

立木枝杈点自动识别方法

李文彬 阚江明 孙仁山

(北京林业大学工学院)

摘要:立木整枝机器人在整枝作业过程中需要实时自动识别立木枝杈点并计算出其相对空间位置关系. 该文给出了一种适用于立木整枝机器人的立木枝杈点识别新方法. 该方法首先使用数学形态学方法对图像进行二值化处理, 然后对二值图像进行骨架化处理, 最后将骨架化后的图像与一个 3×3 的全1矩阵构成的模板进行卷积运算; 卷积结果大于给定阈值3的像素点就是枝杈点位置. 实验证明, 该方法能够比较准确地检测到立木图像枝杈点并计算出枝杈点的位置.

关键词:立木, 枝杈点, 自动识别, 数学形态学

中图分类号:S776.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-1522(2007)04-0001-04

LI Wen-bin; KAN Jiang-ming; SUN Ren-shan. **An automatic identifying method of intersections between trunks and branches of standing trees.** *Journal of Beijing Forestry University* (2007) 29(4) 1-4 [Ch, 7 ref.] School of Technology, Beijing Forestry University, 100083, P. R. China.

Automatic identification of the intersections of trunks and branches is necessary in processing standing tree pruning by robot. Calculation for the relative space position of the intersections is also necessary. This paper presents a new method to identify the intersections of trunks and branches that can be used in standing tree pruning robot. The method includes four steps: 1) transforming the gray image into the binary image using the mathematical morphological method; 2) getting the skeleton of the trunks in the binary image via the mathematical morphological method; 3) calculating the convolution integration between the skeleton of the trunks and a template that is a 3×3 matrix, whose elements are all one; 4) comparing the result of the convolution integration with the given threshold, which is 3 in this paper. If the result is more than the threshold, the pixel is an intersection. The experimental results demonstrate that the method is available for automatic identification of the intersections and for automatic calculation of the relative space position of the intersections.

Key words standing tree, intersection, automatic identification, mathematical morphology

合理整枝是培育优质工业用材林的重要环节, 传统立木整枝方法是利用手持式机具进行人工作业, 整枝效率低、高度受到限制, 并且容易引起作业人员的疲劳和事故, 因而进行工业用材林整枝机器人^[1]的研究具有重要的实际意义和实用价值. 要实现立木整枝机器人整枝智能化的要求, 必须使整枝机器人能够自动找到立木树干与树枝的交叉点并计算出其相对空间位置关系^[2]. 立木枝杈点的检测是智能整枝作业中的一个难点, 因为树枝在立木树干上的位置、方向是完全随机的, 没有明显的规律, 而

且各个树枝之间相互还有遮叠, 这些都给问题的解决增加了难度, 目前针对树木枝杈点检测定位还没有行之有效的方法^[3]. 本文给出了一种基于数学形态学检测立木枝杈点的新方法, 经实验证明此方法切实可行, 能够满足工业用材林整枝机器人的作业要求.

1 整枝机器人的视觉系统

视觉系统是整枝机器人的关键部分, 其基本组成结构如图1所示. 整枝机器人在作业时通过 CCD

收稿日期: 2007-01-18

<http://journal.bjfu.edu.cn>

基金项目:国家自然科学基金项目(30471387)、“十五”国家科技攻关项目(2004BA524B09).

第一作者:李文彬, 教授, 博士生导师. 主要研究方向: 林业机械自动化与智能化、人类工效学. 电话: 010-62338139 Email: leewb@bjfu.edu.cn
地址: 100083 北京林业大学工学院.

摄像机实时获取立木的图像,通过 A/D 转换器将获取的模拟图像转换成数字图像,然后在微处理器中进行图像处理、分析和理解并将运算结果送给智能型整枝机的控制系统.在微处理器中有一个关键的图像分析步骤就是准确检测枝权点,并计算出其在树干上的相对空间位置,只有在检测到枝权点的准确位置之后才能够进行整枝.



