

草莓采摘机器人的研究： 扫描线填充算法在草莓图像孔洞填充中的应用

周天娟 张铁中 杨丽
(中国农业大学 工学院, 北京 100083)

摘要 为解决强光照射导致的草莓图像分割后的内部孔洞问题,采用扫描线填充算法对孔洞进行填充。首先提取图像中整个草莓果实区域的轮廓线,在分析水平扫描线和区域轮廓线相交的各种可能性后,快速求取扫描线和轮廓线的交点,然后进行交点配对和区域填充,通过对整个草莓果实区域的填充实现孔洞填充。对150幅有孔洞的草莓图像进行填充试验,结果表明,采用该算法可以填充目标图像中的所有孔洞,填充准确率为100%,填充效果与孔洞位置、大小、数量等因素无关。与其他填充算法相比,该算法流程简单,复杂度低,填充结果准确可靠,可推广进行其他图像孔洞的填充。

关键词 草莓; 采摘机器人; 图像孔洞; 区域填充; 扫描线填充

中图分类号 TP 274

文章编号 1007-4333(2007)02-0067-05

文献标识码 A

Study on strawberry harvesting robot : . Application of scan line filling algorithm in vacancy filling of strawberry image

Zhou Tianjuan , Zhang Tiezhong , Yang Li

(College of Engineering , China Agricultural University , Beijing 100083 , China)

Abstract In order to fill the vacancies in images caused by the reflection of strong light , the scan line filling algorithm was introduced in the paper. Firstly, the contour line of a strawberry was traced. Secondly, based on the analysis of different possibility to scan line and contour 's intersection, a fast algorithm was applied to acquire the intersections between the scan line and the contour. Then the intersections were made up and the region was filled. Using this algorithm, the vacancies were filled through filling the strawberry region. The filling experiments for 150 images with vacancies proved that the scan line filling algorithm could fill 100 percent vacancies and the filling effect was independent of vacancy 's position, size and quantity. Besides, the algorithm has the features of simplicity, speediness and accuracy and can be applied to fill vacancies in other images.

Key words strawberry; harvesting robot; vacancy; regional filling; scan line filling

目前,国内外关于草莓采摘机器人的研究较多,图像处理主要采用简单的图像分割和采摘点提取的方法^[1-6],分割后的图像都存在不同程度的孔洞现象。对于图像分割后的孔洞,一般采用传统的数学形态学方法,如闭运算或膨胀填充^[1,6-7],该方法可以改善孔洞现象,但如果孔洞较多或者较大,则闭运算的次数不易控制,需人工干预。对于机器人自动采

摘草莓,该填充过程必须自动实现,不能人工干预。

区域填充也称为二维图形的光栅化,是指确定区域所对应的像素集,并用所要求的颜色或图案显示即填充之。该方法广泛应用于交互式图形设计、工程制图、动画等图形的计算机辅助制作中。

笔者拟将多边形区域填充算法应用于草莓图像孔洞填充,旨在寻找一种不需人工干预,全过程可以

收稿日期: 2006-08-17

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60375036)

作者简介: 周天娟,博士研究生, cathy. tt @163.com; 张铁中,教授,博士生导师,通讯作者,主要从事生物生产机电一体化和生物生产机器人的研究, zhangtz56 @sohu.com

自动完成的孔洞填充方法。

1 填充前处理

对于自然光照条件下的草莓图像(图1(a)),将成熟草莓果实从复杂背景图像中提取出来,有多种算法可以实现^[1-6],本研究采用BP神经网络方法^[2]。从分割后的图像(图1(b))可见,果实轮廓基

本完整,但图像中有很明显的孔洞,这是由于强光照射在成熟草莓果实的小突起上形成的白色小亮斑,给BP神经网络训练造成干扰,从而导致分割后的目标果实图像出现孔洞。针对研究对象的特征,在不影响处理结果的前提下,先将分割后的图像转为灰度图(图1(c)),采用最大类间方差法^[8]进行二值化,中值滤波处理(图1(d))后即可进行孔洞填充处理。

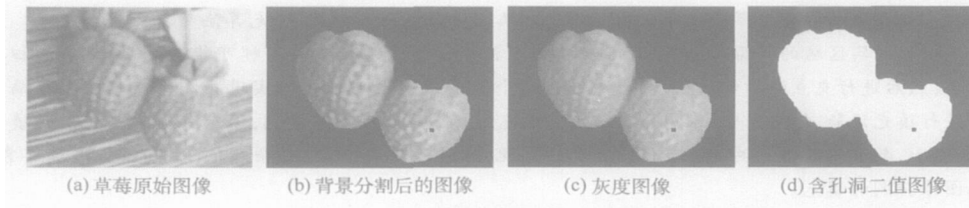


图1 草莓图像孔洞填充前的处理过程

Fig. 1 Processing before vacancy filling

2 区域填充算法

常用的区域填充算法有:扫描线填充,边填充和种子填充算法^[9-10]。这些填充算法主要是针对多边形设计的,理论上,任意形状的轮廓线围成的图形都可看作是近似多边形,故本研究不作区别。

