

Journal of Image
and Graphics

中国图象图形学报



ISSN1006-8961
CN11-3758/TB

2012 **1**
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1月 第17卷 第1期(总第189期)

目 次

综述

压缩感知基本理论:回顾与展望 邵文泽, 韦志辉(1)

图像处理和编码

完全质量保持的 AVS 视频可逆信息隐藏算法 郭宝安, 陈彪, 张飏, 于志强, 张卫明(13)

多成分正则化约束的断层图像重建算法 王丽艳, 韦志辉, 李星秀(20)

基于单幅图像景深和大气散射模型的去雾方法 郭珈, 王孝通, 胡程鹏, 徐晓刚(27)

结合 NSS 和小波变换的无参考图像质量评价 金波, 李朝锋, 吴小俊(33)

结合区域分割和双边滤波的图像去噪新算法 杨学志, 徐勇, 方静, 卢洁, 左美霞(40)

种子像素滤波法去除随机脉冲噪声 单建华(49)

基于纹理和亮度感知特性的率失真优化策略 俞力克, 代锋, 张勇东, 林守勋(54)

单通道散焦模糊置换图像的盲分离 王伟, 方勇(62)

侧扫声呐图像的 3 维块匹配降斑方法 范习健, 李庆武, 黄河, 王敏(68)

新适应模型的提出及分类扩散 李彦宝, 姜广峰, 王治强, 刘薇(75)

图像分析和识别

从神经切片图像中识别功能束类型的研究 钟映春, 罗鹏(82)

融合 SPA 遮挡分割的多目标跟踪方法 丁欢, 张文生(90)

目标识别中的稳定图像特征组合发掘 姜永兵, 彭启民(99)

基于结构特征的高分辨率 TerraSAR-X 图像船舶识别方法研究 殷雄, 王超, 张红, 吴樊(106)

图像理解和计算机视觉

机器人的混合特征视觉环境感知方法 杨俊友, 马乐, 白殿春, 东俊光(114)

纹理分布分析的快速图像修复算法 张晴, 林家骏(123)

计算机图形学

圆的整数反走样生成算法 贾银亮, 张焕春, 经亚枝(130)

遥感图像处理

SAR 图像的快速核主成分分析识别方法 于红芸, 姜涛, 关键 (137)

基于图像内容层次表征的遥感图像分割方法 张学良, 肖鹏峰, 冯学智 (142)

地理信息技术

保持几何模式的城市道路路网简化方法 杨必胜, 张云菲, 栾学晨 (150)

中国图象图形学报

刊名题字: 宋 健 月刊(1996 年创刊)

第 17 卷 第 1 期

2012 年 1 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: 010-68407995 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

Journal of Image and Graphics

(Monthly, Started in 1996)

Vol. 17 No. 1 January 2012

Contents

Review

Advances and perspectives on compressed sensing theory *Shao Wenze, Wei Zhihui*(1)

Image Processing and Coding

Complete video quality-preserving reversible data-hiding based on AVS
..... *Guo Bao'an, Chen Biao, Zhang Biao, Yu Zhiqiang, Zhang Weiming*(13)

Morphological component analysis for tomography reconstruction *Wang Liyan, Wei Zhihui, Li Xingxiu*(20)

Single image dehazing based on scene depth and physical model *Guo Jia, Wang Xiaotong, Hu Chengpeng, Xu Xiaogang*(27)

No-reference image quality assessment based on natural scene statistics and wavelet *Jin Bo, Li Chaofeng, Wu Xiaojun*(33)

New filter based on region segmentation and bilateral filtering *Yang Xuezhi, Xu Yong, Fang Jing, Lu Jie, Zuo Meixia*(40)

Removal of random-valued impulse noise based on seed pixels filter *Shan Jianhua*(49)

Novel rate distortion optimization strategy based on perceptual properties of texture and luminance
..... *Yu Like, Dai Feng, Zhang Yongdong, Lin Shouxun*(54)

Blind separation of single-channel permuted defocus blurred image *Wang Wei, Fang Yong*(62)

Side-scan sonar image despeckling based on block-matching and 3D filtering *Fan Xijian, Li Qingwu, Huang He, Wang Min*(68)

New well-posed model and classified diffusion *Li Yanbao, Jiang Guangfeng, Wang Zhiqiang, Liu Wei*(75)

