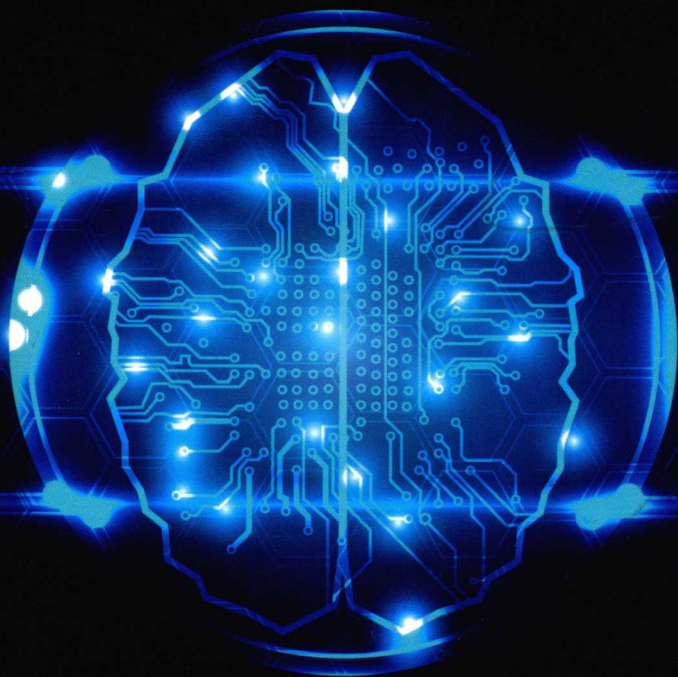


高等学校信息技术类新方向新动能新形态系列规划教材
教育部高等学校计算机类专业教学指导委员会 - Arm China 产学合作项目成果
Arm China 教育计划官方指定教材

arm Education Media
arm CHINA

嵌入式系统原理 基于 Arm Cortex-M 微控制器体系

- [美] 亚历山大·狄恩 (Alexander G. Dean) 著
- 刘雯 陈炜 姜铁增 译

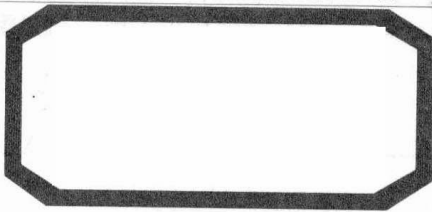


高等学校信息技术类新方向新动能新形态系列规划教材

教育部高等学校计算机类专业教学指导

Arm China 教育计划官方指定教材

arm CHINA



嵌入式系统原理 基于 Arm Cortex-M 微控制器体系

- [美] 亚历山大·狄恩 (Alexander G. Dean) 著
- 刘雯 陈炜 姜铁增 译



人民邮电出版社
北京

图书在版编目（CIP）数据

嵌入式系统原理：基于Arm Cortex-M微控制器体系 /
(美) 亚历山大·狄恩 (Alexander G. Dean) 著；刘雯，
陈炜，姜铁增译. — 北京：人民邮电出版社，2019.9
高等学校信息技术类新方向新动能新形态系列规划教
材

ISBN 978-7-115-51659-6

I. ①嵌… II. ①亚… ②刘… ③陈… ④姜… III.
①微型计算机—系统设计—高等学校—教材 IV.
①TP360.21

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第144737号

版 权 声 明

Authorized translation from the English language edition, entitled, Embedded Systems Fundamentals with ARM Cortex-M based Microcontrollers: A Practical Approach, by ALEXANDER G. DEAN, published by ARM Education Media, Inc. Copyright © 2017 by ARM Education Media, Inc.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording or by any information storage retrieval system, without permission in writing from ARM Education Media, Inc.

CHINESE SIMPLIFIED language edition published by Arm Ltd. and POSTS & TELECOM PRESS Copyright © 2019. 本书中文简体字版由 Arm Ltd.授权人民邮电出版社独家出版。未经出版者书面许可，不得以任何方式复制或抄袭本书内容。

版权所有，侵权必究。

内 容 提 要

本书介绍如何使用基于 Arm Cortex-M0 内核的 Kinetis KL25Z 单片机进行嵌入式系统搭建，内容覆盖 CPU、中断系统、外设与编程，全部使用 C 语言实现；介绍了 CPU 上的多任务实现，其目的是提高响应能力和软件模块化，同时减少 CPU 的开销；探讨了中断、外设和调度程序的相互作用。全书共 9 章，第 1 章使用实例介绍嵌入式系统的各个部分，之后章节分别讲解输入/输出端口、并行、中断、C 语言基础、模拟接口、定时器、串行通信和直接内存访问等内容。

