１.同类项目国内外研究现状和水平；

**国外**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 国家 | 年份 | 作者 | 研究 | 结果 | 讨论 | 对象及作业机械（展望、动机） | 误差测量 | 方法、结论 |
| 日本 | 1996 | Torii等人[1] | 在HIS空间中利用水平扫描线和最小二乘法检测作物行 | 在速度为0.25m/s时，在人工草坪取得了最大横向误差0.024m,航向角误差1.5°的结果。 | 作物类型？实验实期？农机类型？为什么有这个速度限制？误差测量方法 | 人工草坪  除草机  速度限制0.25m/s | / | （未找到原文献，引用文献中内容） |
| 英国 | 2001 | Hague T[2] | 一种在图像序列中定位作物行的方法 | 该方法已被用于指导一个冬小麦的机械除草，RMS位置误差为15.6mm，速度为1.6m/s。 | 实验实期？农机类型？为什么有这个速度限制？误差测量方法？方法思路？图像序列是指视频中的帧？ | 冬小麦  除草机  速度1.6m/s  展望：  然而，当太阳在天空中较低时，从一侧照射植物，可能导致行位置的偏差估计。需要进一步的工作来量化这一点; 可能需要使用颜色技术来减少或消除影响。 | 其中一个锄头被移除，并用喷嘴取代了一些涂料。 通过测量迹线相对于作物行的位置来评估系统的整体性能。 | 平行作物行的周期振幅变化被利用。考虑到摄像机布置和作物行距的几何形状，推导出了一种滤波器，该滤波器允许提取作物行，同时减弱部分遮蔽和诸如杂草等虚假特征的影响。使用扩展卡尔曼滤波器跟踪行的位置和方向。 |
| 瑞典 | 2002 | Astrand B[3] | 一种新的算法提出作物行行识别系统 | 并已在室外现场测试广泛测试，并证明能够引导机器人的精度为2cm。 | 作物类型？实验实期？农机类型？是否有速度限？误差测量方法 | 甜菜，直径5cm  除草机  展望：  未来的工作将集中在开发强大的高性能算法，以区分植物和杂草。 未来的工作还将包括在不同农场进行广泛的田间试验，并将重点关注其他种植作物，如油菜和不同种类的蔬菜 | 对于所有图像，由人类观察者估计相机相对于行的实际位置。 该测试装置的结果表明，行识别系统显示出良好的性能，从0.6cm的误差标准偏差到1.2cm，取决于工厂的尺寸 | 本算法使用近红外光谱滤镜采集图片信息以排除土壤石头等噪音，检测一组平行霍夫直线并选择最佳直线作为导航线 |
| 美国 | 2004 | Han S, Zhang Q[4] | 多个窗口提取导航线 | 用多个窗口提取导航线以提高其鲁棒性的方法。在大豆实验中平均误差为1cm，谷物（玉米）的平均误差为2.4cm。 | 实验实期？农机类型？是否有速度限？误差测量方法？图像方法思路？多窗口是指多帧联解？ | 大豆在V3发育阶段高约8厘米（3英寸）时  拖拉机  展望  自动引导拖拉机的定量性能评估尚未完成。 视觉传感器与其他导航传感器（如GPS）的融合，以提供更强大的指导准则，应成为未来的一个活跃的研究课题。 | 将计算得到矩阵得到作物行与通过从图像手动（视觉上）选择作物行而获得的参考轨迹矩阵进行比较。 | K-means聚类分割  多窗口指同一帧图片上ROI窗口。 |
| 澳大利亚 | 2014 | English, A.; Ross, P.; Ball, D.等人[5] | 一种新的基于视觉的纹理跟踪方法 | 方法能够在白天和夜晚对非常不同的形状跟踪作物在不同领域的行。 | 实验实期？农机类型？是否有速度限？夜晚用了什么设备？误差？具体哪一种纹理？ | 成熟期  拖拉机  速度5km/h  夜晚通过前灯照明  展望  更稳健的作物模板提取算法，以及其他传感器的融合 | 通过RTK-GPS测量误差 | 现有的方法需要足够的视觉差异作物和土壤的分割，或明确的知识结构的作物行。该方法通过在场景的模拟开销视图中提取和跟踪占主导地位的平行纹理的方向和横向偏移，从而抽象出诸如颜色、间距和周期等特定作物细节。 |
| 澳大利亚 | 2016 | Ball, D.; Upcroft, B.; Wyeth, G等人[6] | 一个基于视觉的障碍检测和导航系统 | 机器人能够继续在5分钟的GPS中断，通过视觉跟踪作物行。实验误差在小麦行，高粱茬、夜晚高粱茬、鹰嘴豆的误差分别为(m):0.034、0.060、0.100、0.048。 | 同上 |  |  |  |
| 南非 | 2014 | van Wyk, B. J.; Djouani, K.等人[7] | 一种有效的作物行检测方法 | 该方法在捕获的帧中移动，延伸或缩小柔性化的四边形来放置作物行。 | 最初动机？作物类型？农机类型？是否有速度限？实验时期？误差测量方法？柔性化的四边形如何形成？是否有展望？用了什么的ＧＰＳ，精度？ | 动机  目前的许多方法都需要进行轮廓的提取或扫描每一行进行中心点的提取再直线拟合，需要大量计算，而本方法只需要对二值图像用四个矩形进行操作得到导航线。 | 误差等未提  提到了该方法与其他算法上的对比 | 针对农业机器人视觉导航问题，提出了一种有效的作物行检测方法。在该方法中，不需要低层特征（如图像的边缘和中间线）。 |
| 西班牙 | 2016 | Bengochea-Guevara, J. M.; Conesa-Munoz, J.; Andujar, D.等人[8] | 视觉与GPS融合 | 设计并开发了两个模糊控制器，实现了视觉导航。速度在0.3m/s左右位置偏差小于2cm，角度小于2°。 | 最初动机？作物类型？农机类型？验时期？是否有速度限？模糊控制器基于什么模糊？是否有展望？用了什么的ＧＰＳ，精度？ | 玉米苗  小型移动平台  一个用于角速度，一个用于线速度 | 这是小车的位置偏差和转角而不是误差。 | 无论使用何种类型的GNSS，当GNSS作为移动机器人自主导航的唯一位置传感器时，该导航技术具有一些限制。 因此，RTK-GNSS经常与其他传感器结合使用，例如惯性测量单元（IMU）[14,15]或光纤陀螺仪（FOG） |
| 克罗地亚 | 2016 | Vidovic, I.; Cupec, R.; Hocenski, Z.[9] | 利用动态规划技术将图像证据与先验知识相结合的有效的作物行检测方法 | 能够准确地检测作物直线和曲线。优于霍夫变换和最小二乘法。 | 最初动机？作物类型？农机类型？实验时期？是否有速度限？先验是指什么？优于霍夫等在哪些方面优于？是否有展望？用了什么的ＧＰＳ，精度？ | 动机  对杂草和阴影不敏感  不同类型作物  不同生长期作物  直线和曲线作物  不同数量和间距的作物  无农机类型，误差不是用航向偏差和横向偏差，而是自己定义的一种衡量方式CRDA. | 展望：  算法上去噪、平滑等。其次要应用到农机上看实际控制效果。 |  |

