doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2026.12.038

# 拖拉机驾驶员视野自动测量系统设计与试验

王兴盛[1]　李政桌[1]　张　平[2]　宋　鑫[2]　柯荣赫[1]
(1.南京农业大学工学院,南京 211800;2.江苏省农业机械试验鉴定站,南京 210017)

**摘要**:针对传统视野测量方法依赖人工操作且测量强度大、效率低和精度差等问题,本文设计了一套拖拉机驾驶员视野自动测量系统。通过优化现有标准的数学模型,消除原假设带来的误差,并考虑遮挡物与瞳孔非平行情况,使其更精确用于视野参数测量。设计了包含 Arduino Mega 2560、位移传感器、旋转平台等模块的硬件系统,可测量多个视野参数。开发低通滤波和分段样条插值拟合算法处理采集数据,确保结果准确并设计上位机软件实现数据可视化与结果展示。试验测试结果表明,系统能准确自动地测量拖拉机驾驶员视野遮蔽区的阴影弦长,与人工测量误差不大于 9.3%,具有较高的测量效率和稳定性,可为实际农业生产提供有效的视野测量技术支持。

**关键词**:拖拉机;驾驶员视野;自动测量
**中图分类号**:S237　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1000-1298(2026)12-0405-09　　**OSID**:

# Design and Test of Automatic Measurement System for Tractor Driver's Field of View

WANG Xingsheng[1]　LI Zhengzhuo[1]　ZHANG Ping[2]　SONG Xin[2]　KE Ronghe[1]
(1. *College of Engineering*, *Nanjing Agricultural University*, *Nanjing* 211800, *China*
2. *Jiangsu Agricultural Machinery Test and Appraisal Station*, *Nanjing* 210017, *China*)

**Abstract**: In response to issues with traditional field of view measurement methods, such as dependence on manual operation, high measurement intensity, low efficiency, and insufficient accuracy, the design of an automated measurement system for the field of view of tractor drivers was presented. By optimizing the mathematical model established in existing standards, errors introduced by original assumptions were eliminated. The system also accounted for non-parallel conditions between obstructions and the pupil, allowing for more accurate measurement of field of view parameters. A hardware system comprising an Arduino Mega 2560, displacement sensors, a rotating platform, and other modules was designed to measure multiple field of view parameters. Low-pass filtering and piecewise spline interpolation algorithms were developed to process the collected data, ensuring result accuracy. Upper-computer software was also designed to achieve data visualization and result presentation. Test results indicated that the system can automatically and accurately measure the shadow chord lengths of obscured areas in the tractor driver's field of view. Compared with manual measurements, the error was no more than 9.3%, demonstrating high measurement efficiency and stability. The system can thus provide effective technical support for field of view measurement in practical agricultural production.

**Key words**: tractor; driver's field of view; automatic measurement

## 0　引言

拖拉机是农业生产的关键动力机械,其性能直接影响农业机械化的高质量发展[1]。为推动农机装备智能化升级,《农机装备发展行动方案 2016—2025》明确提出要建立健全农机装备的环境适应性与可靠性测试体系,提升检测的科学性与实用性[2]。由于农田路况复杂,拖拉机误伤行人或牲畜

收稿日期:2025-04-30　修回日期:2025-06-10
**基金项目**:江苏省现代农机装备与技术示范推广项目(NJ2023-25)
**作者简介**:王兴盛(1987—),男,副教授,博士生导师,主要从事激光微纳加工和智能农机装备研究,E-mail:xingshengwang@njau.edu.cn

的事故时有报道。为保障人畜及农田设施安全,同时提高作业质量和效率,针对配置驾驶室的农用拖拉机进行驾驶员视野自动测量,确保其具有良好的视野显得尤为必要[3]。

早在 1963 年,美国汽车工程师协会(SAE)通过大量测试提出了视椭圆理论用于建立驾驶员视野模型[4],我国也于 1983 年建立了相应标准指导驾驶员视野测量[5],并于后续不断优化更新。2015 年,GILAD 等[6]提出了一种量化驾驶者视野的新方法,补充了传统视角评估的不足。目前,我国驾驶员视野测量普遍依据 GB/T 3871 所规定的试验规程进行。该标准将驾驶员眼睛近似为圆心,以 12 m 为半径构建视野圆。驾驶室结构中遮挡物可能造成视野盲区,其在视野圆上弦长成为测量的核心指标[7]。

早期驾驶员视野测量主要依赖手工操作,在夜间测试场地进行,测量人员在驾驶室内放置光源以模拟驾驶员眼睛,光线穿过驾驶室,在测试场地上形成由驾驶室结构造成的阴影,使用卷尺测量在测试场地上出现的阴影弦长。该方法易受时间、天气和人为因素的影响,导致测量过程耗时长、测量受限等问题,严重影响了驾驶员视野参数的测量精度和效率[8]。为克服手工测量的局限性,研究者设计了新的视野测量装置[9-11],但在农业拖拉机上应用效果尚不理想,并且装备结构略有冗余。随着计算机技术发展,数字化工具逐渐应用于驾驶员视野测量,国内有学者提出了使用软件工具进行拖拉机驾驶员视野的校核[12-16]。这些方法通过虚拟建模和仿真技术,能够在设计阶段对视野进行评估,但目前研究主要停留在理论探讨阶段,缺乏实地测试验证。ZVĚŘINA 等[17]采用先进的三维扫描技术(Terrestrial laser scanning, TLS),能够精确测量并分析视野范围内各种障碍物对司机视线的影响,但设备相对昂贵复杂;JOFFEE 等[18]提出了基于数字人类建模(Digital human modeling, DHM)方法评估和量化驾驶员视野,通过模拟驾驶员的视觉范围,能够快速评估视野遮蔽情况。然而,该方法同样依赖于 CAD 建模,易受到人为因素的影响。可见,当前针对拖拉机驾驶员视野的测量研究,或停留在理论阶段,缺乏实地验证,或受限于设备成本和结构复杂性,难以在实际测试中发挥作用。

针对现有视野测量方法的不足,结合 GB/T 3871 的数学模型,本文提出一种基于优化数学模型的自动化测量系统。通过实地测试验证系统的可行性与准确性,以期为驾驶员视野测量提供一种高效、精确且自动化的新方法。

## 1 数学模型与设备设计原理

为实现对拖拉机驾驶室中驾驶员视野遮挡情况的自动测量,有必要建立准确的数学模型,对遮挡构件在驾驶员视野圆中所形成的遮蔽阴影弦长进行量化分析,为设备的算法设计提供理论基础。

