

国产嵌入式操作系统发展思考

何小庆

(嵌入式系统联谊会,北京 100191)

摘要: 文章阐述了国产嵌入式操作系统发展的现状,重点介绍了国产物联网操作系统、开源嵌入式操作系统和功能安全的国产操作系统。笔者展望了嵌入式操作系统在功能安全、轻量级容器技术和内核技术方面的发展趋势,预测嵌入式操作系统和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,以适应 AIoT 时代计算架构和应用软件平台发展的新需求。

关键词: 嵌入式操作系统;物联网操作系统;国产操作系统;功能安全;微内核

中图分类号: TP31

文献标识码: A

Thoughts on Development of Domestic Embedded Operating System

He Xiaoqing

(Embedded System Beijing Forum, Beijing 100191, China)

Abstract: The paper describes the current status of the development of domestic embedded operating systems, focusing on the national product IoT operating system and open source embedded OS. The paper looks forward to the development trend of embedded OS in functional security, light-weight container technology and kernel technology, and predicts that the embedded OS and IoT OS will develop in two directions: large-scale complex and configurable, smaller-scale, safety and embedded into microprocessor and MCU, in order to meet the new needs of the AIoT, computing architecture and application software platform development.

Key words: embedded OS; IoT OS; China operating system; function safety; microkernel

引言

嵌入式操作系统历史悠久、门类繁多、用途广泛,不仅包括嵌入式实时多任务操作系统(RTOS)、开源的 Linux、机器人和路由器操作系统,还包括新型的物联网操作系统,以及边缘计算操作系统平台。笔者认为,只要是国人开发的、国人参与维护的开源项目,都是广义上的“国产嵌入式操作系统”,随着中国物联网产业迅猛发展,国产装备自主可控需求旺盛,国产嵌入式操作系统发展将步入快车道。

1 国产物联网操作系统颇具影响力

睿赛德电子科技有限公司这个名字大家不是很熟悉,但是他们的产品 RT-Thread 在物联网和嵌入式开发者心目中是非常棒的开源软件,RT-Thread 是国内目前合作和支持芯片和厂商众多、社区开发者踊跃、组件丰富、应用领域广泛的国产物联网操作系统。2017 年以前 RT-Thread 还是一个传统的嵌入式操作系统,经过两年的发展,RT-Thread 在缩短产品开发周期、加快端云互联对接

和提升设备端软件质量等方面做了大量工作,取得显著的成效。

华为 LiteOS 是另外一个在物联网领域颇具影响力的嵌入式操作系统,今天名气已经很大的华为可穿戴产品,比如 Huawei Watch GT,2015 年开始使用 LiteOS。超低功耗和超小的尺寸要求给了 LiteOS 一个发展成熟的机会,到了 2017 年正式推出开源的物联网操作系统,LiteOS 已经初具规模,很快在 NB-IOT 领域占领了市场,特别是 OPEN CPU 的 NB-IOT 芯片和模组方案里面都有 LiteOS 的身影。在 HDC2019 大会上鸿蒙 OS 的当前架构里面,LiteOS 也是其内核之一(Linux、鸿蒙和 LiteOS),随着鸿蒙的出现,未来 LiteOS 还是一个谜,但其针对 IoT 设备的特质,必将会融入华为操作系统的布局里面。

2 开源嵌入式操作系统助力创新发展

Zephyr 是 2016 年由 Intel、Synopsys、NXP 等公司发起的开源实时操作系统平台项目,现在由 Linux 基金会管理。项目旨在联合整个行业的领导者构建针对小型资源受限设备,开发一个可扩展的嵌入式实时操作系统。



Zephyr 虽然历史比较短,但起点很高,是发起公司和组织多年经验教训的总结,最初代码来自风河,风河的 Vx-Works RTOS 在工业和航空航天极有影响力。虽然只有 3 年的历史,但相较于 FreeRTOS 和 Contiki 等开源 RTOS,Zephyr 比较完备,中间件丰富。在安全设计方面 Zephyr 有缜密的考量,在代码规范中 Zephyr 用 MISRAC,在功能安全认证上 Zephyr 选择 IEC61508,开源嵌入式操作系统里面还没有其他项目能做到这些。Zephyr 有一个充满活力的国际开发社区,它和物联网操作系统中的 ARM mbed OS、nuttX 和 RIOT 相比较,活跃度很高。虽然 Zephyr 目前在中国关注度还比较低,但在技术和产品发展思路很值得国内同行借鉴。

