

彩色扫描地形图中等高线提取方法的研究

钱静 陈洋 王润生

(国防科技大学电子科学与工程学院 ATR4 室,长沙 410073)

摘要 提出了一种从彩色扫描地形图中提取等高线的方法,重点研究并解决等高线的断裂问题。其中,在地形图彩色分割方面,采用本征向量拟合算法计算各类地图符号(包括等高线)样本的颜色特征,以用于克服地形图在扫描过程中出现的颜色混淆和错误现象。在等高线断裂连接方面,提出了针对不同原因造成的断裂用不同的方法连接,并利用线状符号灰度分割结果来改善等高线彩色分割结果的方法。一方面对一些有代表性的地形图样本的提取结果进行了定性描述,另一方面则将该方法用于1:5万国家标准地形图上等高线的提取,通过对结果的定量评价表明,该方法具有一定的实用性。

关键词 地形图 地形图分割 等高线提取

中图法分类号: TP391.41 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-8961(2006)10-1443-07

A Study of Contour Lines Extraction from Color Scanned Topographical Maps

QIAN Jing, CHEN Yang, WANG Run-sheng

(ATR4, School of Electronic Science & Engineer, National University of Defense Technology, Changsha 410073)

Abstract Contour lines are the most important features to characterize three-dimensional terrain on two-dimensional map sheets. Different from a well-conditioned map, aliasing and false colors in the scan of a common-conditioned map are so serious that when to segment contour lines from it, many gaps due to contour lines intersecting and overlapping with other features become more intricate. In this paper an effective method for extracting contour lines from color scanned topographical maps is proposed. It focuses on reconnecting gaps of contour lines. In topographical maps segmentation, an eigenvector-fitting algorithm is used for computing the color keys of map features(include contour lines) and the phenomena of color-alias and color-misalignment are greatly reduced. In contour lines reconnection, linear features extracted from the gray version of the input color map are utilized to repair the contour lines segments extracted from the input color map. Unlike the existing methods, it introduces corresponding solutions for different cases of gaps in contour lines. Finally, some representative samples and national standard topographic maps with a scale of 1:50,000 are tested, and an evaluation scheme for the results is provided. The experiments indicate good applicability of this method in applications.

Keywords topographic map, map segmentation, contour lines extraction

1 引言

地形图是重要的信息形式,人们通过地形图可以获知大量的地理和地形信息。传统地形图一般为纸质图,但随着计算机技术在地理信息系统(GIS)、

城市规划、矿产资源开发等方面的应用发展,人们需要使用电子矢量地形图才能满足需求。快速方便地获取电子矢量地形图的一般过程是先用扫描仪将纸质地形图扫描成数字栅格图像,然后再将数字栅格图像转换成所需要的矢量图形,即称之为地形图矢量化。目前,具体操作方法是借助现有的工具软件

收稿日期:2005-05-23;改回日期:2005-10-24

第一作者简介:钱静(1979~),女。现为国防科技大学电子科学与工程学院硕士研究生。主要研究方向为图像分析、理解与信息融合。

E-mail: aimeeqian@yahoo.com.cn

(如国外的 ArcInfo、MapInfo 及国内的 MapGIS 等)进行半自动人工矢量化,其工作量是相当巨大的。因此人们对地形图自动矢量化方法展开了大量研究,而其中作为地形图主要元素的等高线的自动提取与识别尤为重要,它是生成 DEM 数据的主要方法。等高线是以平均海平面为基准面,将高程值相等的地面上的点连接成闭合的曲线,以表示 3 维地形信息,人们通过等高线可以判断地貌特征、斜坡坡度以及施行各种量算工作。