### 1.1 数学模型

典型的拖拉机驾驶室通常包含前风挡玻璃、左右立柱、外部遮挡(如排气管)等构件,驾驶员一般位于驾驶室中央偏后部。大多数驾驶室在结构设计上具有一定的相似性,因此本文所建立的测量系统和模型在结构上具有较强通用性,适用于大多数拖拉机驾驶室的视野遮蔽测量任务。驾驶员视野遮蔽阴影弦长的前视野半圆测量示意图如图 1 所示。在驾驶室中,立柱、室外排气管等构件会形成视野盲区,这些盲区位于驾驶员视野圆内,在视野圆中所占的弦长需被测量作为视野遮蔽的关键参数。

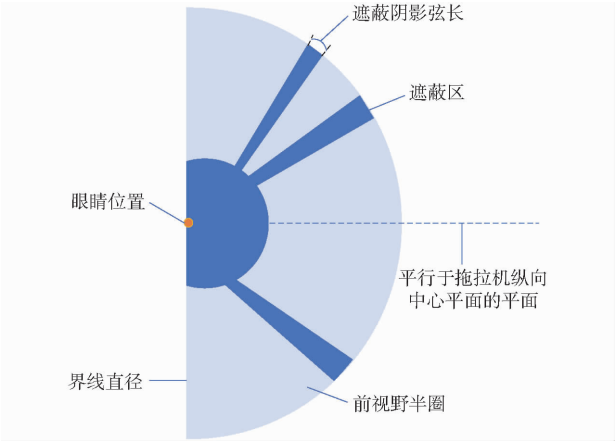


图 1 前视野半圆

Fig. 1 Front semicircle of field of view

为准确计算这些遮挡物的遮蔽效果,需为单个遮挡物造成的遮蔽阴影弦长建立数学模型。在 GB/T 3871 中建立的数学模型如图 2a 所示,对于瞳孔间距为 65 mm 的观察者来说,单个遮蔽物造成的阴影弦长计算式为[4]

$$x = \frac{r(k-65)}{j} + 65 \tag{1}$$

式中 $x$——构件遮蔽阴影弦长

$j$——遮蔽物与眼睛间距离

$k$——在垂直于视力半径水平方向测量的遮蔽物宽度

$r$——所规定的视野圆半径

若有设备可同时测得某一遮蔽物 $j$、$k$ 2 项参数,即可计算得该遮蔽物造成的遮蔽阴影弦长。但式(1)建立在图 2a 中尺寸 $i = r$($i$ 为眼睛到遮蔽阴影弦长距离)的假设基础上,而实际中 $i \neq r$,为得到

更准确的遮蔽阴影弦长，优化旧模型建立新的数学模型如图 2b 所示，并考虑到在实际应用中遮挡物与瞳孔的相对位置通常并不平行的情况。建立的数学模型中，长度参数统一采用 $l_{ab}$ 形式表示（如 $l_{ab}$ 表示点 $a$ 到点 $b$ 的直线距离，即 $ab$ 边），角度参数采用 $\theta_{aob}$ 形式表示（如 $\theta_{aob}$ 表示以 $o$ 为顶点、经过点 $a$ 和点 $b$ 形成的角）。

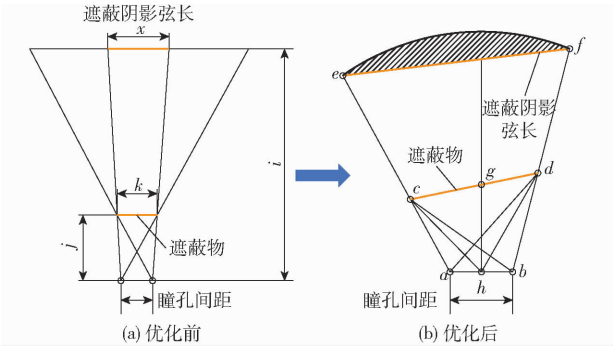


图 2　优化前后数学模型

Fig. 2　Mathematical models before and after optimization

图 2b 中，$a$ 和 $b$ 表示瞳孔位置，$h$ 为瞳孔中点，$c$ 和 $d$ 为遮蔽物两端，$g$ 为 $cd$ 中点，$l_{ef}$ 即为遮蔽阴影弦长。由 GB/T 3871 可知 $l_{hf}$ 为 12 m，$l_{ha}=l_{hb}=32.5$ mm[4]，只需得知 $l_{hc}$、$l_{hd}$ 和 $\theta_{chd}$ 即可计算得 $l_{ef}$。计算过程如下：

首先，对于 $\triangle hcd$ 由余弦定理计算得 $l_{cd}$，计算式为

$$l_{cd}=\sqrt{l_{hc}^2+l_{hd}^2-2l_{hc}l_{hd}\cos\theta_{chd}} \tag{2}$$

$\theta_{cdh}$ 可由正弦定理计算得到，计算式为

$$\sin\theta_{cdh}=\frac{l_{ch}\sin\theta_{chd}}{l_{cd}} \tag{3}$$

$$\theta_{cdh}=\arcsin\sin\theta_{cdh} \tag{4}$$

又已知 $g$ 为 $cd$ 中点，由余弦定理计算得 $l_{gh}$、$\theta_{dhg}$ 与 $\theta_{chg}$，计算式为

$$l_{gh}=\sqrt{l_{gd}^2+l_{hd}^2-2l_{gh}l_{hd}\cos\theta_{cdh}} \tag{5}$$

$$\theta_{chg}=\theta_{chd}-\arccos\frac{l_{gh}^2+l_{hd}^2-l_{gd}^2}{2l_{gh}l_{hd}} \tag{6}$$

$$\theta_{dhg}=\arccos\frac{l_{gh}^2+l_{hd}^2-l_{gd}^2}{2l_{gh}l_{hd}} \tag{7}$$

而 $\triangle cdh$ 各项数据已知，$gh\perp ab$，计算可得 $\theta_{dhb}$ 与 $\theta_{cha}$，计算式为

$$\theta_{dhb}=90°-\arccos\frac{l_{gh}^2+l_{hd}^2-l_{gd}^2}{2l_{gh}l_{hd}} \tag{8}$$

$$\theta_{cha}=90°-\arccos\frac{l_{ch}^2+l_{gh}^2-l_{cg}^2}{2l_{ch}l_{gh}} \tag{9}$$

