第 37 卷 第 2 期
2003 年 2 月

西 安 交 通 大 学 学 报
JOURNAL OF XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY

Vol. 37 №2
Feb. 2003

卷积码及其维特比译码算法的软件实现

徐超颖 , 杨国安 , 石永光 , 郑南宁
(西安交通大学电子与信息工程学院 , 710049 , 西安)

摘要: 提出了数字通信系统中在信道受到干扰时信道译码器检测或修正解调器送来错误信息的一种软件实现方案,该方案应用 Visual C + + 6.0 软件技术实现了卷积码编码器和维特比译码器功能,它不仅译码算法简单、易实现,而且可以得到较大的编码增益,具有良好的纠错编码功能,是一种软件方法的前向纠错编码技术. 实验结果表明:应用软判决维特比译码算法时的误码率低于应用硬判决算法的误码率,一般要比硬判决算法多大约 2 dB 的增益;约束长度越大误码率越低,译码性能越好;在码率和约束长度不变时,硬判决算法的执行速度比软判决算法快. 目前,该方案已应用于高精度网络彩色激光打印机中,并获得好评.

关键词: 卷积码;维特比译码算法;硬判决;软判决
中图分类号: TN911 **文献标识码**: A **文章编号**: 0253 987X(2003)02 0151 04

Software Method of Implement Convolutional Code and Its Viterbi Decoding Algorithm

Xu Chaoying , Yang Guoan , Shi Yongguang , Zheng Nanning
(School of Electronics and Information Engineering , Xi'an Jiaotong University , Xi'an 710049 , China)

Abstract: A software implementation of a channel coding technology using visual C + + 6.0 is presented , which ralizes the functions of convolutional coding and Viterbi decoding. This software has the advantages of a simple decoding algorithm , and a larger coding gain and provides a better error correcting performance , which belongs to a forward error correction coding technology. The experimental results show that the bit error rate of the soft-decision Viterbi decoder is lower than that of hard-decision with a larger gain of 2 dB. The bigger the constraint length , the lower the bit error rate and the better the decoding performance becomes. When the code rate and constraint length remain constant , the speed hard-decision algorithm is higher than that of soft-decision. At current stage , the scheme proposed here has been used in the high-precision network color laser printer and wins favourable comments from the users.

Keywords: *convotional code; Viterbi decoding algorithm ; hardware judging ; software judging*

数字通信系统中的纠错编码技术能提高通信的可靠性,所以自它出现以来一直受到世界各国科研人员的广泛关注. 从 20 世纪 60 年代开始,这方面的研究就十分活跃. 近年来,近代代数理论和 VLSI 技术的发展为纠错编码的日益成熟奠定了理论和硬件基础,计算机模拟技术的应用又进一步促进了它的发展. 纠错编码的基本思想是:在编码过程中,通过给所传输的信息设置附加的校验位,即增加其冗余度,使原来无规律或规律性不强的一组信息具有某种相关性;接收信息时再依据这种相关性译码,使编码信息具有检测或纠错性能,而用来检测或纠错的冗余码被称为纠错码[1,2].

卷积码把信源输出的信息序列以每段 B (B 通常较小)个码元进行分段,通过编码器输出长为 N ($N \geq B$)的一个码段. 该段 $N - B$ 个校验元不仅与本段信息元有关,还与其前面 m 段信息元有关. 卷积码可以用 (K, B, N) 表示,其中 $K = m + 1$ 为约束长度 (Constraint Length) , m 为记忆长度 (Memory Length) ; $R = B/N$ 为码率 (CodeRate) . 近年来,由于译码算法简单、易实现,并且可以得到较大的编码增益[3],应用维特比译码算法的卷积码得到了广泛的应用. 它尤其适用于被加性的高斯白噪声[4] (Additive White Gaussian Noise , AWGN) 所污染的传输信道,如卫星与空间通信的传输信道. 本文将给出一种用软件实现卷积码及其维特比译码算法的方法.

收稿日期: 2002 04 29. 作者简介: 徐超颖(1976～),女,硕士生;郑南宁(联系人),男,教授,博士生导师,中国工程院院士. 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60024301) .