目前,用计算机从数字栅格地形图中提取完整的等高线面临着两个问题:第一,在扫描过程中,由于扫描仪点扩散函数与输入图像卷积^[1]的作用和扫描仪中 RGB 值的不匹配,导致扫描图像上的颜色产生偏差和错误,这给彩色分割带来了困难;第二,除等高线外,地形图上还包括大量的其他点、线、区域等地图元素,它们与等高线交叉或交叠造成等高线断裂。针对第一个问题,Kohtanzad^[1]深入分析了其产生的原因并提出用关键颜色集(color key set)技术来补偿偏移和错误的颜色;而大部分文献则侧重于解决等高线断裂的连接问题,这些连接方法大致分为两类:一类是基于图像的方法:如根据数学形态学理论,建立一个扇形的方向结构元素^[2],该方法针对等高线与高程值等文字交叉产生断裂的现象解决效果不错;采用线跟踪的方法来连通断裂的等高线^[3],该方法假设产生断裂处都只有一个后继点且沿着等高线当前的方向能找到该后继点,在断裂处取一个扇形区域搜索后继点。另一类是基于几何拓扑关系的方法:如在以矢量形式存储的数据中,采集每条线段的端点或特征点,构造三角网,通过恰当地选择网格的大小,就可以使所要寻找的连接点落在这个集合中,再检索集合中的所有点,判断、寻找到正确的连接点,并与等待连接的断点相连^[4];用基于 A* 算法^[5]的断点连接方法^[6],A* 算法的主要思想是找两点间最短路径,该类算法适合对短距离的断裂处连接,但断裂处较大时用该方法不符合要求。另外还有一些提高断线连接率的辅助方法,如利用计曲线和首曲线宽度不同这一知识将两类等高线分开,以减少干扰信息,对提高断线连接率有一定的作用^[7]。

纵观上述文献,他们所采用的实验样本质量相对较好,而实际应用中还存在大量质量一般甚至很差的地形图,在这些图上等高线断裂的原因更为复杂。本文针对这些质量一般的地形图,详细分析了

其造成断裂的各种原因,提出针对不同情况的断裂采用对应的方法进行连通。一般来说,造成等高线断裂的原因主要有 3 种:(1)等高线与其他地图元素交叉或交叠;(2)辅助等高线本身就是一种断线;(3)质量一般甚至较差的地形图存在信息缺失问题,加上在扫描过程中受颜色偏差和错误的影响,同一条等高线上的像素颜色不一致,从而在彩色分割中产生断裂,尤其是在等高线经过不同颜色的区域背景时情况更为严重。对于交叉造成的小缝隙,可以直接依据方向和距离准则直接连通或采用 A* 算法进行连接^[6];对于等高线与其他元素交叠造成的大缝隙或地形图上本身断裂的辅助等高线,可以用曲线重构^[3,8-10]的方法连接;而对于第 3 种断裂,利用从扫描地形图的灰度图像中提取的线状符号,来补偿彩色分割缺失的信息。

2 等高线提取方法

近年来,等高线自动提取工作取得了一定的进展,普遍认为提取过程需要 4 个处理步骤:(1)纸质地形图扫描成数字栅格地形图;(2)彩色分割得到二值结果图;(3)二值图像的细化、剪枝处理;(4)等高线断裂的连接。

彩色分割能将我们需要的特征(如等高线)和不需要的特征(如地形图中的其他信息,包括河流,字符等)分割开来,分割结果与图像的质量有很大的关系,而且会直接影响后面的处理过程。但由于采用的地形图质量一般甚至较差,扫描后的颜色混淆和错误现象比较严重,即使采用本征向量方法^[1]进行彩色分割也不能完全解决这个问题。因此结合灰度图像进行等高线的提取。一方面,由于灰度图像的灰度等级有限(256 色),可大大减少颜色混淆现象;另一方面,在灰度图像中,线状符号的灰度值通常较低,而背景符号的灰度值较高,利用灰度图像容易将线状特征和背景特征分割开来。因此在彩色分割中融合灰度分割方法进行等高线的提取。该等高线提取方法的流程如图 1 所示。

2.1 彩色分割

颜色是彩色地形图上进行特征识别的重要信息。一般来说,等高线是棕色的线性特征,如果它们在地形图上用单一的棕色表示,那么要提取出来就比较容易。但等高线在地形图上的颜色往往会随着背景有所改变,导致颜色产生偏差和错误。为了克