Image Analysis and Recognition

Type recognition of fascicular groups from nerve slice image *Zhong Yingchun, Luo Peng*(82)

Multi-target tracking approach combined with SPA occlusion segmentation *Ding Huan, Zhang Wensheng*(90)

The mining of stable image feature-compositions in object recognition *Jiang Yongbing, Peng Qimin*(99)

Vessel recognition with high resolution terraSAR-X image based on structure feature
..... *Yin Xiong, Wang Chao, Zhang Hong, Wu Fan*(106)

Image Understanding and Computer Vision

Robot vision environmental perception method based on hybrid features
..... *Yang Junyou, Ma Le, Bai Dianchun, Toshimitsu Higashi*(114)

Fast image inpainting algorithm using color texture distribution analysis *Zhang Qing, Lin Jiajun*(123)

Computer Graphics

Integral algorithm for circle anti-aliasing *Jia Yinliang, Zhang Huanchun, Jing Yazhi*(130)

Remote Sensing Image Processing

SAR images recognition based on kernel principal component analysis *Yu Hongyun, Jiang Tao, Guan Jian*(137)

Remotely sensed imagery segmentation based on the hierarchical representation of image content
..... *Zhang Xueliang, Xiao Pengfeng, Feng Xuezhi*(142)

Geoinformatics

Pattern preserving method for grid simplification in road networks *Yang Bisheng, Zhang Yunfei, Luan Xuechen*(150)

中图法分类号: TP751 文献标志码: A 文章编号: 1006-8961(2012)01-0142-08

论文引用格式: 张学良, 肖鹏峰, 冯学智. 基于图像内容层次表征的遥感图像分割方法 [J]. 中国图象图形学报, 2012, 17(1): 142-149

基于图像内容层次表征的遥感图像 分割方法

张学良, 肖鹏峰, 冯学智

南京大学地理信息科学系, 南京 210093

摘要: 提出基于图像内容层次表征的高分辨率遥感图像快速多精度分割方法。首先根据初始分割结果建立区域邻接图(RAG), 并将其定义为马尔可夫随机场(MRF); 然后引入光谱、形状和边缘等图像特征进行层次合并, 通过记录层次合并过程获得图像内容的层次表征; 最后根据层次表征中不同层级对象之间的关系快速生成任意不同精度的分割结果, 以满足不同应用的需求。利用 QuickBird 卫星图像进行实验和评价的结果表明, 本文方法具有较高的精度和效率。

关键词: 遥感图像分割; 图像内容层次表征; 层次合并; 马尔可夫随机场; 区域邻接图

Remotely sensed imagery segmentation based on the hierarchical representation of image content

Zhang Xueliang, Xiao Pengfeng, Feng Xuezhi

Department of Geographic Information Science, Nanjing University, Nanjing 210093, China

Abstract: A segmentation method for high-spatial resolution remotely sensed images segmentation based on the hierarchical representation of the image content is proposed in this paper. The hierarchical representation is built through a hierarchical merging process based on an initial segmentation. First, we build the region adjacency graph (RAG) on which a Markov random field (MRF) is defined. Then the hierarchical merging process, where the merging criterion includes multi-spectral, edge and shape features, is applied and recorded on the RAG to obtain the hierarchical representation. It is quite efficient to produce a number of segmentation results with different precisions using the relationship of different objects in the hierarchical representation. Experimental results on QuickBird images show that the proposed method can greatly improve the segmentation efficiency and produce high quality results.

Key words: remotely sensed imagery segmentation; hierarchical representation of image content; hierarchical merging; Markov random field; region adjacency graph

0 引言

随着高空间分辨率遥感数据的应用越来越广

泛, 面向对象的遥感图像分析方法日趋重要。遥感图像分割作为获取对象的基础工作, 其结果对后续的研究处理具有较大影响^[1-3]。本文的研究目标在于生成较高质量的分割结果以服务于面向对象的像

收稿日期: 2010-11-29; 修回日期: 2011-04-09

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863)基金项目(2008AA12Z106); 国家自然科学基金项目(40801166); 教育部高等学校博士学科点专项科研基金项目(200802841012)

第一作者简介: 张学良(1987—), 男, 现为南京大学地理信息科学系硕士研究生, 主要研究方向为遥感数字图像处理。E-mail: homelandzxl@gmail.com