本书可作为高等院校计算机、电子工程等专业的教材，也可作为嵌入式系统开发人员的参考书。

-
- ◆ 著 [美]亚历山大·狄恩 (Alexander G. Dean)
译 刘 雯 陈 炜 姜铁增
责任编辑 祝智敏
责任印制 陈 桦
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市丰台区成寿寺路 11 号
邮编 100164 电子邮件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
大厂聚鑫印刷有限责任公司印刷
 - ◆ 开本：787×1092 1/16
印张：16.25 2019 年 9 月第 1 版
字数：390 千字 2019 年 9 月河北第 1 次印刷
著作权合同登记号 图字：01-2019-4058 号
-

定价：56.00 元

读者服务热线：(010)81055256 印装质量热线：(010)81055316

反盗版热线：(010)81055315

广告经营许可证：京东工商广登字 20170147 号



刘雯

北京邮电大学电子工程学院电子实验中心副主任，无线网络定位与通信融合研究中心副主任，北邮-Arm 互联网+联合实验室主任，博士生导师。

主要研究方向：室内外高精度定位技术。获得国家科技发明二等奖 1 项，国家科技进步二等奖 1 项，省部级一、二等奖 8 项；主持国家重点研发计划课题 1 项，国家自然科学基金项目 1 项；主持或参与完成国家 863 项目多项。

主要承担课程：ASIC 设计、基于 Arm 的物联网应用以及电子科学与技术专业综合课程设计等。

Arm 教育数字课程介绍

Arm 教育计划将高等教育机构与丰富的 Arm 产品联系起来，提供教学资料、硬件平台、软件开发工具、IP 和资源，支持将 Arm 技术用作教育用途。Arm 教育自行研发 10 门教育套件（课程讲义 + 软件 + 硬件），旨在帮助教师、学生和研究人员了解源自 Arm 及其合作伙伴生态系统的先进技术，可关注“Arm 中国学堂”进行免费申请。

- 快速嵌入式系统设计
- 高效嵌入式系统设计
- 数字信号处理
- 基础芯片系统设计
- 高级芯片系统设计
- 图形与移动游戏
- 实时操作系统
- 物联网
- 机电和机器人
- 嵌入式 Linux



Arm 中国学堂

Arm 教育计划微信公众号

编委会

顾 问：吴雄昂

主 任：焦李成 桂小林

副主任：马殿富 陈 炜 张立科 Khaled Benkrid

委 员：（按照姓氏拼音排序）

安 晖	白忠建	毕 盛	毕晓君	陈 微
陈晓凌	陈彦辉	戴思俊	戴志涛	丁 飞
窦加林	方勇纯	方 元	高小鹏	耿 伟
郝兴伟	何兴高	季 秋	廖 勇	刘宝林
刘儿兀	刘绍辉	刘 雯	刘志毅	马坚伟
孟 桥	莫宏伟	漆桂林	卿来云	沈 刚
涂 刚	王梦馨	王 睿	王万森	王宜怀
王蕴红	王祝萍	吴 强	吴振宇	肖丙刚
肖 堃	徐立芳	阎 波	杨剑锋	杨茂林
袁超伟	岳亚伟	曾 斌	曾喻江	张登银
赵 黎	周剑扬	周立新	朱大勇	朱 健

