

引用格式: Tu Yuanjie, Zhou Jianhua. Self-adaptive Generalization of Classified Patch: A Case Study on Land Use Classification from Remotely Sensed Imagery[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2016, 31(5): 994-1002. [涂媛杰, 周坚华. 分类图斑概括的一种自适应方法——以遥感图像土地利用分类为例[J]. 遥感技术与应用, 2016, 31(5): 994-1002.]
doi:10.11873/j.issn.1004-0323.2016.5.0994

分类图斑概括的一种自适应方法

——以遥感图像土地利用分类为例

涂媛杰¹, 周坚华²
(1. 华东师范大学地理科学学院, 上海 200241;
2. 华东师范大学地理信息科学教育部重点实验室, 上海 200241)

摘要:从遥感图像监督分类结果到矢量对象的转换是遥感技术领域的一个瓶颈问题。提出了一种“分类图斑自适应概括”(Self-adaptive Generalization of Classified patch, SGCP)的方法,是针对这一问题的新尝试。SGCP 能实现从破碎图斑到完整图像对象的自动转换,它由如下运算组成:①以形态学开启和形状系数分离道路与其他不透水表面;②以面积过滤和数学形态学操作去除噪声,以使图斑完整;③以递归凸残差回补简化图斑边界;④以膨胀和面积占优方法消除图斑裂隙;⑤以凸节点减少率评估图斑概括度,并同时以面积保持和分类精度保持评估概括精度;直至形成指定概括度的对象。概括运算的主要参数(如结构元素尺寸、递归次数、邻域窗口尺寸等)均由计算机自适应确定,同时预留部分用户调节参数,在自动概括的同时,允许人工干预概括程度。经 Matlab 仿真测试,该方法可以在保持分类精度与获取概括对象之间取得较好平衡。当图斑简化度上升 22.9% 时,面积平均变化仅为 2.7%,分类精度仅平均下降 0.72%。

关键词:图斑概括;二值形态学;凸残差;形状系数;自适应参数化

中图分类号: TP 75 **文献标志码:** A **文章编号:** 1004-0323(2016)05-0994-09

1 引言

在遥感图像分类结果中,类别成员分布零散和不同类别成员之间复杂穿插的情况比较多,如何将分类结果自动转换为简洁的图像对象(Image Object)^[1],一直是遥感技术应用领域的热门研究主题之一。它通常要求在保持分类精度基本不变的前提下,以自适应方法使图斑完整和简化图斑形状,直至形成较简洁的对象。

数学形态学是图斑简化的常用工具,具有原理清晰、普适性好、处理尺度易于控制、运算开销小等优点,因此被广泛采用^[2]。例如利用形态学提取道

路要素^[3-4]、去除图像的噪声^[5]和图斑细化^[6-7]。地图信息的识别提取^[8-9]、化简建筑物多边形^[10-11]等。针对数学形态学方法容易使图斑“圆化”的缺点,一些限制和约束被添加到处理中。例如添加形状与纹理限制^[12]等。SGCP 将形态学用于分类图斑概括的同时,试图解决其中的某些难点问题,如结构元素尺寸的自适应确定、图斑完整化程度控制和分类精度保持等。此外,还参考徐偲等的方法^[13],以形状描述符与形态学方法相结合,分离道路与其他不透水表面。

凸包算法也是图斑简化的经典算法。凸包是由图斑边界上的凸节点构成的凸多边形。有关研究

收稿日期:2015-07-02;修订日期:2016-07-22
基金项目:国家理科基地科研训练及科研能力提高项目(J1310028)资助。
作者简介:涂媛杰(1995—),女,江西南昌人,硕士研究生,主要从事遥感与地理信息系统研究。E-mail:tuzement@126.com。
通讯作者:周坚华(1956—),女,上海人,副教授,硕士生导师,主要从事图像智能识别和生态遥感研究。E-mail:jhzhou@geo.ecnu.edu.cn。

包括快速确定有意义的凸节点^[14],将凸包算法用于图像匹配^[15]、图像特征识别^[16]等。凸包算法虽然运算开销较大,但能够有效避免图斑趋圆化。SGCP 以递归凸残差回补算法有控制地概括图斑,以便能在简化图斑和保持主要形状特征不变之间取得平衡。

评估图斑概括质量也是分类结果整理的研究重点之一^[17],通常包括信息准确性和概括程度评估两个方面。信息准确性的评估内容主要包括属性精度、几何精度、空间关系保持等。例如,以图斑面积的相对变化率衡量概括后各类别图斑的相对面积误差^[18,20];以不同地类的加权几何信息熵评价概括后的信息数量和保真度^[21];以空间目标几何信息的传递效率度量单个空间目标的概括程度^[22]。其中,图斑面积的相对变化率是评估面状图斑概括精度的经典、易操作的指标,SGCP 亦采用该指标评估概括精度;同时,以凸节点减少率评估图斑概括程度。

2 研究区和实验影像

实验区包括我国广东省东莞市(113°31'E~114°15'E,22°39'N~23°09'N)和上海市(121°00'E~122°00'E,30°30'N~31°50'N)。为了证明算法的普适性,实验选用了 3 种常用的图像类型,分别为彩红外航片、SPOT 5 彩色合成图像和 QuickBird 彩色合成图像。彩红外航片空间分辨率约为 0.2 m,从实验图像数据库中随机抽取,库中图像从地理信息服务机构购买。图像在售出前经过几何精校正和正射校正。图像色彩红、绿、蓝分别对应于 IR(0.76~0.9 μm 近红外)、R(0.63~0.69 μm 红)、G(0.52~0.6 μm 绿)波段。SPOT 5 彩色合成图像从东莞市土地利用变迁监测的基础图像库中选取,多波段图像数据的空间分辨率约为 15 m。图像在使用前经过几何精校正,合成时添加了 5 m 分辨率的全色波段。QuickBird 卫星影像从 Google 地图网站截屏获取,图像空间分辨率约为 1 m。

