

DOI: 10.19816/j.cnki.10-1594/tn.2020.01.065

3种物联网操作系统分析与比较

何小庆

(北京麦克泰软件技术有限公司 北京 100191)

摘要: 阐述物联网操作系统的起源和发展历程,总结了物联网操作系统的5大技术特征。笔者对3种物联网操作系统 Huawei LiteOS、Amazon FreeRTOS 和 RT-Thread 进行实际使用和评测,并就功能指标进行比较。通过评测和比较得出,3种物联网操作系统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都有相当的优势。最后展望了物联网操作系统在边缘计算和物联网安全方面的最新发展,并指出物联网操作系统的成长生态建设是关键因素。

关键词: 物联网操作系统; IoT OS; Amazon FreeRTOS; 边缘计算; 物联网安全

中图分类号: TP316

文献标识码: A

国家标准学科分类代码: 510

A comparison of three internet of things operating systems

HE Xiaoqing

(BMR Software Technology Co., Ltd., Beijing 100191, China)

Abstract: In this paper, the origin and development of Internet of the Things Operating System (IoT OS) and the five technical characteristics of an IoT OS are explained. The feature of Huawei LiteOS, Amazon FreeRTOS, and RT-Thread base on testing and using of them are analysed. In conclusion, all of the three IoT OSes are capable of fulfilling basic IoT node and edge system development requirements. Amazon FreeRTOS clearly has an edge in functionality, platform matureness, and processor architecture support. Future more, the development trends of IoT OS in the edge computing and IoT Security are briefly examined. In conclusion, the author points out that the growth and ecological construction of The Internet of Things operating system is the key factor.

Keywords: internet of things operating system; IoT OS; Amazon FreeRTOS; edge computing; IoT security

0 引言

物联网应用从最初的智能硬件,到风靡一时的共享单车,再到今天智慧城市、智能制造和新零售,此消彼长。人工智能、边缘计算发展迅速,物联网在向人工智能物联网(AIOT)演进。面对碎片化应用物联网系统,业界一直思考这个问题:PC时代有

Windows OS,移动互联网时代有 Android 和 IOS,为什么物联网时代没有一种物联网操作系统呢?

1 物联网操作系统发展历程

物联网操作系统(the operating system for internet of things, IoT OS)起源于两个传感网的操作系统。第一个是 TinyOS,它是加州伯克利大学的一

个项目, TinyOS 应用程序都是用 NesC 编写, NesC 是标准 C 的扩展。另外一个就是瑞典工学院 Contiki 项目, 由 Adam Dunkel 和他的团队开发, Adam 在 TCP/IP 网络协议方面是一个著名专家, 是 uIP 和 LWIP 的作者。Contiki 完全采用 C 语言开发, 可移植性非常好, 对硬件的要求极低, 能够运行在各种类型的单片机、微处理器及 PC 电脑上。2010 年开始欧洲有一个面向物联网的开源项目——RIOT^[1], RIOT 在技术架构上与现在物联网操作系统非常接近, 这 3 个操作系统都是开源软件, 它们对今天的物联网操作系统产生了深远的影响。

最早的物联网操作系统开始在 2014 年, 具有标志性的是 ARM Mbed OS, 同年中国上海庆科公司也发布了 MiCO OS, 华为也于 2015 年发布 Lite OS。2015 年谷歌宣布 IoT OS Brillo OS, 现在改名为 Android Things, 2016 年 Linux 基金会推出 Zephyr, 它是一个针对资源受限开源的 RTOS, 在安全架构技术上有一定特色。2017 年 10 月阿里在杭州云栖大会上宣布 AliOS Things, 2017 年 12 月 亚马逊宣布 Amazon FreeRTOS, 由于 FreeRTOS 在嵌入式系统最具影响力, 亚马逊借此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。微软在物联网设备端布置 Azure Sphere OS, 可以运行在 MCU 上, 边缘侧微软有 Azure IoT Edge, 可以运行在 Linux 和 windows 系统, 在云端微软有 Auzre IoT stack 负责对 IoT 设备进行安全管理和维护, 2019 年 4 月微软收购了 Express Logic, 将其 ThreadX RTOS 部署在其 IoT 解决方案的端侧, ThreadX 是嵌入式系统中颇具影响力的商业 RTOS, 已经有大量成熟商业应用。2018 年 ARM 推出 Arm Pelion IoT Platform, 继亚马逊之后提供端-端 IoT 安全解决方案。2019 年 9 月, 腾讯推出自主研发的轻量级物联网实时操作系统 TencentOS tiny, 同时腾讯宣称将其开源, 行业也将这一类物联网操作系统称为轻量型的物联网操作系统。