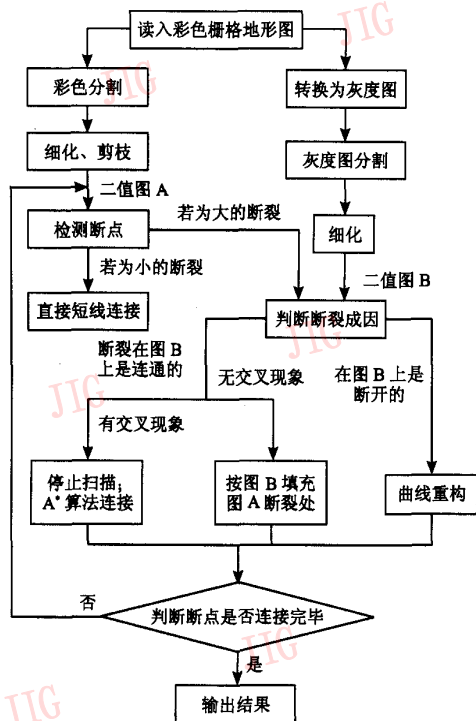


图 1 等高线提取方法流程图

Fig. 1 The flow chart of contour lines extraction method

服偏差和错误的颜色,采用关键颜色集技术^[1],其分为两个步骤:首先手工采集等高线穿过不同背景的样本图像,然后在 RGB 空间使用本征向量直线拟合算法来计算样本值,该算法的原理是:线性特征像元和背景像元在 RGB 空间的分布呈椭圆柱模式(图 2),椭圆柱两端分别是线性特征和背景的颜色聚集,而产生的假彩色就分布在椭圆柱的中部,样本离扫描仪焦距轴越远,RGB 移位就越多,椭圆柱的中部也就越突显。对各类样本求出椭圆柱长轴的最佳拟合直线,这条直线距离所选样本中各个点的距离的平方和 d^2 最小,它平行于矩阵 s 的最大特征值对应的特征向量。求得的拟合直线在椭圆柱中的两个

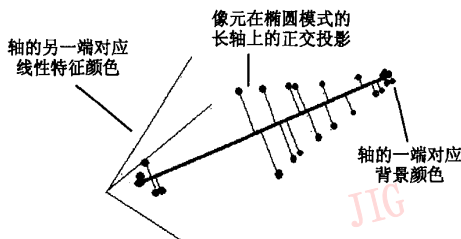


图 2 样本像元在 RGB 空间呈椭圆模式分布^[1]

Fig. 2 Ellipsoid pattern corresponding to a color key^[1]

端点分别对应该类样本中线性特征和背景的颜色值。

$$d^2 = \sum_{i=1}^n (d_i)^2, (n = 256) \quad (1)$$

$$s = \sum_{i=1}^n v_i v_i^T, \{v_i(r_i, g_i, b_i)\}, i = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

在单独采集背景特征的情况下判为背景类的像元也一定会距离椭圆柱模式背景像元那端近,因此简化了关键颜色集技术^[1],即在建立样本颜色特征库的时候只采集等高线穿过不同背景的样本图像,而不需要采集区域特征的样本图像。表 1 给出了本文实验所用地形图的各类样本颜色值。

表 1 各类样本颜色值
Tab. 1 Color key samples

样本类型	线性特征 (R, G, B)	区域特征 (R, G, B)
黑色线性特征穿过白色区域	(83, 71, 64)	(241, 243, 235)
棕色线性特征穿过白色区域	(190, 165, 141)	(254, 255, 250)
棕色线性特征穿过绿色区域	(117, 108, 53)	(173, 210, 157)
蓝色线性特征穿过白色区域	(56, 101, 182)	(246, 243, 254)
黑色线性特征穿过蓝色区域	(64, 59, 70)	(200, 214, 221)

