

物联网操作系统的现状与未来

■文 / 何小庆

物联网操作系统是目前 IT 业界的热门词汇。那么，对于物联网操作系统，你了解多少呢？

2018 年全球人口 75 亿，智能手机保有量大约是 30 亿部。爱立信公司的物联网研究报告指出，2018 年物联网设备的数量首次超过智能手机，到 2021 年物联网设备将超过 290 亿台。在全球物联网设备无线连接方法中，蜂窝物联网装置依然遥遥领先。最近两年，低功耗广域 (LPWA) 的物联网装置出货量增长迅速，如 NB-IoT 和 LoRa。物联网应用繁花似锦、此消彼长。从最初智能硬件、共享单车到今天智慧城市、智能制造和新零售，万物互联已经无处不在。面对增长迅速、应用碎片化的物联网系统，业界一直在思考一个问题：PC 时代有 Windows 操作系统、移动互联网时代有安卓 Android 和 iOS 操作系统，为什么物联网时代没有应用范围广泛的物联网操作系统呢？

物联网操作系统 (Operating System for Internet of Things, IoT OS)，是一种在嵌入式实时操作系统基础上发展出来的、面向物联网技术架构和应用场景的软件平台。IoT OS 目前没有严格的定义，体系架构和功能各有不同，种类也比较多。例如，ARM Mbed 在微控制器 (MCU) 运行，Android things 在嵌入式处理器上运行，ThreadX 的 X-WARE 由传统的 RTOS 改进而成。

物联网操作系统的发展历史

IoT OS 的起源从两个传感网的操作系统开始：一个是 TinyOS，它是美国加利福尼亚州大学伯克利分校的一个项目；另一个是瑞典工学院的 Contiki 项

目，由亚当·邓克尔斯 (Adam Dunkels) 及其团队开发。亚当·邓克尔斯在 TCP/IP 网络协议方面是一位著名专家。Contiki 项目完全采用 C 语言开发，可移植性非常好，能够运行在各种类型的单片机和微处理器上。2010 年，欧洲有一个面向物联网的开源项目——RIOT，RIOT 在技术架构上与现在 IoT OS 非常接近。这三个操作系统都是开源软件，它们对今天的 IoT OS 产生了深远的影响。

最早的 IoT OS 开始于 2014 年，最具有标志性的是 ARM Mbed OS。同年，上海庆科公司发布了 MiCO OS。2015 年，华为公司发布了 Lite OS。2015 年，谷歌公司宣布 IoT OS Brillo OS 改名为 Android Things。2016 年，Linux 基金会推出 Zephyr，它是一个针对资源受限环境开源的实时操作系统 (RTOS)，在安全架构和技术上有一定特色。2017 年，阿里巴巴集团发布 AliOS Things。

2017 年底，亚马逊公司发布 Amazon FreeRTOS。借助 Amazon FreeRTOS 在嵌入式系统的影响力，亚马逊公司扩展其在物联网系统中的市场地位。Amazon FreeRTOS 结合 AWS IoT 云和边缘计算 Greengrass 技术，为开发者提供一站式解决方案。

2018 年，ARM 公司推出 Arm Pelion IoT Platform，继亚马逊公司之后提供端到端 IoT 安全解决方案。

微软公司在物联网设备端布置 Azure Sphere OS，可以运行在单片机上。在边缘侧，微软公司有 Azure IoT Edge，它可以在 Linux 和 Windows 系统



上运行。在云端，微软公司有 Azure IoT stack，它负责对物联网设备进行安全管理和维护。2019年4月，微软公司收购了物联网控制系统公司—Express Logic 公司，将其 ThreadX RTOS 部署在其物联网那个解决方案的端侧。ThreadX 是嵌入式系统中颇具影响力的商业 RTOS，有大量成熟的应用。

物联网操作系统的技术特征

无论学术界还是产业界，都还没有对 IoT OS 给出一个统一的定义。阿里巴巴集团把 AliOS Things 称为面向 IOT 领域的物联网轻量级嵌入式操作系统。亚马逊公司称 Amazon FreeRTOS 是针对单片机的物联网操作系统。ARM 公司称 Mbed OS 是物联网系统中针对“物”的免费和开源的嵌入式操作系统。

纵观 IoT OS 技术发展，IoT OS 可以归纳有五大技术特征：

一是管理物的能力。这里的“物”指物联网边缘节点上的嵌入式实时低功耗设备。

二是泛在的通信功能，即支持各种无线和有线，近场和远距离的通信方式以及协议，如蓝牙、WiFi、

Zigbee、NB-IoT、LoRa 和 NFC 等通信技术。

三是物联网设备的可维护性。即支持设备的安全动态升级（OTA）和远程维护。

四是物联网安全。这是一个广泛的概念，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。

五是物联网云平台。通过云物联网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，这是物联网大数据和人工智能的基础。

综上所述，IoT OS 是一种面向“物”的通信和管理平台，物联网操作系统有三个重要部分：嵌入式实时操作系统、物联网的通讯协议和物联网云平台。

物联网操作系统的实例

● HUAWEI LiteOS

HUAWEI LiteOS 是面向物联网领域轻量级物联网操作系统，它的内核分为两个层次：第一层是基础内核；第二层是扩展内核，源代码是开源的。

华为端云互通提供端云协同能力，集成 LwM2M、CoAP、mbed TLS、LwIP 等全套 IoT 协议栈，用户只需关注自身的应用，直接使用 LiteOS SDK 端云互通组件封装的 API，通过几个步骤就能简单快速地实现与云平台安全可靠连接。端云解决方案针对 NB-IOT 应用场景的应用是现阶段 Huawei LiteOS 的优势之一。

