

基于激光反射的土壤表面粗糙度测量装置设计与试验*

蔡 祥¹ 孙宇瑞¹ 林剑辉² Schulze Lammers P³

(1. 中国农业大学精细农业研究中心, 北京 100083; 2. 北京林业大学工学院, 北京 100083;
3. 波恩大学农业工程系, 波恩 53115, 德国)

【摘要】 为了实时获取土壤表面粗糙度数据,设计了一种基于激光三角测距原理的土壤表面粗糙度专用测量装置。采用激光扫描测距仪测量微位移,其精度高、响应速度快,测距分辨率高达 0.1 mm,显著提高了土壤表面粗糙度的测量精度;借助于光电编码盘和螺杆组合实现高精度扫描定位;PDA 作为上位机,农田环境下具有方便携带,大容量存储数据和智能化实时处理功能等优点。

关键词: 土壤 粗糙度 三角测距法 激光测距传感器 设计 试验

中图分类号: S237; TN249; TH761.2 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2010)01-0068-04

Design of a Laser Scanner for Characterizing Soil Surface Roughness

Cai Xiang¹ Sun Yurui¹ Lin Jianhui² Schulze Lammers P³

(1. Research Center for Precision Farming, China Agricultural University, Beijing 100083, China
2. School of Technology, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China
3. Department of Agricultural Engineering, University of Bonn, Bonn 53115, Germany)

Abstract

Soil surface roughness has been widely used for characterizing soil surface profile. To rapidly measure soil surface roughness in situ, a laser scanner is developed based on triangulation principle. Compared with traditional instruments, this device has higher measurement resolution (0.1 mm), precision positioning ability (1 mm), and efficiency. A PDA (personal digital assistant) is used as data-logger, which can meet the requirements of portability, large data memory, and real-time data processing in field.

Key words Soil, Surface roughness, Triangulation principle, Laser distance sensor, Design, Experiment

引言

土壤表面粗糙程度反映了地表微地貌形态,是影响地表水文学和水力学特性的一个重要特征值。前人研究结果表明,它与土壤水分入渗速率、地表径流、地表积水以及土壤侵蚀、表层耕作土壤孔隙率等均存在着不同程度的统计相关性^[1~4]。因此,土壤表面形态特征的研究受到国内外诸多学者的关注^[5~6]。快速准确地获取微地貌原始高度数据是其

他相关研究的先决条件。目前测量土壤表面粗糙度主要有标杆法^[7]、数字摄像测量^[8]和激光扫描等方法。应用标杆法测量具有设备简单、易于操作、费用低廉等优点,缺点在于原始高度数据由标杆上端和刻度尺比对获得,其精度较低,约为 1 mm,而且该方法属于接触测量,不仅效率低,甚至有可能改变土壤形态特征。数字摄像法和激光扫描法都具有相当高的测量精度,且都属于非接触测量方法,但常规的数字摄像法仅能获取 2-D 图像信息。将激光扫描测距

收稿日期: 2008-12-14 修回日期: 2009-04-08

* 国家自然科学基金资助项目(30871454)、国家“863”高技术研究发展计划资助项目(2006AA10Z205)和中德联合研究小组资助项目(GZ494)

作者简介: 蔡祥,博士生,主要从事信号与信息处理研究, E-mail: caixiang617@gmail.com

通讯作者: 孙宇瑞,教授,博士生导师,主要从事智能检测与信号处理研究, E-mail: pal@cau.edu.cn

技术应用于土壤表面形态测量,近年来国外已有报道^[9-10]。本文在借鉴国外研究的基础上,设计一种快速、准确测量表层土壤粗糙度的激光扫描装置。

1 系统设计

1.1 总体设计

测量系统(图 1)主要由激光测距传感器,X/Y轴导轨与对应导轨上的直流电动机、相对位置传感器和滑块以及数据采集/控制器和上位机等组成。其中 Y 轴导轨固定在 X 轴滑块上,X 轴直流电动机驱动滑块带动 Y 轴导轨在 X 轴导轨上移动;激光测距传感器固定在 Y 轴滑块上,Y 轴直流电动机驱动滑块带动传感器在 Y 轴导轨上移动。测量过程中激光测距传感器随两个直流电动机按照上位机设定的轨迹行进,获取的原始测量数据连同相对位置信息经串口发送至上位机。

