doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2014.01.007

棉花铺膜播种机导航路线图像检测方法*

李景彬^{1,2} 陈兵旗¹ 刘 阳¹

(1. 中国农业大学工学院, 北京 100083; 2. 石河子大学机械电气工程学院, 石河子 832003)

摘要:研究了棉花铺膜播种机田间作业时导航路线和田端的图像检测算法。针对自然环境下的棉花播种作业图像,采用 Daubechies 小波变换对处理区域进行平滑滤波;针对第1帧图像,寻找图像处理区域的垂直累计直方图的 波谷,以此为基础,通过寻找局部窗口累计直方图波谷的方法,从图像底端逐行向上寻找各行候补点;对于非第1 帧图像,采用当前帧与前帧导航路线相关联的方法分段寻找候补点群;最后基于过已知点 Hough 变换拟合出导航 路线。实验证明,采用的算法可以快速、准确地检测出棉花铺膜播种作业时的导航路线及棉田田端,平均每帧图像 处理时间为 72.02 ms,满足铺膜播种机实际播种作业的需求。

关键词:棉花 铺膜播种机 导航 机器视觉 路线检测 Hough 变换 中图分类号: TP242.6⁺2 文献标识码:A 文章编号: 1000-1298(2014)01-0040-06

引言

农田作业机器人的自动导航技术是国内外的研究热点,目前主要有 GPS 导航、机器视觉导航以及多传感器融合导航等方式。基于机器视觉的导航技术,由于能够适应复杂的田间作业环境、探测范围宽、信息丰富完整,受到国内外研究者的广泛关注。如何在自然环境下快速准确有效地提取农田机器人的行走路线是机器视觉导航技术的关键。

国内外学者曾对小麦、水稻、油菜等作物田间机 械化作业时的导航路线进行检测算法研究^[1-6]。本 课题组先后完成了插秧机器人视觉系统^[7]、水田管 理机器人^[8-9]和耕作机器人^[10]的行走路线检测等 研究,并且对农田区域边界线^[11]、麦田多条苗列(苗 间)线^[12]、农田障碍物^[13]等的图像检测算法进行了 研究。

棉花是新疆生产建设兵团(简称"兵团")的经 济支柱产业之一,机械化铺膜播种是确保兵团棉花 丰产的关键技术措施之一。铺膜播种机在田间作业 时,为确保播行笔直,一般依靠驾驶员目测控制拖拉 机按照划行器划下的痕迹行走。本文旨在对棉花种 植生产过程中导航路线的图像检测算法进行研究。 利用小波变换、线性分析、前后帧相互关联及已知点 Hough 变换等方法,完成铺膜播种机导航路线的自 动图像检测。

1 实验方法

1.1 实验设备及图像采集

采用的播种机为 2MBJ - 2/12 型机械式精量铺 膜播种机,配套动力为 John Deer754 型拖拉机。相 机安装在拖拉机的正前方中间位置,在划行器所划 痕迹的正上方进行图像采集,如图 1 所示。





采用爱国者 T60 型相机进行图像采集,输出为 彩色图像,大小为 640 像素 × 480 像素;用于图像处 理的计算机处理器为 Intel(R) Core(TM) i5,主频 为 2.4 GHz,内存为 2 GB;利用 Microsoft Visual Studio 2010 进行了算法的开发。

实验用图像是 2012 年 4 月在兵团农八师 147 团 11 连采集。相机的安装高度为 1.2 m,相机轴线 与水平面向下夹角约为 20°,播种机的工作速度为 3.7 km/h。

收稿日期: 2012-12-14 修回日期: 2013-03-19

^{*}国家自然科学基金资助项目(31071329)

作者简介: 李景彬,博士生,石河子大学副教授,主要从事图像处理与机器视觉研究, E-mail: ljb8095@163.com

通讯作者: 陈兵旗,教授,博士生导师,主要从事图像处理与机器视觉研究, E-mail: fbcbq@163.com

1.2 第1帧图像候补点群及导航直线的检测

对于摄像机采集到的彩色序列图像,首先找出 整幅图像中最大的颜色分量并对该分量图像进行一 维 Daubechies 小波行变换^[14],去除高频噪声,实现 图像平滑处理。之后,计算图像的垂直累计直方图 并确定波谷位置,以波谷位置为参考点,开设局部窗 口,将各个局部窗口垂直累计直方图的波谷点作为 候补点,最终完成导航直线的检测。具体步骤如下:

