

◎ 研发、设计、测试 ◎

一种新的 Turbo 码译码迭代停止准则

蒲攀^{1,2}, 何东健¹, 田彩丽²PU Pan^{1,2}, HE Dong-jian¹, TIAN Cai-li²

1.西北农林科技大学 机械与电子工程学院, 陕西 杨凌 712100

2.西北农林科技大学 信息工程学院, 陕西 杨凌 712100

1.College of Mechanical and Electronic Engineering, Northwestern A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China

2.College of Information Engineering, Northwestern A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China

E-mail: hdj168@nwsuaf.edu.cn

PU Pan, HE Dong-jian, TIAN Cai-li. New iterative stopping criteria for Turbo code decoding. *Computer Engineering and Applications*, 2009, 45(27): 66-68.

Abstract: This paper introduces encode and decode principle of Turbo code. Owing to the disadvantage that traditional stopping criteria expend hardware resource too much, uses the combination of cross entropy criteria and exterior information by way of the stopping criteria. The result of simulation indicate that the new stopping criteria can guarantee the number of iteration and decoding capability under the circumstance of difference of Signal-to-Noise; it can increase the quality of digital wireless transmission, reduce the system delay and save hardware resource furthest by using this algorithm.

Key words: turbo code; stopping criteria; cross entropy criteria; exterior information

摘要: 介绍了 Turbo 码编码与译码原理。针对传统停止迭代准则译码耗费硬件资源的不足, 提出了利用外部信息结合交叉熵迭代停止准则作为新的迭代停止准则算法。仿真分析结果显示: 新的迭代停止准则可在不同的信噪比情况下, 保证迭代次数适中并确保译码性能的稳定, 应用该算法既可提高无线通信的数据传输质量、减小系统传输时延, 又可最大限度地节约硬件资源。

关键词: Turbo 码; 迭代停止准则; 交叉熵准则; 外部信息

DOI: 10.3778/j.issn.1002-8331.2009.27.021 **文章编号:** 1002-8331(2009)27-0066-03 **文献标识码:** A **中图分类号:** TN911.22

近年来 Turbo 码的研究与应用迅速发展, 由于其纠错性能的突出性受到了越来越多人的关注。但其译码的复杂度和实现时资源利用过多使其成为实际应用的主要障碍。所以在保证译码性能良好的情况下如何减少译码的复杂性已成为需要突破的主要技术难点。迭代译码是 Turbo 码译码性能好坏的关键之一, 译码次数的多少也直接影响误码率的大小。迭代次数越多误码率越小, 但同时也带来了硬件资源占用量大、译码时延长等问题^[1]。传统的迭代停止准则有交叉熵(CE), 符号改变率(SCR), 符号不同率(SDR), 应判决准则(HAD), 循环冗余校验(CRC)等方法, 他们主要是对两个分量译码器的内部信息进行比较, 通过设定门限值作为迭代收敛的准则。文中给出了如何在不影响误码率要求的情况下利用外部信息作为迭代收敛的准则。

1 Turbo 码的编译码原理

1.1 Turbo 码的编码原理

如图 1 所示, Turbo 编码器主要由分量编码器、交织器以及删余矩阵和复接器组成。分量码一般选择为递归系统卷积码

(RSC)。分量码可以采用相同和不同的生成矩阵, 通常采用相同的生成矩阵。由于编码器的结构较为简单, 因篇幅有限在此不再赘述^[2-3]。

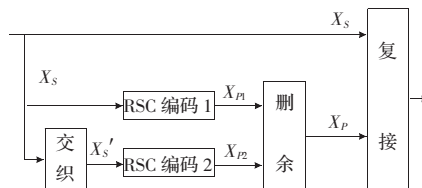


图 1 Turbo 码编码器原理框图

1.2 Turbo 码的译码原理

如图 2 所示, Turbo 译码器主要由两个分量译码器、交织器和解交织器组成。该方法采用 Log-Map 译码, 它是靠两个译码器相互交换软信息最终得到传输信息。接收到的信息 y_s, y_p 经过第一个分量译码器后得出的系统信息再与第二个分量译码器得出的先验信息相加作为第二个分量译码器的外部信息, 经过二次译码后的信息又作为第一个分量译码器的先验信息进行下一次迭代, 通过这样反复循环, 当达到一定译码要求时进

作者简介: 蒲攀(1982-), 男, 在读硕士, 主要从事智能化检测与监测方向研究; 通讯作者: 何东健(1957-), 男, 博士生导师, 主要从事智能化检测与控制、生物图像分析及识别的研究; 田彩丽(1983-), 女, 助教, 西北农林科技大学信息学院基础部教师。