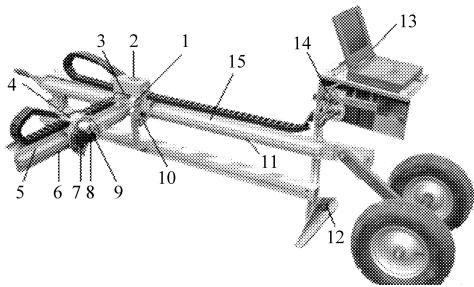


图 1 测量装置实物图

Fig. 1 Profilometer

- 1. X 轴直流电动机 2. 液体水平指示器 3. X 轴滑块 4. Y 轴滑块
- 5. Y 轴导轨 6. Y 轴螺杆 7. Y 轴相对位置传感器 8. 激光测距传感器
- 9. Y 轴直流电动机 10. X 轴相对位置传感器 11. X 轴螺杆
- 12. 水平调节螺栓 13. 上位机 14. 控制与信息采集盒 15. X 轴导轨

1.2 基于三角测距原理的激光传感器

如图 2 所示,激光源 S 发射红色激光束,照射到 A 点后经地面散射,散射光通过透镜会聚在探测器上形成像点 A'。当测量距离增加 x 时,激光束打到地面 B 点,B 在探测器上生成像点 B'。像点 A'和 B'之间的距离为 y。高度变化 x 与探测器上的距离变化 y 之间的关系由光源 L 和探测器间的几何位置所决定,根据其测量原理^[11-12]可作如下定量分析:

设 $AB = x$, $A'B' = y$, $AO = l$, $A'O = f$, 由 $\triangle AOE$ 、 $\triangle A'OB'$ 和 $\triangle COB$ 相似可知

$$\frac{AE}{A'B'} = \frac{AO}{A'O} \quad (1)$$

$$\frac{AO}{CO} = \frac{AE}{CB} \quad (2)$$

即
$$AE = \frac{AO \cdot CB}{CO} \quad (3)$$

又由直角 $\triangle ABC$ 知

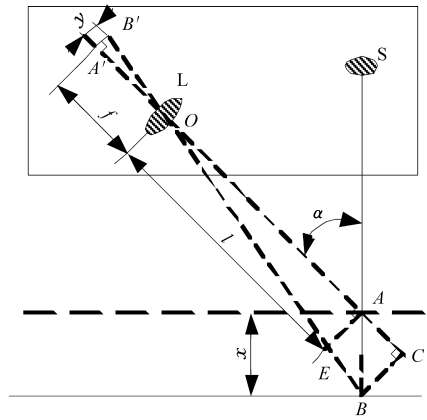


图 2 三角测距原理

Fig. 2 Triangulation principle

$$AC = AB \cos \angle BAC \quad (4)$$

$$CB = AB \sin \angle BAC \quad (5)$$

将式(4)与式(5)代入式(3)

$$AE = \frac{AO \cdot AB \sin \angle BAC}{AO + AB \cos \angle BAC} \quad (6)$$

式(6)代入式(1)整理得

$$A'B' = \frac{AB \cdot A'O \sin \angle BAC}{AO + AB \cos \angle BAC}$$

即
$$y = \frac{fx \sin \alpha}{l + x \cos \alpha}$$

考虑到实际测量中 $x \ll l$, 且令 $\beta = \frac{f}{l}$, 则有

$$y \approx x \beta \sin \alpha \quad (7)$$

由式(7)知,探测器的距离变化 y 与测量距离变化 x 近似服从线性关系。显然,基于这种测量原理的激光测距传感器,其测距范围与探测器尺寸、垂直激光束与透镜头光轴夹角 α 等因素均有关。本文研制的系统采用德国 Melsensor 公司生产的 M5L/200 激光位移传感器。它具有分辨率高、电路组成简单以及响应速度快等优点。其测量范围为 240 ~ 440 mm, 对应线性输出 0 ~ 10 V, 测距分辨力达 0.1 mm。

