

# 基于梯度与颜色信息融合的水文资料图像分割

李士进 占迪 高祥涛 柏屏

(河海大学计算机与信息学院, 南京, 210098)

**摘要:** 针对纸质水文资料数字化应用, 对相机拍摄的水文资料图像进行分割, 提出基于梯度和颜色信息融合的水文图像分割方法。首先利用图像在 CIE Lab 空间上的颜色分量特征分割出曲线, 然后进行分块处理, 利用梯度算子在水平和垂直方向分别判别属于网格线上的目标像素点, 统计这些像素点的颜色信息, 利用颜色分量关系对网格线进行初步提取, 之后加入水平和垂直方向的腐蚀, 合并两方向的结果得到最终的网格二值化图像, 最终由曲线图像和网格图像合并后得到水文图像的分割结果。对多幅水文图像进行分割的实验结果表明, 本文方法能自适应地完成对多幅图像有效的分割, 并且能够减少相机拍摄光照不均的影响, 有较好的鲁棒性和较低的计算复杂度。

**关键词:** 彩色图像分割; 水文资料; 梯度; 分块

**中图分类号:** TP391.4      **文献标志码:** A

## Hydrological Sheet Color Image Segmentation Based on Gradient and Color Information

Li Shijin, Zhan Di, Gao Xiangtao, Bo Ping

(College of Computer and Information, Hohai University, Nanjing, 210098, China)

**Abstract:** A method of to hydrological sheet color image segmentation based on gradient and color information is proposed and applied to paper hydrology data digitization to deal with the hydrological sheet images taken by camera. Firstly, curves are obtained by making use of color feature in the CIE Lab color space. Then the image is processed in a block-by-block manner. The gradient operators in horizontal and vertical directions are performed to discriminate the target pixels on the grid lines roughly. Thirdly, the color information of those pixels is obtained and the threshold to segment the grid lines are set. After getting the grid lines, horizontal and vertical erosions are implemented and most of the noise is removed. Finally, the segmented curves and the grid lines are merged and the final segmentation is established. The experimental results on several hydrological sheet color images show that the proposed method can fulfill the goal of image segmentation effectively in a self-adaption way and alleviate the effect of uneven illumination with good robustness and lower computational complexity.

**Key words:** color image segmentation; hydrological sheet; gradient; block partitioning

## 引 言

在当今信息化的时代, 工程图纸资料的数字化越来越得到重视。在水利、气象、生物医学和石油地

质等领域,大多使用网格图纸对观测数据进行记录。但是纸质资料可能会因保存不当而造成纸张的磨损、污染,将损失很多珍贵的信息。另外,如果手工将这些资料录入到计算机中,工作量大且很容易出错。因此对这些历史纸质资料进行数字化并建立对应的管理数据库,将极大提高工作效率并为科学研究提供宝贵的历史资料,具有较强的应用价值。本文主要研究纸质水文观测记录数字化过程中的图像分割,主要涉及坐标网格线的提取以及观测记录曲线的分割。图像分割就是把图像按照一定的标准划分成若干个特定的、具有独特性质的区域并提取出感兴趣目标的技术和过程<sup>[1]</sup>。图像分割是从图像处理到图像分析的关键步骤,图像分割质量的好坏很大程度上决定着后续图像分析的效果<sup>[2]</sup>。图像分割可分为灰度图像分割和彩色图像分割,与灰度图像相比,彩色图像不仅包含亮度信息,还包括颜色信息,如饱和度和色调。一般地,进行彩色图像分割,既要选择合适的色彩空间,又要采用适合此空间的分割算法。到目前为止,国内外的研究人员在彩色图像分割领域已经进行大量的研究,提出了许多分割算法,主要方法有基于直方图阈值法、基于区域生长方法、边缘检测方法、模糊聚类分割方法、机器学习、图论和神经网络法等<sup>[1-7]</sup>。一般来说,彩色分割方法通常结合了不同的颜色空间以及颜色特征等<sup>[8-12]</sup>。

