

字形轮廓的精确表示及其在文字向量化中的应用

何涛¹, 冯洁^{1,2}, 周秉锋^{1,2}

(1. 北京大学计算机科学技术研究所, 北京 100871;

2. 北京大学机器感知与智能教育部重点实验室, 北京 100871)

摘要: 从二进制图像中提取轮廓是许多图像处理应用中的重要内容, 例如: 扫描文档图像的向量化、对象分割、模式识别、手写文档和AutoCAD绘图中的内容解释、手绘卡通动画等。本文提出的轮廓跟踪算法能够生成具有以下特性的精确轮廓描述: 首先, 它能够有效地处理单像素宽度以及自相交的字形轮廓; 其次, 在轮廓跟踪的过程中, 该算法可以将内、外轮廓与相应的对象区域相关联(例如字母‘B’由一个外轮廓与两个内轮廓组成), 这将有利于对象的后续处理过程; 第三, 与传统的8-邻域或4-邻域连通轮廓跟踪算法相比, 本文的方法能够精确地捕捉到字符的形状和尺度信息, 这对于提高对象的保真度是十分重要的; 最后, 本文的算法简明, 易于实现。

关键词: 文档图像; 向量化; 字形; 轮廓; 眼腺

中图分类号: TP317.4 文献标识码: A DOI: 10.3969 / j.issn.1001-0270.2011.03.03

Exact Representation of Glyph Contours and its Application in Text Vectorization

HE Tao¹, FENG Jie^{1,2}, ZHOU Bing-feng^{1,2}

(1. Institute of Computer Science and Technology, Peking University, Beijing 100871;

2. Key Laboratory of Machine Perception (Peking University), Ministry of Education, Beijing 100871)

Abstract: Contour extraction from binary image is important for many image processing applications, e.g. scanned document image vectorization, object segmentation, pattern recognition, automatic content interpretation of handwritten documents and AutoCAD drawings, hand-drawn cartoon animation etc. The proposed contour tracing algorithm generates exact representation for contours, which has the following features: Firstly, it can effectively deal with one-pixel width glyphs, as well as self-intersection glyphs; Secondly, during contour tracing the algorithm can associate the outer and inner (i.e. the letter ‘B’ has one outer and two inner contours) contours with the corresponding object regions, which favors subsequent manipulation of the object; Thirdly, compared with traditional 8 or 4-neighbour connected contour tracing, our methods can exactly capture the glyph shape and size information, which is important in preserving the fidelity of objects; Lastly, the algorithm is concise and easy to implement.

Key Words: document image, vectorization, glyphs, contour tracing

收稿日期: 2010-09-29

基金项目: 本文的研究工作由国家自然科学基金项目NO.6097354资助。

作者简介: 何涛, 硕士, 主要研究方向为文档图像处理, 其中包括图像二值化、对象分割、尖点检测、图像向量化等。

1 引言

本文提出了一种将扫描所得的位图文档图像向量化的方法。具体而言,该方法是一种光栅图到向量图的转换方法,可以将位图文档图像中的文字转换为向量格式。

扫描的文档通常存储为像素位图格式。一份普通的A4页面文件(8.27 × 11.69 英寸)以300 dpi的分辨率扫描,可产生约870万个像素。如果采用向量形式的表示,则其文件大小可以大大减小,从而显著促进后续的文件操作。因此这种表示方法具有广泛的应用前景,例如在便携设备上可进行可变分辨率的显示、网络上的在线图像处理等。而为了对文字对象进行向量化,就必须首先获得文字对象的精确表示。

根据后续应用的不同,可以选取不同的对象表示方式。文献^[1]中对对象的表示和形状的描述进行了全面的综述。这里我们选用一种基于轮廓的对象表示方法,这是因为轮廓线仅以一组窄的点集来表示对象的范围和几何形状,因此可以经济且无损失地表示对象的信息。对于二进制图像中的轮廓提取,文献中已有广泛的研究^[2-8],但是大多数方法都不能提取出对象的精确轮廓表示。Collins^[5] and Skourikhine^[7]的方法可以提取精确表示,但是需要经过二次计算,并且标记出第一次计算中的边缘像素。

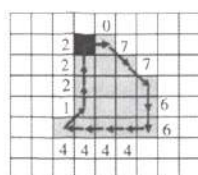
本文中,我们在Freeman^[2,3]的链码表示方法的基础上加以改进,提出了一种新的轮廓提取方法。链码是一种基于区域边界的图像表示方法,它按逆时针(或顺时针)方式跟踪轮廓上的每个像素,并记录

