

低功耗导向的OpenHarmony多模态防盗系统设计与优化

熊志标 袁方鸣 罗旭日

南昌交通学院 江西南昌 330100

摘要: 针对传统单模态防盗系统误报率高、续航能力差及跨设备协同不足的问题,设计一种基于OpenHarmony操作系统的低功耗多模态防盗系统。系统融合人体红外感应(PIR)、微波雷达、声纹识别及振动传感四种模态数据,采用“边缘预处理-云端融合决策”的架构实现精准防盗与功耗控制。在硬件层面,通过传感器选型优化、电源管理模块设计及休眠唤醒机制配置降低硬件功耗;在软件层面,基于OpenHarmony的分布式能力实现多设备数据协同,引入改进的加权证据理论算法完成多模态数据融合,并通过任务调度优化与冗余数据裁剪进一步降低系统能耗。实验结果表明,该系统在复杂环境下的防盗识别准确率达98.2%,误报率降至1.5%,单设备满电续航时间较传统单模态系统提升2.3倍,可有效满足家庭、仓储等场景的低功耗防盗需求。

关键词: OpenHarmony; 多模态融合; 低功耗设计; 防盗系统; 证据理论

一、引言

(一) 研究背景与意义

随着物联网技术的普及,防盗系统已从传统的机械锁具发展为基于电子传感技术的智能防护体系。然而,当前主流的防盗系统多采用单一传感模态(如红外、摄像头),存在明显局限性:单一红外传感器易受环境温度、宠物活动等干扰导致误报;摄像头虽识别精度较高,但存在隐私泄露风险,且持续工作模式下功耗极高,难以实现长期离线运行。此外,多数系统基于封闭操作系统开发,设备间数据壁垒严重,无法实现跨终端协同防护,进一步降低了防盗体系的可靠性。

OpenHarmony作为面向全场景的分布式操作系统,具备“一次开发、多端部署”“硬件互助、资源共享”的核心特性,其轻量级内核(LiteOS-M)专为物联网终端设计,在功耗控制与资源调度方面具有天然优势。基于此,本文设计低功耗导向的OpenHarmony多模态防盗系统,通过融合多源传感数据提升识别精度,依托OpenHarmony的分布式能力构建协同防护网络,同时从硬件选型到软件优化全流程落实低功耗设计,对推动智能防盗系统的国产化、低功耗化发展具有重要理论与实

用价值。

(二) 国内外研究现状

在智能防盗系统领域,国外研究起步较早,如Nest推出的智能安防系统采用摄像头与人体感应结合的方式,但核心技术依赖封闭生态,且功耗控制依赖外接电源,灵活性不足;德州仪器(TI)提出基于ZigBee的低功耗传感网络方案,虽降低了单设备能耗,但多设备协同能力较弱。国内方面,华为推出的HarmonyOS智能安防套件实现了多设备联动,但侧重家庭场景的便捷性,未针对防盗场景的低功耗与多模态融合进行深度优化;中科院自动化所在多模态数据融合算法上取得突破,提出基于深度学习的融合模型,但模型复杂度高,难以部署在资源受限的物联网终端。

综合来看,现有研究存在三大痛点:一是多模态融合算法与低功耗终端的适配性不足;二是缺乏基于开源分布式操作系统的跨设备协同防护方案;三是硬件与软件的功耗优化存在“脱节”问题,未形成全链路节能体系。本文针对上述问题,以OpenHarmony为软件基座,构建“硬件节能-算法轻量化-系统调度优化”的三维低功耗设计体系,实现防盗精度与续航能力的平衡。

二、核心技术基础

(一) OpenHarmony轻量级内核特性

OpenHarmony采用“宏内核+微内核”的混合架构,针对物联网终端的轻量级内核基于LiteOS-M优化而来,具备以下特性:1)极小的内存占用(最低128KB),适

基金项目: 本文系南昌交通学院大学生创新创业训练计划项目(S202513431013)资助;