秘书长：祝智敏

序

拥抱亿万智能互联未来

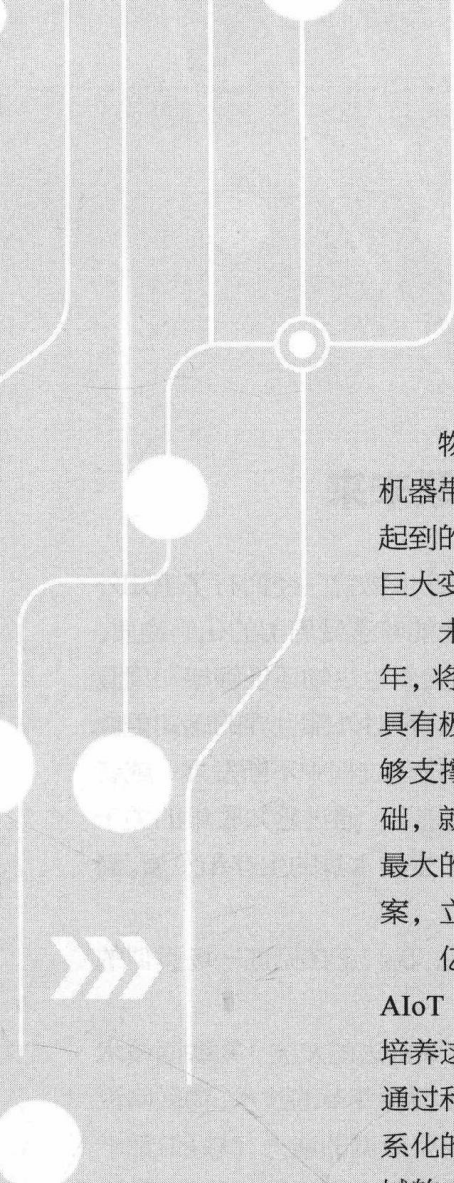
在生命刚刚起源的时候，一些最最古老的生物就已经拥有了感知外部世界的能力。例如，很多原生单细胞生物能够感受周围的化学物质，对葡萄糖等分子有趋化行为；并且很多单细胞原生生物还能够感知周围的光线。然而，在生物开始形成大脑之前，这种对外部世界的感知更像是一种“反射”。随着生物的大脑在漫长的进化过程中不断发展，或者说直到人类出现，各种感知才真正变得“智能”，通过感知收集的关于外部世界的信息开始通过大脑的分析作用于生物本身的生存和发展。简而言之，是大脑让感知变得真正有意义。

这是自然进化的规律和结果。有幸的是，我们正在见证一场类似的技术变革。

过去十年，物联网技术和应用得到了突飞猛进的发展，物联网技术也被普遍认为将是下一个给人类生活带来颠覆性变革的技术。物联网设备通常都具有通过各种不同类别的传感器收集数据的能力，就好像赋予了各种机器类似生命感知的能力，由此促成了整个世界数据化的实现。而伴随着 5G 技术的成熟和即将到来的商业化，物联网设备所收集的数据也将拥有一个全新的、高速的传输渠道。但是，就像生物的感知在没有大脑时只是一种“反射”一样，这些没有经过任何处理的数据的收集和传输并不能带来真正进化意义上的突变，甚至非常可能在物联网设备数量以几何级数增长的情况下，由于巨量数据传输造成 5G 等传输网络的拥堵甚至瘫痪。

如何解决这个挑战？如何赋予物联网设备所具备的感知能力以“智能”？我们的答案是：人工智能技术。

人工智能技术并不是一个新生事物，它在最近几年引起全球性关注并得到飞速发展的主要原因，在于它的三个基本要素（算法、数据、算力）的迅猛发展，其中又以数据和算力的发展尤为重要。物联网技术和应用的蓬勃发展使得数据累计的难度越来越低；而芯片算力的不断提升使得过去只能通过云计算才能完成的人工智能运算现在已经可以下沉到最普通的设备之上完成。这使得在终端实现人工智能功能的难度和成本都得以大幅降低，从而让物联网设备拥有“智能”的感知能力变得真正可行。



物联网技术为机器带来了感知能力,而人工智能则通过计算算力为机器带来了决策能力。二者的结合,正如感知和大脑对自然生命进化所起到的必然性决定作用,其趋势将无可阻挡,并且必将为人类生活带来巨大变革。

未来十五年,或许是这场变革最关键的阶段。业界预测到 2035 年,将有超过一万亿个智能设备实现互联。这一万亿个智能互联设备将具有极大的多样性,它们共同构成了一个极端多样化的计算世界。而能够支撑起这样一个数量庞大、极端多样化的智能物联网世界的技术基础,就是 Arm。正是在这样的背景下,Arm 中国立足中国,依托全球最大的 Arm 技术生态,全力打造先进的人工智能物联网技术和解决方案,立志成为中国智能科技生态的领航者。

亿万智能互联最终还是需要通过人来实现,具备人工智能物联网 AIoT 相关知识的人才,在今后将会有更广阔的发展前景。如何为中国培养这样的人才,解决目前人才短缺的问题,也正是我们一直关心的。通过和专业人士的沟通发现,教材是解决问题的突破口,一套高质量体系化的教材,将起到事半功倍的效果,能让更多的人成长为智能互联领域的人才。此次,在教育部计算机类专业教学指导委员会的指导下,Arm 中国能联合人民邮电出版社一起来打造这套智能互联丛书——高等学校信息技术类新方向新动能新形态系列规划教材,感到非常的荣幸。我们期望借此宝贵机会,和广大读者分享我们在 AIoT 领域的一些收获、心得以及发现的问题;同时渗透并融合中国智能类专业的人才培养要求,既反映当前最新技术成果,又体现产学合作新成效。希望这套丛书能够帮助读者解决在学习和工作中遇到的困难,能够提供更多的启发和帮助,为读者的成功添砖加瓦。

