



一种DVB-S2中低复杂度的LDPC编译码研究

尹爽爽, 王中训

引用本文:

尹爽爽, 王中训. 一种DVB-S2中低复杂度的LDPC编译码研究[J]. 重庆邮电大学学报(自然科学版), 2012, 24(4): 457-461.

YIN Shuangshuang, WANG Zhongxun. Low complexity encoding and decoding research of DVB-S2 LDPC[J]. Journal of Chongqing University of Posts and Telecommunications(Natural Science Edition), 2012, 24(4): 457-461.

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

吴淼, 邱丽鹏, 周林, 等. 高效低复杂度的QC-LDPC码全并行分层结构译码器[J]. 重庆邮电大学学报(自然科学版), 2018, 30(3): 354-361.

卢静, 洪少华, 吕毅博, 等. 基于原模图LDPC码的联合信源信道译码器的硬件实现[J]. 重庆邮电大学学报(自然科学版), 2015, 27(6): 775-780.

陈发堂, 刘一帆, 唐成. LDPC码的一种低复杂度归一化最小和译码算法[J]. 重庆邮电大学学报(自然科学版), 2020, 32(1): 92-98.

刘振, 黎勇. 基于QR码构造的QC-LDPC码译码器设计与实现[J]. 重庆邮电大学学报(自然科学版), 2020, 32(3): 419-425.

黄俊杰, 徐位凯, 陈启望, 等. 一种改进的Reed-Muller码递归构造方法[J]. 重庆邮电大学学报(自然科学版), 2015, 27(3): 366-371.

DOI:10. 3979/j. issn. 1673-825X. 2012. 04. 013

一种 DVB-S2 中低复杂度的 LDPC 编译码研究

尹爽爽,王中训

(烟台大学 光电信息科学技术学院,山东 烟台 264005)

摘 要:针对第二代卫星数字视频广播标准(second generation satellite digital video broadcasting standard,DVB-S2)中低密度奇偶校验码(low density parity check codes,LDPC)的校验矩阵的存储结构特点,采用了改进的码字构造方法进行编码,进而用类似的方法推导出了校验矩阵,克服了仿真过程中的数据溢出现象。通过对译码算法的比较,采用了降低复杂度的最小和译码算法,并对不同码率的 LDPC 码的性能进行了仿真比较。从译码器的硬件实现角度考虑,提出用定点代替浮点表示,研究了译码迭代次数和译码器接收数据和译码中间变量的量化对性能的影响。仿真分析,该研究以很小的性能损失在存储量和运行时间等方面降低了译码器的硬件实现复杂度,进而降低了整个无线接收系统的延时和功耗,为硬件实现提供了理论依据。

关键词:第二代卫星数字视频广播标准;译码器量化;有限精度;低密度奇偶校验码;降低复杂度

中图分类号:TN911. 22

文献标识码:A

文章编号:1673-825X(2012)04-0457-05

Low complexity encoding and decoding research of DVB-S2 LDPC

YIN Shuang-shuang, WANG Zhong-xun

(Institute of Science and Technology for Opto-Electronics Information, Yantai University, Yantai 264005, P. R. China)

Abstract: In view of the structure characteristics of storage of low density parity check codes(LDPC) which are used in the second generation satellite digital video broadcasting standard(DVB-S2), the encoding was finished using the improved codeword construction method, and then the check matrix was deduced using the similar method, the data overflow problem in the simulation process was overcome. Through comparing different decoding algorithms of LDPC, the reduced complexity Minimum-Sum decoding algorithm was used and the performance of different code rates of LDPC was simulated in software. From the hardware implementation of decoder point of view, fixed-point representation instead of floating-point was proposed, and the effect of the number of iterations and the quantization on the input data and inner variables of decoder on the performance was investigated. Simulation analysis showed that this study reduced the complexity of the decoder hardware implementation with small performance penalty in storage and run time and so on, hence leading to lower delay and power consumption in the whole radio receiver. It provides a theoretical basis for hardware implementation.

