

嵌入式系统产业现状与发展趋势

何小庆^{1,2}

¹嵌入式系统联谊会, 北京

²麦克泰软件技术公司, 北京

收稿日期: 2025年10月28日; 录用日期: 2025年11月20日; 发布日期: 2025年12月1日

摘要

嵌入式系统从过去孤立、功能单一的“专用计算机”，演变为智能化、网络化、集成化复杂的自治计算系统。嵌入式系统成为物联网、工业4.0、人工智能、自动驾驶等所有前沿科技的基石，作为物理世界与数字世界的接口，嵌入式系统的重要性将与日俱增。文章系统梳理了国外和中国嵌入式系统产业几大核心板块的现状和发展趋势，包括嵌入式处理器、嵌入式操作系统、编程语言以及产业生态。文章对中外嵌入式系统产业特点进行深入分析，最后介绍最新嵌入式领域相关的产业政策，包括具身智能，论文的目标是给产业界在嵌入式系统发展方向和研发方法上带来一些启迪。

关键词

嵌入式系统, 嵌入式实时操作系统, SoC, MCU, 物联网, 人工智能

Current Situation and Development Trends of the Embedded Systems Industry

Xiaoqing He^{1,2}

¹Embedded System Association, Beijing

²BMR Technology, Beijing

Received: October 28, 2025; accepted: November 20, 2025; published: December 1, 2025

Abstract

Embedded systems have evolved from isolated “dedicated computers” with single functions in the past into complex autonomous computing systems featuring intelligence, networking, and integration. As the cornerstone of all cutting-edge technologies such as the Internet of Things (IoT), Industry 4.0, artificial intelligence (AI), and autonomous driving, embedded systems serve as the interface between the physical world and the digital world, and their importance will grow with each

passing day. This article systematically sorts out the current status and development trends of several core segments in the embedded systems industry, both in China and abroad, including embedded processors, embedded operating systems, programming languages, and the industrial ecosystem. It conducts an in-depth analysis of various characteristics of the embedded systems industry in China and abroad, and finally introduces the latest industrial policies related to the embedded field, including those concerning embodied intelligence. The objective of this paper is to provide the industry with insights into the development direction and R&D methods of embedded systems.

Keywords

Embedded System, Embedded Real-Time Operating System, SoC, MCU, Internet of Things, Artificial Intelligence

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

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。80 年代北京工业大学电子厂开发了 TP801，上海和江苏等地高校和企业开发了 MCS-48/MCS-51 的单片机开发系统，一场“单片机”的热潮席卷大地，这股浪潮随后引发了全国的智能电子大变革的时代的到来。1986 年 10 月在上海复旦大学举行了首届全国单片机学术交流会，它标志了中国单片机产业的开始。2000 年 10 月首届嵌入式系统研讨会(后改名为 CCF 嵌入式系统大会)在北京召开，标志着中国单片机应用发展到嵌入式系统新的时代。以 ARM 架构为核心的嵌入式处理器开始了广泛的应用，高校纷纷开设 ARM + Linux (或者 ARM + μc/OS) 嵌入式系统课程，以北航出版社为代表，大量嵌入式系统图书出版发行，嵌入式技术也成为国家重视的关键技术之一[1]。

物联网(Internet of Things, IoT)这一概念最早由海外学者提出，在中国，2009 年 8 月，时任国务院总理温家宝视察中科院无锡微纳传感网工程技术研究中心时指出：“在传感网发展中，要早一点谋划未来，早一点攻破核心技术，尽快建立‘感知中国’中心。”2009 年被后人称为“中国物联网元年”，之后中国物联网产业走上了蓬勃发展之路，嵌入式系统从孤立部件走向感知、计算和通信为一体的智能硬件[2]。

工业物联网(IIoT)是指在制造业、能源管理等工业环境中，由相互连接的传感器、机器和系统构成的网络。它能够采集、监控并分析生产运营中的数据，目标在于提升效率、降低成本并增强安全性。工业物联网备受关注，但尚处于发展初期。根据行业报告和专家分析，全面 IIoT 化系统只有 10%~15%，现代化工业设备需要具备远程监控、预测性维护、云边缘数据分析及实时控制能力，实时和安全的嵌入式系统在这个领域将大有作为[3]。

