

基于机器视觉的自主插秧机导航信息的提取研究

毛可骏^a, 周平^b, 赵匀^a, 姚庆杏^b, 钟取发^b

(浙江理工大学 a. 机械与自动控制学院; b. 信息与电子学院, 杭州 310018)

摘要: 针对基于机器视觉的插秧机的自主导航, 提出了一种利用秧苗行分割线作为基准线提取导航参数的算法。根据秧苗在田间环境的特征, 用 EXG 因子分割图像, 将按列累加的灰度值所形成的曲线图, 设定水平分割线找到秧苗区域, 确定各苗区的起始列点和终止列点, 找到定位点, 拟合分割线。根据秧苗行分布呈平行线状的特点, 利用分割线在图像平面上形成的灭点和成像的斜率来计算插秧机的位移偏差和角度偏差, 为视觉导航提供必要的参数。实验结果表明该方法具有一定的可行性, 能够用于插秧机器人的导航研究。

关键词: 插秧机; 视觉导航; 颜色分量运算; 秧苗行分割线; 灭点

中图分类号: TP24

文献标识码: A

文章编号: 1003-188X(2009)05-0063-04

0 引言

插秧机自动导航的研究对于实现精准快速插秧、降低人力物力, 具有重要的实际意义。日本利用 GPS 导航研发的无人驾驶插秧机, 22min 可插秧 1 000m², 并可自动补充秧苗, 与现在的插秧机相比, 可缩短 80% 的时间。但由于成本价格等诸多因素, 这种技术在我国尚不能大规模普及。近年来, 机器视觉技术以其适用性强、性价比高等优点发展迅速, 应用范围越来越广^[1]。

对作物进行自动识别, 实现视觉导航是关键。目前国内外对导航信息进行了一定的研究^[2-3]。但是研究算法大多应用在棉花, 麦田, 玉米等作物, 真正对于水田环境中的秧苗行分割线的识别和导航参数的提取涉及得很少。

1 秧苗行分割线的识别研究

1.1 基于颜色分量运算的图像分割

本文采用了颜色分量运算分割图像^[4], 该方法是让系统自动穷举颜色分量运算结果, 通过人的监督判断, 获得最佳的 RGB 颜色分量线性组合系数。实验表明这种组合对特定对象的光线和颜色变化具有很强的鲁棒性。该 RGB 线性组合计算公式如下, 即

$$T(i, j) = \{rR(i, j) + gG(i, j) + bB(i, j) \mid r, g, b \in [-3, 3]\} \quad (1)$$

如果 $T(i, j) \leq 0$ 则 $T(i, j) = 0$; 如果 $T(i, j) \geq 255$, 则 $T(i, j) = 255$ 。这样将所有特征值规则化 0 到 255 的数值范围内。通过分量运算的颜色组合系数学习, 发现 $r = -1, g = 2, b = -1$ 时效果好。如果将组合系数精确到 1 位甚至 2 位小数, 或许能够得到更好的效果, 但对于实验效果影响不大。得到的灰度化因子为 $2G - R - B$ 即 EXG 颜色因子。本研究用 EXG 颜色因子作为分割图像指标。

1.2 秧苗定位点的检测和分割线的识别

实现对行分割线的拟合, 关键在于秧苗区域点的检测定位。由于秧苗作物行呈近似平行直线状分布, 那么灰度图水平各行灰度值曲线图呈波形状, 其波峰处为秧苗区域, 但由于秧苗形状的特殊性及分布的离散性, 从单行波峰定点不合适。因为单株秧苗之间存在断处, 这可能导致该行无法呈现明显的波峰, 且容易受杂点的影响而造成定点的错误。另外, 其叶片端点分布杂乱无章, 用单行波形图, 会大大增加整个秧苗行识别的干扰。