根据上面给出的样本值对地形图进行彩色分割:分别计算每个像元与各个椭圆柱主轴的正交距离,在距离最近的椭圆柱体内再根据该像元与椭圆柱两个端点的欧式距离确定其归属类别。使用该方法从图版 I 图 1(a)中分割出等高线,其中存在很多断裂现象,如图中红色圆圈标记。

2.2 细化及剪枝处理

细化和剪枝的目的有两个:一是提取等高线线形;二是在细化的结果上可以检测等高线的断裂和交叉现象。

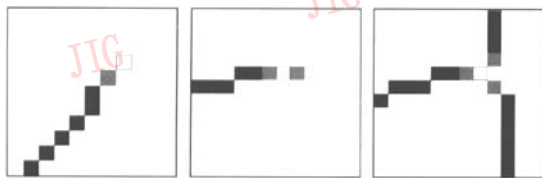
细化是从图像中提取线形的常用步骤,又称为骨架化,应用于二值化的图像,其操作目的是将图像中的线性特征约化成 1 单位像素宽的线;剪枝是根据等高线的方向性,去掉小的分叉。经由细化、剪枝处理后的线特征,仍能保留图像中线条图形的所有结构性信息,如线条的位置、方向和长度。本文中采用的是较成熟的迭代形态算法^[11]对等高线进行细化和剪枝;在算法中应当补充 3 个限制条件:第一,在细化、剪枝的过程中,图像应该有规律地缩小;第二,保证形状的连续性且不能去掉那些会导致断裂的边缘点;第三,保证等高线的末梢不会被缩减掉。

经细化和剪枝后的等高线是单像素宽的,程序可以根据下面的准则自动检测等高线的断裂和交叉:

(1)若像素点的 8 邻域内只有一个邻接点则等高线在该点断裂(图 3(a));

(2)若像素点的 8 邻域内只有两个邻接点则该点为等高线上的点(图 3(b));

(3)若像素点的 8 邻域内有 3 个或 3 个以上邻接点则认为等高线在此处有交叉(图 3(c))。



(a)等高线上的断点 (b)等高线上的连续点 (c)等高线上的交叉点

图 3 等高线断裂、交叉的检测图像

Fig. 3 Gaps and intersection in contour lines

2.3 等高线断裂的原因

理论上说,等高线是闭合曲线,且彼此之间互不相关(特殊地形如冲沟、断崖等除外)。但在实际对扫描图像进行彩色分割时,等高线会出现断裂,具体原因有 3 个:第一,扫描后的地形图本身信息缺失,导致像元颜色不均匀。这种颜色不均匀使得等高线上的某些像元颜色更接近区域特征的颜色,因此被误分到背景中去,造成等高线断裂,断裂缝隙可能较大也可能较小;第二,等高线与其他地图符号特征交叉或交叠造成其断裂,而与线性特征交叉会产生小缝隙,与区域特征交叠则会产生较大缝隙;第三,地形图上还有一些辅助等高线,其本身是不连续的,中间存在很多断裂,且缝隙较大。图版 I 图 2 分别列出了图版 I 图 1(a)中 3 种不同的断裂(红色圆圈标记 1、2 和 3)。

2.4 等高线断裂检测及连通

在等高线断裂检测中,利用了从灰度图像(由彩色地形图转换得到)中性线性特征的提取结果。原因是:在彩色地形图上进行等高线要素的分割时,由于出现颜色偏差和错误,造成等高线断裂,而由彩色地形图得到的灰度图像,其本身的灰度级别有限(256 色),受颜色偏差和错误影响较小,且地形图上的线性特征相对背景区域灰度较深,容易提取。因此,采用成熟的自动多门限分割技术^[12]从灰度地形

图中提取包括等高线在内的所有线性特征,结果如图版 I 图 3 所示。对比图版 I 图 3(c)和(d)对断裂的等高线进行跟踪检测,可以确定造成断裂的原因,从而用不同的方法将其连通。

