排灌机械工程学报
Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering
2013 年 5 月 May 2013 | 第 31 卷 第 5 期 Vol. 31 No. 5
doi:10.3969/j.issn.1674-8530.2013.05.016

基于 GPS 的农田坡面平整技术与试验

王泷，刘刚，刘寅，李宏鹏
（中国农业大学现代精细农业系统集成研究教育部重点实验室，北京 100083）


王泷

摘要：设计了一种基于 GPS 的农田土地坡面平整系统，该系统由自主差分 GPS 接收设备、车载式工控机、控制转换器、液压系统、铲运装备等几部分硬件组成，以 Visual C++6.0 为系统软件开发环境；系统可对农田进行动态地势测量及坡面平整作业. 首先，将 GPS 接收设备安置在铲运设备上，利用拖拉机牵引铲运设备对农田进行动态蛇形测量，并通过相应的校正算法对测得的 GPS 数据进行误差校正；然后，根据校正后的数据，对农田进行三维地形成图及坡面建模，得到农田坡面期望高程；最后，将实时接收的农田实际高程与坡面期望高程进行比较，通过控制转换器输出液压控制信号驱动铲运设备进行挖填土方的平地作业. 在田间试验条件下，根据农业工作者要求对纵向长度为 180 m 的地块进行 1/1 000 纵向坡降的平地试验，结果表明，平地后标准偏差值在 5 cm 左右，坡低的平均相对高程约为 40.62 m，坡顶的平均相对高程约为 40.78 m，坡面高差为 16 cm，其理论坡面高差为 18 cm，有效改善了农田坡面地形.

关键词：全球定位系统；三维地形测量；数据处理；坡面建模；农田坡面平整
中图分类号：S24；TP306.2　**文献标志码**：A　**文章编号**：1674-8530(2013)05-0456-05

王泷，刘刚，刘寅，等. 基于 GPS 的农田坡面平整技术与试验[J]. 排灌机械工程学报，2013，31(5)：456-460.

GPS-based land slope leveling technique and its implementation

Wang Long, *Liu Gang*, *Liu Yin*, *Li Hongpeng*
(Key Laboratory of Modern Precision Agriculture System Integration Research, Ministry of Education, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: In order to improve the land slope leveling accuracy and achieve high quality irrigation, a GPS-Based land slope leveling system was developed. The system consists of GPS receiver, vehicle-mounted IPC, control-conversion module, hydraulic system and earth-moving equipment. And the software of the system is programmed in Visual C++ 6.0. The system can measure farmland topography instantaneously, and perform land slope leveling. First of all, the GPS receiver is installed in the earth-moving equipment to measure farmland topography in a serpentine path; the topography data are corrected with a correction algorithm to reduce the error. Then, a three-dimensional topography is visualized and a farmland slope model is established by using the corrected data to obtain the expected slope reference elevation. Finally, the real-time elevation is compared with the slope reference elevation, the comparison result is input to the control-conversion module, and its output signals are used to drive the hydraulic system for leveling the land. The land slope leveling implementation was carried out in a land with 180 m longitudinal size and 1/1 000 longitudinal slope. The results showed that the standard deviation is about 5 cm, the mean elevations at top and bottom of the slope is about 40.62 m

收稿日期：2012-08-31；**网络出版时间**：2013-05-07
网络出版地址：http://www.cnki.net/kcms/detail/32.1814.TH.20130507.1704.025.html
基金项目：国家 863 计划项目(2011AA100505)
作者简介：王泷(1989—)，男，黑龙江绥化人，硕士研究生(shwl1989@sina.cn)，主要从事土地平整研究.
刘刚(1966—)，男，河北保定人，教授，博士生导师(通信作者，pac@cau.edu.cn)，主要从事农业信息化技术和精细农业系统集成研究.

and 40.78 m, respectively, causing a 16 cm difference in elevation compared with 18 cm theoretical differences. Thus, the preliminary goal has been achieved.

Key words: global positioning system;3D topography survey;data processing;slope modeling; land slope leveling

农田表面平整状况是影响农田灌溉效率与效果的关键因素. 有研究结果表明, 由于农田表面的不平整, 超过 20% 的农田灌溉用水被浪费[1];而在采用沟渠灌溉的旱作地区,为了满足沟畦灌水要求,保证灌溉水流均匀推进,通常设计田面顺水流方向,即纵向地表方向应具有一定的坡降[2]. 因此,研究农田土地坡面平整技术,对田间灌溉具有十分重要的意义.