Key words: second generation satellite digital video broadcasting standard; decoder quantization; finite precision; low density parity check codes; reduced complexity

0 引 言

国际数字视频广播(digital video broadcasting,

DVB)组织从2002年初启动DVB-S(digital video broadcasting standard)的升级工作,2004年正式公布了EN302 207号文本(草案),即DVB-S2(second gen-

eration satellite digital video broadcasting standard) 标准,正式采纳低密度奇偶校验码(low density parity check codes, LDPC) 码和 BCH (bose chaudhuri hockquenghem) 码的级联码作为其前向纠错码方案。DVB-S2 标准可以被认为是当前 DVB-S 标准的继承者,该标准的纠错码使用 BCH 码作外码,LDPC 码作内码的级联码以替代 DVB-S 标准使用的里德所罗门码和卷积码级联的编码方法^[1]。LDPC 码是由 Gallager 于 1962 年提出的一类具有稀疏奇偶校验矩阵的线性分组码^[2],由于当时硬件条件的限制并未得到很好的发展,1995 年 MacKay 和 Neal 重新发现并证明了迭代译码的 LDPC 码具有渐进香农限的性能^[3],LDPC 码以逼近 Shannon 极限的误码率性能和可完全并行实现迭代译码的特点,成为纠错码研究的热点。为了提供灵活性,DVB-S2 标准中的 LDPC 码有 64 800 bit 和 16 200 bit 两种码长的码,并对长码和短码分别规定了 11 种和 10 种码率。如此大的码字长度使通信性能距香农限约 0.7 dB,在系统效率方面比 DVB-S 高出 30%。

LDPC 译码是一个迭代过程,每次迭代中庞大的数据处理量、存储量和互联要求对译码器实现是一个巨大的挑战,因此为实现这些码的出色性能,要求对硬件实现问题进行调查研究。本文着重从硬件实现的角度考虑,首先采用了低存储量和低复杂度的码字构造方法对 DVB-S2 中 LDPC 码进行了编码,进而用类似的方法推导出了校验矩阵,然后采用降低复杂度的最小和译码算法在 Matlab 环境下对不同码率的 LDPC 码的性能进行了仿真对比,重点研究了译码算法中采用的不同的量化比特数和迭代次数对译码性能的影响,利用应用知识极大地简化了面向低实现复杂度的高层次设计。

1 DVB-S2 中 LDPC

1.1 DVB-S2 中 LDPC 的编码

DVB-S2 标准下的信道编码包括两种级联码,外部的 BCH 码把长度为 k_1 比特的二进制信息编码为长度为 k 比特的码字, k 比特的码字然后被编码成 n 比特长度的 LDPC 码, n 等于 64 800 bit 或 16 200 bit,分别称为普通帧(码长为 64 800 bit)和短帧(码长为 16 200 bit)。表 1 和表 2 分别给出了普通帧和短帧的不同码率(短

帧中的码率需要校正)下的参数^[4]。

表 1 DVB-S2 中普通帧的参数

Tab. 1 Parameters of normal frames in DVB-S2			
码率	k_1	k	q
1/4	16 008	16 200	135
1/3	21 408	21 600	120
2/5	25 728	25 920	108
1/2	32 208	32 400	90
3/5	38 688	38 880	72
2/3	43 040	43 200	60
3/4	48 408	48 600	45
4/5	51 648	52 840	36
5/6	53 840	54 000	30
8/9	57 472	57 600	20
9/10	58 192	58 320	18

表 2 DVB-S2 中短帧的参数

Tab. 2 Parameters of short frames in DVB-S2			
码率	k_1	k	q
1/4(1/5)	3 072	3 240	36
1/3	5 232	5 400	30
2/5	6 312	6 480	27
1/2(4/9)	7 032	7 200	25
3/5	9 552	9 720	18
2/3	10 632	10 800	15
3/4(11/15)	11 712	11 880	12
4/5(7/9)	12 432	12 600	10
5/6(37/45)	13 152	13 320	8
8/9	14 232	14 400	5

