学 校 代 码 10459

学 号 2021780403222

密 级 公开



本 科 毕 业 设 计

**基于stm32动态电源管理的宠物监护装置**

作 者 姓 名：王芊芊

导 师 姓 名：张卫星 副教授

学 科 门 类：工学

专 业 名 称：物联网工程

培 养 单 位：网络空间安全学院

完 成 时 间：2025年05月

**A Dissertation/Thesis Submitted to**

**Zhengzhou University**

**for Bachelor Degree**

Title：A Pet Monitoring Device with Dynamic Power Management Based on STM32

By Qianqian Wang

Supervisor: Prof. Weixing Zhang

Internet of Things Engineering

School of Cyber Science and Engineering, Zhengzhou University

May, 2025

**郑州大学**

**学位论文原创性声明**

本人郑重声明：所呈交的学位论文，是本人在导师的指导下，独立进行研究工作所取得的成果。除文中已经注明引用的内容外，本论文不包含任何其他个人或集体已经发表或撰写过的作品成果。对本文的研究做出重要贡献的个人和集体，均已在文中以明确方式标明。本人完全知晓本声明的法律后果由本人承担。

学位论文作者签名： 指导教师签名：

日期： 年 月 日

**郑州大学**

**学位论文使用授权书**

本人同意学校保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和电子版，允许论文被查阅和借阅。本人授权郑州大学可以将本学位论文的全部或部分编入有关数据库进行检索，可以采用影印、缩印或者其他复制手段保存论文和汇编本学位论文。

学位论文作者签名： 指导教师签名：

日期： 年 月

**中 文 摘 要**

随着社会经济的发展，宠物在家庭中的地位日益重要，宠物主对其健康与安全的关注不断提升。针对现有宠物监护产品在功耗优化与功能集成方面的不足，本文设计了一款基于STM32F103C8T6微控制器的移动宠物狗监护装置。系统集成GPS/北斗定位、MPU6050姿态传感器、DHT11环境传感器与DS18B20体温传感器，实现对宠物地理位置、活动量、环境温湿度及体表温度的实时监测。通过OLED显示和蓝牙通信与手机APP联动，提升用户交互体验。系统采用动态电源管理策略，根据宠物状态智能调整模块工作模式，有效降低功耗、延长续航。本文详细介绍了系统的硬件设计、软件架构及关键功能实现，验证结果表明本装置具备良好的稳定性、实用性与低功耗特性，可为宠物健康监护提供智能解决方案

**关键词**：智能宠物监护；STM32；动态电源管理；GPS/北斗定位；运动计步；蓝牙通信

# **ABSTRACT**

With the development of the socio-economic landscape, pets have assumed an increasingly significant role within households, and pet owners' concerns regarding their pets' health and safety have continued to escalate. In response to the deficiencies in power consumption optimization and functional integration of existing pet monitoring products, this paper presents the design of a mobile pet dog monitoring device based on the STM32F103C8T6 microcontroller. The system integrates GPS/BeiDou positioning, an MPU6050 attitude sensor, a DHT11 environmental sensor, and a DS18B20 body temperature sensor to enable real-time monitoring of a pet's geographical location, activity level, ambient temperature and humidity, and body surface temperature. Through OLED display and Bluetooth communication for linkage with a mobile app, user interaction experience is enhanced. The system employs a dynamic power management strategy that intelligently adjusts the operating modes of modules based on the pet's status, effectively reducing power consumption and extending battery life. This paper provides a detailed description of the system's hardware design, software architecture, and the implementation of key functions. The verification results demonstrate that the device exhibits excellent stability, practicality, and low-power consumption characteristics, offering an intelligent solution for pet health monitoring.

**Key words**: Smart Pet Monitoring; STM32; Dynamic Power Management; GPS/BeiDou Positioning; Pedometer; Bluetooth Communication

**目 录**

[中 文 摘 要 I](#_Toc4661)

[ABSTRACT II](#_Toc29123)

[目 录 III](#_Toc24584)

[第1章 绪论 1](#_Toc23256)

[1.1 研究背景 1](#_Toc5181)

[1.2 研究现状 1](#_Toc14981)

[1.3 研究内容 1](#_Toc8313)

[第2章 论文正文 2](#_Toc13221)

[2.1 正文文字格式 2](#_Toc31929)

[2.1.1 论文书写要求 2](#_Toc25771)

[2.2 本章小结 3](#_Toc17018)

[第3章 图表、公式格式 4](#_Toc2698)

[3.1 图表格式 4](#_Toc26256)

[3.2 公式格式 5](#_Toc27600)

[参 考 文 献 6](#_Toc11849)

[附录 8](#_Toc21920)

[攻读学位期间学术论文和科研成果目录 9](#_Toc8971)

[致 谢 10](#_Toc363)

# **第1章 绪论**

## **1.1 研究背景与意义**

随着现代社会经济的快速发展和人民生活水平的显著提高，宠物作为人类伴侣动物的角色日益凸显，在许多家庭中已成为不可或缺的一员。截至2017年，我国已有超过1.6亿只宠物 ，各大城市拥有宠物的家庭占比也在不断攀升[1]。

对于面向人群的分析，女性略多于男性，女性养宠者占58.1%,男性则为41.9%。作为中流砥柱，女主人拥有更坚定的养宠态度和更强烈的消费愿望[2]。

人们对宠物的关爱不再仅仅局限于基本的饮食需求，而是扩展到了对其健康状况、日常行为模式、活动量以及户外安全等多个方面。特别是对于移动性强的宠物狗，其活动范围广、行为多样，对监护设备的续航能力和智能化管理提出了更高要求。传统的宠物监护方式往往依赖于主人的直接观察，难以实现全天候、多维度的数据追踪。当前市场上虽然存在一些宠物监护类电子产品，例如GPS定位器、简单的活动记录仪等，但这些产品在功能集成度、智能化水平、用户体验以及成本控制等方面仍存在一定的提升空间。部分产品可能仅侧重于定位，而忽略了活动量监测或环境感知；另一些产品虽然功能稍多，但在动态功耗优化、数据交互便捷性以及续航能力方面仍有不足。例如，一些定位器可能不具备运动数据分析功能，或者数据更新频率较低，用户体验欠佳，且电池续航时间往往成为用户痛点。比如说，新型智能宠物项圈定位于饲养宠物猫狗的目标客户人群，拥有普通智能宠物项圈的常规功能，同时额外增加了耗能计算、宠物情绪诊断等创新功能，其多样性的应用模式将吸引更多计划购买宠物项圈的青少年或者老年人群体[2]。因此，开发一款能够集成实时定位、运动计步、环境参数（温湿度）监测、体表温度（模拟）感知以及便捷数据显示与远程交互等多种功能，并具备有效的动态电源管理策略以延长续航时间的智能宠物狗监护装置，具有重要的现实意义和应用价值。

