

面向物联网的低功耗电子信息采集终端设计与实现

陈 鹏
中智青岛经济技术合作有限公司 山东青岛 266000

摘 要：随着物联网技术的飞速发展，大量设备需要接入网络进行数据交互。低功耗电子信息采集终端作为物联网的关键前端设备，对于实现物联网的广泛应用具有重要意义。本文详细阐述了一种面向物联网的低功耗电子信息采集终端的设计与实现方案。通过合理的硬件选型、优化的电路设计以及高效的软件算法，有效降低了终端的功耗，提高了数据采集与传输的效率。该终端在实际应用中表现出良好的性能，能够满足物联网场景下对设备低功耗、长续航的需求。

关键词：物联网；低功耗；电子信息采集；STM32；NB-IoT

引言

物联网（IoT）作为新一代信息技术的重要组成部分，正深刻改变着人们的生活和生产方式。在物联网架构中，电子信息采集终端负责感知和采集各种环境数据，并将其传输至云端或其他处理中心。然而，由于物联网设备数量庞大，且许多设备部署在难以频繁更换电池的环境中，如野外监测、地下设施等，因此低功耗成为电子信息采集终端设计的关键指标。低功耗设计不仅可以延长设备的电池续航时间，降低维护成本，还能减少对环境的影响，提高系统的稳定性和可靠性^[1]。本文旨在设计一种高性能、低功耗的电子信息采集终端，以满足物联网大规模应用的需求。

1 系统总体设计

1.1 设计目标

本设计旨在实现一个低功耗的电子信息采集终端，能够实时采集多种环境参数，如温度、湿度、光照强度等，并通过无线通信模块将数据可靠地传输至物联网平台。终端具体设计目标如下表所示：

设计维度	具体指标
低功耗	在保证功能正常运行的前提下，采用 1000mAh/3.7V 锂电池供电时，单次充电续航时间不低于 12 个月，休眠状态功耗控制在 50 μ A 以内，以延长电池使用寿命
高精度数据采集	能够准确采集各类环境参数，温度测量范围 -20℃~60℃，误差不超过 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ；湿度测量范围 20%~90%RH，误差不超过 $\pm 2\%$ RH；光照强度测量范围 0~100000lux，误差不超过 $\pm 5\%$ ，满足实际应用的精度要求
可靠的无线通信	支持稳定的无线通信协议，在信号强度 $\geq -105\text{dBm}$ 时，数据传输成功率不低于 98%；在信号强度 $-110\text{dBm} \sim -105\text{dBm}$ 时，数据传输成功率不低于 95%，确保数据传输的准确性和及时性
易于扩展	具备良好的扩展性，预留 2 个 I2C 接口、3 个 GPIO 接口和 1 个 SPI 接口，支持即插即用的传感器扩展，方便添加新的传感器或功能模块

1.2 系统架构

系统主要由数据采集模块、微控制器单元（MCU）、无线通信模块和电源管理模块组成，其架构及各模块功能如下表所示：

模块	功能描述	核心组件
数据采集模块	负责采集温度、湿度、光照强度等环境数据，将物理量转换为电信号或数字信号	DHT11 温度传感器、HIH-4000 湿度传感器、BH1750 光照传感器、信号调理电路
微控制器单元（MCU）	对采集到的数据进行滤波、校准、存储和加密处理，控制各模块的工作时序，实现低功耗管理策略	STM32L476 微控制器、片内 Flash 和 SRAM、实时时钟（RTC）
无线通信模块	将处理后的数据通过无线方式传输至物联网平台，支持远程配置和固件升级	NB-IoT 模块 BC95、高增益陶瓷天线、阻抗匹配电路
电源管理模块	对系统电源进行管理，实现低功耗控制，为各模块提供稳定的工作电压，监测电池电量	锂电池、LDO 稳压器 XC6206、电源开关电路、电池电量检测电路

2 硬件设计

2.1 微控制器选型

选择意法半导体（STMicroelectronics）的 STM32L 系列微控制器，如 STM32L476。该系列基于 ARM Cortex-M4 内核，具有以下优势：①低功耗：支持多种低功耗模式，如睡眠模式、停止模式和待机模式，可有效降低系统功耗。在待机模式下，功耗可低至数微安。②高性能：运行频率高达 80MHz，能够快速处理传感器采集的数据。③丰富的外设接口：具备多个通用输入输出（GPIO）引脚、模拟数字转换器（ADC）、通用异步收发传输器（UART）、串行外设接口（SPI）和集成电路总线（I2C）等接口，方便连接各类传感器和通信模块^[2]。