收稿日期: 2009-02-06 **修回日期:** 2009-04-14

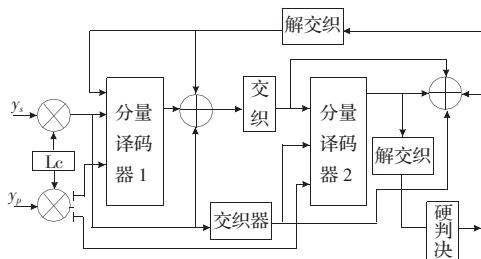


图2 Turbo 码译码器原理框图

行硬判决后输出。

2 常用的迭代停止准则

常用的迭代停止准则包括交叉熵(CE),外部信息准则,符号改变率(SCR),符号不同率(SDR),硬判决准则(HAD),循环冗余校验(CRC)等方法,下面仅详细介绍文中涉及的前两个准则^[4]。

2.1 外部信息准则

Turbo 码的分量译码器输出的软判决信息 $\Lambda_k(u; o)$ 包括系统信息 $\Lambda_k(c^s; I)$ 、先验信息 $\Lambda_a(u_k)$ 和外部信息 $\Lambda_e(u_k)$ 。因此,外部信息 $\Lambda_e(u_k)$ 可表示为:

$$\Lambda_e(u_k) = \Lambda_m(u; o) - \Lambda_a(u_k) - \Lambda_k(c^s; I) \quad (1)$$

也就是说,外部信息是在译码过程中得到的附加信息,与输入系统信息和先验信息无关。外部信息经过交织或解交织器后送到另一个分量译码器作为先验信息输入。迭代译码通过外部信息的交换来提高译码性能。因此,外部信息是决定迭代译码性能的关键性因素。外部信息绝对值定义为^[5]:

$$m_{|\Lambda_{e,j}|}(i) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} |\Lambda_{e,j,k}(k)|, j=1, 2 \quad (2)$$

其中 $m_{|\Lambda_{e,j}|}(i)$ 表示第 j 个分量译码器在第 i 次迭代后输出外部信息的绝对值均值, $\Lambda_{e,j,k}(i)$ 表示第 j 个分量译码器在第 i 次迭代后对应于第 k 个输入数据的输出外部信息, N 为交织长度。

定义判决函数为外部信息绝对值均值之比:

$$f(i) = \frac{m_{|\Lambda_{e,1}|}(i+1)}{m_{|\Lambda_{e,2}|}(i)}, j=1, 2 \quad (3)$$

当判决小于某个给定门限 $T_j(j=1, 2, 3)$ 时,停止迭代。因此迭代停止准则为:

$$f_j(i) \leq T_j, j=1, 2 \quad (4)$$

2.2 交叉熵准则

由于在编、译码中交织器的使用,很难精确计算出所需的具体迭代次数。但由于随着迭代次数的增加,两个分量译码器输出似然函数的统计特性有越来越接近的趋势,故可通过交叉熵度量来确定两者的接近程度,并利用交叉熵最小化原理近似确定译码迭代次数^[5]。若记第 i 次迭代时两个分量译码器的输出符号概率分别为 $p_1^{(i)}(u)$ 和 $p_2^{(i)}(u)$, 并假设中的元素是独立同分布的,则定义 $p_1^{(i)}(u)$ 和 $p_2^{(i)}(u)$ 的交叉熵为^[6-7]:

$$T(i) = H[p_1^{(i)}(u), p_2^{(i)}(u)] = E_{p_2^{(i)}(u)} \left[\lg \frac{p_1^{(i)}(u)}{p_2^{(i)}(u)} \right] \approx \sum_{k=1}^N \frac{|\Delta_{2,e}^{(i)}(u_k)|^2}{e^{|\Lambda_{1,e}^{(i)}(u_k)|}} \quad (5)$$

其中 $\Delta_{2,e}^{(i)}(u_k) = \Lambda_{2,e}^{(i)}(u_k) - \Lambda_{1,e}^{(i)}(u_k)$ 。

