

Journal of Image
and Graphics

中国图象图形学报



ISSN1006-8961
CN11-3758/TB

2012 8
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8月 第17卷 第8期(总第196期)

目次

综述

可计算图像美学研究进展 王伟凝, 蚁静斌, 贺前华(893)

图像处理和编码

利用混沌 PSO 或分解的 2 维 Tsallis 灰度熵阈值分割 吴一全, 吴诗嫻, 张晓杰(902)

H. 264 并行编码中负载平衡方法 侯兴松, 刘大齐, 盛凯, 赖玉洁(911)

提升细节捕捉能力的非下采样轮廓波变换 郭洪, 李雪军(919)

SVD 域的图像高斯噪声强度估计 柳薇(923)

图像扩散去噪模型的分析与改进 傅绪加, 刘峰, 王信松(934)

小波域最小嵌入失真函数设计及其在隐写中的应用 李军, 潘峰, 杨晓元, 刘镇(946)

图像分析和识别

抗压缩的照片图像与真实感计算机图形识别 张荣, 王让定(953)

云的自适应阈值检测方法 黄茜, 王少龙, 徐道磊, 廖婷婷(960)

煤矸区分中的间隔灰度压缩扩阶共生矩阵 于国防(966)

离群样本划分的半监督模糊学习策略 宋晓宁, 杨静宇, 杨习贝(971)

多相 Chan-Vese 模型的直接对偶方法 刘存良, 潘振宽, 郑永果, 王国栋, 丁洁玉(979)

利用梯度信息快速提取直线边缘特征 夏军营, 徐小泉, 熊九龙(987)

2 维双树复小波不确定度加权融合的人脸识别 王仕民,叶继华,邓涛,王明文(995)

图像理解和计算机视觉

流形学习与非线性回归结合的头部姿态估计 范进富,陈锻生(1002)

计算机图形学

角点距离矩阵和同心圆划分的曲线描述与匹配 曾接贤,刘秀朋,符祥(1011)

弹性二次曲面模型下的 3 维形状表现与平滑 郝世杰,蒋建国,郭艳蓉,詹曙(1021)

医学图像处理

主动学习的白细胞图像自动分割 崔凤,潘晨,吴向平,徐军(1029)

遥感图像处理

Bregman 交替迭代遥感图像复原方法 徐焕宇,孙权森,罗楠,夏德深(1035)

基于各向异性 Markov 随机场的遥感影像亚像元尺度建筑物提取 李晓冬,凌峰,杜耘(1042)

中国图象图形学报

刊名题字: 宋 健

月刊(1996 年创刊)

第 17 卷 第 8 期

2012 年 8 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 ZTTFXZ 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. 8 August 2012

Contents

Review

Review for computational image aesthetics Wang Weining, Yi Jingjian, He Qianhua (893)

Image Processing and Coding

Two-dimensional Tsallis gray entropy image thresholding using chaotic particle swarm optimization or decomposition
..... Wu Yiquan, Wu Shihua, Zhang Xiaojie (902)

Load balancing for H. 264 parallel encoding Hou Xingsong, Liu Daqi, Sheng Kai, Dun Yujie (911)

Non-subsampled contourlet transform algorithm to promote detail information capturing ability Guo Hong, Li Xuejun (919)

Gaussian noise level estimation in SVD domain for images Liu Wei (923)

Analysis and improvement of image diffusion denoising models Fu Xujia, Liu Feng, Wang Xinsong (934)

Design of minimizing embedding impact function in DWT domain and its applications in steganography
..... Li Jun, Pan Feng, Yang Xiaoyuan, Liu Zhen (946)

Image Analysis and Recognition

Anti-compression approach to distinguishing photographic images and photorealistic computer graphics
..... Zhang Rong, Wang Rangeding (953)

Adaptive threshold approach for night-sky cloud inspection Huang Qian, Wang Shaolong, Xu Daolei, Liao Tingting (960)

Expanded order co-occurrence matrix to differentiate between coal and gangue based on interval grayscale compression
..... Yu Guofang (966)

Semi-supervised fuzzy learning strategy by using a way of partitioning the outlier instances
..... Song Xiaoning, Yang Jingyu, Yang Xibei (971)

Direct dual method of Chan-Vese model for multiphase segmentation
..... Liu Cunliang, Pan Zhenkuan, Zheng Yongguo, Wang Guodong, Ding Jieyu (979)

Fast line edge feature extraction using image gradients Xia Junying, Xu Xiaoquan, Xiong Jiulong (987)

Two-dimensional dual-tree complex wavelet transform uncertainty weighted fusion in face recognition
..... Wang Shimin, Ye Jihua, Deng Tao, Wang Mingwen (995)

Image Understanding and Computer Vision

Combining manifold learning and nonlinear regression for head pose estimation Fan Jinfu, Chen Duansheng (1002)

