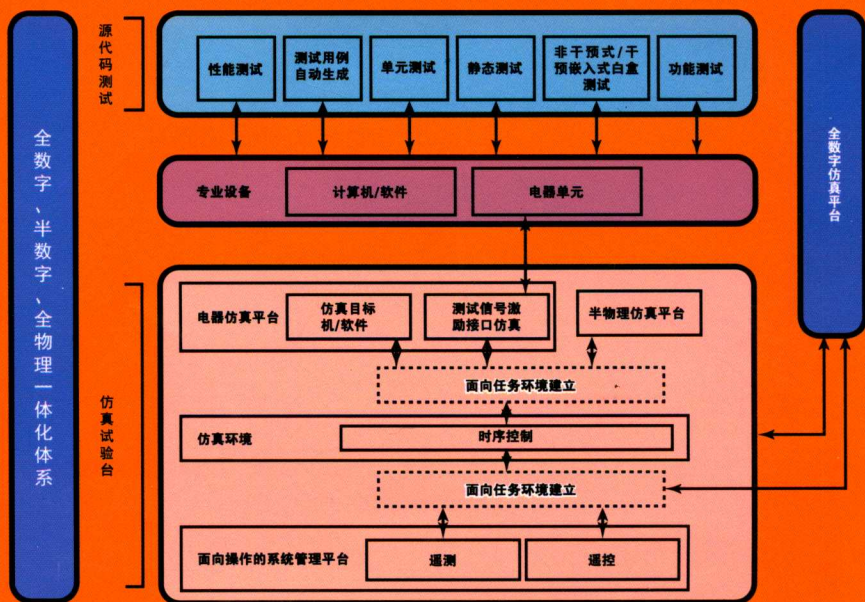
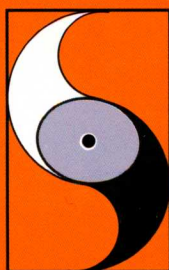


嵌入式系统及其软件理论与实践

——基于超系统论

郑琪 著



北京航空航天大学出版社
BEIHANG UNIVERSITY PRESS



嵌入式系统及其软件理论与实践

——基于超系统论

郑 琪 著

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

本书以崭新的新系统论作为方法论,从传统 IT 技术到嵌入式系统及其软件最新发展的特点入手,创造性地提出并阐述了嵌入式系统及其软件的全寿命周期的一体化基本理论,并提出了与此相关的可实施的嵌入式系统及其软件系统的理论和原则,从而奠定了一门新兴独立学科的基础。其后围绕这些理论与原则,分全数字、半数字/半物理、全物理、复杂系统等方面描述了实践应用的步骤和方法。随后以新系统论思想的理论高度阐述了人与工程一体化的工程化管理。最后以作者多年的工程实践经验,从以上理论联系实际,介绍了基于新一代系统论的嵌入式系统及其软件的系统工程理论和原则,并在工程中创建、应用的中间件平台工具产品及其应用实例,以求知行合一。

本书适用于对嵌入式技术、嵌入式系统及其软件设计、验证、开发、测试、仿真、确认、维护感兴趣的学生和研究人员。

图书在版编目(CIP)数据

嵌入式系统及其软件理论与实践:基于超系统论 /
郑琪著. -- 北京:北京航空航天大学出版社,2015.9
ISBN 978-7-5124-1883-7

I. ①嵌… II. ①郑… III. ①微型计算机—系统开发
IV. ①TP360.21

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 226305 号

版权所有,侵权必究。

嵌入式系统及其软件理论与实践——基于超系统论

郑 琪 著

责任编辑 胡晓柏 卫晓娜

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(邮编 100191) <http://www.buaapress.com.cn>

发行部电话:(010)82317024 传真:(010)82328026

读者信箱:emsbook@buaaem.com.cn 邮购电话:(010)82316936

北京兴华昌盛印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本:787×1092 1/16 印张:19.75 字数:506 千字

2015 年 11 月第 1 版 2015 年 11 月第 1 次印刷 印数:3 000 册

ISBN 978-7-5124-1883-7 定价:49.00 元(含光盘 1 张)

序

随着 IT 技术的发展,嵌入式系统的软硬件技术均在迅猛发展,并在信息、控制、自动化、机电一体化等领域得到了越来越广泛的应用。在硬件速度越来越快,硬件资源越来越丰富的情况下,嵌入式系统呈现出硬件、软件紧密耦合的特点,硬件与软件验证难以严格界定界限,单纯地考虑硬件或软件可能导致顾此失彼。所以,把包括软件和硬件在内的嵌入式系统当做一个完整的系统,运用系统论的思想,进行设计和开发,有利于嵌入式系统的优化和效能的充分发挥。