同理，可计算得 $\triangle cha$ 和 $\triangle dhb$ 中 $l_{ac}$、$l_{bd}$、$\theta_{cah}$ 和 $\theta_{dbh}$。对于 $\triangle fhb$ 和 $\triangle eha$，$l_{fh}$ 和 $l_{eh}$ 为半径，已知其长度，$l_{hb}$、$l_{ha}$、$\theta_{eah}$ 与 $\theta_{fbh}$ 已知，可计算得 2 个三角形中的 $l_{bf}$、$l_{ae}$、$\theta_{fhg}$ 和 $\theta_{ehg}$。最后对于 $\triangle ehf$，已知 $l_{eh}$、$l_{fh}$ 和 $\theta_{ehf}=\theta_{ehg}+\theta_{fhg}$，可求得 $l_{ef}$，即遮蔽区阴影弦长，计算式分别为

$$\theta_{fhg}=90°-\arccos\frac{l_{fh}^2+l_{hb}^2-l_{bf}^2}{2l_{fh}l_{hb}} \tag{10}$$

$$\theta_{ehg}=90°-\arccos\frac{l_{he}^2+l_{ha}^2-l_{ae}^2}{2l_{he}l_{ha}} \tag{11}$$

$$l_{bf}=(2l_{hb}\cos\theta_{dbh}+\sqrt{(2l_{hb}\cos\theta_{dbh})^2-4(l_{hb}^2-l_{hf}^2)})^{1/2} \tag{12}$$

$$l_{ae}=(2l_{ha}\cos\theta_{cah}+\sqrt{(2l_{ha}\cos\theta_{cah})^2-4(l_{ha}^2-l_{he}^2)})^{1/2} \tag{13}$$

$$l_{ef}=(l_{eh}^2+l_{fh}^2-2l_{eh}l_{fh}\cos(\theta_{ehg}+\theta_{fhg}))^{1/2} \tag{14}$$

由上述公式可知，使用优化后的数学模型，只需得知瞳孔中心 $h$ 相对于遮蔽物两端 $c$、$d$ 的位置和距离，即可精确计算得遮蔽物造成的阴影弦长。

### 1.2　设备设计原理

设备设计原理是基于对驾驶员视野观察特性的模拟。在驾驶室中，驾驶员视线受到左右立柱、排气管等构件阻碍，但不受左右玻璃和前方玻璃阻碍，如果设备可以得知自身位置和遮蔽物两端距离，并且得知遮蔽物两端与自身位置形成的夹角，即可按照 1.1 节数学模型计算出该遮蔽物导致的在视野圆中遮蔽弦长。设备设计原理如图 3 所示。

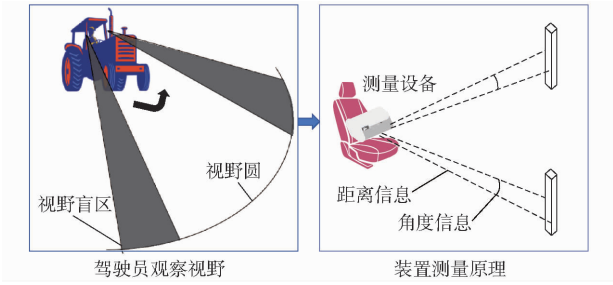


图 3　设备设计原理

Fig. 3　Principles of device design

采集设备到遮蔽物距离，使用位移传感器，以位移传感器模拟人眼，通过搭载位移传感器旋转平台转动模拟驾驶员颈部转动，转动角度可由旋转平台给出。至此，该设备便可以测量得知所需参数。

## 2　系统设计

整个系统由硬件和软件 2 部分组成。硬件部分包括搭载在铝型材框架上的旋转平台、位移传感器及其他控制和辅助设备，软件部分则为与硬件交互的上位机。

### 2.1　硬件设计

硬件设计以 Arduino Mega 2560 控制器为核心，

结合旋转平台、位移传感器、回零传感器和移动电源等多模块,以实现高效、精确的测量任务。硬件系统设计示意图如图 4 所示。系统核心控制单元为 Arduino 控制器,负责与各传感器及执行机构间的信息传输,其模拟输入端口为 10 位分辨率,确保了采集信息精度。旋转平台由步进电机驱动,该电机通过电机驱动器接收来自 Arduino 控制器的控制指令,从而实现平台的精确旋转。平台上固定有位移传感器,量程为 200 ~ 4 000 mm,分辨率为 1 mm,用于在平台旋转过程中不断采集目标遮蔽物与传感器间的距离信息。根据前文描述,系统只需测量传感器到遮蔽物两端距离以及旋转过程所转过角度,即可完成测量任务。位移传感器安装在旋转平台中心,配合平台转动共同获取距离与角度信息。传感器输出模拟电压信号,由 Arduino 控制器接收并处理为距离数据。回零传感器由 5 V 电源供电,用于检测平台是否回到初始位置,并向 Arduino 发送回零信号,确保每次测量从统一起点开始。系统采用 24 V 移动电源为旋转平台和传感器供电,满足户外供电需求。系统实物图如图 5 所示。

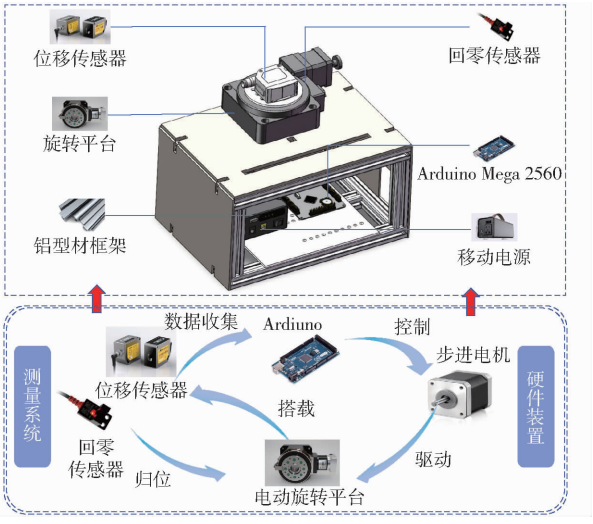


图 4 系统设计简图

Fig. 4 Schematic of system design

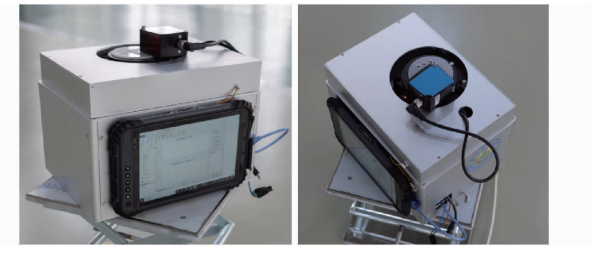

图 5 系统实物图

Fig. 5 Physical system diagram

## 2.2 软件设计

测量系统软件部分基于 Windows 操作系统,在 Qt 框架下使用 C + + 语言进行开发。设计目标是提供简便、直观的用户交互界面,同时具备数据处理和结果展示功能。系统软件主要包括:串口通讯模块、控制操作模块、数据显示模块和结果显示模块。软件系统功能图如图 6 所示。为增强系统灵活性,在硬件上使用小巧的掌机作为载体。