2 物联网操作系统的技术特征

无论学术界还是产业界, 都没有对物联网操作

系统给出一个统一的定义; 阿里把 AliOS Things 称为面向 IoT 领域的物联网轻量级嵌入式操作系统, 亚马逊称 Amazon FreeRTOS 是针对 MCU 的物联网操作系统, ARM 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。纵观物联网操作系统技术发展, 物联网操作系统可以归纳 5 大技术特征^[2]。

(1) 管理物的能力。这里“物”是指物联网边缘节点上的嵌入式实时低功耗设备。

(2) 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和协议, 比如蓝牙、WiFi、zigbee、NB-IoT、LoRa 和 NFC 等通信技术。

(3) 物联网设备的可维护性。即要支持设备的安全动态升级(OTA)和远程维护。

(4) 物联网安全。物联网安全是一个广泛的概念, 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。

(5) 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。

3 3种物联网操作系统分析

笔者对 3 种物联网操作系统: Huawei LiteOS、Amazon FreeRTOS 和 RT-Thread 进行测试和分析, 包括发展历程、技术架构、开发方式、实操测试和特点分析, 资料 and 软件均来自已经出版和公开的文档资料和开源社区。

3.1 Huawei LiteOS

2012 年华为开发支持公司内部消费产品的小型嵌入式操作系统 LiteOS, 2014 和 2015 年 LiteOS 与 Huawei 手机和智能手表一同出货。2016 年 Lite OS 内核正式开源。2017 年发布 LiteOS IoT 解决方案(即端云解决方案), 2018 年华为加速开发步伐, 发布 LiteOS SDK 2.1 和 Lite OS Studio 1.0(开发环境), 7 年间, Huawei LiteOS 走过内部产品-开源软件-IoT 解决方案发展之路。

Huawei LiteOS 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, 除 LiteOS 开源项目外, 还有 LiteOS Studio、LAB、和 IEC 和等几个开源项目, 代码可以从 <https://github.com/LITEOS> 获得。LiteOS 的技术架构如图 1 所示。

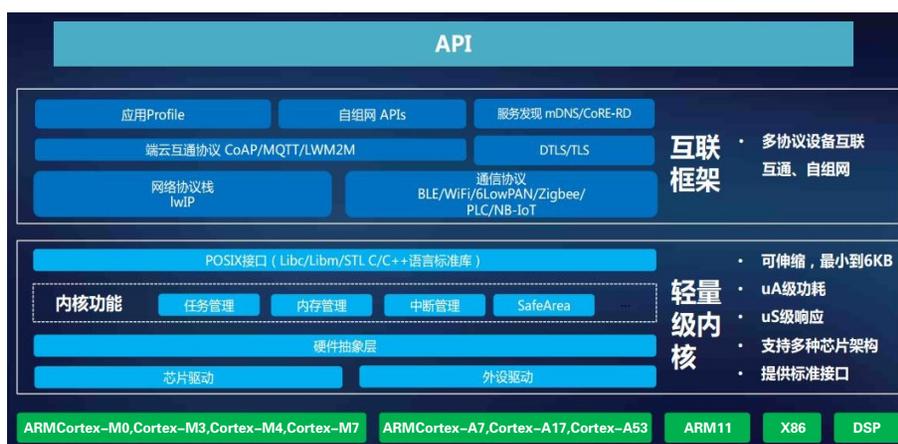


图1 Huawei LiteOS 技术架构图

Fig.1 Huawei LiteOS technology architecture

华为端云互通提供端云协同能力,集成了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传感器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。

测试Huawei LiteOS,笔者使用的是一块IoT CLUB NB-IoT EVB_M1开发板,如图2所示,它是以STM32L4为主控MCU,移远BC95为通讯模组,具备丰富的板载资源,以及超低功耗的技术特点。开发板设计小巧,板载OLED可以显示传感器数据、电池供电、eSIM等多种特色功能和多种传感器资源。



