

彩色光栅图像的矢量化^{*}

张元科 曹宝香

(曲阜师范大学计算机科学学院 山东日照276826)

摘要 彩色图像的矢量化在很多领域都有着重要的应用,例如制作在网上非常流行的精美的生动形象的矢量动画,实现彩色地图的GIS系统等。文中提出了一种对彩色图像进行矢量化的方法,并给出了相应处理过程和算法流程。该矢量化方法根据彩色图像的特点,在处理过程中引入HSI彩色空间,利用轮廓提取和跟踪技术,完成了对彩色图像的矢量化。经试验表明,该算法有一定的实用性。

关键词 颜色空间,图元,轮廓,矢量化

Study on Color Raster Images Vector Conversion

ZHANG Yuan-Ke CAO Bao-Xiang

(Computer Science College, QuFu Normal University, ShanDong RiZhao 276826)

Abstract As the deeply application of the computer in every field, the vectorization problem of color images has caught more and more people's attention. The paper refers to a method of vectorizing the color images and gives the corresponding dispose process and the algorithm flow. According to the features of the color of color images, this method has brought in the HIS color space in the process and has completed the vectorization of color images using the technique of contour pursue. The test indicates that the method have some practicability.

Keywords Color space, Component, Contour, Vectorization

1 引言

图像矢量化是一个综合了计算机视觉,计算机图像处理,计算机图形学和人工智能等各个学科的交叉课题。到目前为止,人们对黑白二值图像尤其是工程图纸的矢量化问题进行了较多的研究,突破了很多难题,提出了许多较为实用的矢量化方法,并且很多开发出来的二值工程图纸矢量化系统已经进入了实用阶段。

随着计算机在各个领域的广泛应用,人们对彩色图像的矢量化问题已经投入越来越多的关注。彩色图像的矢量化在很多领域都有着重要的应用。近些年来,Internet和WWW技术及其应用得到了飞速的发展,Internet上的网页也由以前大多数都为静止的页面发展到现在的丰富多彩的给人以极高的视觉享受的活动页面。这其中,质量高、制作精美的彩色动画起着非常重要的作用。考虑到网络带宽的限制,人们一般采用矢量动画技术,以减少所生成动画的数据量,从而可以大大提高文件播放、下载的速度。如果网上传输的这些彩色矢量动画全靠人工直接在计算机上通过勾画图形制作出来,那么对制作人员来说,不仅非常复杂繁琐,而且工作效率很低;当图形复杂时,还难以保证质量,所以我们希望能通过彩色图像的矢量化技术,自动提取图像的矢量信息,完成图像矢量化,以减轻动画制作者的负担。此外本文的工作对彩色地图GIS系统的实现亦有帮助。

彩色图像在颜色分布上远比黑白二值图像复杂得多,在矢量化的过程中需对图像颜色做较多的考虑。本文所提出的矢量化方法可以满足某些应用领域彩色图像矢量化的要求。

2 RGB彩色空间与HSI彩色空间^[5]

2.1 RGB颜色空间

通过扫描得到的彩色图像一般存为BMP文件格式。BMP文件具有结构简单,处理方便的优点,我们用它作为矢量化的中间格式。在BMP文件格式中,图像像素的颜色用的是RGB颜色空间。

在RGB彩色空间中,任意彩色光 F ,其配色方程可写成:

$$F=r[R]+g[G]+b[B]$$

其中 r 、 g 、 b 为三系数, R 、 G 、 B 代表红、绿和蓝三种颜色, r [R]、 g [G]、 b [B]为 F 色光的三色分量。在BMP图像文件中,每一像素其颜色的三色分量的范围均为0~255。

2.2 HSI彩色空间

在HSI彩色空间中,人们常用 H 、 S 、 I 三参数描述颜色特性,其中 H 表示色调(Hue), S 表示颜色的饱和度(Saturation), I 表示光的强度(Intensity)。

