

基于 Curvelet 变换多聚焦图像融合

田 闯, 刘文波

(南京航空航天大学 自动化学院, 江苏 南京 210016)

摘 要:探讨了可见光多聚焦图像的融合问题, 提出了一种基于 Curvelet 变换的图像融合算法。针对 Curvelet 分解的不同频率域, 分别讨论了低频系数和高频系数的选择原则。在选择高频系数时, 通过引入 Wronskian 行列式从而定义局部区域线性相关度, 并根据该线性相关度进行高频系数的选择; 在选择低频系数时, 直接采用平均法。实验结果表明: 文中所给出的融合算法能够得到多个目标聚焦都很清晰的图像。

关键词:图像融合; Curvelet 变换; 线性相关度; Wronskian 行列式

中图分类号: TN911.73

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2008)07-0029-02

Multifocus Image Fusion Using Curvelet Transform

TIAN Chuang, LIU Wen-bo

(College of Automation Engineering, Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, Nanjing 210016, China)

Abstract: An algorithm suitable for fusion of visible light multifocus images is researched in this paper. This algorithm is base on curvelet transform. According to the different frequency areas decomposed by curvelet transform, the selection principle of the low frequency coefficients and the high frequency coefficients were discussed respectively. In choosing the high frequency coefficient, the concept of the local area linear dependency was defined by introducing Wronskian determinant and a selection principle based on the linear dependency was presented. In choosing the low frequency coefficient, the method of average was employed immediately. The experimental results show that the proposed algorithm can make all targets in the fused images very clear.

Key words: image fusion; Curvelet transform; linear dependency; Wronskian determinant

0 引 言

多聚焦图像融合指在相同的成像条件下, 镜头聚焦目标不同的多个图像, 通过融合得到一个聚焦度清晰的图像。

图像融合大部分有效的方法都是围绕小波变换展开的, 比如多小波变换^[1], M-带小波变换^[2], 小波包变换等等, 可是由于小波分析主要反映信号的点奇异性, 而对二维图像中的边缘如各种曲线或直线状特征等更高维的奇异性, 则难以表达其特征。文中提出了一种基于 Curvelet 变换的图像融合算法。Curvelet 变换除了具有一般小波变换的多尺度、局部性外, 还具有方向性, 其基支撑区间满足各向异性尺度关系, 在给定相同的重构精度下能够接近最优地表示图像边缘和平

滑区域^[3]。

1 Curvelet 变换理论

Curvelet 变换是小波变换的二维各向异性扩展, 它与小波变换主要的不同之处在于 Curvelet 变换具有旋转特性, 因此 Curvelet 由 4 个因子 (j, l, k_1, k_2) 唯一确定, 其中 j 为伸缩因子, l 为旋转因子, k_1 和 k_2 为平移因子, 这些决定因子与 Curvelet 族^[4]在空间域和频率域的关系如图 1 所示。

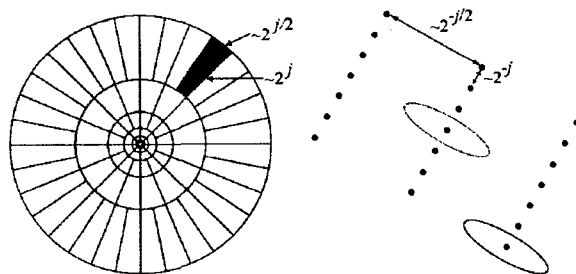


图 1 Curvelet 空间频率分布图

将 Curvelet 变换定义为:

$$c(j, l, k_1, k_2) = \langle f, \varphi_{j, l, k_1, k_2} \rangle =$$

收稿日期: 2007-10-03

基金项目: 江苏省自然科学基金资助项目(BK2001047); 航空科学基金资助项目(04D52032)

作者简介: 田 闯(1982-), 男, 四川攀枝花人, 硕士研究生, 研究方向为数字信号处理、数字图像处理; 刘文波, 教授, 研究方向为数字信号处理、数字图像处理。

$$\int_{R^2} f(x) \bar{\varphi}_{j,l,k_1,k_2}(x) dx \quad (1)$$

其中 $c(j, l, k_1, k_2)$ 是函数 $f(x)$ 的 Curvelet 系数, $\langle \cdot, \cdot \rangle$ 表示 $L^2(R^2)$ (平方可积函数空间) 中的内积, $\varphi_{j,l,k_1,k_2}(x)$ 表示多指标 (j, l, k_1, k_2) 确定的 Curvelet 族。