通常,迭代停止门限值取为 $T(1)$ 的倍数,即

$$T(i) \leq qaT(1) \quad (6)$$

其中 $10^{-4} \leq q \leq 10^{-2}$, a 为调整参数。

3 基于交叉熵和外部信息作为迭代准则的算法

利用外部信息作为迭代停止准则在信噪比较高时可以达到很好的效果,但是在低信噪比时却无法达到一定的迭代次数,往往在还没有达到误码率的要求时就已经停止迭代^[6-7]。而利用交叉熵作为迭代准则也可以降低迭代次数,它在不同信噪比时都能正常迭代,但是相对计算量要大一些,每一次迭代都要比外部信息停止准则多平方、指数等运算,这样同样会影响到译码时间。根据式(1)可以得到每一次迭代后的外部信息的绝对值。仿真图 3、4 中显示:在迭代次数从 1 到 10 的变化中分别观察了信噪比从 0 dB 到 2.5 dB 的外部信息,交织长度分别取 400 和 1 024。若交织长度为 400 时,可以看出迭代次数在 6 到 7 次(交织长度为 1 024 时,迭代次数在 4 到 5 次)以后外部信息所能提供的新信息的能力基本不会再有所增加,从而再进行迭代,外部信息对译码性能不会再有明显帮助。但如果交织长度在 400,那么当迭代次数到 6 或 7 次(交织长度在 1 024 时,迭代次数在 4 到 5 次)之前利用交叉熵式(5)作为停止准则来判断是否停止,在 6 或 7 次之后在每次检验之前先用外部信息停止准则即式(3)检验,如果发现先验信息的值已无法再提供有效的信息时就可以停止本次迭代了,否则继续利用式(5)迭代。这样既可以减少计算量,又可以在不影响误码率的情况下尽量减少迭代次数。

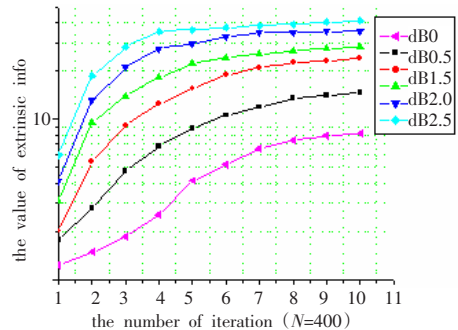


图3 交织长度为 400 时不同信噪比所提供的外部信息

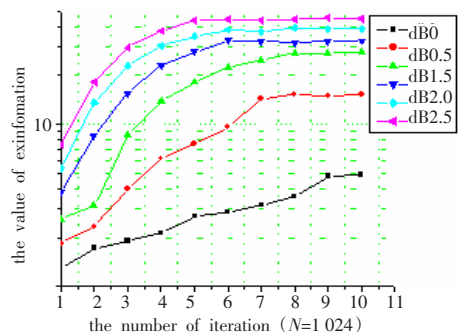


图4 交织长度为 1 024 时不同信噪比所提供的外部信息

4 仿真分析

为了验证上述算法的正确性和可靠性,文中运用 Matlab 软件进行仿真。迭代次数从 1 到 10 次,信噪比从 0 dB 到 2.5 dB,译码采用 Log-MAP 算法,交织长度分别为 400 和 1 024,码率为 1/3。图 5 给出了交织长度为 400 时三种迭代停止准则的误码率曲线,图 6 是交织长度为 1 024 时三种迭代停止准则的误

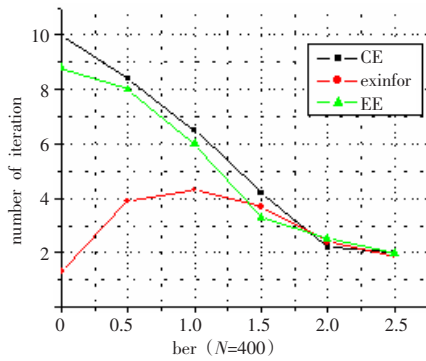


图5 交织长度为400时三种算法的误码率比较曲线

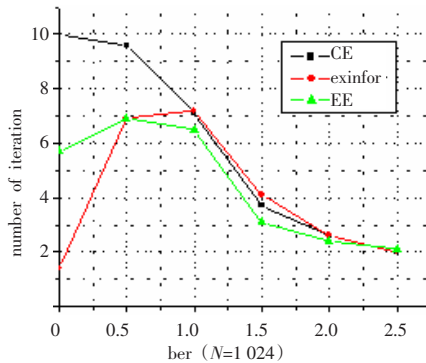


图6 交织长度为1024时三种算法的误码率比较曲线

码率曲线。

从图中容易看出在信噪比较低时,由于在低信噪比时外部信息值比较低,无法提供较好的译码信息,因此利用外部信息作为迭代停止准则是无法正常迭代的,在信噪比较适中的情况下,由于新的译码方法在外部信息的提供下可以了解到每次迭代前外部信息的情况即可以判断是否提前停止迭代,因此新算法的迭代次数要比交叉熵迭代次数略低一些。而在较高的情况

