

8-13-2020

Image Skeleton Extraction Method Based on Flood-Fill

Xingquan Cai

School of Information Science and Technology, North China University of Technology, Beijing 100144, China;

Zhe Yang

School of Information Science and Technology, North China University of Technology, Beijing 100144, China;

Runbo Cai

School of Information Science and Technology, North China University of Technology, Beijing 100144, China;

Yakun Ge

School of Information Science and Technology, North China University of Technology, Beijing 100144, China;

See next page for additional authors

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the [Artificial Intelligence and Robotics Commons](#), [Computer Engineering Commons](#), [Numerical Analysis and Scientific Computing Commons](#), [Operations Research](#), [Systems Engineering and Industrial Engineering Commons](#), and the [Systems Science Commons](#)

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

Image Skeleton Extraction Method Based on Flood-Fill

Abstract

Abstract: Aiming at the burr phenomenon and skeleton redundancy in current image skeleton extraction, a method based on flood-fill is proposed. The target image is pre-processed to obtain a threshold binary image and the foreground and background are segmented. A mask image and axis map are constructed to provide data sources and judgment basis for the subsequent calculation process. The diffusing water process is simulated by traversing the horizontal grayscale histogram. The foreground contour of the mask image is shrunk. According to the change of the connected components of the neighborhood, a skeleton feature point is determined. When the contour shrinking is finished, the image skeleton is obtained. The experimental results show that the method can effectively extract the image skeleton, the burr phenomenon and redundant structure are significantly reduced, and the execution speed is fast.

Keywords

skeleton extraction, flood-fill, mask image, axes image, water surface confluence

Authors

Xingquan Cai, Zhe Yang, Runbo Cai, Yakun Ge, and Yang Bo

Recommended Citation

Cai Xingquan, Yang Zhe, Cai Runbo, Ge Yakun, Yang Bo. Image Skeleton Extraction Method Based on Flood-Fill[J]. Journal of System Simulation, 2020, 32(8): 1455-1464.

基于漫水填充的图像骨架提取方法

蔡兴泉, 杨哲, 蔡润博, 葛亚坤, 杨波

(北方工业大学信息学院, 北京 100144)

摘要: 针对当前图像骨架提取存在毛刺现象和骨架冗余的问题, 提出基于漫水填充的图像骨架提取方法。对目标图像预处理, 得到阈值化二值图像, 分割出前景和背景; 构建掩膜图像和轴线图, 为后续运算过程提供数据来源和判断依据; 通过遍历水平面灰度直方图, 模拟漫水过程, 收缩掩膜图像的前景轮廓, 根据邻域连通分量变化, 确定是否为骨架特征点, 待轮廓收缩完毕, 得到图像骨架。实验验证表明, 该方法可以有效地提取图像骨架, 毛刺现象和冗余结构明显减少, 执行速度快。

关键词: 骨架提取; 漫水填充; 掩膜图像; 轴线图; 水面交汇

中图分类号: TP391.9 文献标识码: A 文章编号: 1004-731X (2020) 08-1455-10

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.19-VR0443

Image Skeleton Extraction Method Based on Flood-Fill

Cai Xingquan, Yang Zhe, Cai Runbo, Ge Yakun, Yang Bo

(School of Information Science and Technology, North China University of Technology, Beijing 100144, China)

Abstract: Aiming at the burr phenomenon and skeleton redundancy in current image skeleton extraction, a method based on flood-fill is proposed. The target image is pre-processed to obtain a threshold binary image and the foreground and background are segmented. A mask image and axis map are constructed to provide data sources and judgment basis for the subsequent calculation process. The diffusing water process is simulated by traversing the horizontal grayscale histogram. The foreground contour of the mask image is shrunk. According to the change of the connected components of the neighborhood, a skeleton feature point is determined. When the contour shrinking is finished, the image skeleton is obtained. The experimental results show that the method can effectively extract the image skeleton, the burr phenomenon and redundant structure are significantly reduced, and the execution speed is fast.

Keywords: skeleton extraction; flood-fill; mask image; axes image; water surface confluence

引言

图像骨架一般由多个单像素点连接而成, 可反映物体模型几何形态的连通性和拓扑结构^[1-2]。图像骨架是进行图像目标的特征提取、形状分析、目标识别等应用的基础^[3-6]。随着计算机图形图

像、机器视觉的快速发展, 图像骨架提取已经成为形态识别、智能导航、医学仿真等领域研究的热点和难点^[7]。

关于图像骨架提取, 已经有一些专家学者进行了研究。赵春江等^[8]利用最大正方形的中轴变换, 实现了二值图像的骨架提取。对待细化目标的每个像素进行判断, 统计每个像素邻域内最大正方形的所有像素个数, 进而进行中轴变换; 查找骨架点生成其骨架, 并通过阈值过滤其背景中的噪声。但噪声过滤过度会导致骨架出现断裂。Oscar 等^[9]采用



收稿日期: 2019-08-24 修回日期: 2019-11-14;
基金项目: 国家自然科学基金(61503005), 北京市社会科学基金(19YTC043), 北方工业大学毓优人才培养项目(NCUTYY19XN132);
作者简介: 蔡兴泉(1980-), 男, 山东, 博士, 教授, 研究方向为虚拟现实、人机互动。