图2 IoT CLUB NB-IoT开发板

Fig.2 IoT CLUB NB-IoT kit

嵌入式开发软件使用的是KEIL uVision 5,为了测试开发板传感器与云端的互联互通,笔者申请的华为远程实验室Ocean Connect,如图3所示,读者需

要修改代码中设备对接信息。开发板配套WiFi和NB-IOT两种无线接入方式,使用WiFi比较顺利。开发板搭配了一个中国电信的NB-IOT SIM卡,开始测试时候,反复尝试仍未能能在平台注册后,通过咨询华为和南京厚德物联网公司技术人员,发现是NB-IOT模块需要重新激活,问题很快得到解决。

通过评估Huawei LiteOS相关资料和软件之后,笔者认为Huawei LiteOS有下面一些优点:

- (1)作为国际知名企业,Huawei LiteOS在国际上有一点名气。
- (2)Huawei LiteOS、NB-IoT模组、OC和电信一体化平台是特色。
- (3)轻量型的RTOS内核,内核和协议低功耗管理。
- (4)Agent Tiny轻量级互通中间件机制。
- (5)适合广域网架构,协议丰富,低功耗支持。
- (6)定期有黑客松大赛,鼓励开发者参与和贡献代码。

Huawei LiteOS也有一些缺点:

- (1)华为OC平台为开发者提供的是测试实验室。
- (2)支持CPU架构比较少,从开源代码只有ARM M0-M7和RISC-V架构。
- (3)给大众更多的印象是NB-IoT的配套和捆绑方案。
- (4)华为发布了鸿蒙操作系统计划,未来LiteOS发展规划不明确。

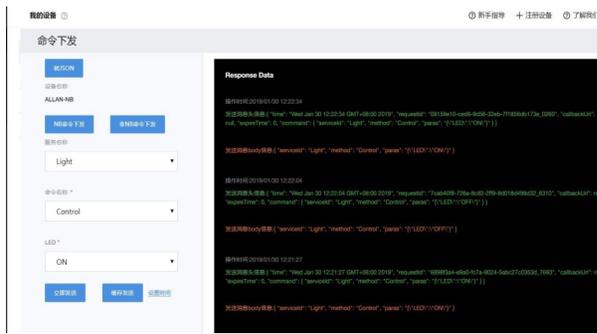


图 3 华为 Ocean Connect IOT 云
Fig.3 Huawei Ocean Connect IOT cloud

3.2 Amazon FreeRTOS

Amazon FreeRTOS 起源于 FreeRTOS,它是英国人 Richard Barry 于 2003 年发布的开源的实时内核,FreeRTOS 代码后续由 Real Time Engineers Ltd 公司开发和维护。FreeRTOS 支持超过 35 CPU 架构,在 2017 年每 3 min 就有一次下载,FreeRTOS 是世界最受开发者欢迎的 RTOS^[3]。FreeRTOS 有一个系列软件,包括 FreeRTOS(开源版本)、OpenRTOS(授权版本)、SafeRTOS(安全版本)和 Amazon FreeRTOS(开源 IoT OS 版本)^[4]。

IoT 把 FreeRTOS 推到了风口浪尖,各家 MCU 芯片公司的开发板、MCU SDK 开发套件都移植上了 FreeRTOS。2017 年 FreeRTOS 成为 AWS 开源项目, Richard 成为亚马逊 AWS IoT 首席架构师。FreeRTOS v10.0 版本之后改为 MIT 授权方式,很快亚马逊发布了 Amazon FreeRTOS 1.0 版本。Amazon FreeRTOS 使用 FreeRTOS v10 内核,增加了 IoT 应用组件,比如 OTA、TLS 和 MQTT 连接到亚马逊 AWS 云。

Amazon FreeRTOS 的技术架构如图 4 所示,从图中可以看出,Amazon FreeRTOS 以 FreeRTOS 内核为基础,并通过软件库对其进行扩展,从而可以轻松地将小型低功耗设备安全连接到 AWS 云服务,或运行 AWS Greengrass 的边缘设备上。

为了评估 Amazon FreeRTOS,笔者从亚马逊网站上购买了 LPC54018 IoT KIT,如图 5 所示,注册了亚马逊账户,在 Amazon FreeRTOS 工作台下载针对这块开发板的 Amazon FreeRTOS 代码,或者用户可以从 GitHub 网站下载全部代码,图 6 是 AWS IoT 页面,显示 MQTT 报文,嵌入式开发使用是 IAR 开发环境,