目前,国内主要的土地精细平整技术为激光控制平地技术,相比常规土地平整方法,该技术能够大幅度提高田间土地的平整精度[3-4]. 但是,激光控制平地技术易受外界因素影响,在强光、大风下工作,会使平地精度产生较大误差[5];同时,由于激光接收器的垂直接收范围有限,该技术只适用于地势起伏不大的平面土地平整,在大面积坡面平整时,会出现激光信号丢失现象,导致激光接收器无法正常工作,难以满足农田坡面平整要求.

全球定位系统(global positioning system, GPS)技术能够获得地表任何位置的定位信息,且工作不受天气影响,具有测量速度快、工作效率高的突出特点,而 RTK - GPS 技术的动态定位精度更可达到厘米级水平,为高效、大规模实施土地平整提供了重要的支撑条件[6-7]. 基于 GPS 的土地平整技术作为新兴科技,在美国等发达国家已得到较好地应用;而在国内,该技术尚处于研发阶段,目前初步实现了地形测量及农田平面平整功能,但测量精度相对较低,且尚未提出对于农田坡面平整方法的研究课题.

因此,文中设计一种基于 GPS 的农田土地坡面平整系统. 该系统可实现农田的三维地形测量,并能够根据实际需求建立坡降可调的农田坡面模型,实现土地的坡面平整,提高灌溉水利用效率及均匀程度.

1　系统结构

系统由如下几部分组成:以 RTK - GPS 接收设备为定位装置,以车载式工控机及控制转换器为控制中枢,以液压系统及铲运设备为机械动力设备. 系统构成如图 1 所示.

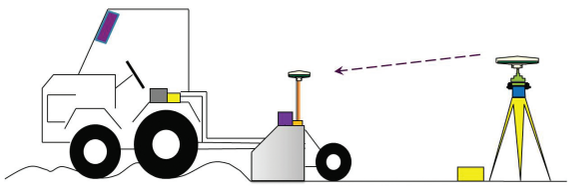


图 1　系统构成

Fig. 1　Structure of system

首先,设置好 GPS 基站,并将 GPS 移动站天线固定在拖拉机平地铲上,实时接收基准站发送的差分电台信号,解算出农田的水平及相对高程数据,并将数据传送给系统的上位机——车载式工控机;然后,通过软件编程在工控机上实现可视化三维地形成图、农田坡面建模、坡面期望高程解算等操作,平地过程中将农田实际高程与坡面期望高程进行对比,判断农田地势高低,输出相应的位置偏差信号;最后,通过控制转换器将位置偏差信号转化为电平控制信号,驱动液压系统关断液压阀提升或降低平地铲,以实现农田土地的坡面平整.

2　系统的实现

2.1　农田地形测量

2.1.1　三维地形测量成图方法

在土地坡面平整之前需测量农田地形,生成可视化的三维地形图,以此辅助拖拉机驾驶员进行直观的平地规划. 图 2 为三维地形测量的设计流程.

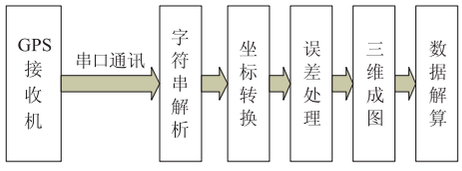


图 2　三维地形测量流程图

Fig. 2　Flowchart of 3D topographic mapping

系统以 Visual C ++ 为开发工具,在 MFC 程序中实现 GPS 数据接收的 RS - 232 异步串口通信功能,并对美国 Golden Software 公司推出的专业等高线及三维立体图绘制软件 Surfer 进行二次开发,利用其提供的 ActiveX 编程接口,实现 Surfer 的图形绘制功能,从而生成可视化的三维地形图并获得农田

表面的水平及相对高程信息.

2.1.2 *误差校正与数据处理*

GPS的动态定位精度直接影响地形测量的准确性,因此,GPS接收数据的误差校正显得尤为重要.系统的GPS测量误差主要来自于作业机械行驶过程中因农田表面不平等所产生的GPS卫星天线剧烈抖动现象.系统采用区间估计法及加权平均法对数据进行修正.

1)对一些与实际情况严重不符的野值数据,采用区间估计法进行消除.

将随机变量视为正态分布,在置信度$1-\alpha=95\%$的情况下,利用式(1)计算区间:

$$\theta=\bar{x}\pm Z_{\frac{\alpha}{2}}\frac{\sigma}{\sqrt{n}}, \tag{1}$$

式中:$\bar{x}$为数据平均值;σ为总体标准差;Z为可查参数;n为采集数量.

当获取的高程数据在区间θ内,则将数据保留下来;而在区间θ以外,则将数据剔除.

