

低通图象的自适应混合矢量量化编码

王富生 常义林 胡 征

(西安电子科技大学 106 研究室, 西安)

摘要 本文提出了一种基于图象分解与自适应混合矢量量化的静态图象高效编码方案, 详细介绍了低通图象的混合矢量量化编码方法。就低频分量而言, 在 80:1 的压缩比时可以获得较好的译码图象质量。

关键词 图象分解; 图象编码; 矢量量化

一、引 言

1985 年, 瑞士学者 M. Kunt 等人首次提出了第二代图象编码的概念^[1], 揭开了图象高效压缩编码研究的序幕。针对第一代图象编码技术所存在的缺点, 第二代图象编码技术将如何充分利用人的视觉系统的特性, 恰当地对图象信息进行分解、表征与编码作为其主要的研究内容^[2]。研究表明^[3], 图象中的高频分量对应于图象的边缘及细节信息, 而低频分量相应于图象的背景信息, 因而可以将图象恰当地分解为高、低频两个分量。对高频分量的编码, 可以采用方向性分解的方法进行编码^[3,4]。对于低频分量, M. Kunt 等对低通频谱系数直接量化编码, 或对低通图象进行空域再抽样后进行编码^[3,4]。采用 M. Kunt 等的方案时, 如果低通截止频率较高, 则待编码的低通频谱系数多, 编码效率较低; 如果截止频率太低, 则高通图象(或各方向图象)的背景亮度太大, 不利于进行过零边缘检测。针对这些问题, 作者提出了对低通图象进行自适应混合矢量量化编码的方案, 取得了较好的效果。实验表明, 当选用二阶指数型高、低通滤波器, 在截止频率为 0.15 (归一化最高频率为 $|\rho|_{\max} = 0.5$) 时, 可以获得较好的高、低通图象。下面的分析中, 取原图和低通图象的大小为 256×256 , 灰度值均以 8bit 表示。同时, 本文重点阐述低通图象的特性及编码方案问题, 而对于方案中所使用的一些具体技术细节可参看有关文献。

二、低通图象的分解与编码

在传统的图象编码技术中, 变换编码与矢量量化编码是两种较为有效的编码技术^[5,6]。但是, 当压缩比进一步提高时(高于 16:1 时), 其译码图象会出现严重的方块效应(block-effect)。这种由于块量化而出现的方块效应可以看作是译码图象中引入的一种高频噪声。目前, 还没有有效的方法来消除这种方块效应。本文将矢量量化技术与图象分解技术相结合, 在高压缩比的条件下, 仍可以有效地去除译码图象中的方块效应。

我们知道,经高、低通分解后的低通图象有两个重要的特点:(1)其最高频率受限于低通截止频率之内;(2)其局部相关性较大,且相对平稳。因而,根据二维抽样定律,可以对低通图象再抽样后进行编码。如果对再抽样后的低通图象进行矢量量化编码,则根据低通图象的频率特性,可以对译码低通图象进行低通滤波处理,这样,能够有效地去除方块效应,而不损失图象的有用信息。

1. 低通图象的分解

虽然低通图象的局部相关性较大,且相对平稳,但低通图象中的边缘及细节处与平缓区域不论是在统计特性还是在视觉特征上还相差甚大。因此,为了获得更高的编码效率,必须将其再进行恰当的分解。本文将低通图象中不具有明显的亮度值变化的区域视为平稳区,其它部分为非平稳区。非平稳区相应于边缘及细节部分(图象中,其亮度出现较大的变化而又不具有明显的边缘的区域看作为细节部分)。考虑到编码器结构设计的简单性,我们并不按图象的具体内容来准确地划分平稳部分和非平稳部分。而是较为简单地将图象分成一定大小的子块,然后将各子块归类为平稳块和非平稳块。具体地讲,在编码端,先将低通图象按行、列进行 2:1 的抽样,形成 128×128 的低通图象。然后将其划分成 8×8 的子块,对于每一子块按(1)和(2)式分别计算其象元灰度差值和方差。

$$\Delta X = |\max(x_{ij}) - \min(x_{ij})|, \quad i, j = 1 \cdots N \quad (1)$$

$$D = \frac{1}{N \times N} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N (x_{ij} - \bar{x})^2 \quad (2)$$

