

DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2012.S0.055

基于机器视觉的谷物联合收获机行走目标直线检测*

吴刚 谭彧 郑永军 王书茂
(中国农业大学工学院, 北京 100083)

【摘要】 针对谷物联合收获机视觉导航,提出基于改进 Hough 变换(HT)的谷物联合收获机行走目标直线检测算法。通过改进一维最大熵阈值分割方法,提高了阈值分割的速度;对二值图像通过行扫描和列扫描,确定了行走目标直线的终点位置以及直线方向上的候选点;以候选点为点集,利用最小二乘直线拟合和直线终点位置确定了待检测直线上已知一点;利用改进 HT 完成直线检测,与传统的 HT 相比,将二元映射转换为一元映射,加快了算法速度、减少了空间占用和提高了抗干扰能力。经过对多幅图片的处理,证明算法能够有效地检测出直线参数,且处理时间在 100 ms 左右。

关键词: 联合收获机 机器视觉 Hough 变换 直线检测 图像分割
中图分类号: TP242.6⁺2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2012)S0-0266-05

Walking Goal Line Detection for Grain Combine Harvester
Based on Machine Vision

Wu Gang Tan Yu Zheng Yongjun Wang Shumao
(College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract

Aimed at visual navigation of grain combine harvester, an algorithm was proposed for walking goal line detection on improved Hough transform (HT) on grain combine harvester. Through the improvement for image threshold segmentation of the 1-D maximum entropy, the computing speed was increased. After scanning the rows and columns of binary images, the end position of the walk goal line and the candidate points on the direction of the walk goal line were determined. Then the candidate points were used as points set, least squares methods and the end position of the goal line were combined to determine the point from the test line. The improved HT has finished the test line detection. Compared with the traditional HT, the improved HT transfers binary mapping into 1-D mapping, the computing speed was accelerated, and the space occupied was reduced. Meanwhile, the anti-interference ability was improved effectively. After testing thousands of pictures, the algorithm was well proved with effectively detecting the linear parameters, and the processing time was about 100 ms.

Key words Combine harvester, Machine vision, Hough transform, Line detection, Image segmentation

引言

随着农业现代化的发展,谷物联合收获机已被

广泛地应用于农业收获中,不仅提高了生产率而且减轻了劳动强度,特别是在抢收抢种的过程中扮演着重要角色。现今,谷物联合收获机辅助驾驶已成

收稿日期: 2012-07-07 修回日期: 2012-07-16
* 中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(2012QJ010)
作者简介: 吴刚,讲师,博士,主要从事车辆智能控制及机电一体化技术研究,E-mail: wugang19771121@163.com
通讯作者: 谭彧,教授,博士生导师,主要从事车辆智能控制及机电一体化技术研究,E-mail: tanyu32@sina.com

为社会各界普遍关注的问题,而实现谷物联合收获机辅助驾驶的关键问题是对其行驶路径进行检测,即导航技术^[1]。目前应用于大面积的导航技术主要有无线电或激光导航^[2]、机器视觉导航^[3]和 GPS 导航^[4]等。其中,机器视觉导航以灵活、实时和精度好等优点得到了普遍的关注。

本文以谷物联合收获机收获小麦为研究对象。目前,直线检测常用的方法有最小二乘法 and Hough 变换 (HT) 两种。在已知点集求解直线的过程中,最小二乘法在迭代次数和占用的存储空间上比标准 Hough 变换 (standard Hough transform, 简称 SHT) 要少。但由于最小二乘法考虑的是已知数据点到拟合函数的距离平方和为最小,当已知数据点集中若存在干扰点或噪声时,拟合函数并不通过最多的数据点,拟合误差较大^[5]。而 Hough 变换^[6]作为一种有效的直线检测方法,由于其对随机噪声和部分遮盖不敏感等优点,被广泛地应用于计算机视觉和模式识别等领域。因此采用 Hough 变换作为行走目标直线检测的方法。但是 SHT 检测直线存在计算量大、参数空间所需的存储量大等缺陷。为了解决这一问题,提出基于改进 HT 的谷物联合收获机行走目标直线检测算法。

