

基于激光雷达数据阴影处理和图像融合的地物分类方法

梁小伟¹ 杨风暴¹ 卫红² 李大威¹

¹中北大学信息与通信工程学院, 山西 太原 030051

²英国雷丁大学系统工程学院计算机视觉组, Reading RG6 6AU, UK

摘要 城市可见光图像中高大的建筑和树木造成的阴影及部分树木区域出现的颜色失真问题使得传统的颜色量化方法不能准确描述地物谱差异,最终导致分类精度下降。针对可见光图像中的阴影和颜色失真问题提出了一种改进办法:第一阶段针对阴影导致的被遮盖区域谱信息缺失问题,对阴影区域进行采样、分析,通过双阈值提取阴影区域并以面向对象分类方法获得绿色区域阴影。第二阶段通过融合树木区域在多源信息[激光雷达强度、多次回波的数字表面模型(DSM)]中的差异特征,剔除冗余,获取准确的树木区域,弥补颜色失真使得树木区域提取不完全的缺陷。实验结果与人工获取的真实数据对比显示,该方法与传统的Dempster-Shafer(D-S)证据理论融合方法相比,分类精度有了明显的提高。

关键词 图像处理;阴影;颜色失真;谱差异;激光雷达;图像融合

中图分类号 TP391.4 文献标识码 A doi: 10.3788/LOP51.041006

Land-Cover Classification Based on Dealing with Shadows and Fusing Lidar Data

Liang Xiaowei¹ Yang Fengbao¹ Wei Hong² Li Dawei¹

¹Information and Communication Engineering College, North University of China, Taiyuan, Shanxi 030051, China

²Computational Vision Group, School of Systems Engineering, University of Reading, Reading, RG6 6AU, UK

Abstract Shadows caused by tall buildings and trees and color distortion in visible image make that traditional color quantization cannot accurately describe the spectral difference of different objects on the ground. This defect declines classification accuracy finally. In view of shadows and color distortion problem in the low-quality visible image, we put forward an improved method. On the first stage of our algorithm, the problem of missing spectrum information caused by shadows is solved through sampling, analysing, and extracting shaded regions by double-threshold method and then classifying different kinds of shaded regions by object-oriented method. On the second stage, we obtain accurate areas of trees by fusing discriminative information [lidar intensity, digital surface model (DSM)] in order to compensate incomplete extraction caused by color distortion. The experimental results in comparison with ground truth obtained by manual work show that the classification accuracy is improved obviously compared with the results obtained by traditional Dempster-Shafer (D-S) fusing method.

Key words image processing; shadows; color distortion; spectral difference; lidar; image fusion

OCIS codes 100.5010; 140.3490; 280.3420

1 引言

城市地物信息被广泛地应用在数字城市建设、城市用地规划、城市测绘、城市绿化、城市交通网络规划

收稿日期: 2013-11-08; 收到修改稿日期: 2013-12-13; 网络出版日期: 2014-03-25

基金项目: 国家自然科学基金(61171057)、山西省回国留学人员科研资助项目(910122)

作者简介: 梁小伟(1988—),男,硕士研究生,主要从事LIDAR数据处理与应用方面的研究。

E-mail: liangxiaowei00@126.com

导师简介: 杨风暴(1968—),男,教授,博士生导师,主要从事信息融合方面的研究。E-mail: fengbao_yang@163.com

等领域中。特别是近十年来随着地质灾害和人为灾难如地震、恐怖袭击等的增多,需要通过对地物信息如建筑、公路受灾前后特征的分析量化,评估不同区域的灾难程度,从而为救援方案的制定提供快速、可靠的依据。如何准确地实现城市地表目标的分类具有重要理论意义和实践价值。

