

车载行进式农田土壤压实度实时测量系统

刘吉 马道坤 曾庆猛 孙宇瑞

(中国农业大学 信息与工程学院/精细农业研究中心, 北京 100083)

摘要 基于应变片测力原理研制了一种新型嵌入式土壤压实度传感器和车载行进式农田土壤压实度实时测量系统。该系统将微型压力传感器嵌入到锥体前部,直接测量行进过程中锥头受到的土壤阻力,简化了测量结构,提高了系统的复合度。以超低功耗 MSP430 单片机作为内核的数据采集器实现了多路模拟信号的测量,2 个串口分别用于与上位机的通讯和 GPS 信号的接收,采用 PDA 作为数据处理、存储以及显示终端。传感器实验室标定结果表明,嵌入式土壤压实度传感器输出电压与标准载荷具有良好的线性关系。田间试验结果表明,车载行进式农田土壤压实度实时测量系统工作稳定,土壤压实度测量结果与 GPS 信息融合效果良好,系统能够快速获取农田土壤压实度及其空间变异信息。

关键词 土壤压实度; 嵌入式; 车载行进式; PDA

中图分类号 S237

文章编号 1007-4333(2007)06-0071-04

文献标识码 A

A real-time measuring system of soil compaction

Liu Ji, Ma Daokun, Zeng Qingmeng, Sun Yurui

(College of Information and Electrical Engineering/Research Center for Precision Agriculture,
China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract A new embedded sensor based on the principle of measuring forces with strain gauges and real-time system for measurement of soil compaction was developed. The soil compaction sensor was embedded in the front of the cone; the tip can directly transmit the pressure from the soil to the sensor, which simplifies the structure of measuring system and increases the systematic synthesized degree. The data acquisition system that uses MSP430 as its core collects signals and accomplishes A/D conversion. Two serial ports complete the communication with PDA and receive the GPS signals, in which PDA is used for processing and saving data. The experimental results showed that the embedded sensor for measuring soil compaction could effectively reflect the compaction variation in the field, the function of the real-time system performed well for long time operation and the agreement of the signals from the integrated sensor and GPS was good.

Key words soil compaction; embedded; real-time measurement; PDA

土壤压实度是重要的土壤物理特性,过度压实的土壤影响土壤通气透水性、养分存在形态及转化,不利于作物根系的生长^[1]。目前,圆锥指数法^[2]是测量土壤压实度的主要方法,分为非连续测量和连续测量 2 种。已研制出用于测量圆锥指数并由计算机控制的圆锥仪^[3]和可以同时测量土壤水分和压实度并完成了实验室标定和田间试验的圆锥指数仪^[4];但由于采用的圆锥指数法均为定点不连续测

量,田间应用时存在采样密度低、工作量大等问题。车载式土壤压实测量系统采用连续测量方法,解决了非连续测量方法存在的上述问题。Hall^[5]等研制出连续测量土壤压实度的传感器,并针对不同形状锥头、行进速度、试验深度等进行了田间试验;孙宇瑞^[6]等研制了集成式车载土壤水分、压实度复合测量系统,完成了 2 种信号的同步、实时测量,其中压实度测量方法将压力传感器置于土外,压力信号通

收稿日期: 2007-03-21

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30370823); 国家“863”计划资助项目(2006AA10Z205); 中德科研合作项目(20043067)

作者简介: 刘吉,硕士研究生; 孙宇瑞,教授,博士生导师,通讯作者,主要从事精细农业先进传感技术研究, E-mail: pal@cau.edu.cn

过传动力臂传递给压力传感器。这2种测量系统机械结构复杂,而且容易引入由于机械原因带来的测量误差。此外,上述测量系统在田间试验过程中多需田间计算机或笔记本电脑作为数据采集与存储终端,因此存在价格昂贵,田间操作不方便,显示效果受光强影响等不足。

本研究旨在研制一种嵌入式土壤压实度传感器以及车载行进式测量系统,以精简机械结构,提高系统复合度,减小由于土壤摩擦和机械装置等导致的测量误差,提高测量精度和稳定性。同时,完成土壤压实度和GPS信号的同步、实时采集与处理,并通过PDA(personal digital assistant)完成数据显示与存储。