Computer Graphics

Representation and matching for planar curve based on corner distance matrix and concentric circles
..... Zeng Jiexian, Liu Xiupeng, Fu Xiang (1011)

Three-dimensional shape representation and smoothing with elastic quadratic patch model
..... Hao Shijie, Jiang Jianguo, Guo Yanrong, Zhan Shu (1021)

Medical Image Processing

White blood cell image segmentation based on active learning Cui Feng, Pan Chen, Wu Xiangping, Xu Jun (1029)

Remote Sensing Image Processing

Bregman alternating iterative method for remote sensing image restoration Xu Huanyu, Sun Quansen, Luo Nan, Xia Deshen (1035)

Building extraction at the sub-pixel scale from remotely sensed images based on anisotropic Markov random field
..... Li Xiaodong, Ling Feng, Du Yun (1042)

中图分类号: TP751.1 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2012)08-1042-07

论文引用格式: 李晓冬, 凌峰, 杜耘. 基于各向异性 Markov 随机场的遥感影像亚像元尺度建筑物提取[J]. 中国图象图形学报, 2012, 17(8): 1042-1048.

基于各向异性 Markov 随机场的遥感影像 亚像元尺度建筑物提取

李晓冬^{1,2}, 凌峰¹, 杜耘¹

1. 环境与灾害监测评估湖北省重点实验室, 中国科学院测量与地球物理研究所, 武汉 430077;
2. 中国科学院研究生院, 北京 100049

摘要: 基于遥感影像的建筑物自动提取方法容易受混合像元影响, 目标提取精度不高。亚像元定位可以提取亚像元尺度地物分布信息, 减轻混合像元对目标提取结果造成的影响。传统亚像元定位模型采用各向同性邻域描述地物的空间相关性, 并没有考虑地物特有的形状信息, 难以满足建筑物提取的需要。在考虑建筑物光谱特征的基础上, 建立了平行与垂直于目标建筑物主方向各向异性邻域, 并采用基于各向异性 Markov 随机场的亚像元定位模型进行了亚像元尺度的建筑物提取。基于 QuickBird 多光谱数据与 AVIRIS 高光谱数据的实验结果表明, 该模型提取的建筑物不仅具有更高的空间分辨率, 而且能够较好地保持建筑物边缘与角点的形状信息, 是一种有效的亚像元尺度建筑物提取方法。

关键词: 建筑物提取; 亚像元定位; Markov 随机场; 各向异性邻域

Building extraction at the sub-pixel scale from remotely sensed images based on anisotropic Markov random field

Li Xiaodong^{1,2}, Ling Feng¹, Du Yun¹

1. Key laboratory of Monitoring and Estimate for Environment and Disaster of Hubei Province, Institute of Geodesy and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430077, China;
2. Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract: Automatic building extraction from remotely sensed images is affected by the mixed pixel problem that lowers the accuracy of the extracted buildings. Sub-pixel mapping is a procedure to predict the land cover maps at the sub-pixel scale, and hence reducing the influence of the mixed pixel problem. However, the sub-pixel mapping models adopt isotropic neighborhood to calculate land cover spatial dependence for simplicity, instead of using prior spatial information of buildings, making the shapes of the resultant building inaccurate. In this paper, a novel anisotropic Markov random field based sub-pixel mapping (AMSPM) approach, which manages the spectral information of the remotely sensed image and the a priori information of buildings simultaneously, is used for extracting the buildings at the sub-pixel scale. In the proposed model, an anisotropic neighborhood that only encourages the land cover dependence that both, parallel and perpendicular to the principal axis orientation of the target building, is adopted as the prior information of a building. A QuickBird multi-spectral image and an Airborne Visible Infra-Red Imaging Spectrometer (AVIRIS) hyperspectral image are applied and our re-

收稿日期: 2011-07-19; 修回日期: 2012-03-13

基金项目: 国家自然科学基金项目(40801186); 武汉市青年科技晨光计划(200950431218); 中国科学院知识创新项目(kzcx2-yw-141); 湖北省自然科学基金重点项目(2008CDA093)

第一作者简介: 李晓冬(1983—), 男, 中国科学院测量与地球物理研究所自然地理学专业博士研究生, 主要研究方向为遥感图像亚像元定位。E-mail: lixiaodong@whigg.ac.cn

通讯作者: 杜耘, E-mail: duyun@whigg.ac.cn

sults shows the propose method can not only enhance the spatial resolution of the extracted buildings, but also preserves the edge and the corner shape of the extracted buildings. The proposed model is effective for extracting buildings at the sub-pixel scale.

