

# 用于超级黑板的可抗震型光电定位系统设计

章佳辉<sup>1,2</sup> 郭华亮<sup>3</sup> 徐志宇<sup>1</sup> 赵明岩<sup>4</sup>

(1. 同济大学电子与信息工程学院, 上海 201804; 2. 博洛尼亚大学电气电子与信息工程学院, 博洛尼亚 40136;  
3. 华东理工大学信息科学与工程学院, 上海 200237; 4. 中国计量大学机电工程学院, 浙江 杭州 310018)

**摘要:** 针对“超级黑板”应用中的定位要求, 开发了一种可抗震型光电定位系统。采用 STM32F103 单片机作为主控芯片, 选用光敏电阻检测光线, 设计了矩阵键盘式电路以节约 I/O 口资源、缩短定位时间; 芯片与电路的配合使系统具备了实时输出数字位置信号的能力。通过卡槽结构和激光头的安装, 使该系统适用于以下工况: 首先, 测量范围较大, 且要求在测量范围内无盲区(整个被测范围内保持一定的精度); 其次, 测量空间狭小且存在一定的震动。样机的实测结果显示, 当测量范围为 2 m 时, 系统测得的位置误差小于  $\pm 0.5$  cm, 即精度可达 0.25%。

**关键词:** 超级黑板; 抗震; 光电定位; STM32; 传感器; 矩阵键盘; 扫描读取

中图分类号: TH-39; TP274

文献标志码: A

DOI: 10.16086/j.cnki.issn1000-0380.201708003

## Design of the Anti-Vibrate Photoelectric Positioning System for Super Blackboard

ZHANG Jiahui<sup>1,2</sup>, GUO Hualiang<sup>3</sup>, XU Zhiyu<sup>1</sup>, ZHAO Mingyan<sup>4</sup>

(1. College of Electronics and Information Engineering, Tongji University, Shanghai 201804, China;

2. Department of Electrical, Electronic and Information Engineering, University of Bologna, Bologna 40136, Italy;

3. Institute of Information Science and Engineering, East China University of Science and Technology, Shanghai 200237, China;

4. College of Mechanical and Electrical Engineering, China Jiliang University, Hangzhou 310018, China)

**Abstract:** In view of the positioning requirement in application of “Super Blackboard”, an anti-vibrate photoelectric positioning system has been developed. Making use of microcontroller STM32F103 as the main control chip; and selecting photosensitive resistance to detect the light; the matrix keyboard circuit is designed to save the resources of I/O ports, and shorten the time of positioning; meanwhile, the cooperation of the chips and the circuits makes the system possess the ability of outputting the digital information of position in real time. With the structure of slots and the installation of the laser head, the system is suitable for following working environments: these are large range of measurement and no blind area exists in the range of measurement (keeping a certain precision in the whole range being measured), and the space of measurement is narrow and a certain vibration exists. The test results of the prototype show that in the case of 2 m measurement range, the system keeps the output error of the position within  $\pm 0.5$  cm, i. e., the precision is up to 0.25%.

**Keywords:** Super blackboard; Anti-vibrate; Photoelectric positioning; STM32; Sensor; Matrix keyboard; Scan reading

## 0 引言

黑板是传统课堂教学中的一种重要教学演示工具。随着多媒体技术的引入, 黑板与多媒体投影配合使用时出现了新问题: ①黑板的有效书写面积因为投影幕的遮盖而减小; ②投影幕所在的位置使教室一侧的同学因为反光而无法看清投影内容。为此, 文献[1]将投影幕与黑板紧密结合, 提出了一种教学用板书投影装置, 简称“超级黑板”。其基本工作原理如

下。将传统的黑板改成同步带和磨砂玻璃的组合, 其中磨砂玻璃(透明)置于同步带前, 用于书写粉笔字。同步带分为白色投影区域和深色黑板背景区域, 当后方为深色黑板投影区域时粉笔字才能被看清。白色投影区域处于同步带中的一个固定位置, 通过同步带转动可以改变白色投影区域相对毛玻璃的位置, 且投影仪跟随转动, 使投影内容实时投影在白色投影区域上; 白色投影区域可以转到同步带背侧, 使整个黑板面全是深色黑板背景区域。

