

## 一种用于农田激光定位的激光接收器的设计

罗亚辉<sup>1,2</sup>, 蒋蘋<sup>1,2\*</sup>, 胡文武<sup>1</sup>, 吴畏<sup>1</sup>

(1.湖南农业大学工学院, 湖南 长沙 410128; 2.湖南省现代农业装备工程技术研究中心, 湖南 长沙 410128)

**摘要:**为研制适于南方水田小面积作业的小型农机定位系统,设计了一套用于农田激光三点定位系统的激光接收器。激光接收器通过靶标随动机构实时调整接收靶的回转角度,确保其有效接收激光发射源发射的信号;为准确识别靶标上的激光光斑中心,建立了基于算术平均值滤波算法、中值滤波算法和 $\alpha$ - $\beta$ 滤波算法的激光光斑预处理算法。将激光接收器安装在插秧机上进行激光接收动态试验,结果表明,当插秧机在距离激光发射器约 100 m 处以 5、12、20 cm/s 速度运动时,激光接收器均能准确接收激光发射器发射的激光信号,并识别着靶信息,实时反映出插秧机的运动状态。

**关键词:**双激光源;农机定位系统;激光接收器

中图分类号: TP212 文献标志码: A 文章编号: 1007-1032(2013)05-0549-05

## Design of a laser receiver used for farmland laser location

LUO Ya-hui<sup>1,2</sup>, JIANG Ping<sup>1,2\*</sup>, HU Wen-wu<sup>1</sup>, WU Wei<sup>1</sup>

(1.College of Engineering, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China; 2.Hunan Provincial Engineering Technology Research Center for Modern Agricultural Equipment, Changsha 410128, China)

**Abstract:** To develop a small agricultural machine location system for small paddy fields in the south of China, we have designed a laser receiver for farmland laser & three point location system. The laser receiver adjusts its receiving target rotation angle in real time through the servo mechanism, to ensure that it can effectively receive the signal transmitted from the laser emission source. Meanwhile, in order to accurately identify the laser spot center of the target, we have studied, the laser spot preprocessing algorithms based on the arithmetic mean filter algorithm, median filter algorithm and  $\alpha$ - $\beta$  filter algorithm. The laser receiver was fixed on the transplanter and tested dynamically. The result shows that the laser receiver can receive and recognize the laser signal accurately when the transplanter moves at different speeds such as 5,12,20 cm/s in the distance of 100 m, in the meantime, it can reflect the moving state of the transplanter in real time.

**Key words:** double-laser source; agricultural machinery positioning system; laser receiver

精确定位是实现农机智能化的关键技术。目前, GPS 定位、视觉定位及激光定位等是研究较多并应用较广的定位技术。由于激光定位具备体积小、质量轻、速度快以及误差小等优点,在农业领域的应用得到重视,如激光平地、激光育种、激光灭虫等,但对于南方水田作业机械导航定位的激光定位技术的研究基本处于空白<sup>[1-4]</sup>。

为研究定位精度高,且成本低廉的适于南方水田小面积作业的耕作机械定位系统,笔者运用双激光源三点定位原理,设计了配套使用的激光接收器。双激光源三点定位系统由 2 个固定距离为  $L$  的激光发射源和 1 个可移动的激光接收器组成,在激光接收器接收到 2 个激光发射源发射的激光信号时,实时采集当前 2 个激光发射源基准面与两者之

收稿日期: 2013-09-27

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2011BAD20B08); 湖南省科学技术厅项目(2013NK2004); 湖南省教育厅重点项目(12A063)

作者简介: 罗亚辉(1981—), 女, 湖南华容人, 硕士, 讲师, 主要从事农业电气化与自动化研究, hui\_afangluo@aliyun.com; \*通信作者, techer\_jp@163.com

间连线的水平夹角信息  $\theta$ 、 $\gamma$ ，对  $L$ 、 $\theta$ 、 $\gamma$  采用三角函数关系式解算出当前激光接收器所在的位置坐标信息<sup>[1,5]</sup>。激光接收器精准地接收激光信号并识别其着靶信息，是定位系统精确定位的基础。笔者对设计的激光接收器结构与控制单元，研究了基于算术平均值算法、中值滤波算法和  $\alpha$ - $\beta$  滤波算法的激光斑预处理算法实现定位过程中低成本激光发射器激光光斑中心的识别与获取技术，以期对双激光源三点定位系统的定位解算提供技术支撑。