1 改进 HT 原理

直线方程的极坐标形式为

$$\rho = x \cos \theta + y \sin \theta \quad (1)$$

式中 (x, y) ——图像空间直角坐标

θ ——直线法线与 x 轴正向的夹角,取值范围为 $[-90^\circ, 90^\circ]$

ρ ——直线到坐标原点的垂直距离

根据几何原理可知,任意两点可确定直线的参数 (ρ, θ) 。为了克服 SHT 计算量大、参数空间占用大等缺点,对 SHT 改进如下:

假设 $a(x', y')$ 为待检测直线上已知一点, $b(x_i, y_i)$ 为直线候选点集 D 中一点,则 θ 和 ρ 计算式为

$$\theta_i = -\arctan \frac{x_i - x'}{y_i - y'} \quad (2)$$

$$\rho_i = x' \cos \theta_i + y' \sin \theta_i \quad (3)$$

将 θ 值映射到一组累加器上,每求得一个 θ_i ,其所对应的累加器值加 1。因为同一条直线上的点求得的 θ 值是一致的,所以当存在直线时,其对应的累加器出现局部最大值,将该值所对应的 θ_i 作为所求直线的 θ 。以此 θ 和 $a(x', y')$ 为依据,根据式 (3) 求得对应的 ρ 值。因此待检测直线上已知一点 $a(x', y')$ 的确定方法是研究的关键。

2 试验

由于联合收获机的卸粮口在左侧,为了便于卸粮,一般采用从田地左侧开始收获,即右侧是未收获区域,左侧是已收获区域。收获时最常用的行进路线有右旋法和四边收获法 2 种^[7]。其中右旋法如图 1a 所示,适合于长度较长而宽度不大的田块,开出割道后沿长边方向收获,收获结束后不倒车继续前进,右转弯绕到割区另一长边继续收获,直至收获结束;四边收获法如图 1b 所示,适用于大块田,开出割道后沿田块左侧一边收获至结束后,右转弯继续收获,如此反复,直至收获结束。根据以上作业方式,待检测直线将位于联合收获机的左侧。

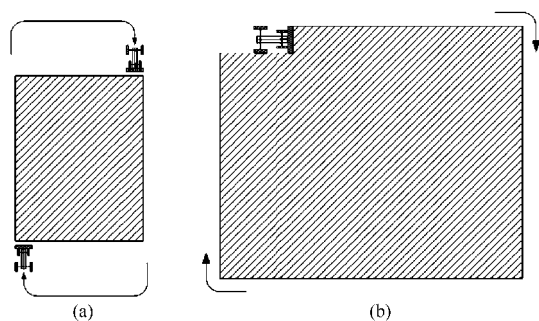


图 1 收获方法

Fig. 1 Harvesting methods

(a) 右旋法 (b) 四边收获法

2.1 试验设备及图像采集

谷物联合收获机型号为新疆-2A,图像用大恒 DH-HV3103UC 型摄像机拍摄,拍摄帧率为 30 帧/s, 640 像素 × 480 像素。图像处理使用 Inter core 2 duo 处理器、主频 2.0 GHz、内存容量 3.0 GB 的便携式计算机,软件开发工具为 Visual C++ 6.0。

试验用图像在洛阳市郊区小麦田拍摄,天气晴朗。试验前将摄像机安装在联合收获机顶部中间偏左位置,距地约 3 m,摄像机与水平夹角约 40°。摄像机采用隔振垫隔振,并用带雨刷的防护罩防尘处理。图像为联合收获机收获过程中通过 USB2.0 接口采集所得。

2.2 图像预处理

图像预处理主要包括图像灰度处理和图像降噪。谷物联合收获机收获过程中的视觉导航,主要是通过已收获区域和未收获区域颜色特征的不同来检测其行走目标直线。其颜色特征主要表现为:未收获农作物一般呈黄色,亮度较高;已收获区域因割茬和土壤因素等因素,颜色较暗。由于 RGB 图像中的 R 通道灰度变化比较明显,所以选择 R 通道对图像进行灰度处理^[8]。为了减少噪声的干扰,对灰度图像采用水平 5 点的平滑滤波。经预处理后的结果

