

基于 Mojette 变换的多描述编码

计文平, 沈兰荪

(北京工业大学信号与信息处理研究室, 北京 100022)

摘要: 本文利用 Mojette 变换实现了一种图像多描述编码方法. Mojette 变换是一种离散投影变换, 它的各个投影之间是相互独立的, 任一组投影数据可以被另一组所替换. 利用这个特性, 我们可以方便地控制冗余度来构成多描述码流, 并且构造出来的多描述码流不局限于二信道多描述系统, 可以任意扩展到多个描述码流的系统. 实验证明, 这种多描述编码方法实现简单, 并且能够获得较好的抗误码性能.

关键词: 多描述编码; Mojette 变换; 图像编码; 变换编码; 抗误码

中图分类号: TP391.41 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2007) 03-0526-04

Multiple Description Coding by Mojette Transform for Image

JI Wenping, SHEN Liansun

(Signal and Information Processing Laboratory, Beijing University of Technology, Beijing 100022, China)

Abstract: This paper describes a new kind of multiple description coding method for image using Mojette Transform. The so called Mojette Transform is a discrete analog of Radon Transform, which is a projective transform. In virtue of the independence of the different projections, any portion of the coded image can be replaced by another one if transmission problems occur. Furthermore, using Mojette Transform we can easily control the redundancy and generate any number of descriptions not confined to two descriptions. Experimental results show that the proposed algorithm not only is simply implemented, but also has high performance for error resilient image transmission.

Key words: multiple description coding; mojette transform; image coding; transform coding; error handling

1 引言

近年来, 多描述编码^[1] (MDC) 作为一种解决误码多环境下数据传输的有效方法^[2,3] 得到了广泛的重视. 多描述编码假设在信号发送端和接收端之间存在多个信道, 各个信道同时出错的概率非常低, 通过生成多个相同权重的可独立解码的描述码流, 从而保证当其中部分描述丢失或出错时, 仍可以得到可接受的图像质量. 多描述编码图像的质量只依赖于接收到的描述的个数, 而与具体哪个描述被接收无关. 多描述编码方法在无优先保护机制的因特网传输、分集无线通信、分布式存储系统中都有着非常重要的应用, 特别是当信道条件恶劣, 误码率较高的情况下, 采用 MDC 能够克服 ARQ 自动重传技术导致的额外延时, 提高传输效率. 但是同单描述编码相比, MDC 压缩效率较低.

MDC 的种类很多, 包括: 基于子采样的 MDC、基于量化的 MDC、基于变换的 MDC、基于前向纠错的 MDC 等. 很多新的方法也不断被提出, 如基于小波变换的 MDC 和多描述的视频编码技术^[4] 等等. 但是到目前为止, MDC 技术还远未成熟, 大多数的研究集中在两个信道的情况, 对于多信道的分析较少; 另外, 常见的 MDC

技术很难做到根据信道条件的变化来自适应调整冗余度, 而根据信道条件来自适应调整冗余度对编码效率尤为重要.

本文提出了一种基于 Mojette 变换^[5,6] 的 MDC 实现方法, 这种方法通过 Mojette 变换在各码流间引入相关, 构成的多描述码流可以很方便地控制冗余度和码流的个数. 这种方法实现简单, 运算量小, 实验证明, 重建图像质量较好.

2 基于 Mojette 变换的 MDC 系统

图 1 给出了基于 Mojette 变换的图像多描述编码系统框图, 通过将 JPEG 图像编码标准和 Mojette 变换相结合来达到数据压缩和抗误码的目的. Mojette 变换是 Radon 投影变换的离散形式, 它能够产生多个投影角度的数据, 从而形成多个描述码流. Mojette 变换后的数据比原始数据要多, 因此它又是一种冗余变换, 可以利用这些冗余信息提高码流的抗误码特性^[7].

基于 Mojette 变换的图像多描述编码方法在发送端, 首先同 JPEG 编码标准类似将图像分成 8×8 的块, 对每个块进行 8×8 DCT 变换量化, 然后将 4×4 个 8×8 块作为一组进行 Mojette 变换. 为了便于利用 JPEG 标准

收稿日期: 2006-04-06; 修回日期: 2006-10-30

基金项目: 国家自然科学基金 (No. 60472036, No. 60402036); 北京市自然科学基金 (No. 4042008); 教育部博士点基金 (No. 20040005015), 武器装备预研基金 (No. 51434050105 (QT0101))