2.2 数据采集模块

①温度传感器:采用 DHT11 数字温度传感器,其具有体积小、功耗低、响应速度快等优点。通过单总线接口与 STM32 微控制器连接,可方便地采集环境温度数据,测量精度可达 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 。②湿度传感器:选用 HIH-4000 湿度传感器,该传感器输出线性电压信号,与 STM32 的 ADC 接口相连。通过 ADC 采样,可将电压信号转换为数字量,进而计算出环境湿度,测量精度可达 $\pm 3\%\text{RH}$ 。③光照强度传感器:使用 BH1750 数字光照传感器,通过 I2C 接口与 STM32 通信。它能够将光照强度转换为数字信号输出,测量范围为 0–65535lux,精度较高,可满足不同场景下的光照强度测量需求^[3]。

2.3 无线通信模块

考虑到物联网应用中对低功耗、广覆盖的需求,选用 NB-IoT 模块 BC95。其具有以下特性:①低功耗:待机功耗可低至 1mA 以下,在节能模式 (PSM) 下,功耗更低,适合电池供电的物联网设备。②广覆盖:比 GSM 信号增强 20dB,可穿透地下车库、地下室等复杂环境,保证通信的可靠性。③低成本:模块成本相对较低,有利于大规模应用^[4]。

2.4 电源管理模块

为实现系统的低功耗运行,设计了专门的电源管理模块。采用锂电池作为电源,通过 LDO (低压差线性稳压器) 芯片 XC6206 将锂电池电压转换为系统所需的 3.3V 电压。XC6206 的静态电流可低至 $0.1\mu\text{A}$,有效降低了电源管理模块自身的功耗。同时利用 STM32 的 GPIO 引脚控制传感器和无线通信模块的电源开关,在非工作状态下关闭这些模块的电源,进一步降低功耗。

3 软件设计

3.1 系统初始化

系统上电后,首先进行初始化操作。包括 STM32 微控制器的时钟配置、GPIO 引脚初始化、ADC 初始化、I2C 初始化以及 UART 初始化等。同时对各个传感器和无线通信模块进行初始化配置,确保其正常工作^[5]。如对 DHT11 温度传感器进行初始化时,需按照其通信协议发送初始化信号,等待传感器响应。

3.2 数据采集与处理

在主程序中,按照一定的时间间隔启动数据采集任务。首先,通过 ADC 读取湿度传感器的电压信号,并进行数据

转换和校准,得到准确的湿度值。然后,通过 I2C 接口读取 BH1750 光照传感器的数据,进行相应处理。对于 DHT11 温度传感器,按照其单总线通信协议读取温度数据,并进行校验和转换。将采集到的温度、湿度和光照强度数据进行打包处理,存储在缓冲区中,等待发送。

3.3 无线通信

数据采集完成后,STM32 微控制器通过 UART 接口向 NB-IoT 模块发送 AT 指令,建立与物联网平台的连接。连接成功后,将缓冲区中的数据按照平台规定的格式进行封装,并发送至物联网平台。为确保数据传输的可靠性,采用重传机制。若发送数据后在规定时间内未收到平台的确认响应,则重新发送数据,直至收到确认信息。如在发送数据前,先发送 AT 指令“AT+NCDP=IP 地址,端口号”设置物联网平台的 IP 地址和端口号,然后使用“AT+NSOCR=UDP,17,2000,1”指令创建 UDP 套接字进行数据传输。

3.4 低功耗管理

为降低系统功耗,软件中采用了多种低功耗管理策略。在数据采集和传输完成后,将 STM32 微控制器设置为低功耗模式,如停止模式或待机模式。在停止模式下,CPU 停止运行,大部分外设时钟关闭,但 SRAM 和寄存器内容保持不变,功耗较低。当需要唤醒系统进行下一次数据采集时,可通过外部中断 (如 RTC 闹钟中断) 将系统从低功耗模式唤醒。同时在系统进入低功耗模式前,关闭传感器和无线通信模块的电源,减少不必要的功耗。

4 低功耗优化

4.1 硬件层面优化

①电源路径选择:选用 LDO (如 XC6206) 而非 DCDC, LDO 的静态电流更低,可有效减少静态功耗。如在系统待机时, LDO 的静态电流仅为 $0.1\mu\text{A}$,相比 DCDC 大幅降低了功耗。②外设电源控制:通过 GPIO 控制传感器和无线通信模块的电源,在不工作时将其电源关闭。如当 NB-IoT 模块在休眠期间,通过 GPIO 控制其电源引脚,使其电流几乎为零。③天线设计优化:选用高增益陶瓷天线,减少信号发射时间^[6]。发射时间缩短意味着功耗降低,通过优化天线设计,可使发射时间缩短约 20%,从而有效降低功耗。