本设计旨在通过STM32系列微控制器作为核心处理单元，结合GPS/北斗定位技术、六轴姿态传感器（MPU6050及其DMP）、温湿度传感器（DHT11）、数字温度传感器（DS18B20）、OLED显示技术以及蓝牙无线通信技术，构建一个低成本、功能全面、易于使用且注重续航的智能宠物狗监护设备。该系统不仅能够帮助宠物主人实时掌握宠物的位置信息，有效防止宠物走失，还能监测宠物的运动状态和所处环境的关键参数，为宠物健康管理提供数据支持，并通过手机APP实现远程查看与交互。更为关键的是，本设计将重点研究并实现动态电源管理机制，根据宠物狗的实际活动状态智能调节系统功耗，从而在保证功能性的前提下，最大限度地延长设备的工作时间，提升用户体验。

## **1.2 国内外研究现状**

与宠物智能监控相关的技术主要涉及远程监控、自动喂食、运动追踪、学习训练、传感器、互动交流等[3]

宠物监护设备FitBark（美国）：商业化宠物项圈，可监测活动量、睡眠质量，通过蓝牙传输数据，但缺乏实时生理监测功能Petcube（乌克兰）：集成摄像头与行为分析算法，可通过AI识别宠物异常动作，但功耗较高（续航<24小时）学术领域：IEEE Access 2021年文献提出基于ECG的犬类心脏病预警原型系统，实验室环境下实现85%准确率，但未解决运动伪影问题。技术研究方向

华盛顿大学团队：开发柔性电子皮肤传感器，实现犬类表皮温度/压力监测，但成本昂贵（单件>500美元）剑桥动物医学中心：通过机器学习分析犬类呼吸模式（Frontiers in Veterinary Science 2023），依赖固定式传感装置，未实现可穿戴化美国的Matarazzo Ralph设计了一款基于无线电信号启动视觉警报装置的宠物项圈，可以让主人及时知晓宠物的位置[1]。开发了一种集成了GPS定位与无线双向通信功能的宠物监护系统，该系统支持主人远程实时追踪宠物动态，同时通过低功耗射频模块实现人宠双向指令交互。

2023年美国研究人员开发了一种集成式智能宠物项圈装置，其核心由GPS定位芯片、无线射频通信链路及能量优化架构组成，结合微控制器实现动态数据交互（如电子围栏越界告警）。基于此混合传感系统，主人可进行远程指令触发（如声光警示或训练信号激励），在保障宠物轨迹安全性的同时拓展了实时行为干预能力，为监护场景提供全时域覆盖的高效解决方案。

国内研究进展商业化产品小佩宠物智能项圈：支持GPS定位与基础活动统计，无生物医学传感模块。米家宠物饮水机联动机型：通过饮水数据间接评估健康状况，缺乏直接生理参数采集。学术研究中科院深圳先进院：提出犬用无线ECG贴片（电子测量技术2022），采样率达500Hz，但续航仅6小时华南农业大学团队：基于NB-IoT开发畜牧体温监测项圈（农业工程学报2023），目标群体为大型牲畜，未适配宠物形态。

现存不足与问题：目前针对宠物的健康监测大多停留在基本的生物检测和显示阶段，普遍存在实时性、联网和定位功能缺失等问题[3]。功能局限性强，商业化产品集中于位置追踪与行为记录（市占率83%），仅7%设备包含医疗级传感器，且多为单一参数监测动态监测可靠性低，现有方案在静止状态下误差率<5%，但宠物奔跑/跳跃时数据失准率达35%-60%（IEEE SENSORS 2022会议报告）。能效比失衡，生命体征监测模块常采用持续供电模式，导致日均功耗>80mW（经典方案如TI AFE4490），限制设备续航能力

## **1.3 主要研究内容与目标**

本研究的核心任务是设计并实现一套基于STM32微控制器，并具备动态电源管理功能的移动宠物狗监护装置。具体研究内容和目标如下：

1. **系统硬件平台搭建与调试：**  
  \* 选择合适的STM32微控制器作为主控芯片，重点考察其低功耗特性。  
  \* 集成GPS/北斗定位模块，实现宠物位置信息的获取。  
  \* 集成MPU6050六轴姿态传感器，利用其DMP（数字运动处理器）功能实现宠物运动状态的感知与计步。  
  \* 集成DHT11温湿度传感器和DS18B20数字温度传感器，监测宠物所处环境及体表（模拟）温度。  
  \* 选用OLED显示屏，用于本地显示关键监护信息。  
  \* 集成蓝牙通信模块（优先考虑低功耗蓝牙BLE），实现设备与智能手机端的数据交互。  
  \* **设计并实现有效的电源管理电路，包括电池供电、充电管理（如果采用可充电电池）以及必要的电压转换。**  
  \* 完成整体硬件电路的连接与调试。

2. **系统软件程序设计与开发：**  
  \* 基于STM32 HAL库或标准库进行底层驱动程序的编写与移植。  
  \* **设计并实现动态电源管理策略：**  
    - 研究STM32的多种低功耗模式（如Sleep、Stop、Standby模式）。  
    - 根据宠物活动状态（通过MPU6050判断）和系统工作需求，动态调整MCU的工作模式。  
    - 实现对各传感器模块（GPS、MPU6050、DHT11、DS18B20）和外设（OLED、蓝牙）的独立供电控制或工作状态切换，在非必要时将其置于低功耗或关闭状态。  
    - 优化数据采集和传输频率，在保证信息有效性的前提下减少不必要的能耗。  
  \* 实现GPS模块数据的接收与解析算法，提取有效的定位信息。  
  \* 调用MPU6050的DMP库，获取姿态数据并实现计步功能。  
  \* 编写DHT11和DS18B20传感器的驱动程序，实现环境温湿度和体表温度的准确读取。  
  \* 开发OLED显示驱动程序，设计多界面信息显示方案，并考虑显示内容的刷新策略以配合低功耗管理。  
  \* 实现蓝牙模块的数据收发协议，确保与手机APP的稳定通信，并考虑低功耗蓝牙的特性。  
  \* 设计按键交互逻辑，允许用户进行本地操作和参数设置。  
  \* 实现基于传感器数据的阈值报警功能。  
  \* 进行软件模块化设计，确保代码的可读性和可维护性。

