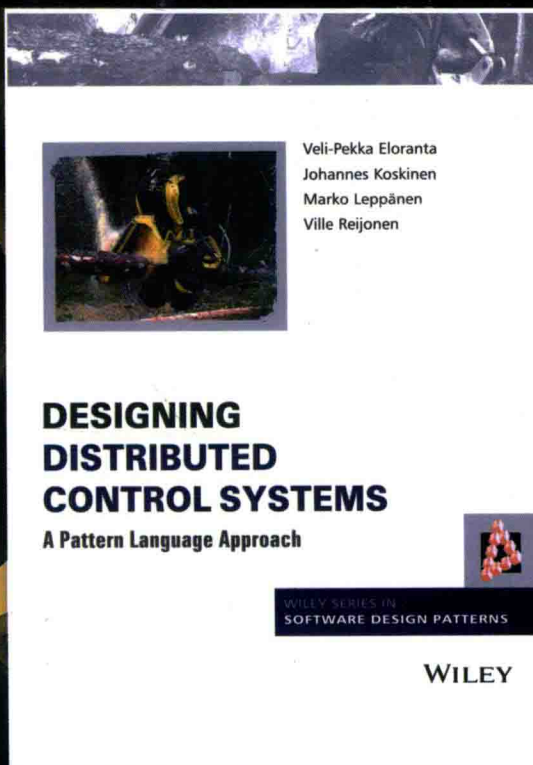


分布式控制系统设计

模式语言方法

[芬] 维利-佩卡·埃洛兰塔 (Veli-Pekka Eloranta)
乔纳斯·科斯基宁 (Johannes Koskinen) 著
马可·利帕宁 (Marko Leppänen)
维莱·雷约宁 (Ville Reijonen)
蔡远利于振华 孙增国 译

Designing Distributed Control Systems
A Pattern Language Approach



计 算 机 科 学 丛 书

分布式控制系统设计

模式语言方法

[芬] 维利-佩卡·埃洛兰塔 (Veli-Pekka Eloranta)
乔纳斯·科斯基宁 (Johannes Koskinen) 著
马可·利帕宁 (Marko Leppänen)
维莱·雷约宁 (Ville Reijonen)
蔡远利 于振华 孙增国 译

Designing Distributed Control Systems
A Pattern Language Approach



Veli-Pekka Eloranta
Johannes Koskinen
Marko Leppänen
Ville Reijonen

**DESIGNING
DISTRIBUTED
CONTROL SYSTEMS**

A Pattern Language Approach



SOFTWARE DESIGN PATTERNS

WILEY



机械工业出版社
China Machine Press

图书在版编目 (CIP) 数据

分布式控制系统设计: 模式语言方法 / (芬) 维利 - 佩卡·埃洛兰塔等著; 蔡远利, 于振华, 孙增国译. —北京: 机械工业出版社, 2017.11

(计算机科学丛书)

书名原文: Designing Distributed Control Systems: A Pattern Language Approach

ISBN 978-7-111-58390-5

I. 分… II. ① 维… ② 蔡… ③ 于… ④ 孙… III. 分布控制 - 控制系统 - 系统设计
IV. TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 267253 号

本书版权登记号: 图字 01-2014-4439

Copyright © 2014 John Wiley & Sons, Ltd.

All Rights Reserved. This translation published under license. Authorized translation from the English language edition, entitled Designing Distributed Control Systems: A Pattern Language Approach, ISBN 978-1-118-69415-2, by Veli-Pekka Eloranta, Johannes Koskinen, Marko Leppänen, Ville Reijonen, Published by John Wiley & Sons. No part of this book may be reproduced in any form without the written permission of the original copyrights holder.

本书中文简体字版由约翰·威立父子公司授权机械工业出版社独家出版。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。

本书封底贴有 Wiley 防伪标签, 无标签者不得销售。

本书讨论分布式控制领域中的软件体系结构, 创新性地将计算机科学中的“模式”概念引入这项研究, 从主流工业实践中甄选出 80 种实用模式, 并将其组织为模式语言, 为应对各类设计问题提供了成熟的解决方案。这 80 种模式涵盖消息模式、数据管理模式、人机界面模式和机群管理模式等, 从问题到方案再到应用均清晰易读。

本书适合机械工程师、设计师和管理人员阅读, 也是计算机和自动控制等相关专业学生的有益参考资料。

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: 朱秀英

责任校对: 殷虹

印刷: 北京瑞德印刷有限公司

版次: 2018 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

开本: 185mm × 260mm 1/16

印张: 20.5

书号: ISBN 978-7-111-58390-5

定价: 99.00 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: hzsj@hzbook.com

版权所有·侵权必究

封底无防伪标均为盗版

本书法律顾问: 北京大成律师事务所 韩光 / 邹晓东

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, Alfred 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，我们的联系方式如下：