或4-连通的路径。图1(a)给出了一个典型的Freeman链码(FCC)的示例,而图1(b)中是一个顶点链码(VCC)^[4]表示的轮廓。在许多应用中这种表示方法是足够的,因为它能够捕捉到对象的总体形状轮廓,并且相对于其它的表示方法,在文件大小上也有相当大的缩减。但是在文字向量化的情形中,这种方法有两点重要的不足:

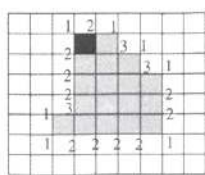
(1)扫描文档中,字符的字形常常出现单像素宽度的轮廓,链码表示方法不能正确地处理这种情况。单像素轮廓部分的外环和内环会被合并,从而丢失字形中原有的笔画墨迹。

(2)具有自相交的字符不能用链码正确地进行表示,其外环会对其自身产生干扰。

图2(a)是对上述问题的一个直观图示。采用基于像素的轮廓提取算法,左图中本应由一个外环和一个内环组成的轮廓只能检测到一条单环;而右图中由于自相交问题,本应只有一条外环的轮廓则可能产生两个相连的环。本文提出的字形轮廓精确表示方法可以正确地处理这些情况,并产生合理的结果。图2(b)中是采用本文的新轮廓跟踪方法处理单像素宽度轮廓和自相交轮廓的理论结果。



FCC:0776644441222



VCC:12131312212222113222

图1 链码表示示例:(a)Freeman 链码(Fcc)表示;
(b)顶点链码(VCC)表示

从一个像素到下一个像素的移动方向。于是,一个区域边界的链码由一个指定的起始像素和一个单位向量序列组成,这些向量组成了边界上的一条8-连通

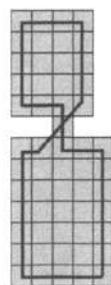
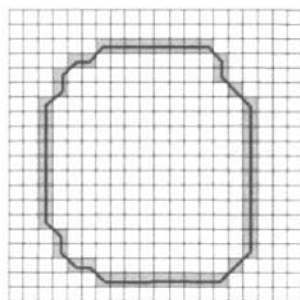


图2 (a).基于像素的链码表示中存在的问题
左:单像素宽度的轮廓;右:自相交的轮廓

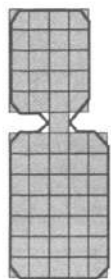
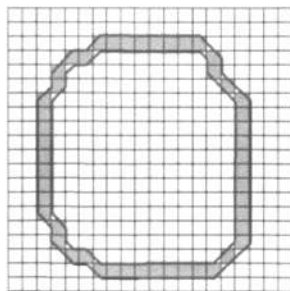


图2 (b).基于裂隙的链码表示方法
左:单像素宽度的轮廓;右:自相交的轮廓

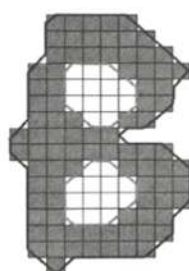


图3 字母“B”由一个外环轮廓和两个内环轮廓组成

该算法的有效性取决于跟踪轮廓的方式。Freeman链码等方法中将边界像素的中心作为轮廓点,并沿其8-连通或4-连通路进行跟踪,而本文的方法中则是采用跟踪路径上的每个裂隙(crack)的中点作为轮廓点。这里的裂隙定义为前景像素与背景像素之间的跳跃边界,并且具有与遍历路径一致的方向信息。这样的表示方法可以避免重复访问狭窄区域中的像素而导致的轮廓自相交。事实上,我们的算法可以对仅有一个像素宽度的对象进行轮廓提取,而不会产生歧义。

本文第二节中将详细给出我们提出的新算法的细节,第三节中是相应的实验结果,第四节中是本文的结论。

2 精确轮廓提取算法

本文提出的轮廓提取算法应用于二值化后的文档图像。指定了对象的第一个前景像素后,算法沿对象外围跟踪外环轮廓,并沿对象中的空洞跟踪内环轮廓。本算法对一个对象中的内、外环数目没有做任何假定,它会提取出所有的环并将它们与对象适当进行关联(如图3所示)。