(1) 设定处理窗口。图 2 中 $(s_x, 0), (e_x, 0),$ $(s_x, y_{size}), (e_x, y_{size})$ 4 点包围的区域为处理窗口,其 中 $s_x = x_{size}/2 - 80, e_x = x_{size}/2 + 80_{\circ}$

(2)利用小波系数 N = 8 的 Daubechies 小波对 图像处理区域进行逐行变换,去除各行中的高频分 量后,进行反变换,如此进行 3 次得到平滑后的图 像。

(3) 对平滑后的图像数据进行垂直方向上的投影(即 y 方向投影) 以获得累计直方图, 计算累计直 方图中波谷位置的横坐标并记为 p_b, 定义用于存放 各行候补点坐标的数组 V(其大小为 x_{size} × y_{size}), 之 后从图像下方开始, 自下向上扫描前 10 行像素。在 扫描第1 行像素时, 以 p_b 为中点, 左右各扩展 5 个 像素作为范围, 在此范围内寻找波谷位置记作 p_{b0}并 存入数组 V 中。扫描第2 行像素时, 以 p_{b0} 为中心, 同样左右各扩展 5 个像素作为范围寻找第2 行的波 谷位置记作 p_{b1}并存入数组 V 中。之后 8 行以此类 推(如图 2 所示)。

(4) 从第 10 行开始,每次均以其前 10 行波谷 位置的平均值作为中心,左右各扩展 5 个像素作为 扫描范围寻找当前行波谷直至图像顶端,每次寻找 到波谷后,都将其位置坐标存入数组 V 中。

(5)计算数组 V 中各点坐标的平均值 *p_{be}*,以点 (*p_{be}*,*y_{size}/2*)为已知点对候补点群进行过已知点 Hough 变换^[15]获得导航直线。统计导航直线各点 的横坐标并存入数组 *L* 中,其中 *L* 大小为图像高度 *y_{size}*。

1.3 非第1帧图像候补点群及导航直线的检测

从第2帧图像开始,以后各帧图像均和其前帧 进行关联。首先对图像处理区域进行小波平滑处 理,而后利用前帧的候补点群进行分段 Hough 变 换,根据 Hough 变换获得的直线重新确定各行的处 理区域,其中,进行小波平滑的图像为彩色图像中最 大颜色的分量图像。之后,在平滑后的图像行内分 析线性特征,寻找当前帧的候补点群,完成导航直线 的检测。具体步骤如下:

(1)将数组 V 中存放的上帧图像上方 y_{size}/4 长 度内的各行候补点群的坐标存入数组 V_i 中,计算 V_i



Fig. 2 Diagram of the first frame image's candidate points and the navigation line detection

内各点横坐标的平均值 p_{bt} ,以点(p_{bt} , y_{size} /8)为已知 点,对 V_t 进行过已知点的 Hough 变换并得到拟合直 线 l_t ,之后将 l_t 上各点横坐标存入数组 L_t 中。

(2) 将数组 L 中表示图像下方 3y_{size}/4 长度内的 数据点存入数组 L_b 中。

(3) 对于图像上方 $y_{size}/4$ 长度的区域,以数组 L_t 中各点数据为中心,各行向左右分别扩展 m 个像 素宽度, $m = y_{size} \tan \alpha/2$,其中, $\alpha = 3°$ 为作业时允许的 最大侧向偏转角。

缩小横向处理区域范围为 $l_{ii} - m \leq l_{ii} + m($ 如 图 3 中虚线所示,其中 l_{ii} 表示数组 L_i 中的各个数 据),并对该区域进行小波平滑处理。之后,计算得 到 y 方向上 y_{size} /8 处下方 10 行的波谷信息,从 y_{size} /8 处开始利用 1.2 节中步骤(3)所述的方法向上寻找 直至图像顶端。同理,对于 y_{size} /4 区域的下半部分, 首先获得 y 方向上 y_{size} /8 处上方 10 行的波谷位置 信息,之后从 y_{size} /8 处开始向下寻找直至图像 y_{size} /4 处。在查找过程中,每当找到相应候补点后,将其对 应存入数组 V 中。