文献[4]针对由相机拍摄的历史文献资料图像的分割,提出了结合 K-Means 和 SVM 的图像分割方法,有效利用了新算法与经典算法的结合,实验结果表明多种方法的结合会带来一定的优势。文献[13]利用图像在 RGB 颜色空间的颜色和亮度信息,在文献[14]的基础上提出新的颜色相似性的彩色图像分割算法。利用文献[14]中颜色相似性的尺度不变性的语义数学模型-SIMILATION,改进了文献[14]中计算每个颜色与主导颜色相似度的算法,根据颜色相似度对图像中的像素点进行分类,结果表明该方法有较好的鲁棒性和较低的计算复杂度,但对于主导颜色的确定不适合颜色过多的图像。对于本文研究的水文资料图像中的 RGB 颜色分量受到光照不均的影响,导致 RGB 分量值不能表示某种颜色。故由于图像颜色特点以及光照不均,此方法难以确定图像中的主导颜色。

文献[15]提出了一种基于 HSI 和 LAB 颜色空间的彩色图像分割方法,结合了 LAB 空间的颜色均匀性和 HSI 空间的视觉感知性,在 HSI 空间用最优阈值方法进行阈值分割,在 LAB 空间采用基于 K 均值聚类图像分割,然后将两次分割结果进行区域合并,最后进行滤波消除噪声。此方法表明可以结合多个颜色空间的优势对彩色图像进行分割,使得分割效果更佳,但是 K 均值聚类方法中难以确定聚类数目和初始聚类中心。对于本文研究的多幅水文资料图像,幅面过大,像素数据庞大,不适合利用 K 均值聚类,也难以在 HSI 空间的选取最优阈值分割,但可以利用 LAB 空间中的亮度和颜色独立的特点对水文资料图像进行分析。

文献[8]基于区域和统计的彩色图像分割方法,提出了一种结合 Voronoi 划分技术、最大期望值 (Expectation maximization, EM) 和最大边缘概率 (Maximization of the posterior marginal, MPM) 算法的彩色图像分割方法。用 Voronoi 技术将图像域划分不同子区域,并假设每个子区域内的像素强度满足独立同一的概率分布,在贝叶斯理论架构下建模,然后结合 EM/MPM 算法进行图像分割。结果表明此方法能避免出现分割噪声,能自适应地分割彩色图像,并具有较高的正确分割率。对于本文研究的多幅水文资料图像,分块区域内的像素规律难寻,不易建模且难以自适应,但是可以利用分块处理减少光照不均的影响。

文献[9]针对传统分割方法基于单个视觉线索的不足,提出一种结合两种局部边缘测度的自然场景彩色图像区域分割方法。实验结果表明本文方法能有效地控制过分割和欠分割的产生,且具有更好的区域边界定位效果,保留了丰富的细节信息,并启发本文要重视细节处信息,从而引入了边缘检测的思想。

影响彩色图像分割效果的因素有很多,其中最重要的是光线变化。图像由于受到光线的影响而使得颜色信息发生变化,从而图像分割不得不考虑光照带来的影响。本文主要进行水文曲线图像和网格线图像的二值化,提出了基于梯度和颜色信息融合的水文资料图像分割方法。利用颜色分量信息分割水文曲线;对分块后的图像,结合 Sobel 梯度算子的水平和垂直梯度获得网格线的边缘信息,对此边缘线上像素点在 Lab 空间中的颜色信息,进行网格图像的提取,并达到网格粗线尽可能得多,细线尽可能

少的精度要求。

## 1 基于梯度和颜色信息融合的水文图像分割算法

### 1.1 颜色空间选择及图像成像特点

RGB 颜色空间利用红、绿、蓝三原色的混合比例定义不同色彩。3 个颜色通道的相关性很强,只要亮度发生变化,则 3 个分量就会变化,尤其光照不均时,红绿蓝 3 个分量的大小分配关系难以确定,无法根据 3 个分量的数值判别颜色,从而 RGB 适合于显示系统,并不适合于图像分割和分析。

HSI 颜色空间是与入眼的视觉感知相吻合的色彩空间,由色调(H)、饱和度(S)和亮度(I)3 个通道表示颜色。不同于 RGB 空间,HSI 颜色空间把颜色信息和亮度信息分离开来,HSI 分量之间的相关性远远小于 RGB 空间。Lab 颜色空间是由亮度  $L$  和颜色有关的颜色通道  $a, b$  这 3 个要素组成。 $L$  表示颜色的明暗程度,主要受光源强弱影响; $a$  和  $b$  的值域都是  $[-128, 127]$ ,  $a$  通道表示从红色到绿色的范围,  $b$  通道表示从蓝色到黄色的范围。Lab 颜色空间具有欧式距离不变性,即视觉上差异较小的两种颜色在 Lab 空间上的欧式距离较小,而视觉上差异较大的两种颜色对应的欧式距离也较大。