分析和专题信息提取等方面的研究。

图像分割的关键在于生成同质区域,分开异质区域,生成独立而完整的对象。由于分割结果的应用目的不同,待分割图像的性质各异,在分割过程中往往不能直接得到理想的分割结果,需要比较多个分割结果后找到最优尺度的分割结果,这就对多精度或多尺度的分割方法提出了需求。分割方法中,层次合并方法由于过程稳定、精度较高而被广泛使用^[4-5]。该方法简单描述为:从合并初始阶段开始,每次合并全局最优的两个相邻区域,直至满足合并终止条件。在合并条件确定的情况下,由于每次合并过程都采用全局最优搜索,其合并过程稳定。若合并条件适当,分割结果具有较高精度。基于以上特点,可以利用层次合并的稳定性和高精度建立图像内容的层次表征,并利用层次表征实现快速的多精度分割。

层次表征的最底层为层次合并的初始状态,包括原始图像和初始分割结果两种情况。在原始图像基础上直接进行区域合并^[6-7],效率相对较低且易受局部极小值干扰,因此,基于初始分割结果的区域合并过程近年来得到了较为广泛的关注^[8]。多利用初始分割结果建立区域邻接图(RAG),然后在RAG的基础上进行区域合并^[9]。本文选择以初始分割结果作为层次表征的最底层。以RAG为基础,模拟进行层次合并,通过记录层次合并过程中每一次合并情况,得到不同层级对象之间的所属关系。通过追溯这种所属关系,得到用户所需的不同精度的分割结果。

利用层次合并构建层次表征,合并条件的设定对于分割结果的精度具有重要的影响。文献[4]将边缘特征引入合并条件,并通过变化的权重值与其他特征组合。文献[10]将紧凑度和光滑度等形状特征与光谱特征组合成合并条件。马尔可夫随机场(MRF)能较好地处理和利用邻域信息^[11-12],在图像分割中应用较为广泛^[13-15]。本文以MRF为理论支撑,构建包含区域光谱、边缘和形状信息的合并条件,并探索以相乘的方式进行特征组合。

1 分割方法

分割流程如图1所示,首先对遥感图像进行初始分割,在初始分割结果的基础上构建RAG,将RAG定义为MRF,定义合并条件后模拟进行层次合

并。记录层次合并过程,结合RAG构建图像内容的层次表征,最后利用该表征生成不同精度的分割结果。

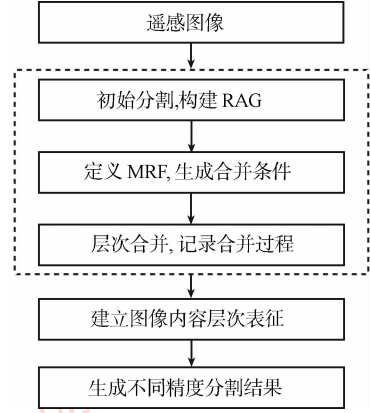


图1 分割方法流程图

Fig. 1 Flow chart of the proposed segmentation method

1.1 区域邻接图构建

区域邻接图在初始分割结果的基础上构建。初始分割结果要求具有足够高的精度,允许存在一定过分割现象。文献[16]提出的基于向量场模型的标记分水岭分割方法,以多光谱向量的第一基本形式生成梯度图像,以最大标记区域数目为原则对梯度图像进行标记,利用淹没算法^[17]实现分水岭分割。分割过程中只需设定标记区域的最小面积,效率较高。

RAG定义为 $G=(V,E)$,其中 V_i 为节点, E_{ij} 为边,相邻两节点间生成边。以初始分割结果生成邻接图,每个分割区域为一个节点,相邻区域间生成边^[9]。RAG中边一般只表征相邻节点间的邻接关系,即记录两邻接节点的标号,由于基于淹没算法的分水岭分割结果中存在数量较多的单像素宽的实际边界,RAG中的边不仅表征邻接关系,也表征相邻区域之间实际存在的边界。相邻节点间的相似性度量作为权值记录于边中,根据合并条件计算得到。节点中记录了其对应分割区域的标号及特征,特征的选择取决于合并条件的需要,节点中还利用链表记录了其边界弧段的标号,便于模拟层次合并过程时局部调整邻接关系和修改权值。为满足图像内容层次表征的需求,节点中还以链表形式记录了组成其对应区域的所有像元的位置信息。