修改稿收到日期: 2017-02-27

基金项目: 浙江省大学生科技创新活动计划基金资助项目(2015R409003)、上海市重点课程建设基金资助项目

作者简介: 章佳辉(1993—), 男, 在读硕士研究生, 主要从事智能控制方向的研究。E-mail: karlzhongh@163.com。

徐志宇(通信作者), 男, 博士, 高级工程师, 主要从事智能控制理论及应用研究。E-mail: xuzhiyu@tongji.edu.cn。

### 1 系统设计背景

为确保投影仪跟随白色投影区域平稳同步移动,关键要解决白色投影区域的精确定位问题。白色投影位置的定位需要在同步带的狭小空间内完成,并在测量范围(黑板的长度)内保持一定的精度;同时,定位过程还存在震动的干扰。

现阶段的定位传感技术广泛采用测距定位的方式。目前,典型的非接触式测距方法有超声波测距、感光耦合元件(charge coupled device, CCD)测距、红外测距、激光测距等<sup>[2]</sup>。其中,超声波测距时传播波速不恒定,回波信号幅值随传播距离增大呈指数规律衰减,且可能存在盲区;因测量距离较长需要多个超声波时,容易产生串扰的问题<sup>[2-3]</sup>。此外,红外测距仪在应用环境中也受局限。和大多数红外测距仪一样,SHARP公司的GP2Y0A02YK0红外距离传感器,测量范围为200~1500mm<sup>[4]</sup>,其应用局限于短距离的测量定位。现阶段的高精度定位方式有:利用扫频试验和建模进行微定位、运用飞秒光频梳频域干涉的绝对测距方法等,均局限于小范围测距,且不能在震动环境下完成测量工作<sup>[5-6]</sup>。

以上测距定位方法对于上述“超级黑板”的环境均不适用。如今用于测距定位的仪器或者系统,有的要求在一定的使用范围内,超出范围误差会明显增大;有的则必须通过曲线拟合来得到相对准确的距离值<sup>[3-8]</sup>。文献[9]中石油井的井径测量,通过设计阈值迭代超声波测距系统提高精度;文献[10]提出了采用新的光纤材料来测量绝对距离,但均是在相对稳定的环境下测量一个限定范围内的距离值<sup>[9-10]</sup>,尚未能得到一个适用于上述“超级黑板”应用情境的定位方案。为此,本文针对“超级黑板”的特殊应用需求,基于光电传感原理,设计了一种可抗震型光电定位系统。

### 2 系统整体设计

本文设计了一种用于“超级黑板”的可抗震型光电定位系统。系统分为硬件和软件两部分,硬件主要包括基于光敏电阻和激光头的传感模块、矩阵键盘式电路、STM32F103微控制器以及激光头卡槽;软件主要指运行在STM32F103微控制器的程序,主要负责位置信号扫描读取、位置信号换算及数字信号输出。硬件的搭建是为了克服震动环境的干扰,使系统在长距离测量的情况下保持一定的精度,以及给软件处理提供必要的前提。其中,传感器的安装包括光敏电阻的排布和激光头的安装,所搭建的矩阵键盘式电路可节

约I/O口资源,并且通过与微处理器的配合缩短定位时间,提高效率。软件设计主要是基于矩阵键盘式电路的扫描函数,并且通过分析从I/O口获得的信号来换算出相应的位置信息,换算后用数字信号输出。可抗震型光电定位系统结构如图1所示。