本文研究目的在于提取图 1,2 所示中在不同的光照条件下,多幅水文资料图像中的蓝紫色的水文曲线和网格中的橘红色的粗线网格。

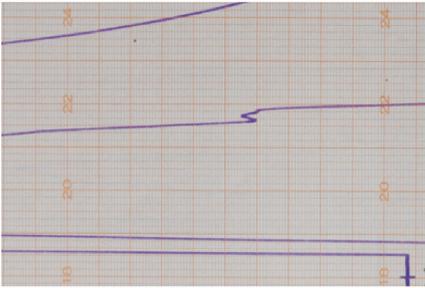


图 1 一幅水文资料图像原图

Fig. 1 An hydrological image

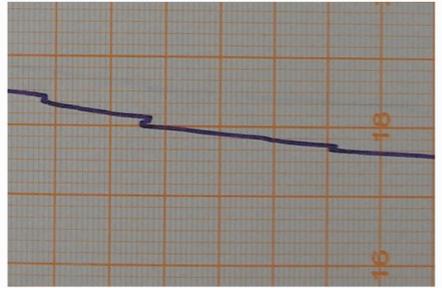


图 2 另一幅水文资料图像原图

Fig. 2 Another hydrological image

RGB 颜色空间是很不均匀的颜色空间,加上亮度变化带来的分量变化不可估计,从而不能根据 RGB 空间的色差来决定某两个颜色的差别;在 HSI 空间中, H 值的色差无法度量两个颜色的差别,例如某像素点的 H 值为 0 或 360 时,它表示的颜色都是红色。另外,不同图像在不同光照下,难以由具体的 H, S 分量大小值判别相同的颜色。重要的是,本文研究的水文资料图像的 H 和 S 在光照不均的情况下, H 和 S 都会发生变化。虽然网格粗线条和细线条的 H 值相差不大,但是 S 的大小受到光照很大的干扰,难以用特定的阈值进行区分。因此本文选取 Lab 颜色空间并在此空间对水文资料图像进行分割。首先,水文资料图像的颜色种类为蓝紫色和橘红色,与 Lab 空间的  $b$  通道表示的颜色信息相符,例如,当  $b$  的数值比较小时表示颜色偏蓝紫; $b$  为较大的正数时,则偏橘红色。其次,在光照不均的情况下,不需要考虑  $L$  通道,单独对  $a, b$  颜色通道的信息进行分析和处理。

由相机拍摄多幅纸质水文资料图像在颜色感知上呈现了一致性,并且在 Lab 空间下  $a$  分量和  $b$  分量具有一定的规律。(1)对于水文资料图像中的曲线部分,记录数据的笔迹颜色都偏向蓝紫色。曲线上的像素点的  $b$  分量都是负数,且都很小。(2)对于网格线条部分,颜色主体呈现出橘红色,网格粗线条比细线条的颜色深。大部分粗线条上像素点的  $a$  分量和  $b$  分量比细线条的都大,且都大于 0,有小部分细线交叉处与粗线条像素点的  $a, b$  值相差不大,不容易和粗线条区分开来。另外,由于光照不均的影响,网格线上像素点的  $a, b$  会有一定小范围的大小变化。(3)非网格和非曲线部分的像素点属于非目标像素,这些像素点的颜色偏灰白色,它们的  $a$  分量和  $b$  分量都很小,且与网格线和曲线上的目标点相差很大。

## 1.2 曲线分割

水文曲线与非曲线的颜色差异大,多数偏蓝紫色。因为图像存在光照不均,图像转到 Lab 空间后,导致  $L$  分量发生变化,曲线和非曲线的颜色色差欧氏距离不能反映两者的颜色差异,因此仅对颜色信息  $a, b$  分量分析。由于  $b$  通道表示从蓝色渐变到黄色, $b$  越小说明越接近蓝色,与水文曲线的颜色接近。分析发现曲线上像素点的  $b$  分量与非曲线部分相差很大,因此选取  $b$  分量作为分割条件,同时曲线上的  $a$  分量是比较大的正数,因此曲线上的  $ab$  乘积比较小。图 3 给出了图 1 的  $ab$  分量乘积的直方图。对应的曲线分割方法,对于每一个像素点的  $a, b$  分量乘积  $S = a \times b$ ,如果  $S < T$ ,则该点为曲线上的点,否则不是,从而实现曲线的提取。阈值  $T$  可以根据直方图分布设置,本文采取搜索  $ab$  分量乘积直方图的最左边的峰与其他分布之间的“谷”的方法来确定。图 3 左侧代表的则是曲线的  $ab$  分量乘积,由曲线上  $a, b$  分量的大小可知乘积小于 0,图中的标注区域是属于对应的曲线部分。