1 卷积码的编码器

卷积码的编码器可以由移位寄存器和模2加法器组成[5],其参数分别为:码率 $R = B/N = 1/2$,记忆长度 $m = 2$,约束长度 $K = m + 1 = 3$,生成多项式为 111_2 和 101_2,该码已被证实是所有 $R = 1/2$、$K = 3$ 的卷积码中性能最好的码.以下分析都以此为例.

假设输入序列为 010111001010001_2.

在初始状态,两个移位寄存器都被清0,其输出为0.在第1个时钟循环,编码器输入为0.这样,上、下两个模2加法器的输入均为0,故编码器的输出为 00_2.第2个时钟循环,编码器输入为1.左触发器的状态是前一时刻的输入,它应为0,右触发器的状态是前一时刻左触发器的状态,它也为0,故上方模2加法器的输入是 100_2,其输出为1,下方模2加法器的输入是 10_2,其输出也为1.因此,编码器的输出为 11_2.第3个时钟循环,编码器输入为0,左触发器的状态为1,右触发器的状态是0.那么,上方模2加法器的输入是 010_2,其输出为1;下方模2加法器的输入是 00_2,其输出为0,故编码器的输出为 10_2.以此类推,当所有信息都输入到编码器以后,输出序列为 $00\ 11\ 10\ 00\ 01\ 10\ 01\ 11\ 11\ 10\ 00\ 10\ 11\ 00\ 11_2$.可以看出,对于一个 (K, B, N) 卷积码,每 B 位输入都影响连续 $K * N$ 位输出.这就是卷积码之所以具有纠错能力的原因.

至此,只向编码器输入了15位信息,要使最后1位输入同样影响3对输出,还需使编码器多输出 $m = 2$ 对信息.为了做到这一点,需要增加 $m = 2$ 个时钟循环,并且在此期间保持输入为0.这一过程叫做"点亮"编码器.这样,最终的输出序列为 $00\ 11\ 10\ 00\ 01\ 10\ 01\ 11\ 11\ 10\ 00\ 10\ 11\ 00\ 11\ 10\ 11_2$.如果不执行"点亮"操作,最后 $m * B$ 位输入信息的纠错能力就会下降,这是前向纠错技术中尤为重要的一点.同时,还应注意编码开始前要使移位寄存器清0.编码器必须开始并结束于已知状态,这样译码器才能正确重建信息.

现在,从另外一个角度来研究卷积码的编码器,即将它看作是一个简单的状态机(State Machine).例子中的编码器输入为 $B = 1$ 位,有 $m = 2$ 位的记忆能力,所以共有 $2^{m*B} = 4$ 种状态.给左触发器赋以二进制权值 2^1,给右触发器赋以二进制权值 2^0,初始时刻编码器处于全0状态.若第1位输入为0,则下一时刻编码器仍保持全0状态;若第1位输入为1,则下一时刻编码器状态变为 10_2.状态转换如表1所示,它表示已知当前状态和输入时,编码器下一时刻的状态,其中状态值均为二进制数.输出状态如表2所示,它表示已知当前状态和输入时,编码器输出的状态.状态转换表和输出状态表可以完全描述(3,1,2)卷积码编码器的行为.这两个表都有 $2^{(K-1)*B} = 2^{m*B}$ 行、2^B 列,2^{m*B} 即编码器状态数,2^B 即输入状态数.有了这两个表格的信息,就可以方便地讨论维特比译码算法.

表1 下一时刻状态转换表

当前状态	输入=0	输入=1
00	00	10
01	00	10
10	01	11
11	01	11

表2 输出状态表

当前状态	输入=0	输入=1
00	00	11
01	11	00
10	10	01
11	01	10

2 维特比译码算法的数据结构

用软件实现维特比译码算法时需要建立一些数据结构[6],用以存储所需信息.最适宜的数据结构就是数组,下面列出6个主要的数组.

(1) next-state$[2^{m*B}][2^B]$,用来记录表1所示状态转换表的数组,其行数为 $2^{m*B} = 2^{(K-1)*B}$,即编码器的状态数;其列数为 2^B,即输入状态数.在译码开始时,该表需要初始化.

(2) output$[2^{m*B}][2^B]$,用来记录表2所示输出状态表的数组,该表需要初始化.

(3) input$[2^{m*B}][2^{m*B}]$,用来记录表3所示输入状态表的数组,该表需要初始化.