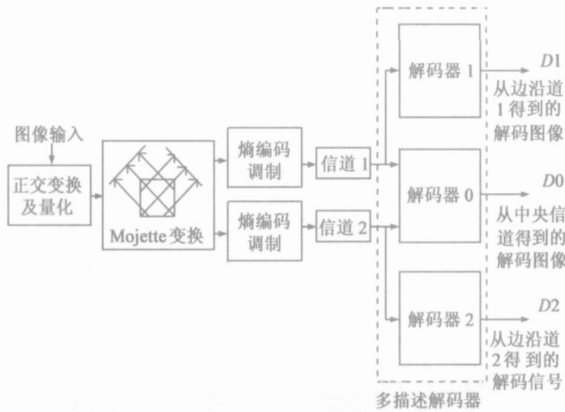


图 1 基于 Mojette 变换的图像多描述编码系统框图

的熵编码方法, 在 Mojette 变换之前和变换后, 分别对 DCT 系数进行重排。即将每组图像块按照频率不同重组为 64 个 4×4 的系数块, 将相同频率的系数组合在一起进行 Mojette 变换。图 2 给出了对 DCT 变换系数进行重组的过程, 即将 64 个 DCT 系数按照不同频率进行分组, 频率相同的数据构成一个 4×4 的数据块, 再对其进行 Mojette 变换。Mojette 变换采用 I 个投影角度的投影, 每个角度得到一组数据, 因此可以形成 I 个数据码流。每个数据流再按照频率关系, 重新排列为 8×8 的系数块进行熵编码, 最后通过调制在多个信道进行传输。

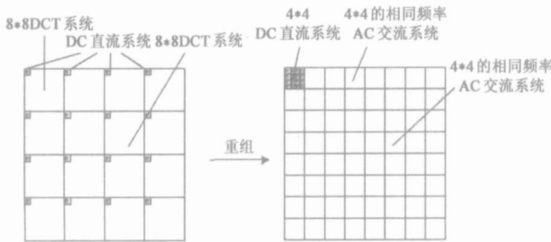


图 2 对 4×4 个 8×8 DCT 系数块的重组过程示意图

在解码端, 每一个接收到的描述都能够独立解码, 恢复出一定质量的图像。每增加一个描述的信息, 解码器恢复的图像质量也越来越高。当接收到足够多的描述时, Mojette 变换可以完全正确地恢复所有的数据, 并且由于各组数据之间是相互独立的, 任意一组数据都可以由另一组数据所代替, 对各个码流的接收顺序没有要求。

3 Mojette 变换

Mojette 变换是对一个图像块像素值在特定的角度上的一组投影关系。对于图像块 $f(k, l)$, $k = 1, 2, \dots, K, l = 1, 2, \dots, L$ 和一组不同的角度 $\theta_i, \text{tg}(\theta_i) = q_i/p_i$, 并且 p_i 和 q_i 的最大公约数是 1, 对应每个角度 θ_i 产生一系列的投影。同一角度投影得到一串数值, 这些数值由对应投影线上的所有元素求和得到。对于一组投影 $\theta_i, i = 1, 2, \dots, I$, Mojette 变换的变换公式为

$$M_{\theta_i} f(k, l) = M_{p_i, q_i} f(k, l) = \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L f(k, l) \Delta(b_i + q_i k - l p_i) \quad (1)$$

这里函数 $\Delta(x) = \begin{cases} 1, & \text{当 } x = 0 \\ 0, & \text{当 } x \neq 0 \end{cases} (p_i, q_i) (i = 1, 2, \dots, I)$ 决定了投影的角度, I 表示投影的个数, b_i 为索引值, 取不同数值, 从而获得相同斜率的不同投影线。

变换 $Mf(k, l)$ 表示 I 个投影的一个集合:

$$Mf(k, l) = \{M_{p_i, q_i} f(k, l), i \in \{1, 2, \dots, I\}\} \quad (2)$$

一个角度投影的投影线的个数, 即该角度投影的元素个数记为 n_i ,

$$n_i = (K - 1) |q_i| + (L - 1) |p_i| + 1 \quad (3)$$

因此, 对于一组投影 $\theta_i, i = 1, 2, \dots, I$, 所有的元素个数为

$$N_m = \sum_{i=1}^I n_i = (K - 1) \sum_{i=1}^I |q_i| + (L - 1) \sum_{i=1}^I |p_i| + I \quad (4)$$