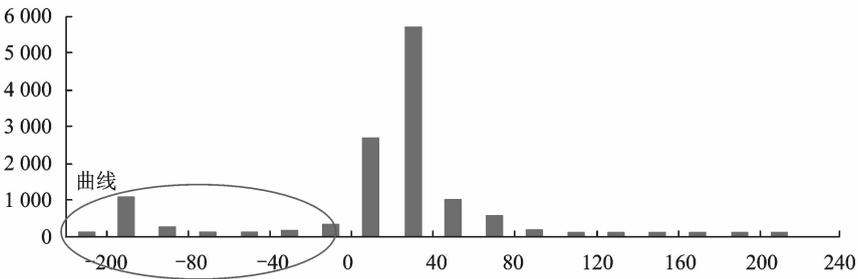


图 3 图 1 对应的  $ab$  乘积直方图

Fig. 3 Histogram of the product of  $a$  and  $b$  of Fig. 1

## 1.3 网格线分割

纸质水文资料图像中的网格如图 1,2 所示,存在颜色较深的粗线以及颜色较浅细线条。对网格图像进行分割是为了获得更多的深颜色粗线条,且尽可能减少浅颜色的细线条。对橘红色网格线条的分析中,发现网格线与非网格线上的点在颜色表现上有很大差异,非网格部分呈现灰白色,而网格线则是不同深浅的橘红色。同时在对对应灰度图中发现线条附近的灰度值跳变很大,橘红色线上像素点的边缘信息比较突出,且粗线条在水平和垂直上的变化程度并不相同。为了避免光照不均引起的影响,对图像进行分块处理,结合图像的 Sobel 梯度算子对水平和垂直梯度进行分别统计,得到水平和垂直方向上的各自满足边缘信息,然后结合这些边缘点的性质进行网格图像的提取。

首先利用 Sobel 梯度算子得到大部分粗线条的边缘信息,然后统计这些线条在 Lab 颜色空间中的颜色信息特征,最后结合此颜色特征对整个图像分块进行网格提取。整个算法的步骤如下:

(1) 对输入的图像完成 RGB 空间到 Lab 空间的转换、灰度化。

(2) 利用 Sobel 梯度算子对灰度化的图像进行水平、垂直方向的梯度化,获得两个方向上的梯度图以便获得目标线条的边缘信息。

(3) 在水平和垂直方向的梯度图中,分别进行处理(水平为例,垂直上相同处理):

(a) 为了减少光照不均的影响,对水平梯度图分块  $3 \times 3$ ,在对应小块内,结合曲线提取的曲线所在位置,剔除掉对应曲线梯度值的影响,计算块内属于网格线条的梯度均值  $Th$ 。

(b) 利用梯度均值  $Th$  对水平梯度化图像进行二值化,在水平梯度梯度化方向上,另加入像素点的水平梯度比垂直梯度大的条件,使得水平梯度化更加精确,根据此二值化结果初步获得属于橙黄色线条的位置信息。

(c) 根据(b)中的获得黄色线条位置信息,获得水平方向上对应位置上的像素点在 Lab 空间的  $a$  和  $b$  分量大小,并统计这些位置点的  $a, b$  均值  $X_a, X_b$ 。

(d) 利用(c)中得到的  $X_a, X_b$ , 如果像素点的  $a, b$  分量满足  $a \times b > X_a \times X_b$ , 则为目标, 否则为背景, 对原图像进行分割。

(e) 获得水平方向二值化图, 同样方法获得垂直方向二值化图。

(4) 对水平和垂直方向二值化图进行或运算合并, 得到整个图像二值化图。

(5) 对于(4)中获得的二值化图分别进行水平方向  $1 \times 5$  的腐蚀并保存结果, 和垂直方向上  $5 \times 1$  的腐蚀保存结果, 去除掉更多的离散点。