DVB-S2 标准下,LDPC 码编码规则的主要思想是根据标准中的地址表由信息位推导出校验位,然后信息位在前,校验位在后组合为码字,有如下步骤。

1) 校验位初始化为零。

2) 计算奇偶校验位。

$$p_j = p_j \oplus i_m \tag{1}$$

(1)式中: p_j 为检验节点; i_m 为变量节点。

由第 m 个信息位 i_m 导出第 j 个校验位 p_j , $j = (x + q(m \bmod 360)) \bmod (n_{ldpc} - k_{ldpc})$, n_{ldpc} 和 k_{ldpc} 分别表示码字长度和信息位长度; x 表示第 x 个周期为 360 的循环,对应 DVB-S2 标准附录 B 和 C^[1] 相应地址表的第 x 行的值; q 的计算公式为

$$q = \frac{n_{ldpc} - k_{ldpc}}{360} = \frac{n_{ldpc}}{360} (1 - R) \tag{2}$$

由于 LDPC 码具有循环结构,因此极大程度地降低了编译码复杂度^[5],另外还可以看出每个子矩阵只需存储第一行地址,其他行可以由第一行导出,降低了存储量,因而降低了硬件实现复杂度。

也能表现出很好的性能。

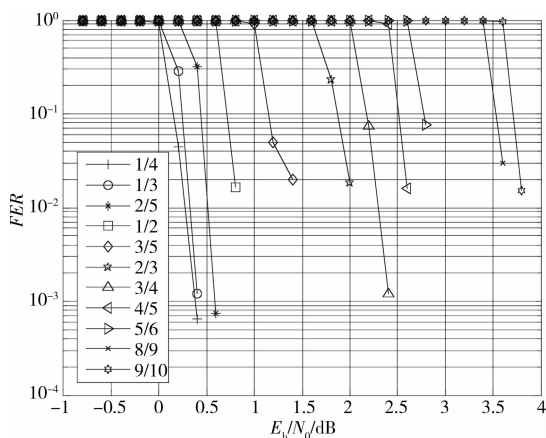


图 2 码率对 DVB-S2 中 LDPC 码普通帧的误帧率的影响

Fig. 2 Influence of code rate on the FER performance of the normal frames DVB-S2 LDPC code

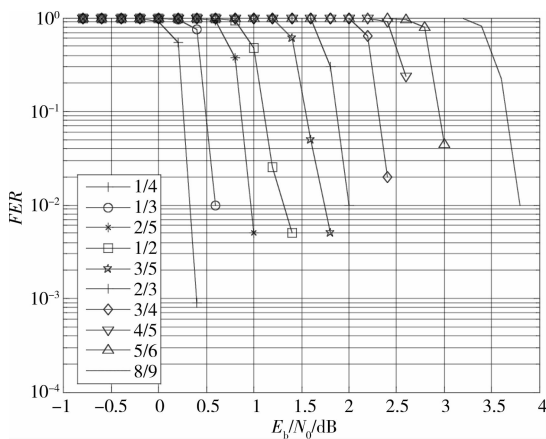


图 3 码率对 DVB-S2 中 LDPC 码短帧的误帧率的影响

Fig. 3 Influence of code rate on the FER performance of the short frames DVB-S2 LDPC code

为了在真实的硬件环境下仿真,用定点形式表示取代了浮点形式对 DVB-S2 中的 LDPC 码的性能进行了研究。本文深入地探讨了一切可能的折衷以达到某种硬件复杂度要求。通过改变译码算法中的量化比特数和最大迭代次数来判断定点实现对性能的影响。

本文选取了短帧,码率为 3/5 的 DVB-S2 LDPC 码,分析了迭代次数对性能的影响。仿真结果见图 4。

从仿真结果中可以看出,最大迭代次数从 10 次变到 100 次时性能有明显的改善。当从 30 次变到 60 次,误帧率为 2×10^{-2} 时,性能改善了 0.5 dB;当从 60 变到 100 次时,性能改善了约 0.1 dB,这意味着继续增大迭代次数,性能不会有多大的改进了。从硬件实现的角度考虑,降低最大迭代次数就会使数据吞吐量和译码延时降低。

本文选取了短帧,码率为 3/5 的 DVB-S2 LDPC 码,最大迭代次数设置为 60 次,分别对接收信号和译码中间变量进行了量化并在 Matlab 下作了仿真;

