

基于 ESP32S3 与瑞芯微 RK3588 的 智能陪伴机器人系统设计与 StaryOS 移植

团队信息

团队名称：智能伴老机器人开发组

负责人：王奕娴

第一部分 项目概述

本项目的核心目标是开发一款先进的智能陪伴机器人系统，该系统将融合 ESP32S3 和瑞芯微 RK3588 这两种强大的硬件平台。这一创新的结合旨在为应对日益严峻的老龄化社会问题提供解决方案，特别是针对居家养老的老年人群体。我们的机器人系统将不仅仅是一个简单的辅助工具，它将具备一系列高级功能，包括但不限于语音交互、视觉识别以及情感陪伴。通过这些功能，机器人能够与用户进行自然的交流，理解用户的情感状态，并提供相应的陪伴和帮助。

为了实现这些功能，我们将集成多种传感器，这些传感器能够捕捉环境信息和用户行为，为机器人提供必要的的数据输入。同时，我们还将应用先进的 AI 算法，这些算法能够处理传感器收集的数据，并作出智能的决策。这将使得机器人系统能够实现流畅且自然的人机交互体验，就像与真人交流一样。

此外，我们计划采用 StaryOS 作为系统级的操作系统支持。StaryOS 是一个专为嵌入式设备和机器人设计的操作系统，它能够提供强大的实时响应能力，确保机器人能够迅速地对用户的指令做出反应。同时，StaryOS 还能够提供稳定的操作环境和良好的系统扩展性，这意味着我们的机器人系统将能够随着技术的进步而不断升级和改进，以满足未来可能出现的新需求。

第二部分 硬件平台分析

2.1 芯片/SoC 特性分析

ESP32S3:

双核 Xtensa LX7 处理器，支持 WiFi 6 和 Bluetooth 5。

内置 AI 指令集，支持向量运算，适用于轻量级语音识别与传感器控制。

瑞芯微 RK3588:

采用四核 A76 + 四核 A55 架构，搭载 Mali-G610 GPU。

内置 NPU（6 TOPS），支持 INT4/INT8/FP16，适用于图像识别、语音处理等任务。

丰富外设接口：MIPI CSI、PCIe 3.0、USB 3.1、千兆以太网等。

2.2 开发板/Platform 特性分析

ESP32S3DevKitC1:

https://detail.tmall.com/item.htm?ali_refid=a3_420434_1006%3A1109983619%3AH%3A4vUjt%2FCm0s0N4%2FVKw9pnXw%3D%3D%3A25272dd480c4ea63dd6e2f3eb54d3c30&ali_trackid=318_25272dd480c4ea63dd6e2f3eb54d3c30&id=839553031259&mi_id=000001fsqi2m8mZS18qWh3

dN9gsGFLP1NllaDaUj3ESyYb0&mm_sceneid=0_0_98938874_0&priceTId=2147868017582743744307002e0ebf&skuld=6076706642565&spm=a21n57.1.hoverItem.2&utparam=%7B%22aplus_abtest%22%3A%22a5a3296def6daadd9d13ee394cd5fe8c%22%7D&xxc=ad_ztc

价格：约 25-95 RMB

RK3588 开发板（香橙派 OPi5 Ultra 瑞芯微 RK3588）：

(<https://item.taobao.com/item.htm?from=cart&id=858192229591&skuld=5835304098551&spm=a1z0d.6639537%2F202410.item.d858192229591.6d847484dDkIYO&upStreamPrice=87400>)

价格：约 900-1100 RMB

配置：8GB RAM + 32GB eMMC，带 NPU 与多种接口

第三部分 移植工作难点分析

3.1 StarryOS 内核当前支持情况

目前，StarryOS 操作系统已对 ESP32S3 芯片实现了初步的支持，这一支持涵盖了基本的硬件接口功能，如串口通信、通用输入输出（GPIO）以及无线网络连接（WiFi）。这些功能的实现，为开发者在该平台上进行初步的应用开发和调试提供了便利。

然而，对于性能更为强大的 RK3588 芯片，StarryOS 的支持仍显得不够完善。RK3588 作为一款高性能的处理器，具备丰富的硬件接口和强大的计算能力，但在当前版本中，其诸多关键功能尚未得到充分的支持和优化。因此，移植工作成为了当前亟待解决的任务，需要进行全面的测试和验证。

在移植过程中，需重点关注的模块包括：高性能的 PCIe 接口，用于高速数据传输；MIPICSI 接口，支持高分辨率图像输入；NPU 驱动，以充分发挥 RK3588 在人工智能计算方面的优势；以及 USB 3.1 接口，提供更快的数据传输速率。这些模块的顺利移植和优化，将极大地提升 StarryOS 在 RK3588 平台上的性能表现和应用范围，为开发者提供更为强大的开发工具和环境。