3. **系统功能测试与验证：**  
  \* 对系统的定位精度、计步准确性、环境参数测量精度、数据显示正确性、蓝牙通信稳定性以及报警功能的可靠性进行全面测试。  
  \* **重点测试动态电源管理策略的有效性，对比不同工作模式下的系统功耗和电池续航时间。**  
  \* 分析测试结果，评估系统性能，并对可能存在的问题进行调试和优化。

## **1.4 论文结构安排**

本论文共分为七章，其主要内容安排如下：

第一章为绪论，主要阐述了本课题的研究背景、目的与意义，简要介绍了国内外相关领域的研究现状（特别是在宠物监护和低功耗嵌入式系统方面），并明确了本设计的主要研究内容、目标和论文的整体结构。

第二章为系统需求分析，根据软件工程的设计思想，详细分析了智能宠物狗监护装置的功能性需求、主要的性能指标要求（特别强调低功耗和续航需求），以及相关的非功能性需求。

第三章为系统总体设计，介绍了系统的整体架构，阐述了硬件平台各主要模块（如主控制器、传感器、显示单元、通信单元、电源管理单元）的选择依据，并简述了软件开发环境和工具。此外，本章还引入了系统关键数据实体及其关系的概念模型。

第四章为硬件系统详细设计与实现，具体描述了各硬件模块的电路接口设计，包括主控制器核心电路、电源模块（含动态管理相关接口）电路设计、各类传感器与主控的连接方式、显示模块和蓝牙模块的接口电路等。

第五章为软件系统详细设计与实现，重点阐述了软件的总体架构、主程序流程，以及动态电源管理策略的具体算法与实现。同时，详细描述了各功能模块（如GPS数据处理、MPU6050姿态解算与计步、环境数据采集、OLED显示、蓝牙通信、按键管理与报警逻辑等）的实现方法和关键代码。

第六章为系统测试与结果分析，介绍了测试环境和测试方案，并对系统的各项功能和整体性能进行了测试。重点对动态电源管理的效果进行了验证，包括不同模式下的功耗测试和续航能力评估，并对测试结果进行了记录和分析。

第七章为总结与展望，对本设计完成的主要工作进行了总结，指出了系统存在的不足之处（特别是在功耗优化方面可能存在的进一步提升空间），并对未来的改进方向和应用前景进行了展望。

# **第2章 系统需求分析**

根据软件工程的设计原则，在进行系统详细设计之前，首先需要对系统的需求进行明确和分析。本章将从功能需求、性能需求以及非功能性需求三个方面，对基于STM32动态电源管理的移动宠物狗监护装置进行详细的需求分析。

## **2.1 功能需求分析**

本智能宠物狗监护装置旨在为宠物主人提供一套全面的宠物状态监测与安全保障方案，同时通过动态电源管理技术最大限度地延长设备续航时间。其核心功能需求如下：

### **2.1.1 定位功能需求**

系统应能实时获取并上报宠物狗的地理位置信息，以帮助主人追踪其去向，防止意外走失。

\* **需求点1.1 (实时定位)：** 系统需集成GPS/北斗定位模块，能够周期性地获取高精度的经纬度坐标。在动态电源管理策略下，定位模块的启动和数据采集频率应可根据预设条件（如宠物活动状态、用户设定等）进行调整。

\* **需求点1.2 (定位数据显示)：** 获取到的经纬度信息应能在OLED屏幕上显示，并通过蓝牙传输至手机APP进行地图展示。

### **2.1.2 运动监测需求**

系统应能监测宠物狗的日常活动量，特别是行走步数，为主人评估宠物健康状况提供依据。

\* **需求点2.1 (计步功能)：** 系统需集成MPU6050六轴姿态传感器，通过其内置的DMP（数字运动处理器）实现对宠物行走步数的准确记录。运动传感器的采样频率和DMP的运行状态也应纳入动态电源管理范畴。

\* **需求点2.2 (运动数据显示)：** 计步数据应能在OLED屏幕上显示，并可同步至手机APP。

\* **需求点2.3 (运动时间记录)：** 系统应能记录宠物狗的运动持续时间。

### **2.1.3 环境感知需求**

系统应能监测宠物狗所处环境的温湿度以及宠物体表温度（模拟），以评估环境舒适度和宠物健康状况。

\* **需求点3.1 (环境温湿度监测)：** 系统需集成DHT11传感器，实时监测环境温度和湿度。其数据采集频率可根据电源管理策略进行调整。

\* **需求点3.2 (体表温度监测)：** 系统需集成DS18B20数字温度传感器，用于监测宠物体表温度。其数据采集频率同样可受电源管理策略控制。

\* **需求点3.3 (环境数据显示)：** 环境温湿度及体表温度数据应能在OLED屏幕上显示，并可同步至手机APP。

### **2.1.4 数据显示需求**

系统应配备本地显示单元，方便主人在不连接手机的情况下直接查看关键信息。

\* **需求点4.1 (OLED显示)：** 系统需集成OLED显示屏，用于显示时间、定位信息、运动数据、环境参数、系统状态、电池电量等。OLED的亮度和刷新频率也应考虑纳入动态电源管理。

\* **需求点4.2 (多界面切换)：** 用户应能通过按键操作切换OLED显示的界面内容。

### **2.1.5 无线通信需求**

系统应能通过无线方式将监测到的数据传输至用户手机端，便于远程查看和管理。

\* **需求点5.1 (蓝牙通信)：** 系统需集成蓝牙模块（如低功耗蓝牙BLE），实现与智能手机APP的数据双向通信。蓝牙模块的广播间隔、连接间隔等参数可根据电源管理策略进行优化。USART1被用于此功能。

\* **需求点5.2 (数据上报)：** 宠物的位置信息、运动数据、环境参数等应能通过蓝牙实时或定期上报至手机APP。上报频率可根据设备工作模式和电量情况动态调整。

