

嵌入式系统产业 现状与RISC-V发展趋势

ALLAN HE/何小庆

Allan@esbf.org

报告内容

- ① AI 浪潮下的嵌入式系统产业
- ② RISC-V 产业现状
- ③ 《深入理解RISC-V 处理器程序开发（第2版）》介绍
- ④ RISC-V 应用展望

① AI 浪潮下的嵌入式系统产业

单片机 (MCU) 和微处理器自70年代在欧美开始流行，80年代初进入中国。

2009年是“中国物联网元年”，工业4.0通过信息物理系统 (CPS) 实现设备、生产线与网络的互联，嵌入式系统是CPS 的底层技术支撑- 核心是嵌入式处理器和操作系统。

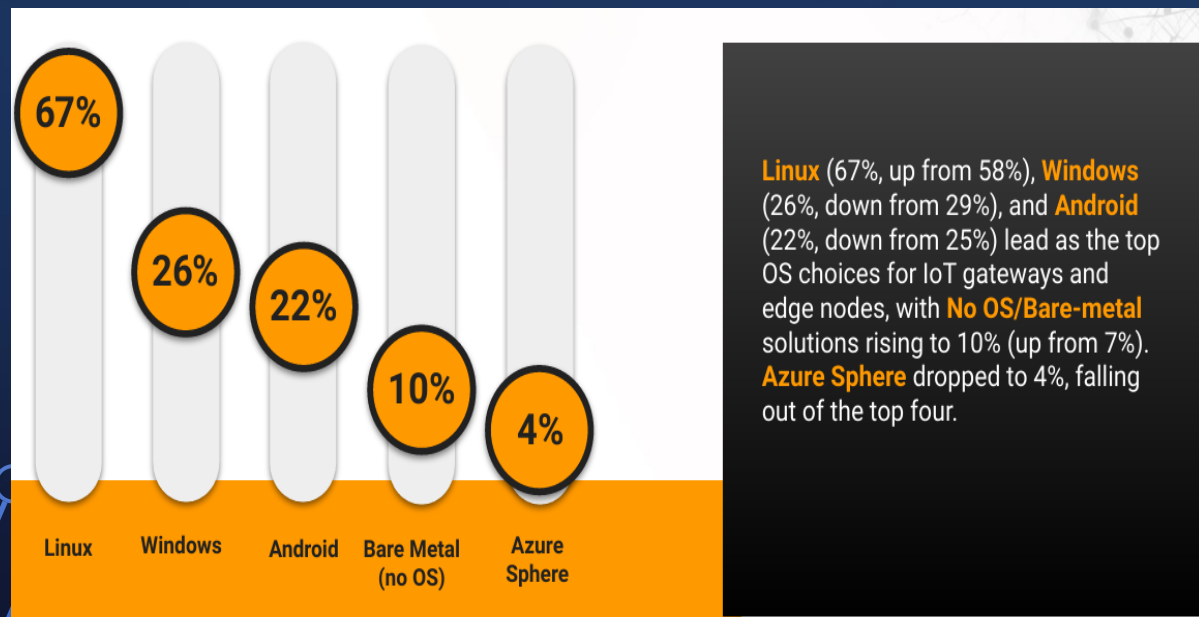
大模型催生AI落地 边缘AI应用爆发，各界纷纷构建智能体，自动化编程 (Vibe coding) 开始进入嵌入式系统。

嵌入式处理器市场总览

- 处理器分**服务器、桌面和嵌入式**，嵌入式处理器丰富多彩，常见CPU/GPU/MCU/MPU/SoC/FPGA/DSP，分为**通用和专用**。
- 市场形成以SoC AP和MCU为主流，Arm占据处理器指令架构核心位置。**RISC-V在物联网和嵌入式、专用计算（DSA）领域有很大的市场斩获。**
- 边缘和端侧AI处理器以及推理加速芯片是嵌入式系统研究和开发的热点。
- 国外处理器芯片在通用计算，**GPU、手机芯片**和汽车领域有技术优势和较大市场占有率。
- 存算一体的芯片研究取得许多成果，生态建设持续发力，有望在可穿戴和AI服务器市场落地。
- 国产芯片在成熟制程、中低端市场上有性价比优势；在**消费电子和物联网应用广泛**，在工业和汽车领域正在快速崛起。

