HZ Books
华章教育

计 算 机 科 学 丛 书

Pearson

信息物理系统应用与原理

[印度] 拉杰·拉杰库马尔（Raj Rajkumar）
卡内基-梅隆大学

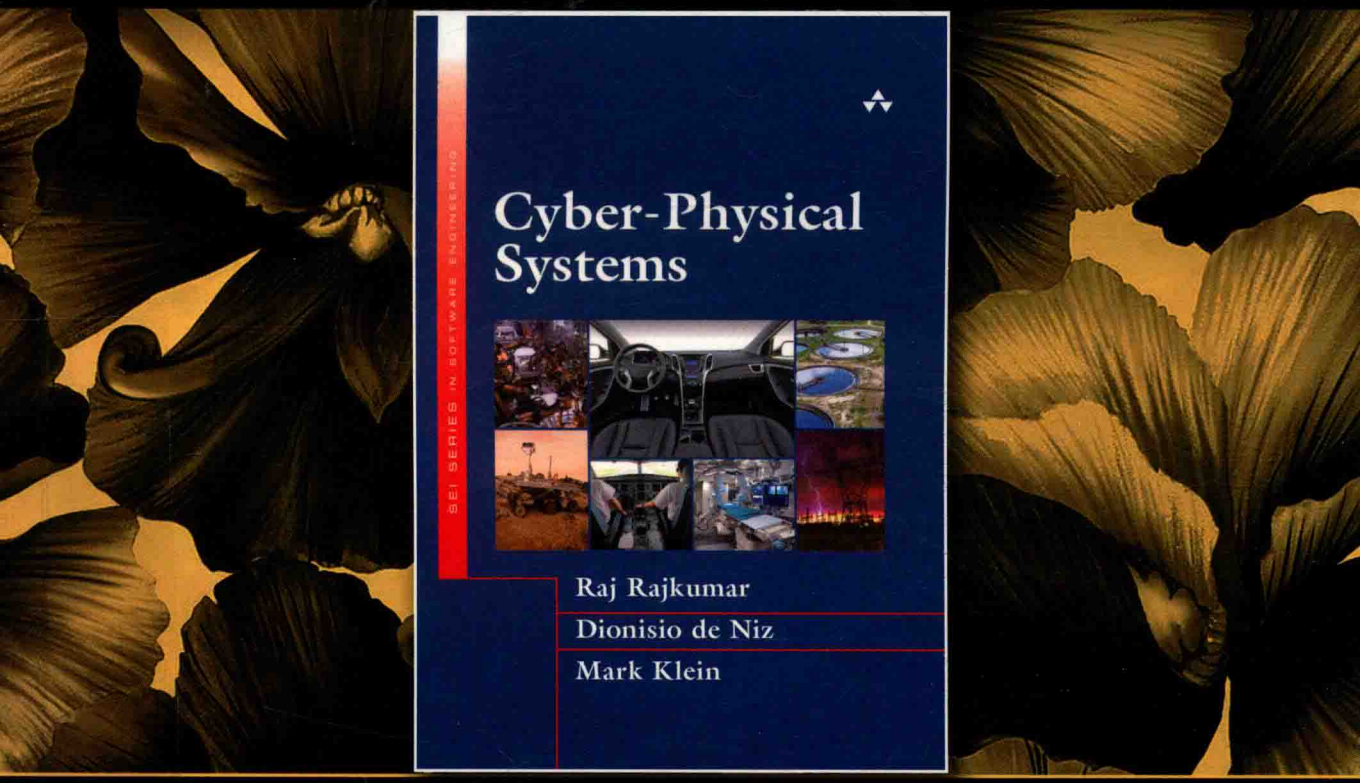
[美] 迪奥尼西奥·德·尼茨（Dionisio de Niz）
卡内基-梅隆大学
马克·克莱恩（Mark Klein）
美国软件工程研究所（SEI）

