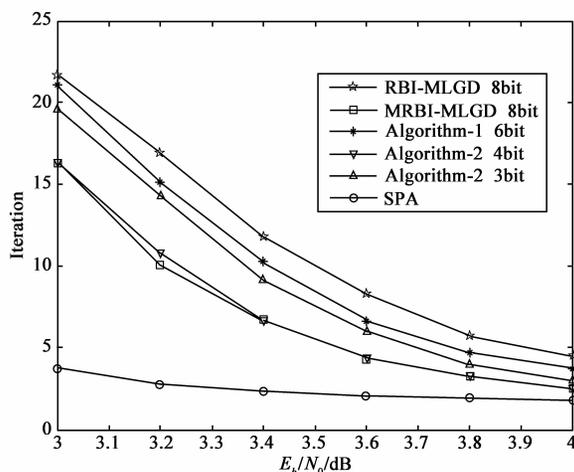


图2 (961,721)准循环LDPC码译码速度

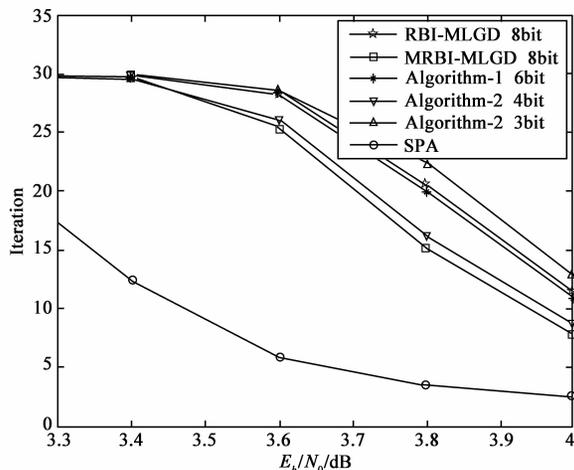


图4 (4095,3367)循环LDPC码译码速度

6 结论

本文针对行重/列重较大的结构性大数逻辑可译

LDPC 码, 基于非均匀量化、伴随式信息以及列重比例信息等提出两种基于可靠性的迭代大数逻辑译码算法. 算法在迭代过程中直接使用伴随式信息, 不需要进行

外信息计算,具有更低的译码复杂度.仿真实验表明,与现有的几种基于可靠度的译码算法相比,本文提出的算法能够在较低的量化比特(3~4 bits)下工作,并且具有优良的译码性能和快速的译码收敛速度.最后指出,我们在设计译码迭代策略时,考虑了每个变量节点的列重信息,这对于列重不同的非规则 LDPC 是有意义的,具体获得的译码增益有待在未来工作中进一步扩展研究.

参考文献

- [1] Kou Y, Lin S, Fossorier M P C. Low-density parity-check codes based on finite geometries: A discovery and new results [J]. IEEE Transactions on Information Theory, 2001, 47(2): 2711 – 2736.
- [2] Zhang J, Fossorier M P C. A modified weighted bit-flipping decoding for low-density parity-check codes[J]. IEEE Communications Letters, 2004, 8(3): 165 – 167.
- [3] Miladinovic N, Fossorier M P C. Improved bit-flipping decoding of low-density parity-check codes[J]. IEEE Transactions on Communications, 2005, 51(4): 1594 – 1606.
- [4] Huang Q, Kang J Y, Zhang L, et al. Two reliability-based iterative majority-logic decoding algorithms for LDPC codes[J]. IEEE Transactions on Communications, 2009, 57(12): 3597 – 3606.
- [5] Chen C Y, Huang Q, Kang J Y, et al. A binary message-passing decoding algorithm for LDPC codes[A]. Proceedings of 47th Annual Allerton Conference [C]. Illinois: SIAM, 2009. 424 – 430.
- [6] Ngatched T M N, et al. An improvement on the soft reliability-based iterative majority-logic decoding algorithm for LDPC codes[A]. Proceedings of 2010 IEEE Global Telecommunications Conference [C]. Miami: IEEE, 2010. 1 – 5.
- [7] Chen H, Zhang K, Ma X, Bai B. Comparisons between reliability-based iterative min-sum and majority-logic decoding algorithms for LDPC codes[J]. IEEE Transactions on Communications, 2011, 59(7): 1766 – 1771.
- [8] Richardson T J, Urbanke R L. The capacity of low-density parity check codes under message-passing decoding [J]. IEEE Transactions on Information Theory, 2001, 47(2): 599 – 618.
- [9] Zhang K, Chen H, Ma X. Adaptive decoding algorithms for LDPC codes with redundant check nodes[A]. Proceedings of IEEE Int Symp Information Theory (ISIT) [C]. Gothenburg: IEEE, 2012. 175 – 179.

- [10] Tang H, Xu J, Lin S, et al. Codes on finite geometries[J]. IEEE Transactions on Information Theory, 2005, 51(2): 572 – 596.
- [11] Lan L, Zeng L Q, Tai Y, et al. Construction of quasi-cyclic LDPC codes for AWGN and binary erasure channels: A finite field approach[J]. IEEE Transactions on Information Theory, 2007, 53(7): 2429 – 2458.
- [12] Chen H, Ling L, et al. The modified reliability-based iterative majority-logic decoding algorithm with non-uniform quantization[A]. Proceedings of the 8th International Conference on Communications and Networking in China [C]. Guilin: IEEE, 2013. 882 – 885.

作者简介



陈海强 男,1976年6月出生于广西苍梧.2011年获中山大学博士学位,广西大学计算机与电子信息学院副教授、硕士生导师,主要研究方向为编译码理论与 Relay 系统等.
E-mail: haiqiang@gxu.edu.cn



罗灵山 男,1989年出生于广西灵山,广西大学硕士研究生,主要研究方向为信道编码技术等.



覃团发(通信作者) 男,1966年7月出生于广西宾阳.1997年获南京大学博士学位,广西大学计算机与电子信息学院副院长、教授、博士生导师,主要研究方向为多媒体通信、无线传感器网络等.