

基于独立分量分析的压缩域彩色图像融合

王艳艳, 那彦, 陈建春
(西安电子科技大学, 陕西 西安 710071)

摘 要:提出了一种基于独立分量分析的压缩域彩色图像融合方法,其基本思想是将源彩色图像进行 IHS 变换,将两幅图像的亮度分量 I 进行小波分解,对分解后的高频系数采用由独立分量分析得出的变换矩阵进行变换,然后对变换系数采用局部方差法进行融合,而对小波分解后的低频子图像分成若干 $N \times N$ 的图像块,分别对每个图像块做二维 DCT 变换,最后对融合的系数进行反变换得到融合结果,并用客观评价标准对结果进行了定量的分析。实验结果表明:该方法在提高空间信息的基础上,较少地降低了颜色失真。

关键词:图像融合;压缩域;独立分量分析;DCT 变换;小波分解

中图分类号:TP751 **文献标识码:**A

A Color Image Fusion Approach Based on Independent Component Analysis in Compressed Domain

WANG Yan-yan, NA Yan, CHEN Jian-chun
(Xidian University, Xi'an 710071, China)

Abstract: A color image fusion method based on compressed domain is proposed. First, IHS transformation is applied to the input images to obtain the I components. Second, low frequency coefficients after DWT are fused with DCT transformation, and the high frequency coefficients after DWT are applied with independent component analysis and then fused with area variance. Last, the fused coefficients are applied with inverse transformation to get the fused image. The experiment shows that this algorithm increases the information in the fused image while keeps the color distortion at lease.

Key words: image fusion; compressed domain; independent component analysis; DCT transformation; wavelet transformation

1 引言

目前,图像融合的方法与技术已有很多种^[1-2],但这些方法大多是利用塔形分解方法或小波变换等多分辨率方法。现今,大量的数字图像与视频信息都是以压缩数据格式进行存储与传输。若对以压缩格式存储的数字图像进行传统的图像融合,其过程包括三部分:即解码压缩数据,图像融合,再编码为压缩格式,而编解码的计算量较大,同时涉及空域与压缩域数据,占用大量的存储空间。离散余弦变换

(DCT)是目前应用最为广泛的多媒体压缩技术。JPEG、H. 261/263 与 MPEG 等图像、视频压缩的国际标准都采用了二维 DCT 变换。为了减少计算量与存储空间占用,在压缩域直接进行图像处理成为目前国内外研究的热点^[3]。直接在 DCT 域进行图像融合可以避免大量的编解码相关复杂操作,减少

作者简介:王艳艳(1984-),女,硕士研究生,主要研究方向是图像处理与融合。E-mail:wyy84@yahoo.com.cn

收稿日期:2007-12-05

数据处理量与内存空间占用,还可能利用 DCT 变换的性质提高图像融合的质量。目前采用 DCT 变换进行图像融合的文献不多,主要有文献[4]、[5]。

独立成分分析(ICA)起源于盲源分离问题^[6],它与主分量分析、奇异值分解同属于线性变换技术,由于后两者按能量大小对数据进行分解,因此只能消除数据之间的二阶相关性。使用 ICA 方法能够有效约减特征维数,保持特征的高阶相互独立性,比仅消除二阶相关性的主分量分析和奇异值分解方法更为有效。因此本文采用了 ICA 变换。

2 ICA 模型

独立分量分析是信号处理领域在 20 世纪 90 年代后期发展起来的一项全新的信号处理和数据分析方法。该方法以非高斯信号为研究对象,在它们统计独立的假设下,对多路观测到的混合信号进行盲分离,从而较完好地分离出隐含在混合信号中的独立信号^[6]。

设 $x = (x_1, x_2, \dots, x_m)^T$ 为 m 维零均值随机观测信号向量,它由源信号向量 $s = (s_1, s_2, \dots, s_m)^T$ 中 n 个未知的零均值独立源信号 $s_j (j = 1, \dots, n)$ 线性组合而成,则 ICA 的线性混合模型可表示为:

$$x = As = \sum_{j=1}^n a_j s_j \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

其中, $A = [a_1, \dots, a_n]$ 是满秩的 $m \times n$ 阶矩阵(称为混合矩阵); a_j 为混合矩阵的基向量。上述方程所描述的模型即为独立分量分析或 ICA 模型。