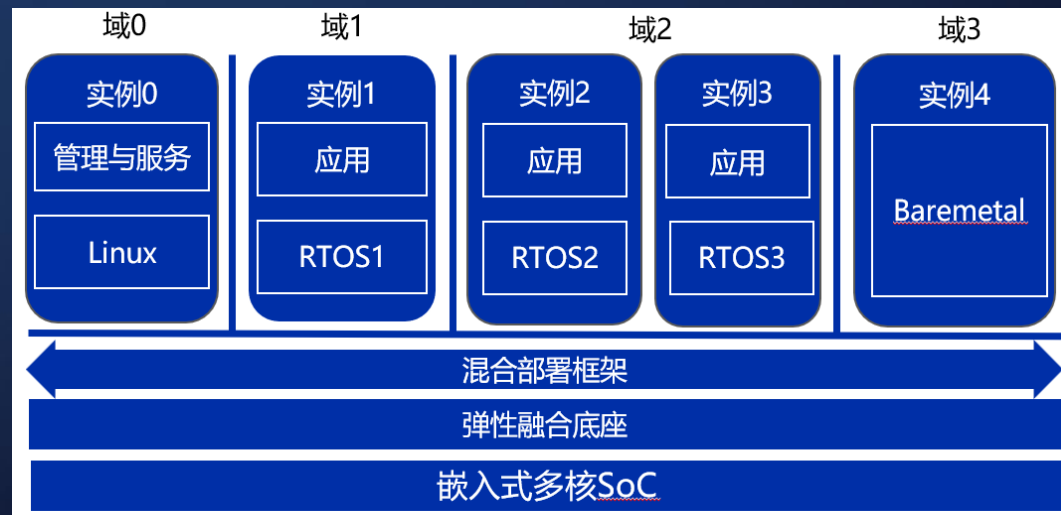
开源与安全 - 嵌入式操作系统发展大趋势

Eclipse基金会2024年物联网开发者调查:资源受限设备的开发人员嵌入式操作系统首选前三位是: Linux 49%、FreeRTOS 29%和Zephyr 21%, 其中Zephyr从2023年13%增长到21%, 进步显著。



2024 IoT & Embedded Developer Survey Report 来自 ECLIPSE 基金会

混合关键系统的底座采用虚拟化技术, 支持多个操作系统运行在同一个物理处理器上。一个芯片上同时运行实时性操作系统(RT-Thread)和通用操作系统(Linux)。虚拟化技术是异构多核芯片采用的全新解决方案, 它平衡了通用性与可靠性两方面需求。



基于openEuler Embedded混合关键性系统架构 来自余德钊演讲报告

OpenHarmony 国内市场表现强劲, 生态规模与技术成熟度快速提升!

物联网技术与产业格局



- 与移动互联网发展模式类似，物联网发展经历了基础期、导入期和**快速发展阶段**。
- 受政策和数字经济推动，物联网引来了战略机遇期— **物联网正在与垂直行业融合应用**。
- 全球物联网收入：2024年1万亿 - 2030年2万亿。连接数 2024年 160亿 -2030年 290亿。
- **物联网发展趋势**：①物联网人才复合化②赋能产业转型③通信技术叠加交叉 空天地互通④AI/5G/大数据/边缘智能多技术融合提升物联网价值。
- **物联网面临挑战**：①**安全**脆弱性②**平台**和OS 碎片化③部分**应用落地**仍有障碍。
- **物联网发展举措**：①推动**网络建设** NB-IOT/LTE-Cat1/5G , LoRa/蓝牙/WiFi/工业以太网②**标准建设** ③**应用深化**— 聚焦生活智慧、产业数字和治理智能化。④夯实物联网**产业基础**— 传感器、芯片、模组、通信技术研发。

嵌入式AI的热点-机器人与边缘计算



- 机器人由“大脑”与“小脑”组成，机器人中包含大量嵌入式芯片，比如 MCU、SoC、FPGA、专用AI芯片以及传感通信芯片。机器人操作系统在嵌入式操作系统上支撑机器人中间件（ROS）完成机器人边缘AI实现高精度控制与智能决策。EtherCAT和 CAN FD是机器人主流的通信协议，是协调人形机器人的关键支撑。
- 国产芯片在机器人实现多点突破，覆盖AI决策、伺服驱动、通信、视觉与感知等诸多环节，国产机器人操作系统研究与应用正在蓬勃发展，今天嵌入式企业在人形和具身机器人的研究中创新不断，未来大有可为。



AI 落地应用，边缘是最大场景之一。助力边缘AI落地，嵌入式技术有四大挑战需要解决：资源受限环境下的**性能、功耗与实时性平衡以及边缘AI开发生态改善**。随着芯片算力提升与模型轻量化技术成熟，边缘AI正在进入规模落地临界点，将在智能家居、智能工业、智能汽车、可穿戴和医疗设备、智慧零售等场景率先爆发。最具潜力的场景及代表性产品可能是**智能座舱和智能驾驶、工业预测和运维、AI 眼镜和无人零售**。

