

基于 STM32F103 单片机的手持式多功能照度计设计方案

陈国华, 徐建军, 莫一闻, 朱余康, 秦大为
(盐城师范学院电光源检测技术研究所, 江苏 盐城 224002)

摘要: 本文介绍一款基于 STM32F103 单片机为核心的手持照度计, 该仪器可实现 0~3000 lx 范围内的照度快速测量, 自动切换照度量程, 并可以自动储存、调阅测量参数, 同时仪器具有同步采集环境温度、湿度参数等功能。文章着重阐述了仪器的总体设计思想, 硬件设计方案, 软件的工作流程以及仪器的主要技术参数和仪器的使用情况。

关键词: 手持式照度计; 路灯照明检测; 自动量程切换; 高精度采样; 数据存储; 温湿度同步监测

中图分类号: TM923.07

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1002-6150.2026.07.015

Design Scheme of Handheld Multifunctional Illuminance Meter Based on STM32F103 Microcontroller

CHEN Guohua, XU Jianjun, MO Yiwen, ZHU Yukang, QIN Dawei

(Institute of Electric Light Source Testing Technology, Yancheng Teachers University, Yancheng 224002, China)

Abstract: This paper presents a high-precision handheld illuminance meter with the STM32F103 microcontroller as its core. The instrument is capable of rapid illuminance measurement within the range of 0~3000 lx, automatic switching of illuminance ranges, and can automatically store and retrieve measurement parameters. Meanwhile, it features functions such as synchronous collection of ambient temperature and humidity parameters. The paper focuses on elaborating the overall design concept, hardware design scheme, software workflow, main technical parameters, and practical application of the instrument.

Keywords: handheld illuminance meter; streetlamp illumination detection; automatic range switching; high-precision sampling; data uploading; synchronous temperature and humidity monitoring

0 引言

城市道路照明是保障夜间交通安全、提升城市宜居品质的重要基础设施, 路灯照度作为衡量道路照明质量的核心指标, 其达标情况直接关系到行车安全、行人出行的便捷性及城市能耗精细化的管理^[1]。根据《城市道路照明设计标准》(CJJ 45—2015)相关要求, 城市主干道、次干道、支路的夜间平均照度需分别达到 30 lx、20 lx、10 lx 以上, 且照度均匀度需达到对应规范要求, 因此, 高效、精准的道路路灯照度现场

检测是市政维护部门的核心工作内容之一, 照度计是其主要测量仪器。本文设计一款手持式多功能照度计, 以 STM32 单片机为核心控制单元, 整合高精度的 AD 转换, 实现采样速度快、量程自动切换、可同步采集环境温湿度数据、存储与串口通讯等功能。从硬件设计、软件工作流程、仪器技术参数和仪器使用情况等三个方面来展开阐述。结合国内其他同类产品的设计经验, 最终形成可直接投入实际应用的手持检测设备, 为城市道路路灯照度检测提供高效、经济、便捷的检测仪器^[1]。

作者简介: 陈国华, 助理工程师。主要从事城市道路照明检测工作。

通讯作者: 秦大为, 教授。主要从事道路照明教学、科研工作。

1 系统总体设计方案

本手持照度计采用“采集 + 信号处理 + 单片机控制 + 传输交互”的模块化设计思路，如图 1 所示，以单片机 STM32F103C8T6 作为核心控制单元，控制各功能模块协同工作，实现照度高频采样、温湿度同步检测、自动量程切换、高精度采样、数据存储与上传、按键控制与实时显示等核心功能。系统总体架构分为硬件层与软件层，其中硬件层负责信号采集、稳定供电与数据传输，软件层负责信号处理、逻辑控制与各项功能的落地实现，整体设计严格遵循“小型化、低功耗、高精度、高便捷”的原则，充分适配手持路灯现场检测的应用场景，系统设计工作流程如图 1 所示^[2]。

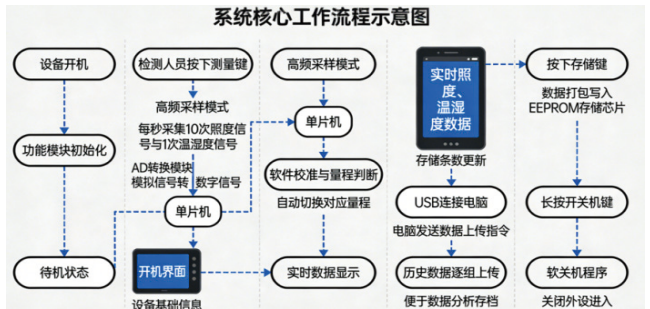


图 1 系统设计工作流程示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the system workflow