著

李士宁 张羽 李志刚
西北工业大学

等译

Cyber-Physical Systems



机械工业出版社
China Machine Press

计 丛 书

信息物理系统应用与原理

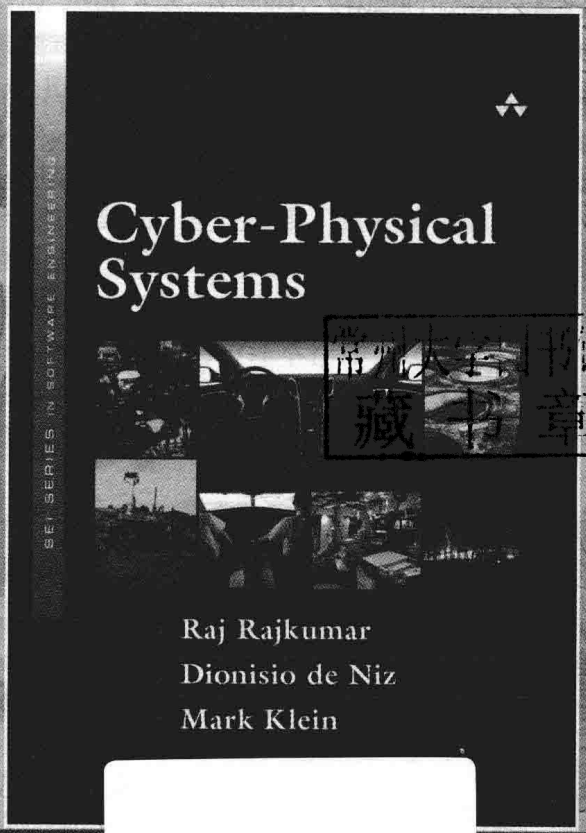
[印度] 拉杰·拉杰库马尔（Raj Rajkumar） 卡内基-梅隆大学

[美] 迪奥尼西奥·德·尼茨（Dionisio de Niz） 卡内基-梅隆大学

马克·克莱恩（Mark Klein） 美国软件工程研究所（SEI） 著

李士宁 张羽 李志刚 等译 西北工业大学

Cyber-Physical Systems



机械工业出版社
China Machine Press

图书在版编目（CIP）数据

信息物理系统应用与原理 /（印）拉杰·拉杰库马尔（Raj Rajkumar）等著；李士宁等译．
—北京：机械工业出版社，2018.3
（计算机科学丛书）
书名原文：Cyber-Physical Systems

ISBN 978-7-111-59810-7

I. 信… II. ① 拉… ② 李… III. 控制系统 IV. TP271

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2018）第 076141 号

本书版权登记号：图字 01-2017-0742

本书讨论了 CPS 的大量理论进展以及每个领域的挑战。一些进展源于应用领域的具体挑战，另一些进展带来了新的发展机会。全书分为两部分。第一部分介绍了当前 CPS 的 3 个典型领域（医疗、能源、无线传感器网络），这些应用领域推动了 CPS 的技术革命。第二部分介绍了 CPS 发展中使用的多学科理论基础。

本书可作为高等院校信息物理系统相关课程的教材，也可作为 CPS 应用领域相关从业者的参考书。

出版发行：机械工业出版社（北京市西城区百万庄大街 22 号 邮政编码：100037）
责任编辑：唐晓琳　　责任校对：殷　虹
印　　刷：中国电影出版社印刷厂　　版　　次：2018 年 6 月第 1 版第 1 次印刷
开　　本：185mm×260mm　1/16　　印　　张：15
书　　号：ISBN 978-7-111-59810-7　　定　　价：79.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换
客服热线：(010) 88378991　88361066　　投稿热线：(010) 88379604
购书热线：(010) 68326294　88379649　68995259　　读者信箱：hzjsj@hzbook.com

文艺复兴以来，源远流长的科学精神和逐步形成的学术规范，使西方国家在自然科学的各个领域取得了垄断性的优势；也正是这样的优势，使美国在信息技术发展的六十多年间名家辈出、独领风骚。在商业化的进程中，美国的产业界与教育界越来越紧密地结合，计算机学科中的许多泰山北斗同时身处科研和教学的最前线，由此而产生的经典科学著作，不仅擘划了研究的范畴，还揭示了学术的源变，既遵循学术规范，又自有学者个性，其价值并不会因年月的流逝而减退。

近年，在全球信息化大潮的推动下，我国的计算机产业发展迅猛，对专业人才的需求日益迫切。这对计算机教育界和出版界都既是机遇，也是挑战；而专业教材的建设在教育战略上显得举足轻重。在我国信息技术发展时间较短的现状下，美国等发达国家在其计算机科学发展的几十年间积淀和发展的经典教材仍有许多值得借鉴之处。因此，引进一批国外优秀计算机教材将对我国计算机教育事业的发展起到积极的推动作用，也是与世界接轨、建设真正的世界一流大学的必由之路。

机械工业出版社华章公司较早意识到“出版要为教育服务”。自 1998 年开始，我们就将工作重点放在了遴选、移译国外优秀教材上。经过多年的不懈努力，我们与 Pearson，McGraw-Hill，Elsevier，MIT，John Wiley & Sons，Cengage 等世界著名出版公司建立了良好的合作关系，从他们现有的数百种教材中甄选出 Andrew S. Tanenbaum，Bjarne Stroustrup，Brian W. Kernighan，Dennis Ritchie，Jim Gray，Afred V. Aho，John E. Hopcroft，Jeffrey D. Ullman，Abraham Silberschatz，William Stallings，Donald E. Knuth，John L. Hennessy，Larry L. Peterson 等大师名家的一批经典作品，以“计算机科学丛书”为总称出版，供读者学习、研究及珍藏。大理石纹理的封面，也正体现了这套丛书的品位和格调。

“计算机科学丛书”的出版工作得到了国内外学者的鼎力相助，国内的专家不仅提供了中肯的选题指导，还不辞劳苦地担任了翻译和审校的工作；而原书的作者也相当关注其作品在中国的传播，有的还专门为其书的中译本作序。迄今，“计算机科学丛书”已经出版了近两百个品种，这些书籍在读者中树立了良好的口碑，并被许多高校采用为正式教材和参考书籍。其影印版“经典原版书库”作为姊妹篇也被越来越多实施双语教学的学校所采用。