20 世纪 90 年代,我国开始实施载人航天工程之初,工程领导就高度重视包括嵌入式系统在内的软件工程化问题,认识到“抓工程不抓软件不行,抓软件不抓工程化不行,抓工程化不抓质量不行,抓质量不抓管理不行”。在载人航天工程实施的过程中,工程各级均把软件工程化作为确保工程可靠、安全的一个重要抓手,保证了各次飞行任务的圆满成功。

当今世界上,先进的大型工程均大量使用嵌入式系统,这些嵌入式系统往往在其中起着核心作用。嵌入式系统的硬件和软件也像信息技术和计算机技术一样,一直处于高速发展过程中。但是,在嵌入式系统及其软硬件的发展中,存在工程实践超前于理论的现象。在嵌入式系统理论方面尚需要进一步发展和完善系统的思想、方法,以满足日益广泛的应用领域和更加高性能的需求。

本书在这方面进行了有益的尝试。作者试图用一种新的思维方式,对于嵌入式系统及其软件的新体系建立做了大胆的努力,并进行了可实现的全数字虚拟化、固件、嵌入式闭环全物理等有益的实践与探索。更难能可贵的是对于人机物一体化过程提出了非线性复杂系统的认知方式,对复杂大系统提供了一种集管理、研发于一体的解决方案。相信这本书能对从事嵌入技术研究开发的管理和技术人员提供有益的启发,促进嵌入式系统的开发和应用。

周建平

周建平

中国工程院院士

2015 年 10 月 18 日

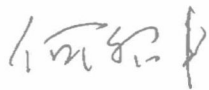
序 二

嵌入式技术在近二十年有飞跃发展,主要归功于基于互联网移动计算的需求爆发性成长。早期的嵌入式应用仅限于简单的控制型领域,用来支撑物理装置的数字化,而近十年来,随着移动终端的广泛使用,嵌入式系统与广大老百姓的生活密切地联系起来,因而嵌入式技术的神秘性被打破,它在社会经济生活各个领域产生了颠覆性影响,日益被人们所接受。

从嵌入式系统发展呈现的新特性来分析,主要在以下三方面有明显变化。首先,它从计算机传统作为研究部门使用的昂贵设备变成普通百姓都能享受的数字化产品,今天一个手机的计算能力相当于四十年前一个超级计算机,但价格才是后者的万分之一。其次,嵌入式系统主要功能也从传统计算机围绕计算和数据处理为中心转化为提供各类便民服务。最后,由于网络技术的发展,使用嵌入式系统支持物理世界、虚拟世界和人类社会三者的互联互通,支持了信息技术从数字化、信息化到智能化的转变。

嵌入式系统的设计在早期阶段借用了传统计算系统的发展思路,采用了流水线可控式工程化制造路线。近年来,随着计算机硬件成本和嵌入式系统的不断发展,嵌入式产品不再是基于传统IT概念下的计算机软件加硬件的简单1+1技术,软中有硬、硬中有软是嵌入式系统体系架构中一个重要特色。另外,面向实时响应的要求以及嵌入式系统应用环境呈现的多样性与不确定性,使嵌入式软件的设计面临了一系列新的挑战。本书作者基于多年在该领域的工程实践和教学经验,运用中国式系统论,并结合国际先进理论和应用案例,在国内首次尝试从系统工程的角度,建立全生命周期一体化的嵌入式系统的系统工程理论体系,并在此基础上开发相应的技术和设计方法论用于工程实践的平台工具,以达到理论联系实践。本著作通过介绍各类嵌入式软件(包括中间件、仿真工具、软件测试工具、协同设计平台)使读者掌握嵌入式软件系统工程及嵌入式系统的系统工程的理论和方法,给予广大读者一个涉及多学科多门类的综合型开发技术和设计方法。

本书作者长期以来从事嵌入式技术的研究和教学工作,对于国内外嵌入式系统的设计理论和工程技术研究有深厚的专业背景和丰富的积累。在此基础上,作者创造性地建立了嵌入式系统的工程理论体系并应用于航空航天、新能源、环保节能和信息产业多个部门,并在企业管理上赢得了成功的运作经验。相信本书的出版对我国有志于参加智能计算和控制系统设计的广大读者在理论学习和工程实践能力的提高会有极大的推动,也希望读者在工作实践中进一步丰富本书提出的系统理论体系和技术平台,为我国智慧制造产业发展作出贡献。



何积丰

中国科学院院士

2015年11月4日

前言

开 篇

在今天所处的大时代背景下,3G/4G/5G 移动互联网、物联网、云计算、大数据、工业 4.0 等,俨然已陆续成为信息 IT 产业、工业及其两化融合的主旋律;而嵌入式系统以其高集成、高可靠、功能强、成本低的优点已成为这些产业应用技术中最核心、最关键的基础部分。

