

面向对象的扫描地形图自动分层算法研究

陈 鸿, 汤晓安, 王晨昊, 干 哲

(国防科技大学电子科学与工程学院, 长沙 410073)

摘 要: 地形图的数字化对构建地理信息系统有十分重要的意义。借鉴面向对象的思想, 提出了一种扫描地形图自动分层算法, 算法先将地形图线划要素与普染区背景分离; 然后把具有相同特征的像素分割成线段对象与块对象, 以这些对象为最基本的分类单元; 通过提取对象的颜色、形状和近邻关系等特征, 建立分类标准, 实现地形图的自动分层。该算法能有效克服扫描引起的颜色混淆和假彩色的影响, 分层结果完整连通, 从而很大程度上抑制“椒盐”现象的发生。

关键词: 扫描地形图; 分层; 面向对象; 色彩混淆和假彩色

中图法分类号: TP391.41 **文献标志码:** A **文章编号:** 1006-8961(2010)09-1416-09

Object-oriented segmentation of scanned topographical maps

CHEN Hong, TANG Xiaolan, WANG Chenhao, GAN Zhe

(School of Electronic Science and Engineering, National University of Defense Technology, Changsha 410073)

Abstract: Digitization of topographical maps is significant for creating geographical information system. In this paper, object-oriented approach is introduced into of segmentation scanned map. The procedure is described as follows. First, linear elements and area elements are separated. Then they are partitioned into image objects which are basic cells to classify map features, not single pixels. And a set of features combining color, shape and topological are extracted from each object. Based on the features, a classification criterion is employed to perform the map segmentation. The proposed method overcomes aliasing and false colors induced by the scanning process. The results seem coherent, with name of the “salt and pepper” effects.

Keywords: scanned topographical map; segmentation; object oriented; color-alias and false colors

0 引 言

对现有地形图进行数字化是构建战场地理信息系统的一个重要数据来源。纸质地形图由包含不同地理信息的层组成, 按颜色可分为黑、蓝、棕、绿4层。黑版图包含方里网线、居民地等信息; 蓝版图包含水系; 棕版图包含等高线及干涸的河床等; 绿版图则包含植被信息。由这4层叠加印制而成的全要素地形图, 便于战场指挥人员综合考察一个地区。对地图进行数字化要求将各层分离、重新组织、存储, 以便地理信息系统进一步分析和利用。可见, 地形图分层是地图数字化乃至建立地理信息系统的基础

性问题, 最为费时费力, 直接影响整个数字化工作的效率和精度。

地形图分层与一般彩色图像分割有许多共同处, 但也有其独特性。比一般图像分割容易的是, 为了便于人眼识别, 地形图各要素特征明显, 颜色差别大, 饱和度较高, 并且要素类别固定, 能够得到先验样本, 没有自然图像中由光照引起的明暗过渡和复杂纹理; 而比一般图像分割困难的是, 地形图包含的信息量庞大, 各种图形文字纵横交错, 线状要素所占比重较大且相互交叠, 更糟的是, 扫描地图的质量很大程度上依赖于图纸的质量和扫描仪的性能, 图纸可能因印刷不规范或者长时间的存放而发黄变色, 而扫描不可避免的会引起颜色混淆及假彩色。对于扫

收稿日期: 2010-10-17; 改回日期: 2010-01-11

第一作者简介: 陈 鸿 (1981—), 男。国防科技大学电子科学与工程学院信号与信息处理专业博士研究生。研究方向为图形、图像与信息可视化。E-mail: chong483@tom.com。

描质量一般的地形图,目前的分层技术仍不能得到令人满意的结果。

对地形图自动分层的研究已有许多年的历史。早期从事该项研究的有 Leberl 等人^[1],他们对等高线、水系、山脊线的矢量化进行了研究;Amin 等人^[2]进行了线状和符号要素的提取。全要素地图的各个不同要素层是用不同的颜色来表示的,因此颜色信息对地形图特征识别非常重要。冯玉才等人^[3]采用颜色聚类的方法来进行地图分层;Ebi 等人^[4]通过将 RGB(红、蓝、绿)颜色转换到其他颜色空间来更好地利用颜色信息。

但大量研究结果表明,由于印刷工艺及扫描等因素的影响,彩色地图扫描数据中存在着颜色混淆和假彩色,使得传统彩色图像分割方法难以得到良好效果。黄培之^[5]详细分析了混淆及假彩色产生的原因,发现颜色偏差是客观存在的,且不可避免。为了克服颜色混淆和假彩色带来的分层困难,很多学者进行了深入研究,目前提出的方法有以下几种:

1) 补偿颜色混淆及假彩色的影响 Marcu 等人^[6]通过图像增强处理重新排列 RGB 颜色通道来修正地形图的色彩混淆及假彩色的影响;Kohtanzad 等人^[7]深入分析了颜色混淆和假彩色产生的原因并提出用关键颜色集技术来补偿颜色偏移和错误;钱静等人^[8-9]简化了关键颜色集,并从地形图的灰度图像中提取线性特征来判断等高线断裂的原因;陈鸿等人^[10]引入高斯核函数构造彩色分割特征集,来更好地逼近扫描所导致颜色偏移的色彩分布。

2) 采用模糊分类思想 既然在扫描中发生了偏差,有了过渡色,则像素的归属就发生了模糊,因此可以使用模糊理论来处理该问题。Wu 等人^[11]使用模糊聚类结合多层神经网络来提取彩色地形图的字符和线状特征;郑华利等人^[12]对地图的色彩空间进行转换,并提出了基于 2 维直方图的模糊均值聚类方法。

