



国际电气工程先进技术译丛

OPC统一架构

OPC Unified Architecture

Wolfgang Mahnke

(德) Stefan-Helmut Leitner

Matthias Damm

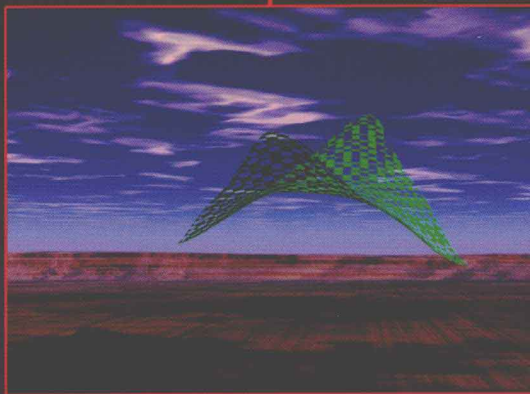
马国华

著

译



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



国际电气工程先进技术译丛

OPC 统一架构

Wolfgang Mahnke

(德) Stefan-Helmut Leitner 著

Matthias Damm

马国华 译



机械工业出版社

OPC 基金会定义了在线自动化系统之间的数据交换标准，成功地应用在工控自动化行业中。新的 OPC 统一架构（OPC UA）统一了现行标准，采用面向服务的架构（SOA）。原来的 OPC 应用程序只能运行在基于 Windows 的 PC 系统上，而新标准的主要优点在于平台的无关性。

本书首先简单介绍了传统 OPC，并简短概述了 OPC UA；接下来侧重介绍信息建模，也就是使用 OPC UA 数据如何被表现，并介绍了如何操作已经建立好的 OPC UA 信息模型；然后对 OPC UA 的安全方面进行了讨论，介绍了 OPC UA 的应用程序架构和系统架构，并介绍了如何从传统的 OPC 概念映射到 OPC UA 概念，如何从传统 OPC 应用程序转移到 OPC UA 的方法；最后本书对 OPC UA 协议子集进行介绍，并对 OPC UA 与传统 OPC 的性能进行了对比。对于那些需要进一步查询 OPC UA 详情的读者，本书的附录给出了参考。

本书对 OPC UA 整体进行了深入浅出、易于理解的介绍，并对一些标准中不直接提到的概念进行了解释。本书既可以作为工控自动化专业研究生和老师的参考，也为从事自动化工程应用的工程技术人员以及研发人员提供了宝贵的参考资料。

Translation from the English language edition;

OPC Unified Architecture; edited by Wolfgang Mahnke, Stefan-Helmut Leitner, Matthias Damm; Copyright © 2009 by Springer LLC.

All Rights Reserved.

本书简体中文版由 Springer 出版社授权机械工业出版社独家出版。

版权所有，侵权必究。

本书版权登记号：图字 01—2010—4073 号。

译 者 序

OPC UA (Unified Architecture, 统一架构) 作为 OPC 基金会大力推介的最新标准, 其相关文档和资料基本上都是英文的, 不利于国内工业控制软件的发展。本书的英文版是由业内的权威专家完成, 并得到了较好的评价。其内容较为易懂, 适合初次接触 OPC UA 的用户阅读。为了推动 OPC UA 在国内的普及, 特将其翻译为中文出版。

本书的中文版是 OPC UA 规范的第一本中文书籍, 由于 OPC UA 规范是一个全新的规范, 有一些术语目前尚无通用的中文词汇。另外, 一些概念在新的规范中已经有了新的含义。还有些词汇在不同的行业和企业内部有不同的中文译法。本书的译者在查阅了大量相关资料后, 最终诚惶诚恐地选择了相对合适的译法, 与部分行业 and 企业的惯用方法可能有所不同, 请读者注意这些差别。

本书的中文专业词汇在第一次出现时, 都在括号内给出了英文原文, 而一些在软件开发和设计中作为关键字出现的英文 (如类或者服务的名称), 不方便翻译成中文的, 首次出现时都在英文后面用括号给出了中文释义, 具体列表见附录 D。

