

# 移动信道下采用 Punctured 卷积码实现不等 错误保护的研究

袁东风<sup>1</sup>, 李作为<sup>1</sup>, 隋爱芬<sup>1</sup>, 宁继鸣<sup>2</sup>

(1. 山东大学信息科学与工程学院, 山东济南 250100; 2. 山东大学国际交流学院, 山东济南 250100)

**摘 要:** 本文以移动信道的四状态 Markov 模型为基础, 将 Punctured 卷积码(Punctured Convolutional Codes; PCC)用于快衰落移动信道下的图像传输系统中, 提出了通过对码率、母码约束长度和交织度这三种不同自由度的调整, 实现图像传输的不等错误保护(Unequal Error Protection; UEP)方案. 计算机模拟结果表明, 所提出的方案具有明显的不等错误保护能力, 可以满足在具有不等错误保护要求的移动环境下对传输图像质量的要求.

**关键词:** 移动信道; 图像传输; Punctured 卷积码; 不等错误保护

**中图分类号:** TN929.5      **文献标识码:** A      **文章编号:** 0372-2112(2001)07-0996-04

## Research on Unequal Error Protection with Punctured Convolutional Codes in Image Transmission System over Mobile Channels

YUAN Dong-feng<sup>1</sup>, LI Zuowei<sup>1</sup>, SUI Aifen<sup>1</sup>, NING Jiming<sup>2</sup>

(1. Information College of Science and Engineering, Shandong University, Jinan, Shandong 250100, China;

2. Collage of International Education, Shandong University, Jinan, Shandong 250100, China)

**Abstract:** In this paper, the 4-state Markov model is made as the long-bursting error possibility model of mobile channels, and punctured convolutional codes (PCC) are applied to image transmission system over mobile fast fading channels. We propose a new scheme of unequal error protection (UEP) in image transmission by means of adjusting different code rates, constraint lengths of mother codes and interleaving degrees. Simulation results show the superiority of UEP directly.

**Key words:** mobile channels; image transmission; punctured convolutional codes; unequal error protection

### 1 引言

在移动环境下进行图像数据的传输时, 有很多时候, 只有一部分数据(如人的面部等)对于信道干扰的反应敏感, 或者是用户对这部分数据的可靠性要求特别高, 这部分数据称为重要数据; 而另一部分数据(如背景等)对于信道干扰的反应不敏感, 或者是用户对这部分数据的可靠性要求不是特别高, 这部分数据称为不重要数据. 显而易见, 若按照重要数据的错误保护度要求对所有数据提供同等的数据保护, 必将降低有效数据传输率或频带有效性, 造成资源的浪费; 而如果按照不重要数据的错误保护度要求对所有数据提供同等的数据保护, 则重要数据的高保护度要求就得不到满足. 因此, 应该根据不同的对传输的数据采取不同的保护度<sup>[1,2]</sup>.

本文以四状态 Markov 模型为基础, 实现了移动信道的建模工作<sup>[3]</sup>, 并将 Punctured 卷积码应用于快衰落移动信道下的图像传输系统中, 通过实验预测, 数据被分为重要数据和不重要数据两部分, 按照码率、母码约束长度和交织度这三种不同自由度, 对重要数据提

供了较高的保护度, 而对不重要数据提供了较低的保护度. 仿真结果直观地体现了不等错误保护的优越性.

### 2 移动信道的四状态 Markov 模型

在四状态 Markov 模型定义下, 信道只有一个错误状态, 其余状态都是无误状态(这里取状态数为  $N = 4$ )<sup>[3,4]</sup>. 此时, 模型状态转移图如图 1 所示.

1994 年, Swarts 和 Ferreira 公布了他们在南非约翰内斯堡得到的场测试结果, 他们的场测试结果提供了在两种不同车速(40km/h 及 100km/h)、四种不同调制方式(FSK、DPSK、QPSK 及 8PSK)及四种不同信号传输速率(300bit/s、1200bit/s、2400bit/s 及 4800bit/s)下, 简单分群的四状态 Markov 模型<sup>[5]</sup>.

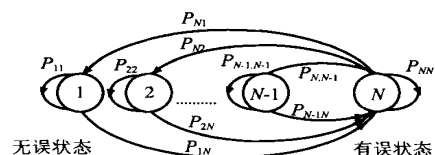


图 1 四状态 Markov 模型状态转移图

### 3 Punctured 卷积码

Punctured 卷积码的原理就是由同一个  $1/n$  码率的母码的编码器进行编码, 根据要得到的码率的不同, 周期性的删除要送入信道的编码序列中的某些比特; 而在译码时, 对于接收到的序列, 无论其码率是多少, 均按照原来母码的码率进行 Viterbi 译码, 从而以极小的附加复杂度, 获得了编、译码的灵活性和可变性<sup>[6-8]</sup>.