作者简介: 熊志标(1997-),男,汉族,江西南昌,硕士研究生,研究方向:人工智能、ROS机器人。

合资源受限的传感终端；2) 支持多任务调度，提供抢占式优先级调度机制，可通过任务优先级动态调整实现能耗优化；3) 内置电源管理模块，支持深度休眠、浅度休眠等多种功耗模式，休眠状态下电流可低至微安级；4) 分布式软总线技术，实现设备间低延迟、低功耗的数据传输，为多设备协同提供支撑。

本文基于OpenHarmony3.2轻量系统版本开发，利用其电源管理接口配置传感器的休眠唤醒策略，通过分布式数据管理模块实现多模态数据的跨设备同步，依托任务调度框架优化数据处理流程，从操作系统层面为低功耗设计提供保障。

(二) 低功耗传感技术

低功耗传感技术是系统实现长续航的核心支撑，本文选取的四种传感模式均具备低功耗特性：1) PIR 人体红外传感器，静态电流仅 $5\mu\text{A}$ ，仅在检测到人体红外辐射变化时唤醒；2) 24GHz微波雷达传感器，支持间歇工作模式，探测距离远且抗干扰能力强，工作电流 $\leq 10\text{mA}$ ；3) MEMS振动传感器，采用压电式结构，静态功耗 $\leq 2\mu\text{A}$ ，仅在检测到振动信号超过阈值时触发；4) 声纹识别模块，采用离线语音唤醒芯片，唤醒电流 $\leq 1\text{mA}$ ，仅在检测到预设唤醒词后启动声纹比对。四种传感器的互补特性可覆盖不同场景的防盗需求，同时其低功耗特性为系统长续航奠定基础。

三、系统总体设计

(一) 系统设计目标

结合防盗场景需求与低功耗导向，本文设计的系统需满足以下目标：1) 识别精度：复杂环境下（如光照变化、宠物活动）非法入侵识别准确率 $\geq 95\%$ ，误报率 $\leq 3\%$ ；2) 功耗性能：单设备采用5000mAh锂电池供电，续航时间 ≥ 30 天；3) 协同能力：支持多终端数据共享，实现“一点探测、全域报警”；4) 可靠性：具备离线工作能力，网络中断时仍可完成本地报警。

(二) 系统架构设计

基于OpenHarmony的分布式特性，系统采用“感知层-边缘计算层-应用层”的三级架构。

(1) 感知层：由部署在不同位置的多模态传感终端组成，每个终端集成PIR、微波雷达、振动传感器及声纹识别模块，负责采集人体活动、振动、语音等原始数据。终端基于OpenHarmony轻量级内核开发，具备数据预处理与本地简单决策能力，可有效减少无效数据传输，降低功耗。

(2) 边缘计算层：由家庭网关或边缘服务器组成，作为系统的核心枢纽，承担三大功能：一是多模态数据融合，通过改进的加权证据理论算法对各传感终端上传的数据进行融合决策；二是分布式协同管理，依托OpenHarmony的分布式软总线技术实现多终端设备发现、连接与数据同步；三是本地报警触发，当检测到非法入侵时，立即启动本地声光报警模块，并向应用层推送报警信息。

(3) 应用层：包括移动终端APP与云平台，云平台负责存储系统运行日志、报警记录等数据，支持历史数据查询与统计分析；移动终端APP为用户提供远程监控界面，支持实时状态查看、报警信息接收、设备参数配置等功能，实现“随时随地”的防盗管理。

四、系统低功耗优化策略

为实现系统长续航目标，从硬件、软件、数据传输三个层面构建全链路低功耗优化策略，形成“硬件节能-算法减负-调度优化”的协同优化体系。

(一) 硬件层面优化

采用“动态电压调节”技术，通过AXP192电源管理芯片根据核心控制器的工作状态调整供电电压：当芯片处于休眠状态时，供电电压降至1.0V；当进行数据处理时，电压升至1.2V；当进行通信传输时，电压升至1.5V。同时，为各模块配置独立的电源开关，未工作模块的电源完全切断，避免待机功耗。经测试，优化后的电源模块平均功耗降低35%。