有一些专业词汇对于理解本书的内容和 OPC UA 规范都非常重要:

Node, 中文一般翻译为节点或结点, 在本书中, 统一使用“节点”。

Reference, 中文一般翻译为参考或引用, 在本书中, 统一使用“引用”。

Attribute 和 Property, 中文都翻译为属性, 在 OPC UA 中, 这两个词汇同时出现, 根据其含义的差别, 本书将 Attribute 翻译为“属性”, 将 Property 翻译为“特性”。在译者认为容易混淆之处, 会将英文附在括号中, 以帮助读者甄别。

Profile, 根据用途不同, 中文有翻译为“配置”、“轮廓”、“概要”等, 在本书中, 根据其表达的意思, 翻译为“协议子集”。

其他一些术语的翻译见附录 E。

由于本书新术语较多, 限于译者的水平, 不妥之处在所难免, 还望读者见谅。

本书翻译的过程中, 得到了 OPC 基金会中国促进会的大力支持。另外, 来自北京三维力控科技有限公司的殷远超、何迪江、陆云鹏、季然和童伟等人也为本书的翻译工作做出了重大贡献, 在此一并表示感谢。

译 者

原 书 序 一

OPC 基金会非常荣幸地推荐这本难得的好书，并感谢作者们付出的辛勤劳动。这本书提供了关于理解 OPC 基金会的技术和标准的坚实的框架，从最初到现在，以及最重要的 OPC 互操作性标准——这就是 OPC UA。

我很高兴认识这本书的作者已经很多年了，很显然他们是架构和开发方面的领导者，这使得 OPC 取得了如此瞩目的成功。这本书的读者们很幸运地能从这些实际上参与了开发 OPC 基金会 UA 规范和技术的专家们那里学到知识。

OPC UA 是由 30 多家公司花了约 5 年多时间共同开发的。完整的引用实现和技术的开发为的是使规范生效，以及证明技术的可行性。OPC UA 的目的是为工厂车间和企业之间的数据和信息传递提供一个与平台无关的互操作性标准。很明显，在开发的过程中，OPC UA 定位准确，延伸到了工业自动化之外的范围。OPC 已经涉及楼宇自动化、安全、家庭自动化、发电、包装以及石化领域。由于 OPC UA 的高度可扩展的架构，对智能嵌入式设备的部署也是很好的定位。

OPC UA 也是和其他标准制定机构通力合作的成果。OPC UA 是在复用现有的技术的前提下创建的，它汇集了所有必要的细节，为的是获得最真实、安全、可靠的互操作性。

这本书为您提供了坚实的基础，您可以学到一切您想知道的在 OPC UA 基础上为多个厂商的互操作性开发世界级产品的所有知识。

OPC 基金会很自豪地看到作者们从着手编著到出版这一路以来所付出的劳动以及取得的成就。我鼓励大家反复阅读这本书，在各自开发的领域或使用 OPC 产品的时候将其作为一本长期参考资料。作为读者，您将会庆幸自己拥有了这本书！

我鼓励大家不断地参考和充分利用好这本书。

Tom Burke

OPC 基金会总裁兼执行董事

原 书 序 二

在 5 年多的制作过程中，对于那些想和其他公司进行软件交互的厂商来说，OPC UA 象征了革命性的一步。OPC 基金会的一群具有奉献精神志愿者们献出了无数宝贵时间才完成了这一巨作。通过结合上一代 OPC 接口的功能以及计算机科学的最新成果，例如面向对象编程（Object Oriented Programming, OOP）、面向服务的体系结构（Service Oriented Architecture, SOA）、语义 Web（The Semantic Web）和网络模型数据库（Network Model Databases），OPC UA 代表了生产/消费数据以及任何复杂元数据（Metadata）的通用框架。