RAG的构建过程为:对初始分割结果中每一个区域赋以唯一标号,通过边界追踪得到RAG中的边信息及相邻对象之间的邻接关系,最后进行区域追

踪得到节点需记录的特征和像元位置。其中,边界追踪是关键,借鉴广度优先搜索算法思路,简单描述为寻找一条边起始点,追踪中间点,至终点结束,记录其邻接区域标号等信息。重复此过程,直至所有边追踪完毕。

1.2 合并条件定义

MRF 能较好地分析空间依赖性,将邻域约束条件转化为先验概率^[11-12]。结合贝叶斯准则,利用先验概率及观测值生成后验概率表达式,满足最大后验概率的分割结果即为最优分割。结合吉布斯理论,求解最大后验概率即为求能量函数最低值。将 RAG 定义为 MRF,结合计算机视觉原理,利用图像的局部特征表征能量函数,利用层次合并的全局最优搜索求得最低能量函数状态^[4],得到最优分割结果。能量函数的表达式则为合并条件。

合并条件中特征的选择依据以下优质分割需满足的几个条件^[18]:1) 依据某种测度,区域内部具有一定同质性;2) 相邻区域间具有足够的异质性;3) 区域边界简洁、平滑、准确。条件 1)2) 可称为特征准则,条件 3) 可称为语义准则,即符合人类知觉原理^[19]。所选择的特征如表 1 所示。

表 1 合并条件中所选择的特征

Table 1 Properties included in the merging criterion

	单个区域特征	邻接区域对特征
一般特征	区域面积 特征向量方差	特征向量均值差
语义特征	紧凑度	质心距离 边缘强度

选择一般特征以使结果满足特征准则,语义特征则用于满足语义准则。特征向量方差和特征向量均值差分别表征区域内同质性和相邻区域间异质性,特征向量由遥感图像的多光谱波段组成。引入区域面积以提高小区域被合并的概率,以减少分割结果中无意义的破碎区域。紧凑度可以作为区域形状是否规则、边界是否简洁的度量。质心距离则源于地理学第一定理,距离越近的地物,其相关性越大。边缘强度则用于衡量区域边界的准确度。

合并条件中选择的一般特征的定义可参见文献^[14],下面就 3 个选择的语义特征定义予以说明。令 MC 表征合并条件,则各特征可表示为 MC_i 。令 R_1, R_2 表示邻接区域对, e 表示相邻区域间公共

边界, n 表示特征向量维数。

紧凑度 $MC_{Compactness}$ 定义为区域周长与面积之比,其计算对象为在假设邻接区域对合并的情况下合并生成的新区域,即

$$MC_{Compactness} = \frac{Perimeter}{Area} \quad (1)$$

质心距离 $MC_{Dist_Centroids}$ 为相邻区域质心之间的欧氏距离,即

$$MC_{Dist_Centroids} = [(R_{1,x} - R_{2,y})^2 + (R_{1,x} + R_{2,y})^2]^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

式中, $R_{i,x}, R_{i,y}$ 分别表征区域 R_i 质心列、行位置。

边缘强度 $MC_{EdgeStrength}$ 定义为 e 中所有像素点的差异度的均值,即

$$MC_{EdgeStrength} = \frac{\sum_{i=1}^{n_p} P_{Dif}}{n_p} \quad (3)$$

式中, n_p 为 e 中像素点的数目,边界点的差异度 P_{Dif} 定义为该点 8 邻域范围内属于不同区域的点的特征向量均值之差的模值,即

$$P_{Dif} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (R_1_P_8_Mean_i - R_2_P_8_Mean_i)^2} \quad (4)$$

式中, $R_1_P_8_Mean_i, R_2_P_8_Mean_i$ 分别表征边界点 8 邻域范围内属于区域 R_1, R_2 的点的波段 i 的均值。

尝试以相乘的方式将各特征组合成合并条件,由于乘性因子的敏感性,能提高合并条件对单个特征的响应能力。在特征组合前,先对特征进行有选择的标准化。将合并准则表达为各特征的函数,即

$$MC = f(MC_i) \quad (5)$$

对边缘强度进行标准化

$$MC = f\left(\exp\left(\frac{MC_{EdgeStrength}}{2^k}\right)\right) \quad (6)$$

式中 $k(k \geq 8)$ 表示遥感图像的辐射分辨率。

对质心距离标准化

$$MC = f\left(\frac{1}{\left(1 + \frac{1}{MC_{Dist_Centroids}}\right)}\right) \quad (7)$$