权威的作者、经典的教材、一流的译者、严格的审校、精细的编辑，这些因素使我们的图书有了质量的保证。随着计算机科学与技术专业学科建设的不断完善和教材改革的逐渐深化，教育界对国外计算机教材的需求和应用都将步入一个新的阶段，我们的目标是尽善尽美，而反馈的意见正是我们达到这一终极目标的重要帮助。华章公司欢迎老师和读者对我们的工作提出建议或给予指正，我们的联系方法如下：

华章网站：www. hzbook. com
电子邮件：hzjsj@ hzbook. com
联系电话：(010) 88379604
联系地址：北京市西城区百万庄南街 1 号
邮政编码：100037

华章教育
华章科技图书出版中心

译 者 序

Cyber-Physical Systems

信息物理系统通过集成先进的感知、计算、通信、控制等信息技术和自动控制技术，构建了物理空间与信息空间中人、机、物、环境、信息等要素相互映射、适时交互、高效协同的复杂系统，实现系统内资源配置和运行的按需响应、快速迭代、动态优化。

CPS 是支撑信息化和工业化深度融合的一套综合技术体系。当前，“中国制造 2025”正处于全面部署、加快实施、深入推进的新阶段，面对信息化和工业化深度融合进程中不断涌现的新技术、新理念、新模式，迫切需要研究信息物理系统的背景起源、概念内涵、技术要素、应用场景、发展趋势，以更好地服务于制造强国建设。

作者分析了多个应用领域中 CPS 的关键挑战和创新，介绍了现代 CPS 解决方案背后的技术基础，同时为 CPS 从设计和分析到规划未来的创新提供了指导性原则。书中主要内容包括：CPS 的驱动因素、挑战、基础和新的方向；跨信息和物理域的复杂交互建模；实施 CPS 控制的综合算法；CPS 传感器网络中的空间、时间、能量和可靠性问题；CPS 安全——防止“中间人”和其他攻击；使用模型集成语言为 CPS 模型定义形式化语义等。

李士宁教授负责本书的整体翻译工作，张羽副教授、李志刚副教授参与了本书的翻译工作。参加本书翻译的研究生有杨帆、孙悦、张静宇、李梦依、魏明菲、龙佳琳、程琛、李静。

限于时间以及译者的水平和经验，译文中难免存在不当之处，恳请读者提出宝贵意见。翻译中得到了陕西省嵌入式系统重点实验室的同仁和机械工业出版社许多人士的帮助。对此，译者深表感谢。

前　言
Cyber-Physical Systems

Ragunathan (Raj) Rajkumar, Dionisio de Niz, Mark Klein

美国国家科学基金会（National Science Foundation，NSF）将信息物理系统（Cyber-Physical System，CPS）定义为构建并依赖于计算算法与物理组件（即信息组件和物理组件）的无缝连接的工程系统。这种整合意味着，要理解 CPS 的行为，我们不仅要关注信息部分或物理部分，还要考虑两部分的相互协作。例如，当系统检测到撞车事故将要发生时就需要确定汽车安全气囊的行为。只保证充气指令是否被安全气囊执行是不够的，还需要验证这些指令的执行与物理过程是否是同步完成的。具体而言，20 毫秒之内执行可以确保司机撞上方向盘之前安全气囊完全充气。CPS 中信息、物理部分之间的无缝整合涉及多个方面。这个简单例子就涉及软件逻辑、软件执行时间和物理过程。

虽然充气气囊这个例子包含了 CPS 的重要部分，但它并未涉及 CPS 最具挑战的部分。充气气囊的信息组件和物理组件都十分简单，它们之间的交互可以简化到仅区分软件完成时间和事故中司机撞上方向盘的时间这种情况。但是，随着软件和物理过程复杂度的增加，它们之间整合的复杂度也将显著提高。在大型 CPS 中（如商用飞机），多个物理和信息组件的整合以及各部分之间的权衡就变得十分具有挑战性。例如，在波音 787 梦幻客机上添加额外锂电池就必须要先满足一系列限制条件。这不仅需要满足在不同操作模式下特定电池配置（在特定处理速度和电压下与软件进行交互）的功耗需求，还需要明确为维持所需电压系统应何时以及如何对电池充放电，同时也需要检测充放电配置以确保电池不会过热（在 787 航行经历中电池过热曾导致起火），并且这种检测要与系统散热部分的设计衔接。更重要的是，所有这些方面都需要经过联邦安全管理局（Federal Aviation Administration，FAA）严格标准的认证。

由于单一系统复杂度的增加，CPS 面临着更多的挑战。尤其是人们正在研究无人干预情况下的 CPS 间交互。这与互联网的开始十分类似。互联网开始时是两台电脑之间简单地连接。但当全世界的电脑无缝地连接起来，在网络上开发出大量的服务时，真正的革命出现了。这种连接不仅允许将大量的服务交付到世界各地，而且使收集和处理大量的信息（“大数据”）成为可能。我们可以利用大数据探索人群的趋势，当大数据与社交网络（如 Facebook 和 Twitter）相结合时，甚至可以探索人群的实时趋势。在 CPS 中，这场革命才刚刚开始。通过智能手机上的 GPS 应用收集的行驶信息，我们可以去选一条低拥堵线路。虽然这种技术仍然需要人为调节，但是在某种程度上这符合智能公路的发展方向。这方面的成果近期层出不穷，例如在多个涉及自动汽车的项目中，汽车不仅知道如何自动驾驶，并且可以和同一路线上的其他非自动汽车进行交互。