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



华章科技图书出版中心

译者序

Designing Distributed Control Systems: A Pattern Language Approach

各种不同类型的机器已经成为现代人类社会不可缺少的部分。在过去，一般认为机器系统的设计与开发是机械工程师的事，但随着机器功能的增加和复杂性的提高，机器控制系统的设计和开发成为相对独立的领域。机器控制系统离不开软件，甚至是非常复杂的软件。软件的体系结构决定了整个系统的品质，然而，机器控制系统工程师通常缺乏软件领域的专业知识，对软件的体系结构认识得也不够充分，可以说软件系统和机器控制领域之间存在巨大的鸿沟。

现代机器结构越来越复杂，功能越来越强大，分布式控制已经成为机器控制系统必然的选择，也是近年来研究和设计人员面临的巨大挑战。如何设计好的机器控制系统软件呢？本书从一个新的角度探讨了机器控制系统设计方法的基本原理，主要讲述如何运用模式来设计面向机器的分布式控制系统。模式提供了解决特定问题的原理和思路，而不是具体的技术细节。模式对应于特定设计问题的解决方案，其源于已得到成功应用的系统，开发人员可以在设计中复制这些解决方案。

本书内容丰富，涉及许多行业和领域。书中首先介绍了分布式控制系统的特性、设计方法和面临的挑战，然后进入核心内容——作者从成功的机器系统开发中提炼出来的 80 种模式，包括分布模式、消息模式、事件处理模式、控制系统模态的模式、数据管理模式、处理稀缺资源的模式、软件和硬件的解耦模式、冗余模式、系统启动模式、软件更新模式、人机界面模式、高层服务模式、机群管理模式、系统配置模式等。这些模式描述了分布式控制系统设计的解决途径，对于新系统的开发和旧系统的维护具有重要的作用，形成了分布式控制系统设计的模式语言。本书最后还利用书中模式设计了一个工作机器控制系统，用实例演示了模式语言的有效性。

本书将计算机科学领域中的模式概念引入机器控制系统的研究中，内容新颖，为分布式控制系统的设计与开发提供了一种新的手段，应用前景广阔。本书面向机器控制系统设计人员、系统工程师和系统管理人员，包括高级规划人员和项目经理等。当然，本书也可以作为本领域的教学参考书。

限于时间以及译者水平，译文中难免存在不当之处，恳请读者批评指正。

译者

2017 年 10 月于西安

你正在阅读的这本书，收集了构建具有分布式软件控制系统的工作机器所需要的关键体系结构和设计原则。本书作者多年来潜心研究真实机器的设计，提炼出了最常见、最有用的原理，这些原理将在本书中加以讲解，非常值得期待。由于他们把书中的模式带到许多会议中去研讨和完善，使整本书更加实用，因此我一直在关注本书的进展。我确信，你将发现他们关于工作机器控制系统环境以及构造有效系统原理的分析是行之有效的。

机器无处不在。本书感兴趣的机器包括固定的和可移动的机器，这些机器在工业环境中为我们工作。本书作者称它们为“工作机器”，从大型造纸机到小型移动装载机均属此列，其他例子还有叉形起重机、采矿钻孔机，以及诸如拖拉机和收割机之类的农林业机器、卡车、开凿机、升降机等。与仅依靠机械方法（如传送带和滑轮等）控制的旧式机器相比，现代机器更为复杂。这些复杂的现代机器得益于计算机控制，它们正变得体积更大、功能更多，这使得集中控制系统不再可行，也不再受欢迎。取而代之的控制系统通过把控制器放在受控系统部件附近，使得控制系统分散到机器的各个部分。

这些机器是昂贵的、长寿命的实时系统，必须连续不断地运行。为了获得投资回报，它们必须根据需要运行，同时为操作者和公众提供安全提示。本书从不同的角度研究了从全机械系统到分布式软件控制系统的演化。其中，极大化在新机器上的大投入带来的收益以及维护方面的好处，就是提高经济收益的一个例子。这就引起了关于机器作为服务和生产商如何在机器卖出后能够持续获利的讨论，关键领域的专家评论支撑了作者对这个主题的分析。根据软件工程原理以及行业的质量标准，那些需要获得满意结果的实践得到了检验。所有这些主题都贯穿在本书的模式中。

本书的主要贡献不是对分布式控制系统及其在当前和未来的作用的深刻讨论，而是 80 个模式。对于分布式控制系统设计中的内在问题，这些模式描述了已被证实的解决方案。无论你正在设计一个新的系统，或者维护一个旧的系统，或者仅仅是一名学习软件体系结构的学生，这些模式都是非常有用的。

模式描述了特定问题的解决方案，这些解决方案的正确性已得到验证且包括足够的细节，因此在设计中可以复制这些解决方案。书中描述了问题存在的背景（即来龙去脉），以及使问题难以解决并且必须彼此折中考虑的因素。通过明确给出每种解决方案的结果部分（这也许涉及应用其他附加模式），本书采用了这种略加调整的“模式形式”。模式的构造是为了便于阅读，黑体文字用来表示关键部分。仅通过阅读黑体文字略读本书，就会让你对整个分布式机器控制模式语言有个整体印象。