对接收信号量化时,选取 $[-4 \ 4]$ 的量化,量化方式为均匀量化,量化比特数分别选取了 8 bit 和 6 bit;对译码中间变量量化时,选取 $[-200 \ 200]$ 的量化,量化方式分别选取均匀量化和非均匀(A 律)量化,量化比特数选取均匀 16 bit,10 bit 和非均匀 8 bit。仿真结果分别见图 5 和图 6。

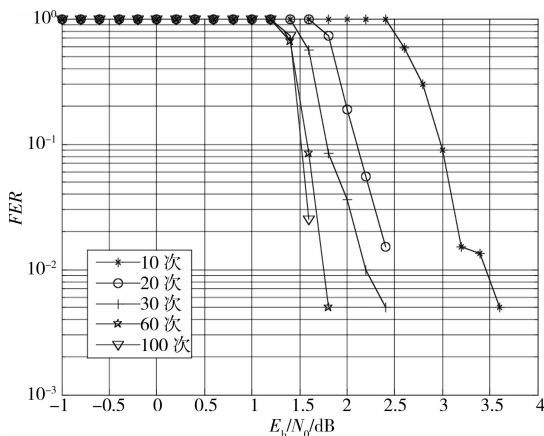


图 4 最大迭代次数对 DVB-S2 LDPC 码的误帧率性能的影响

Fig. 4 Influence of maximum number of iterations on the FER performance of the DVB-S2 LDPC code

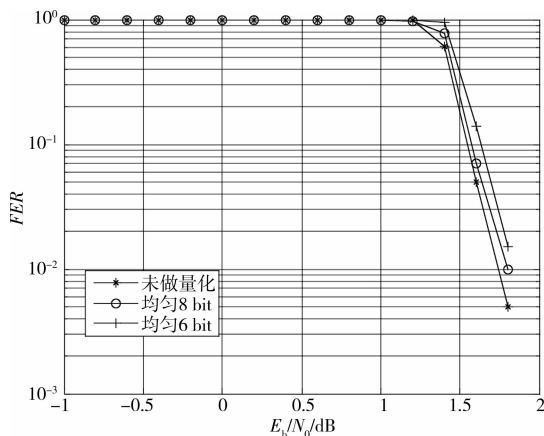


图 5 接收信号量化对 DVB-S2 LDPC 码的误帧率性能的影响

Fig. 5 Influence of the input data quantization on the FER performance of the DVB-S2 LDPC code

从仿真结果图 5 中可以看出,均匀 8 bit 量化与连续译码性能相差约 0.05 dB,均匀 6 bit 量化相差约 0.1 dB,由于增大量化比特数会增大硬件实现复杂度,所以对接收信号量化一般采用低阶 6 bit 均匀量化就可以取得接近连续译码的性能。从仿真结果图 6 中可以看出,均匀 10 bit 量化性能损失非常厉害,均匀 16 bit 量化性能与连续译码性能相差约 0.05 dB,非均匀 8 bit 量化非常接近均匀 16 bit 量化的性能,但是由于非均匀(A 律)量化中间计算量大,中间计算导致的精度损失过大,且硬件实现复杂度太高,所以一般不采用非均匀量化,为方便硬件实现译码中间变量的量化一般采用高阶 15 bit 或 16

bit 均匀量化就可以取得接近连续译码的性能。

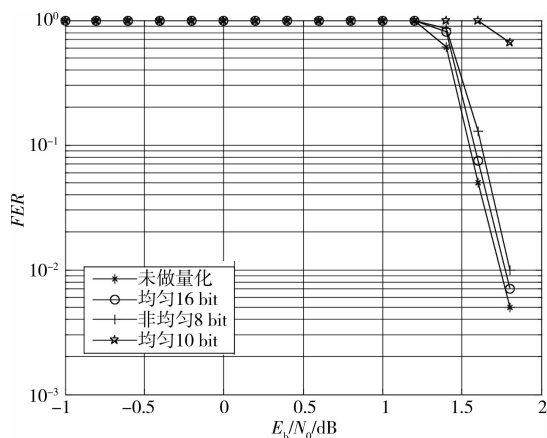


图6 译码中间变量量化对 DVB-S2 LDPC 码的误帧率性能的影响

Fig. 6 Influence of the inner data quantization on the FER performance of the DVB-S2 LDPC code