图 7 是 LPC54018 IoT KIT 代码运行的串口显示。

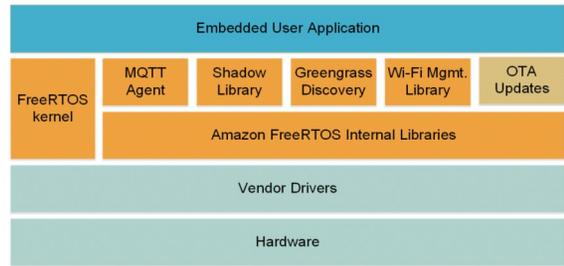


图 4 Amazon FreeRTOS 技术架构

Fig.4 Amazon FreeRTOS technology architecture



图 5 LPC54018 IoT KIT

Fig.5 LPC54018 IoT KIT

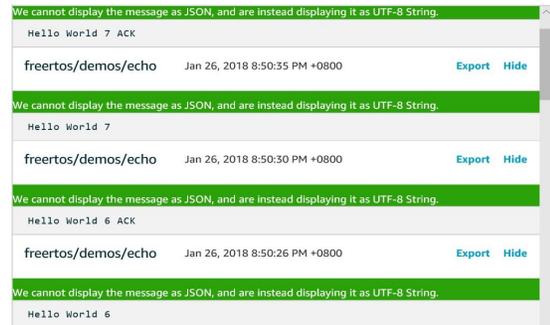


图 6 AWS IoT 云页面

Fig.6 AWS IOT cloud



图 7 LPC54018 IoT KIT 串口显示

Fig.7 LPC54018 IoT KIT console output

需要强调的是, AWS IoT 为测试一下的开发者提供的也是全功能环境, 需要按照 AWS 安全要求, 在 IoT 工作台上创建物、注册、申请证书并下载该证书, 开发者还要在安全项目下创建策略, 然后关联证书和策略, 相关的证书还需导入到 IoT 设备上, 证书和密钥放在 LPC54018 IoT KIT 的 MCU 的 FLASH 上, 在产品生产的时候, 证书和密钥是设备厂商和证书颁发机构(CA)发放的。

笔者认为 Amazon FreeRTOS 软件有下面一些优点:

(1) 历史悠久、开发者众多、全球市场份额最大。

(2) 获得全球顶尖 MCU 和 IoT 芯片企业支持, 比如 ST、TI、NXP、Microchip、Infineon、Renesas、Xilinx 和 Espressif(乐鑫), 以及 Mediatek 的认证开发板, 许多还不是 ARM 架构。

(3) 亚马逊 AWS 提供商业级的云计算平台和安全保证。

(4) Amazon FreeRTOS 的内核是 FreeRTOS 10.0 为提升通信支持增加 Stream Buffers, Message Buffers, POSIX API 和 FreeRTOS+TCP 等功能。

(5) 支持 AWS 边缘计算的功能(Greengrass)。

Amazon FreeRTOS 也有一些缺点:

(1) 除了 AWS, 官方没有支持第三方云平台。

(2) 物联网通信协议支持比较少, 比如只有 WiFi, 没有 NB-IOT、LoRa 以及 2G/3G 蜂窝网络协议, 蓝牙协议是后期版本增加的。

(3) 没有中国本地生态环境互动, 相比阿里、华为, 百度和微软, 亚马逊的 AWS 在中国影响力比较低。

3.3 RT-Thread

上海睿赛德电子科技有限公司创始人和总经理熊谱翔于 2006 年创建 RT-Thread 开源实时操作系统项目。在他的坚持下, RT-Thread 一点点完善和发展起来, 在中国国内已经颇有影响力。

2011 年 RT-Thread 1.0 版本正式发布, 2015 年 2.0 版本和现在名气很大的柿饼 GUI 捆绑发布。2017 年发布 3.0, RT-Thread 全面启动 IoT 战略, 称自己是小而美的物联网操作系统, RT-Thread 是开源软件, 代码可以从 <https://github.com/RT-Thread> 获得, 图 8 所示是 RT-Thread 的技术架构。