3) 利用空间上下文信息 在扫描地形图上,虽然要素颜色存在偏差,但其结构、形状、纹理等信息都较突出,因此,在分类时不能仅依靠其颜色特征,更多的是可以利用几何和结构特征。Spinello 等人^[13]通过将细化后的等高线二值图 Delaunay 三角化来提取等高线;郑华利等人^[14]通过计算相邻像素灰度梯度的变化来将地形图像素分为坡点、谷点、平坦点等,由此结合模糊颜色聚类来对地形图分层;郭玲等人^[15]提出先对所有目标细化,然后再分层的思

路,并结合结构特征恢复丢失信息、改善分层效果;辛动军等人^[16]提出基于梯度矢量流主动轮廓模型的等高线提取算法,直接在等高线二值图上提取未细化的等高线。

以上 3 类方法均能在一定程度上克服颜色混淆和假彩色的影响,有较高的实用价值,研究中可结合使用进一步改善分层结果。目前多数的分层算法将地形图看做像素点集合,利用像素的颜色和空间信息逐点处理。由于没有统一考虑要素的全局特征,因此基于像素的分类算法,只在局部效果较好,且易受噪声影响,其分类结果往往是“椒盐”图像。

面向对象的分类方法^[17]突破了传统分类方法以像素为基本分类和处理单元的局限性,把具有相同特征的像素组成一个个对象,以对象为处理的最小单元,从较高层次(对象层次)对图像进行分类,以减少传统的基于像素层次分类方法的信息损失率,并使分类结果含有更丰富的语义信息。

1 本文算法

结合前人研究,借鉴面向对象的分类思想,提出一种面向对象的彩色扫描地形图自动分层算法,流程如图 1 所示。算法的基本步骤如下:1) 阈值分割,分离线划要素与普染区背景;2) 要素对象化,把

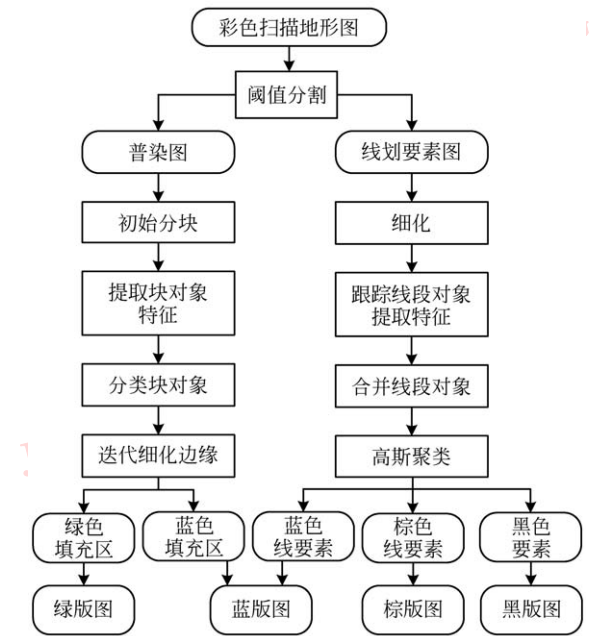


图 1 面向对象的地形图分层算法流程图
Fig.1 Algorithm chart flow

具有相同特征的像素分割成线段对象与块对象;3) 对象特征(一般为特征组合)的选择;4) 对象分类;5) 分类结果成图。

算法存在以下两个技术难点:一是如何科学合理地图像进行区域分割得到同质对象,保证分割后的对象内部主要特征语义的单一性;二是如何简便快捷地选择和提取对象特征(包括颜色、形状、结构、拓扑等),并利用这些特征或特征组合,进行地形图分层。

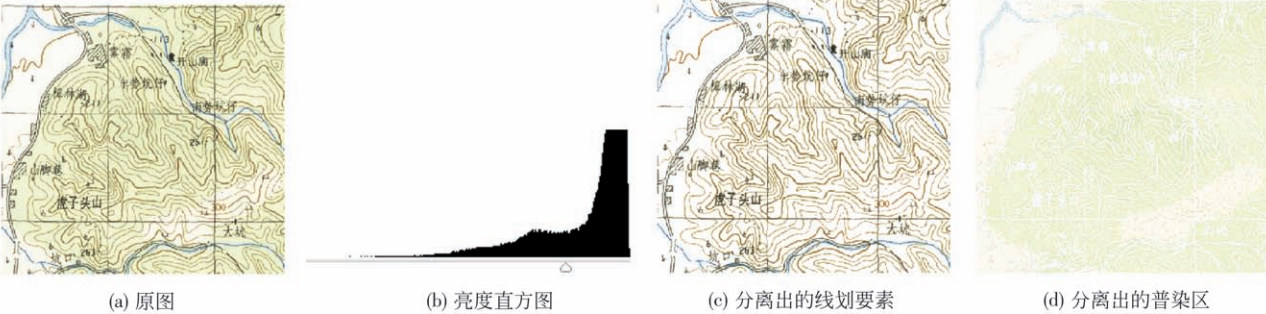


图 2 普染区与线划要素分离结果
Fig. 2 Segmentation of area and linear elements

1.2 线划要素分层

分离了普染区后的地形图上只余下线划要素,但分层难度并没有降低多少。这是因为:1) 经过不同普染区的线划,线条中心的颜色值相对稳定,边缘颜色则慢慢向背景颜色过渡^[7,14],线条上的过渡色(混淆色)并没有被分离开(图 3);2) 各种线条文字(棕色等高线,蓝色水系,黑色道路、经纬线、注记等)纵横交错,相互叠加。过渡色的存在使得单个像素的颜色并不可靠;要素间复杂的重叠交叉使得像素间简单的邻域关系不太实用。