<http://www.china-simulation.com>

• 1455 •

三维网格收缩实现了三维模型的骨架。对全局位置进行约束,应用隐式拉普拉斯平滑,将网格几何体压缩为零体积骨架形状;收缩网格,转换为一维曲线骨架;移除所有折叠面,保留收缩网格的形状和原始拓扑。该方法可用于三维模型的骨架提取,将三维网格模型转换为二维网格图像进行收缩,但在进行收缩时存在网格的影响,导致计算量较大。吕哲等^[10]提出了一种改进的形态学骨架提取算法。针对最大原盘法^[11]所提取结果的连通性和单像素宽性进行了改进,在提取骨架的过程中引入了虚拟骨架点来保持连通性;针对骨架提取结果包含的噪声进行伪分支删除,来提升骨架提取的质量。该方法增加多重细化条件和多重结构元素,增加了一定的开销。崔雪森等^[12]提出了一种基于边界外部压力的二值图像骨架提取方法。标记出二值图像的边界,判断每个边界点的受力情况,通过给定条件判断该点能否作为骨架单元,反复迭代直到没有新的骨架单元产生;针对提取出的骨架单元的每个点,对其 3*3 像素内的冗余元素进行清除,最终实现图像骨架的提取。该方法只考虑了压力的方向,未考虑力的大小,因而容易造成骨架的偏差。Kazuhisa 等^[13]利用生长型神经气体(Growing Neural Gas, GNG)算法和相对邻域图算法,从包含机器打印或手写字符的图像中,生成一个代表字符基本骨架的图形。Marie 等^[14]提出一种图像骨架的线性提取方法,实现利用参数控制修剪骨架出现的分支程度,同时优化了提取的效率。Cai 等^[15]提出了一种基于拓扑和通量的骨架线提取方法,对输入图像构建梯度向量场,检测鞍点和节点,引入物理动量流分析梯度向量场中的动量流大小,根据梯度矢量流场中鞍点和节点的检测结果以及流量大小提取骨架。该方法引入物理理论提取骨架,增加了计算量,且对于复杂的输入图像,提取的骨架存在断裂以及毛刺。Gao 等^[16]提出的方法也结合了物理理论,采用热扩散高度面迭代逼近实际距离场提取骨架,该方法提取的骨架也存在断裂的情况。

此外, Liu 等^[17]采用输入图像及其语义分割概

率图,结合双流全卷积神经网络来预测图像骨架; Shen 等^[18]采用多尺度相关边输出的全卷积神经网络预测图像骨架; Gao 等^[19]和 He 等^[20]都采用点云树来提取图像骨架。这些方法提取的图像骨架也都存在断裂和毛刺的问题。

当前图像骨架提取方法仍存在精确度不够,有毛刺现象,骨架存在冗余等问题^[21]。针对这些问题,提出一种基于漫水填充的图像骨架提取方法。

1 基于漫水填充的图像骨架提取

图像骨架为其前景目标区域的轴线。将图像通过处理抽象成为地形模型,则图像前景对应地形模型的山地区域,图像背景对应地形模型的平地区域,图像骨架对应地形模型的山脊特征线,见图 1。



图 1 将图像抽象为地形
Fig. 1 Abstracting image to terrain

自然现象中山脊具有分水的特性,即一股水流在山脊处会向两侧分流;反之在水面上涨时,局部水域会在山脊处发生交汇。若将图像背景部分视作已积水的盆地,并模拟积水上升淹没山地,在水面上升的过程中不断地标记出水面交汇的点,最终可提取出水面交汇点集,该点集组成山脊特征线,对应图像的骨架,如图 2 所示。模拟水面上升淹没山地的过程,可通过构建掩膜图像利用漫水填充进行实现,且漫水填充可均匀地收缩积水包围山地形成的轮廓,从而准确地提取出图像骨架。

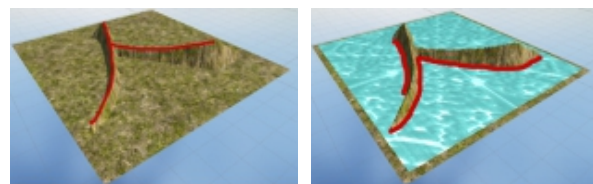


图 2 模拟水面上升淹没山地提取图像骨架
Fig. 2 Simulating uplifting water surface and submerging mountains to extract image skeleton

基于漫水填充的图像骨架提取主要分为 4 个步骤, 分别是预处理图像、构建掩膜图像、构建轴线图和利用漫水填充提取骨架线。

1.1 预处理图像

输入目标图像, 进行阈值化处理, 得到二值图像。在二值图像中, 灰度值为 255 的点为前景区域, 灰度值为 0 的点为背景区域。阈值化的方式较多, 通常采用固定阈值法或者最大类间方差阈值法。固定阈值法, 适用于简单图像, 用户一般能简单判断出阈值; 最大类间方差阈值法, 适用于复杂图像, 用于在用户无法估计最佳阈值时, 可自动计算出使得前景背景错分概率最小的阈值。本文采用最大类间方差阈值法, 其效果如图 3 所示。



图 3 阈值化
Fig. 3 Thresholding

1.2 构建掩膜图像

为了执行漫水填充计算以提取出骨架特征线, 需要根据阈值化后的二值图像, 构建掩膜图像。构建掩膜图像的步骤如下:

step 1: 创建一幅与二值图像相同尺寸的灰度图像, 设定图像深度为 8 位, 初始化所有像素为 0, 将该灰度图设为初始掩膜图像;

step 2: 创建前景轮廓点队列 FQ, 提取二值图像前景区域的轮廓点, 并将轮廓点存入 FQ;

step 3: 遍历前景轮廓点队列 FQ, 将轮廓点绘制于掩膜图像中, 轮廓点灰度值一般设为 255;

step 4: 逐点扫描二值图像, 将前景区域点灰度值设为 gV1、背景区域点灰度值设为 gV2, 绘制于掩膜图像中, $gV1 \neq gV2$, 且均小于 255。