(6) 对(5)得到的两个方向上的二值化图进行合并, 得到最终的网格图像。

## 2 实验结果及分析

### 2.1 本文方法实现过程及效果

本文选取多幅幅面为 A3 规格  $279 \text{ mm} \times 420 \text{ mm}$  的彩色图像, 在 Microsoft Visual Studio 2010 平台上进行实验, 对输入的水文资料图像图 1 进行实验, 分步骤获得的效果图放大后如图 4 所示。纸质水文资料图像的分割主要分为两个部分: 曲线分割和网格分割。图 4(a) 为图像的曲线提取效果图。曲线分割利用了曲线和非曲线上的像素点的  $a, b$  分量的有差别的特点, 根据曲线的  $a, b$  分量乘积大小, 满足条件  $S = a \times b < T$ , 根据  $S$  的规律, 设置  $T = -40$  时, 得到水文曲线二值化图。

依据网格线提取算法步骤, 根据水平和垂直方向上得到的黄色线条上  $a, b$  均值  $X_a, X_b$ , 利用分割条件, 得到初步网格线二值化图 4(b), 可以看出水平垂直方向上有较粗的线条以及部分细线条上的离散点。对初步提取的网格二值化图进行腐蚀, 水平方向  $1 \times 5$  的腐蚀获得图 4(c), 垂直方向上  $5 \times 1$  腐蚀得到图 4(d)。由两图可知保留了大量的水平和垂直方向的粗线条, 最后合并图 4(c, d) 得到最终的网格线二值化图 4(e)。经过腐蚀消除了大部分细线交叉处的离散点, 且效果良好。将曲线二值化图和网格线二值化图合并, 得到最终纸质水文资料图像分割结果图 4(f)。图 4(f) 的结果表明, 本文方法完成了图 1 中的紫蓝色水文曲线和深橘红色的粗网格线的分割, 较好地提取了曲线和网格线。