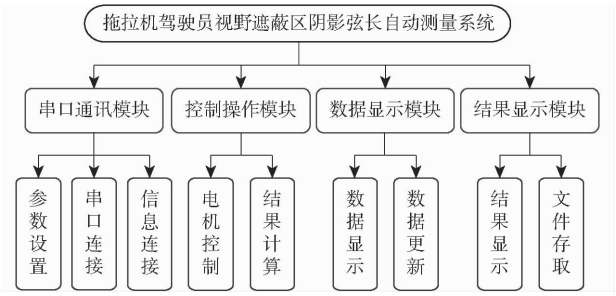


图 6 软件系统功能

Fig. 6 Software system function

在软件设计中,串口通讯模块负责实现上位机与 Arduino 控制器间数据交换,得到所需参数信息。控制操作模块用于控制旋转平台运动、数据处理和结果报告生成。数据显示模块用于动态展示每次测量的数据,并通过曲线方式展示数据变化趋势。通过此模块,用户可以直观地查看和分析各项测量数据,确保测量过程的透明性和准确性。结果显示模块用于展示最终的测量结果,包括每个遮蔽物所引起的遮蔽区阴影弦长。此模块还支持生成简易报告和详细报告,方便用户对测量结果进行存档和进一步分析。人机交互界面如图 7 所示。

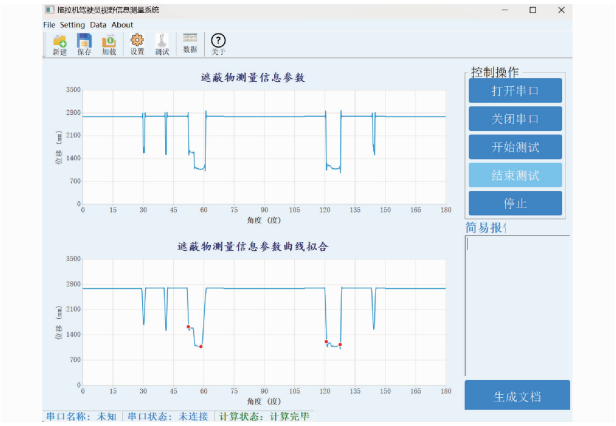


图 7 人机交互界面

Fig. 7 Human-machine interface

为实现拖拉机驾驶员视野参数自动测量,系统软硬件需协同运行。硬件部分完成旋转与数据采集,软件部分则负责控制指令下达与测量结果处理。二者通过串口通信紧密配合,确保测量全过程稳定高效。整个设备工作流程如图 8 所示。

## 3 数据获取和处理算法

为实现对驾驶员视野遮挡区域的高精度测量与

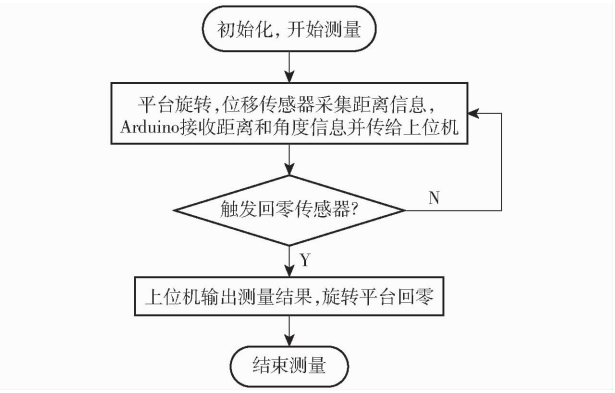


图 8　设备工作流程

Fig. 8　System workflow

识别，系统需对传感器采集的距离数据进行高效处理。该算法模块主要包括 3 部分：①数据获取，确保测量信息稳定获取。②滤波处理，去除原始数据中的噪声与异常值。③曲线拟合与遮蔽物端点识别，用于恢复数据趋势并准确确定遮挡区位置。通过这些算法模块协同工作，最终实现对遮蔽物阴影弦长的自动计算与结果输出。

### 3.1　数据获取

数据获取是本系统的关键环节。在嵌入式系统中，常用通信协议包括 UART（通用异步收发传输器）、I2C（串行总线）、SPI（串行外设接口）和 CAN 总线（控制器局域网络）等[19-21]。不同通信协议具有不同优缺点，适用于不同应用场景。考虑到本系统只需从 Arduino 传输数据到上位机，并且 UART 协议是一种非常成熟和稳定的通信协议，具有适中的传输速率，可以满足传输需求，选择使用 UART 通讯协议作为 Arduino 和上位机的通讯协议。其基本工作原理：通过 3 根信号线（即发送端 TX、接收端 RX 和地线）进行数据传输，数据按字节进行串行发送和接收。

### 3.2　数据滤波与拟合

在完成数据采集后，需对所获得的原始数据进行进一步处理，以提高测量结果稳定性与准确性。首先，对采集数据进行滤波处理以去除高频噪声和异常值；随后，采用分段样条插值法对平滑后数据进行曲线拟合，以还原遮蔽物实际形态并为后续遮挡区域识别提供基础。

#### 3.2.1　数据滤波

为保证最后计算结果精度，通过设置步进电机驱动器细分和控制器采样频率，可使旋转平台每旋转 0.1°系统采集 1 次数据，共采集约 1 800 个数据点。但在测量过程中，由于传感器在部分拖拉机窗口边缘的黑边和密封条处测量时，这些部件对激光反射性较差，易导致测量数据出现波动，甚至出现数据骤增现象，进而使拟合得到的曲线呈现锯齿状波动，无法识别遮蔽物端点，导致错误。为从噪声中恢复信号真实趋势，提高测量结果准确性和稳定性，需对系统采集到的原始数据进行滤波处理。常见滤波方法有低通滤波，中值滤波和局部回归法等[22-23]。

为有效地去除这些异常数据，采用基于波形特征的低通滤波方法。低通滤波是一种常用的信号处理技术，用于去除信号中高频噪声，保留低频部分的信号特征。其基本原理是通过一个滤波器，允许低频信号通过，而衰减或阻断高频信号。