本文通过选择一定宽度的图像带, 将单行波形图分析变为多行投影曲线图分析。对其经过 EXG 颜色因子处理后, 将灰度值按列累加, 可得到该部分的曲线图。多行投影曲线图的最大优点是其所定位的点能够反映整个秧苗行的走向, 既减少了离散点的干扰, 又提高了其准确性。因此, 只要对整张图像划分为若干个图像带进行处理, 就可以得到预期的结果。过程如下:

在原始图像大小为 $W \times H$ 中, 选取一定宽度的图

收稿日期: 2008-07-26

基金项目: 浙江省科技计划项目(2007C33029)

作者简介: 毛可骏(1983-), 男, 浙江诸暨人, 硕士研究生, (E-mail) mkj901@163.com。

通讯作者: 赵匀(1946-), 男, 哈尔滨人, 教授, 博士生导师。

像带,宽度为图像带的行数,EXG 颜色因子处理后对该图像带灰度值按列累加。 $T(i,j)$ 为图像条中 (i,j) 处的灰度值, $P(j)$ 为图像条中第 j 列上所有像素的累加值。计算出平均值 A 和标准偏差 D 。

$$A = \frac{1}{W} \sum_{j=1}^W P(j)$$

$$D = \sqrt{\frac{1}{W} \sum_{j=1}^W [A - T(j)]^2} \quad (2)$$

设定水平分割线 $T = A + D/2$,凡在该分割线以上的就可以确定为秧苗区域(如图 1 所示),有效地去除了杂点的干扰。水平扫描曲线图,如果 $P(j-1) < T < P(j)$,确定为起始列点;如果 $P(j-1) > T > P(j)$,则 j 为终止列点。求取两者的中点就可以确定为秧苗定位点的横坐标,纵坐标一般定位在该图像带宽度的一半处。由于秧苗形状的特征往往会产生曲线多峰的情况,图 1 中第一条曲线有 2 个波峰。对于同一区域中有多个起始列点和终止列点,为了保证每一块区域只出现一个定点,将这多个点的横坐标取平均数,确定定位点。最后利用横坐标值差值算法^[7]将点归类后用最小二乘法拟和。

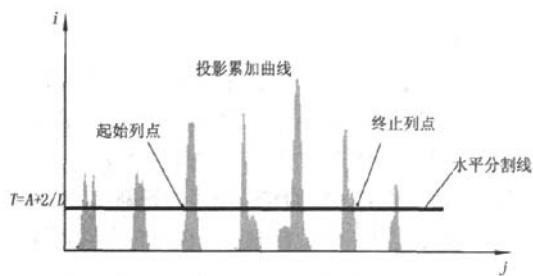


图 1 投影累加曲线图

Fig. 1 Projective and accumulative curve picture

1.3 实验结果

试验图像在中国水稻研究所采集,原始图像尺寸为 320×240 。图像处理得到的实验结果如图 2 所示。图 2(a)为插秧运行的视野图;(b)为 EXG 灰度图;(d1),(d2),(d3)分别为在 EXG 灰度图中选取的单行灰度值投影曲线图,(e1),(e2),(e3)分别为宽度 $15/H$ 的图像带在图 2(c)中的不同的位置;(e)为计算出的行定位点,选取的图像带宽度为 $15/H$,从上向下扫描定;点;(f)拟和各行直线,基本能反映秧苗各行走向。以图像左上角为原点,向下方向为 X 方向,向右为 Y 方向建立图像坐标系,得到直线方程为

