



智慧农业

双天线 GNSS 精准平地控制系统试验*

梁冉冉, 庄卫东[※]

(黑龙江八一农垦大学工程学院, 大庆 163319)

摘要:【目的】利用双天线 GNSS 的精准平地系统可以达到提高土地平整度、提高肥料利用率和降低水土流失的目的, 可以提高农作物产量、提高平地机在不同地形作业的精度和效率, 减少农民的劳动强度。【方法】GNSS 精准平地控制系统通过 GNSS 移动站接收到的 GNSS 差分站发送的差分信号确定平地铲的高程和姿态角, 向控制器发送指令调节电磁换向阀的开闭, 通过控制液压油管中流量和流向实现实时精准调节平地铲高程和姿态角的工作目标。【结果】1. 平整作业后土地最大高差从平整前的 0.245 m 高差缩减到 0.139 m, 平整度显著提升; 2. 该试验平地铲最大姿态角为 1°, 即平地铲变化范围小, 始终保持平稳; 3. 试验田平整后记录点到基准平面距离小于 2.5 cm 的点占总试验田面积 60% 以上, 平地效果良好。【结论】双天线 GNSS 精准平地控制系统定位精确可以达到厘米级、稳定性高、不受拖拉机行驶速度影响; 液压系统响应快速, 可以实现根据控制器信号精准调节平地铲高程和姿态角; 系统整体设计合理, 平地效果达到精准平地要求。

关键词: 精准农业; 平地机; 双天线定位; 智能控制

DOI: 10.12105/j.issn.1672-0423.20190206

0 引言

农作物生产过程中需要进行多次农业机械作业和农业技术管理, 而土地平整是农作物健康成长的保障, 为农机作业和农艺管理提供基础^[1]。水资源和肥料是农作物生长的保障, 但是地面凹凸不平的农田往往造成了水肥的巨大流失, 研究表明, 20% 以上的灌溉用水因为农田地面不平整被浪费, 30% 以上的肥料流失^[2]。水肥流失严重使研究人员意识到土地平整的重要性, 农田的地表平整使地下水分布深度一致, 肥料可以均匀地发挥效用, 对改进灌溉均匀性、减少水土流失、改善生态环境和提高农民经济效益有显著作用^[3]。土地平整是农业节水灌溉和土地开发管理中的一个重要环节, 可以将凹凸不平的地面平整为水平或是带有一定坡度的地面^[4]。土地平整主要分为基本土地平整和精细土地平整, 精细平整设备主要包括激光控制平地设备和 GNSS 控制平地设备^[5]。

收稿日期: 2019-03-13

第一作者简介: 梁冉冉 (1994—), 硕士研究生。研究方向: 精准农业。Email: 1814110729@qq.com

※ 通信作者简介: 庄卫东 (1970—), 博士、教授。研究方向: 精准农业。Email: 81nd@163.com

* 基金项目: 国家重点研发计划 (2016YFD020060802); 黑龙江省农垦总局课题 (HNK135-06-07); 黑龙江八一农垦大学研究生创新科研项目 (YJSCX2018-Y46)

GNSS 精准平地设备作业不受地形影响, 可以进行地形测量和路径规划作业, 还具备可视化和智能化水平高的优点^[6]。和传统的 GNSS 单缸平地机相比, GNSS 精准平地系统有两个液压油缸控制平地铲的升降, 在坡度较大的农田工作时, 可以通过伸缩液压油缸来调节平地铲高度^[7]。除此之外系统改善了平地机的调平机构, 通过控制平地铲姿态角的大小来控制平地铲的水平, 使平地铲始终保持水平, 不受地形影响。系统操控方便, 运用灵活, 灵敏度的可视化程度高, 极大地提高了土地平整精度^[8]。