算法具体流程：①设定数据波动阈值。②采用滑动窗口平滑数据初始趋势。③通过波动阈值定位锯齿波段，识别连续异常形成的锯齿波段。④对锯齿波段进行低通滤波，去除高频噪声。⑤插值补全可能缺失数据。⑥输出平滑后的数据序列用于后续拟合。

滤波算法流程如图 9 所示。通过滤波操作能够去除由不良反射导致的测量误差，平滑数据并去除高频噪声，为曲线拟合提供更为准确和稳定的输入数据。

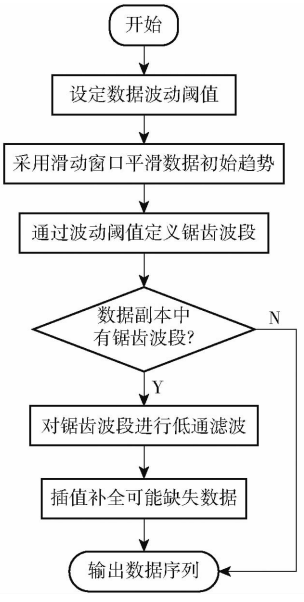


图 9　滤波算法流程

Fig. 9　Filter algorithm flowchart

#### 3.2.2　曲线拟合

对于滤波后的数据还需进行曲线拟合。曲线拟合是数据分析的常用方法，用于根据离散数据点生成一条平滑拟合曲线，以便更好地描述数据趋势。考虑到数据呈现多段函数的特点，选择使用分段样条插值拟合。分段样条插值是指将给定的离散数据点分成多个子集，然后对每个子集分别进行低次多项式插值，最终得到 1 个由多个低次多项式组成的

分段函数。这些低次多项式在连接点处满足一定的光滑性条件,从而形成 1 个整体的平滑曲线。使用三次样条插值[24],设有 $n+1$ 个数据点($x_0$,$y_0$)、($x_1$,$y_1$)、…、($x_n$,$y_n$),其中 $x_0<x_1<\cdots<x_n$,数学表达式为

$$S_i(x)=a_i+b_i(x-x_i)+c_i(x-x_i)^2+d_i(x-x_i)^3 \quad (i=0,1,\cdots,n-1) \tag{15}$$

式中 $a_i$——每个子区间上三次多项式常数项未知数

$b_i$——每个子区间上三次多项式一次项未知数

$c_i$——每个子区间上三次多项式二次项未知数

$d_i$——每个子区间上三次多项式三次项未知数

这些未知数需通过给定的数据点和一些平滑条件求解。平滑条件包括函数值连续性、一阶导数连续性和二阶导数连续性。边界条件采用自然边界条件。

### 3.3 遮蔽物端点判断

本系统首要任务是依据测量所得的距离数据与角度信息,计算拖拉机驾驶员视野遮蔽区的阴影弦长。尽管测量设备通过 180°旋转已完成数据采集,但遮蔽物边界(即端点)仍需进一步通过算法识别。在端点识别中,系统利用激光传感器在扫描过程产生的不同测量信号特征进行分析。由于激光能够穿透玻璃并射向更远处,当传感器数值显示最大值时,即表示此时传感器照射在玻璃上。因此,识别遮蔽物端点的关键在于检测测量数据中的突变特征,并据此确定激光束从“无遮挡”状态进入“遮挡”状态,或从“遮挡”状态重新进入“无遮挡”状态的转折点。

具体判断逻辑如下:当传感器采集到的距离等于设定的最大检测距离(如 4 000 mm),说明激光束未遇到遮挡,穿透了侧窗玻璃,此时视野无遮挡;当测得的距离由最大值突然减小至预设的正常测量范围,说明激光束已从穿透玻璃过渡到遇到遮蔽物,视野开始受阻;当距离由较小值逐渐增大并恢复至最大测距值,说明激光束从遮蔽物边缘恢复为穿透玻璃状态,标志着遮蔽区末端。上述逻辑可通过分析相邻角度采样点之间的距离变化趋势实现。在程序实现中,设置合理的突变阈值与识别条件,并在检测到变化趋势满足“由大变小”或“由小变大”特征时,判定其为遮蔽物的一侧边界。算法流程如图 10 所示。

经上述滤波、拟合及端点识别处理后,系统精确获取设备相对于各遮蔽物边界的距离与角度参数。基于前文建立的数学模型,可准确计算出各遮蔽物在视野圆中形成的阴影弦长。

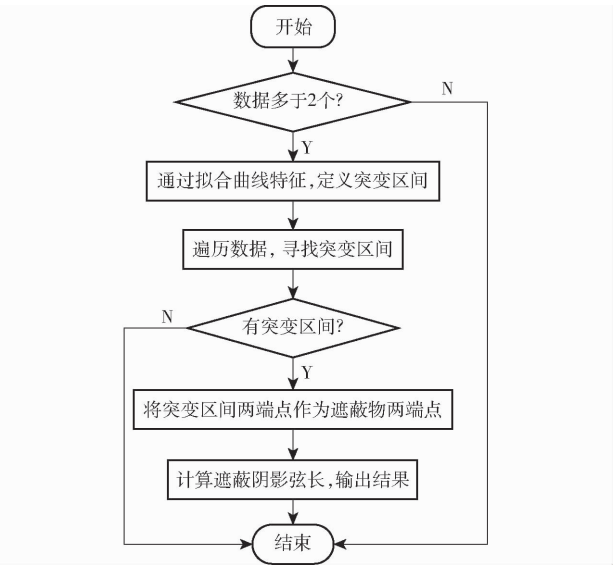


图 10 遮蔽物端点判别算法流程

Fig. 10 Flowchart of obstruction endpoint detection algorithm

## 4 试验与分析

### 4.1 前期准备

试验在江苏省农业机械试验鉴定站进行,测试设备安装于不同型号拖拉机上,以验证测量系统的适用性。所测试拖拉机型号包括:常发 J2204、中联 RN1404-2 和中联 PZ3004。为便于后续分析,分别将 3 组拖拉机记为 A 组、B 组和 C 组。这些拖拉机视野遮蔽物主要包括右立柱、排气管、空气滤清器(空滤)及左立柱等。由于不同遮蔽物在驾驶员视野中可能存在重叠,实际测得的遮蔽阴影数可能少于遮蔽物总数。