$$y = -0.799x + 29.754$$

$$y = -1.143x + 92.686$$

$$y = -1.281x + 178.132$$

$$y = -1.869x + 382.729$$

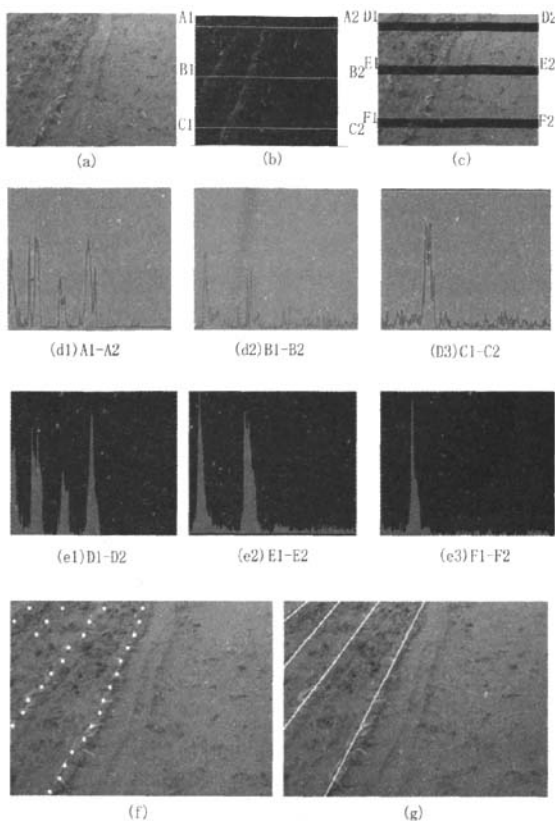


图 2 秧苗原始图像及处理后相关图像

Fig. 2 Original image of seedling and its result images after processing

2 导航参数提取

无人驾驶插秧机在实际运行中,第一次插秧由人为遥控控制完成,在以后插秧的过程根据先前的行分割线信息来实现自动行走。分割线信息由灭点和基准线的成像斜率两者组成。灭点是空间一组平行线在像平面上的交点。在对像平面上多行秧苗分割线产生灭点的提取过程中由于秧苗行分布只是呈近似平行状,各条分割线通过透视投影在像平面中可能交于多个点。通过求取各条直线的交点,计算它们的分布中心,确定灭点位置。

2.1 导航参数算法推导

图 3 给出了世界坐标系 $O-X,Y,Z$,和摄像机坐标系 $O'-X',Y',Z'$ 。摄像机位于 Z 轴上方高 H 处,倾角为 ϕ ,光轴 $O'Z'$ 位于 YOZ 平面内, $O'X'$ 轴与 OX 轴平行,基准线位于 XOY 水平地面内。根据坐标之间相互转换关系^[10],得到在世界坐标系中 X,YOY 平面任意一点 $(x,y,0)$ 在图像平面坐标中的坐标为

$$\begin{cases} u = \frac{\alpha_x x}{y \sin \phi + H \cos \phi} + u_0 \\ v = \frac{\alpha_y (y \cos \phi - H \sin \phi)}{y \sin \phi + H \cos \phi} + v_0 \end{cases} \quad (3)$$

其中, u 和 v 是以像素为单位的图像坐标系坐标, u_0 和 v_0 图像中心在摄像机坐标系中的坐标, $\alpha_x = f/dx$, $\alpha_y = f/dy$, f 为摄像机的焦距, dx 和 dy 分别是单个像素在以毫米为单位的图像坐标系两坐标轴上的物理尺寸。

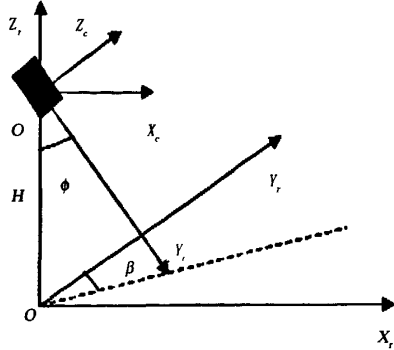


图 3 坐标系间关系示意图

Fig.3 Relationship between coordinates

对于过点 $X_r O Y_r$ 平面内任意一点 $(x_0, y_0, 0)$ 的直线可以用参数坐标表示

$$\begin{cases} x_r = x_0 + t\vec{A} \\ y_r = y_0 + t\vec{B} \\ z_r = 0 \end{cases} \quad (4)$$