这些图像包括了多种城市土地利用类型,如建筑用地、水体、耕地和交通用地等,适合作为多分辨率分类图斑概括的实验图像。

3 方法与技术实现

3.1 概述

SGCP 的主要步骤为:①图像采样与监督分类(详见 3.2 节);②分离道路与其他不透水表面(详见

3.3 节);③去除噪声和图斑完整化(详见 3.4 节);④简化图斑边界(详见 3.4 节);⑤消除图斑裂隙(详见 3.6 节);⑥提取图像对象(详见 3.7 节);⑦评估图斑概括度和精度(详见 4 节);直至达到指定概括度。这些运算所需的参数(如结构元素尺寸、递归次数和邻域窗口尺寸等)可以由计算机自适应确定。所谓“自适应”,就是根据截获的事件信息计算所需参数。这些信息包括初始分类图斑平均面积、边界复杂度和图斑均质度等。与此同时,还预留了部分用户可调参数,在自动概括的同时,允许人工干预概括程度。图 1 为算法流程图。

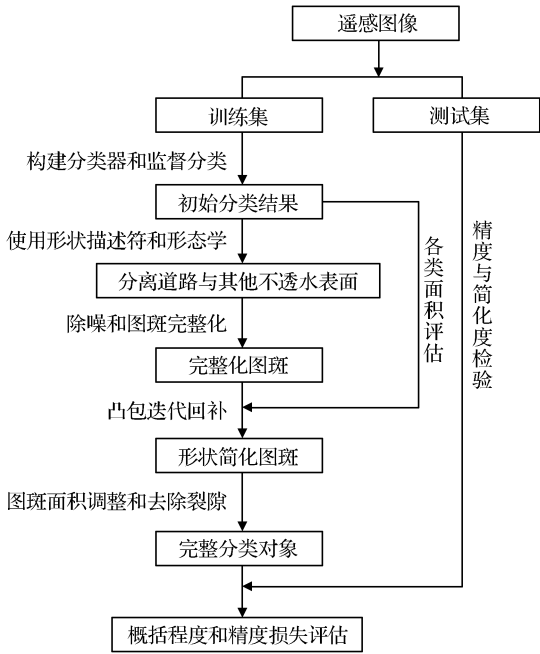


图 1 SGCP 流程图
Fig.1 The flow chart of SGCP

3.2 图像采样和监督分类

样本通过目视判读和图像点采样获得,任一类别的样本数一般不少于 50 个。图 7(j)为一个实例,不同颜色的十字表示不同类的样本。样本分为训练和测试集,前者用于训练和构建分类器,后者用于评估分类精度和图斑概括精度。

本文实验均以遥感图像土地利用监督分类为例。根据分类特点,使用如下描述符(图像特征表达式)组合构建特征空间:

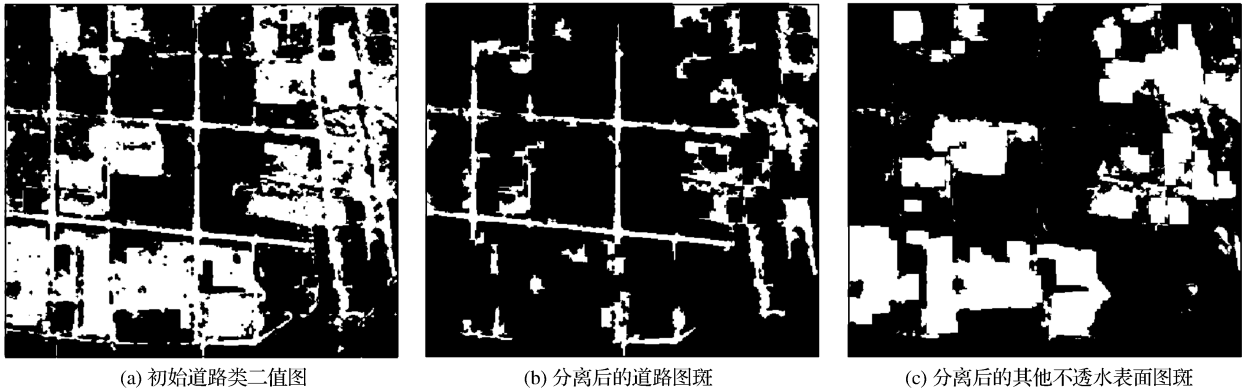
NDGI-归一化差值绿度指数(用于天然彩色图像)或 NDVI-归一化植被指数(用于标准假彩色图像)^[23];NDSV-归一化饱和度明度差^[24];MI-窗口明度中值^[24];NDSV-截集密度^[22];D*-暗细节密度^[24],F-形状系数/圆弧度^[24],DI-明度截集密度^[22]。分类器

为决策树(Decision Tree, DT)。

3.3 分离道路与其他不透水表面

由于波谱和纹理特征的相似性,道路类常与其他不透水表面混分。参考一些已有算法^[13,25],尝试以形态学方法和形状描述符区分两者。步骤如下:①通过形状系数和面积分割移除未与其他不透水表面粘连的道路,移除道路的二值图记作 A;②对剩余图斑,先以结构元素 S1 做形态学开启去除粘连,再比较开启前后形状系数变化明显的图斑,通