(二) 软件层面优化

基于OpenHarmony的任务调度框架，采用“优先级动态调整”策略分配任务资源。对加权证据理论算法进行轻量化优化：1) 简化BPA计算，采用预设阈值与查表法替代复杂的概率计算，将浮点数运算次数减少60%；2) 引入证据冲突预判机制，当两模态证据的冲突系数小于0.3时，直接采用传统D-S规则合成，无需计算权重，减少计算步骤；3) 算法运行采用“按需启动”模式，仅当至少两个传感器检测到异常时才启动融合计算，正常状态下不执行融合任务。优化后的算法在Hi3861上的运行时间从200ms缩短至30ms，计算功耗降低40%。

(三) 数据传输层面优化

在边缘网关侧采用LZ77压缩算法对融合后的结果数据进行压缩，进一步降低向云平台传输的数据量。采用“事件触发+批量传输”的通信模式替代传统的定时传输：1) 正常状态下，传感终端与边缘网关保持低功耗连

接，仅在检测到异常时上传数据；2) 边缘网关将多个终端的报警信息与设备状态数据汇总后，每5分钟批量向云平台上传一次，减少通信连接建立次数。同时，优化Wi-Fi模块的工作模式，数据传输完成后立即进入休眠状态，唤醒间隔根据设备优先级动态调整（高优先级设备唤醒间隔10s，低优先级60s）。

五、实验验证与结果分析

为验证系统的识别性能与低功耗特性，搭建实验环境进行对比测试，实验分为性能测试与功耗测试两部分，测试环境模拟家庭与仓储两种典型场景，实验设备包括3个多模态传感终端、1个边缘网关、1部OpenHarmony手机（安装APP）及功耗测试仪器（Keithley2400数字源表）。

（一）实验设计

（1）测试样本：设计5类测试场景，包括“真人入侵”“宠物活动”“环境干扰（如风吹动窗帘）”“设备误触发”“正常状态”，每类场景重复测试100次，共500组测试样本。

（2）对比对象：选取两类对比系统，A系统为传统单模态红外防盗系统（HC-SR501+STM32F103），B系统为基于Android的双模态（红外+摄像头）防盗系统。

（3）测试指标：识别性能指标包括准确率、误报率、响应时间；功耗性能指标包括单设备平均功耗、续航时间；协同性能指标包括多设备数据同步延迟。

（二）识别性能测试结果

识别性能测试结果如表1所示。由表可知，本文系统在各类场景下的识别准确率达98.2%，误报率1.5%，显著优于A系统（准确率82.3%，误报率12.1%）与B系统（准确率93.5%，误报率4.8%）。原因在于多模态数据融合有效弥补了单一模态的局限性，例如，在“宠物活动”场景下，A系统误报率达35%，而本文系统通过微波雷达与PIR的协同判断，可准确区分人体与宠物；在“环境干扰”场景下，B系统因摄像头受光照影响出现误判，本文系统通过振动与声纹模态的辅助验证，降低了环境干扰的影响。响应时间方面，本文系统平均响应时间为0.8s，略快于B系统（1.2s），因算法轻量化优化减

表1 识别性能测试结果

系统类型	准确率 (%)	误报率 (%)	平均响应时间 (s)
本文系统	98.2	1.5	0.8
A系统（单模态红外）	82.3	12.1	0.5
B系统（Android双模态）	93.5	4.8	1.2

少了计算时间，同时OpenHarmony的分布式软总线技术降低了数据传输延迟。

（三）功耗性能测试结果

功耗测试采用Keithley2400数字源表实时采集传感终端的电流变化，计算平均功耗与续航时间，结果如表2所示。本文系统的单设备平均功耗为8.6mA，远低于A系统（15.2mA）与B系统（42.8mA），5000mAh锂电池供电下续航时间达38天，是A系统的2.3倍，B系统的4.1倍。原因在于全链路低功耗优化策略的有效实施：硬件层面的休眠机制使传感器平均工作时间占比降至5%以下；软件层面的任务调度与算法优化减少了计算开销；数据传输层面的压缩与批量传输降低了通信功耗。B系统因摄像头持续工作，功耗最高，续航时间仅9天，难以满足长期离线使用需求。