1 测量原理与系统设计

1.1 传感器结构设计与测量原理

嵌入式土壤压实度传感器外套直径22 mm,锥角30°,几何结构接近ASAE标准大号圆锥(图1)。系统行进时锥体前部的锥头穿入土壤并将其受到的土壤阻力传递给压力传感器。锥体中部嵌入了压力传感器,外套为耐磨钢材,既可有效保护弹性体又不承担锥头传递过来的土壤阻力,故不会影响传感器的测量精度。

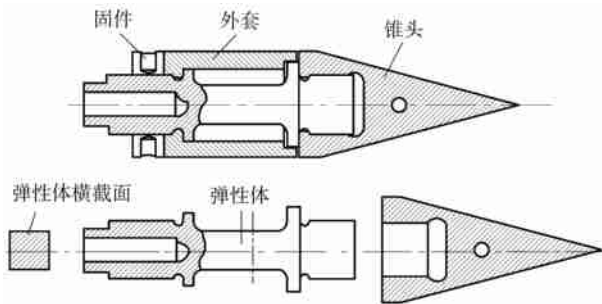


图1 嵌入式土壤压实度传感器结构示意图

Fig. 1 Structure of embedded sensor for soil compaction measurement

嵌入式土壤压实度传感器物理结构为4只金属箔电阻应变片组成的惠斯登电桥,弹性体及应变片贴法见图2。金属箔电阻应变片3 mm × 3 mm,基值350。弹性体为不锈钢材料。为了提高传感器灵敏度,在确保弹性体强度的前提下,在其轴心车一直径3 mm的孔。当弹性体受压发生形变时,电桥对应有一不平衡电压信号 U_o 输出。

$$U_o = \frac{R_1 R_3 - R_2 R_4}{(R_1 + R_2)(R_3 + R_4)} U_{in} \quad (1)$$

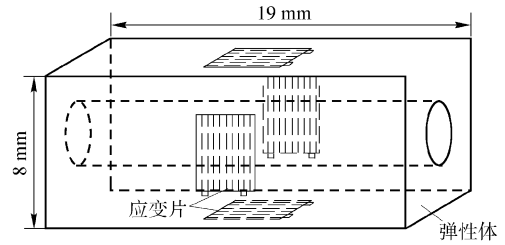


图2 弹性体及应变片贴法

Fig. 2 Elastomer and strain gauges

1.2 测量系统硬件设计

测量系统框图见图3。微处理器选用TI公司超低功耗类型的MSP430系列单片机,采样速度200 k采样点/s的12位A/D转换器,2 KB的RAM和60 KB的ROM,能够满足系统需要。当微型压力传感器弹性体受到土壤阻力而发生形变时,应变片电阻变化,电桥失去平衡,输出的微弱电压信号由专用仪表放大器放大后,输入A/D转换通道。同时,采集器通过串口1接收GPS信号,完成土壤压实度与GPS数据的融合后由串口0输出给PDA。与田间计算机或笔记本电脑相比,PDA体积小,显示效果不受光照影响,使用简单方便;同时,PDA功耗低、工作时间长且价格便宜,十分适合在农田中使用。故本系统采用PDA作为数据采集与处理终端。基于PDA的操作终端软件以Microsoft公司的embedded Visual C++ 4.0为开发平台,结合Pocket PC Access数据库技术,实现了GIS属性图生成功能。

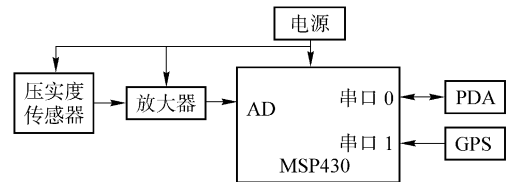


图3 测量系统框图

Fig. 3 Measurement system

1.3 测量系统软件设计

基于MSP430单片机开发的数据采集器软件流程见图4,初始化阶段主要完成时钟、I/O端口、串口、定时器和A/D转换器的参数与状态设置。打开系统中断以后,程序进入主循环,各任务都由中断子程序完成。如果采集器收到PDA发出的通讯命令,产生串口中断,相应串口服务子程序判断并执行相应操作命令,并将结果返回给PDA,完成通讯任务。如果A/D完成转换,采集器将A/D转换结果保存到