2.1 约定

为了便于描述算法,我们首先用图示给出一些图像处理中的约定。图4(a)中是一个图像坐标系

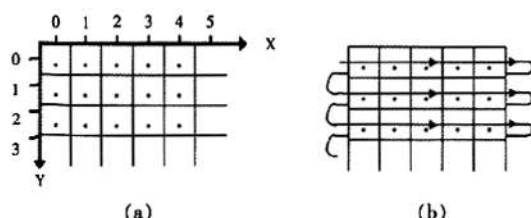
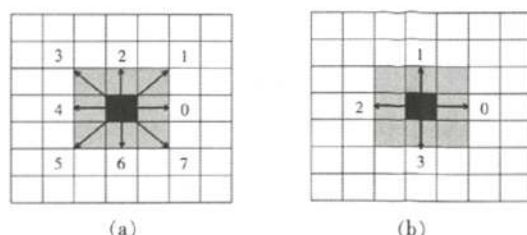
图4 图像处理中的约定:(a) 常用图像坐标系;
(b) 一种典型的图像扫描顺序:从左到右,从上到下。

图5 两种连通邻域定义:(a)8-连通邻域;(b)4-连通邻域。

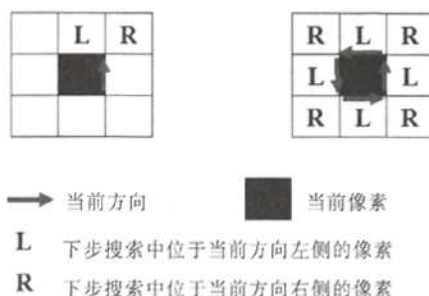


图6 在当前裂隙方向下,当前像素邻域内像素的命名规则。

的示例。图像中的扫描顺序通常是从左到右、从上到下的,如图4(b)所示。图5(a)和图5(b)中分别是链码表示中的8-连通和4-连通像素邻域的定义。

在当前像素P邻域中的命名规则如图6所示:黑色方块表示当前像素,L和R分别表示沿当前裂隙方向遍历时,下一步将要访问的两个像素。处于当前裂隙左侧的记为L,处于右侧的记为R。

2.2 算法细节

链码轮廓提取方法的一般流程是:首先指定一个起始像素,如图1中的黑色方块表示。而后将执行一个初始化步骤。不同轮廓跟踪算法的初始化过程是不同的,它主要取决于跟踪算法是基于8-连通或4-连通邻域,以及跟踪时的编码方案等。初始化完成后,算法将沿着遍历路径逐个跟踪轮廓点。确定下一个轮廓点的方法是各种链码方法的关键部分。

本文提出的算法与传统的Freeman链码类算法的主要区别即在于确定下一个轮廓点的方法的不同。Freeman链码类的轮廓提取方法中,寻找下一个轮廓点仅仅简单地基于8-连通或4-连通邻域,相邻的边界像素的中心点被标记为轮廓点。本文的方法中采取了不同的策略,将每个边界像素看成一个矩形,而轮廓点则位于矩形某条边的中点上。