CPS 的出现

在 CPS 作为一个特定的学科领域出现之前，包含信息组件和物理组件的系统就已经存

在。但这两个组件之间的交互十分简单，理论支撑基础也分散于计算机科学和物理科学之中。它们独立发展，没有交集。例如，在热弹力、空气动力学和机械应力学等学科中，验证性能的技术是独立于计算机技术（如逻辑时钟、模型检测、类型系统等）的进步而发展的。实际上，这些进步是从一些行为中抽象出来的，这些行为对某一学科领域很重要，但与其他学科领域相关性不大。例如，编程语言和逻辑验证模型的本质是只考虑指令的顺序，不受时间本身的影响。这种本质与车辆运动和房间温度控制这类物理变化过程中时间的重要性形成鲜明对比。

早期计算和物理科学之间交互的具体实现大多是成对的简单交互模型。例如实时调度理论和控制理论。调度理论加入了计算元素的时间，这样我们可以验证与物理过程交互的响应时间，从而确保整个过程不超过计算部分的预期并且可以进行修正。另一方面，控制理论将控制算法和物理过程结合起来，并且分析算法是否可以使系统保持在期望区域内。然而控制理论采用连续时间模型，在这一模型下计算瞬间发生，它使用附加延迟来考虑包含调度时间在内的计算时间，这使确定计算周期和提供调度接口成为可能。

随着领域之间交互复杂度的增加，人们研究了新的技术去模拟这种交互。例如，混合系统是一种状态机，在这个状态机中，状态用于模拟计算和物理状态，转换用于模拟计算动作和物理变化。虽然这种技术提高了描述复杂交互的能力，但分析往往是比较棘手的。通常情况下，模型复杂度阻碍了系统实际维度的分析。此外，随着相关学科数量的增长（如泛函、热力学、空气动力学、机械、容错），为了确保任意学科的假设和它的模型不因其他学科的模型而失效，我们需要分析它们之间的交互。例如，为了防止过热而降低处理器速度的动态散热管理（Dynamic Thermal Management，DTM）系统，会因实时调度算法设定的处理器速度而失效。

CPS 的发展动力

在 CPS 蓬勃发展的今天，我们面临的挑战是能否深入理解 CPS 的行为和发展技术，从而评估 CPS 的可靠性、保密性和安全性。这实际上是 CPS 科学界的核心动力。因此，CPS 是由两个相辅相成的因素驱动的：应用和理论基础。

应用

CPS 的应用可以让研究者与从业者相互协作，以便更好地理解问题和挑战，提供能经受住实践检验的方案。如医疗设备，CPS 研究人员与医生合作了解造成医疗设备失误的来源与挑战。人体如何处理不同药物，如何实施安全措施以避免药物过量注射，如何确保护士输入正确信息，这些都需要一定的假设，错误假设会引起输液泵的错误。此外，现今的医疗设备仅作为独立的设备，不允许互相连接。因此，医疗从业者需要在使用过程中协调这些设备，确保设备间的相互作用不引发安全性问题。例如，手术过程中需要胸部 X 射线机，就必须确保呼吸机被禁用；另一方面，一旦用完 X 射线机，呼吸机需要在一个安全的时间间隔内重新启动，这可以防止患者窒息。尽管这种不变性可以在软件中实现，但目前的认证技术和策略会阻止这种整合的出现。研究人员在此领域的工作就是开发技术以使这种相互作用的认证成为可能。这个问题在第 1 章中会详尽地讨论。

由于电网作为国家基础设施的战略重要性，电网是 CPS 的另一个重要应用领域。由于电能消费者和生产者各自独立，电能生产和消费具有不协调的特性，这是此领域的主要挑战。尤其是，每个家庭按一下电源开关就可以改变电能消费，这些按开关的动作会对电网产生聚合效应，因此电网需要平衡电能供应。类似的情况，风能、太阳能等可再生能源的电能生产不稳定、不可预知，这使平衡电能的供需成为一大挑战。这些元素之间的相互影响本质上是信息和物理之间的相互影响。一方面，电力供应者之间存在以计算机为中介的协调，另一方面，供应者与消费者之间的相互影响主要存在于电能的物理消耗过程中。目前一系列的技术已经应用于电网的控制与发展，这可以保护电网基础设施免受损坏，同时提升可靠性。然而，新一轮的挑战需要信息与物理元素结合起来，支持高效的市场、可再生能源、更便宜的能源价格。第 2 章讨论了电网领域的挑战和进展。

最有趣的、有技术创新的 CPS 应用领域之一也许就是传感器网络。传感器的发展和部署面临空间、时间、能量、可靠性方面的挑战，这是这一领域独具的。第 3 章讨论了传感器网络面临的挑战和这一领域的主要技术创新。