(4) 对于图像下方 $3y_{size}/4$ 长度的区域,以数组 L_b 中各点数据为中心,各行同样向左右分别扩展 m 个像素宽度,缩小横向处理区域范围为 l_{bi} - m 至 l_{bi} + m(如图3 中虚线所示,其中 l_{bi} 表示数组 L_b 中的 各个数据),并对该区域进行小波平滑处理。计算 图像 y 方向上 $5y_{size}/8$ 处下方 10 行的波谷信息,之 后从 $5y_{size}/8$ 处开始利用第 1 帧图像的检测方法中 所述的方法向上寻找直至图像 $y_{size}/4$ 处。同理,对 于 $3y_{size}/4$ 区域的下半部分,采用类似方法完成各行 候补点的寻找。每当查找到相应的候补点后,将其 对应存入数组 V中。

(5)求数组 V 中各候补点横坐标的平均值 p_{be}, 以(p_{be},y_{size}/2)为已知点对候补点集群进行过已知 点 Hough 变换获得当前帧的导航直线,并将其各点 横坐标存入数组 L 中。



图 3 非第 1 帧图像候补点群及导航直线检测示意图 Fig. 3 Diagram of the other frame images' candidate points and the navigation line detection

1.4 田端检测

田端为播种机行驶方向上的终止边界。从第 2 帧图像开始,需要考虑播种机是否到达田端。由于 自动导航路线的终止线为划行器所划痕迹的终止 点,故可利用该特征完成田端的检测,具体方法如 下:当前帧的导航直线检测完成后,查看当前帧图像 中 y 方向上 $y_{size}/4$ 处上下各 10 行的候补点群数据。 即读取数组 V 中 $y_{size}/4$ 处上下各 10 行的数据。计 算其平均值,并分别记为 x_i 及 x_d 。若 $|x_i - x_d| >$ 2m,则认为达到了田端,停止检测(如图 4 所示)。 否则继续执行非第 1 帧图像的导航直线检测算法。





图 5 为检测方法的流程图。

2 实验结果与分析

2.1 航路线检测

图 6 是铺膜播种机在不同作业环境下进行田间 作业时采集的原图像及检测结果的例图。图中,方 框表示处理区域,在划行器划下的印记上面的分散 点集为候补点集群,"+"为 Hough 变换的已知点, 直线表示导航路线检测结果。

图 7 为图 6 中各图像处理区域经过 Daubechies





Fig. 5 Flow chart of detection method



(a)中午,轻壤土
(b)下午,轻壤土
(c)下午,土壤盐碱化较重
(d)上午,砂壤土
(e)下午,土地表面有残膜
(f)下午,扬沙天气,棉秆残茬覆盖

小波平滑前后的效果对比图。图中各直方图为其左侧图像局部处理窗口的各彩色分量的垂直累计分布 直方图。从图7各平滑前的累计分布图中可以看出,在棉花播种期,土地的彩色分量中 R 分量为主

分量,因此选择 R 分量来处理图像。

从图 7a、7b、7c、7d 平滑前的累计分布直方图中 可以看出,在划行器留下的痕迹附近各颜色分量都 发生突变。从图 7e、7f 平滑前的累计分布直方图中 可以看出,在划行器所划痕迹附近各颜色分量的变 化受地表残杂物及扬沙天气的影响比较明显,图 7e 主要受残膜的影响,图 7f 主要受棉秆残茬和扬沙天 气的影响,因此颜色分量的变化趋势不太明显。

从图 7 各图像平滑后的累计分布直方图中可以 看出,经过 Daubechies 小波平滑后,可以有效消除图 像中微弱噪声的影响,剔除地表上棉秆残茬、轻微扬 沙天气等因素对提取导航直线候补点的影响。





Fig. 7 Original image and Daubechies wavelet smoothing diagram of color distribution of each image's processing area in the Fig. 6

从图 6 各图像的导航路线检测结果中可以看出,利用本文描述的算法找到导航路线的候补点集, 基于过已知点 Hough 变换拟合出的直线,贴合铺膜 播种机上划行器划出的痕迹,可作为铺膜播种机田间作业的导航线。

2.2 田端检测

图 8a 所示为田端检测的结果。图中水平直线 表示检测出的田端位置,即满足 | x_i - x_d | > 2m 停止 条件时的位置。从图中可以看出,当田端区域进入 图像后,图像上方将出现区域分界线的末端,通过判 断此末端的位置即可实现田端的检测。