相应缓存,准备与 PDA 通讯。如果收到 GPS 模块发出的信号,采集器提取、转换并保存经纬度值。GPS 模块每 s 发送 1 次数据,而土壤压实度信息为 20 次/s。为了便于后续空间成图,采集器平滑每 s 内的土壤压实度值并与 GPS 信息融合,形成 1 条测量记录。

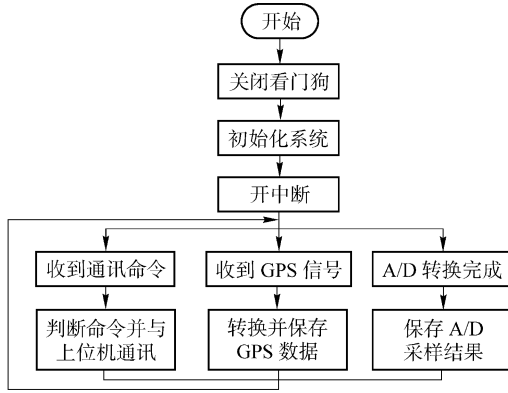


图 4 数据采集器软件流程图

Fig. 4 Diagram of data collector software

PDA 软件流程见图 5。参数设置阶段完成农田土壤类型选择、嵌入式压实度传感器标定、用户输入等操作。命令设置完成对 GPS 设备、通讯速度和格式的选择,决定测量数据的显示以及存储格式。存储的数据包括采样日期、GPS 使用情况、每次采样时间、GPS 经纬度和其对应点的土壤压实度数据。点

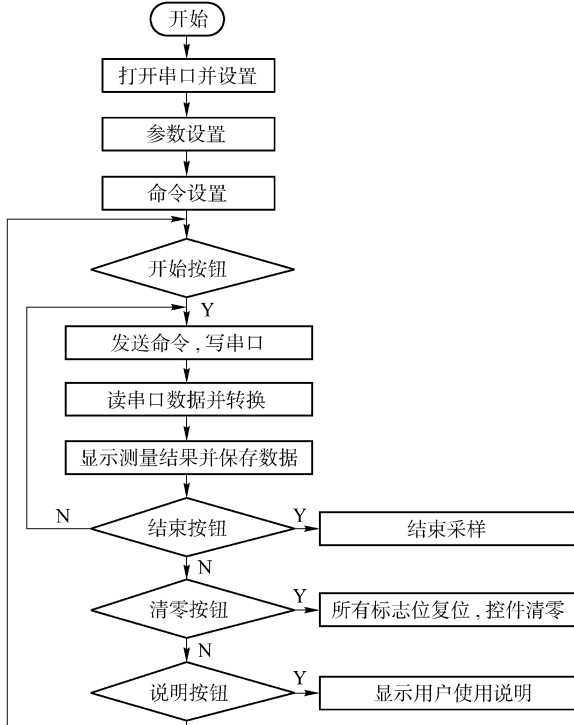


图 5 PDA 软件流程图

Fig. 5 Diagram of PDA software

击“开始”按钮开启数据采集线程,将 PDA 通讯命令通过串口发给采集器并读取采集器返回的数据。经过处理以后,可按“数据”或“图表”按钮以不同方式显示数据,并将数据保存到文件。这一过程循环进行直至按下“结束”按钮结束数据采集线程。

2 试验与结果

2.1 标定试验

嵌入式土壤坚实度传感器土壤阻力的传递与弹性体的变形规律复杂,本研究采用标定方法建立传感器输出信号与被测阻力的经验模型。由于试验条件限制,标定过程根据标定载荷大小分为高低量程,其中低量程 0~70 kg,高量程 50~300 kg。

从嵌入式土壤压实度传感器标定结果(图 6)可以看出,传感器输出电压 V 与标定载荷具有良好的线性关系,且高低量程重合部分相互吻合。表明传感器重复性好,分量程标定方法合理。