首先对图版 I 图 3(c)中单像素宽的等高线采用曲线跟踪技术^[11]进行跟踪、检测断裂,并针对不同的断裂采用对应的方法进行连通。

当检测到等高线在某点产生断裂后,首先在断点处确定一个窗口,利用该窗口来判断等高线断裂的缝隙大小(窗口大小为判断缝隙大小的门限)。窗口大小由彩色地形图的扫描分辨率来确定,一般来说,分辨率越高,窗口越大。本文实验用的地形图扫描分辨率为 300dpi,等高线约为 2 像素宽,窗口大小为 3×3。检测到断裂后,在断裂处取 3×3 的邻域窗口,沿等高线的走向在窗口内逐个像元进行检测,若检测到黑色像元,则认为该点是等高线上的点,且该处断裂的缝隙很小,直接用短线将其与前面检测到的断点连接,如图版 I 图 3(c)中 4 号圈标记的断裂,在该处取 3×3 的窗口并在窗口内检测到黑色像元,则用短线直接连通。但是,若窗口内没有检测到黑色像元,则认为该处断裂的缝隙较大。连通较大的断裂,需要利用图版 I 图 3(d)来判断造成断裂的原因并用以下方法连通。

(1)若该断裂在图版 I 图 3(d)中是连通的,则继续判断该处在图版 I 图 3(d)是不是存在交叉现象:如果有交叉,则说明该处断裂是由于等高线与其他线性特征或区域特征产生了交叉或交叠现象,直接用 A* 算法连通这一类断裂。对于图版 I 图 3(c)中 2 号圈标记的断点,先用 3×3 的邻域窗口在断点周围找后继点,没有找到则认为该处是大的断裂,然后在图版 I 图 3(d)中找到对应的位置,发现是连续的且有交叉现象,说明此处是等高线与其他地图元素发生交叉或交叠造成的,在断点处根据等高线的走向取稍大的邻域窗口(窗口比前面的稍大,本文取 7×7)找后继点,最后直接用短线连接。

(2)若该断裂在图版 I 图 3(d)中是连通的且没有出现交叉,说明该处断裂是由于颜色信息分布不均匀造成,则按图版 I 图 3(d)的黑色像元填充图版 I 图 3(c)的断裂处。按以上所述分析,图版 I 图 3(c)中 3 号圈标记的断点,同样通过邻域窗口搜索认为是大的断裂,在图版 I 图 3(d)上找到对应位置发现是连续的且没有出现交叉,说明该处断裂是

由于地形图颜色信息分布不均匀造成的,直接按图版 I 图 3(d) 填充图版 I 图 3(c) 中的断裂即可。

(3) 若该处在图版 I 图 3(d) 中也是断开的,可能是由于辅助等高线的本身断裂造成,也可能是地形图颜色分布不均匀造成,如某处等高线颜色和其他地方相比太浅,以至于彩色分割和灰度分割时都将其误判为区域特征,对这类断裂可采用曲线重构的方法连通。图版 I 图 3(c) 中 1 号圈标记的断点处缝隙较大,在图版 I 图 3(d) 中对应的位置也是断开的,说明此处是由断裂的辅助等高线造成的,对这一类断点,采用文献[8]中的曲线重构方法将其连通。

通过上述方法将等高线断裂连通后,再利用等高线的自行封闭和互不交叉两个全局性质,对连通结果进行滤波从而得到正确的等高线。

3 实验结果与评价

这里从两方面给出实验结果的评价:一方面对 4 幅有代表性的地形图样本的提取结果进行了定性评价;另一方面则将本文的方法应用于尺寸较大的 1:5 万国家标准地形图中等高线的提取,并提出一些包括完整度、准确度、吻合度、光顺性和执行时间等在内的度量指标用于结果的定量评价,从而验证该方法的实用性。