有鉴于此,仅仅利用单个像素的信息难以有效分离各种要素。因此,将先根据线划要素连通性将其分割成一段段的线段对象。以整条线段对象特征

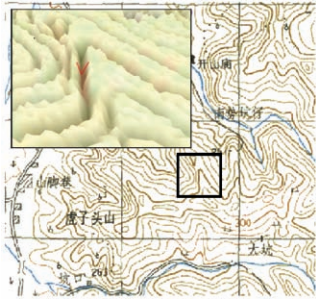


图 3 线化要素过渡色 3 维图
Fig. 3 3D visualization of color aliasing

1.1 分离线划要素与普染区

由于地形图中,线划要素与普染区的结构特征差异较大,算法先设法将它们分离,再分别进行面向对象的分类。彩色地形图中,为了便于人眼识别,普染区作为背景颜色较淡,而等高线、注记符号等线划要素颜色浓重,因此普染区的亮度 $(I = (R + G + B)/3)$ 明显高于其他要素,容易选取一个合适的阈值,将普染区背景与其他线划要素基本分割开^[15]。图 2 所示为部分彩色扫描地形图的分割结果。

来代替单个像素特征,使过渡色的影响大大降低;利用线段对象具有的语义特征,如:颜色、方向、曲率等来分类对象。

1.2.1 分割线段对象

细化是从图像中提取几何及拓扑关系的常用步骤,又称为骨架化。细化的目的有两个:一是去除线划要素的过渡色,保留颜色较纯正的中心线;二是确保线要素的连通性,保留线条图形的所有结构性信息。本文采用的是较成熟的迭代形态算法,细化是对彩色地形图所有颜色进行的(将白色像素看为 0,所有非白色像素都看为 1),对图 2(c)进行细化,结果如图 4 所示。



图 4 线化要素细化结果
Fig. 4 Result of thinning procedure

不难发现,在地形图中连续的线划要素由于相互交叠,被天然地分割成许多段。因此,可以直接通过检测线上的交点和断点,将线划要素分割成线段对象。而分割得到的线段对象内部像素属于同一条线划要素,相互连通且具有相似的特征。提取线段对象的算法(算法1)如下:

输入:细化后的线要素图 L ;

1) 对于 L 中每个像素点 p ,重复步骤2)~4);

2) 如果 p 不是背景,并未被标记;

3) 从 p 开始跟踪线段,直到两端的交点或断点,标记跟踪到的点;

4) 该条线段对象提取结束,计算各特征;

输出:跟踪到的线段对象集合。

要从单像素宽的细化图上判判断点和交点,并跟踪线段对象十分容易^[15],这里就不再赘述。

1.2.2 对象特征选取

线段对象含有丰富的语义特征,如:颜色特征包括均值、方差、灰度比值等;形状特征包括线宽、曲率、方向、线长等。实际应用中需要平衡分类效果和运算效率,选取简单易于计算,同时能达到良好分层效果的特征组合。

易知线段对象为有序点的集合,设为 $I = \{p_i | i = 0, \dots, n\}$,并设 c_i 为 p_i 的颜色, (x_i, y_i) 为 p_i 的像素坐标;定义点 p 到线段 I 两端(p_1 和 p_n)的垂直距离 $D_{\perp}(p, I)$ 来表示,则选取的特征如表1所示。

表1 线段对象特征组合

Tab.1 The feature set of linear object

颜色特征	均值 C	$C = \frac{1}{n} \sum_{p_i \in I} c_i$
形状特征	曲直 S	$S = \begin{cases} 1 & D_{\perp}(p_i, \overline{p_1 p_n}) \leq 1.5 \quad \forall i \\ 0 & D_{\perp}(p_i, \overline{p_1 p_n}) > 1.5 \quad \exists i \end{cases}$
	端点位置	起点 $P_f = (x_1, y_1)$ 终点 $P_e = (x_n, y_n)$
	端点方向	起点 $O_f = \begin{cases} (x_1 - x_n, y_1 - y_n) & S = 1 \\ (x_1 - x_2, y_1 - y_2) & S = 0 \end{cases}$ 终点 $O_e = \begin{cases} (x_n - x_1, y_n - y_1) & S = 1 \\ (x_n - x_{n-1}, y_n - y_{n-1}) & S = 0 \end{cases}$

1.2.3 合并线段对象

在分割线段对象时,地形图上一条条完整的线划要素在交点和断点位置被分割开,因此可以在线段对象端点位置附近,依据对象特征,先局部合并相

似度高的线段对象,这样能有效减少对象数量。设有两线段对象端点分别为 $e_1(C_1, S_1, P_1, O_1)$ 和 $e_2(C_2, S_2, P_2, O_2)$,且有 $e_1 \in I_1$ 且 $e_2 \in I_2$,则定义线段对象端点的相似性测度如下:

$$d(e_1, e_2) = w_1 \times d_1 + w_2 \times d_2 + w_3 \times d_3 \quad (1)$$

$$d_1 = \|C_1 - C_2\|$$

$$d_2 = \begin{cases} D_{\perp}(p_2, I_1) + D_{\perp}(p_1, I_2) & S_1 = 1 \text{ 且 } S_2 = 1 \\ \|P_1 - P_2\| & \text{其他} \end{cases}$$

$$d_3 = \arccos \left(\frac{-O_1}{\|O_1\|} \cdot \frac{O_2}{\|O_2\|} \right)$$

式中, d_1 为颜色距离测度,由于 RGB 颜色模型的各色彩向量之间的相关性以及 HSV 模型的 H 变量的奇异性,使得这两种模型均不适合于计算颜色距离。因此,采用 Lab 模型,其为均匀色差的彩色空间,色彩之间的欧氏距离同人眼对色彩的感觉一致^[18]。

d_2 为端点距离测度,需要说明的是当 I_1 和 I_2 都是直线段时,用端点到另一线段所在直线的垂直距离来计算测度。这样处于线段对象直线段延长线附近的端点具有更小的测度值,更符合合并两直线的相似性判断。 d_3 为方向夹角测度,端点方向间的夹角越小,距离测度越小。由于合并线段对象端点的朝向是相对的,因此计算时其中一个方向特征要反向,即乘以 -1 。

w_1, w_2, w_3 为权重系数,式(1)计算得到的相似性测度值越小,表明两者越相似。合并线段对象的算法(算法2)如下:

输入:所有线段对象的端点集合 $\{e_i | i = 1, 2, \dots, n\}$;

1) 获取 e_i 的位置 P ,以之为中心加 7×7 的搜索窗;

2) 搜索落在窗内的其他端点 $\{e_k | k = 1, \dots, h\}$;

3) 计算相似性测度 $d(e_i, e_k), \forall k = 1, \dots, h$;

4) 若 $d(e_i, e_k) \leq T_L$,则合并 e_i 与 e_k 所在线段对象,并重新计算合并后线段对象各特征;

5) 若 $i = n$,则结束,否则令 $i = i + 1$,转步骤1);

输出:合并后的线段对象集合 $\{I_j | j = 1, 2, \dots, m\}$ 。

图5展示的是用不同颜色染色线段对象得到的图4可视化效果图。

1.2.4 聚类线段对象

传统的基于像元的聚类方法,由于彩色图像样本数据量大,运算耗时难以实用,因此通常都会对图

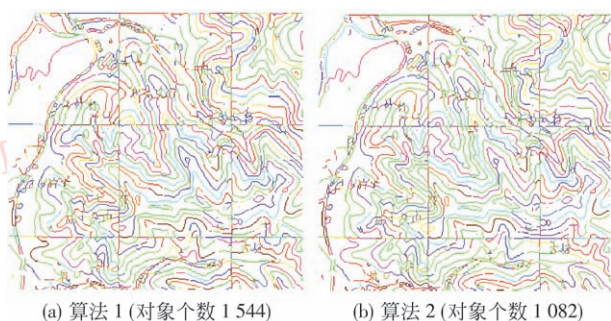


图 5 跟踪得到的线段对象及合并后的结果

Fig. 5 Results of tracking and combining procedures

像进行降维处理,将 3 维颜色空间降到 1 维,或是进行图像直方图统计,将颜色空间转换到统计空间,这样难免会丢失信息,影响分类结果。本文算法在聚类前已将众多像素先一步分割为线段对象,并进行合并,大大减少了样本数量,保证了聚类效率。

另外由于扫描彩色地图存在的颜色混淆和假彩色,即使经过色度空间转换,采用与视觉相近的彩色模型,聚类效果也不佳。研究表明,扫描彩色地形图的线状要素颜色在 RGB 空间中往往会呈长椭球状团聚^[7,10]。

如果采用球状的聚类分割,如图 6(a)所示(图中 D 为样本到类核的距离),当阈值取小时会漏掉椭球长轴方向上的本该属于该类的样本,而当阈值较大时又会把椭球短轴方向上不属于该类的样本误判其中,为此我们可引入高斯核函数,用高斯类核代替类心,如图 6(b)所示,高斯类核在 RGB 空间中能够很好地逼近线状要素长椭球状团聚的颜色分布^[10]。

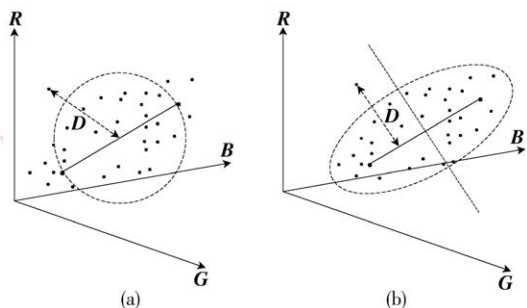


图 6 不同聚类方法逼近线状要素颜色分布比较

Fig. 6 Comparison of different clustering methods

高斯聚类线段对象的算法(算法 3)如下:

输入: 线段对象集合 $\{I_i | i = 1, 2, \dots, n\}$;

1) 导入初始类核: $K_{\text{Black}}^{(0)}, K_{\text{Brown}}^{(0)}, K_{\text{Blue}}^{(0)}$;

2) 在第 t 次迭代中,将线段对象集合 $\{I_i\}$ 中的线段对象逐个按最小马氏距离原则分划给 3 类 ($j = 1, 2, 3$) 中的某一类:

如果 $d_M(I_i, K_c^{(t)}) = \min_b [d_M(I_i, K_b^{(t)})], j = 1, 2, 3$

则判 $I_i \in \omega_c^{(t+1)}$

其中 $d_M(I_i, K_j^{(t)})$ 表示 I_i 和类 $\omega_j^{(t)}$ 的核心 $K_j^{(t)}(\mu_j^{(t)}, \varphi_j^{(t)})$ 的马氏距离;

3) 计算重新分类后的各类核

$$\begin{cases} \mu_j^{(t+1)} = \frac{1}{n_j^{(t+1)}} \sum_{I_i \in \omega_j^{(t+1)}} C_i \\ \varphi_j^{(t+1)} = \frac{1}{n_j^{(t+1)} - 1} \sum_{I_i \in \omega_j^{(t+1)}} (C_i - \mu_j^{(t+1)})(C_i - \mu_j^{(t+1)})' \end{cases} \quad (2)$$