目前，市场多款照度检测仪器，传感器采用光敏管和硅光电二极管，只含有照度值测量且需分级换挡，同时采集速度慢（2.0 次 / 秒），也无温度、湿度测量功能。平台采用 STM32+BH1750+ADS1115+DHT11 组合测量的方式，提升采样的精度和信噪比，并且存

储采用“EEPROM 固定帧 + CRC16 校验”方式，保证数据储存的可靠，本设计提升了采集速度，且在 0-3000 lx 以内无需换挡，自动测量，并且有温度、湿度测量。

2 硬件系统设计

2.1 硬件总体架构

硬件总体架构图如图 2 所示，硬件系统由主控单片机芯片、照度传感器与 AD 转换模块、温湿度传感器、电源管理模块、串口通讯模块、数据存储模块、按键控制模块、显示模块 8 个核心部分所组成，各模块互相连接，单片机实时处理数据，协同完成仪器系统功能。

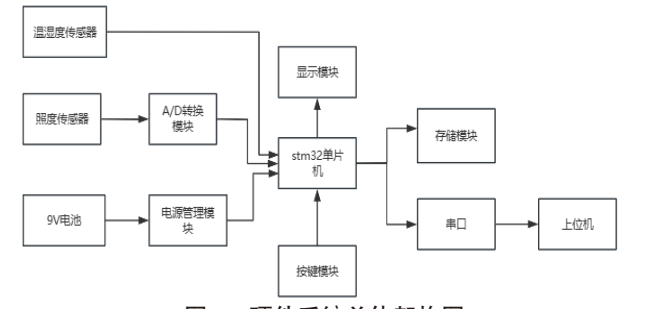


图 2 硬件系统总体架构图

Fig. 2 Overall architecture diagram of the hardware system

2.2 硬件原理图与样机

图 3 所示为系统硬件电路，包含主控模块、电源管理模块、采集模块、通讯模块及储存模块五大核心部分，本设计采用模块化设计确保信号完整性与系统的可扩展性^[3]。

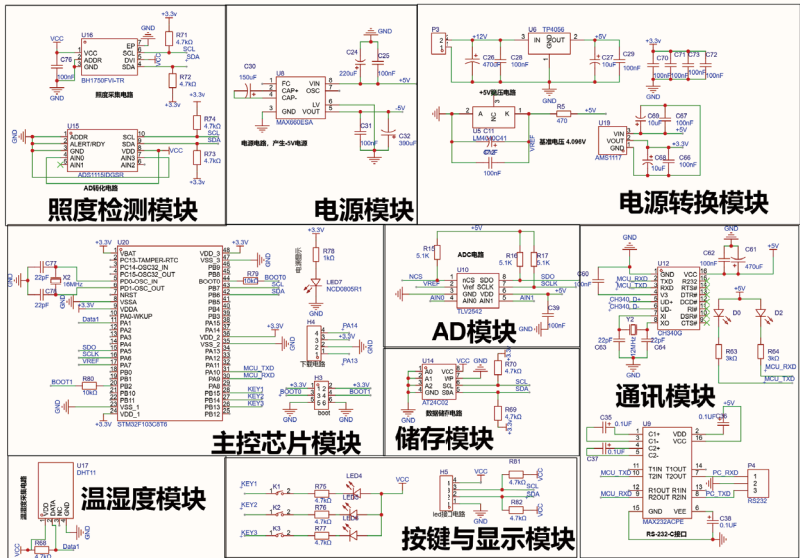


图 3 硬件电路图

Fig. 3 Hardware circuit diagram

设计方案的样机实物图,如图4所示。

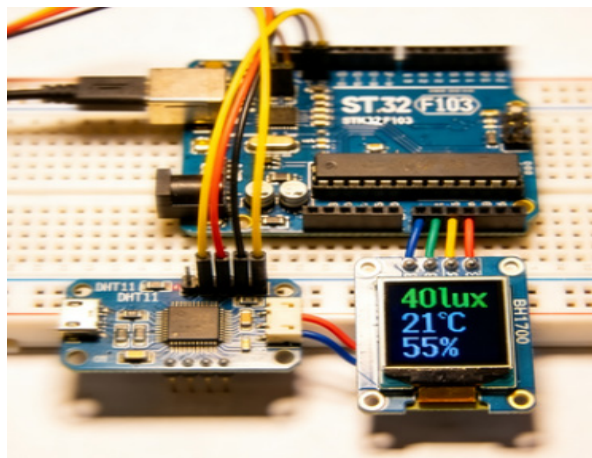


图4 照度计实物图

Fig. 4 Physical diagram of the illuminance meter

2.3 核心模块设计与选型

2.3.1 主控模块

主控模块选用 STM32F103C8T6 单片机作为系统的核心控制单元,该芯片基于 ARM Cortex-M3 内核,工作主频可达 72 MHz,内置 128KB Flash 存储空间,集成 USART、I2C、定时器等丰富的外设资源,符合系统高频采样、多任务并行处理与多模块协同控制的需求。其主要优势在于体积小、功耗低、运算速度快、性价比高,技术成熟,便于软件编程与后续功能扩展,完全适配手持检测设备的小型化设计。

2.3.2 照度采集与 AD 转换模块

