

# 激光控制平地系统激光接收器设计与试验<sup>\*</sup>

谢幸福 刘刚 郎晓哲 孟庆宽

(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)

**【摘要】** 激光接收器是激光控制平地系统的关键部分。为了更有效地检测激光信号, 扩大接收范围, 增加接收距离, 提高稳定性和抗干扰性, 设计了一种基于集成 IC 的新型激光接收器。其原理是以红色有机玻璃作为透光窗口, 并采用干涉型滤光片来滤除背景光; 以硅光电池作为光电探测器, 将激光信号转换为电信号; 然后采用集成运算放大器设计低噪声前置放大器和主放大器对微弱电信号进行放大; 最后, 脉冲整形和展宽电路实现脉冲信号到 TTL 数字信号的转换, 以方便后续电路的处理。田间试验结果表明, 激光接收器在 150 m 范围内可实现 360° 全方位稳定工作, 垂直工作范围为 28.4 cm 左右, 将其用于平地作业时农田的平整误差小于 2 cm。

**关键词:** 激光平地 激光接收器 前置放大电路 整形电路 展宽电路

中图分类号: TN249; S222.5<sup>+</sup>1

文献标识码: A

## Laser Receiver Used for Laser-controlled Land Leveling System

Xie Xingfu Liu Gang Lang Xiaozhe Meng Qingkuan

(Key Laboratory of Modern Precision Agriculture System Integration Research, Ministry of Education, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

### Abstract

Laser receiver was a key component of the laser-controlled land leveling system. In order to improve the quality of the laser signal, extend the operating range, and reduce the noise, a novel laser receiver based on integrated IC was developed. Red polymethyl methacrylate was used as the material of the in-light window to reduce the background light into the laser receiver. Interference filters were used at the laser receiver to further reduce the background light. Photo-electric cells were used to transform light signal into electrical signal. Integrated operational amplifiers were used in low-noise pre-amplifier and main amplifier to amplify the weak electrical signal effectively. The wave shaping circuit and the widening circuit were employed to make the signal conditioning better and perform the signal transformation from spike pulse signal to digital TTL signal. The results of the field experiments show that the receiver works stable within 150 m for all directions. The vertical workable ranger is 28.4 cm which allows the 2 cm of accuracy in land leveling.

**Key words** Laser-controlled land leveling, Laser receiver, Pre-amplifier circuit, Wave shaping circuit, Widening circuit

### 引言

激光控制平地技术作为目前世界上最先进的土地平整技术, 近 30 年来已在欧美、日本等发达国家得到了广泛应用<sup>[1]</sup>。激光控制平地系统主要由激

光发射器、激光接收器、控制器、液压系统和平地铲等组成<sup>[2]</sup>。由于激光控制平地技术相比常规土地平整方法具有显著的优点, 国外许多公司已相继推出了相关产品。近年来, 我国一些科研院所和单位对激光控制平地技术也进行了相关的研究和开发,

收稿日期: 2009-07-10 修回日期: 2009-07-24

<sup>\*</sup> “十一五”国家科技支撑计划资助项目(2008BAB38B06)和国家“863”高技术研究发展计划资助项目(2006AA100210、2006AA10A307)

作者简介: 谢幸福, 硕士生, 主要从事智能化检测与控制技术研究, E-mail: xiexingfu@qq.com

通讯作者: 刘刚, 教授, 博士生导师, 主要从事农业电气化与自动化研究, E-mail: pac@cau.edu.cn

但主要集中研制平地铲和液压系统。中国农业大学现代精细农业研究中心自2002年起,在国际合作项目和“863”计划项目的支持下,开发出了一套激光控制平地设备,并进行了大量的试验,取得了较好的效果<sup>[3]</sup>。但激光接收器依然存在接收精度低和接收距离短的问题,因此,本文在前期研究的基础上,设计一种基于集成IC的新型激光接收器。

## 1 激光接收器设计

激光接收器主要由光学系统、光电探测器、低噪声放大器、整形和展宽电路等组成。主要用于完成对激光脉冲信号的光电转换和传输,其综合技术指标主要由探测器和放大器的性能指标决定。