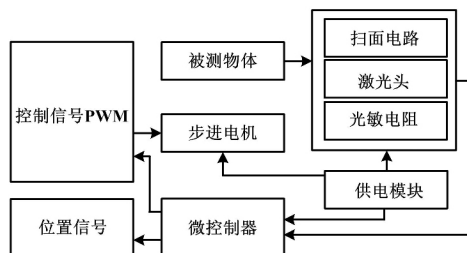


图1 系统结构图

Fig. 1 System structure

### 3 硬件设计

#### 3.1 硬件选择

传感器选择光敏电阻和激光头。光敏电阻在特定波长的光照射下,其阻值会迅速减小,故选取暗电阻较大、亮电阻较小的MG45-22的光敏电阻和5V驱动的点状激光头。激光具有发散角小、时间快、性价比高、实用性强等优点,广泛应用于位移测量、定位系统中<sup>[11]</sup>。

选择STM32F103作为系统的微控制器。它是32位的ARM微控制器,具有Cortex-M3内核,最高工作频率达到72MHz,使系统满足低成本、高精度、高稳定性和高可靠性等要求<sup>[12]</sup>。

#### 3.2 传感器安装

在物体的运动轨迹处依次排布光敏电阻,相邻光敏电阻用不透光的隔板阻隔,光敏电阻的宽度为0.5cm;根据总长度将光敏电阻分为n组,每一组具有相同数量(m个)的光敏电阻;对光敏电阻分别标号,从左向右依次标注 $R_{L,1}$ 、 $R_{L,2}$ 、...、 $R_{L,nm}$ (nm即为光敏电阻的数量)。单个光敏电阻安装示意图如图2所示。

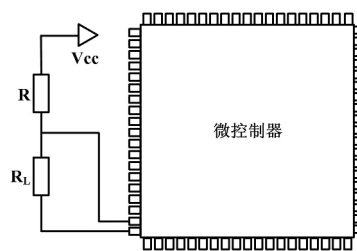


图2 单个光敏电阻安装示意图

Fig. 2 Schematic diagram of the installation of single photoresistance

图 2 中:光敏电阻一端上拉一个电阻,光敏电阻和上拉电阻之间引出一线连接到微控制器的 I/O 口;光敏电阻的另一端引出一线连接到微控制器的 I/O 口。

系统整体安装示意图如图 3 所示。将排布好的光敏电阻放置于一个密封的盒子中,其一侧留出一个卡槽放置激光头,使激光头不会脱落且存在一定的空间允许震动。激光头本身架在卡槽上,其一端固定于移动物体上。光敏电阻在排布后,将引线依次和微控制器的 I/O 口连接。

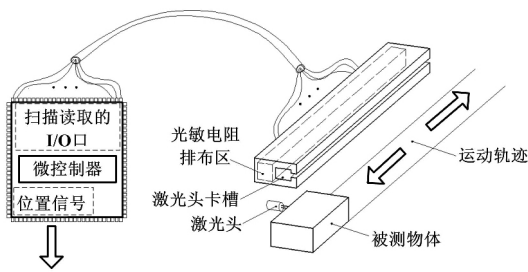


图 3 系统整体安装示意图

Fig. 3 Schematic diagram of overall system installation

### 3.3 矩阵键盘式电路搭建

矩阵键盘式电路节省了 I/O 口的使用数量,能够在 I/O 口有限的情况下,迅速定位到按键按下的位置。该应用普遍用于键盘,故得其名<sup>[13]</sup>。

基于矩阵键盘的优点,本文设计了系统中的传感部分,即矩阵键盘式电路,利用光敏电阻的光电效应取代了原矩阵键盘中的开关按键。矩阵键盘式电路如图 4 所示。

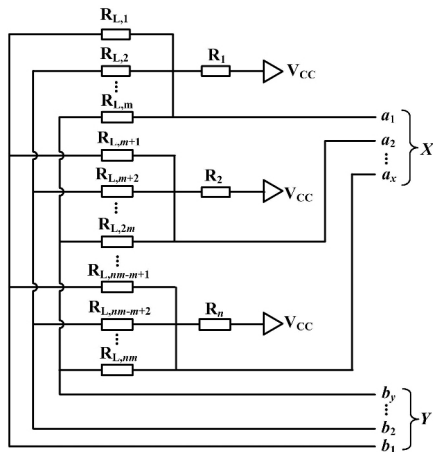


图 4 矩阵键盘式电路图

Fig. 4 Circuit of matrix keyboard

将排布的光敏电阻分成  $n$  组,每组  $m$  个光敏电阻。 $X$  和  $Y$  是分别由光敏电阻的两端形成端口组, $X$  包含的端口用  $a_x$  (第  $x$  组中,电阻和光敏电阻之间引