该模块是保证仪器测量精度与采样频率的核心,本文采用“照度传感器+AD 转换芯片”的组合设计方案,有效提升信号采集的精度与效率,AD 转换模块选用 ADS1115,16 位高精度 AD 转换芯片,该芯片的最高采样频率可达 860 次/秒,远高于系统预设的 10 次/秒采样要求,具备可调节增益放大的功能,增益调节范围为 1~16 倍,为系统自动量程切换功能提供可靠的硬件支撑。技术参数满足高频采样需求。

照度传感器选用 BH1750FVI 数字照度传感器,该传感器的光谱响应特性好,传感器测量范围覆盖 0~65535 lx,分辨率可达 1 lx,信号响应时间 ≤ 10 ms,通讯方式采用 I2C 总线,无需额外设计外围校准电路,集成度高、功耗低,可直接输出数字信号,有效减少信号传输过程中的干扰,进一步提升采集精度。

2.3.3 温湿度采集模块

为实现环境温湿度参数的同步监测,辅助判断

路灯工作环境对于照度测量精度的影响,仪器选用 DHT11 数字温湿度传感器,该传感器具备集成度高、成本低廉、功耗低的优势,无需设计复杂的外围电路即可稳定工作。技术参数如下:

温度: 0~50 $^{\circ}\text{C}$, 测量误差 $\leq \pm 0.5$ $^{\circ}\text{C}$;

湿度: 20%~90%RH, 测量误差 $\leq \pm 3\%$ RH;

通讯方式: 单总线。

2.3.4 电源管理模块

考虑到设备为手持便携设计,系统采用锂电池供电方案,选用 9 V/2000 mAh 锂电池作为供电电源,搭配 TP4056 充放电芯片与 AMS1117-5V 稳压芯片,组成完整的电源管理模块,实现锂电池充放电管理、电压稳压输出与低电量提醒功能,确保系统稳定供电,充分符合长时间测量需求。

2.3.5 串口通讯模块

为实现测量结果上传至电脑进行后续数据整理、存档分析,系统选用 CH340 串口转 USB 芯片,该芯片可将单片机的 USART 串口信号转换为 USB 信号,实现单片机与电脑之间的双向数据通讯,通讯波特率 9600 bps,数据传输稳定、误码率低,支持主流操作系统 Windows、Linux 等,无需额外安装驱动程序。

2.3.6 数据存储模块

系统选用 AT24C02 EEPROM 存储芯片,该芯片采用 I2C 总线接口,存储容量 2KB,可存储 ≥ 1000 组测量数据,具有掉电数据可保存的优势,功耗低、读写速度快,可反复擦写 ≥ 100 万次,满足道路路灯现场检测数据的存储需求。

2.3.7 按键交互模块

按键交互模块设计 3 个独立按键,分别对应开关机、测量、存储三大核心功能,电路采用上拉电阻接 STM32 单片机 GPIO 引脚进行检测,软件程序采用延时消抖算法,消除按键抖动导致的误触发,确保操作的可靠性。