2 图像融合算法

2.1 低频区域系数融合规则

低频分量集中了源图像主要的能量, 是源图像去除细节后的平滑版本, 大量文献均采用平均法对低频系数进行融合。

2.2 高频区域系数融合规则

2.2.1 图像的向量模型

如图 2 所示, 通过组合图像中每一个像素点和该像素点的某一邻域内的其它像素点的值, 生成一个新的向量, 这样就组成一个原图像的向量表示图。

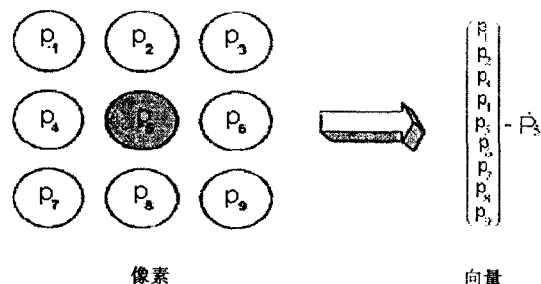


图 2 向量模型构造示意图

通过把图像用向量模型来表示, 就可以把图像看成是一个向量集合, 于是对原图像的变化分析问题就变成了对应向量的变化分析问题。

2.2.2 Wronskian 行列式

定义 1: 一个所有函数均具有 $n-1$ 阶可导的函数集合 $\{f_i(x)\}_{i=1}^n$ 的 Wronskian 行列式 $W(\{f_i(x)\}_{i=1}^n; x)$ 定义如下:

$$W(\{f_i(x)\}_{i=1}^n; x) = \begin{vmatrix} f_1(x) & f_2(x) & \cdots & f_n(x) \\ f_1'(x) & f_2'(x) & \cdots & f_n'(x) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ f_1^{n-1}(x) & f_2^{n-1}(x) & \cdots & f_n^{n-1}(x) \end{vmatrix} \quad (2)$$

定理 1^[5]: 设一个函数集合 $\{f_i(x)\}_{i=1}^n$, 集合中的每一个函数元素都具有 $n-1$ 阶导数。如果该集合在区间 $I: a \leq x \leq b$ 上是线性相关的, 那么它的 Wronskian 行列式在区间 I 上恒等于 0。

给定两幅图像向量模型 P_c 和 P_r 中的两个分量 p_c 和 p_r , 两个分量都可以看成是亮度值的函数, 根据定理 1, p_c 和 p_r 线性相关时可以得到:

$$W\left(\frac{P_c}{P_r}\right) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{p_{ci}^2}{p_{ri}^2} - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{p_{ci}}{p_{ri}} = 0 \quad (3)$$

2.2.3 高频系数融合规则

式(3)用来判断两个向量是否线性相关, 结合图像的向量模型, 定义图像的局部区域线性相关度为:

$$W_{j,l}^{AB}(k_1, k_2) = \frac{\sum_{i=-(N-1)/2}^{(N-1)/2} \sum_{j=-(M-1)/2}^{(M-1)/2} \left[\frac{C_{j,k}^A(k_1+i, k_2+j)}{C_{j,k}^B(k_1+i, k_2+j)} \right]^2 - \frac{C_{j,k}^A(k_1+i, k_2+j)}{C_{j,k}^B(k_1+i, k_2+j)}}{1} \quad (4)$$

其中 $N \times M$ 大小为 $3 \times 3, 5 \times 5$ 等, $C_{j,l}^A(k_1, k_2)$ 和 $C_{j,l}^B(k_1, k_2)$ 分别为两幅图像的高频系数。

将图像的局部区域线性相关度作为高频系数的融合规则, 从而得到融合后的高频系数:

$$C_{j_0}^F(k_1, k_2) = \begin{cases} C_{j,l}^A(k_1, k_2) & W_{j_0}^{AB}(k_1, k_2) > W_{j_0}^{BA}(k_1, k_2) \\ C_{j,l}^B(k_1, k_2) & W_{j_0}^{BA}(k_1, k_2) > W_{j_0}^{AB}(k_1, k_2) \end{cases} \quad (5)$$

3 实验结果与分析

下面将文中的算法在 Matlab 上进行仿真, 并与文献[6]和文献[7]的算法进行比较, 图 3 中的(a)、(b)、(c)分别为聚焦在左边、右边和中间目标的图像, 其中对聚焦在左边和右边的两幅图像进行融合, 聚焦在中间目标的图像作为比较理想的参考图像, 以便对融合结果进行比较, 图 3 中(d)、(e)、(f)分别为文献[6], 文献[7]和文中算法得到的融合图像。

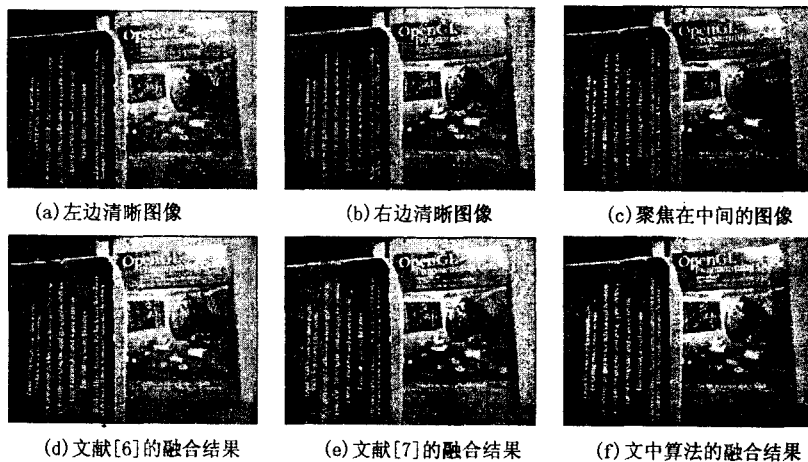


图 3 多聚焦图像及融合结果

从融合效果可以看出 3 种算法都可以得到较满意的视觉效果, 提高了图像的清晰度, 为了对实验结果进

(下转第 34 页)

