

基于半随机矩阵的 LDPC 编码器的 Verilog HDL 设计

尹晓琦^{1,2}, 殷奎喜¹, 赵 华¹, 柯 伟¹

(1. 南京师范大学 物理科学与技术学院, 江苏 南京 210097;

2. 淮阴工学院 电子信息工程系, 江苏 淮安 223001)

[摘要] 低密度奇偶校验码(Low-Density-Parity-Checkcodes, LDPC 码)是第四代通信系统强有力的竞争者,是一种逼近香农限的线性分组码,译码的复杂度较低;其直接编码运算量较大,通常具有码长的二次方复杂度。介绍了如何构造线性的编码,以降低 LDPC 码的编码复杂度;研究并设计了用大规模集成电路去实现一个 LDPC 码的编码。以(6,2,3)码为例,采用基于半随机校验矩阵的编码方法,以控制编码运算量为线性复杂度,并在 QuartusII5.0 软件平台上采用基于 CPLD 的 VerilogHDL 语言编程仿真实现了编码的过程,给出了编码的结构图和仿真波形,为 LDPC 码的硬件实现和实际应用提供了依据。

[关键词] LDPC 码,半随机校验矩阵,QuartusII5.0,VerilogHDL

[中图分类号] TN911.22 **[文献标识码]** B **[文章编号]** 1672-1292(2006)02-0034-04

Design of Encoder for Low Density Parity Check Codes in Verilog HDL based on Half Random Matrix

YIN Xiaoqi^{1,2}, YIN Kuixi¹, ZHAO Hua¹, KE Wei¹

(1. School of Physical Science and Technology, Nanjing Normal University, Nanjing 210097, China;

2. Department of Electronics and Information Engineering, Huaiyin Institute of Technology, Huai'an 223001, China)

Abstract: As a powerful competitor in the 4th generation of mobile communication system, Low-Density-Parity-Check-Codes is a kind of linear group codes which can be near the Shannon limit, the complexity of decoding is low, but the amount of operations about directly encoding Low Density Parity Check Codes(LDPC) is large, the complexity of encoding is the square of the length of codeword. In order to simplify the encoding operation, how to structure linear code is introduced, and how to realize the encoding device is studied by using large integrate circuit. This article takes the code (6,2,3) as an example, uses encoding method on half random parity check matrix so as to control the amount of operations to be linear, and we have designed the effective coding algorithm based on CPLD in VHDL language by QuartusII5.0 software and presented their simulating waveforms. It can be supplied to the realizing of hardware and applicated to practice.

Key words: LDPC codes, half random parity check matrix, QuartusII5.0, VerilogHDL

LDPC 码具有逼近香农限^[1]的优异性能,是当前通信领域和数据处理方面的热门研究课题之一,将在移动通信、卫星通信、多源数据通信等方面具有研究价值和广泛应用前景^[2]。LDPC 码已成为第四代通信系统(4G)强有力的竞争者。目前已有许多系统采用 LDPC 码,基于 LDPC 码的编码方案已经被下一代卫星数字视频广播标准 DVB-S2 采纳。

LDPC 码具有优秀的译码性能,迭代的概率译码算法^[3]使得 LDPC 码可以达到接近香农限的性能,但在编码的时候却要复杂的多。本文介绍了如何构造线性的编码,以简化 LDPC 码的编码运算量,并研究和设计了用大规模集成电路去实现一个 LDPC 码的编码。以(6,2,3)码为例,采用基于半随机校验矩阵的编

收稿日期: 2005-09-28.

基金项目: 地理信息科学江苏省重点实验室开放基金资助项目(JK20050304)。

作者简介: 尹晓琦(1975-),女,硕士研究生,讲师,主要从事通信中的信道编码技术的学习与研究。E-mail: cheeryin@163.com

通讯联系人: 殷奎喜(1949-),教授,博士生导师,主要从事移动通信、码分多址技术的教学与研究。E-mail: yinkuixi@njnu.edu.cn

码方法,以控制编码复杂度为线性范围,在 QuartusII 软件平台上采用 Verilog HDL^[4]编程仿真实现了编码过程,给出了编码的仿真波形.为 LDPC 码的硬件实现和实际应用提供了依据.

