

# 嵌入式实时操作系统的前世今生

Yesterday, Today and Tomorrow of Real-Time Operating System

主讲人：何小庆/Allan He

# 目录

1	嵌入式系统与实时系统
2	什么是RTOS?
3	RTOS发展历程
4	RTOS技术趋势
5	如何学习RTOS?

# 什么是嵌入式系统？

- 嵌入式系统无处不在，小到心脏起搏器和温控器、中到路由器和智能音箱，大到工业机器人、轮船和高铁。
- 产业和学术界普遍将嵌入式系统理解为“**专用计算机系统**”，也称“资源受限**智能系统**”。
- 嵌入式系统是芯片（处理器）与产品/应用对接的“**纽带**” - **粘合剂**！
- 嵌入式系统不是一个学科/专业，是在各学科/专业下的一个专业方向，高校有许多嵌入式系统课程（包括高职/本科/研究生）。
- 学习嵌入式  $\neq$  单片机  $\neq$  Linux + ARM！嵌入式最重要是 **软+硬件结合**！
- 掌握嵌入式系统开发技术：（Dr. Jim Cooling）
  - ①具备相关的基础知识（高校电类基础课程）
  - ②掌握特定设计的方法和开发技能



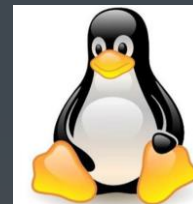
# 什么是嵌入式操作系统?

- 每一种嵌入式操作系统所包含的组件可能有所不同，但至少都要有一个内核，这个内核应具备操作系统的基本功能。嵌入式操作系统可以运行在任何移植好的处理器上，可以在设备驱动程序之上运行，也可以通过BSP（板支持软件包）来支持操作系统运行。