标准化后的边缘强度和质心距离的取值范围分别压缩为 $(0, e)$ 和 $(0.5, 1)$ 。紧凑度的取值范围为 $(0, 1)$, 和 3 个一般特征一样,不采用标准化处理。进行选择性标准化的目的在于突出一般特征的主体作用。经标准化后,特征组合方式如式(8)所示。

$$MC = \frac{MC_{Area} MC_{VectorMeanDif} MC_{Dist_Centroids} MC_{EdgeStrength} MC_{Compactness}}{U_{VectorVar}} \quad (8)$$

式中, MC_{Area} , $MC_{VectorVar}$ 和 $MC_{VectorMeanDif}$ 分别表征区域面积、特征向量方差和相邻区域特征向量均值差。

1.3 图像内容层次表征的建立与图像分割

先将 RAG 保存,在 RAG 的基础上,采用合并条件 MC 模拟并记录层次合并过程,至 RAG 中节点数目为 1。而后利用保存的 RAG 和记录的合并过程,得到图像内容的层次表征,如图 2 所示。RAG 作为层次表征的最底层,包含了初始分割结果中所有的对象。两相邻全局最相似的对象合并后生成上层的新对象。层次表征越往上,则对象数目越少,单个对象所包含的子对象越多。层次表征的最顶层为整幅图像。每一层中对象数目在图 2 中等于该层上方的虚线与对象间连接边的交点数目,通过交点向下追踪得到的首个节点即为该层中的一个对象。不同层级对象之间所属关系的正确率很大程度上取决于合并条件是否合理,并决定了利用该表征生成的分割结果的精度。

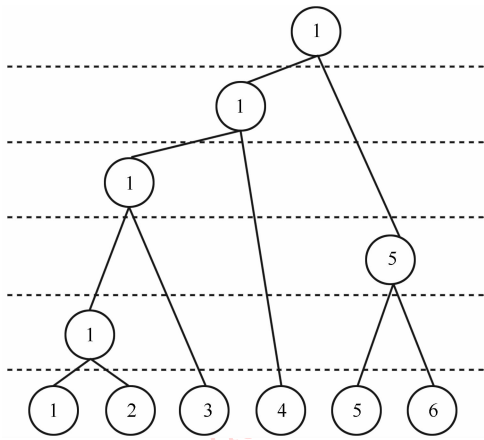


图2 图像内容层次表征示意图

Fig. 2 Hierarchical represent of image content

层次合并过程详细描述为:

- 1) 依据合并条件,计算 RAG 中各边的权值;
- 2) 搜索 RAG 中权值最小的边,找到其邻接节点并将其合并,记录参与合并的区域标号;
- 3) 局部调整 RAG 中的邻接关系和边的权值;
- 4) 若 RAG 中节点数目大于 1,则返回步骤 2),否则合并终止,层次表征构建完毕。

步骤 2) 中,利用 2 维数组 HP 来记录每次参与合并的区域标号, HP 的行数等于层次合并次数(RAG 中节点数目减 1),列数为 2。每次合并后生成的新区域都需要一个唯一的标号,为使用方便使用层次表征,将参与合并的两区域中任一区域的标号作为新区域标号,并将其记录于 HP 的第 1 列。如建立图 2 所示的层次表征, HP 中的记录可自底向上逐行表示为 (1,2)、(5,6)、(1,3)、(1,4)、(1,5)。

步骤 3) 中,邻接关系调整包括将 RAG 中合并生成的新区域中记录的邻接边的标号更新以及所涉及的邻接边中记录的邻接区域标号的更新。新区域所有邻接边的权值依据合并条件和新的邻接区域对进行计算、更新。由于在 RAG 中,节点记录了邻接边的标号,边记录了邻接节点的标号,边与节点之间的双向查询效率较高。