假设浮点数的加减运算需要 2 个时钟周期,实际中可能需要更多,而定点只需一个时钟周期即可完成。从程序上分析可知,完成一次迭代节省的时钟数是

$$n + (a - 1) \times A \times m + b \times n \quad (8)$$

(8)式中: a 表示校验矩阵中水平方向 1 的平均个数; b 表示校验矩阵中垂直方向 1 的平均个数。仿真实验中也可以看到定点译码比浮点快。另外分析一下在存储空间上的优化,存储的优化主要集中在对接收数据和处理过程中数据的存储上,从算法中可知判决时的数据来源有两个,分别是接收到的数据和接收到校验节点发送的数据(中间过程的数据存储可以复用此存储区域),以均匀 16 bit 量化为例,假设浮点存储需要 32 位,则节约的存储空间为 $n \times 2 \times (32 - 16) \text{ bit} = 32n \text{ bit}$ 。从这里也可以看出,在性能损失允许的范围内,量化所用比特位数越少,节约的存储空间越大。

4 结 论

本文从硬件实现的角度考虑,完成了针对 DVB-S2 LDPC 码的降低复杂度的编码和译码算法实现。通过 Matlab 仿真,分别对普通帧和短帧的 DVB-S2 LDPC 码的不同码率进行了性能比较,同时还研究了不同迭代次数对性能的影响,仿真结果表明,设置最大迭代次数 30 次到 60 次之间可以在复杂度和译码性能方面取得一个很好的折衷。重点研究了量化对译码性能的影响,经仿真分析,对接收信号使用 $[-4, 4]$ 的低阶均匀 6 bit 量化,对译码中间变量使用 $[-200, 200]$ 的高阶 16 bit 均匀量化可以取得接近连续译码的性能,具有很好的实用价值。

参考文献:

- [1] European Telecommunications Standards Institute. ETSI EN 302 307 V1.1.1 (2004-06), Digital Video Broadcasting (DVB), Second generation framing structure, channel coding and modulation systems for broadcasting, Interactive Services, News Gathering and Other Broadband Satellite Applications [S]. [s. l.]: [s. n.], 2004.
- [2] GALLAGER R G. Low density parity check codes [J]. IRE Trans, On Information Theory, 1962, 8(01): 21-28.
- [3] NEAL D J C MacKay. Near shannon limit performances of low density parity check codes [J]. Elect Letters, 1996, 32(8): 1645-1646.
- [4] SHAKER Sherif Welsen. DVB-S2 LDPC finite-precision decoder [C]// IEEE. IEEE ICAC 2011. Sungnam: IEEE Press, 2011: 1383-1386.
- [5] 邓炯. 几种 LDPC 码的性能比较 [J]. 通讯技术, 2009, 49(5): 34-39.
DENG Jiong. Performance Comparison for Several Kinds of LDPC Codes [J]. Telecommunication Engineering, 2009, 49(5): 34-39.
- [6] YANG M, RYAN W E, LI Y. Design of efficiently encodable moderate-length high-rate irregular LDPC codes [J]. IEEE Transactions on Communications, 2004, 52(4): 564-571.
- [7] 肖扬. Turbo 与 LDPC 编解码及其应用 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2010: 120-125.
XIAO Yang. Coding and Decoding of Turbo and LDPC and its Application [M]. Beijing: The People's Posts and Telecommunications Press. 2010: 120-125.
- [8] FOSSORIER M, MIHALJEVIC M, LMAI H. Reduced complexity iterative decoding of low density parity codes based on belief propagation [J]. IEEE Transactions on Communications, 1989, 47(5): 673-680.
- [9] BANIHASHEMI A H, ZHAO J, ZARKESHVARI F. On implementation of min-sum algorithm and its modifications for decoding LDPC codes [J]. IEEE Transactions on Communications, 2005, 53(4): 549-554.

作者简介:



尹爽爽(1986-),女,山东菏泽人,硕士研究生,主要研究方向为信道编译码及 FPGA 实现。E-mail: yinshuang011@163.com。

王中训(1965-),男,山东烟台人,博士,教授,主要研究信道编码、水声通信等。E-mail: wzhongx@ytu.edu.cn。