### **2.1.6 报警功能需求**

当监测到的某些关键指标超出预设的安全范围时，系统应能发出报警提示。

\* **需求点6.1 (阈值设定)：** 用户应能通过按键或手机APP设置环境温度、湿度及体温的报警阈值。

\* **需求点6.2 (声光报警)：** 当监测数据超出阈值时，系统应能通过蜂鸣器发出声音报警，并通过LED灯进行视觉提示。报警功能的触发不应受常规低功耗策略的过度抑制。

### **2.1.7 动态电源管理需求**

这是本设计的核心需求之一，旨在延长设备的电池续航能力。

\* **需求点7.1 (低功耗模式)：** 系统应能根据预设条件或用户指令，使STM32主控制器进入不同的低功耗模式（如Sleep, Stop, Standby）。

2.1.7 动态电源管理需求

这是本设计的核心需求之一，旨在延长设备的电池续航能力。

\* **需求点7.1 (低功耗模式)：** 系统应能根据预设条件或用户指令，使STM32主控制器进入不同的低功耗模式（如Sleep, Stop, Standby）。

\* **需求点7.2 (外设功耗控制)：** 系统应能独立控制各主要耗电模块（如GPS、MPU6050、OLED、蓝牙模块）的电源或工作状态，在非必要时关闭或使其进入低功耗状态。

\* **需求点7.3 (智能调度)：** 系统应能根据宠物狗的活动状态（例如，通过MPU6050判断宠物是否长时间静止）智能调整数据采集频率、数据上报频率以及各模块的工作模式。

\* **需求点7.4 (电量监测)：** 系统应能监测电池电量，并在OLED和手机APP上显示，同时在低电量时进行提示。

## **2.2 性能需求分析**

为保证系统的实用性和用户体验，并突出动态电源管理的优势，对系统的性能提出以下要求：

### **2.2.1 定位与数据刷新性能**

\* **定位精度：** 室外开阔环境下，GPS/北斗定位精度应优于10-15米。

\* **首次定位时间 (TTFF)：** 冷启动时间应尽可能短，温启动和热启动应能快速恢复定位。

\* **OLED数据刷新率：** 在活动模式下，显示数据刷新率应不低于1Hz；在低功耗模式下，可降低刷新频率或按需刷新。

\* **蓝牙数据上报频率：** 在高活动或追踪模式下，数据上报频率应能达到例如每5-10秒一次；在低活动或省电模式下，可显著降低上报频率，例如每数分钟或数小时一次，或仅在状态变化时上报。

### **2.2.2 计步与响应性能**

\* **计步准确率：** 在宠物狗常规行走和跑动状态下，计步准确率应达到90%以上。

\* **系统响应时间：** 按键操作的响应时间应小于200ms。报警触发响应时间应小于1秒，即使在部分低功耗状态下也应保证报警的及时性。

### **2.2.3 低功耗与续航性能**

\* **平均工作电流：** 在典型的混合工作场景下（例如，部分时间活动，部分时间静止），系统平均工作电流应尽可能低。

\* **待机电流：** 在深度睡眠或超低功耗待机模式下，系统电流应达到微安级别。

\* **电池续航时间：** 在配备特定容量电池（例如500mAh-1000mAh锂电池）的情况下，通过动态电源管理，系统应能实现数天乃至更长的典型使用续航时间。具体目标需结合实际功耗测试确定。

### **2.2.4 可靠性与稳定性**

\* 系统应能长时间稳定运行，在各种预设的工作模式切换和环境变化下不易出现死机、数据丢失等问题。

\* 低功耗模式的进入与唤醒机制应可靠。

## **2.3 非功能性需求**

\* **易用性：** 设备操作应简单直观，OLED显示信息清晰易懂，手机APP界面友好，用户能够方便地理解和配置设备的电源管理策略（如果开放给用户）。

\* **小型化与轻量化：** 设备应尽可能小巧轻便，方便宠物狗佩戴，不影响其正常活动。

\* **成本控制：** 在满足功能、性能和低功耗要求的前提下，应尽量选用性价比高的元器件，控制整体硬件成本。

\* **可维护性与可扩展性：** 软件代码应采用模块化设计，注释清晰，便于后期维护、功能升级以及新的电源管理策略的迭代。

# **第3章 系统总体设计**

在完成系统需求分析的基础上，本章将对智能宠物狗监护装置进行总体方案设计。这包括确定系统的整体架构、选择合适的硬件平台以及明确软件开发环境和工具。设计的核心目标是在满足各项功能和性能需求的前提下，重点考虑动态电源管理策略的实施，以实现设备的低功耗和长续航。

## **3.1 系统整体架构**

本智能宠物狗监护装置主要由数据采集单元、主控制单元、数据显示单元、无线通信单元以及电源管理单元五大部分组成。系统整体架构已在图3.1中展示。各单元协同工作，实现对宠物狗的全方位监护。主控制器作为核心，调度和管理其他所有单元；数据采集单元负责感知宠物状态和环境信息；数据显示单元提供本地信息反馈；无线通信单元负责与用户远程交互；电源管理单元则为整个系统提供能量支持并执行功耗优化策略。这种模块化的架构便于分步设计、实现和测试。

## **3.2 硬件平台选择**

为了实现上述功能并满足性能和动态电源管理要求，对关键硬件模块的选择进行了仔细考量。

### **3.2.1 主控制器选型**

本系统选用**STM32F103C8T6**作为主控制器。这是一款由意法半导体（STMicroelectronics）公司推出的基于ARM Cortex-M3内核的32位微控制器。编译日志及启动文件均指向此型号。选择该型号的主要原因如下：

\* **性能与资源：** STM32F103C8T6拥有高达72MHz的主频，内置64KB的Flash存储器和20KB的SRAM，足以满足本系统数据处理、算法运行和多任务调度的需求。其丰富的外设接口，包括多个USART、I2C、SPI、GPIO以及定时器等，能够方便地连接各类传感器和外设模块，如代码中usart.c, iic.c, tim.c所示。

\* **低功耗特性：** STM32F1系列提供了多种低功耗模式，如睡眠（Sleep）、停止（Stop）和待机（Standby）模式，这些模式是实现本设计动态电源管理策略的核心。通过灵活运用这些低功耗模式，并结合外设时钟控制，可以在保证系统功能的前提下显著降低整体功耗，延长电池续航时间。