图 1 机器视觉系统结构图

FIGURE 1 Structural diagram of the machine vision system

2 图像预处理

通过 CCD 摄像机获取的立木图像是灰度图像,存在各种噪声,需要滤除噪声.在枝权点检测时需要树干的二值图像,因此在进行枝权点检测之前必须进行图像预处理.本文采用数学形态学图像平滑技术进行图像滤波,消除图像中的暗斑和亮斑,进行二值化处理.数学形态学(Mathematical Morphology)是建立在集合论基础上,用于研究几何形状和结构的一种数学方法.数学形态学用于图像处理的基本思想是,用具有一定形态的结构元素去度量和提取图像中的对应形状,以达到对图像分析和识别的目的.数学形态学一共有 4 个基本运算:腐蚀、膨胀、开启和闭合.数学形态学滤波算法是一种非线性滤波方法,它用于图像噪声抑制、边缘提取、目标检测等,效果均很好,且应用广泛.对图像中的噪声进行滤除是图像预处理中不可缺少的操作.将开启和闭合运算结合起来可构成形态学噪声滤除器.对于灰度图像,滤除噪声就是进行形态学平滑.实际中常用开启运算消除与结构元素相比尺寸较小的亮细节,而保持图像整体灰度值和大的亮区域基本不变;用闭合运算消除与结构元素相比尺寸较小的暗细节,而保持图像整体灰度值和大的暗区域基本不变.将这两种操作综合起来可达到滤除亮区和暗区中各类噪声的效果.

假设原图像为 A , 3×3 的全 1 矩阵为结构元素 B ,则数学形态学图像平滑和二值化处理可用公式(1)表示:

$$A \oplus B = \{x \mid \exists (A)_x \cap A_B \subseteq A\} \quad (1)$$

本文采用此方法对从北京西山林场获取的华北落叶松(*Larix principis-rupprechtii*)林的图像进行了数学形态学图像滤波和二值化处理,结果如图 2 所示.

在研究中,需要得到图像中的树枝生长点部分,因此需要将立木与背景图像分离开,文中采用阈值化分割算法将立木与背景图像分离出来.阈值化分

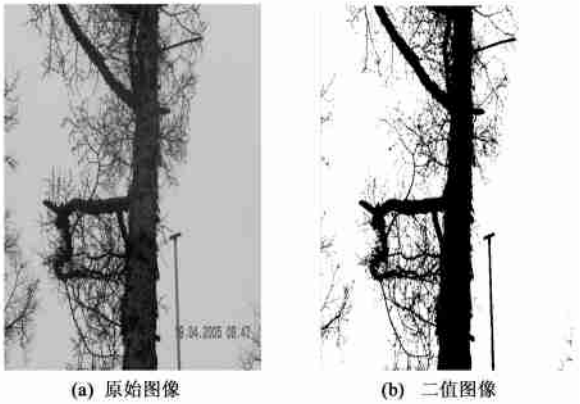


图 2 二值化处理结果

FIGURE 2 Results of the binary operation

割算法是先确定一个处于图像灰度取值范围之中的灰度阈值,而后将图像中各个像素的灰度值都与这个阈值相比较,并根据比较结果将对应的像素划为两类:像素的灰度值大于阈值的为一类,小于阈值的为另一类(灰度值等于阈值的像素可归入这两类之一).由于树木主干基本垂直,因此可以通过计算垂直直方图来提取树木主干信息^[4-6].立木图像的垂直直方图如图 3 所示,提取到的树木主干信息如图 4 所示.

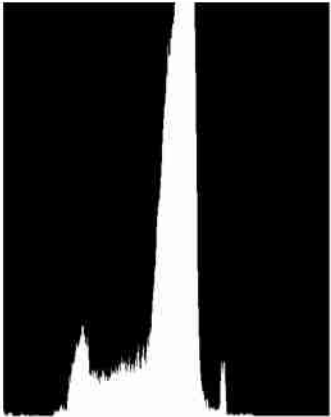


图 3 立木垂直直方图

FIGURE 3 Vertical histogram of standing tree



图 4 立木树干图像

FIGURE 4 Image of the trunk of standing tree

3 枝权点检测方法

枝权点检测的方法是,先通过数学形态学骨架化运算提取立木树干的骨架结构特征;然后将立木树干的骨架图像与特定的模板进行卷积运算;最后将卷积运算结果与给定阈值进行比较,大于阈值的像素位置就是枝权点位置。