1 直接编码的算法

假定 LDPC 码的校验矩阵 $H_{M \times N}$ 的所有行都是线性无关的,矩阵行的线性无关性由其生成算法保证,如果行不是线性无关的,那么矩阵的生成算法应该能够检测到行相关性并重新运行直至生成一满足行线性无关的校验矩阵,或者也可消去矩阵 $H_{M \times N}$ 中的冗余行.假定相应的码字 V ,则满足下式:

$$H_{M \times N} V^T = 0 \quad (1)$$

编码步骤:

(1) 将 $H_{M \times N}$ 通过高斯消去法化成等价的下三角形式,如图 1 所示,获得生成矩阵 $G_{M \times N}$;

(2) 编码前的信息序列 $S = \{s_1, s_2, \dots, s_{N-M}\}$,直接作为 LDPC 码码字的 $N-M$ 个信息位输出到信道,即:

$$v_i = s_i, i = 1, 2, \dots, (N-M) \quad (2)$$

(3) 根据(1)中产生的 $G_{M \times N}$ 矩阵和(2)中获得的 $N-M$ 个信息比特,可以依次递推出后面的 M 个校验比特:

$$v_i \oplus \sum_{j=1}^{i-1} v_j g_{ij} = 0, i = (N-M+1), \dots, N \quad (3)$$

在该编码算法,首先在对校验矩阵 $H_{M \times N}$ 作高斯消去的时候,就需要 $O(N^3)$ 的运算量作预处理.经过高斯消去而获得的矩阵 $G_{M \times N}$,通常已不再具有稀疏的特性,故按照递推方式获得校验位的时候,编码运算量约是 $O(N^2)$,编码所需要的精确的异或操作数,可通过下式计算:

$$F = \sum_{i=N-M}^N i = \frac{2N-M}{2}M = \frac{1-r^2}{2}N^2 \quad (4)$$

由式(4)可以看出,LDPC 码编码器的直接实现具有码长的二次方复杂度.

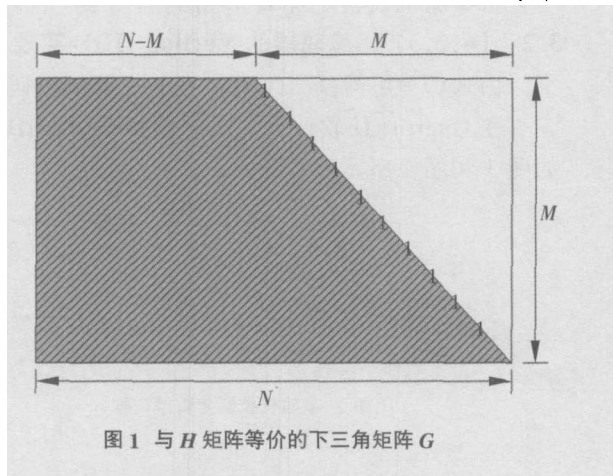


图 1 与 H 矩阵等价的下三角矩阵 G

2 构造半随机校验矩阵的编码方法

编码步骤:

定义校验矩阵 $H = [H_1 H_2]$, H_1 是 $(n-k) \times k$ 阶矩阵, H_2 是 $(n-k) \times (n-k)$ 阶矩阵;设计码字时,令 H_2 矩阵具有如下的形式:

$$H_2 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & \dots \\ 0 & 0 & 1 & \ddots & 0 \\ \dots & \ddots & \ddots & \ddots & 1 \\ 0 & \dots & \dots & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

将生成的码字 v 分成两部分 $[s, p]$, s 代表信息比特, p 代表生成的校验比特.考虑 $G = [I, P]$,由 $GH^T = 0$,可以得到:

$$IH_1^T + PH_2^T = 0 \quad (6)$$

所以,

$$P = -H_1^T (H_2^T)^{-1} \quad (7)$$

由于矩阵 P 为稀疏矩阵,其编码运算量为 $O(N)$,为码长的线性复杂度.这种编码算法的缺点在于, H_2 矩阵存在列重为 1 的列,这对迭代译码过程不利,会产生误码平台,可以通过改变这一列重的方法来优化,降低误码平台.