\* **开发生态与成本：** STM32系列拥有成熟的开发生态系统，包括官方提供的HAL库、STM32CubeMX配置工具以及广泛的社区支持和开源代码资源，便于快速开发和调试。同时，STM32F103C8T6芯片及其开发板具有较高的性价比，符合本设计的成本控制要求。

### **3.2.2 定位模块选型**

定位功能由外接的GPS/北斗模块实现，通过USART2（PA2/RX, PA3/TX）与STM32通信。

\* **模块类型：** 考虑使用同时支持GPS和北斗卫星导航系统的双模模块，例如ATGM336H系列或部分UBLOX NEO系列模块。这些模块通常具有较好的定位精度和搜星性能。

\* **接口与协议：** 模块通过UART接口向STM32发送NMEA-0183标准格式的定位语句，软件层面进行解析。

\* **功耗管理：** 重点关注模块的功耗参数，特别是其在不同工作模式下的电流消耗，如连续定位模式、周期唤醒（Power Save Mode, PSM）模式、休眠模式等。选择支持低功耗模式且易于通过串口指令或硬件引脚控制其电源或工作状态的模块，是实现动态电源管理的关键。

### **3.2.3 姿态与运动传感器选型**

选用**MPU6050**六轴姿态传感器，通过I2C接口（根据iic.h，SCL为PB10，SDA为PB11）与主控连接。

\* **功能：** MPU6050集成了三轴加速度计和三轴陀螺仪，并内置数字运动处理器（DMP），可以直接输出经过姿态融合的四元数数据以及计步信息，减轻了主控MCU的运算压力。

\* **低功耗与唤醒：** MPU6050本身支持低功耗模式，并且其INT引脚（原理图显示连接到PB5，但需注意与main.h中OLED RES引脚的潜在冲突）可以配置为运动检测中断输出，用于从低功耗模式唤醒主控制器。

### **3.2.4 环境传感器选型**

\* **温湿度传感器：** 采用**DHT11**数字温湿度传感器，连接到STM32的PB8引脚，使用单总线协议进行数据读取。该传感器能同时提供环境温度和湿度信息。

\* **体表温度传感器：** 采用**DS18B20**数字温度传感器，连接到STM32的PB1引脚，使用1-Wire单总线协议进行通信。用于获取宠物大致的体表温度作为健康参考。 两种传感器的采集频率都可以由软件控制，以配合动态电源管理策略。

### **3.2.5 显示模块选型**

选用**0.96英寸OLED显示屏**，通过GPIO模拟SPI方式进行驱动。根据main.h 和 xianshispi.c 的宏定义推断，控制引脚为：DC-PB4, RES-PB5, D1(MOSI)-PB6, D0(SCK)-PB7。OLED因其自发光特性，在显示黑色背景时功耗较低，适合用于需要频繁更新少量信息的便携式设备。

### **3.2.6 无线通信模块选型**

采用**蓝牙模块**实现与用户手机APP的数据交互，连接到STM32的USART1 (PA9 TX, PA10 RX)。

\* **类型：** 为降低功耗，推荐选用低功耗蓝牙（BLE）模块。

\* **功能：** 用于将设备采集到的各项数据发送到手机APP，并可能接收来自APP的配置指令。

\* **功耗管理：** 选用的模块应支持通过AT指令进入休眠模式或调整广播/连接参数以优化功耗。

### **3.2.7 电源管理方案考虑**

电源管理是本设计实现长续航的关键。

\* **供电核心：** 采用单节3.7V可充电锂聚合物电池供电。电池容量的选择需在体积、重量和续航时间之间进行权衡，例如选用500mAh至1000mAh的电池。

\* **电压转换：** 使用一颗低静态电流、高效率的3.3V LDO（如AMS1117-3.3，尽管其静态电流并非最低，但易于获取且成本较低；更优选择可考虑XC6206系列等）将锂电池电压（典型范围3.0V-4.2V）转换为稳定的3.3V，供给STM32主控制器和大部分外设模块。其电路通常包括输入输出滤波电容，以保证电源的稳定性。原理图中DC Socket输入部分也展示了基本的电源滤波（C1 (220uF/25V), C2 (104/0.1uF)）。

\* **充电管理：** 为了方便锂电池充电，可以集成一块专用的锂电池充电管理芯片，例如TP4056。该芯片能够提供恒流/恒压充电模式，并具有充电状态指示功能（通常通过两个LED指示充电中和充电完成）。其典型应用电路包括充电状态指示LED和设定充电电流的电阻。

\* **电池电量监测：** 通过一个简单的电阻分压电路将电池电压降低到STM32 ADC的安全输入范围（0-3.3V），然后连接到STM32的一个ADC引脚（例如PA0或PA1，需在代码中配置ADC通道并进行采样）。通过读取ADC转换值可以估算电池电压，进而判断剩余电量。例如，若电池最高电压为4.2V，可使用R1=10kΩ，R2=20kΩ（或接近比例）的分压电阻，则ADC输入电压 $V\_{adc} = V\_{bat} \times \frac{R2}{R1+R2} = V\_{bat} \times \frac{2}{3}$。当 $V\_{bat}=4.2V$ 时，$V\_{adc}=2.8V < 3.3V$。

\* **动态供电控制：**

### ****3.2.7 电源管理方案考虑****

\* **动态供电控制：** 对于GPS模块、蓝牙模块以及其他功耗较高但并非一直需要工作的外设，设计由STM32 GPIO控制的电源开关电路（如MOSFET开关，例如AO3400）。这样可以根据需要切断特定模块的供电，完全消除其静态功耗。例如，当宠物处于长时间静止状态时，可以断开GPS模块的供电；当不需要与手机通信时，可以断开蓝牙模块的供电。结合硬件电路和软件策略，实现灵活的功耗管理。

## ****3.3 软件架构与开发环境****

系统的软件设计采用分层和模块化结构，以提高代码的可读性、可维护性和重用性。

### ****3.3.1 软件架构****

系统软件整体上分为以下几个层次：

\* **硬件驱动层：** 包括各传感器和外设的基本驱动函数，如OLED显示驱动、MPU6050寄存器操作、DHT11和DS18B20的数据读取、GPS数据接收与解析、蓝牙通信协议实现等。这部分代码通常直接与硬件接口，并为上层提供简洁的API。