为获取拖拉机驾驶室视野遮蔽阴影的准确弦长,并对比设备测量结果,江苏省农业机械试验鉴定站专业人员依据 GB/T 3871 中相关试验规程进行试验,人工测量结果如下:A 组,遮蔽阴影数为 2,弦长分别为 1.15、0.94 m,总计 2.09 m;B 组,遮蔽阴影数为 2,遮蔽物导致的遮蔽弦长分别为 1.10、0.70 m,总计 1.80 m;C 组,遮蔽阴影数为 2,遮蔽物导致的遮蔽弦长分别为 1.05、1.07 m,总计 2.12 m。各拖拉机测量结果均符合相关测试标准[25]。

### 4.2 试验步骤

测量过程中,设备被放置在拖拉机驾驶室座椅上,保证传感器位置在座位标志点上方 670 mm、正前方 10 mm 处,其中,座位标志点一般位于人体尾骨处[26],如图 11a 所示。实际作业中设备布置示意图如图 11b 所示,通过升降平台调整设备高度,确保传感器高度位置准确,前后左右位置由人工辅助校核确保准确。

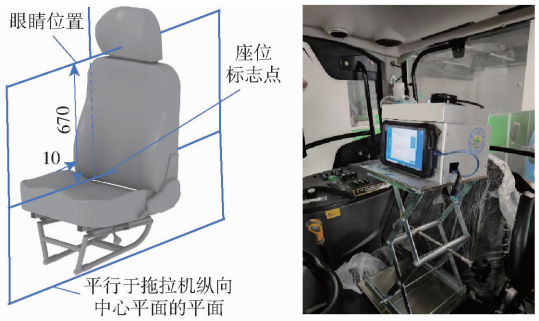


图 11　设备放置位置

Fig. 11　Placement location of device

试验方法及步骤为：①将设备摆在座椅的对应位置时，传感器初始测量位置设在座椅正右方。②打开软件，连接装置与上位机，点击上位机的“开始测量”，旋转平台开始转动，并且带动位移传感器一起转动，上位机显示并记录传感器测量到的距离以及对应的旋转角度。③等待旋转平台旋转 180° 后触发回零传感器又转回到初始位置，测量结束。

### 4.3　试验结果与分析

对 3 辆拖拉机按照相同试验步骤分别采集数据，每辆采集 3 组数据，共得 9 组数据。为便于分析，以下取每辆拖拉机的 1 组数据进行探讨。图 12～14 分别为 A 组、B 组和 C 组拖拉机在滤波前后的距离测量曲线，图中红色曲线表示测量得到的遮蔽物区域，蓝色曲线表示非遮蔽物区域，主要为挡风玻璃区域。由于设备摆放方向的原因，图中左侧遮蔽物区域对应驾驶员视野中的右侧遮蔽物，而右侧遮蔽物区域对应驾驶员视野中的左侧遮蔽物。各组拖拉机左右遮蔽物分布基本对称，且均存在左侧立柱与空气过滤器部分重叠以及右侧立柱与消声器部分重叠的情况。

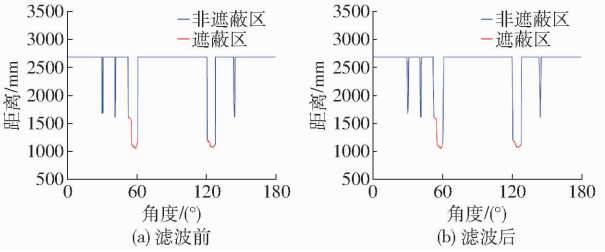


图 12　A 组数据滤波前后距离变化曲线

Fig. 12　Distance variation curves of group A data before and after filtering

在 B 组测量曲线中，右侧遮蔽物区域存在较多噪声，主要原因是激光测量过程，光束照射至挡风玻璃边缘的黑色边框和密封条时，由于反射率较低，导致测量数据出现异常波动。经滤波处理后，数据曲线更加平滑，并有效恢复了遮蔽物的真实测量轮廓。滤波前后效果如图 15 所示。

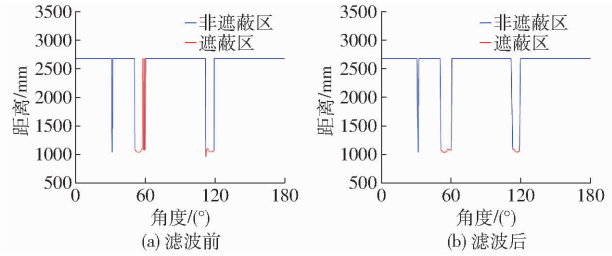


图 13　B 组数据滤波前后距离变化曲线

Fig. 13　Distance variation curves of group B data before and after filtering

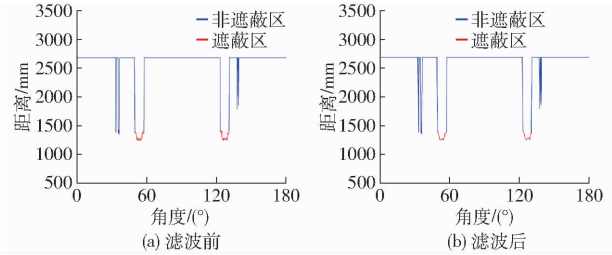


图 14　C 组数据滤波前后距离变化曲线

Fig. 14　Distance variation curves of group C data before and after filtering

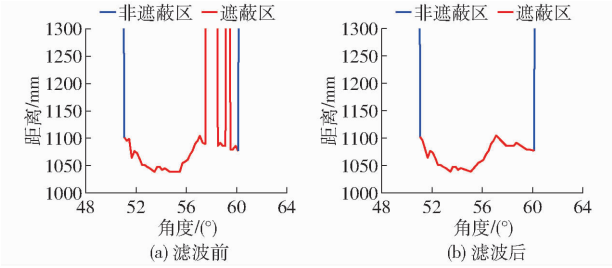


图 15　B 组局部数据滤波前后距离变化曲线

Fig. 15　Distance variation curves of partial group B data before and after filtering

在 A 组和 C 组遮蔽物区域未出现明显噪声和数据波动。这可能是由于不同型号拖拉机挡风玻璃边框及密封条材质不同，其光学反射特性存在差异。A 组测量曲线中，右侧遮蔽物区域的测量曲线存在明显波动，如图 16a 所示，而左侧遮蔽物区域波动较弱。这主要是因为测量设备首先扫描驾驶室外部的空气过滤器或消声器，随后扫描驾驶室内部的立柱，而右立柱与消声器之间的距离较远，左立柱与空气过滤器间的距离较近，导致数据波动幅度不同。在 C 组测量曲线中，左右遮蔽物区域曲线未出现明显波动，而是呈凹形趋势，如图 16b 所示，这与立柱本身的几何形状有关。此外，在 3 辆拖拉机测量曲线中，均观察到挡风玻璃附近存在异物被测量并形成锯齿状波动，其原因是玻璃表面存在污点影响了传感器采集数据。但端点判断算法能够有效识别并忽略这些异常数据，从而避免对最终测量结果造成影响。