图版 I 图 4 是实验用的 4 幅地形图典型样本,左边为原扫描地形图,右边为实验结果图像;其中图版 I 图 4(a) 左边是本文实验用的标准图,图中存在 3 种可能造成等高线断裂的原因;图版 I 图 4(b) 中等高线穿过绿色和白色背景区域;图版 I 图 4(c) 中有多处等高线与文字及其他地图元素产生交叉现象;图版 I 图 4(d) 左边中等高线与街区发生较复杂的交叉或交叠现象。采用本文的方法对这 4 幅图进行处理,同时利用线状符号的灰度分割结果来改善等高线彩色分割结果,对不同原因造成的断裂采用相应的方法将其连通,能较完整地将等高线提取出来,但其中也存在一些错误,如图版 I 图 4(c) 中等高线与文字重叠的部分在提取结果中丢失了,图版 I 图 4(d) 中等高线与街区线条有大量交叉现象存在,对应提取的等高线发生扭曲。

上面对一些等高线典型样本的实验结果进行了定性评价,但这些还不能准确反映本文方法的性能和实用性,因此给出整幅地形图上等高线提取结果

的定量评价是十分必要的。但目前针对等高线的提取结果,很少有文献给出了定量评价方法。但 Heipke^[13] 提出的一套针对公路提取结果的评价方案值得借鉴。但如果将该方案应用到等高线提取结果中,还需要考虑到等高线的特性。文献[5]中指出,在生成等高线时,必须满足 3 个要求:第一,等高线应该是尽可能简单的;第二,等高线必须是光滑的;第三,等高线的特性必须保留。因此本文结合 Heipke^[13] 中的公路提取结果的评价方法和等高线的这些要求,提出了一种等高线提取结果的评价方法。该方法由 3 个步骤组成:(1)生成等高线参考数据;(2)将提取结果和参考等高线进行匹配;(3)计算各项评价指标。

在 Heipke^[13] 中将手工绘制的公路线条作为参考数据,用完整度、准确度以及吻合度作为评价指标。由于手工绘制曲线的参考数据缺乏客观性,而且提取的等高线应该是光滑的,本文提出在手工绘制的控制点基础上,采用贝塞尔曲线拟合算法自动生成等高线参考数据。这样得到的参考等高线数据相对较为客观且比较光滑。匹配等高线的过程参考 Heipke^[13] 的方法,其目的有两个:首先,它可以生成等高线提取结果的数据;其次,它可以把那些和参考数据匹配的等高线及不匹配的等高线分别表示出来。匹配之后再计算各项评价指标:

(1) 完整度(Completeness):

$$C_1 = \frac{\text{与参与数据匹配的长度}}{\text{参考数据长度}}$$

(2) 准确度(Correctness):

$$C_2 = \frac{\text{已匹配的提取结果的长度}}{\text{提取结果的长度}}$$

(3) 吻合度(Quality):

$$C_3 = \frac{\text{已匹配的提取结果的长度}}{\text{提取结果的长度} + \text{未匹配参数数据的长度}}$$

(4) 光顺性(Fairness):由均方差 RMS 和匹配的等高线段数比率 P 两项指标来说明。

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^l (d(extr_i, ref))^2}{l}}$$

l = 已匹配的等高线提取结果的段数

$$P = \frac{\sum (d(extr_i, ref) < (\alpha \times RMS))}{l}; \alpha = 1, 2, 3$$

$d(extr_i, ref)$ = 第 i 段已匹配提取结果($extr_i$)与参考数据(ref)的最短距离

(5) 执行时间 是指从一幅完整的地形图上提

取等高线所需的时间,执行的硬件环境为奔腾 3 处理器(2.0GHz),1G 的 DDR 内存。

在前一节的实验中,本文提出的方法是在小尺寸地形图取样上的应用,尚不具代表性,因此这里将该方法在 3 张大尺寸的国家标准地形图(M_1, M_2, M_3)上进行应用,并对其结果进行了评价。这 3 张地形图分别代表 3 种不同类型的地域,具体说明如表 2、表 3 所示。

表 2 地形图具体信息

Tab. 2 Description of scanned maps

地形图名称	地形图说明	比例尺	扫描分辨率 (dpi)	地形图大小 (像素)
M_1	平原,农村,一些等高线,较简单	1:50 000	400	7 900 × 7 500
M_2	平原,城市,较多等高线,较难	1:50 000	400	7 900 × 7 500
M_3	山区,农村,大量等高线,非常难	1:50 000	400	7 900 × 7 500