出的点) 标记, $Y$  包含的端口用  $b_y$  (所有组的第  $y$  个电阻下端连结以后引出的点) 标记,则  $(x, y)$  为唯一确定的位置。本系统选用光敏电阻和激光头的组合,利用了光敏电阻在特定光照下阻值会急剧降低的特性,进行 3.2 节所述传感器的安装。则激光头跟随物体移动的过程中,所照射的光敏电阻阻值急剧降低,而未照射到的电阻阻值远远大于上拉电阻。即光敏电阻受到照射时,若  $Y(b_1, b_2, \dots, b_y)$  端口全部置 0,则  $X(a_1, a_2, \dots, a_x)$  端口中,被照射的光敏电阻所处的位置电压接近于 0,其余为高;若  $X(a_1, a_2, \dots, a_x)$  端口全部置 0,则  $Y(b_1, b_2, \dots, b_y)$  端口中,被照射的光敏电阻所处的位置电压接近于 0,其余为高。于是,上拉电阻端的电压  $V_{CC}$  选择单片机可以承受的电压,便可以通过读取单片机 I/O 口的高低电平判断出光敏电阻阻值的变化,这样光敏电阻便可以看作是一个矩阵键盘的“按键”。综上所述,通过安装光敏电阻,可以形成一个矩阵键盘式的电路,具体扫描和定位详见 4.1。

## 4 软件设计

### 4.1 扫描读取位置

光敏电阻两端分别可以引出端口组  $X(a_1, a_2, \dots, a_x)$  和  $Y(b_1, b_2, \dots, b_y)$ 。

扫描程序流程如图 5 所示。

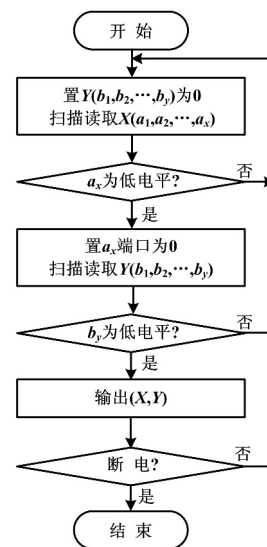


图 5 扫描程序流程图

Fig. 5 Flowchart of scanning program

软件设置一个扫描周期,每过一段时间扫描矩阵键盘式电路引出的 I/O 口。若一个光敏电阻阻值发生变化(即激光头跟随物体运动到相应位置,该光敏电阻受到激光头照射),则设置  $Y(b_1, b_2, \dots, b_y)$  端口组所

有端口的电压为 0 相应的  $a_x$  端口电压被拉低 其余为高。故通过扫描读取  $X(a_1, a_2, \dots, a_x)$  端口组就可以找到相应的  $a_x$  端口, 然而  $a_x$  端口连接着一组光敏电阻 具体确认需要置  $a_x$  端口( 仅此一个) 为 0, 扫描读取  $Y(b_1, b_2, \dots, b_y)$  端口组, 可以找到相应的  $b_y$  端口的电压为 0, 其余端口为高。由此即可得到唯一确定的  $(x, y)$ 。该点即为阻值变化的光敏电阻所在点, 也是被测物体的位置。