## 1 总体方案设计

在双激光源三点定位系统中，激光接收器安装在移动车辆插秧机上，是检测固定的 2 个激光发射器所发射激光信号的关键部件，因此，其设计是保证定位系统精度的关键。图 1 为激光接收器总体结构示意图，由激光接收随动机构、激光接收传感器阵列单元和信息处理单元等组成。

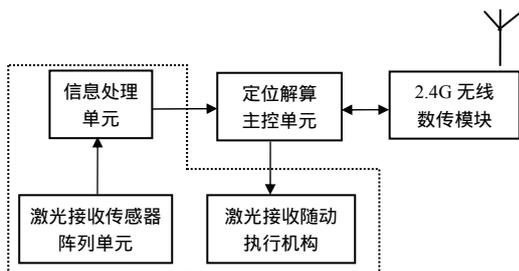


图1 激光接收器总体结构

Fig.1 The structure of laser receiver

激光接收传感器阵列单元用于检测激光发射器所发射激光信号，送入信息处理单元，解算出激光的相关着靶信息，直接传输给定位解算单元，根据解算出的位置与速度等信息，预估插秧机的运动趋势，以此控制激光接收随动机构，使激光接收器运动而避免出现接收不到激光信号的情况。2.4G 无线数传模块则用于与激光发射器之间的通讯。

## 2 激光接收器结构设计

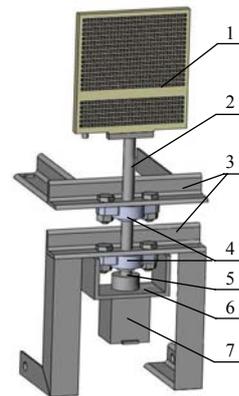
### 2.1 激光接收靶标结构设计

为保证双激光源能分别着靶在激光接收靶标上，在接收靶的塑料外壳上，分上下两部分，安装 672 个红外激光传感器。上半部分传感器安装 16 行，下半部分传感器安装 5 行，每行均为 32 个激光传感器。因激光接收靶标需接收 2 个激光发射器所发

射的激光信号，故上下两部分传感器中间有一段距离，工作时 2 个激光发射器由调平机构调平后，由步进电机驱动形成 2 个具有高度差的激光基准平面，分别由接收靶上下部的激光传感器感应。

### 2.2 激光接收随动机构设计

为提高激光接收器接收信号的准确性，避免出现接收角度死区而丢靶的现象，设计了激光接收靶随动机构(图 2)。



1 激光接收靶；2 转动轴；3 旋转轴支架；4 支撑轴承；5 联轴器；6 电机支板；7 步进电机。

图2 激光接收靶随动系统

Fig.2 Servo system structure of laser receiving target

激光接收随动机构主要由步进电机、旋转轴、旋转轴支架、2 个支撑轴承和联轴器组成。步进电机通过 1 个刚性联轴器连接到旋转轴上，接收靶固定在旋转轴顶部的安装板上。在定位系统工作时，通过模糊 PID 算法控制随动系统的步进电机实时调整接收靶的回转角度，确保激光接收靶有效接收 2 个激光源信号。

## 3 激光接收器控制单元设计

由于太阳光中含有与激光发射源同频谱的红外信号产生干扰，且激光发射源发射的激光信号会以不同的照射距离和入射角度照射到激光接收器靶标上，导致信号强度不一致，使激光接收器上传感器的检测效果受到影响<sup>[6]</sup>，因此需通过硬件和软件算法的优化设计，使接收器在复杂环境下检测到可靠的激光信号，确保系统稳定工作。