工业 4.0，常被称为第四次工业革命，代表了当前制造业和工业流程数字化转型的新阶段，其特征是将工业物联网、人工智能(Artificial Intelligence, AI)和自动化等技术深度融合。智能工厂是应用工业 4.0 技术的具体案例，旨在打造高度互联且自动化的生产环境。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，而嵌入式系统是 CPS 的底层技术支撑。支持复杂算法和大系统集成，满足工业 4.0 对数据处理和智能计算的新需求，嵌入式边缘计算系统在工业 4.0 时代正在发展重要作用。

随着人工智能(Artificial Intelligence, AI)，尤其是大语言模型(Large Language Model, LLM)应用的持续深入，在物联网和边缘计算广泛普及的加持下，嵌入式系统将更有效地整合 AI 技术。包括在嵌入式设备

上实现复杂的 AI 算法和模型推理，以及提供更智能、更加自适应的系统功能和服务，例如自动驾驶汽车、智能机器人和智慧医疗等智能应用。在智能制造领域，AI 应用与传统机器设备结合可替代人工值守，降低工业制造的成本，例如故障检测等典型场景。AI 应用在现代战争中的地位变得举足轻重，例如无人机和无人飞艇等场景。

嵌入式系统范围广泛，包括芯片、组件、软件、工具、服务、系统和生态等方方面面，核心产业包括嵌入式处理器芯片、嵌入式操作系统与中间件、编程语言以及产业生态等若干方面。以下我们围绕产业现状、国内外对比和趋势展望三个部分展开讨论。

2. 国外嵌入式系统产业现状

今天，嵌入式处理器形成以 SoC 应用处理器和 MCU 为主流[4]，其他处理器类型，比如 FPGA/DSP 为辅助，GPU/xPU AI 训练和推理处理器为支撑的新格局。在处理器微架构上异构多核处理器渐成主导力量，Arm 依然占据嵌入式处理器指令集架构的核心地位，RISC-V 在物联网领域专用架构(DSA)市场有一定斩获。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 芯片预计出货量将突破 25 亿颗[5]。

近年，边缘和端侧 AI 处理器芯片是嵌入式系统研究和产品开发的热点，市场上有代表性的是 NVIDIA Jetson 和 Qualcomm Snapdragon 系列，已有大量应用成果。在端侧 MCU 领域，以意法半导体 STM32N8，瑞萨 RA8 和 NXP MCXN947 为代表的 AI MCU 具有市场影响力，但未见有知名品牌量产应用。

嵌入式操作系统是嵌入式系统的基石，是工业软件的基础平台。在市场占有上，Eclipse 基金会 2024 年物联网开发者调查表明，资源受限设备上的开发人员嵌入式操作系统首选排在前三位分别是：Linux 49%、FreeRTOS 29% 和 Zephyr 21%，其中 Zephyr 从 2023 年的 13% 增长到了 21%，进步显著[6]，见下图 1。

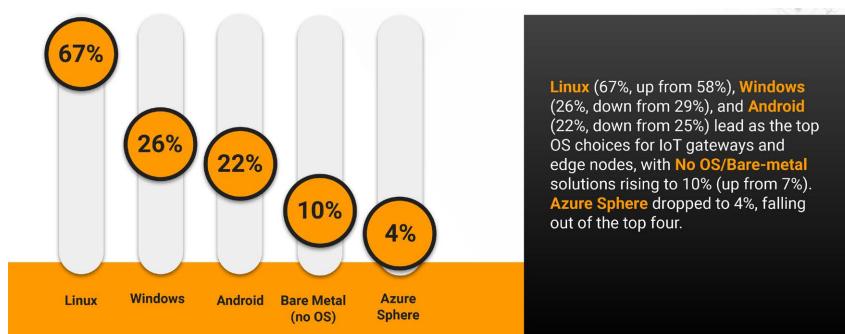


Figure 1. 2024 IoT & embedded developer survey report (source: Eclipse Foundation)

