

Journal of Image
and Graphics

中国图象图形学报



ISSN1006-8961
CN11-3758/TB

2012 12
Vol.17 No.

中国科学院遥感应用研究所
中国图象图形学学会主办
北京应用物理与计算数学研究所

中国图象图形学报

Zhongguo Tuxiang Tuxing Xuebao

2012年12月 第17卷 第12期(总第200期)

目次

综述

高斯混合模型、求解算法及视觉应用综述..... 管涛,李玲玲(1461)

图像处理和编码

基于曲波变换和色度模型的彩色图像去噪..... 张云强,张培林,王国德,卓洪波(1472)

子矢量排序的渐进不相似度逼近算法..... 李阳,潘志斌,吴鑫鹏(1478)

稀疏梯度先验模型的正则化图像复原..... 刘伟豪,梅林,蔡烜(1485)

高精度亚像素全局运动估计的上采样梯度互相关算法..... 余应淮,王锦荣(1492)

图像分析和识别

点到弦距离累加的自适应角点检测..... 王万良,金亦挺,赵燕伟,胡峰俊(1500)

最大子分类间隔准则的核函数优化..... 张静,杨智勇,于红芸,孙晓燕(1509)

核典型相关性鉴别分析..... 陈伟琦,程强(1516)

小波变换和特征加权融合的人脸识别..... 赵焕利,王玉德,张学志,薛乃玉(1522)

具有身份标识的多目标跟踪..... 安国成,肖坦(1528)

图像理解和计算机视觉

用于圆锥体位姿测量的曲面标记..... 李蒙,谌德荣,周广铭,蒋玉萍,高翔霄(1534)

计算机图形学

基于特征识别的3维人脸动画模型自动构造…………… 徐明, 乔宁博, 文振焜, 曾新, 采振祥(1540)

3D GIS 环境下雨雪天气实时仿真…………… 李欢, 樊红, 冯浩(1548)

医学图像处理

结合马尔可夫随机场与模糊 C-均值聚类的脑 MRI 图像分割…………… 余黎煌, 钟华, 张石(1554)

遥感图像处理

面向遥感影像镶嵌的 SVR 色彩一致性处理…………… 吴炜, 骆剑承, 李均力, 杨海平, 沈占锋(1561)

遥感影像投影寻踪回归分类模型…………… 张正健, 李祚泳, 秦宁生, 刘志红, 巴桑(1568)

《中国图象图形学报》2012 年第 17 卷总目次…………… (1)

志谢…………… 封2

中国图象图形学报

刊名题字: 宋 健

月刊(1996 年创刊)

第 17 卷 第 12 期

2012 年 12 月 16 日出版

主管单位 中国科学院

主 办 中国科学院遥感应用研究所
中国图象图形学学会
北京应用物理与计算数学研究所

主 编 李小文

编辑出版 《中国图象图形学报》编辑出版委员会

北京 9718 信箱 邮编 100101
电子信箱:jig@irsa.ac.cn
电话:010-64807995 010-82614429
网 址:www.cjig.cn

印刷装订 北京北林印刷厂

广告经营许可证 京朝工商广字第 0346 号

总 发 行 北京报刊发行局

订 购 全国各地邮局

国外发行 中国国际图书贸易总公司
(中国国际书店)
(北京 399 信箱 邮编 100044)

Superintended by Chinese Academy of Sciences

Sponsored by Institute of Remote Sensing Application,
CAS China Society of Image and Graphics
Institute of Applied Physics and Computational
Mathematics

Chief editor LI Xiaowen

Editor, Publisher Editorial and Publishing Board
of Journal of Image and Graphics
(P. O. Box 9718, Beijing 100101, China)
E-mail:jig@irsa.ac.cn

Distributed by Beijing Bureau for Distribution of Newspapers
and Journals

Domestic All Local Post Offices in China

Foreign China International Book Trading Corporation
(P. O. Box 399, Beijing 100044, China)

Printed by Beijing Beilin Printing House

ISSN 1006-8961 CN11-3758/TB CODE ZTTXFZ 国内邮发代号: 82-831 国外发行代号: M1406 国内定价: 45.00 元

Journal of Image and Graphics

(Monthly, Started in 1996)

Vol. 17 No. 12 December 2012

Contents

Review

Overview of Gaussian mixture models, solving algorithms and visual applications Guan Tao, Li Lingling(1461)

Image Processing and Coding

Denoising method for color images based on chrominance model and curvelet transform
..... Zhang Yunqiang, Zhang Peilin, Wang Guode, Zhuo Hongbo(1472)