### 1.1 激光接收电路工作原理

激光接收器的工作原理如图1所示。首先,入射光经过组合滤光装置滤除激光工作波长以外的背景光,以提高信噪比;然后,经光电转换将光信号转换为微弱的电信号,再通过低噪声的前置放大器和主放大器实现对微弱信号的放大;最后,通过整形和展宽电路将脉冲信号转换为TTL数字信号传送给控制器。

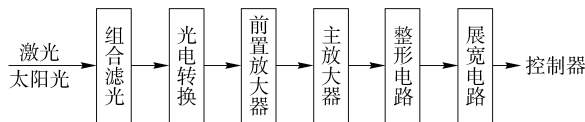


图1 激光接收器工作原理框图

Fig.1 Principle of laser receiver

### 1.2 组合滤光

激光平地作业时,工作半径通常为100 m左右,激光发射器扫描的激光束经大气衰减后到达接收器时入射功率很微弱,功率不到 $1 \text{ mW}/\text{cm}^2$ ,而太阳光辐射功率相对较强,经过大气衰减后到达地球表面的辐射功率仍有 $1\,000 \text{ mW}/\text{cm}^2$ 以上,入射光的信噪比非常低。同时,光电探测器在入射光强较大的情况下容易达到饱和,从而大幅度降低了传感器的灵敏度<sup>[2]</sup>。因此,在进行光电转换之前,需进行合适的滤光处理。

系统使用的激光具有单色性好的特点,因此本文在接收光学系统中先使用红色有机玻璃进行初次滤光,然后在光电探测器上加入滤光片进行二次滤光,以滤除激光工作波长以外的背景光,提高接收系统的信噪比,从而提高激光接收器的探测能力<sup>[4]</sup>。

本设计中采用干涉型滤光片,它是基于多层膜反射干涉原理而工作的,能较好地滤除特定波长以外的背景光<sup>[5]</sup>。干涉型滤光片的带宽越窄,滤光效果也越好,但同时透光率会随着带宽的减小而减小,

价格也会越高。综合考虑性能与成本的因素,本设计选择中心波长635 nm,峰值透过率不小于75%,半带宽为100 nm的干涉型滤光片,其光谱特性曲线如图2所示。

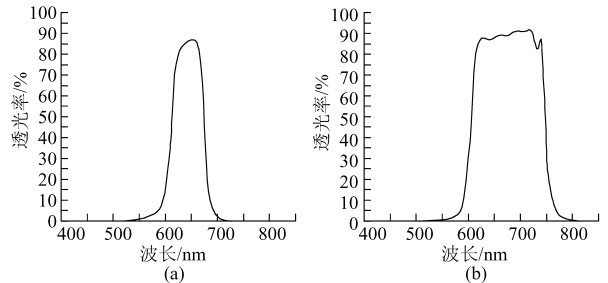


图2 滤光片光谱特性曲线

Fig.2 Spectral patterns of interference filter

(a) 45°倾斜入射 (b) 垂直入射

### 1.3 光电转换

入射光经过组合滤光后,需要通过光电探测器将光信号转换为电信号,才能被后续电路处理。适用于激光接收的光电探测器主要有光电二极管、光电三极管和光电池等。前两种光电探测器的受光面积比较小,不适用于该系统<sup>[6]</sup>。因此,本文采用国产2CR93硅光电池作为光电探测器,尺寸为 $20 \text{ mm} \times 5 \text{ mm}$ ,其受光面积大,具有良好的响应特性。其主要特性如下:

#### (1) 光照特性

图3为硅光电池的光照特性曲线<sup>[7]</sup>。开路电压 $V_{OC}$ 与入射光强近似成对数关系,而短路电流 $I_{SC}$ 在较大范围内都与入射光强成线性关系,故本设计中将硅光电池作为电流源使用。

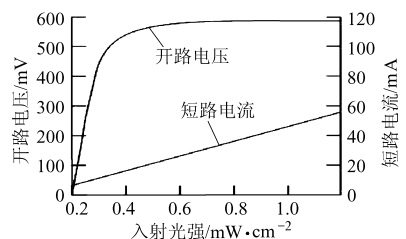


图3 光照特性曲线

Fig.3 Light patterns of photo-electric cells

#### (2) 光谱响应特性

图4为硅光电池的光谱特性曲线。硅光电池的响应波长为 $400 \sim 1\,100 \text{ nm}$ ,波峰为 $800 \text{ nm}$ 。在本系统采用的激光波段(635 nm)处,其相对响应度为0.8以上,有较好的透光度。