模式“开采”于现存系统中——本书的模式是作者从许多不同的机器制造商生产的机器中开采出来的。在这种模式开采的过程中，作者发现了很多好的想法，但不是所有好的想法都是真正的模式。本书模式描述的解决方案至少出现在三种不同的机器中，因此是令人信服的好的解决方案。

在每种模式的结尾处，至少描述了该模式的一个已知应用。这些已知应用为工作机器提供了一种富有启发性的视角，以及实现这些模式的方式。模式不代表着盲目应用，而已知应

用提供了模式应用的实例。当你使用这些模式设计自己的系统时，需要改写本书中提供的模式，以便适应系统的具体环境。

单一模式本身是有用的，但只有当模式组合在一起使用时，它们的真正功能才能呈现出来。与仅应用选定的单一模式相比，模式组合能使系统的开发更进一步。

本书中的模式总体上形成了一种模式语言，各章节即为各种子语言，比如配置、数据管理、事件管理、机群管理、消息发送、冗余、启动、更新等。书中用特别长的一章论述了人机界面模式，这是许多作者涉及的领域，主要集中在计算机系统或互联网。本书作者则关注当机器可能有危险或者不是所有的部分都可见时，操作者如何与机器进行交互这一独特的问题。

本书中的模式并不是你将要使用的唯一模式。当你启动一个新的项目时，使用模式的最好方法是创建自己的个人目录。本书中的模式为你的分布式控制系统项目目录提供了核心内容。另外，其他已经发表的模式以及只有你或你的公司知道的其他模式也都会用到。作者在本书中经常参考其他模式集，比如我的软件容错模式集，另外也参考了相关的工业标准。作者没有重新书写并发表这些内容，而是指出把它们作为你进一步研究的资源，并包含在你的模式目录中，这也表明这 80 个模式并不是你需要的唯一模式集。

你将会发现本书中的模式是非常深刻的，它们简洁易懂，其中很多模式描述了你所熟悉的概念。本书作者做了一项非常好的工作，解释了如何把这些模式应用于机器控制系统的设计。我非常荣幸能为本书写序，我深信当你研究、设计、构建和维护工作机器控制系统时，会发现本书具有良好的研究和应用前景。

罗伯特 S. 汉默 (Robert S. Hanmer)

《Patterns for Fault Tolerant Software》和《Pattern Oriented Software Architecture For Dummies》的作者
美国，伊利诺伊州，格伦维尤

本书的工作始于 2008 ~ 2011 年期间的 Sulake 和 Sulava 项目，项目受到 Tekes（芬兰技术和创新基金会）的资助，并由 Kai Koskimies 教授领导。我们非常感谢 Kai 的支持、鼓励和反馈。写一本关于机器控制系统模式的书籍的想法源于 Ilkka Haikala 教授（1952—2010），这本书也是对他的纪念。此外，我们还要感谢 Tommi Mikkonen 教授的支持和反馈。

感谢 Vesa-Matti “Härski” Hartikainen，他参与了本书早期的模式收集工作。非常感谢 Jari Rauhamäki 和 Pekka Alho 对我们工作的反馈以及对本书的贡献。

还要对 Janne Viitala 表达我们的感谢，他不知疲倦地为我们提供严谨的反馈，并对出现于本书中的领域和解决方案提出了深刻见解。此外，我们要感谢 Mika Karaila 对于本书草稿的改进建议。

若没有芬兰机器制造公司的开放和信任，本书将难以写成。这些公司欢迎我们考察他们的控制系统，并为我们会见相关领域的专家提供了机会。因此，真诚感谢参与到本项目中的所有公司：Acgo 电力、Alstom 电网、Creanex、Epec、John Deere 林业、Kone、Metso、Microteam、Remion、Rocla、Sandvik、Siemens、SKS 控制、芬兰空间系统、Tana 和 Tidorum。特别感谢 Kari Lehmusvaara 的支持，以及热心为我们提供本书封面照片的 John Deere 林业。此外，还要真诚感谢智能机器论坛和 Antti Siren 的协作。

我们也要感谢模式协会中许多热心人令人鼓舞的讨论以及从我们的研讨会上得到的反馈。特别要向给我们介绍模式的 Jim Coplien、对我们的工作进行反馈的 Bob Hanmer 以及提供 BEACON 模式已知应用的 George Platts 表达感谢。另外，我们要感谢所有 PLoP 模式论文的指导者：Jorge L. Ortega Arjona、Bob Hanmer、Klaus Marquardt、Farah Lakhani、Dirk Schnelle-Walka 和 Michael Weiss。我们也要感谢 Hillside 和 Hillside Europe 的热心人。

