

基于良序子集的最近邻垄行图像识别算法

张志斌 罗锡文 王在满

(华南农业大学南方农业机械与装备关键技术省部共建教育部重点实验室, 广州 510642)

摘要 根据田间作物垄点像素矩阵特点, 基于行向量目标像素良序子集, 先进行垄点子集预处理, 然后运用最近邻判别准则搜寻每个垄点像素的最近邻点。通过设置最近邻搜索方向角和最近邻阈值, 对断垄和较大面积的杂草等噪声影响进行控制。实验结果表明, 与传统的最近邻算法比较, 该算法的准确性和鲁棒性均得到提高, 时间复杂度较小, 对农田视觉导航实际应用有一定价值。

关键词 良序集 最近邻法 垄行识别 视觉导航

中图分类号: TP391.4 **文献标识码**: A **文章编号**: 1006-8961(2007)11-2048-04

A New Algorithm for Identifying the Crop Row Image Based on Subsets and Nearest Neighbor Rule

ZHANG Zhi-bin, LUO Xi-wen, WANG Zai-mang

(Key Laboratory of Key Technology on Agricultural Machine and Equipment(South China Agricultural University),
Ministry of Education, P. R. China, Guangzhou 510640)

Abstract The conventional nearest neighbor(CNN) classifiers provide a simple approach with good robustness, which is guaranteed to converge to a result, but it has some shortcomings such as aimless searching, much time consumption, and an unexpected infection by noises and so on. In this paper, a new approach to detect crop rows was proposed, which was based on the well-ordered subsets of the objective in row vectors of image matrix. And the nearest neighbor search angle and the nearest neighbor distance which are considered important control factors were embedded in the CNN. Combined with the inherent property of crop pixels, the nearest neighbor query can be limited in a small suitable range. The experimental results indicate the algorithm was of good robustness and accuracy compared with the CNN, and it could avoid the impact of weeds with small time consumption.

Keywords well-ordered, nearest neighbor rule, crop rows identification, machine vision navigation

1 引言

垄线识别是农田视觉导航技术的重要内容和方法,传统的识别算法中,统计直方图、Hough变换和聚类处理等都各有其优点,但都存在垄线识别困难的问题。采用Hough变换找垄线^[1]时,由于Hough变换是利用空间转换形成点线对偶关系检测垄线,虽然鲁棒性较高,但累加器峰值本身在背景较复杂

时存在阈值确定不易、重复线段多等问题,同时,算法的计算代价较高。直方图处理技术是利用垄行灰度值相近和聚集的特点运用统计方法识别垄线^[2],目前都还只在室内进行,对杂草等噪声影响较敏感,垄线识别准确率不高,难以应用于野外较复杂的农田环境。基于灰度或距离的聚类算法用于垄线识别,理论上可以实现,但还需在去噪和降低运算量上进行技术改进。本质上,聚类和直方图算法都是基于灰度或距离的经验误差最小,没有考虑期望风险

基金项目:国家自然科学基金项目(60574029)

收稿日期:2006-04-13; 改回日期:2007-05-25

第一作者简介:张志斌(1974~),男。现为华南农业大学工程学院电器化与自动化专业博士研究生。主要研究方向为图像处理与模式识别。E-mail: Pearl740@tom.com

最小,忽略了垄行点的空间位置关系,而垄点空间的近邻性、连续性和垄间隙一致性是其重要的特征信息。

由于传统的最近邻法直接和简洁,具有良好鲁棒性和收敛性,已广泛应用于模式分类器设计中^[3],尤其对低维数据,其具有计算成本低和实时性好等特点^[4]。但处理高维数据时,传统的最近邻算法存在邻搜索范围大、盲目搜索和计算量大^[5-7]等缺点。因此,针对田间垄行图像矩阵目标点集特点,提出了基于良序子集的最近邻搜索垄线识别算法。通过设置最近邻搜索控制角和最近邻阈值,使最近邻搜索被限制在一定角度范围内进行,算法的去噪能力、准确性都得到了提高,同时改善了算法的时间复杂度。