关于融合激光雷达数据与可见光图像特征用于城市地物分类已有一些研究并取得了较好的成果,但也存在一些不足。常见的方法主要通过激光雷达系统提供的数字表面模型(DSM)的高度特征以及由红色与近红外波段图像衍生的颜色指数(NDVI)对地物进行分类。但是由于搭载数码相机的飞机飞行高度较低,城市中高大的建筑物和树木在可见光图像中产生了大量的阴影,阴影下地物的谱特征被掩盖。部分树木区域中,树叶颜色并非完全是绿色,且部分树叶由于光照强度、树叶反射而出现颜色失真现象。这些因素使得仅依靠NDVI不能准确表示分类目标的谱特征差异,最终导致分类精度下降。

本文提出了一种综合激光雷达数据的高度特征、激光回波强度特征和可见光图像光谱特征的融合方法,并针对城市可见光图像中阴影、颜色失真导致分类精度下降的缺陷进行了修正,提高了对地物目标的分类精度。

2 算法原理

通过融合地表激光雷达数据的高度特征、激光回波的强度特征和可见光图像的谱特征对城市地物的主要成分(树木、草地、建筑、空地)进行分类。算法分为三个阶段,第一阶段首先在色调-饱和度-纯度(HIS)颜色空间中对代表像素颜色特征的色调分量进行阈值分割,获得可见光图像中大部分绿色区域。然后针对由可见光图像中存在大量的阴影导致的被掩盖区域谱信息缺失问题,对阴影区域进行采样、分析,通过双阈值提取阴影区域并以面向对象分类方法获得绿色区域阴影。第二阶段针对由于树木区域颜色失真现象和部分树木树叶不完全是绿色导致的在第一阶段绿色区域提取中树木区域缺失的缺陷,通过融合树木区域在多