4.2 软件层面优化

① PSM 模式应用:通过 AT 指令设置 NB-IoT 模块进入

PSM (省电模式), 在休眠期间, 模块功耗可降至 $< 10 \mu A$ 。如使用指令“AT+NPSM=1,20,20”激活 PSM 模式, TAU (跟踪区更新周期) 设置为 20 分钟, Active 时间设置为 20 秒, 极大地降低了模块在非通信期间的功耗。② RTC 唤醒机制: 配置 STM32 的 RTC 闹钟, 每小时唤醒一次系统进行数据采集和传输, 其余时间系统处于待机模式。RTC 唤醒时间 $< 10 \mu s$, 快速唤醒系统且功耗极低。③数据压缩策略: 合并多个传感器数据为单包发送, 减少传输次数。如将温度、湿度和光照强度数据打包成一个 JSON 格式的数据帧, 相较于分别发送, 减少了约 30% 的传输次数, 降低了功耗。

5 测试与结果分析

5.1 功耗测试

使用 Keithley2400 电流表测量系统的功耗。在待机状态下, 系统功耗约为 0.5mA, 符合低功耗设计要求。在数据采集和传输过程中, 由于传感器和无线通信模块的工作, 功耗会有所增加, 但单次数据采集和传输的平均时间较短, 整体功耗仍在可接受范围内。如一次完整的数据采集和传输过程耗时约 5 秒, 平均功耗为 10mA 左右。

5.2 数据采集精度测试

将采集终端与高精度的标准测试设备放置在同一环境中, 同时测量温度、湿度和光照强度。经过多次对比测试, 温度测量误差在 $\pm 2^\circ C$ 以内, 湿度测量误差在 $\pm 3\% RH$ 以内, 光照强度测量误差在 $\pm 5\%$ 以内, 满足实际应用的精度要求。如在一组测试中, 标准温度为 $25^\circ C$, 采集终端测量值为 $24.5^\circ C$; 标准湿度为 50%RH, 采集终端测量值为 51%RH; 标准光照强度为 1000lux, 采集终端测量值为 980lux。

5.3 通信稳定性测试

在不同的环境下对采集终端的通信稳定性进行测试。通过 NB-IoT 模块向物联网平台发送数据, 统计数据传输的成功率。在信号强度较好的区域 ($RSSI > -100 dBm$),

数据传输成功率达到 99% 以上; 在信号较弱的区域 ($RSSI$ 在 $-120 dBm$ 左右), 数据传输成功率仍能保持在 95% 以上, 表明通信稳定性良好。如在地下停车场进行测试时, 共发送 1000 条数据, 成功接收 955 条, 传输成功率为 95.5%。

6 结论

本文设计并实现了一种面向物联网的低功耗电子信息采集终端。通过合理的硬件选型、优化的电路设计和高效的软件算法, 有效降低了终端的功耗, 提高了数据采集与传输的精度和可靠性。测试结果表明, 该终端在低功耗性能、数据采集精度和通信稳定性方面均表现出色, 能够满足物联网场景下对设备的要求。未来, 可以进一步优化系统的低功耗策略, 提高数据处理能力, 并探索更多的应用场景, 推动物联网技术的广泛应用。

参考文献:

- [1] 李鹏, 邓于, 雷明东, 等. 低功耗嵌入式电子信息采集系统设计 [J]. 现代电子技术, 2018, 41(15): 101-104.
- [2] 肖飞. 浅析电力自动化系统中电子信息技术的应用 [J]. 中国设备工程, 2025, (09): 111-113.
- [3] 吴芬. 数据自动采集与处理的电子信息装置智能感知方法分析 [J]. 信息记录材料, 2025, 26(02): 165-167.
- [4] 张力. 电子信息科学与大数据分析的结合与应用研究 [J]. 办公自动化, 2024, 29(21): 57-59.
- [5] 吕晶晶. 电子信息技术在物联网中的应用路径探析 [J]. 信息记录材料, 2024, 25(01): 72-74.
- [6] 程永祺, 张天刚, 王丽华. 试析在构建物联网系统中电子信息技术的重要作用 [J]. 电子元器件与信息技术, 2020, 4(03): 48-49+52.

作者简介: 陈鹏 (1989—), 男, 汉族, 山东青岛, 工程师, 本科, 研究方向为电子信息。