1.3 相对位置传感器

传统标杆法通过对比标杆和刻度尺来确定测量点的位置信息,其精度受人为因素影响很大。本研究中的位置传感器是一个由光电开关和码盘组成的光电编码器(图 3)。码盘几何形状类似齿轮,圆周上均匀分布着齿牙与齿隙。光电开关的红外发射端和接收端之间按有/无遮挡物对应输出高/低电平。当电动机带动滑块滑动时,与螺杆咬合的齿轮旋转,带动与之同轴的码盘转动。其旋转一周对应电动机移动 45 mm,即光电开关的一个脉冲对应电动机移动 1 mm。测量开始时系统的初始位置为本次测量的参考零点,此后系统通过计量输出的脉冲个数确定测量点与零参考点的相对位置信息。

1.4 系统控制及信息处理平台

系统硬件设计如图 4 所示,它包括:各传感器输出信号的预处理、A/D 采样、串行通信和电动机驱动等模块。信号处理模块对传感器输出信号进行预处理、滤波或电平匹配,A/D 采样模块对预处理后的信号进行高精度数字采样,串行通信模块负责上位机和下位机之间的通信。电动机驱动模块分别对电动机快速(50 mm/s)和慢速(25 mm/s)、X 轴和 Y 轴、左进和右进以及停止等几种模式进行控制与切换。

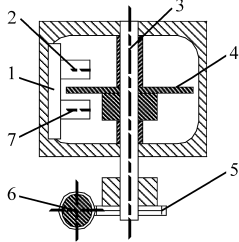


图 3 相对位置传感器剖面示意图

Fig. 3 Relative position sensor

1. 光电开关 2. 红外发射端
3. 转轴 4. 码盘 5. 齿轮
6. 螺杆 7. 红外接收端

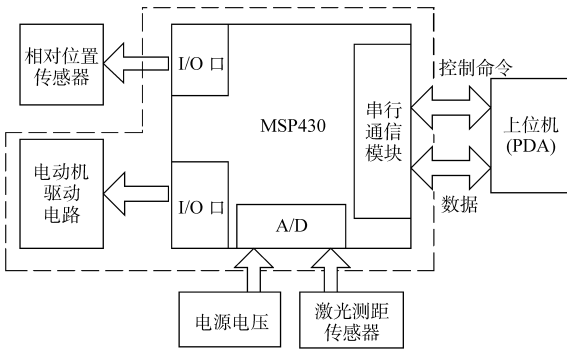


图 4 控制及数据采集模块硬件设计

Fig. 4 Hardware design for controlling and data collecting module

1.5 软件设计

测量系统上位机由 PDA 担当,其基本功能包括各测量参数的设定、显示、保存与实时处理采样结果。主要设定的参数有:通信参数、测量面积、采样间隔以及测量速度等。PDA 作为上位机兼具普通采集器及 PC 机的优点:数据存储容量较大、智能化实时处理、携带方便和功耗低等。

2 试验结果

2.1 激光测距传感器标定试验

标定试验通过改变激光光源底端到测量点的距离和测量激光测距传感器相应的输出变化,得出传感器输出与测量距离之间的关系。在距激光光源底端 240~440 mm 的范围内,大约每隔 20 mm 选取一个高度,每个高度条件下测量 20 次激光传感器输出,取 20 次测量结果的平均值代表该高度条件下激光传感器的输出。图 5 为激光测距传感器的标定结果,试验表明其输入-输出特性服从线性关系。