过求差集将道路与其他不透水表面分离,分离出的道路二值图记作 B;③求 A 与 B 的并,获得道路图斑。其中,结构元素 S1 通过逐步修正方法自适应确定,也可以由用户依据道路宽窄指定。使用前, S1 从较小尺寸开始,逐步增大;并同时计算由形态学开启运算滤除图斑的边界面积比值;取该比值显著减小(图斑狭长长度显著减小)前的尺寸构建 S1。图 2(b)和 2(c)分别显示分离后的道路和其他不透水表面二值图。



(a) 初始道路类二值图

(b) 分离后的道路图斑

(c) 分离后的其他不透水表面图斑

图 2 分离道路与其他不透水表面(原图斑参见图 7(b))

Fig.2 An example of separating roads and other impervious surface (Fig.7(b) shows the original patches)

3.4 去除噪声与图斑完整化

图斑完整化包括滤除凹噪声,以形态学开启去除凸细节和避免图斑圆化。

3.4.1 滤除凹噪声

面积过滤是常用的去除小图斑/噪声的方法,可以用指定阈值滤除图斑内的小凹陷^[25]。式(1)显示该算法:

$$BW1_j = \{BW_j \cup BW_s, BW_s = \sum M_j, M_j | M_j < T_2 \& \forall M_j \subseteq !BW_j\} \quad (1)$$

其中: BW_j 为第 j 类图斑初始二值图; BW_s 为 BW_j 中的凹噪声二值图; $BW1_j$ 为从 BW_j 中去掉 BW_s 的二值图; M_j 为 $!BW_j$ 中任一图斑, $!$ 表示取反运算; T_2 为凹噪声面积阈值, $T_2 = c_2 \cdot A_j$, A_j 为第 j 类图斑面积均值,即面积阈值系根据图斑平均面积自适应确定,以避免阈值不变可能出现的过度滤除或滤除不足; c_2 为预留可调参数,默认 $c_2 = 0.05$,凹噪声滤除过多时调低,否则调高。

此外,一些面积大于阈值的狭长凹噪声,可以通过形态学闭合去除。式(2)显示该算法:

$$BW2_j = \{BW1_j \cdot se, se | size = FLOOR(\sqrt{T_2})\} \quad (2)$$

其中: $BW2_j$ 为从 $BW1_j$ 中滤除狭长凹噪声后的二

值图; \cdot 表示形态学闭合运算, se 为结构元素, $size$ 为 se 的尺寸, $FLOOR(\cdot)$ 为向下取整函数,即 $size$ 根据图斑平均面积自适应确定。

某类别图斑的凹噪声是其他类别的小凸图斑,所以除噪后,还应当将这些小凸图斑移除。方法是,先将 BW_j 以 $BW2_j$ 替换,再对类 j 以外的类别做如式(3)所示的逻辑运算。其他运算之后,有时也会做类似修复,下面不再赘述。

$$BW_{(1,j)} = BW_{(1,j)} \cap !(BW_{(1,j)} \cap BW_j) \quad (3)$$

其中: $BW_{(1,j)}$ 为类 j 以外的某类别。

3.4.2 自适应去除图斑凸细节和避免圆化

图斑边界上的凸细节可以通过形态学开启操作实现,方法与式(2)所示相似,仅将闭合以开启操作替换即可,此处不再列式表述。图 4 提供一个同时去除凹、凸噪声的实例。

结构元素尺寸对概括程度有较大影响,其值越大,概括程度越高,同时图斑圆化越严重;反之亦然。这里以评估函数 OF 评估图斑概括和圆化之间的平衡性。OF 由简化度 — 圆化度两个分维构成,参见式(4) ~ (6):

$$OF = (w_1 \cdot R_D - w_2 \cdot R_F + 1) / 2 \quad (4)$$

并且:

$$R_D = (D_i - D_0)/D_0 \tag{5}$$

$$R_F = (F_0 - F_i)/F_0 \tag{6}$$

其中: R_D 为凸节点减少率,表征图斑概括程度,通常按类别统计,值越大图斑概括度越高; D_0 和 D_i 分别为初始和第 i 次迭代的凸节点数; R_F 为圆形度变化率,表征图像圆化程度变化; F_0 和 F_i 分别为初始和第 i 次迭代的圆形度。通常 $OF \in [0,1]$,其值越大,简化度与圆化程度平衡越好。 w_1 和 w_2 为预留的用户可调权重, $w_1 + w_2 = 1$,当希望图斑更概括,调高 w_1 ,当希望减少圆化,调高 w_2 ,默认 $w_1 = w_2 = 0.5$ 。

实验还发现,随结构元素尺寸 size 增大,OF 先上升,后下降,然后趋于一个稳定的较小值。OF 极大值对应的size,通常为除噪较适宜的结构元素尺

寸(图 3)。通过检测该峰值可以自适应确定 size。

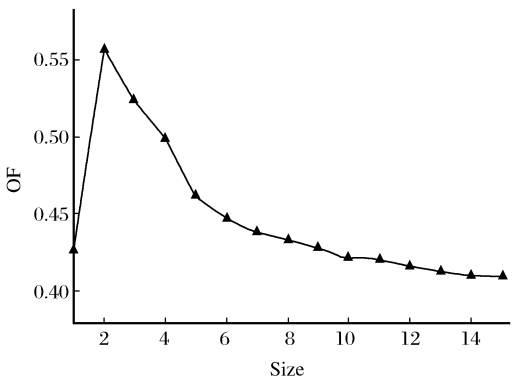


图 3 OF 对 size(结构元素尺寸)变化的响应
Fig.3 The typical models of OF in response to size (structure element size)



图 4 去除凹凸噪声(原图斑参见图 7(k))
Fig.4 An example of removing noises (Fig.7(k) shows the original patches)