(4) accum-err-metric$[2^{m*B}][2]$,用来记录表4所示累积误差度量记录表的数组,其列数为2,该表不需要初始化.

(5) state-history$[2^{m*B}][K*5+1]$,用来记录表5所示状态历史记录表的数组,其列数为 $K*5+1$,即回溯深度,该表不需要初始化.

(6) state-sequence[K *5 + 1],用来记录表 6 所示状态顺序记录表的数组,该表不需要初始化.

表 3　输入状态表

	已知下一时刻状态的输入			
当前状态	$00_2 = 0$	$01_2 = 1$	$10_2 = 2$	$11_2 = 3$
00_2	0	X	1	X
$01_2 = 1$	0	X	1	X
$10_2 = 2$	X	0	X	1
$11_2 = 3$	X	0	X	1

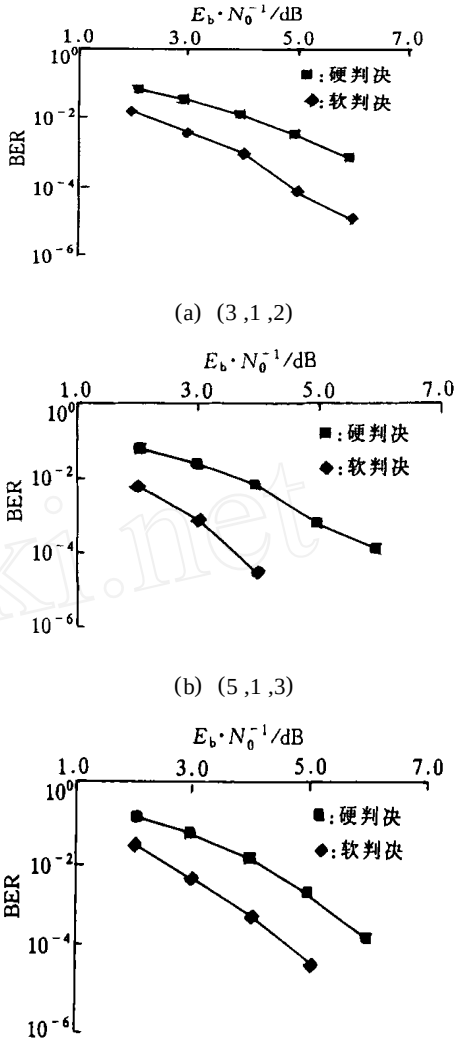
3　实验结果

本节记录了用软件方法实现卷积码编码器和维特比译码器所得到的实验结果. 其测试环境是在 CPU Pentium Ⅲ- 1 GHz,内存 128 MB,操作系统 Microsoft Win2000 Pro,编译器 Visual C + + 6.0.

硬判决和软判决维特比译码算法的性能比较如图 1 所示,图中 BER 为二进制误码率, E_b/N_0 为信噪比. 从图中可以看出,应用软判决算法时的误码率较低,它要比硬判决算法多大约 2 dB 的增益.

当约束长度 K 不同时,维特比译码算法的性能比较如图 2 所示. 从图中可以看出, K 越大误码率越低,译码性能越好.

在码率 R 和约束长度 K 相同的情况下,硬判决算法的执行速度比软判决算法快,实验结果如表 7 所示. 信息序列长度为 10 kB, E_b/N_0 为 2.0.



(a) (3,1,2)

(b) (5,1,3)

(c) (3,2,3)

图 1　硬判决和软判决维特比译码算法的性能比较

表 4　累积误差度量记录表

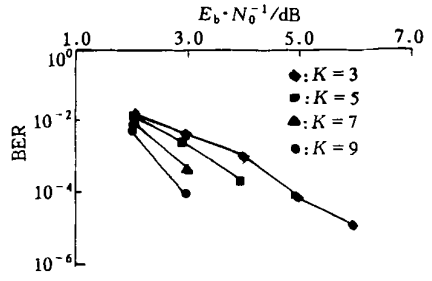
t	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
状态 00_2		0	2	3	3	3	3	4	1	3	4	3	3	2	2	4	5	2
状态 01_2			3	1	2	2	3	1	4	4	1	4	2	3	4	4	2	
状态 10_2		2	0	2	1	3	3	4	3	1	4	1	4	3	3	2		
状态 11_2			3	1	2	1	1	3	4	4	3	4	2	3	4	4		