Key words: building extraction; sub-pixel mapping; Markov random field; anisotropic neighborhood

0 引言

基于遥感影像的建筑物自动提取可以为城市规划、土地利用分析、地图更新等提供重要的依据。现有方法主要是利用遥感影像的光谱信息与建筑物的边缘、形状等先验信息,在像元尺度上,通过图像分类、分割等方法提取建筑物信息^[1-2]。然而,遥感影像中存在的混合像元容易造成地物信息提取结果的不确定性,是限制遥感影像建筑物自动提取精度的关键因素之一^[3]。混合像元多位于建筑物的边缘地区,将其划分为建筑物或非建筑物都很难满足目标提取的需要,因此像元尺度的建筑物提取方法通常会存在较大的误差。

遥感影像亚像元定位是利用地物光谱特征与地物空间分布先验信息获得亚像元尺度地物分类图的过程,能够有效处理遥感影像空间分辨率较低造成的混合像元现象,实现亚像元尺度上的地物信息提取,已经在水体边界提取^[4-5]、农田制图^[6]、变化检测^[7]、景观指数计算^[8]等领域成功应用。亚像元定位模型一般以混合像元分解为基础,其过程为先对遥感数据进行混合像元分解,再将分解得到的地物百分比转化为相应数量的亚像元,并分配到合适的位置上,其算法包括元胞自动机^[9]、像元交换^[10]、神经网络^[11-12]、空间分配^[13-14]等,然而此类算法过于依赖混合像元分解结果。与此相反,基于 Markov 随机场(MRF)的亚像元定位模型^[15-16]可以直接以遥感影像的光谱数据作为输入,从而避免了混合像元分解对求解结果的限定^[15-18]。

在利用 MRF 进行亚像元定位时,如何根据地物的空间先验形状确定地物的空间相关性是决定定位结果的关键因素^[17-18]。在没有地物先验形状信息的前提下,通常采用基于各向同性邻域的空间自相关准则,即亚像元距离越近属于同一种类别的概率越大,地物的空间相关性只与距离相关,而与方向无关;相比而言,各向异性邻域同时考虑

了地物空间相关性与距离和方向的关系,针对特定地物的空间先验形状特征采用相应的各向异性邻域可以提高亚像元定位结果的精度^[19]。针对建筑物而言,其通常具有一定的形状特征,典型的建筑物先验形状信息是建筑物边缘相互垂直,其方向平行或垂直于建筑物的主方向^[20],这时,各向同性邻域并不能准确描述建筑物的空间分布特征,而利用建筑物的先验形状信息建立针对目标建筑物特征的各向异性邻域则有望提高亚像元尺度建筑物提取精度。为此提出一种基于空间各向异性 MRF 亚像元定位模型(AMSPM)的遥感影像建筑物自动提取方法,以达到亚像元尺度建筑物自动提取的目标。

1 理论基础

1.1 基于 MRF 的遥感影像亚像元定位模型

假设遥感影像 y 含有 $M \times N$ 个像元,像元空间分辨率为 R ;定义尺度因子 S ,即每个像元含有 S^2 个亚像元;亚像元定位所输出的亚像元分类图 c (亚像元标号场)含有 $(S \times M) \times (S \times N)$ 个亚像元,其空间分辨率为 r 。基于 MRF 的亚像元定位过程就是对给定遥感影像 y 的条件下亚像元标号场 c 的概率 $P(c|y)$ 进行极大后验概率估计,从而确定最适合的亚像元定位结果。根据贝叶斯准则

$$P(c|y) \propto P(y|c)P(c) \quad (1)$$

式中, $P(y|c)$ 为给定亚像元标号场 c 时遥感影像 y 的条件概率, $P(c)$ 为亚像元标号场 c 的先验概率。将概率转化为能量函数的形式,即可将上述极大后验概率估计问题转化为能量函数最小化问题^[15-16],即

$$U(c|y) = (1 - \lambda)U(y|c) + \lambda U(c) \quad (2)$$

式中, $U(c|y)$ 为后验能量函数, $U(y|c)$ 为表示光谱信息的似然能量函数, $U(c)$ 为表示亚像元标号场空间信息的先验能量函数。平滑参数 λ 控制似然能量函数与先验能量函数的权重。

似然能量函数 $U(y|c)$ 表示为

$$U(\mathbf{y}|\mathbf{c}) = \sum_{i=1}^{M \times N} \left[\frac{1}{2}(\mathbf{y}(b_i) - \boldsymbol{\mu}_i)' \mathbf{C}_i^{-1}(\mathbf{y}(b_i) - \boldsymbol{\mu}_i) + \frac{1}{2} \ln |\mathbf{C}_i| \right] \quad (3)$$

式中, $\mathbf{y}(b_i)$ 为遥感影像上像元 b_i 的光谱矢量。设 b_i 服从均值为 $\boldsymbol{\mu}_i$, 协方差矩阵为 \mathbf{C}_i 的高斯分布, 当给定像元中的地物百分比时, $\boldsymbol{\mu}_i$ 和 \mathbf{C}_i 可以计算为

$$\boldsymbol{\mu}_i = \sum_{\alpha=1}^l \theta_{\alpha i} \boldsymbol{\mu}_{\alpha} \quad (4)$$

$$\mathbf{C}_i = \sum_{\alpha=1}^l \theta_{\alpha i} \mathbf{C}_{\alpha} \quad (5)$$

