

不同权重优先级不等差错保护 LT 码的设计

王孝欣¹ 高守玮¹ 袁 舰¹ 李 俊²

(1. 上海大学机电工程与自动化学院 上海 200072; 2. 新南威尔士大学 电子工程与通信学院 悉尼 NSW 2052)

摘要: 通过分析当前 LT 码在实践中的应用, 根据传输数据具有不同优先级的特点, 针对等差错保护 LT (EEP-LT) 码在这方面的性能缺陷, 提出了不同权重优先级不等差保护特性 LT (UEP-LT) 码的设计。该设计按传输数据的优先级提供对数据层不同的保护水平。根据传输标准图像时的译码开销以及误码率判断性能, 仿真结果显示, 提出的 UEP-LT 码能以极低的译码开销恢复大多数高优先级的数据, 在合理的译码开销下具有比等差保护 (EEP) 低的误码率。同时, 抛物线形优先级的 UEP-LT 码比线性优先级的 UEP-LT 码在译码开销和误码率方面具有更好的性能。

关键词: LT 码; 不等差错保护 (UEP); 误码率 (BER); 不同权重优先级

中图分类号: TP3 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.4050

Design of UEP-LT codes with different weight prioritys

Wang Xiaoxin¹ Gao Shouwei¹ Yuan Jian¹ Li Jun²

(1. School of Mechatronic Engineering and Automation, Shanghai University, Shanghai 200072, China;

2. School of Electrical Engineering and Telecommunications, University of New South Wales, Sydney NSW 2052, Australia)

Abstract: LT codes can dramatically enhance the network throughput as a rateless code. By Analyze the application of LT codes, according to the characteristic of transmission data with different priorities, aiming at the performance deficiency of equal error protection LT (EEP-LT) codes, propose the design of unequal error protection LT (UEP-LT) codes with different weight priority. The proposed different weight priority UEP-LT codes provide different protection level to data layer. The performance is judged by the decoding overhead and bit error rate (BER) of standard picture transmission. The results of simulation show that the UEP-LT codes can recover most of high priority data with extremely low decoding overhead, and have a better bit error rate (BER) performance than the equal error protection (EEP) LT codes with a reasonable overhead. Further more, the performance of UEP-LT codes with parabolic priority is better than the UEP-LT codes with linear priority.

Keywords: LT code; unequal error protection (UEP); bit error rate (BER); different weight priority

1 引言

数字喷泉码是一种新型的信道编码方式, 具有无码率的特性以及很好的数据恢复性能。无码率编码的基本思想是, 发送端源源不断地生成编码符号, 接收端只要接收足够的编码符号, 就能成功恢复原始数据。这种无码率的特性使这种编码完美的适应二进制删除信道 (BEC)。LT 码^[1] 是第一个实现的无码率编码, 同时也为其他喷泉码设计提供内码。

在实践中, 大量的应用需要不等差错保护, 也就是不同传输数据需要不同的保护程度^[2-3]。例如, 在 MPEG 数据流中, I 帧比 P 帧和 B 帧都重要^[4]。为了得到更好的用户体验, 不同重要程度的数据在有噪信道传输过程中必须进行不同程度的保护。因此, 在实践中不等差错保护 (UEP)

是非常有必要的。

这篇论文设计了 UEP 特性的 LT 码, 即 UEP-LT 码。设计 UEP-LT 码有两种方案, 一种方式就是改变每个边选择原始数据包的概率^[5]; 另一种方式就是保留原有的度分布, 然后通过滑动窗^[6] 或者块复制^[7] 的方式来改变每个原始数据包被选择的概率。

这里, UEP-LT 码是根据第一种方案设计的, 但是具有比文献^[5] 更精确的保护水平。具体的是, 首先提出了不同权重优先级的概念, 这里对数据的保护程度是不同的。然后提出了最小化误码率 (BER) 和译码开销的成绩。提出的 UEP-LT 码可以以极低的译码开销恢复大多数高优先级的数据。仿真结果显示, 在合理的译码开销下, 抛物线性优先级 UEP-LT 码在误码率方面比线性优先级 UEP-LT 码和

