

空间关系信息和颜色信息相结合的地形图分层算法

郑华利 周献中 王建宇

(南京理工大学自动化系, 南京 210094)

摘要 在对地形图图象颜色进行误差分析的基础上, 指出目前在地形图分层算法设计中, 由于仅考虑地形图色彩信息而存在许多不足, 因此提出了地形图像素空间关系信息的概念, 并讨论了像素空间关系信息的提取方法, 进而给出一个将地形图像素的空间关系信息与颜色信息相结合, 以实现彩色地形图分层的新算法。实验表明, 此算法可有效抑制地形图图象的颜色误差和提高分层的精度, 从而为地形图的分层识别及自动矢量化奠定了良好的基础。

关键词 计算机模式识别(520·2040) 地形图 空间关系信息 彩色空间 颜色分层 模糊聚类
中图法分类号: TP391.41 P284.9 **文献标识码**: A **文章编号**: 1006-8961(2003)03-0334-07

Automatic Color Segmentation of Topographic Maps Based on the Combination of Spatial Relation Information and Color Information

ZHENG Hua-li, ZHOU Xian-zhong, WANG Jian-yu

(Department of Automation, Nanjing University of Science & Technology, Nanjing 210094)

Abstract Based on the analysis of the color error in topographic map images such as transitional color and color distortion, the deficiency of available algorithms that only make use of color information in map segmentation is indicated. To get correct segmentation, the information in the map must be explored sufficiently. Simulating the integrated process of visual information abstracting, a novel concept of spatial relation information is defined. According to the feature of topographic map the distribution character of pixels relations in the image is analyzed and then proposes the method of how to recover spatial relation information. By the transformation of color spaces and the improved fuzzy clustering algorithm the color of pixels in the map is evaluated with different membership degree. At last spatial relation information and color information is combined in the segmentation of color map. As a result, color error in the map is restrained effectively. The experiments show that the proposed algorithm achieves robust and precise segmentation. Furthermore, the algorithm can recognize some elements in topographic map directly. It has established a fine basis for automatic vectorization of color topographic maps and introduces a new approach for image analysis.

Keywords Topographic map, Spatial relation information, Color space, Color segmentation, Fuzzy clustering

0 引言

地形图的自动识别, 是图象分析及模式识别领域的一个重要课题。从方法上来看, 由于一般是通过彩色地形图的分色处理先得到二值化分版图, 再用数学形态学、神经网络、模板匹配等方法对地形图中

的各要素进行识别, 因此首先要解决的就是彩色地形图的分色问题。

在地形图识别系统中, 生成一幅高质量的地形图图象是正确提取地形图信息的保证, 但经扫描输入的地形图图象都会出现杂色、失真等颜色误差, 即地形图图象质量存在一定问题。而以往的地形图分层算法又都是仅仅针对地形图像素的颜色信息^[1~6]来进行

识别,文献[7]也只是提出一种将地形图颜色进行分层后,再用数学形态学进行修正处理的串行算法。由于地形图图象颜色误差的存在,使得这些算法在实际应用中的效果还有待提高。同以往的算法不同,本文算法在分析扫描地形图颜色误差的基础上,对地形图进行分色时,并不仅仅针对地形图的颜色信息,同时还充分利用地形图像素的空间关系信息。这种并行处理方法能显著地克服地形图扫描图象所产生的误差,从最终分层的效果来看,是比较成功的。

1 地形图图象的颜色误差分析

地形图图象颜色误差的产生主要有以下几个原因:一是由于印刷工艺的限制,地形图本身就存在一定的误差,如地形图要素的重叠(尤其是普染区和分界线)、套色误差以及地图在保存过程中的不均匀褪色等;二是由扫描仪滤光片的理想透光率和实际透光率之间的误差和图象的边缘效应所引起的扫描颜色失真,如将一幅4色的彩色地形图输入计算机后,得到的真彩色图象会出现成千上万种不同的色彩值;而且一份地形图的像素点在Lab彩色空间中,向 a 、 b 色彩平面的投影是一块连续的近似圆形的区域,并非是棕、绿、蓝等分布明显的3种主要色彩;另外,由于地形图中,线状要素占很大比重,因此在线状要素的边沿将产生特别多的过渡颜色及失真色彩。这些误差对地形图识别带来的困难主要表现在:

(1) 由于大量过渡色彩的存在,干扰了地形图上各主色彩的统计特性,致使图象直方图的峰谷特性不再明显,甚至会出现过渡色彩覆盖地形图主色彩峰值的现象,所以某些直接基于地形图色彩统计特性的分层算法^[2~6]效果不太好。

(2) 使地形图要素的色彩区分更加模糊,特别是地形图上线状要素的宽度较小,如对于扫描分辨率为300dpi地形图,线宽一般为2~5pixels。这种色彩的模糊会引起线状要素的断线和粘连,尤其是在等高线较密的区域。

(3) 由于颜色失真现象的存在,同一种颜色可能代表不同的要素层,因此会产生要素的误识别。比如扫描仪滤光片对光线的散射作用,使黑色线状要素产生的蓝色及棕色边缘,会被误认为是水系或等高线。

由以上分析可以看出,地形图的分层算法必须充分考虑各种误差的影响,而直接基于地形图各种色彩的统计特性或单单考虑地形图的颜色信息就不

能获得正确的水地形图分层结果。

2 地形图像素空间关系信息的提取

2.1 地形图像素空间关系信息

尽管地形图图象有各种误差存在,但人之所以可以清楚地分辨出地形图上的不同色彩,主要是因为人眼有一定的视野,可对地形图上的各点所表达的信息通过聚合后进行综合判断,所以一定量的噪声和色彩误差对其不构成影响,但图象的计算机识别只能基于对各个像素的处理。为了提高地形图上颜色分层的准确性,必须充分挖掘像素本身所具有的信息。

为此,本文提出了地形图像素空间关系信息的概念。从信息论的角度来看,地形图图象由大量不同 R 、 G 、 B 值的像素组合而成,这些像素在分布上有其内在规律,正是这种规律性表达了地形图本身所具有的各种信息,例如,像素在组合成点、线、面时,除了在颜色上具有相似性外,还有其空间分布上的规律,而这种规律体现的就是地形图像素的空间关系信息。一般图象像素的空间关系,其表现的像素点及其邻域之间的联系常用梯度表示。具体到地形图像素的空间关系信息,可根据其特点,在梯度的基础上进一步分析,最终得到该像素在其所表示的地形图要素中的位置信息。由于在地形图图象中,各要素的中心区域相对于周边区域来说,灰度最大,所以可直接基于灰度图对像素的空间关系信息进行提取,本文则按照灰度值的差异,将地形图上的各点分为峰点、谷点、平坦点等(图4)。比如坡点像素一般在地形图要素的边缘位置,峰点像素一般位于地形图的线状要素(如等高线、道路等)的中心线处,对于块状居民地、湖泊等面状要素则以平坦点为主。由此可见,对地形图像素空间关系信息的提取,可以看作是相对于像素颜色信息分类的另一种地形图像素分类方法。

这里需要指出的是,地形图像素空间关系信息只是基于像素级空间分布规律的分析,对于地形图上的点、线、面等形状要素仍有其分布规律,在此不做进一步探讨。

2.2 地形图像素空间关系信息的提取

根据灰度图象地形结构特征的分析^[8],对地形图空间关系信息提取方法进行适当改进后,其提取的步骤如下:

(1) 计算相邻像素的梯度值

在地形图上某一像素周围加一 3×3 大小的窗,

得其8邻域像素(图1),可按下式计算出其相邻像素的梯度值

$$m_i = \frac{\Delta f_i}{d_i} \quad (1)$$

式中, Δf_i 为相邻像素灰度差值, d_i 为相邻像素的距离.

其中

$$\Delta f_i = \begin{cases} f(P) - f(P_i) & \text{when } i=0,1,2,3 \\ f(P_i) - f(P) & \text{when } i=4,5,6,7 \end{cases} \quad (2)$$

$$d_i = \begin{cases} 1 & P_i \text{ 点为水平或垂直方向} \\ \sqrt{2} & P_i \text{ 点为对角方向} \end{cases} \quad (3)$$

$f(P)$ 表示像素 P 点的灰度值,其梯度的方向如图2所示.