式中, $\theta_{\alpha i}$ 为地物类别 α 在像元 b_i 中的百分比, $\boldsymbol{\mu}_{\alpha}$ 和 \mathbf{C}_{α} 为地物类别 α 的均值向量和协方差矩阵。

亚像元标号场的先验能量函数为

$$U(\mathbf{c}) = \sum_{i,j} U(c(a_{j,i})) = \sum_{i,j} \sum_{l \in N(a_{j,i})} \delta(c(a_{j,i}), c(a_l)) \quad (6)$$

式中, $U(c(a_{j,i}))$ 为当第 i 个像元内的第 j 个亚像元 $a_{j,i}$ 的类别标号为 $c(a_{j,i})$ 时对先验能量函数的贡献值。 $N(a_{j,i})$ 为亚像元 $a_{j,i}$ 的邻域, $c(a_l)$ 为 $a_{j,i}$ 邻域内的一个亚像元的标号 ($c(a_{j,i}) \in \{1, 2, \dots, L\}$, $c(a_l) \in \{1, 2, \dots, L\}$, L 为图像内地物类别总数)。 $\delta(c_1, c_2)$ 定义为势能函数, 即

$$\delta(c_1, c_2) = \begin{cases} 0 & c_1 = c_2 \\ 1/\Omega & \text{其他} \end{cases} \quad (7)$$

式中, Ω 为先验模型中属于亚像元 $a_{j,i}$ 邻域的亚像元总数。

亚像元定位模型采用的邻域类型可分为各向同性邻域与各向异性邻域。各向同性邻域仅考虑地物空间相关性与距离的关系, 而未考虑空间相关性与方向的关系。当缺乏地物空间先验形状信息时, 一般采用各向同性邻域(图 1(a)); 相比而言, 各向异性邻域在考虑了地物空间相关性与距离的关系的同时, 还考虑了空间相关性与方向的关系。在已知地物空间先验形状信息的前提下, 采用各向异性邻域可以改善亚像元定位效果。对于建筑物而言, 建筑物的空间相关性通常平行与垂直于建筑物主方向。本文建立了针对建筑物目标的各向异性邻域, 选取 9×9 的邻域大小, 通过判断亚像元是否与目标建筑物相互垂直的主方向相交, 决定该亚像元是否是中心亚像元的邻域。图 1(e)~(g) 给出了图 1(a)~(c) 中建筑物相对应的空间邻域。

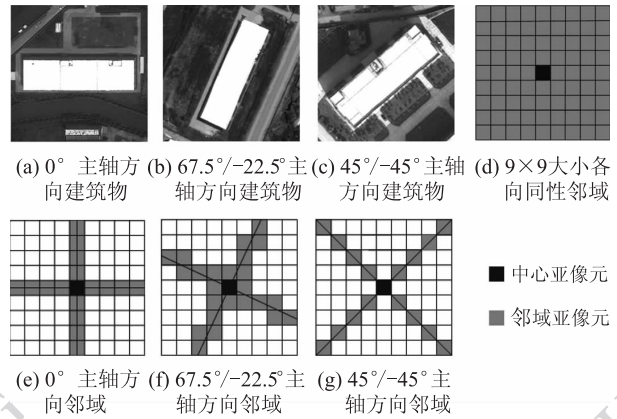


图 1 不同主轴方向的建筑物及其相应的 MRF 邻域

Fig. 1 Buildings of different main orientatione and the corresponding MRF neighborhoods

1.2 基于 AMSPM 的建筑物提取

基于 AMSPM 的建筑物提取过程首先通过基于各向同性邻域的 MRF 亚像元定位模型 (IMSPM) 对研究区进行亚像元定位, 并在定位结果上对建筑物目标逐一分割; 针对不同的建筑物目标, 利用边缘算子进行边缘提取并进行主成分分析以确定相应建筑物的主方向; 最后根据不同建筑物的主方向建立相应的各向异性邻域, 并通过 AMSPM 模型进行亚像元定位并提取目标建筑物。

1.2.1 建筑物亚像元尺度分割

由于不同建筑物具有不同的主方向, 因此首先要对建筑物进行分割, 分别提取相应的主方向。为提高建筑物分割精度, 首先选取了 IMSPM 模型对研究区进行亚像元定位^[15-16], 并通过判别亚像元标号是否为建筑物, 对定位结果进行二值分割。由于遥感图像光谱畸变以及亚像元定位采用的光谱分解模型的影响, 在分割结果上会产生面积很小且离散分布的建筑物斑块; 为消除这些斑块对目标建筑物提取的影响, 根据建筑物占有一定空间范围的特征, 设定建筑物斑块面积阈值, 将面积小于该阈值的建筑物斑块通过空间滤波进行剔除, 并对标号为建筑物的亚像元斑块通过种子增长法进行目标提取, 达到建筑物逐一分割的目的。