虽然一些应用领域有自己的趋势，新兴的应用领域也可能很快浮出水面。但是本书只讨论被 CPS 学科界定为最有影响力的领域。

基础理论

CPS 的理论发展集中在多学科领域间的相互作用所带来的挑战。有关实时调度的一些趋势很值得一提。第一个趋势是为适应过载执行而出现的新调度模型。这些模型将多个执行预算与基于关键性的任务分类结合起来，确保在正常操作期间所有任务都可以满足时限要求。当过载发生时，高关键性的任务从低关键性的任务中窃取处理器周期来满足其时限要求。第二个趋势来自于周期性上的变化。间歇任务模型（rhythmic task model）允许任务的周期随着物理任务的变化频率而持续变化。例如，在这种情况下，某个任务由汽车发动机的曲轴角位置触发，新的调度分析技术就需要验证这种系统的时序性。在第 9 章中，我们将讨论实时调度的基础和创新。

模型检验和控制综合理论之间的交叉创新是待研究的发展方向。在这个方向上，混合状态机模型用于描述物理对象的行为和计算算法的要求。该模型用于自动合成控制器算法来增强所需的规范。第 4 章将讨论这个案例。学术界已经开发了许多新技术来分析控制算法中调度规则的时序效应。这些问题将在第 5 章中讨论。

学术界已经探索的另一个交互领域是模型检测和调度之间的关系。有团队开发了一种称为 REK 的新模型检查器，它将任务交错的约束加到单调速率调度器和周期性任务模型中，减少了验证工作。这些新交互将在第 6 章中讨论。

安全性是另一个受物理过程显著影响的领域。特别是软件和物理过程之间的交互给潜在的攻击者提供了新的攻击机会，这使 CPS 安全与纯软件安全之间有很大的差异。于是产生了这种由于攻击导致的差异，即传感器的错误数据很难与物理过程中真正的数据相区分。这些防止中间人攻击的创新点与其他重要技术将在第 7 章中介绍。

在分布式实时系统中，实现分布式代理之间的同步通信新技术是非常有用的，这能够减少对功能正确性进行形式证明所需的工作。第 8 章将详细讨论此问题。

CPS 分析技术依赖于模型，而模型的形式语义是一个必须解决的关键挑战。第 10 章介绍了模型集成语言中模型形式语义的最新发展。

本书讨论了大量的理论进展以及每个领域的挑战。一些进展源于应用领域的具体挑战，另一些进展带来了新的发展机会。

读者对象

本书面向实践人员和研究人员。对于实践人员，本书描述了当前受益于 CPS 的应用领域，以及有利于 CPS 发展的技术。对于研究者，本书提供了一份应用领域的调查报告，并突出了当前的成就和有待解决的挑战，以及当前学科的进步和挑战。

本书分为两部分。第一部分介绍了当前 CPS 的 3 个典型领域，这些应用领域推动了 CPS 的技术革命。第二部分介绍了 CPS 发展中使用的多学科理论基础。

Ragunathan（Raj）Rajkumar 是卡内基·梅隆大学电气和计算机工程的 George Westinghouse 教授。他是 TimeSys 等众多公司的创始人之一，包括 Ottomatika（专注于无人驾驶汽车的软件研究，最后被 Delphi 收购）。他主持过多次国际会议，拥有专利三项，出版书籍一本，在会议和期刊上发表论文 170 多篇，其中 8 篇获得最佳论文奖。Rajkumar 教授于 1984 年在印度 Madras 大学获得本科学位，硕士和博士学位分别于 1986 年和 1989 年在美国宾夕法尼亚州匹兹堡的卡内基·梅隆大学获得。他的研究兴趣涵盖了信息物理系统的所有方面。

Dionisio de Niz 是卡内基·梅隆大学软件工程研究所的首席研究员。他在卡内基·梅隆大学信息网络学院获得信息网络科学硕士学位，后又获得了电气和计算机工程博士学位。他的研究兴趣包括信息物理系统、实时系统和基于模型的工程。在实时领域，他最近专注于多核处理器和混合关键性调度，为私营行业和政府组织领导了许多基本研究和应用研究项目。de Niz 博士还致力于实时 Java 规范的商业版本和参考实现。

Mark Klein 是软件工程研究所的高级技术人员，并且是其关键系统能力理事会的技术总监，从事信息物理系统和先进的移动系统研究。他的研究已经跨越了软件工程、可靠的实时系统和数值方法的各个方面。Klein 最近的工作重心在于系统规模的设计和分析原理，包括信息物理系统。之前，作为基于架构的工程项目的技术领导者，他的研究方向包括以下几个方面：软件体系结构分析、体系结构演化、经济驱动架构设计、架构能力、架构权衡分析、属性驱动的架构设计、调度理论和应用机制设计。他在实时系统中的工作涉及单调速率分析（RMA）的发展、RMA 理论基础的扩展及应用。Klein 早期的工作涉及在油藏模拟中通过高阶有限元方法求解流体流动方程。他是很多论文及下列三本书的作者之一：《A Practitioner's Handbook for Real-Time Analysis: Guide to Rate Monotonic Analysis for Real-Time Systems》《Evaluating Software Architecture: Methods and Case Studies》及《Ultra-Large-Scale Systems: The Software Challenge of the Future》。

关于其他贡献者

Cyber-Physical Systems

Abdullah Al-Nayeem 于2013年在伊利诺大学厄巴纳－香槟分校获得博士学位，他的博士论文题目是《物理异步逻辑同步（PALS）系统设计和开发》。目前他作为软件工程师在谷歌匹兹堡办公室工作。

