

基于进化策略和 IHS 变换的图像融合方法

杨 梁继民, 杨万海, 裴继红

(西安电子科技大学电子工程学院 210 室, 陕西西安 710071)

摘 要: IHS 变换法对多光谱图像和高分辨图像进行融合会丢失较多的光谱信息, 本文利用进化策略来求解 IHS 变换法中光谱强度分量的最佳变换问题, 经过变换后的光谱强度分量与多光谱图像的光谱强度分量和高分辨图像都具有较强的相关性, 经过 IHS 反变换后可以得到同时具有较好的空间分辨率和光谱信息的融合图像. 实验结果表明, 该方法得到的融合图像优于传统的 IHS 变换法和小波变换方法.

关键词: 图像融合; IHS 变换; 进化策略

中图分类号: TP18 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2001) 10-1388-04

Fusion Multispectral and High Resolution Image Using Evolutionary Strategies and IHS Transform

YANG Xuan, LIANG Ji-min, YANG Wan-hai, PEI Ji-hong

(School of Electronics and Engineering, Xidian University, Xi'an, Shanxi 710071, China)

Abstract: A new technique is developed for the data fusion of two images. Two spatially registered images with differing spatial resolutions and color content are merged by modifying the spectral intensity component and then reconstructing the fusion image by means of the inverse IHS transform. The intensity component is modified by a best transform curve, which is obtained by evolutionary strategies, and is closer to the intensity component of multispectral image and is closer to the high resolution image in the meantime. Experimental comparisons show that the method proposed in this paper performs better in preserving spatial resolutions and color content than that of traditional IHS transform technique and wavelet transform fusion method.

Key words: image fusion; IHS transform; evolutionary strategies

1 引言

图像融合是将不同传感器得到的多个图像根据某个算法进行综合处理, 以得到一个满足某种需求的新图像^[1]. 图像增强是图像融合技术的重要应用领域, 将不同传感器得到的多源图像数据进行融合, 得到的融合图像包含了单传感器图像数据中无法得到的丰富信息. 图像增强中一个重要的研究内容是将高空间分辨率的图像和多光谱图像(低分辨率)进行融合. 这一技术中具有代表性的方法有: IHS 变换法^[2~5]和小波变换方法^[6~8]. IHS 变换法的特点是高频信息丰富, 但光谱信息损失较大. 小波变换具有良好的空域和频域的局域性, 可以较好地保留多光谱图像中的光谱信息, 但由于该方法舍弃了高空间分辨率图像的低频分量, 在反变换的结果中会出现方块效果, 其融合图像的视觉效果不及 IHS 变换法. 本文利用传统 IHS 变换法高频信息保留较好, 而光谱信息损失较大的特点, 对传统 IHS 变换法进行改进. 我们对多光谱图像的光谱强度分量进行一种变换, 使变换后的光谱强度分量与多光谱图像的光谱强度具有较高的相关性和统计特性, 同时与高分辨图像具有较高的相关性. 利用 IHS 反变换, 可以得到一幅同时

较好保留多光谱信息和高频信息的融合图像. 我们利用进化策略来解决这个最优变换问题.

2 IHS 变换

一幅彩色图像可以用三基色 RGB 表色系统来表示, 但三基色表色系统不符合人们对颜色的理解和认识习惯, 通常人们对颜色的认识基于颜色的三个特征: 色调 H、饱和度 S 和强度 I. 其中色调 H 决定于光谱的主波长, 是光谱在质的方面的区别. 饱和度 S 表征光谱的主波长在强度中的比例. 强度 I 表示光谱的亮度大小. 在 RGB 空间中光谱信息与三个坐标 R、G、B 的耦合性较强, R、G、B 中任一分量的改变都会改变光谱信息, 在图像处理的过程中处理起来困难. 在 IHS 空间中, 光谱信息主要体现在色调和饱和度上, 从视觉特点上分析, 强度的改变对光谱信息影响较小, 便于处理. 对于高空间分辨率图像和多光谱图像的融合问题, 我们希望在保留光谱信息的前提下, 添加高空间分辨率图像的细节信息, 因此更适于在 IHS 空间中进行处理^[9]. 从 RGB 三基色空间到 IHS 柱形彩色空间的转化公式参见文献^[10].