3.5 降低图斑边界复杂度

经过上述步骤,图斑完整性得到改善,但多数边

界仍较复杂。为了在简化边界的同时减少圆化,采用递归凸残差回补方法实施简化。图 5 为一个实例。

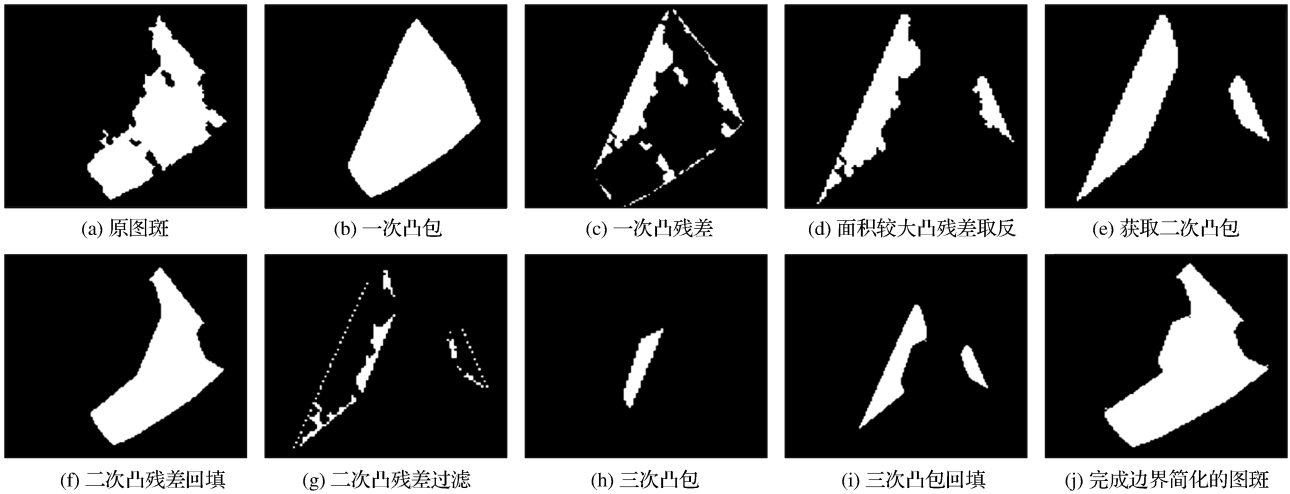


图 5 凸残差递归回补实例
Fig.5 An example of recursively backfilling convex residuals into the original convex hill

包是仅由图斑边界上的凸节点构成的凸多边形(如图 5(b)是 5(a)的一个凸包)。利用凸包替代原图斑,可以简化图斑。凸残差指凸包与其图斑的差值。一个图斑通常有多于 1 个、面积不同的凸残差。如果选择某些大凸残差回补凸包,可以实现有控制简化边界。但是,某个大凸残差自身的边界可能也很复杂(如图 5(d)所示的较大凸残差),以它回补的结果会形成新的复杂边界,甚至使回补后的图斑边界繁简部位与原图斑相背离。

凸残差递归回补是为解决这一问题而设计的。它采用递归方法,对每次的大凸残差取反形成凸图斑(如图 5(d)是对 5(c)大凸残差取反的凸图斑),然后获取凸包(图 5(e)),再以类似的方法简化凸包,以逐步形成适度简化、最后用于回补的凸残差。

具体算法如下:①获取图斑凸包及凸残差;②对凸残差二值图取反获得次级凸包;③开启粘连的次级凸包;④以面积过滤移除面积百分比小于 d 的次级凸包(d 为预留可调参数,默认为 0.05,当滤除不足时调低,否则调高);⑤将剩余次级凸包视为新概括对象,重复 1~4 步;直至所有次级凸包适度简化、满足回补要求,递归结束。由图 5 实例可见,最后结果不仅边界简洁,而且较好保留了原图斑的主要形状特征。

3.6 消除图斑裂隙

SGCP 以膨胀和面积占优方法,消除图斑之间的裂隙。首先膨胀裂隙,以膨胀后与相邻图斑重叠

最大的图斑类码,作为裂隙的类码。同时,对比较重要的类别赋予较高权重,使其优先包括裂隙。图 6 是一个实例,所有裂隙被并入周围的大图斑内;消除裂隙后的图斑参见图 7(f)。

3.7 提取图像对象

经过上述步骤,图斑已经相当完整,并且消除了重叠和缝隙。此时,用边界跟踪方法可以方便地提取图像对象,图 6(b)给出一个实例。

4 讨 论

4.1 SGCP 应用中注意的问题

图斑概括后应尽可能使各类别图斑占比和分类精度保持不变。

(1)图斑面积保持。图斑面积保持是经典的概括精度要求。这里以分类图斑面积变化率 R_A (参见式(7)) 评估每类图斑的面积保持水平。图斑面积可以根据 R_A 的大小和方向以形态学方法调节。