3.1 骨架特征提取

枝权点的位置是根据树干与树枝的交叉位置来确定的,因此在树干的两侧分别进行左右树权点的检测。

寻找二值图像的细化结构^[7],是图像处理的一个基本问题。图像细化是一种击中击不中变换的形态学算法,在图像识别时经常要用到这种细化结构,骨架便是这样一种细化结构,它是目标的重要拓扑描述,具有非常广泛的应用。

骨架化可用两步腐蚀来实现。第一步是正常的腐蚀,但它是有条件的,也就是说,那些被标为可去除的像素点并不立即消去;在第二步中,只将那些消除后并不破坏连通性的点消除,否则保留。骨架化将一个曲线形物体细化为一条单像素宽的线,从而图形化地显示出其拓扑性质。假设图像 A 的骨架为 $S(A)$,则骨架化可用式(1)表示:

$$S(A) = \bigcup_{k=0}^K S_k(A) \quad (1)$$

式中, $S_k(A) = (A \ominus kB) - [(A \ominus kB) \circ B]$, B 为结构元素, $A \ominus kB$ 表示用结构元素 B 对 A 进行 k 次连续腐蚀,即 $(A \ominus kB) = ((\dots (A \ominus B) \ominus B) \ominus \dots) \ominus B$, $K = \max\{k | (A \ominus kB) \neq \phi\}$ 。

在本文中结构元素 B 选用了 3×3 的全 1 矩阵。基于以上方法,对经过预处理的立木树干图像进行骨架化。骨架化后得到图像如图 5 所示。

3.2 枝权点检测计算

枝权点检测的基本思想:采用模板与图像进行卷积运算。如果树干上没有枝权,则卷积运算后的数值较小;而当树干上有枝权时,其左右邻域内便有像素点,卷积运算后的数值一般较大,当数值大于等于预先设定的域值时,即可以认为此处树干上长有枝权,通过此方法可以对枝权进行定位。卷积是在图像处理领域里被大量使用的一种数学工具,把两组不同大小相同维数的数列进行相乘以得到一组新的维数相同的数列即为卷积。数字图像进行卷积处理是离散的二维卷积处理。数字图像的卷积与连续函数的情况类似,所不同的只是自变量取整数值、双重积分改为双重求和。对于一幅数字图像,离散二维卷积计算公式如式(2):

$$H(i, j) = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N F(m, n) G(i-m, j-n) \quad (2)$$

式中, F 是用 $M_1 \times N_1$ 二维数组表示的图像, G 是用 $M_2 \times N_2$ 二维数组表示的图像, (i, j) 表示图像中像素的坐标, $F(m, n)$ 表示图像 F 中 (m, n) 像素的灰度值, $G(i-m, j-n)$ 表示图像 G 中 $(i-m, j-n)$ 像素的灰度值; $M = \max(M_1, M_2)$, $N = \max(N_1, N_2)$ 。

由于 F 和 G 仅在有限范围内为非零,因此求和计算只需在非零部分重叠的区域上进行。方法为将数组 G 旋转 180° 并将其原点移至坐标 (i, j) 。而后,将这两个数组逐元素相乘,并将得到的积求和即得输出值。卷积运算应用于图像处理,即为通过一个卷积算子(或卷积模板)与输入图像的每个像素进行线性组合以产生一个输出图像的对应像素。模板操作实现了一种邻域运算,它使得每个像素的输出值不仅和该像素的灰度值有关,而且和其邻域点的值有关。模板运算是卷积在计算机上的实现方法。式(3)为模板运算在数学上的表示公式:

$$H(i, j) = \sum_{k=1}^m \sum_{l=1}^n F(i+k-1, j+l-1) G(k, l) \quad (3)$$

式中, F 可以认为是输入图像, G 为 m 行 n 列的卷积算子, H 为输出图像。一个 3×3 的数组 G (叫做卷积核)与一个比它大的数字图像 F 进行卷积。显然,需要的乘法和加法的操作数等于 G 中的像素与 F 中的像素数目之积。