Mojette 变换产生的数据冗余度为

$$\text{RED} = N_m / N_a \quad (5)$$

N_a 为原始像素数, $N_a = K \times L$ 。可以通过增加或减少投影的个数来对冗余度进行任意控制。图 3 给出一个 4×4 图像块的 Mojette 变换示意图。

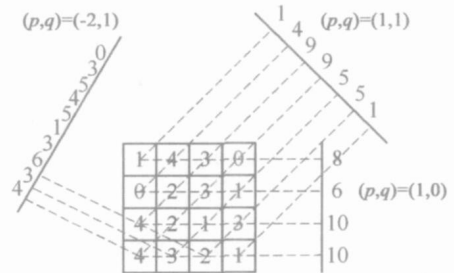


图 3 Mojette 变换示意图

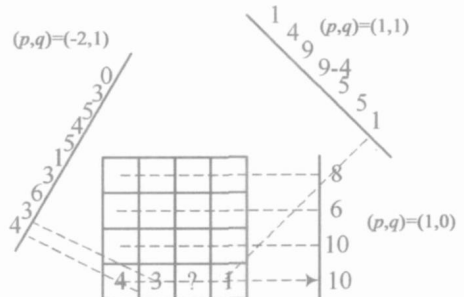


图 4 反变换的示意图

Mojette 反变换就是通过变换系数对原始数据的重建过程。反变换可以有不同的实现方法, 其中一种简单的方法是: 在反变换过程中, 首先找到一个单个像素构成的投影元素, 然后将这个像素值从投影中减除, 依次迭代, 直到重建所有数据。如图 4 所示, 首先找到 $(1, 1)$ 投影中的单个像素投影值 1 和 $(-2, 1)$ 投影中的单个像

素组成的投影值 4, 3, 然后在投影(1, 0)中元素 10 减除已知数据, 就得到了未知点上的像素值 $10 - 4 - 3 - 1 = 2$, 重复上述过程, 直到求出所有的像素点。

对于一个 $K \times L$ 的图像, 能够通过 Mf 投影集重建的条件是:

$$K \leq K_f = \sum_{i=1}^L |p_i| \text{ 或者 } L \leq L_f = \sum_{i=1}^K |q_i| \quad (6)$$

当满足重建条件时, 反变换能够得到正确的恢复数据; 当部分数据丢失甚至只有一个投影的数据存在时, 反变换仍然可以根据投影的角度, 近似认为同一投影线上的像素值相等, 对投影值取平均来估计出原始像素值。

对于一幅图像, 投影的角度和个数的选择都不是唯一的。在满足重建条件的情况下, 对同一图像块进行 Mojette 变换, 投影个数越多, 冗余度越高; 而对于相同投影个数, 投影角度的不同, 对冗余度没有影响。冗余度随投影个数增加而线性增加, 而获得相同的冗余度, 图像块越大需要的投影个数越多。

4 实验结果

4.1 二信道多描述系统

对 512×512 的 Lena 图像进行实验, 首先将图像分成 8×8 的宏块, 对每个宏块进行 DCT 变换, 对系数进行量化, 然后将 4×4 个 8×8 的宏块作为一组进行系数重排, 见图 2。重排后的系数按照频率不同, 分别进行 4×4 的 Mojette 变换。Mojette 变换采用(2, 1)和(-2, 1)的投影角度, 每个角度得到 10 个数据, 整幅图像就分成了两个 $16 \times 16 \times 10 \times 64$ 个数据的序列, 再分别对其进行熵编码输出。

Mojette 反变换时, 由于每个码流只包含 10 个数据, 要达到对 4×4 的系数完全正确解码至少需要 16 个数据, 因此不可避免要造成失真。本文采取的措施是: 假设相同投影线上的元素近似相等, 即将投影值除以投影线上元素的个数, 估计出原始数据的值。另外, 为了获得较好的重建图像质量, 对 DCT 变换的 DC 直流分量进行优先保护, 保证每个描述码流都能正确解码; 而对 AC 系数采取误码掩盖的方法。

对于两个描述的描述, 通过单个接收信号解码的解码器所在的信道称为边沿信道(side channel), 两个接收信号联合解码的解码器所在的信道称为中央信道(central channel)。用本文编码方案对 Lena(512×512) 图像进行编码试验得出结果, 如表 1 和图 5 所示。由图 5 可以看出, 对于中央信道来说, 图像的重建质量同 JPEG 编码相同, 只是由于两个码流中增加了信息冗余因此图像压缩比有所下降, 这也是多描述编码的一个主要缺点。另一方面, 对于网络状况较差的情况下, 解码器