根据前文分析，若设备能够获取自身位置以及遮蔽物两端距离，同时测得遮蔽物两端与自身位置

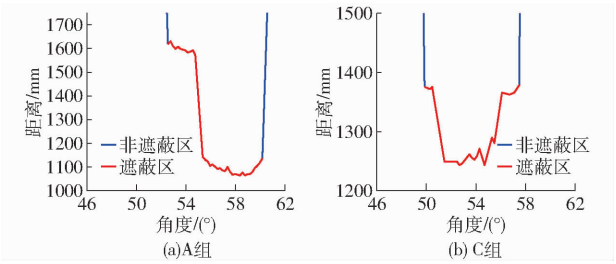


图 16 A 组和 C 组局部数据放大图

Fig. 16 Partial data magnified view for groups A and C

形成的夹角,则可计算出遮蔽阴影弦长。A 组、B 组、C 组具体测量结果和误差如表 1 所示。误差 $E$ 计算式为

$$E = \left| 1 - \frac{E_2}{E_1} \right| \times 100\% \tag{16}$$

式中 $E_2$——设备测量弦长

$E_1$——人工测量弦长

**表 1 第 1 组遮蔽物测量数据**

**Tab. 1 First set of shelter measurement data**

| 遮蔽物名称 | 左端距离/mm | 右端距离/mm | 角度/(°) | 计算弦长/m | 误差/% |
|---|---|---|---|---|---|
| A 组右遮蔽物 | 1 617 | 1 183 | 8. 35 | 1. 243 | 8. 1 |
| A 组左遮蔽物 | 1 208 | 1 120 | 7. 04 | 0. 944 | 0. 4 |
| B 组右遮蔽物 | 1 168 | 1 280 | 8. 84 | 1. 202 | 9. 3 |
| B 组左遮蔽物 | 1 120 | 1 076 | 6. 23 | 0. 757 | 8. 1 |
| C 组右遮蔽物 | 1 384 | 1 378 | 7. 84 | 1. 142 | 8. 8 |
| C 组左遮蔽物 | 1 397 | 1 412 | 7. 44 | 1. 067 | 0. 3 |

综合分析表 1 测量数据可知:①整体测量精度较高:测量误差为 0.3% ~9.3%,其中大多数误差控制在 9% 以内。这表明所设计的测量系统具有较高的测量精度,能够较准确地反映驾驶员视野遮挡情况。②右遮蔽物测量误差相对较大:个别情况下(如 B 组),右侧遮蔽物测量误差高达 9.3%。这可能是由于该区域的反射特性较差,例如消声器表面的材质可能导致激光信号衰减或散射,进而影响测量精度。③左遮蔽物误差略有波动,但仍在合理范围:相较于右侧遮蔽物,左侧遮蔽物测量误差均不大于 8.1%,这可能是由于左立柱及相邻部件的表面反射特性较稳定,使得测量误差相对较小。

3 组拖拉机的 3 组测量数据如表 2 所示。由表 2 可知,测量设备在不同拖拉机条件下均表现出较高稳定性。B 组左遮蔽物标准差最小,仅为 0.027 4 m,表明该组测量波动极小,设备在该条件下的测量精度较高。而 A 组右遮蔽物标准差最大,为 0.059 5 m,虽然测量波动相对较大,但整体误差仍保持在可接受范围内。整体而言,该测量设备在不同拖拉机条件下均表现出较好的测量稳定性,误差范围较小。

**表 2 3 组拖拉机测量数据**

**Tab. 2 Measurement data of three groups of tractors**

m

| 拖拉机型号 | 遮蔽物 | 第 1 组弦长 | 第 2 组弦长 | 第 3 组弦长 | 平均值 | 标准差 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| A 组 | 右遮蔽物 | 1. 243 | 1. 162 | 1. 278 | 1. 228 | 0. 059 5 |
| A 组 | 左遮蔽物 | 0. 944 | 0. 997 | 0. 908 | 0. 950 | 0. 044 8 |
| B 组 | 右遮蔽物 | 1. 202 | 1. 109 | 1. 151 | 1. 154 | 0. 046 6 |
| B 组 | 左遮蔽物 | 0. 757 | 0. 765 | 0. 714 | 0. 745 | 0. 027 4 |
| C 组 | 右遮蔽物 | 1. 142 | 1. 099 | 1. 158 | 1. 133 | 0. 030 5 |
| C 组 | 左遮蔽物 | 1. 067 | 1. 120 | 1. 020 | 1. 069 | 0. 050 0 |

通过分析,误差来源主要包括:

(1)人工测量误差:由于人工测量采用手工测量方式,受人为因素影响较大,例如测量工具精度等,都会对测量结果产生一定影响。实际情况中,人工测量误差可能较难完全消除,因此部分设备测量误差可能来源于人工测量数据本身的不准确性。

(2)设备测量数据中系统误差:由于激光测距传感器的工作原理,测量精度可能受环境因素(如温度、湿度)影响。此外,传感器本身的精度限制、数据处理算法的误差累积等因素,也可能导致测量结果与真实值存在偏差。例如,测量过程光束可能受到散射或折射影响,导致数据点的精确性降低。

(3)设备摆放位置微小偏差:设备的测量位置由人工摆放,尽管试验时已尽可能保证设备位置固定,但仍难以完全消除轻微的摆放偏差。这些偏差可能导致测量角度或扫描起始位置的变化,进而影响最终测量结果。

(4)数学模型与实际情况的偏差:本研究测量系统依赖于一定的数学建模,然而,数学模型本质上是对真实环境的近似描述,可能存在一定的简化和假设,从而影响测量精度。

## 5 结论

(1)本系统实现了对拖拉机驾驶员视野遮蔽区阴影弦长的自动测量,采用 Arduino 控制器为核心,结合旋转平台和位移传感器等模块,能够高效、精确地完成遮蔽弦长测量。

(2)系统通过对采集后数据进行基于波形特征的低通滤波和分段样条插值数据拟合处理,有效去除了由于激光反射差异产生的噪声,提升了测量数据的稳定性。

(3)试验结果表明,系统能够准确测量不同遮蔽物对视野的影响,对于每个遮蔽物的测量结果与人工测量误差均不大于 9.3%,最大标准差不超过 0.059 5 m,具有较高的测量精度和稳定性。

## 参 考 文 献


[1] 谢斌，武仲斌，毛恩荣. 农业拖拉机关键技术发展现状与展望[J]. 农业机械学报，2018，49(8)：1－17.
XIE Bin，WU Zhongbin，MAO Enrong. Development and pprospect of key technologies on agricultural tractor[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery，2018，49(8)：1－17.（in Chinese）

[2] 工信部农业部发改委联合印发《农机装备发展行动方案(2016—2025)》[J]. 农村牧区机械化，2016(6)：6.