图像如图 2 所示,其中图 2a 为原始图像,图 2b 为采用 R 通道灰度处理并采用水平 5 点平滑滤波后的结果图像。

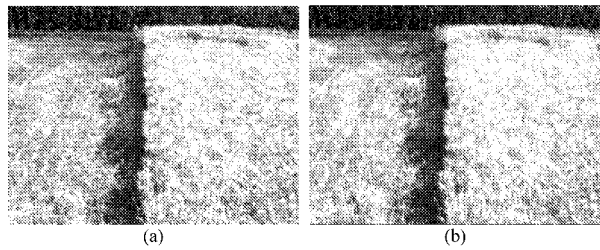


图 2 图像预处理
Fig. 2 Image preprocessing
(a) 原始图像 (b) 预处理结果图像

2.3 图像分割

由于实际农田环境比较复杂,难以采用固定阈值的方法对图像进行分割,因此需采用自适应阈值分割。目前常用的自适应阈值分割方法有:Otsu 阈值方法、迭代阈值方法和最大熵阈值分割方法等。其中最大熵阈值分割方法主要有 2 类:一维最大熵阈值分割方法和二维最大熵阈值分割方法。通过试验对比分析,拟采用一维最大熵阈值分割方法来分割图像。但传统的一维最大熵阈值分割方法是基于穷举法来搜索最佳阈值,为了进一步加快算法的搜索速度,对算法作如下改进,具体步骤为:

(1) 设灰度图像大小为 $M \times N$,有 L 个灰度级,图像中不同灰度级出现的个数为 $n_i(i=1,2,\cdots,L)$,频率为 $P_i(i=1,2,\cdots,L)$ 。

(2) 求取图像的平均灰度 T ,其公式为

$$T = \sum_{i=1}^L (n_i i) / (MN) \tag{4}$$

(3) 每个灰度级中灰度级低于阈值 t 的像素点构成目标区域 O ,灰度级高于阈值 t 的像素点构成背景区域 B ,则各概率在其本区域的分布分别为

O 区: $P_i/P_t \quad (i=1,2,\cdots,t)$
 B 区: $P_i/(1 - P_t) \quad (i=t+1,t+2,\cdots,L)$

其中
$$P_t = \sum_{i=1}^t P_i \tag{5}$$

(4) 目标区域和背景区域的熵分别定义为

$$\begin{cases} H_O = - \sum_{i=1}^t [(P_i/P_t) \lg(P_i/P_t)] \\ H_B = - \sum_{i=t+1}^L [(P_i/(1 - P_t)) \lg(P_i/(1 - P_t))] \end{cases} \tag{6}$$

(5) 熵函数为

$$\varphi(t) = H_O + H_B \tag{7}$$

当熵函数取得最大值时,对应的灰度 t 就是所求的最佳阈值。

(6) 在搜索使熵函数取得最大值的过程中,经对多幅图像的分析,现改进 t 的搜索范围为 $0.7T \leq t \leq T$ 。

采用改进一维最大熵阈值分割方法分割后的结果图像如图 3 所示。已收获区域与未收获区域分界线清晰,能够满足后续直线检测的要求。通过缩小最佳阈值搜索的搜索范围,使图像分割速度平均提高 3 倍左右。

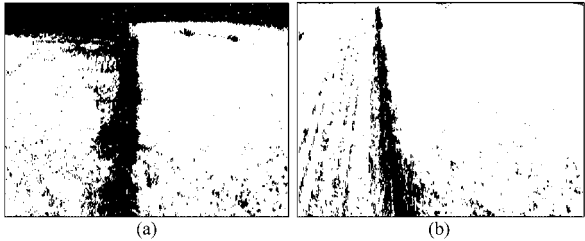


图 3 图像分割结果图像
Fig. 3 Results of image segmentation
(a) 存在终点 (b) 不存在终点

2.4 直线终点位置判定

根据联合收获机作业方式,非农田区域(直线的终点位置)位于图像的顶部且呈水平方向,其颜色特征为:颜色较深,亮度较暗。由于直线的终点位置处于非农田区域和农田区域的交界处,因此在直线的终点位置其灰度会存在突变。根据这些特点,可以判断直线的终点位置。直线终点位置判定步骤为:

(1) 对于阈值分割后的二值图像,从上向下逐行扫描图像,求取每一行上白背景点(像素值为 255)的个数,并将其存储在数组 $H_i(i$ 为行数)中,则直线的终点位置必将是数组 H_i 中某一拐点所对应的行数。

(2) 计算出离散数组 H_i 的拐点,并将其存储在数组 $G_m(i_m)$ (i 为拐点所在的行数; G 为拐点值,即白背景点的个数; m 为数组序号)中。为了避免图像首行和最大行附近灰度低而导致黑目标沉积的问题,只求取第 10~470 行之间的拐点。

(3) 图 4 表示图 3a 中每行(水平方向)白背景点的分布情况,其横坐标为图像的行数,纵坐标为每行白背景点的个数。根据 H_i 中最大值(即白背景点个数最多)所在点(点 A)与第 470 行白背景个数(点 B)确定直线 $\overline{AB}$,以该直线为参考,计算每个 (i_m, G_m) 与直线的垂直距离(图 4 所在坐标系下点到直线 $\overline{AB}$ 的垂直距离),并设定阈值(经过反复试验阈值确定为 160),对于满足该阈值的各 (i_m, G_m) ,以其中最大的 i_m 作为直线终点位置;如果没有满足阈值条件的拐点,则判定图像上没有直线的终点。对于图 3a,点 C(88,420)所在的行数 c 行(即 88 行)

即为图 3a 中直线的终点位置。

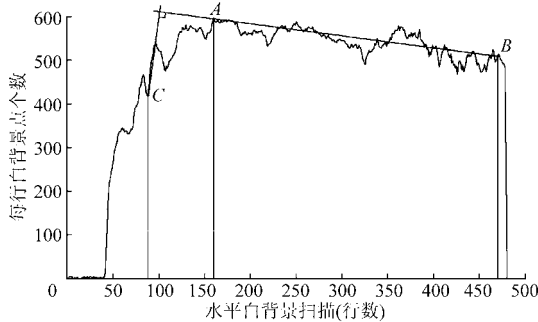


图 4 每行白背景点的分布

Fig. 4 Distribution of white background points in each line

2.5 直线位置判定

对阈值分割后的二值图像,从左到右逐列扫描图像,求取每列图像的白背景点个数,将其存储在数组 V_j (j 为列数) 中。图 5 表示图 3a 中每列 (垂直方向) 白背景点的分布图,横坐标为图像的列数,纵坐标为每列白背景点个数,图中曲线为 V_j 的分布曲线,水平线为 V_j 的平均值 (即平均白背景点个数)。

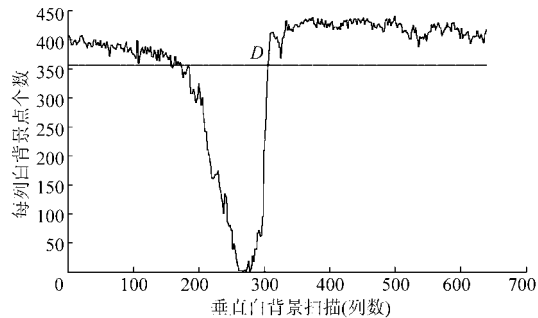


图 5 每列白背景点的分布

Fig. 5 Distribution of white background points in each column

曲线和水平虚线的最右侧交点 $D(306, 357)$ 所在的列数 d 列 (即 306 列) 即为直线位置。

2.6 点集 D 的确定

点集 D 的确定方法为:

(1) 对二值化图像利用 3×3 结构元素腐蚀、膨胀各一次。

(2) 然后根据作业方式和图像学上的特点,为确保取点的准确性,以直线位置 d 列向右偏移适当像素 e 设立基准线 K (垂直线),其中 e 的确定方法为:在该类问题上直线的偏角一般在 $\pm 10^\circ$ 之间,经反复试验后得 e 值的确定方法为

$$e = \frac{480}{4} \tan 10^\circ \approx 20 (\text{像素}) \quad (8)$$

(3) 从直线的终点位置 (如果没有终点,则从第 10 行开始) 开始至第 470 行结束,逐行搜索 K 线左

侧距其最近的黑目标点,并将搜索到的黑目标点对应坐标插入点集 D 。以此点集 D 作为行走目标直线检测的候选点集。

2.7 行走目标直线参数计算

根据图 3 可看出图像在中远景处分割效果较好。经试验,待检测直线上已知一点 $a(x', y')$ 的确定步骤为:

(1) 提取点集 $D(x_i, y_i)$ 中前 50 点。

(2) 利用最小二乘法^[9] 对该 50 点进行直线拟合,则所得直线方程为

$$y = mx + n \quad (9)$$

(3) 以直线终点位置 c 行 (如没有终点,则以第 10 行) 与式 (9) 交点即为点 $a(x', y')$, 则 $a(x', y')$ 坐标为

$$\begin{cases} x' = (c - n) / m \\ y' = c \end{cases} \quad (10)$$

对于式 (10), 如果不存在直线终点, 则 $c = 10$ 。

行走目标直线参数计算步骤为:

(1) 将一累加器 A 定义在 $[-15^\circ, 15^\circ]$ 范围内, 并将该范围分为 100 等份 $A_i (0 < i < 101)$, 其幅值为 0.3° 。

(2) 以 $a(x', y')$ 、候选点集 $D(x_i, y_i)$ 为依据利用式 (2) 计算 θ_i , 将 θ_i 映射到 100 个等份中, 并使对应等份中的累加器 $A_i (0 < i < 101)$ 值加 1。

(3) 映射完成后, 必有一累加器 A_i 值最大, 以该累加器所对应等份的中点作为所求直线参数 θ , 并根据式 (3) 和 $a(x', y')$ 求取直线另一参数 ρ 。

3 试验结果分析

图 6 所示的图像是试验结果图像。为了显示清楚, 图中直线宽度为 4 个像素。由于图像在采集的过程中使用 USB 屏蔽电缆, 并且彩色图像经 R 通道灰度处理后采用 5 点平滑滤波处理, 使得图像中噪声得以减小乃至消除, 多次试验表明: 通过白背景点的分布情况来判定直线的终点位置是可行的, 并为导航安全及已知点判定提供依据。另在寻找边缘点形成点集 D 的过程中, 即使由于干扰等原因使得个别点出现偏差, 但是从选点原则和统计学的角度考虑并不影响整体结果, 因而算法具有一定的抗干扰性。点集 D 中最多包含 460 个点, 因此计算速度快, 参数空间小。6 幅图像中求得的直线相关参数和计算时间如表 1 所示。