笔者从广州正点原子获得一块他们与 RT-Thread 联合开发的潘多拉 IoT KIT, 如图 9 所示。根据开发板配套的 RT-Thread IoT-BOARD SDK 开发手册尝试了几个联网的例子, 重点测试了与阿里云的连接, 图 10 是阿里 IoT 云界面。

评估后笔者认为 RT-Thread 软件有下面一些优点:

(1) 由国人自主开发, 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, 2017 年获得融资后发展迅速。

(2) 集成不少 Linux 特征和工具, 比如内置 CLMsh 和裁剪 menuconfig。

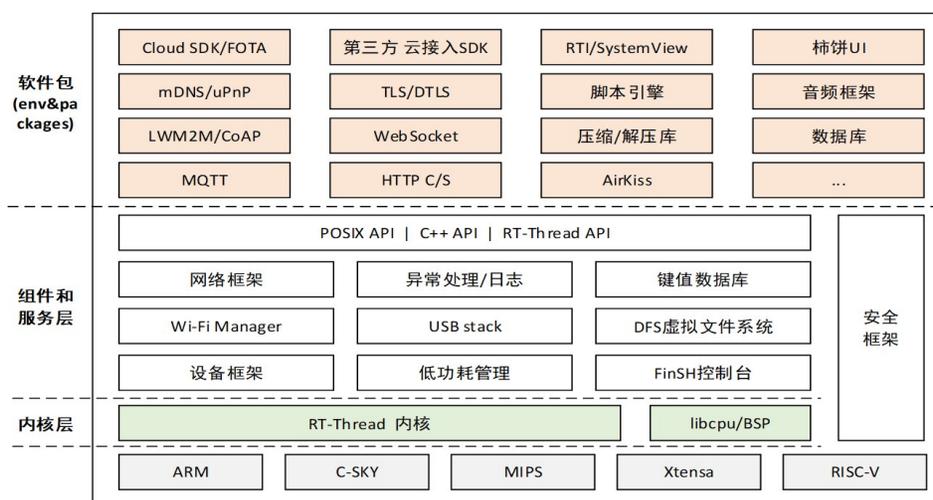


图 8 RT-Thread 的技术架构

Fig.8 RT-thread technology architecture

(3)支持 90 余款 MCU 和 MPU ,架构覆盖架构 ARM、x86、PPC 和 RISC-V 。

(4)RT-Thread 是一家独立软件公司,不是云计算公司,开放支持第三方云,比如中国移动的 ONENET、阿里云、微软 Azure 和 RT-Thread 自有云平台(仅支持 OTA 固件更新)。

(5)开发者大会和开源社区,RT-Thread 深受草根们的喜爱。

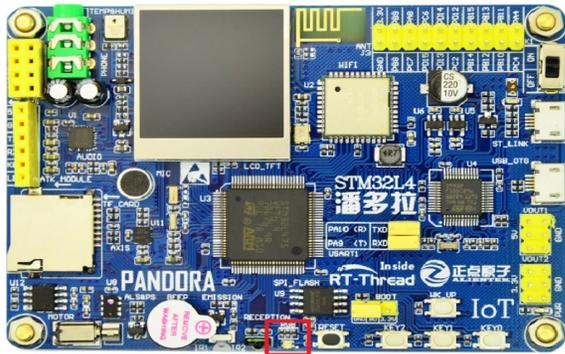


图9 潘多拉 IoT KIT

Fig.9 PANDORA IoT KIT

时间	DeviceName	内容(全部)	状态
2019/02/15 17:09:43	RGB_LED_Dev1	云端下发数据: 2019-02-15 17:09:43.09...	200
2019/02/15 17:09:19	RGB_LED_Dev1	云端下发数据: 2019-02-15 17:09:19.06...	200
2019/02/15 17:05:24	RGB_LED_Dev1	云端下发数据: 2019-02-15 17:05:24.72...	200
2019/02/15 17:05:14	RGB_LED_Dev1	云端下发数据: 2019-02-15 17:05:14.82...	200
2019/02/15 17:05:02	RGB_LED_Dev1	云端下发数据: 2019-02-15 17:05:02.32...	200
2019/02/15 16:33:11	RGB_LED_Dev1	设备上报数据: 2019-02-15 16:33:11.323...	200
2019/02/15 16:27:15	RGB_LED_Dev1	设备上报数据: 2019-02-15 16:27:15.011...	200
2019/02/15 16:17:55	RGB_LED_Dev1	设备上报: 2019-02-15 16:17:55.292, 86...	200
2019/02/15 16:17:55	RGB_LED_Dev1	设备激活: 2019-02-15 16:17:55.292, 86...	200