我们也要向 Ellie Scott 和 Wiley 团队其余的人表示感谢，他们在本书写作期间向我们提供了支持。

真诚感谢 Pirkanmaa 文化基金会和 Kaute 基金会对于本书写作的支持。Marko 和 Veli-Pekka 也要向在本书写作期间资助他们奖学金的 Nokia 基金会表达感谢。另外，Veli-Pekka 真诚感谢 Emil Aaltonen 基金会授予的奖学金。

模式写作是一项需要高度协作的工作，因此一个安静而令人振奋的环境对于成功的模式写作和研讨会是必需的。我们要感谢 Kirsti 和 Kauko Reijonen 允许我们使用他们的工作室（Moosefabrik）撰写和讨论模式。

Marko 真诚感谢他的所有同事、朋友和家人的支持以及参与我们有意思的讨论的所有人。Huge 要感谢 Saana 在强化写作的那几个月呈现出的耐心以及为参与这项工作所提供的机会。最后，他要表扬尽力、称职的“WATCHDOG” Vihtori。

Veli-Pekka 真诚感谢所有合著者、同事和朋友的令人振奋的交谈和建议——其中部分已经体现在本书中。他也要真诚感谢他的父母，特别是大哥 Tero 鼓励他坚持自己的学术生涯。最后，他要感谢自己亲爱的妻子 Aija 在本书写作期间给予的鼓励、支持和付出。

Johannes 特别要感谢他的家庭成员 Anu、Kaisa 和 Helena。对于他们而言，本书意味着

孤独的晚上、白天和周末。尽管他的心思都集中在本书上，他们还是支持他。他还要真诚感谢本书的合著者 Marko、Veli-Pekka 和 Ville（按字母顺序排列），他们为自己提供了参与本书写作的机会，并就科学和软件工程的本质特征和自己进行了长时间的交谈。

Ville 要热情拥抱他的家庭成员 Ewa、Alvin 和 Sara，包括父母和姐妹。写作本书、公寓装修和照顾小孩都集中在这一年——没有你们，他不能完成所有这些工作。

本书实际上是集体智慧的结晶，许多人都参与到从零到形成一本模式书籍的征程中。非常感谢所有参与本项工作的人们。最后，Ville 真诚感谢他的合著者，他们进行了长时间密切、深入的讨论。

最后，我们要向对本书感兴趣的所有读者致以诚挚的谢意。

| | |
|---------------------------------|-----|
| 出版者的话 | |
| 译者序 | |
| 推荐序 | |
| 致谢 | |
| 第 1 章 绪论 | 1 |
| 1.1 为什么阅读本书 | 3 |
| 1.2 如何使用本书 | 3 |
| 1.3 与过去工作的比较 | 4 |
| 第 2 章 分布式控制系统领域 | 6 |
| 2.1 分布式控制系统的特性 | 8 |
| 2.2 通用方法和挑战 | 20 |
| 2.3 本领域的新趋势 | 35 |
| 第 3 章 软件体系结构和质量 | 47 |
| 3.1 什么是质量 | 47 |
| 3.2 质量属性 | 48 |
| 3.3 度量质量 | 50 |
| 3.4 外部质量和内部质量 | 51 |
| 第 4 章 关于模式 | 53 |
| 4.1 什么是模式 | 53 |
| 4.2 从模式到模式语言 | 56 |
| 4.3 本书中模式的故事 | 58 |
| 4.4 本书中使用的模式格式 | 60 |
| 第 5 章 分布式控制系统的模式语言 | 62 |
| 5.1 控制系统 | 63 |
| 5.2 看门狗 | 67 |
| 5.3 自检 | 70 |
| 5.4 强制输入值 | 70 |
| 5.5 错误计数器 | 71 |
| 第 6 章 分布模式 | 72 |
| 6.1 孤立功能 | 72 |
| 6.2 分布式安全 | 76 |
| 6.3 心跳 | 79 |
| 6.4 全局时间 | 81 |
| 第 7 章 消息模式 | 85 |
| 7.1 一对多 | 86 |
| 7.2 高层协议 | 90 |
| 7.3 消息接口 | 94 |
| 7.4 协议版本握手 | 94 |
| 7.5 消息队列 | 94 |
| 7.6 分类消息 | 97 |
| 7.7 消息信道复用 | 97 |
| 7.8 消息网关 | 97 |
| 7.9 消息向量时钟 | 98 |
| 7.10 唯一确认 | 101 |
| 第 8 章 事件处理模式 | 102 |
| 8.1 通知 | 102 |
| 8.2 通知级别 | 106 |
| 8.3 通知日志 | 109 |
| 8.4 预警 | 112 |
| 第 9 章 控制系统模态的模式 | 115 |
| 9.1 操作模态 | 116 |
| 9.2 安全状态 | 119 |
| 9.3 跛行模式 | 123 |
| 9.4 传感器旁路 | 126 |
| 9.5 无所忌惮 | 126 |
| 9.6 互换算法 | 129 |
| 第 10 章 数据管理模式 | 132 |
| 10.1 变量管理器 | 133 |
| 10.2 变量保护 | 138 |