就人眼的彩色视觉特性而言,用色调、饱和度、光强(亮度)描述彩色光是合适的。色调决定彩色光的光谱成分,取决于光的波长,说明彩色光中混入白光数量,饱和度是某种波长的彩色光纯度的反映,当光谱色掺入白光成分越多时,饱和度下降,颜色变浅。亮度决定于彩色的强度,是彩色光对视觉的刺激程度,表征彩色光所含的能量特征,能量大则显得亮,反之,则显得暗。

采用HSI彩色空间能够减少彩色图像处理的复杂度,而增加快速性,它更接近人对彩色的认识。例如色调是颜色的属性,它描述真正的彩色,如纯红、纯黄、纯绿、纯蓝、纯紫以及它

^{*}本文由国家自然科学基金项目(项目编号:60072014)和省自然科学基金项目(项目编号:Y2003G01)资助。张元科 硕士,主要研究方向为真实感图形学及图像处理。曹宝香 教授,主要研究方向为计算机辅助设计。

们之间的某些颜色,当我们说颜色这个词时色调最能直接说明彩色这个概念。因此本文在处理图像像素的颜色时采用了 HIS 彩色空间,即在图像的预处理过程中,先将图像从 RGB 彩色空间转换到 HIS 彩色空间,其公式如下:

$$I = \frac{R+G+B}{3}$$

$$H = \frac{1}{360} [90 - \arctan(F/\sqrt{3}) + \{0, G > B; 180, G < B\}]$$

$$\text{其中: } F = \frac{2R-G-B}{G-B}; S = 1 - [\frac{\min(R,G,B)}{I}]$$

3 彩色图像矢量化

3.1 矢量化算法

我们把彩色图像中的每一个图形称为图元,这样,图像就可以被看作是图元的集合而进行处理。彩色图像矢量的主要任务就是从图像中分离出各个图元并获取其属性信息,如图元类型、颜色、轮廓等。

彩色图像矢量化相对于黑白二值图像矢量的一个很大的难点在于其颜色的分布非常复杂。对于图像中同一图元中的像素,其颜色值可能不一样。例如,一幅风景画中一条河流的水面,其颜色中的色调值均为浅绿色,但是由于各点的光照强度的不相同,使得水面上某些区域的颜色显得很浅,而某些区域的颜色较深;在对这个画面进行矢量化时,需要将一条河流完整的矢量提取出来,如果在矢量提取过程中对河流中每点颜色的色调(H)、饱和度(S)、亮度(I)均加以考虑的话,不仅使算法的复杂度大大增加,而且可能将一条完整的河流分割成很多小的区域,为以后的曲线拟合增加了难度。本文在对许多的彩色图像的分析后提出,图像中属于同一图元的像素其颜色值中的饱和度(S)、亮度(I)相差比较大,而色调值(H)的差别却很小。因此可以设定一阈值 D_0 ,在提取图像图元轮廓的过程中,将依据图像同一图元的像素相连通以及图元中各像素颜色值中的色调值 H 相差在一定阈值 D_0 中的规则进行提取。根据彩色图像的特点,本文提出了如下的矢量化算法:

Step1: 建立一个中间数据文件 FILE-TEMP,存放被分离出来的各个图元和及其属性值。

Step2: 按顺序搜索一图元的起始跟踪点。如按照从上到下、从左到右的顺序搜索,首先出现的与背景色不同颜色值的像素即为起始跟踪点。

Step3: 从起始跟踪点出发,依照同一图元各像素其 HSI 颜色空间中的色调值 H 相差在一定阈值 D_0 之内并且同一图元的像素相连通的规则,跟踪与起始点相连通域的区域进而提取该图元的所有轮廓线,并同时完成如下工作:

(1) 计算该连通域内所有像素颜色的平均值,以此作为该组件颜色属性的近似值。

(2) 擦除该连通域内的像素以便于以后跟踪其它组件。

提取出来的轮廓可能有一条,也可能有多条,如图1所示。因此要对提取出来的轮廓进行分析以判断该图元的有一条还是多条轮廓,若为多条轮廓则标明该轮廓为内轮廓还是外轮廓。为了方便以后对提取出的轮廓进行操作,本文用如下的数据结构来存储每条轮廓:

```
typedef struct Contour{
    int Contour_number; //头节点中该变量用于标识轮廓线的数量,
    其余节点用于表示轮廓标号。
    int OutOrIn; //该变量用于标识该轮廓为外轮廓还是内轮廓,0为
    外轮廓,1为内轮廓,头节点中,该变量设为-1。
    Point * Con; //Con 存放一条轮廓中的所有的像素,头节点该变量
    为 NULL。
```

```
Contour * nextContour; //存放下一条轮廓,如果为头节点或只有一
    条轮廓,则为 NULL。
}Contour-Array;
```

Step4: 对 Step3 中提取出的图元外轮廓进行拟合,提取出图元边界的矢量信息,并确定该图元的颜色属性。将该图元及其属性存入文件 FILE-TEMP 中。

Step5: 返回 setp2,按同样的步骤搜索下一个图元的起始跟踪点,进行图元的提取,并把提取出的图元及其属性存入文件 FILE-TEMP 中。上述步骤循环往复,直到无起始跟踪点为止。

Step6: 至此,一个包含图形各图元及其属性的矢量数据文件建立并完成。保存矢量文件 FILE-TEMP,如果实际需要的,可以在后继处理过程中转化为各种矢量图形处理软件所采用的文件格式。

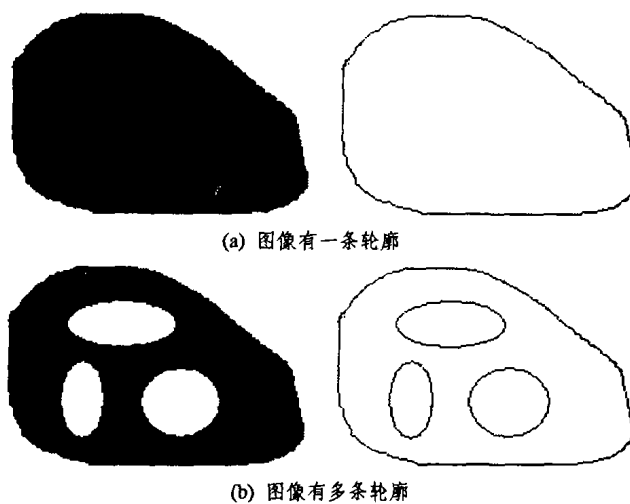


图1 图元及其轮廓示意

3.2 算法中的几个关键点的处理

3.2.1 图元始点的搜索 对图元始点的搜索,可以采用如下的方法:在搜索下一个图元的始点时,由前一个图元的始点开始,由上到下、由左到右搜索颜色值与背景色不同的像素点,来确定图元的始点。第一个图元的始点从图像的最左上角搜索即可。该方法即能使所有的像素点都被搜索到,保证了图元的完整性,又能减少每个始点搜索的次数,提高了效率^[6]。

值得注意的是此处的背景色是指整幅图像中所有像素所不包含的颜色,需事先加以定义。一般一幅待处理的图像所包含的颜色是有限的,因此只须在图像矢量化之前通过人机交互的方式输入一种颜色作为背景色即可。

3.2.2 连通域跟踪及轮廓提取 轮廓提取的算法有很多种,本文采用相对简单的掏空内部点法:如果图像中有一点为某图元中的点,且它的8个相邻点都是该图元中的点(此时该点是内部点),则将该点置成背景色。最后可以采用8-邻域跟踪法来收集该图元的轮廓点,即以任意轮廓点为起点,沿顺时针方向在其八邻域中搜索下一边缘轮廓点,直到回到起点本身,这样形成一个连通的闭环,收集的轮廓点存储在结构 Contour-Array 中,注意的是在跟踪轮廓点的时候,每跟踪到一个轮廓点进行存储之后需将其置成背景色,即擦除该点。如果有多条轮廓,则会形成多个相连通的闭环,轮廓的个数即为搜索出的闭环的个数。如果该图元有多条轮廓,可根据轮廓在位置上的包含关系来判断每条轮廓是外轮廓还是内轮廓。如果只有一条轮廓,将其设为外轮廓即可。