建立图像内容层次表征后,由于层次表征中各对象之间的关系已确定,应用其进行图像分割所得结果的精度仅由结果中区域数目决定。一般来说,区域数目越多,精度越高,但过分割现象可能会较明显;反之,则精度越低。给定分割结果中区域数目,实现分割的方法简单描述为寻找层次表征中所有最底层对象与分割结果中各上层对象之间的对应关系。设定分割结果中区域数目,采用自底向上的策略,分割过程为:

- 1) 从 HP 的底层开始(第 1 次合并记录),逐行向上搜索 HP 所记录的区域标号,记为 L_1 和 L_2 ;
- 2) 将区域 L_1 和 L_2 合并生成区域 L_1 ,即在 RAG 中将区域 L_2 的标号改为 L_1 ,并将组成 L_2 区域的所有像元加入 L_1 区域;
- 3) 重复步骤 1)2),重复次数为 RAG 中节点数目减去分割结果中区域数目;
- 4) 将 RAG 中剩余节点的标号赋予组成对应分割区域的像元,生成分割结果。

其中, L_1 和 L_2 分别表示 HP 每行第 1 列和第 2 列记录的标号。由于层次合并的稳定性,每次利用层次表征生成分割结果,就相当于利用层次合并实现分割。在多次分割过程中,不需要再进行全局最优搜索、权值及邻接关系调整等过程,只需根据 HP 中记录修改标号即可,效率较高。

2 实验及结果分析

2.1 实验数据与方法

以南京市的一处 QuickBird 卫星图像为实验数据,经融合处理后空间分辨率为 0.6 m,包括蓝、绿、红、近红外 4 个波段信息。截取 3 幅图像进行实验,分别用 A、B、C 表示,图像大小见表 2。其中,实验图 C 主要用于分割效率分析,实验图 A 和 B 主要用于分割精度分析。实验图 A 和 B 如图 3 所示,图 3(a)中地物要素较丰富,包括道路、建筑物、操场、树木、草地、植被等;图 3(b)为南京市的幕府山



(a) 实验图 A



(b) 实验图 B

图 3 实验图像

Fig. 3 Original image

采用基于像元数量误差准则的监督评价方法评价分割结果的精度^[20]。该方法将分割结果与参考图叠加,分割结果中单个区域与参考图中单个区域重叠面积最大的部分视为正确分割的部分,其余的认为是错误分割的部分。所有正确分割部分的面积与图像面积的比值即为正确率。

实验过程中,先分析初始分割结果的精度及合并条件中各特征的有效性,然后对比基于均值漂移的 edison 分割软件^[21]分析本文分割方法的精度和效率表现。

2.2 分割结果及分析

初始分割结果的精度对最终分割结果具有重要影响,采用基于向量场模型的标记分水岭分割方法,

庄小区,为典型的小区景观,以上两幅实验图像均表征了典型的城市场景。实验图 C 由于尺寸较大,主要用于效率分析,限于篇幅,故没有将此图在文中展示。

表 2 分割效率分析

Table 2 Segmentation efficiency analysis

实验图像	图像大小	效率/s		
		构建层次表征	层次表征分割	edison
实验图 A	373 × 354	2.4	0.2	2.1
实验图 B	644 × 497	6.3	0.3	5.6
实验图 C	1 094 × 1 280	76	1.1	24.2

设定允许最小标记区域大小为 1,以实验图 A 和 B 为例,得到的初始分割结果分别如图 4 所示,分别包含 3 697 和 6 502 个区域。通过目视判别分析,虽然在结构复杂的地区仍存在较严重的过分割现象,但是相对于直接分水岭变换的结果,过分割现象已得到明显的改善,尤其是阴影等均质区域,基本不存在过分割现象,与周围地物明显区分开来,错分割现象较少。监督评价结果显示,实验图 A 和 B 的正确率分别为 96.7% 和 94.0%。

建立图像内容的层次表征后,可以生成多个任意需要的分割结果而无须重复合并过程。以实验图 A 和 B 为例,将依据层次表征得到的分割结果与 edison 软件分割结果进行对比分析,利用基于像元