荀子曾经说过,“不积跬步,无以至千里。”这套丛书可能只是帮助读者在学习中跨出一小步,但是我们期待着各位读者能在此基础上励志前行,找到自己的成功之路。

安谋科技(中国)有限公司执行董事长兼 CEO 吴雄昂

2019 年 5 月

序

二

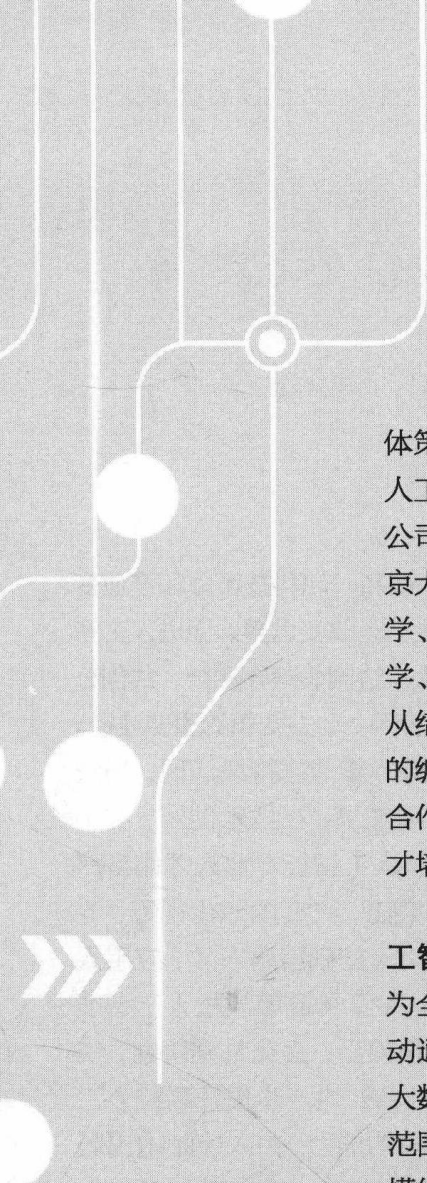
人工智能是引领未来发展的战略性技术，是新一轮科技革命和产业变革的重要驱动力量，将深刻地改变人类社会生活、改变世界。促进人工智能和实体经济的深度融合，构建数据驱动、人机协同、跨界融合、共创分享的智能经济形态，更是推动质量变革、效率变革、动力变革的重要途径。

近几年来，我国人工智能新技术、新产品、新业态持续涌现，与农业、制造业、服务业等各行业的融合步伐明显加快，在技术创新、应用推广、产业发展等方面成效初显。但是，我国人工智能专业人才储备严重不足，人工智能人才缺口大，结构性矛盾突出，具有国际化视野、专业学科背景、产学研用能力贯通的领军性人才、基础科研人才、应用人才极其匮乏。为此，2018年4月，教育部印发了《高等学校人工智能创新行动计划》，旨在引导高校瞄准世界科技前沿，强化基础研究，实现前瞻性基础研究和引领性原创成果的重大突破，进一步提升高校人工智能领域科技创新、人才培养和服务国家需求的能力。由人民邮电出版社和 Arm 公司联合推出的“高等学校信息技术类新方向新动能新形态系列规划教材”旨在贯彻落实《高等学校人工智能创新行动计划》，以加快我国人工智能领域科技成果及产业进展向教育教学转化为目标，不断完善我国人工智能领域人才培养体系和人工智能教材建设体系。

“高等学校信息技术类新方向新动能新形态系列规划教材”包含 AI 和 AIoT 两大核心模块。其中，AI 模块涉及人工智能导论、脑科学导论、大数据导论、计算智能、自然语言处理、计算机视觉、机器学习、深度学习、知识图谱、GPU 编程、智能机器人等人工智能基础理论和核心技术；AIoT 模块涉及物联网概论、嵌入式系统导论、物联网通信技术、RFID 原理及应用、窄带物联网原理及应用、工业物联网技术、智慧交通信息服务系统、智能家居设计、智能嵌入式系统开发、物联网智能控制、物联网信息安全与隐私保护等智能互联应用技术。

综合来看，“高等学校信息技术类新方向新动能新形态系列规划教材”具有三方面突出亮点。

第一，编写团队和编写过程充分体现了教育部深入推进产学研合作协同育人项目的思想，既反映最新技术成果，又体现产学研合作成果。在贯彻国家人工智能发展战略要求的基础上，以“共搭平台、共建团队、整