该算法需将属于同一图元的所有满足条件的相连通的像

素跟踪出来,在跟踪连通域的过程中进行连通域中像素的擦除,同时要做的另一个工作是求出该图元的颜色属性,即将连通域内所有像素颜色的平均值作为该图元的颜色属性。

为此,本文引入了栈结构 S , S 中存放像素 P 的位置和颜色属性,设其色调、饱和度和光强度三分量分别为 $P.H$ 、 $P.S$ 和 $P.I$,另设用于统计连通域内像素总个数的变量 Num 以及用于存放颜色各分量叠加值的三个变量 $SumH$ 、 $SumS$ 和 $SumI$,并采用如下的跟踪算法:

Step1 建立栈结构 S ,将起始跟踪点 P 入栈,如果 P 不是轮廓点,则在原图像中擦除 P (即将 P 的颜色置为背景色) 以避免像素重复入栈。变量 Num , $SumH$, $SumS$, $SumI$ 均置零。

Step2 如果 S 空,则分别计算 $SumH/Num$ 、 $SumS/Num$ 和 $SumI/Num$ 的值,以此作为该图元颜色属性的色调、饱和度和光强度,算法结束。否则,将栈顶元素 P 退栈,同时完成下面的操作:

(1) 提取像素 P 的颜色属性,并进行颜色的累加计算:
 $SumH = SumH + P.H$, $SumS = SumS + P.S$, $SumI = SumI + P.I$ 。

(2) 像素个数变量 $Num = Num + 1$ 。

Step3 搜索像素 P 的8-邻域,如果其8-邻域中有像素 P' 其颜色中的色调值 H 与像素 P 的色调值 H 相差在域值 D_0 之内,则将其放入栈中,若像素 P' 不是轮廓点则擦除 P' 。转 Setp2。

3.2.3 轮廓矢量化 提取出图元的轮廓之后,需要对其进行拟合,获得矢量信息,矢量化结果为一个存放点阵的数组。

由于在算法 Step3提取图元轮廓的过程中会出现如下情况:如果连通域 A 与图像中的另一连通域 B 相邻接,即如图2(a)所示,则在两连通域相邻接的地方会提取出两条相临的轮廓线,示意图如图2(b)所示。尽管两条轮廓线是邻接的,但是如果在矢量化的过程中对两条轮廓均加以矢量化的话,由于在矢量化的过程中,是用一系列的短直线来近似图元的轮廓边的,因此这两条相邻接的轮廓线经过矢量化后形成的用短直线拟合的多边形极有可能不一样,这样的后果是在最后对全图矢量化后显示的过程中,会出现如图2(c)所示的情况,即在两图元相邻接的地方出现空隙,从而极大地影响了矢量化的准确性和实用性。

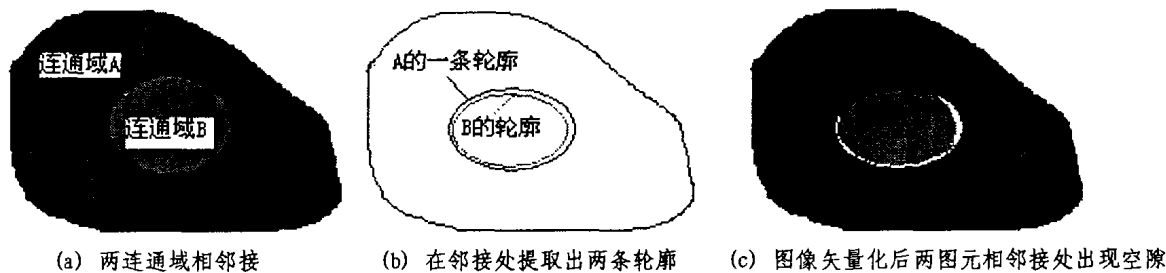


图2 擦除连通域过程中遇到的问题示例

本文采用了如下的方法来避免上述情况的产生,即在矢量化的过程中只对每个图元的外轮廓进行矢量化,从而确保了在两连通域相邻接的区域只进行一次矢量化操作。该过程之后矢量文件 FILE_TEMP 中保存的是每个图元的外轮廓以及该图元内部靠近外轮廓的一像素点的坐标值及其图元的颜色值。具体的显示过程在2.2.5节中详细介绍。