图 1. 2024 年物联网与嵌入式开发者调查报告(来自：Eclipse 基金会)

通用人工智能(Artificial General Intelligence, AGI)兴起，推动嵌入式系统智能化快速发展的进程，智能嵌入式系统面临急需提升基础算力、构建更加复杂应用系统，同时满足智能化及实时性挑战。应对挑战，嵌入式处理器正在广泛采用异构多核高算力芯片，通过多内核混合部署实现大小脑双系统，支撑包括具身智能机器人的智能系统应用。混合关键系统部署方案，底座采用虚拟化技术。虚拟化技术可以支撑多个操作系统运行在同一个物理处理器上，例如可以在同一个处理器芯片上同时运行高实时性操作系统(如 FreeRTOS)和通用的操作系统(如 Linux)。虚拟化技术是今天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(实现处理器核和 OS 绑定后的隔离)。我们常见的嵌入式虚拟化的典型应用可以在智能汽车电子系统中找到，比如在一个智能座舱系统中同时运行高实时性操作系统和人机交互操作系统(比如 Android)，来自加拿大黑莓旗下的 QNX 虚拟化软件在汽车电子中应用已经许多年了，具有

非常坚实的市场地位[7]。

嵌入式开发工具正从传统的 IDE 朝着云原生和 AI 增强型平台方向发展，例如，CMake 和 Ninja 的组合逐渐取代传统 Make 工具；云原生开发解决方案在嵌入式领域逐渐普及，推动低代码编译流程。嵌入式开发团队正在快速采用 DevOps 实践，以实现自动化构建、测试和部署。开发工具需要支持 CI/CD 流程，提高开发效率和产品质量。市面上已经出现了整合云和 CI/CD 的嵌入式开发平台，如 Wind River Studio，这是一个云原生工具集，用于开发、部署、运营和服务关键任务智能系统的工具。在 AI 开发工具方面，基于大型语言模型(LLM)的智能编程助手如 Copilot、Cursor、Codex 在软件开发(包括嵌入式)中广泛应用。

3. 中国嵌入式系统产业现状

通用 MCU 领域，以 Arm Cortex-M 为代表的 MCU 芯片是市场主流的芯片架构，国产 MCU 在性价比、解决方案和厂商技术支持方面有优势。国产 MCU 核心技术来自 Arm 授权，工具依赖第三方和开源软件，同质化严重。国产 MCU 在走过了国产替代的高峰期之后，再次步入行业竞争加剧的阶段。在嵌入式处理器架构种类方面，国内有一定的多样性，国产龙芯架构的处理器芯片在嵌入式领域有一定的市场份额。Arm 和 x86 依然主导国内微处理器市场和产业生态，中美科技竞争加速中国芯片企业采用 RISC-V 替代 Arm 架构。凭借开源开放、精简灵活的商业模式和技术特点上的优势，RISC-V 的崛起在中国是大势所趋。

边缘和端侧 AI 处理器芯片，国产瑞芯微 RK3568/RK3588、华为昇腾 310 和 910 在国内亦有一定市场份额，全志异构多核芯片 T113/T157 将 Arm, RISC-V 和 DSP 三个核融合在一颗芯片里面，技术上颇有特色，受到开发者关注。国产端侧 AI 处理器芯片在中低端的价格和生态上有优势。在端侧 MCU 领域，国内乐鑫科技 ESP32-S3 在开发者社区和高校学生间有很高的知名度，乐鑫最新推出了基于 RISC-V 架构的双核微控制器芯片 ESP32-P4，该芯片是乐鑫首款不带无线功能，支持 AI 指令扩展的边缘 AI 芯片。在通用 MCU 领域，国内企业在端侧 AI 方面未见很大的动作，仍处于观望阶段。以知存科技为代表的存算一体的芯片研究取得许多成果，生态建设持续发展，有望在可穿戴和 AI 服务器市场落地应用。