等差保护 EEP-LT 码具有更好的表现。

2 不同权重优先级 UEP-LT 码设计

当设计 UEP-LT 码时,每个输入符号以不同的概率被一个编码包连接的边选中^[5-8],然而并没有明确的方式来决定每个原始数据包被保护程度的大小。所以,问题是如何量化输入符号的优先级。这里,优先级以两种方式确定,并且与 EEP-LT 码进行对比。第一种方式是抛物线性方式;第二种方式是线性方式,权重从高到低。具体如下:假设原始数据包的数量为 k 。根据优先级,原始数据包被分为 L 组。相同分组的数据包被选择的概率相等。 α_i 代表第 i 组数据包占全部原始数据包的比例, $i = 1, \dots, L$, 得到:

$$\sum_{i=1}^L \alpha_i = 1 \quad (1)$$

因此, i 分组的数据包为 $(\alpha_i \times k)$ 。分组中一个原始数据包被选择概率为 p_i 。得到:

$$\sum_{i=1}^L (p_i \times \alpha_i \times k) = 1 \quad (2)$$

这里 $p_i \times \alpha_i$ 是第 i 分组被选择的概率。

把优先级按照降级来量化,引入参数 a 和 b 建立 p_i 的方程。这里,作为对比, p_i 以线性和抛物线两种方式降级量化。如下:

$$p_i = a/k - (b/L) \times i \quad (3a)$$

$$p_i = a/k - (b/L) \times i^2 \quad (3b)$$

a 是用来获取 p_i 的中间变量,参数 b 表示不等差错保护的等级。如果 b 等于 0,即表示等差保护。如果 b 为无穷大,则最高优先级的原始数据包受到最高程度的保护。然后根据式(1)~(3):

$$a = b \times (k/L) \sum_{i=1}^L (\alpha_i \times i) + 1 \quad (4a)$$

$$a = b \times (k/L) \sum_{i=1}^L (\alpha_i \times i^2) + 1 \quad (4b)$$

从式(4)可以基于 b 得到 a ,根据式(3),进而基于参数 a 和 b ,由式(3)得到 p_i 。

参数 b 可以通过目标函数最小化得到最优解。

$$\min = \sum_j (ber_j \times overhead_j), ber_j < \gamma \quad (5)$$

式中: $overhead_j$ 被定义为解码端接收到的编码符号和输入符号的比值, ber_j 是在译码开销 $overhead_j$ 下误码率; γ 是误码率的上限。对目标函数优化时的限制条件如下:

$$\text{s. t.} \begin{cases} 0 < p_i < 1 \\ \sum_{i=1}^L \alpha_i = 1 \\ \sum_{i=1}^L (p_i \times \alpha \times k) = 1 \\ p_i = (a/k) - (b/L) \times i \\ a > 0 \\ b > 0 \end{cases} \quad (6a)$$

在抛物线性优先级 UEP-LT 码设计中,限制条件是:

$$\text{s. t.} \begin{cases} 0 < p_i < 1 \\ \sum_{i=1}^L \alpha_i = 1 \\ \sum_{i=1}^L (p_i \times \alpha \times k) = 1 \\ p_i = a/k - (b/L) \times i^2 \\ a > 0 \\ b > 0 \end{cases} \quad (6b)$$

在这个优化模型下,可以得到权衡译码开销和误码率的最优解 b ,进而分别通过式(4)和(3),得到参数 a 和 p_i 。所以,如果要选择邻居,就要首先根据 p_i 选择一个分组,然后均匀的在这个分组中选择邻居节点。