构建掩膜图像的效果如图 4 所示。

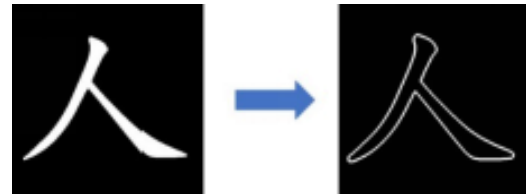


图 4 基于二值图像构建掩膜
Fig. 4 Constructing mask based on binary images

1.3 构建轴线图

完成掩膜图像的构建后, 利用二值图像生成轴线图, 轴线图可为后续漫水填充步骤提供判断依据。

构建轴线图步骤如下:

step 1: 创建一幅与二值图像相同尺寸的单通道图像, 设定图像深度为 32 位, 初始化所有像素为 0, 将该图像设为初始欧氏距离图像;

step 2: 逐点扫描二值图像, 若扫描到非零像素点 nq , 则计算该点与其最近零像素点 zq 之间的欧式距离 L :

$$L = \sqrt{(nq_x - zq_x)^2 + (nq_y - zq_y)^2} \quad (1)$$

式中: nq_x, zq_x, nq_y, zq_y 分别是 nq 和 zq 的像素坐标值。将该欧氏距离值设为非零像素点 nq 对应点的像素值, 并保存至欧氏距离图像;

step 3: 对欧氏距离图像进行归一化运算, 即:
 $v' = [v/d]$ (2)

式中: v 为像素点的像素值; d 为归一后的像素值范围长度, 设 d 为 255。对结果进行取整运算, 得到归一化结果 v' , 将像素值范围映射至 $[0, 255]$;

step 4: 将欧氏距离图像转化为 8 位单通道的灰度图像, 即为二值图像对应的轴线图, 其灰度值大于 0 部分为前景区域, 灰度值等于 0 部分为背景区域。

构建轴线图效果如图 5 所示, 图 1 所示地形即由该轴线图渲染得到。

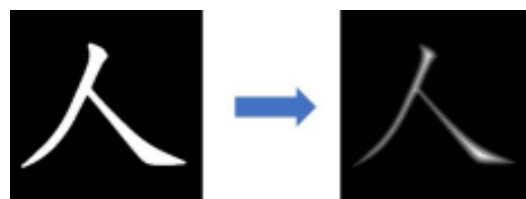


图 5 构建轴线图
Fig. 5 Constructing axes image

1.4 利用漫水填充提取骨架线

利用漫水填充收缩掩膜图像的前景轮廓,可以模拟水面上升淹没山地的过程,并根据水面交汇条件提取骨架特征点集。

在掩膜图像中,定义灰度值为 $gV1$ 的点为未填充点(前景),灰度值为 $gV2$ 的点为已填充点(背景),灰度值为 $gV3$ 为骨架特征点。此外,需要获取水面的迭代范围,保存在水面取值队列中,在每个水平面下判断前景轮廓能否利用漫水填充进行收缩。具体过程如下:

step 1: 创建水平面队列 LQ , 利用轴线图提取灰度直方图,并逐点遍历该直方图,将非零灰度值按照递增顺序存入 LQ ;

step 2: 遍历水平面队列 LQ , 取得每个水平面值 $level$;

step 3: 针对不同的水平面值 $level$, 遍历前景轮廓点队列 FQ , 取得每个前景轮廓点 pi ;

step 4: 针对 FQ 中每个前景轮廓点 pi , 若轴线图中 pi 对应的灰度值高于当前水面值 $level$, 则遍历下一轮廓点 $pi+1$; 若低于 $level$, 证明可被漫水, 创建邻域点队列 NQ , 在 NQ 中保存 pi 的上下左右 4 邻域点, 遍历 NQ , 取得每个邻域点 npj ;

step 5: 若掩膜图像中 npj 为已填充点、骨架特征点、前景轮廓点 3 种点之一, 则遍历下一个邻域点 $npj+1$;

step 6: 若掩膜图像中 npj 为未填充点, 且轴线图中 npj 对应的灰度值高于当前水平面值 $level$, 则将邻点 npj 加入前景轮廓点队列 FQ , 并标记为前景轮廓点, 遍历下一个邻点 $npj+1$;

step 7: 若掩膜图像中 npj 为未填充点, 且轴线图中 npj 对应的灰度值小于等于当前水平面值 $level$, 在掩膜图像中以当前轮廓点 pi 作为水源点, 向该邻点 npj 漫水, 在掩膜中对应的操作为将 npj 标记为已填充;

step 8: 在掩膜图像中以 npj 作为新的水源进行递归漫水操作, 针对 npj 创建 4 邻点队列 $newNQ$ 并遍历 $newNQ$, 结合轴线图判定邻点灰度值是否

低于当前水平面值, 若低于则继续递归漫水, 若高于则略过; 递归至 npj 的 4 邻点中不存在未填充点, 则递归结束;

step 9: 完成递归漫水操作后, 开始判定前景轮廓点 pi 在掩膜图像中标记为骨架特征点还是已填充点。判定标准为点 pi 处是否发生水面交汇, 若发生交汇, 则在掩膜图像中将 pi 标记为 $gV3$, 即骨架特征点, 若不发生交汇, 则标记为 $gV2$, 即已填充点。之后, 遍历下一前景轮廓点 $pi+1$;

step 10: 前景轮廓点队列 FQ 遍历完成后, 遍历下一个水平面值 $level$; 针对每个 $level$ 执行 step 3~step 9; 完成水平面队列 LQ 遍历后, 漫水填充结束, 在掩膜图像中像素值所有标记为 $gV3$ 的骨架特征点集即为图像骨架。