Improved incremental dissimilarity approximations algorithm using sub-vector sorting Li Yang, Pan Zhibin, Wu Xinpeng(1478)

Regularized image restoration algorithm on sparse gradient prior model Liu Weihao, Mei Lin, Cai Xuan(1485)

High accuracy sub-pixel global motion estimation based on upsampled gradient cross-correlation algorithm
..... Yu Yinghuai, Wang Jinrong(1492)

Image Analysis and Recognition

Adaptive corner detection based on chord-to-point distance accumulation
..... Wang Wanliang, Jin Yiting, Zhao Yanwei, Hu Fengjun(1500)

Kernel optimization approach based on maximum subclass margin criterion
..... Zhang Jing, Yang Zhiyong, Yu Hongyun, Sun Xiaoyan(1509)

Kernel discriminant analysis based on canonical correlation Chen Weiqi, Cheng Qiang(1516)

Face recognition based on wavelet transform and weighted fusion of face features
..... Zhao Huanli, Wang Yude, Zhang Xuezhi, Xue Naiyu(1522)

Multi-target tracking algorithms with identification label An Guocheng, Xiao Tan(1528)

Image Understanding and Computer Vision

Curved surface marker used for cone pose measurement
..... Li Meng, Chen Derong, Zhou Guangming, Jiang Yuping, Gao Xiangxiao(1534)

Computer Graphics

The approach to automatically construct animation models based on 3D facial geometry and texture features recognition
..... Xu Ming, Qiao Ningbo, Wen Zhenkun, Zeng Xin, Cai Zhenxiang(1540)

Real-time snow and rain rendering in 3D GIS environment Li Huan, Fan Hong, Feng Hao(1548)

Medical Image Processing

Fuzzy C-means clustering algorithm combined with markov random field for brain MR image segmentation
..... She Lihuang, Zhong Hua, Zhang Shi(1554)

Remote Sensing Image Processing

Support vector regression color normalization method for image mosaic
..... Wu Wei, Luo Jiancheng, Li Junli, Yang Haiping, Shen Zhanfeng(1561)

Remote sensing image classification model based on projection pursuit regression Zhang Zhengjian, Li Zuoyong, Qin Ningsheng, Liu Zhihong, Ba Sang(1568)

中图法分类号: TP301.6 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2012)12-1561-07

论文引用格式: 吴炜, 骆剑承, 李均力, 杨海平, 沈占锋. 面向遥感影像镶嵌的 SVR 色彩一致性处理[J]. 中国图象图形学报, 2012, 17(12): 1561-1567.

面向遥感影像镶嵌的 SVR 色彩一致性处理

吴炜¹, 骆剑承¹, 李均力², 杨海平¹, 沈占锋¹

1. 中国科学院遥感应用研究所, 北京 100101; 2. 中国科学院新疆生态与地理研究所, 乌鲁木齐 830011

摘要: 由于成像条件与环境的差异, 多景待镶嵌遥感影像之间往往会出现色彩差异, 针对此问题, 提出一种基于支持向量回归 (SVR) 的色彩一致性处理方法。采用 NDVI (归一化植被指数) 阈值分割并结合光谱角匹配 (SAM) 的方法在影像重叠区域自动选取具有“不变特征”的像素作为样本; 通过 SVR 建立输入影像到参考影像的灰度值变换方程, 并对输入影像进行处理, 使得待镶嵌影像具有与参考影像相同或者相似的亮度与对比度。采用 TM、SPOT、无人机 (UAV) 影像等多源数据进行了实验, 结果表明, 该方法能够有效消除由系统因素引起的色差, 与线性回归方法相比, 该算法在方差、辐射分辨率等方面具有优势。

关键词: 影像镶嵌; 色彩一致性处理; 光谱角匹配; 支持向量回归

Support vector regression color normalization method for image mosaic

Wu Wei¹, Luo Jiancheng¹, Li Junli², Yang Haiping¹, Shen Zhanfeng¹

1. Institute of Remote Sensing Application, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;

2. Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China

Abstract: Due to the variation of imaging conditions onboard, the chromaticity among a collection of remote sensing images that are to create image mosaics often differs. In this regard, a method for keeping color consistency based on support vector regression (SVR) is presented. First, the pixels, with invariant features, are automatically selected in the overlapping areas, which are based on the image threshold segmentation and on spectral angle matching (SAM). These pixels are used to build transformation equations on digital numbers between the original image and the reference image using SVR. Finally, the brightness of the images to be stitched is corrected to the same reference image using the corresponding transformation equations. The approach mentioned was implemented on the thematic mapper (TM) imagery, SPOT satellite imagery and unmanned aerial vehicle (UAV) images. Our results show that this method can effectively alleviate the chromaticity differences. Compared with the linear regression method, the above method achieves larger variance and higher radiation resolution.