2)对于一般的误差数据,采用加权平均法进行修正.

经过对数据的处理,把地块按照一定的长度划分成栅格(例如1 m×1 m,1.5 m×1.5 m,2 m×2 m等).其中相邻2个栅格的重叠区为0.5 m,落在重叠区内的数据权重取2,落在非重叠区内的数据权重取1,算出每个栅格内的加权平均值作为栅格内的最终数据.

2.2 农田坡面建模

2.2.1 *农田期望坡面方程建模方法*

采用空间法向量法确定农田期望坡面方程$aX+bY+cZ+d=0$.利用地形测量时采集的农田表面信息,确定农田期望坡面上的3个标定点坐标(x_1,y_1,z_1),(x_2,y_2,z_2),(x_3,y_3,z_3),再根据空间法向量法求出坡面方程.

通过GPS接收机的实时测量,可以较容易地得到标定点的水平坐标(x_1,y_1),(x_2,y_2),(x_3,y_3),但是无法获得标定点的高程坐标.根据空间几何知识及土地平整时挖填土方总量恒定不变原理,得出求3个标定点高程坐标的简易数学方法,解算出农田坡面方程.

图3为所求基准坡面的简易三维模型,选取的标定点为$A(x_1,y_1,z_1)$,$B(x_2,y_2,z_2)$,$C(x_3,y_3,z_3)$,其中点A为坡面平整的起始点,即农田期望坡面的最低点;点B为农田期望坡面的最高点;线段AB在水平面上的投影$A'B'$的长度为农田纵向地表长度;点C也为农田期望坡面的最高点,且BC垂直AB.

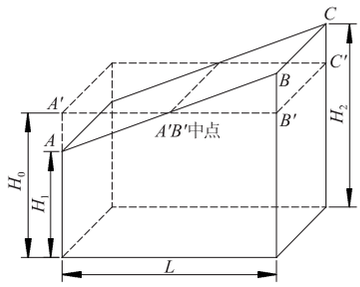


图3 坡面平整后土地的简易三维模型

Fig. 3 Simple 3D model for land leveling

根据土地平整总土方量为恒定值原理,农田期望坡面的中线与农田水平面的中线重合,线段$A'B'$的长度可通过田间定点测量或2点间距离公式$\sqrt{(x_2-x_1)^2+(y_2-y_1)^2}$求得.

平整后农田坡面的最高点相对高程H_2,即点B,C的高程坐标z_2,z_3由式(2)求得;待平整农田坡面的最低点相对高程H_1,即点A高程坐标z_1由式(3)求得

$$H_2=H_0+\frac{\sqrt{(x_2-x_1)^2+(y_2-y_1)^2}}{2}\times P, \tag{2}$$

$$H_1=H_0-\frac{\sqrt{(x_2-x_1)^2+(y_2-y_1)^2}}{2}\times P, \tag{3}$$

式中:P为所需的农田纵向地表坡降;H_0为测量解算出的农田水平基准高程.

点A,B,C的坐标确定后,根据经典几何学空间法向量法,即可求得农田期望坡面方程的系数a,b,c,d:

$$a=[(y_2-y_1)(z_3-z_1)]-[(y_3-y_1)(z_2-z_1)], \tag{4}$$

$$b=[(z_2-z_1)(x_3-x_1)]-[(z_3-z_1)(x_2-x_1)], \tag{5}$$

$$c=[(x_2-x_1)(y_3-y_1)]-[(x_3-x_1)(y_2-y_1)], \tag{6}$$

$$d=-(ax_1+by_1+cz_1). \tag{7}$$

由此即可获得农田期望坡面方程为

$$aX+bY+cZ+d=0. \tag{8}$$

平地过程中,将测得的农田水平坐标代入式(8),即可得到实时的农田期望高程.

2.2.2 *农田水平基准高程计算方法*

解算农田水平基准高程H_0是保证标定点高程坐标准确性的关键步骤.系统采用克里格(Kriging)插值法解算农田水平基准高程.

克里格插值法是对空间分布的数据求线性最

优、无偏内插估计的一种方法,其被广泛应用于农田信息空间统计领域[8],基本公式为

$$Z_j = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i Z_i, \tag{9}$$

$$\sum_{i=1}^{n} \lambda_i = 1, \tag{10}$$

式中:Z_j 为待求插值点值;λ_i 为权系数;Z_i 为离散点值.

系统采用的成图软件 Surfer 自带克里格插值方式,在对农田地形测量得到的数据进行网格化后,即可利用克里格法插值,得到所有网格点的高程值,然后再求取平均值作为农田水平基准高程.