这里用动态分割法进行矢量化,假设跟踪得到的图元轮廓共有 M 个轮廓点,起点为 A ,终点为 B ,具体方法如下:

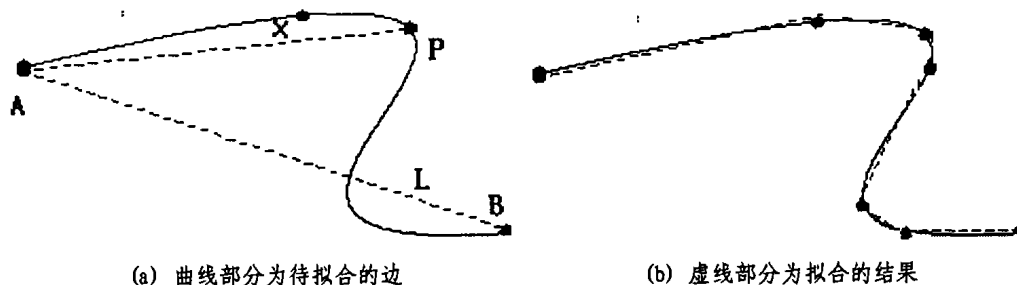


图3 动态分割法拟合曲线示例

3.2.4 图元颜色属性的确定 由于彩色图像其颜色分布非常复杂,同一图元中的像素其颜色值往往相差很大。现实中,对于矢量图形以及矢量动画的颜色要求并不如彩色图像那么严格,如动画制作软件 FLASH。因此,本文采用如下的处理方法:每一图元中的各像素采用同一种颜色,即该图元所包含的所有像素其颜色的平均值作为该图元的颜色属性,该值的计算方法在2.2.2节中已经给出。

(1) 连接两个端点 A 、 B 构成直线 L ,如图2(a)中虚线所示,计算端点 A 、 B 之间的每个轮廓点至 L 的距离,找到距 L 最远的点 P ,若 P 至 L 的距离大于阈值 δ ,则连接 A 、 P 。

(2) 在 A 、 P 之间的轮廓点上重复(1)的做法,直到找到一点 X ,使边上 A 与 X 之间的点距直线 AX 的距离均小于 δ 。此时 A 与 X 之间的曲线可用直线 AX 拟合,将 X 保存。

(3) 在轮廓点 X 与 B 之间重复步骤(1)和(2),即可将整条曲线用短直线拟合。拟合的结果如图3(b)所示。

3.2.5 彩色矢量图的显示 在显示彩色矢量图像时,首先画出所有图元的外轮廓多边形,然后利用每个图元其内一点及其颜色值对依次对每个图元进行填充,这样可以避免图元之间相互覆盖。填充时可以采用8-邻域种子填充算法,将文件 FILE_TEMP 保存的每个图元中的一点作为该图元的种子点,算法原理如下:种子像素入栈;当栈非空时重复执行如下三步操作:

(1) 栈顶像素退栈;

(2) 将出栈像素置成图元颜色。

(3) 按左、右、上、下、左上、右上、左下、右下的顺序检查与出栈像素相邻的八个像素,若其中某个像素不在边界且未置成图元颜色,则把该像素入栈。

由于篇幅所限,具体的填充过程这里不再详述,可参考文献[9]。

4 实验结果与结论

文中所提的算法已在奔腾4微机上用 Visual C++6.0 语言实现。图4给出利用本算法提取彩色图像中矢量信息的实验结果。测试时采用的是经过扫描的一幅彩色图像,扫描分辨率为300DPI,其中原 BMP 图像大小为73.4kB,矢量化后的图像大小为17.2kB。试验结果表明文中所提的方法是确实可行的。