AI 时代 嵌入式技术架构向**高算力、高安全、高灵活以及高自治方向演进**

②RISC-V产业现状

SDH研究报告：2025年中国RISC-V 产值 240亿（美元），2031年预计864亿，其中计算机、消费产品占比最大。

嵌入式与物联网系统是RISC-V的主战场，百亿颗芯片落地，中国市场占比最大，生态日臻成熟！

RISC-V 指令集架构的现状

在嵌入式领域已站稳脚跟，即将在应用处理器中迎来大规模普及，正在成为新一代人工智能加速器的主流基准架构。行业愈发形成共识：开源标准架构 RISC-V 将成为未来主流指令集。



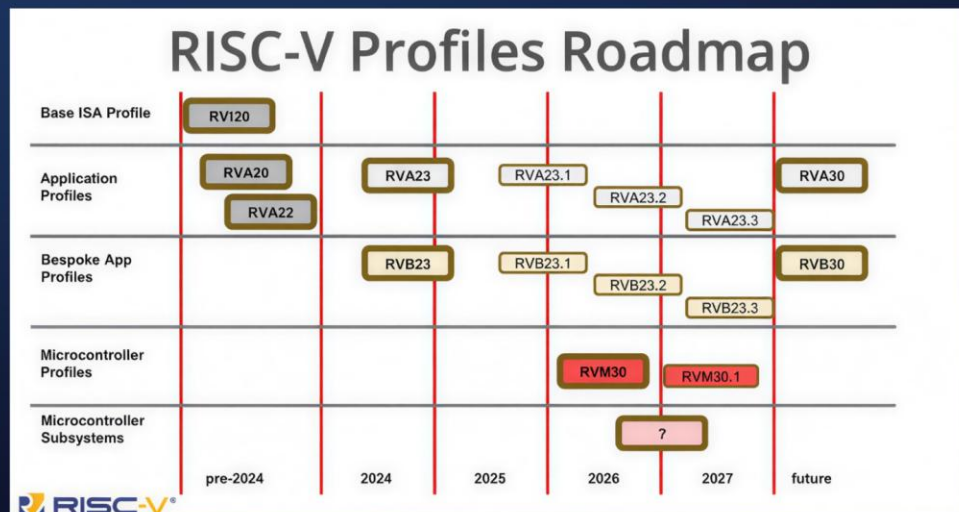
RISC-V Summit
Europe 2026



RVA23 是 RVA 架构系列配置集的一个主要版本，2024 年10月正式审定发布。符合 RVA23 芯片有进迭时空 SpacemiT K3，2025 年开始量产。玄铁9高性能 RISC-V 服务器芯片今年下半年发布。



目前正在制定微控制器专用架构规范 RVM（RVM23 草案已发布）、处理器子系统标准以及车载MCU相关规范。



RISC-V 应用现状

- 市场研究机构Counterpoint Research预测：2030年RISC-V芯片出货量将突破160亿颗；RISC-V在IoT市场的出货量将增至108亿颗，全球汽车RISC-V芯片预计出货将突破25亿颗。
- 凭借开源开放、精简灵活的商业模式和技术优势，RISC-V的崛起已是大势所趋，中美科技竞争加速中国芯片企业采用RISC-V替代ARM架构。
- 英伟达，三星、高通、谷歌等巨头在2025 RISC-V 北美峰会上释放了积极信号：三星将RISC-V用于下一代汽车电子的控制单元；高通展示了基于RISC-V的低功耗AI处理器原型；谷歌宣布将在Android系统中增加对RISC-V的原生支持。 刚刚结束的2026 RISC-V 欧洲峰会，服务器芯片成为热点之一，生态正在积极推进。
- 嵌入式与物联网系统是RISC-V的主战场：从物联网、工业控制到智能汽车，RISC-V MCU 无处不在！高性能的处理器持续涌现，高算力AI应用蓄势待发！

RISC-V – 期待有市场影响力的爆品

- 总体上RISC-V 处理器在开发者、开发生态以及高校课程和电子/计算机/物联网大赛等方面的普及率不高，开发者熟悉度不强 – **产业需在生态建设上持续努力。**
- 通用性嵌入式RISC-V 处理器品类还少，软件、应用以及开发的便捷和成熟性与Arm 生态有相当的距离 – **产业可深挖垂直市场、先在垂直领域打开突破口。**
- 车规/工业级RISC-V的设计在积极推进，规模量产和装备还待时间，应用集中在通信、控制和传感器方面 – **产业可在工业应用上先突破。**
- 通用性的Linux 平台和Android RISC-V 需完善，开源鸿蒙对RISC-V的支持已进入商业化落地阶段 – **预计规模化应用需时日。**
- 高性能嵌入式RISC-V 处理器不断有新品发布，**期待有市场影响力的爆品。**