水面交汇的判定条件是, 以当前点 pi 为中心, 取其周围 8 邻域像素点构建 3×3 窗口, 并定义连通分量为在 3×3 窗口内像素值为 255 的点以 8 邻域连通的方式形成的通路数量。若删除当前点, 3×3 窗口内连通分量增加, 则该点处发生水面交汇, 在掩膜图像中将该点标记为骨架特征点。

假定掩膜图像中某点 pi 周围 8 邻点中部分已被漫水填充, 部分未填充, 形成如图 6(a) 的结果, 蓝色区域表示已填充, 黑色区域表示未填充, 标记为 255 的为前景轮廓点。在轴线图中点 pi 灰度值小于水平面 $level$ 的情况下, 若将点 pi 位置的像素去除, 根据水流的特性, 显然邻域点的水流会在点 pi 处进行交汇。如图 6(b) 所示。

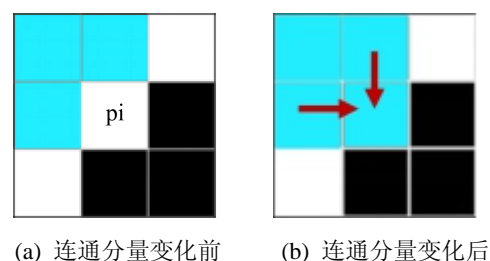


图 6 连通分量增加示意图

Fig. 6 Diagram of connected component increasing

从另外一个角度进行解释, 蓝色区域已被漫水, 黑色区域暂时未被漫水, 若点 pi 位置插入一

个底面积为单像素大小, 而高度高于当前水平面的柱体, 则原本通过点 p_i 相连的局部邻域水面因此断开连接, 从而印证了山脊的分水性, 反映在图像中即为连通分量增加, 由 1 变成了 2, 如图 7 所示。除此之外, 还有一些九宫格情况, 在去除中心点后会使图像的连通分量增加, 均可作为判定发生水面交汇的条件。

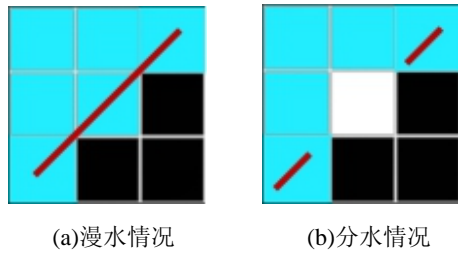


图 7 印证山脊分水性

Fig. 7 Confirming water separation characteristic of ridge

2 实验结果及分析

为了验证本文的方法, 本文设计并实现了基于漫水填充的图像骨架提取方法, 并实现了一个验证系统。系统的硬件环境为 Intel(R) Core(TM) i5-2450M CPU @ 2.5 GHz 2.50 GHz, 内存为 8 GB, NVIDIA GeForce GT 550 M 显卡; 软件环境为 Windows10 操作系统, 所用开发语言为 C++, 开发环境为 Visual Studio 2017。

2.1 基于漫水填充的图像骨架提取实验

在进行图像骨架提取时, 本文选取了 2 幅 400×400 的图像, 图 8(a) 为一幅马的图像, 图 8(b) 为一幅汉字图像。针对输入的图像进行阈值化处理, 所得二值图像图 9 所示。根据二值图像构建的掩膜图像和轴线图分别如图 10 和图 11 所示。

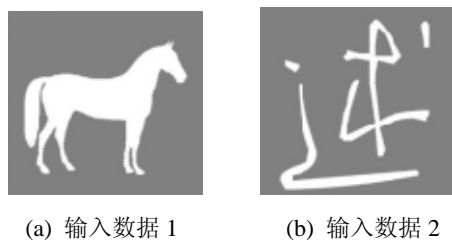
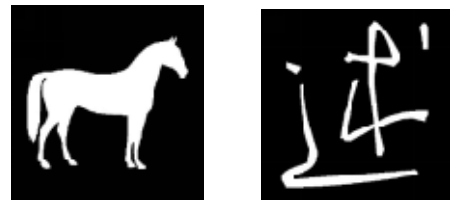


图 8 骨架提取实验所用数据

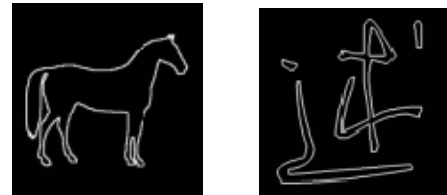
Fig. 8 Data for skeleton extraction experiments



(a) 阈值结果 1 (b) 阈值结果 2

图 9 阈值化处理结果

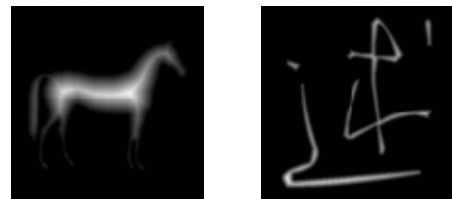
Fig. 9 Thresholding results



(a) 构建结果 1 (b) 构建结果 2

图 10 掩膜图像构建结果

Fig. 10 Mask image construction results



(a) 提取结果 1 (b) 提取结果 2

图 11 轴线图提取结果

Fig. 11 Axes map extraction results

完成构建掩膜图像和轴线图后, 可在掩膜图像中利用漫水填充提取骨架线。本文以图 10(a) 的漫水填充过程为例, 选取水平面高度值为 25, 55, 100 和 155 时的漫水填充结果, 为增强显示效果, 将掩膜图像中的前景部分以灰色显示, 如图 12 所示。

