

皮棉中异性纤维骨架快速提取算法*

瞿鑫 丁天怀

(清华大学精密仪器与机械学系, 北京 100084)

【摘要】 提出了一种皮棉中异性纤维骨架提取算法。首先对图像进行距离变换,以距离图中的局部极大值点作为种子点,沿着各个方向上的脊点推进骨架,从而以脊线连接各局部极大值点。扫描骨架点集,对骨架进行细化,剔除对骨架连通性不起作用的重复点。之后,对伪骨架段进行剪枝,最终得到准确的骨架。该方法得到的骨架具有良好的单像素性和连通性,同时对于细长状以及存在断续的异性纤维能进行准确的骨架提取。实验表明,算法的运算复杂度低,能实现异性纤维骨架的快速提取。

关键词: 皮棉 异性纤维 特征提取 骨架 距离变换

中图分类号: TP391.41 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2010)06-0177-05

Fast Skeletonization Algorithm of Foreign Fibers in Lint Cotton

Qu Xin Ding Tianhuai

(Department of Precision Instruments and Mechanology, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract

A skeletonization algorithm of foreign fibers in lint cotton was proposed. Distance transformation was implemented to the original image and the distance map was obtained. The local maxima points of the distance map were treated as the seed points and the skeleton was extended forward in all directions along the ridge points. Then the local maxima points were connected through the ridge lines. The skeleton points set scan and skeleton thinning process were carried on to eliminate the duplicated points, which had no use to the skeleton connectivity. Then the pruning process was implemented to remove the pseudo-skeletons and the accurate skeletons were obtained. The proposed algorithm guaranteed the connectivity of the skeleton and single-pixel in width. Furthermore, it could extract accurate skeletons of foreign fibers with slender shape and discontinuous parts. Test showed that the proposed algorithm had low computing complexity and could achieve the fast extraction of foreign fiber skeletons.

Key words Lint cotton, Foreign fiber, Feature extraction, Skeleton, Distance transformation

引言

异性纤维(俗称“三丝”)是混入棉纤维中对棉花及其制品质量有严重影响的非棉纤维和有色纤维。在棉花的加工和分级过程中对异性纤维的识别^[1]、分类、统计是很重要的环节。在棉花的分级过程中,对不同种类的异性纤维进行分类能实现对棉花质量的预测和对生产过程的控制;在异性纤维

分拣过程中,根据对杂质的识别和形态分析能有针对性的进行喷除操作,保证系统正常连贯的工作。由于异性纤维种类繁多,形态多样,寻找一个特征空间^[2]对其进行表征有着重要的实用价值。骨架有着与原物体相同的拓扑结构,能有效描述物体的几何特征。结合骨架点的距离值,能一一对应地还原出物体的原始形状。因此用骨架特征对不同形状的异性纤维进行识别和分类是一种有效的方法。

收稿日期: 2009-08-24 修回日期: 2009-10-08

* 江苏省科技攻关项目(BE2007056)

作者简介: 瞿鑫, 博士生, 主要从事计算机视觉和光电检测研究, E-mail: qux04@mails.tsinghua.edu.cn

通讯作者: 丁天怀, 教授, 博士生导师, 主要从事传感器与智能仪器研究, E-mail: dlunj@mail.tsinghua.edu.cn

骨架提取算法可以分为3类:①基于Voronoi图的骨架化方法^[3-4],该方法能保证所得骨架的连通性,但运算复杂度较高。②基于细化的方法^[5-6],用该方法得到的骨架有着优良的连通性和单像素性,但是难以保证位置信息的准确性。文献[6]引入Snake模型调整骨架的位置,但是增加了运算复杂度。③基于距离变换的方法^[7-11],该方法得到的骨架位置准确,但是难以保证其连通性。文献[7]从3类鞍点进行搜索来实现不同骨架段的连通。为了避免繁琐的鞍点选取过程,文献[8]采取了边搜索边判断的策略,但会导致骨架出现回路,同时每个骨架点只能有一个推进方向,因此会遗漏部分骨架段。文献[9]在距离变换的基础上需要得到距离每个像素点最近的边界点坐标,该方法不能处理存在细小分支的目标物体。文献[10~11]两种基于种子点的方法得到的骨架都具有非常好的性能,但都是从单点生长出来的,对于存在分离部分的图像需要对各部分进行单独处理。