### 1.4 放大电路设计

光电探测器接收到的激光信号非常微弱,需设计良好的低噪声宽带前置放大电路对弱电流信号进行放大,以驱动后续电路工作。但过于提高前置放大器的放大倍数和带宽将会使噪声增加,从而限制

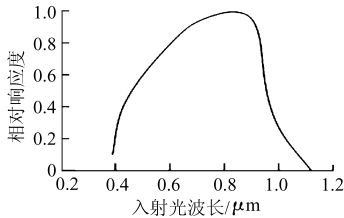


图4 频率特性曲线

Fig. 4 Spectral pattern of photo-electric cells

了电路的信噪比,因此前置放大器不能无限放大,还需设计主放大器。

### 1.4.1 前置放大器设计

前置放大器最主要的功能是放大来自光电探测器的信号,并尽可能低地产生附加噪声贡献<sup>[8]</sup>。由于硅光电池的输出电流很小,易受干扰,很容易淹没在各种噪声中<sup>[9]</sup>,同时为了使接收系统保持良好的脉冲波形,本文设计了低噪声宽带的前置放大电路。

前置放大器可以采用三极管或场效应管等分立元件构成的放大电路,也可以使用集成运算放大器。在前期的研究中采用的是三极管构成的放大电路,其电路的稳定工作点不易调整,导致接收器工作不太稳定,因此本文采用低噪声的集成运算放大器设计前置放大电路,原理如图5所示。

硅光电池与运算放大器相连接构成电流放大,  $R_f$  为反馈电阻,决定了前置放大器的增益。 $C_f$  与  $R_f$  组成了一个低通滤波电路,其高频截止频率为  $1/2\pi R_f C_f$ ,  $R_f$ 、 $C_f$  越大通频带越小,但电路的通频带不能太小,否则输出信号会产生频率失真。另外,  $C_f$  不能太大,  $C_f$  太大会造成系统响应过慢。同时,由于反馈电阻  $R_f$  很大,电路容易产生自激振荡,造成系统工作不稳定,所以  $C_f$  也有消除自激振荡的作用<sup>[10]</sup>。

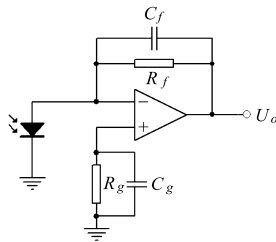


图5 前置放大电路

Fig. 5 Pre-amplifier circuit

前置放大器可以采用三极管或场效应管等分立元件构成的放大电路,也可以使用集成运算放大器。在前期的研究中采用的是三极管构成的放大电路,其电路的稳定工作点不易调整,导致接收器工作不太稳定,因此本文采用低噪声的集成运算放大器设计前置放大电路,原理如图5所示。硅光电池与运算放大器相连接构成电流放大,  $R_f$  为反馈电阻,决定了前置放大器的增益。 $C_f$  与  $R_f$  组成了一个低通滤波电路,其高频截止频率为  $1/2\pi R_f C_f$ ,  $R_f$ 、 $C_f$  越大通频带越小,但电路的通频带不能太小,否则输出信号会产生频率失真。另外,  $C_f$  不能太大,  $C_f$  太大会造成系统响应过慢。同时,由于反馈电阻  $R_f$  很大,电路容易产生自激振荡,造成系统工作不稳定,所以  $C_f$  也有消除自激振荡的作用<sup>[10]</sup>。

### 1.4.2 主放大器设计

为了尽量减小电路中的噪声,提高电路的信噪比,在前置放大器中限制增益不能太大,但为了使信号放大后的电平能达到后续电路处理的水平,还需设计主放大器,使得激光接收器在远距离工作时能将信号放大到 1~2 V,主放大器的原理与前置放大器类似,只是采取电压放大方式<sup>[6]</sup>。同时,在主放大电路中加入了滤波电路,以限制其带宽,抑制噪声和干扰,从而提高了电路的整体性能。

### 1.5 脉冲整形和展宽电路设计

经过放大后的信号为脉冲波形,而与激光接收

器相连的控制器所需的输入信号为 TTL 数字信号,所以需将放大后的信号进行整形。本设计中采用比较器将放大后的脉冲信号转换为数字信号,但转换后的数字信号频率过高,不利于控制器中微处理器的处理,所以还需将数字信号进行展宽。本文采用了单稳态触发器对数字信号进行脉冲展宽,使最终 TTL 数字信号的频率为 10 Hz 左右,以供后续电路处理。