• *Labrosse, Jean Embedded Software. Elsevier 2008.*

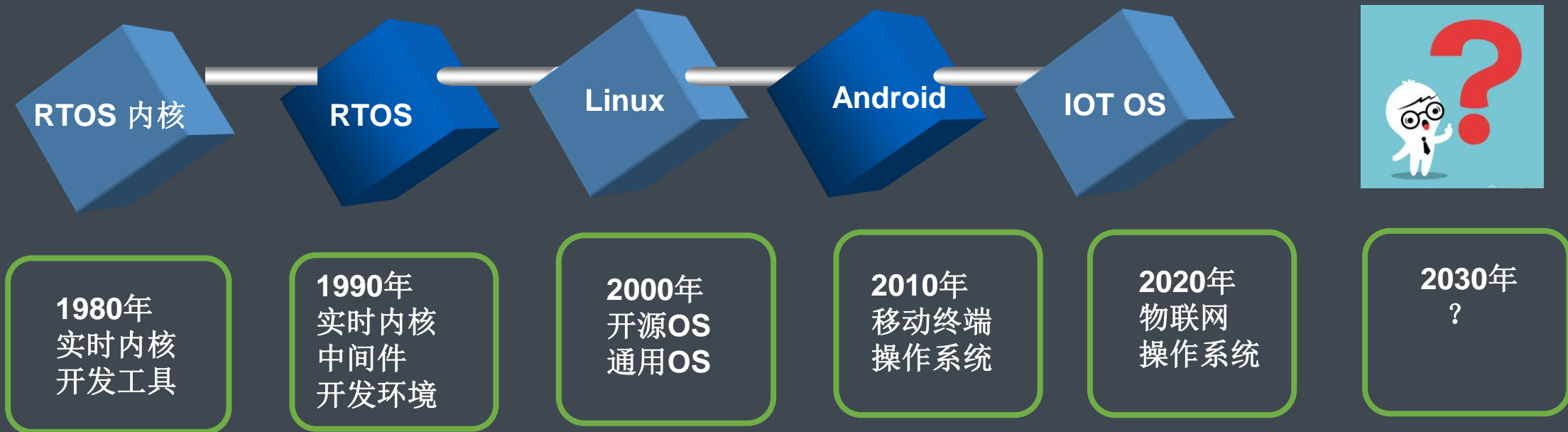
## 嵌入式操作系统的应用

- 通信产品
- 智能家电
- 航空航天
- 军工装备
- 汽车电子
- 物联网
- 工业控制



嵌入式OS种类

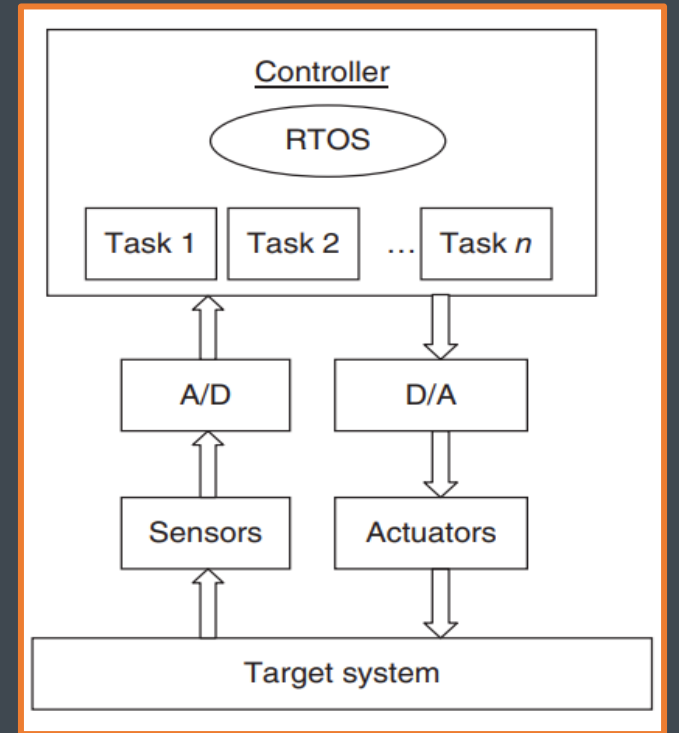
# 嵌入式操作系统演进之路



**嵌入式操作系统每10年经历一次重大的技术革命**

# 什么是实时嵌入式系统?

- 实时嵌入式系统具有的三个特点：
  - 持续性、实时性和交互性
- 基本特征
  - 严苛的截止时间 (**实时性 ≠ 快**)
  - 可预测的时间行为 (**确定性**)
  - 安全和可靠性
  - 并发性 (**多任务/多线程**)
  - 高度资源制约环境
- 实时性：硬实时和软实时
  - 硬实时是指系统必须满足的时间约束，否则导致系统失效
  - 软实时是指系统需要满足的时间约束，偶然出现超限不会导致灾难的后果
- 实时嵌入式系统已广泛应用于时间敏感（安全攸关、高性能计算）领域，如汽车电子、医疗仪器、无线移动通信和工业机器人等

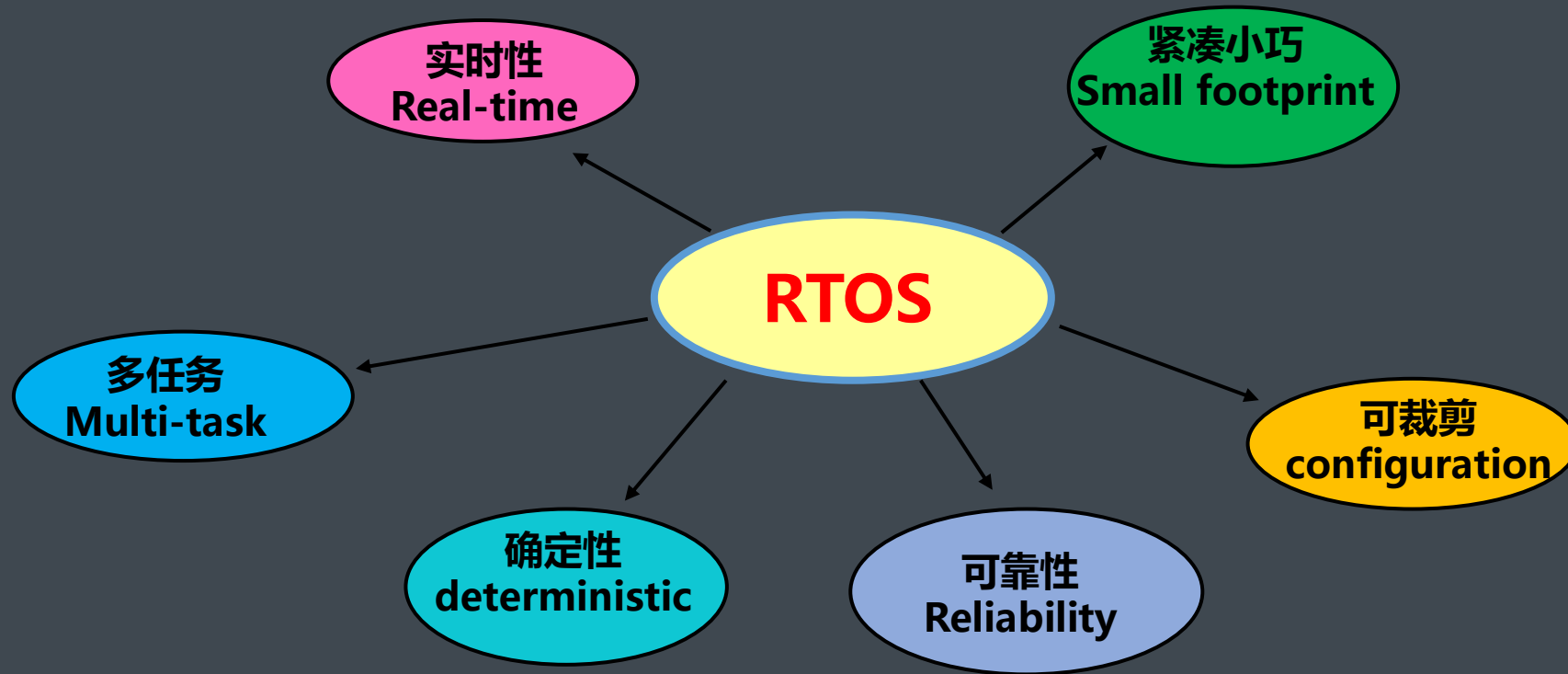


# 目录

1	嵌入式系统与实时系统
2	什么是RTOS?
3	RTOS发展历程
4	RTOS技术趋势
5	如何学习RTOS?