图10 阿里 IoT 云界面

Fig.10 Ali IoT cloud

RT-Thread 也有下面一些缺点:

(1)全球独立嵌入式软件公司规模不大, IoT OS 在设备端很难有收费模式,商业模式是 RT-Thread 发展主要问题,大公司选择 RT-Thread 平台会有所顾忌。

(2)缺少英文网站和资料介绍,国际上知名度不高。

4 3 种物联网操作系统的技术比较

通过对 3 种物联网操作系统的分析和评测,笔者对它们的基本特征有了了解。下面针对每种物联网操作系统的几个关键性技术特性做一个横向比较^[5],如表 1 所示。

以上评测是基于以下软件版本:

(1)Huawei LiteOS 2018 年 3 月 30 日 C50 社区开源版本, LiteOS SDK 10.0;

(2)Amazon FreeRTOS V1.2;

(3)RT-thread 3.1.1。

综上所述,可以看出,上述 3 种物联网操作系统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相当的优势。

5 物联网操作系统最新发展

5.1 边缘计算

随着人工智能(AI)发展,边缘计算的是物联网操作系统发展的一个关注点^[6]。2017 年 ARM 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。微软有 Azure IoT Edge 与 Windows/Linux 和 Sphere OS 配合。Amazon 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。这个领域未来的研究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。

目前设备节点多是 MCU,上面运行的是 RTOS 或者 IoT OS, MCU 无法支持大型的 Linux OS,多数 IoT OS 和 RTOS 目前不支持容器技术。但是情况也在改变,比如 ARM 推出 Mbed Linux OS 支持 IoT 应用,翼辉公司的 SylixOS 支持轻量型的容器技术^[7], STM32 推出可以支持 Linux 的 STM32MP 物联网节点应用处理器。

5.2 物联网安全

物联网安全是物联网操作系统发展的另外一个

表1 3种IoT OS技参数比较
Table 1 Comparison of three IoT OS

OS	Huawei LiteOS	Amazon FreeRTOS	RT-Thread
License	BSD	MIT	APACHE
Architecture	ARM Cortex M	Many MCU	ARM/X86/RISC-V MCU and MPU
Program Language	C/C++EXT JS	C/C++	C/C++ EXT JS,Python and Mini Program of Wechat
IDE	KEIL/IAR	KEIL/IAR/CCS/GCC/e2studio/MPLAB	KEIL/IAR/GCC
Power management	Kenmel Tickless	Kernel Tickless	RT-Thread PM
Program mode	Multi-Threading	Multi-Threading	Multi-Threading
Wireless Connection	WiFi/NB-IoT/CoAP/LWM2M2	WiFi/MQTT	WiFi/BLE/MQTT
Security	DTLS	TLS/Security Socket/Permission	TLS
OTA	FOTA	Full Support and OTA abstraction layer	OTA example
Footprint	IOTSDK RAM 32k FLASH 128k	Kernel RAM 10k FLASH 12k	RT-ThreadNano RAM 1.04kB FLASH 3.25k
Middleware	Very few	TCP/IP,FAT and Many thirdparty	GUI/FAT/JAFFS/Sqlite/CANOPEN/FreeModbus
CLI	~	FreeRTOS Plus CLI	mash
Reliability	~	FreeRTOS MPU and SafeRTOS	~

注:(1)License:指IoT OS授权方法,比如BSD开源授权。(2)Architecture:指IoT OS支持的处理器架构,比如ARM。(3)Program Language:指IoT OS系统和API编程语言,目前多数是C语言。(4)IDE:指IoT OS使用的集成开发环境,比如KEIL和IAR。(5)Power Management:指IoT OS内置的电源管理功能。(6)Program mode:指IoT OS编程模式,目前多数是多线程(任务)方式。(7)Wireless Connection:指物联网各种无线通讯技术,包括近场和蜂窝广域网。(8)Security:指物联网安全技术和手段,包括通讯协议安全,授权和认证等。(9)OTA:原指针对移动网络的空中下载技术,现用于物联网远程固件更新。(10)Footprint:指IoT OS代码和数据尺寸。(11)Middleware:指操作系统内核之上的系统和应用软件,比如TCP/IP和GUI。(12)CLI:指命令行接口,用于操作系统的开发和调试。(13)Reliability:指IoT OS的可靠性技术和保证。