Björn Andersson 从2011年3月起是美国卡内基·梅隆大学软件工程学院的高级技术人员。他于1999年获得电气工程理科硕士学位，于2003年获得计算机工程博士学位，均从瑞典查尔莫斯理工大学获得。他目前主要的研究兴趣在于实时系统中多核处理器的使用和信息物理系统原理。

Karl-Erik Årzén 于1981年获得电气工程硕士学位，于1987年获得自动化控制博士学位，均从瑞典隆德大学获得。他目前是隆德大学自动控制系的教授。他的研究兴趣包括嵌入式实时系统、反馈计算、云控制和信息物理系统。

Anaheed Ayoub 是 Mathworks 公司首席工程师。在加入 Mathworks 之前，她是宾夕法尼亚大学计算机科学专业的博士后研究员。她的研究兴趣是基于模型的设计工作流程，涉及正式建模、验证、代码生成和验证实时系统至关重要的安全性。她在埃及开罗艾因夏姆斯大学获得计算机工程专业硕士和博士学位。

Anton Cervin 于1998年获得计算机科学工程硕士学位，于2003年获得自动化控制博士学位，均从瑞典隆德大学获得。他目前是隆德大学自动控制系的副教授。他的研究兴趣包括嵌入式和网络控制系统、基于事件的控制、实时系统，用于分析的计算工具和控制时间的仿真。

Sagar Chaki 是卡内基·梅隆大学软件工程学院的主要研究员。他于1999年获得印度理工学院的计算机科学和工程技术学士学位，于2005年获得卡内基·梅隆大学计算机科学博士学位。近段时间，他的工作主要围绕实时和信息物理系统模型检测软件，但他通常感兴趣的是通过严格和自动化方法来提高软件质量。Chaki 博士开发了一些自动化的软件验证工具，包括基于C程序、MAGIC、Copper 的两种模型检测器，他合著了70多本同行评议的出版物。关于 Chaki 博士和他的当前工作的更多细节可在 http://www.contrib.andrew.cmu.edu/~schaki/网站查询。

Sanjian Chen 是宾夕法尼亚大学计算机和信息科学专业的博士生。他的研究兴趣包括数据驱动建模、机器学习、形式化分析、信息物理系统的系统工程应用和人类软件交互。他在2012年 IEEE 实时系统研讨会（RTSS）中获得了最佳论文奖。

Edmund M. Clarke 现在是卡内基·梅隆大学计算机科学学院的名誉教授。1995年他是第一位被 FORE 系统授予讲席教授职位的人，2008年成为大学教授。他从弗吉尼亚大学获得了学士学位，在杜克大学获得硕士学位，在康奈尔大学获得博士学位，在1982年加入卡内基·梅隆大学之前，他在杜克大学和康奈尔大学任教。他的研究兴趣包括硬件和软件验证以及自动定理证明。具体地说，他的研究小组开发了使用 BDD 的符号模型检测、使用快速 CNF 的有界模型检测可满足性求解器，并率先使用反例引导抽象精化（CE-

GAR)。他是计算机辅助验证会议（CAV）的共同创始人之一。他因对软件和硬件正确性的形式化验证所做出的贡献而获取了众多奖项，包括 IEEE Goode 奖、ACM Kanellakis 奖、ACM 图灵奖、CADE Herbrand 奖和 CAV 奖。因在计算机系统验证方面的工作，他获得了 2014 年富兰克林研究所 Bower 奖和科学界的终身成就奖。他被中国科学院授予爱因斯坦讲席教授称号，被维也纳大学的技术院和克里特大学授予荣誉教授称号。Clarke 博士是美国国家工程院和艺术科学院的成员、ACM 和 IEEE 会士、Sigma Xi 和 Phi Beta Kappa 成员。

Antoine Girard 是法国国家科学研究院（CNRS）的高级研究员。他于 2004 年在格勒诺布尔国立综合理工学院获得了应用数学博士学位。他于 2004 年到 2005 年在宾夕法尼亚大学当博士后研究员，2006 年在 Verimag 实验室就职。从 2006 年到 2015 年，他在约瑟夫傅里叶大学当副教授。他的研究兴趣主要是对混合动力系统的处理分析和控制，重点是信息物理系统中的计算方法、近似、抽象和应用程序。2009 年，他获得了 IEEE George S. Axelby优秀论文奖。2014 年，他被授予 CNRS 铜牌。2015 年，他被任命为法国大学医疗研究所（IUF）的创始成员。

Arie Gurfinkel 于 2007 年在多伦多大学计算机科学学院获得了计算机科学博士学位。他是卡内基·梅隆大学软件工程学院的首席研究员。他的研究兴趣在于形式化的方法和软件工程的交互，重点是对软件系统的自动推理。他参与开发了许多自动化验证工具，包括第一个多值模型检测器 XChek、软件验证框架 UFO 和 SeaHorn、硬件模型检测器 Avy。