1.2.2 建筑物主方向提取

针对分割提取的建筑物目标, 利用 Sobel 边缘算子提取边缘, 并通过主成分分析计算相应目标建筑物的主方向^[21]。假设目标建筑物的边缘点集坐

标为2维向量 $cor = (cor_{xk}, cor_{yk})'$ ($k = 1, \dots, n, n$ 为边缘点的个数), cor_{xk} 和 cor_{yk} 为第 k 个边缘点的坐标。对边缘亚像元坐标集 cor 进行主成分分析,就是寻找一个新的坐标系 $\hat{X}-\hat{Y}$,使边缘样本点投影到新坐标 \hat{X} 上的分量离散最大,则该 \hat{X} 为边缘的主方向,即建筑物的主方向。

1.2.3 AMSPM 亚像元定位与建筑物提取

依据目标建筑物的主方向,可确定 AMSPM 中相应建筑物的各向异性邻域,当所有建筑物的各向异性邻域都确定后,即可通过 AMSPM 模型进行亚像元定位。采用迭代条件模型(ICM)算法对后验能量函数进行最小化求解,通过较少的迭代次数保证收敛性。在求解过程中,针对1.2.1节建筑物亚像元尺度分割结果,对不同的分割目标分别采用相应目标建筑物的各向异性邻域,并通过求取能量函数的最小值进行求解。在求解得到的亚像元定位结果上,通过二值化方法对标号为建筑物的斑块进行了提取,并通过空间滤波消除占据面积小于面积阈值的建筑物斑块,得到建筑物目标提取结果。

1.3 精度评价

采用分类精度评价指标(整体精度与 Kappa 系数)与面向对象评价指标(矩形度指数)对不同方法的建筑物提取结果进行评价。矩形度指数用于定量评价不同建筑物的形状特征,其值为目标建筑物面积与其相应的最小外包矩形面积的比值;其值越大,该目标为矩形建筑物的概率越大^[22]。本文选取图像内所有建筑物的矩形度指数平均值评价建筑物的形状特征。

2 实例分析

第1组实验数据采用武汉市 QuickBird 影像,包括4个多光谱波段(空间分辨率为2.4 m)和1个全色波段(空间分辨率为0.6 m)。选取 45×45 大小的多光谱数据(图2(a))作为建筑物提取模型的输入数据,对位于图像中心的建筑物进行了提取,并通过对全色数据进行人工数字化作为精度评价参考图像(图2(b)(c))。亚像元定位模型的尺度因子为4。首先选择研究区内的5种地物端元光谱(包括建筑物,2种草地,2种裸地),利用 IMSPM 对研究区进行亚像元定位,根据地物之间的光谱分离度特征,选取平滑参数 $\lambda = 0.94$ ^[16],得到图2(d)所示的亚像元地物分类图。再根据亚像元标号对该分类图进行二值分割得到的建筑物分割图(图2(e)),然后根据建筑物的面积特征,通过空间滤波将面积小于1个像元(16个 $0.6 \text{ m} \times 0.6 \text{ m}$ 大小亚像元)的建筑物斑块进行剔除,图2(f)为二值分割后利用种子增长法提取的位于图像中心的目标建筑物;利用 Sobel 算子提取分割后的目标建筑物边缘,并对相应的边缘点集(图2(g))进行主成分分析,得到目标建筑物的主方向为 46.24° ;根据主方向生成各向异性邻域作为 AMSPM 模型中该目标建筑物的空间先验信息,利用 ICM 进行优化求解。实验采用 Matlab7.3 软件在 PC 机上进行,PC 机的配置为: Intel 酷睿 2 双核 CPU, 内存 1.98 GB。以图2(a) QuickBird 影像作为输入,IMSPM 的收敛时间约为 62 s,AMSPM 的收敛时间约为 136 s。