1 整体结构和工作原理

双天线 GNSS 的精准控制系统整体结构如图 1 所示。精准平地系统软件可以完成地形测量、路线规划、精准平地、作业回放、作业评价等功能。当进行精准平地试验前, 首先对试验田进行地势测量, 利用双天线卫星定位测量、记录并进行数据处理得到试验田地形图, 为确定基准高程和规划路线提供参考^[9]。当软件运行正常, 接收数据良好后, 设定平地铲的基准高程和姿态角。GNSS 基准站发送差分的卫星信号精确地定位平地铲的确切位置, 系统通过判断平地铲高程和基准高程之间的差距、姿态角和标准姿态角的差距自主调节平地机高程和姿态。如果平地铲需要上升, 电磁换向阀左侧的电磁铁通电, 液压油缸伸长; 如果平地铲需要下降, 电磁换向阀右侧的电磁铁通电, 液压油缸缩短; 如果平地铲不需要调节高度和姿态, 电磁换向阀处于中位状态, 液压油缸保持不动。左右液压油缸单独具备上述 3 种运动状态, 经过组合, 共有 9 种不同的运动情况可实现单独调节, 满足平地过程中不同的土地状态。



图 1 双天线 GNSS 的精准控制系统整体结构图

Fig.1 Overall structure diagram of GNSS precision control system for dual antennas

2 平地试验

在试验开始前, 首先对试验田进行地形测量, 为平地质量的优劣提供参考^[10]。将 GNSS 基准站安装在试验田地头, GNSS 移动站安装在平地铲两侧, 精准平地软件安装在拖拉机驾驶室的车载式触控一体机, 四路控制器连接液压系统。在试验开始前, 首先

2019年4月

打开精准平地控制软件调试串口号和波特率，点击开始接收按钮，系统接收平地铲的经度、纬度、高程、姿态角等信息。约 60 s 后，系统接收信号平稳，设置平地铲的工作高程和姿态角，点击开始作业按钮，平地机开始平地。试验结束后，对作业路径进行网格划分，然后对试验田作差值高程图，分析实验效果，软件自动将平地过程中平地铲的平土方量计算出，显示出平地机工作路线图。

3 精准平地试验与数据分析

3.1 精准平地实验

2019年3月17日在八五三农场进行了精准平地试验，土地平整前地形图如图2所示。经过双天线GNSS精准平地系统的作业后，系统记录的拖拉机行驶路线如图3所示。对试验田再次进行地形分析，得到地形图如图4所示。