(a) 矢量化前的图像

(b) 矢量化后的图像

图4 彩色 BMP 图像矢量化结果举例

本文在对图像中的图元进行提取时依据的是同一图元各像素其 HSI 颜色空间中的色调值 H 相差在一定阈值 D_0 之内这一规则,在对具体的彩色图像进行矢量化时,可依据图像的颜色分布特点,灵活地采用相应的规则,例如可依据饱和度 S 或者亮度 I ,再或者是依据像素颜色中的色调值、饱和度及亮度的某两种的综合信息等。本文的工作仍在继续研究和完善中,通过进一步的研究,会使这一矢量化算法更加完善和实用化。

参考文献

- 1 谭建荣,彭群生.基于图形约束的工程图纸扫描图象直线整体识别方法.计算机学报,1994,17(8):561~569
- 2 沈立,张晨曦.黑白图像的矢量化.计算机辅助设计与图形学学报,2000,12(3):170~173
- 3 Arcelli C. Pattern thinning by contour tracing. Computer Graphics and Image Processing, 1981, 17(1): 130~144
- 4 Koplowitz J, Plante S. Corner detection for chain coded curves. Pattern Recognition, 1995, 28(6): 843~852
- 5 钟玉琢,蔡莲红,等.多媒体计算机技术基础及应用.北京:高等教育出版社,2001
- 6 宋晓宇,王永会.工程图自动矢量化算法的设计与实现.中国图象图形学报,2000,5(1):66~69
- 7 田玉敏,刘国景.光栅图形矢量化方法分析与评价.计算机应用研究,2002(3):6~8
- 8 张旗,卢朝阳.图形矢量化中直线拟合与合并算法.现代电子技术,2002(3):19~21
- 9 孙家广,等.计算机图形学(第三版).北京:清华大学出版社,1998

第二届全国计算机网络教育学术会议

征文通知

为继续贯彻人才强国战略方针,培养造就经济社会急需的实用性人才,推动国家信息化进程;为促进计算机网络教育、计算机继续教育以及计算机新技术、新思想、新举措的不断发展;在以人为本的指导思想上,构建终身学习型社会;为加强学术交流,相互学习;为培养、造就和储备丰富的人才资源。我们在总结第一届学术会议征文工作的基础上,决定在2005年继续举办第二届全国计算机网络教育学术会议,现将论文征文有关事宜通知如下:

1 征文范围(包括但不限于)

素质教育理念与网络教育政策、策略;网络课程、课件及相关软件编制标准与评估;合作办学、学分互认与优质教学资源共享;网络教育教学平台的规范化建设与管理研究;网络教学(学习)环境与技术支撑的研究;网络教育与市场;网络系统安全;网络教育现状、存在问题、解决措施;网络教育新模式、新方法、新技术、新工具、新手段、新课件;构建具有中国特色的终身学习型社会战略思路及实施方案;网络教育与国际接轨;有关计算机教育各方面的课题研讨论文。

2 征文要求

1) 务必正确填写征文作者登记表(同征文一起发送);

论文题目			
作者姓名		E-mail	
单位		联系电话	
通讯地址		邮 编	

2) 未在正式刊物和会议上发表过;

3) 论文内容包括:中英文题目、作者单位、地址、摘要和关键词、正文、参考文献;第一作者介绍;

4) 用 WORD 排版,正文小四号字体,A4的篇幅,全文2500—8000字;

5) 电子文档一份(必须用 E-mail 传递),激光稿一式两份;

3 重要日期:投稿截止日期:2005年4月15日 录用日期:2005年4月25日(录用通知用 E-mail 发送)

修改稿返回截止日期(含电子文稿、光盘备):2005年5月10日。

4 来稿请寄:400030重庆市沙坪坝区小龙坎邮局13号信箱 电话:(023-89054865) 联系人:杨咏裳

电子邮箱:office@cnneb.com