# 什么是RTOS?

嵌入式实时操作系统（RTOS）是一种操作系统，属于嵌入式操作系统，RTOS种类很多：有商业的、DIY和开源的，RTOS 是实时操作系统，而且是硬实时的操作系统。

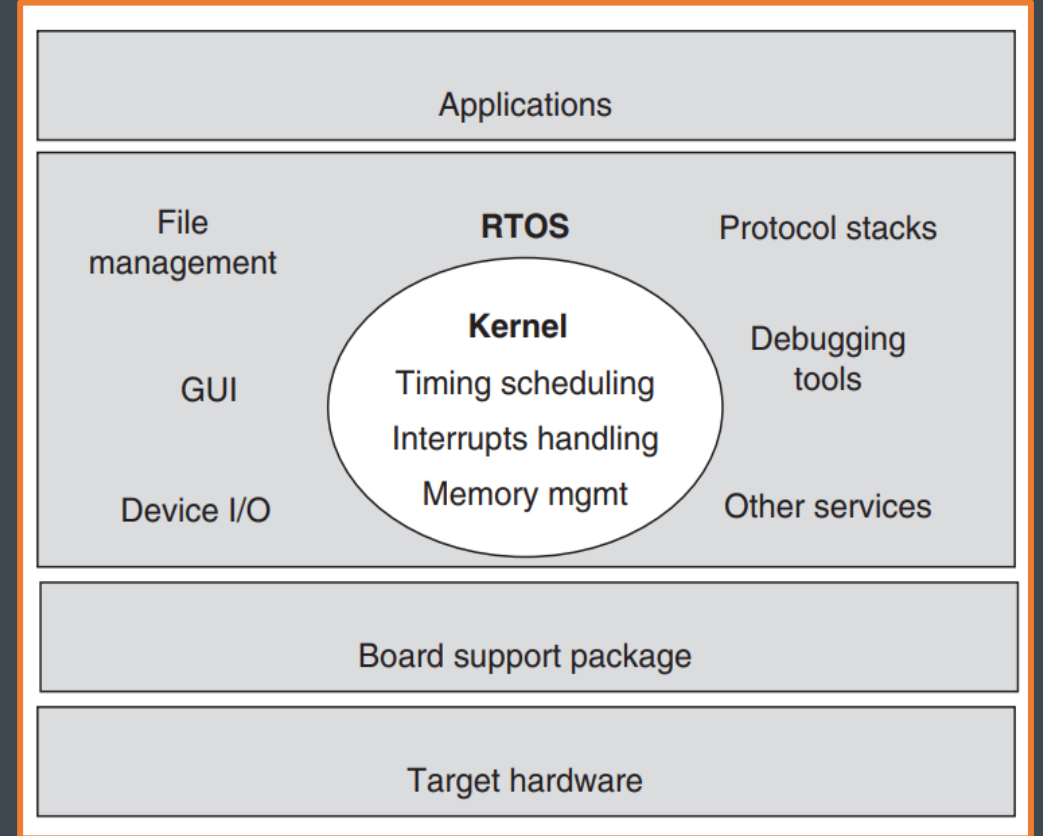


**RTOS 的基本功能和架构非常类似，从一种RTOS 转换到另外一种RTOS 并不困难**



# RTOS的基本概念

- RTOS 的设计有三个关键性要求：
  - RTOS 的时间特性必须是可预测的，包括系统调用和中断服务程序。
  - RTOS 必须管理时序和调度，调度器必须了解任务截止期。
  - RTOS 必须要快，上下文切换时间必须短。
- RTOS 一般包含一个**实时内核以及组件**（高层服务）。
  - 文件、协议、GUI 和其它。
  - I/O 设备，BSP 和工具。
- RTOS 内核基本服务：
  - 时钟和定时器。
  - 优先级调度。
  - 任务通信和资源共享。
  - I/O 和内存管理。



# RTOS 的硬件需求

- 大多数嵌入式硬件平台都可以容纳一个RTOS内核。
- RTOS内核通常需要一个定时器或其他周期性中断源，但不是强制性的。
- RTOS 需要消耗一些CPU周期和少量的ROM和RAM。
- FreeRTOS具有最灵活的 ROM、RAM 和处理开销。
  - FreeRTOS 内核二进制映像将在 6K 到 12K 字节的范围内。
  - FreeRTOS 将内存分配作为可移植部分，提供适合自身的具体实现，包括静态和动态分配
  - 具体RAM 开销与任务数量以及heap 的管理方式（ heap\_1.c - heap\_5.c）相关。
- OneOS 的内存占用非常小，可满足各类资源受限的物联网终端应用需求
  - ROM 大小范围为 4 k。
  - RAM 大小通常为 1 KB 。
- OneOS已支持ARM、RISC-V、LoongArch、C-SKY、Xtensa等芯片指令集架构，并适配意法半导体、恩智浦、兆易创新等主流MCU，已经适配超1200款芯片，支持80款以上模组，并可在百余款开发板上稳定运行。

# 目录

1	嵌入式系统与实时系统
2	什么是RTOS?
3	<b>RTOS发展历程</b>
4	RTOS技术趋势
5	如何学习RTOS?