RVA32 Profile – 打通RISC-V 通用生态的壁垒！

③ 《深入理解RISC-V 处理器程序开发（第2版）》

教育普及能助力RISC-V 腾飞，林金龙、何小庆老师在《深入理解RISC-V 处理器程序开发》第1版图书的基础上，5年之后做了重大的更新，并在教学、研究和产业生态上中做了实践尝试。

《深入理解RISC-V程序开发（第二版）》更新

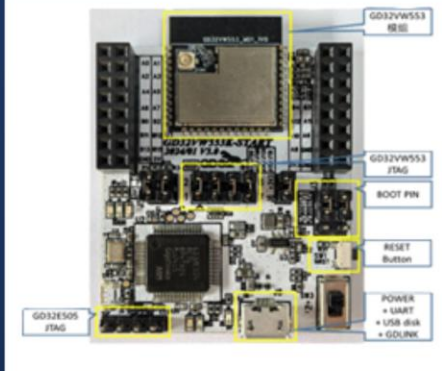


- ✓ 补充和更新了4年来出现的新RISC-V处理器和开发工具
- ✓ 新增了RV64指令集阐述和特点介绍
- ✓ 介绍了嵌入式处理器TH1520 SoC 和软件环境
- ✓ 介绍了RT-Thread最新商业产品内容
- ✓ 新增了Zephyr RTOS 实例，TH1520 SoC荔枝派4A开发板姿态检测实例
- ✓ 介绍了RV64处理器人工智能应用开发过程

章顺序	第二版	第一版
一	了解RISC-V	了解RISC-V
二	RISC-V处理器芯片	RISC-V处理器芯片
三	RISC-V软件开发工具	RISC-V软件开发工具
四	认识RISC-V内核	认识RISC-V内核
五	RISC-V程序开发	RISC-V程序开发
六	GD32VF103微控制器	GD32VF103微控制器
七	曳影1520 SoC	GD32VF103中断系统及应用
八	深入RISC-V程序开发	深入RISC-V程序开发
九	嵌入式实时操作系统	嵌入式实时操作系统
十	物联网操作系统及其应用	物联网操作系统及其应用
十一	用曳影1520实现姿态检测	基于RISC-V的电磁车设计
十二	-----	高性能RISC-V处理器

RV32教学平台

GD32VW553-STAR



GD32VW553-EVAL



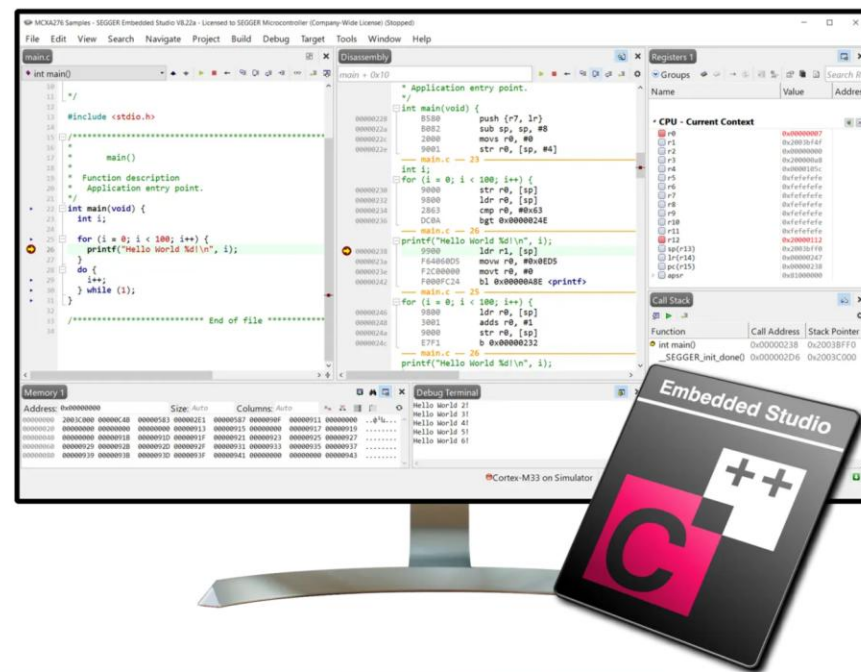
GD32VF103-EVAL



Longan Nano(GD32VF103)