3 不同权重优先级 UEP-LT 码效果比较

采用标准图像传输来评估设计的 UEP-LT 码的效果^[9]。选择的标准图像是 256×256 像素,每个像素用 8 位表示。所以这个图像有 $256 \times 256 \times 8$ 位。在图像恢复过程中一个字节中的高位比低位更重要,这样根据一个字节中 8 位的位置来确定 8 个优先级,即 $L = 8$ 。然后,相同优先级的共 256×256 位的数据放在一起,并被打包成 32 位的数据包,即每个优先级有 2 048 个数据包。数据包的总数量是 16 382,即 $k = 16\ 384$ 。当所有的原始数据包形成后,使用本文提出的编码方式进行编码并在在二进制删除信道中进行传输。仿真中,BEC 的删除率设定为 0.03。在解码端,计算出每个优先级的误码率和总的误码率。根据误码率,可以对比出抛物线性优先级 UEP-LT 码和线性优先级 UEP-LT 码以及 EEP-LT 码的效果。

根据以上方法,得到抛物线性优先级和线性优先级 UEP-LT 码设计中,不同优先级的权重分配,如图 1 所示。

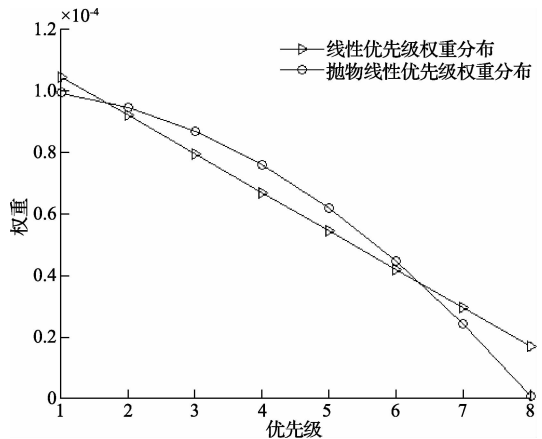


图 1 不同优先级的两种权重分配

图 2 是 EEP 码下,不同优先级在不同译码开销下的误码率。竖轴代表误码率,横轴代表译码开销, $p_1 \sim p_8$ 为优先级从高到低的 8 个分组, Ave BER 是平均误码率。从图中可以看出,EEP-LT 码对数据包提供相同的保护程度,各

个分组具有类似的重叠的误码率曲线。EEP-LT码中,当达到Luby建议的译码开销时,绝大多数数据包可恢复^[1];但当译码开销不足时,误码率会相当高。

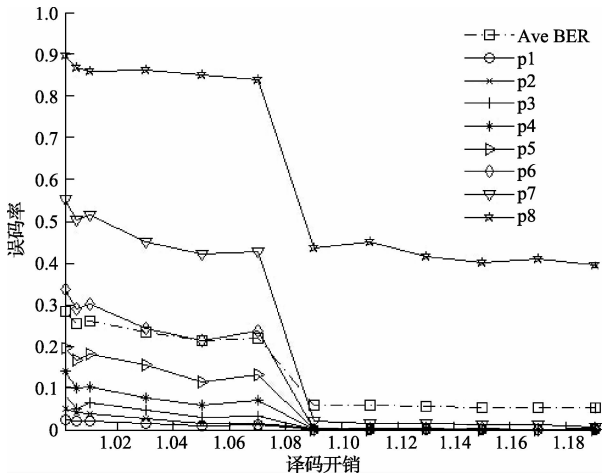


图2 EEP码不同译码开销下的误码率

图3是线性优先级UEP-LT码,最优解 $b=0.00013$ 下,不同优先级在不同译码开销下的误码率。图4是抛物线性优先级UEP-LT码,最优解 $b=0.0000125$ 下,不同优先级在不同译码开销下的误码率。图3和图4横竖轴及符号的意义与图2相同。根据图3和图4可以看出,UEP-LT码根据不同优先级对数据包提供不同的保护程度,优先级越高,提供的保护程度越高,误码率越低。在较低的译码开销下,可以以较低的误码率恢复高优先级的数据。根据仿真结果,UEP-LT码比EEP-LT码的平均误码率小。