$$R_A = (A - A_0) / A_0 \tag{7}$$

其中: A_0 和 A 分别为初始和概括后图斑的面积。

该算法不仅有助于保持各类别图斑占比,而且有助于保持分类精度。

(2)分类精度保持。可以通过测试集数据评估图斑概括前后的分类精度变化率 d_{OA} (参见式(8))。

$$d_{OA} = (OA - OA_0) / OA_0 \tag{8}$$

其中: OA_0 和 OA 分别为图斑概括前后的全局精度。表 1 为图 7(a)实例的评估数据,这些数据将被用于

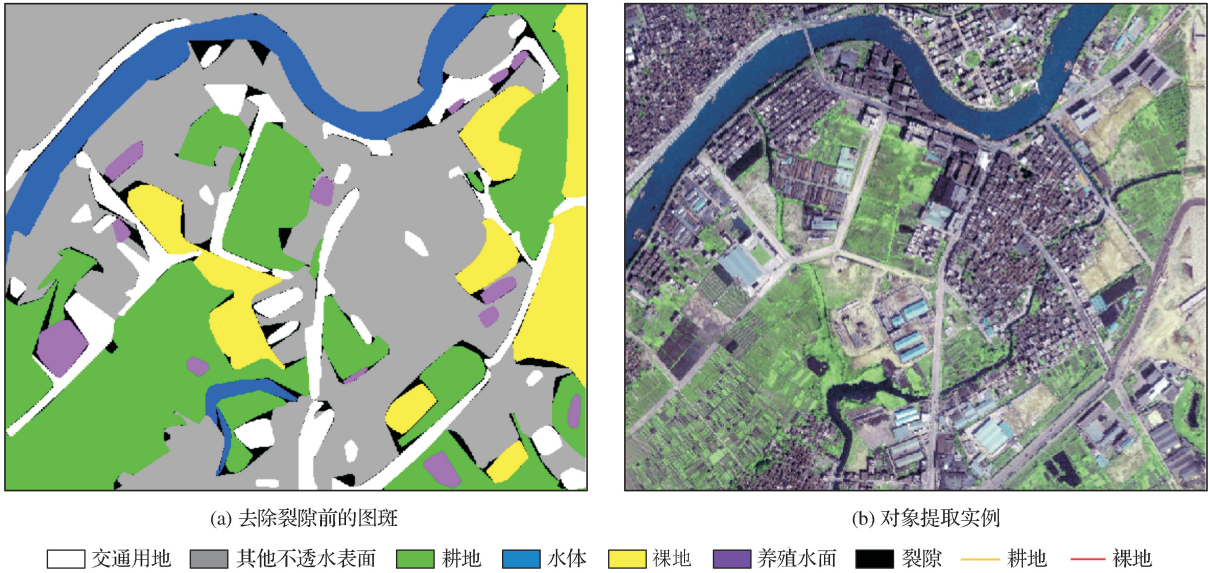


图 6 消除裂隙和对象提取的例子
Fig.6 An example of eliminating gaps between patches and extracting objects