嵌入式操作系统领域，国内以 openEuler 和 OpenHarmony 为代表的开源操作系统蓬勃发展，广泛应用于各类嵌入式系统之中，传统的开源嵌入式实时操作系统，比如 RT-Thread 在物联网领域颇具生态优势。openEuler Embedded 旨在推进面向多核的 SoC 混合关键系统部署，通过嵌入式虚拟化技术实现多 OS 之间的隔离与保护，借助使用 Jailhouse 和 ZVM 虚拟机可支持部署多个操作系统，该方案聚焦智能工业领域，但成果尚待验证[8] [9]，见下图 2。

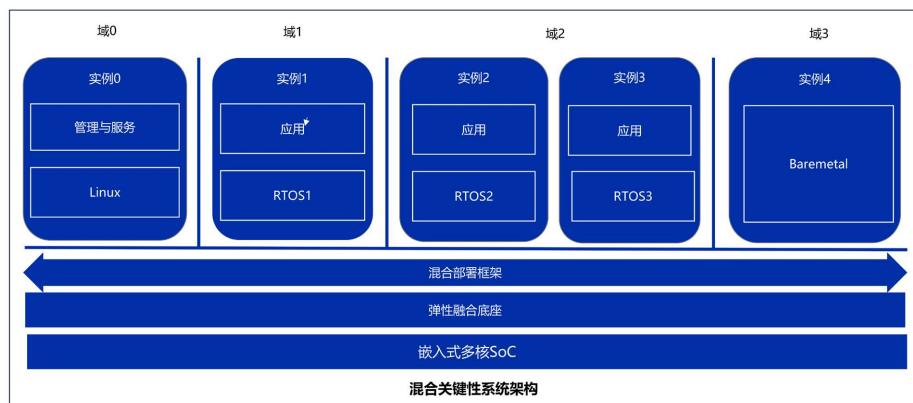


Figure 2. Mixed critical system architecture based on openEuler Embedded
图 2. 基于 openEuler Embedded 混合关键性系统架构

在嵌入式系统编程语言方面，2023 年嵌入式开发状态市场调查显示，C/C++占比 70%，依然是绝对的优势[10]，见下图 3，国内情况与全球主流市场基本一致。Rust 正在受到广泛的关注，相对于传统嵌入式开发语言(比如 C/C++)Rust 有其优势，包括内存安全、并发支持、性能、代码可读性，和一个成长中的生态系统。Rust 在嵌入式开发中的使用率正在逐渐增加，特别是安全和可靠性优先的项目。清华大学和北航团队使用 Rust 开发 rCore OS 和虚拟机 Rust-Shyper，Rust 在 Linux 内核和系统开发中的应用正在逐步推进，尽管面临一些挑战，但其内存安全和并发处理的优势使其在嵌入式系统编程领域具有广阔的应用前景，手机公司比如 VIVO 在积极推进基于 Rust 的内核——BlueOS 的研发与应用，并将其开源给开发者社区[11]。