| | | | | | |
|---------------|-------------------|------------|---------------|---------------|------------|
| 10.3 | 变量值翻译器 | 140 | 16.6 | 基于角色的 UI | 219 |
| 10.4 | 数据状态 | 144 | 16.7 | 替代操作站 | 221 |
| 10.5 | 计数器 | 147 | 16.8 | 多个操作站 | 225 |
| 10.6 | 快照 | 147 | 16.9 | 设备提供 UI | 225 |
| 第 11 章 | 处理稀缺资源的模式 | 151 | 16.10 | 信标 | 225 |
| 11.1 | 并发执行 | 152 | 16.11 | HMI 通知 | 228 |
| 11.2 | 静态调度 | 155 | 16.12 | 操作者配置文件 | 228 |
| 11.3 | 分离实时 | 158 | 16.13 | 公共外观 | 231 |
| 11.4 | 部分结果 | 162 | 第 17 章 | 高层服务模式 | 235 |
| 11.5 | 静态资源分配 | 165 | 17.1 | 诊断 | 235 |
| 11.6 | 储物柜密钥 | 167 | 17.2 | 黑箱 | 239 |
| 11.7 | 半任务 | 170 | 17.3 | 第三方沙箱 | 239 |
| 11.8 | 早期工作 | 173 | 17.4 | 远程访问 | 243 |
| 第 12 章 | 软件和硬件的解耦模式 | 176 | 17.5 | 动态信道选择器 | 246 |
| 12.1 | 硬件抽象层 | 176 | 第 18 章 | 机群管理模式 | 250 |
| 12.2 | 操作系统抽象 | 179 | 18.1 | 机群管理 | 250 |
| 12.3 | 虚拟运行环境 | 182 | 18.2 | M2M 通信 | 254 |
| 第 13 章 | 冗余模式 | 185 | 18.3 | 机会委托 | 254 |
| 13.1 | 1+1 冗余 | 185 | 18.4 | 系统适配器 | 254 |
| 13.2 | 投票 | 188 | 第 19 章 | 系统配置模式 | 255 |
| 第 14 章 | 系统启动模式 | 192 | 19.1 | 参数 | 255 |
| 14.1 | 引导程序 | 192 | 19.2 | 配置参数版本 | 259 |
| 14.2 | 系统启动 | 196 | 19.3 | 基于组件的配置 | 259 |
| 14.3 | 启动协商 | 199 | 19.4 | 控制系统选项 | 265 |
| 第 15 章 | 软件更新模式 | 200 | 第 20 章 | 应用模式 | 268 |
| 15.1 | 可更新软件 | 201 | 第 21 章 | 结束语 | 273 |
| 15.2 | 集中更新 | 204 | 附录 A | 质量属性表 | 274 |
| 15.3 | 无扰更新 | 207 | 附录 B | 模式手册 | 278 |
| 第 16 章 | 人机界面模式 | 208 | 参考文献 | | 289 |
| 16.1 | 人机界面 | 209 | 索引 | | 305 |
| 16.2 | 人工反馈 | 212 | | | |
| 16.3 | 两步确认 | 214 | | | |
| 16.4 | 直立就好 | 217 | | | |
| 16.5 | 基于任务的 UI | 218 | | | |

绪 论

“万物皆有始，开端必有因。”

——《弗兰肯斯坦》(Mary Shelley)

你正在读一本机器控制领域中关于软件体系结构的书。书中涉及分布式系统和非分布式系统，而重点是分布式系统。书中不仅讨论固定的机器，同时讨论可移动的机器。

自从人类拥有了必要的机器，手工劳作就变得简单了，同时生产效率也提高了。蒸汽机发明之后，机器发展变化非常迅速。早先人们通过皮带和滑轮用发动机为各种自动化设备提供动力。当发动机体积越来越小，变得便于携带，有人想出将发动机安装在框架结构上，使发动机本身可以移动，这便是最初的拖拉机。从此，开启了可移动机器的发展历史。如今，发动机已经演变出了电力型、柴油型和混合型，框架结构也越来越复杂，可能包括完成特殊任务的工具和吊杆。可移动的机器不再是一般意义上的拖拉机，而是完成特殊工作的高度专业化的机器。机器上的工具和设备也变得越来越复杂，能够准确和有效地完成工作任务。

例如，图 1-1 显示了一辆老式起重机在往卡车上装载木材。照片中原始的集材机已经将砍伐的木头从站台拖到装载区。现代传送机可以用吊杆将木材转移到货车上，然后再把它们转移到路边。由于不拖动木材，受到地面的磨损较小，在站台上便可将木材切割为希望的长度。当然，伐木工人也可以用电锯来完成这项工作，但现代收割机可以自动切割，只需要按几个按钮就可以将直立着的树木切割成精准长度的木材。