信息时代、数字时代使得嵌入式产品、技术获得了巨大的发展契机,21 世纪全球嵌入式系统产业快速发展,在应用数量上已远超过通用计算机。据数据统计,全球嵌入式软件的销售规模已经达到了 500 亿美元,而嵌入式体系产品的产值达到 6 000 亿美元。估计全世界嵌入式系统产品潜在的市场将超过 100 000 亿美元。在中国,嵌入式系统产业规模持续增长,相关统计表明 2012 年中国电子制造规模达 5.45 万亿元,位居世界第二。

同时,随着当前信息化网络技术在各行各业的飞快普及,嵌入式系统在技术领域也迎来一个快速更新与融合的时代。

嵌入式系统市场广阔,主要用于各种信号处理与控制,目前已在国防、国民经济及社会生活各领域普遍采用;嵌入式软件渗透到各个领域、各个方面,在其全生命周期内,嵌入技术的需求将是一个无可估量的巨大的市场。国际市场经过培育、导入等阶段,目前已经进入市场成熟期,国内市场正在经历市场导入期到成熟期的快速发展阶段。现在国内嵌入式系统及其软件正从全部引进到部分自主研发,进入要求自主研发高性能价格比的嵌入技术时代。

国内新一代的通信、广播基础、三网合一等设施建设,工业自动化,航空/航天,高速铁路领域等先进设备制造业,家用电器、智能家居、卫星导航及其位置服务、智能终端的迅猛发展和产品的不断改进,也给新一代嵌入式系统及其软件提供了更大的市场和机遇。

嵌入式系统及其软件是半导体及芯片产品进入日常生活的桥梁,在整个社会的信息化进程之中扮演着越来越重要的角色。

1. 写作初衷

嵌入式系统及其软件的设计、验证、开发、测试、仿真、确认等嵌入技术的发展,国内外的情况一直是实践领先于理论。一方面,大量先进的嵌入式装备、设备投入应用;一方面备受对嵌入式系统、嵌入式软件、嵌入式软件的认知、理论与实践、分工的困扰与挑战。

拿计算机软件举例来说,软件工程是在 20 世纪六七十年代爆发软件危机时,美欧开始建立的理论体系,企图用规模化、机械化生产的质量控制理念,将软件也进行流水线可控式工程化制造;并依此建立了基于瀑布式、V 型(系统)工程的模型、CMM 软件质量体系,包括软件需求、配置及其变更管理、度量、测试及其管理等,开始了主要解决面向线性、简单、较小规模、分立器件硬件基础上的非嵌入式 IT 和弱嵌入式系统(详见本书)的问题。针对嵌入式软件设计,美国军方面向全世界招标专门的嵌入式软件设计的计算机语言,20 世纪 80 年代初期在航天、航空、铁路等安全关键领域得到广泛推广和应用。直至 20 世纪 90 年代初某种程度上缓解

了软件危机。

20 世纪 90 年代初期以后,随着计算机软硬件技术的发展,早已面临复杂非线性系统,尤其是强嵌入式系统(详见本书)新的挑战,爆发了可以称为第二次的软件危机,但至今还很少人认识到这一点。美欧开始了 CMMI 体系的发展,在基于瀑布、V 型系统工程理念基础上发展了基于局部迭代、循环的敏捷开发方法和面向服务(应用)的架构,来适应不断增长的挑战。但由于思想、理论方法滞后,收效有限,仍在困境中寻找突围。

由于计算机硬件成本的下降和嵌入式系统的不断发展,嵌入式系统、嵌入式软件与一般 IT 技术同步发展,但嵌入式系统已不再是基于传统 IT 概念下的计算机软件加硬件的简单一加一的概念,已自成体系。理论落后于实践同时制约了实践,实践需要新的理论指导和升华,这都强烈呼唤着基于嵌入式系统应用的嵌入技术新的理论和方法的诞生。这对嵌入式系统、嵌入式软件的嵌入技术理论、实践、教学都提出了新的课题。

嵌入式系统、软件的研发,包括但不限于设计、验证、开发、仿真、测试、确认等全生命周期的嵌入技术,以及与传统 IT 信息技术的结合。目前国内外比较全面、专门的著作或教科书还不多,面对新挑战自成体系的理论的书籍就更难找到了。本书是作者基于自己在该领域多年工程实践和教学经验的基础上,学习国内外先进经验,运用中国式系统论,在国内外第一次尝试从系统工程的角度建立全生命周期一体化的嵌入式系统的系统工程、嵌入式软件的软件工程,基于此建立嵌入技术的通用技术的理论、原理和方法,并进一步介绍可操作的工具、中间件、平台技术,介绍按照嵌入式软件系统工程、嵌入式系统的系统工程的理论和方法创立的用于实践的平台工具,以达到理论联系实际、知行合一。