Key words: remote sensing image mosaic; color normalization; spectral angle matching; support vector regression

0 引言

受天气、卫星重访周期等因素的影响, 获取一定

时期较大范围的无云、无色差的遥感影像非常困难, 这就使得影像镶嵌必须处理多景色彩 (亮度、对比度等) 不一致 (存在色差) 的影像。色彩一致性处理就是对待镶嵌影像的亮度进行处理, 使影像之间具

收稿日期: 2011-12-15; 修回日期: 2012-06-11

基金项目: 国家科技支撑计划基金项目 (2011BAH06B02); 国家自然科学基金项目 (40971228)

第一作者简介: 吴炜 (1985—), 男, 现为中国科学院遥感应用研究所地图学与地理信息系统专业在读博士研究生, 主要研究遥感影像处理与分析。E-mail: wuwei@irsa.ac.cn

有相同或者相似的色彩,在计算机视觉等领域也称为色彩校正或者色彩平衡^[1];在遥感变化检测等领域,该过程也可以看成是利用参考影像对输入影像进行相对辐射校正,因而也称为辐射归一化(radiometric normalization)^[2]。本文方法主要面向多时相遥感影像镶嵌,使得各景影像具有视觉上相同或者相近的亮度分布,而不针对变化检测等某一具体的遥感应用,称为色彩一致性处理。

当前,色彩一致性处理的思路主要依据输入影像与参考影像的重叠区域,建立输入影像到参考影像之间的变换关系,使得转换后的输入影像与参考影像具有相同或相似的亮度分布和对比度,包括参数和非参数两类方法。其中,前者假设影像之间的灰度关系可以通过矩阵形式表示为

$$I_t = M * I_s \tag{1}$$

式中, I_s 和 I_t 分别表示输入影像和变换后的无色差影像, M 是源影像变换到目标影像的灰度变换矩阵,一般是通过从重叠区域选取样本点并计算得到,有曝光补偿^[3]、线性变换^[4]、仿射变换^[5]等多种方法,结果影像的灰度值是输入影像各个波段灰度值线性组合。Du^[6]采用相关系数选取地表类型未发生变化的像素作为样本,通过主成分变换选择信息最多的主成分建立线性关系,通过线性回归的传递性对多景影像进行整体考虑,使得最终结果具有较高的精度;张友水等人采用线性回归方法研究了两景 TM 影像之间的相对辐射校正方法,并在土地利用覆被的分类和变化检测中进行了应用^[7]。潘俊针对航空影像色彩一致性处理问题,采用迭代加权多元变化检测的方法在重叠区域选取像素样本,并采用线性模型描述影像间的映射关系^[8]。非参数方法利用重叠区域直接建立灰度的映射关系,而不强调像素间的一一对应。如肖甫等人将均值和方差作为影像特征的衡量标准,构造单调的变换方程,使得两景影像在重叠区域具有相同的均值和方差^[9];局部直方图匹配则根据重叠区域的局部直方图,建立从源影像到目标影像的灰度映射方程,对源影像进行处理,从而使得两景影像不仅具有相同或者相似的统计特征(均值和方差),同时具有相同或者相近的亮度分布^[10]。

以上方法在某些特定的应用案例中取得了较好的效果,但是应用到卫星影像的色彩一致性处理中,还存在着以下问题:1)采用线性模型 $y = kx + b$ 时,当增益 k 小于 1,会降低结果影像的辐射分辨率;偏

移 b 较大或者较小,会造成结果影像灰度值容易溢出;2)卫星遥感影像时间分辨率较低(如 Landsat 系列卫星时间分辨率 16 d),受光照、天气条件等因素的影响也很明显,像素之间的变化并不是完全的线性关系;3)采用局部直方图匹配等颜色强制改正的方法容易造成光谱特征的扭曲,给后续处理带来困难。

1 色彩一致性处理方法

引起影像 I_1 和 I_2 重叠区域灰度值变化的因素可以表示为

$$F = f(E_1, E_2) \tag{2}$$

式中, E_1 表示地物本身引起的变化; E_2 表示光照、大气及成像系统畸变引起的变化。其中, E_1 包含了地物本身变化的信息,是遥感需要研究的内容;而 E_2 是系统因素引起的色彩不一致,是一种噪声,需要通过模型进行描述并去除。植被等随时相变化明显的地物同时受 E_1 和 E_2 两类因素的影响,而城市、道路等人工地物及裸地等主要受 E_2 的影响(为了叙述方便,以下将光谱特征不随时相变化的地物简称为“不变特征”地物),色彩一致性处理的目的就是消除 E_2 引起的色彩变化。对于植被等随时相变化以及地物类型发生变化的地物只能消除 E_2 影响,而不能消除 E_1 造成的影响。