收稿日期: 2000-05-15; 修回日期: 2000-12-04

基金项目: 多传感器系统数据融合算法研究 (No. 98J. 6. 1DZ01114)

3 利用进化策略求解光谱强度的最优变换

为了简化问题,我们基于一种假设,即如果光谱强度值是连续的,则变换后的光谱强度仍连续.可以利用一条连续、光滑的变换曲线来表达这种变换关系,变换曲线的横坐标是归一后的像素点的光谱强度值,纵坐标是变换后的归一光谱强度值.变换曲线在 $[0,1] \times [0,1]$ 范围内变化,并且过 $(0,0)$ 和 $(1,1)$ 两个点.原光谱强度值通过这条变换曲线可以得到一个变换后的光谱强度值.这样处理的思想相当于对光谱强度的直方图进行变换,与像素点坐标无关.由于相同的直方图可以对应着完全不同的图像,而不同的图像需要的变换曲线是不同的,如果直接对光谱强度的直方图进行处理,势必造成图中有的区域变换效果较好,而其他区域却无法得到理想变换结果的问题.为了解决这一问题,我们对多光谱图像进行分割,在不同的区域分别求解各自的最优变换曲线.我们根据多光谱图像的色调值对图像进行分割,将多光谱图像分割成具有不同色调特征的区域,在同一种色调特征下,对该区域求解的变换曲线可以将该区域内的光谱强度变换为理想的强度值,从而得到不同区域各自的光谱强度变换结果.

为了得到一条在 $[0,1] \times [0,1]$ 范围内变化的连续、光滑的变换曲线,我们将给出 10 个在 $[0,1] \times [0,1]$ 范围内的控制点,采用曲线拟合的方法得到一条光滑曲线.这 10 个控制点的横坐标是等间距固定的,我们将利用进化策略求解出这 10 个控制点的纵坐标.由于每一组控制点都对应着一条在 $[0,1] \times [0,1]$ 范围内变化的连续、光滑的变换曲线,因此得到一组最优的控制点,就可以得到一条最优的变换曲线.

3.1 分割多光谱图像

通过对多光谱图像的色调进行分析可以发现,多光谱图像的色调具有较好的可分性,反映在色调的统计直方图中就是具有明显的相互分离的高斯峰形状.我们可以首先进行高斯峰拟合,然后利用各高斯峰之间的峰谷作为分割阈值.每个高斯峰的拟合方法见文献[11].需要说明的是,进行色调分割时,分割的区域个数不宜过多,也不能过少.分割过多,区域的拼合处会损失高频信息;分割过少,不同色调处于同一区域,可能无法得到最优变换.因此,对色调进行分割时,要根据多光谱图像色调的分布情况具体分析.

3.2 变换曲线拟合

我们在 $[0,1] \times [0,1]$ 范围内进行曲线拟合,拟合的曲线要求过 $(0,0)$ 和 $(1,1)$ 两个端点.利用 Bézier 曲线进行曲线拟合,Bézier 曲线的特点就是过第一个和最后一个控制点,并且连续、光滑,非常适合于我们的曲线拟合问题.我们分段进行 Bézier 曲线拟合,每一段由四个控制点生成,生成的曲线为三次曲线.前后两个分段曲线重合一个控制点,给定 10 个控制点,需要拟合三段 Bézier 曲线.假设四个控制点的位置 $p_k = (x_k, y_k)$, $0 \leq k \leq 3$.拟合的 Bézier 曲线为

$$P(u) = \sum_{k=0}^3 p_k B_{E_{k,3}}(u),$$

$$B_{E_{k,3}}(u) = \frac{3!}{k!(3-k)!} u^k (1-u)^{3-k}, 0 \leq u \leq 1$$

3.3 适应度函数

进化策略的适应度函数应体现出融合图像同时保留光谱信息和高频信息的特点.由于在本文中我们利用进化策略求解最优变换曲线的 10 个控制点,经过 IHS 变换后每组控制点对应一幅融合图像,因此我们将融合图像的适应度函数作为每组控制点的适应度函数.假设多光谱图像为 f_{SP} ,高分辨图像为 f_{HF} ,由某组控制点产生的融合图像 f ,定义适应度函数 $Fit(f)$ 为