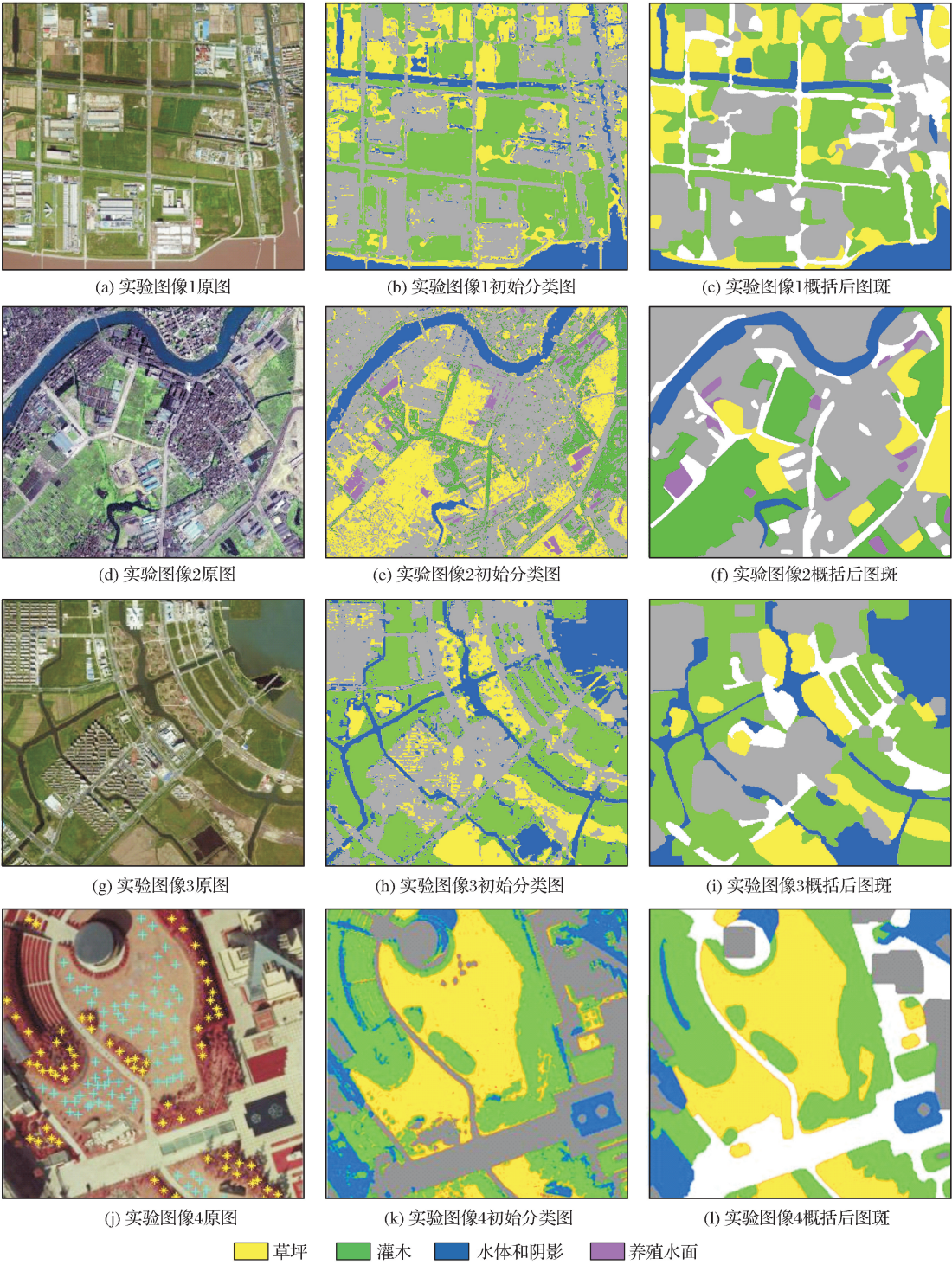


图 7 分类精度保持情况评估的 4 个实例

Fig.7 Four examples of accuracy assessment

表 1 概括前后的面积和全局精度变化

Table 1 Area and global accuracy change after generalization

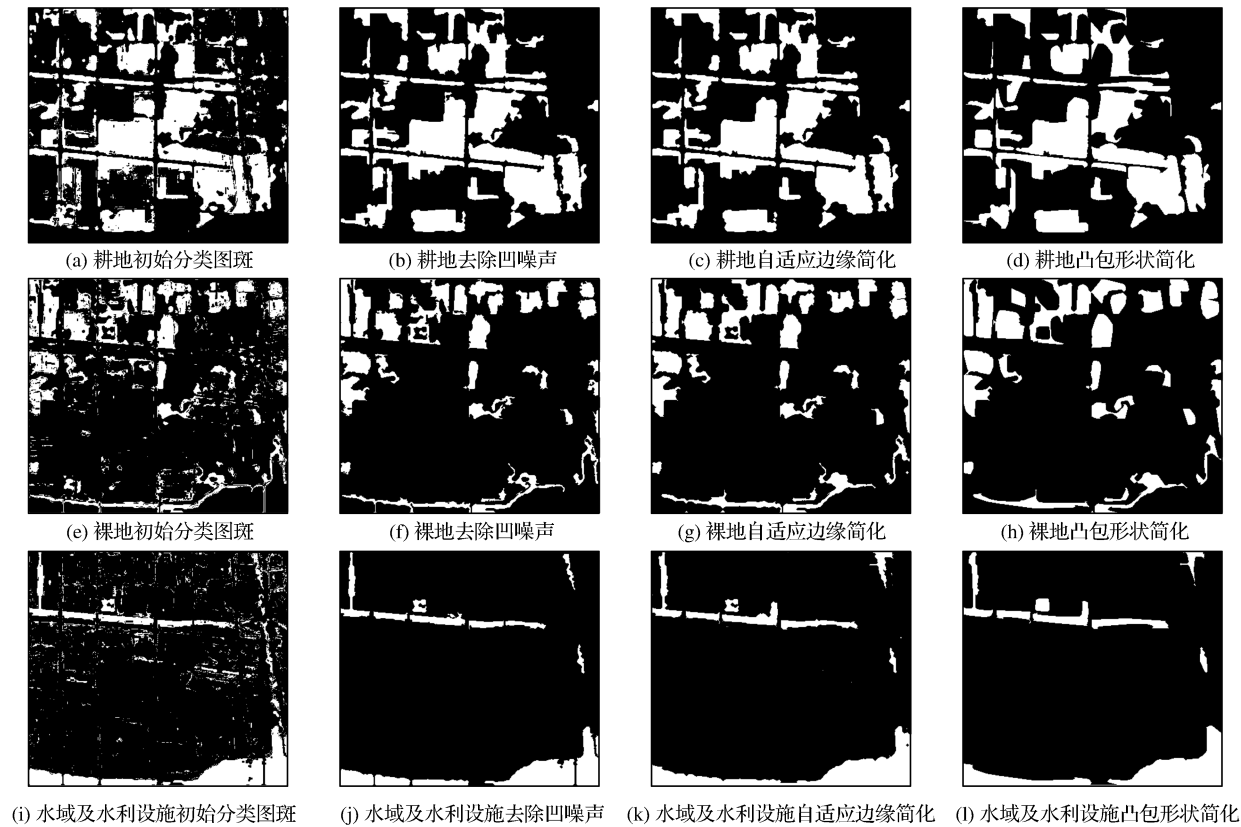
	植被	建筑	裸地	水体	道路	均值
$d_{OA}/\%$	1	0	-1.1	-1.32	0	-0.25
$R_A/\%$	0.1	0.50	4.19	3.6	2.18	2.114
$d_D/\%$	22.04	38.24	37.59	0.44	45.59	28.78

某些参数的自适应调节,如结构元素尺寸、邻域尺寸等;并通过迭代重复对精度产生较大影响的步骤,逐步改善概括精度。

4.2 概括度与分类精度保持综合评估

图斑概括程度以凸节点减少率评估,计算方法参照式(5);该部分仅介绍以面积保持和分类精度保

持评估概括精度的方法。共有 4 幅实验图像参与评估(参见图 7),图 2 和图 8 显示图 7(b)各类别图斑的概括过程。表 2 列出图 7 所有实例的实验数据、参数和评估结果。数据显示,当图斑平均概括度为 22.9%时,OA 平均下降 0.72%,表示 SGCP 能在概括度与精度之间保持较佳平衡。



(子图每行从左到右分别表示原图像、初始分类图、概括后图斑。初始分类图将不透水表面分为一类;在图斑概括时,使用 3.3 节的方法分为交通用地和其他不透水表面类)

图 8 图斑概括过程(原图斑参见图 7(b))

Fig.8 Process of patch generalization(Fig.7(b) shows the original patches)