国外从上世纪末开始就有了有关视觉导航的研究，总体实现了低速下（1m/s左右）在一定路程内导航横向偏差达到厘米级（小于10厘米）。2016年澳大利亚的Ball, D.; Upcroft, B.; Wyeth, G等人[6] 设计了一个基于视觉的障碍检测和导航系统，机器人能够继续在5分钟的GPS中断，通过视觉跟踪作物行。实验误差在小麦行，高粱茬、夜晚高粱茬、鹰嘴豆的误差分别为(m):0.034、0.060、0.100、0.048。2016年西班牙的Bengochea-Guevara, J. M.; Conesa-Munoz, J.; Andujar, D.等人[8]等人设计了视觉与GPS融合导航系统，设计并开发了两个模糊控制器，实现了视觉导航。速度在0.3m/s左右位置偏差小于2cm，角度小于2°。上述文献表明，视觉导航可作为GPS导航辅助导航，且能在GPS导航失效一段时间内起到独立起到导航作用

**国内**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 机构 | 年份 | 作者 | 方法 | 结果 |  |  |  |
| 南京农大 | 2012 | Xue, J.; Zhang, L.; Grift, T. E.等人[10] | 一种新的机器视觉导航方法 | 车辆成功穿越30m距离到作物行末端对该方法进行了测试，重复三次。用RTK-GPS数据评价制导性能，最大的制导误差为15.8mm，航行行为稳定。 | 动机：  设计近视远视和侧视机器人。  作物玉米，高70cm  小车平台  1m/s | 误差测量  RTK-GPS |  |
| 南京农业大学 | 2017 | 陈益杉; 卢伟;[11] | 基于 GIF-Shearlet 算法的新旧土边界线视觉导航技术研究 | 采用Shearlet-Canny算子检测边缘并经过Hough变换后提取的导航线精确度最高,最大误差小于0.5°。 | 对象：新旧土壤  农机：拖拉机 |  | 动机：因此，已有学者研究驾驶员监控下的农业机械辅助转向系统，来减小驾驶员的工作强度，将驾驶员从高温、振动的农业机械驾驶室内解放出来，遥操作驾驶技术应运而生，，工作人员可远程操  控农业机械的作业 [4]，当农业机械上安装驾驶机器  人时，通过遥操作技术可实现农业机械的远程操控，结合自动导航技术可实现驾驶机器人的局部自主导  航控制。  针对遥操作拖拉机驾驶机器人旋耕作业时行驶轨迹近似平行的特点，以及工作环境中光照不均、作物行多样化的问题，本文拟以视觉图像的新旧土为研究对象，基于 YCrCb 颜色空间将图像灰度化 |
| 中国农业大学 | 2009 | 陈艳等人[12] | 基于卡尔曼滤波方法将RTD GPS和机器视觉信息进行融合 | 提高了RTD GPS的定位精度。 | 路面粘绿色带  电瓶车 | RTK-GPS来衡量误差 |  |
| 中国农业大学 | 2011 | 陈艳等人[13] | UFK（无迹卡尔曼滤波）[13]对GPS数据和机器视觉导航数据进行融合 | 比卡尔曼滤波好 | 绿色带  电瓶车 |  |  |
| 中国农业大学 | 2017 | 翟志强 | 基于虚拟现实的拖拉机双目视觉导航[14] | 在非地头环境下,作物行中心线的正确识别率不小于92.11%,平均偏差角度的绝对值不大于1.07°,偏差角度的标准差不大于2.52°;图像处理时间的平均值不大于202.90 ms、标准差不大于17.75 ms。通过比较作物行中心线与拖拉机行驶方位的相对位置规划导航路径,能够保证拖拉机稳定跟踪同一条目标作物行,目标路径规划的正确率为97.33%;导航路径规划时间的平均值为0.017 ms,标准差为 0.017 ms。 | 虚拟场景实验  棉花均高0.3m，均宽0.3m | 测量算法提取角度与手动提取角度。 | 进行实车实验 |
| 浙江理工大学 | 2015 | 金海龙[15] | 研究插秧机视觉导航 | 在陆地上实验时，以一档速度（0.5m/s左右）行驶时平均角度误 差在 1°左右，平均位置偏差小于 3.2mm，角度标准差约为 2.5°以内，位置偏移标准差小 于 34.80mm。 | 对象：  水稻  插秧机 | 误差衡量  前轮转角？  其他没看见 |  |