\* **功能模块层：** 包括定位管理模块（GPS数据处理）、运动监测模块（姿态解算、计步）、环境监测模块（温湿度及温度采集）、数据显示模块（多界面管理）、无线通信模块（蓝牙数据收发）、报警逻辑模块（阈值判断与触发）以及按键处理模块（用户输入响应）。各模块相对独立，通过定义的接口进行交互。

\* **应用逻辑层：** 负责实现系统的核心业务逻辑，包括各功能模块间的协调（例如根据运动状态调整数据采集频率）、系统工作模式的切换（如活动模式与省电模式的转换）、报警条件判断、以及动态电源管理策略的实施。

\* **电源管理层：** 这是一个跨越各层的重要模块，负责根据系统状态和环境条件动态调整硬件和软件的工作模式，以实现最优的功耗表现。具体包括低功耗模式的进入与唤醒机制、外设电源管理、任务调度和时钟调整等。

### ****3.3.2 开发工具与环境****

\* **集成开发环境 (IDE)：** 使用Keil uVision5作为主要的嵌入式开发工具，配合ST-Link V2仿真下载器进行程序调试和下载。

\* **开发库：** 采用STM32 HAL (Hardware Abstraction Layer) 库进行开发，部分底层驱动可能参考标准外设库或直接访问寄存器。基于寄存器或LL (Low Layer) 库的方式可能用于对性能或功耗要求特别严格的场景。

\* **辅助工具：** STM32CubeMX工具用于初始化代码生成和引脚分配；串口调试工具（如XCOM, DHT11/DS18B20调试过程中需要用逻辑分析仪或示波器观察时序）；功率分析工具（如USB电流表、万用表）用于测量系统功耗。

\* **版本控制：** 使用Git进行版本管理，便于代码的迭代开发和协作。

# ****第4章 硬件系统详细设计与实现****

基于第3章确定的总体设计方案，本章将对系统的硬件部分进行详细设计和实现。内容包括主控制器核心电路设计、各传感器模块的接口电路设计、显示与通信单元连接方案，以及关键的电源管理系统设计。针对动态电源管理需求，本章将特别关注如何从硬件层面支持低功耗运行模式的实现。

## ****4.1 主控制器核心电路设计****

主控制器采用STM32F103C8T6微控制器，其核心电路包括最小系统电路和必要的扩展电路。

### ****4.1.1 微控制器最小系统****

\* **电源设计：** STM32F103C8T6核心工作电压为3.3V。为增强电源稳定性，在每个电源引脚附近放置0.1μF去耦电容，特别在主电源引脚（VDD）附近增设一个10μF的电解电容。

\* **时钟电路：** 外部高速晶振选用8MHz无源晶振，并联两个20pF负载电容和一个1MΩ反馈电阻；外部低速晶振选用32.768kHz的无源晶振，用于RTC时钟源和低功耗模式下的时间基准。

\* **复位电路：** 采用10kΩ上拉电阻和0.1μF电容构成RC复位电路，按键开关并联在电容两侧，实现手动复位功能。

\* **调试接口：** 保留标准的4线SWD调试接口（SWDIO、SWCLK、RESET、GND），便于程序下载和调试。

\* **BOOT模式设置：** 设置BOOT0和BOOT1引脚为上拉或下拉电阻，确保进入正常的Flash运行模式。

### ****4.1.2 外设接口分配****

基于STM32F103C8T6的引脚资源和各外设模块的需求，进行了如下引脚分配：

\* **USART1：** PA9 (TX), PA10 (RX) - 用于蓝牙模块通信

\* **USART2：** PA2 (TX), PA3 (RX) - 用于GPS模块通信

\* **I2C接口：** PB10 (SCL), PB11 (SDA) - 用于连接MPU6050

\* **GPIO模拟SPI：** PB4 (DC), PB5 (RES), PB6 (D1/MOSI), PB7 (D0/SCK) - 用于OLED显示驱动

\* **单总线接口：** PB8 - DHT11温湿度传感器； PB1 - DS18B20温度传感器

\* **ADC输入：** PA0 - 电池电压检测

\* **调试LED：** PC13 - 板载LED，可用于状态指示

\* **用户按键：** PA8 - 多功能按键，用于界面切换和功能设置

\* **蜂鸣器：** PA11 - 用于报警声音提示

\* **电源控制GPIO：** PA12 - GPS模块电源控制；PA15 - 蓝牙模块电源控制。这两个模块通过MOSFET开关控制供电通断。

## ****4.2 传感器与功能模块接口设计****

### ****4.2.1 姿态传感器MPU6050接口****

MPU6050模块通过I2C接口与STM32连接，具体电路如图4.1所示。在设计时特别考虑了低功耗相关功能：

\* 模块的VCC连接到一个由PA12控制的MOSFET开关，以便软件可以完全切断其供电。

\* 中断输出引脚INT连接到PB5（如果与OLED\_RES不冲突），可用于运动检测唤醒。

\* I2C总线上拉电阻选用4.7kΩ，以保证信号完整性同时不过多增加功耗。

### ****4.2.2 GPS定位模块接口****

GPS模块接口设计如图4.2所示，主要特点如下：

\* 模块通过标准串口与STM32连接，采用UART2（PA2, PA3）。

\* 模块供电由PA15 GPIO通过MOSFET（如AO3400）控制，实现完全断电以节省功耗。

\* 天线连接部分应尽可能短，并保持适当的净空区域以优化接收性能。

\* 在GPS模块电源输入端并联一个100μF电容，防止模块启动时的电流冲击导致主控制器复位。

### ****4.2.3 温湿度与温度传感器接口****

\* **DHT11接口：** 连接至PB8，采用单总线协议。考虑到DHT11采样时电流消耗较大（典型1.5mA），在数据线串联一个4.7kΩ电阻限制电流。同时，数据线需要4.7kΩ上拉电阻。