图 8b 所示为在导航路线检测过程中误检为田端的结果。图中水平直线表示检测出的田端位置。 从图 8b 候补点集的分布可以看出,由于图像中的风沙较大,造成图像中顶部 1/4 区域的候补点群和图 像底部 3/4 区域的候补点群分散,达到 | x_i - x_d | > 2m 的停止条件,所以误检为田端。因此,在导航路 线的检测过程中,虽然 Daubechies 小波平滑算法可 以消除扬沙天气对检测结果的影响,若扬沙天气严 重,则可能导致算法错误。





图 8 田端检测结果 Fig. 8 Detect result of the field end (a)田端 (b)误检田端

2.3 实验验证

为了验证该算法的实时性和准确性,利用该算 法对采集的棉花铺膜播种机田间实时作业视频进行 处理,其结果如表1所示。

表 1

实验验证结果

| Tab. 1 Result of experimental vernication | | | | | | |
|---|----------|----|-------|----|----------|-----|
| 序号 | 视频 帧数 | 是否 | 每帧图像 | 田端 | 错误 帧数 | 准确 |
| | | 有田 | 检测时间 | 是否 | | 率 |
| | | 端 | /ms | 检出 | | /% |
| 1 | 2 301 | Y | 71.52 | Y | 0 | 100 |
| 2 | 2 088 | Ν | 72.51 | | 0 | 100 |
| 3 | 1 698 | Ν | 72.55 | | 0 | 100 |
| 4 | 3 242 | Y | 70.92 | Y | 0 | 100 |
| 5 | 2 580 | Y | 72.53 | Y | 0 | 100 |
| 6 | 2 380 | Y | 71.64 | Y | 0 | 100 |
| 7 | 1 873 | Y | 71.83 | Y | 0 | 100 |
| 8 | 2 980 | Y | 72.96 | Y | 0 | 100 |

从表1可以看出,本算法平均每帧图像检测时间为72.02 ms,且每帧所检测的导航路线都能与划行器所划痕迹相吻合,准确率为100%。因此,本算法能够快速、准确、有效地检测出播种机的田间导航

路线,且检测准确率高,算法运算速度快,能够满足 铺膜播种机田间实时作业要求。

3 结论

(1)棉花铺膜播种机导航路径检测中,对于第1 帧图像,首先利用图像处理区域的垂直累计直方图 找出图像底端分界区域的位置 *p*_b,而后利用 *p*_b 从图 像底端开始逐行向上寻找各行候补点;对于非第1 帧图像,基于 *R* 分量图像采用前后帧相互关联的方 法分段寻找候补点群;最后基于过已知点 Hough 变 换拟合导航直线。

(2)针对田端检测,利用在图像 y 方向上 y_{size}/4
 处设定检测区域,以 | x_i - x_d | > 2m 为判定条件,实
 现田端位置的检测。

(3)实验证明,本文研究的算法可以准确、快速 地检测出棉花铺膜播种中的导航路线并完成田端检 测,每幅图像的平均处理时间为72.02 ms,能够满足 铺膜播种机实际播种作业的需求,同时本算法也可 应用于带有划行器的其他旱田机械作业的导航路线 检测。

(4)由于铺膜播种机刚进地作业时,提前在田间设有对印目标,依靠人工对印,完成首次进地作 业,因此本文未考虑首次进地作业时的导航路线检 测问题;同时在田间播种作业时,大风扬沙天气会影 响本文算法的检测结果的准确率,因此,如何准确修 正自然环境下特种情况对检测结果的影响,尚需进 一步深入研究。