# RTOS发展经历三个阶段

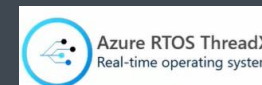
- 70年代微处理器出现，操作系统发展有了新的舞台，遗憾的是通用型OS没能快速跟进，直到80年代开始有被称为RTOS的产品。随着16/32位微处理器在嵌入式系统中的应用，RTOS的需求锐增，90年代进入蓬勃发展的黄金10年。
- 2000年以后，SoC 处理器渐渐上位，市场涌现了高性能的嵌入式处理器，通信和智能终端产品纷纷采用。传统的RTOS在驱动和应用软件上都有短板，这些产品的硬实时的需求不强，开源的Linux进入开发者的视野，商业公司开始提供嵌入式Linux 技术服务。
- 物联网时代嵌入式系统大量依赖低成本、高性能的32位MCU。边缘智能兴起，实时性、通信和低功耗成为系统重要指标。传统RTOS通过组件支持物联网应用，新型的IoT OS，在RTOS基础上发展成为端-边-云一站式解决方案，极大提升物联网开发效率。
- 未来嵌入式系统进入异构多核混合部署发展阶段，满足人工智能“富”应用与“强”实时双需求。

# 历史上的RTOS

OS-9



RTOS 名称	公司名称	网站	近况
VRTX	Ready System/Microtec		最早的商业RTOS
pSoS	ISI		在通信业知名的RTOS
OS-9	Microware		与MOT 紧密 历史悠久
SMX	Mico Digital	<a href="http://www.smxrtos.com">www.smxrtos.com</a>	私人RTOS 企业
vxwork	Wind River	<a href="http://www.wrs.com">www.wrs.com</a>	嵌入式RTOS 的常青树
Lynx OS	Lynuxwork	<a href="http://www.lynx.com">www.lynx.com</a>	老牌的RTOS
QNX	QNX	<a href="http://www.qnx.com">www.qnx.com</a>	汽车电子见长
CMX	CMX system	<a href="http://www.cmx.com">www.cmx.com</a>	历史悠久, 私人企业
Nucleus	ATI/Mentor	<a href="http://www.mentor.com">www.mentor.com</a>	被Mentor-西门子 收购
ThreadX	Expresslogic	<a href="http://www.rtos.com">www.rtos.com</a>	被微软收购-Azure RTOS
uc/OS	Micrium	<a href="http://www.micrium.com">www.micrium.com</a>	被Silicon Lab 收购-开源
Integrity	Gree Hill	<a href="http://www.ghs.com">www.ghs.com</a>	安全和军工
OSE	Enea	<a href="http://www.enea.com">www.enea.com</a>	通信业后起之秀
PikeOS	SYSGO AG	<a href="https://www.sysgo.com/">https://www.sysgo.com/</a>	欧洲知名的RTOS
embOS	Segger	<a href="http://www.segger.com">http://www.segger.com</a>	工具见长
RT-Thread	上海睿赛德科技	<a href="https://www.rt-thread.com/">https://www.rt-thread.com/</a>	国内最有影响力开源RTOS



RTOS 有超过30年历史, 起源北美, 后在欧洲和亚洲发展, 鼎盛时期有数百家

# 国际上知名的开源RTOS

RTOS领域没有一个可以与Linux媲美的知名项目,历史上小有名气的RTOS开源项目也不少,活跃在90年代、2000年和2010年以后这三个阶段,全球代表性产品有:

- RTEMS: 实时多处理器系统。90年代, RTEMS开始用于美国国防系统, 早期的名称为实时导弹系统, 后改名为实时军用系统。RTEMS是最早支持POSIX、TCP/IP协议和多处理器架构的RTOS, 支持许多经典的微处理器, 比如PPC/68K/MIPS。RTEMS项目活跃度一直很高, 现在由OAR公司负责维护。
- FreeRTOS : 2000年Richard Barry在英国创建的开源项目, 2017年FreeRTOS 成为亚马逊AWS 开源项目。10.0版本以后使用MIT开源协议。 FreeRTOS从一开始专注于MCU应用、代码小、开源免费。借助IoT蓬勃发展, FreeRTOS成为市场领先的小型RTOS。
- Zephyr: 2016年Intel, 等公司发起的开源项目, 现由Linux基金会管理。Zephyr覆盖Linux无法支持的应用市场。Zephyr历史虽短但起点很高, 最初的代码来自风河Rocket。Zephyr体系架构完整, 中间件丰富。在安全设计方面Zephyr有考量, 在功能安全认证上, Zephyr选择支持IEC61508, 计划支持汽车安全标准ISO26262。



