

基于区域特征和连接成分的地图规范化算法

海涛¹, 鲍远律²

- (1. 安徽工程科技学院 安徽省电气传动与控制重点实验室, 安徽 芜湖 241000;
2. 中国科学技术大学 自动化系, 安徽 合肥 230027)

摘要: 地图图像规范化算法是使地图图像同类型对象的某种属性具有相同的表现形式的一种方法或过程, 它是地理信息识别的一个重要步骤。根据彩色栅格城市交通地图图像中各类地理要素的特征, 提出一种基于区域特征和连接成分的地图图像规范化算法。首先对地图图像中的区域特征进行分析, 并建立区域识别测度, 实现了区域颜色规范化; 再通过对非区域对象的连接成分进行分析, 并建立道路识别测度, 在区域颜色规范化的基础上, 实现了道路颜色规范化。实验结果表明, 对于彩色城市交通地图图像, 该算法取得了良好的效果。

关键词: 规范化算法; 区域特征; 连接成分; 栅格地图

中图分类号: TP391.41

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2007)10-0137-04

A Normalizing Algorithm for Urban Traffic Map Image Based on Region Features and Connected Component

HAI Tao¹, BAO Yuan-lü²

- (1. Anhui Provincial Key Lab. of Electric and Control, Anhui Univ. of Tech. and Sci., Wuhu 241000, China;
2. Dept. of Automation, University of Science and Technology of China, Hefei 230027, China)

Abstract: A normalizing algorithm for color raster urban traffic map image is a method or process which makes one of properties of the same type object uniform in the map image, it is an important step for recognition and extraction of geographical information. Based on the dissimilar features of the different geographical elements, a normalizing algorithm is put forward on the basis of region features and connected component of others than regions. The algorithm includes two key steps. First of all, the region features are analyzed and a measure is established to recognize regions, then a region normalizing procedure is set up. Afterwards, a measure is brought forward to recognize roads on the basis of the connected component, and then a road normalizing process is proposed. Experiments show that the algorithm proposed in the paper performs effectively for the color raster urban traffic map images.

Key words: normalizing algorithm; region features; connected component; raster map

0 引言

目前, 城市交通系统因人口集中及高度现代化而存在数项严重的问题。GPS 交通管理、车辆监控、个人导航技术的发展和实践对缓解交通堵塞及维护社会安全所起到的作用愈来愈明显。交通管理或监控导航系统等和相关 GPS 的应用都离不开道路, 从某种意义上说, 矢量交通 GIS 的发展已成为加速交通管理的关键

与瓶颈环节^[1]。众所周知, 数据是 GIS 应用中最基本的组成部分, 没有数据, GIS 就成了无水之源; 同时, 数据也是 GIS 项目中最昂贵的部分, 一般占整个系统建设成本的 50%~80%^[2]。

交通矢量地图是智能交通或导航监控系统的基础数据, 而矢量道路网络是矢量交通地图的最重要的组成部分。鉴于道路在智能交通等系统中的重要地位, 许多自动的或半自动的道路网络地理信息提取算法已经被提出^[3~9]。在实现效果良好的地图图像规范化处理的基础上, 这些算法取得了较好的效果。由此可见, 地图图像规范化处理是道路网络提取的基础。一般来说, 地图图像中不同性质的道路一般用不同的颜色来表示; 同样, 地图图像中的区域也根据其不同的性质用不同的颜色标示^[4]。地图图像中道路和区域分别用多种颜色标示, 这种表示方法给人们带来了许多便利。

收稿日期: 2006-12-05

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60272040); 安徽省高等学校青年教师科研资助计划(2006JQ1155); 安徽工程科技学院青年科研基金资助项目(2005YQ009)

作者简介: 海涛(1975-), 男, 安徽无为, 讲师, 研究方向为图像处理与分析、模式识别与智能系统、交通矢量地图 GIS 等; 鲍远律, 教授, 从事系统工程及 GIS 和 GPS 应用基础研究。

人们可以通过颜色来区分同类对象中不同性质的对象。但是,地图图像的这种表示方法却给地理信息的自动识别和提取增添了很多困难。为了方便地提取地图中道路网络,一般先要规范化地图图像中道路和非路区域(以下简称为区域)的颜色。目前,道路和区域的颜色规范化是在手工提取道路和区域的颜色的基础上利用欧氏距离公式来实现的^[4]。这种规范化技术存在以下缺点:

(1) 必须事先提取出每种道路和区域的颜色。

(2) 判断两种颜色是否相同需要选取一个合适的阈值,阈值一般通过实验的方式来提取。

(3) 当图像的颜色发生变化时,必须重新提取道路和区域的颜色,阈值也要重新设置。

针对现有规范化处理的以上缺点,文中提出基于区域特征和连接成分的地图图像规范化算法。该算法利用区域的形状和颜色特征对区域进行颜色规范化处理;在此基础上,通过对地图图像中各类对象的连接成分分析来实现道路颜色的规范化处理。该算法可以克服这些缺点,并且具有很高的自动化程度。

1 地图图像的数学模型

数字栅格图像在计算机中一般都是以点阵的形式存储的。对于一幅由 RGB 三基色构成的彩色图像来说,它是由一些具有 RGB 三基色特征的像素组成的。也就是说,在 RGB 颜色模型下,一幅彩色图像是组成图像的所有像素的集合,并且集合中像素的颜色由 RGB 三基色调和而成。在 RGB 颜色模型下,地图图像数学模型^[4]可以表示为:

$$M = \begin{bmatrix} p_{00} & p_{01} & \cdots & p_{0(n-1)} \\ p_{10} & p_{11} & \cdots & p_{1(n-1)} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{(m-1)0} & p_{(m-1)1} & \cdots & p_{(m-1)(n-1)} \end{bmatrix} \quad (1)$$

其中:样本 p_{ij} ($0 \leq i \leq m, 0 \leq j \leq n$) 代表地图图像中第 i 行第 j 列的像素点, m, n 分别为整幅图像像素点阵的行、列数。在 RGB 模型的特征空间中, p_{ij} 是一个三维向量^[4]:

$$p_{ij} = (R(t_{ij}), G(t_{ij}), B(t_{ij})) \quad (2)$$

其中: $R(p_{ij}), G(p_{ij}), B(p_{ij})$ 分别表示像素 p_{ij} 颜色特征的红、绿、蓝分量值。

同理,一幅地图图像 M 的子图像 M_{sub} 可定义为:

$$M_{\text{sub}} = \begin{bmatrix} p_{kl} & p_{k(l+1)} & \cdots & p_{k(l+d-1)} \\ p_{(k+1)l} & p_{(k+1)(l+1)} & \cdots & p_{(k+1)(l+d-1)} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{(k+c-1)l} & p_{(k+c-1)(l+1)} & \cdots & p_{(k+c-1)(l+d-1)} \end{bmatrix} \quad (3)$$

其中: c, d 为 M_{sub} 的行列数,且 $0 \leq k \leq m - c, 0 \leq l \leq n - d$ (m, n 为 M 的行列数)。

在数字图像处理中,很多操作或运算都是基于灰度图像。例如,数字图像的滤波处理、数学形态学运算等。灰度图像是由灰度像素组成的图像,所谓灰度像素是指像素的红、绿、蓝三个分量值相等的像素^[4]。彩色像素 p 可以转化成灰度像素 p' ,经常采用下式:

$$\begin{cases} L(p) = [0.301 & 0.586 & 0.113] \cdot \begin{bmatrix} R(p) \\ G(p) \\ B(p) \end{bmatrix} \\ p' = (L(p), L(p), L(p)) \end{cases} \quad (4)$$

其中: $L(p)$ 为像素的灰度值, $R(p), G(p)$ 和 $B(p)$ 分别表示像素 p 的颜色的红、绿和蓝分量值。

利用式(4)对彩色图像的所有像素处理将得到相应的灰度图像。

2 地图图像规范化

对于彩色栅格城市交通地图来说:图像中同质性的对象以同一种颜色表示,不同性质的对象分别用不同的颜色表示;城市区域呈现为孤立块状,其长度和宽度之比相对较小;道路一般呈现长条形,其长度和宽度之比较大,并且道路具有方向性和连通性;水域,如河流、湖泊以及护城河等是用深浅不一的蓝色表示的;此外,在道路和区域中散布着大量的文字及少量的表示特殊含义的标志,如医院和交警队的标志符号等等。图 1 所示的郑州市交通地图^[9]非常清晰地显示了这些特征。

下面将利用城市交通地图图像的上述特征对地图图像进行规范化处理。规范化处理的目的是将道路和区域分别用一种颜色表示。文中把区域的颜色规范化成灰色(RGB(168,168,168)),把道路的颜色规范化为白色(RGB(255,255,255))。



图 1 郑州市交通地图(部分)

2.1 区域规范化

由于城市交通地图中的区域具有孤立块状的特

征,并且同性质的区域颜色相同;而道路的宽度较小,其宽度一般在 5~20 像素之间。因此,区域可以描述如下:

假设道路的最大宽度为 κ , M_{sub} 是灰度地图图像 M 的一个 $N \times N$ 的子图像,如果

$$\begin{cases} N > \kappa \\ L(p_1) = L(p_2) \quad \forall p_1 \in M_{\text{sub}}, \forall p_2 \in M_{\text{sub}} \end{cases} \quad (5)$$

则 M_{sub} 表示区域且 $L(p_1)$ 或 $L(p_2)$ 为该区域的灰度值。

利用式(5)可以识别区域,但是城市交通地图中的水域作为特殊的区域,它可能不具备区域的上述特征,如细长的河流在外形上更像道路。然而水域具有一个明显的特征,即水域都是以蓝色表示。而蓝色像素 p 又具有以下特点:

$$\begin{cases} B(p) - G(p) > 0 \\ G(p) - R(p) > 0 \end{cases} \quad (6)$$

因此,在利用式(5)识别区域之前,先应用式(6)识别水域。此外,区域内还有可能散布着一些孤立的杂色的噪声像素,这些像素的颜色和区域的颜色相近。由于这些孤立的杂色噪声像素的存在,可能导致地图图像的区域不具备式(5)描述的特征。为了消除这些孤立噪声像素的影响,可以先对地图图像进行灰度化处理,再利用 3×3 的中值滤波器消除孤立的噪声像素。

基于上面分析,下面给出区域颜色规范化算法的具体步骤:

1) 扫描整幅地图图像 M ,利用式(6)判断当前像素 p 是否表示水域。若是,则将 p 的颜色设置为灰色;若不是,则保留 p 的颜色。记输出的图像为 M_1 。

2) 备份图像 M_1 ,记备份的图像为 M_b 。对 M_1 进行灰度化和中值滤波处理。记输出的图像为 M_2 。

3) 定义整型数组 $R_g[256]$ 用来存储提取的区域灰度值,并将 R_g 所有元素的值设置为 -1。

4) 处理图像 M_2 的所有 $N \times N$ 的子图像 M_{sub} ,若当前的 M_{sub} 满足式(5),则检测 M_{sub} 的任意一个像素 p 的灰度值 $L(p)$ 是否在数组 R_g 中,若否则存储 $L(p)$ 到数组 R_g 中。

5) 扫描整幅地图图像 M_b ,若当前像素 p 的灰度值 $L(p)$ 在数组 R_g 中,则将 p 的颜色设置为灰色;否则保留 p 的颜色。记输出图像为 M_I ,则 M_I 为地图图像 M 的区域颜色规范化的图像。

取 $N = 25$,利用上述方法对图 1 进行处理,其处理结果参见图 2。

2.2 道路规范化

要规范化道路的颜色,首先必须要确定所有道路

的颜色或灰度值。因此,必须要建立合理的道路测量准则。



图 2 区域规范化处理结果

道路具有连通性,然而由于噪声的存在,道路的连通性遭到破坏。噪声将本来连通的道路分割成一个个连通成分。由于道路一般存在面积较大的连接成分,而噪声一般不存在面积较大的连接成分,因此,可以通过分析地图图像 M_I 中每种灰度值的各个连接成分的面积来获取道路的灰度值。

地图图像 M_I 中,灰度值 168 表示区域,而其它的灰度值都有可能是道路的灰度值。设由 N 个可能是道路灰度值构成的集合为 R_a ,则 R_a 可记为

$$R_a = \{L_i \mid 1 \leq i \leq N\}$$

对于 $\forall L_i \in R_a$,标记其连接成分并计算每个连接成分的面积^[10],记其最大的面积为 A_i 。选取一个较大的正整数 α ,若

$$A_i > \alpha \quad (7)$$

则 L_i 是道路的灰度值。

利用式(7)可以筛选出道路的灰度值,但存在一定的风险。如果 α 取得较小,可能将噪声的灰度值误判为道路的灰度值;如果 α 取得较大,则有些道路的灰度值将被漏选。此外,利用式(7)获取道路的灰度值是一项非常耗时的工作。因此,有必要采取一些措施以减小算法的时间复杂度。

由于道路呈现长条状、具有一定的宽度,并且其宽度一般大于 5 像素。因此,如果地图图像 M_I 的一个 5×5 的子图像 $M_{I\text{sub}}$ 表示道路,则 $M_{I\text{sub}}$ 必然满足以下条件:

$$\begin{cases} L(p_1) = L(p_2) \quad \forall p_1 \in M_{I\text{sub}}, \forall p_2 \in M_{I\text{sub}} \\ L(p) \neq 168 \quad \forall p \in M_{I\text{sub}} \end{cases} \quad (8)$$