[3] 苏小伟，蹇兴东，史庆春. 拖拉机驾驶室视野安全研究[J]. 拖拉机与农用运输车，2010，37(2)：5－6.
SU Xiaowei，JIAN Xingdong，SHI Qingchun. Research of tractor cab vision safety[J]. Tractor & Farm Transporter，2010，37(2)：5－6.（in Chinese）

[4] 汪新伟，葛胜升. 汽车视野设计中视切眼椭圆与包含眼椭圆的差异分析[J]. 工业设计，2019(5)：159－160.
WANG Xinwei，GE Shengsheng. Difference analysis of tangent cutoff eyellipses and inclusive eyellipses in vehicle vision design[J]. Industrial Design，2019(5)：159－160.（in Chinese）

[5] 钱进.《农业拖拉机试验方法》新国标的制订[J]. 拖拉机，1983(5)：43－48.

[6] GILAD I，BYRAN E. Quantifying driver's field-of-view in tractors：methodology and case study[J]. International Journal of Occupational Safety and Ergonomics，2015，21(1)：20－29.（in Chinese）

[7] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 农业拖拉机 试验规程 第 7 部分：驾驶员的视野：GB/T 3871.7—2006[S]. 2006.

[8] 张本领，史仁成，郭雪峰. 驾驶员视野检测过程中有关问题的探讨[J]. 农机质量与监督，2012(4)：34－35.

[9] 北京汽车研究总院有限公司. 驾驶员前视野测量系统及方法：CN201610605154.2[P]. 2018－10－16.

[10] 洛阳西苑车辆与动力检验所有限公司. 一种拖拉机驾驶员前视野测量装置：CN201720273272.8[P]. 2017－10－31.

[11] 南京理工大学. 一种车辆驾驶员前方视野测量装置及方法：CN202011462684.9[P]. 2021－03－09.

[12] 杨秀芳，杨自栋，覃乾，等. 拖拉机驾驶室人机工程学优化设计[J]. 农机化研究，2019，41(12)：250－257.
YANG Xiufang，YANG Zidong，QIN Qian，et al. Ergonomic optimization design of tractor cab[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research，2019，41(12)：250－257.（in Chinese）

[13] 梁海莎，章倩，朱思洪. 基于人体模型的拖拉机驾驶室人机工程学研究[J]. 拖拉机与农用运输车，2012，39(1)：19－22.
LIANG Haisha，ZHANG Qian，ZHU Sihong. Ergonomics study on tractor cab based on manikin[J]. Tractor & Farm Transporter，2012，39(1)：19－22.（in Chinese）

[14] 范振喜，徐允飞，王兴伟，等. 浅谈轮式拖拉机驾驶员视野[J]. 拖拉机与农用运输车，2021，48(4)：51－53，57.
FAN Zhenxi，XU Yunfei，WANG Xingwei，et al. Discussion of visual field of wheeled tractor driver[J]. Tractor & Farm Transporter，2021，48(4)：51－53，57.（in Chinese）

[15] 王启超，秦增志，张文杰，等. 基于 DELMIA 拖拉机驾驶室人机系统静态舒适性分析[J]. 安徽农业大学学报，2022，49(3)：506－513.
WANG Qichao，QIN Zengzhi，ZHANG Wenjie，et al. Static comfort analysis of tractor cab human-machine system based on DELMIA[J]. Journal of Anhui Agricultural University，2022，49(3)：506－513.（in Chinese）

[16] 杨飞，史庆春，万小玲，等. 基于 Pro/E Manikin 的拖拉机驾驶室人机工程评价方法[J]. 农业工程学报，2013，29(9)：32－38.
YANG Fei，SHI Qingchun，WAN Xiaoling，et al. Ergonomics evaluation method of tractor cab based on Pro/E Manikin[J]. Transactions of the CSAE，2013，29(9)：32－38.（in Chinese）

[17] ZVĚŘINA L，CIBULK M，STANĚK L，et al. Analysis of field view from tractor and trailer units using the method of Terrestrial Laser Scanning[J]. Forests，2022，13(9)：1383.

[18] JOFFEE G B，DEMIREL H O. The use of digital human modeling to assess vision obstruction in airport taxi operations[C]// International Conference on Human-Computer Interaction，2024：55－68.

[19] 郭志勇. 嵌入式技术与应用开发项目教程[M]. 北京：人民邮电出版社，2019.

[20] 吕建工. I2C 总线的应用[C]// 中国空间科学学会空间探测专业委员会第二十一届学术会议论文集，2008：560－566.

[21] 刘沪平，王慧敏. 把单片机串口通讯改造为 SPI 通讯接口[J]. 电子世界，2005(9)：32－33.

[22] 袁西霞，岳建华，赵贤任. MATLAB 在中值滤波改进算法中的应用[J]. 广东工业大学学报，2007，24(1)：33－35.
YUAN Xixia，YUE Jianhua，ZHAO Xianren. Application of MATLAB in improved median filtering[J]. Journal of Guangdong University of Technolog，2007，24(1)：33－35.（in Chinese）

[23] 李婷. CAN 总线综述[J]. 数字技术与应用，2010(4)：129－130.
LI Ting. The summarization of the CAN bus[J]. Digital Technology and Application，2010(4)：129－130.（in Chinese）

[24] 张涛，张欣. 三次样条插值在小波去噪中的应用[J]. 计算机应用与软件，2016，33(8)：88－90，98.
ZHANG Tao，ZHANG Xin. Application of cubic spline interpolation in wavelet denoising[J]. Computer Applications and Software，2016，33(8)：88－90，98.（in Chinese）

[25] 洛阳拖拉机研究所. 拖拉机设计手册[M]. 北京：机械工业出版社，1994.

[26] 全国拖拉机标准化技术委员会. 农业拖拉机驾驶员座位装置尺寸：GB/T 6235—2004[S]. 北京：中国标准出版社，2004.