# RTOS进入物联网操作系统时代

- IoT OS 起源于开源传感网OS-TinyOS和Contiki
- 2014年 ARM 物联网平台 mbed OS
- 2015年华为发表了Huawei LiteOS
- 2016年Linux 基金会推出Zephyr OS
- 2017年 RT-Thread 发布3.0 -小而美的 IoT OS
- 2017年 亚马逊宣布 Amazon FreeRTOS
- 2019年 腾讯发布Tencent OS ting
- 2020年 微软宣布Azure RTOS - 基于ThreadX
- 2020年 小米发布 Vela OS (基于NuttX)
- 2021年 中国移动物联网 OneOS 2.0 发布
- 2022年 开源鸿蒙发布 (openharmony)
- 2023年 微软将Azure RTOS 开源 (Eclipse基金会管理)

Contiki

Mbed OS 5

Zephyr™  
zephyrproject.org

TencentOS tiny

RT-Thread  
小而美的物联网操作系统

NuttX Real-Time  
Operating System

OneOS

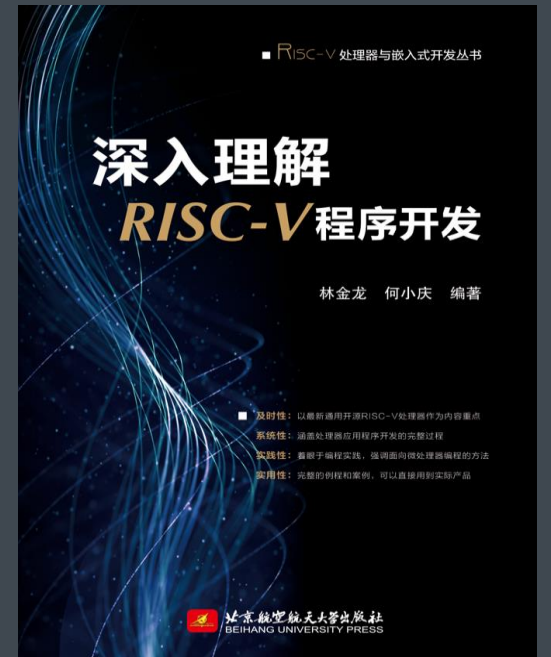


物联网操作系统的“底座”是RTOS

# 物联网操作系统的特点

我们可以将IoT OS理解为是一种面向“物”的软件平台，具备三个重要部分：实时操作系统（RTOS）、物联网的通讯协议和物联网云平台

- **管理物的能力**
  - “物” 是“嵌入式实时的低功耗传感器设备”
- **泛在的通信能力**
  - 支持各种无线和有线，近场和远距离的通信协议
- **设备的可管理和维护性**
  - 支持设备的安全动态升级和远程维护
- **物联网安全**
  - 包含设备、通信和云安全，具备防御外部安全入侵和篡改能力
- **云和边缘计算**
  - 通过物联网云平台完成远程设备管理，数据存储和分析，安全控制和业务支撑，边缘计算及端侧的**人工智能**架构和计算能力支撑。





# 目录

1	嵌入式系统与实时系统
2	什么是RTOS?
3	RTOS发展历程
4	<b>RTOS技术趋势</b>
5	如何学习RTOS?

# RTOS 技术趋势- 微内核

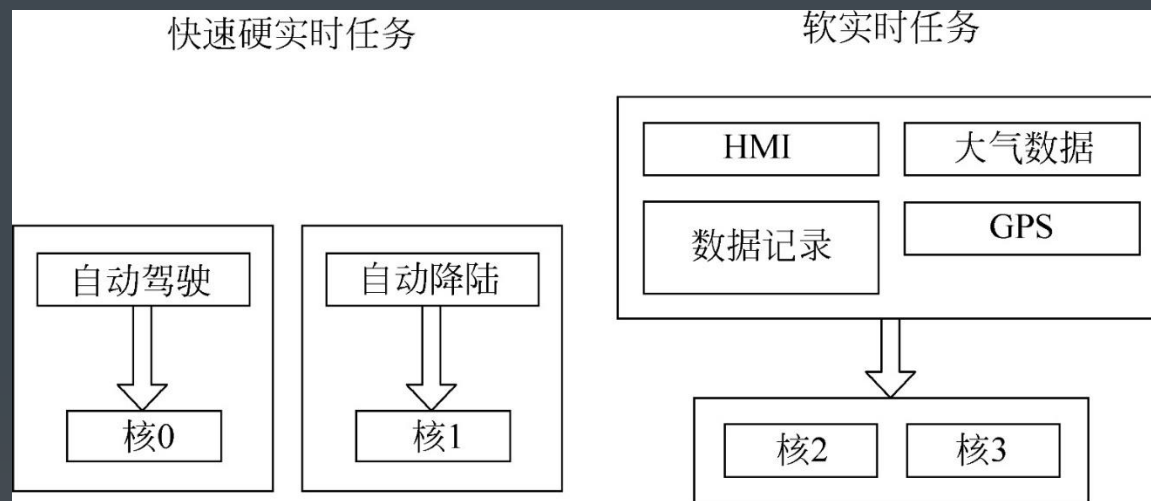
RTOS技术随着IoT和AI产业发展不断的创新，智能系统安全需求增加，汽车和工业电子处理器架构升级，异构多核处理器混合布置，促进RTOS微内核、安全和虚拟化技术的发展。