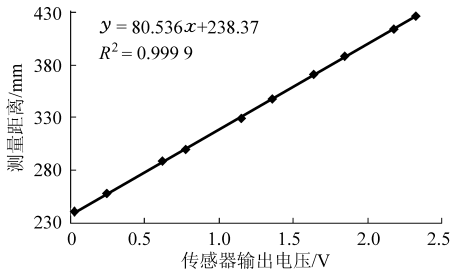


图 5 激光测距传感器标定结果

Fig. 5 Calibration curve of the laser distance sensor

2.2 测量精度检验评价

以搓衣板为模板,选取一条二维直线进行扫描。将该扫描轨迹近似看作标准锯齿形状,手动测量其表面部分点的高度值后连线描绘出扫描轮廓,比较分析测量数据及轮廓上对应点的高度值(图 6)。统计分析测量高度和轮廓对应点高度值如图 7 所示。

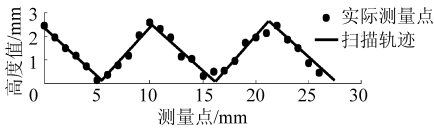


图 6 锯齿形表面轮廓及测量结果

Fig. 6 Profile of a hackle surface and the measuring result

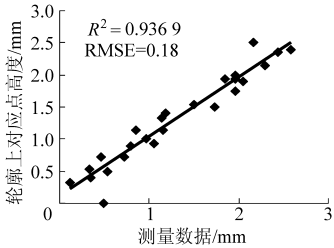


图 7 统计分析测量高度与轮廓对应点高度值

Fig. 7 Statistical analysis of measuring result and the height of corresponding points

2.3 实验室环境下的模板测量

在实验室环境下借助一块花纹地砖做模板,通过扫描获取的图像可直观地判断激光传感器测量效果与扫描间隔的关系。所用地砖规格为 250 mm × 250 mm,其表面最高与最低处间距离约为 3.4 mm。采样前将扫描间隔分别设定为 5、3、2 mm,3 次扫描结果如图 8 所示。它表明激光测距传感器测量精度与扫描间隔密切相关,扫描间隔越小,对物体表面轮廓细节识别越清晰。

2.4 农田地表轮廓测量

首先将 4 个地块(长 30 m,宽 3 m)分别采取 4 种不同耕具进行耕作,包括:铧式犁(耕深 20 cm),深松铲(耕深 15 cm),浅松铲(耕深 10 cm)和圆盘耙(耙深 6 cm)。然后对每个地块应用本测量装置进行扫描(采样间隔 10 mm)。最后对所得数据进行成图处理(图 9)。从图中很容易辨识耕作后地表的高