Software development requires more cycle time

“C” dominates other languages for embedded software programming

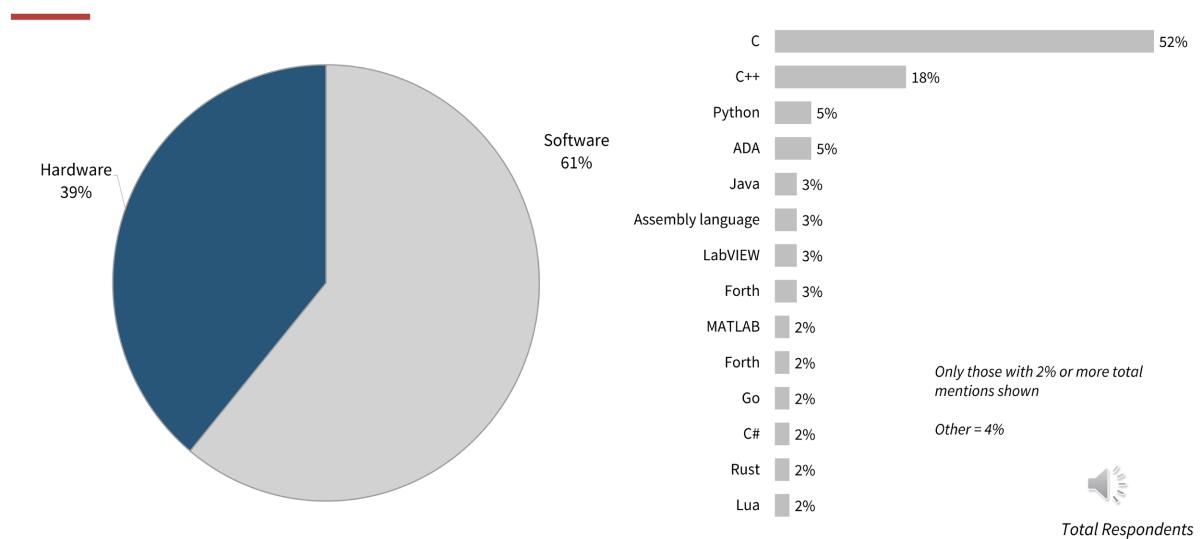


Figure 3. Market survey on the state of embedded development in 2023

图 3. 2023 年嵌入式开发状态市场调查

近年中国嵌入式系统产业的蓬勃发展得益于大疆、比亚迪、小米和宇树科技这样“新三样”产业领袖，它们在传统产业向新型产业转型中快速崛起，这里嵌入式技术起到重要推动作用，反过来新型产业也在倒逼嵌入式技术创新与发展。

4. 中外嵌入式系统产业分析和比较

嵌入式操作系统分为开源和商业两大阵营，以 Linux 和 FreeRTOS 为代表的开源阵营，以 QNX 和 Wind River 为代表的商业闭源阵营。还有一些企业既有开源版本也有商业版本，比如 QT 和 RT-Thread，不同阵营的企业在其特定市场上均有优势。以 SafeRTOS 为代表的预认证的安全操作系统发展迅速，国内锐华(ReWorks)、OneOS (中移物联网)和 RT-Thread 积极跟进。嵌入式操作系统依然处在百花齐放市场阶段，无法形成 PC 和手机 Windows 和 Android 各自一家独大的格局。多家商业巨头曾在物联网操作系统研发和推广中投入巨资，比如微软 Azure RTOS、Arm mbedOS、阿里(AliOS Things)和腾讯(TencentOS tiny)，最后许多是无果而终[12]。

国外的嵌入式操作系统企业经过 30 多年发展，已经形成成熟的产品定位和商业模式，比如 QNX 在汽车电子、INTEGRITY RTOS 在军工系统，VXWORKS 在通信和航空航天，国产嵌入式操作系统企业的

商业运作仍处在探索期，天脉(西安航空计算所)、翼辉和睿赛德等公司的产品初步形成自己的特点和垂直产业，开源鸿蒙正在形成行业应用，比如针对电网系统的电鸿操作系统，开源鸿蒙在政策的扶植下发展势头正旺。

国外在嵌入式开发工具方面处在领先地位，国内嵌入式企业积极跟进。比如翼辉新型开发环境 RealEvo-Stream，主要针对应用开发者，其功能偏向上层业务开发、应用适配以及生态软件移植。RealEvo-Stream 可支持多种常用开源生态工具链，可以让应用开发者高效地完成软件适配，提高应用开发效率[13]。

在处理器指令集架构的创新上，国外优势明显。无论是 Arm、Intel 以及 MIPS，还是今天的开放指令集架构 RISC-V，指令集架构核心技术均来自北美和欧洲。在 FPGA/DSP 以及 GPU/xPU AI 训练处理器方面，欧美具有先发的优势。在处理器微架构和 SoC 芯片设计方面，近年中国企业显现出积极发展势头。中国芯片企业依托制造产业优势，在面向行业应用的芯片设计上表现出色，比如地瓜机器人 SoC 算控一体化机器人芯片 RDK S100，该芯片整合 CPU + BPU + MCU，包括 6 核 Arm Cortex-A78AE CPU、80 TOPS BPU Nash 架构 AI 算力和 4 核 Arm Cortex-R52 MCU，支持端云一体开发，芯片市场定位在具身智能机器人领域。富翰微电子的超低功耗的摄像机芯片 FH8852 和 AI 芯片 FH889X 在消费电子市场上有相当的影响力。