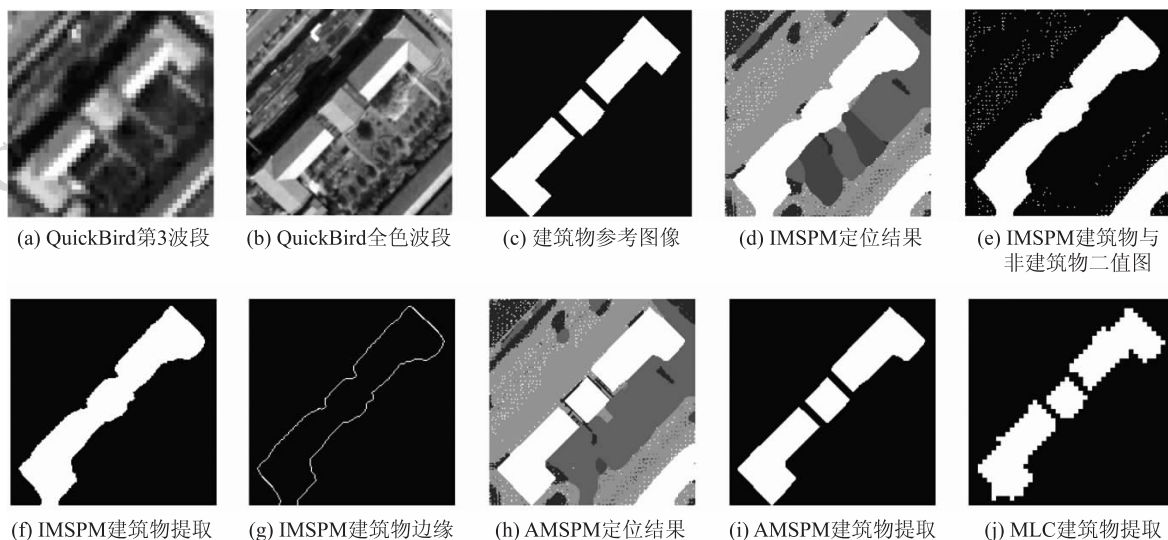


图2 基于 QuickBird 影像的建筑物提取方法示例

Fig. 2 Demonstration of building extraction using different methods from QuickBird image

图 2(h)(i) 分别是基于 AMSPM 的亚像元定位结果及进行空间滤波后提取位于图像中心的目标建筑物。本文同时比较了基于 MLC 与基于 IMSPM 的目标建筑物提取结果, 由图 2 可以看出, 基于像元尺度 MLC 提取的目标建筑物(图 2(j))空间分辨率较低(2.4 m), 在边缘部分呈现锯齿状。基于 IMSPM 提取的目标建筑物(图 2(f))由于分辨率的提高(0.6 m), 边缘地区不再呈现锯齿状, 然而建筑物边缘的直线特征并不明显, 角点地区过于平滑, 建筑物中部的不同区域也被混淆。相比而言, 基于 AMSPM 提取的建筑物(图 2(i))不仅提高了目标建筑物空间分辨率(0.6 m), 而且保持了边缘的直线特征和角点的形状特征, 建筑物的不同区域也得以区分。精度分析结果(表 1)表明, 基于 AMSPM 提取的建筑物的精度更高, 形状更接近矩形建筑物。

第 2 组实验数据同样采用武汉市 QuickBird 影

表 1 QuickBird 数据单个建筑物提取精度比较

Table 1 Accuracies of extracted building with QuickBird imagery

	提取方法		
	MLC	IMSPM	AMSPM
总体精度/%	96.32	96.36	97.14
Kappa 系数	0.875	0.884	0.907
平均矩形度指数	0.664	0.665	0.795

像。选取 250 × 180 大小的多光谱数据(图 3(a))作为输入数据, 对位于图像范围的 64 个建筑物进行了提取, 亚像元定位模型的尺度因子为 4。结果表明, 相对于 MLC 与 IMSPM 的建筑物目标提取结果(图 3(d)(e)), 基于 AMSPM 的目标提取结果更好地保持了建筑物的边缘直线特征(图 3(f))。表 2 中基于 AMSPM 的建筑物提取结果的平均矩形度指数更高, 体现了该模型在保持建筑物形状特征方面的优势。

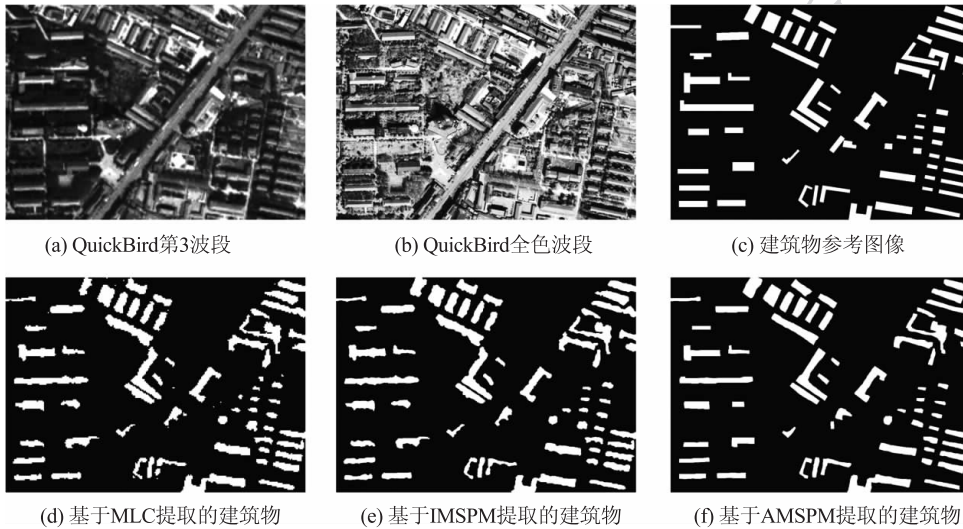


图 3 基于 QuickBird 影像的多建筑物提取方法结果比较

Fig. 3 Multi-buildings extraction using different methods from QuickBird image

表 2 QuickBird 数据多个建筑物提取精度比较

Table 2 Accuracies of extracted buildings with QuickBird imagery

	提取方法		
	MLC	IMSPM	AMSPM
总体精度/%	94.42	95.02	95.27
Kappa 系数	0.780	0.802	0.808
平均矩形度指数	0.699	0.658	0.751