热点^[8],咨询服务公司Barr Group最近做了一个市场调查:结果是60%的正在开发中的嵌入式系统都是连接到互联网上的(可以称为是物联网设备),它们之中有25%的系统是可能受到攻击的,或者说不安全的。同时48%受访工程师告诉Barr Group他们没有加密自己的通讯协议^[9]。

目前许多的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。很多IoT云具备密钥和数字证书功能,许多IoT OS支持安全的OTA机制,比如Amazon FreeRTOS。IoT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,比如STM32、NXP和国民技术IoT芯片有支持IoT云的密钥存储功能。

物联网安全需要物联网系统通过功能安全认证,其中物联网操作系统是功能安全认证的重要环节,安全认证标准有医疗电子IEC 60601/ 62304,轨

道交通IEC61508,汽车电子ISO 26262,航空电子DO-178B/C和核电IEC 61513。老牌的嵌入式操作系统QNX、Vxwork、Integrity和SafeRTOS在功能安全预认证起步比较早,开源的物联网操作系统Zephyr正在做预认证的工作,将要成为首家通过安全认证的开源物联网操作系统^[7]。

6 结论

物联网操作系统是一种面向“物”的通讯和管理平台,物联网操作系统有3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,目前市场轻量型的IoT OS的发展正在走向成熟,物联网操作系统还需要长时间的市场培养,一个物联网操作系统如能顺利成长,其中生态是关键^[10]。进入人工智能物联网(AIoT),面向无人驾驶汽车、智能机器人、无人机等应用场景的物联网操作系统还在演进之中,产业界预计物联网操作系统将向大型、复杂和可配置、更小更安全和硬化

两个方向发展。

参考文献

- [1] BACCELLI E, GUNDOGAN C, HAHM O, et al. RIOT: An open source operating system for low-end embedded devices in the IoT[J]. IEEE Internet of Things Journal, 2018, 5(6): 4428 - 4440.
- [2] 何小庆. 嵌入式操作系统风云录: 历史演变和物联网未来[M]. 北京: 机械工业出版社, 2016: 220-226.
HE X Q. Embedded operating system history of development and the future of internet of things[M]. Beijing: China Machines Press, 2016: 220-226.
- [3] ASPENCORE. 2017 embedded markets study[EB/OL]. (2017- 04) [2020- 01- 20]. <https://m.eet.com/media/1246048/2017-embedded-market-study.pdf>.
- [4] 何小庆. 谈谈FreeRTOS 及其授权方式[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2015(10): 5-7.
HE X Q. A brief discussion on FreeRTOS and its licensing[J]. Microcontroller And Embedded System, 2015 (10): 5-7.
- [5] ZEZARIYA M P. A comparative study and analysis of operating system for the internet of things[J]. International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology, 2017, 5(6): 1412-1416.
- [6] 何小庆. 全球嵌入式技术与IoT产业回顾与展望[J]. 电子产品世界, 2019(4): 7-10.
HE X Q. Review and outlook of embedded technology & IoT industry[J]. Electronic Engineering and Product World, 2019(4): 7-10.
- [7] 何小庆. 国产嵌入式操作系统发展思考[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2019(12): 4-5.
HE X Q. Thought on development of domestic embedded operating system[J]. Microcontroller and Embedded System, 2019(12): 4-5.
- [8] 何小庆. 构建基于MCU安全物联网系统[N]. 中国电子报, 2019-11-08(008).
HE X Q. Building an MCU-based secure internet of things system[N]. China Electronics News, 2019-11-08 (008).
- [9] ZWAN R V D, 禾沐(译). 欧美嵌入式技术、MCU和开发工具市场分析[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2019 (6): 6-7.
ZWAN R V D. Market anakysis of embedded technology, MCU and development tools in Europe and American[J]. Microcontroller And Embedded System, 2019(6): 6-7.
- [10] 何小庆. 物联网操作系统的现状与未来[J]. 张江科技评论, 2019(3): 63-65.
HE X Q. The status and future of the internet of things operating system[J]. Zhangjiang Technology Review, 2019(3): 63-65.