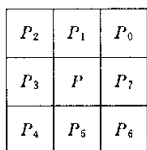


图1 P 点的8邻域像素

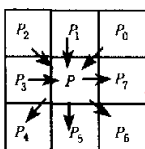


图2 梯度的方向

(2) 计算梯度的导数

P 点在水平、垂直、右对角线、左对角线4个方向的导数如下:

$$m'_H = m_7 - m_3; m'_V = m_5 - m_1; m'_R = m_6 - m_2; m'_L = m_4 - m_0 \quad (4)$$

实际上, P 点4个方向的导数为 P 点的8邻域像素的灰度矩阵与以下4个模板的卷积(图3):

$$m'_k = f * L_k \quad k = H, V, R, L \quad (5)$$

其中, f 为像素 P 周围 3×3 灰度矩阵.

0	0	0
-1	2	-1
0	0	0

(a) 水平方向 L_H

0	-1	0
0	2	0
0	-1	0

(b) 垂直方向 L_V

$\frac{-1}{\sqrt{2}}$	0	0
0	$\sqrt{2}$	0
0	0	$\frac{-1}{\sqrt{2}}$

(c) 左对角线 L_L

0	0	$\frac{-1}{\sqrt{2}}$
0	$\sqrt{2}$	0
$\frac{-1}{\sqrt{2}}$	0	0

(d) 右对角线 L_R

图3 4个方向模板

(3) 判断像素梯度变化的主要方向

像素梯度变化的主要方向是指水平-垂直方向及左对角-右对角方向两种, 如果 $\|m'_H - m'_V\| \geq \|m'_R - m'_L\|$, 则梯度变化的主要方向为水平-垂直方向, 反之则为左对角-右对角方向.

为了避免在下一步中把起始点、终点等误识别为峰点、谷点, 可对梯度变化的主要方向做以下修正, 若在某一方面, 梯度呈单调增加或下降, 并且梯度的导数在各方向中为最小, 则梯度变化的主要方向要旋转 45° , 否则为原方向.

(4) 对像素进行分类

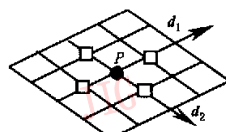
设 d_1 和 d_2 为像素 P 梯度变化的主要方向上的两个正交方向, 则对该像素的空间关系信息分类主要基于其两个正交方向的4个相邻像素进行计算, 同时把某方向上梯度由正变为负或由负变为正, 称为该方向的梯度有零点.

像素的空间特征定义如下:

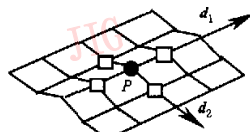
(1) P 点梯度在 d_1 和 d_2 方向上均无零点, 则 P 点为坡点(图4(a)).

(2) P 点梯度在某一方面有零点. 若在该方向上梯度由正变为负, 则 P 为峰点(图4(b)); 若由负变为正, 则为谷点(图4(c)).

(3) P 点梯度在两方向上均有零点. 若在两方向上梯度均由正变为负, 则 P 点为峰点(图4(d)),



(a) 坡点



(b) 峰点



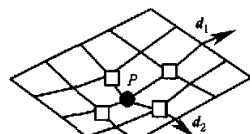
(c) 谷点



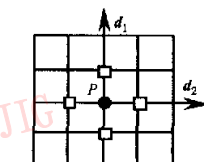
(d) 峰点



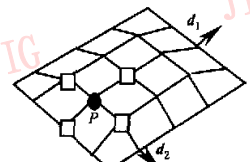
(e) 鞍点



(f) 凹点



(g) 平坦点



(h) 边界点

图4 像素空间关系信息分类示意图

若在两方向上梯度方向是由正变为负,另一方向是由负变为正,则 P 点为鞍点(图4(e));若两方向均由负值变为正值,则该点为凹点(图4(f)).