在 20 世纪 90 年代中期，OPC 基金会发表了它的第一个 Microsoft COM 规范——数据存取（DA），它规定了服务器如何暴露一个简单的层次组织（标签，tag），并由符合的客户端读取、写入和订阅。很快基金会紧接着推出了不同数据类型的其他的较受欢迎的规范，尤其是报警和事件（Alarms&Events, A&E）以及历史数据规范。随着 XML Web Services 技术的出现，基金会创建了 XML-DA，一个为 DA 设计的平台无关的 Web 服务接口，具有和原先的 COM 版相似的功能。但不幸的是，Web Service 版的性能比 COM 版慢了几个数量级，所以 XML-DA 没能成为特定平台的 COM 版更新更好的替代方案。为了创建一个真正的在运行中不丢失任何特点（或性能）的基于现存 COM 规范的替代品，OPC UA 因而在这样的呼声中诞生了。下面是 OPC UA 的一些设计理念：

- 支持使用复杂的而非简单数据的更广范围的应用程序（MES、ERP 和资产管理等）。
- 允许使用一组单一的、通用的和数据无关的服务集，暴露数据存取（DA）、报警和事件以及历史数据。
- 允许地址空间中的节点以层次和非层次网络连接。
- 通过使它们更抽象，不依赖于现有的通信技术，使规范能长期被使用。
- 通过使用已被广为接受的因特网标准（Web Services、XML、HTTP 和 TCP 等）来详细指明具体的数据序列化和协议映射。
- 允许暴露（以和数据本身相同的方式）富元数据（Rich Metadata），从而使普通用户能够解释数据而不用具备先验知识。

OPC UA 实现了所有的这些目标甚至更多。现在我们有可执行的规范、

VI OPC 统一架构

通信堆栈和在多个编程语言里的 SDK，以及第三方的高级开发工具包，我们真诚地邀请全世界的开发者共同使用 OPC UA 来创造高水平的互操作的软件应用程序。

由于高端的设计目标以及 OPC UA 的巨大范畴，目前该规范由 13 部分组成，简炼、精确而逐步深入。对于开发者和架构师来说，规范本身不是接近 OPC UA 最容易的方法。以 SQL 为例，有成千上万的软件开发人员能非常熟练地开发 SQL 应用程序，但是其中大多数人从来没有读过 SQL 规范。他们通过读书、学习开发商文档、上课等方式来学习了解 SQL。这本书是由 OPC UA 规范和代码的主要作者和贡献者们所写的，代表了您在编程和设计任务中学习和使用 OPC UA 最行之有效的方法。

Jim Luth

OPC 基金会技术董事

原 书 前 言

本书的目的

OPC 基金会提供用于工业自动化的数据交换的规范。以 COM/DCOM 为基础的规范已有很长的历史，最显著的 OPC 数据存取 (DA)、OPC 报警和事件 (A&E) 以及 OPC 历史数据存取 (HDA)，都已被业界广泛接受，并被几乎所有以工业自动化为目标的系统所实现。

现在 OPC 基金会发布了名为 OPC 统一架构 (OPC UA) 的最新一代 OPC 规范。通过 OPC UA，OPC 基金会实现了从过期的 COM/DCOM 技术向面向服务的架构 (SOA) 的技术迁移，它通过 Web 服务或者优化的基于 TCP 的平台无关的方式提供数据。OPC UA 将以前的规范统一成一个单一的地址空间，提供当前数据处理、报警和事件、历史数据以及事件历史等功能。

OPC UA 的一个了不起的改进是地址空间模型，通过它，供应商可以用面向对象技术发布丰富和可扩展的信息模型。OPC UA 非常好地适用于智能设备、控制器、DCS 和 SCADA 系统乃至 MES 和 ERP 系统。它也很好地适用在它提供信息方面的能力：在低端，可以使用一种提供基本信息的类似经典 OPC 的模型；在高端，可以描述高度复杂的模型，提供大量的包括复杂类型层次结构的元数据。

很多领域对高级建模能力有着很高的兴趣，已经有些措施来标准化 OPC UA 的信息模型。例如现场设备集成 (FDI)，针对常见现场设备的描述和使用 MIMOSA (维护信息-ERP 等)、S95 (产品信息-MES) 和 PLCopen (工业控制) 的日常活动。