1) 边填充算法:基本思想是,对于每一条扫描线和每条多边形边的交点,将该扫描线上交点右方的所有像素取补,对多边形的每条边作此处理,顺序随意。该算法的优点是简单,与边的顺序无关;缺点是每一像素可能被访问多次,并且需要各条扫描线与多边形边的求交运算。

2) 种子填充算法:基本思想是,假设多边形区域内有一像素已知,以该种子点为起点,通过四连通或八连通算法搜索下一个像素点,直到找到区域内的所有像素。该算法的缺点是种子点确定比较困难;而且在进行填充过程中堆栈会变得很大,有些像素点可能会入栈多次,因此效率较低。

3) 扫描线填充算法:基本思想是,对给定的多边形用一组水平(竖直)扫描线进行扫描,对每一条扫描线求得与多边形边的交点,对交点排序后配对,填充。该算法充分利用了扫描线上像素之间的连贯性,避免对像素点逐点判别,因此具有较高的效率。

在分析常用的多边形区域填充算法的基础上,本研究采用效率较高的扫描线填充算法,通过分析水平扫描线与复杂连通区域轮廓线相交的各种可能情况,快速求取交点,进而进行孔洞填充。

要进行草莓图像的孔洞填充,有2种途径可以

实现:首先提取图像的内轮廓即孔洞轮廓,然后填充内轮廓包围的区域,完成孔洞填充;首先提取图像的外轮廓,然后填充所有外轮廓包围的区域,完成整个果实区域的填充,同时亦实现了对孔洞的填充。

经过理论分析,第2种途径的效率更高(具体分析见4.3),因此本研究采用该方法思路进行操作。

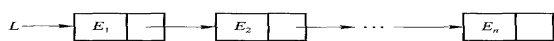
3 扫描线填充算法及其应用

扫描线填充算法一般包括4个步骤^[9]:1) 求交点:计算扫描线与多边形各边的交点;2) 交点排序:把所有交点按递增顺序进行排序;3) 交点匹配:第1个与第2个,第3个与第4个,等等。每对交点代表扫描线与多边形的一个相交区间;4) 区间填色:把这些相交区间内的像素置成多边形颜色,把相交区间外的像素置成背景色。

在填充过程中有2个特殊问题必须解决:一是当扫描线与多边形顶点相交时,交点的取舍问题;二是多边形边界上像素的取舍问题。前者保证交点正确配对,后者避免填充扩大化。本研究将边界上像素也看成交点,这样问题合二为一,即能否正确求得扫描线与区域轮廓线的交点是算法成败的关键。另外,本研究采用链表结构记录交点,无需交点排序的过程,因而可以简化操作、提高算法的效率。

3.1 算法采用的数据结构

采用单链表的方式记录轮廓线上所有的边界点坐标(图2)。不失一般性,约定链表中任意2个相邻的边界点具有8连通关系。由于区域轮廓线具有封闭性,所以链表的起点 E_1 和终点 E_n 也具有8连



L 为一条轮廓线; $E_i (i = 1, 2, \dots, n)$ 为轮廓线上的边界点

图 2 轮廓线边界点数据结构

Fig. 2 Data structure on the points at contour line edge
通关系。对于链表中任意一个边界点 E_i , 定义 E_{i-1} 为 E_i 的前点, E_{i+1} 为 E_i 的后点。在后面的过程中将会看到, 前点和后点对于判断交点的属性是必不可缺少的。记录轮廓线上边界点的数据结构定义为:

```
struct edgePoint{
    int x;          边界点横坐标
    int y;          边界点纵坐标
    int sgn;        边界点类型标志
    edgePoint *pNextEdgePoint; 下一个边界点
};
```

其中: x 和 y 分别为某一边界点的横坐标和纵坐标; sgn 表示该边界点与其相邻边界点关系的标志。

3.2 扫描线与轮廓线交点的求解过程

研究发现, 求取扫描线与轮廓线的交点, 既要利用边界点的局部信息, 又要利用一条扫描线上所有交点的全局信息。求交点的过程包括以下 3 步:

1) 外轮廓跟踪, 在此过程中建立链表, 并顺序记录各个边界点的横、纵坐标。

采用 8 邻点跟踪方法^[11]提取图像的轮廓, 先从上往下扫描找到起始点, 然后按逆时针方向进行 8 邻近像素点的查找, 直到回到起始点, 跟踪结束。

2) 遍历轮廓线 1 次, 根据每个边界点与其相邻的前后点的关系判断该点与扫描线交点的类别。

在遍历过程中, 假设遍历到点 $C(x_c, y_c)$, 这里称之为当前点, 又设该点的前点为 $P(x_p, y_p)$, 后点为 $S(x_s, y_s)$ 。当扫描线与多边形顶点相交时, 需要检查构成该顶点的两条边的另外 2 个端点的 y 值^[9], 按这 2 个 y 值中大于交点 y 值的个数决定取交点的个数。本研究将 1) 中提取到的轮廓线看成复杂的多边形, 将轮廓线上的所有点都看成顶点, 将当前点 C 的前点 P 和后点 S 分别看成构成顶点 C 的 2 条边的另外 2 个端点。根据当前点 C 与前点 P 和后点 S 的 y 值关系, 把当前点 C 与扫描线 $y = y_c$ 的关系分为 4 种类型^[12], 判别条件如下:

类型 1: $y_p > y_c$ 且 $y_s < y_c$; 或者 $y_p < y_c$ 且 $y_s > y_c$, 即 $(y_p - y_c) \times (y_s - y_c) < 0$ 。

类型 2: $y_p > y_c$ 且 $y_s > y_c$; 或者 $y_p < y_c$ 且 $y_s <$

y_c , 即 $(y_p - y_c) \times (y_s - y_c) > 0$ 。

类型 3: $y_p = y_c$ 且 $y_s < y_c$ 或 $y_s > y_c$; 或者 $y_s = y_c$, 且 $y_p > y_c$ 或 $y_p < y_c$, 即 $y_p - y_c = 0$ 且 $y_s - y_c \neq 0$, 或 $y_p - y_c \neq 0$ 且 $y_s - y_c = 0$ 。

类型 4: $y_p = y_c$ 且 $y_s = y_c$, 即 $(y_p - y_c) = (y_s - y_c) = 0$ 。

图 3(a) 表示在水平扫描线扫描过程中, 扫描线与多边形相交的 4 种交点类型, 其中, 交点 A 、 D 、 E 、 H 、 I 、 J 、 L 属于类型 1, K 属于类型 2, B 、 C 、 F 、 G 属于类型 3, BC 间和 FG 间的点都属于类型 4。

根据当前点与扫描线的相互关系不同, 所求取的交点在数量和标记上也有所不同。上述 4 种类型求取交点的方法分别是:

属于类型 1 的点 A 、 D 、 E 、 H 、 I 、 J 、 L 作为轮廓线和扫描线的相交点, 可以看成 1 个交点;

属于类型 2 的点 K 作为轮廓线和扫描线的交点, 可以看成 0 个交点 (按照文献^[9]的介绍应该为 2, 但只要是偶数, 不影响最后结果, 而且取 0 可以减少记录的点, 故本研究取 0);

属于类型 4 的 BC 间和 FG 间的点, 对求交点没有影响, 可以忽略, 看成 0 个交点;

属于类型 3 的 B 、 C 、 F 、 G 点, 交点数目暂时定为 1, 要考虑同一条扫描线上其前后类似情况的点, 然后根据不同的情况进行剪裁。

根据对扫描线与多边形相交的 4 种交点类型的分析求得扫描线与轮廓线的交点, 将这些交点 (如果有的话) 按横坐标从小到大的顺序插入到扫描线 $y = y_c$ 的交点链表中, 以后点 S 作为当前点, 继续遍历。

遍历结束时已经将每个交点的类别判断出来, 但是此时每条扫描线上的交点并不一定是偶数个 (例如, 扫描线 AC 上的交点个数现在是 3 个, 扫描线 DG 上的交点是 4 个, 但有 2 个交点是暂定点, 不是最终的结果), 还不能配对填充, 必须进行修剪。

3) 对扫描线上交点类型为 3 的点进行修剪, 以保证配对的正确性。

在扫描线 AC 上, BC 间的属于类型 4 的点已经被忽略, 这样, 可以将 B 点和 C 点看作合成 1 个点, 那么跟 BC 线段相连接的多边形的 2 条边可以看作相交于 1 个顶点 B (或 C), 这种情况相当于多边形边平移后的类型 1, 根据上述分析, 点 B 和 C 保留 1 个交点。这样, 扫描线 AC 上最终交点个数为 2 个。同理, 扫描线 DG 上, FG 相连的多边形的