- 微内核具备更高的系统灵活性和可扩展性，可以更快适应新硬件和应用。
- 微内核具有更高的可靠性，当系统的一部分失效时不会影响到内核，整个操作系统因此不会崩溃。
- 微内核进程需要通过IPC向提供服务的进程发送服务请求，并等待服务进程通过IPC返回结果。这一过程中上下文切换和传送消息需要的拷贝开销会让性能不可避免地受到影响。
- 知名的开源微内核有L4和经过形式化安全认证开发的seL4，成功的商业微内核RTOS是QNX。

2023年中移物联发布OneOS微内核操作系统

# RTOS 技术趋势-多核芯片和多处理器

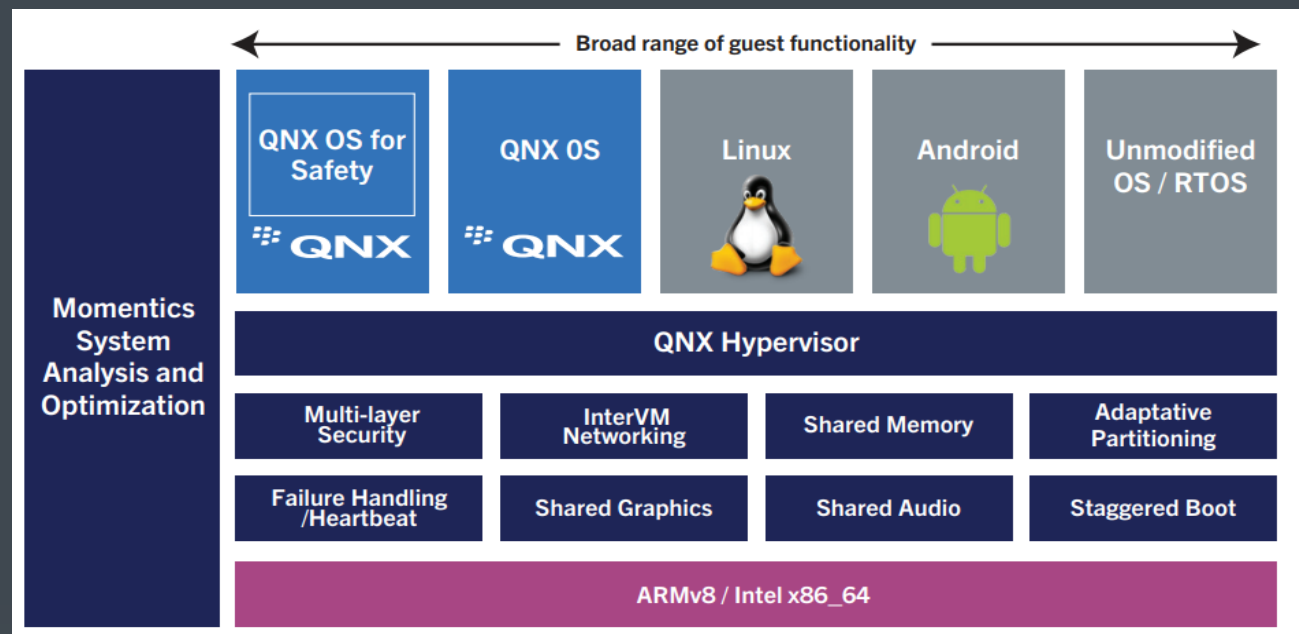
- 嵌入式多处理器系统分为基于芯片的多核系统，基于板级的多处理器系统。
- 多核芯片在一颗芯片里含有多个CPU核，共同包含一些外设器件：中断管理、存储和定时器，这样的处理器和其他应用器件组成多核系统。
- 多处理器系统则包含一系列单板机，每块单板上含有一个或者多个CPU。这些CPU的品种不一定相同，比如第一块板子是一颗典型的Arm Cortex CPU，第二块板子上则是一个DSP。
- **硬件**：多处理器有同构和异构两种形式；**软件**：对称和非对称处理（AMP/SMP）。
- 多处理器没有一种像单处理器上应用那样简单有效、在OS层面容易实现的实时调度算法。



OneOS 支持  
AMP/SMP多核,AMP  
参考《OneOS开发  
进阶》

# RTOS技术趋势-虚拟化

- 虚拟化技术是一个重要的趋势。借助于对底层处理器内核、内存和外设的抽象，这种技术使得多个虚拟机OS可以运行在同一个物理处理器上。虚拟化提供了多操作系统的运行环境，可以在同一个CPU设备中同时运行实时性操作系统和通用操作系统。
- 典型虚拟化平台
  - Wind River VxWorks和Linux
  - QNX 虚拟化软件
  - PikeOS和Vmware vSphere
  - 开源XEN, ACRN, Xvisor等
  - ZVM: 湖南大学基于Zephyr RTOS虚拟机