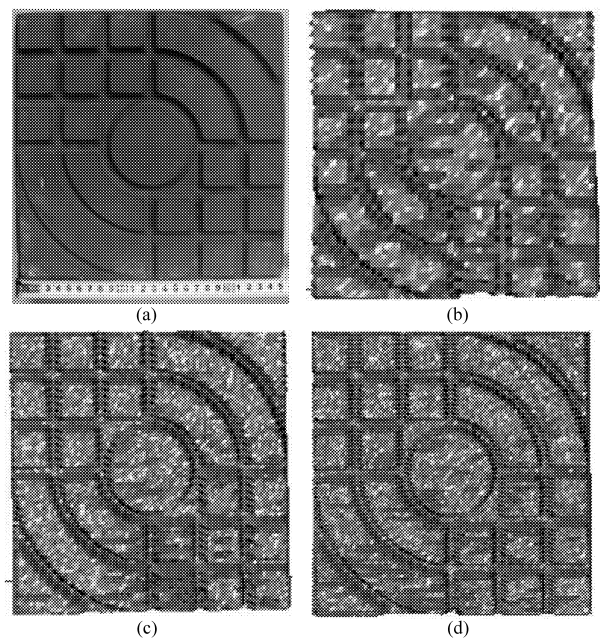


图 8 地砖表面轮廓测量试验结果

Fig.8 Results of measuring a ground tile

(a) 地砖实物图 (b) 5 mm 采样结果
(c) 3 mm 采样结果 (d) 2 mm 采样结果

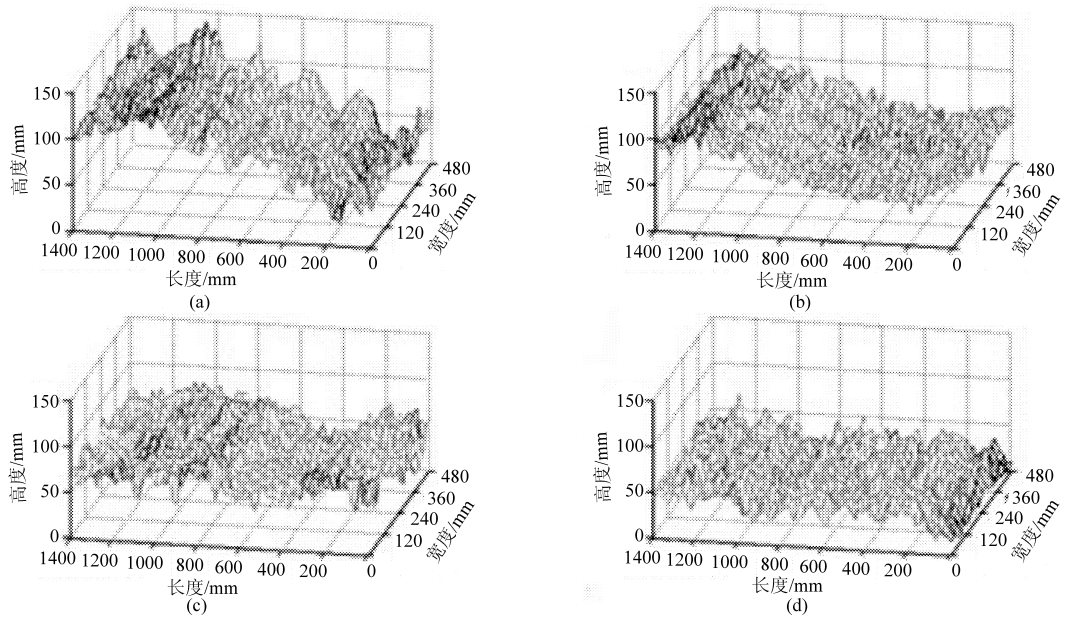


图 9 耕地扫描结果

Fig.9 Results of measuring tilled land

(a) 铧式犁 (b) 深松铲 (c) 浅松铲 (d) 圆盘耙

参 考 文 献

1 Sun Y R, Lin J H, Schulze Lammers P, et al. Estimating surface porosity by roughness measurement in a silt-loam field[J]. J. Plant Nutr. Soil Sci. , 2006, 169(5) : 630 ~ 632.

2 Burwell R E, Larson W E. Infiltration as influenced by tillage-induced random roughness and pore space[J]. Soil Sci. Soc. Am. Proc. , 1969, 33(3) : 449 ~ 452.

3 Römken M J M, Helming K, Prasad S N. Soil erosion under different rainfall intensities, surface roughness, and soil water regimes[J]. Catena, 2001, 46(2) : 103 ~ 123.

7 Wang Z J, Cheng L D. Experimental research and numerical simulation of the dynamic cylinder upsetting[J]. Material Science and Engineering, 2009,499(1~2):138~141.

8 John O H. LS-DYNA theoretical manual[M]. Livemore, CA: Livermore Software Technology Corporation, 1998.

9 LSTC. ANSYS/LS-DYNA user's manual[M]. Livemore, CA: Livermore Software Technology Corporation, 2006.

10 屈文涛, 沈允文, 徐建宇. 基于 ANSYS 的双圆弧齿轮接触应力有限元分析[J]. 农业机械学报, 2006,37(10): 139~141.