3.2 外设驱动开发计划

计划移植的三种外设驱动包括：

1. OV2640 摄像头驱动（I2C + MIPICSI）：该驱动旨在实现高分辨率图像采集功能，通过 I2C 接口进行配置控制，并结合 MIPICSI 接口进行高速数据传输，确保图像数据的实时性和准确性。
2. 语音编解码器驱动（I2S + DMA）：此驱动用于支持高质量的语音输入输出，利用 I2S 接口进行音频数据的传输，同时借助 DMA 技术实现数据的高速处理，有效降低系统负担，提升音频处理效率。
3. 温湿度传感器驱动（I2C/SPI）：该驱动能够精准监测环境温湿度变化，支持 I2C 和 SPI 两种通信接口，灵活适应不同硬件平台需求，确保数据的可靠性和实时性。

开发经验：具备丰富的嵌入式 Linux 驱动开发经验，曾深度参与 STM32 与树莓派的外设驱动开发项目，熟悉各类外设接口及驱动架构，具备扎实的底层编程能力和问题解决能力。

3.3 AI 加速单元开发计划

计划开发 RK3588 NPU 驱动，旨在实现对 INT8 量化模型的高效推理支持，涵盖常见的深度学习模型如 YOLO、BERT 等，以满足复杂应用场景下的高性能计算需求。开发经验方面，曾深

入使用 TensorRT、ONNX Runtime 等主流框架进行模型的优化与部署，积累了丰富的实战经验；此外，还具备扎实的 Rust 嵌入式开发基础，能够有效应对底层硬件与软件的协同开发挑战。

第四部分 开发计划与里程碑

4.1 人员分工

负责人：系统架构、StarryOS 移植、NPU 驱动、摄像头驱动、图像处理、模型部署、语音模块、传感器驱动、交互逻辑、上位机可视化、文档撰写、测试验证

4.2 开发环境/工具

OS: Ubuntu 22.04

工具: Rust nightly, cargo, openocd, jlink, vscode

AI 框架: tflitemicro, ONNX, RKNNToolkit2

4.3 开发计划

第一周	StarryOS 基础移植，串口/GPIO 调试
第二周	I2C/I2S 驱动开发，传感器模块测试
第三周	MIPICSI 摄像头驱动开发，图像采集
第四周	NPU 驱动开发，模型推理测试
第五周	系统集成测试，演示程序准备

第五部分 计划设计的 Rust 组件说明

5.1 内核相关组件

rkosdriverbase: 提供统一的设备驱动框架，支持高效的异步 I/O 功能，旨在简化驱动开发流程，提升系统性能和稳定性，适用于多种硬件设备，确保数据传输的流畅与高效。

rkosnpu: 专为 RK3588 NPU 设计的驱动，提供全面的模型加载与推理接口，支持多种深度学习框架，优化计算资源分配，显著提升 AI 任务的执行速度和准确性，为开发者提供便捷高效的 AI 应用开发环境。

5.2 驱动相关组件

ov2640driver: 摄像头驱动，支持图像采集与格式转换。

esp32s3voice: 语音识别与合成驱动，支持 VAD 与 NLP。

5.3 AI 应用相关组件

rkosaiinference: 轻量级推理引擎，支持多模型切换。

companionaiservice: 情感识别与对话管理服务。

第六部分 创新点与优势

创新点:

双芯片协同架构，兼顾低功耗与高性能：通过精心设计的双芯片协同架构，不仅有效降低了能耗，确保了设备的长时间稳定运行，同时还大幅提升了处理性能，满足了复杂任务的高效执行需求。

基于 Rust 的嵌入式 AI 系统，提升安全性与性能：采用新兴编程语言 Rust 开发的嵌入式 AI 系统，充分利用了 Rust 在内存安全和并发处理方面的优势，显著提升了系统的安全性和运行效率，为智能应用的稳定性和可靠性提供了坚实保障。

多模态交互（语音+视觉+多传感器融合识别）：系统支持多模态交互方式，结合语音识别、视觉感知以及多传感器数据融合技术，实现了更为自然和精准的用户交互体验，极大地丰富了应用场景和用户互动方式。

优势：

负责人具备嵌入式、AI、Rust 等多领域开发经验：项目负责人拥有深厚的跨领域技术背景，不仅在嵌入式系统开发方面经验丰富，还对人工智能技术和 Rust 编程语言有着深入的研究和实践，能够全面把控项目的技术方向和实施细节。