式中, $n_j^{(t+1)}$ 为 $\omega_j^{(t+1)}$ 类中的样本数, C_i 为 I_i 颜色均值特征(见表 1),采用 RGB 颜色模型;

4) $\forall i = 1, 2, \dots, n, I_i$ 都没有改变类别,则结束算法,否则转步骤 2 继续进行迭代;

输出: 线段对象聚类结果。

在聚类前,通过抽取一定数量的 3 类线划要素(蓝、棕、黑)的颜色样本,由式(2)就可以估算得到初始类核,并且对于用相同扫描仪栅格化的同一系列彩色地形图,可以使用相同的初始类核,无须重复采样和估算。

图 7(a)所示为图 5 中线段对象经过高斯聚类后的分层结果。由于聚类以每个线段对象为处理单位,以整条线段对象的颜色特征来代替单个像素的颜色,使混淆色的影响大大降低。分类结果为整条线段对象中的所有像素都归属于同一类,这样就不会出现基于像素聚类方法中一条线上存在许多断裂或毛刺的现象。图 7(b)是以(a)为骨架,按细化相逆的过程,对图 2(c)中其他像素分类的结果,仅供参考比较。

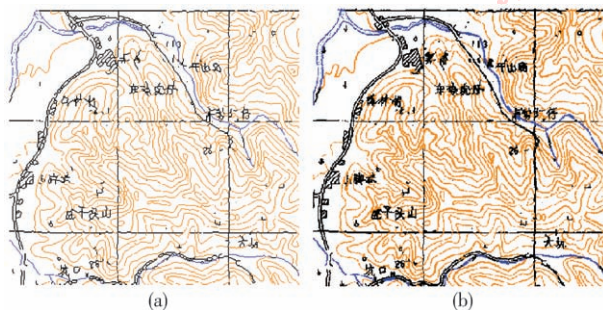


图 7 线段对象高斯聚类结果

Fig. 7 Result of Gaussian clustering

1.3 普染区分层

经过阈值分割得到出的普染区,主要是由绿色植被、蓝色湖泊水系和部分发生颜色混淆的线划要素杂色组成。要实现普染区分层将面临以下3个困难:1)在地图印刷时,普染区并不是实填充区域,而是以类似阴影的方式喷印上去的,因此是由颜色不一的密集散乱点组成;2)同样由于印刷和扫描的原因存在着颜色混淆和假彩色;3)重叠在普染区上的要素被分离后,在普染区上留下许多空缺。

基于上述原因,采用传统的彩色图像分割方法得到的结果往往十分零碎,是典型的“椒盐”图像(图8(b)),即使之后再通过相关算法来修补^[5],也会遇到填充内部空白以及保持区域边界形状的难题。

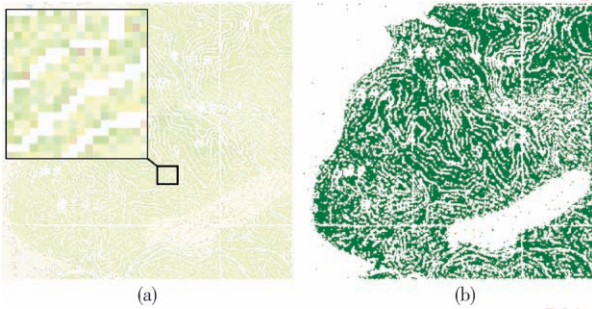


图8 普染区局部放大图及传统分割结果图
Fig.8 Magnification of area elements and result of pixel-based segmentation

1.3.1 普染区对象化与特征选取

本文算法采取先将普染区分割为一个块,以块对象为特征提取和分类单元。这样一来,可将块对象内部的所有像素视为一个整体,极大减少了内部空缺点、颜色混淆点对分类的影响,保证了普染区分层结果的内部填充,并且还可利用对象间的拓扑关系来确定普染区的边界,确保其形状。

在初始对象化普染区时,先将整幅地形图均匀分割成大小为 $w \times w$ 的方块,每一块为一个对象。块对象可提取的特征有颜色特征(包括均值、方差等)、结构特征(包括紧凑度、中心偏离度、邻域拓扑等),还有纹理特征(包括密度、对称性等)。同样在平衡分层效果和运算效率后,选取一组普染区块对象特征组合。

设某块对象为 $M = \{p_i | i = 1, 2, \dots, w^2\}$, 像素 p_i 的 RGB 颜色为 $c_i(r, g, b)$, 定义如下颜色变量组合 $c_i^*(u_r, u_g, u_b)$:

$$\begin{cases} u_r = 255 - (r + g + b) / 3 \\ u_g = (2g - r - b) / 4 \\ u_b = (2b - r - g) / 4 \end{cases}$$

设块对象内所有属于绿色的像素集合为 G , 蓝色像素集合为 B , 已分离的线划要素像素集合为 E , 像素个数分别为 n_g, n_b, n_e 。某个像素 p 属于绿色或蓝色像素集合的判断规则定义如下:

$$\begin{cases} \text{若 } g > b \text{ 且 } g > r \text{ 则 } p \in G \\ \text{若 } b \geq g \text{ 且 } b > r \text{ 则 } p \in B \end{cases}$$

表2中列出了要提取的普染区块对象的特征。

表2 普染区块对象特征组合

Tab.2 The feature set of area object

颜色特征	颜色均值 $C^*(\bar{u}_h, \bar{u}_g, \bar{u}_b)$	$C^* = \frac{1}{w^2 - n_e} \sum_{p_i \in M-E} c_i^*$
空间特征	绿色点比例 V_g 蓝色点比例 V_b	$V_g = n_g / (w^2 - n_e)$ $V_b = n_b / (w^2 - n_e)$