其中

$$\bar{x} = \frac{1}{N \times N} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N x_{ij} \quad (3)$$

这里, $N \times N$ 表示子块的大小(本方案中取 $N = 8$), x_{ij} 表示子块中的象素值。本文将 ΔX 和 D 作为 8×8 块的均匀性特征,当 ΔX 和 D 同时满足条件(4)和(5)式时, 8×8 子块为平稳块,否则为非平稳块。

$$\Delta X \leq T_s, \quad T_s = 1 + (\bar{x}/K_1)^{r_1} T_1 \quad (4)$$

$$D \leq T_e, \quad T_e = 1 + (\bar{x}/K_2)^{r_2} T_2 \quad (5)$$

其中, K_1, K_2 和 r_1, r_2 为考虑视觉特性的常数^[9], 实验中分别取为 100、120 和 0.7、1.3, T_1 和 T_2 为给定的判决门限。这里 T_s 和 T_e 由背景亮度均值 \bar{x} 和视觉阈值随背景亮度变化的关系决定。通过采用考虑到视觉特性的自适应门限, 可以达到自适应地划分平稳块和非平稳块的目的。

2. 对低通图象进行矢量量化编码的考虑

对低通图象进行矢量量化编码时, 必须针对平稳部分和非平稳部分的不同特性恰当地选取矢量量化的空间及维数。一般而言, 图象的变换域矢量量化可以获得优于空域直接矢量量化的性能^[7]。然而, 在综合考虑使用变换域矢量量化技术所付出的代价与所获得的性能的改善时, 变换域矢量量化并非在任何条件下都是最佳的选择。事实上, 图象变换编码之所以能够取得较高的编码效率, 是因为各种正交变换都具有一定的去相关和集中能量的作用。通过对变换域中能量较小的系数分配较少的比特或不进行编码(置零),

可以获得较高的压缩比。而传统的变换编码依然是标量量化。图象变换域矢量量化显然可以获得更高的编码效率。但对于图象的非平稳部分,由于其空域灰度值变化的不规则性,使得变换域中频谱系数的分布特征亦不规则。换言之,对于图象非平稳部分,在变换域中,除了反映背景亮度的低频系数较为集中外,反映图象细节特征和边缘信息的高频分量则成不规则的分布。因而,对非平稳部分进行变换域矢量量化时,如何恰当地进行频域分割和比特分配就成为一个重要的问题。同时,由于反映边缘及细节特征的高频分量的能量相对较小,因而,仅从能量大小的统计结果来确定频域分割和比特分配的原则并不与实际情况相吻合。由此可见,由于实际图象非平稳部分不规则的分布特征,使得我们难于找到合理的系数选取原则,从而无法有效利用图象变换域中的优良特性。而在相对较小的计算复杂度的条件下,对非平稳部分进行空域矢量量化可以取得较好的量化编码效果。本方案中,将非平稳块进一步分解为 4×4 的子块后,直接进行空域矢量量化。

由于图象平稳块的灰度值变化平缓,加上低通滤波处理,变换域中能量集中程度高。二维离散余弦变换(DCT)是一种收敛速度较快的变换,其能量更集中于低频^[3]。所以,对平稳块进行DCT后,在变换域中使用截尾法矢量量化可以取得较好的效果。针对平稳块的特点,在DCT域中高频分量的截取主要以能量的集中程度为原则,为了减小失真,必须保证所保留的低频系数占据绝大部分能量,同时也要考虑矢量量化器的实现复杂度。因此,对要编码的低频系数可以进行乘积码矢量量化^[7,8]。在DCT域中的乘积码矢量量化是将待编码的低频部分分成子块,把每一子块展成一个矢量分别进行矢量量化。由于直流分量代表图象子块的平均亮度,它对视觉质量有重要的影响,本文用一个5bit的标量量化器来编码。低频系数的分割方式一般是根据变换系数的方差和视觉特性^[7],并通过实验对比来确定。本文选用如图1所示的分割方式(其中“*”表示直流分量,“+”表示第一个子块,对其用7bit编码;“#”表示第二个子块,对其用6bit编码;“0”表示第三个子块,对其不进行编码,在译码端用0表示),而比特的分配参照文献[7],并通过实验对比来确定。总体上讲,由于是对低通图象进行编码,因而将DCT高频系数置零后不会引入严重的失真。统计实验结果也表明,未编码的高频系数平均只占总能量的1.58%。