(a) 实验图 A



(b) 实验图 B

图 4 初始分割结果图

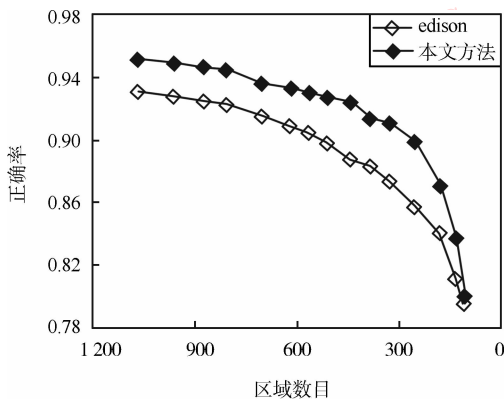
Fig. 4 Initial segmentation result

数量误差准则的监督评价结果如图 5 所示。其中, edison 采用默认参数设置,只通过改变其最小区域面积来获得不同精度的分割结果。监督评价所使用的参考图由专业人员通过人工分割得到,分别对一系列包含相同区域数目的不同方法的分割结果计算其精度,得到图 5。

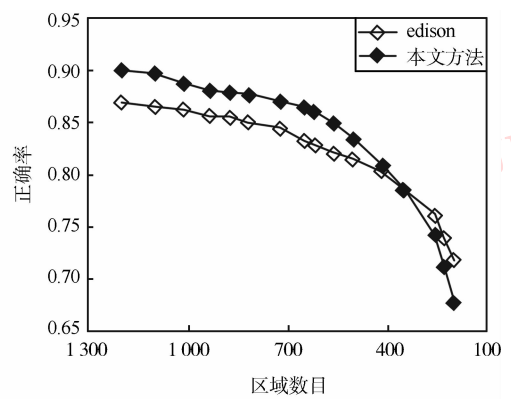
从图 5 中可以看出,随着分割结果中区域数目的减少,两种方法分割结果的精度均逐渐降低,但本文方法下降速率高于 edison。从曲线的高低来看,对于偏过分割结果,本文分割方法精度相对较高,然而对于偏欠分割结果,不具备明显的优势。由于本

文的目的在于生成优质分割结果用于面向对象的分析和信息提取,在偏过分割时能生成接近 90% 正确率的分割结果,表明本文方法具有一定的实用价值。针对两种分割方法,分别选择实验图 A 和 B 的有代表性的分割结果,如图 6 所示。

实验图 A 的分割结果为图 6(a),区域数目均为 328,实验图 B 的分割结果为图 6(b),区域数目为 507。通过目视判别分析,两种方法的分割结果中,道路、建筑物和植被等都得到了较好的区分,不同地物之间的边界比较准确。本文方法由于初始的标记分水岭分割,使阴影等均质区域相对更完整。



(a) 实验图 A



(b) 实验图 B

图 5 分割结果监督评价图

Fig. 5 Evaluation result of segmentation result



(a) 本文方法分割结果

(b) edison 分割结果

图 6 分割结果图

Fig. 6 Segmentation results

分割效率方面,用 CPU 主频为 1.73 GHz,内存为 1 G 的便携计算机进行实验,对比分析了利用层次合并构建图像内容层次表征和 edison 的效率。其中,edison 的最小区域面积参数统一设置为 500,利用层次表征进行分割时,分割结果中区域数目与 edison 结果相同。结果如表 2 所示。

从表 2 可以看出,通过模拟层次合并构建层次表征的效率较 edison 偏低,尤其在图像较大的时候,层次合并耗时比较多。但是,建立层次表征以后,利用其得到多精度的分割结果则非常快速。如实验图 C,利用层次表征生成任意允许区域数目的分割结果,时间不超过 1.5 s。

3 结 论

在初始分割结果基础上,本文研究了通过模拟

基于 MRF 的层次合并过程构建图像内容层次表征以实现遥感图像分割的方法。

结合 MRF 和吉布斯分布理论,顾及全局特征的层次合并过程可理解为求解最低能量函数状态,即最优分割。以 MRF 为理论基础,在合并条件中引入多光谱、形状和边缘特征,监督评价结果表明,图像内容层次表征生成的分割结果精度能达到 90% 以上,在精度方面具备进行面向对象分析的潜力。合并条件中包含了多个不同量级(如光谱特征和形状特征)的特征,本文采用相乘的方式进行特征组合,虽然较高精度分割结果初步说明了该组合方式的有效性,但仍需进一步的研究和验证。

