

DOI: 10.19816/j.cnki.10-1594/tn.2020.01.001

# 嵌入式技术发展的一些思考

田 泽<sup>1,2</sup>

(1.中国航空工业西安航空计算技术研究所 西安 710068;2.集成电路与微系统设计航空科技重点实验室 西安 710065)

**摘 要:** 回顾了嵌入式技术的起源与发展历程,分析、总结了微电子技术、应用技术、计算机技术和软件技术与嵌入式系统之间的关系。阐述了嵌入式技术未来发展趋势,指出未来的研究重点。同时,指出了国内学术界和工业界嵌入式系统人才培养存在的问题,并给出了一些建议。

**关键词:** 嵌入式; SoC; 软件; 微电子技术; 计算技术

中图分类号: TP368

文献标识码: A

国家标准学科分类代码: 520

## Thoughts on the development of embedded technology

TIAN Ze<sup>1,2</sup>

(1.China Aeronautical Computing Research Institute, Xi'an 710068, China;2.Aviation Key Laboratory of Science and Technology on Integrated Circuit and Micro-System Design, Xi'an 710065, China)

**Abstract:** This paper reviews the origin and development of embedded technology, analyzes and summarizes the relationship between microelectronics technology, application technology, computer technology, software technology and embedded system, expounds the future development trend of embedded technology, points out the future research focus. Meanwhile, this paper analyzes the problems existing in the talent training of embedded system in academia and industry, and gives some suggestions.

**Keywords:** embedded; SoC; software; microelectronics; computing technology

## 0 引言

20世纪70年代,微处理器的出现使得微型机可以嵌入到一个对象体系中,实现对对象体系的智能化控制。人们把实现对象体系智能化控制的计算机系统,称作嵌入式计算机系统。最初大家将嵌入式定义为:“以应用为中心,以计算机技术为基础,软件硬件可裁剪,适用于对功能、可靠性、成本、体积、功耗有严格要求的专用计算机系统”。随着微电子技术的飞速发展,计算机技术快速与各行各业应用的广度融合、深度嵌入,使得嵌入式应用日益广泛、嵌入式产品形态各异、无处不在,也使得嵌入式系统概

念的内涵和外延发生了巨大变化。

嵌入式技术涉及到微电子技术、应用技术、计算机技术及软件技术等,技术间相互作用,相互影响,相得益彰,“无处不在的计算”使得嵌入式技术热点不断。本文将从这4个技术视角来阐述嵌入式技术,并指出国内嵌入式人才的问题,以及给出的相关建议。

## 1 微电子技术是构建嵌入式系统的基础

微电子产业是关系到国民经济和社会发展全局的基础性、先导性和战略性产业,是国家发展水平和综合国力的重要标志,是新一代信息技术发展的核心和关键。超高容量、超小型、超高速、超高频、超低

功耗是解决“深度嵌入”的基础,是信息技术无止境追求的目标,也是微电子技术和产业迅速发展的永恒动力。

回顾嵌入式计算机的起源与发展,可以清晰地看出微电子技术是嵌入式技术的发展基础。最早的嵌入式是起源于Intel 4004微处理器诞生之后,各厂家相继推出的微处理器,以这些微处理器为核心的嵌入式系统,被广泛地应用于仪器仪表、医疗设备、家用电器等各行各业,形成了一个广阔的嵌入式应用市场,并出现了以嵌入式处理器为核心、便于用户使用的系列化、模块化及标准化单板机。

单板计算机进行嵌入应用的同时,诞生了将嵌入式应用中微处理器、IO(输入输出)接口、A/D(模数)转换、D/A(数模)转换、串行接口以及RAM(随机存储器)、ROM(只读存储器)等基本器件集成到一个VLSI(超大规模集成电路)中的微控制器,即早期的单片机,它一定程度上实现了嵌入式应用的微型化、低功耗、高可靠要求,这也是SoC(片上系统)技术的初期阶段。