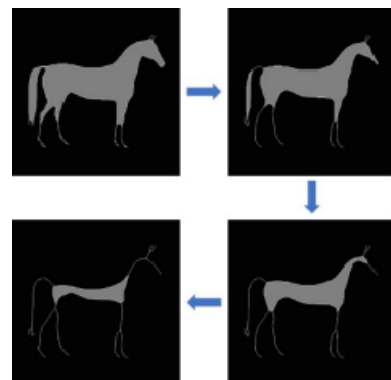
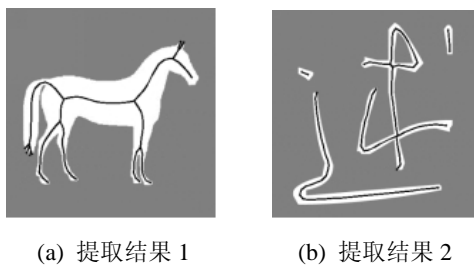


图 12 漫水填充过程

Fig. 12 Process of flood-fill

观察实验结果可知,随着水平面取值的不断升高,掩膜图像中前景轮廓在不断收缩,最终形成了“交汇”并提取出了骨架特征点集。将图 8(a)和图 8(b)所提取的骨架绘制于其原图之中,所得结果如图 13 所示。由于方法的过程是前景轮廓线向内部收缩的过程,该过程不会受轮廓线边缘角点的引导,所以利用本文方法提取的图像骨架准确且平滑,在当前输入数据下不存在毛刺以及冗余。



(a) 提取结果 1 (b) 提取结果 2

图 13 骨架提取结果

Fig. 13 Result of skeleton extraction

本文将骨架提取实验重复执行 1 000 次,统计每次计算时间,求取平均耗时,结果为 0.978 ms。由此可知,本文提出的基于漫水填充的图像骨架提取是可行且有效的,利用该方法提取的图像骨架准确且平滑,针对简单的输入图像,提取的骨架不含有毛刺及冗余。

2.2 与现有方法对比实验

本文方法可提取普通图像的骨架以及字符图像的骨架,而文献[11]方法亦针对字符图像进行骨架提取。因此,本文实现了文献[11]的方法,选择相同输入图像,完成骨架提取并进行对比实验。对于提取出的图像骨架,将骨架的线段视作边,将边所连接的分叉点和末尾端点视作节点,构建无向图数据结构,比较 2 种方法提取的骨架的边和节点数量,对比骨架的毛刺和冗余程度。在提取结果均符合要求的情况下,在迭代过程中,骨架节点数量越少,结果越接近于图像的核心躯干。从而避免从冗余节点产生冗余边导致骨架过度复杂。此外,对于实验耗时的计算,均为反复执行 1 000 次后求得的平均时间。

输入数据为三幅较复杂汉字图像,如图 14 所示,其中图 14(a)和图 14(b)为 400×400,图 14(c)为 900×750。



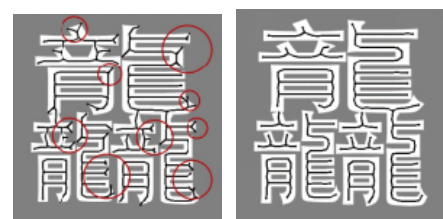
(a) 对比试验 1 (b) 对比试验 2

(c) 对比试验 3

图 14 对比实验输入数据

Fig. 14 Input data of comparison test

针对图 14(a),文献[11]方法和本文方法提取的骨架结果如图 15 所示。由于受轮廓边缘角点的引导,文献[11]方法提取的骨架存在 18 处毛刺及冗余,在图 15(a)中以圆圈标出,而本文方法提取的骨架未出现毛刺和冗余。



(a) 文献[11]方法 (b) 本文方法

图 15 对比实验 1

Fig. 15 Comparison test 1

此外,统计图 15(a)~(b)骨架的节点、边数以及实验耗时的对比如表 1 所示。

表 1 对比实验 1 骨架对比

Tab. 1 Skeleton of comparison test 1

方法来源	骨架节点数	骨架边数	耗时/s
文献[11]	162	226	1.532
本文	100	135	1.229

由表 1 可知, 针对图 14(a), 利用本文方法提取的图像骨架在节点和边的数量上明显少于文献 [11] 方法提取的骨架, 且本文方法耗时更少。

针对图 14(b), 文献 [11] 方法和本文方法提取的骨架结果如图 16 所示。观察可知, 当输入图像变得复杂之后, 文献 [11] 方法和本文方法提取的骨架都存在一些毛刺和冗余, 但文献 [11] 的方法比本文方法多了明显的 3 处冗余, 故本文方法的提取结果更好。

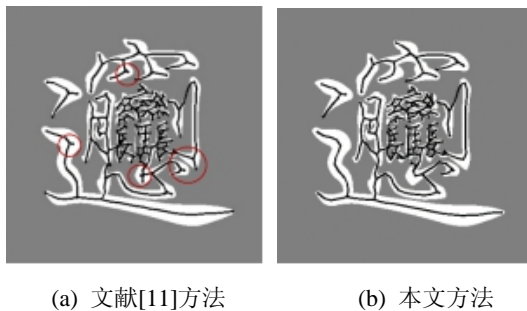


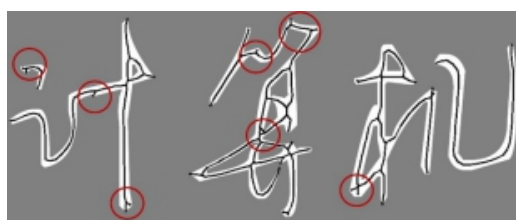
图 16 对比实验 2
Fig. 16 Comparison test 2

此外, 统计图 16(a)~(b)骨架的节点、边数以及实验耗时的对比如表 2 所示。显然, 在提取复杂图像的骨架时, 本文方法所提取的骨架, 其提取的骨架节点数和骨架边数更少, 即没有冗余骨架, 提取结果更精准。且耗时更少, 故结果优于文献 [11] 方法。