ICA 就是仅根据观察信号来估计源信号,通过求解分离矩阵 A , 对其进行反变换得到逆矩阵 W , 可由以下方程求出独立分量:

$$s = Wx \quad (2)$$

3 基于压缩域的彩色图像融合

DCT 变换是一种线性正交变换,变换核各矢量间单位正交。二维 DCT 变换是对称可分离的,即二维 DCT 变换可分解为行列方向的两次一维 DCT 变换。DCT 变换计算量适中,性能优于 DFT 等其他变换。DCT 变换能极大地去除图像元素在变换域中的相关性,其去相关压缩能力接近 KLT 变换。DCT 变换常被认为是语音和图像信号的准最佳变换^[3]。

文献[5]提出了一种结合小波变换和 DCT 变换的图像融合方法,对小波分解后的低频系数采用 DCT 变换,高频系数采用局部方差方法进行融合。本文在此基础上对此方法进行改进,提出了一种基于 ICA 的压缩域图像融合方法。实验证明该方法是有效的。

该方法的基本原理如下:将源彩色图像进行 IHS 变换,将两幅图像的亮度分量 I 进行小波分解,对分解后的高频系数进行 ICA 变换,然后采用局部方差法进行融合;而对小波分解后的低频子图像分成若干 $N \times N$ 的图像块,分别对每个图像块做二维 DCT 变换。然后采用区域能量方法进行融合,最后进行反变换得到融合图像。

其中,局部方差的定义如下:

$$F(i, j) = \begin{cases} h_{M_1}(i, j), \text{var}(h_1) \geq \text{var}(h_2) \\ h_{M_2}(i, j), \text{var}(h_1) < \text{var}(h_2) \end{cases} \quad (3)$$

其中, $\text{var}(h_1)$ 和 $\text{var}(h_2)$ 分别是两幅图像高频子图像的局部方差。

每个 DCT 系数矩阵的高频能量定义如下:

$$E_{M_1} = \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=1}^{N-1} X_{M_1}(i, j)^2, (i, j) \neq 0 \quad (4)$$

$$E_{M_2} = \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=1}^{N-1} X_{M_2}(i, j)^2, (i, j) \neq 0 \quad (5)$$

式中, M_1 和 M_2 分别表示两幅图像; X 为 DCT 变换后的系数。其中融合规则采用文献[6]中的区域能量阈值法。

4 融合结果及评价

这里采用两幅经过严格配准的、大小为 256×256 的彩色图像作为实验对象。其中图 1(a) 的颜色信息比较丰富,但是分辨率比较低;图 1(b) 的颜色有所失真,但空间信息比较丰富,融合的目的是尽可能的减少颜色失真,同时也要提高融合图像的空间分辨率。对文献[5]中的部分方法也进行了仿真。其中,图 2(b) 是采用结合 DCI 变换和小波变换的融合方法获得的,图 2(c) 是只采用 DCT 变换的融合方法得到的。

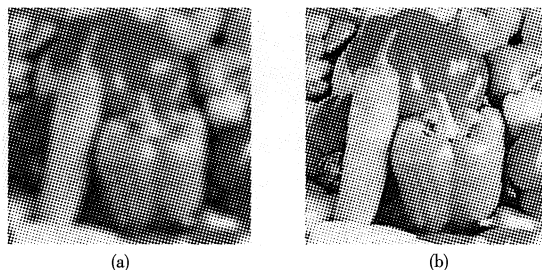


图1 实验图像

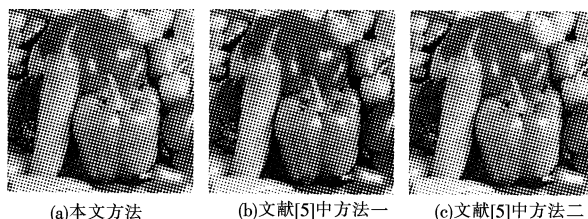


图2 融合结果

下面采用客观评价的方法对图像的质量进行评价。这里采用相关系数、交叉熵以及信息熵作为评价指标,定义如下:

(1) 相关系数(correlation coefficients, CC)

图像的相关系数反映了两幅图像的相关程度。两幅图像的相关系数定义为:

$$C = \frac{\sum_{i,j} [(f_{i,j} - e_f) \times (g_{i,j} - e_g)]}{\sqrt{[\sum_{i,j} (f_{i,j} - e_f)^2] \times [\sum_{i,j} (g_{i,j} - e_g)^2]}} \quad (6)$$