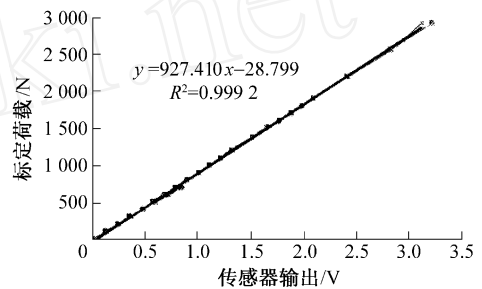
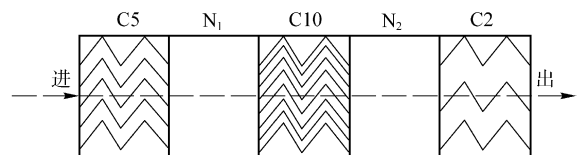


图 6 嵌入式土壤压实度传感器标定曲线

Fig. 6 Calibration curve of embedded sensor

2.2 田间试验

2.2.1 嵌入式土壤压实度传感器性能检验 为了在小尺度范围内增强农田土壤压实变异程度,试验前采用四轮拖拉机(自质量 5 t)对 3 块土壤区域进行碾压,试验方案见图 7。利用 SMPV 型土壤圆锥指



C2、C5、C10 分别为被拖拉机碾压 2、5、10 次区域, N₁、N₂ 为未碾压区域;下图同。

图 7 试验田设计

Fig. 7 Design for field

数与水分复合测试仪^[4]对 5 个区域压实情况进行测量(表 1)。压实 5 次与 10 次的 2 个区域压实结果没有很大差异,其原因可能与土壤自身物理特性有关。

表1 试验田压实情况

Table 1 Compaction for experiment field

区域	土壤压实度/N	区域	土壤压实度/N
C5	1 183.61	N ₂	482.31
N ₁	613.45	C2	1 003.99
C10	1 214.23		

为了检验嵌入式土壤压实度传感器性能,将其与集成式压实度传感器^[5]复合于同一装置,实现同时测量。从试验测量结果(图8)可以看出,2个结果都出现了3次波峰,且C5与C10区域输出差异很小,这与圆锥指数仪测量结果相吻合。在压实区域,嵌入式传感器输出结果比集成式的小,可能是拖拉机前进过程中出现的侧向摆动使传感器弹性体受到了侧向力的作用。试验结果表明,嵌入式土壤压实度传感器可以有效反映出田间土壤压实度变异情况。

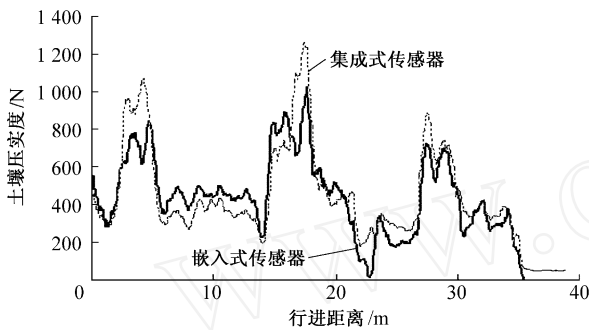


图8 土壤压实度比较试验测量结果

Fig. 8 Result of comparative experiment for compaction

2.2.2 系统数据融合效果检测 为了检测测量系统土壤压实度与GPS定位信息的融合效果,进行了连续测量试验。试验田面积90m×80m,测量系统行进路线见图9。拖拉机前进过程中,测量系统同步采集土壤压实度信号和GPS信号,融合数据传给PDA。试验过程中,嵌入式土壤压实度传感器及其