第 3 组实验数据采用加拿大 Moffett Field 市航空可见光/红外成像光谱仪(AVIRIS)高光谱影像,

包括 224 个光谱波段(空间分辨率为 20 m), 其成像波长范围为 0.38 ~ 2.5 μm。选取 55 × 30 大小的高光谱数据(图 4(a))作为建筑物提取模型的输入数据, 对位于图像范围的建筑物进行了提取, 并通过对相应范围的高空间分辨率图像(图 4(b), Google Earth 图像)人工数字化作为精度评价参考图像(图 4(c))。亚像元定位模型的尺度因子为 8。结果同样表明, 相对于 MLC 与 IMSPM 的目标提取结果(图 4(d)(e)), 基于 AMSPM 提取的建筑物空间分辨率更高(2.5 m), 在保持边缘直

线特征及其角点形状特征方面具有很大优势(图 4 (f)),目标提取结果精度更高,形状更接近矩形建

筑物(表 3),因此对于建筑物的亚像元尺度目标提取具有可行性。

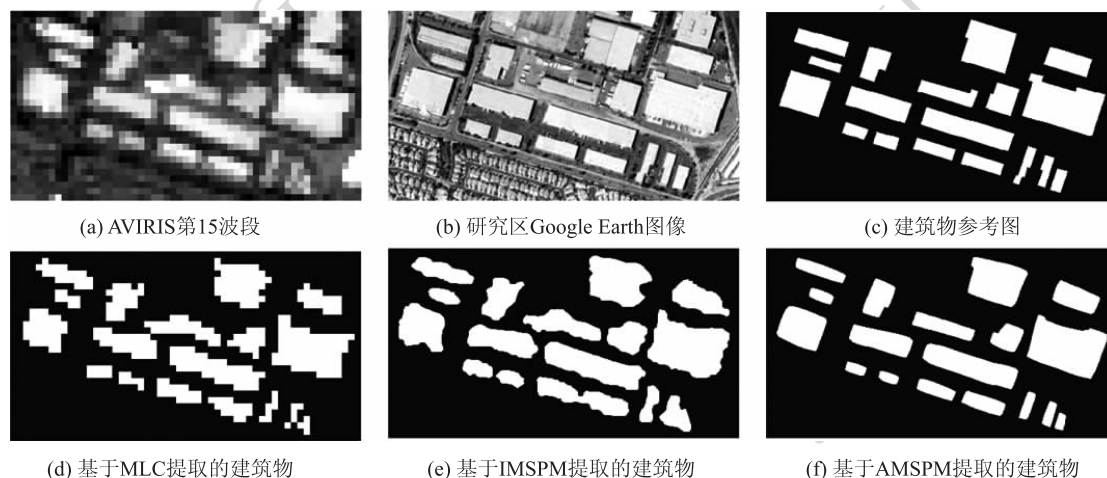


图 4 基于 AVIRIS 影像的建筑物提取方法比较

Fig. 4 Buildings extraction using different methods from AVIRIS image

表 3 AVIRIS 数据建筑物提取精度比较

Table 3 Accuracies of different building extraction models with AVIRIS imagery

	提取方法		
	MLC	IMSPM	AMSPM
总体精度/%	87. 81	87. 85	89. 43
Kappa 系数	0. 677	0. 697	0. 712
平均矩形度指数	0. 670	0. 708	0. 847

3 结 论

本文根据建筑物边缘通常平行或垂直于建筑物主方向的先验空间特征,提出了基于各向异性 MRF 亚像元定位模型的建筑物提取模型。该模型首先对建筑物进行亚像元尺度分割,然后针对目标建筑物的边缘点集通过主成分分析确定建筑物的主方向,并根据平行于主方向与垂直于主方向的空间相关性先验模型建立目标建筑物的各向异性邻域,最后根据极大后验概率准则求解亚像元尺度分类图,并提取相应的建筑物。分别采用各向同性 MRF 亚像元定位模型、各向异性 MRF 亚像元定位模型与极大似然分类法对建筑物进行提取,结果表明,各向异性 MRF 亚像元定位模型减轻了混合像元对像元尺度目标提取的影响,提高了目标提取结果的空间分辨率,使提取的建筑物目标边缘呈锯齿状的缺点得以减轻;由于考虑了目标建筑

物平行与垂直于主方向的空间相关性,提取的建筑物在边缘保持了直线特征,在边角地区保持了形状特征。该模型对于亚像元尺度建筑物的精确提取具有一定的理论意义与应用价值。

参考文献 (References)