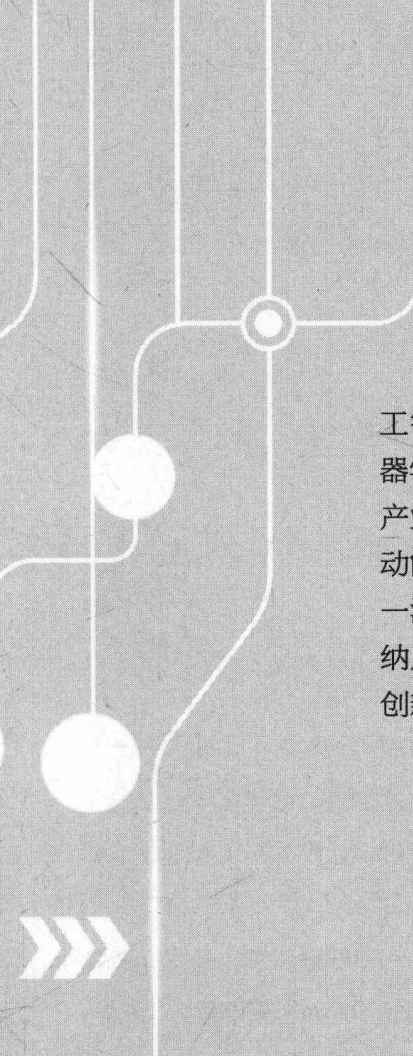


体策划、共筑资源、生态优化”的全新模式，打造人工智能专业建设和人工智能人才培养系列出版物。知名半导体知识产权（IP）提供商 Arm 公司在教材编写方面给予了全面支持，丛书主要编委来自清华大学、北京大学、北京航空航天大学、北京邮电大学、南开大学、哈尔滨工业大学、同济大学、武汉大学、西安交通大学、西安电子科技大学、南京大学、南京邮电大学、厦门大学等众多国内知名高校人工智能教育领域。从结果来看，“高等学校信息技术类新方向新动能新形态系列规划教材”的编写紧密结合了教育部关于高等教育“新工科”建设方针和推进产学研合作协同育人思想，将人工智能、物联网、嵌入式、计算机等专业的人才培养要求融入了教材内容和教学过程。

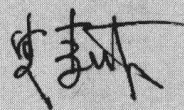
第二，以产业和技术发展的最新需求推动高校人才培养改革，将人工智能基础理论与产业界最新实践融为一体。众所周知，Arm 公司作为全球最核心、最重要的半导体知识产权提供商，其产品广泛应用于移动通信、移动办公、智能传感、穿戴式设备、物联网，以及数据中心、大数据管理、云计算、人工智能等各个领域，相关市场占有率在全世界范围内达到 90% 以上。Arm 技术被合作伙伴广泛应用在芯片、模块模组、软件解决方案、整机制造、应用开发和云服务等人工智能产业生态的各个领域，为教材编写注入了教育领域的研究成果和行业标杆企业的宝贵经验。同时，作为 Arm 中国协同育人项目的重要成果之一，“高等学校信息技术类新方向新动能新形态系列规划教材”的推出，将高等教育机构与丰富的 Arm 产品联系起来，通过将 Arm 技术用于教育领域，为教育工作者、学生和研究人员提供教学资料、硬件平台、软件开发工具、IP 和资源，未来有望基于本套丛书，实现人工智能相关领域的课程及教材体系化建设。

第三，教学模式和学习形式丰富。“高等学校信息技术类新方向新动能新形态系列规划教材”提供丰富的线上线下教学资源，更适应现代教学需求，学生和读者可以通过扫描二维码或登录资源平台的方式获得教学辅助资料，进行书网互动、移动学习、翻转课堂学习等。同时，“高等学校信息技术类新方向新动能新形态系列规划教材”配套提供了多媒体课件、源代码、教学大纲、电子教案、实验实训等教学辅助资源，便于教师教学和学生学习，辅助提升教学效果。

希望“高等学校信息技术类新方向新动能新形态系列规划教材”的出版能够加快人工智能领域科技成果和资源向教育教学转化，推动人



工智能重要方向的教材体系和在线课程建设,特别是人工智能导论、机器学习、计算智能、计算机视觉、知识工程、自然语言处理、人工智能产业应用等主干课程的建设。希望基于“高等学校信息技术类新方向新动能新形态系列规划教材”的编写和出版,能够加速建设一批具有国际一流水平的本科生、研究生教材和国家级精品在线课程,并将人工智能纳入大学计算机基础教学内容,为我国人工智能产业发展打造多层次的创新人才队伍。