2 作物垄行分割

2.1 垄行图像的特征分割

图像分割是图像理解和图像识别的重要方法,因大多数作物生长期间叶茎均为绿色,土壤背景为非绿色,所以本研究将彩色图像的绿色成分作为特征,通过 $(2G-B-R)$ ^[2]灰度加强处理,得到作物垄行的分割图像,并把背景灰度值设定为 1,目标点集灰度值设定为 0,得到二值化的图像。如图 1 为 1 幅田间采集的图像,图 2 是分割后用二值化方法处理的结果,从图中可以看出处理后保持了作物垄信息。



图 1 作物垄行图

Fig. 1 Original crop rows image

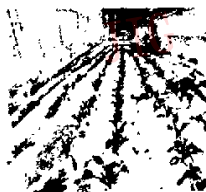


图 2 二值化后垄行图

Fig. 2 Binary image of the original image

2.2 目标子集的表达

一般情况下,农业机械装置沿着垄行行走,其纵向中心线与垄线方向夹角小于 90° 。这样,在视觉系统的图像矩阵各行中,目标点的横坐标是其重要的特征信息。若把各行目标点的横坐标(像素坐标下)定义为点集,则各元素是有序的,近邻的点构成良序子集。设垄行图像宽度为 w ,高度为 h ,则第 i 行目标集 R_i 为若干个良序子集的并集。

$$R_i = \bigcup_{j=1}^{j=n} C_{ij} \quad (1)$$

其中, n 为子集数, C_{ij} 为第 i 行第 j 个连续子集。式(1)中,一般各子集(垄点或噪声集子)容易聚集成类。因此,可根据垄宽先验知识设置距离阈值 d_i ,顺次距离小于 d_i 的子集属于某一类。为综合类中各子集信息,尽可能减小误差,取其中心坐标为该垄点位置坐标,则第 i 行第 k 类中心坐标可表示为

$$o_{ik} = \frac{1}{N_k} \sum_{j=1}^{|N_k|} S_{ij}^k \quad (2)$$

其中, S_{ij}^k 、 $|R_{ij}^k|$ 分别为第 i 行第 k 类第 j 个连续子集元素坐标和与子集元素个数, N_k 为该类型子集个数。设阈值 d_i 为 2,运用式(2)对图 2 的处理结果如图 3 所示,显然噪声影响较大。



图 3 式(2)的处理结果

Fig. 3 Processed image from the image in Fig. 2 by performing formula 2

在运行式(2)形成的矩阵时,若每行有 n 个点,则顺次计算的次数为 $n-1$,时间复杂度为 $O((n-1)h)$;但若采用聚类法进行模式分类,则在聚类过程为趋于经验误差最小,要遍历两两间距离计算,使系统的时间复杂度变得较大,为 $O(n!h)$ 。

3 传统最近邻判别原则

式(2)只是从图像矩阵行向量中提取了含垄行信息的最近邻点区域中心点列(含有噪声),这些点列在纵向上形成作物的垄行,因此,除了第 1 行和最

末行向量外,其他各行向量差点在纵向上均有上最近邻点和下最近邻点(暂不考虑断垄现象)。则通过寻找各点最近邻点来确定垄行就成为可能。最近邻准则^[8]如下:

假定有 c 个类别 $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_c$, 每类有 N_i 个样本, 定义类的判别函数为

$$g_i(x) = \min_k \|x - x_i^k\|, k = 1, 2, \dots, N_i \quad (3)$$

其中, x_i^k 表示 ω_i 类中第 k 个样本, 则按照式(3)决策规则如下:

$$\text{若 } g_j(x) = \min_i g_i(x), i = 1, 2, \dots, c$$

则决策 $x \in \omega_j$

依据最近邻准则, 对式(2)形成的目标点矩阵进行处理, 则每个目标点总能找到它的下最近邻点; 但是, 如果有断垄出现, 垄间存在噪声, 则最近邻寻找会被误导, 最终产生跟踪误差。为节省系统计算时间, 在实际处理过程中, 总是根据垄宽先验知识设置最近邻阈值 d_0 , 把大于此阈值的点排除在外。如图 4 所示, 最近邻阈值 $d_0 < 5$ 时, 采用传统最近邻准则处理结果, 尽管保留了垄结构信息, 但垄间的噪声没有滤掉。