本文采用 3×3 的模板对骨架化图像进行卷积操作,模板如图 6 所示。

将此 3×3 的卷积模板作关于中心像素的映射,再将映像连续地在图像上移动即可实现本次卷积运算。在本文中,通过实验,将阈值设为 3 时可以得到最理想的结果。因此经卷积运算后,在获取的数据图中,提取出大于给定阈值 3 的数值区域,并对该区域进行单点提取。经过以上方法检测,可以很容易地得到立木枝权生长点的位置,用圆点标记出来。其检测到的结果如图 7 所示。

由实验结果(图 7)可以看出,所标记圆点位置基本上是立木枝权点位置,但是图像中较细小的枝权点位置没有检测到。这是因为在进行图像预处理时认为细小枝权是智能型整枝机作业时的干扰噪声,可以忽略不计。

4 结 论

枝权点的检测是人工林整枝机器人整枝作业中

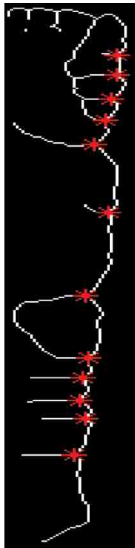


图 5 骨架化图像

FIGURE 5 Image of the skeleton

1	1	1
1	1	1
1	1	1

图 6 卷积模板

FIGURE 6 Template for convolution integration



图 7 枝杈点检测结果

FIGURE 7 Inspecting results of the intersections

的难点问题,要实现整枝作业的自动化,自动识别立木枝杈点位置是关键步骤.本文采用数学形态学、图像骨架化以及模板卷积运算等方法,得到了较为精确的立木枝杈点位置.实验证明,此方法能够比较准确地检测到立木图像枝杈点并计算出枝杈点的位置,为人工林整枝机器人的研制提供了基础.

参 考 文 献

[1] 张俊梅,李文彬,撒潮,等. 人工工业用材林整枝机器人无线电遥控系统的研制[J]. 林业机械与木工设备, 2003, 31(10): 7-9.

ZHANG J M, LI W B, SA C, *et al*. Development on wireless remote control system of pruning robot of commercial plantation[J]. *Forestry Machinery and Woodworking Equipment*, 2003, 31(10): 7-9.

[2] 孙仁山,李文彬,田勇臣,等. 基于整枝抚育目的的立木枝干自动识别研究[J]. 北京林业大学学报, 2005, 27(4): 86-89.

SUN R S, LI W B, TIAN Y C, *et al*. Automatic identification for standing tree limb pruning [J]. *Journal of Beijing Forestry University*, 2005, 27(4): 86-89.

[3] 张铁中,魏剑涛. 蔬菜嫁接机器人视觉系统的研究(I)——用图像形态学方法检测瓠瓜苗生长点[J]. 中国农业大学学报, 1999, 4(4): 45-47.

ZHANG T Z, WEI J T. Study on vision system of vegetable grafting robot(I); Searching for growth point of cucurbit seedling with morphological method [J]. *Journal of China Agricultural University*, 1999, 4(4): 45-47.

[4] 章毓晋. 图像分割[M]. 北京: 科学出版社, 2001: 2-3.

ZHANG Y J. *Image segmentation* [M]. Beijing: Science Press, 2001: 2-3.

[5] ZHANG Y J, GERBRANDS J J. Objective and quantitative segmentation evaluation and comparison [J]. *Signal Processing*, 1994, 39: 43-54.

[6] PARKER J R. Gray level thresholding in badly illuminated images [J]. *IEEE Trans*, 1991, 13(8): 813-819.

[7] 崔屹. 图像处理与分析——数学形态学方法及应用[M]. 北京: 科学出版社, 2000: 67-76.

CUI Y. *Image processing — mathematical morphological method and application* [M]. Beijing: Science Press, 2000: 67-76.

(责任编辑 冯秀兰)