针对异性纤维图像的特点,本文提出一种基于距离变换的异性纤维骨架快速提取算法。以距离变换局部极大值为初始种子点集,在不同方向上沿着脊点推进骨架,结合骨架细化和剪枝操作,最终得到完整连续的骨架。

1 骨架提取算法

1.1 异性纤维骨架特点

实用的骨架算法必须满足单像素性和连通性的要求,除此之外,结合异性纤维图像的自身特征,该骨架算法还应具有以下特点:①能处理细小区域。异性纤维形态各异,存在一些不规则形状的个体,但总体来看,还是以丝状为主,呈现细长的外形特点。②异性纤维特征通常会出现断续的情况,要求算法能方便地对同一特征的不同分离部分进行骨架提取。③算法复杂度低,满足在线检测要求。

本文算法包括以下几个步骤:距离变换、求局部极大值点、骨架点搜索、剪枝。

1.2 距离变换及局部极大值点

距离变换就是计算像素点到边界的最短距离。根据不同的距离定义方法,可分为欧氏距离,街区距离、棋盘距离等,本文采用Chamfer(3,4)距离变换^[12],它是对欧氏距离的一种近似。该方法对二值图像进行一次从左到右下的模板扫描和一次从右到左上的模板扫描,得到距离图。骨架点可以理解为物体内部不被其他圆包含的最大圆的圆心集合,因此在距离图中骨架点形成了一条脊线,如图1a所示(图中目标特征为皮棉中的一根动物羽

毛)。骨架点的距离变换值比其相邻非骨架点的距离变换值要大。

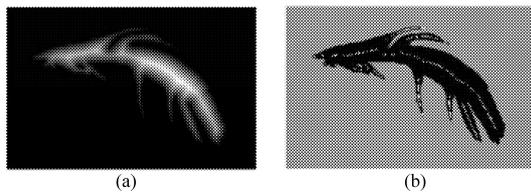


图1 距离变换与局部极大值点

Fig. 1 Distance transform and local maxima points

(a) 距离变换图 (b) 局部极大值点

扫描距离图,标记出8邻域局部极大值点。为了消除图像边沿噪声的影响,对落在图像边沿的局部极大值点,判断其类型,判断准则为^[13]

$$C_p = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^8 |P_i - P_{i+1}| \quad (1)$$

式中 C_p ——突变点的数量

P_i —— P 点相邻的8邻域点, $P_i = 0$ 表示落于物体外的点(1表示落于物体内的点), $P_9 = P_1$

如果8邻域内没有突变点,则判断为孤立点;如果有1个突变点,则为端点;如果有2个突变点则为过程点;如果有两个以上的突变点,则为分叉点。

如果该点为端点,则从局部极大值点集中剔除,该方法能消除边沿噪声干扰,同时对宽度为单像素或双像素的细小特征没有影响。如图1b所示,如果把距离图视为山脉,那么骨架就是山脊组成的包络线,而局部极大值点就是包络线中的平坦区域。因此如果从局部极大值点出发,沿着脊线连接所有局部极大值,就能得到完整的骨架点集。

1.3 骨架点搜索算法

骨架点的搜索过程,就是在各局部极大值点之间搜索连通的脊点(脊线上的点)的过程。在垂直于脊线的方向上,脊点的距离值大于两边非脊点的距离值。算法的骨架点判定方法如下:

以局部极大值点作为初始种子点集,标记为骨架点,对每个种子点的8邻域进行扫描。

对于水平或垂直方向上的点,如图2a所示(灰

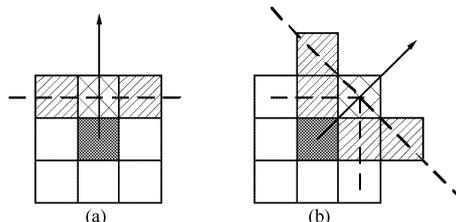


图2 骨架点推进方法示意图

Fig. 2 Driving methods of skeleton points

(a) 水平或垂直方向 (b) 对角方向

色点为骨架点,网格点为待分析点,斜线点为相邻

点,箭头为延伸方向,虚线为比较方向),如果该点的距离值不小于(大于等于)其两边相邻点的距离值,则标记该点为骨架点,加入种子点集。对于对角方向上的点,如图 2b 所示,除了比较虚折线对应方向上的相邻点外,还要比较虚直线对应方向上的相邻点,如果该点的距离值不小于上述 4 个相邻位置点的距离值,则标记该点为骨架点,加入种子点集。如果只有虚折线上相邻 2 点满足条件,就要分析其相邻 2 点中有没有骨架点,如果有骨架点,则舍弃该对角方向的点,如果没有骨架点,则标记该对角方向的点为骨架点,加入种子点集。当 8 邻域中的点都扫描完毕后,从种子点集中取出下一个点,重复上述操作,直到种子点集为空。

在搜索过程中,有两种情况需要特别处理:①对水平或垂直方向上的点进行判断时,如果同一方向上 3 个点的距离值相同,如图 3a 所示(又点距离值相同),则标记该点为非骨架点。由于算法处理的是离散点,因此脊线的宽度有 1 个像素宽和 2 个像素宽两种情况,而同一方向上 3 个像素距离值相同就说明该方向垂直于脊线的延伸方向。对角方向不做上述处理。②当待分析点的相邻点已经标记为骨架点,如图 3b 所示,则标记该待分析点为非骨架点,该种处理能保证标记得到的骨架的单像素性。

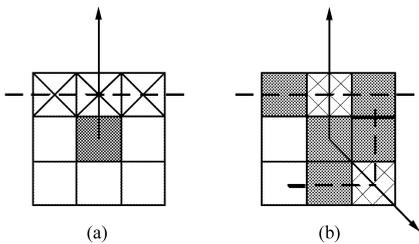


图 3 骨架搜索过程中的两种特殊情况

Fig. 3 Two special cases in skeleton searching process

(a) 水平或垂直方向上 3 点相同 (b) 相邻点为骨架点

1.4 剪枝

通过骨架点搜索得到的脊线有两种,一种连接 2 个局部极大值点,即目标骨架段;另一种是从一个局部极大值点出发,到物体边界终止的脊线,该脊线定义为伪骨架,需要通过剪枝进行去除。剪枝算法分为 3 个步骤:骨架细化、骨架点分类和伪骨架剔除。

1.4.1 骨架细化

单像素性是骨架的基本特性,而由于实际处理的图像都是离散的,因此会出现两条平行脊线相邻的情况,导致求得的骨架不能保证其单像素性,对于这种情况需要先对骨架进行细化。

骨架细化就是剔除一部分重叠的骨架点,但不影响骨架的连通性。算法的判定准则为

$$U = \sum_{i=1}^8 P_i \tag{2}$$

$$Q_i^F = \begin{cases} 1 & \left(\sum_{j=1}^2 P_{ij}^F = 0, P_i = 1 \right) \\ 0 & \text{(其他)} \end{cases} \tag{3}$$

$$Q_i^A = \begin{cases} 1 & \left(\sum_{j=1}^2 P_{ij}^A = 0, P_i = 1 \right) \\ 0 & \text{(其他)} \end{cases} \tag{4}$$

$$Q = \sum_{i=1}^8 Q_i^F + \sum_{i=1}^8 Q_i^A \tag{5}$$

式中 P_i —— P 点相邻的 8 邻域点, $P_i = 0$ 表示非骨架点(1 表示骨架点)

P_{ij}^F, P_{ij}^A —— P_i 点前向或后向的第 j 个点, $P_{ij}^F = 0$ 表示非骨架点(1 表示骨架点)