表 2 图斑概括质量评估
Table 2 Quality assessment of patch generalization

图幅	影像类型	分类数	$d_{OA}/\%$	$d_{Sc}/\%$	$R_D/\%$
图 7(a)	1 m 分辨率 QuickBird 天然彩色合成图像	5	-0.25	2.114	28.78
图 7(d)	5 m 分辨率 SPOT 5 天然彩色合成图像	6	-2.86	5.158	25.01
图 7(g)	1 m 分辨率 QuickBird 天然彩色合成图像	5	0.23	3.047	28.23
图 7(j)	0.2 m 分辨率红外航空摄影图像	5	0	3.18	9.58
均值			-0.72	2.70	22.9

注:其中 d_{OA} 为分类全局精度变化, d_{Sc} 表示图斑面积变化, R_D 含义见式(5)

5 结 语

SGCP 是一种自适应概括分类图斑的新方法,它运用了图像分析和图斑概括领域的主流算法,并

在二者的结合上取得了较大进展,初步实现了遥感图像土地利用分类图斑的自适应概括,并在概括程度与精度之间取得较好平衡。由上述实验得出如下结论:①在分类特征空间中使用密度描述符,有助于

分类图斑完整,减少概括难度;②可由形态学开启和使用形状描述符分离道路和其他不透水表面;③可以通过使用评估函数 OF,自适应计算结构元素尺寸,在图斑概括和减少圆化之间寻求较佳平衡;④递归凸残差回补是简化图斑边界的有效算法,它能在去除边界细节的同时,保留图斑的主要形状特征;⑤凸节点变化率是评估图斑概括程度的有效指标,图斑面积变化率、分类精度变化率是评估面积保持和分类精度保持的有效指标。

作为直接由分类图斑获得概括对象的尝试,SGCP 还存在一些需要完善之处。例如,考虑在形态学处理中添加更多约束^[12],以避免初始图斑完整化过程中的图斑圆化;尝试以多种方法化简图斑多边形^[9-10],以更好保持图斑的形状特征;考虑在概括质量评估中添加信息数量和保真度指标^[20],以改善概括结果的属性和几何精度等。

参考文献(References):

[1] Chen G, Hay G J, Carvalho L M T, *et al.* Object-based Change Detection[J]. International Journal of Remote Sensing, 2012, 33(14): 4434-4457.

[2] Zhou Jianhua. Remote Sensing Image Analysis and Spatial Data Mining [M]. Shanghai: Shanghai Technology Education Press, 2010. [周坚华. 遥感图像分析与空间数据挖掘[M]. 上海: 上海科技教育出版社, 2010.]

[3] Gao Fangqin, Wu Jianping. Detecting Linear Object in RS Image Recognition[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2004, 25(Sup.1): 653-656. [高芳琴, 吴健平. 遥感图像识别中线性地物提取方法研究[J]. 仪器仪表学报, 2004, 25(增刊 1): 653-656.]

[4] Pan Jianping, Li Zhi. Road Extraction based on Remote Sensing Classification and Mathematic Morphology[J]. Computer Engineering and Applications, 2010, 46(34): 213-214. [潘建平, 李治. 基于遥感分类与数学形态学的道路信息提取[J]. 计算机工程与应用, 2010, 46(34): 213-214.]

[5] Huang H, Legarsky J J, Gudimetla S, *et al.* Post-classification Smoothing of Digital Classification Map of St. Louis, Missouri [C]// 2004 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2004. IGARSS'04, 2004, (5): 3039-3041.

[6] Lü Junbai. An Efficient Thinning Algorithm for Binary Images[J]. Computer Engineering, 2003, 29(18): 147-148. [吕俊白. 一种有效的二值图像细化算法[J]. 计算机工程, 2003, 29(18): 147-148.]

[7] Sheng Yehua, Tang Hong, Du Peijun, *et al.* One Fast Shape Preserving Morphological Thinning Algorithm[J]. Journal of Image and Graphics, 2000, 5(2): 89-93. [盛业华, 唐宏, 杜培军, 等. 一种保形的快速图像形态细化算法[J]. 中国图象图形学报, 2000, 5(2): 89-93.]

[8] Guo L J, Moore J M. Post-classification Processing for The-

matic Mapping based on Remotely Sensed Image Data[C]// 1991, International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 1991. IGARSS'91, 1991: 2203-2206.

[9] Lu Zhanwei, Hao Xiangyang. The Recognition and Extraction of Map Information based on Structural Features[J]. Journal of The PLA Institute of Surveying and Mapping, 2001, 18(2): 107-109. [卢战伟, 郝向阳. 基于结构特征的地图信息识别与提取[J]. 测绘学院学报, 2001, 18(2): 107-109.]

[10] Wang Huilian, Wu Fang, Zhang Linlin. The Application of Mathematical Morphology and Pattern Recognition to Building Polygon Simplification[J]. Geodaetica et Cartographica Sinica, 2005, 34(3): 269-276. [王辉连, 武芳, 张琳琳, 等. 数学形态学和模式识别在建筑物多边形化简中的应用[J]. 测绘学报, 2005, 34(3): 269-276.]

[11] Wang Jiayao, Wu Fang. The Principle and Methods of Automated Cartographic Generalization for Digital Maps[M]. Beijing: PLA Publishing House, 1997. [王家耀, 武芳. 数字地图自动制图综合原理与方法[M]. 北京: 解放军出版社, 1997.]

[12] Hicham L, Arnaud M, Driss A, *et al.* Classifier Fusion for Post-Classification of Textured Images[C]// 2008 11th International Conference on Information Fusion, 2008.

[13] Xu Si, Zhou Jianhua. Multi-dimensional Descriptors and Multi-scale Classification of Urban Architecture[J]. Remote Sensing Information, 2014, 29(2): 15-17. [徐偲, 周坚华. 多描述符和多尺度城镇建筑分类[J]. 遥感信息, 2014, 29(2): 15-17.]