(4) 若 P 点各方向的梯度绝对值近似于零,则 P 点为平坦点(图4(g)).

(5) P 点在某一方向的梯度绝对值近似于零,而另一方向的梯度值从正变为零或由负变为零,则该点为边界点(图4(h)).

以上地形图像素的空间特征分类对应着以下信息:①峰点一般位于线状要素的中心线上,且该点的色彩一般较为纯正,为地形图上的典型色,其包含了地形图上主要信息;②坡点一般为线状要素或面状要素的边缘色,是地形图图像的扫描误差主要存在的地方,这些像素不但使直方图的峰谷特性不再明显,即增加了地形图分色的困难,而且会产生误识别的情况,比如在等高线密集的地方会出现粘连,而对黑色线状要素则会出现棕色和蓝色的边缘等;③谷点一般会出现在地形图要素邻近或相重合的地方;④鞍点的判断对于由地形图染色不均所造成的线状要素断点的识别具有重要意义,这是因为在线状要素较淡的地方,若只采用阈值识别则可能会产生断点,而此时一般会产生鞍部;⑤平坦点一般位于背景色或地形图要素中,色彩均匀纯正的区域,如块状居民地、湖泊等(地形图上的绿色普染区,实际上是较密集的绿色斜线).对于边界点一般为地形图上面状要素的边缘点,对边界点的判断有助于对面状目标的边缘形状的跟踪.

3 地形图的分层算法

地形图上的蓝、绿、棕等色彩具有相对性,不同的地形图在颜色上有差异,即便是同一幅地形图,不同的扫描设置得到的位图颜色也不同.由于人眼对地形图上的各种色彩的分辨也是基于对地形图上各颜色进行相对比较后得到的判断,具有一定的模糊性和相对性,所以本文在分色时,将根据地形图像素的空间关系信息进行分类,即首先将地形图上的各种边缘色彩及失真色彩去除;然后通过只对地形图上的各典型色彩进行模糊聚类来生成各色彩的模糊隶属度矩阵;最后再将像素的空间关系信息与颜色信息进行结合,即可得到地形图的各类分版图.

3.1 边缘色彩及失真色彩的去除

通过误差分析可知,地形图上各种色彩误差,如边缘及失真色彩大部分存在坡点像素中,而平坦点大部分为背景信息.由于一般情况下,峰点和峰点就已包含了地形图中黑、绿、蓝、棕等典型色,因此只对地形图上峰点和峰点像素等典型色彩进行聚色.下面以一1:5万军用地形图为例来说明边缘色彩及失真色彩的去除与否对其在Lab空间的直方图的影响.由图5可以看出,由于两种情况下的直方图,在形状上有明显变化,因此误差去除后,更有利于对地形图上的各色彩进行分离.而且这两种情况下的直方图聚类中心偏移也表明,直接对地形图上各颜色进行处理会出现的偏差.