表 2 对比实验 2 骨架对比
Tab. 2 Skeleton of comparison test 2

方法来源	骨架节点数	骨架边数	耗时/s
文献 [11]	286	502	2.234
本文	213	353	1.951

针对图 14(c), 文献 [11] 方法和本文方法提取的结果, 如图 17(a)~(b) 所示。观察可知, 本文方法优于文献 [11] 方法, 其毛刺以及冗余边相对更少。



(a) 文献 [11] 方法



(b) 本文方法

图 17 对比实验 3
Fig. 17 Comparison 3

统计图 17(a)~(b)骨架的节点、边数以及实验耗时, 结果如表 3 所示。对比可知, 本文方法提取的骨架, 在骨架节点数、骨架边数更少, 即没有冗余骨架, 且在实验耗时方面更短, 优于文献 [11] 方法。

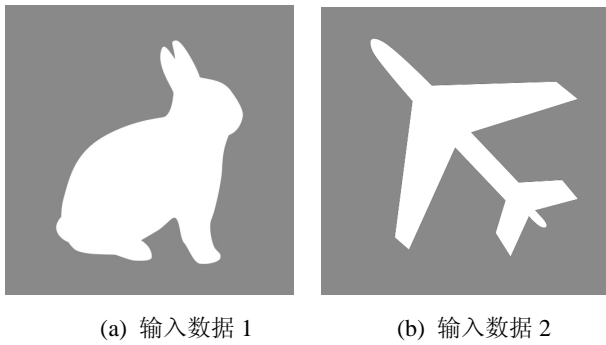
表 3 对比实验 3 骨架对比
Tab. 3 Skeleton of comparison test 3

方法来源	骨架节点数	骨架边数	耗时/s
文献 [11]	152	244	2.307
本文	123	204	2.112

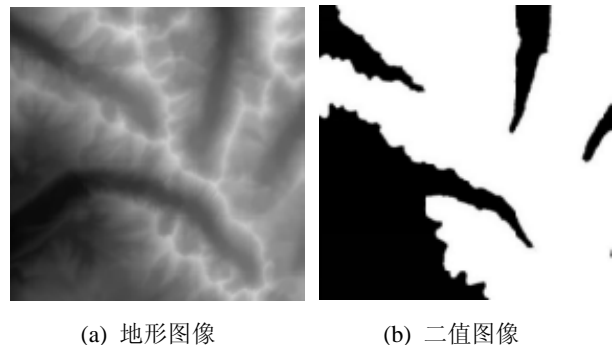
通过 3 组对比实验可知, 本文提出的基于漫水填充的骨架提取方法, 其结果优于文献 [11] 方法提取的骨架, 在输入形如图 14(a) 之类的复杂但形状较为规则的图像时, 提取的骨架简洁且准确, 且不含有毛刺及冗余; 在输入形如图 14(b)~(c) 之类复杂程度较高且形状不规则的图像时, 提取的结果也是准确的, 产生的毛刺数量也远少于文献 [11] 方法。

在普通图像骨架提取方面, 文献 [14] 的方法通过参数来控制边界的扰动对骨架分支提取结果的干扰, 用于消除假分支, 但往往出现分支无法完全消除或消除分支过多的情况。所以这里经过多次测试, 设置了较为合适的参数值来尽可能地达到理想效果。输入数据如图 18 所示, 其中图 18(a) 和图 18(b) 大小均为 512×512。

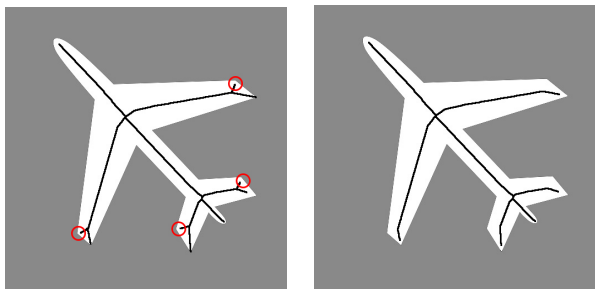
针对输入数据, 本文方法和文献 [14] 方法输出结果如图 19 所示。由表 4 可知, 文献 [14] 方法受轮廓线的影响, 依然存在不符合真实情况的冗余分支线, 即图中标注的地方。而本文方法并没有受到输入数据轮廓引导的影响, 更能够真实地体现出图像的骨架, 且耗时更短。



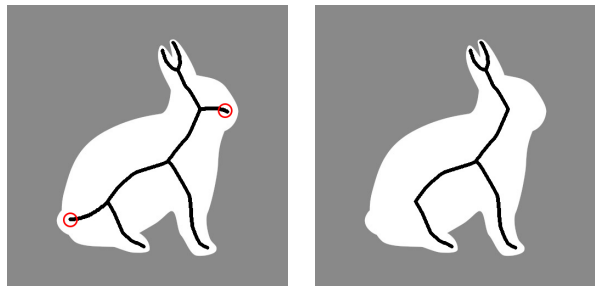
(a) 输入数据 1 (b) 输入数据 2

图 18 对比实验 4 输入数据
Fig. 18 Input data of comparison test 4

(a) 地形图像 (b) 二值图像

图 20 地形高度图及预处理结果
Fig. 20 Terrain height image and preprocessing result

(a) 文献[14]方法 (b) 本文方法



(c) 文献[14]方法 (d) 本文方法

图 19 对比实验 4
Fig. 19 Comparison test 4表 4 对比实验 4 骨架对比
Tab. 4 Skeleton of comparison test 4