SEGGER Embedded Studio



RV64 教学平台



yocto
PROJECT



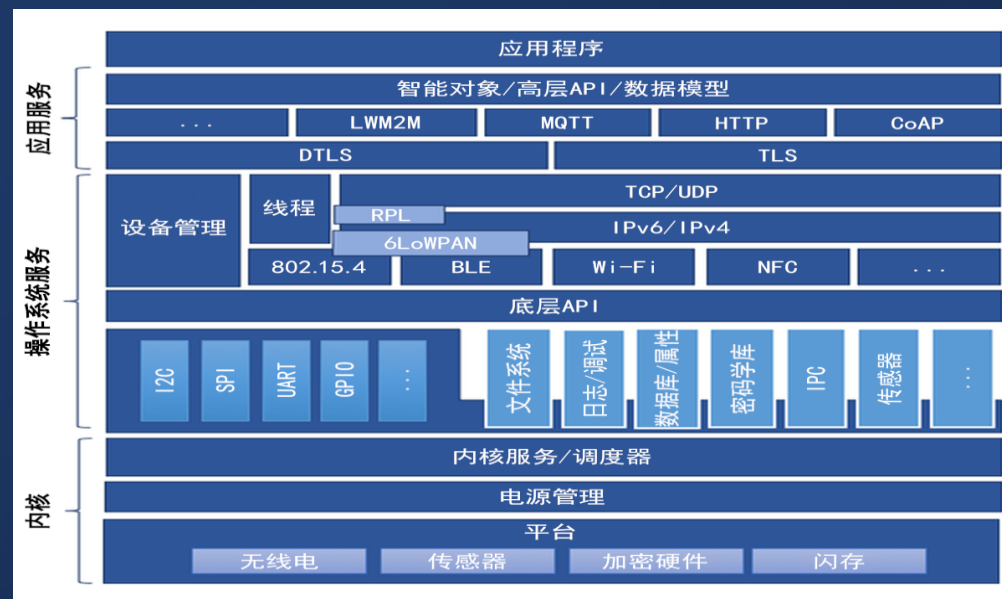
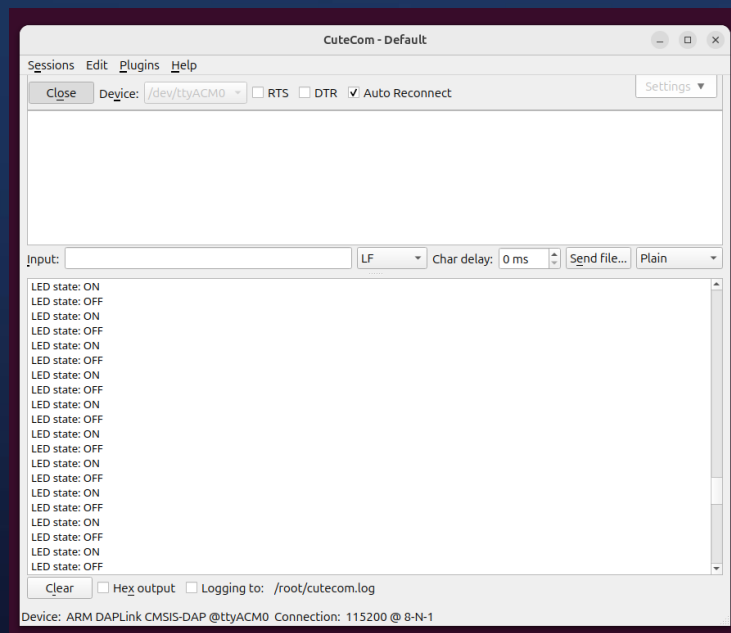
LicheePi 4A(基于TH1520 SoC)

《软件开发工具》

软件包	软件包	说明
develop tools	开发工具	gcc, g++, perl, python3 等
debug tools	调试工具	gdb、gdbserver、strace、glibc-mtrace、trace-cmd、memtool、kmod、binutils、systemd-analyze、kdump、procps 等
soc drivers	芯片设备驱动	GPU, VPU, ISP, NPU, DPU 以及各类外围设备驱动
system tools	系统工具	busybox, msfs, adb, util-linux, insmod, modinfo 等
connection tools	连接工具	wpa-suplicant、bluez5
u-boot	系统 bootloader	用于启动 Linux 系统

应用与实践-Zephyr RTOS

近年来Zephyr的热度在海外快速上涨，第2版在详细讲解FreeRTOS的基础上，介绍了Zephyr RTOS 的原理和开发入门。



```
pip install west
west init ~/zephyrproject
cd ~/zephyrproject
west update
pip install -r ~/zephyrproject/zephyr/scripts/requirements.txt
```