其中, $f_{i,j}$ 和 $g_{i,j}$ 分别是两幅图像在 (i,j) 点的灰度值; e_f 和 e_g 分别是两幅图像的均值。

(2) 交叉熵(cross entropy, CE)

交叉熵亦称相对熵(relative entropy), 用来度量两幅图像间的差异。交叉熵越小, 说明融合后图像与标准参考图像间的差异越小, 即融合效果越好。若标准参考图像为 R, 融合后图像为 F, 则参考图像 R 与融合图像 F 的交叉熵为:

$$CE_{R,F} = - \sum_{i=0}^{L-1} p_{Ri} \ln \frac{p_{Ri}}{p_{Fi}} \quad (7)$$

(3) 熵(entropy, E)

融合后图像的熵值的大小反映了融合图像所包含的平均信息量的多少, 其熵值越大, 说明图像的融合效果也比较好。图像的熵定义为:

$$H = - \sum_{i=0}^{L-1} p_i \ln p_i \quad (8)$$

其中, H 为图像的熵; L 为图像的总的灰度级; p_i 表示灰度值为 i 的像素数 N_i 与图像总像素数 N 之比, 即:

$$p_i = N_i / N \quad (9)$$

$p = \{p_0, p_1, \dots, p_{L-1}\}$ 反应了图像中具有不同灰度值像素的概率分布。 $i \sim N_i$ 间的关系图即为图像的灰度直方图。由于:

$$N = \sum_{i=0}^{L-1} N_i \quad (10)$$

所以, $i \sim p_i$ 间的关系图可以看作是图像的归一化灰度直方图。

融合图像质量评价如表 1 所示。表中的 R, G, B 分别表示图像红色分量、绿色分量和蓝色分量。比较表 1 的参数可知, 相比于结合小波变换和 DCT 变换的融合方法以及 DCT 变换的融合方法, 采用 ICA 变换后, 融合图像在信息量方面有很好的提高,

而且颜色信息量在绿色分量和蓝色分量也保持较好。显然, 文献[6]中所提出结合小波变换和 DCT 变换的融合方法也要优于只采用 DCT 变换的融合方法, 但在信息量方面略低于它。另外从交叉熵来看, 本文方法的融合图像与源图像的差异最小。实验证明, 本方法是有效的。彩色图像融合的关键就是在保持颜色不失真的情况下, 尽可能地提高信息量。虽然本文提出的方法有一定的效果, 但在减小颜色失真方面还有待进一步提高和改进。

表 1 融合图像质量评价

图 2	CC(R)	CC(G)	CC(B)	CE	E
(a)	0.8839	0.9790	0.9758	0.3673	7.8200
(b)	0.8987	0.9779	0.9749	0.4374	7.7796
(c)	0.8939	0.9765	0.9734	0.4405	7.7804

5 小 结

本文将 ICA 变换应用于压缩域彩色图像融合, 把实验源图像进行 IHS 变换, 使其更符合人眼视觉特点, 然后对图像的亮度分量 I 进行小波分解, 对分解后的高频系数进行 ICA 变换, 然后采用局部方差法进行融合, 而对小波分解后的低频子图像分成若干 $N \times N$ 的图像块, 分别对每个图像块做二维 DCT 变换, 然后分别进行融合, 最后对融合系数进行反变换得到融合图像。实验仿真表明, 使用本文方法所得到的融合图像取得了较好的效果。

参考文献:

- [1] Jun-ichi Kudoh, Kazi A Kalpoma, Yasutake Kurita. An IKONOS 1m color image fusion processing with wavelet transform[J]. IGARSS, IEEE, 2006, (7): 3244 - 3247.
- [2] Hu Xishan, Chen Zhe. A wavelet-based scene image fusion algorithm[J]. Proceedings of IEEE TENCON, 2002: 602 - 605.
- [3] 刘艳, 李宏东. DCT 域图像处理和特征提取技术[J]. 中国图像图形学报, 2003, 8(2): 121 - 128.
- [4] Tang J Sh. A contrast based image fusion technique in the DCT domain[J]. Digital Signal Processing, 2004, 14(3): 218 - 226.
- [5] 楚恒, 朱维乐. 基于 DCT 变换的图像融合方法研究[J]. 光学精密工程, 2006, 14(2): 266 - 273.
- [6] A Hyvarinen, J Karhunen, E Oja. Independent component analysis[M]. New York: John Wiley & Sons, Inc., 2001.