### 1.6 激光接收器结构设计

激光控制平地系统工作时,为了使接收器能够 360° 全方位接收激光信号,同时使其具有一定的垂直工作范围,需要合理设计硅光电池的空间布局。新型激光接收器采用 52 片硅光电池,分成 13 层 4 列。水平方向上,每个接收层中相邻的光电池两两垂直安装在金属剪板的同一高度,4 个金属剪板制作合成“口”字型,使激光接收器的有效接收角度达到 360°,如图 6 所示。

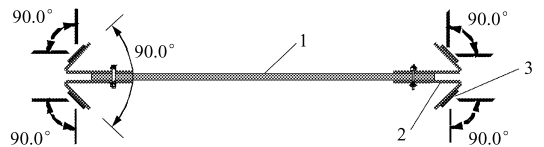


图6 硅光电池水平空间分布

Fig. 6 Distribution of photo-electric cells in horizontal direction

1. 电路板 2. 金属剪板 3. 硅光电池

垂直方向上,每列布置 13 片硅光电池,具体的分布如图 7 所示,相邻硅光电池的安装间隔为 2 mm,这样,激光接收器垂直工作范围为 28.4 cm。每一列硅光电池分为 7 路信号,当中间的硅光电池检测有信号时,表明此时的地面高程与平地设计参考高程相一致;当上半部分的硅光电池检测有信号时,表明此时的地面高程低于参考高程,要求提升平地铲;当下半部分的硅光电池检测有信号时,表明此时的地面高程高于参考高程,要求下降平地铲。

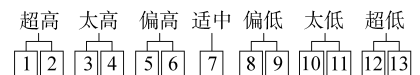


图7 硅光电池垂直空间分布

Fig. 7 Distribution of photo-electric cells in vertical direction

## 2 田间试验

### 2.1 试验材料与方法

2008 年 5 月,在湖南省新田县土地整理项目区,采用国产黄海金马 854A 型拖拉机作为牵引动力,使用新型的激光接收器进行了激光平地田间试验。平地之前对地块以 10 m 为间距进行栅格划分,

在栅格交叉点处利用顶端带有激光探测器的可伸缩刻度尺进行相对高程测量,平地后再次进行测

量<sup>[4]</sup>。利用 Suffer 绘图软件,将平地前后测量所得相对高程数据生成三维地形图,如图 8 所示。

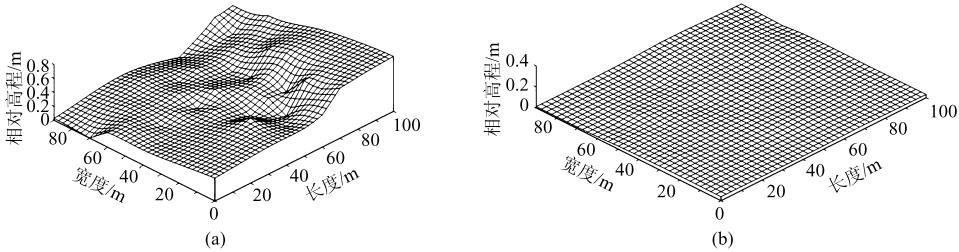


图 8 平地前后的三维地形图

Fig. 8 Topographic map before and after leveling

(a) 平地前 (b) 平地后

## 2.2 试验评价指标

对激光控制平地系统的平地效果进行评价,一般有两个评价指标:一个是农田表面相对高程的标准偏差值  $S_d$ ,它反映了农田表面平整度的总体状况;另一指标是为真实反映农田表面平整程度的分布状况,通过计算田块内所有测点的相对高程与期望高程的绝对差值  $|h_i - \bar{h}|$ ,根据小于某一绝对差值的测量点的累计百分比,评价农田表面平整度的差异及其分布特征<sup>[4]</sup>。其中标准偏差值为

$$S_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (h_i - \bar{h})^2}{n-1}}$$