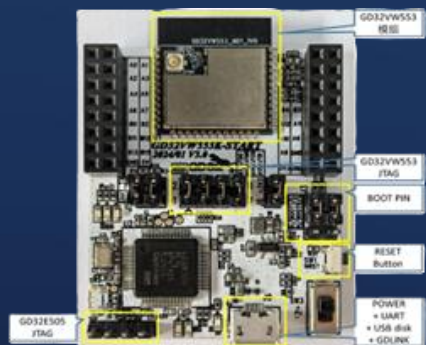
```
cd ~/zephyrproject/zephyr
west sdk install
```

```
cd ~/zephyrproject/zephyr
west build -p always -b longan_nano samples/basic/blinky
```

```
west flash --runner dfu-util
```

应用与实践-IoT 实例

RISC-V IOT 开发板 基于GD32VW553



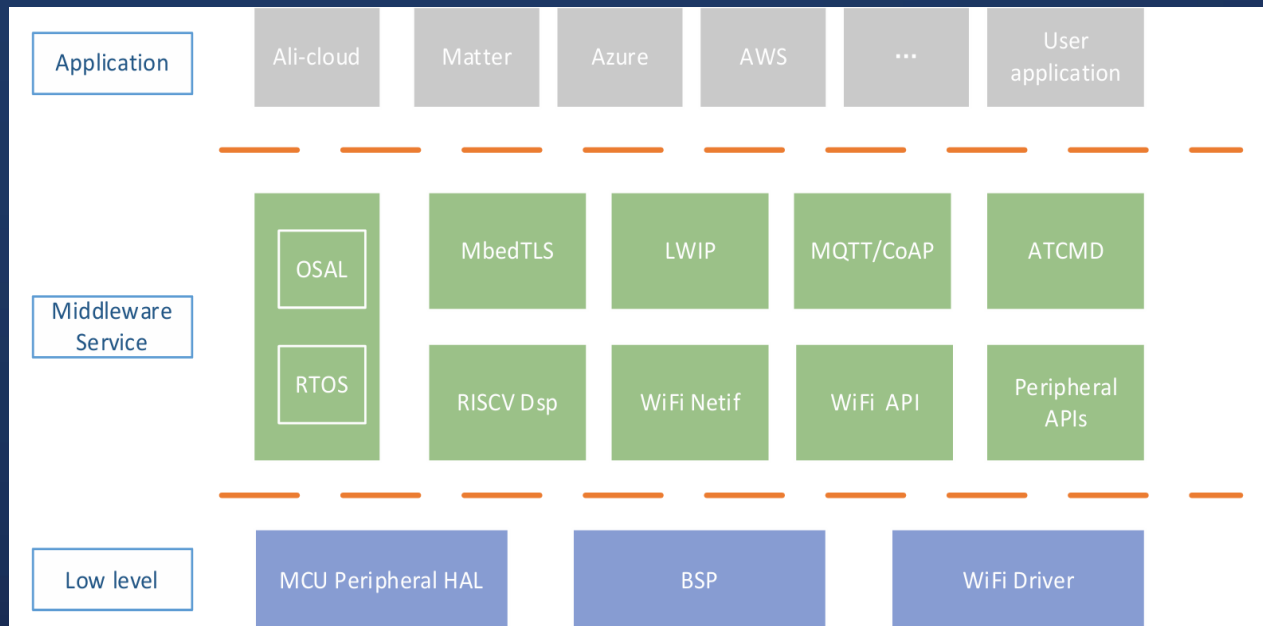
MQTT 应用

```
D:\mosquitto>mosquitto_sub -t topic_sub_test
^C
D:\mosquitto>mosquitto_pub -t topic_pub_test -m "hello"

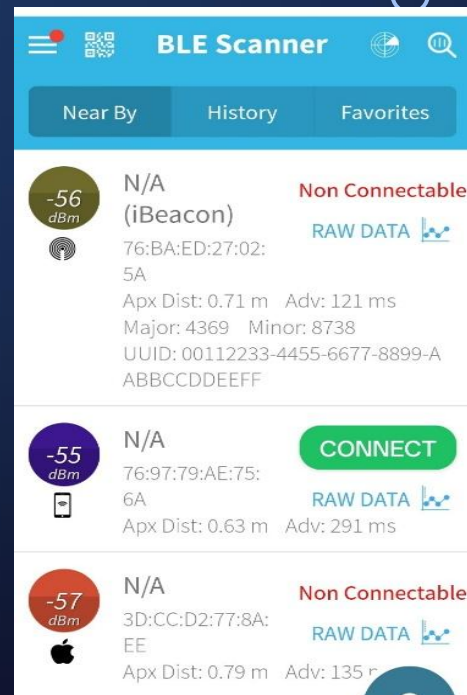
D:\mosquitto>
```

```
[22:02:27.826]收←◆MQTT: Successfully connected to server.
please use mqtt server or other mqtt client to publish a message with the topic that we have
subscribed ttopic publish success.
#
o.
topic subscribe success.
#
[22:02:39.494]收←◆received topic: topic_sub_test payload: □□忧□helloworld
[22:02:39.595]收←◆topic unsubscribe success.
#
```