● Amazon FreeRTOS

Amazon FreeRTOS 是一款适用于微控制器的操作系统。通过软件库对 FreeRTOS 内核进行扩展，可以轻松地将小型低功耗设备安全连接到 AWS IoT Core 等 AWS 云服务或运行 AWS IoT Greengrass 的功能更强大的边缘设备。Amazon FreeRTOS 具有轻松编程、部署和管理低功耗互联设备，广泛的硬件和技术生态系统等优势。

● RT-Thread

RT-Thread 是一个集 RTOS 内核、中间件组件和开发者社区于一体的技术平台，由熊谱翔先生带领并集合开源社区力量开发而成。同时，RT-Thread 也

是一个组件完整丰富、高度可伸缩、简易开发、超低功耗、高安全性的物联网操作系统。RT-Thread 的优势为：具备一个 IoT OS 平台所需的所有关键组件，如 GUI、网络协议栈、安全传输、低功耗组件等；拥有良好的软件生态，支持市面上所有主流的编译工具，如 GCC、Keil、IAR 等；支持各类标准接口，如 POSIX、CMSIS、C++ 应用环境、Javascript 执行环境等，方便开发者移植各类应用程序。

综上所述，我们可以看出，上述 3 种 IoT OS 具备物联网系统开发所需要的基本功能，可以满足多数物联网边缘节点项目开发需求。相对 HUAWEI LiteOS 和 RT-Thread，Amazon FreeRTOS 无论在功能上、产品成熟度和支持硬件架构上有优势；HUAWEI LiteOS 提供 NB-IoT 端云解决方案，为基于 NB 网络物联网产品开发提供极大便利性；RT-Thread 的特长是开发者多，开源社区在中国很活跃。

物联网操作系统发展趋势

随着人工智能的发展，边缘计算是 IoT OS 发展的一个关注点。2017 年 ARM 公司推出了 Mbed Edge，与 ARM Mbed Cloud 和 Mbed OS 组成边缘计算的 IoT 方案。2019 年，华为公司发布智能边缘平台 IEF，推出开源 KubeEdge 项目，重点针对平安监控等需要边缘智能的应用场景。微软公司有 Azure IoT Edge 与 Windows/Linux 和 Sphere OS 配合。亚马逊公司在边缘计算一直走在前列，Amazon FreeRTOS 第一个版本就有边缘计算 Greengrass 应用案例。未来的研究重点是什么？笔者认为，重点将是云端人工智能技术如何透过边缘计算与设备节点的 IoT OS 结合起来，目前这些设备节点多是运行在单片机的 RTOS 或者 IoT OS 上，无法支持大型的 Linux OS 和容器技术。

物联网安全是 IoT OS 发展的另外一个热点，许多 IoT OS 集成了 Mbed TLS。TLS 是一种在互联网上实现加密通信的安全协议，Mbed TLS 是 ARM 公司的一个开源版本。许多物联网云具备密钥管理和数字证书功能，多数 IoT OS 支持安全的空中下载技术 (Over-the-Air Technology, OTA) 机制。物联网安全是一个复杂的技术和系统工程，需要产业链的通力合作，需要芯片和云端合作提供一套完整解决方案。

IoT OS 是物联网安全实施和发展的一个很好的平台。

物联网操作系统的愿景

ARM Mbed OS 发布到今天已经 5 年时间了，市场有十余种开源的 IoT OS，还有一些商业 IoT OS，更准确地说是支持 IoT 应用的商业嵌入式 OS。在一个新的物联网项目启动的时候，开发者通过芯片公司生态系统能很方便接触到 1~2 种支持 IoT OS 开发板，比如 STM32 Discovery kit IOT node，就实现 Amazon FreeRTOS 和 AliOS Things。新的物联网应用已经看到 IoT OS 的身影，比如 NB-IoT 项目，如果开发者采用 OPENCPU 模块，SDK 里面就包含了 Huawei LiteOS。ARM 和研华公司也展示过国外的 Mbed OS 应用，如可穿戴设备和工业物联网场景。

IoT OS 更趋向是一种集成技术；将已经成熟的操作系统、通信和云计算技术集成到从传感器到云的物联网场景中。IoT OS 不只是提供 CPU 资源管理和应用编程接口 (API) 传统意义的操作系统，IoT OS 也无法只布置设备端，它需要端云联动。IoT OS 一直由产业界在推动其发展，产业界在寻找可以解决物联网开发过于繁琐、开发团队顾此失彼而延误开发周期的问题，总之是希望为物联网生态系统打造一个类似智能手机的 Android OS 生态环境。

IoT OS 的愿景是美好的，目前还处在发展之中。例如，ARM Mbed OS，从 2017 年初 5.6 版本以后加快更新的周期，大约每 3 个月有一个新版本出来，到现在已经是 5.12 版本。再如，Amazon FreeRTOS 自 2017 年底发布 1.0 版本之后到 2018 年 7 月，不到一年时间就有 1.1、1.2 和 1.3 三个主要版本。笔者预计还会有新的 IoT OS 出现，解决物联网发展和应用中出现的新问题，如在边缘计算节点，期待着未来有更好 IoT OS 技术和产品呈现给产业，迎接万物互联、万物智能的时代。👉

何小庆，嵌入式系统知名专家、长期从事嵌入式与物联网技术、产业和教育方面工作。中国软件行业协会嵌入式系统分会副理事长，北京麦克泰软件技术有限公司创始人和董事长，北京航空航天大学软件学院客座教授，《单片机与嵌入式系统应用》副主编。