已有相关项目积累（如 STM32、Linux 驱动开发）：团队在过往项目中积累了丰富的开发经验，成功完成了多个基于 STM32 微控制器和 Linux 驱动开发的项目，这些宝贵的经验将为新项目的顺利推进提供有力支撑，确保技术实现的高效性和稳定性。

第七部分 预期成果

代码仓库：完整的 StarryOS 移植代码、外设驱动、AI 推理示例

文档：移植指南、API 说明、演示视频

课程/项目带动：推动嵌入式 Rust 与 AI 结合的教学实践，形成可复用的开源项目模板

主要参考文献：

- [1] 刘顺. 居家养老机器人情感化的设计与评估研究 [D]. 华中科技大学, 2023, DOI:10.27157/d.cnki.ghzku.2023.002895.
- [2] 郭敏. 基于 Android 平台多智慧养老机器人系统的设计与实现 [D]. 华中科技大学, 2017.
- [3] 施晨熠. 基于深度学习与 Android 平台的图像修复系统设计 [D]. 深圳大学, 2020, DOI:10.27321/d.cnki.gszdu.2020.000713.
- [4] 李艳, 高倩, 宋瑞波. 智能伴老机器人设计研究 [J]. 设计, 2021 (23) :71-73.
- [5] 李昱欣. 基于 NAO 的模拟智能陪护型机器人研究 [D]. 江西师范大学, 2023, DOI:10.27178/d.cnki.gjxsu.2023.001777.
- [6] 杨家兵. 基于深度学习的老年闲聊机器人的研究 [D]. 广东工业大学, 2021, DOI:10.27029/d.cnki.ggdgu.2021.002126.
- [7] 申琦, 关心怡. 陪伴机器人与智慧养老: 基于动态使用过程的实验观察 [J]. 现代传播 (中国传媒大学学报), 2024 (09) :66-75. DOI:10.19997/j.cnki.xdcb.2024.09.007.
- [8] 林镇郁, 唐林涛. 人与陪伴机器人的近体学交互研究 [J]. 设计, 2020 (01) :32-34. DOI:10.20055/j.cnki.1003-0069.2020.01.012.
- [9] 林树新. 基于深度学习的任务型对话系统中意图识别方法的研究 [D]. 燕山大学, 2020, DOI:10.27440/d.cnki.gysdu.2020.001877.
- [10] 张倚歌, 张建敏. 用户感性需求驱动的儿童陪伴机器人情感化设计研究 [J]. 设计, 2023 (07) :127-131. DOI:10.20055/j.cnki.1003-0069.000647.
- [11] 史耀军, 候艳芳. 基于情感化设计的儿童看护机器人设计研究 [J]. 设计, 2020 (22) :127-129.

- [12]张宪权, 孙嘉阳, 方舒宁, 刘伟, 郭莉莉. 智能机器人在居家陪伴中的应用[J]. 集成电路应用, 2024(08):416-418. DOI:10.19339/j.issn.1674-2583.2024.08.196.
- [13]谢启思, 陆定邦. 智能家居机器人社会化情感表达设计研究[J]. 家具与室内装饰, 2024(04):80-84. DOI:10.16771/j.cn43-1247/ts.2024.04.012.
- [14]王晨亮. 基于情感化设计的儿童陪伴机器人设计研究[D]. 长春工业大学, 2020, DOI:10.27805/d.cnki.gccgy.2020.000203.
- [15]Thyagarajan C. et al. Companion bot with voice and facial emotion detection with PID based computer vision[J]. Journal of Discrete Mathematical Sciences and Cryptography, 2022, 25(4):903-911.
- [16]Bahar Irfan et al. Recommendations for designing conversational companion robots with older adults through foundation models[J]. Frontiers in Robotics and AI, 2024, 11:1363713-1363713.
- [17]Wenshen Nie et al. Research on the Design Strategies of AI Companion Robot Emoji Packs Based on Users' Emotional Needs[J]. Journal of Arts, Society, and Education Studies, 2025, 7(2):100-107.
- [18]Yuto Satake et al. A Week With a Conversational Large Language Model Companion Robot. [J]. The American journal of geriatric psychiatry :official journal of the American Association for Geriatric Psychiatry, 2025, 33(7):799-800.
- [19]Jing Liu et al. Investigating Elderly Individuals' Acceptance of Artificial Intelligence (AI) Powered Companion Robots: The Influence of Individual Characteristics[J]. Behavioral Sciences, 2025, 15(5):697-697.