定义以下两个测度:

$$\begin{cases} W_G = w_1 \times \bar{u}_h + w_2 \times \bar{u}_g + w_3 \times V_g \\ W_B = w_4 \times \bar{u}_h + w_5 \times \bar{u}_b + w_6 \times V_b \end{cases} \quad (3)$$

W_G 为绿值测度,值越大块对象归类为绿色普染区的可能就越大; W_B 为蓝值测度,值越大越有可能归为蓝色普染区。块对象 M 的类别用符号 m 表示,其取值为0-未分类,1-白色,2-绿色,3-蓝色,4-待定这5种。可以通过下列算法(算法4)来判定一个普染区块对象的类别,其中 T_1, T_2, T_3 为给定阈值。

输入:待分类块对象 M ;

- 1)按式(3)计算 M 的特征测度值 W_G, W_B ;
- 2)若 $W_B + W_G < T_1$ 则 $m = 1$;
- 3)否则,若 $W_G - W_B > T_2$ 则 $m = 2$;
- 4)否则,若 $W_B - W_G > T_3$ 则 $m = 3$;
- 5)否则 $m = 4$;

输出: M 的分类结果 m 。

1.3.2 分类普染区块对象

在对普染区对象化时,有一个比较突出的问题是对象块大小的选择问题。分块过大,会造成边界明显的“块效应”并且可能导致同一对象块内含有若干类不同的图元,造成分析结果不明确;分块过小,会使混淆颜色及内部空缺对分类影响加大,造成结果“椒盐”现象变严重。为此采取多分辨率的分块策略,其基本原理是先采用较大的分辨率分块,以保证普染区内部的填充,然后寻找区域的边界块,选

代减小边界块分辨率,逐次细分出普染区的边界。面向对象的多分辨率普染区分层算法(算法 5)如下:

输入: 普染区要素图 I ;

1) 等分 I 为 k 个 $w^{(0)} \times w^{(0)}$ 的块对象 $M_i^{(0)}$ ($i = 0, 1, \dots, k$), 将它们指定为待分类;

2) 在第 t 次迭代中, 按算法 4 提取待分类块对象特征并分类;

3) 按算法 6 判断边界块和孤立块;

4) 若 $w^{(t)} < 2$ 结束, 否则令 $w^{(t+1)} = w^{(t)} / 2$, 将边界块 4 等分为 $w^{(t+1)} \times w^{(t+1)}$ 大小的下一级块对象 $M_j^{(t+1)}$ ($j = 1, 2, 3, 4$), 将它们设为待分类, 令 $t = t + 1$, 转步骤 2);

输出: 普染区块对象分类结果。

我们可以根据块对象的邻域信息判断它是处于普染区内部还是边界, 具体算法(算法 6)如下:

输入: 已分类块 M_0 , 及它的四邻域块 M_i ($i = 1, 2, 3, 4$);

1) 若存在 $m_i \neq m_j$ ($i, j = 1, 2, 3, 4$) 则 M_0 为边界块, 令 $m_0 = 0$;

2) 否则, 若 $m_0 \neq m_i$ 则 M_0 为孤立块, 令 $m_0 = m_i$;

3) 否则 M_0 为内部填充块, 不做处理;

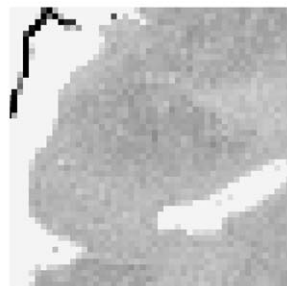
输出: M_0 的分类结果。

图 9 所示为图 2(d) 用本文算法 3 次迭代分类过程, 为了能看清块对象, 图中块的颜色同其主要测度 W_c 或 W_b 直接相关, 测度值越大饱和度越高。从分层结果可以看出, 得到的普染区内部完整填充; 当分块较大时, 边界的“块效应”明显, 随着迭代细分, 边界逐渐变得精细平整。

2 实验结果及讨论

为证明算法的有效性, 将本文算法应用于实际彩色地形图分层, 进行了大量实验。图 10—12 为 1:100 000 彩色地形图 4 个样本的分层结果, 样本扫描分辨率为 300 dot/inch, 从实验结果来看, 分层效果还比较理想, 不过还存在以下一些问题需要后续研究改进:

1) 在第一步分离线划要素和普染区背景时(见 1.1 节), 由于颜色混淆和偏色的存在, 简单的阈值分割难免留下杂色, 但对象的特征是建立在对象内所有像素点上的, 因此少量混淆色对分层影响不大。



(a) 迭代次数 1 (块大小 8×8)



(b) 迭代次数 2 (块大小 4×4)



(c) 迭代次数 3 (块大小 2×2)

图 9 普染区分层多分辨率迭代过程

Fig. 9 The iterative process of multi-resolution segmentation

不过, 由污渍或图纸发黄留下的大量噪点, 对分层会带来一定影响, 见图 11 中红色圈。

2) 分层线划要素时, 细化操作将所有非白彩色像素都看做相同的有效像素(见 1.2.1 节), 因而在不同颜色要素密集重叠处, 都被细化为单像素宽, 这样就丢失了要素的一些结构信息, 造成难以复原, 尤其是短线划的文字, 这时需要结合其他算法来修正结果, 见图 10 的红色圈。

3) 在对象化普染区时, 如果初始块较大, 会导致普染区中较小的孔洞被填充, 初始块太小, 又会导致其他区域出现不该有的空洞, 见图 12。通过实验我们发现不同颜色普染区的孔洞尺寸大小各异, 因此应采用不同的初始块大小。