图 4 传统最近邻搜索结果

Fig. 4 Processed image from the image in Fig. 2 by CNN

4 最近邻搜索方向的控制

由于田间环境的复杂性^[10](杂草、光照等影响), 实际图像差点集矩阵中, 纵向上各个垄行点列分布总是不连续的, 最近邻距离也呈随机性; 横向上又有杂草等随机噪声的影响。设系统从图像矩阵的上端第 1 行开始扫描, 为不失一般性, 定义: 如果在某个差点缺失下最近邻点, 则该点为断垄始点, 对应缺失上最近邻点为断垄终点, 两者间距离 d 为断垄距离, 图 5 为断垄和噪声并存的示意图, 实点为噪声点, 圆圈为差点, 可见, 当有噪声存在, 断垄距离 d 较大时, 搜索方向角度范围大小直接影响最近邻搜索结果。传统的最近邻搜寻都是基于时域空间欧氏距

离最短, 但在实际当中, 最近邻搜索方向角也是很重要的信息^[9]。基于此, 定义最近邻搜索方向角 θ , 如图 5 所示, θ 的大小是最近邻搜索方向重要标识, 影响搜索差点结果。

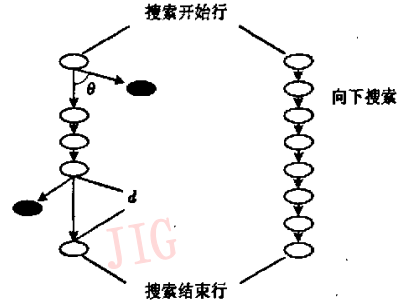


图 5 断垄和搜索方向示意图

Fig. 5 Search orientation demonstration with missing rows

一般作物垄行呈直线型, 结合式(1)和式(2)可知, σ_{ik} 在横向 i 上为一随机变量, 符合正态分布, 在纵向 k 上又属于某一直线段方程。因此, 某断垄点处出现目标点的概率与其上、下最近邻点具有相同的表现形式。由此可预测, 第 k 列某断垄处目标点出现的最大概率方向为第 k 列直线段方向, 如果 θ 偏离这个方向, 则顺次搜索得到的下最近邻点为噪声点。所以确定搜索方向角 θ 的可适范围才能保证最近邻点搜索的准确性。

算法步骤如下:

(1) 根据作物的颜色特征提取垄行结构, 然后进行二值化处理, 设置阈值 d , 运行式(2)。

(2) 从式(2)形成图像矩阵上端开始, 设置最近邻阈值 d_0 , 依次搜寻每个差点的下最近邻点, 同时把非最近邻点去掉, 并把每个链接的信息记录到矩阵 $M_i = (n, \alpha, s(x, y), e(x, y))$ 中, 其中, $n, \alpha, s(x, y), e(x, y)$ 分别为第 i 链接的点数, 链接线段倾角平均值, 链接首尾点坐标。

(3) 设置倾角误差范围 θ , 重新扫描每个链接的首尾坐标, 在 $\alpha \pm \theta$ 方向内, 链接各断垄, 同时修正 $M_i = (n, \alpha, s(x, y), e(x, y))$ 。

(4) 从得到的链组 (M_1, M_2, M_3, \dots) 中, 选择几个最大 n 的 M_i , 对应的 α, s, e 即为各垄线参数, 可输出用作导航参数使用。

5 实验分析

本文算法处理结果都是在 Matlab 7.0 上运行

的,处理器为 Intel(R) Pentium(R) 4CPU2.0GHz。图 6 为 $\theta = 2^\circ$ 时,最近邻搜索处理图 3 的结果。图 7 是从图 6 结果中得到的垄线结果。



图 6 $\theta = 2^\circ$ 处理结果

Fig. 6. Processed image from the image in Fig. 3 when $\theta = 2^\circ$

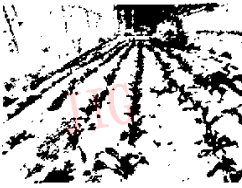


图 7 选择 5 组 M_i 的处理结果

Fig. 7. Processed image from the image in Fig. 6 by choosing $M_i (i = 1, \dots, 5)$