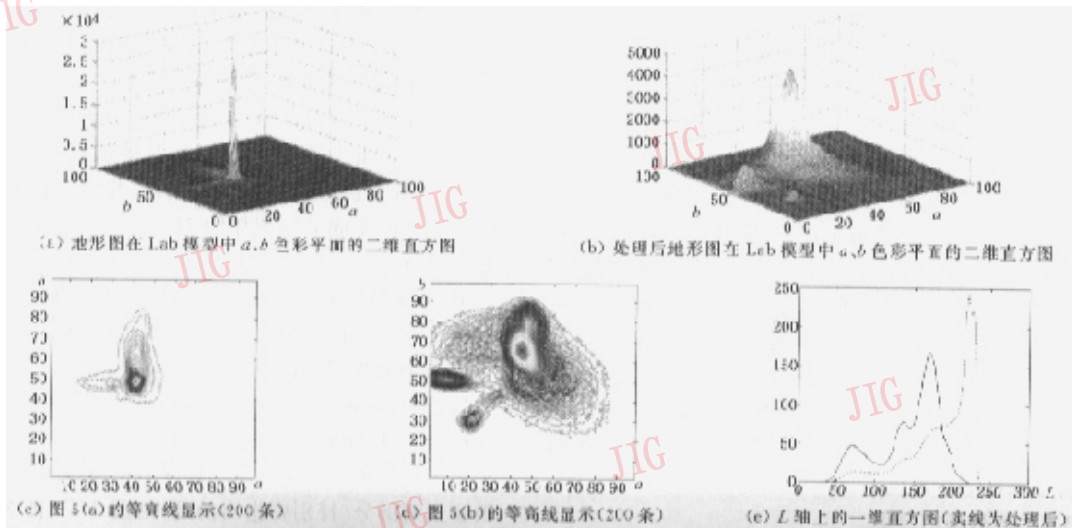


图5 边缘色彩及失真色彩的去除前后地形图在Lab空间的直方图

3.2 地形图色彩的聚类

由于地形图上像素的色彩分类有很大的模糊性,如在地形图要素重合的地方,很难明确地指明它属于哪一类,因此采用了模糊C均值(Fuzzy C-means)算法,该算法同K-means(HCM)聚类算法不同之处在于,并不是将模式分成明子集,而是求出每个模式属于各模类(cluster)的模糊隶属度^[9],这样做也符合人眼对颜色信息识别时的实际情况.为了使FCM算法适用于基于直方图的颜色聚类,可对FCM算法进一步改进.

3.3 彩色空间的选择

在进行彩色图象处理时,采用何种彩色空间是很重要的.在常用的色彩模型中,RGB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,使这两种模型均不适合进行直方图聚类.由于Lab模型为均匀色差的彩色空间,而且其色彩之间的欧氏距离同人眼对色彩的感觉一致,因此选用了Lab模型.由于任何一种彩色空间中的色彩均用三维向量表示,而一幅地形图图象的幅面很大,因此直接对地形图上各种色彩直接进行三维空间的聚类时,对计算机内存及运行时间的消耗是很大的,尤其是FCM算法还要生成三维的隶属度矩阵,其计算量更大.通过实践发现,单单根据Lab模型中的一种或两种向量进行聚类均难以保证分色精度,故提出了基于彩色空间转换的降维算法,这样就在保证精度的同时,减少了运算的难度.其具体做法是先按文献[10]方法将像素值转化到Lab空间,再将Lab模型进一步做如下变换

$$\begin{cases} C = (a^2 + b^2)^{1/2} \times L/100 \\ H = \tan^{-1}(a/b) \quad 0 \leq H < 360^\circ \end{cases} \quad (6)$$

其中,C与色差相关,可称之为彩度,对于黑白两色来说,其值为0;H与色调相关,可称之为色度,对于红、绿、蓝三原色,其值约为30、317、154.由于在地形图图象中,黑色具有色度小、明度小的特点,而各彩色则具有明度及彩度均较大的特点,所以可把变量L、C结合起来进行聚类,其二维直方图如图6所示.由图6可以看出,由于此时其二维直方图的峰谷特性更加明显,两个峰值分别表示黑色、彩色,所以可以首先根据L、C二维直方图进行聚类来得到黑色像素的聚类中心,然后再按照Lab模型中a、b直方图来区分各彩色.

3.4 地形图的分色

通过模糊聚类算法及彩色空间转换来得到像素

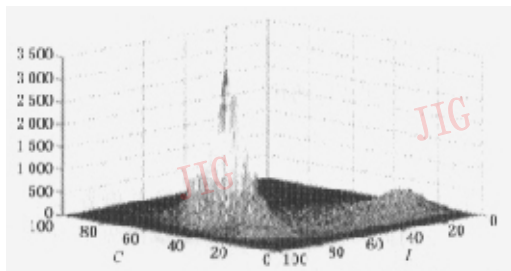


图6 地形图图象在L、C平面上的二维直方图

的颜色分类后,再将像素的空间关系信息与颜色信息的判断相结合,以实现四色混合的原始地形图的分层,这样做,一方面提高了地形图分层的精度,另一方面在分层的同时,完成了对某些地形图要素的识别.