2.3　农田坡面平整系统

1）控制转换器硬件设计.

采用中泰研创公司生产的 USB7408 型数据采集卡实现控制电信号输出. USB7408 数据采集卡通过 USB 口与车载计算机相连,可以由计算机控制实现模拟信号的输出,进而控制液压系统电磁阀的通断,以此实现平地过程中平地铲的实时升降.

由于电磁阀的工作电压和工作电流比较大,为了使其能够正常工作,并保证输入和输出互不干扰,在数据采集卡输出端设计了光电隔离电路及继电器驱动电路. 图 4 为控制转换器硬件电路结构框图.

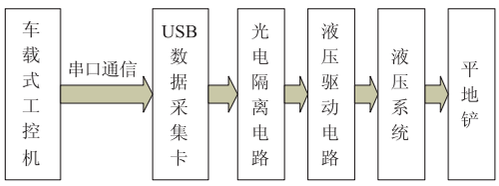


图 4　控制转换器硬件电路结构框图

Fig. 4　Block diagram of hardware circuit

2）软件设计. 图 5 为系统的软件设计流程图.

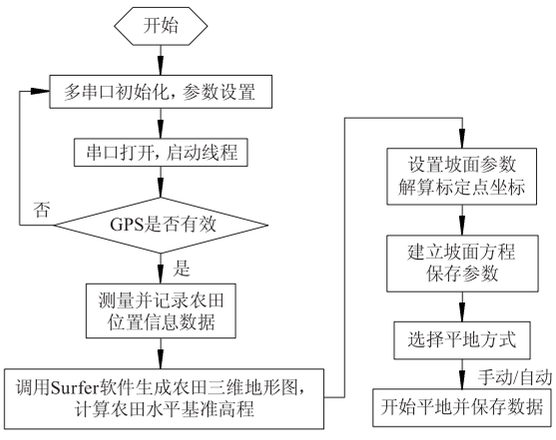


图 5　系统软件流程图

Fig. 5　Flowchart of software

系统以 Visual C ++6.0 为开发平台,采用 MFC 方式设计系统的运行及操作界面,同时结合 Surfer 软件,实现组件式开发,并通过相关算法,实现串口通信、数据解算、坡面建模、控制信号输出等功能.

3　试验与分析

3.1　试验条件与方法

2012 年 6 月在河北涿州中国农业大学试验田,选取了一块长度为 180 m、宽度为 50 m 的农田,采用雷沃欧豹 TD904 拖拉机作为牵引动力,应农田使用者的要求,以 1/1 000 的纵向坡降进行了基于 GPS 的农田坡面平整系统的平地作业. 试验中选用了 Trimble 公司的 AgGPS332 作为 GPS 接收机,AgGPS750 作为 GPS 基准站,以车载式工控机为数据处理及控制中枢.

测量与平地过程中,将 GPS 移动站接收机和工控机放置在驾驶室内以便操作和实时查看信息;利用磁性吸盘将 GPS 天线与电台天线固定在平地铲上,接收差分定位信号. 首先,将铲运设备铲刀刀口抬高,实时接收 GPS 数据,通过拖拉机牵引在农田中进行覆盖面尽量大的蛇形驾驶,实现农田动态地形测量;然后,根据测量所得的数据,进行数据处理及坡面建模,并将铲刀刀口紧贴地面,打开控制转换器,控制液压驱动平地铲的上下动作,从而挖填运输土方,完成平地作业.

平地前后,通过 Surfer 成图软件,生成平地前后三维效果图,并记录数据,进行比较分析.

3.2　试验结果分析

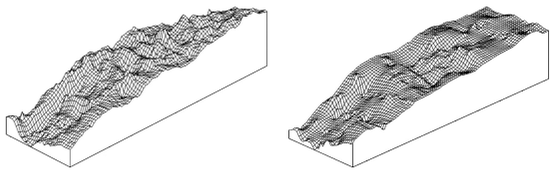
评价土地平整精度的指标主要采用高程标准偏差值[9].

高程标准偏差值 S_d 指农田表面相对高程的标准偏差值,反映了农田表面平整度的总体状况. 可以用土地精平前后的 S_d 差值定量评价田面平整状况的绝对改善程度. S_d 值越小,说明田面平整程度越高,其计算公式为

$$S_d = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} (h_i - \bar{h})^2/(n-1)}, \tag{11}$$

式中:h_i 为田块内第 i 个测点的相对高程;$\bar{h}$ 为第 i 个测点的期望相对高程,即坡面各测点的基准相对高程;n 为地块内所有测点的数量.