介绍嵌入式系统及其软件的困难在于它们涉及多学科多门类的知识,嵌入技术是关于嵌入式系统及其软件的基础、通用技术,更是一个多学科交叉应用的领域;如果想从建立一个独立的领域的角度来著书立说,几乎是一个拓荒的艰巨任务。

2. 写作方式

这本书是在给北京航空航天大学软件学院嵌入式系研究生讲授“嵌入式软件测试技术”课程时选用的 2008 年编写的音像教材《实用嵌入式软件测试技术及其应用》的基础上,结合这几年新的认识和实践,从嵌入式软件测试技术扩展到一般的嵌入技术领域写作而成。

从讲授来说,嵌入式软件测试这门课有两种讲法:一种是按部就班,从一般 IT 计算机技术的角度,从理论性较强的,即从软件工程、软件质量、软件测试、嵌入式开发等入手,逐渐过渡到嵌入式软件测试。第二种是在新的理念基础上,原创性地从崭新的角度综合性较强地,即在建立嵌入式系统新的理念基础上,建立嵌入式系统、嵌入式软件新的理念和理论,从嵌入软件工程的角,讲述嵌入式系统和嵌入式软件测试的各种技术入手,分门别类,再从中带出一些大家熟知的测试理论相关的基本概念,但这种写法极具挑战性。

因为不能按已成熟的一般理论、方法的教材来写,没有许多可直接借鉴的参考材料,而是要从已有的知识引导创立一门新的领域、学科的新的理论基础、原理,然后按理论、方法逐步展开,承上启下,穿针引线,讲授各种嵌入式软件的测试方法、测试技术,最后落到具体实践的工具上。所以本书只能采取类似第二种的方法。

但本书已不只局限于嵌入式软件及其测试。即使是对于嵌入式软件测试也要以发展的眼光,在讲清嵌入式系统的整体概念前提下,提出嵌入式系统及其软件的软件概念,再根据嵌入式软硬件的紧耦合性和高速确定性与外界的交互性,来研究嵌入式软件的测试。所以本书包

括但不限于嵌入式软件测试技术,并经常以嵌入式仿真概念下用嵌入式系统及其软件测试作为例子讲解嵌入技术。

如上所述,早期对于嵌入技术是基于 IT 技术的计算机软硬件方式的认知方式;在意识到要在建立新体系的基础上重新建立一个新的架构后,就得从系统论的角度,开创性地从嵌入式系统讲到嵌入式软件;而本书则是更加顺其自然地扩大视野,对于基础、通用的嵌入技术来说,则是将原来已经有一定新理论基础和实践经验的嵌入式软件测试技术当作是一个对嵌入式系统及其软件的嵌入技术描述的最基本技术、技巧之一,运用中国人东方式的智慧来展现、全面研究嵌入技术,从而开创一门新的学科。

3. 向中国传统文化学习方法论

各国科学界多年来一直向中国的传统文化学习方法论。欧盟专家 Zeltwanger, CiA 主席 (ISO CAN 标准工作组主席)用中国古典哲学家的思想指导嵌入式系统标准化工作。这里汇集了他的部分解释。

孙子曰 SunZi Said

声不过五,五声之变,不可胜听也。

There are no more than five in music, yet their combinations give rise to countless melodies.

色不过五,五色之变,不可胜观也。

There are no more than five primary colors, yet in combination, they produce innumerable hues.

味不过五,五味之变,不可胜尝也。

There are no more than five flavors, yet their blends produce endless varieties.

CANopen 之通信服务不过五,五合之变,通信应用不胜穷也。

There are no more than five CANopen communication services (SDO, PDO, special COBs, NMT, and HEARTBEAT), yet they may be combined to realize limitless communication applications.

让中国人自己也向中国的传统文化学习方法论吧!不要妄自菲薄。中国的传统文化以形而上为学、形而下为器,习惯从上至下,跳跃中整体把握,收敛中找平衡等特征为代表的系统学思想体系,加上可以将嵌入式系统软硬件当做传统阴阳,将其像太极图一体一样对待;运用到嵌入式技术中来,就建立了中国特色的嵌入技术。本书中关于嵌入式系统及其软件的系统工程、软件工程的基础理论及其应用和平台工具的嵌入技术实践就是范例。