SDK软件包

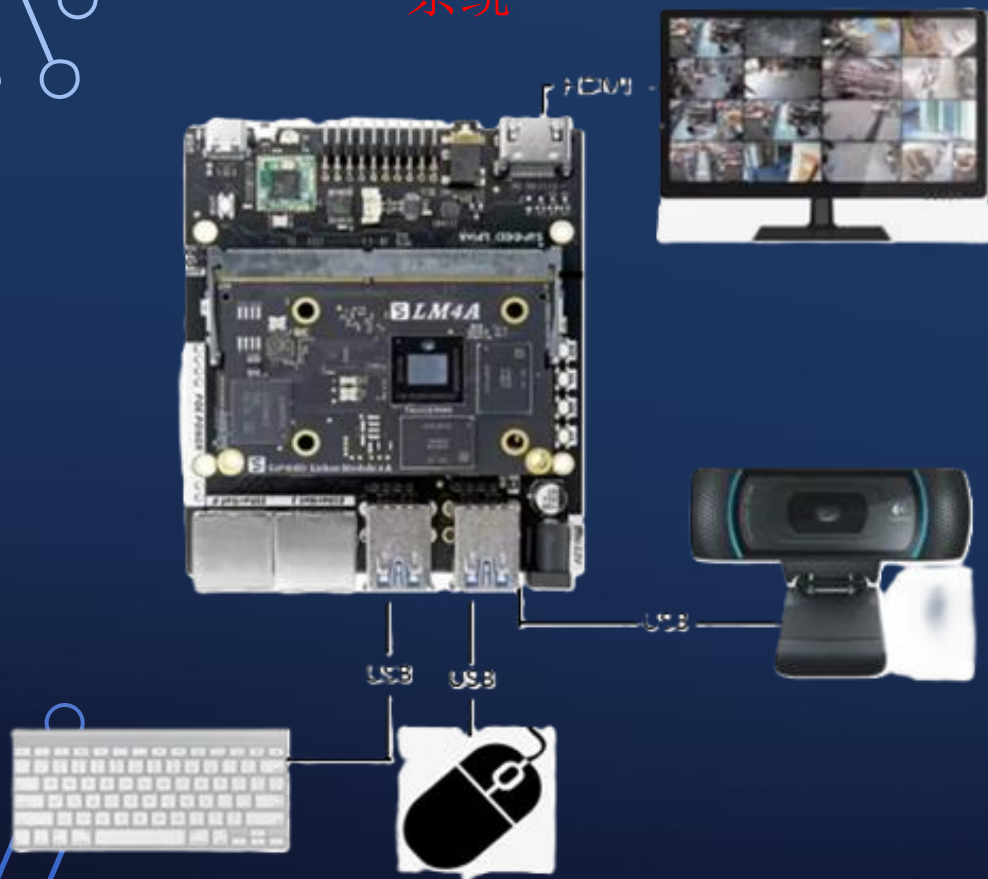


蓝牙 iBeacon应用



应用与实践-姿态检测

系统



算法支持软件环境

Model Format	.onnx(PyTorch)	.pb(TensorFlow)	.caffemodel(Caffe)	...
HHB	Command line interface	Python API		
	Quantization Graph Optimization			
	Graph Codegen	ONNX Runtime	Host Simulate	Model Profile
	Target Deploy			
SHL	CSI-NN2 API			
	Heterogeneous Scheduler			
	CPU ASM OPT		NPU Driver	
Hardware	CPU		NPU	

④RISC-V 应用展望

RISC-V 技术和商业特征非常适合碎片化的嵌入式与物联网系统，嵌入式与物联网系统将长期是RISC-V 最具活力的重要阵地、AI大预言模型/智能体/物理AI 就是未来热点！

RISC-V 在嵌入式与物联网领域展望

- RISC-V 特征适合嵌入式与物联网系统
 - 支持广泛的碎片化需求 - 指令集模块化和可扩展性。
 - 指令集架构和Profile的标准化，RVA23已经发布和正在进行的微控制器Profile- RVM RVM23 草案、“处理器子系统”和汽车 MCU 标准。
 - 基础架构的通用性 -具备 对标 Arm M/R/A 三大架构能力。
 - 嵌入式和物联网系统多数场景对生态要求比较低。
- RISC-V 足迹遍及嵌入式与物联网方方面面
 - 通用计算- 高性能CPU/边缘计算/端侧智能。
 - 专用定制芯片-通信、SSD，汽车和实时控制。
- 2026 - 汽车/工业、边缘AI、**高性能**服务器是RISC-V 热点。