3 软件系统设计

软件系统基于 Keil5 MD 开发环境,采用 C 语言模块化编程思想,以“分工明确、逻辑清晰、高效稳定”为核心设计理念,围绕硬件各功能模块实现对应的软件功能,通过主程序统筹协调各模块有序工作,确保系统各项功能稳定实现,实现预设的设计目标。

3.1 软件总体流程图

软件总体流程图如图 5 所示, 系统上电后, 首先自动完成各功能模块初始化操作, 初始化完成后, LED 屏幕显示开机界面信息, 系统进入待机状态; 单片机实时扫描按键引脚电平, 判断是否有按键触发信号: 若检测到开关机键触发, 执行软关机程序, 系统进入低功耗状态; 若检测到测量键触发, 开始照度检测工作, 若检测到存储键触发, 将当前测量数据写入存储芯片, 并同步更新存储数据。

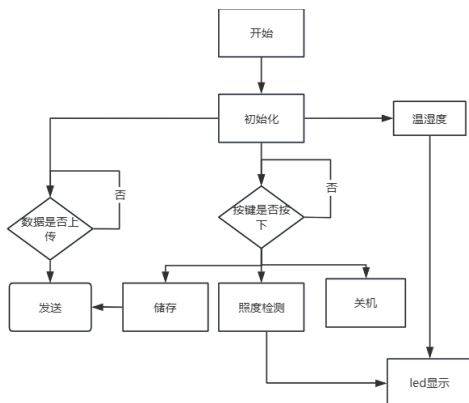


图 5 软件总体流程图

Fig.5 Overall flowchart of the software

3.2 自动量程切换

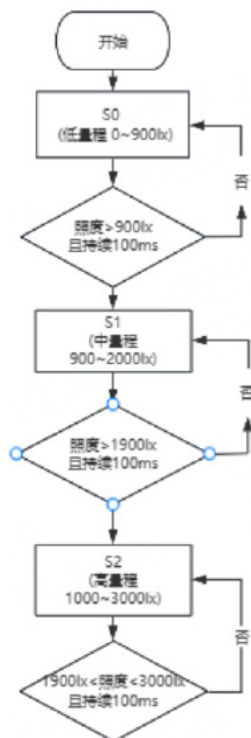


图 6 自动量程切换算法

Fig. 6 Automatic Range Switching Algorithm

自动量程切换 (如图 6 所示) 是软件程序中关键

算法, 系统采取了阈值判断实现自动量程切换的功能, 配合软件 100 ms 延时消抖, 滤除瞬间的强光和抖动引起的误触发。自动量程切换程序的代码部分展示如图 7。

```

1 // 量程状态枚举
2 enum RangeStatus { LOW_RANGE = 0, MID_RANGE = 1, HIGH_RANGE = 2 };
3 // 切换阈值定义
4 #define THD_LOW2MID 900 // 低转中阈值
5 #define THD_MID2HIGH 1900 // 中转高阈值
6 #define THD_HIGH2MID 2100 // 高转中阈值
7 #define THD_MID2LOW 1100 // 中转低阈值
8 #define STABLE_DELAY 100 // 防抖延时(ms)
9
10 RangeStatus current_range = LOW_RANGE;
11 uint32_t stable_timer = 0;
12
13 // 自动量程切换函数
14 void AutoRangeSwitch(uint16_t lux_value)
15 {
16     switch(current_range)
17     {
18         case LOW_RANGE:
19             if(lux_value > THD_LOW2MID)
20             {
21                 stable_timer += 10;
22                 if(stable_timer >= STABLE_DELAY)
23                 {
24                     current_range = MID_RANGE;
25                     ADS1115_SetGain(MID_RANGE);
26                     stable_timer = 0;
27                 }
28             }
29     }
30 }
  
```

图 7 自动量程算法程序

Fig.7 Screenshot of the software code section

3.3 数字滤波算法

如图 8 所示, 是低通数字滤波算法部分的程序, 针对光照信号波动与电路噪声, 在保留有效信号的同时抑制高频干扰, 保证显示平滑稳定。

```

1 // 一阶低通数字滤波
2 float FirstOrderLowPassFilter(float input, float *last_output)
3 {
4     const float alpha = 0.1f;
5     *last_output = alpha * input + (1.0f - alpha) * (*last_output);
6     return *last_output;
7 }
8
9 // 照度滤波调用示例
10 void LuxFilterProcess(void)
11 {
12     float lux_raw = BH1750_GetLux(); // 原始照度值
13     static float lux_filtered = 0.0f; // 滤波后照度值
14     lux_filtered = FirstOrderLowPassFilter(lux_raw, &lux_filtered);
15 }
  