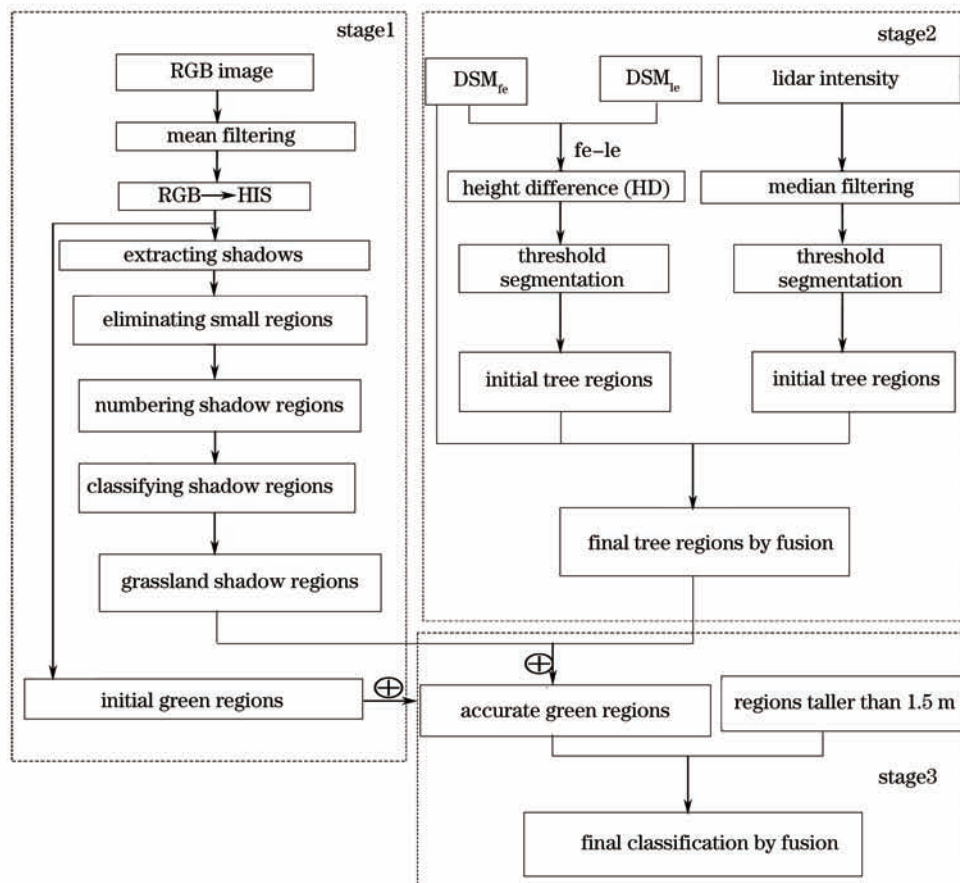


图1 算法流程图

Fig.1 Flow chart of the algorithm

源信息(激光雷达强度、第一回波 DSM 和最终回波 DSM)中的差异特征,剔除冗余,获取准确的树木区域。第三阶段对 DSM_{1e} 图像进行阈值分割,得到高度高于 1.5 m 的区域(树木,建筑),并与第一、二阶段结果总和得到的准确的树木和草地区域进行融合,得到最终的地物分类结果。算法流程如图 1 所示,其中 fe 是第一回波, $1e$ 是最终回波, DSM_{1e} 是第一回波 DSM, DSM_{1e} 是最终回波 DSM。

2.1 初始绿色区域提取

HIS 颜色空间用色调、饱和度和强度来描述颜色。色调是描述纯色属性。饱和度表示纯色被白光稀释的程度描述,强度是颜色的明度即亮度,该模型能够将携带彩色信息的分量(色调、饱和度)与强度分量分离开,可在色调分量 H 中使用阈值分割获取研究区域中的初始绿色区域。研究区域一、区域二分割结果如图 2 所示。

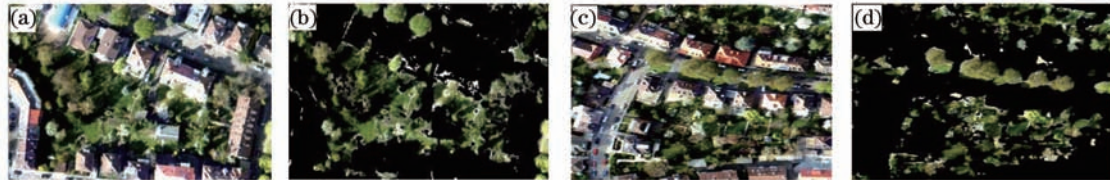


图 2 初始绿色区域提取结果。(a)区域一可见光图像;(b)区域一初始绿色部分;(c)区域二可见光图像;(d)区域二初始绿色部分

Fig.2 Extraction results of initial green areas. (a) Visible image of region 1; (b) initial green parts of region 1;

(c) visible image of region 2; (d) initial green parts of region 2

2.2 阴影的提取和分类

由于装载激光雷达系统的飞机的飞行高度相对较低,数码相机在拍摄城市远景图像时受到成像角度和光照强度的影响,高大的建筑物和树木在影像上会产生阴影,阴影区域遮盖了真实地物(高度较低的绿地、空地和矮小的树木等),其颜色、亮度、纹理等信息完全被遮盖或者保存较少。图像中阴影的存在不仅影响人们的视觉判读效果,而且在地物分类操作中造成错误的分类结果,从而降低分类精度。因此阴影部分提取、分类对提高城市地物分类精度具有重要的意义。

2.2.1 HSI 颜色空间下的阴影提取

彩色影像上的阴影区域相比其他区域具有如下的一些特有属性:1)亮度更低,因为阴影区域太阳光线被阻挡;2)饱和度更高,由于大气瑞利散射的影响使得阴影区域的散射光线主要来自波长更短的蓝紫色光。依据阴影区域亮度低和饱和度高这两个特性采用 HSI 空间下的双阈值算法提取阴影,算法主要由以下几步组成。

1)将可见光图像由红绿蓝(RGB)颜色空间变换到 HIS 颜色空间;

2)在可见光图像中提取阴影处 100 个样本点,统计其饱和度、亮度值,去除干扰点后,取饱和度的最小值 T_1 和亮度的最大值 T_2 ;