曲线一的结果明显优于曲线二的结果。总的来说该算法是一个较好的解决方案,能够在较短的时间内得到较好的解。

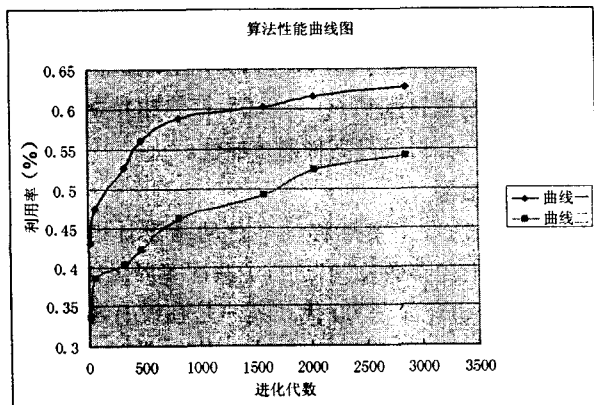


图3 算法性能曲线图

4 结束语

自动优化布局问题在许多领域都有着重要的应用,很多学者也都在此方面取得了很多的进展,但至今仍然没有提取一个较为完美的解决方案。文中将自动优化布局问题等价于一种运动规划形式,并结合了碰撞检测算法,实现了应用在手机上的动画图片的布局优化。实验结果表明文中的方法是一种较好的解决方案。在解决布局问题的过程中并没有考虑到动画图片

被切割的图像块之间的相关性,如果能够使取自同一帧的图像块在布局时能够保持相对的紧密,就可以大大提高后期的动画的制作过程,这将是进一步的研究工作。

参考文献:

- [1] Danniels K, Ilenkovic V J M. Mutiple translational containment part I: An approximate algorithm[J]. Algorithmica, 1997,19:148-182.
- [2] 康立山,谢云,尤矢勇,等.非数值并行算法(第1册):模拟退火算法[M].北京:科学出版社,1994.
- [3] 徐东溶.报纸版面布局的自动类比设计[J].计算机学报,1998,21(12):1066-1073.
- [4] 印鉴,李明.基于遗传算法的最优布局问题求解[J].计算机研究与发展,2002,39(10):1296-1273.
- [5] 章勤,黄琨,李光明.一种基于OBB的碰撞检测算法的改进[J].华中科技大学学报:自然科学版,2003(1):46-48.
- [6] 周明,孙树栋.遗传算法原理及应用[M].北京:国防工业出版社,1999.
- [7] 周志坚.基于遗传算法的神经模糊技术应用研究[D].广州:华南理工大学,1999.
- [8] Rudolph G. Convergence analysis of canonical genetic algorithms[J]. IEEE Transaction on Neural Networks, 1994,5(1):96-101.

(上接第30页)

行客观评价,采用均方根误差、峰值信噪比、熵三个参数进行比较(见表1)。

表1 不同融合算法的融合结果参数对比

算法	RMSE	PSNR	Entropy
文献[8]	5.6394	76.2296	5.0813
文献[9]	5.5474	76.5587	5.0842
文中	5.3496	77.2849	5.1856

从表1可以看出,与其它两种融合算法相比较,文中算法均方根误差最小,信噪比最大。说明融合图像与标准图像间的差异小;文中算法的熵最大,说明经文中算法所得到的融合图像包含更多的信息。

4 结束语

针对多聚焦图像融合问题,综合考虑了图像的前景、背景以及多聚焦图像本身特点,针对Curvelet变换得到的高频区域系数的融合提出了局部区域线性相关度的概念。实验结果表明,文中的算法取得了较好的视觉效果。

参考文献:

- [1] 刘峰,姬光荣,周立俭,等.基于多小波分析的多聚焦图像融合[J].中国海洋大学学报,2007,37(1):163-167.
- [2] 张学帅,潘泉,赵永强,等.基于M带小波变换的多聚焦图像融合[J].计算机工程与应用,2005(23):77-79.
- [3] Choi Myungjin, Kim Rae Young, Nam Myeong-Ryong, et al. Fusion of multispectral and panchromatic Satellite images using the curvelet transform[J]. Geoscience and Remote Sensing Letters, IEEE, 2005,2(2):136-140.
- [4] Candes E J, Demanet L, Donoho D L, et al. Fast discrete Curvelet transform[EB/OL]. 2005-07-01[2006-02-13]. <http://www.acm.caltech.edu/~em2manuel/publication.html>.
- [5] Durucan E, Brahimi T. Change detection and background extraction by linear algebra[J]. IEEE Special Issue on Advanced Video-Surveillance, 2001,89(10):1368-1381.
- [6] 杨俊,赵忠明.基于Curvelet变换的多聚焦图像融合方法[J].光电工程,2007(6):67-71.
- [7] 蒲恬,方庆喆,倪国强.基于对比度的多分辨图像融合[J].电子学报,2000(12):116-118.