因而,色彩一致性处理包含两个主要问题:1)选取不变特征地物的像素样本;2)建立描述像素值变化的模型。采用的具体方法为:首先,采用归一化植被指数(NDVI)阈值分割将影像划分为植被与非植被区域,采用光谱角匹配(SAM)从非植被区域选取光谱相似性高的像素作为不变特征;其次,根据上述样本建立输入影像到参考影像的回归方程;最后对输入影像进行处理,得到色彩一致的影像(如图 1)。

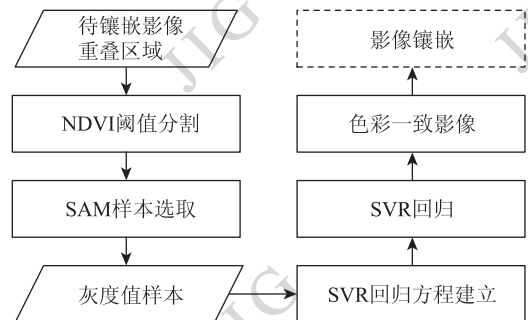


图 1 色彩一致性处理流程

Fig. 1 The flowchart of color normalization

1.1 样本选取

样本主要是选取光谱特征不随时相变化且地物类型未发生变化的地物(如建筑物、道路等)作为样本,而将如植被等随时相变化较大或者地物类型发生变化的地物剔除。

NDVI 是描述地表是否为植被覆盖的定量指标,NDVI 的值越大,植被的可能性越大。因而,选择合适的阈值能够将影像划分为植被和非植被区域。使用 NIR 和 R 分别表示近红外波段和红外波段的亮度值,NDVI 的计算方法为

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R} \quad (3)$$

计算待处理影像和参考影像重叠区域的 NDVI,将两景影像 NDVI 都小于阈值 T 的像素作为非植被区域,而大于 T 的作为植被区域。阈值分割的目标不是精确地确定某一个像素是否为植被,而是划定植被与非植被区域,NDVI 阈值的选取对结果的影响较小。根据笔者多次实验结果,阈值取 0.05 较为合适,既能有效地去除植被区域,又能为后续 SAM 样本精确选取提供足够的候选样本。

光谱角匹配方法采用光谱角作为光谱向量相似性衡量的指标,是一种基于完全波形特征的光谱相似性的度量方法。将图像波谱看作 M 维空间中的向量,通过计算两景影像对应像素的像元波谱之间的“角度”来衡量两者的相似性。在光谱维方向,每一像素点位置各波段的亮度值就构成了像素地物的光谱曲线。两个像素点的光谱角越小,说明两个像素之间的相似度越高。因此在遥感数据的多维空间里,可以通过测量“角度距离”来分类和聚类^[11]。

在地物类型未发生变化和忽略大气等因素影响的情况下,两景影像上同一像素的光谱特征应该完全相同,即光谱角为 0。因而,可以认为光谱角越小,两个像素之间的光谱特征相似性越大。因此,可以从非植被区域选取光谱角最小的 N 个像素作为样本。具体实现过程如下:

1)假设参考影像与输入影像重叠区域某一像素处的 m 个波段亮度值分别表示为 $\mathbf{X} = (x_1, x_2, \dots, x_m)$, $\mathbf{Y} = (y_1, y_2, \dots, y_m)$,则光谱角可以按照以下方法进行计算:

$$\theta = \arccos\left(\frac{\mathbf{XY}}{|\mathbf{X}| |\mathbf{Y}|}\right) = \arccos\left(\frac{\sum_{i=1}^m x_i y_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^m (x_i)^2} \sqrt{\sum_{i=1}^m (y_i)^2}}\right) \quad (4)$$

2)将光谱角从小到大排列,选取前 N 个像素作为样本。 N 是算法中间需要确定的一个参数,决定于 SVR 回归预测的精度及其回归和预测所消耗的时间两个方面的因素。样本数目越多,精度越高,回归收敛和预测消耗的时间越长。

SVR 具有对小样本较强的学习能力和泛化能力,同时,样本之间的信息存在冗余,样本增加时,SVR 回归的收敛和预测速度表现出非线性的降低。根据多次实验结果,将 N 设置为 500~1 000 之间较为合适。