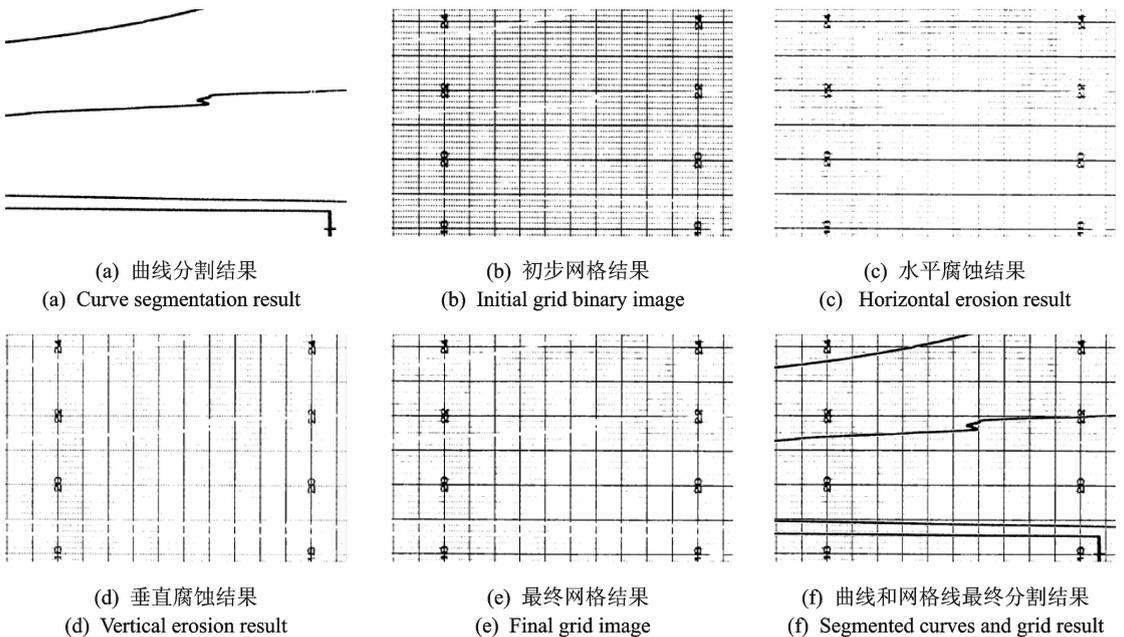


图 4 图 1 在本文方法下的处理过程

Fig. 4 Detail procedures in the proposed method for Fig. 1

## 2.2 分块和未分块的对比效果

本文方法在网格图像提取过程中,特别针对光照不均的情形加入了分块处理。图 5(a) 对应的是一幅光照不均的图像,左边光线亮度明显强于右边。对图 5(a)分别用本文方法和全局阈值的方法网格线分割。特别选取了图示的两个明暗程度不同的区域,其中区域 1 内亮度均值为 175,而区域 2 的亮度均值为 113。对两个区域的分割结果的展示与分析如图 5 所示。图 5(b,c)对应着图 5(a)中区域 1 的网格分割结果。图 5(b)利用分块处理,避免了光照引起的明暗变化,使得水平和垂直方向粗线条上的点尽可能地多;图 5(c)则是直接对图像进行全局阈值分割所得,利用  $a, b$  分量乘积大于 30,所得结果中有很多水平和垂直方向上的粗线条上的点被剔除。图 5(d,e)对应着图 5(a)中区域 2 的网格分割结果。可以看出,在亮度发生变化之后,图 5(d)说明采用本文方法能够完成对网格线条的获取,并减少了非网格线条点的数目。而图 5(e)说明仅仅利用  $a, b$  分量乘积大于 30 的全局阈值分割下,图像中明显存在很多细线条上的点。

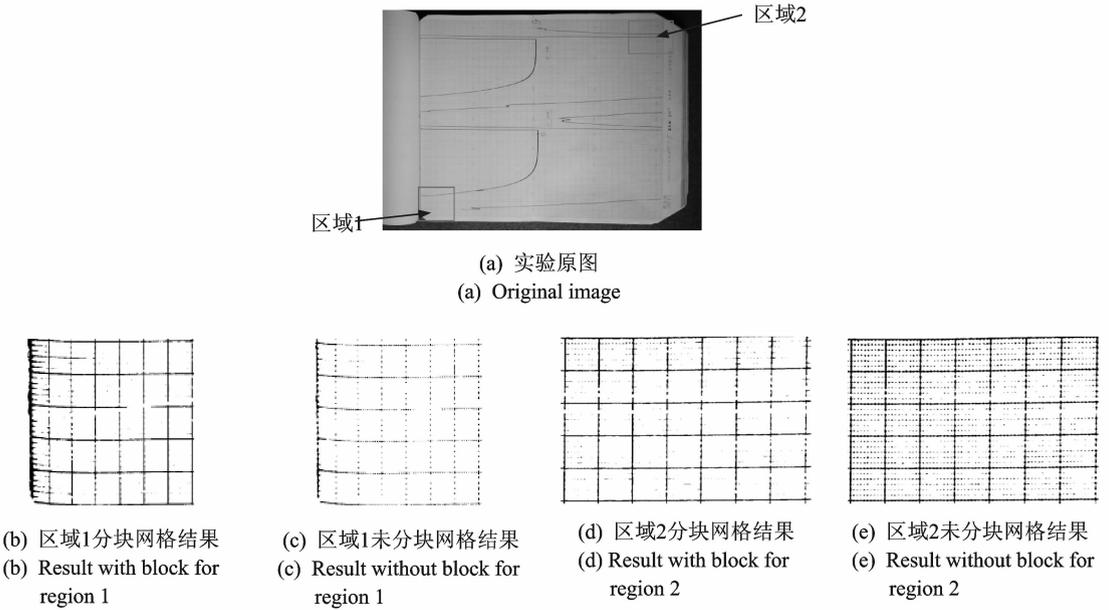


图 5 分块与未分块的网格分割对比效果图

Fig. 5 Comparison between the block and non-block partitioning

综合这 4 幅网格二值化图可以看出,图 5(b,d)是利用本文方法提取同一幅图像的网格线结果图,从两个不同区域上来看,分割的整体效果上比较好,获得的网格粗线比较分明,而且对光照不均的情况有很好的适应性。而图 5(c,e)是在全局阈值下的不同区域的分割结果。显而易见,两幅图上的像素点的分布并不均匀,有的密集,有的稀疏,不能满足要求,因此全局阈值不能适应于光照变化。即是在整个图像上,本文方法获得网格二值化图像分布均匀且细线上的点少。

本文在网格线图像提取的过程中加入了图像分块处理,目的在于根据每个不同块内得到的阈值对此块内的像素点进行分割,这样处理的好处是避免了有光照不均带来的影响。上文已经分析过,光照不均时,图像像素点在 Lab 空间中的  $a, b$  分量大小会受到一定的影响,从而如果仅用全局阈值方法进行分割,会使得受到光照影响的目标点被剔除。