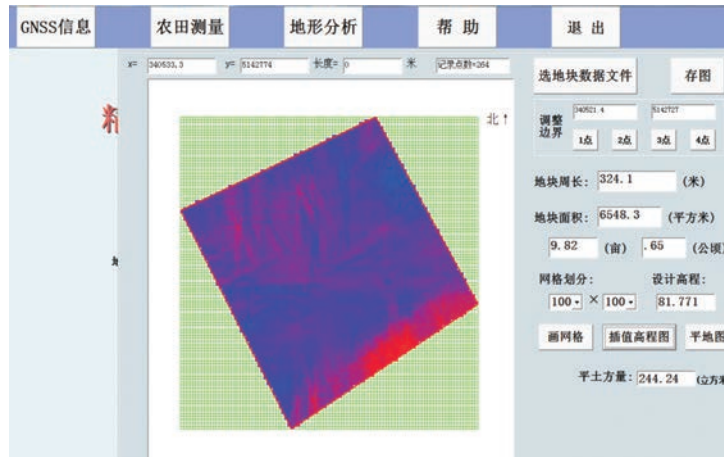


图2 试验田平整前地势图

Fig.2 Topography map of test field before levelling

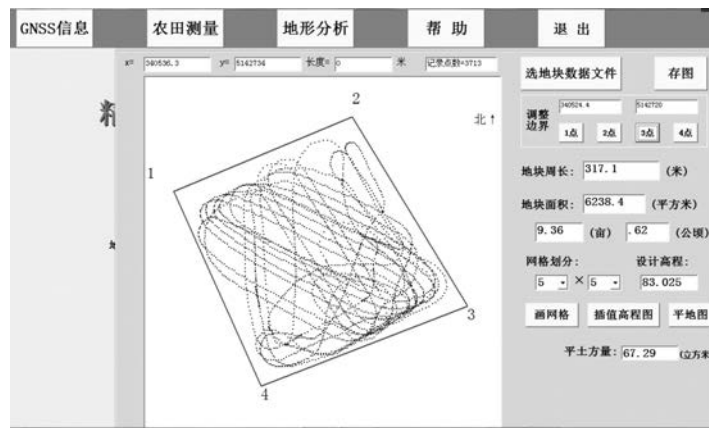


图3 拖拉机行驶路线

Fig.3 Tractor route

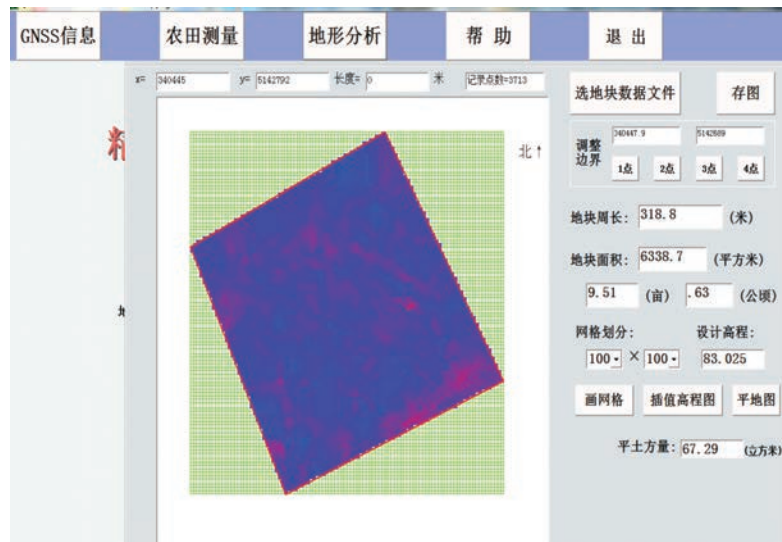


图 4 试验田平整后地形图

Fig.4 Topographic map of the experimental field after levelling

3.2 平地质量评价方法

3.2.1 最大倾角

该试验利用最大倾角指标描述 GNSS 移动站在平地过程中系统记录下的平地铲姿态角的最大值，可用来对农田局部平整情况进行评价。该试验采用车载式测量方法对试验田进行测量，在平地铲两端分别安装 GNSS 移动站可测出平地铲所处局部地形的倾角， a_j ($j=1, 2, \dots, N$) 表示测得的局部地形倾角， α_{\max} 表示局部地形最大倾角值，公式为：

$$\alpha_{\max} = \max \{ a_j \}, (j=1, 2, \dots, N) \quad (1)$$

3.2.2 高差分布列

该实验采取高差分布列 (Elevation Difference) 用于评价农田地表地貌的差异及地形分布特征，评价农田平整后地表高度和基准平面差距的分布情况。计算方法为：计算记录点高程与基准平面的垂直距离小于某一数值的点占所有点数的百分比数。如果选取评价标准为土地高程与基准高程的距离小于 0.03 m，则小于 0.03 m 的高差分布列 P_{ED} 计算为：

$$P_{ED} = \frac{p \{ d_j \leq 0.03 \}}{N} \times 100\% \quad (2)$$

式 (2) 中， N 代表系统收集到的高程数据总个数， $p \{ d_j \leq 0.03 \}$ 为所有测点到基准平面垂直距离小于 0.03 m 的各点数和。

3.2.3 最大高差

该试验利用最大高差指标评价试验田的整体高程变化情况和平整情况， H_{\max} 代表试验田的最大高程， H_{\min} 代表试验田的最小高程，主要功能为评价试验田水平平整效果，用 ΔH_{\max} 表示，计算公式为：