4.2 位置信号换算及数字信号输出

在排布光敏电阻时, 给每一个光敏电阻编号, 则  $(x, y)$  为确定位置。根据图 4 的光敏电阻排布, 令上起为 0 点, 从上到下依次排序, 每个光敏电阻宽度为 0.5 cm, 即相邻 2 个光敏电阻的中心位置间距为 0.5 cm, 且每组有  $m$  个光敏电阻, 共有  $n$  组。相邻光敏电阻用不透光的隔板阻隔, 当激光照射到一个光敏电阻, 即该光敏电阻的 2 个相邻隔板之间时, 记被测物体所在的位置为该光敏电阻的中心位置。被测物体所在的位置  $P$  可表达为:

$$P = 0.5 [(x - 1)m + (y - 1)n] + 0.25 \quad (1)$$

式中:  $x, y$  分别为被照射位置所对应的 2 个端口组的编号  $x \in \{1, 2, \dots, n\}$   $y \in \{1, 2, \dots, m\}$ 。

当激光恰巧照射在某一个隔板上, 隔板 2 侧的光敏电阻均受到照射, 则被测物体所在位置取 2 个光敏电阻中心位置的平均值。此时  $P$  可表达为:

$$P = 0.5 \{ [(x_1 - 1)m + (y_1 - 1)n] + [0.5(x_2 - 1)m + (y_2 - 1)n] + 0.5 \} \quad (2)$$

式中:  $x_1, y_1$  为被照射的 2 个光敏电阻中距离 0 点较近的光敏电阻;  $x_2, y_2$  为较远的光敏电阻。

由 STM32 完成扫描信号的给定、公式的运算、数字信号的输出等操作。STM32 具有 32 位的 Cortex - M3 内核, 最高工作频率达到 72 MHz。它不仅能快速扫描电路, 还能迅速计算出数字信号位置  $P$ ; 可以选择通过接口输出, 例如串口、液晶屏和蓝牙等, 也可以直接通过单片机进行控制操作来修正位置偏差, 例如输出 PWM 信号、控制指令等。

5 样机制作与性能测试

本文介绍的系统涉及一种新颖的传感器应用, 其将光敏电阻、激光头和矩阵键盘结合, 可以在较大的被测范围内输出被测物体的位置。

根据本文的内容制作样机。样机将测试长度选为 2 m, 随机选取 24 个测量点, 通过卷尺测量得到真值, 控制器通过串口输出到上位机的值为测量值, 并且通过计算得到绝对误差。样机测试试验结果如表 1 所示。

表 1 样机测试试验结果

Tab. 1 Experimental results of the prototype test cm

测量序号	真值	测量值	绝对误差	测量序号	真值	测量值	绝对误差
1	0.7	0.75	0.05	13	118.7	118.75	0.05
2	8.7	8.75	0.05	14	124.6	124.25	-0.35
3	15.6	15.75	0.15	15	135.2	135.25	0.05
4	21.2	20.75	-0.45	16	138.5	138.75	0.25
5	30.5	30.50	0.00	17	146.8	146.75	-0.05
6	37.1	37.25	0.15	18	153.2	153.25	0.05
7	44.2	44.25	0.05	19	165.4	165.25	-0.15
8	50.9	50.75	-0.15	20	168.1	168.25	0.15
9	67.9	67.75	-0.15	21	179.0	179.00	0.00
10	74.7	74.75	0.05	22	188.4	188.25	-0.15
11	83.3	83.25	-0.05	23	199.2	199.25	0.05
12	95.6	95.75	0.15	24	200.0	199.75	-0.25

测量点绝对误差分布图如图 6 所示。

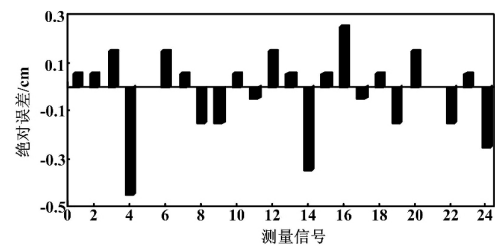


图 6 测量序号点绝对误差分布图

Fig. 6 Distribution of the absolute errors of test points

经过分析, 发现测试过程中出现了 3 个异常点( 测量序号为 4、14、16), 即激光头发生了偏转, 没能正确照射到相应位置的光敏电阻, 但绝对误差仍保持在  $\pm 0.5$  cm 范围以内。由此可知, 样机中传感部分的位置误差小于  $\pm 0.5$  cm, 分辨率为 0.5 cm。