算法首先寻找到起始像素。在初始化步骤,当前

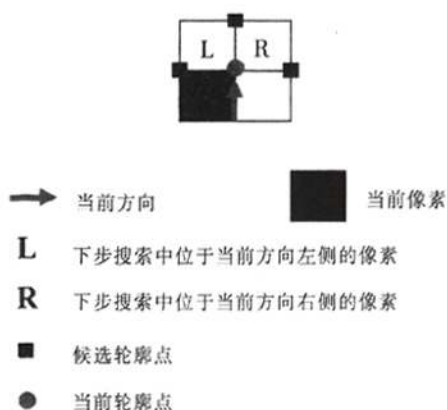


图7 轮廓点的跟踪:红色圆形和箭头表示当前轮廓点和当前裂隙方向,下一步候选的轮廓点只可能出现在三个位置,用蓝色方块表示。

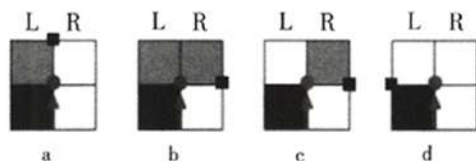


图8 下一个轮廓点的选取,取决于当前像素、当前裂隙方向以及L和R的情形。a、b、c、d分别给出了四种可能的情况以及相应的轮廓点选择。

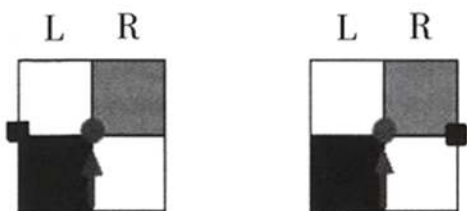


图9 当L为背景、R为前景时,采用8-连通和4-连通邻域所得的下一个轮廓点是不同的:左图为8-连通,右图为4-连通的情形。

像素(CP)被设置为起始像素;当前裂隙(CC)设置为起始像素的跳跃边界(起始像素与背景的分界线),方向为向下;当前轮廓点(CCP)设置为起始像素跳跃边界的中点。为了描述方便,我们在图示中以矩形的角点作为轮廓点。

如何跟踪下一个轮廓点是本文算法的核心。沿着当前裂隙的方向,我们检查图6中的L和R像素,并根据这两个像素的情形找到下一个轮廓点。每添加一个轮廓点,当前裂隙方向和当前像素都将被更新。



图10 在文字向量化中使用Freeman链码表示(上图)以及本文的精确轮廓表示方法(下图)的结果比较。

如图7中所示,当前裂隙方向为向上,当前轮廓点用红色圆形表示,下一步候选的轮廓点用蓝色方形表示。根据8-连通邻域内的前景/背景情况(如图8所示),在候选点中选取一个作为下一个轮廓点。随后,当前裂隙方向被更新为从当前轮廓点到下一个轮廓点的向量。

如果仅考虑4-连通邻域的情形,则跟踪路径会有所不同。由图9的比较可见4-连通与8-连通情形下对下一个轮廓点选择的区别:像素R为前景像素,但由于与当前像素呈斜对角关系,在4-连通情形下不被考虑为连通邻域,因此左侧点将被选为下一个轮廓点,而不是右侧点。

3 实验结果

我们采用本文提出的轮廓跟踪算法建立了一个实用的向量化系统。该系统以一幅二进制图像为输入,并从中提取出文字对象,然后每个对象的边界被精确地表示出来。最后,通过一个拟合过程,这些对象边界可以被转换为向量化的表示形式。

对于每个字符,其字形由一个外环轮廓和若干个内环轮廓组成,如图3中为一个字母‘B’的示例。一个字符的笔画墨迹是由其内、外环轮廓决定的,因此向量化字符的保真度也就取决于轮廓表示的精确度。

本文提出的方法可以生成精确的轮廓表示,即使对单像素宽度的轮廓也同样有效。与传统的

Freeman链码方法相比,我们的精确表示方法可以产生更好的向量化结果。图10中给出了分别采用Freeman链码方法和本文的基于裂隙的精确轮廓表示方法进行向量化的实验结果。第一行中的字符采用Freeman链码表示并向量化,注意其中不正常的过细的笔画。第二行中的结果采用的是本文提出的算法,这种不正常的现象得以消除。这一笔画上的改进得益于精确的字形轮廓表示。本文方法不需要像文献^[5]中的方法那样对边界像素进行标记并把连续的边界像素的中心作为轮廓点,而是对前景和背景像素之间的跳跃边界进行跟踪并将其中点作为轮廓点,从而获得精确的对象轮廓表示。

4 结论

本文提出了一种新的轮廓跟踪算法,它可以生成精确的对象轮廓表示,即使对仅有单像素宽度的轮廓也同样有效。在文档图像的向量化过程中,这种单像素宽度的轮廓十分常见,因此本文的方法在这方面具有重要的应用价值。

其它的基于像素的轮廓提取算法会产生自相交等问题,与之相比,本文方法将像素视为矩形,并用像素的跳跃边界中点代替像素中心记录为轮廓点,因此算法可以提取出亚像素级的轮廓,可保证提取的轮廓不存在相交,从而避免上述自相交等问题。

本文算法的几个重要的性质包括:

- (1)可以避免像素的重复跟踪和轮廓的自相交;
- (2)即使对单像素宽度的对象也可以精确地表示其轮廓;
- (3)通过指定像素的8-邻域或4-邻域连通,算法可以保持对象区域的所需连通度;
- (4)在轮廓跟踪过程中,内、外环轮廓可以与文字对象进行适当的关联,从而如实验结果所示,重建

出对象的笔画墨迹;