3 自主可控、安全先行

国产嵌入式操作系统发展的一个重要方向就是打造航空航天、工业装备和轨道交通、通信设备和汽车电子的自主可控操作系统。面向装备与国防系统的嵌入式操作系统在可靠性、环境适应性、电磁兼容性、实时控制性方面都有自己的一套要求。华为在嵌入式操作系统方面起步较早,目前已经有基于开源的 Linux 自研的高可靠、高安全与高实时性的操作系统,覆盖了公司通信产品中的各个业务。华为的 RTOS 面向 5G 万物互联的物联网时代,对于操作系统的安全尤其重视,可满足安全、可靠、自主的嵌入式实时操作系统要求。

上海华元创信研发的锐华高安全嵌入式操作系统(ReWorks Cert)符合功能安全标准 IEC 61508 SIL/SC3(通用)和 EN 50128 SW SIL4(轨道交通),是国内目前少数通过国际第三方认证公司认证的嵌入式实时操作系统。目前 ReWorks Cert 已率先成功应用于轨道交通信号领域龙头公司卡斯柯信号有限公司的安全计算机平台中,该平台已成功通过 EN 50126 SIL4 等级认证。ReWorks Cert 有望在城市轨道交通领域获得规模化应用。

4 技术发展、标准领航

嵌入式操作系统的发展离不开相关国家标准的制定,中国电子技术标准化研究院物联网中心正在着手物联网操作系统国家标准体系制订的前期研究工作。物联网操作系统的应用领域比较广泛,包括智慧城市、智能家居、交通运输、智能电网等场景,物联网操作系统标准的制定工作需要产业和学术界的支持和帮助,为物联网的标准化建设贡献力量。物联网操作系统标准的制定,对于物联网产业生态建设更为重要,期待政府出台一些政策来促进物联网操作系统的健康良性发展。

5 嵌入式操作系统发展新趋势

物联网安全需要嵌入式操作系统通过安全认证,比如

医疗电子 IEC 60601/62304、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、VxWorks、Integrity 和 SafeRTOS 在安全认证方面起步比较早,Thread-X、 μ C/OS 和 embOS 这两年也迎头赶上,开源的 Zephyr 正在做认证的工作,将要成为首家通过安全认证的开源嵌入式操作系统。上面讲到上海锐华的 RTOS 成功应用于轨道交通信号领域龙头公司卡斯柯信号有限公司的安全认证计算机平台中,这说明国产嵌入式操作系统已经具备安全能力以及相应的技术。

嵌入式操作系统的虚拟化由来已久,几乎所有大的 RTOS 公司都有自己 Hypervisor,比如 ENEA 和风河,但是 Hypervisor 存在性能不高和缺少统一设备驱动的问题。随着容器技术在服务器和云计算中成功采用,容器技术被证明具备应用级安全,轻量级容器技术随之受到物联网和嵌入式系统的关注。目前基于 Linux 的轻量级容器技术研究进展比较大,比如 Canonical 推出的针对物联网以及边缘计算平台 Ubuntu Core 和其他类似 Docker 的 Snap package 包管理软件,以及针对 IoT 的支持容器技术 ResinOS(现更名为 BalenaOS)。IoT 设备大量使用 MCU,无法运行 Linux,翼辉信息和华为等企业推出轻量级安全容器技术,即在其 RTOS 的基础上实现容器技术,已满足物联网时代安全、实时和快速布置和管理的新需求。

嵌入式操作系统的内核继续呈现百花齐放局面,基于宏内核的 RTOS 仍占多数。微内核技术应用在商业 RTOS 的历史可以追溯到 20 世纪 90 年代初,比如 VRTXsa,目前依然活跃在市场上的代表性产品是 QNX,因为实时性等因素,微内核技术在代码受限的 MCU 上应用很少,比如 μ C/OS、FreeRTOS 和 RT-Thread 都是宏内核技术。在 MCU 中如何能享受到大型 OS 的一些特性,同时保留 RTOS 在尺寸、实时性等方面的优势呢?AliOS Things 在 ARM 架构 Cortex-M 和 Cortex-A 处理器上做了有益尝试,它们可以实现安全、多应用、内核可靠和动态低流量升级等技术特征。

AIoT 应用对传统的操作系统提出新的课题,比如可扩展的内核技术、功能安全和信息安全、边缘计算架构的支持,以及应用 App 的便捷布置和管理。传统的移动操作系统(比如 Android 和开源的 Linux)无法满足功能安全认证和强实时性的需要,传统的基于宏内核的 RTOS 无法满足系统扩展、维护和应用便捷的需要,针对 AIoT 场景的广义嵌入式操作系统和泛 IoT OS 技术正在探索和研究中,比如无人驾驶汽车上的操作系统技术正在吸引产业和学术界关注。

结 语

可以预见,嵌入式操作系统和 IoT OS 将向大型

交换机组成。client 和 server 都是具有 PRIP 功能的主机,IP 地址及主从链路设置如下:

主机	主链路	从链路
client	eth0:172.17.0.107	eth1:192.168.0.107
server	eth2:172.17.0.171	eth1:192.168.0.171

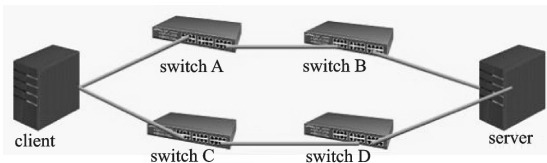


图 4 测试网络结构图

3.1 功能验证

通过抓取网络数据包进行分析,可以验证 PRIP 实现了以下功能:TCP 和 UDP 协议数据都能够实现数据冗余通信;某一链路故障时能够实现数据冗余通信,且产生报警;对正常网络通信无影响;0 延时切换。

3.2 性能验证

表 1 显示了不同收发字节情况下的峰值收包速率和网卡带宽负荷(千兆单网卡)。从数据可以看出,PRIP 实现并行冗余通信,具有很高的性能。

表 1 性能测试结果

收发字节数	20	64	150	200	210	260	300	500	1000	16000	20000	收:1000 发:16000	收:1000 发:20000
峰值 pps	41 万	41 万	39 万	37 万	35 万	31 万	28 万	20 万	10 万	6000	5000	5000	5000
网卡带宽负荷	8.2MB	26MB	59MB	72MB	74MB	81MB	84MB	100MB	100MB	96MB	100MB	收:5MB 发:80MB	收:5MB 发:100MB

结 语

通过测试证明,PRIP 协议能够在通用网卡上实现并行冗余通信功能,并且具有很高的网络性能,能够充分发挥软硬件的能力,可以满足工业控制领域的网络需要,为冗余网络通信提供一种高效能低成本的全新解决方案。

参考文献

- [1] 黄晓博. PRP 和 HSR 技术在国内智能变电站中的工程应用分析[J]. 通讯世界,2016(22):129-130.
- [2] 施寅跃,付艳兰,李琳玮,等. 基于 PRP 和 HSR 冗余协议的智能变电站网络组网研究[J]. 电力信息与通信技术,2018,16(5):52-57.
- [3] 李忠安,迟翔,张惠刚,等. 基于虚拟网桥原理的 PRP/HSR 网络接口设计[J]. 智能电网,2016,4(6):582-586.
- [4] 史皓然. 智能化变电站过程层通信冗余网络的研究[D]. 成都:西华大学,2017.

- [5] IEC. Industrial communication networks. High availability automation networks. Part 3: Parallel Redundancy Protocol (PRP) and High-availability Seamless Redundancy (HSR). IEC 62439-3-2012[S]. 2012.
- [6] 何钟杰,黄险峰,崔春,等. 几种智能变电站冗余通信协议分析比较[J]. 广东电力,2011(4):5-8.
- [7] 郑军. 基于 EPA 现场设备的 PRP 协议的研究和实现[D]. 重庆:重庆邮电大学,2010.
- [8] 何周,袁端磊,史皓然,等. 基于环网冗余网络的智能化变电站通信网络研究[J]. 电器与能效管理技术,2015(18):25-29,39.
- [9] 陈原子,徐习东. 基于并行冗余网络的数字化变电站通信网络构架[J]. 电力自动化设备,2011(1):105-108.
- [10] 李俊刚,宋小会,狄军峰,等. 基于 IEC62439-3 的智能变电站通信网络冗余设计[J]. 电力系统自动化,2011(10):70-73.
- [11] 谢志迅,邓素碧,臧德扬. 数字化变电站通信网络冗余技术[J]. 电力自动化设备,2011(9):100-103,120.

(责任编辑:薛士然 收稿日期:2019-05-27)

5 复杂和可配置、更小更安全和硬化两个方向发展,以适应物联网和人工智能时代计算架构和应用软件平台发展的新需求。嵌入式软件经历了一系列变迁:20 世纪 80 年代微处理器和硬件设计占主导地位,软件在系统中比例很低;90 年代商业 RTOS 出现,解决了一部分软件复杂性问题;2000 年之后开源软件大规模采用,开发方法发生巨大变革;2010 年之后 IoT 架构和应用驱动分布式实时软件回归;预计到 2020 年,“软件定义硬件”将驱动嵌入式软件开发方法变革,包括嵌入式和 IoT OS 的操作系统技术将迎来新的发展机遇。

参考文献

- [1] 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.
- [2] ASPENCORE. 2017 Embedded Markets Study,2017.
- [3] 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(1):5-7.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 国产嵌入式操作系统迎来百花齐放的新时代[J]. 单片机与嵌入式系统应用 2019(10):1-2.

(责任编辑:薛士然 收稿日期:2019-10-20)