4. 内容与名词解释

科学、理论、技术本身的含义及其关系在不同的场合会有不同的含义。

技术是科学的应用。技术是工程实践。

理论是先导,技术是理论具体的实现。

技术是理论实现的途径。

知识、科学都是来自于实践,也就是说某种后来叫技术的形态。技术有时是某领域、某方面可操作的装置或手段;有时又与科学技术连用,带有通用、普适的意味。

嵌入式系统(embedded system)现在是大家常用的词汇了。它的定义和应用实例在第 1

章予以了列举。嵌入式硬件、嵌入式软件看起来也没有什么歧义。但是在建立起新型的嵌入式系统是一个软硬件紧密耦合的而且是强嵌入式的系统概念的时候,应尽可能用嵌入式系统及其软件、嵌入式系统及其硬件的提法来说明嵌入式软件、硬件的非独立性。在本书中即使是单独说嵌入式软件、嵌入式硬件也是建立在新概念基础上。

至于嵌入式技术或嵌入技术的两种叫法,作者采用后者。在本书中实际上主要讲述嵌入技术,既带有科学理论高度上的科学技术含义,又对嵌入技术作为一个新兴边缘学科的创立提出基本理论、原理、原则;又在此基础上进一步提出具有实践意义的可操作性的通用方法、手段,即结构化平台技术。最后介绍依据这些理论、技术而发展出的实用性和商用化中间件工具。达到理论结合实际,知行合一。参见封面上的放射图,可以看到技术有不同的层次。从核心的支持嵌入式系统硬件和操作系统级或底层的嵌入技术,通过各种实施(服务)方式,应用到各行各业,渗透到各行各业的基础、通用技术层,而不到应用层面上,停步于最后一公里。

5. 本书的内容简介

本书基本内容包括:

- 基于系统论的嵌入式系统新的基本概念;
- 基于新的嵌入式系统概念的嵌入式软件概念;
- 嵌入技术研发的基本理论和原则;
- 嵌入技术的基本测试技术和方法;
- 嵌入式在环仿真;
- 嵌入式在环复杂系统仿真;
- 嵌入式软件测试应用技术;
- 嵌入式软件工程的观念及基本理论与技术;
- 新系统科学方法论;
- 一些有代表性的嵌入技术平台工具;
- 嵌入技术应用。

每章具体内容:

第1章,从传统IT对嵌入式系统的定义入手,在新的软硬件快速发展的今天,引出新的视角,用新的观点按照计算机软硬件的发展路程诠释嵌入式系统,并对全球嵌入技术的发展,欧美中等各国嵌入技术发展战略进行了前瞻性介绍。最后介绍了嵌入技术在最新技术方向包括卫星导航、物联网、云计算、汽车电子等方向的体现与应用。

第2章,从一般软件的概念引出嵌入式软件,介绍了嵌入式软件的基本特征及其发展得越来越复杂的现象。提出嵌入式系统软硬件紧耦合的阴阳太极概念,结合嵌入式系统固有的特点进一步佐证紧耦合的特点。继而引渡到嵌入式开发尤其是嵌入式软件开发、测试的方法,更加彰显嵌入式系统的特点,从最基础的宿主机、目标机开发模式、一般嵌入式软件测试的流程,看到传统方法的局限性和困境。

第3章,在以上两章铺垫顺序基础上,提出了嵌入式系统及其软件的新理论体系。首先从传统中国思想总体方法论上结合嵌入技术进行总体设计,然后提出了嵌入技术基础理论的22个原则、原理。

第4章,依据第3章建立的嵌入技术理论,介绍在非嵌入式系统中用所谓全数字虚拟化方法仿真异构的嵌入式环境,将嵌入式系统及其软件进行系统化表现,提供全寿命周期的仿真的

实时方法与手段。

第5章,依据第3章建立的嵌入技术理论,虚实结合、软硬结合,使用半数字/半物理的固件方法,将嵌入式系统及其软件进行系统化表现,提供全生命周期的虚实结合、软硬结合仿真方法与手段。

第6章,依据第3章建立的嵌入技术理论,虚实结合、软硬结合,使用全物理的方法,将嵌入式系统及其软件进行系统化表现,在介绍嵌入式在环仿真的概念基础上,提供全生命周期的全物理实时方法与手段。

第7章,依据第3章建立的嵌入技术理论,在第4、5、6章基础上,基于协同仿真的概念,对嵌入式系统的复杂系统以及基于嵌入式系统的复杂系统,介绍了虚拟化全数字、半数字/半物理、全物理的嵌入式在环仿真的方法与手段。

第8章,在前7章和对传统软件工程回顾的基础上,提出了第二次软件危机的概念;通过F-22、F-35项目困境的分析,在对传统系统科学、系统工程研究的基础上,提出了新一代系统科学及其系统工程方法,即超系统论和太极盒方法。并尝试将人、信息、工程三化融合,建立人类与其所在自然的基于各种工具、方法研发的大型复杂工程建立计算机辅助的工程化管理。