表 5　状态历史记录表

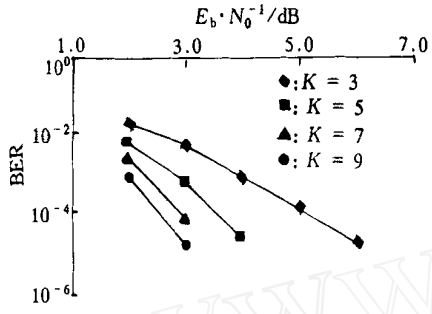
t	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
状态 00_2	0	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1
状态 01_2	0	0	2	2	3	3	2	3	3	2	2	3	2	3	2	2	2	0
状态 10_2	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0	1	1	0	1	0	0	0
状态 11_2	0	0	2	2	3	2	3	2	3	2	2	3	2	3	2	2	0	0

表 6　状态顺序记录表

t	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	0	0	2	1	2	3	3	1	0	2	1	2	1	0	0	2	1	0



(a) $R = 1/2$



(b) $R = 1/3$

图 2 不同约束长度 K 的维特比译码算法的性能比较

表 7 编、译码时间的比较

R	K	编码时间/s	软判决译码时间/s	硬判决译码时间/s
1/2	3	0.09	0.74	0.52
	5	0.16	2.34	1.59
	7	0.19	8.53	5.69
	9	0.23	33.55	22.02
1/3	3	0.14	0.94	0.61
	5	0.22	3.00	1.91
	7	0.28	11.08	6.88
	9	0.36	43.23	26.52
2/3	3	0.14	2.77	1.66
	5	0.22	41.70	24.59

4 结 论

综上所述,使用维特比译码算法的卷积码是一类很有前途的前向纠错编码,它主要适用于被高斯白噪声所污染的传输信道.由于在编、译码过程中充分利用了各段之间的相关性,且 B 和 N 都较小,所以卷积码的性能优良,较易实现最佳和准最佳译码.维特比译码算法分为软判决和硬判决两种,软判决算法的误码率较低,而硬判决算法的速度较快.同时,译码性能还与约束长度 K 密切相关, K 越大,误码率越低,译码性能越好.本文所论述的用软件实现卷积码及其维特比译码算法的方法已在实践中应用,并得到用户的好评.

参考文献:

[1] Rhee M Y. Error-correcting coding theory [M]. New York: McGraw-Hill Publishing Company, 1989.

[2] Michelson A M, Levesque A H. Error-control techniques for digital communication [M]. New York: John Wiley & Sons Inc, 1985.

[3] 王新海. 纠错码与差错控制 [M]. 北京:人民邮电出版社, 1989.

[4] 宋焕章. 计算机纠错编码 [M]. 北京:国防科技大学出版社, 1989.

[5] 归绍升. 纠错编码技术和应用[M]. 上海:上海交通大学出版社, 1986.

[6] Fleming C. A tutorial on convolutional coding with Viterbi decoding, spectrum applications [R/OL]. http://pwl.net-com/~chip.f/Viterbi.html, 2001 01 31.

(编辑 苗 凌)

《西安交通大学学报》的影响因子大幅度提高

《西安交通大学学报》是一种自然科学类的学术理论性刊物.刊物水平的高低主要体现在其学术上的影响程度,而印刷、编排规范只是其内容的表现形式.为了全面、准确、公正、客观地评价和利用科技期刊,我国已制订了中国科技期刊评价指标体系,其中影响因子和被引频次是两个国际上通行的期刊评价指标.期刊影响因子和被引频次越大,它的学术影响力和作用也越大.

影响因子是指该刊前两年发表论文在统计当年被引用的总次数除以该刊前两年发表论文总数.为了提高《西安交通大学学报》的学术水平,扩大学报的影响力,学报编辑部近年来做了大量的工作,采取了一系列行之有效的措施,使学报的各项评价指标有了较大提高,特别是影响因子和被引频次提高明显:2000 年为 0.151 和 268 次,2001 年为 0.198 和 339 次,2002 年为 0.283 和 427 次.

(荆树蓉)