- [1] Lhomme S, He D C, Weber C, Morin D. A new approach to building identification from very-high-spatial-resolution images [J]. International Journal of Remote Sensing, 2009, 30(5): 1341-1354.
- [2] Mayunga S D, Coleman D J, Zhang Y. A semi-automated approach for extracting buildings from QuickBird imagery applied to informal settlement mapping [J]. International Journal of Remote Sensing, 2007, 28(10): 2343-2357.
- [3] Cracknell A P. Synergy in remote sensing-what's in a pixel? [J]. International Journal of Remote Sensing, 1998, 19(11): 2025-2047.
- [4] Foody G M, Muslim A M, Atkinson P M. Super-resolution mapping of the waterline from remotely sensed data [J]. International Journal of Remote Sensing, 2005, 26(24): 5381-5392.
- [5] Ling F, Xiao F, Du Y, et al. Waterline mapping at the subpixel scale from remote sensing imagery with high-resolution digital elevation models [J]. International Journal of Remote Sensing, 2008, 29(6): 1809-1815.
- [6] Thornton M W, Atkinson P M, Holland D A. Sub-pixel mapping of rural land cover objects from fine spatial resolution satellite sensor imagery using super-resolution swapping [J]. International Journal of Remote Sensing, 2006, 27(3): 473-491.
- [7] Ling F, Li W B, Du Y, et al. Land cover change mapping at the

- subpixel scale with different spatial-resolution remotely sensed imagery [J]. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 2011, 8(1): 182-186.
- [8] Li X D, Du Y, Ling F, et al. Using a sub-pixel mapping model to improve the accuracy of landscape pattern indices [J]. *Ecological Indicators*, 2011, 11(5): 1160-1170.
- [9] Ling F, Zhang Q W, Wang C, et al. Sub-pixel mapping of remote sensing images based on cellular automata model [J]. *Journal of Image and Graphics*, 2005, 10(7): 916-921. [凌峰, 张秋文, 王乘, 等. 基于元胞自动机模型的遥感图像亚像元定位 [J]. *中国图象图形学报*, 2005, 10(7): 916-921.]
- [10] Atkinson P M. Sub-pixel target mapping from soft-classified remotely sensed imagery [J]. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 2005, 71(7): 839-846.
- [11] Ling F, Xiao F, Du Y, et al. Super-resolution land-cover mapping using multiple sub-pixel shifted remotely sensed images [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2010, 31(19): 5023-5040.
- [12] Wu Ke, Niu R Q, Shen H F, et al. Sub-pixel mapping method based on ANN and super-resolution reconstructed model [J]. *Journal of Image and Graphics*, 2010, 11(5): 1681-1687. [吴柯, 牛瑞卿, 沈焕峰, 等. 结合超分辨率重建的神经网络亚像元定位方法 [J]. *中国图象图形学报*, 2010, 11(5): 1681-1687.]
- [13] Ge Y, Li S P, Lakhan V C. Development and testing of a subpixel mapping algorithm [J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2009, 47(7): 2155-2164.
- [14] Shen Z Q, Qi J G, Wang K. Modification of pixel-swapping algorithm with initialization from a sub-pixel/pixel spatial attraction model [J]. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 2009, 75(5): 557-567.
- [15] Kasetkasem T, Arora M K, Varshney P K. Super-resolution land cover mapping using a Markov random field based approach [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2005, 96(3-4): 302-314.
- [16] Tolpekin V A, Stein A. Quantification of the effects of land-cover-class spectral separability on the accuracy of markov-random-field based superresolution mapping [J]. *IEEE Transactions on Geoscience and remote sensing*, 2009, 47(9): 3283-3297.
- [17] Atkinson P M. Issues of uncertainty in super-resolution mapping and their implications for the design of an inter-comparison study [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2009, 30(20): 5293-5308.
- [18] Ling F, Wu S J, Xiao F, et al. Sub-pixel mapping of remotely sensed imagery: a review [J]. *Journal of Image and Graphics*, 2011, 16(8): 1335-1345. [凌峰, 吴胜军, 肖飞, 等. 遥感影像亚像元定位研究综述 [J]. *中国图象图形学报*, 2011, 16(8): 1335-1345.]
- [19] Thornton M W, Atkinson P M, Holland D A. A linearised pixel-swapping method for mapping rural linear land cover features from fine spatial resolution remotely sensed imagery [J]. *Computers & Geosciences*, 2007, 33(10): 1261-1272.
- [20] Sampath A, Shan J. Building boundary tracing and regularization from airborne lidar point clouds [J]. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 2007, 73(7): 805-812.
- [21] Lee Y S, Koo H S, Jeong C S. A straight line detection using principal component analysis [J]. *Pattern Recognition Letters*, 2006, 27(14): 1744-1754.
- [22] Rosin, P L. Measuring shape: ellipticity, rectangularity, and triangularity [J]. *Machine Vision and Applications*, 2003, 14(3): 172-184.