第9章,对至今世界上发展起来的各种工具尤其是嵌入式软件测试典型的工具进行了介绍。重点对基于本书思想体系的新型嵌入式系统及其软件的全寿命平台工具进行介绍。

最后附录1介绍了常用的构造嵌入式环境的TCL脚本语言;附录2以卫星导航定位产品与软件测评为实例介绍了按照标准进行测评的实践,帮助大家认识标准与实际工作的关系;附录3介绍了将嵌入技术平台推到云服务的实践。随书所附光盘推介了科锐时(CRESTS)系列产品的演示。

这本书不是嵌入技术的百科全书,它涉及但不详细介绍以下内容:计算机基础理论、计算机微机原理、计算机电路设计、控制理论、仿真实论、可靠性理论、软件工程理论、测试理论、软件测试理论、软件测试过程管理、软件测试标准介绍、嵌入式操作系统等。

本书认为读者应有的预备知识或边读本书边应恶补的知识:中国传统文化及其方法论,嵌入式开发技术基本知识,软件工程,软件测试,半物理仿真,系统工程等方面的基本概念和基础知识。但本书也会在一些地方结合嵌入式软件及其测试带出一些有关的基本概念和理论。

6. 本书的学习目标

通过本书的学习和讲座,应该可以掌握:

- (1) 自成体系的嵌入式系统、嵌入式软件的概念;
- (2) 自成体系的嵌入式系统及其软件设计、验证、开发、测试、仿真、确认、维护的全生命周期基本理论、原理和方法;
- (3) 嵌入式系统设计、验证、开发、测试、仿真、确认、维护全生命周期的技术;
- (4) 嵌入式软件设计、验证、开发、测试、仿真、确认、维护全生命周期的技术;
- (5) 基于嵌入式系统的复杂系统设计、验证、开发、测试、仿真、确认、维护全生命周期的技术;
- (6) 了解世界上先进的嵌入式系统及其软件设计、验证、开发、测试、仿真、确认、维护全生命周期的方法和工具。

7. 本书适用对象

本书适用对嵌入式技术、嵌入式系统及其软件设计、验证、开发、测试、仿真、确认、维护感

兴趣的学生和研究人员。

8. 鸣 谢

感谢生在中国！感谢生逢其时！感谢身边周围的领导、老师、同学、同事、客户、国内外同行、竞争对手、合作伙伴！

9. 不得不说的话

2009年就与一家出版社签了协议，后因工作忙没能履约。后2012年又与一家出版社签约，又未能按时交稿。后几次想按约定，按出版社的要求写完。出版社的要求是，按原给大学讲课而写的国内第一本关于嵌入技术测试的音像制品载体的教材，将书面形式的PPT改编成书即可。我也鼓了几次勇气，想挤点时间按这个要求完成它。但我的内心有个声音告诉我不能这样做。因为这期间我已认识到，必须打破一个旧世界，建立一个新世界，这是历史赋予我们这代人、这代中国人的使命。就是写不出来了，也不能凑合着写这本书。所以坚持再等等，等自己觉得可以拿出手了再出版。所以一直拖延到现在。

成稿于

2015年6月14日星期五

在从德国柏林经土耳其伊斯坦布尔飞往保加利亚索菲亚飞机上
修改于从保加利亚索菲亚飞往瓦尔纳的飞机上

最后定稿于新加坡

作者



第 1 章 嵌入式系统及其软件与嵌入技术	1
1.1 嵌入式系统概述	1
1.1.1 一般性描述	1
1.1.2 国际电气与电子工程协会(IEEE)定义	1
1.1.3 《ARTEMIS》报告定义	1
1.1.4 从应用的角度看	2
1.1.5 从与信息技术相关性的角度看	2
1.2 嵌入式系统、嵌入式软件发展前景展望	3
1.3 新的视角	3
1.3.1 一部曲 嵌入技术的前世今生	4
1.3.2 二部曲 军阀混战	5
1.3.3 三部曲 中国人的登场	7
1.4 各国竞相发展嵌入技术	7
1.4.1 中国核高基	7
1.4.2 欧美也启动了嵌入式技术的国家和多国合作专项开发项目	8
1.4.3 工业 4.0 和中国制造 2025	16
1.5 从最新技术发展看嵌入技术	17
1.5.1 从应用来看	17
1.5.2 从技术上看	25
第 2 章 软件和嵌入式软件的开发技术和测试	27
2.1 软件的概念	27
2.1.1 一般软件的定义	27
2.1.2 软件的特性	27
2.1.3 软件担当的角色	28
2.1.4 软件的分类	28
2.2 嵌入式应用	29
2.3 嵌入式软件	29
2.3.1 嵌入式软件的复杂度在增高	30
2.3.2 嵌入式系统软硬件紧密耦合	30
2.3.3 嵌入式系统及其软件的其他特点	31
2.4 嵌入式开发技术	32
2.4.1 嵌入式调试	33