[14] Ye Q Z. A Fast Algorithm for Convex Hull Extraction in 2D Images[J]. Pattern Recognition Letters, 1995, 16(5): 531-537.

[15] Zimmer Y, Tepper R, Akselrod S. An Improved Method to Compute the Convex Hull of A Shape in a Binary Image[J]. Pattern Recognition, 1997, 30(3): 397-402.

[16] Bo Y, Chew L T. Convex Hull based Skew Estimation[J]. Pattern Recognition, 2007, 40(2): 456-475.

[17] Osterom P V. Research and Development in Geo-information Generalization and Multiple Representation [J]. Computers Environment and Urban Systems, 2009, 33(5): 303-310.

[18] Wu Jie, Li lin, Guo Renzhong, *et al.* On Automatic Evaluation Model of Digital Cartographic Generalization [J]. Developments in Surveying and Mapping, 2002, 27(2): 34-39. [吴洁, 李霖, 郭仁忠, 等. 数字环境下地图综合结果自动评价模型的研究与应用[J]. 测绘科学, 2002, 27(2): 34-39.]

[19] Woojin P, Kiyun Y. Hybrid Line Simplification for Cartographic Generalization[J]. Pattern Recognition Letters, 2011, 32(9): 1267-1273.

[20] Liu Pengcheng. Applications of Shape Recognition in Map Generalization[J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2012, 41(2): 316-316. [刘鹏程. 形状识别在地图综合中的应用研究[J]. 测绘学报, 2012, 41(2): 316-316.]

[21] Deng Min, Xu Zhen, Zhao Binbin, *et al.* A Transmission Model of Geometrical Information for Individual Spatial Objects in Cartographic Generalization[J]. Journal of Geo-information Science, 2010, 12(5): 655-661. [邓敏, 徐震, 赵彬彬, 等. 地图概括中空间目标几何信息传递模型研究[J]. 地球信息科学学

- 报,2010,12(5):655-661.]
- [22] Price J C. Estimating Vegetation Amount from Visible and Near Infrared Reflectances[J]. Remote Sensing of Environment, 1992, 41(92): 29-34.
- [23] Zhou Jianhua, Zhou Yifan, Mu Wangshu. Mathematic Descriptors for Identifying Plant Species: A Case Study on Urban Landscape Vegetation[J]. Journal of Remote Sensing, 2011, 15(3): 524-538. [周坚华, 周一凡, 穆望舒. 城镇绿地树种识别的数学描述符[J]. 遥感学报, 2011, 15(3): 524-538.]
- [24] Zhou J H, Yu B L, Qin J. Multi-level Spatial Analysis for Change Detection of Urban Vegetation at Individual Tree Scale[J]. Remote Sensing, 2014, 6(9): 9086-9103.
- [25] Gu Xubojun, Yu Siyi, Jin Yemeng, *et al.* Complex Linear Topographic Features Extraction Using Mathematical Morphology and Hough Transform[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2014, 29(4): 689-694. [顾徐博君, 虞思逸, 金叶蒙, 等. 基于数学形态学和 Hough 变换的复杂形态线状地物提取方法[J]. 遥感技术与应用, 2014, 29(4): 689-694.]
- [26] Zheng L, Wan L, Huo H, *et al.* A Noise Removal Approach for Object-based Classification of VHR Imagery via Post-classification[C]//2014 IEEE International Conference on Audio, Language and Image Processing (ICALIP), 2014: 915-920.

Self-adaptive Generalization of Classified Patch

——A Case Study on Land Use Classification from Remotely Sensed Imagery

Tu Yuanjie¹, Zhou Jianhua²

(1. *Geography, East China Normal University, Shanghai 200241, China;*

2. *Key Lab of Geographical Information Science, Ministry of Education, East China Normal University, Shanghai 200241, China*)

Abstract: Pixels and patches allocated by supervised classification are often very scattered and cluttered. To make these classified patches more complete to form image objects and with only tolerable errors, a new algorithm, named Self-adaptive Generalization of Classified Patch (SGCP), has been proposed. It uses some typical algorithms of both image analysis and map generalization, and has sure progress in the combined applications of the two. By using SGCP, it has been achieved to conduct generalization of classified patches of land use in a self-adaptive way. Meanwhile, a better balance between degree and precision of the generalization can be promised.

There are six steps to conduct SGCP: ① performing a supervised classification in a multi-descriptor space; ② separating road from the rest patches of impervious surface via binary morphology operations and by using shape descriptors; ③ removing noises and making these patches more complete via binary morphology operations and by filtering out smaller patches; ④ simplifying the boundary of a patch by recursively backfilling its convex residuals into a convex hill of the patch; ⑤ eliminating gaps between patches by merging the gaps into surrounding larger patches and ⑥ assessing the generalization degree of a patch by checking the vertex reduction rate of a convex hill of the patch and, in the same time, assessing the generalization accuracy by checking whether the area of each class and the global accuracy of all the classes are maintained as well as possible. Some main parameters, such as size of structure element, recursion times, neighboring size etc., are self-adaptively determined. In addition, there are several reserved parameters to allow the degree of generalization adjustable by user as the user is unsatisfied with the results of automatic generalization.

Simulation tests with Matlab show that by using the algorithm proposed in this paper, a proper balance between the degree and accuracy of generalization can often be guaranteed. An increase of 22.9% in the generalization degree will lead only a decrease of 0.72% in the global accuracy and a change of 2.72% in the patch area.

Key words: Patch generalization; Binary morphology; Convex residuals; Shape factor; Self-adaptive parameterization