从上面分析中可知,最近邻搜索范围 θ 的选择一般不宜太大,当有较大噪声影响时, θ 宜取较小值;无噪声时, θ 大小对搜索结果影响不明显。图 4 和图 6 的结果也说明了这一点。所以设置最近邻搜索方向范围较好地避免了杂草等噪声的影响,克服了传统最近邻算法识别垄线的困难。本文算法的缺点是,当噪声较大时,如果偏离垄线方向的点出现在链接末尾时,垄线会产生平行偏移误差,为此,设置最近邻距离 d_0 一般小于垄宽(文本为 $d_0 < 5$)。另外,如果在存储器 M_i 中记录各点坐标,用拟合的方法求直线方程,虽然更能综合各点信息,但时间和空间开销将会加大。下面是本文算法时间复杂度计算和比较(以计算次数为计算单位)。

若通过式(2)预处理后每行为 m 个点,则最近邻搜索时间复杂度为 $O(m^2h)$,远远小于不经过式(2)预处理的时间复杂度 $O(n^2h)$ ($m \ll n$, n 为预处理前每行点数)。设置最近邻搜索角度的时间消耗主要用于更新存储器 M_i 内参数次数,若所有链接共有 k 点,时间复杂度约为 $O(6k)$,与 $O(m^2h)$ 相当。可见,本文算法在传统最近邻算法上嵌入最近邻搜索角度后垄线识别的滤噪能力和准确性都得到提高,但算法的时间消耗却增加不多。若采用聚类算法,每两点要进行一次计算,则经过式(2)处理

后,目标点数为 mh ,所以时间复杂度为 $O((mh)!)^2$,远远大于 $O(m^2h)$ 。

6 结 论

根据田间垄行的特点,考虑实际图像矩阵中垄线方向上垄点的不连续性和近邻性,以及垄间噪声随机性等,在传统最近邻算法中嵌入最近邻搜索的方向控制和最近邻距离控制,使最近邻搜索限制在一定范围内,算法收敛较快,克服了传统最近邻搜索的盲目性和范围大等优点,增加了算法的抗噪声能力,降低了算法的时间复杂度,同时,搜索距离控制进一步限制了垄线平行误差产生,提高了识别垄线的准确性,对农田视觉导航实际应用具有一定价值。

参考文献 (References)

- 1 Marchant J A, Brivot R. Real-time tracking of plant rows using a Hough transform[J]. Real-time Imaging, 1995, 1(5): 363-371.
- 2 SØggaard H T, Olsen H J. Determination of crop rows by image analysis without segmentation[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2003, 38(2): 141-158.
- 3 Karacab B, Ramanath R, Snyder W E. A comparative analysis of structural risk minimization by support vector machines and nearest neighbor rule[J]. Pattern Recognition Letters, 2004, 1(5): 63-71.
- 4 Liu D. A strong lower bound for approximate nearest neighbor searching[J]. Information Processing Letters, 2004, 9(1): 23-29.
- 5 Bandyopadhyay S, Maulik U. Efficient prototype reordering in nearest neighbor classification[J]. Pattern Recognition, 2002, 35(12): 2791-2799.
- 6 Zhang H B, Sun G Y. Optimal reference subset selection for nearest neighbor classification by tabu search[J]. Pattern Recognition, 2002, 35(7): 1481-1490.
- 7 Wei Chuan-feng, Pang Yu, Li Yun-ze, et al. Application of modified nearest neighbor method on case-based reasoning[J]. Journal of System Simulation, 2005, 17(5): 1045-1047. [魏传峰, 庞瑜, 李运泽等. 改进的最近邻法在基于事例推理中的应用[J]. 系统仿真学报, 2005, 17(5): 1045-1047.]
- 8 Bian Zhao-qi, Zhang Xue-gong. Pattern Recognition[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2004: 87-89. [边肇祺, 张学工. 模式识别[M]. 北京:清华大学出版社, 2004: 87-89.]
- 9 Lee K K, Schiffman J, Zheng B H, et al. Round-Eye: A system for tracking nearest surroundings in moving object environments[J]. The Journal of Systems and Software, 2007, 80(3): 176-183.
- 10 Keicher R, Seufert H. Automatic guidance for agricultural vehicles in Europe[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2000, 25(1-2): 169-194.