3)以 $S(x_i, y_j) \geq T_1$ 和 $I(x_i, y_j) \leq T_2$ 作为条件提取阴影区域;

4)在二值化后的图像上进行形态学闭运算,去除干扰小区域。

2.2.2 面对对象的阴影分类

阴影提取后,需要对阴影下的真实地物的类型(草地、矮小树木、空地)进行判定,将判定为草地或矮小树木的阴影区域补偿到初始绿色分割图像中。假定图像是局部平稳的,可以认为阴影区域与其周围一定范围内的非阴影区域的统计信息(颜色)是相似的,其中,邻近的非阴影区域是结合阴影区域和阴影投射方向(拍摄角度)得出的,如图 3 所示。

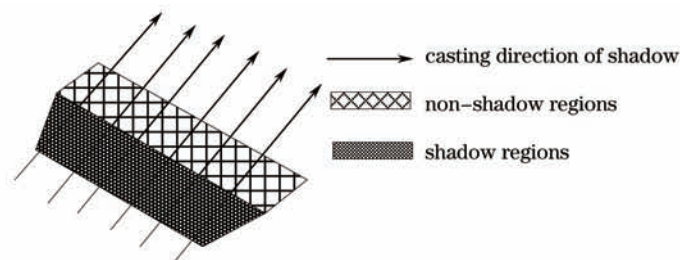


图 3 非阴影区域确定示意图

Fig.3 Sketch of the non-shadowed regions judgement

本文采取面向对象的阴影分类方法,将阴影提取结果中每一个连通区域作为对象分别进行分类后,将属于绿色区域(草地、矮小树木)的阴影区域加入到初始绿色部分二值图像中。具体算法如下:

- 1) 提取阴影部分中所有的连通区域并进行编号;
- 2) 根据阴影投射方向将每个区域内像素点的所在位置的行、列分别移动 M 、 N 个像素;
- 3) 计算每个移动后的阴影对象和初始绿色区域相同位置像素点的像素值同时不为零的个数,若其数目大于阈值 T ,记录阴影对象的编号;
- 4) 将3)中记录的阴影对象加入到初始绿色分割区域;
- 5) 对4)中结果进行形态学闭运算消除连接缝隙。

以区域一为例,阴影投射方向为 45° 向上, M 、 N 均取 5, 阈值 T 选 10, 提取阴影区域存在 18 个连通区域, 分类后 12 个阴影对象被认为是草地或矮小树木。部分结果如图 4 所示。

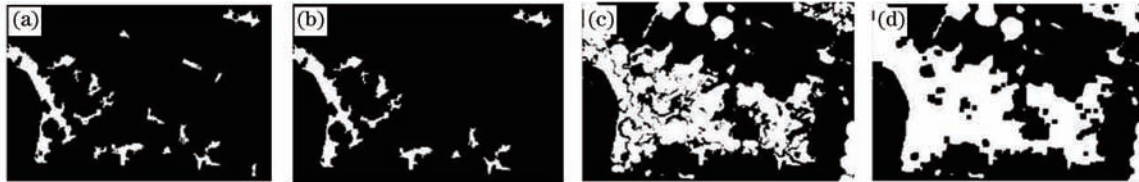


图 4 阴影提取和分类。(a)阴影提取结果;(b)草地、灌木阴影区域;(c)将(b)加入到初始绿色区域;(d)消除缝隙结果
Fig.4 Classification and extraction of the shadow regions. (a) Extracted shadow regions; (b) grassland or shrub shadow regions; (c) initial green regions including (b); (d) result of eliminating gaps

2.3 树木区域提取

通过可见光图像和初始绿色区域提取图像对比可以看到,一方面一些树木由于树叶反射、成像设备、光照条件等因素的影响而出现较为严重的颜色失真现象,使得部分树木在图像中获取的颜色信息与真实颜色信息之间产生偏差,另一方面部分树木树叶颜色不是绿色或不完全是绿色。这些因素导致在提取绿色区域时树木区域未能完全被提取,从而使总体分类精度降低。以区域一为例,聚类提取绿色区域遗漏的部分树木区域如图 5(a)所示。