将式(4)代入(3)得

$$\begin{cases} u = \frac{\alpha_x(x_0 + t\vec{A})}{(y_0 + t\vec{B})\sin\phi + H\cos\phi} + u_0 \\ v = \frac{\alpha_y[(y_0 + t\vec{B})\cos\phi - H\sin\phi]}{(y_0 + t\vec{B})\sin\phi + H\cos\phi} + v_0 \end{cases} \quad (5)$$

通过透视投影, 空间平行直线的无穷远处在像平面上汇聚到一点, 即灭点。因此, 当 $t \rightarrow \infty$ 时对式(5)取极限可推得灭点的表达式为

$$\begin{cases} u_e = \alpha_x \frac{\tan\beta}{\sin\phi} + u_0 \\ v_e = \alpha_y \frac{\cos\phi}{\sin\phi} + v_0 \end{cases} \quad (6)$$

假定插秧机行进目标路径为 Y_r 轴, 其在自主行走中存在着偏角 β , 通常情况下不容易为 $\pm 90^\circ$, 则 $\tan\beta = \frac{\vec{A}}{\vec{B}}$ 成立。由于偏位是在 X 方向上, 因此在 $X_r O Y_r$ 平面内直线在像平面上透视变换后的直线斜率用 E 表示

$$E = \frac{u - u_e}{v - v_e} = \frac{\alpha_x}{\alpha_y} \left[\frac{\frac{x_r}{H\cos\phi} - \frac{\tan\beta}{\sin\phi}}{-\frac{H\sin\phi}{H\cos\phi} - \frac{\cos\phi}{\sin\phi}} \right] \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \beta &= \arctan \frac{(u_e - u_0)\sin\phi}{\alpha_x} \\ x_r &= \frac{H\cos\phi\tan\beta - \frac{\alpha_y H E}{\alpha_x}}{\sin\phi} \end{aligned} \quad (8)$$

据此计算出 u_e 和 E 就可以实现对插秧机的位姿估计。插秧机运行时的示意图如图(4)所示。秧苗行间距为 d , 基准线与插秧的行进目标路径距离为 $2.5d$, 利用 $x_r - 2.5d$ 得到与目标路径的偏位。其中, u_0 和 α_x, α_y 分别为摄像机的内部参数, 可以通过摄像机标定得到。

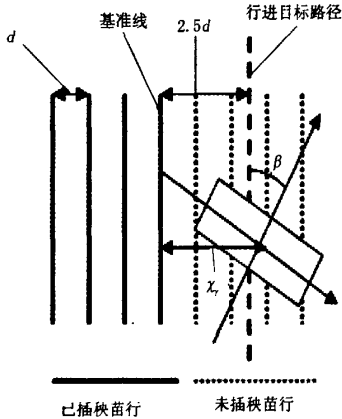


图 4 插秧机运行示意图

Fig.4 Sketch of the autonomous transplanter moving

2.2 实验与分析

为了检验算法的有效性, 将 CCD 摄像机安装在步行式插秧机(四行)上, 在路面上用人工铺设的两条平行标志线作为基准线, 人为控制插秧机行进。摄像机标定后系统参数 $u_0 = 152.8$, $\alpha_x = 523$, $\alpha_y = 558$, 倾角 ϕ 为 45° , 离地面的垂直高度 H 为 1530mm , 跟踪路径与邻进的一条标志线的距离为 750mm , 两条平行标志线距离为 300mm 。之所以采用人工标志线来模拟跟踪路径, 是基于田间环境复杂, 对于人工采集数据带来困难, 会造成比较大的误差。得到插秧机相对行走基准线的偏位 $x_r - 2.5d$ 及偏角 β 。实验结果如表 1 所示。通过实验数据可知, 测量得到的数据和计算得到的数据误差并不大, 结果证明了该导航算法的准确性, 能够为无人驾驶插秧机的研究提供视觉基础。