2019年4月

$$\Delta H_{\max} = H_{\max} - H_{\min} \quad (3)$$

3.3 试验数据分析结果

利用 Excel 软件对试验数据进行处理, 得到高程和基准高程折线图如图 5 所示, 得到俯仰角和标准俯仰角折线图如图 6 所示。

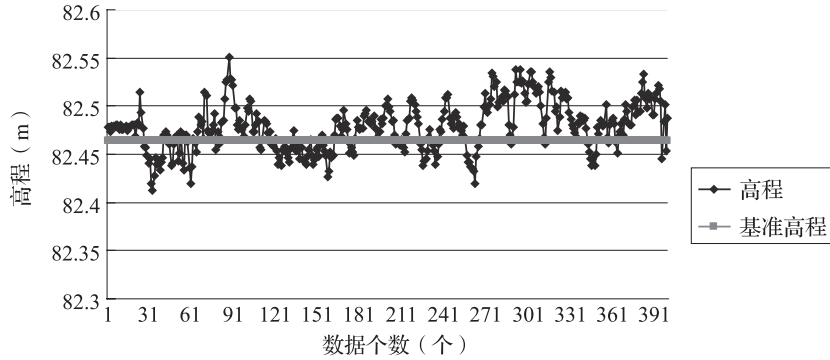


图 5 高程和基准高程折线图
Fig.5 Elevation and datum elevation line chart

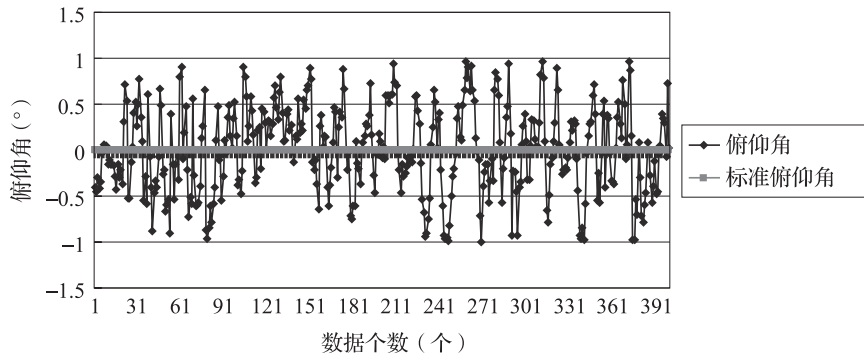


图 6 俯仰角和标准俯仰角折线图
Fig.6 Elevation angle and standard pitch angle line chart

从高程和基准高程折线图中可以看到平地铲的高程变化范围在 15 cm 之间, 调整快速准确, 响应性好。从俯仰角和标准俯仰角折线图中可以得出平地铲的俯仰角的变化范围为 2°, 可以实现根据地形变化实时调节平地铲姿态的目的。对试验数据做描述性统计分析如表 1 所示, N 代表系统记录的平地铲的高程和俯仰角的个数, 利用最大倾角、最大高差和高差分布列等指标对平地效果进行评价。

表 1 高程和俯仰角描述性统计资料

Table 1 Descriptive statistics on elevation and pitch angle

	N	最小值	最大值	平均值	标准偏差
高程	399	82.412	82.551	82.478	0.025 4
俯仰角	399	-1.00	1.0	-0.006	0.472 9

由描述性统计资料可以直观得出该次试验最大高差 $\alpha_{\max}=1^\circ$ ，即平地铲变化范围小，始终保持平稳，达到平地铲姿态调平的目标。

该实验的评价标准为 0.025 m，则试验田高差分布列为：

$$P_{ED}=\frac{264}{399} \times 100\%=66.2\% \quad (4)$$

即试验田平整后记录点到基准平面距离小于 2.5 cm 的点占总试验田面积 60% 以上，平地效果良好。

由记录数据得知该试验田的最大高程 $H_{\max}=82.551$ m，最小高程 $H_{\min}=82.412$ m，既得 $\Delta H_{\max}=82.551-82.412=0.139$ m。该次精准平地试验将试验田从平整前的 0.245 m 高差缩减到 0.139 m，大大提高了试验田的平整度，达到试验预想效果。

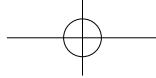
4 结论

该文设计的精准平地系统经过试验田实验，达到预期标准。可以实现精确测量农田地势地形图，根据卫星信号的反馈精准调控液压系统的升降使平地铲高度和姿态角始终保持设计基准的要求。实验结果显示，双天线 GNSS 精准平地控制系统符合精准平地要求，可实现地形测量、路径规划、平地作业和作业效果分析功能。