目前国内外还没有一种完全意义上的全自动地图数字化工具, 本文算法能够实现自动对地形图进行分层, 但仍难保证结果完全准确, 需要后续的断线连接、粘连处理等修补工作, 才能成为 GIS 中可直接使用的矢量数据。

由于分层结果是以对象的方式给出的, 含有丰富的语义信息, 因此可利用对象的特征进一步分层, 如利用线段对象的线宽特征可从棕版图中进一步分离计曲线和首曲线; 利用线段对象的方向、曲直特征可以从黑版图中分离经纬线等等。这就意味着,

基于面向对象方法,可以建立不同尺度的分类层次。分类时先在大尺度上分出“父类”,再根据实际需要,对感兴趣的地物在小尺度上定义特征,分出“子

类”。由于“子类”继承“父类”的特征,分离“子类”只需要运算它有别于“父类”的特征,可减少运算冗余和复杂度^[17]。

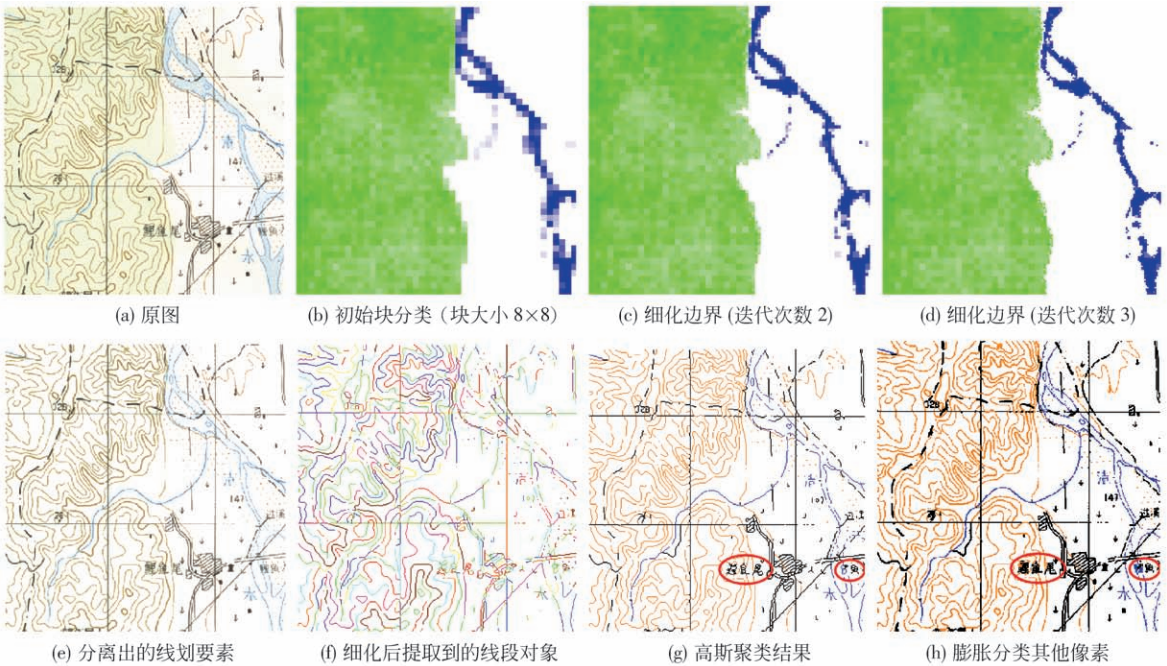


图 10 地形图样本 1 的分层结果
Fig. 10 Segmentation result of example 1

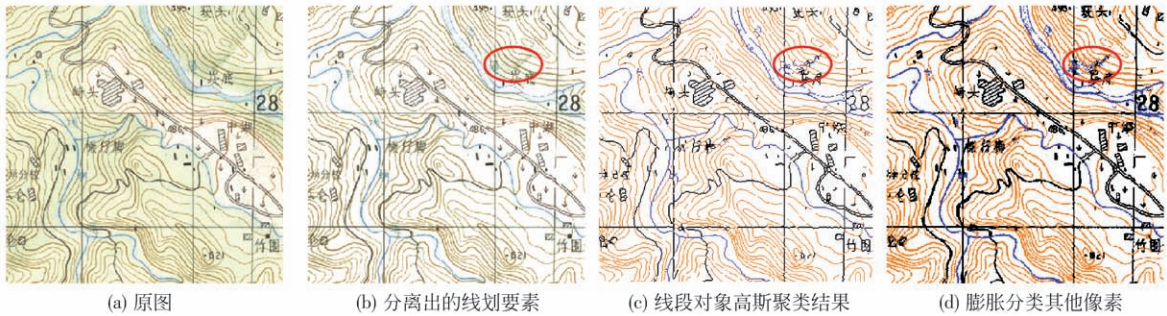


图 11 地形图样本 2 线划要素的分层结果
Fig. 11 Segmentation result of linear elements in example 2