如图 4a 所示(斜线点 F 为前向点,斜线点 A 为后向点),给定一个待分析点,扫描其 8 邻域,如果对角方向上的相邻点为骨架点,判断其顺时针的前向点,此时式(3)、(4)中 $j=1$,如果该前向点为非骨架点,则该点前向标记值为 1,对后向点的判断方法相同。

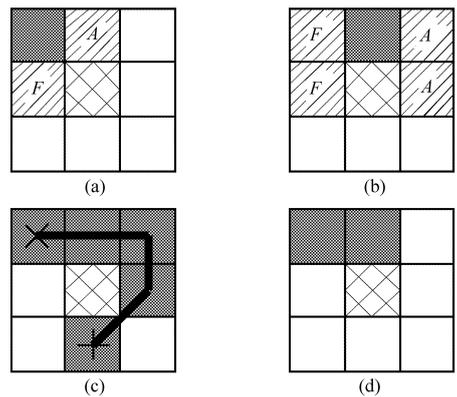


图 4 骨架细化示意图

Fig. 4 Skeleton thinning

(a) 骨架点在对角方向 (b) 骨架点在水平或垂直方向
(c) 骨架连通 (d) 只有两个相邻骨架点的情况

扫描水平或垂直方向上的相邻点,如果为骨架点,判断其顺时针前向点,此时前向点有 2 个,如图 4b 所示,此时式(3)、(4)中 $j=1,2$,当 2 个前向点都为非骨架点时,该点前向标记值为 1,后向点的判断相同。累加 8 邻域的标记值,如果累加值为 2,则表示去除中心的待分析点后,该点 8 邻域中的骨架点是连通的,如图 4c 所示,只有 2 个不连通的端点(图中叉点)。判断过程中存在一类特殊情况,如图 4d 所示。虽然该情况满足累加标记点为 2,但是由于该待分析点的 8 邻域中只有 2 个骨架点,该待分析点为一个端点,应予以保留。因此,当同时满足

累加标记值为2,并且8邻域骨架点数大于2时,该待分析点为重复点,予以剔除,否则保留该点。

1.4.2 骨架点分类

扫描骨架点集,对骨架点进行分类,并对不同类型的点进行标记,分类准则如式(1)所示,其中 $P_i = 1$ 表示骨架点, $P_i = 0$ 表示非骨架点。如果扫描到的点被判断为分叉点,则使用与局部极大值点相同的标记值标记该点,作为剔除过程结束的标志,对于端点,作为剔除过程起始的标志。

1.4.3 伪骨架剔除

以标记为端点的骨架点作为种子点集,进行逆向搜索。如图5所示(黑点为局部极大值点,叉点为端点,圈点为分叉点,虚线为骨架点搜索过程中得到的脊线),从种子点开始进行8邻域搜索,为了防止死循环,搜索过程中先判断水平和垂直方向的相邻点,然后再判断对角方向的相邻点。当在8邻域中搜索到骨架点,则判断该点是否为分叉点或者局部极大值点,如果不是,则剔除该种子点,以该剔除的骨架点为种子点继续向下搜索;如果是,则结束该轮剔除操作,从种子点集中取出下一个端点进行相同操作,直到种子点集为空。

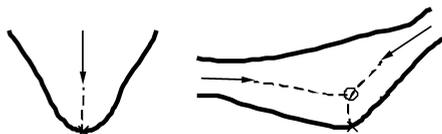


图5 剪枝骨架段

Fig. 5 Skeleton segment for pruning

图6a为未进行伪骨架剪枝的骨架提取结果,可见除了有效的骨架外还存在一些从主骨架向外延伸直到物体边界的伪骨架段。图6b是使用本文剪枝方法进行伪骨架剔除后的结果,可见最终的骨架提取结果是准确的。