## 2.3 HSI 空间与本文方法对比

对输入图像图 1,2 分别使用本文方法以及 HSI 空间的分割方法,进行网格提取算法对比,实验后

的网格分割效果如图 6 所示。

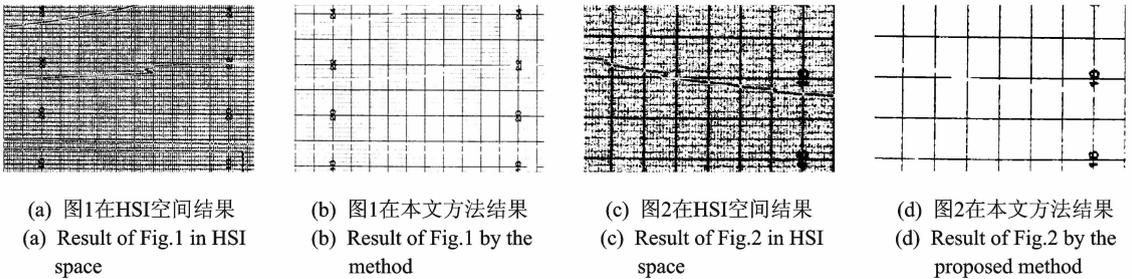


图 6 HSI 空间与 Lab 空间的对比

Fig. 6 Comparison between HSI and Lab color spaces

图 6(a,c)是利用 HSI 空间中 H 分量分割网格线的结果,图 6(b,d)则是利用本文的网格提取方法的结果。从两者结果可以看出,图 6(a,c)的效果不能达到要求,而利用本文的方法得到的图 6(b,d)能够很好地提取到网格粗线条,完成实验的要求;更重要的是,输入的图像图 1,2 是两幅光照明暗不同的图像,从实验结果可知,本文方法确实能够避免光照不均的影响,能够自适应地较好地提取目标并达到实验要求。

第 1 节中的选择颜色空间的分析中提到 HSI 空间中的颜色色差不能以 H 区分,且粗线条和细线条上 H 表征的颜色信息很接近,都是橘红色,所以不能区分开来。特别地,在 HSI 空间进行实验过程中尝试加入 S 的限制,但是对图像转到 HSI 图像后的 S 分量的分析中,由于光照不均的影响,RGB 颜色分量发生变化,导致由 RGB 分量获得的饱和度值也发生变化,即整个图像中的颜色纯度也受到影响,即使同一条网格线上点的饱和度也相差很多。因此饱和度信息的加入也不能区分两种线条,因而由于本文待处理的纸质水文资料图像的特殊性,在 HSI 空间下不能实现对网格粗线条的提取。

### 3 结束语

本文针对水文资料数字化应用,对相机拍摄的水文图像进行分割,提出了基于梯度和颜色信息融合的水文图像分割方法。首先利用图像在 Lab 空间的色分量信息对曲线进行提取;然后通过分块处理,利用梯度算子在水平和垂直方向对网格线条的边缘进行确定,并且统计边缘上的线条的 Lab 的  $a, b$  颜色大小信息,结合  $a, b$  的乘积大小对水文图像进行两个方向上的分割,对两个方向的图进行合并之后进行腐蚀,消除部分离散点,获得的网格二值化图像。最后将曲线二值化图和网格二值化图进行合并,得到最终的水文资料的二值化图像。实验结果表明:该方法能够对不同光照下的多幅图像进行自适应分割,对亮度变化有较好的鲁棒性以及较低的计算复杂度。本文算法中涉及一些阈值参数,如何自动设置这些参数将是今后改进的方向。

### 参考文献:

- [1] 赵晓丽,孔勇. 基于高斯小波的多尺度积图像边缘检测算法[J]. 数据采集与处理,2012,27(4):490-494.  
Zhao Xiaoli, Kong Yong. Image edge detection algorithm based on multi-scale product of Gaussian wavelet[J]. Journal of Data Acquisition and Processing, 2012, 27(4): 490-494.
- [2] 林开颜,吴军辉,徐立鸿. 彩色图像分割方法综述[J]. 中国图象图形学报,2005,10(1):1-10.  
Lin Kaiyan, Wu Junhui, Xu Lihong. A survey on color image segmentation techniques[J]. Journal of Image and Graphics, 2005, 10(1): 1-10.
- [3] Lopes N V, Bustince H, Melo-Pinto P, et al. Automatic histogram threshold using fuzzy measures[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2010, 19(1): 199-204.
- [4] Djema A, Chibani Y. Binarization of historical documents using self-learning classifier based on K-means and SVM[C]//Pro-

ceedings of 21st European Signal Processing Conference. EUSIPCO, Poland; European Signal Processing Conference, 2013: 1-5.