虚拟化技术是今天多核芯片全新的解决方案，它平衡了性能与可靠性两方面需求。智能工业场景下的混合关键系统应用可以借助多核系统以及虚拟化技术布置

# RTOS 技术趋势-混合关键系统

单节点高算力硬件推动软件走向混合部署

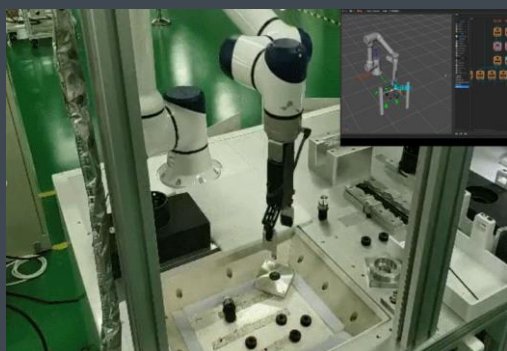
- 混合关键性系统：
  - 关键性系统可定于为失效会造成严重后果的系统，安全有等级，主要指**功能安全**等级，也延申至**信息安全**指标。
  - 混合关键性系统是指通过部署、隔离和调度等技术手段，实现**多系统混合部署**，并实现系统间彼此隔离保护，最后通过调度提升资源利用率。
  - 学术界：更关注共享资源下的混合关键调度，隔离与保护关注少。
  - 工业界：关注时空隔离下的混合关键性部署，资源往往是预先静态分配，整体利用率不高。

域0

域1

域2

域3



混合关键性系统架构

OneOS工业嵌入式操作系统支持多OS混合部署

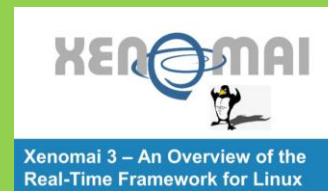
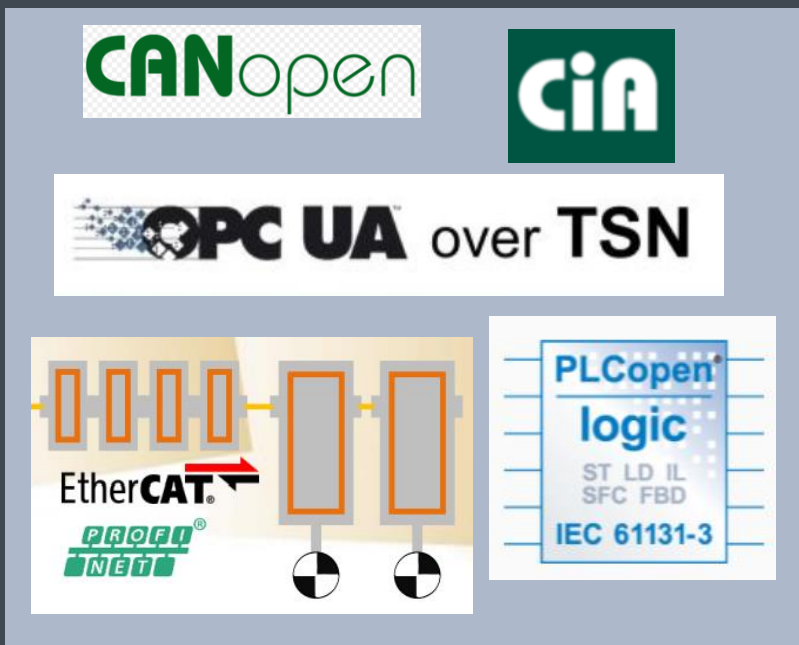
# 产业趋势 - 工业应用需要RTOS