1.2 支持向量回归

支持向量机(SVM)是基于统计学习模式中的结构风险最小化原则的一种机器学习方法,它较好地解决了小样本、非线性、高维数和局部极小点等实际问题,在高维空间具有良好的学习性能和泛化能力,已被引入遥感影像分析领域并得到成功应用^[12-13]。支持向量回归(SVR)算法的原理为:若用拟合的数学模型表达多维空间的某一曲线,则根据不敏感函数所得的结果,就是包括该曲线和训练点的管道(如图 2 所示)。在所有样本点中,只有分布在“管壁”上的那一部分样本点决定管道的位置,这一部分训练样本称为“支持向量”。管壁的宽度为不敏感函数的宽度,记为 ϵ 。支持向量回归用核函数代替线性方程中的线性项可以使原来的线性算法“非线性化”。SVR 详细的原理这里不再介绍,具体可以参见文献[14]。

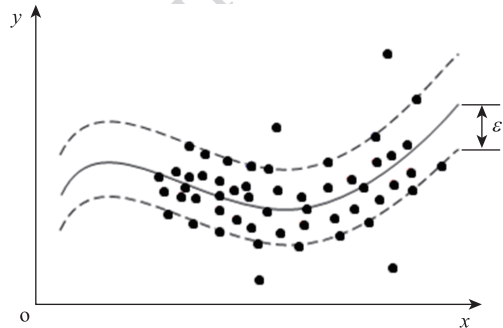


图 2 支持向量回归示意图

Fig. 2 Support vector regression diagram

将 SVR 用于学习同一区域在不同影像之间灰度变化的高阶性质,建立两者之间的应用模型,并对影像灰度值进行模拟预测。在选取不变特征地物样本的基础上,建立输入影像到参考影像的 SVR 方程。假设输入影像上 m 个波段的亮度值为 $\mathbf{X} = (x_1, x_2, \dots, x_m)$,参考影像上相应像素的亮度值为 $\mathbf{Y} =$

(y_1, y_2, \dots, y_m) , 建立各个波段的 SVR 回归方程组

$$y_i = \text{SVR}(x_1, x_2, \dots, x_m); i = 1, 2, \dots, m \quad (5)$$

根据上述的 SVR 回归方程, 对输入影像各个波段逐像素进行处理, 使得处理后的结果影像与参考影像具有相似的色彩特征。

在 SVR 中, 需要确定 3 个参数, 分别为惩罚函数 c 、不敏感函数 ϵ 和核函数 e 。其中, c 决定了模型的复杂程度, 以及在优化过程中能够多大程度上容忍偏差 ϵ 。当 c 无穷大的时候, 是一种不考虑模型的复杂程度而使得经验风险的最小选择。 ϵ 决定了不敏感区域的宽度, 值越大, 越少的支持向量会被选择。 c 和 ϵ 同时, 但是从不同的方面决定了模型的复杂程度。核函数采用较为稳定的 RBF(radial basis kernel) 模型。在样本选取时, 进行了样本提纯, c 对于结果的影响较小, 实验中可以设置为常量 100。而 ϵ 不敏感函数决定了管壁的宽度, 假设 u_1 和 u_2 分别为两景影像公共区域的灰度值的均值, ϵ 可以设置为

$$\epsilon = |\mu_1 - \mu_2| \quad (6)$$

2 实验与评价

采用 C++ 对上述算法进行了实现, SVR 实现采用台湾大学林智仁博士开发的开源软件包的 LibSVM, 该软件包可快速有效地进行 SVM 模式识别与回归^[15]。分别选择一组 TM、SPOT、UAV 影像进行实验, 并对算法的效率进行分析。为了论述问题的方便, 仅选取了两景影像进行实验, 对于多景影像具有多重重叠的情形, 可以采用其中一景作为参考依次对其他具有重叠区的影像进行处理。

2.1 实验 1

选择 1 组位于山西、内蒙古和河北 3 省交界区 Landsat 5 的影像, Path = 125, Row = 32 和 33, 影像获取日期分别为 2010 年 7 月 5 日和 9 月 23 日, 时相相差 80 d(图 3(a)), 可以看出影像之间不仅存在由于时相引起的变化, Row = 33 的影像整体偏暗。这里以 Row = 33 的影像作为参考影像对 Row = 32 的参考影像进行处理。图 3(a) 中红框区域内选择样本并进行矢量化的效果如图 3(b) 所示, 选择的样本主要为建筑物、道路等“不变特征”地物。图 3(c) 为 SVR 回归色彩一致性的叠加处理效果, 红框区域的放大显示如图 3(d) 所示, 可以看出建筑物、道路等人工地物能够做到基本无色差, 而植被等由于时相变化, 存在较小的色差。图 3(e) 为采用线性回归及其局部放大的结