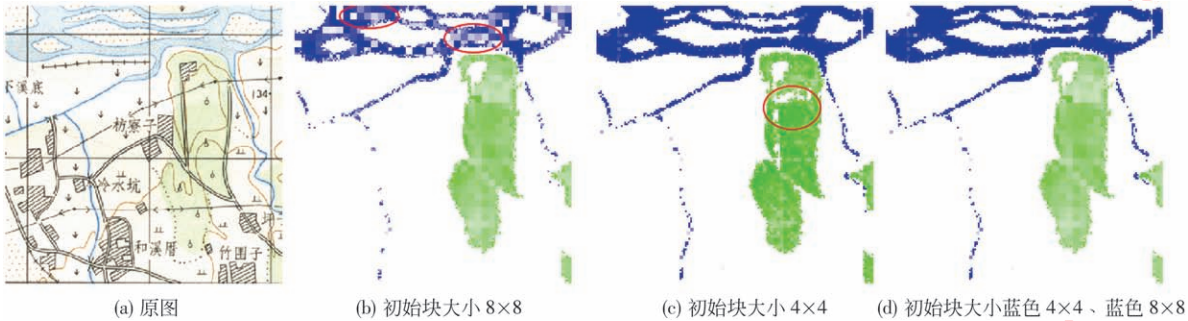


图 12 地形图样本 3 普染区的分层结果
Fig. 12 Segmentation result of area elements in example 3

3 结 论

与传统的基于像元的分层方法不同,面向对象的分层方法先将像素组织成有意义的对象,综合考虑了各对象的颜色、形状、空间关系等特征,通过定义特征的组合,指定不同权重,建立分类标准,来实现地形图的自动分层。该方法能有效克服扫描彩色地形图的颜色混淆和假彩色影响,抑制“椒盐”现象的发生;分层后的单版图,线条完整连通,区域饱满且边界清晰;分层结果含有丰富语义信息,十分有利于进一步分析和处理。

参考文献 (References)

- [1] Leberl F, Olson D. Raster scanning for operational digitizing of graphical data [J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 1982, 48(4):615-627.
- [2] Amin T, Kasturi R. Map data processing: recognition of lines and symbols [J]. Optical Engineering, 1987, 26(4):354-358.
- [3] Feng Yucai, Song Enmin. An algorithm to gather colors from image of color maps [J]. Journal of Software, 1996, 7(8): 466-470. [冯玉才, 宋恩民. 彩色地图图象的聚色算法研究 [J]. 软件学报, 1996, 7(8): 466-470.]
- [4] Ebi N, Lauterbach B, Anheier W. An image analysis system for automatic data-acquisition from colored scanned maps [J]. Machine Vision and Applications, 1994, 7(3):148-164.
- [5] Huang Peizhi. Research on the segmentation of scanned color map [J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 1998, 27(4): 318-324. [黄培之. 实现彩色地图扫描数据自动分层的途径与方法 [J]. 测绘学报, 1998, 27(4): 318-324.]
- [6] Marcu R, Abe S. Color clustering using modified HSL space [C] // Proceedings of 4th Color Image Conference: Color Science, Systems, and Applications. Scottsdale, Arizona, USA: The Society for Imaging Science and Technology, 1996, 151-159.
- [7] Khotanzad A, Zink E. Contour line and geographic feature extraction from USGS color topographical paper maps [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2003, 25(1):18-31.
- [8] Qian Jing, Chen Yang, Wang Runsheng. A study of contour lines extraction from color scanned topographical maps [J]. Journal of Image and Graphics, 2006, 11(10):1443-1450. [钱静, 陈洋, 王润生. 彩色扫描地形图等高线提取方法的研究 [J]. 中国图象图形学报, 2006, 11(10):1443-1450.]
- [9] Chen Yang, Wang Runsheng, Qian Jing. Extracting contour lines from common-conditioned topographic maps [J]. IEEE Transactions on Geosciences and Remote Sensing, 2006, 44(4): 1048-1057.
- [10] Chen Hong, Tang Xiaolan, Yang Yaoming, et al. Extracting contour lines from scanned military topographical maps [J]. Journal of System Simulation, 2009, 21(7):1954-1958. [陈鸿, 汤晓安, 杨耀明, 等. 扫描军事地形图等高线的自动提取 [J]. 系统仿真学报, 2009, 21(7):1954-1958.]
- [11] Wu J, Yan H, Chalmers A. Color image segmentation using fuzzy clustering and supervised learning [J]. Electronic Imaging, 1994, 3(4):397-405.
- [12] Zheng Huali, Zhou Xianzhong, Wang Jianyu. Research and implementation of automatic color segmentation algorithm for scanned color maps [J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2003, 15(1): 29-33. [郑华利, 周献中, 王建宇. 彩色扫描地图的自动分色算法研究及实现 [J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2003, 15(1): 29-33.]
- [13] Spinello Salvatore, Pascal Guitton. Contour lines recognition from scanned topographic maps [J]. Winter School of Computer Graphics, 2004, 12(3):419-427.
- [14] Zheng Huali, Zhou Xianzhong, Wang Jianyu. Automatic color segmentation of topographic maps based on the combination of spatial relation information and color information [J]. Journal of Image and Graphics, 2003, 8(A)(3): 334-340. [郑华利, 周献中, 王建宇. 空间关系信息和颜色信息相结合的地形图分层算法 [J]. 中国图象图形学报, 2003, 8(3): 334-340.]
- [15] Guo Ling, Wang Xiaolan, Zhou Xianzhong. Automatic Segmentation of color map images based on color and structure features [J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2003, 15(12): 1463-1467. [郭玲, 王晓兰, 周献中. 结合颜色特征和结构特征的彩色地图分层算法 [J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2003, 15(12): 1463-1467.]
- [16] Xin Dongjun, Zhou Xianzhong, Shi Yingchun. Extraction algorithm of contour lines based on generalized gradient vector flow snakes model [J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2006, 18(7): 982-987. [辛动军, 周献中, 史迎春. 基于梯度矢量流主动轮廓模型的等高线提取算法 [J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2006, 18(7):982-987.]
- [17] Benz U C, Hofmann P, Willhauck G, Lingenfelder I, Heynen M. Multi-resolution, object-oriented fuzzy analysis of remote sensing data for GIS ready information [J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2004, 58(3-4): 239-258.
- [18] Cheng H D, Jiang X H, Sun Y, et al. Color image segmentation advances and prospects [J]. Pattern Recognition, 2001, 34(12): 2259-2281.