激光雷达高度图像不仅能够反映目标的准确高度,而且能够表征清晰的纹理特征。考虑到激光能够穿透树叶的特性,由激光雷达的 DSM_{re} 和 DSM_{ie} 提供的高度信息衍生出的高度差(HD)图像能够将树木和其他类区分开。在激光雷达回波的强度图像中,代表建筑、草地、地面的像素有较强的灰度值,而代表树木的像素的像素值相对较低。通过树木区域这两个特征,结合 DSM_{re} 能够将绝大多数的树木区域在目标区域中提取出来,补偿到绿色区域内,得到更加真实的树木和草地提取结果。这样就消除了树木区域由于颜色失真和树叶颜色不完全是绿色导致分类精度总体降低的缺陷。区域一树木区域补偿过程如图 5 所示。

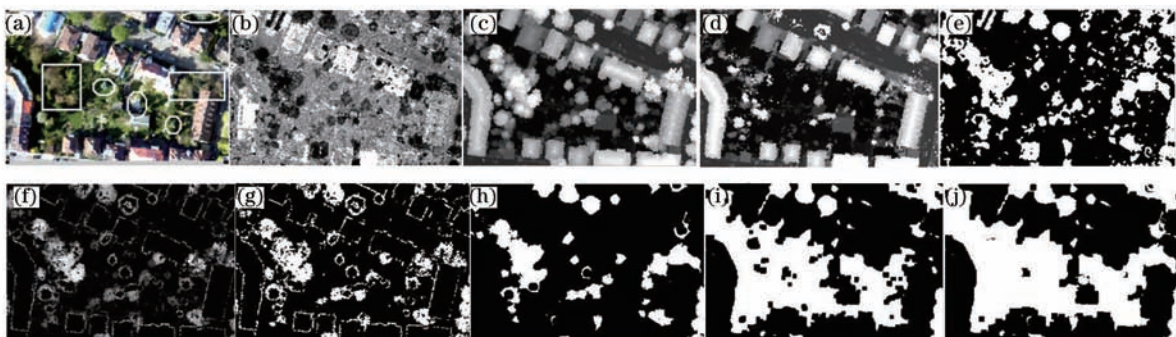


图 5 树木区域补偿过程。(a)初始绿色区域遗漏的树木;(b)强度图像;(c) DSM_{re} ; (d) DSM_{ie} ; (e)强度图像阈值分割结果;(f) HD; (g) HD 图像阈值分割结果;(h)融合(c)、(e)、(g)的结果;(i)加入阴影后的绿色区域;(j)将(h)加入(i)后结果
Fig.5 Course of compensating trees regions. (a) Original green regions with omissive trees regions; (b) intensity image; (c) DSM_{re} ; (d) DSM_{ie} ; (e) threshold segmentation result of the intensity image; (f) HD; (g) segmentation result of the HD image; (h) fusion result of (c), (e), (g); (i) green regions after adding the shadow regions; (j) result with (h) added (i)

2.4 融合分类

2.4.1 DSM_{re} 中树木和建筑区域提取

激光雷达高度图像能够准确描述地表目标的高度和纹理信息,通过设定阈值可以将目标区域中的树木和建筑区域准确地提取出来。以区域一为例,拟定高度大于 1.5 m 的目标为建筑或者树木。

2.4.2 地物分类

将准确的绿色区域图像和高度分割图像进行融合分类,认为两个图像中相同位置像素值同时不为零(绿_高)的像素属于树木,同时为零(非绿_非高)的属于空地,绿色区域中不为零。高度分割图像中为零(绿_非高)的属于草地,绿色区域中为零、高度图像中不为零(非绿_高)的属于建筑。分类结果如图 6 所示。