果, 线性回归方法可以参见文献[2]。与本文实验结果相比, 具有以下不足: 辐射分辨率集中在一个较为狭窄的区域; 由于每个波段采用不同的线性模型进行校正, 如湖面呈现出红色, 色彩失真。

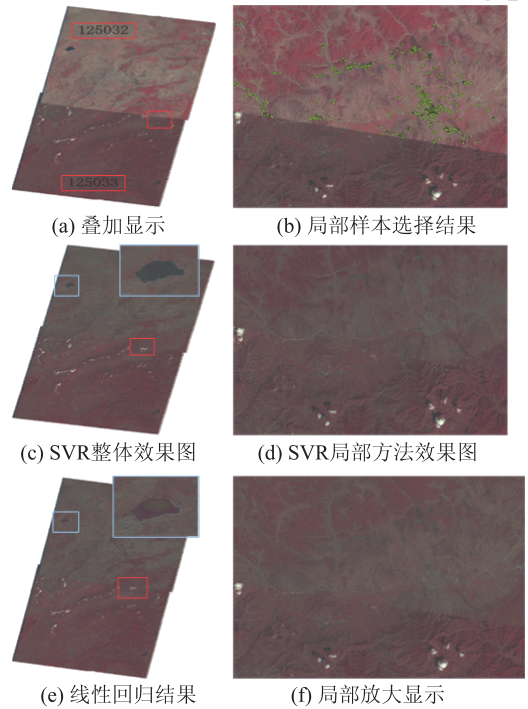


图 3 TM 影像实验结果

Fig. 3 The experimental results of TM images

为了对实验效果进行定量评价, 将输入影像划分为重叠区域(A)和非重叠区域(B), 其中, 重叠区域又划分为样本区域(A₁)和非样本区域(A₂)。分别统计上述 3 个区域采用 SVR、线性回归两种方法得到的结果影像的均值(μ)、标准差(σ)、相关系数(C)和灰度级(G)等统计特征。其中, 重叠区域残差的计算方法为

$$RMSE = \frac{1}{n} \sqrt{\sum_{i=1}^n (f_{ref} - f_{pre})^2} \quad (7)$$

f_{ref} 和 f_{pre} 分别表示参考和预测的灰度值。样本区域的残差可以说明本方法的拟合精度, 重叠区域的非样本的残差说明影像的预测精度。统计结果如表 1 所示。

可以看出: SVR 方法得到的方差较大, 说明影像的对比度得到了增强, 所含信息量大于线性回归; SVR 方法的灰度级高于线性回归的灰度级, 说明线性回归降低了影像的辐射分辨率, 即对影像进行了模糊; SVR 在重叠区域的残差小于线性回归方法的残差, SVR 方法具有较高的拟合和预测精度。

表 1 TM 影像实验结果统计表
Table 1 Statistical characteristics of the TM images

	原始影像			SVR 方法					线性回归方法				
	μ	σ	G	μ	σ	G	C	R	μ	σ	G	C	R
A_1	61.32	15.7	154	68.3	14.4	149	0.972	3.12	69.54	12.4	121	1.0	5.35
A_2	57.53	10.5	186	65.3	9.9	183	0.963	6.51	66.54	8.3	146	1.0	7.65
B	54.66	13.4	247	63.2	14.35	136	0.936	—	64.28	10.6	195	1.0	—

2.2 实验 2

选取 1 组 SPOT 影像,位于中国新疆维吾尔自治区的绿洲地区,影像获取的日期分别为 2008-6-25 和 2008-8-27,时相相差 63 d, Path = 206 及 207, Row = 269。以 Path = 206 的影像作为参考对 Path = 207 的影像进行色彩一致性处理。影像重叠区域主要是耕地等土地利用类型,随时相变化明显,裸地等也存在也存在

一定色差,实验结果影像如图 4 所示,不难看出采用 SVR 方法的色差较小,基本能够做到无缝拼接,且两侧影像的色差基本上没有区别,而线性回归的方法仍存在一定的色差,过渡区域存在一定的接缝线。