3. 码书设计方法

LBG算法是一种被广泛使用的码书设计算法。我们先对8幅低通图象进行自适应分块。对于非平稳块,先按一定顺序展成 4×4 大小的矢量并形成训练序列。对于平稳块,则先进行DCT变换,然后按图2的方式对DCT系数进行分割,按一定次序展成2个14维的矢量,并形成2个训练序列。然后用LBG算法设计各自的码书。

4. 低通图象的自适应混合矢量量化编码方案

基于上述的讨论,我们提出了对低通图象进行自适应分类并分别进行变换域和空域混合矢量量化的编码方案。这一方案的编译码框图如图2所示。

5. 码子结构

采用上述编码方案时,为使其译码方便,还必须考虑合适的码子结构。本方案中用1bit表示 8×8 子块的类别,对于平稳块,用“1”表示,其后为该 8×8 块DCT的直流分量的编码值和两个矢量分别矢量量化的编码值。对于非平稳块,用“0”表示,其后为4块 4×4 子块直接VQ的编码值,其顺序按行排列。其码子结构如图3所示。

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ● | + | + | + | + | # | # | 0 |
| + | + | + | + | # | # | 0 | 0 |
| + | + | + | # | # | # | 0 | 0 |
| + | + | # | # | 0 | 0 | 0 | 0 |
| + | # | # | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| # | # | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| # | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

● (直流) ----- 5bit
 + (VQ₁) ----- 7bit
 # (VQ₂) ----- 6bit
 0 ----- 0bit

图 1. 乘积码 VQ 比特分配表

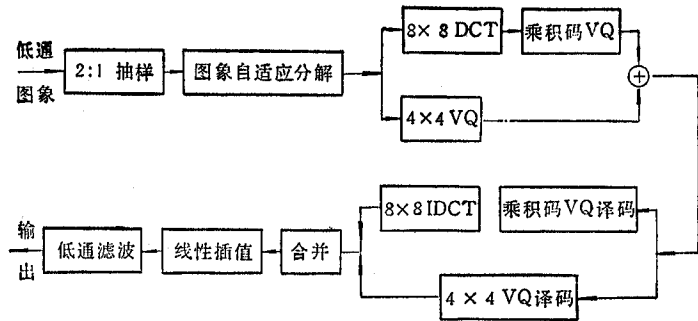


图 2. 低通图象编码、译码方案框图

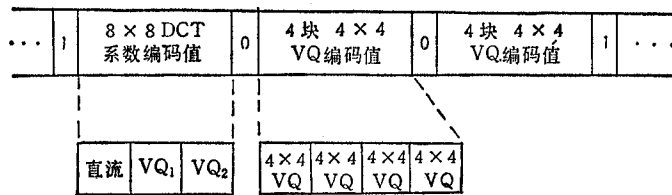


图 3. 混合矢量量化编码规则示意图

三、低通图象的译码恢复

将自适应矢量量化编码后的图象按图 3 所示的规则译码,可获得 128×128 的低通译码图象,然后通过线性插值,就可获得译码后的低通图象.针对低通图象所具有的特点,为了有效地去除方块效应,可以对译码后的低通图象进行一次低通滤波处理.这里所使用的低通滤波器的特性参数与图象高、低通分解时的低通滤波器的一样.因而不会丢失译码低通图象的信息.直接译码恢复的低通图象如图 4(c) 所示;经低通滤波处理后的输出如图 4(d) 所示.可以看出,图 4(d) 的平稳区的方块效应得到了很好的消除,且较逼近于原图的平稳区域,边缘处的阶梯效应也得到了较好的克服.虽然图 4(d) 中边缘处还存在阶梯效应,但这些部分可以通过边缘信息的有效编码加以改善.