显然,满足式(8)的 $L(p)$ 不一定是道路的灰度值。

设地图图像 M_I 道路的灰度值集为 R_d ,则

$$R_d \subset R_a \quad (9)$$

虽然,利用式(8)不能确定道路的灰度值,但它可以确定道路灰度值存在的范围。这样可以减少很多连接成分标记和面积计算。但是,由于道路上可能存在一些噪声像素,这可能导致地图图像的道路不具备式(8)描述的特征。为了消除这些孤立噪声像素的影响,先对地图图像进行灰度化处理,再利用 3×3 的中值滤波器消除这些噪声像素。

基于上面的分析,下面给出道路颜色规范化的步骤:

1) 对地图图像 M_I 进行灰度化和中值滤波处理,并设置可能的道路灰度值集合 R_a 。记中值滤波的输出图像为 M'_I 。

2) 利用式(8)检测集合 R_a 中每个灰度值;若当前的灰度值满足式(8),则保留该灰度值;否则将该灰度值从集合 R_a 中删除。

3) 利用式(7)筛选出道路的灰度值,并将筛选出来的道路灰度值存放在集合 R_d 中。

4) 检查 255 是否为集合中的元素。若是,则将 M'_I 中的所有白色像素设置为蓝色;否则执行步骤 5)。

5) 扫描地图图像 M'_I ,若当前像素 p 的灰度值 $L(p)$ 在集合 R_d 中,则设置 p 的颜色为白色;否则保留 p 的颜色。记输出图像为 M_F ,则 M_F 即为最终的规范化图像。

取 $\alpha = 500$,利用上述方法对图 2 进行处理,其处理的结果参见图 3。



图 3 地图图像规范化处理结果

3 结论

针对彩色城市交通地图图像的特点,文中提出一种新颖的地图图像规范化算法。该算法克服了传统图像规范化的许多缺点,并且具有自动化程度高、适用范围广等优点。传统的规范化算法在不改变参数值的情况下,只能处理同一类地图图像;而文中的规范化算法在固定参数的情况下可以处理多类地图图像。例如,用图像处理软件 ADCSee 对图 1 进行曝光处理,曝光

处理后的图像如图 4 所示。图 1 经过曝光处理后,图像的颜色发生了变化,如果采用传统的规范化算法进行规范化处理,要想获得良好的规范化效果,就必须重新提取道路和区域的颜色;而采用文中算法,不需要改变任何参数,就能获得良好的规范化效果(参见图 5)。此外,该算法被应用到文献[11]中多幅城市交通地图图像及其经曝光处理的图像,取得了良好的规范化效果。



图 4 图 1 的曝光图像



图 5 图 4 的规范化效果

参考文献:

- [1] 鲍远律,夏冰,鲍远慧. GPS 车辆监控系统开发的关键技术[J]. 中国公路-交通信息产业, 2001,9(3):42-44.
- [2] 陈军,邬伦. 数字中国-地理空间基础框架[M]. 北京:科学出版社,2003.
- [3] Ye Jiaming, Bao Yuanlu, Liu Aiping. Road Extraction from Color City Map[C]//Proceeding of ICCA'02. Xiamen, China:[s.n.], 2002: 260-264.
- [4] 海涛,鲍远律. 彩色栅格交通地图图像中道路识别与提取[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2005,17(9):2010-2014.
- [5] 海涛,鲍远律,季方. 基于彩色栅格地图噪声特征的道路提取[J]. 微型机与应用, 2004,23(8):50-52.
- [6] 海涛,鲍远律. 消除彩色城市地图中道路上的文字噪声[J]. 微型机与应用, 2004,23(48):55-57.

(下转第 143 页)

设计上,此系统是一个典型的“4-f”光学系统,实验中利用光强来表示输入输出的数字量。在光源面上,每个 LED 发光的光强大小是相同的,那么 LED 发光时就可以表示输入数字为“1”,不发光表示输入数字为“0”;在光孔面上,透光孔可在矩阵中表示为“1”,不通光孔表示为“0”。当亮条纹照在光孔上时,就实现了相乘,即亮条纹照在透光孔上完成了 $1 \times 1 = 1$ 运算,亮条纹照在不通光孔上完成 $1 \times 0 = 0$ 运算;扇入透镜把光孔面上每一行的光强信息都会聚到接收面上,若光孔面上同一行中只有一路光束通过扇入透镜,实现 $1 + 0 = 1$ 运算,若同一行中有两路光束通过,实现 $1 + 1 = 2$ 运算,以此类推。在接收面上形成明暗条纹的光强都是成比例的,令单透光孔形成条纹光强为“1”,其他条纹则可按照倍数关系换算成数字量。光路分析表明,此光学向量-矩阵乘法器演示系统可以进行光学向量-矩阵乘法运算。