试验结果表明，高度差小于 0.025 m 的高差分布列大于 60%，俯仰角变化范围小于 2° ，实现精准平地作业。该系统具有技术先进、可靠性高、方便操作、满足工作要求等优良性能。但是标准的水稻试验田高程差在 5 cm 以内，系统的工作质量还没有达到标准水稻试验田平整度要求。在试验过程中存在平地铲振动超调的现象，精准控制平地系统有待改善，定于 2019 年秋季水稻收获后，再次做土地平整实验，以检验系统的工作性能。

参考文献

- [1] 肖红路. 国产平地机的技术发展. 工程机械与维修, 2004(10): 72~73, 36.
- [2] 李成勋. 1996—2050 中国经济社会发展战略—走向现代化的构想. 北京: 北京出版社, 1997.
- [3] 王启现. 我国农业科技进步与科研投资分析. 科学管理研究, 2007, 25(4): 113~116.
- [4] 胡炼. 基于 GPS 技术的水田平地机的设计与试验. 华南农业大学学报, 2015, 36(5): 130~134.
- [5] 李赫. 基于 GPS 平地的路径规划方法的研究. 保定: 河北农业大学, 2013.
- [6] 徐睿智. 激光精细平地对畦田灌水质量的影响及节水效果分析. 灌溉排水学报, 2012, 31(2): 6~9.
- [7] 姚亚萍. 激光控制平地系统研究与设计. 杨凌: 西北农林科技大学, 2010.
- [8] 巫章鹏. GNSS 精平地平地铲姿态调整技术研究. 杨凌: 西北农林科技大学, 2015.
- [9] 刘刚. 激光控制平地系统设计与试验分析. 农业机械学报, 2006, 37(1): 71~74.
- [10] 赵祚喜. 基于 MEMS 惯性传感器融合的水田激光平地机水平控制系统. 农业工程学报, 2008, 24(6): 119~124.



Test of Double Antenna GNSS precise level ground control system

Liang Ranran, Zhuang Weidong^{*}

(College of Engineering, Bayi Agricultural Reclamation University, Heilongjiang, Daqing 163319, China)

Abstract: [**Purpose**] Water resources and fertilizers are important for crop growth, but huge loss of water and fertilizer commonly happens on uneven farmland. Research shows that more than 20% of irrigation water and more than 30% of the fertilizer are wasted respectively because of uneven farmland surface. [**Method**] By using the precise flat ground system of double antenna GNSS, the aim of improving land smoothness, increasing fertilizer utilization rate and reducing soil and water loss can be achieved, and the yield of crops can be increased, and the precision and efficiency of the leveller operation in different terrain can be improved. To reduce the labor intensity of farmers, the GNSS precise and flat control system moves through GNSS. The differential signals transmitted by the GNSS differential station received by the station determines the elevation and attitude angle of the flat shovel, and sends a command to the controller to adjust the opening and closing of the solenoid commutation valve. By controlling the flow rate and flow direction of hydraulic tubing to realize the real-time and accurate adjustment of height and attitude angle of the flat shovel. [**Result**] The experimental results show that: (1) the maximum height difference of land after leveling operation is 0.245 m higher than that before leveling; the difference was reduced to 0.139m; flatness increased significantly; (2) the maximum attitude angle of the flat shovel in this experiment is 1° , which means the change range of the flat shovel is small, and is always stable; (3) the distance from the recording point to the base plane is less than that of the base plane after the test field is leveled. The 2.5cm point accounts for more than 60% of the total field area, and the ground levelling effect is good. [**Conclusion**] According to the experimental results, the precise positioning of the double-antenna GNSS precise flat-ground control system can reach the centimeter level, the stability is high, and it is not affected by the speed of the tractor. The hydraulic system can accurately adjust the elevation and attitude angle of the shovel according to the controller signal, and the overall design of the system is reasonable and the effect of the flat ground can meet the requirement of precision and level.

Key words: precision agriculture ; ballgrader; dual antenna positioning; intelligent control