国外芯片公司在通用计算，GPU 和手机领域有压倒性优势和强大的市场占有率，嵌入式和物联网领域，STM32 MCU 以其丰富的功能、众多的封装以及完善的生态占据主导地位。截至 2024 年 12 月，STM32 的出货量已超过 110 亿片，服务的客户超过 20 万家[14]。凭借长期在 PC 市场积累的生态优势，x86 在工控控制器市场占有率依然很高。高通的智能手机芯片通过绑定 Android 生态，在嵌入式终端市场的占有率长期居高不下。

国产嵌入式应用处理器和 MCU 芯片在中低端消费终端应用和物联网 IoT 模组上，以性价比高的优势有着极高的市场占有率，比如，瑞芯微 RK3568 和 ESP32-S3。以华为昇腾 910 系列为代表的国产高性能 AI 训练和推理芯片，因为美国断供，英伟达、AMD 最高端的芯片买不到，国内很多厂商硬着头皮用国产芯片，经过一段时间的迭代，昇腾已经是国产芯片中的佼佼者，比如，宝德计算机 2024 年营收为 100 亿元，其中昇腾系列服务器业务贡献显著。作为华为昇腾领先级整机硬件伙伴，宝德 2024 年中标 50 亿元 AI 服务器的订单，占其总营收的 50%。综合下来，昇腾服务器在宝德计算机的业务占比为 40% [15]。以升腾、海思、海光和飞腾为代表的国产服务器芯片和以全志、瑞芯微和芯驰微为代表的端侧 SoC 芯片，它们在电网和工业机器人等国产大国重器项目中正在发展重要的作用[16]。

嵌入式世界是 RISC-V 的主战场，百万级应用已经落地，生态日臻成熟：从物联网、工业控制到智能汽车，RISC-V MCU 无处不在[17]。国内芯片企业在 RISC-V 投入与日俱增，更高性能的处理器持续涌现，高算力嵌入式 AI 应用蓄势待发，每年的 RISC-V 中国峰会已经成为产业界一道亮丽的风景线。

5. 总结与展望

嵌入式系统的发展需要产业政策的支持和助力。近年来，中国政府出台了一系列政策，积极推动边缘人工智能产业发展。在《“十四五”智能制造发展规划》中，将工业软件作为实现智能制造的关键技术之一，纳入重点支持范围，提出加快推动制造业向智能化、高端化、绿色化方向发展。地方政府的人工智能和物联网产业政策持续加码，比如《广州市推动物联网产业高质量发展行动计划(2024~2028 年)》，《湖南省“智赋万企”行动方案(2023~2025 年)》提出建设面向特定场景的边缘计算设施，推动边缘计算与云计算协同部署。《广东省关于人工智能赋能千行百业的若干措施》(2024 年 5 月)强调建立人工智能芯片生态体系，面向家电家居、安防监控、医疗设备等，加大高性能、低功耗的端侧芯片开发生产。2025 年《北京具身智能科技创新与产业培育行动计划(2025~2027 年)》中明确，到 2027 年，围绕具身大小脑

模型、具身智能芯片、全身运动控制等方面突破不少于 100 项关键技术，产出不少于 10 项国际领先的软硬件产品[18]-[21]。

这些政策表明，中国政府高度重视边缘人工智能产业的发展，通过技术创新、基础设施建设、产业生态构建等多方面措施，为嵌入式边缘智能系统产业的高质量发展提供了有力支持。

回顾四十年发展历程，嵌入式系统从过去孤立、功能单一的“专用计算机”，演变为智能化、网络化、集成化复杂的自治计算系统。嵌入式系统成为物联网、工业 4.0、人工智能、自动驾驶等所有前沿科技的基石，作为物理世界与数字世界的接口，嵌入式系统的重要性将与日俱增。