教育部人工智能科技创新专家组专家
教育部科技委学部委员
IEEE/IET/CAAI Fellow
中国人工智能学会副理事长

焦李成
2019年6月

译者的话

嵌入式系统是当今最热门、最具发展前景的IT应用领域之一，国内的嵌入式人才目前极度缺乏。据统计，我国嵌入式软件人才的缺口每年在50万左右。嵌入式系统工程师往往出自于电子信息、计算机工程或计算机科学等专业，属于交叉学科，其应用范围也逐渐渗透到各个领域。

Arm架构作为现今嵌入式计算中使用范围最广的处理器架构，是我们需要向初学者普及的重要知识。作为一本面向初学者的基于Arm架构的嵌入式系统教材，亚历山大·狄恩（Alexander G. Dean）的*Embedded systems fundamentals with Arm Cortex-M based microcontrollers*一书用浅显易懂的语言对嵌入式系统进行了详细的讲解。

在本书的翻译过程中，得到了北京邮电大学电子工程学院提供的实践教学课程开发环境支持，Arm公司教育项目主编窦加林博士也给出了建设性的意见，并在代码以及相关资料上给予了极大的帮助。孙源老师、饶岚老师与研究生程倩倩完成了第1章和第2章的前期试译工作，研究生莫耀凯、綦航和隋钰童等参与了资料查找、文献翻译、代码调试以及校对等工作。本书翻译时，译者参阅了大量的同类型教材以及相关技术论坛资料，在此对所有提供帮助的单位和个人表示感谢。

同时也要感谢北京邮电大学“北邮-Arm互联网+联合实验室”的支持，正是基于这个高校与企业共同创建的平台，我们才有幸翻译本书，将其呈现给国内读者。

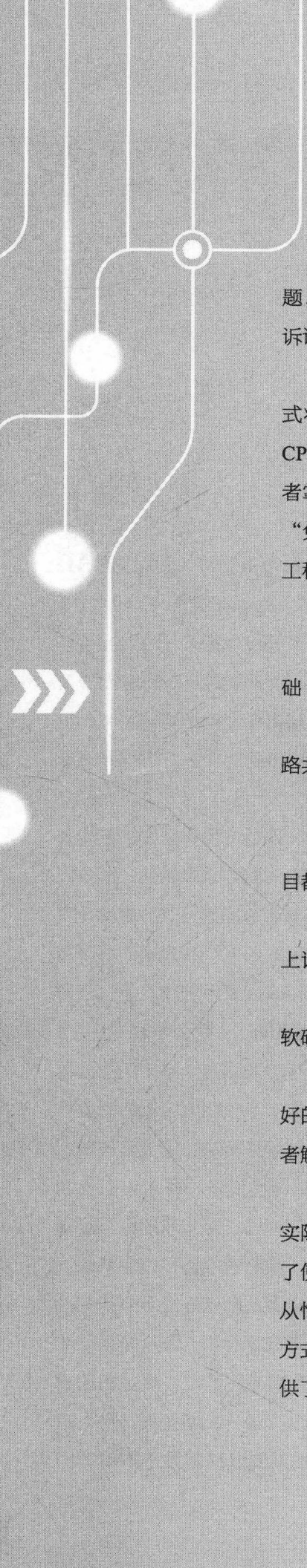
原书序

PREFACE

我曾与亚历山大·狄恩（Alex Dean）在20世纪90年代供职于联合技术公司时帮助过Otis、Pratt&Whitney、Carrier和Sikorsky等公司改进它们的嵌入式计算项目。自那以后，我们的工作就都与嵌入式系统设计相关，也完成了许多实际工业项目中的设计审查。有时我们也会在特别重要的产品审查中合作，闲聊时他会告诉我最近一些有趣的项目，比如帆船上的小装置。Alex见识到了真实世界中的嵌入式系统设计，并且可以亲手建造实际的系统，这在教授中是不多见的。本书正是反映了他的那段经历。

我们正处于技术人员都在寻求专业化的时代，但是成为一个好的嵌入式系统设计者需要计算机科学与计算机工程两方面的知识。除此以外，很多嵌入式系统的问题都与PC系统或企业系统不同。本书涵盖了嵌入式计算设计空间，平衡了硬件与软件、深度与宽度、性能与约束的关系。嵌入式计算通常被成本、速度、内存、功率等因素高度限制。搭建嵌入式系统也可能对公司有很大影响，由软件缺陷而引发的产品召回成本很可能让一家公司破产。