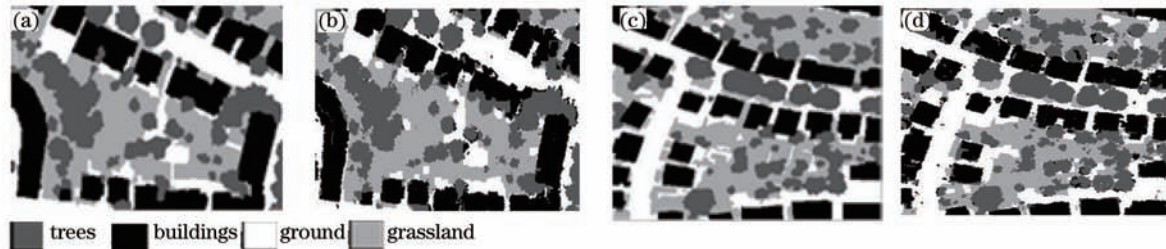


图 6 最终分类结果。(a)区域一真实结果;(b)区域一本文算法结果;(c)区域二真实结果;(d)区域二本文算法结果
Fig.6 Final classification results. (a) Ground truth of region 1; (b) classification result of region1; (c) ground truth of region 2; (d) classification result of region 2

3 实验结果分析

实验中的激光雷达与其相互配准的数据由 TopoSys GmbH 提供,所有的图像均被预处理和配准到 0.5 m 的空间分辨率,真实数据由人工获取,所有的实验均在 Matlab 7.0 中实现。本文算法在区域一区域二的分类结果以及生产者精度(PA)、用户精度(UA)如表 1、表 2 所示。与常用的 Dempster-Shafer(D-S)证据理论像素级融合方法分类效果对比如表 3 所示。

表 1 区域一混淆矩阵

Table 1 Confusion matrix of region 1

	Tree	Building	Grassland	Ground	Total	UA /%
Tree	13319	1281	450	84	15134	88.01
Building	964	15713	443	436	17556	89.50
Grassland	882	223	12755	945	14805	86.15
Ground	146	684	1757	9918	12505	79.31
Total	15311	17901	15405	11403	60000	
PA /%	86.99	87.78	82.80	87.13		

表 2 区域二混淆矩阵

Table 2 Confusion matrix of region 2

	Tree	Building	Grassland	Ground	Total	UA /%
Tree	18033	2016	1209	228	21486	83.93
Building	926	21996	923	996	24841	88.55
Grassland	425	206	2749	731	22111	93.84
Ground	183	667	2642	18070	21562	83.80
Total	19567	24885	25523	20025	90000	
PA /%	92.16	88.39	81.30	90.24		

通过本文算法与 D-S 证据理论融合算法对比可以观察到,通过对阴影导致光谱信息缺失的补偿和颜色失真带来谱失真的补偿,实验区域一、二除去建筑区域的单个地物分类精度、总体精度、Kappa 系数均有所提高。

表3 区域一、二的分类精度(单位: %)

Table 3 Classification accuracy of regions 1 and 2 (unit: %)

Classification method	Tree	Building	Grassland	Ground	Overall accuracy	Kappa coefficient
D-S method of region 1	69.90	86.61	74.66	81.01	78.21	70.07
Proposed method of region 1	86.99	87.78	82.80	87.13	86.18	81.45
D-S method of region 2	78.59	87.93	76.00	82.42	81.41	75.12
Proposed method of region 2	92.16	88.39	81.30	90.24	87.61	83.45

4 结 论

激光雷达数据用于城市地物分类,弥补了仅依靠光谱图像分类精度低的缺陷。通过对城市地区复杂场景下的光谱图像中建筑和树木阴影的提取和分类以及对部分树木颜色失真问题的修正,获得了较好的分类结果。该方法与常用的D-S证据理论融合方法相比,单个地物分类精度、总体精度、Kappa系数均有所提高。