本文设计制作的样机将“超级黑板”作为测试环境, 选取了 2 m( 黑板长度) 的被测范围, 即将黑板中投影区域作为测试对象, 其位置作为测试的主要参数。测试条件为: 额定工作电压为 12 V 的步进电机带动的同步带转动, 测得其精度约等于 0.25%, 同样满足上述的误差范围和分辨率。文献 [14] 中提到的缝隙搜救机器人利用重建轨迹与模拟废墟的定位方法, 在长为 3.4 m 的测量范围内精度达到 20 cm 以内。比较得出, 本文在精度方面得到了显著的提升。在样机的工作中, “超级黑板”的同步带在步进电机的驱动下存在一定的震动, 样机仍能不受影响地测量, 满足抗震性的要求。经过样机测试, 以 STM32 为核心的控制器结合矩阵键盘式电路, 缩短了位置测量的时间, 达到了实时输出位置信号的要求, 运行高效且价格低廉。样机克服了文献 [2] 中所述的传感器部分局限, 较好地解决了“超级黑板”中白色投影区域精确定位的问题。

## 6 结束语

针对“超级黑板”应用时所涉及的现阶段定位传感技术的缺陷(如测量范围短,且存在盲区;非线性特点影响测量;测量时要求稳定的环境,不能存在震动干扰等),分析了现阶段常用的测距定位传感器,设计开发了一种可抗震型光电定位系统。该系统可适用于测量范围较大且要求在测量范围内无盲区(整个被测范围内保持一定的精度),或测量空间狭小且存在一定的震动的特殊应用环境。本系统通过光敏电阻的排布形成矩阵键盘式电路,节约了 I/O 口的资源;设计了放置激光头的卡槽,使被测物体可以存在一定范围的震动;并且通过软件设计达到了实时输出数字位置信号的功能。制作样机,选取 2 m 的测试范围,系统位置误差能保持在  $\pm 0.5$  cm 的范围以内,且保持约为 0.25% 的精度。该系统还存在缺陷,即其误差受光敏电阻本身体积限制,且物体震动范围不能过大。因此下阶段,一方面可以寻找体积更小,光电效应更良好的光敏电阻;另一方面,可以改进激光头卡槽的结构以提高抗震的效果。

### 参考文献:

- [1] 王鲁旭. 教学用板书投影装置:201410727124. X [P]. 2015-02-25.  
 [2] 李戈, 孟祥杰, 王晓华. 国内超声波测距研究应用现状[J]. 测绘科学, 2011, 36(4): 60-62.

### (上接第 4 页)

- [10] 邱恒, 刘满禄, 张华. 基于模糊 PD 算法的三自由度机械手遥操作双边控制[J]. 自动化与仪表, 2016, 31(9): 11-16.  
 [11] 刘卫东, 张建军, 高立娥. 水下机械手主从遥操作双边控制策略[J]. 西北工业大学学报, 2016, 34(1): 53-58.  
 [12] 金俊凯, 俞立, 张文安. 机械手遥操作系统的时延补偿自抗扰控制[J]. 江南大学学报(自然科学版), 2015, 14(6): 723-729.

### (上接第 8 页)

## 4 结束语

本文设计的基于 ZigBee 的森林防火系统可以采集 4 种环境参数,且传感器模块具有可扩展性。无线网络的拓扑结构采用基于六边形的控制部署和多协调器来代替传统的一对多的方式,保证了系统具有覆盖面积广、低功耗和高可靠性的优点<sup>[8]</sup>。本设计中的森林防火系统硬件电路设计简单,可集成度高,可扩展性强;系统节点的软件设计结构合理,数据通信采用组播的方式,数据传送的过程中数据加入辨别标志,数据传输的可靠性高。本系统中监控界面具有简洁、适用和可操作性强的特点。系统已进行了实地试验。试验结果表明,其性能稳定,可推广使用。