图 1-1 老式罗克莫林业机械 (经 John Deere 林业公司同意转载)

上述自动化主要是通过软件来完成的。这些软件的开发与其他领域工作机器的开发途径类似：简单拖拉机已经成为食品生产链中装载软件的一环。研磨过程不再由熟练工人操纵，取而代之的是成千上万的编码指令。现代汽车中大概有 200 个控制器 (Ebert & Jones, 2009)，每个控制器都运行着各自不同的软件。汽车中的软件比一般人类驾驶者反应更快、更准确。尽管在某些环境下，熟练工人在疲惫状态下也可以比计算机控制的机器做得更好，然而，软件却可以永不疲惫地根据需要不停地工作。此外，商业竞争过去集中在机器硬件上

的差异化创新，现在开始延伸至软件特质：那些能够生产出最佳自动化性能和良好实用性机器的商家，似乎都能获得更大的市场份额。软件可以使机器达到极致：没有控制系统软件的支撑，就没有高效率和新特性。

图 1-2 是一台具有许多自动化特征的采矿机，非常便于操作人员使用。



图 1-2 现代机器为操作人员提供多种自动化功能——山特维克 DI-550 平面凿岩机（经山特维克矿山与建设公司同意转载）

然而，我们觉得仍有一道待跨越的深渊。对于机器控制系统而言，软件是一个相对新的东西，而且简单的机器控制系统软件是封闭开发的。此外，控制系统设计者的背景一般是其他领域，例如自动化工程，他们很少精通软件。经理们似乎也在软件赋予的商机中举步维艰。更糟糕的是，由于控制系统的复杂性和领域的特殊性，机器控制领域的软件设计和实现都变得非常困难。想要开发能够改善客户体验的高品质软件系统，熟知软件工程中涉及的所有细节是必需的。如果客户对机器控制系统软件的性能不信任，就将会引发重大的危机。例如，丰田汽车公司经历的著名事件就是由软件所引发的（Murphy, 2013）。

在我们看来，软件的关键性能就是软件的体系结构，它决定了整个系统品质。因此，本书将通过体系结构和软件系统设计，研究影响系统品质的不同方面。

机器行业的商务已经转变为面向服务：售卖机器仅仅是制造商与客户长期商务合作及伙伴关系的开端。这让制造商在机器的整个生命周期都有收获，通过提供服务以提高客户忠诚度和进一步购买的愿望。软件可以成为客户服务中一个关键的推手。然而，制造商似乎开始使用那些已经在其他领域被证明不正常的手段，例如锁定设备的数字权限管理。雷诺 Zoe 汽车电池租赁过程便是其中的一个例子（Hucko, 2013）。我们认为软件体系结构应该达到能够使各方受益的开放度。此外，机器控制系统正逐渐网络化，“系统的系统”变得越来越普遍。即使在软件工程领域，系统的系统也是一个新的方面，要求系统结构具有预先设计的集成属性。

我们将在本书中简明地讨论这些话题。然而，本书力图构建跨越软件系统和机器控制领域之间的桥梁。目前，对于机器控制系统，好的软件设计方法还没有形成基础知识体系，本

书致力于成为这些知识的源泉。我们认为在展开细节讨论之前，基本原理必须是正确的，所以本书介绍的内容是软件体系结构，而不是具体的实现细节。我们选择了一种系统方法——模式——作为传播知识的媒介。

1.1 为什么阅读本书

亲爱的读者，当你拿起了这本书，肯定是因为这本书的书名或封面引发了你的阅读兴趣。我们希望本书的读者具有各种各样的背景。你需要对机器控制系统或多或少有所了解。至少，希望你和我们一样，对这样的系统充满好奇心，不管你是一名学生还是经验丰富的老手。本书将为学生或初学者提供该领域通俗易懂的介绍。除了机器领域外，你需要具备一些软件系统及其体系结构方面的知识，甚至已经掌握了机器控制领域软件使用的一些技巧。你可以是一名饱含热情的探索者，正在思考本领域的模式种类；你也可以是一名管理者，你的职责包括与开发这样系统的软件团队进行沟通，你对机器控制系统的业务驱动极度感兴趣。我们希望这本书包含所有这些话题，能够充分满足你的兴趣。

如果你对这些领域中的任何一个都不熟悉，也不必担心。本书可以弥补你的不足，同时扩展你关于分布式机器控制软件如何设计的眼界，并帮助你构建顶尖的解决方案。除此之外，当你读完本书，你就会和该领域的专家拥有了共同语言。

本书高度依赖于模式的概念。你目前只需要知道，模式记录了重复设计问题中良好的解决方案，并且已经成为系统地表达良好解决方案的流行途径。一旦我们遇到工业界实际设计中记录的模式，就可以认为这些解决方案已经尝试和测试过了。在 4.3 节中，你可以读到更多关于如何获得模式的内容。