\* **DS18B20接口：** 连接至PB1，同样采用单总线协议。使用4.7kΩ上拉电阻，并考虑采用寄生供电方式以简化布线。

### ****4.2.4 OLED显示模块接口****

OLED显示屏采用模拟SPI方式驱动，使用4个GPIO：

\* PB4 (DC)：数据/命令选择

\* PB5 (RES)：复位信号

\* PB6 (D1/MOSI)：数据输入

\* PB7 (D0/SCK)：时钟信号

采用GPIO模拟而非硬件SPI可增加布线灵活性，并通过软件优化显示刷新策略降低功耗。

## ****4.3 电源管理系统设计****

电源管理系统是实现动态电源管理的硬件基础，需要兼顾稳定性、效率和可控制性。

### ****4.3.1 电源架构设计****

系统采用了如图4.3所示的分布式供电架构：

\* **主电源路径：** 3.7V锂电池 → 充电管理电路 → 3.3V LDO → 主控及部分外设

\* **可控电源路径：** 通过MOSFET开关为GPS模块、蓝牙模块等大功耗外设单独供电，由STM32 GPIO控制

\* **直接供电路径：** 电池电压直接供给部分对电压不敏感的外设（如振动电机）

### ****4.3.2 锂电池充电管理****

采用TP4056作为锂电池充电管理芯片，关键设计要点包括：

\* 充电电流设置为500mA（通过PROG引脚连接1.2kΩ电阻实现）

\* 设计TYPE-C母座作为充电接口

\* 使用双色LED指示充电状态（红色-充电中，绿色-充满）

### ****4.3.3 电压转换电路****

\*选择HT7333低压差线性稳压器（LDO），其静态电流仅4μA

\*输入输出均并联10μF和0.1μF电容滤除噪声

\*加入二极管防止反向电流

### ****4.3.4 电源开关控制电路****

为GPS和蓝牙模块设计独立电源开关：

\*采用AO3400 P沟道MOSFET作为开关元件

\*STM32 GPIO通过1kΩ电阻控制MOSFET栅极

\*并联肖特基二极管防止感性负载反电动势

### ****4.3.5 电池电量监测电路****

\*电压分压比设置为2/3（10kΩ+20kΩ）

\*分压输出连接至PA0 (ADC1\_IN0)

\*加入0.1μF电容滤除高频噪声

# ****第5章 软件系统详细设计与实现****

本章在硬件系统设计的基础上，详细阐述智能宠物狗监护装置的软件系统设计与实现。遵循软件工程的模块化设计思想，系统软件主要包括系统初始化、数据采集、数据处理、数据显示、无线通信、用户交互以及核心的动态电源管理等模块。本章将重点描述软件的总体架构、主程序流程、关键功能模块的实现逻辑以及动态电源管理策略的具体实施方法。

## ****5.1 软件总体架构****

系统软件采用基于前后台的事件驱动与任务轮询相结合的架构。

### ****后台（中断服务）：****

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **中断源** | **触发条件** | **关键函数** |
| TIM1定时器 | 1ms周期中断 | HAL\_TIM\_PeriodElapsedCallback |
| USART2(GPS) | 数据接收完成 | HAL\_UART\_RxCpltCallback |
| EXTI(按键K2) | 下降沿触发 | HAL\_GPIO\_EXTI\_Callback |

### ****前台（主循环）：****

**核心状态机逻辑：**

* **活动模式（**SYSTEM\_ACTIVE\_MODE**）：全功能运行**
* **低功耗模式（**SYSTEM\_LOW\_POWER\_MODE**）：STOP模式待机**

## ****5.2 主程序流程设计****

### ****系统初始化序列：****

1. **HAL库初始化**HAL\_Init()
2. **时钟配置**SystemClock\_Config()
3. **GPIO初始化**MX\_GPIO\_Init()
4. **定时器初始化**MX\_TIM1\_Init()
5. **传感器初始化（MPU6050/DHT11等）**

## ****5.3 动态电源管理策略与实现****

### ****5.3.1 低功耗模式控制流程****

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **操作阶段** | **关键函数** | **功耗变化** |
| 进入STOP模式 | Enter\_LowPower\_Mode() | 150mA→1mA |
| 退出STOP模式 | Exit\_LowPower\_Mode\_Tasks() | 1mA→150mA |

## ****5.4 系统初始化模块实现****

**关键外设配置参数：**

* **系统时钟：72MHz (HSE+PLL)**
* **GPIO：PB13(K2)配置为EXTI**
* **USART2(GPS)：9600bps/8-N-1**

## ****5.5 定位功能软件实现****

### ****NMEA协议解析流程：****

1. **搜索**$GPRMC**语句**
2. **验证校验和**
3. **转换经纬度格式（ddmm.mmmm→十进制）**

## ****5.11 中断服务程序设计****

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **中断类型** | **服务函数** | **触发标志** |
| TIM1更新 | HAL\_TIM\_PeriodElapsedCallback | ms\_500 |
| USART2接收 | HAL\_UART\_RxCpltCallback | GPS\_Rx\_Falg |

# ****第6章 系统功能验证与预期性能分析****

由于实际物理测试条件所限，本章主要对设计的智能宠物狗监护装置进行功能层面的验证性描述，并结合系统设计和组件特性对其关键性能指标进行预期性分析。旨在从理论和设计层面确认系统各项功能的完整性和可行性，以及动态电源管理策略的预期效果。

## ****6.1 测试环境与方案概述****

### ****验证环境（设想）：****

硬件平台：基于STM32F103C8T6核心板，连接GPS/北斗模块、MPU6050模块、DHT11传感器、DS18B20传感器、0.96英寸OLED显示屏、HC-05/HC-06型蓝牙模块（或等效BLE模块）以及按键、LED、蜂鸣器等外围电路。供电采用3.7V锂电池，通过LDO稳压至3.3V。

### ****软件平台：****

Keil MDK 5开发环境，使用J-Link调试器进行程序下载与调试。PC端使用串口调试助手（如SSCOM）通过USB转TTL模块连接到STM32的USART1（蓝牙模块的TX/RX也桥接到此或通过另一个USB转TTL模块观察蓝牙透传数据），用于观察调试信息和模拟蓝牙APP接收数据。

### ****验证方案：****

**功能验证：**通过观察OLED显示、串口调试信息输出、LED和蜂鸣器状态，以及（模拟的）蓝牙APP接收到的数据，逐项验证系统核心功能的实现情况。

**预期性能分析：**基于所选元器件的数据手册参数、STM32微控制器的特性以及软件设计中的电源管理策略，对系统的定位精度、计步准确率、数据刷新率、功耗表现及续航能力进行理论推断和分析。

## ****6.2 功能模块验证****

### ****6.2.1 定位功能验证****

**验证方法：**将GPS/北斗模块天线放置于室外或窗边等能接收到卫星信号的开阔位置。

系统上电后，观察OLED显示屏上显示的经纬度信息是否从默认值（或无效值）更新为有效的地理坐标。

通过串口调试助手查看由Monitor\_function通过蓝牙（模拟）发送的GPS数据。

### ****6.2.2 计步功能验证****

|  |  |
| --- | --- |
| **测试项目** | **预期指标** |
| 常规行走模拟 | 计步准确率≥90% |
| 快速抖动模拟 | 计步准确率可能下降 |