只收到一个描述码流, 两个边沿信道的率失真曲线基本重合, 说明两个描述码流基本对称。

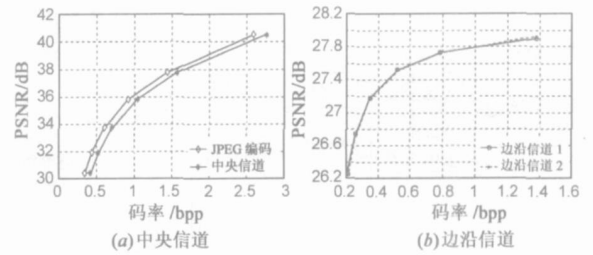


图 5 多描述编码方法实验结果

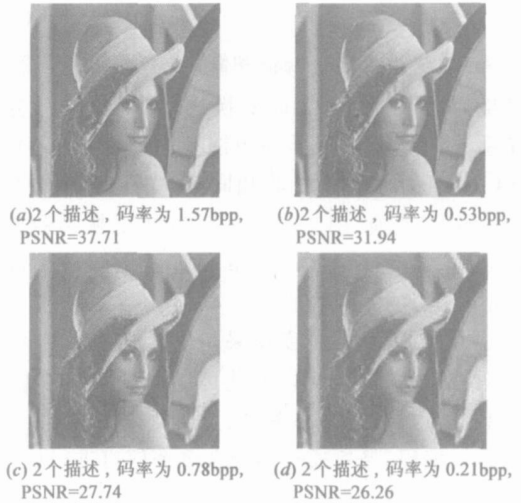


图 6 基于 Mojette 变换的 MDC 方法实验的重建图像

表 1 二信道多描述系统实验结果

质量	PSNR	码率	PSNR	码率	PSNR	码率
边沿信道 1		(bps)	边沿信道 2		中央信道	(bps)
90	27.90	1.38	27.91	1.38	40.44	2.76
75	27.73	0.78	27.74	0.79	37.71	1.57
50	27.52	0.52	27.52	0.52	35.78	1.04
25	27.17	0.35	27.16	0.35	33.68	0.70
15	26.74	0.26	26.73	0.27	31.94	0.53
10	26.26	0.21	26.25	0.21	30.42	0.42

图 6 给出了基于 Mojette 变换的二信道多描述系统实验的主观重建图像。由图可以看出当两个码流同时接收时, 可以得到较好的主观质量。当接收到一个描述码流时, 在码率为 0.21 bps 的时候, 仍然可以得到一定的主观图像恢复质量; 随着码率的增加, 图像质量越来越好。由于该方法仍然采取了传统的基于分块的 DCT 编码方法, 因此, 仍然存在由于量化和误码掩盖造成的块效应问题。

4.2 多信道多描述系统

同二信道多描述系统类似, 对于多信道系统也是先将 512×512 的图像分成 8×8 的宏块, 然后进行 DCT 变换、量化。然后还是将 4×4 个 8×8 的宏块作为一组进行系数重排, 重排后的系数按照频率不同, 分别进行 4×4 的 Mojette 变换。然而, Mojette 变换采用(1, 1)、(-

1, 1) 和 (2, 1) 三个投影角度, 分别得到 7、7、10 个数据, 整幅图像就分成了 $16 \times 16 \times 7 \times 64$ 、 $16 \times 16 \times 7 \times 64$ 和 $16 \times 16 \times 10 \times 64$ 个数据的三个序列, 再分别对其进行熵编码输出. 解码过程同二信道系统, 当只收到一个描述码流时, 采用求均值的方法获得估计值. 当有 2 个描述码流正确接收时, 对于不能正确解码的数据, 根据相邻像素的值进行估计. 实验结果如图 7 所示.

图 7 给出了 3 个信道的多描述编码的重建图像结果. 对于中央信道, 3 个信道的多描述方法所需的码率要高于 2 个信道的多描述码流. 对于边沿信道, 随着接收到的描述个数的增多, 图像的质量会随之提高. 同时