两条边也可以看作相交于一个顶点 F (或 G), 这种情况相当于多边形边平移后的类型 2, 为 0 个交点。这样扫描线 DG 上最终交点个数为 2 个。

通过对 4 条水平扫描线与多边形求交过程的分析发现, 对于任意形状的复杂连通区域, 经上述算法所求取的每一条扫描线与轮廓线的交点数目均为偶数, 按照从小到大的次序两两配对时, 能确保交点之间的区域位于复杂连通区域的内部。

3.3 交点匹配及填充

匹配每条扫描线上的交点 (第 1 与第 2, 第 3 与第 4), 填充每对交点间的区间, 即可进行区域填充。图 3 (a) 所示的 4 条扫描线填充结果见图 3 (b)。可见, 经过扫描线法填充后, 图示的 4 条扫描线所对应的多边形轮廓内的区域都正确的填充了。

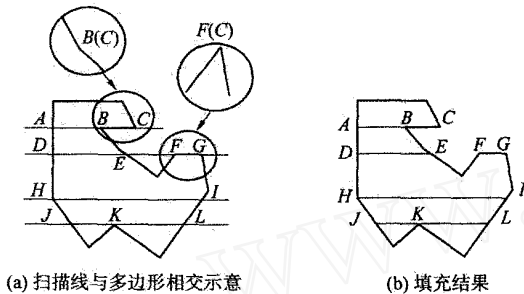


图 3 扫描线法填充多边形示意图

Fig. 3 Sketch maps of filling a polygon using scan line filling algorithm

4 试验结果及分析

4.1 试验样本及试验条件

试验用草莓图像为数码相机在北京市昌平区兴

寿镇草莓种植基地, 自然光条件下拍摄。选取的 150 幅图像在分割后均含有孔洞。

图像处理平台为 PC 机, 配置 Intel Pentium 4 处理器, CPU 主频 1.7 GHz, 内存 256 MB。操作系统为 Red Hat linux 9, 编程语言选用 C/C++, 编译工具为 g++, 调试工具为 gdb。

4.2 填充结果及分析

采用扫描线填充算法进行区域填充试验。图 4 (a) 为对图 1 (d) 轮廓跟踪的结果, 对该轮廓进行求交点、交点匹配和填充, 填充结果见图 4 (b)。可见, 草莓区域内的像素点全部填充, 达到孔洞填充的目的。

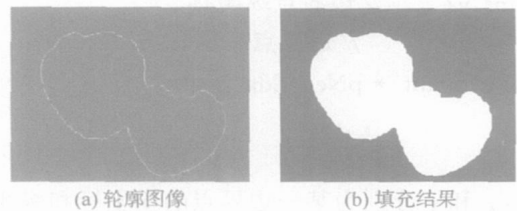


图 4 单孔洞草莓图像扫描线填充法试验结果
Fig. 4 Vacancy filling results of strawberry image using scan line filling algorithm

对 150 幅含有孔洞的图像进行填充试验, 结果表明, 无论目标图像内部有几个孔洞, 孔洞的大小、位置如何, 都能完全填充, 填充率 100%。图 5 示出其中 1 幅含有多个不同大小孔洞的草莓图像的填充过程。从填充结果可以看出, 图像内部所有的孔洞都被填充了。这充分证明了本研究采用的扫描线填充算法在草莓图像孔洞填充中是可行的、准确的。该算法也可推广到其他需要进行孔洞填充的图像中去。

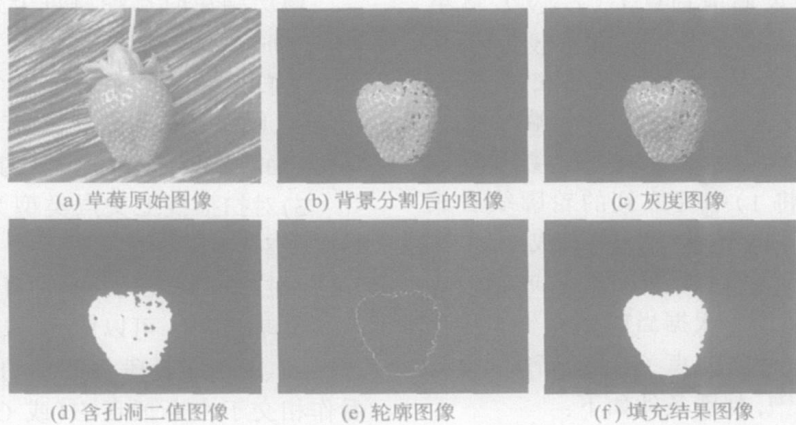


图 5 多孔洞草莓图像扫描线填充法填充过程

Fig. 5 Vacancies filling processes of strawberry image using scan line filling algorithm