以(2, 1, 3) 码为例, 若要由其产生 2/3 码率的码型, 可将编码器输出的码元序列每 4 个分为一组, 删除掉每组中的第

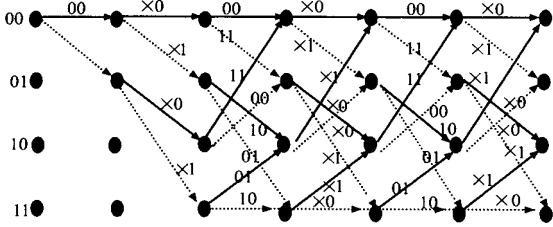


图 2 由(2, 1, 3) 卷积码删除信道比特后产生的(3, 2, 2) 码元网格图三个码元。图 2 给出了这种方法的网格图, 其中×表示删除比特。由图中可以看出, 在编码器的输入端每输入两个码元, 则在输出端可以得到三个码元, 从而实现了由 1/2 码率到 2/3 码率的转换。

在对图 2 所产生的码元序列进行译码时, 我们可以仍旧把它看作是一些由(2, 1, 3) 码产生的码元序列进行译码, 只不过需要每三个码元中插入一个“仿造”的码元(0 或 1 均可), 在译码的支路量度的比较时, 并不把“仿造”码元计算在内<sup>[6,7]</sup>。

本文采用的母码为 1/2 卷积码, 产生的码率在 1/2 至 13/14 之间可变。

### 4 图像传输方案

本文采用的图像传输系统如图 3 所示。其中各部分的含义及作用如下:

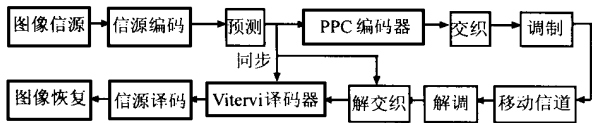


图 3 图像传输系统框图

图像信源和信源编码: 将 CCD 摄像机产生的标准的全电视信号编码。预测: 按照图 4 的方法进行分割, 对数据进行预测, 将数据分为重要数据(白色部分)和不重要数据(灰色部分)两部分; 同步: 使发送端和接收端之间在码率、约束长度和交织度等方面保持一致; PPC 编码器



图 4 图像预测分割示意图

器和交织器: 根据预测对不同的数据选择不同的码率、母码约束长度和交织度; 调制、移动信道及解调: 选择移动信道的模

型。本文采用了信道 8 的模型, 即: 调制方式 8PSK, 数据传输率 4800bit/s, 车速 100km/h; Viterbi 译码器及解交织: 根据发送端的 UEP 方案进行信道译码和解交织; 图像恢复和信源译码: 进行恢复和显示图像。

表 1 六种 UEP 方案

	重要数据			不重要数据		
	码率	约束长度	交织度	码率	约束长度	交织度
方案一	1	无	无	1	无	无
方案二	2/3	5	30	2/3	5	30
方案三	1/3	5	30	3/4	5	无
方案四	1/2	5	50	3/4	5	无
方案五	1/2	7	50	3/4	5	无
方案六	1/2	7	100	3/4	5	无

为了研究不等错误保护在移动信道下图像传输系统中的性能, 本文采用了六种不同的传输方案, 如表 1 所示。其中方案一表示不采用任何差错控制技术, 直接传输原始图像。方案一和方案二均未采取 UEP 控制, 方案三至方案六采取了 UEP 控制(“交织度无”表示无交织)。

### 5 仿真结果及分析

本文六种方案的仿真结果及误码率与图像峰-峰值的统计见图 5 至图 10 及表 2。在表 2 中,  $Pb1$ 、 $Pb2$  及  $Pb3$  分别表示重要数据(以下简称数据 1)、不重要数据(以下简称数据 2)及全部数据的误码率; 在图 5 至图 10 中, 矩形框内的部分表示数据 1。关于信息传输率(Rate of information throughput, RIT)的计算如下式:

$$RIT = (r_1 \times a_1 + r_2 \times a_2) \times 4800 \text{bit/s} \quad (1)$$

其中:  $r_1$  为数据 1 的码率;  $r_2$  为数据 2 的码率;  $a_1$  为数据 1 占全部数据的百分比;  $a_2$  为数据 2 占全部数据的百分比。

(1) 方案一由于未进行信道编码, 其信息传输率与数据传输率相同, 达到最大值 4800bit/s, 但图像中存在着大量的“雪花点”, 实际应用中难以令人接受; 方案二采用了 2/3 码率的卷积码和交织技术, 误码率比方案一降低了 68%, 但人物面部部分仍存在着大量的“雪花点”, 且其信息传输率降为数据传输率的 2/3, 即 3200bit/s, 时延和复杂度也有所增加, 仍不具有实用意义。虽然进一步降低码率或者加大交织度能够继续改善性能, 但信息传输率和时延也将随之降低和增大。