工艺技术的不断进步,使得芯片的集成度大幅提升,为集成更多功能的集成电路提供了实现可能。集成电路因此快速发展到SoC阶段,SoC为嵌入式系统在芯片级带来低功耗、低成本、小型化、智能化及高可靠特性,使得许多原本受体积、功耗、重量等限制的嵌入式应用成为了可能。由此可见,SoC技术的发展进一步加速了嵌入式系统升级换代的速度、小型化的实现程度,也决定了嵌入式系统普、应用的深度以及智能化的程度。随着芯片集成度的提高,SoC芯片已成为嵌入式系统的核心。

系统级封装技术(SiP)是将不同工艺制作的多种IC芯片、无源元件(或无源集成元件)、天线、光学器件、生物器件以及微机电系统(MEMS)组成的系统功能集中于单一封装体内,构成一个微系统器件的技术。SiP技术是基于封装手段实现嵌入式系统的小型化及高可靠性的有效方法。

近年来,随着AI技术的快速发展,应用场景驱动的复杂算法加速以及更加严苛的“小、低、轻”要求对Monolithic SoC(单芯片片上系统)的集成度提出极大挑战,规模、集成度、复杂度指数级提升。例

如,英伟达2019年发布的旗舰GPU Volta GV100高达800 mm<sup>2</sup>,据悉今年即将推出的Ampere系列新核弹级GPU(图形处理器)将在7 nm工艺达到826 mm<sup>2</sup>;硅谷初创Cerebras Systems的AI芯片,面积更是达到了46 225mm<sup>2</sup>,片上SRAM(静态随机存储器)高达18 GB<sup>[1]</sup>。如此大面积的芯片,良率及成本很难控制,Monolithic SoC芯片在过去几年已经到了“穷途末路”的境界,SoC或将迎来以Chiplet(芯粒)技术<sup>[2]</sup>为核心的时代。

Chiplet技术是将原来一块大Monolithic SoC单芯片方案,拆分为多个小芯片的组合,然后通过高级封装重组。其本质也就是SiP的2.5D/3D封装,只是早期SiP仅满足不同工艺间芯片的链接,比如CPU/GPU和DRAM(动态随机存储器)的异构集成,而Chiplet被提出以后,不同的裸片可以使用不同的工艺节点制造,甚至可以由不同的供应商提供。第三方Chiplet可以大大减少设计时间和制造成本。虽然SoC在很长一段时间内还是主流,但Chiplet将不同组件在独立的裸片上设计和实现,为解决高复杂度、超大规模异构系统的可制造性及成本问题提供了一种新的思路。据统计良率与面积大小的关系,对于小于10 mm<sup>2</sup>的芯片而言,monolithic方案和chiplet方案的良率差别不大,一旦芯片面积超过200 mm<sup>2</sup>,monolithic方案的良率会比chiplet方案低超过20%。可以预期,在700~800 mm<sup>2</sup>的面积上,monolithic方案的良率很可能不超过10%,基于成熟的芯片的Chiplet方案的成本价将远远低于monolithic SoC方案。Chiplet集成的芯片会是一个“超级”异构系统,可以为AI计算带来更多的灵活性和新的发展机遇。

More than Moore(超越摩尔)阐述的SoC / SiP两种技术途径充分结合实现的Chiplet、微系统技术,已经为嵌入式系统的低功耗、微小型化、高可靠,以及智能化发展提供了基础支撑<sup>[3]</sup>。使得嵌入式系统具有更高的附加值,并进一步推动了嵌入式系统跨越式、普及化发展。

## 2 应用牵引着嵌入式技术的发展方向

人类对于信息的获取、表征、传递、处理、使用无止境的追求,推动嵌入式技术的热点不断,每一个

时代及时代中的不同阶段对于嵌入式特征也是不同的。工业化时代,仪表控制、工业装备及自动控制等是嵌入式最早的用武之地;信息化时代,家电、计算机、通信及网络快速发展,每个时代都离不开嵌入式技术。

虚拟现实、大数据、云计算、物联网、5G、区块链、人工智能等时代热点促使网络直播、人脸识别、智能家居、自动驾驶、智慧城市海量应用应运而生。各种智能手机、多用途的无人机、智能辅助汽车、机器人等产品琳琅满目,嵌入式应用需求日益丰富、多样。随着未来物联网、大数据、人工智能技术快速落地,嵌入式将会比以往更大的广度、深度进入人类生活。