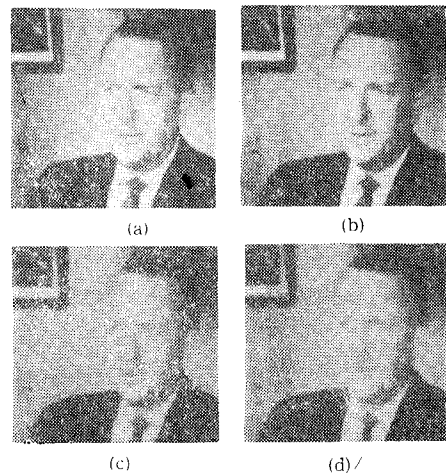


图 4. (a) 原图, (b) 低通图象(指低通滤波, $N = 2, r = 0.15$), (c) 译码低通图象, (d) 图 4(c) 经低通滤波后的图象

四、结 论

对图 4(a) 进行高、低通分离后的低通图象 (图 4(b)) 采用本方案进行编码,再采样后自适应分区时取门限 $T_1 = 70, T_2 = 280$, 这

样 8×8 的子块数为 148, 4×4 的子块数为 432. 4×4 小块的码书大小为 256, 而对 8×8 子块的 DCT 系数进行乘积码矢量量化时, VQ_1 和 VQ_2 的码书大小分别为 128 和 64, 对 DCT 直流系数采用 5bit 均匀量化编码. 其总比特数为 6376bit, 压缩比为 83.3:1. 与高通分量的编码相结合, 在压缩比不低于 40:1 的条件下, 可以获得较好的译码图象.

与 M. Kunt 的方案相比较, 在相同比特数的条件下, 低通译码图象的质量有明显的改善. 本方案由于充分考虑到了低通图象的特点, 因而, 对其进行矢量量化编码较为有效. 这也表明, 将矢量量化技术引入图象编码之中, 并不是编码技术的简单结合和结论的相互移植, 而是要针对图象信源及矢量量化的特点, 认真探求其有机结合的有效途径. 本方案除了有效地利用了图象平稳区的全局相关性特征外, 还较好地抑制了译码后严重的方块效应. 可以认为, 矢量量化技术与第二代图象编码技术相结合有着广阔的研究前景.

参 考 文 献

- [1] M. Kunt, A. Ikonopoulos, M. Kocher, *Proc. IEEE*, **73**(1985) 4, 549—574.
- [2] 王富生, 常义林, 胡征, 第二代图象编码的兴起和发展, *电子学报*, 1990 年, 第 4 期, 第 70—77 页.
- [3] A. Ikonopoulos, M. Kunt, *Signal Processing*, **8**(1985)2, 179—203.
- [4] M. Kunt, M. Benard, R. Leonardi, *IEEE Trans. on CAS*, **CAS-34**(1987)11, 1306—1336.
- [5] R. J. Clarke: *Transform coding of image*. Academic Press, (1985).
- [6] 叶雷, 矢量量化及其在图象编码中的应用, 西安电子科技大学博士论文, 1988 年.
- [7] 叶雷等, *通信学报*, **9**(1988)4, 23—28.
- [8] 胡征, 杨有为, 矢量量化的原理与应用, 西安电子科技大学出版社, 1988 年.
- [9] 高亮等, *电子学报*, 1989 年, 第 2 期, 第 59—64 页.

LOW-PASS COMPONENT CODING USING ADAPTIVE HYBRID VECTOR QUANTIZATION

Wang Fusheng Chang Yilin Hu Zheng

(Xidian University, Xi'an)

Abstract Based on image decomposition and adaptive hybrid vector quantization, a high-compression image coding scheme is presented. The coding method of low-pass component by adaptive hybrid vector quantization is described in detail. As far as low-pass component is concerned, the acceptable result can be obtained by this scheme with compression ratio higher than 80:1.

Key words Image decomposition; Image coding; Vector quantization