$$Fit(f) = \begin{cases} Corr_{SP}(f, f_{SP}), & \text{if } Corr_{HF}(f, f_{HF}) \geq 0.9 \\ 0.7 \times Corr_{SP}(f, f_{SP}), & \text{if } Corr_{HF}(f, f_{HF}) < 0.9 \end{cases}$$

$$Corr_{SP}(f, f_{SP}) = Corr(f, f_{SP}) \times Dist(f, f_{SP})$$

$$Corr_{HF}(f, f_{HF}) = \frac{Corr(f^h, f_{HF}^h) + Corr(f^v, f_{HF}^v) + Corr(f^d, f_{HF}^d)}{3}$$

$$Corr(X, Y) = \frac{E\{[X - E(X)][Y - E(Y)]\}}{\sqrt{D(X)} \sqrt{D(Y)}}$$

$$Dist(f, f_{SP}) = \begin{cases} 1 - |E(f) - E(f_{SP})|/T, & \text{if } |E(f) - E(f_{SP})| \leq T \\ 0, & \text{if } |E(f) - E(f_{SP})| > T \end{cases}$$

其中, $f^h, f^v, f^d, f_{HF}^h, f_{HF}^v, f_{HF}^d$ 分别为融合图像对应的灰度图像、 f_{HF} 经过小波分解后的三个高频分量, $E(x), D(X)$ 为 X 的均值和方差, T 是判定阈值.适应度函数取决于融合图像与多光谱图像和高分辨图像的相关程度 $Corr_{SP}(f, f_{SP})$ 、 $Corr_{HF}(f, f_{HF})$.当融合图像与高分辨图像的相关程度达到一定值时,适应度函数取决于融合图像与多光谱图像的相关程度.而融合图像与多光谱图像的相关程度同时考虑了融合图像与多光谱图像的相关系数和其均值的接近程度,融合图像与高分辨图像的相关程度取决于融合图像对应的灰度图像与高分辨图像其高频分量之间的相关系数.

3.4 进化策略

进化策略是基于群体的优化技术,其操作对象为问题的可行解组成的一个群体.定义群体中的个体(10 个控制点的纵坐标)为实数向量 $Y = (y_0, y_1, \dots, y_9)$.每个个体的优劣可以用适应度函数来衡量,优化的目标是找到一个最优个体 $Y^* = (y_0^*, y_1^*, \dots, y_9^*)$,使该最优个体对应的融合图像 f^* 的适应度函数 $Fit(f^*)$ 最大.进化策略的基本运行过程如下:

(1) 产生初始父代群体 $Y_i, i = 1, 2, \dots, \mu$, 共 μ 条个体,个体元素的取值在 $[0,1]$ 范围内均匀分布;

(2) 变异:产生子代个体 $Y_j^i = Y_i + N(0, \sigma_j^2), i = 1, 2, \dots, \mu, j = 1, 2, \dots$, 其中 $N(0, \sigma_j^2)$ 表示均值为 0, 方差为 σ_j^2 的高斯噪声,噪声的方差可以固定或自适应变化^[13].父代中的每个个体经过变异产生一条子代个体;

(3) 选择:可以采用固定的选择方法,从以上总共 $\mu + \mu$ 条个体中选出最优的 μ 条个体,组成新的父代群体.本文采用一种随机选择方法^[12],通过竞争产生新的父代群体;

(4) 重复(2)(3)两步操作,直到适应度函数满足要求或算法运行代数达到最大允许运行代数.以最后一代群体中的最优个体作为求解结果.