将动态测量时采集的农田地块水平位置信息 (x,y) 代入到坡面方程,得到农田坡面的相对基准高程 $\bar{h}$. 图 6 为平地前后的动态测量三维地形图.



(a) 平地前 (b) 平地后

图6 平地三维地形图

Fig. 6 3D topographic map of land leveling

由图6可知,农田表面坡面情况有较好改善. 对平地作业前后的 S_d 和测点累积百分比数进行计算,得到此次平地试验结果如表1所示,表中 h_{max} 为最大高程差,β 为 $|h_i - \bar{h}| \leqslant 5$ cm 测点累积百分比数.

表1 GPS平地试验结果

Tab. 1 Test results of GPS land leveling

	h_{max}/cm	S_d/cm	β/%
平地前	38	10.1	21
平地后	20	5.3	88

其中坡底的平均高程约为40.62 m,坡顶的平均高程约为40.78 m,实际提高高程为16 cm;地块长度约为180 m,坡降为1/1 000,理论提高高程为18 cm. 试验结果表明农田表面坡度的分布情况得到了较好的改善.

4 结 论

基于GPS的农田坡面平整技术是一种高精度、智能化的土地平整技术,在农田土地整治领域有着很好的发展前景. 设计了一种基于GPS的农田坡面平整系统,可实现农田地势测量、数据处理、土地平整等多项功能,符合现阶段我国农田土地平整的需求,该系统具有以下优点:

1) 在土地平整之前,系统可实现农田地势的动态测量,生成农田三维地形图,方便农业工作者进行平地规划,提高工作效率.

2) 提出的农田期望坡面方程的建模方法,可根据农业工作者的实际需求设置期望坡降,算法计算量小,适合实时性较强的农田土地坡面平整.

3) 在田间条件下的试验结果表明,系统工作相对稳定,接收范围广,可适应强光、大风等天气条件,平地后的标准偏差值在5 cm左右,农田坡面地势得到了明显改善.

参考文献(References)

[1] 司永胜,刘刚,杨政,等. 激光平地系统的开发与试验[J]. 江苏大学学报:自然科学版,2009,30(5):441-445.
Si Yongsheng, Liu Gang, Yang Zheng, et al. Development and experiment of laser land leveling system[J]. Journal of Jiangsu University: Natural Science Edition, 2009,30(5):441-445. (in Chinese)

[2] 中华人民共和国农业部. NY/T 2148—2012 高标准农田建设标准[S].

[3] 刘玉华. 浅谈激光平地机械化技术[J]. 天津农林科技,2008(5):26-27.
Liu Yuhua. Mechanization technology of laser leveling land[J]. Science and Technology of Tianjin Agriculture and Forestry, 2008(5):26-27. (in Chinese)

[4] 许迪,李益农,刘刚. 激光控制农田土地精细平整应用技术体系研究进展[J]. 农业工程学报,2007,23(3):267-272.
Xu Di, Li Yinong, Liu Gang. Research progress on the application system of laser-controlled precision land leveling technology[J]. Transactions of the CSAE,2007,23(3):267-272. (in Chinese)

[5] 李鑫磊. 基于GPS控制的平地系统的研究与开发[D]. 北京:中国农业大学信息与电气工程学院,2011.

[6] Aziz S A, Steward B L, Tang Lie, et al. Multiple GPS measurements for digital elevation model[C]//Proceedings of the 4th World Congress of Computers in Agriculture and Natural Resources. St. Joseph, USA: ASABE, 2006:329-334.

[7] 李益农,许迪,李福祥,等. GPS在农田土地平整地形测量中应用的初步研究[J]. 农业工程学报,2005,21(1):66-70.
Li Yinong, Xu Di, Li Fuxiang, et al. Application of GPS technology in agricultural land leveling survey[J]. Transactions of the CSAE, 2005, 21(1):66-70. (in Chinese)

[8] Aziz S A, Steward B L, Kaleita A, et al. Assessing the effects of DEM uncertainty on erosion rate estimation in an agricultural field[J]. Transactions of the ASABE, 2012,55(3):785-798.

[9] 谢幸福,刘刚,郎晓哲,等. 激光控制平地系统激光接收器设计与试验[J]. 农业机械学报,2009,40(S1):77-81.
Xie Xingfu, Liu Gang, Lang Xiaozhe, et al. Laser receiver used for laser-controlled land leveling system[J]. Transactions of Chinese Society for Agricultural Machinery,2009,40(S1):77-81. (in Chinese)

(责任编辑 张文涛)