参考文献

- 1 Ollis M, Stentz A. First result in vision-based crop line tracking [C] // Proceedings of the 1996 IEEE Conference on Robotics and Automation (ICRA'96), 1996:951 ~ 956.
- 2 Pilarski T, Happold M, Pangels H, et al. The demeter system for automated harvesting[J]. Autonomous Robots, 2002, 13(1): 9 ~ 20.
- 3 Benson E R, Reid J F, Zhang Q. Machine vision-based guidance system for agricultural grain harvesters using gut-edge detection [J]. Biosystems Engineering, 2003,86(4): 389 ~ 398.
- 4 Søgaard 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.
- 5 周俊,姬长英. 农业机器人视觉导航中多分辨率路径识别[J]. 农业机械学报,2003,34(6):120~123. Zhou Jun, Ji Changying. Multi-resolution road recognition for vision navigation [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2003,34(6):120~123. (in Chinese)
- 6 吴刚,谭彧,郑永军,等. 基于改进 Hough 变换的收获机器人行走目标直线检测[J]. 农业机械学报, 2010,41(2):176~179.
 Wu Gang, Tan Yu, Zheng Yongjun, et al. Walking goal line detection based on improved Hough transform on harvesting robot [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(2): 176~179. (in Chinese)
- 7 Chen B, Tojo S, Watanabe K. Machine vision based guidance system for automatic rice transplanters [J]. Applied Engineering in Agriculture, 2003, 19(1): 91 ~ 97.
- 8 Chen B, Tojo S, Watanabe K. Detection algorithm for traveling routes in paddy fields for automated managing machines [J]. Transaction of the ASAE, 2002, 45(1): 239 ~ 246.
- 9 Chen B, Tojo S, Watanabe K. Study on machine vision for micro weeding robot in paddy field[J]. Biosystems Engineering, 2003, 85(4): 393 ~ 404.
- 10 赵颖,陈兵旗,王书茂,等. 基于机器视觉的耕作机器人行走目标直线检测[J]. 农业机械学报, 2006,37(4):81~86.
 Zhao Ying, Chen Bingqi, Wang Shumao, et al. Fast detection of furrows based on machine vision on autonomous mobile robot [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2006,37(4):81~86. (in Chinese)
- 11 Zhang Lei, Wang Shumao, Chen Bingi, et al. Crop-edge detection based on machine vision [J]. New Zealand Journal of Agricultural Research, 2007, 50(5): 1 367 ~ 1 374.
- 12 Zhang H, Chen B, Zhang L. Detection algorithm for crop multi-centerlines based on machine vision [J]. Transactions of ASABE, 2008, 51(3):1089 ~ 1097.
- 13 张磊,王书茂,陈兵旗,等. 基于双目视觉的农田障碍物检测[J]. 中国农业大学学报, 2007,12(4):70~74. Zhang Lei, Wang Shumao, Chen Bingqi, et al. Detection of obstacles in farmland based on binocular vision[J]. Journal of China Agricultural University, 2007, 12(4): 70~74. (in Chinese)
- 14 Liu Yang, Chen Bingqi. Detection for weak navigation line for wheat planter based on machine vision [J]. Applied Mechanics and Materials, 2013(246 ~ 247):235 ~ 240.
- 15 陳兵旗,渡辺兼五,東城清秀.田植ロボットの視覚部に関する研究(第2報)[J].日本農業機械学会誌,1997,59(3):
 23~28.

Chen B, Watanabe K, Tojo S, et al. Study on the computer-eye of rice transplant robot (part 2) [J]. Journal of the Japanese Society of Agricultural Machinery, 1997, 59(3): 23 ~ 28. (in Japanese)

16 冯娟,刘刚,司永胜,等. 果园视觉导航基准线生成算法[J]. 农业机械学报,2012,43(7):185~189,184.
 Feng Juan, Liu Gang, Si Yongsheng, et al. Algorithm based on image processing technology to generate navigation directrix in orchard[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012,43(7):185~189,184. (in Chinese)

Image Detection Method of Navigation Route of Cotton Plastic Film Mulch Planter

Li Jingbin^{1,2} Chen Bingqi¹ Liu Yang¹

(1. College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China2. College of Mechanical and Electrical Engineering, Shihezi University, Shihezi 832003, China)

Abstract: An image algorithm to detect the navigation route and the filed end while the cotton plastic film mulch planter was working in the field was studied. The method of Daubechies wavelet transform was used to smooth and filter the image of the cotton sowing operation under the natural environment. The trough of the vertical cumulative histogram in the image processing region was detected in the first frame image. Based on this, the candidate points were detected scanning from the bottom row of the image to the top by using the method of detecting the trough of the local window cumulative histogram. For other frame images, the candidate points were detected segment by segment by the association between the navigation route of the current frame and that of the previous frame. Then the navigation route was fitted based on the passing a known point Hough transform (PKPHT). The experiments showed that the algorithm could quickly and accurately detect the navigation route and the field end while the cotton plastic film mulch sowing work. The average processing time of each frame was 72.02 ms, which could meet the actual sowing work requirement of the film mulch planter.

Key words: Cotton Film mulch planter Navigation Machine vision Route detection Hough transform