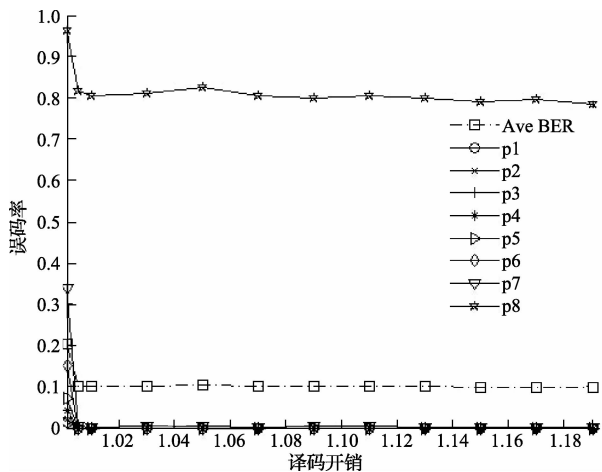


图3 线性优先级UEP-LT码不同译码开销下的误码率($b=0.00013$)

图4中,在译码开销低于1.02时,具有较高优先级的分组的误码率已经接近0,具有最低优先级的分组p8的误码率保持较高。对比图3和图4的平均误码率可以看出,在较低译码开销时,抛物线性优先级的UEP-LT码具有较低的平均误码率。当译码开销高于1.08时,抛物线性优先

级UEP-LT码和线性优先级UEP-LT码的平均误码率几乎相等。

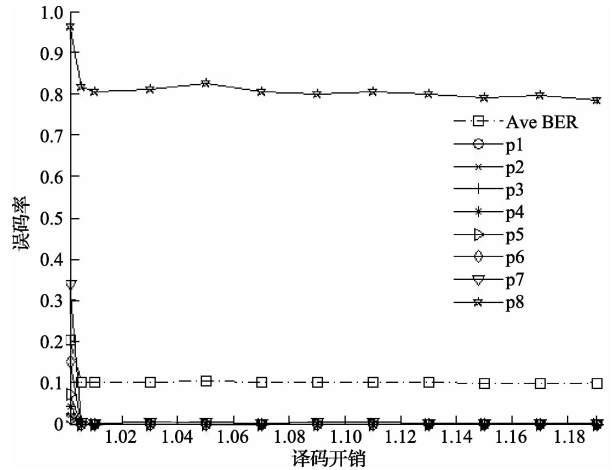


图4 抛物线性优先级UEP-LT码不同译码开销下的误码率($b=0.0000125$)

图5、图6、图7是EEP-LT码、线性优先级UEP-LT码、抛物线性优先级UEP-LT码在不同译码开销(DO)下传输标准图像的传输效果。

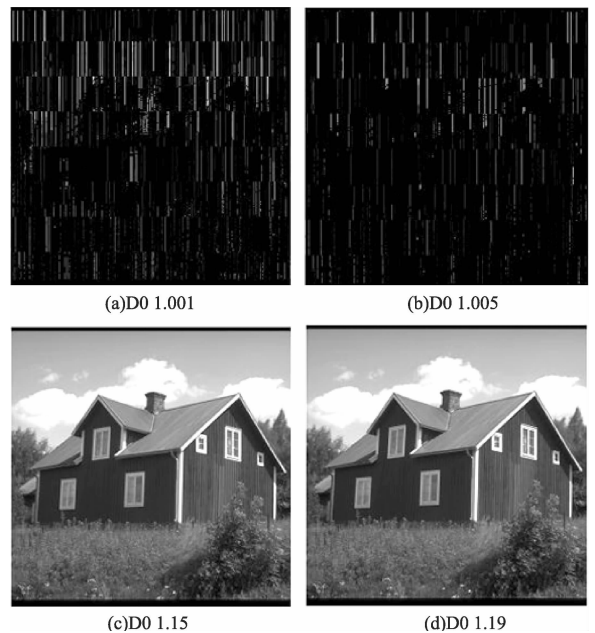
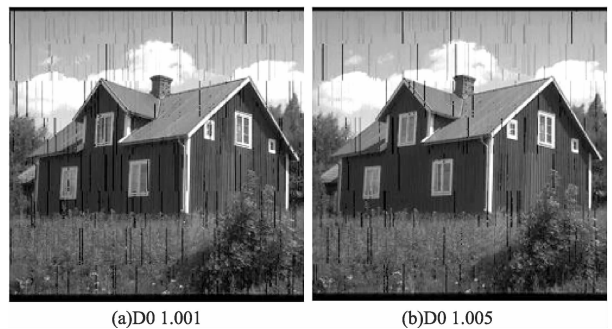