3 基于半随机校验矩阵 LDPC 编码器的 Verilog HDL 设计

3.1 基于半随机校验矩阵的(6,2,3)码的编码

构造(6,2,3)码的半随机校验矩阵如下:

$$H = [H_1 H_2] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (8)$$

其中,

$$H_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad H_2 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (9)$$

令码字 $v = (s, p)$, 其中 s 为编码的系统比特部分, p 为编码的校验比特部分. 利用式(8)的矩阵, 可以通过式(7)递推出校验比特, 假设待编码的信息比特 $s = \{1, 0\}$, 得到编码码字为:

$$v = \{1, 0, 0, 1, 1, 0\} \quad (10)$$

将半随机校验矩阵 H 和得到的码字 v 代入方程 $H_{M \times N} V^T = 0$ 检验, 显然方程满足.

3.2 (6,2,3)码编码器的 Verilog HDL 实现

由式(7)可得基于半随机校验矩阵的编码结构图, 如图2所示.

在 Quartus II 软件平台上, 采用 Verlog HDL 语言编程实现(6,2,3)码的编码器, 符号和仿真波形分别如图3和图4所示.

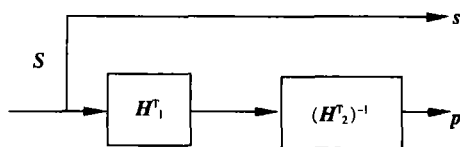


图2 半随机校验矩阵编码框

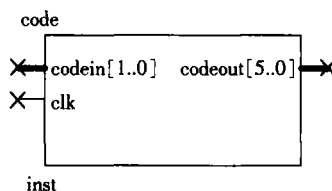


图3 (6,2,3)码编码器的符号

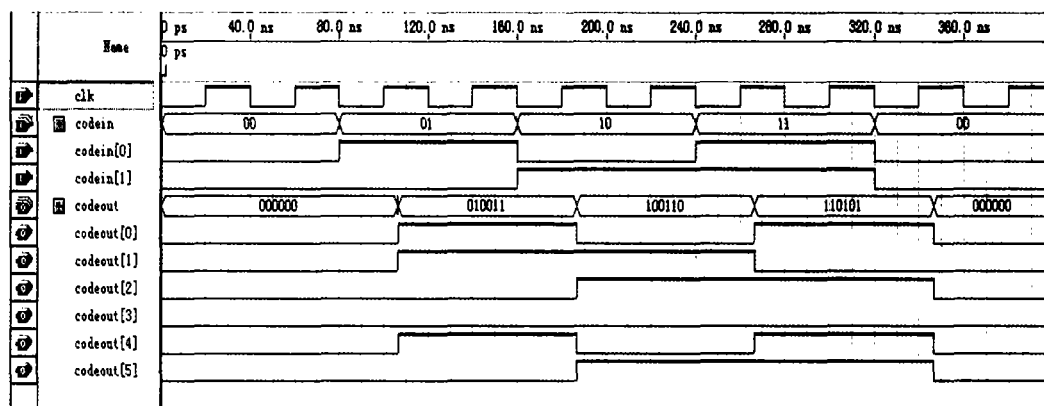


图4 (6,2,3)码的有效编码仿真波形

其中, clk 为时钟信号, 此处为时钟脉冲的上升沿触发; $codein$ 表示编码器输入的2位信息比特; $codeout$ 表示编码器输出的6位的码字, 前2位是信息位, 后4位是校验位.

由图4可以看出, 输出信号比输入信号滞后约 $\frac{3}{4}$ 个时钟周期, 为编码过程中的延时.

当输入的信号为 $s = \{1, 0\}$ 时, 对应的输出码字为 $v = \{1, 0, 0, 1, 1, 0\}$, 和式(10)得出的结果一致.