即便你是一个经验丰富的机器控制系统设计师，我们也希望你对自己的设计充满信心，或者从稍微不同的角度观察到一些基本设计原理。在我们看来，由于系统的生命周期很长，所以软件体系结构在机器控制领域极其重要。不仅如此，机器控制软件或许已经成为机械制造业差异化的关键因素，拥有和产品核心价值一样的重要性。与此同时，本领域中系统的特殊性（参见 2.1 节），使得软件体系结构成为投资软件开发的重要基石。如果控制系统体系结构设计不完善，那么几乎可以肯定迟早会出现事与愿违的结果，这在机器控制领域意味着付出高昂代价。

如果你对本书感兴趣，但担心没有充足的时间来阅读，下一节将介绍快速掌握全书要点的办法。

1.2 如何使用本书

本书意味着实用，可能需要反复阅读。本节介绍如何阅读才能让本书对你最有帮助。如果赶时间，你可以在一个小时内读完本书，方法是阅读标题和附录 B 模式手册——模式的问题与解决方案。在深入讨论细节之前，我们鼓励你采用这个方法了解本书的主要思想。

本书的主要内容是描述各种模式。一个模式的主要内容包括它的名字、它所解决的问题以及实际解决方案。我们用不同的字体格式来描述模式的这些内容，详见 4.4 节。此外，附录 B 中有一个表格罗列出了所有的模式，包含名字、问题和解决方案。模式手册的另外一个通常的叫法是模式略图。

我们还将模式组织起来，形成模式语言，它记录了运用模式的逻辑顺序。具体内容请看第 4 章，那里详细讲解了如何使用模式语言，并以图表的形式表现模式语言。根据模式的主

题，我们将模式语言分解为不同的子语言。在第5～19章中也可以看到这种划分。

本书还有一个配套网站，www.wiley.com/go/controlssystemspatterns，在这里可以找到本书中没有详细介绍的模式，还可以看到模式语言的详细图表。由于篇幅限制，本书没有收录这些内容。我们认为这些内容在线浏览更好，读者可以随意地浏览模式语言，并看到所有模式的更新版本。

我们建议你在配套网站上快速浏览模式语言图表，查看模式的名字，以及在不同子领域中的分布。然后，你可以通过问题和解决方案，查找并阅读对应模式的具体内容。如果你对某个模式感兴趣，就可以仔细地阅读。如果其中涉及陌生的模式，附录B可以提供帮助。你也应该查找模式语言中陌生模式所在的位置，以便了解它们的含义：模式语言解释了模式是如何组合在一起的。由于领域非常大，因此存在遗漏，但有些模式在其他著作中已经有介绍。1.3节提供了进一步阅读的参考文献。

5

附录A提供了一个质量属性列表。我们已经将模式进行排列，边上附有一套质量属性，这些属性大多来自ISO/IEC 9126质量标准（ISO，2001）。我们已经列出了这些模式对系统体系结构总体质量的影响。采用某模式可以改善的质量属性标记为加号“+”。然而，应用一个模式总有一定的代价。每个模式的作用都有两面性，由于采用某模式而会减弱的质量属性标记为减号“-”。这些标记并不表示定量性质，而是仅仅表明，如果你想用特定的模式为你的设计改进某方面的质量，你也应该知道会丢失其他方面的好处。软件体系结构必须权衡得失。想要了解更多关于质量的信息，参见第3章。

如果你期望得到快速设计成功系统的窍门，那么你会有点失望。模式提供的是解决特定问题的原理和思路，而不是具体的技术细节。模式描述了一个好方案的属性，但是不能提供一个设计的代码示例或者类结构。本书不是程序设计手册，也不是食谱。为了强调这点，我们只提供所有与设计相关的略图，而不是现成的UML图。本书可以教授学生某个专题的概貌和入门知识，但是不教授具体的编程。我们假设你已经具备初步的编程和设计知识。

本书对于机器工程领域的管理者也是有价值的——可以让管理者深入了解程序开发员在设计会议中在谈论什么。

1.3 与过去工作的比较

虽然你现在已经对本书的内容有了大致了解，但是仍然对本书在同类著作中的地位有疑问。本书的主要思想是告诉你如何运用模式来设计面向机器的分布式控制系统的软件体系结构，如果你对于该领域或者软件工程概念不熟悉，本书一定可以帮助你对于这些有新的深入认识。然而，如果你已经非常熟悉软件模式和机器控制系统，你可能想知道通过本书会有什么收获。正如你可能知道的那样，已经有介绍类似问题的著作。

6

本书的初衷是介绍模式所构造的特殊整体——机器软件体系结构。然而，我们也频繁地引用了一些其他的书籍。其他的著作侧重于不同的方面，对我们的研究领域有其重要性。例如，本书经常提到的容错模式（Hanmer，2007）和记忆存储模式（Noble & Weir，2001）对所有的嵌入式软件都是非常重要的。