图5 EEP-LT码效果





(c)D0 1.15

(d)D0 1.19

图6 线性优先级 UEP-LT 码效果



(a) 1.001

(b)D0 1.005



(c)D0 1.15

(d)D0 1.19

图7 抛物线性优先级 UEP-LT 码效果

根据图5所示,在译码开销较低时,EEP-LT码的传输效果较差,基本无法恢复原图。当译码开销达到Luby建议的译码开销时,具有较好的传输效果。根据图6所示,线性优先级UEP-LT码在较低的译码开销时,基本可以恢复原图。只有当译码开销较大时才能完全恢复原图。根据图7显示,抛物线性优先级UEP-LT码在译码开销较低时,基本可以以较好的效果恢复原图。

显然,在译码开销较低的时候,线性优先级UEP-LT码的效果好于EEP-LT码,译码开销较大时,EEP-LT码的效果好于线性优先级UEP-LT码。相比EEP-LT码和抛物线性优先级UEP-LT码,后者可以以较低的译码开销和较低的误码率恢复原图,具有较好的传输效果。相比2种不同优先级UEP-LT码,抛物线性优先级UEP-LT码的效果好于线性优先级的UEP-LT码。

4 结 论

设计了不同权重优先级的UEP-LT码,并比较了抛物线性优先级UEP-LT码、线性优先级的UEP-LT码、EEP-

LT码的效果。首先,提出不同权重优先级的概念,根据式(1)、式(2)、式(3)得到优先级权重表达式。然后,根据优先级设置分组,并为每个编码包分配邻居。再根据优先级选择一个分组,然后在此分组内以相同概率选择原始数据包。尽管这影响了原始LT码的编码结构,但显著提高了性能。

仿真结果显示,UEP-LT码在较低的译码开销下恢复大多数高优先级数据包,性能较好;进一步的,抛物线性优先级UEP-LT码的性能优于线性优先级UEP-LT码和EEP-LT码,能以较低的译码开销和较低的误码率恢复数据包,性能提升非常明显。

参考文献

- [1] LUBY M. LT codes[C]//Proceedings of the 43rd Annual IEEE Symposium on Foundations of Computer Science, Vancouver, New York: IEEE, 2002: 271-280.
- [2] YUE J, LIN Z, LI J, et al. Unequal error protection distributed network-channel coding based on LT codes for wireless sensor networks[C]//Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), 2013 IEEE. IEEE, 2013: 1482-1487.
- [3] SHAO H Q, XU D Z, ZHANG X F. The design and analysis of unequal error protection fountain coding for multiple source networks over binary erasure channels[J]. Science China Information Sciences, 2014, 57(8): 1-9.
- [4] SIKORA T. MPEG digital video-coding standards[J]. Signal Processing Magazine, IEEE, 1997, 14(5): 82-100.
- [5] RAHNAVARD N, VELLAMBI B N, FEKRI F. Rateless codes with unequal error protection property[J]. IEEE Transactions on Information Theory, 2007, 53(4): 1521-1532.
- [6] BOGINO M C O, CATALDI P, GRANGETTO M, et al. Sliding-window digital fountain codes for streaming of multimedia contents[C]//ISCAS 2007. IEEE International Symposium on Circuits and Systems, 2007. IEEE, 2007: 3467-3470.
- [7] AHMAD S, HAMZAOUI R, AL-AKAIDI M. Unequal error protection using LT codes and block duplication[J]. 2008.
- [8] YUAN L, AN J P. Design of UEP-Raptor codes over BEC[J]. European Transactions on Telecommunications, 2010, 21(1): 30-34.
- [9] 倪春亚. 基于喷泉码的不等差错保护方案研究[D]. 天津: 天津大学, 2012.

作者简介

王孝欣, 硕士研究生。主要研究方向为智能信息处理和图像传输研究等。

E-mail: wangxiaoxin999@126.com