### 3.1 硬件电路设计

激光接收电路由激光传感器、移位寄存器 74HC165 与单片机 STC12C5620AD 等组成(图 3)。

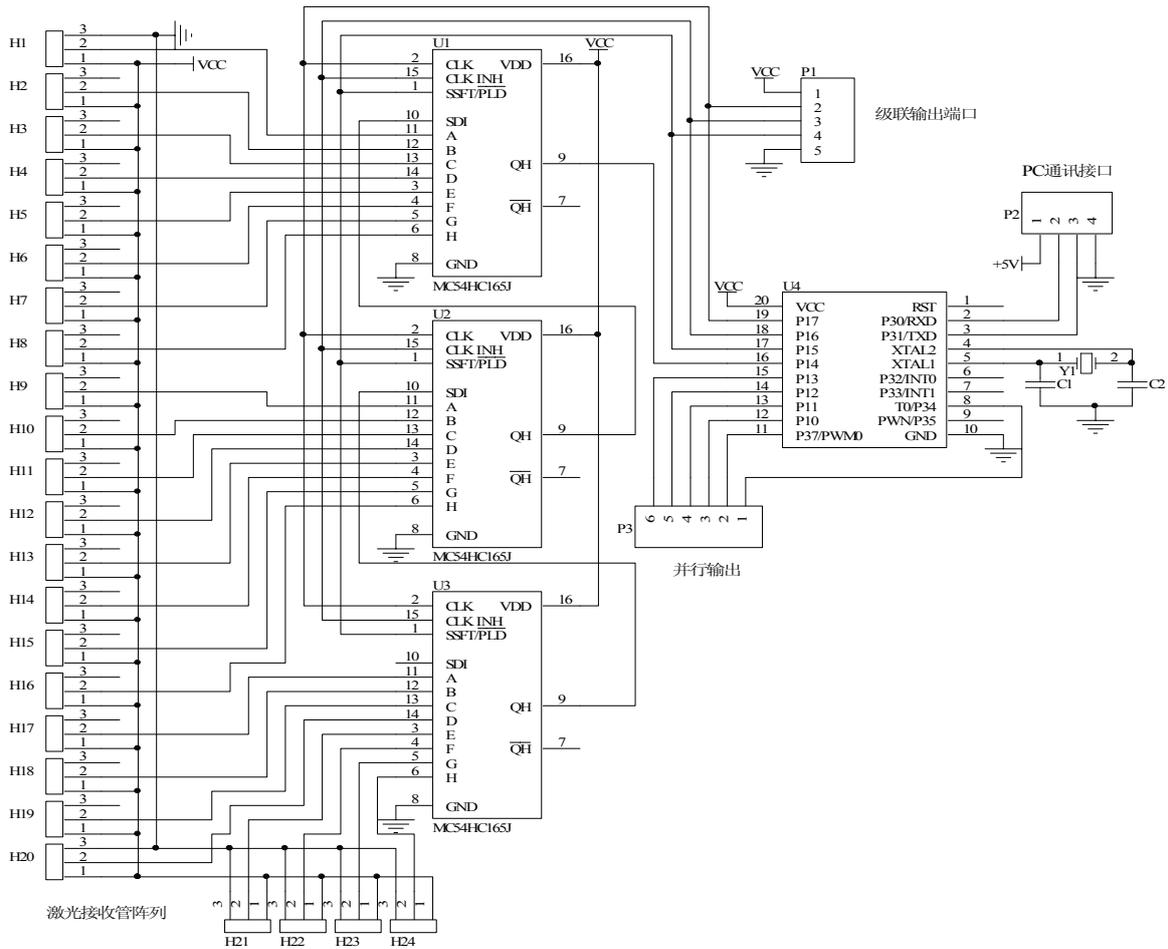


图3 激光接收器硬件电路

Fig.3 The hardware circuit of laser receiver

激光传感器采用定制的高抗干扰、高集成度、自带滤光片的集成型红外激光接收管，接收波长为 635 nm，载波频率为 38 kHz，供电电压为 5 V，输出为高、低电平信号。当接收到激光信号时，输出为 5 V 的高电平，当未接收到激光信号时，输出 0.2 V 的低电平，因此可以直接输出至移位寄存器，通过并入串出高速采集移位寄存器芯片 74HC165 对接收管信号进行高速采集，以实现接收管的级联，减少对单片机 I/O 口的要求。由于激光传感器共 672 个，设计中共采用 84 片移位寄存器，并入串出将激光接收管信息实时传输到单片机内，单片机经过分析与处理后得到准确的激光着靶位置，通过并口直接传输给定位解算主控电路，减少串口传输的延时，提高系统的响应性能。