```

图 8 软件代码部分截图

Fig. 8 Screenshot of the software code section

3.4 EEPROM 数据帧格式与校验

存储芯片选用 AT24C02, EEPROM 单组数据帧格式采用固定帧长和 CRC16 校验的方式, 保证数据掉电不丢失、读取数据可靠, 单组数据长度为 8 字节, 可存储 250 组测量数据, 表 1 所示是 EEPROM 数据帧格式定义表。

表 1 数据帧格式定义表
Table 1 Definition of data frame format

偏移地址	0x00	0x02	0x03	0x04	0x05	0x07
名称	照度值	温度值	湿度值	量程状态	CRC16 校验码	保留位

4 系统性能测试与验证

为验证本文设计的手持路灯照度计的性能是否满足预设设计要求与实际应用需求，搭建标准测试环境，参照 JJF 1989—2022《光谱照度计校准规范》，对设备的采样频率、测量精度、自动量程切换、温湿度测量等关键指标进行全面测试与验证，明确本设计的优势。

4.1 测试环境及设备

测试环境：搭建两种测试环境，分别为标准暗室（可精准控制照度，无外界光线干扰）与城市主干道路灯现场（实际检测场景），在符合标准的湿度和温度下，搭建测量环境。配合标准照度计等多种测试设备，确保测试结果的稳定。

4.2 测试项目与结果

4.2.1 对标测试

根据 JJF 1989—2022《光谱照度计校准规范》在符合暗室温度 21℃、湿度 50% RH 情况下进行标准光源和一级照度计的数据对比，测试结果如表 2 所示^[4]。

表 2 对标测试表格
Table 2 Benchmarking test table

标准值 (lx)	测量值 (lx)	示值误差 (lx)	允许误差 (%)	合格
100	99.2	-0.80	±3	合格
500	498.1	-1.9	±3	合格
1000	997.8	-2.2	±3	合格
2000	1997.5	-2.5	±3	合格

4.2.2 采样速度测试

分别在暗室和室外道路对系统的采样速度进行测试，结果见表 3。

表 3 采样测试表
Table 3 Sampling test table

测试条件	设定采样 次数	实际完成实 验次数	采样频率 (次/秒)	结果判定
暗室恒定照度 (200 lx)	10 次	10 次	10	符合要求
道路室外照度 (1000 lx)	10 次	10 次	10	符合要求

4.2.3 路灯现场照度比对数据

盐城市开放大道，39 号、45 号、57 号、63 号、73 号灯杆下进行现场测试，其数据如表 4 所示。

表 4 路灯现场照度对比
Table 4 Comparison chart of on-site illuminance of street lamps

灯杆号	标准照度计测 量值 (lx)	实验样机测量 值 (lx)	差值 (lx)
39 号	41.4	41.0	-0.4
45 号	38.7	38.4	-0.3
57 号	31.2	29.9	-0.3
63 号	43.8	43.3	-0.5
73 号	38.4	38.0	-0.4

5 结论

本文设计的基于 STM32 单片机的手持照度计的方案，通过硬件选型优化与软件功能设计，实现了 10 次/秒的高频采样、0~3000 lx 自动量程切换，同时集成温湿度检测、数据存储与串口上传的功能，该仪器在精度、响应速度、功能完整性上达到了仪器的设计要求，能够满足道路路灯照度检测需求，具有一定的实用价值与推广前景。

参 考 文 献

[1] 住房和城乡建设部. CJJ 45—2015 城市道路照明设计标准[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2015.

[2] 秦大为. 道路照明测量技术[M]. 南京: 南京大学出版社, 2021: 160-165.

[3] 罗志远, 张涛, 许骏. 基于 STM32 的多通道照度计的设计[J]. 传感技术学报, 2026, 39(2): 261-266.

[4] 全国光学计量技术委员会. JJF 1989—2022 光谱照度计校准规范[S]. 北京: 中国计量出版社, 2022.