最后,统计了与实验 1 中相同的统计特征(如表 2),方差(信息量)、拟合模拟精度及辐射分辨率方面均优于线性回归的结果。

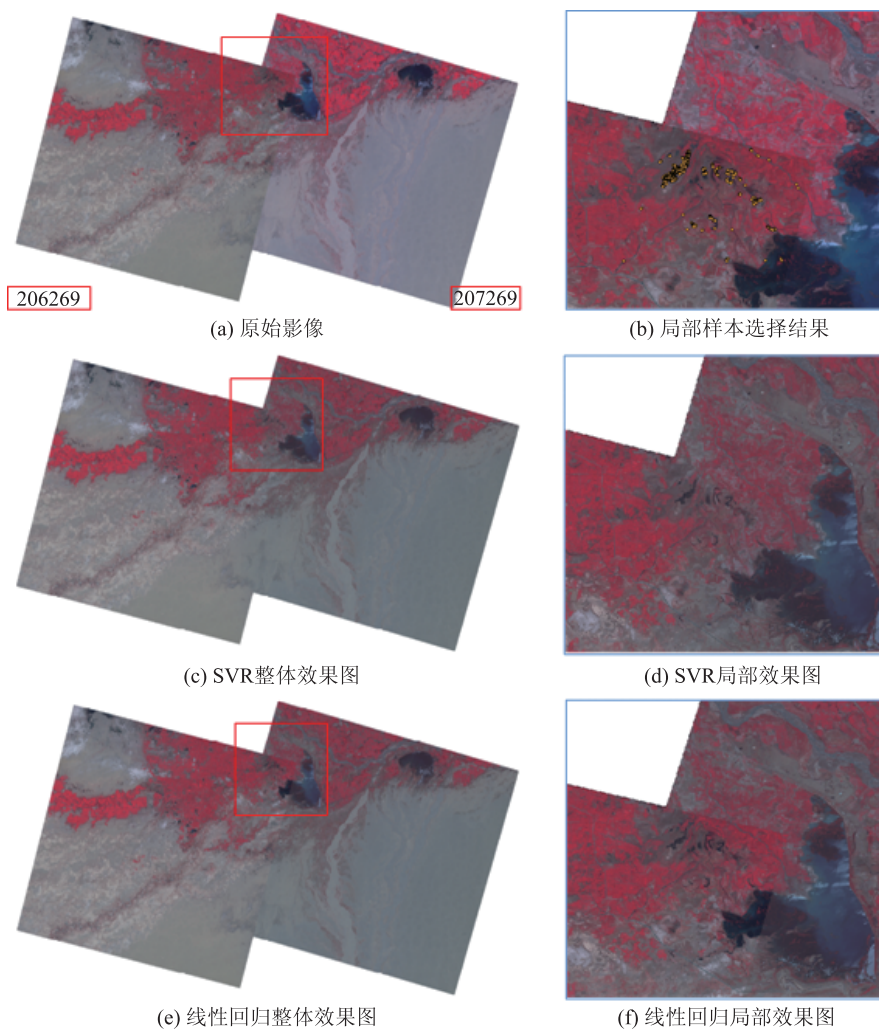


图 4 SPOT 影像实验结果

Fig. 4 The experimental results of SPOT images

表 2 SPOT 影像试验结果

Table 2 Statistical characteristics of the SPOT images

	原始影像			SVR 方法					线性回归方法				
	μ	σ	G	μ	σ	G	C	R	μ	σ	G	C	R
A_1	105.2	26.5	165	106.5	26.7	134	0.975	1.02	106.0	21.5	133	1.0	2.35
A_2	125.6	27.3	178	130.2	29.8	154	0.954	3.51	122.7	22.1	136	1.0	5.65
B	130.1	31.7	195	154.3	33.9	183	0.932	—	126.4	25.7	160	1.0	—

2.3 实验 3

选用 1 组无人机遥感影像,获取时间为 2009-9-8,天气状况良好,位于天津南部的城乡结合部。由于无人机采用普通的相机,没有设置近红外波段,植被呈现出绿色,采用绿波段代替近红外波段计算 NDVI,其他方法相同。影像匹配采用手

动选择 4 个控制点,确定变换关系。由于采用 JPEG 格式压缩,以及相机本身未进行辐射定标,噪声较多,影像的亮度特征值没有明确的物理意义,所以未统计上述特征值。从结果影像中依然可以看出本文方法能够获得无色差的镶嵌结果,如图 5 所示。



图 5 无人机影像实验结果

Fig. 5 The experimental results of UAV images

3 结 论

提出了一种面向影像镶嵌的色彩一致性处理方法,通过 NDVI 阈值分割及其 SAM 方法从重叠区域选择光谱特征变化较小的像素作为样本;其次通过 SVR 建立两景影像灰度值变化关系,并对输入影像进行处理得到色彩一致性处理的结果。与当前广泛应用的色彩一致性处理的线性方法相比,具有以下优势:

1) SVR 用核函数代替线性方程中的线性项可以使原来的线性算法“非线性化”,在同样本的情况下,SVR 与线性回归相比具有较高的模拟精度,由于 SVR 能够模拟非线性变化,对样本学习的残差较线性回归小;在重叠区域的非样本区域,具有较好的扩展能力,与线性回归的预测值相比残差较小。