### 3.2 软件设计

激光接收器软件主要实现激光着靶信息的准确识别，以送入定位解算单元用于定位解算。由于

激光存在光晕，工作距离越远，其光晕越大，在设计中需对激光光斑进行处理，以便准确识别光斑中心着靶位置。系统软件流程(图 4)用于完成激光信号的接收与光斑数据的处理。

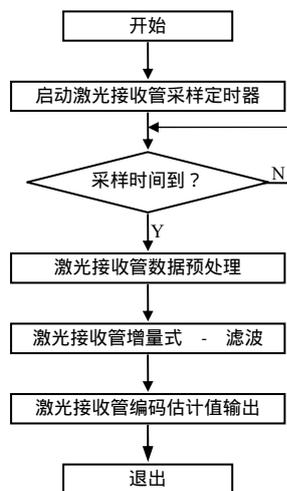


图4 激光接收器软件流程

Fig.4 The software flow chart of laser receiver

系统开始运行后,立即启动激光接收管采样定时器,定时采集并计算激光光斑中心。在采样时间到达后,开始采集激光接收管上的光斑信息,再通过激光光斑处理算法,消除光晕和外界干扰的影响,并实现对光斑中心着靶位置的估计,为后续定位解算提供输入参数。

### 3.3 激光光斑处理算法

为准确识别并获取发射至激光接收靶标上的激光光斑中心,设计中采用算术平均值滤波算法、中值滤波算法和 $\alpha$ - $\beta$ 滤波算法对数据进行处理。

#### 3.3.1 算术平均值滤波算法

算术平均值滤波算法适用于具有随机干扰的信号进行滤波<sup>[7-9]</sup>。由极限理论有:

$$Y = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N X(k) \quad (1)$$

式中: $X(k)$ 为第 $k$ 次采样值; $N$ 为采样次数; $Y$ 为滤波值。

在设计中,当激光照射到激光接收管上时,对应激光接收管输出为高电平,令临近都受到激光照射的激光接收管为一个有效数组。通过现场试验得知,经7次采样后对数据进行处理,能获得较好系统响应性能,并有效滤除外界干扰,因此,采用的算术平均值滤波算法公式为:

$$K_n = \frac{1}{7} \sum_{n=1}^7 X_n \quad (2)$$

式中: $K_n$ 为经过滤波后的激光接收管响应序列; $X_n$ 为第 $n$ 次采样的激光接收管响应序列。

通过上述处理,即获得了连续激光接收管响应序列 $K_1, K_2, K_3 \dots K_n$ 。

#### 3.3.2 中值滤波算法

由于外界干扰,激光光晕、漫反射等存在,通过算术平均值滤波后只能获得激光接收管多个连续接收序列组。为获取有效的激光光斑中心,再采用中值滤波算法<sup>[10-11]</sup>进行处理。首先,对序列 $K_1, K_2, K_3 \dots K_n$ 按照大小进行排序:

$$K_{i1} < K_{i2} < K_{i3} < \dots < K_{in} \quad (3)$$

式中: $K_m$ 为序列 $K_1, K_2, K_3 \dots K_n$ 重新排序后的数值。

因激光光斑中心位置能量最强,辐射面积也最大,因此, $K_m$ 对应区域即为有效的激光光斑中心覆盖范围。

再将对应 $K_m$ 处的7次采样的数据 $X_1, X_2, X_3 \dots X_7$ ,经过数据排序处理得 $X_{1m}, X_{2m}, X_{3m} \dots X_{7m}$ ,根据中值滤波算法:

$$y = \text{Med}\{(x_1, x_2, \dots, x_n)\} = \begin{cases} x_{(\frac{n+1}{2})} & n \text{ 为奇数} \\ \frac{1}{2}[x_{(\frac{n}{2})} + x_{(\frac{n+1}{2})}] & n \text{ 为偶数} \end{cases} \quad (4)$$