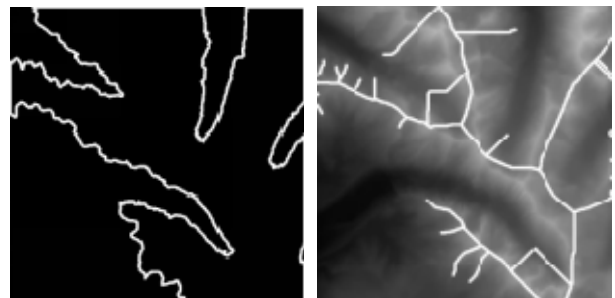
方法来源	骨架节点数	骨架边数	耗时/s
文献[14]	10	24	3.070
本文	6	14	2.505

2.3 地形骨架提取实验

本文提出的图像骨架提取方法采用了漫水填充进行实现,模拟了真实的水漫山地的过程,因此也可用于地形高度图山脊骨架线提取。本文采用如图 20(a)所示的实验图像进行地形高度图山脊骨架线提取实验。该图像为一幅基于真实地形数据的灰度地形图,大小为 512×512。

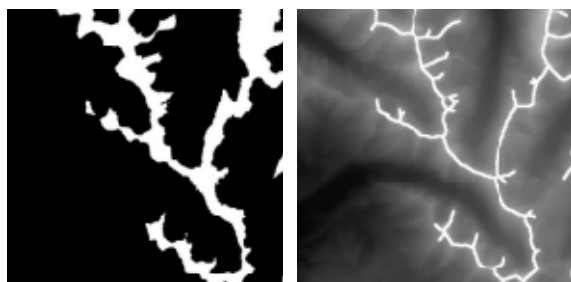
本文使用最大类间方差法对图 20(a)进行阈值化后,得到的二值图像如图 20(b)所示。根据图 20(b)构建掩膜图像,如图 21(a)所示。利用漫水填充提取骨架并将骨架绘制至原图,所得结果如图 21(b)所示。观察可知,提取的山脊骨架线和山脉走势吻合,但有所偏差。

经过多次实验后,发现骨架提取偏差是由于输入地形高度图图像较为复杂,在图像预处理时采用最大类间方差法自动选取的阈值不太合适。因此,对阈值进行了调整,缩小了前景区域,进行山脊线提取,修正阈值后的二值图像和山脊线提取结果如图 22 所示。观察可知,在阈值合适时,基于漫水填充的图像骨架提取方法可准确的提取山脊地形骨架,但地形骨架的完整性有所牺牲,这是本文后续研究的问题。



(a) 掩膜图像 (b) 山脊提取结果

图 21 掩膜图像以及山脊线提取结果
Fig. 21 Mask image and ridge extract result



(a) 二值图像 (b) 山脊提取结果

图 22 阈值调整后的二值图像和山脊线提取结果

Fig. 22 Binary image after threshold and ridge extraction result

3 结论

针对当前图像骨架提取存在毛刺现象和骨架冗余的问题, 本文提出了一种基于漫水填充的图像骨架提取方法。首先输入目标图像进行阈值化处理, 得到二值图像; 然后, 根据阈值化后的二值图像构建掩模图像, 提取二值图像的前景轮廓, 作为初始积水区域的“边界”, 并在掩模图像中标记二值图像的前景和背景; 接着, 阈值化二值图像, 并通过欧氏距离变换生成轴线图, 为后续操作提供判断依据; 之后, 利用轴线图获取水面的迭代范围, 保存队列中; 遍历水面取值队列, 根据邻域的连通分量判断掩模图像中的前景轮廓能否进行收缩; 待水面取值队列遍历完成后, 漫水填充结束, 保留下的特征线即为图像骨架。最终设计并实现了该方法, 并开发了一个验证系统。在验证系统中, 进行了基于漫水填充的图像骨架提取实验, 并与现有方法进行实验对比。实验结果表明, 相比于传统方法, 本文方法在普通图像的骨架以及字符图像骨架的提取中, 骨架结构的毛刺和冗余明显减少, 执行速度快, 准确率高。

此外, 本文的方法在一定程度上还可用于地形高度图山脊骨架线的快速提取。但在不同阈值的设定下, 得到的山脊线提取结果不同, 下一步的研究工作可以尝试采用组合阈值设定法来提高山脊骨架线的准确度和完整度, 并将该方法推广到大场景地形生成、形态识别、智能导航^[22-25]等领域。

参考文献:

- [1] 韩国强, 田绪红, 李志垣, 等. 三维图像骨架化方法综述[J]. 小型微型计算机系统, 2007, 28(9): 1695-1699.
Han Guoqiang, Tian Xuhong, Li Zhiyuan, et al. Survey of 3D Image Skeletonization[J]. Journal of Chinese Computer System, 2007, 28(9): 1695-1699.
- [2] 李劲男. 灰度图像骨架的提取及在物体检测中的应用[D]. 武汉: 华中科技大学, 2009.
Li Quannan, Skeleton Extraction of Gray-Sacle Images and Its Application in Object Detection[D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2009.
- [3] Dey T K, Zhao W. Approximating the Medial Axis from the Voronoi Diagram with a Convergence Guarantee[J]. Algorithmica (S0178-4617), 2004, 38(1): 179-200.
- [4] Blum H. Biological Shape and Visual Science (part I)[J]. Journal of Theoretical Biology (S0022-5193), 1973, 38(2): 205-287.
- [5] Sundar H, Silver D, Gagvani N, et al. IEEE Compute. Soc Shape Modeling International 2003-Seoul, South Korea (12-15 May 2003), 2003 Shape Modeling International. Skeleton based shape matching and retrieval[C]//Shape Modeling International. Seoul, South Korea, South Korea, IEEE, 2003: 130-139.
- [6] Cornea N D, Silver D, Yuan X, et al. Computing hierarchical curve-skeletons of 3D objects[J]. The Visual Computer (S0178-2789), 2005, 21(11): 945-955.
- [7] Zheng W, Li L, Zhang Z, et al. Relational Network for Skeleton-Based Action Recognition[C]. 2019 IEEE International Conference on Multimedia and Expo (ICME). Shanghai, China, IEEE, 2019: 826-831.
- [8] 赵春江, 施文康, 邓勇. 具有鲁棒性的图像骨架提取方法[J]. 计算机应用, 2005, 25(6): 1305-1306.
Zhao Chunjiang, Shi Wenkang, Deng Yong. New robust extraction method of image skeleton[J]. Computer Applications, 2005, 25(6): 1305-1306
- [9] Au O K C, Tai C L, Chu H K, et al. Skeleton extraction by mesh contraction[J]. ACM Transactions on Graphics (S0730-0301), 2008, 27(3): 1-10.
- [10] 吕哲, 王福利, 常玉清, 等. 改进的形态学骨架提取算法[J]. 计算机工程, 2009, 35(19): 23-25.
Lü Zhe, Wang Fuli, Chang Yuqing, et al. Improved Morphological Skeleton Extraction Algorithm[J]. Computer Engineering, 2009, 35(19): 23-25.
- [11] Coeurjolly D, Montanvert A. Optimal Separable Algorithms to Compute the Reverse Euclidean Distance Transformation and Discrete Medial Axis in Arbitrary Dimension[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis &

- Machine Intelligence (S0162-8828), 2007, 29(3): 437-448.
- [12] 崔雪森, 伍玉梅, 戴阳, 等. 外部压力法(EPM)的二值图像骨架提取[J]. 计算机工程与应用, 2013, 49(13): 138-141.
Cui Xuesen, Wu Yumei, Dai Yang, et al. Binary image skeleton extraction by External Pressure Method (EPM). Computer Engineering and Applications[J]. 2013, 49(13): 138-141.
- [13] Kazuhisa F. Extract an essential skeleton of a character as a graph from a character image[J]. International Journal of Computer Science (S2333-9721), 2015, 10(5): 35-39.
- [14] Marie R, Labbani-Igbida O, Mouaddib E M. The Delta Medial Axis A fast and robust algorithm for filtered skeleton extraction[J]. Pattern Recognition (S0031-3203), 2016: 5626-5639.
- [15] Cai Y X, Ming C G, Qin Y T. Skeleton extraction based on the topology and Snakes model[J]. Results in Physics (S2211-3797), 2017, 7: 373-378.
- [16] Gao F Y, Wei G S, Xin S Q, et al. 2D Skeleton Extraction Based on Heat Equation[J]. Computers & Graphics (S0097-8493), 2018, 74: 99-108.
- [17] Liu X L, Lyu P Y, Bai X, et al. Fusing Image and Segmentation Cues for Skeleton Extraction in the Wild[C]//ICCV 2017 Workshop A Challenge: Detecting Symmetry in the Wild. Venice, Italy IEEE, 2017.
- [18] Shen W, Zhao K, Jiang Y, et al. Object skeleton extraction in natural images by fusing scale-associated deep side outputs[C]//Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Las Vegas, NV, USA, 2016: 222-230.
- [19] Gao L M, Zhang D, Li N, et al. Force field driven skeleton extraction method for point cloud trees[J]. Earth Science Informatics (S1865-0481), 2018(1): 161-171.
- [20] He G Z, Yang J, Sevev B. Research on geometric features and point cloud properties for tree skeleton extraction[J]. Personal & Ubiquitous Computing (S1617-4917), 2018, 22(5/6): 903-910.
- [21] 刁智华, 吴贝贝, 毋媛媛, 等. 基于图像处理的骨架提取算法的应用研究[J]. 计算机科学, 2016, 43(增 1): 232-235.
Diao Zhihua, Wu Beibei, Wu Yuanyuan, et al. Application Research of Skeleton Extraction Algorithm Based on Image Processing[J]. Computer Science, 2016, 43(S1): 232-235.
- [22] 唐超, 张苗辉, 李伟, 等. 基于深度图像的人体行为识别[J]. 系统仿真学报, 2018, 30(5): 1641-1649.
Tang Chao, Zhang Maohui, Li Wei, et al. Human behavior recognition based on depth image[J]. Journal of System Simulation, 2018, 30(5): 1641-1649.
- [23] 李乾, 高尚兵, 潘志庚, 等. 基于无标记识别的增强现实方法研究[J]. 系统仿真学报, 2018, 30(7): 2608-2614.
Li Qian, Gao Shangbing, Pan Zhigeng, et al. Augmented reality method based on markless recognition[J]. Journal of System Simulation, 2018, 30(7): 2608-2614.
- [24] 蔡兴泉, 杨哲, 何鑫, 等. 结合伺服电机的古建筑增强现实交互展示系统[J/OL]. 系统仿真学报: 1-9 [2020-06-09].<http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3092.V2.0190111.0919.016.html>.
Cai Xingquan, Yang Ze, He Xin, et al. Interactive Media System for Ancient Buildings Combined with Servomotor[J/OL]. Journal of System Simulation: 1-9 [2020-06-09].<http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3092.V2.0190111.0919.016.html>.
- [25] 宋丽君, 李喆, 付强文, 等. 基于格网框架的极区 SINS/GPS 组合导航算法研究[J]. 系统仿真学报, 2019, 31(8): 1683-1691.
Song Lijun, Li Zhe, Fu Qiangwen, et al. Research on SINS/GPS Integrated Navigation Algorithm Based on Grid Frame in Polar Region[J]. Journal of System Simulation, 2019, 31(8): 1683-1691.