嵌入式与物联网系统将长期是RISC-V 最具活力的应用领域

用 RISC-V 塑造 AI 的未来

可穿戴边缘AI需求:

- ◆ 低功耗约束下的本地持续监测
- ◆ 数据处理安全合规，保障用户隐私
- ◆ 全天候在线推理，实现异常检测

RISC-V 技术优势:

- ◆ 搭载端侧AI的超低功耗微控制器
- ◆ 依托本地推理实现数据最小化处理
- ◆ 硬件层级集成安全防护能力

DRONES

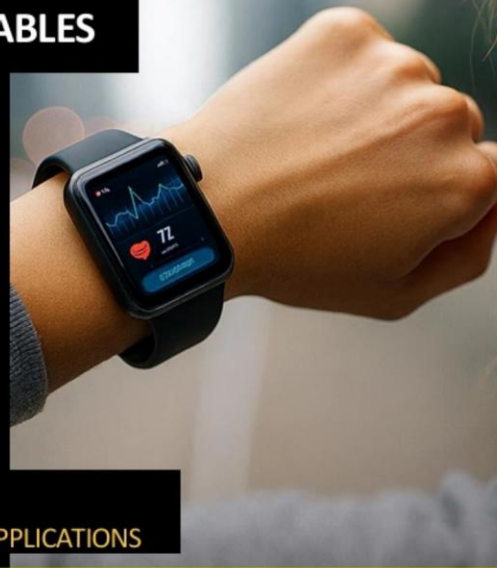


AUTONOMY
RESILIENCE

无人机边缘AI需求:

- ◆ 实时视觉与导航
- ◆ 断连云端仍可稳定控制设备
- ◆ 本地自适应决策

WEARABLES



HEALTH
PRIVACY APPLICATIONS

RISC-V 赋能能力:

- ◆ 控制与 AI 推理一体化平台
- ◆ 算力灵活，支持离线自主运行响应
- ◆ 链路可预测、低延迟

AUTOMOTIVE



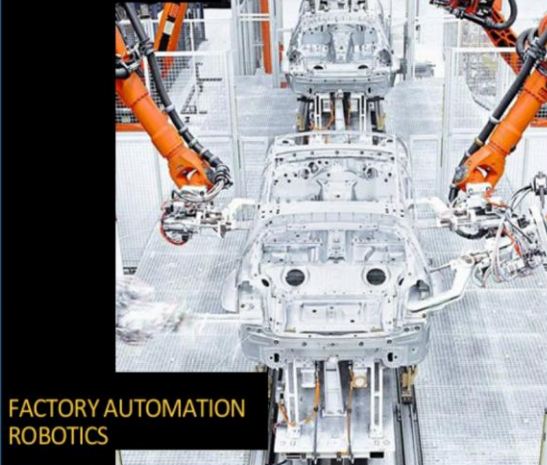
汽车边缘AI需求：

- ◆ 超低延迟与确定性计算
- ◆ 实时感知与决策闭环
- ◆ 面向安全关键场景的高可靠性

RISC-V 技术优势：

- ◆ 为控制与感知场景定制专用实时扩展指令
- ◆ 保障安全回路的确定性执行
- ◆ 开源指令集架构，专为实时系统优化

INDUSTRIAL



工业边缘AI需求：

- ◆ 跨设备保持高可靠性与稳定运行
- ◆ 散热空间有限运行效率有所下降
- ◆ 控制器具备自适应能力且支持升级

RISC-V 技术优势：

- ◆ 控制器集成专用领域AI加速器
- ◆ 为功耗、性能、面积受限的场景打造精简节能内核
- ◆ 模块化指令集架构，无需重新设计即可完成升级与功能扩展

HEALTHCARE



医疗边缘AI需求：

- ◆ 毫秒级响应能力
- ◆ 端侧神经网络推理（无云端延迟）
- ◆ 精准图层叠加与动作追踪
- ◆ RISC-V 技术支撑

RISC-V 技术支撑：

- ◆ 搭载向量与张量扩展指令实现实时推理
- ◆ AI运算完全在设备本地完成
- ◆ 为任务高精度要求提供确定性计算

QUESTIONS 问题?

THANKS 感谢聆听

Allan@esbf.org



小编微信: esbf123



欢迎投稿