黑色的平坦点:独立房屋和铁路中的黑色线段;

黑色峰点+鞍点+峰点+相邻的坡点:地形图注记+道路(公路除外)+地形图符号;

棕色平坦点:带状公路;

棕色峰点+鞍点:等高线;

蓝色平坦点:湖泊、海洋、双线河流蓝色普染区;

蓝色边界点:湖泊外轮廓;

蓝色峰点+鞍点+相邻的坡点:线状河流;

绿色峰点+鞍点+相邻的坡点:绿色植被.

4 实验结果分析

本文算法用于1:5万及1:10万大比例尺军用地形图的自动分色时,其效果均比较理想.图7(a)是一幅地形图图象比较典型的一部分,扫描分辨率为300dpi,该图象含有水系、植被、等高线等多种信息(原图为彩色,等高线为棕色,水系为蓝色,西北角及东南角两片绿色普染区为植被,居民地注记为黑色).由于等高线很密,而且绿色普染区范围较大,各种颜色的过渡比较模糊,因此识别较困难.该图像素的空间立体图如图7(b)所示.由图7(d)、图7(e)和图7(f)、图7(g)的对比以及图7(h)可以看出,本文算法对像素的判断之所以抗噪声能力强,能够避免色彩误差的影响,这主要是因为本文算法能够基于色彩明显的典型色来对峰点、鞍点进行判别后,再对容易造成误识别的色彩进行空间位置及颜色的双重判断的缘故.其中,图7(d)可进一步分为由黑色的平坦点所表示的块状居民地和黑色的线状要素两部分.特别要指出的是,由图7(f)、图7(g)的对比可以看出,本文算法对密集等高线的识别有