大多数领域外的人并不了解这项技术的流行程度与难点。举个用于大数据的服务器群的例子。我们都知道其中应该有很多的多核CPU，但还需要有嵌入式计算机和关键嵌入式软件存在于下列位置：网络接口、硬盘管理器、存储箱控制器、板级电源、电源管理、功率分配转换设备、备用电源控制器、备用柴油机引擎控制器、温度显示器、空气处理器、冷却压缩机、冷却安全阀、湿度控制、光照控制、网络转换、标记切换系统、监控录像系统、报警系统、防火系统、自动贩卖机，以及以上所有系统的状态显示系统等。我们往往忽略了对嵌入式计算机的需要。没有嵌入式计算机，高科技世界就不复存在。上面的例子只是冰山一角，嵌入式系统无处不在。除了微控制器，更重要的是整个设计和维护嵌入式系统的团队。嵌入式系统设计得是否成熟决定了一款产品的成败。出现失误时嵌入式系统设计将是个严重的问



题，比如软件性能很差甚至存在系统错误，这家公司就会面临数十亿美元的诉讼。

本书适用于碎片式地学习过嵌入式系统的读者，它使用结构化的教学模式将知识串起来。这意味着读者已在其他软硬件课程中学习过如何编程、CPU如何工作以及程序如何执行。本书将这些碎片化的知识整合，也帮助读者掌握一些只在设计大型系统时才使用的习惯。在嵌入式系统中，内存不是“免费”的，也不能简单地增加CPU数目。理解嵌入式系统需要融合科学与工程学的知识，还需要充分认识市场需求的多样性和实际设计的复杂性。

本书给出了不同主题的介绍，包括以下内容。

- 计算机组成和汇编语言。了解中断如何工作是建立嵌入式系统的基础（还有更多的问题需要了解，在这里不再赘述）。
- 数字设计以及软件如何与裸机硬件交互。现代嵌入式系统与外设电路共同工作，需要以最低的总成本获取最大化的系统性能。
- 模拟量的输入/输出，毕竟现实世界不是数字的。
- C语言编程。最适合嵌入式系统编程的语言是C或者C++，大部分项目都建立在已存在的代码库上。
- 时间。计算机的工作要跟上现实世界，而不能反过来让现实世界跟上计算机。如此一来就出现了很多要考虑的问题。
- 理解软件与硬件的情况。最好的嵌入式系统设计者应了解如何利用软硬件的优点。

本书使用Arm Cortex-M0+处理器。该处理器虽然有资源限制，但却有很好的外设选择。此外，本书实例均取自Alex在行业中的工作经验，有助于读者解决实际开发中的问题。

本书整合了碎片化知识，而非单独讲解每个部分。每一章都给出了基于实际MCU评估板的详细实例，这些实例在前几章就开始介绍，在第2章展示了使用GPIO和C语言通过开关控制LED灯。并发性和响应性也出现得很早，从忙等待到抢占式任务调度贯穿在本书的实例中。另外，实例都通过简单的方式完成，使用外设而非强行采用软件方法来提升性能。模拟波形生成器提供了运行示例，可以使用纯软件定时发送DMA数据到DAC。

本书强调让读者了解编译C代码的过程。尽管大多数嵌入式系统由C语言



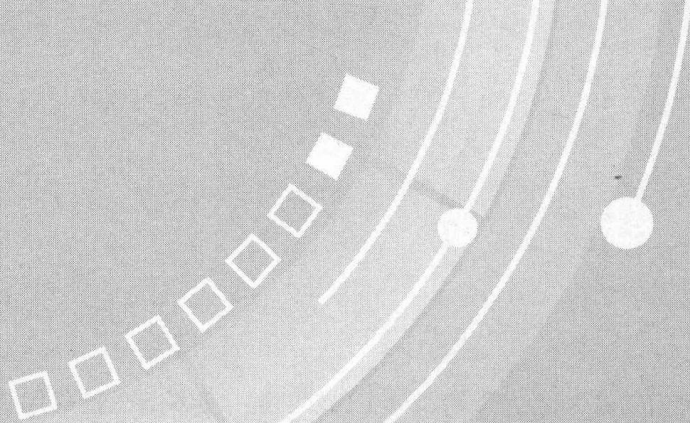
而不是汇编语言编写，读者仍然需要了解编译器的作用来避免代码过长、过慢或者易受竞争条件影响等问题。读者也需要掌握调试优化后的编译代码的方法，可以编写临时低级优化循环来提升代码速度。更进一步的话，还可以了解如何让编译器生成更具效率的代码。