式中: $y$ 为被激光照射的有效激光接收管个数,得 $y = X_{4m}$ 。

定义对应宽度的起始接收管的编号为 $j$ ,则对应激光光斑中心的接收管编号 $Z = j + y/2$ 。以此采集对应中心点处的激光发射器旋转角度进行定位解算。

#### 3.3.3 变增益 $\alpha$ - $\beta$ 滤波算法

当激光接收靶标处于运动中时,由于采样与运算的时间滞后,激光靶标很难被实时跟踪,因此,研究了采用变增益 $\alpha$ - $\beta$ 滤波算法实现运动中的激光接收靶标对应光斑中心位置的估计。

$\alpha$ - $\beta$ 滤波算法运用的前提是目标作匀速直线运动或者接近匀速直线运动<sup>[12-13]</sup>。在进行激光光斑识别中,采样频率高达100 Hz,因此,在0.01 s内可将光斑的运动作近似匀速直线运动处理,得光斑在激光接收靶上的运动方程为:

$$x_n = x_i + (n-i)\dot{x}_i T \quad (5)$$

式中: $x_i$ 为 $t_i$ 时刻对应的激光接收光斑的位置编码; $x_n$ 为 $t_n$ 时刻对应的激光接收光斑的位置编码; $\dot{x}_i$ 为 $t_i$ 时刻对应的激光接收光斑的移动速度; $T$ 为采样周期。

采样周期内光斑移动距离 $\Delta x = \dot{x}T$ ,则 $x_n = x_i + (n-i)\Delta x$ 。对应本系统, $\alpha$ - $\beta$ 滤波的输入数据可以表示为 $x_{mi} = x_i + n_i$ 。式中: $x_{mi}$ 为 $t_i$ 时刻测量的光斑中心位置,即测量值; $x_i$ 为 $t_i$ 时刻测量的光斑中心的实际位置,即光标中心实际位置; $n_i$ 为测量噪音,满足样本独立统计,符合均值为0,方差为 $\sigma_i^2 = \sigma^2 = \text{常量}$ 。

变增益 $\alpha$ - $\beta$ 滤波的最优估计准则采用最小二乘法原理,通过递推式滤波算法实现激光中心光斑运动中位置预估,滤波后的输出公式为:

$$\hat{x}_i = \hat{x}_n - (n-i)\hat{x}T = \hat{x}_n - (n-i)\Delta\hat{x}_n \quad (6)$$

式中: $\hat{x}_i$ 为预估值; $\hat{x}_n$ 为滤波估计值; $\Delta\hat{x}_n$ 为采样周期内光斑移动距离预估值; $\hat{x}$ 为采样周期内光斑移动速度预估值。

根据最优估计准则,得 $\alpha$ - $\beta$ 滤波估值方程:

$$\begin{cases} \Delta x_n = \Delta \hat{x}_{n-1} + \beta_n (x_n - \hat{x}_{n|n-1}) \\ \hat{x}_n = \hat{x}_{n|n-1} + \alpha_n (x_n - \hat{x}_{n|n-1}) \end{cases} \quad (7)$$

式中： $\alpha_n$  为位置滤波系数； $\beta_n$  为速度滤波系数； $x_{n|n-1}$  为  $t_n$  时刻对应的激光接收光斑的位置编码预估值。

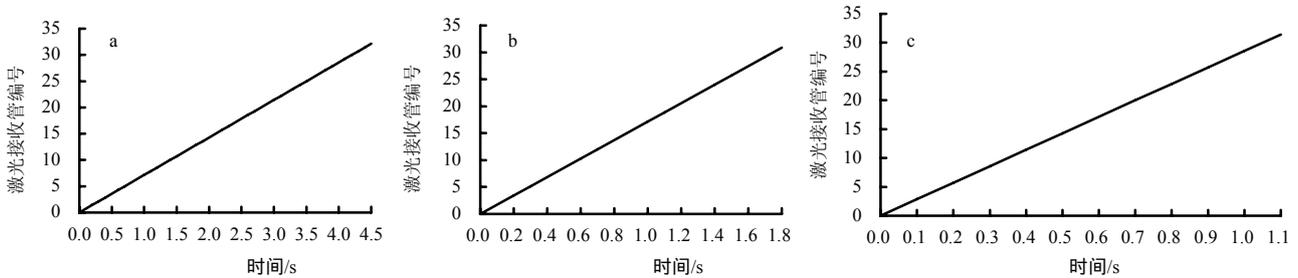
在知道滤波估计值  $\hat{x}_n$ 、 $\hat{x}'_n$  的情况下，得预测方程如下：

$$\begin{cases} \hat{x}_{n+1|n} = \hat{x}_n + \hat{x}'_n T \\ \hat{x}'_{n+1|n} = \hat{x}'_n \end{cases} \quad (8)$$