2.4.2	嵌入式软件调试器的实现技术	33
2.4.3	片上调试(On Chip Debugging, OCD)	34
2.4.4	嵌入式软件调试工具	34
2.4.5	参考资料	35
2.4.6	ROM 监控器(ROM monitor)	37
2.5	从嵌入式软件测试开始新基本认知	37
2.5.1	对嵌入式软件测试的基本认识	37
2.5.2	嵌入式软件的测试	38
2.6	嵌入式软件测试的通用策略和一般流程	39
2.6.1	嵌入式软件测试各个阶段的通用策略	39
2.6.2	嵌入式软件测试一般流程	42
第3章	嵌入式系统及其软件的新理论体系	43
3.1	嵌入式系统及其软件的基本理论和原则概述	43
3.1.1	从嵌入式软件测试说起	43
3.1.2	嵌入式技术的基础理论	43
3.1.3	嵌入技术仿真平台建立及嵌入式系统工程的理论与方法论	45
3.1.4	仿真平台及嵌入式系统工程理论与方法论的国学方法论	45
3.2	实现的原则(原理)	46
第4章	全数字虚拟化方法	62
4.1	单机系统的全数字仿真技术	62
4.1.1	嵌入式系统及其软件开发环境的仿真方式	62
4.1.2	传统“白盒”测试工具的局限性	62
4.1.3	传统“黑盒”测试工具的局限性	63
4.2	全数字虚拟化软硬件的分离需要考虑的方面	64
4.3	全数字仿真用于嵌入式系统及其软件的解决方案	65
4.3.1	全数字仿真概念	65
4.3.2	全数字仿真工作方式	66
4.4	全数字仿真嵌入式软件测试的功能	67
4.4.1	外部事件仿真技术	67
4.4.2	各种白盒测试	68
4.4.3	汇编语言(目标码、机器码)全数字仿真	69
4.4.4	高级语言全数字仿真	70
4.4.5	对通用开发环境的测试支持与集成	71
4.4.6	全数字仿真的实时	71
4.5	详论全数字仿真侵入/干预/插桩方式	71
4.5.1	非嵌入式打点与嵌入式打点的例子	72
4.5.2	嵌入式插桩的例子	74
4.6	简化的自动化单元测试	75
4.6.1	过程	75

4.6.2	环境构造器	75
4.6.3	测试实例执行管理器	76
4.6.4	测试报告生成器	76
4.6.5	代码覆盖率	76
4.7	超实时、欠实时全数字仿真	77
4.8	软硬件协同验证全数字仿真技术	77
4.8.1	EDA 设计概述	77
4.8.2	问题的提出	77
4.8.3	协同仿真 Co Simulation 环境	77
4.8.4	软硬件协同验证的模型开发	79
4.8.5	里程与实施	79
4.8.6	计划实施的时间与内容分配	80
4.9	全数字仿真嵌入式软件测试应用适用性	80
4.9.1	适用性	80
4.9.2	局限性	81
第 5 章	半数字/半物理固件方法	82
5.1	基于仿真目标机的嵌入式仿真(单机系统)	82
5.1.1	原 则	82
5.1.2	软硬件分离	82
5.1.3	构 成	82
5.1.4	基本概念	83
5.1.5	目 的	84
5.1.6	仿真实时(Simulated Real Time)(源自原则(8))	85
5.1.7	特点(Features)	85
5.1.8	开环测试	87
5.1.9	闭环测试	87
5.1.10	故障注入	88
5.1.11	测 试	88
5.1.12	广义测试(源自原则(7))	88
5.1.13	总 结	89
5.2	基于真实目标机的半数字半物理嵌入式仿真(单机系统)	89
5.2.1	原 则	89
5.2.2	软硬件分离	89
5.2.3	构 成	90
5.2.4	基本概念	90
5.2.5	目 的	91
5.2.6	仿真的实时 Simulated Real Time(原则(8))	91
5.2.7	特 点	91
5.2.8	开环测试	91