表 3 等高线提取结果评价指标

Tab. 3 Quality measures summary

	地形图名称			
	M_1	M_2	M_3	
完整度 (%)	86.2	79.3	75.7	
准确度 (%)	96.2	94.8	91.7	
曲线拟合优度 (%)	81.2	72.5	70.9	
均方差 RMS(mm)	0.113	0.120	0.116	
光顺度 (%)	$\alpha = 1$	71.3	69.8	70.1
	$\alpha = 2$	96.5	94.8	93.5
执行时间 (min)	20	27	40	

目前国内外还没有一种完全意义上的等高线自动提取方法,本文的方法能够自动提取大部分的等高线,剩余的少量等高线提取要靠手工来完成。对比人机交互的方法(例如使用 MAPGIS)完成一张同样大小标准地形图的等高线提取大约需要 1 周,而本文的方法除了自动提取的执行时间,再加上后期手工处理大约需要 2~3 天,不仅节省了机器运行时间,而且大大减少了手工操作的时间和复杂度。

4 结 论

本文详细分析了造成等高线断裂的不同原因,提出融合彩色与灰度分割结果的方法来检测等高线

中的断裂,然后针对不同情况的断裂采用合适的方法进行局部连通,最后利用等高线的自行封闭和互不交叉两个全局性质,对连通结果进行滤波从而得到正确的等高线。其中,在地形图彩色分割方面,采用本征向量拟合算法计算各类地图符号(包括等高线)样本的颜色特征,以用于克服地形图在扫描过程中出现的颜色混淆和错误现象。在等高线断裂连接方面,提出利用线状符号灰度分割结果改善等高线彩色分割结果的方法。本文采用了一些有代表性的地形图样本进行测试(实验用图的扫描分辨率为 300dpi),对结果作了定性评价;另一方面则应用于国家标准地形图中等高线的提取,通过计算具体度量指标对提取结果作了定量分析。实验表明该方法在实际应用中具有很好的实用性。

参考文献 (References)

- 1 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.
- 2 Luo Hui-zhu, Agam Gady, Its' hak Dinstein. Directional mathematical morphology approach for line thinning and extraction of character strings from maps and line drawings[A]. In: Proceedings of the Third International Conference on Document Analysis and Recognition (ICDAR'95)[C], Montreal, Que., Canada, 1995: 257~260.
- 3 Eikvil L, Aas K, Koren H. Tools for interactive map conversion and vectorization[A]. In: Proceedings of the Third International Conference on Document Analysis and Recognition (ICDAR'95)[C], Montreal, Que., Canada, 1995: 14~16.
- 4 Hou ping. Color Scanned Contour Lines Vectorization Considering Topological Structure[D]. Wuhan: Wuhan University, 2001. [侯萍. 顾及拓扑关系的彩色扫描等高线的矢量化[D], 武汉: 武汉大学, 2001.]
- 5 Loh Mun San, Safie Mat Yatim, Noor Azam Md Sheriff, et al. Extracting contour lines from scanned topographic maps[A]. In: Proceedings of the International Conference on Computer Graphics, Imaging and Visualization[C], Penang, Malaysia, 2004: 187~192.
- 6 Gamba P, Mecocci A. Perceptual grouping for symbol chain tracking in digitized topographic maps[J]. Pattern Recognition Letters, 1999, 20(4): 355~365.
- 7 Zeng Y S, Feng J G, He H G. A categorizing algorithm in recognition of contour line[J]. Computer Engineering and Application, 2004, (3): 56~57. [曾迎生, 冯金光, 贺汉根. 等高线识别中的一种分类算法[J]. 计算机工程与应用, 2004, (3): 56~57.]
- 8 Attali D. R-regular shape reconstruction from unorganized points[J]. Computational Geometry Theory & Applications, 1998, 10(4): 239~247.
- 9 Amenta N, Bern M, Eppstein D. The crust and the β -skeleton:

- Combinatorial curve reconstruction[J]. *Graphical Models and Image Processing*, 1998, 60(2): 125 ~ 135.
- 10 Giesen J. Curve reconstruction, the TSP, and Menger's theorem on length[A]. In: *Proceedings of the 15th Annual ACM Symposium on Computational Geometry[C]*, New York, 1999: 207 ~ 216.
- 11 He Bin, Ma Tian-yu, Wang Yun-jian, *et al.* *Visual C++ Digital Image Processing[M]*. Beijing: Posts & Telecommunication Press, 2002: 383 ~ 387. [何斌, 马天予, 王运坚等著. *Visual C++ 数字图像处理[M]*. 北京: 人民邮电出版社, 2002: 383 ~ 387.]
- 12 Wang Run-sheng. *Image Understanding[M]*. Changsha: National University of Defense Technology Press, 1998: 88 ~ 141. [王润生著. *图像理解[M]*. 长沙: 国防科技大学出版社, 1995: 88 ~ 141.]
- 13 Heipke C, Mayer H, Wiedemann C, *et al.* Evaluation of automatic road extraction[J]. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, 1997, (323-4W2): 151 ~ 160.

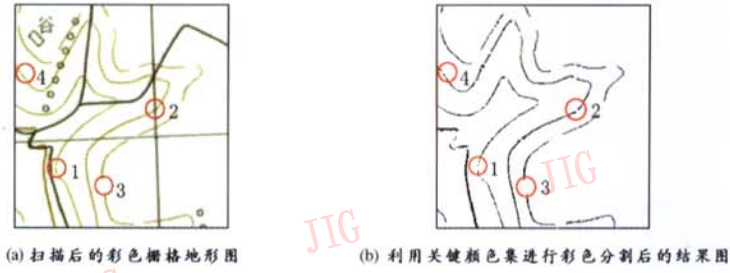


图1 地形图样本彩色分割前后图像
Fig.1 Color map sample and its result

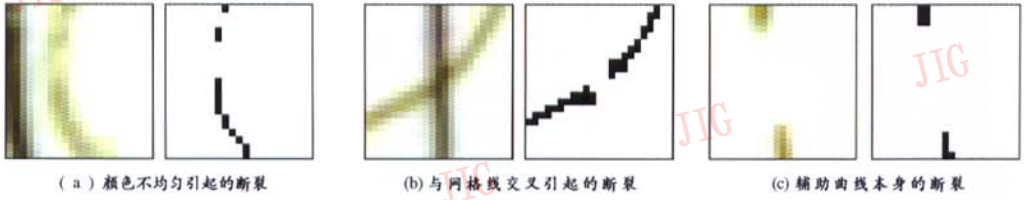


图2 等高线断裂的3种不同情况
Fig.2 Three different gaps in contour lines

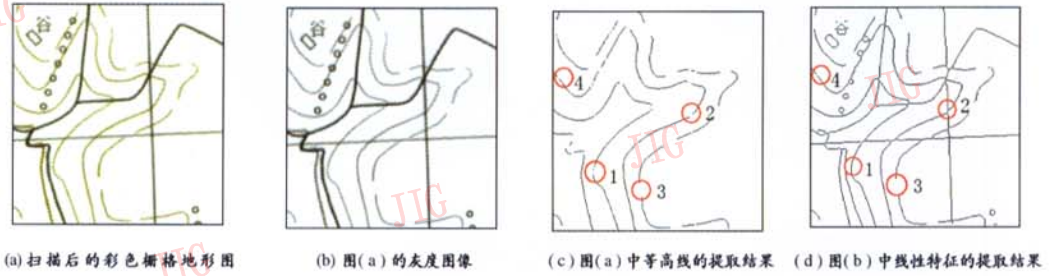


图3 等高线断裂的检测及连通
Fig.3 Gaps detection and connection



图4 4幅地形图典型样本及其等高线提取结果
Fig.4 Final contour lines extractions for four test image