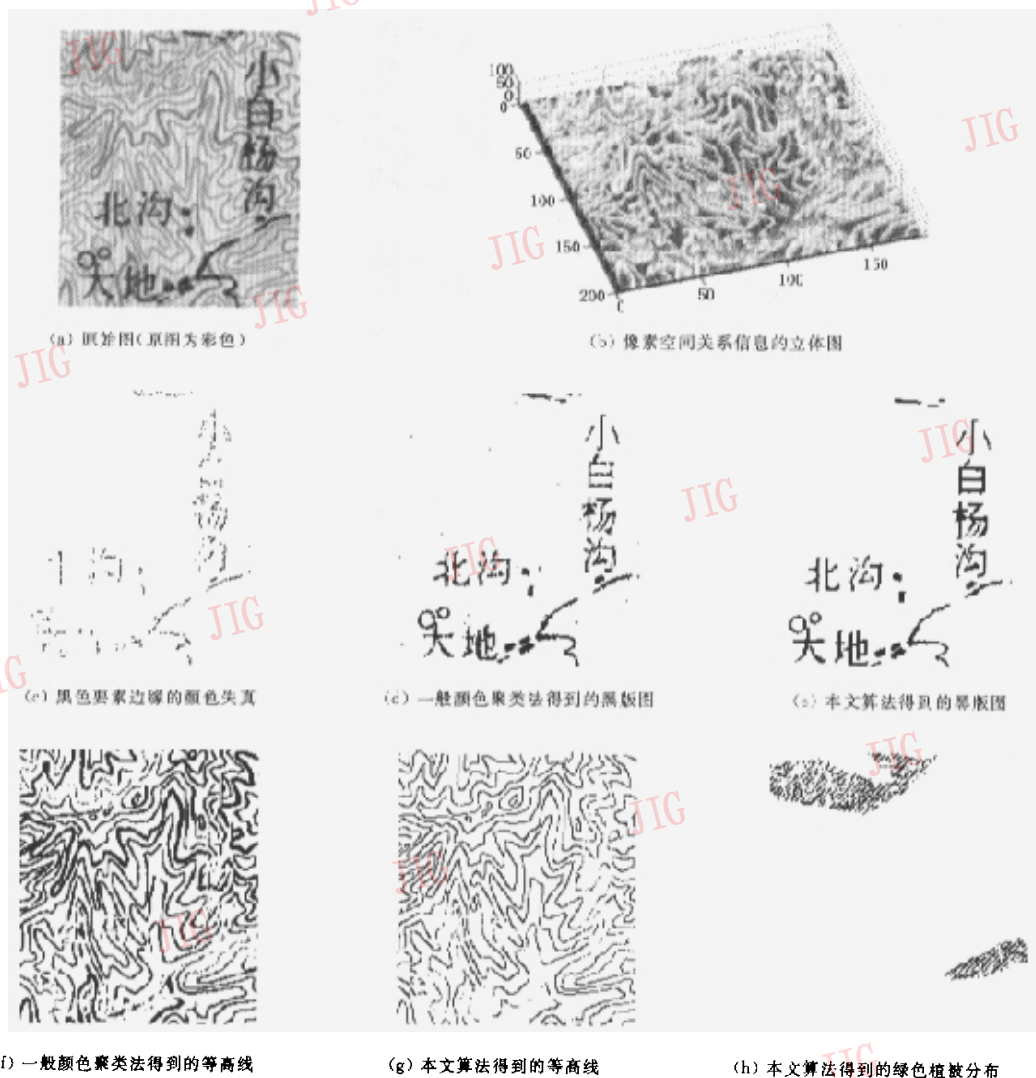


图7 实验结果

重要意义,算法在减少等高线粘连的同时,也减少了由颜色不均以及要素重叠所造成的断点,而且得到的结果基本上由宽度为一像素的曲线组成,这样对其可以直接进行跟踪矢量化。由图7(h)可以看出,其对要素重叠较多的绿色植被的识别效果也很好。

5 结 论

本文的指导思想就是模拟人眼对地形图进行识别时的信息综合过程,即将地形图像素的空间及颜色信息结合,并运用FCM聚类方法对其进行模糊

分析,以实现地形图的自动分层。实践证明,该方法不仅提高了地形图分层的精度,收到了很好的效果,也为地形图的识别提出了一种新的思路及方法。另外,对于地形图像素空间关系信息的利用还有很大的潜力可挖,比如对于地形图要素重叠部分像素的空间及颜色特征的研究、如何不进行分色而直接对地形图要素进行识别,以充分利用原图的各种信息等等还有待进一步研究。

参 考 文 献

- 1 黄培之. 实现彩色地形图扫描数据自动分层的途径与方法[J].

测绘学报, 1998, 27(4): 318~325.

- 2 黄文骞. 彩色地形图图象的自动分色[J]. 武汉测绘科技大学学报, 1998, 23(3): 219~222.
- 3 栗海华, 王睿斌. 彩色地形图分色算法及其实现[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 1999, 11(5): 395~398.
- 4 王西林, 张德. 彩色扫描地形图自动分色系统中彩色识别问题的探讨[J]. 郑州测绘学院学报, 2000, (3): 60~63.
- 5 张星明. 彩色图件的分层算法研究[J]. 计算机学报, 1999, 22(7): 703~707.
- 6 Kehtarnavaz N. Color image segmentation using multi-scale clustering [A]. In: Proceedings of the IEEE Southwest Symposium on Image Analysis and Interpretation Image Analysis and Interpretation[C]. Tucson, USA, 1998, 2: 142~147.
- 7 王思远, 张增祥. 基于色彩理论与数学形态学的彩色地形图自动分层研究[J]. 测绘通报, 2001, (10): 7~10.
- 8 Connolly C. A study of efficiency and accuracy in the transformation from RGB to CIELAB color space[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1997, 6(7): 1046~1048.
- 9 Seong Whan. Direct extraction of topographic features for gray scale character recognition[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1995, 17(7): 724~729.
- 10 Shen Y, Shi H. Improvement and optimization of a fuzzy C-means clustering algorithm[A]. In: Proceedings of the IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference[C]. Budapest, Hungary, 2001, 3: 1430~1433.



郑华利 1976年生, 南京理工大学博士研究生. 主要研究方向为图象分析、军用地形图的自动识别.



周献中 1962年生, 南京理工大学教授, 博士生导师. 主要研究方向为信息系统工程、智能信息处理.



王建宇 1964年生, 南京理工大学副教授, 博士研究生. 主要研究方向为计算机图形与图象处理、虚拟现实技术.