式中： $\hat{x}_{n+1|n}$  为下一时刻对应的激光接收光斑的位置编码滤波预估值； $\hat{x}'_{n+1|n}$  为下一时刻对应的激光接收光斑移动速度滤波预估值。

#### 4 试验分析

为测试激光接收器的可行性，验证可变增益的  $\alpha$ - $\beta$  滤波算法对动态激光光斑中心的预估与识别能力，将激光接收器安装在插秧机上进行了多组激光接收动态试验。试验过程中，插秧机在距离激光发射器 100 m 处匀速移动，激光接收靶以其中的单行 32 个接收管接收激光发射器发射的激光信号，采样频率为 320 Hz，算法运算频率为 10 Hz，激光光斑中心对应的激光接收管编号通过串口输出，输出频率为 10 Hz，数据通过 U 盘离线存储。图 5 所示为插秧机速度分别为 5、12、20 cm/s 时激光接收管编号图。



a、b、c 表示插秧机分别以 5、12、20 cm/s 匀速移动。

图5 不同移动速度时激光接收测试曲线

Fig.5 The curve chart of laser receiving testing at speed of 5, 12, 20 cm/s

分析试验数据，图 5-a、b、c 对应的线性方程分别为  $y=5t/0.7$ ， $y=12t/0.7$ ， $y=20t/0.7$ ，与激光接收器所在插秧机分别以 5、12、20 cm/s 移动速度运动时，对应的理论直线方程完全吻合，即激光接收器能实时检测激光运动规律，符合系统设计要求。

#### 参考文献：

[1] Jiang Ping, Luo Ya-hui, He Qing-hua, et al. The design of three-point laser localization system[J]. Journal of Nanoelectronics and Optoelectronics, 2012, 7(2): 144-148.

[2] 王树才. 农业机器人的应用领域、特点及支撑技术[J]. 华中农业大学学报, 2005, 24(S1): 86-90.

[3] 肖志刚, 张曙光, 么永强, 等. 精确农业的现状与发展趋势的研究[J]. 河北农业大学学报, 2003, 26(5): 256-259.

[4] 朱家健. 激光技术在农业中的应用及其展望[J]. 农机化研究, 2009, 31(4): 222-225.

[5] 蒋蘋. 基于双激光源的田间作业机械导航定位系统研究[D]. 长沙: 中南大学机电工程学院, 2012.

[6] 戈民, 吉炜寰, 项仕标, 等. 基于激光与远程控制技

术的信息型光电开关综述[J]. 郑州轻工业学院学报: 自然科学版, 2007, 22(2/3): 109-112.

[7] 朱恒军, 王发智, 姚仲敏. 基于单片机的数字滤波算法分析与实现[J]. 齐齐哈尔大学学报, 2008, 24(6): 53-57.

[8] 陈杰. 智能传感器平均滤波方法改进[J]. 武汉工程大学学报, 2010, 32(12): 102-104.

[9] 张玉姗, 崔金玲. 数据采集系统中的数字滤波方法研究[J]. 河南机电高等专科学校学报, 2006, 15(3): 23-25.

[10] 赵高长, 张磊, 武风波. 改进的中值滤波算法在图像去噪中的应用[J]. 应用光学, 2011, 32(4): 678-682.

[11] 李国燕, 侯向丹, 顾军华, 等. 快速中值滤波算法的改进及其 FPGA 实现[J]. 电子技术应用, 2013, 39(2): 137-140.

[12] 王豪, 吴向东, 魏明英. 基于  $\alpha$ - $\beta$  滤波算法的目标运动信息滤波与估计[J]. 现代防御技术, 2009, 37(3): 49-51, 63.

[13] 卢海进, 徐琳. 自适应  $\alpha$ - $\beta$  滤波算法的研究和应用[J]. 大众科技, 2012, 14(2): 73-75.

责任编辑: 罗慧敏

英文编辑: 张健