- [3] 张松, 张亚. 基于 m 序列的无串扰超声波测距系统[J]. 电子测量技术, 2015, 38(10): 22-27.  
 [4] 马宏平, 蒋励, 宋竹青. 多方向红外测距新型智能导盲杖[J]. 光学仪器, 2012, 34(5): 84-88.  
 [5] 糜小涛, 于宏柱, 高键翔. 大型衍射光栅刻划机微定位系统控制器设计[J]. 仪器仪表学报, 2015, 36(2): 473-480.  
 [6] 安慰宁, 张福民, 吴翰钟. 一种基于飞秒光频梳频域干涉的绝对测距方法[J]. 仪器仪表学报, 2014, 35(11): 2458-2465.  
 [7] HUANG Y, ZHOU C. Overview on optical measurements of shaft diameter detection [C]//Proceedings of International Conference on Information Sciences, Machinery, Materials and Energy (ICISMM 2015) 2015:953-956.  
 [8] 沙爱军. 基于单片机的超声波测距系统的研究与设计[J]. 电子科技, 2009, 22(11): 57-61.  
 [9] 李胜, 倪卫宁. 阈值迭代超声波测距系统设计[J]. 自动化仪表, 2014, 35(2): 24-26.  
 [10] DUAN F J, YANG B, YE S H. New optic fiber interferometer system for absolute distance measurement [C]//Proceedings of the Second International Symposium on Instrumentation Science and Technology 2002.  
 [11] 周美丽, 白宗文. 基于 2D-PSD 的激光位移测量系统设计[J]. 国外电子测量技术, 2015, 34(2): 64-66.  
 [12] 毕继耀, 张大伟, 杨海马. 线阵 CCD 光谱分辨率检测系统设计[J]. 电子测量与仪器学报, 2015, 29(7): 1086-1092.  
 [13] 郑采君. 基于 CPLD 的矩阵键盘扫描模块设计[J]. 电子设计工程, 2010, 18(10): 169-175.  
 [14] 邱亚, 沈林勇, 胡卫建. 缝隙搜救机器人镜体的形状重建和定位方法[J]. 仪器仪表学报, 2015, 36(12): 2782-2789.

- [13] ZHENG M, CHEN Q H, XIAO W et al. Bilateral teleoperation with reducing wave-based reflections [J]. Advances in Manufacturing 2013, 11(23): 288-292.  
 [14] 刘威, 宋爱国. 基于虚拟现实的力觉临场感系统及其稳定性分析[J]. 仪器仪表学报, 2006, 27(S2): 1090-1093.  
 [15] 田小锋, 黄惟一, 宋爱国, 等. 力觉临场感遥操作机器人系统的时延稳定性分析[J]. 制造业自动化, 2001, 23(8): 15-17.

### 参考文献:

- [1] 贾杰. 无线传感器网络覆盖控制与节点部署技术[M]. 沈阳: 东北大学出版社, 2013.  
 [2] 叶光. 传感器网络覆盖控制问题研究[D]. 北京: 北京理工大学, 2016.  
 [3] 赵文涛. 无线传感器网络节点部署及数据收集技术研究[D]. 南昌: 华东交通大学, 2016.  
 [4] 余闯, 商飞, 孔德仁. 无线视觉传感器网络的节点设计[J]. 测控技术, 2017(2): 96-98, 103.  
 [5] 袁甜甜. 多汇聚节点无线传感器网络关键技术研究[D]. 天津: 南开大学, 2012.  
 [6] 张金强. 基于无线传感器的森林火灾定位方法研究[D]. 吉林: 东北电力大学, 2016.  
 [7] 王小强, 欧阳骏, 黄宁淋. ZigBee 无线传感器网络设计与实现[M]. 北京: 化学工业出版社, 2012.  
 [8] 周莲英, 蒋大飞. 基于正六边形的无线传感器网络边界部署技术研究[J]. 无线通信技术, 2014(2): 29-33.