2) 线性回归的直线的斜率小于 1 的时候,会降低辐射分辨率,使得原来不同灰度的像素变化一个

相同的灰度,而 SVR 在一定程度上克服了这个问题。

SVR 在学习地物波谱的非线性关系与线性回归方法具有一定的优势,但是 SVR 也存在计算复杂,消耗较多的资源等问题。SVR 学习和预测效率受样本数目、SVR 参数设置以及影像大小的影响,在文中所述参数设置的情况下,SVR 所消耗的时间为线性回归的 5 倍,随着样本数目增加,处理所消耗的时间出现非线性增长。因而,需要进一步研究 SVR 预测的高效能计算方法。

参考文献 (References)

- [1] Xu W, Jane M. Performance evaluation of color correction approaches for automatic multi-view image and video stitching [C]//Proceedings of 2010 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. San Francisco, CA, USA: IEEE press, 2010: 263-270.
- [2] Chen X, Lee V, Don D. A simple and effective radiometric cor-

- rection method to improve landscape change detection across sensors and across time[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2005, 98(1): 63-79.
- [3] Brown M, Lowe D G. Automatic panoramic image stitching using invariant features [J]. *International Journal of Computer Vision*, 2006, 74(1): 59-73.
- [4] Yun G, Tian D, Gledhill D T. Color correction for panoramic imaging[C]//*Proceedings of 6th International Conference on Information Visualization*. London, UK: IEEE press, 2002: 483-488.
- [5] Funt B V, Lewis B C, Constance A C, et al. Diagonal versus affine transformations for color correction[J]. *Journal of the Optical Society of America*, 2000, 17(11): 2108-2112.
- [6] Du Y. Radiometric normalization, compositing, and quality control for satellite high resolution image mosaics over large areas [J]. *IEEE Transactions on Geosciences and Remote Sensing*, 2001, 39(3): 623-634.
- [7] Zhang Y S, Feng X Z, Zhou C H, et al. Relative radiometric correction for multitemporal TM images[J]. *ACTA GEODAEITICA et CARTOGRAPHICA SINICA*, 2006, 35(2): 122-127. [张友水,冯学智,周成虎,等.多时相 TM 影像相对辐射校正研究[J]. *测绘学报*, 2006, 35(2): 122-127.]
- [8] Pan J. Research on automated color consistency processing and generation of seam line network for aerial images [D]. Wuhan: Wuhan University, 2008. [潘俊.自动化的航空影像色彩一致性处理及接缝线网络生成方法研究[D].武汉:武汉大学, 2008.]
- [9] Xiao F, Wu H Z, Xiao L, et al. An ambient light independent image mosaic algorithm [J]. *Journal of Image and Graphics*, 2007, 12(9): 1671-1675. [肖甫,吴慧中,肖亮,等.一种光照鲁棒的图像拼接融合算法[J]. *中国图象图形学报*, 2007, 12(9): 1671-1675.]
- [10] Chen J L, Liu J L, Ye J H, et al. Luminance and chrominance correction for multi-view video using overlapped local histogram matching[J]. *Journal of Image and Graphics*, 2007, 12(11): 1992-1999. [陈建乐,刘济林,叶建洪,等.多视点视频中基于局部直方图匹配的亮度和色差校正[J]. *中国图象图形学报*, 2007, 12(11): 1992-1999.]
- [11] Sohn Y. Supervised and unsupervised spectral angle classifiers [J]. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 2002, 68(22): 1271-1280.
- [12] Luo J C, Zhou C H, Liang Y, et al. Support vector machine for spatial feature extraction and classification of remotely sensed imagery[J]. *Journal of Remote Sensing*, 2002, 6(1): 50-55. [骆剑承,周成虎,梁怡,等.支撑向量机及其遥感影像空间特征提取和分类的应用研究[J]. *遥感学报*, 2002, 6(1): 50-55.]
- [13] Yin X Z. An ameliorated SVM classifying algorithm combined with KNN[J]. *Journal of Image and Graphics*, 2009, 14(11): 2299-2303. [殷小舟.一种改进的结合 K 近邻法的 SVM 分类算法[J]. *中国图象图形学报*, 2009, 14(11): 2299-2303.]
- [14] Smola A J, Schölkopf B. A tutorial on support vector regression [J]. *Statistics and Computing*, 2004, 14(3): 199-222.
- [15] Chang C C, Lin C J. LIBSVM-A library for support vector machines[EB/OL]. (2012-04-01) [2012-06-08]. <http://www.csie.ntu.edu.tw/~cjlin/libsvm/>.