2 总 结

此系统是一套可实现 4 维向量与 4×4 维矩阵相乘的二进制光学乘法器系统,与传统电子计算机的核心运算器——累加器相比,它具有速度更快、信息量更大、并行度高等特点。此系统具有电子显示和电压输出的功能,只要在光源面上任意输入一组 4 维向量,同时就会在接收面上数字显示出运算结果,是一套实用性很强的教学科研演示系统。

光学向量-矩阵乘法器系统完成的是一个二维并行运算的光计算过程。由于光本身具有传播速度快和信息容量高,并且交叉光束之间不容易发生互相干扰的特点,使光学向量-矩阵乘法器在并行处理上有着明显优势,在传统计算机中,完成向量-矩阵乘法需要将乘法换算成加法运算,才能通过累加器进行计算,而

光学向量-矩阵乘法器所有的乘法、加法都可以同步高效地完成。这种光学系统能够在瞬间完成两个函数(或数值矩阵)之间的相关操作,相当于多个处理器(相当于函数的元素数量)联合在一起并行处理数据,这样的并行处理能力是惊人的,对处理很多领域中要求大计算量的傅氏变换是很有优势的。如果数值矩阵具有 $1000 \times 1000 = 10^6$ 个元素,那么这样的光学系统就有可能相当于具有 10^6 个处理器的传统超级巨型计算机的处理能力,而且更重要的是,将此光路结构进行紧凑处理后,这样的光学系统体积较小,结构非常简洁,没有传统超级巨型计算机那么庞大和复杂,无论是系统的稳定性还是系统的效率都具有很大的优越性。同时,这样的光学系统可扩展性非常好,只要相关器件技术得到提高,并在光学结构上进行改进,就可以大幅度提高并行计算处理的能力。

参考文献:

- [1] Jahns J, Holmdel, Jersery N. Optical Computing Hardware [M]. [s. l.]: AT&T; Academic Press, 1994.
- [2] Murdocca M. Advances in Digital Optical Computing[J]. The International Journal of Optoelectronics, 1990, 3(2): 191 - 205.
- [3] Haibach F G, Myrick M L. Precision in multivariate optical computing[J]. Appl Opt, 2004, 43(10): 212 - 217.
- [4] Goodman J W. Fully parallel, high-speed incoherent optical method for performing discrete Fourier transforms[J]. Opt Lett, 1978, 2(1): 1 - 3.
- [5] Gruber M. Planar-integrated optical vector-matrix multiplier[J]. Appl Opt, 2000, 39(29): 5367 - 5372.
- [6] Zhou changhe, Liu liren, Wang zhijiang. Binary-encoded vector-matrix multiplication architecture[J]. Opt Lett, 1992 (17): 1800 - 1802.

(上接第 136 页)

- ference on Computer Vision and Pattern Recognition. Collins: IEEE Computer Society, 1999: 246 - 252.
- [3] 尹小杰,朱 斌,樊 键. 无迹 Kalman 滤波器及其目标跟踪应用[J]. 测控技术, 2006, 25(8): 73 - 75.

(上接第 140 页)

- [7] 季 方,鲍远律. 基于外延特征的栅格地图噪声去除算法[J]. 中国图象图形学报, 2004, 9(9): 1062 - 1068.
- [8] 史久根,张旺生,鲍远律. 彩色地图图象中道路信息的识别和提取[J]. 微机发展, 2000, 10(1): 64 - 66.
- [9] Chang Ahn. Character Extraction form Color Map Image Us-

- [4] 李彦鹏,黎 湘. 一种快速 Kalman 滤波算法实现及效果评估[J]. 电子与信息学报, 2005, 27(1): 153 - 154.
- [5] 沈宇键,何 昕,郝志航. 图象序列中检测运动小目标的递归算法[J]. 光电工程, 2000, 27(2): 9 - 13.
- [6] 李彦鹏,黎 湘. 一种快速 Kalman 滤波算法实现及效果评估[J]. 电子与信息学报, 2005, 27(1): 153 - 154.
- [7] 沈宇键,何 昕,郝志航. 图象序列中检测运动小目标的递归算法[J]. 光电工程, 2000, 27(2): 9 - 13.
- [8] 李彦鹏,黎 湘. 一种快速 Kalman 滤波算法实现及效果评估[J]. 电子与信息学报, 2005, 27(1): 153 - 154.
- [9] 陈兵旗,孙 明. Visual C++ 实用图像处理[M]. 北京:清华大学出版社, 2004.
- [10] 地图编辑室. 中国公路交通图册[M]. 北京:地质出版社, 2000.