John J. Hudak 是建筑实践计划工程研究所（SEI）的高级技术人员。他从卡内基·梅隆大学获得硕士学位及电气和计算机工程博士学位。他在实时嵌入式系统开发中负责开发和应用基于 AADL 的模型设计方法。他是基于 AADL 的 SEI 模型设计课程的老师，该模型已交付给学术界和产业界。同时，他还领导和参与了许多为政府项目成立的独立技术评估小组。他的兴趣包括可靠的实时系统、计算机硬件和软件体系结构、基于模型的验证、软件可靠性和控制工程。在加入 SEI 之前，他是卡内基·梅隆大学研究所的一员。该研究所是一个应用研发部门，他在研发项目中从事各种技术和管理的工作以满足行业需求。Hudak 是 IEEE 的高级成员之一，还是匹兹堡大学（约翰斯敦）的兼职教员，并拥有宾夕法尼亚州专业工程师证书。

Marija Ilić从 2002 年 10 月开始在卡内基·梅隆大学 ECE 和 EPP 教学单位任教，Ilić博士在圣路易斯的华盛顿大学获得了系统科学和数学硕士以及博士学位，并且在贝尔格莱德大学获得了 MEE 和 Dip. Ing。她是 IEEE 会士、IEEE 杰出讲师，也是电力系统中第一个总统青年科学家奖的获得者。除了从事学术工作，Ilić博士还是电力行业的顾问，以及新电力传输软件解决方案的创始人。Ilić博士从 1999 年 9 月到 2001 年 3 月在美国国家科学基金会担任控制、网络和计算智能的项目主管。Ilić博士参与了大规模电力系统中一些书籍的编写，并与来自学术界、政府和行业的参与者共同参与了在卡内基·梅隆大学的多学科电力行业年会系列（http://www. ece. cmu. edu/ ~ electriconf）。Ilić博士是卡内基·梅隆大学电力系统专业的创始人和主任（http://www. eesg. ece. cmu. edu）。

BaekGyu Kim 在宾夕法尼亚大学获得了计算机科学博士学位。他的研究兴趣包括医疗设备和汽车系统安全关键性的建模和验证。并通过形式化的方法自动地实现这样的系统。

Cheolgi Kim 于2005年在韩国科学技术院获得了博士学位。2006年到2012年他作为博士后学生和访问研究学者在伊利诺大学厄巴纳－香槟分校工作，研究信息物理系统和安全关键系统框架。目前他是韩国航空航天大学软件学院的副教授。

Tiffany Hyun-Jin Kim 是HRL实验室的研究学者，她在加州大学伯克利分校获得计算机科学学士学位，在耶鲁大学获得计算机科学硕士学位，在卡内基·梅隆大学获得电气和计算机工程博士学位。她的研究兴趣包括以用户为中心的安全与隐私、网络安全、信任管理和应用密码学。

Andrew King 在堪萨斯州立大学获得了计算机科学学士和硕士学位，在宾夕法尼亚大学获得了计算机科学博士学位。他的研究兴趣包括分布式系统和软件的建模、验证和认证，特别是可以在运行时集成和重新配置的系统。

Insup Lee 是宾夕法尼亚大学计算机和信息科学学院的 Cecilia Fitler Moore 教授，并担任 PRECISE 中心的主任。他同时在电气和系统工程学院任教。他的研究兴趣包括信息物理系统、实时系统和嵌入式系统、运行时间确信度及验证、信任管理和高信任度医疗系统。他在威斯康辛大学麦迪逊分校获得计算机科学博士学位。他是 IEEE 会士，于2008年获得了 IEEE TC-RTS 的杰出技术成就和领导奖。

John Lehoczky 是卡内基·梅隆大学的统计学和数理科学教授。他从事实时系统领域的研究，最著名的是他在单调速率调度算法的发展和实时排队论方向的研究工作。因对实时系统工程中基本理论、实践及标准的制定起了技术引导作用并做出了巨大的贡献，他在2016年被授予 IEEE Simon Ramo Medal 奖。他是 ASA、IMS、INFORMS、AAAS 的会士，并且是 ISI 推选的成员。

Yilin Mo 是南洋理工大学电气学院的助理教授。他于2007年获得清华大学自动化工程学士学位，于2012年获得卡内基·梅隆大学电气和计算机工程博士学位。在成为助理教授之前，他于2013年在卡内基·梅隆大学、2013年到2015年在加州理工学院从事博士后访学工作。

Adrian Perrig 是瑞士苏黎世联邦理工大学计算机科学学院的教授，他领导了网络安全组。他也是 CyLab 的一位杰出研究员，是卡内基·梅隆大学电气和计算工程学院、工程和公共政策学院的副教授。Perrig 博士的研究方向围绕构建安全系统，目前他正从事 SCION 安全的未来互联网体系结构的研究。

Alexander Roederer 是宾夕法尼亚大学计算机和信息科学的博士。他的研究兴趣包括高频、多源数据流中机器学习的应用——特别是开发临床决策支持系统。他在迈阿密大学获得计算机科学和数学学士学位，在宾夕法尼亚大学获得计算机与信息科学工程学硕士学位。

Matthias Rungger 是慕尼黑工业大学的一位博士后研究员，隶属于电气和计算机工程系的混合控制系统组。他的研究兴趣在于控制方面广泛的形式化方法领域，包括分析、物理信息系统的控制、基于抽象的控制器设计。Matthias 花了两年时间（从2012年到2014年）在洛杉矶加利福尼亚大学作为电气工程系博士后研究员从事研究工作。他在2007年于慕尼黑工业大学获得电气工程硕士学位，在2011年于卡塞尔大学获得博士学位。