- [5] 史倩,吴开华. 区域生长的轮对图像分割[J]. 中国图象图形学报,2012,17(9):1122-1127.  
Shi Qian, Wu Kaihua. Image segmentation for wheel set measurement based on region growing[J]. Journal of Image and Graphics,2012,17(9):1122-1127.
- [6] 郑馨,王勇,汪国有. EM 聚类和 SVM 自动学习的白细胞图像分割算法[J]. 数据采集与处理,2013,28(5):614-619.  
Zheng Xin, Wang Yong, Wang Guoyou. White blood cell segmentation using expectation-maximization and automatic support vector machine learning[J]. Journal of Data Acquisition and Processing,2013,28(5):614-619.
- [7] 王学松,周明全,樊亚春,等. 彩色图像色度距离权值的图论分割算法[J]. 中国图象图形学报,2011,16(2):221-226.  
Wang Xuesong, Zhou Mingquan, Fan Yachun, et al. The algorithm of graph cut using HSI weights in color image segmentation[J]. Journal of Image and Graphics,2011,16(2):221-226.
- [8] 赵泉华,李玉,何晓军. 结合几何划分技术和最大期望值/最大边缘概率算法的彩色图像分割[J]. 中国图象图形学报,2013,18(10):1270-1278.  
Zhao Quanhua, Li Yu, He Xiaojun. Color image segmentation using geometry tessellation technique and EM /MPM algorithm[J]. Journal of Image and Graphics,2013,18(10):1270-1278.
- [9] 代沁伶,王雷光,洪亮. 融合边缘测度的自然场景彩色图像区域分割[J]. 中国图象图形学报,2013,18(5):523-528.  
Dai Qinling, Wang Leiguang, Hong Liang. Regional segmentation of natural scene color images by integrating edge cues[J]. Journal of Image and Graphics,2013,18(5):523-528.
- [10] 李源,何荣开,王庆,等. 基于颜色及投影特征的挖掘机图像分割算法[J]. 小型微型计算机系统,2013,34(11):2635-2638.  
Li Yuan, He Rongkai, Wang Qing. Segmentation algorithm of the excavator image based on color and projection characteristics[J]. Journal of Chinese Computer Systems,2013,34(11):2635-2638.
- [11] 丁锐,刘甲甲,李柏林,等. 改进的 Otsu 图像多阈值分割方法[J]. 计算机应用,2013,33(S1):214-217.  
Ding Rui, Liu Jiajia, Li Bailin, et al. Modified multilevel thresholding Otsu method for image segmentation[J]. Journal of Computer Applications,2013,33(S1):214-217.
- [12] 汪友生,胡百乐,张丽杰,等. 基于支持向量机的动脉硬化斑块识别[J]. 数据采集与处理,2012,27(3):283-286.  
Wang Yousheng, Hu Baile, Zhang Lijie, et al. Recognition of atherosclerotic plaque based on support vector machine[J]. Journal of Data Acquisition and Processing,2012,27(3):283-286.
- [13] 杨康叶,鄂春学. 基于 RGB 模型颜色相似性的彩色图像分割[J]. 计算机系统应用,2013,22(3):128-131.  
Yang Kangye, Wu Chunxue. Color image segmentation based on color similarity of RGB model[J]. Computer Systems & Applications,2013,22(3):128-131.
- [14] Wang Shikai. Color image segmentation based on color similarity[C]//International Conference on Computational Intelligence and Software Engineering. Piscataway, NJ, USA: IEEE Computer Society, 2009:1-4.
- [15] 庞晓敏,闵子健,阚江明. 基于 HSI 和 LAB 颜色空间的彩色图像分割[J]. 广西大学学报:自然科学版,2011,36(6):976-980.  
Pang Xiaomin, Min Zijian, Kan Jiangming. Color image segmentation based on HSI and LAB color space[J]. Journal of Guangxi University: Natural Science Edition,2011,36(6):976-980.

#### 作者简介:



李士进(1973-),男,博士,教授,博士生导师,研究方向:模式识别与计算机视觉, E-mail: lishijin@hhu.edu.cn。



占迪(1989-),女,硕士研究生,研究方向:数字图像处理, E-mail: 1045221440@qq.com。



高祥涛(1966-),男,研究员级高级工程师,研究方向:数据智能处理、水利信息化, E-mail: gaopt@foxmail.com。



柏屏(1955-),女,研究员级高级工程师,研究方向:水利信息化, E-mail: 18936006606@qq.com。