| 浙江理工大学 | 2015 | 汪博[16] | 设计开发了一个机器人控制系统 | 实现了ROI的自动选取，用机器学习的方法识别杂草，横条法加线性回归的组合算法进行作物行检测，最终在校内的模拟实验中机器人速度为0.65m/s，最大偏转角为6°，平均偏转角为2°-3°。 | 实验：  模拟作物  小车机器人 | 角度偏差是图像处理得到 | 优化软件系统，目前软件系统比较简单，仅包括自动导航和人工操作两大基本功能，后续应该进一步优化系统，包括界面和布局优化，加入更多功能，包括将训练过程集成到系统，参数的调整等，以及系统的整体优化，提高系统的相应速度。 |
| 浙江理工大学 | 2016 | 韩永华等人[17] | 研究了基于小波变换及Otsu分割的农田作物行提取 | 实验表明算法能有效克服密集杂草干扰,针对480′640像素大小图像,单幅处理时间平均为132 ms。 | 对象：密集杂草青菜地 |  | 结论：不仅有效去除了杂草干扰，且通过在小波重构过程中去除近似分解层系数减少了光照不匀、阴影对作物行提取的影响 |
| 江苏大学 | 2016 | 陈艳丽[18] | 北斗导航系统为主视觉导航为辅的组合导航 | 在0.5m/s下组合导航的偏差为X方向为4cm，Y方向2.5cm，而单独北斗的为10cm，5cm左右。 | 拖拉机  校内操场上实验 | 预定GPS轨迹与实际轨迹比较 |  |
| 华南农业大学 | 2016 | 庄晓霖[19] | 基于机器视觉的路径识别及避障导航系统。 |  | 校内道路  小车 | 误差衡量  多段基准线取特征点 | 中心线算法运行速度最快，在路径没有缺失的情况下应该优先选择该方法；若有路径缺失，转弯弯度不大且笔直路面多，可采用 Hough 变换方法；转弯弯度较大且笔直路面多，可采取双区域的 Hough 变换方法；当转弯弯度过大且路径迂回不断，应该考虑多区域的 Hough 变换方法。 |
| 华南理工大学 | 2016 | 郑少华[20] | 视觉导航AGV定位与路径规划技术 | 研究重点为定位技术和路径规划技术。 |  |  |  |
| 华南理工大学 | 2007 | 张志斌;罗锡文等[21] | 运用像素子集的良序性结合垄宽先验知识得到垄行轨迹中心 | 试验结果表明:航向角和位置参数平均误差分别约为1°和1 mm。 | 拟合中心点坐标，拟合角度与实际中心点坐标（），实际角度（90°） |  | 结论：进一步结合移动平台速度和图像采样间隔T，建立了单目视觉导航系统的动态输出方程。 |
| 安徽农业大学 | 2017 | 宋宇、刘永博[22] | 基于机器视觉的玉米根茎导航基准线提取方法 | 700像素×350像素的彩色图像平均耗时小于185 ms。准确率在90%以上。 |  |  |  |
| 安徽农业大学 | 2016 | 袁加红[23] | 基于机器视觉的水稻秧苗图像分割 | 试验发现,Ex G因子结合Otsu分割法分割效果相对理想、稳定性更高,而且耗时更短。 |  |  |  |
| 福建农林大学 | 2017 | 郭翰林、洪瑛杰[24] | 再生稻收割机的视觉导航路径检测方法 | 419\*310的图像平均耗时0.064s， |  |  |  |
| 石河子大学 | 2017 | 杨玲香; 王田田;[25] | 基于随机抽样一致性算法(RANSAC)的农作物行提取 | 结果表明,该算法能够在缺株、有杂草、地膜覆盖等复杂背景下,自动剔除伪定位点,有效检测出作物行。 |  |  |  |
| 西北农林科技大学 | 2017 | 赵腾[26] | 基于激光扫描的联合收割机自动导航方法研究 | 田间静态试验将基于Otsu算法检测的作物边缘线与实际作物边缘线进行对比,最大偏差为8.3 cm,平均偏差为5.4 cm,标准差为3 cm | 小麦  收割机  1m/s | 精度由RTK-GPS评判。 |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |

近年来国内中国农业大学、华南农业大学、华南理工大学、江苏大学、等高校都对视觉导航及GPS与视觉导航融合相关技术进行了研究，结果表明目前的视觉导航图像处理速度能满足作业要求，对复杂情况下作物行线提取都有了较为成熟的方法，可去除杂草、阴影、光照等影响，误差能够达到厘米级（10cm内）。与GPS的融合研究也表明且视觉导航能对GPS导航起到辅助作用。

但大多文献限于模拟环境下，没有在真实农田环境中进行作业实验研究，尤其是水田环境作业机械，未见实验案例，而少数拖拉机有进行真实作业实验，其误差多为RTK-GPS来评判，除RTK-GPS来衡量误差外，其余误差多为图像本身提取参数与实际参数（人为选取）进行比较。

２.项目研究的主要内容、技术关键和技术路线；

 研究视觉导航主要包括获取图像，导航线检测，导航参数的转换，执行机构的控制，视觉导航四个部分内容，其关键在于导航线检测。

常规导航线检测一般包括以下步骤：

（1）图像预处理，如畸变矫正、合适ROI选取

畸变矫正一般是消除相机镜头产生的畸变，有时需要将图像变换成俯视图时也需要进行类似校正。合适的ROI选取一方面可以减少需要处理的数据，提高处理速度，另一方面适当选取多个ROI也可以提高导航线提取的鲁棒性。