模式可以提供一些好的解决方案，而不局限于特定的领域。因此，对于一些以前编写的模式，如WatchDog和HeartBeat，我们认为它们在机器控制系统中有自己的独到性，在研究该领域独特性时不得不提及这些模式。软件工程研究所（SEI）采集了很多战术，在某种意义上说，这些战术就是广义的模式（Bachmann等，2007）。战术关注特定的质量属性，而

模式则能够解决许多兵力问题。有很多战术经过改良后可以应用于机器控制领域，例如可以提高实用性 (Scott & Kazman, 2009) 或安全性 (Preschern 等, 2013)。

有非常多的书籍讨论本领域重要的专题。其中很多书与模式方法无关，通常偏重于机器控制的特定方向。例如《Real-Time Systems》(Kopetz, 1997) 和《Distributed Systems: Concept and Design》(Coulouris 等, 2011)，这些书中均以自由格式形式给出解决方案，重点在于解决方案实现及其细节，而没有从体系结构原理上介绍什么时候、为什么要应用所述方案。它们是设计阶段之后深入到控制系统具体细节实现时的宝贵指南。

Buschmann 等人在他们著名的 POSA 系列丛书第五册中指出，下一个模式方法中的大事件是专业领域的模式语言，尤其是在嵌入式领域 (Buschmann 等, 2007a)。通过整理本专业领域的所有相关设计知识，希望我们已经回应了这个号召。我们认为本书中的模式语言是独一无二的贡献，因为几乎还没有面向构建一个完整系统的模式语言。事实上，许多已经发表的模式语言只针对不同系统某个方面的问题。

分布式控制系统领域

“机器并不能使人和大自然相隔离，而是让人更深入地了解大自然。”

——《风沙星辰》(Antoine de Saint Exupery, 1939)

机器控制系统涉及的领域很广，本书中有意进行了多样化的解释。这个领域包含移动和静止的工作机器，包括收割机、叉形起重机、卡车、拖拉机、装载机、起重机、电梯、水流切割机以及其他类型的机器。出于不同的原因，这些系统经常是分布式的，但是它们有时会以集中的方式实现。本书同时讨论两种系统：分布式的和非分布式的，但更侧重分布式系统。另外，和机器控制系统相关的很多事物也适用于更广泛的过程自动化系统领域，如纸张制造机和电力分配系统。这种系统的一个例子如图 2-1 所示。

9 尽管这些自动化系统在外表上看起来不同于移动工作机器，但它们的软件应用并没有很大差异。软件的一些特性（见《Characteristics of Distributed Control Systems》第 12 页）也许在过程控制中存在显著差异，但基本的原理仍然是相同的。通常，过程自动化系统也许要比用于工作机器的控制系统更加先进，因为用于实际的诸如 CPU 电源和内存等资源通常要比一个移动机器上的更加丰富。本书出现的大部分解决方案对于任意的机器控制系统都是有用的。

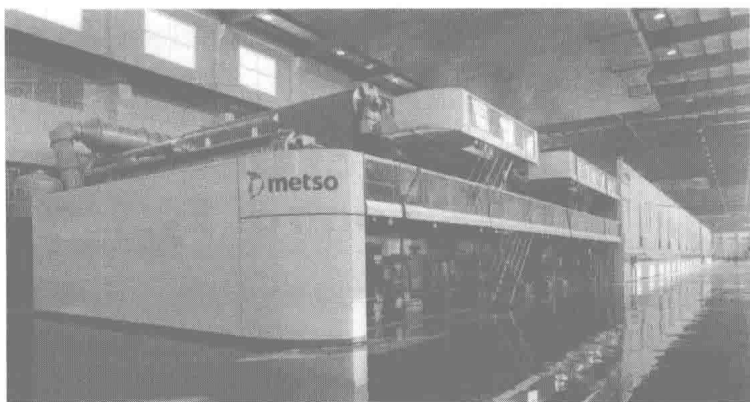


图 2-1 Metso 为联盛纸业（龙海）有限公司提供的硬纸板生产线（经 Metso 自动化公司同意转载）

本书中许多运行实例来自移动工作机器，因为它们具有相同的基本结构。基本上每个人都见过挖掘机在建筑工地上搬运大量泥土，或者拖拉机拉着一些工具穿过田地。工作机器通常具有某种框架，其余的所有部分就依附在这个框架上。这个框架在一组轮胎或连续轨道上行进——有时候是这两者的组合。图 2-2 给出了一辆 John Deere 1910E 传送车，它具有轮胎，轮胎装有铁链以使它在柔软地面上具有更大的牵引力。在某些罕见的情况下，框架可能安装在一组支架上。当机器必须移动时，动力是必需的。如果这个机器必须完全自由地移动，就要安装引擎，典型情况下使用柴油机。有时该引擎由电驱动，或者是使用一组电池的混合系统。在某些情况下，当移动区域是受限的，机器能够使用由电缆、轨道或接触线组成