(2) 方案三至方案六中, 数据 1 的码率为 1/2, 数据 2 的码率为 3/4。虽然数据 1 部分的传输有效性较低, 由于其仅占全部数据的约 30%, 因此全部数据的信息传输率约为 3200bit/s。与方案二相比, 在信息传输率相等的情况下, 虽然总体性能有所下降(表现为码率增加和峰峰下降), 但人物面部的传输质量得到极大改善, 从误码率的角度看, 该部分的误码率比方案二分别降低了 96.5% 至 99.5% 不等, 而且由于占全部数据多数的数据 2 未采用交织技术, 因此整幅图像的时延也大大降低。若继续提高数据 2 的码率, 则在保证数据 1 传输质量的前提下, 信息传输率仍然能够得到进一步的提高。

(3) 由表 2, 方案三与方案二相比, 在其他条件相同时, 信道编码冗余量上有 25% 的增加(从 2/3 到 1/2), 带来了数据 1

性能上 96.5% 的提高(约束长度为 5 时). 这说明在实际应用中, 码率可以作为—种简单有效的自由度对数据进行 UEP 控制. 但降低码率也同时降低了信息传输率.

表 2 六种 UEP 方案的误码率及峰-峰值的比较

	$Pb1$	$Pb2$	$Pb3$	峰-峰值
方案一	2.19E-2	2.19E-2	2.19E-2	26.76
方案二	6.97E-3	6.97E-3	6.97E-3	27.32
方案三	2.45E-4	1.17E-2	7.83E-3	27.03
方案四	1.12E-4	1.17E-2	7.75E-3	27.14
方案五	8.68E-5	1.17E-2	7.73E-3	27.16
方案六	2.75E-5	1.17E-2	7.71E-3	27.17

(4) 方案四与方案三的区别在于交织度的不同, 交织度从 30 增加到 50 时, 数据 1 的性能提高了 54.3% (从 2.45E-4 到 1.12E-4); 相应地, 在方案六与方案五的比较中, 交织度从 50 增加到 100 时, 数据 1 的性能提高了 68.3% (从 8.68E-5 到 2.75E-5). 这说明, 在工程上的 UEP 控制中, 选择一个合适的交织度将是一种简单可行的方法.

(5) 在方案五及方案四中, 母码约束长度由 5 增加到 7, 在性能上获得了 22.5% 的提高(从 1.12E-4 到 8.68E-5). 但由于 Viterbi 译码器的复杂度是随约束长度的增加而呈指数增长

的, 加大约束长度所带来的性能提高与改变码率和交织度相比, 代价是相当大的. 因此, 母码约束长度这一自由度只适用于对图像质量要求苛刻, 且其他自由度已无法改善性能的系统. 这一点在工程设计中具有重要意义.



图 5 方案一

图 6 方案二

图 7 方案三



图 8 方案四

图 9 方案五

图 10 方案六

码率、交织度及约束长度在 UEP 控制中的优缺点的比较见表 3.

表 3 码率、交织度及约束长度在 UEP 控制中的优缺点

性能自由度	优点	缺点
码率	1. 降低码率能极大地提高传输可靠性. 例如码率由 3/4 变为 1/2 时, 误码率改善了 96.5%, 图像质量明显提高. 2. 不增加时延和复杂度. 3. 工程设计中易于实现.	降低了信息传输率, 传输有效性下降
交织度	1. 加大交织度能有效提高传输可靠性. 例如交织度从 30 增加到 50 时, 误码率改善了 54.3%, 从 50 增加到 100 时, 误码率改善了 68.3%. 2. 不降低信息传输率, 保证了传输有效性. 3. 工程设计中易于实现.	增加了时延和复杂度
约束长度	1. 增加约束长度能在一定程度上提高传输可靠性. 例如约束长度由 5 增加到 7 时, 误码率改善了 22.5%. 2. 不降低信息传输率, 保证了传输有效性	1. 增加约束长度会大大增加时延和复杂度(指数增长). 2. 实际应用中代价较大.

## 6 结论

(1) 本文提出的 UEP 控制方案是一种适用于移动信道下图像传输系统中的差错控制方案, 能够在保证较高的信息传输率的前提下, 对重要数据提供重点保护, 与不采用 UEP 控制的传输方案相比, 无论从性能的角度还是从直观的角度看, 其效果非常明显, 对于实际应用中的工程设计具有比较重要的指导作用.

(2) 码率、交织度及母码约束长度作为实现 UEP 控制的三个自由度各有其特点, 前两者简便有效, 而后者可作为前两者的补充.