式中  $h_i$ ——第  $i$  个测量点的相对高程

$\bar{h}$ ——该田块的相对期望高程即平地设计高程

$n$ ——田块内测量点的总数

## 2.3 试验结果

根据试验数据,利用 2.2 节公式计算得出的试验结果如表 1 所示。

从表 1 中数据可以看出,激光控制平地作业后,农田表面的相对高程标准偏差值由平地前的

13.96 cm 下降为 1.01 cm,表明农田平整总体状况较好。平地后绝对差值小于或等于 2 cm 的测点累计百分数达到了 96%,表明农田表面平整程度的分布情况有了较大改善。

表 1 试验结果

Tab. 1 Experiment results

地块状态	标准偏差值 $S_d$ /cm	绝对差值小于等于 2 cm 的测点百分数/%
平地前	13.96	24
平地后	1.01	96

## 3 结束语

设计了一种基于集成 IC 的新型激光接收器。田间试验结果表明,该激光接收器能够在 150 m 范围内稳定工作,能准确而灵敏地检测激光信号,将其用于激光控制平地系统,农田表面的相对高程标准偏差为 1.01 cm,绝对差值小于或等于 2 cm 的测点累计百分数达到了 96%,可满足农田大面积灌溉的要求。

## 参 考 文 献

- 李益农,许迪,李福祥,等. 农田土地激光平整技术应用及初步评价[J]. 农业工程学报,1999,15(2):79~84.  
Li Yinong, Xu Di, Li Fuxiang, et al. Application and evaluation of laser-controlled land leveling technology[J]. Transactions of the CSAE, 1999,15(2):79~84. (in Chinese)
- 林建涵. 激光控制平地系统接收和控制装置的研究与开发[D]. 北京:中国农业大学,2004.  
Lin Jianhan. Research and development on receiver and controller for laser controlled land leveling system[D]. Beijing: China Agricultural University,2004. (in Chinese)
- 刘刚,林建涵,司永胜,等. 激光控制平地系统设计与试验分析[J]. 农业机械学报,2006,37(1):71~74.  
Liu Gang, Lin Jianhan, Si Yongsheng, et al. Development and experiment on laser controlled leveling system[J]. Transactions of Chinese Society for Agricultural Machinery, 2006,37(1):71~74. (in Chinese)
- 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 on laser land leveling system[J]. Journal of Jiangsu University: Natural Science Edition, 2009,30(5):441~445. (in Chinese)
- 邓蕴岳. 激光接收装置的设计考虑[J]. 激光杂志,1984,15(1):49~54.  
Deng Yunyue. Design consideration for laser receiver[J]. Laser Journal, 1984,15(1):49~54. (in Chinese)

- 6 吕庆飞,刘刚. 新型激光接收器的开发与应用[C]//第五届全国信息获取与处理学术会议,秦皇岛,2007.
  - 7 北京光电器件厂. 光电器件产品手册[M]. 北京:北京光电器件厂,2007.
  - 8 江小华,张河,陈炳林,等. 引信用激光接收机噪声分析研究[J]. 激光杂志,2005,26(1):28~30.  
Jiang Xiaohua, Zhang He, Chen Binglin, et al. Study on the SNR of the receiver for laser fuze[J]. Laser Journal, 2005, 26(1):28~30. (in Chinese)
  - 9 刘彬,张秋蝉. 光电检测前置放大电路的设计[J]. 燕山大学学报,2003,27(3):193~196.  
Liu Bin, Zhang Qiuchan. Designing of pre-amplifier circuit of photodiode monitoring[J]. Journal of Yanshan University, 2003,27(3):193~196. (in Chinese)
  - 10 王立刚,张殿元. 低噪声光电检测电路的研究与设计[J]. 电测与仪表,2007(8):63~66.  
Wang Ligang, Zhang Dianyuan. Research and designing on low-noise photoelectric detecting circuit [J]. Electrical Measurement & Instrumentation,2007(8):63~66. (in Chinese)
- 

(上接第 76 页)

- 10 Gordon McComb. Robot builder's sourcebook[M]. McGraw-Hill eBook, USA, 2003.
- 11 Roland Siegwart, Illah R. Nourbakhsh. Introduction to autonomous mobile robots[M]. London: The MIT Press, 2004.
- 12 漆安慎,杜婵英. 普通物理学教程:力学[M]. 北京:高等教育出版社,1997.
- 13 Crossbow Technology Inc. . AHRS500GA-[] user's manual, revision B[M]. USA, 2007.