4.3 与其他区域填充算法的比较

文献[13]~[15]对连通区域的填充问题进行了研究,给出了一些算法描述,采用这些算法也可完成填充,但本研究采用的填充算法效率上更具优越性:

1) 文献[13]和[14]在扫描过程中都要进行回溯判断,影响处理速度。

2) 文献[15]利用极点判别进行区域填充,效率较高,但由于是利用奇偶点判断寻找可填充区,故如果同一屏幕上显示有其他非填充区域时此法有可能引起误判。所以文献[15]的方法只适用于当前屏幕只有要填充的区域,应用具有局限性。

3) 与本文 2 中的填充孔洞的途径 1,即直接提取内轮廓线进行孔洞填充的算法相比:假设轮廓跟踪找到的外轮廓线上的边界点数为 n_1 ,内轮廓线上的边界点总数为 n_2 ,则直接提取内轮廓线进行孔洞填充的算法要首先遍历内、外轮廓线各 1 次,然后遍历外轮廓线 1 次,2 次结果做减运算得到内轮廓线,相当于遍历内、外轮廓线各 1 次,判断交点类型、修剪交点链表各需遍历内轮廓线 1 次;这种方法需要遍历内、外边界点的规模为 $3n_1 + 4n_2$ 。而本研究所采用的算法在利用扫描线法进行填充时,轮廓跟踪、判断交点类型、修剪交点链表各需遍历轮廓线 1 次,遍历边界点的规模为 $3n_1$ 次。

综上,本研究采用的填充算法与同类的几种算法相比,具有不需回溯判断、填充速度快、流程简单、填充准确等优点;与提取内轮廓线填充孔洞的方法相比也有遍历轮廓线次数少、效率高的优点。

5 结束语

本研究在分析多边形区域填充常用算法的基础上,通过归纳扫描线和多边形的交点类型,快速求取扫描线和轮廓线的交点,采用扫描线填充算法解决了图像分割后草莓图像的孔洞填充问题,与其他相似的算法相比,具有流程简单可控,运算速度快,填充准确可靠等优点。此算法可推广解决其他类似图

像的孔洞填充问题。

参 考 文 献

- [1] 高锐. 草莓收获机器人的初步研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2004
- [2] 张铁中, 周天娟. 草莓采摘机器人的研究: . 基于 BP 神经网络的草莓图像分割[J]. 中国农业大学学报, 2004, 9(4): 65~68
- [3] 张铁中, 陈利兵, 宋健. 草莓采摘机器人的研究: . 基于图像的草莓重心位置和采摘点的确定[J]. 中国农业大学学报, 2005, 10(1): 48~51
- [4] 徐丽明. 草莓收获机器人系统的研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2006
- [5] 近藤, 久枝, 吉田, 等. 高设栽培イチゴ用收获ロボットの試作[J]. 农业机械学会关西支部报, 1999, 86: 73~74
- [6] 谢志勇, 张铁中. 基于 RGB 彩色模型的草莓图像色调分割算法[J]. 中国农业大学学报, 2006, 11(1): 84~86
- [7] 容观澳. 计算机图像处理[M]. 北京: 清华大学出版社, 2000: 271
- [8] Otsu N. Discriminant and least square threshold selection[J]. Proc 4th CPR, 1978: 592~596
- [9] 孙家广. 计算机图形学[M]. 第 3 版. 北京: 清华大学出版社, 1998: 178~186
- [10] 罗笑南, 王若梅. 计算机图形学[M]. 第 3 版. 广州: 中山大学出版社, 2003: 38~55
- [11] 陈兵旗, 孙明. Visual C++ 实用图像处理专业教程[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004: 115
- [12] 张志龙, 李吉成, 沈振康. 一种新的快速复杂连通区域扫描线填充算法[J]. 计算机工程与应用, 2004, 40(31): 6~8
- [13] 柳朝阳. 压入区段端点的区域填充扫描线算法[J]. 计算机辅助设计与图形学报, 1996, 8(6): 415~419
- [14] 任继成. 区域填充扫描线算法的改进[J]. 计算机辅助设计与图形学报, 1998, 10(6): 481~486
- [15] 吴章文. 区域填充极点判别算法[J]. 计算机辅助设计与图形学报, 2003, 15(8): 979~983