参 考 文 献

- Zhang Yufang, Cheng Xinwen, Ouyang Ping. The data processing technology and application of airborne lidar [J]. Chinese J Engineering Geophysics, 2008, 5(1): 120-124.
张玉方,程新文,欧阳平. 机载 lidar 数据处理及其应用综述[J]. 工程地球物理学报, 2008, 5(1): 120-124.
- Dong Yunsheng, Liu Wenqing, Liu Jianguo, *et al.*. Application study of lidar in urban traffic pollution [J]. Acta Optica Sinica, 2010, 30(2): 315-320.
董云升,刘文清,刘建国,等. 激光雷达在城市交通污染中应用研究[J]. 光学学报, 2010, 30(2): 315-320.
- Li Deren, Chen Xiaoling, Cai Xiaobin. Space technology used in wenchuan earthquake relief [J]. J Remote Sensing, 2008, 12(6): 841-850.
李德仁,陈晓玲,蔡晓斌. 空间信息技术用于汶川地震救灾[J]. 遥感学报, 2008, 12(6): 841-850.
- Wu Huiyun, Sun Zhenhai, Huang Zhisong, *et al.*. Development of laser warning and detection technology for chemical/biological agents [J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2013, 50(2): 020001.
吴慧云,孙振海,黄志松,等. 生化战剂激光侦检技术的发展概述[J]. 激光与光电子学进展, 2013, 50(2): 020001.
- Yang Cao, Hong Wei, Huijie Zhao. An effective approach for land-cover classification from airborne lidar fused with co-registered data [J]. International Journal of Remote Sensing, 2012, 33(18): 5927-5953.
- Rafeal C Gonzalez, Richard E Woods. Digital Image Processing [M]. Ruan Qiuqi, Ruan Yuzhi Transl.. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2004. 233-239.
Rafael C Gonzalez, Richard E Woods. 数字图像处理[M]. 阮秋琦,阮宇智译. 北京: 电子工业出版社, 2004. 233-239.
- Yu Bailang, Liu Hongxing, Wu Jianping. A method for urban vegetation classification using airborne LiDAR data and high resolution remote sensing images [J]. Journal of Image and Graphics, 2010, 15(5): 782-788.
余柏浪,刘红星,吴健平. 一种应用机载 LiDAR 数据和高分辨率遥感影像提取城市绿地信息的方法[J]. 中国图象图形学报, 2010, 15(5): 782-788.
- Yang Jun, Zhao Zhongming. A method of shadow elimination from high resolution remote sensing images [J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2008, 33(1): 17-20.
杨俊,赵忠明. 一种高分辨率遥感影像阴影去除方法[J]. 武汉大学学报, 2008, 33(1): 17-20.
- Pu Zhi, Liu Ping, Yang Liao, *et al.*. Shadow rectification of remote sensing images in information extraction for urban green space [J]. Journal of Beijing Forestry University, 2009, 33(2): 80-85.
蒲智,刘萍,杨辽,等. 城市绿地信息提取中的遥感影像阴影校正[J]. 北京林业大学学报, 2009, 33(2): 80-85.
- Xu Xiaozhao, Shen Lansun, Liu Changjiang. Color correction methods and application in image processing [J]. Application Research of Computer, 2008, 22(8): 2250-2254.
徐晓昭,沈兰荪,刘长江. 颜色校正方法及其在图像处理中的应用[J]. 计算机应用研究, 2008, 22(8): 2250-2254.
- Franz Rottensteiner, John Trinder, Simon Clode, *et al.*. Using the Dempster - Shafer method for the fusion of LIDAR data and multi-spectral images for building detection [J]. Fusion of Remotely Sensed Data over Urban Area, 2005, 6(4): 283-300.
- F Samadzadegan, B Bigdeli, M Hahn. Automatic road extraction from lidar data based on classifier fusion [J]. Urban Remote Sensing Event, 2009, 38(3): 231-245.