5.2.9 闭环测试	92
5.2.10 故障注入	92
5.2.11 测试	92
5.2.12 总结	92
5.3 基于原型目标机半数字仿真嵌入式仿真(单机系统)	93
5.3.1 原则	93
5.3.2 软硬件分离	93
5.3.3 构成	94
5.3.4 基本概念	94
5.3.5 目的	95
5.3.6 仿真的实时(Simulated Real Time)(原则(8))	95
5.3.7 特点	95
5.3.8 开环测试	95
5.3.9 闭环测试	96
5.3.10 故障注入	96
5.3.11 测试	96
5.3.12 总结	96
5.4 对通用开发环境的测试支持与集成	97
5.4.1 测发一体化原则的应用	97
5.4.2 GPS 原则的应用	97
5.5 半物理仿真侵入/干预/插桩方式	97
5.5.1 侵入(干预,插桩)的基本思想	97
5.5.2 侵入/干预/插桩方式的功能	97
5.6 半物理半数字仿真嵌入式软件测试应用适用性	98
5.6.1 适用性	98
5.6.2 局限性	98
第6章 嵌入式在环的全物理方法	99
6.1 对真实目标机进行实时白盒开发/测试(硬件辅助实时在线)	99
6.1.1 问题的提出	99
6.1.2 方案比较和基本方法	99
6.1.3 软件系统的“逻辑分析仪”	102
6.2 实时仿真技术概述	104
6.2.1 概述	104
6.2.2 实时仿真的概念/构成实例	108
6.3 嵌入式快速原型目标机	111
6.3.1 一般仿真原型机系统构建	111
6.3.2 嵌入式快速原型目标机	113
6.4 全物理仿真	113
6.4.1 全物理仿真黑盒开发/仿真/测试原理	114

6.4.2	全物理仿真黑盒开发/仿真/测试拓扑	114
6.4.3	全物理仿真黑盒开发/仿真/测试功能	114
6.4.4	实时操作系统简介	116
6.4.5	系统测试	116
6.4.6	嵌入式仿真测试环境	117
6.5	虚拟仪器技术	117
6.5.1	概 念	117
6.5.2	思想的形成	118
6.5.3	虚拟仪器系统	118
6.5.4	虚拟仪器的组成	118
6.5.5	虚拟仪器的功能	118
6.5.6	虚拟仪器的特点	118
6.5.7	虚拟仪器的数据采集(DAQ)方式	119
6.5.8	虚拟仪器技术的发展	119
6.6	全物理黑、白盒结合(灰盒)的测试	120
6.6.1	如何结合	120
6.6.2	黑、白盒结合的结构	120
6.7	全物理仿真应用适用性	121
6.7.1	适用性	121
6.7.2	局限性	121
第7章	基于嵌入式系统的复杂系统	122
7.1	复杂系统概述	122
7.1.1	原 理	122
7.1.2	总体布局	122
7.1.3	系统框架环境	122
7.2	任务调度及时序控制	123
7.2.1	特 点	123
7.2.2	优 势	123
7.2.3	贯穿全生命周期	124
7.2.4	构 成	124
7.2.5	特 性	126
7.2.6	详细特征	127
7.3	面向任务的工作环境建立	129
7.3.1	基本概念	129
7.3.2	什么叫工作区	130
7.3.3	简单历史	130
7.3.4	面向对象的访问	130
7.3.5	面向最终用户的终端界面	131
7.3.6	面向任务的工作环境建立的 CORBA 结构	131

7.3.7	GUI:用户接口交互	131
7.3.8	其他工具集成	132
7.3.9	面向任务的工作环境建立工作流	132
7.3.10	结 论	132
7.4	基于全数字虚拟化的复杂系统仿真	133
7.4.1	全数字仿真复杂系统概述	133
7.4.2	嵌入式在环全数字超实时仿真技术概念及其原理	134
7.4.3	嵌入式在环全数字超实时仿真系统架构及其应用	137
7.4.4	全数字仿真平台构成	138
7.5	基于半数字/半物理的复杂系统仿真	140
7.5.1	半数字/半物理复杂系统仿真概述	140
7.5.2	半数字/半物理仿真平台构成	141
7.6	基于全物理的复杂系统仿真	142
7.6.1	概 述	142
7.6.2	仿真总体架构图	142
7.6.3	全物理仿真拓扑	142
7.6.4	全物理仿真平台构成	143
7.7	可测试性与故障诊断	143
7.7.1	可测试性(testability)的定义	143
7.7.2	黑盒测试面临的问题	143
7.7.3	故障诊断和健康管理的需求	144
7.7.4	软件的可测试性	144
7.7.5	可测试性概念下的单机级故障	144
7.7.6	故障诊断综合管理子系统	145
7.7.7	处置专家子系统	146
7.7.8	可测试性及故障注入子系统	146
7.8	复杂系统测试应用适用性	147
7.8.1	适用性	147
7.8.2	局限性	147
第8章	新一代系统论及其基础上的人/机/物工程管理	148
8.1	第二次软件危机——复杂性引起	148
8.1.1	软件工程概念的提出	148
8.1.2	工程与软件工程的观念	148
8.1.3	软件工程的具体含义	149
8.1.4	软件工程活动	149
8.1.5	软件工程原则	149
8.1.6	软件工程的基本原理	149
8.1.7	软件工程生命周期	150
8.1.8	软件工程框架	150