(3) 如果仅仅从性能角度考虑, 我们认为方案六是最佳的; 而如果综合考虑性能、时延、复杂度等诸多因素, 则方案四或方案五都可满足要求.

### 参考文献:

[1] MANJUS, MANDAYAM N B. Variable rate channel coding and

enhanced interleaving for image transmission using an outage criterion [A]. IEEE WCNC' 99 [C], New Orleans, USA, 21- 24 Sept. 1999: 344- 348.

[2] CAOL, CHEN C W. Multiple hierarchical transmission over wireless channels [A]. IEEE WCNC' 99 [C], New Orleans, USA, 21- 24 Sept. 1999: 349- 353.

[3] 袁东风. 移动数字信道差错控制系统性能估计与计算机模拟 [J]. 通信学报, 1991, 1.

[4] 袁东风, 吴开震. 移动信道三状态 Markov 模型建立及其差错序列的计算机软件产生 [J]. 山东大学学报(自然科学版), 1988, 4.

[5] Francis Swarts, Hendrik C Ferreira. Markov characterization of digital fading mobiler VHF channels [J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, Nov. 1994, 43(4).

[6] Y Yasuda, K Kashiki, Y Hirata. High rate punctured convolutional codes for soft decision viterbi decoding [J]. IEEE Trans. on Com., COM-32, Mar. 1984: 315- 319.

# 全国第一届水下导航技术及应用学术技术交流研讨会 征文通知

由中国电子学会导航分会、中国航海学会通导专业委员会和海军司令部航海保证部联合主办,并由海军潜艇学院承办的“全国第一届水下导航技术及应用学术技术交流研讨会”将于 2001 年 11 月在青岛举行,现进行征文。

## 1 征文内容

(1) 水下导航技术现状及其发展趋势;(2) 水下导航新理论、新思路和新技术;(3) 光学陀螺捷联式惯导技术及应用研究;(4) 惯导标校与陀螺监控技术及应用研究;(5) 组合导航技术及应用研究;(6) 多卜勒与声相关计程技术及应用研究;(7) 导航信息融合技术及应用研究;(8) 地形匹配技术及应用研究;(9) 地磁匹配技术及应用研究;(10) 重力导航技术及应用

研究;(11) 漂浮天线应用技术研究;(12) 天文导航技术及应用研究;(13) 其它水下导航技术及应用研究。

## 2 具体要求

(1) 论文书写顺序: 题目、作者单位、摘要、关键词、正文、参考文献、作者简介。

(2) 论文请用 WORD 存盘、激光打印机打印。论文格式:

标 题	作者姓名	作者单位	内容摘要	论文正文
小 2 号宋体	4 号仿宋	4 号仿宋	小 4 号仿宋	5 号仿宋

(3) 论文硬盘和打印清样各一份,请于 2001 年 9 月底前寄青岛海军潜艇学院电航教研室。

联系人: 刘锡敬、徐建锋 邮编: 266071

- [ 7 ] L H C Lee. New rate compatible Punctured convolutional codes for viterbi decoding [ J ]. IEEE Trans. on Com. , Dec. 1994, 42 ( 12 ): 3073- 3079.
- [ 8 ] J K Walf, E Zehavi. P2 codes: pragmatic trellis coding utilizing punctured convolutional codes [ J ]. IEEE Trans. on Com. , Feb. 1995, 33: 94- 99.

大学电子工程系通信与信息系统专业博士研究生毕业并获工学博士学位。1993 年- 1994 年赴加拿大 Calgary 大学电子与计算机工程系任访问教授,1998 年- 1999 年受德国 DAAD 资助赴德国 Erlangen 大学电子工程系任访问教授。已在多种学术刊物及 IEEE 组织的国际会议上发表学术论文 140 余篇,并有数十篇论文被收入 SCL, EI, ISTP 收录。目前的主要研究方向和领域有: 信息理论与技术、纠错编码抗干扰技术、移动通信、卫星通信差错控制设计以及最新调制编码结合抗干扰(TCM, MLC, BICM) 技术、Turbo Code 技术等。

## 作者简介:



袁东风 男, 工学博士, 教授, 博士生导师, 1958 年 4 月出生于山东济南。山东大学信息与工程学院副院长、中国通信学会、中国电子学会高级会员, 山东省电子学会常务理事, 山东省信息化专家组副组长, 山东大学青年学科带头人。1988 年于山东大学电子工程系通信专业硕士研究生毕业并获理学硕士学位, 2000 年 1 月于清华



李作为 男, 1975 年生于山东济南, 1998 年毕业于山东大学电子工程系, 获工学学士学位, 现为山东大学电子工程系通信与信息系统专业在读硕士研究生。主要研究方向为移动通信中的纠错编码抗干扰。在国内刊物及国内外会议上发表论文 12 篇。