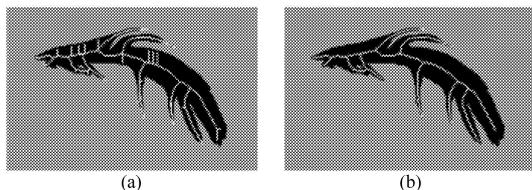


图6 伪骨架剪枝

Fig. 6 Pseudo-skeleton pruning

(a) 存在伪骨架的结果 (b) 剪枝后的骨架

2 算法时间复杂度分析

算法由多个步骤组成,各部分时间复杂度分析如下:采用Chamfer(3,4)距离变换,对于一幅 $n \times n$ 图像,其算法复杂度为 $O(n^2)$;求局部极大值点需要遍历一次图像,其算法复杂度为 $O(n^2)$;骨架点类型分析的算法复杂度为 $O(n^2)$;骨架点搜索过程中,对

于每个局部极大值点,只要分析其8邻域相邻点,与 n 的大小无关,对于过程中加入的骨架点,也进行相同的操作,而在此过程中骨架点数量在 $n \times n$ 的数量级,因此整个骨架点搜索过程的复杂度为 $O(n^2)$;骨架细化也只分析每个骨架点8邻域相邻点的情况,因此其算法复杂度为 $O(n^2)$,伪骨架剔除算法复杂度为 $O(n^2)$ 。因此本算法的时间复杂度为 $O(n^2)$ 。

3 实验结果与算法比较

将本文的算法运用到皮棉中异性纤维骨架的提取,图7为两幅异性纤维(丙纶丝)的骨架提取结果。

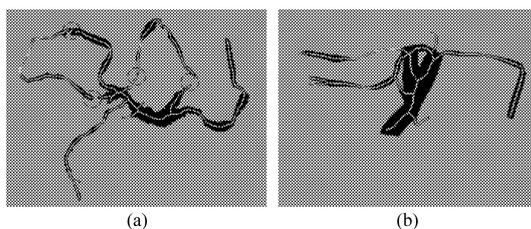


图7 异性纤维骨架提取

Fig. 7 Skeleton extraction of foreign fibers

(a) 存在断续异性纤维骨架 (b) 完整异性纤维骨架

可以看出算法能有效地提取出细长状的纤维骨架,并保证所得骨架的连通性和单像素性。对于存在断续的异性纤维特征(图7a中虚线圈中),算法能对各部分单独进行处理,不影响最终结果的准确性。

图8为该算法与其他3种算法所提取骨架的效果图,结合表1对4种算法的性能进行比较(对图8

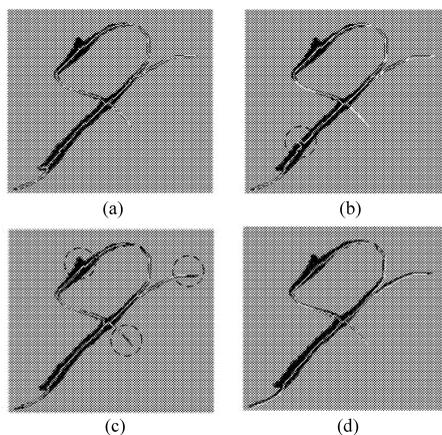


图8 4种算法的比较

Fig. 8 Comparison of the four methods

(a) 本文算法 (b) 文献[8]算法

(c) 文献[10]算法 (d) 文献[11]算法

所示 200×180 像素的图像进行处理,CPU: Dual Core 2.66 GHz,内存:4 GB,操作系统:Windows XP,软件:Matlab 6.5):文献[8]从距离图的局部极大值点出发,通过一次向上搜索和一次向下搜索得到骨架,该算法通过细化算法和剪枝操作保证结果的单像素性和准确性,但由于在搜索过程中前进方向只

有一个,对于那些有多个骨架延伸方向的分叉点,不能保证其连通性(图8b虚线圈中)。文献[10]通过覆盖,分支确定,方向生长得到骨架,能保证结果的单像素性和连通性,并能正确搜索骨架分支。为了消除毛刺的影响,该算法使用了多分辨率分析的方法,由于判断的依据是各分支所包含的像素数而不是长度,因此会对细长的特征有影响(图8c左上虚线圈中消除了毛刺,而其他虚线圈中细长骨架被忽略)。文献[11]从关键点出发,通过全局遍历搜索的方法得到最短路径,最终组成骨架,保证了结果的单像素性和连通性,而且搜索结果不存在伪骨架。但是其搜索算法处理时间比较长,达到了秒的数量级;本算法沿着脊线推进骨架点,保证了结果的连通性,并通过细化和骨架剪枝来实现结果的单像素性和准确性。同时本算法的时间复杂度低,在4种算法中处理时间最短。