## • 技术层面

- 多核处理器
- Linux-RT/RTOS
- 实时虚拟化技术
- 系统设备支持
- 热拔插/PCI/磁盘/显示
- 高安全等级
- 现场和工业总线

## • 生态层面

- 工业软件
- 工业芯片
- 工业PC和PLC
- 国产高端芯片



# 产业趋势 - 汽车软件是国产RTOS发展机遇

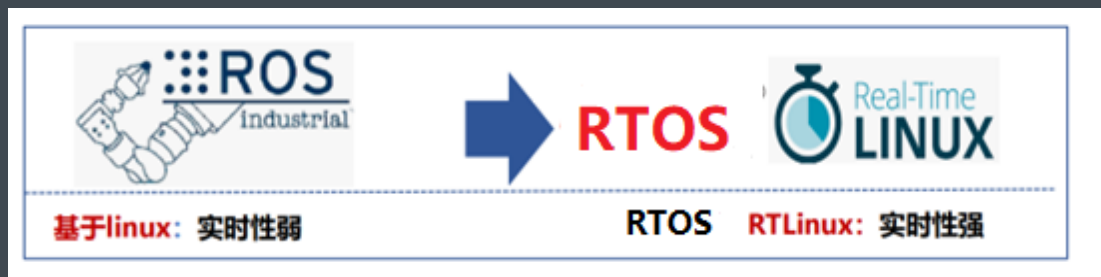
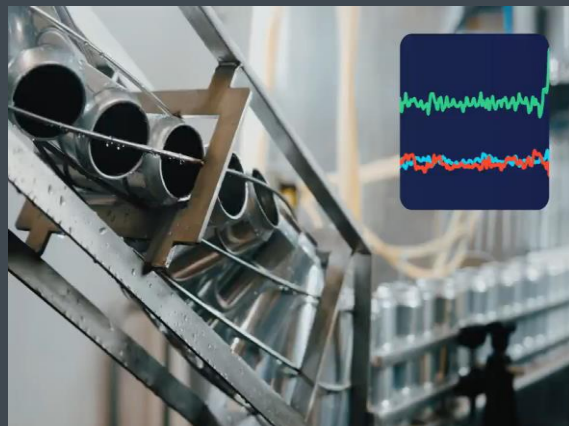
智能和电动汽车发展迅猛，汽车电子电气系统结构正在经历一场革命，汽车软件出现了惊人的增长，面临更大的挑战。为了实现汽车软件功能安全，需要遵循汽车安全开发标准，还需考虑信息安全。同时需考虑软件的可重用性，以及如何确保软件具有满足应用要求的技术能力。

- 汽车软件分为：控制、信息娱乐软件、高级驾驶辅助软件（ADAS）、自动驾驶软件及安全关键软件。
- 传统汽车电子电气系统中存在三类操作系统：ECU-AutoSAR OS、RTOS 和 IVI-OS



# 产业趋势 - “轻”智能时代的到来

- 人工智能向端侧转移，迎来了“轻”智能时代的到来。在高性能处理器上操作系统以前使用的Linux，一部分正在让位于RTOS。
- 机器人、运动控制器和TSN的网络操作系统的“底座”在支持RT-Linux基础上增加了RTOS的支持。
- 汽车辅助驾驶和自动驾驶、嵌入式AI多核处理器扩展了RTOS 支持。
- 案例：在RK3568平台上使用Zephyr RTOS，运行百度Paddle Lite 图像分类示例，输出为1000个概率，选取了其中10个作为输出，Zephyr下推理时间为0.13秒，Linux下为0.42秒(湖南大学研究成果)。
- AI大模型时代，嵌入式实时OS需要做什么？





# 目录

1	嵌入式系统与实时系统
2	什么是RTOS?
3	RTOS发展历程
4	RTOS技术趋势
5	如何学习RTOS?

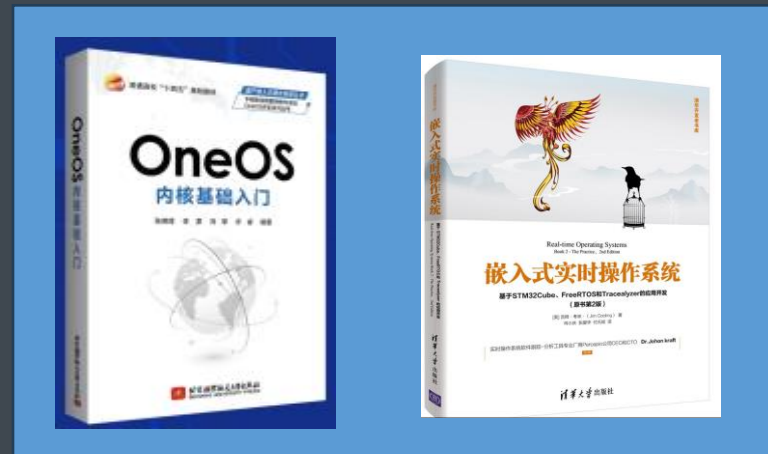
# 如何学习RTOS?

## • 如何学习RTOS?

- 高校的嵌入式系统（包括微机原理、单片机、体系结构和物联网等）相关课程有RTOS的基本内容（课时有限内容不完整）
- 操作系统企业与高校联合实验室（RT-Thread、开源鸿蒙、OneOS...）
- 嵌入式、物联网和电子设计大赛有嵌入式操作系统方面命题（比如 OneOS 支持的全国大学生物联网设计大赛）
- 嵌入式实时操作系统开发板、图书、视频和课程资源很多。

## • 如何学习物联网OS ?

- 物联网组件比如MQTT协议
- 全栈编程知识比如JS/PY 语言
- 物联网特长技术 比如OTA



# 结语

嵌入式实时操作系统是电子产品的心脏，应用覆盖消费、工业、航空航天和通信各行各业。嵌入式实时操作系统生命周期可以是数年也可能是几十年，有极为严格的稳定性和可靠性要求。嵌入式实时操作系统随着微处理器技术发展而变化，面对智能系统应用新需求而创新，正在步入一个新的发展阶段。国产嵌入式实时操作系统的研究、应用和生态建设正在迎来前所未有的发展机遇，学习和应用国产嵌入式实时操作系统大有可为！

## 感谢您的聆听！



嵌入式系统专家之声



@何小庆 微博  
Allan @esbf.org