OPC UA 规范目前由 13 部分构成，因此有 13 个文件。其中一些详细阐明了一些基础技术，另外一些着重说明特定的信息模式，例如一个说明如何提供流程自动化的具体报警信息的模型。总之，规范共有 700 多页，尽可能地写得精确和完整。规范最主要的是阐述如何做，较少程度上解释了为什么要设计成这样。规范就是这样，一定要被写出来以及被很多开发者广泛应用并保证在不同应用程序之间的互通性。所以，规范对于一些刚接触 OPC UA 的新人来说有点难以理解，就好像其他的规范 (如 SQL 或者 UML) 一样。

我们想用本书来填补这个空白，提供一条通向 OPC UA 的简单易懂的路径。我们不会提供和规范一样同级别的细节，但是宁愿介绍并解释 OPC UA 的主要

概念。我们会给出指导方针来帮助您在不同概念之间做出最好的选择，我们还会把目标锁定在那些在规范里没有被直接提起，但是在平时 OPC UA 的应用中用到的相关议题。

谁应该阅读这本书？

如果您对 OPC UA 感兴趣——这也许是您正在阅读本书的原因——您应该阅读这本书。本书的作者是编写 OPC UA 规范的最主要的几位成员，他们会向您解释缩写字 OPC UA 背后的故事。

我们在写这本书时，脑海里就有了一个很广泛的读者群，包括以下人群：

- 判断是否运用 OPC UA 到他们的应用中去的人（决策者）；
- 应用 OPC UA 到他们的客户端或服务器应用程序中的人（软件架构师、工程师和软件开发人员）；
- 使用基于 OPC UA 的应用程序的人（管理员和工程师，如负责配置过程控制系统；非终端用户，如过程控制系统操作员等）。

本书会介绍 OPC UA 通信和信息建模概念，还会解释如何定义您的模型和存取数据。您将学会冗余、安全等是如何在 OPC UA 中定位的，以及它和传统 OPC 相比，如何更好地执行。但是您不会找到任何的编码示例。当您在实现您的 OPC UA 应用程序时，您可能会使用 SDK，您应该在 SDK 文档中查找样例代码。本书解释了藏在 OPC UA SDK 和 OPC UA Service 后面的机制是如何工作的，以及如何用 OPC UA 构建您的信息模型。同时，本书还解释了当您进入 OPC UA 服务器时将会碰到的一些信息。

您不用非得熟悉传统 OPC 才阅读本书，但您应该对面向对象概念有一个基本的了解，才能理解 OPC UA 的信息模型，为了更好地理解 OPC UA，一些对软件设计的基础知识也是必需的。

提纲

第 1 章在说明 OPC UA 动机之前简单介绍了传统 OPC 以及简短概述了 OPC UA。

接下来的三章侧重于信息建模，也就是使用 OPC UA 数据如何被表现。第 2 章介绍了建模概念。我们从基本的概念开始，以提供数据，然后介绍一些相对复杂的构造，如类型层次结构。第 3 章介绍了一个如何用 OPC UA 建立模型的真实案例，然后通过解释一些最好的实践来概括信息模型。第 4 章介绍了标准信息模型，从解释什么是信息模型开始，如何被具体制定，然后是 OPC UA 如何处理信息模型。接着，通过 OPC UA 规范的更专业的信息模型延伸来介绍

OPC UA 信息模型的基础。最后会看一下由其他组织机构提供的额外的信息建模标准的当前状态。

在接下来的两章里会侧重于如何操作已经建立好的 OPC UA 信息模型。在第 5 章里描绘了抽象的服务 (Service)，它用来访问和操控数据。在第 6 章里介绍了如何将服务对应到相应的技术，包括数据如何被序列化、信息如何被加固、使用了什么传输协议。