应用场景的不断扩展、革新对嵌入式系统软硬件生态提出更多要求。早期仅有面向工业控制的微控制器,很快就产生了面向信号处理、图形处理的DSP(数字信号处理器)、GPU,近年来人工智能又跃跃欲试。2010年以后,随着应用场景、服务内容的不断丰富,嵌入式系统芯片种类迅速增长、复杂度指数级提升。飞机、汽车、手机、手表等不同应用领域都出现了定制的异构、多核嵌入式 SoC 系统芯片。快速发展、不断细分的应用场景要求嵌入式系统更加专业化、定制化。人工智能的陆续落地会加剧应用场景的细分需求。面向应用场景定制专用处理器是未来嵌入式系统的发展趋势。处理器功能的日益复杂,应用场景的多样化对软件生态也提出更高要求。

随着嵌入式系统在金融、飞机、汽车、核电等高危安全领域应用日益广泛,对嵌入式系统的安全性、可靠性、可信任性提出更高要求。各行各业产生了各种软硬件研制规范、标准及过程管控体系,研制出相应的处理器和操作系统。随着应用复杂度的不断提升、嵌入式系统规模的不断扩大,满足安全性、可靠性、可信任性等特性的设计方法仍需进一步探索。应用将持续牵引嵌入式各项技术协同、可持续发展。

### 3 计算机技术是构建嵌入式系统的核心

应用牵引嵌入式技术协同发展,而不同的计算架构及相应的软硬件技术,支撑着嵌入式计算发展的每个阶段。20世纪70年代处理器的诞生解决了控制问题,形成以CPU为核心、集成各种IO接口的

微控制器,快速实现了工业控制、家电等应用;20世纪80年代DSP诞生解决信号处理问题,也形成以CPU、DSP为处理核心的移动通信控制+处理系统,促进了移动通信设备的发展;进入21世纪,GPU的诞生解决了图形显示问题,形成了以CPU、GPU为核心的图形显示系统,促进可视化工业控制、电子仪表广泛应用。2010年起,以CPU、DSP、GPU为核心的可视化移动通信嵌入式系统更是引发了智能手机的热潮。2006年GPGPU的诞生指数级提升并行计算能力,英伟达也率先推出以CPU、GPGPU为核心的自动驾驶大数据处理嵌入式系统<sup>[4]</sup>;随着深度学习神经网络的兴起,2017年NPU(神经网络处理器)应运而生,华为率先将NPU集成到智能手机SoC中,使得嵌入式系统增添AI元素,极大增强了人脸识别、智能拍照处理等智能应用。

每一代计算技术的创新都为嵌入式技术增添新的活力,使得嵌入式系统具有丰富的功能、强大的性能以及更好的实现效能,推动各类应用快速落地。

### 4 软件技术是嵌入式系统的灵魂

软硬件协同是嵌入式一大特征,伴随着嵌入式快速发展,嵌入式软件也得到了极大的发展。开发语言从早期的以汇编、C语言为主,发展到现在C++、Python、JAVA,编程语言百家争鸣一方面扩展了嵌入式系统的应用空间,另一方面将专业更加细分,使得硬件潜力得到更好的挖掘。同时以VxWorks、Android、嵌入式Linux为代表的嵌入式操作系统的出现更为嵌入式系统的发展增添了强劲动力。

在面向智能化的今天,嵌入式软件的发展已打造出面向各种应用领域的软件生态系统,以Android为代表的消费类手机终端等生态、以ROS为代表的机器人生态和以Apollo为代表的无人驾驶生态等,这些嵌入式开发生态都是以嵌入式软件技术为核心,统一软件架构及用户API(应用程序接口),并利用硬件抽象层技术构建起了一套开放式的硬件支持架构。嵌入式生态系统的出现不仅促进了面向应用领域的嵌入式系统的有序发展,更进一步促进了产业发展中的应用需求与硬件的快速融合。纵观嵌入式系统的软硬件发展历程,微电子技术为嵌入式提