表1 4种算法的性能比较

Tab.1 Performance comparison of the four methods

算法	单像素性	连通性	准确性	时间 t/s
文献[8]	细化	不保证	剪枝	0.094
文献[10]	单像素	连通	多分辨率分析	0.313
文献[11]	单像素	连通	准确	4.938
本算法	细化	连通	剪枝	0.015

4 结论

(1) 算法能保证得到的物体骨架的单像素性和连通性。

(2) 针对皮棉中异性纤维的特点,本算法对细长特征和存在断续的特征能进行很好的处理。

(3) 算法运算复杂度低,能实现对异性纤维骨架特征的快速提取。

参 考 文 献

- 杨文柱,李道亮,魏新华,等. 棉花异性纤维图像分割方法[J]. 农业机械学报,2009,40(3):156~160,171.
Yang Wenzhu, Li Daoliang, Wei Xinhua, et al. Toward image segmentation of foreign fibers in lint[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009,40(3):156~160,171. (in Chinese)
- Siddaiah M, Lieberman M A, Prasad N R. Identification of trash types in ginned cotton using neuro computing techniques[C] // Proceedings of IEEE International Fuzzy Systems Conference, Seoul, Korea, 1999: 738~743.
- Ogniewicz R L, Kubler O. Hierarchic Voronoi skeletons[J]. Pattern Recognition, 1995, 28(3): 343~359.
- Etzion M, Rappoport A. Computing voronoi skeletons of a 3-D polyhedron by space subdivision[J]. Computational Geometry, 2002, 21(3): 87~120.
- Xie Wenjie, Thompson R P, Perucchio R. A topology-perserving parallel 3D thinning algorithm for extracting the curve skeleton[J]. Pattern Recognition, 2003, 36(7): 1529~1544.
- 车武军,杨勋年,汪国昭. 动态骨架算法[J]. 软件学报,2003,14(4):818~823.
Che Wujun, Yang Xunnian, Wang Guozhao. A dynamic approach to skeletonization[J]. Journal of Software, 2003, 14(4): 818~823. (in Chinese)
- Niblack C W, Capson D W, Gibbons P B. Generating skeletons and centerlines from the medial axis transform[C] // Proceedings of 10th International Conference on Pattern Recognition, Atlantic City, New Jersey, USA, 1990: 881~885.
- Shih F Y, Pu C C. A skeletonization algorithm by maxima tracking on Euclidean distance transform[J]. Pattern Recognition, 1995, 28(3): 331~341.
- Choi W P, Lam K M, Siu W C. Extraction of the Euclidean skeleton based on a connectivity criterion[J]. Pattern Recognition, 2003, 36(3): 721~729.
- 丁颀,刘文予,郑宇化. 基于距离变换的多尺度连通骨架算法[J]. 红外与毫米波学报,2005,24(4):281~285.
Ding Yi, Liu Wenyu, Zheng Yuhua. Hierarchical connected skeletonization algorithm based on distance transform[J]. Journal of Infrared and Millimeter Waves, 2005, 24(4): 281~285. (in Chinese)
- 刘俊涛,刘文予,吴彩华,等. 一种提取物体线形骨架的新方法[J]. 自动化学报,2008,34(6):617~622.
Liu Juntao, Liu Wenyu, Wu Caihua, et al. A new method of extracting objects' curve-skeleton[J]. ACTA Automatica Sinica, 2008, 34(6): 617~622. (in Chinese)
- Grevera G J. The "dead reckoning" signed distance transform[J]. Computer Vision and Image Understanding, 2004, 95(3):317~333.
- Zhao Feng, Tang Xiaou. Preprocessing and postprocessing for skeleton-based fingerprint minutiae extraction[J]. Pattern Recognition, 2007, 40(4): 1270~1281.