参考文献

- [1] 陈章龙. 中国单片机 20 年[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2007(12): 89-91, 94.
- [2] 万物赋能，智领未来——世界物联网日大咖分享会[EB/OL].
https://jsnews.jschina.com.cn/zt2018/2018wiot/wlx/201808/t20180816_1841802.shtml, 2018-08-16.
- [3] Maxfield, C.M. (2025) The IIoT and Industry 4.0—Connectivity and Intelligence Are Transforming Industry. *Designing Electronic Engineering North America*, 4, 30.
- [4] 何小庆, 何灵渊. 嵌入式软件开发的三个趋势[J]. 嵌入式技术与智能系统, 2024, 1(1): 1-10.
<https://doi.org/10.12677/etis.2024.11001>
- [5] 芯智讯到 2030 年全球 RISC-V 芯片出货量将超 160 亿颗! [EB/OL]. <https://www.icsmart.cn/69543/>, 2023-11-09.
- [6] Eclipse Foundation (2025) 2024 IoT & Embedded Developer Survey Report.
<https://outreach.eclipse.foundation/iot-embedded-developer-survey-2024-thank-you>
- [7] QNX (2025) Hypervisor 2.0.
<https://blackberry.qnx.com/content/dam/qnx/products/hypervisor/hypervisorGEM-ProductBrief.pdf>
- [8] 谢国琪, 熊程来. ZVM 开源文档[EB/OL]. <https://gitee.com/openeuler/zvm>, 2025-02-25.
- [9] OpenEuler 社区. MICA: 面向复杂嵌入式系统的混合关键性部署框架[EB/OL].
<https://blog.csdn.net/openEuler/article/details/128631236>, 2025-02-25.
- [10] Aspencore (2025) The Current State of Embedded Development.
<https://www.embedded.com/wp-content/uploads/2023/05/Embedded-Market-Study-For-Webinar-Recording-April-2023.pdf>
- [11] VIVO (2025) Blue OS. <https://github.com/vivoblueos/kernel>
- [12] 何小庆. 嵌入式实时操作系统的昨天、今天和明天[J]. 中国计算机学会通讯, 2023(2): 84-89.
- [13] 翼辉信息. RealEvo-Stream 助力软件高效迁移至 SylixOS [EB/OL].
<https://mp.weixin.qq.com/s/lgec-MMAG2sNuiXUW2UDOa>, 2025-07-01.
- [14] 意法半导体 MCU 双供应链策略，打消中国客户后顾之忧[EB/OL].
<https://www.eeworld.com.cn/emp/STMChina/a392312.jspx>, 2025-01-16.
- [15] 华为昇腾营收占比 50% + 信创市占率第一[EB/OL]. <https://xueqiu.com/8607068205/336309830>, 2025-05-25.
- [16] 南方电网公司受邀与工信部共同见证鸿蒙 5.0 发布“电鸿”物联操控系统亮相备受关注[EB/OL].
<https://baijiahao.baidu.com/s?id=1821193072453076769&wfr=spider&for=pc>, 2024-12-30.
- [17] (2024) RISC-V Market Report: Application Forecasts in a Heterogeneous World.
<https://theshdgrouop.com/wp-content/uploads/2024/01/RISC-V-Market-Analysis-2024-Abridged-Report-2.pdf>
- [18] 工业和信息化部. “十四五”智能制造发展规划[EB/OL].
https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2021-12/28/content_5664996.htm, 2021-12-21.
- [19] 广州市工业和信息化局. 广州市推动物联网产业高质量发展行动计划(2024-2028 年) [EB/OL].
https://gxj.gz.gov.cn/yw/zchb/zcwj/cyzc/content/mpost_9817815.html, 2024-08-16.
- [20] 广东省人民政府办公厅. 广东省关于人工智能赋能千行百业的若干措施[EB/OL].
https://www.gd.gov.cn/zwgk/wjk/qbwj/ybh/content/post_4436455.html, 2024-06-06.
- [21] 北京市科学技术委员会. 北京具身智能科技创新与产业培育行动计划(2025-2027 年) [EB/OL].
https://www.beijing.gov.cn/zhengce/zhengcefagui/202503/t20250304_4024579.html, 2025-02-28.