Lui Sha 于 1985 年获得卡内基·梅隆大学博士学位。目前，他是伊利诺伊大学厄巴纳-香槟分校的DonaldB. Gillies 教授。他的团队在实时系统安全性方面的重要工作影响了许多大规模的高科技项目，包括 GPS、空间站和火星探路者。目前，他的研究小组正在为可认证的多核航空电子设备开发相关技术，同时为医疗系统（医疗 GPS）开发最佳实践指导。他是2016 年 IEEE Simon Ramo Medal 奖的联合获奖者，是 IEEE 和 ACM 的会士，也是 NASA 顾问委员会的成员。

Gabor Simko 是谷歌公司的高级软件工程师。他在 2008 年于布达佩斯理工大学获得技术信息学硕士学位，2010 年获得生物医学工程理科硕士学位，他在 2014 年作为计算机科学专业博士生毕业于范德比尔大学。他的论文主题是信息物理系统中特定领域建模语言的形式化语义规范。他的兴趣包括语音识别、语音活动检测、混合系统的形式化验证以及建模语言的形式化规范。

Bruno Sinopoli 于 1998 年在帕多瓦大学获得学士学位，于 2003 年和 2005 年在加州伯克利分校分别获得电气工程硕士和博士学位。Sinopoli 博士现在加入了卡内基·梅隆大学的教师队伍，他是电子和计算机工程系副教授，并且在机械工程和机器人技术研究所任职，并担任智能基础设施研究所的联合主任。他的研究兴趣包括建模、基于设计的信息物理系统安全分析与设计及其在相互依赖的基础设施中的应用、物联网和数据驱动的网络。

Oleg Sokolsky 是宾夕法尼亚大学计算机和信息科学学院的副教授。他的研究兴趣包括信息物理系统开发中形式化方法的应用、架构建模和分析、基于规范的监控以及软件安全认证。他于石溪大学获得了计算机科学博士学位。

John A. Stankovic 是弗吉尼亚大学计算机科学系的 BP 美国教授，他当了 8 年的系主任。他是 IEEE 和 ACM 会士。他拥有约克大学的荣誉博士学位。Stankovic 博士获得了 IEEE 实时系统技术委员会授予的杰出技术成就和领导奖。他还获得了 IEEE 技术委员会的分布式处理技术委员会颁发的杰出成就奖（首届获奖者）。他获得了 7 次最佳论文奖，其中包括 2006 年的 ACM SenSys 奖。也获得了两次第二名，其中一项是 2013 年的 IPSN 奖。他还入围了其他四项最佳论文奖的决赛。Stankovic 博士的 H 指数为 107，引用数达 41 000 多次。2010 年他获得了工程学院杰出教师奖，2015 年他被授予弗吉尼亚大学杰出科学家奖。Stankovic 博士也从马萨诸塞大学获得了杰出教师奖。他在会议上发表了超过 35 个主题演讲，并在各大学发表了许多杰出的演讲。目前他就职于美国国家科学院计算机科学通信委员会。他曾经是《IEEE 分布式和并行系统》会刊的主编，还是《实时系统杂志》的创始人和联合主编。他的研究兴趣是实时系统、无线传感器网络、无线健康、信息物理系统和物联网。Stankovic 博士从布朗大学获得博士学位。

Janos Sztipanovits 目前是范德比尔特大学的 E. 布朗森·英格拉姆杰出工程学教授，是范德比尔特大学软件集成系统研究所的创始董事。在 1999 年至 2002 年期间，他曾担任 DARPA 信息技术办公室的项目经理和代理副主任。他领导了 CPS 虚拟组织，主持了 CPS 参考架构，定义了于 2014 年由 NIST 建立的公共工作小组。在 2014～2015 年，他担任工业网络联盟学术指导委员会成员。Sztipanovits 博士于 2000 年当选 IEEE 会士，于 2010 年当选匈牙利科学院的外籍院士。

Paulo Tabuada 出生于葡萄牙里斯本，康乃馨革命后一年。他于 1998 年从技术研究

所获得航空航天工程“Licenciatura”学位，于2002年从系统与机器人研究所（一个与高等技术学院有关的私立研究机构）获得了电气和计算机工程的博士学位。从2002年1月到2003年7月，他是宾夕法尼亚大学的博士后研究员。在圣母大学当了三年的助理教授之后，他加入了加州大学洛杉矶分校电气工程系，在那里建立和指导了信息物理系统实验室。Tabuada博士对信息物理系统的贡献已经被多个奖项公认，包括2005年美国国家科学基金会事业奖、2009年Donald P. Eckman奖、2011年George S. Axelby奖、2015年Antonio Ruberti奖。2009年，他共同主持了混合动力系统国际会议——计算和控制（HSCC’09），并于2015年加入其指导委员会。他还是分布式评估和网络控制系统（NecSys’12）的第三届IFAC研讨会的项目联合主席，以及2015年混合系统分析和设计IFAC会议的项目联合主席。他还在《IEEE嵌入式系统》以及《IEEE自动控制》会刊的编辑委员会任职。他的最新著作（关于混合系统的验证和控制）于2009年由Springer出版。