4 实验结果

分别使用自然景物图 Flower 和彩色 mandrill 图,利用本文

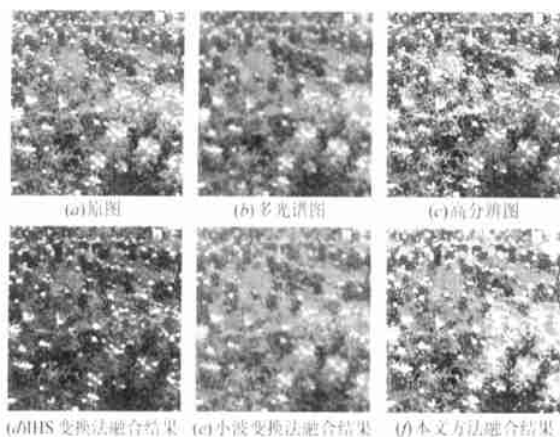


图 1 Flower 图

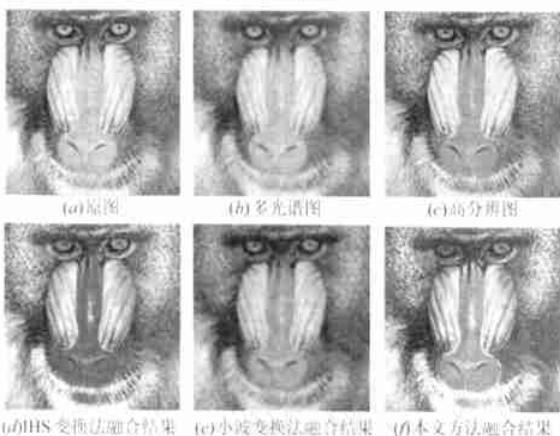


图 2 彩色 mandrill 图

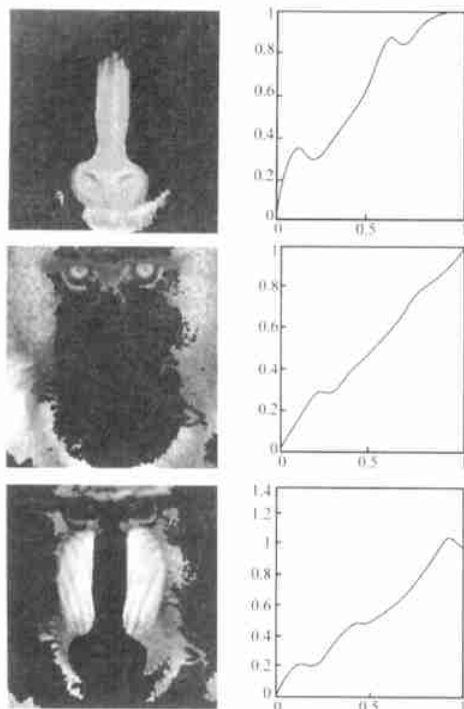


图 3 mandrill 图的分割区域和最优变换曲线

提出的方法、传统 IHS 变换法和小波变换法来进行图像融合。

自然景物图 Flower(图 1(a)) 和彩色 mandrill 图(图 2(a)) 都是理想融合图像,它们对应的灰度图像作为高分辨率图像,如图 1(c)、图 2(c). 对自然景物图 Flower 和彩色 mandrill 图进行模糊处理后,作为多光谱图像,如图 1(b)、图 2(b). 不同融合方法得到的融合图像如图 1(d)(e)(f)、图 2(d)(e)(f). 其中,两幅多光谱图按色调都分割成了三个子区域,图 3 给出了 mandrill 图分割的三个区域和相应得到的最优变换曲线.

表 1 Flower 图融合图像与多光谱图、高分辨图的相关程度

	$Corr_{HF}$	$Corr_{SP}$
IHS 变换法	1.0	0.4355
小波变换法	0.8687	0.9129
本文方法	0.8831	0.9244

表 2 彩色 mandrill 图融合图像与多光谱图、高分辨图的相关程度

	$Corr_{HF}$	$Corr_{SP}$
IHS 变换法	1.0	0.7271
小波变换法	0.9682	0.8615
本文方法	0.8855	0.8986

表 1、表 2 是融合图像与多光谱图像和高分辨图像的相关程度,相关程度越高,保留的相应的信息越丰富. 从表中可以看出,传统 IHS 变换法的光谱信息损失较大,小波变换法的光谱信息损失比传统 IHS 变换法小,而本文提出的方法保持了更多的光谱信息;从融合图像的高频保留情况看,传统 IHS 变换法的高频信息最丰富,小波变换法和本文方法的高频信息也保留得较好;从融合图的视觉效果和与原始图像的比较上看,传统 IHS 变换法边缘细节保留得最好,小波变换法的融合结果中存在方块效应,本文提出的方法保留了较多的光谱信息和高分辨图像中大多数的细节,从视觉效果上是令人满意的.