如果读过本书后还需要一些参考书籍，读者可自行选择。如果该书目录中未包含“看门狗”一词，那么就少了些参考价值（Alex这本书包含了看门狗定时器）。期待接下来在教学中选用这本书。

如果你是在校学生，建议关注本书。你可能已经读过很多流行的教材或者只介绍代码的手册，它们可能很贵，但是你并不会从中收获很多知识。本书不同于其他教材，它可以帮你整合零散的知识并了解所有需要的知识，这与在大学中学习的好处是一致的。

菲尔·库普曼（Phil Koopman）教授，美国卡耐基·梅隆大学

Pittsburgh, PA, 2017-1



前言

FOREWORD

介绍

开发嵌入式系统是一件令人激动的事！现代微控制器（Microcontroller Unit, MCU）以很低的成本提供了非凡的性能，因特网又提供了充足的源码和文件。将廉价的硬件平台（比如Arduino、树莓派和Beaglebone）和适当的软件（将细节抽象化，指导用户）合并起来，就可以帮助我们降低开发嵌入式系统的门槛。

但在上升到有着更严格限制的更大、更复杂系统时，这些支持却成为了束缚。嵌入式系统的工业设计师会选择科学的方法来满足各种要求（比如速度、响应、成本、重量、可靠性或能耗）。

很多硬件工具内置于MCU中：执行软件的中央处理器（Central Processing Unit, CPU）、能对事件做出快速响应的高效中断系统、存放程序与数据的快速存储器、降低高速CPU需求的特定硬件外设电路。硬件外设也能通知和控制其他外设，消除对CPU上软件的需求。MCU提供了一系列低功耗模式，让设计者可以权衡性能和功耗。

其他工具则由软件提供，典型软件由C或C++编写，被编译后用处理器本地机器语言表示；软件的使用避免了运行时延迟与解释或撰写脚本的内存开销；多任务软件使用中断和调度程序在CPU上进行调度。调度程序可以是协同式的（例如状态机）或者抢占式的（例如实时内核）。

总的来说，成功的嵌入式系统设计使用外设和带轻量化上下文切换的CPU上优秀的软件来保证响应的并发性。本书的写作目的是解释如何使用行业内的标准方法来开发基于微控制器的嵌入式系统，以及如何使用现今嵌入式计算中最广泛使用的处理器架构：Arm架构。

嵌入式系统教学的挑战

在大学学习或者教授嵌入式系统课程都存在着很多挑战。首先，这个领域建立在几个学科之上：计算机工程（Computer Engineering, CPE）、电气工程（Electrical Engineering, EE）和计算机科学（Computer Science, CS）。有些读者会攻读联合学位、双学位或三学位，但大多数读者不会。其次，这些概念和解决方案都是针对嵌入式系统设计空间的，与主流的大多数课程涵盖的多用途或高性能计算设计空间不符。最后，有太多学科的知识需要覆盖，读者很容易把注意力集中在熟悉的地方，而忽略了不熟悉的地方，因为很难用有限的内容来涵盖这些学科。

挑战1：跨越电子和计算机工程与计算机科学

成功的嵌入式系统设计者需要掌握CPE、EE和CS中的多种技能，相关知识如本书目录所列。这些技能分别来自于电子和计算机工程（Electrical and Computer Engineering, ECE）和计算机科学两个专业背景。但现实却是CPE和CS课程的培养方向倾向于更高的计算性能和抽象程度（通过计算机性能的提高增加的应用程序复杂度），这增大了和嵌入式系统设计空间的差距。

下列CPE和EE的知识是读者学习嵌入式系统时需要掌握的关键内容。

- 计算机组成和汇编语言编程是理解CPU、内存、外设、中断系统的基础。
- 进行数字化设计必须理解CPU和外设电路的作用。这些数字化电路（例如GPIO、定时器和DMA）独立于CPU运行，提供了廉价的并发性。避免使用计算复杂度高的软件任务而采用相对缓慢的MCU，提供低功耗、低成本、精确的定时和可预测的性能，这是一种很好的设计理念。
- 增加外部电路比如LED、开关和传感器时需要基础的模拟电路设计和分析技能。调试时则需要用示波器或者逻辑分析仪来检查和分析系统中事件的时序。

下列CS的知识是读者学习嵌入式系统时需要掌握的关键内容。

- C语言是编写嵌入式系统的主要语言。
- 编译器和汇编语言编程则涉及CPU如何执行源码指定的工作。了解程序如何被编译和结构化能帮助我们避免错误（比如抢占），调试、设计出有效的系统并提升系统性能。