（2）颜色特征选取

例如过绿特征提取，HIS, HSV, YCrCg, 暗原色法等方法，针对不同生长时期的不同作物类型，可以选择合适的颜色空间。

（3）背景分割

一般选用OSTU最大类间方差法选取阈值值进行分割，少数使用聚类方法进行分割。

（4）定位点选取、直线拟合

对于分割后的图像一般选用垂直投影的方法遍历行或多行图像中作物行的中点，再用如霍夫变换，最小二乘法以及基于二者的改良方案对作物行进行拟合。

一些新型方法利用纹理特征、动态规划、粒子群算法等非常规方法等跳过定位点选取步骤直接得导航线参数。

在获取了导航线之后需要进行投影变换将图像中的作物行线投影变换到相对车身前进方向的参考系坐标，得到农机的相对导航线的航向偏差和横向偏差用于后续导航控制，我们设计的技术路线如下，计划用常规方法和基于纹理特征的方法获取导航参数，比较二者的优劣性，选取合适的方法。

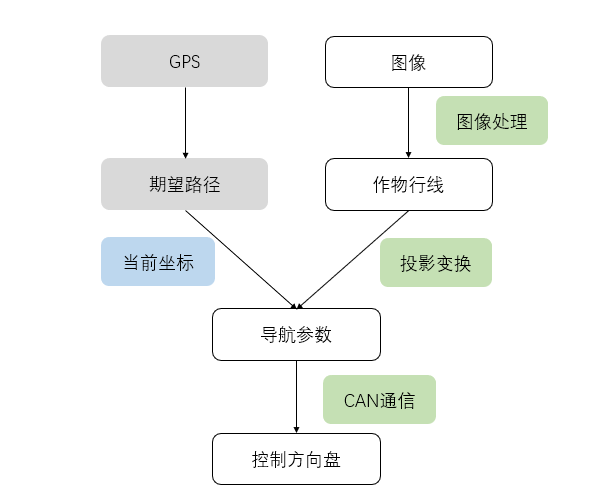


Figure 1 技术路线

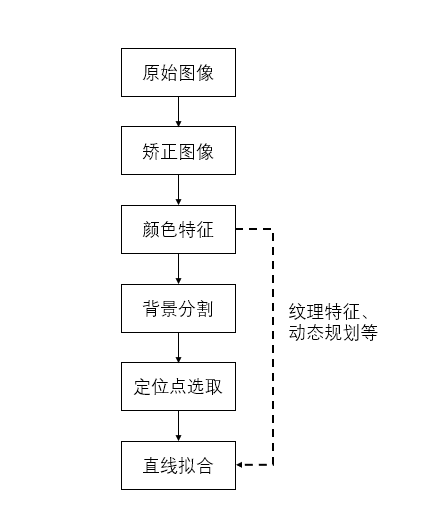


Figure 2 技术关键

３.项目主要技术经济指标和预期目标；

４.项目成果推广应用、市场前景及经济、社会效益分析；

５.方案的可行性、先进性、创新性和风险性分析。

**可行性**

导航线提取算法已有较多研究，在研究大量已有算法的基础上，结合本项目适用对象对其加以改进。可以实现导航线提取算法的优化。

在前人视觉融合的基础上加以改进，实现RTK-GPS与视觉融合算法。

**先进性**

目前国内尚无市场化的用视觉进行导航的农机。

**创新性**

1. 导航线提取算法改进

国内目前尚无利用帧间特征纹理差异提取导航参数的研究，以此构建一套视觉导航系统。

2. 视觉和GPS融合

国内已有RTDGPS与视觉融合以及北斗与视觉融合的系统，但尚无RTKGPS与视觉融合的研究。

**参考文献**

[1] 姜国权，何晓兰，杜尚丰，等. 机器视觉在农业机器人自主导航系统中的研究进展[J]. 农机化研究. 2008(03): 9-11.

[2] Hague T, Tillett N D. A bandpass filter-based approach to crop row location and tracking[J]. MECHATRONICS. 2001, 11(1): 1-12.