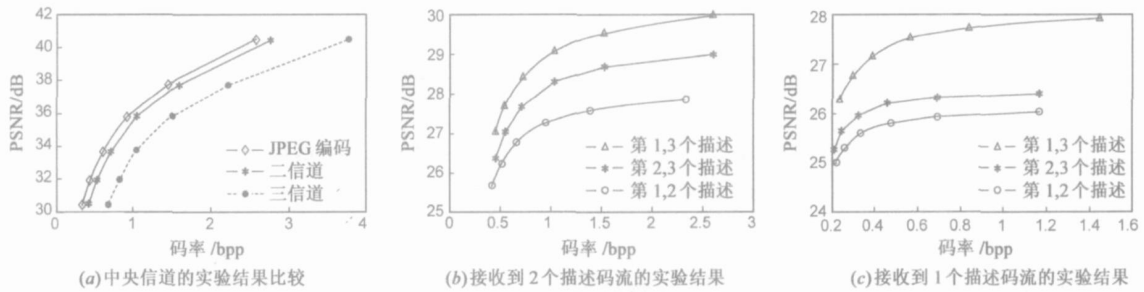


图 7 3 个信道的多描述编码实验结果

5 小结与展望

本文提出了一种基于 Mojette 变换的多描述编码实现方法, 利用 Mojette 变换的投影特性, 构造多描述码流. 由于 Mojette 变换都是加减运算, 因此算法复杂度非常低, 利于硬件实现. 另一方面, 由于 Mojette 变换各个投影之间的独立性, 不仅能对系统冗余度进行任意控制, 而且可以方便地由二信道 MDC 扩展到多信道 MDC. 将 Mojette 变换同 JPEG 标准中的 DCT 正交变换和熵编码相结合, 在对图像进行压缩的同时, 提高了抗误码性能. 下一步工作将进一步完善 Mojette 变换的反变换算法, 并同感兴趣区 ROI 编码相结合, 以实现基于感兴趣区的 MDC 方法.

参考文献:

- [1] V K Goyal. Multiple description coding: Compression meets the network[J]. IEEE Signal Processing Magazine, 2001, 18(5): 74-93.
- [2] 沈兰荪, 卓力. 小波编码与网络视频传输[M]. 北京: 科学出版社, 2005. 4
SHEN Lansun, ZHUO Li. Wavelete Coding and Network Video Transmission[M]. Beijing: China Science Press, 2005. 4. (in Chinese)
- [3] 计文平, 沈兰荪. 视频通信中的抗误码技术[J]. 计算机工程与应用. 2005 4(41): 12-15.
JI Wenping, SHEN Lansun. Overview of error resilience and correction techniques for video communication[J]. Journal of Computer Engineering and Applications, 2005, 4(41): 12-15

由于投影角度不同, 每个码流的大小和对图像质量的影响也不是完全相同的, 数据量大的描述码流, 如 (2, 1) 投影角度的码流包含了更多的数据信息, 因此能够恢复出更好的图像质量. 利用这个特性还可以将该方法用于非对称信道图像传输应用中, 根据信道的状况分配码流, 以达到更好的重建质量. 同理, 可以通过增加投影的个数来实现更多的描述码流, 根据需要也可以增加分组中块数据的大小, 如将 4×4 个扩展到 $N \times N$ 个 8×8 的宏块为一组进行系数重排, 然后对 $N \times N$ 的数据进行 Mojette 变换, 这样可以采用更多的投影角度和投影个数, 从而将系统扩展到任意多个描述码流.

(in Chinese)

- [4] Yao Wang, A R Reibman, Shunan Lin. Multiple description coding for video delivery[J]. Proceedings of the IEEE, 2005, 93(1): 57-70.
- [5] J P Guedon, N Normand. The Mojette transform: The first ten years[A]. 12th International Conference on Discrete Geometry for Computer Imagery [C], Berlin: Springer verlag Berlin, 2005, 3429: 79-91.
- [6] Myriam Servières, Nicolas Normand, Jean Pierre Guédon, et al. The Mojette transform: Discrete angles for tomography[J]. Electronic Notes in Discrete Mathematics, 2005, 20: 587-606.
- [7] Jeanpierre Guedon, Nicolas Normand, Pierre Verbert, et al. Load balancing and scalable multimedia distribution using the Mojette transform[J]. Internet Multimedia Management Systems II, Proceedings of SPIE. 2001, 4519: 226-234.

作者简介:



计文平 男, 1979 年 2 月生于河北省承德市, 在读博士生, 2003 年获得西安电子科技大学模式识别与智能系统专业工学硕士学位, 现在北京工业大学攻读模式识别与智能系统专业博士学位. 主要研究方向为图象和视频处理.
E-mail: jwp@emails.bjtu.edu.cn

沈兰荪 男, 1938 年 6 月生, 江苏省苏州市人, 现为北京工业大学教授、博士生导师. 研究领域为图象处理、视频通信、图象压缩和光谱信号的检测等, 发表学术论文二百余篇, 出版专著十余部.