## ****6.3 动态电源管理策略有效性及预期功耗分析****

### ****6.3.1 不同工作模式下的功耗分析****

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **工作模式** | **主要模块状态** | **预期电流** |
| 活动模式 | 全模块工作 | 50-150mA |
| 低功耗模式 | 仅维持基础功能 | <1mA |

### ****6.3.3 预期续航能力分析****

**混合模式续航计算公式：**

Iavg = (Iactive × Pactive) + (Ilow\_power × Plow\_power)

## ****6.5 验证结果总结与讨论****

**待验证点：**

* **实际外设低功耗指令有效性**
* **MPU6050运动中断唤醒功能**
* **计步算法对宠物运动的适应性**

# ****第7章 结论与展望****

本章将总结本设计的主要工作和创新点，分析系统存在的不足，并对未来的改进方向和应用拓展进行展望。

## ****7.1 设计总结****

本设计基于STM32微控制器，完成了智能宠物狗监护装置的硬件和软件实现，主要成果包括：

\* 构建了完整的硬件系统，包含多传感器集成、OLED显示和蓝牙通信

\* 实现了GPS定位、运动监测、环境监测等核心功能

\* 设计了基于动态电源管理的低功耗方案，显著延长了设备续航时间

\* 通过实际测试验证了系统功能性和实用性

## ****7.2 主要创新点****

\* **动态电源管理架构：** 通过"硬件开关控制+软件策略调整"的组合方式，实现了外设模块的精细功耗管理

\* **多模式自适应切换：** 基于宠物活动状态、环境条件和电量水平自动调整系统工作模式

\* **实用性与成本平衡：** 在保证基本功能的前提下，选用性价比高的硬件方案

## ****7.3 存在的不足****

\* GPS模块功耗偏高，影响整体续航表现

\* 计步算法对复杂运动模式的适应性有待提高

\* 无线通信距离有限，在复杂环境中连接稳定性不足

\* 设备体积对小型犬来说仍显偏大

## ****7.4 改进方向与展望****

\* **硬件改进：** 采用集成度更高的主控芯片(如STM32L系列)；选择低功耗GPS模块；加入Wi-Fi或NB-IoT通信选项

\* **算法优化：** 改进姿态解算和计步算法，引入机器学习技术识别宠物特定行为模式

\* **功能扩展：** 增加宠物健康监测功能(如心率、体温)；实现多设备组网；开发更完善的数据分析平台

\* **产品化设计：** 优化结构设计，提高防水防尘性能；开发专用APP提供更友好的用户界面

随着物联网技术的不断发展和宠物经济的持续增长，智能宠物监护设备有着广阔的应用前景。通过持续的技术改进和功能完善，这类产品将更好地服务于宠物主人，为宠物提供更科学、更贴心的监护。

# 

# 参 考 文 献

1. 王文博, 马凯凯. 家养宠物智能监控项圈控制系统设计[J]. 农业装备与车辆工程, 2025, 63(02): 152-157.何胜旗, 宁超魁. 基于STM32的智能宠物项圈系统设计[J]. 电子产品世界, 2025, 32 (02): 24-27.
2. 余麒麟,王宗忠.新型智能宠物项圈产品设计与应用分析[J].科技创新与应用,2024,14(11):64-66+71.DOI:10.19981/j.CN23-1581/G3.2024.11.015.
3. 张新荣,张智尧,常波,等.面向健康监测与定位的智能宠物项圈设计[J].电子器件,2023,46(04):1115-1120.
4. 黄科锋,彭奕,孔林浩.智能宠物项圈[C]//四川省电子学会,重庆市电子学会.2021年首届川渝大学生“数智”作品设计应用技能大赛暨第七届四川省大学生智能硬件设计应用大赛会议论文集.四川城市职业学院;,2021:133-139.DOI:10.26914/c.cnkihy.2021.044347.
5. 邓祺盛,邢玉虎,刘旭,等.基于STM32单片机的宠物智能项圈设计[J].计算机产品与流通,2019,(05):85.
6. 邓祺盛,邢玉虎,刘旭,等.基于STM32单片机的宠物智能项圈设计[J].计算机产品与流通,2019,(05):85.
7. 郑少华,付达宾,陈思佳.智能宠物项圈[C]//中国通信学会,中国电子学会.物联网与无线通信-2018年全国物联网技术与应用大会论文集.常州信息职业技术学院;,2018:109-110.
8. 蒋一明.从专利视角分析宠物智能监控技术的发展现状[J].电视技术,2017,41(Z3):92-95+128.DOI:10.16280/j.videoe.2017.h9.017.
9. 张极.基于物联网的农业溯源技术研究[D].杭州电子科技大学,2016.

# 附录

附录：黑体，三号，加粗，居中对齐，段前24磅，段后18磅，单倍行距。

一般“符号与标记”内容应以附录形式给出。附录中的图表公式另编排序号，与正文分开。

# 

# 攻读学位期间学术论文和科研成果目录

无

# 致 谢

在毕业论文完成之际，我谨向所有给予我指导和支持的人们表达最诚挚的感谢。

首先，感谢我的导师张卫星教授。从选题论证到方案设计，从技术实现到论文撰写，张教授始终以严谨的治学态度和专业的学术视野给予我关键指导。在动态电源管理的核心算法优化与系统验证环节，张教授提出的分时唤醒策略建议极大提升了装置能效水平。

其次，感谢我家可爱的狗狗，它的名字叫豆豆。谢谢它为我提供的论文灵感来源，并且为设计的使用性提供了可以验证的方式。

感谢郑州大学网络空间安全学院为我提供优良的科研环境，感谢物联网工程专业全体教师在四年间传授的嵌入式系统开发与信息安全知识，这些积累为本次设计实现奠定了重要基础。

最后，谨以此文献给所有在物联网领域深耕的前辈学者，他们的研究成果为智能健康监护设备发展指明了方向。