在第 7 章里，就 OPC UA 的安全方面进行了讨论。这包括了藏在 OPC UA 安全模式后面的理论思考以及对应用 OPC UA 的开发者和管理员的实际意义。

第 8 章解释了 OPC UA 的应用程序架构。在这里介绍了实现 OPC UA 时会用到的不同的组件。

第 9 章描述了 OPC UA 的系统架构。包括对您在自己的系统中如何部署和配置 OPC UA 应用程序，以及如何处理备份、服务器的聚集等。

在接下来的章节中，着眼于从现有的应用程序迁移到 OPC UA。在第 10 章里，解释了如何从传统 OPC 的概念映射到 OPC UA 概念。这一章对于那些有着传统 OPC 深厚知识的读者来说特别有用。第 11 章提供了如何从传统 OPC 应用程序转移到 OPC UA 的策略，以及由 OPC 基金会提供的哪些组件在这方面可以帮助您。

OPC UA 详细阐明了很多特点，但并不是每一个应用程序都会利用到所有的这些。OPC UA 提供了一些协议子集 (Profile) 来处理这个情况，协议子集说明了一个产品需要包括的子特性。应用程序以交换这些协议子集信息来知道它们可以从别的应用程序中得到哪些。协议子集的详情以及如何组织它们在第 12 章中阐述。

在如今使用传统 OPC 的情节中，性能是一个关键因素。在第 13 章里给出了 OPC UA 性能方面的考虑，其中包括了 OPC UA 和传统 OPC 之间性能的比较。

第 14 章是本书的结尾，在这一章里，对 OPC UA 做出了总结，讨论了 OPC UA 的复杂性，指出了在大多数情况下很简单，也解释了为什么有些部分必须具有复杂性。同时就 OPC UA 方面，期待在不久的将来发生什么而做出了展望。

此外，当需要寻找 OPC UA 的一些详情时，附录给您提供了便捷的引用。

作者介绍

Wolfgang Mahnke 博士

Wolfgang Mahnke 供职于德国的 ABB 集团研究中心工业软件技术领域。近年来，他一直是几个有关 OPC UA 项目的项目负责人。这些项目都着眼于 OPC UA 规范，由 OPC UA 基金会提供的基础设施的执行以及 ABB 内部 OPC UA 的应用，例如，ABB 主要的 DCS 800xA。他是 OPC UA 标准地址空间模型和信息模型部分的编者，在过去的几年里指导了几次 OPC UA 规范的培训课程，并做了几次演示。

Wolfgang Mahnke 拥有斯图加特大学计算机科学文凭。在凯泽斯劳滕大学工作期间，他获得了数据库和信息系统的博士学位。

Stefan-Helmut Leitner

Stefan-Helmut Leitner 供职于德国的 ABB 集团研究中心工业软件技术领域。他曾参与 ABB 公司内外有关 OPC UA 不同课题的研发，例如，ANSI-C 协议栈的开发、OPC UA 的证书管理，并举办了几次培训和演示。另外，他负责编辑了 OPC UA 规范的安全模型部分。

Stefan-Helmut Leitner 拥有曼海姆教育大学的信息技术文凭。

Matthias Damm

Matthias Damm 是 ascolab 的执行董事和创办人，他主要负责 OPC 咨询和认证。在过去的 10 年里，他一直积极地参与 OPC 工作，特别是符合性测试和 OPC UA 领域。

在创办 ascolab 之前，Matthias Damm 在西门子工业服务和解决方案部门的 OPC 运营中心担任经理一职。

Matthias Damm 现为 ascolab 的 OPC 基金会认证测试实验室经理。几年来，他的团队负责 OPC 基金会符合性测试工具的开发和维护。

他是 OPC UA 规范的服务部分的编者，在过去的几年里，指导过 OPC UA 培训班及做过几次演示。他参与了由 ascolab 开发并捐给了 OPC 基金会的便携式 ANSI C UA 栈的设计。他还负责被很多早期 OPC UA 产品使用的 C++ UA 服务器 SDK 的设计和开发工作，由 Unified Automation GmbH 发行。