4 结束语

低密度奇偶校验码是一种逼近香农限的线性分组码,是当前通信领域和数据处理方面的热门研究课题之一. LDPC 码的译码复杂度较低;但它的直接编码运算量较大,通常具有码长的二次方复杂度. 文章介绍了如何构造线性的编码,以简化 LDPC 码的编码运算量,并研究和设计了用大规模集成电路去实现一个 LDPC 码的编码. 以(6,2,3)码为例,采用基于半随机校验矩阵的编码方法,以控制编码运算量为线性复杂度,并在 QuartusII5.0 软件平台上采用基于 CPLD 的 Verilog HDL 语言编程仿真实现了有效编码的过程,给出了编码的结构图和仿真波形,为 LDPC 码的硬件实现和实际应用提供了依据.

[参考文献] (References)

- [1] MCKAY D J C. Good error-correcting codes based on very sparse matrices[J]. IEEE Trans Inform Theory, 1999,45(3):399-431.
- [2] BENJAMIN LEVINE, TAYLOR R REED, HERMAN SCHMIT. Implementation of near shannon limit error-correcting codes using reconfigurable hardware[C]//Field-Programmable Custom Computing Machines. IEEE Symposium, 2000:217-226.
- [3] FOSSORIER M. Iterative reliability-based decoding of low density parity check codes[J]. IEEE J Select Areas Commun, 2001,19(5):908-917.
- [4] 袁俊泉,孙敏琪,曹瑞. Verilog HDL 数字系统设计及其应用[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,2002.
YUAN Junquan, SUN Minqi, CAO Rui. Verilog HDL Design and Applications of Digital System[M]. Xi'an: Xidian University Press,2002. (in Chinese)

[责任编辑:刘 健]

(上接第 33 页)

5 结束语

本文针对 FCM 算法存在的问题(局部搜索性和初始聚类原型敏感性)提出了基于 PSO 的 PFCM 算法,并应用于文本聚类实验,实验结果表明该算法是一种有效的方法. 只要文本特征抽取准确,并与其语义相结合,那么就可以提高 PFCM 算法的有效性. 但是文本聚类的难点之一是如何正确地提取文本特征,因为在分词中存在少量的语法歧义;难点之二是特征空间的高维性和特征向量的稀疏性. 因此,如何消除语法歧义、如何降低特征空间的维数和提高聚类的效率和精度,有待于今后进一步深入研究和完善.

[参考文献] (References)

- [1] KRISHNAPRAM R, JOSHI A, YI L. A fuzzy relative of the k -medoids algorithm with application to web document and snippet clustering[C]//Proc IEEE Intl Conf Fuzzy System-FUZZ IEEE. Seoul, 1999: 1281-1286.
- [2] KUMMAMURU K, DHAWALE A, KRISHNAPRAM R. Fuzzy co-clustering of documents and keywords[C]//IEEE Intl Conf Fuzzy System-FUZZ IEEE. St. Louis, Missouri, 2003: 772-777.
- [3] 林建敏,谢康林. 基于 PAT-array 和模糊聚类的文本聚类方法[J]. 计算机工程, 2004, 30(12): 126-127.
LIN Jianmin, XIE Kanglin. An approach of text clustering based on PAT-array and fuzzy clustering[J]. Computer Engineering, 2004, 30(12): 126-127. (in Chinese)
- [4] KENNEDY J, EBERHART R C. Particle swarm optimization[C]//Proc IEEE Int'l Conf on Neural Networks. Piscataway, NJ: IEEE Service Center, 1995: 1942-1948.
- [5] SALTON G. Introduction to Modern Information Retrieval[M]. New York: McGraw2Hill Book Company, 1983.
- [6] EBERHART R C, SHI Y. Particle swarm optimization: developments, applications and resources[C]//Proc Congress on Evolutionary Computation. Piscataway, NJ: IEEE Press, 2001: 81-86.
- [7] BEZDEK J C. Clustering validity with fuzzy sets[J]. J Mathematical Biology, 1974(1): 57-71.

[责任编辑:刘 健]