5 结论

在多光谱图像和高空间分辨率图像进行图像融合时,传统的 IHS 变换法损失了较多的光谱信息;小波变换法较好地保留了光谱信息,但其融合图像的视觉效果并不好. 本文方法首先对多光谱图像的色调进行分割,得到具有不同色调特征的多光谱区域. 然后定义同时反映与多光谱图像和高分辨图像相关性的适应度函数,利用进化策略求解多光谱区域中各自最优的光谱强度分量的变换曲线,通过这条最优的变换曲线得到的光谱强度同时具有与多光谱图像的光谱强度分量以及高分辨图像相近的统计特征. 最后利用 IHS 反变换得到不同区域各自的融合结果,从而得到一幅同时具有多光谱信息和高分辨信息的融合图像. 实验比较表明,该方法得到的融合图像较好地保持了图像的空间分辨率和多光谱信息,其融合结果优于传统的 IHS 变换法和小波变换法.

参考文献:

- [1] Gendren J L, VAN POHL C. Image fusion: Issues, techniques and applications. Intelligent Image Fusion [A]. Proceedings EARSel Workshop [C], Strasbourg, France, 1994:18 - 26.
- [2] Carper W J, et al. The use of intensity-hue-saturation transformations for merging SPOT panchromatic and multispectral image data [J]. Photogram. Eng. Remote Sens., 1990, 56:459 - 467.
- [3] Shettigara V K. A generalized component substitution technique for spatial enhancement of multispectral images using a higher resolution data

- set [J]. Photogram. Eng. Remote Sensing, 1992, 58: 561 - 567.
- [4] Sunar F, Musaoglu N. Merging multiresolution SPOT P and Landsat TM data: the effects and advantages [J]. Int. J. Remote Sensing, 1998, 19 (2): 219 - 224.
- [5] Schetselaar E M. Fusion by the IHS transform: should we use cylindrical or spherical coordinates? [J]. INT. J. Remote Sensing, 1998, 19 (4): 759 - 765.
- [6] N úñez Jorge, et al. Image fusion with additive multiresolution wavelet decomposition Applications to SPOT + Landsat images [J]. J. Opt. Soc. Am. A, 1999, 16 (3): 467 - 474.
- [7] David A Yocky. Image merging and data fusion by means of the discrete two-dimensional wavelet transform [J]. J. Opt. Soc. Am. A, 1995, 12 (9): 1834 - 1841.
- [8] Zhou J, et al. A wavelet transform method to merge Landsat TM and SPOT panchromatic data [J]. Int. J. Remote Sensing, 1998, 19 (4): 743 - 757.
- [9] 裴继红. 基于模糊信息处理的图像分割方法研究 [D]. 博士学位论文. 西安: 西安电子科技大学, 1998.
- [10] Kenneth R C. 数字图像处理 [M]. 北京: 电子工业出版社, 1998: 473 - 484.
- [11] 杨 杨, 梁德群. 基于区域一致性测度的多尺度边缘检测方法. 自动化学报, 1999, 25 (6): 757 - 762.
- [12] Fogel D B, et al. An Introduction to Simulated Evolutionary Optimization [J]. IEEE Trans. On NN, 1994, 5 (1): 3 - 14.

作者简介:



杨 杨 女. 1969 年 10 月生于陕西省西安市. 博士后, 1998 年在西安交通大学获博士学位, 现在西安电子科技大学博士后流动站工作. 长期从事模式识别、图像处理、数据融合等方面的研究工作.



梁继民 男. 1971 年 7 月生于河南省偃师市. 博士, 西安电子科技大学电子工程学院副教授, 长期从事数据融合、目标检测方面的研究.

www.cnki.net