图像内容层次表征描述了不同层级对象之间的所属关系,通过这种关系可以得到 RAG 中最底层对象与上层中任一对象之间的对应关系,在不重复层次合并过程的情况下得到任意所需精度的分割结

果。虽然利用层次合并构建图像内容层次表征耗时相对较长,但是利用层次表征进行图像分割效率非常高,一般在秒级,有效弥补了层次合并方法的效率较低的不足。利用层次表征快速生成多精度分割结果的能力,在比较不同分割结果以确定理想的分割结果时,也具有明显的优势。

本文利用层次表征进行图像分割时,采用自底向上的策略,寻找不同底层对象所对应的分割结果中的上层对象,数据结构和实现思路较简洁。今后可进一步在自顶向下的分割策略和数据结构优化等方面开展研究。

参考文献 (References)

- [1] Blaschke T. Object based image analysis for remote sensing [J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2010, 65(1): 2-16.
- [2] Cheng H D, Jiang X H, Sun Y, et al. Color image segmentation: advances and prospects [J]. Pattern Recognition, 2001, 34(12): 2259-2281.
- [3] Carson C, Belongie S, Greenspan H, et al. Blobworld: image segmentation using expectation-maximization and its application to image querying [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1998, 24(8): 1026-1038.
- [4] Yu Q Y, Clausi D A. IRGS: Image segmentation using edge penalties and region growing [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2008, 30(12): 2126-2139.
- [5] Beaulieu J, Goldberg M. Hierarchy in picture segmentation: a stepwise optimization approach [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1989, 11(2): 150-163.
- [6] Morris O J, Lee M D. Graph theory for image analysis: an approach based on the shortest spanning tree [J]. IEEE Proceedings-F of Communications, Radar and Signal Processing, 1986, 133(2): 146-152.
- [7] Vlachos T, Constantinides A G. Graph-theoretical approach to colour picture segmentation and contour classification [EB/OL]. [2011-04-11]. <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&number=207489>.
- [8] Haris K, Efstradiadis S, Maglaveras N, et al. Hybrid image segmentation using watershed and fast region merging [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1998, 7(12): 1684-1699.
- [9] Trémeau A, Colantoni P. Regions adjacency graph applied to color image segmentation [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2000, 9(4): 735-744.
- [10] Baatz M, Schäpe A. Multiresolution segmentation: An optimization approach for high quality multi-scale image segmentation [J]. Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2000, 58(3-4): 12-23.
- [11] Geman S, Geman D. Stochastic relaxation, Gibbs distributions, and the Bayesian restoration of images [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1984, 6(6): 721-741.
- [12] Li S Z. Markov random field models in computer vision [C]// 3rd European Conference on Computer Vision. Stockholm, Sweden: Springer, 1994, 2: 361-370.
- [13] Xia G S, He C, Sun H. An unsupervised segmentation method using Markov random field on region adjacency graph for SAR images [C]// CIE International Conference on Radar. Los Alamitos, CA, USA: IEEE Computer Society Press, 2006: 1-4.
- [14] Rupin F, Roux M. Markov random field on region adjacency graph for the fusion of SAR and optical data in radargrammetric applications [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2005, 43(8): 1920-1928.
- [15] Sarkar A, Biswas M K, Sharma K M S. A simple unsupervised MRF model based image segmentation approach [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2000, 3(5): 801-812.
- [16] Xiao P F, Feng X Z, An R, et al. Segmentation of multispectral high-resolution satellite imagery using log gabor filters [J]. International journal of remote sensing, 2010, 31(6): 1427-1439.
- [17] Vincent L, Soille P. Watershed in digital spaces: an efficient algorithm based on immersion simulations [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1991, 13(6): 583-598.
- [18] Haralick R M, Shapiro L G. Image segmentation techniques [J]. Computer Vision, Graphics and Image Processing, 1985, 29(1): 100-132.
- [19] Zhang H, Fritts J E, Goldman S A. Image segmentation evaluation: a survey of unsupervised methods [J]. Computer Vision and Image Understanding, 2008, 110(2): 260-280.
- [20] Carleer A P, Debeir O, Wolff E. Assessment of very high spatial resolution satellite image segmentations [J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 2005, 71(11): 1285-1294.
- [21] Comaniciu D, Meer P. Mean shift: a robust approach toward feature space analysis [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2002, 24(5): 603-619.