[3] Astrand B, Baerveldt A J. An agricultural mobile robot with vision-based perception for mechanical weed control[J]. AUTONOMOUS ROBOTS. 2002, 13(1): 21-35.

[4] Han S, Zhang Q, Ni B, et al. A guidance directrix approach to vision-based vehicle guidance systems.[J]. Computers and Electronics in Agriculture. 2004, 43(2004): 179-195.

[5] English A, Ross P, Ball D, et al. Vision Based Guidance for Robot Navigation in Agriculture[M]. IEEE International Conference on Robotics and Automation ICRA, 2014, 1693-1698.

[6] Ball D, Upcroft B, Wyeth G, et al. Vision-based Obstacle Detection and Navigation for an Agricultural Robot[J]. JOURNAL OF FIELD ROBOTICS. 2016, 33(8): 1107-1130.

[7] Tu C, van Wyk B J, Djouani K, et al. An Efficient Crop Row Detection Method for Agriculture Robots[J]. 2014 7TH INTERNATIONAL CONGRESS ON IMAGE AND SIGNAL PROCESSING (CISP 2014). 2014: 655-659.

[8] Bengochea-Guevara J, Conesa-Muñoz J, Andújar D, et al. Merge Fuzzy Visual Servoing and GPS-Based Planning to Obtain a Proper Navigation Behavior for a Small Crop-Inspection Robot[J]. Sensors. 2016, 16(3): 276.

[9] Vidovic I, Cupec R, Hocenski Z. Crop row detection by global energy minimization[J]. PATTERN RECOGNITION. 2016, 55: 68-86.

[10] Xue J, Zhang L, Grift T E. Variable field-of-view machine vision based row guidance of an agricultural robot[J]. Computers and Electronics in Agriculture. 2012, 84: 85-91.

[11] 陈益杉，卢伟，王玲，等. 基于GIF-Shearlet算法的新旧土边界线视觉导航技术研究[J]. 农业现代化研究. 2017(02): 343-351.

[12] 陈艳，张漫，刘兆祥，等. 基于Kalman滤波器的机器视觉自动导航定位算法研究: 纪念中国农业工程学会成立三十周年暨中国农业工程学会2009年学术年会（CSAE 2009）[Z]. 中国山西太谷: 20095.

[13] 陈艳，张漫，马文强，等. 基于GPS和机器视觉的组合导航定位方法[J]. 农业工程学报. 2011, 3(03): 126-130.

[14] 翟志强. 基于虚拟现实的拖拉机双目视觉导航试验方法研究[D]. 中国农业大学, 2017.

[15] 金海龙. 插秧机视觉导航关键技术的研究[D]. 浙江理工大学, 2015.

[16] 汪博. 基于机器视觉的农业导航系统[D]. 浙江理工大学, 2015.

[17] 韩永华，汪亚明，孙麒，等. 基于小波变换及Otsu分割的农田作物行提取[J]. 电子与信息学报. 2016(01): 63-70.

[18] 陈艳丽. 基于北斗定位的农机车载组合导航系统研究[D]. 江苏大学, 2016.

[19] 庄晓霖. 基于机器视觉的路径识别及避障导航系统[D]. 华南农业大学, 2016.

[20] 郑少华. 视觉导航AGV定位与路径规划技术研究[D]. 华南理工大学, 2016.

[21] 张志斌，罗锡文，李庆，等. 基于良序集和垄行结构的农机视觉导航参数提取算法[J]. 农业工程学报. 2007(07): 122-126.

[22] 宋宇，刘永博，刘路，等. 基于机器视觉的玉米根茎导航基准线提取方法[J]. 农业机械学报. 2017(02): 38-44.

[23] 袁加红，朱德泉，孙丙宇，等. 基于机器视觉的水稻秧苗图像分割[J]. 浙江农业学报. 2016(06): 1069-1075.

[24] 郭翰林，洪瑛杰，张翔，等. 再生稻收割机的视觉导航路径检测方法[J]. 福建农林大学学报(自然科学版). 2017, 46(03): 356-360.

[25] 杨玲香，王田田，何旭. 基于随机抽样一致性算法(RANSAC)的农作物行提取[J]. 江苏农业科学. 2017(02): 195-197.

[26] 赵腾. 基于激光扫描的联合收割机自动导航方法研究[D]. 西北农林科技大学, 2017.