供了强壮的身躯,软件技术则为嵌入式赋予灵活的大脑、活力及灵魂。

随着嵌入式系统的日益复杂,软件生态的复杂度、规模指数级增长,人工智能的落地更加速了软件生态复杂度的提升。软件工程、开源软件、软件质量将成为嵌入式软件的重点。尤其是应用在航空航天、汽车、金融等高安全领域的软件系统,安全性、可靠性、可信性的软件设计、认证尤为重要。国家在可信软件方面大量投入,在金融、互联网、航天等领域的应用软件开发取得了举世瞩目的成果<sup>[5]</sup>。而嵌入式领域软硬件深度融合,可信性设计难以通过单一软件或硬件层面达到,需结合软硬件处理特性,相互配合、相互补充、协同设计,共同构建安全可靠、可信任系统。可信软硬件生态协同设计将成为研究热点。

## 5 嵌入式人才培养是国内的短板

嵌入式开发是基于多门学科知识、面向特定需求、以应用为特征的技术,是多种知识的综合应用。国内目前专业划分和知识传授过于零碎,教学往往是强调基于某个软硬件平台上的应用软件、APP开发,基本上是停留在应用层面。系统及软硬件平台如何构建,以及软硬协同综合开发才是关键及核心,这些综合能力的培养是创新人才培养的关键,但明显不足。系统思维、多学科综合、软硬件协同开发及创新能力等,也很难在单一学科及专业方向上能够培养出来的。强调创新技术、应用综合能力培养的嵌入式学科建设体系,与以SCI等论文为导向的学科建设及评估体系存在很大不协调性,导致学校人才培养与企业创新发展急需的嵌入式人才脱节。企业“办大学”来培养所需的人才已经成为常态,亦属无奈之举。

嵌入式行业需要大量人才,更需要具备领军能力的高层次嵌入式人才。而目前国内嵌入式人才培养存在严重短板,远不能满足产业发展对于各层次嵌入式人才的迫切需求。如何构建嵌入式特征的人才培养体系,需要行业与高校静下心来认真思考,拿出切实可行的解决策略。学校、科研机构要立足发展所需,“把论文写在祖国的大地上”。企业要多提

供一些实践、实训岗位和广阔的科研“大地”,让师生能够潜心到企业的科研实践中。

## 6 结 论

本文回顾了嵌入式技术的起源与发展,从微电子技术、应用技术、计算机技术和软件技术4个方面分析和总结了技术与嵌入式系统间的发展关系。通过技术的演进,指明了嵌入式技术未来发展趋势和未来的研究重点。最后剖析国内嵌入式系统人才培养的不足,提出高校和企业嵌入式人才发展上要立足各自需求,协同、创新发展。

### 特邀专家 田 泽



田泽,博士,西安航空计算技术研究所研究员,长期从事 SoC 设计方法学、面向航空领域专用集成电路设计科研及管理工作。

## 参考文献

- [1] NVIDIA, Nvidia tesla V100 GPU architecture[EB/OL]. [2020-01-30]<https://www.nvidia.com/en-us/data-center/v100/>.
- [2] 许居衍. 复归于道-封装改道芯片业[J]. 电子与封装, 2019, 10(1):1-3.  
XU J Y. Electronics & Packaging, 2019, 10(1): 1-3.
- [3] 尤政. 智能制造与智能微系统[J]. 中国工业和信息化, 2019, 12(8): 50-52.  
YOU Z. Intelligent manufacturing and intelligent Micro-systems[J]. China Industry & Information Technology, 2019, 12(8):50-52.
- [4] NVIDIA W, GENERATION N, COMPUTE C. Whitepaper NVIDIA's Next Generation CUDA Compute Architecture[J]. ReVision, 2009, 23(6): 1-22. <https://doi.org/10.1016/j.immuni.2005.11.006>.
- [5] 何积丰. “可信软件基础研究”重大研究计划结题综述[J]. 中国科学基金, 2018, 3(9): 291-296.  
HE J F. Summary of the major research plan of "basic research of trusted software"[J]. Bulletin of National Natural Science Foundation of China, 2018, 03(9): 291-296.