(5)该轮廓跟踪算法十分简洁,易于实现,其时间复杂度与轮廓点数基本呈线性关系。

该算法的低时间复杂度使其可以用于交互式图像分析和在线图形处理。由于能够精确处理单像素宽度轮廓和自相交轮廓等情形,该算法可以成为传统的Freeman链码方法的有效替代,使用Freeman链码表示的各种应用中都可以用本文方法进行适当的替换。

致谢

本文的研究工作由国家自然科学基金项目NO. 60973054资助。

参考文献:

- [1]D. Zhang, G. Lu. Review of Shape Representation and Description Techniques, Pattern Recognition, Vol. 37, No. 1., p. 1-19(2004).
- [2]H. Freeman. On the Encoding of Arbitrary Geometric Configurations, in Proceedings of IRE Translation Electron Computer, p.260-268, New York (1961).
- [3]H. Freeman. Computer Processing of Line Drawing Images, Computational Surveys[J], vol. 6, p. 57-97(1974).
- [4]E.Bribiesca. A New Chain Code, Pattern Recognition [J]. vol, 32, p. 235-251(1999).
- [5]R.J. Collins. Drawing Pixmap to Vector Conversion, US Patent 6173075 (2001).
- [6]M. Ren, J. Yang, H. Sun. Tracing Boundary Contours in a Binary Image, Image and Vision Computing [J]. Vol. 20, pp.125-131(2002).
- [7]A.N. Skourikhine. Dilated Contour Extraction and Component Labeling Algorithm for Object Vector Representation, Proc. of SPIE vol. 5916(2005).
- [8]L.A. Wulandhari, H. Haron. The Evolution and Trend of Chain Code Scheme, ICGST-GVIP 8(III), 17 - 23 (2008).

(上接第 62 页) 司(以下简称“柯达”)与柯尼卡美能达办公系统(中国)有限公司(以下简称“柯尼卡美能达”)达成一项基本的分销协议。按照协议规定,柯达将于2011年5月起在中国内地正式销售柯尼卡美能达bizhub PRESS C6000彩色数码印刷系统。

柯尼卡美能达在单张纸数码印刷系统色彩输出方面具有先进的核心竞争优势,其产品以优秀的图像质量、耐用性和稳定性而闻名。该系统可实现60页/分钟的高速彩色输出,

并具备先进的图像处理技术S.E.A.D. II、调频加网、稳定性和色彩浓度控制。

分销协议规定,柯达将协助柯尼卡美能达在中国内地市场进行单张纸数码印刷系统的销售和推广工作。柯达将捆绑销售柯尼卡美能达bizhub PRESS C6000彩色数码印刷系统和打印控制器IC307(由伊士曼柯达公司开发),同时还将从柯尼卡美能达的相关零配件,其目标客户为柯达在中国内地的CTP用户及其潜在用户。

(刘杨生供稿)

作者：[何涛](#)，[冯洁](#)，[周秉锋](#)，[HE Tao](#)，[FENG Jie](#)，[ZHOU Bing-feng](#)
作者单位：[何涛, HE Tao\(北京大学计算机科学技术研究所, 北京, 100871\)](#)，[冯洁, 周秉锋, FENG Jie, ZHOU Bing-feng\(北京大学计算机科学技术研究所, 北京, 100871; 北京大学机器感知与智能教育部重点实验室, 北京, 100871\)](#)
刊名：[影像技术](#)
英文刊名：[IMAGE TECHNOLOGY](#)
年，卷(期)：2011, 23(3)

参考文献(8条)

1. [LA. Wulandhari;H. Haron The Evolution and Trend of Chain Code Scheme](#) 2008(0III)
2. [A.N. Skourikhine Dilated Contour Extraction and Component Labeling Algorithm for Object Vector Representation](#) 2005
3. [M. Ren;J. Yang;H. Sun Tracing Boundary Contours in a Binary Image](#) 2002
4. [R.J. Collins Drawing Pixmap to Vector Conversion](#) 2001
5. [E.Bribiesca A New Chain Code](#) 1999
6. [H. Freeman Computer Processing of Line Drawing Images](#) 1974
7. [H. Freeman On the Encoding of Arbitrary Geometric Canfiguratians](#) 1961
8. [D. Zhang;G. Lu Review of Shape Representation and Description Techniques](#)[外文期刊] 2004(01)

本文链接：http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_yxjs201103003.aspx