Qu Wentao, Shen Yunwen, Xu Jianning. Finite-element analysis of contact stress for double-arc gear based on ANSYS[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2006,37(10): 139~141. (in Chinese)

11 剧锦三, 杨蔚彪, 蒋秀根. 刚体撞击弹塑性直杆时冲击荷载之数值解[J]. 工程力学, 2007,24(6):49~53.

Ju Jinsan, Yang Weibiao, Jiang Xiugen. Numerical solution for impact load of elasto-plastic bar subjected to rigid body impact[J]. Engineering Mechanics, 2007,24(6):49~53. (in Chinese)

12 剧锦三, 杨蔚彪, 蒋秀根. 受刚体碰撞方管柱考虑局部屈曲时的弹塑性冲击载荷[J]. 工程力学, 2007,24(7): 190~195.

Ju Jinsan, Yang Weibiao, Jiang Xiugen. Elasto-plastic impacts by rigid body on rectangle columns considering local buckling [J]. Engineering Mechanics, 2007,24(7):190~195. (in Chinese)

13 剧锦三, 蒋秀根, 傅向荣. 考虑接触变形的梁受到球碰撞时弹塑性冲击荷载[J]. 工程力学, 2008,25(4):32~38.

Ju Jinsan, Jiang Xiugen, Fu Xiangrong. Elasto-plastic impact load of the beam subjected to lateral shock of ball[J]. Engineering Mechanics, 2008,25(4):32~38. (in Chinese)

14 朱兴业, 袁寿其, 李红. 全射流喷头与摇臂式喷头的对比实验[J]. 农业机械学报, 2008,39(2):70~72,184.

Zhu Xingye, Yuan Shouqi, Li Hong. Compared experiments between complete fluidic sprinkler and impact sprinkler[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008,39(2):70~72,184. (in Chinese)

~~~~~

(上接第 71 页)

4 聂卫波, 马孝义. 畦田 Philip 入渗参数和田面综合糙率同步推求[J]. 农业机械学报, 2009,40(5):39~44.

Nie Weibo, Ma Xiaoyi. Synchronously determining Philip infiltration parameter and synthesis roughness model of border irrigation[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009,40(5):39~44. (in Chinese)

5 Darboux F R, Huang C. Does soil surface roughness increase or decrease water and particle transfers? [J]. Soil Sci. Soc. Am. J., 2005, 69(3): 748~756.

6 Sun Y, Lin J, Schulze Lammers P, et al. Predicting surface porosity using a fine-scale index of roughness in a cultivated field [J]. Soil & Tillage Research, 2009, 103(1): 57~64.

7 Moreno R G, Lvarez M C D A, Alonso A T, et al. Tillage and soil type effects on soil surface roughness at semiarid climatic conditions[J]. Soil & Tillage Research, 2008, 98(1): 35~44.

8 Warner W S. Mapping a three-dimensional soil surface with handheld 35 mm photography[J]. Soil & Tillage Research, 1995, 34(3): 187~197.

9 Darboux F R, Chihua H. An instantaneous-profile laser scanner to measure soil surface microtopography[J]. Soil Sci. Soc. Am. J., 2003, 67(1): 92~99.

10 Flanagan D C, Huang C, Norton L D. Laser scanner for erosion plot measurement[J]. Trans. ASAE, 1995, 38(3): 703~710.

11 Zhixiong L, Nan C, Perdok U D, et al. Characterisation of soil profile roughness[J]. Biosystems Engineering, 2005, 91(3): 369~377.

12 迟桂纯, 周肇飞, 王世华. 激光三角法微位移测量技术[J]. 工具技术, 1997, 31(6): 37~40.

Chi Guichun, Zhou Zhaoifei, Wang Shihua. Laser triangle method for measuring microdisplacement[J]. Tool Engineering, 1997, 31(6): 37~40. (in Chinese)