表 1 实验结果

Tab.1 Result of experiment

| 计算偏位值 /mm | 测量偏位值 /mm | 计算偏角值 /(°) | 测量偏角值 /(°) |
|--------------|--------------|---------------|---------------|
| 158 | 150 | 0.5 | 0 |
| 196 | 200 | -0.3 | 0 |
| 288 | 300 | 7.2 | 7 |

续表 1

| 计算偏位值 /mm | 测量偏位值 /mm | 计算偏角值 /(°) | 测量偏角值 /(°) |
|--------------|--------------|---------------|---------------|
| 338 | 350 | 15.5 | 15 |
| 512 | 500 | 37.3 | 37 |
| 660 | 650 | -5.5 | -5 |
| 82 | 100 | -7.7 | -8 |
| 435 | 450 | -26.0 | -25 |
| 718 | 700 | 8.5 | 10 |
| 610 | 600 | 20.6 | 20 |

3 结束语

在步行式插秧机上实现视觉导航避免了人下田作业,同时相对于乘坐式插秧机的价格又有价格上的优势,因此该研究具有实际意义。实验结果准确地提取了秧苗各行的位置,计算得出的位移偏差及角度偏差与人工测量误差小,采用该算法处理图像平均需要 250ms,实时性好,精度高,能够为无人驾驶插秧机的研究提供视觉基础。

参考文献:

[1] 杨为民,李天石,贾鸿社.农业机械机器视觉导航研究

[J]. 农业工程报,2004,20(1):160-166.

- [2] BENSON E R, REID J F, ZHANG Q. Machine vision based guidance system for an agricultural small grain harvester[J]. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers, 2003, 46(4): 1255-1264.
- [3] 孙元义,张绍磊,李伟. 棉田喷药农业机械人的导航路径识别[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2007, 47(2): 206-209.
- [4] 周平,汪亚明,赵匀,等. 基于颜色分量运算与色域压缩的杂草实时检测方法[J]. 农业机械学报, 2007, 38(1): 116-119.
- [5] 毛文华,王一鸣,张小超,等. 基于机器视觉的苗期杂草实时分割算法[J]. 农业机械学报, 2005, 36(1): 83-86.
- [6] 张红霞,张铁中. 麦田多列目标图像检测算法[J]. 中国农业大学学报, 2007, 12(2): 62-66.
- [7] 周俊,姬长英,刘成良. 农用轮式移动机器人视觉导航系统[J]. 农业机械学报, 2005, 36(3): 91-94.
- [8] 袁佐云,毛志怀,魏青. 基于计算机视觉的作物行定位技术[J]. 中国农业大学学报, 2005, 10(3): 69-72.
- [9] 沈明霞,姬长英. 农业机器人视觉导航技术发展展望[J]. 农业机械学报, 2001, 32(1): 109-112.
- [10] 贾云得. 机器视觉[M]. 北京:科学出版社, 2002.

The Study for the Navigation Information about Automatic Navigation of Unmanned Rice Mechanical Transplanter Based on Machine Vision

Mao Kejun^a, Zhou Ping^b, Zhao Yun^a, Yao Qingxing^b, Zhong Qufa^b

(a. College of Machinery and Automatic Controlling; b. College of Information and Electronic, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310018, China)

Abstract: For the automatic navigation of unmanned rice mechanical transplanter based on machine vision, the paper proposed a algorithm of getting navigation parameters that used the seeding row line as baseline. For the feature of seedling in the paddy field, the seedling images were segmented by the EXG factors, the curves resulting from vertical projection of grey value of images which was found through the horizontal separating lines. The position of starting row points and ending row points in all seedling fields could be calculated and the orientation of points could be detected. The separating lines of seedling rows were accomplished by robust regression. Because the seedling rows presented parallel lines, the paper provided the vanish point of the projected lines on the image of a group of separating lines at infinity and the gradient of baselines on the image to calculate the pose of transplanter. Experimental results demonstrated that the effectiveness and the robustness of our approach, which can be applied of the automatic navigation of unmanned rice mechanical.

Key words: transplanter; visual navigation; color components operation; separating lines of seedling rows; vanish point