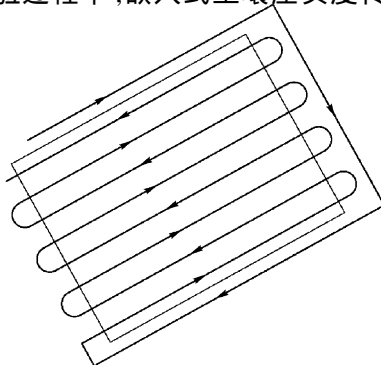


图9 测量系统行进路线

Fig. 9 Moving route for measurement system

车载行进式测量系统工作稳定,信息融合效果良好。测量结果生成的农田土壤压实空间分布图(图10)表明农田土壤压实变异明显,为精细农业的实施提供了更为丰富的土壤信息。

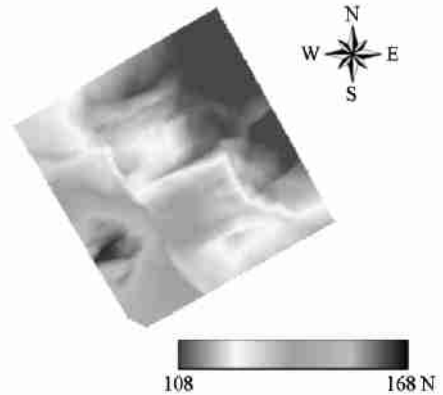


图10 土壤压实度变异属性图

Fig. 10 Variation diagram of soil compaction

3 结论

在应变测力原理基础上,研制了嵌入式土壤压实度传感器及其车载行进式测量系统。室内标定结果表明,该嵌入式传感器在全量程范围内具有良好的线性关系与重复性;2个田间试验结果表明:与集成式土壤压实度测量系统相比,嵌入式土壤压实度传感器不仅可以有效地反映土壤压实情况,而且复合度更高。基于PDA的车载行进式测量系统不仅能够实现土壤压实度与GPS信号同步测量、融合和存储功能,而且使用方便,成本明显降低。应用嵌入式土壤压实度传感器及其车载行进式测量系统进行田间土壤压实度测量是可行的。

参考文献

[1] Viacheslav A I. The philosophy of on-the-go soil sensing (technology update) [J]. First Asian Conference on Precision Agriculture, Japan, 2005, 47 ~ 59

[2] 李雪梅. 测量土壤松紧度的一种新工具——土壤松紧度计[J]. 湖南林业科技, 2004, 31(2): 56 ~ 57

[3] Tollner E W, Simonton W. A cone penetrometer system for measuring cone index and stress relaxation[J]. Transaction of ASAE, 1989, 32(1): 58 ~ 63

[4] Sun Yurui, Lammers P S, Ma Daokun. Evaluation of a combined penetrometer for simultaneous measurement of penetration resistance and soil water content [J]. Plant Nutr Soil Sci, 2004, 167: 745 ~ 751

(下转 92 页)

- Proceedings. On Generation, Transmission and Distribution, 1999, 146(3): 249-254
- [5] Pham V L, Wong K P. Antidistortion method for wavelet transform filter banks and non stationary power system waveform harmonic analysis [J]. IEE Proceedings. On Generation, Transmission and Distribution, 2001, 148(2): 177-122
- [6] 杜天军, 陈光, 雷勇. 基于混叠补偿小波变换的电力系统谐波检测方法[J]. 中国电机工程学报, 2005, 25(3): 54-59, 134
- [7] 杜天军, 陈光, 谢永乐, 等. 基于频域内插抗混叠 Shannon 小波包变换的谐波检测方法[J]. 电网技术, 2005, 29(11): 14-19
- [8] 赵成勇, 何明锋. 基于复小波变换相位信息的谐波检测算法[J]. 中国电机工程学报, 2005, 25(1): 38-42
- [9] 周林, 夏雪, 万蕴杰, 等. 基于小波变换的谐波测量方法综述[J]. 电工技术学报, 2006, 21(9): 67-74
- [10] 孟晋丽, 潘泉, 张洪才. 基于静态小波变换的提升框架分解. 计算机工程与应用, 2005, 41(6): 11-13

(上接 74 页)

- [5] Hall H E, Raper R L. Development and concept evaluation of an on-the-go soil strength measurement system [J]. Transactions of the ASAE, 2005, 48(2): 469-477
- [6] Sun Yurui, Ma Daokun, Schulze Lammers, et al. On-the-go measurement of soil water content and mechanical resistance by a combined horizontal penetrometer [J]. Soil & Tillage Research, 2006, 86: 209-217
- [7] Viscarra Rossel, Thylen L, Gilbertsson M, et al. Development of an on-the-go soil sensing system for determinations of soil pH and lime requirement [C]. The 7th International Conference on Precision Agriculture and Other Precision Resources Management. Minneapolis, Minnesota, USA, 2004 (July): 25-28
- [8] 马道坤. 车载式农田土壤水分、电导率、坚实度符合测量方法研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2006

www.cnki.net