试验结果表明: 算法可以准确有效地计算出目标直线参数, 并且可以准确地判断直线的终点位置, 且处理一幅图像所需的时间不足 100 ms。

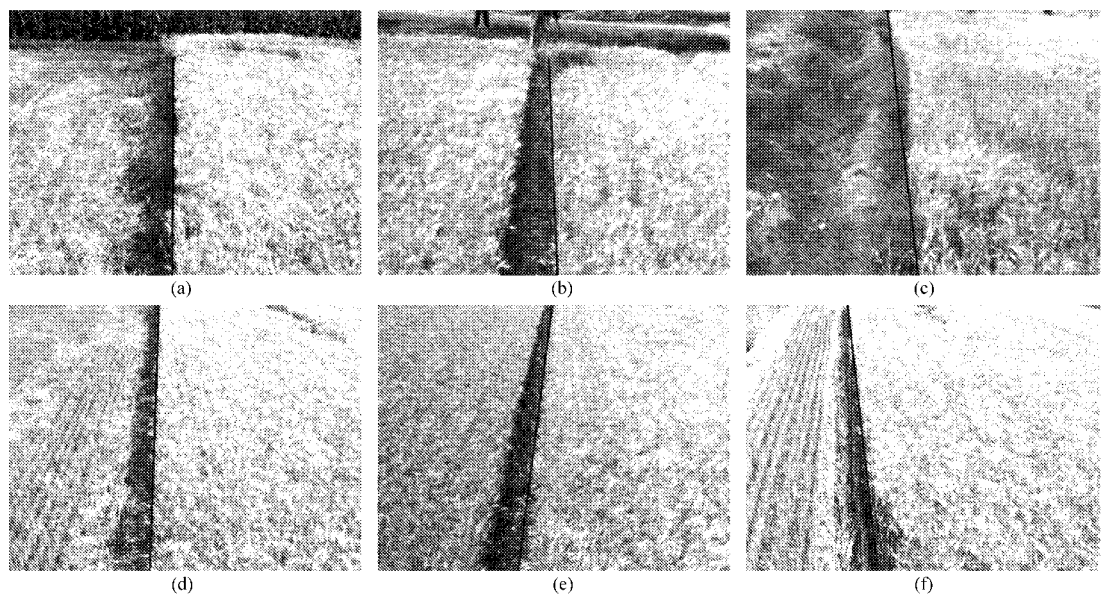


图 6 试验结果图像
Fig.6 Results of images

表 1 直线参数和计算时间
Tab.1 Line parameters and computing time

图号	已知点坐标	ρ /像素	$\theta/(^{\circ})$	时间/ms
6a	(296,84)	296	0.15	83
6b	(305,88)	304	-2.55	85
6c	(254,10)	251	-6.75	78
6d	(270,10)	270	1.95	81
6e	(313,10)	312	7.35	79
6f	(181,10)	180	-6.45	86

4 结束语

通过缩小阈值搜索范围来改进一维最大熵阈值

分割方法,提高了阈值分割的速度;对二值图像通过行扫描和列扫描,确定了行走目标直线的终点位置以及直线方向上的候选点,使点集 D 不超过 460 点;以候选点为点集,利用最小二乘直线拟合和直线终点位置给出了待检测直线上已知一点确定方法;利用改进 HT 完成直线检测,与传统的 HT 相比,将二元映射转换为一元映射,与传统的 HT 相比节省了运算时间,大大缩小了参数空间,避免了无效采样和累积问题,且算法具有抗干扰、鲁棒性强等优点。经过对多幅图片的处理,证明算法能够有效地检测出直线参数,且处理时间在 100 ms 左右。

参 考 文 献

1 Toru Torii, Akirs Takamizawa. Crop row tracking by an autonomous vehicle using machine vision[J]. JSAE,2000,62(5): 37~42.

2 Wilson J N. Guidance of agricultural vehicles—a historical perspective [J]. Computers and Electronics in Agriculture,2000, 25(1): 3~9.

3 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):90~94.
Zhou Jun, Ji Changying, Liu Chengliang. Visual navigation system of agricultural wheeled-mobile robot[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2005,36(3):90~94. (in Chinese)

4 Gan-Mor S, Clark R L. DGPS-based automatic guidance-implementation and economical analysis [C]. ASAE Annual Meeting, Paper No. 011192,2001.

5 何晓兰,杜尚丰,姜国权. 基于机器视觉的两种提取导航线算法研究[J]. 仪器仪表学报,2007,28(增刊1):26~30.
He Xiaolan, Du Shangfeng, Jiang Guoquan. Research on two algorithms of extracting navigation base-line on agricultural robot based on machine navigation [J]. Chinese Journal of Scientific Instrument,2007, 28(Supp.1):26~30. (in Chinese)

6 Hough P V C. Method and means for recognizing complex patterns [J]. Patent,1962,30(1):54~69.

7 倪长安,李心平,王显仁. 谷物收获机械有问必答[M]. 北京:电子工业出版社,2008.

8 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):83~86.
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):83~86. (in Chinese)

9 司永胜,姜国权,刘刚,等. 基于最小二乘法的早期作物行中心线检测方法[J]. 农业机械学报,2010,41(7):163~167.
Si Yongsheng, Jiang Guoquan, Liu Gang, et al. Early stage crop rows detection based on least square method [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(7): 163~167. (in Chinese)