下三者迭代次数基本相同。同时还可以看出,交织长度越长,信噪比低时迭代次数会越少,新算法的优越性能越突出。经过反复试验交叉熵算法式(6)中取 $q=0.005$,外部信息算法中式(4)中取 $T=0.004$ 时,基本符合译码要求。

在计算量方面交叉熵算法每次要计算 N 次平方运算, N 次指数运算, N 次加法运算, N 次除法运算,而外部信息停止迭代准则只用计算 N 次加法运算和 N 次除法运算。

5 结束语

上述仿真分析表明:文中提出的新迭代停止准则,具有外部信息和交叉熵二者的共性,在信噪比不同时保持了两者在不用信噪比时的优点;该算法不仅降低了运算量和迭代次数,而且在硬件实现上节约了大量内存空间,降低了设备成本。改进后的算法是可行有效的。Turbo码是最接近香浓(Shannon)极限的编码之一,它尤其适用于远距离传输,由于有了交织增益和迭代译码,大大降低了数据传输误码率,多应用于第三代数字无线通信传输中。

参考文献:

- [1] 汪汉新,陈少平,朱翠涛.Turbo码的迭代译码方法的优化设计[J].计算机工程与应用,2007,43(3):99-101.
- [2] 岳传飞,刘元华,张昆.Turbo编码器的FPGA实现[J].兵工自动化,2008,27(1):74-76.
- [3] 邱金刚,焦耀斌.Turbo编码中交织器的设计应用[J].微计算机信息,2004,20(12):138-139.
- [4] Wu Yufei, Woerner B D, Ebel W J.A simple stopping criterion for Turbo decoding[J].IEEE Communications Letters,2000,4(8).
- [5] 刘东华.Turbo码原理与应用技术[M].北京:电子工业出版社,2004.
- [6] 庞永强,张长明,王毅军.一种简单的Turbo码的迭代停止判据[J].无线电通信技术,2006,32(6):25-26.
- [7] 刘东华,唐朝京.基于交叉熵最小化的Turbo码迭代译码停止准则[J].国防科技大学学报,2000(5):46-50.
- [5] Zhang Tong, Xiao Nanfeng.Real-time and stable walking pattern generation of a humanoid robot[C]//Proceedings of 2008 International Conference on Humanized Systems,2008:101-105.
- [6] Gutmann J-S, Fukuchi M, Fujita M.Stair climbing for humanoid robots using stereo vision[C]//Int Conf on Intelligent Robots and Systems(IROS), Sendai, Japan, 2004.
- [7] Kanehiro F, Hirukawa H, Kaneko K, et al.Locomotion planning of humanoid robots to pass through narrow spaces[C]//Int Conf on Robotics and Automation(ICRA), New Orleans, 2004.
- [8] Guan Y, Yokoi K, Sian N E, et al.Feasibility of humanoid robots stepping over obstacles[C]//Int Conf on Intelligent Robots and Systems (IROS), Sendai, Japan, 2004.
- [9] Chestnutt J, Kuffner J J.A tiered planning strategy for biped navigation[C]//Int Conf on Humanoid Robotics (Humanoids), 2004.
- [10] Kuffner J J, Nishiwaki J K, Kagami S.Footstep planning among obstacles for biped robots[C]//Proc 2001 IEEE RSJ Int'l Conf on Intelligent Robots and Systems (IROS 2001), 2001.
- [11] Gutmann J-S, Fukuchi M, Fujita M.A floor and obstacle height map for 3D navigation of a humanoid robot [C]//Int Conf on Robotics and Automation(ICRA), Barcelona, Spain, 2005.

(上接6页)

7 结论

将仿人机器人的动作离散化为指定的动作,将状态空间离散化为网格,利用立体视觉建立环境地图,将机器人的轮廓简化为双圆柱模型进行避障检测,最终在环境地图中搜寻代价最小的一系列可行的动作作为路径,仿真实验的结果证实了提出的方法是有效的。

参考文献:

- [1] Li Xinde, Huang Xinhan, Wang Min.Robot map building from sonar and laser information using DSMT with discounting theory[J].International Journal of Information Technology, 2006, 3(2):78-85.
- [2] Kuffner J J, Kagami S.Dynamically-stable motion planning for humanoid robots[J].Autonomous Robots, 2002, 12(1):105-118.
- [3] Jiang X-Y, Bunke H.Fast segmentation of range images into planar regions by scan line grouping[J].Machine Vision and Applications, 1994, 7(2):115-122.
- [4] 张捍东,郑睿,岑豫皖.移动机器人路径规划技术的现状与展望[J].系统仿真学报,2005,17(2):439-443.