表2 功耗性能测试结果

系统类型	平均功耗 (mA)	5000mAh续航时间 (天)
本文系统	8.6	38
A系统（单模态红外）	15.2	16.5
B系统（Android双模态）	42.8	9

（四）协同性能测试结果

协同性能测试通过模拟3个传感终端同时检测到入侵的场景，测试多设备数据同步延迟与报警响应一致性。结果显示，边缘网关接收3个终端数据的最大同步延迟为0.3s，向移动APP推送报警信息的延迟为0.5s，所有终端与APP的报警响应时间差 $\leq 0.2s$ ，实现了“全域同步报警”的目标。而B系统因Android设备间的通信壁垒，数据同步延迟达2.1s，难以满足协同防护需求。

（五）实验结论

实验结果表明，本文设计的基于OpenHarmony的多模态防盗系统在识别精度、低功耗性能与协同能力上均优于传统系统，可有效解决单模态系统误报率高、续航短及跨设备协同不足的问题，满足家庭、仓储等场景的智能防盗需求。

六、结论与展望

（一）研究结论

本文以低功耗为核心导向，结合OpenHarmony的分布式特性与多模态数据融合技术，设计并实现了一套智能防盗系统。主要研究成果包括：1) 构建“感知层-边缘计算层-应用层”的分布式系统架构，依托OpenHarmony的软总线技术实现多设备协同防护；2) 提

出改进的加权证据理论算法,通过动态权重分配解决多模态数据冲突问题,同时进行轻量化优化以适应终端资源限制;3)从硬件休眠、软件调度、数据传输三方面构建全链路低功耗策略,实现系统长续航目标。实验验证表明,系统识别准确率达98.2%,误报率1.5%,续航时间38天,性能优于传统防盗系统。

(二) 未来展望

未来可从以下三方面对系统进行优化升级:1) 模态扩展:引入毫米波雷达与红外热成像模块,提升复杂环境下的识别精度,尤其适用于黑暗、烟雾等极端场景;2) 算法智能化:结合联邦学习技术,在保护用户隐私的前提下,利用多用户数据训练优化融合算法,实现“自主学习”能力;3) 生态融合:深度集成OpenHarmony智能家居生态,实现与门锁、灯光、监控等设备的联动控制,构建全场景智能安防体系。

参考文献

[1]任燕,姜微,薄喜柱,等.基于OpenHarmony的车机智能系统设计与实现[J/OL].软件导刊,1-7[2025-12-10].<https://link.cnki.net/urlid/42.1671.TP.20251127.1532.016>.

[2]Ren Y, Huang F, Jiang W, et al. Design and Performance Optimization of an Intelligent Cockpit System Based on OpenHarmony[J].Frontiers in Computing and Intelligent Systems,2025,13(3):80-84.DOI:10.54097/V61H3M14.

[3]李嘉荣,李妮蓉.基于OpenHarmony的简易智能家居系统[J].物联网技术,2025,15(19):81-85.DOI:10.16667/j.issn.2095-1302.2025.19.017.

[4]朱威凯.基于OpenHarmony的电子飞行包系统设计与实现[D].杭州电子科技大学,2025.DOI:10.27075/d.cnki.ghzdc.2025.001013.

[5]武贵贵.基于OpenHarmony的温室大棚环境智能监控系统研究与开发[D].河北北方学院,2024.DOI:10.27767/d.cnki.ghbbf.2024.000323.

[6]赵伟影.基于OpenHarmony的智能物联网消防报警设备研究[J].消防界(电子版),2024,10(04):34-36.DOI:10.16859/j.cnki.cn12-9204/tu.2024.04.037.

[7]王浩.基于鸿蒙OpenHarmony的语音识别控制系统设计与实现[J].软件工程,2023,26(09):59-62.DOI:10.19644/j.cnki.issn2096-1472.2023.009.011.

[8]程晨.开源鸿蒙(OpenHarmony)嵌入式开发实践[M].化学工业出版社:202309:164.