Matthias Damm 拥有德国施魏因富特应用科技大学的电子工程文凭。

原 书 致 谢

出书是一个耗费时间的任务，需要投入大量的下班时间和周末。首先，我们想感谢我们的家人和朋友们的耐心和支持。Stefan-Helmut 和 Wolfgang Mahnke 感谢 ABB 的 Martin Naedele 为本书所付出的宝贵时间。Matthias Damm 感谢他在 ascolab 的同事 Gerhard Gappmeier 和 Uwe Steinkrauß。

本书的标题——OPC 统一架构——是由 OPC 基金会的 OPC UA 工作组创立的。我们获得了知识，因而基金会把写书这一任务交给了这一工作小组。我们总是很享受团队里侧重于技术方面而非政治的积极气氛。很多人都参与了工作组的会议，有些从一开始到现在，有些则只是一段时间。我们感谢他们每一个人所做出的积极配合。我们特别要感谢 OPC 基金会的 Jim Luth——这个工作组的领导，还有那些参与了无数次讨论的人，例如 Randy Armstrong 和 Tom Burke (OPC 基金会)、Jeff Harding 和 Paul Hunkar (ABB)、Karl-Heinz Deiretsbacher (Siemens)、Lee Neitzel (Emerson)、Ayana Craven (OSIsoft)、Erik Murhpy (Matrikon)、Christian Zugfil (ascolab)、Jörg Allmendinger (Allmendinger) 和 Betsy Hawkinson (Honeywell) 等。

几位评论家帮助我们提高了本书的质量，在此要感谢 Randy Armstrong (OPC 基金会)、Karl-Heinz Deiretsbacher (Siemens)、Jens Doppelhamer (ABB)、Gerhard Gappmeier (ascolab)、Jeff Harding (ABB)、Paul Hunkar (ABB)、Emanuel Kolb (ABB)、Heiko Koziolk (ABB)、Claude Lafond (ABB)、Jim Luth (OPC 基金会)、Uwe Steinkrauß (ascolab) 和 Roland Weiss (ABB)，感谢他们的帮助。

也非常感谢出版商的大力支持，特别是 Dorothea Glaunsinger 和 Hermann Engesser。还有那些母语为英语的伙伴们，他们大大改善了我们的英语。

最后，还要感谢在 DevCons、工作室、培训课以及其他场合就 OPC UA 进行讨论的所有人。这些讨论在很大程度上帮助我们认识和理解了 OPC UA 关键的问题，也给了我们写这本书的动力。

给本书的读者们：如果您在书中发现了错误或不明晰的表述，抑或是提供改进的建议，希望联系我们，我们将会把更正及额外的信息发表在 www.opcuabook.com 网站上。

Wolfgang Mahnke (wolfgang.mahnke@de.abb.com)

Stefan-Helmut Leitner (stefan.leitner@de.abb.com)

Matthias Damm (matthias.damm@ascolab.com)

目 录

译者序

原书序一

原书序二

原书前言

作者介绍

原书致谢

第 1 章 概论	1
1.1 OPC 基金会	1
1.2 经典 OPC	2
1.2.1 OPC 数据访问	3
1.2.2 OPC 报警和事件	4
1.2.3 OPC 历史数据访问	4
1.2.4 其他 OPC 接口标准	5
1.2.5 OPC XML-DA	5
1.3 OPC UA 的动机	6
1.4 OPC UA 概述	8
1.5 OPC UA 规范	9
1.6 OPC UA 软件层	11
1.7 进化而非革命	12
1.8 小结	13
1.8.1 关键信息	13
1.8.2 在哪里能找到更多的信息	13
1.8.3 接下来是什么	14
第 2 章 信息建模：概念	15
2.1 为什么要对信息建模	15
2.2 节点和引用	18
2.3 引用类型	20
2.4 对象、变量和方法	24
2.5 对象和变量类型	30
2.5.1 简单对象类型	30
2.5.2 简单变量类型	33
2.5.3 复杂对象类型	36

2.5.4 实例声明	38
2.5.5 复杂变量类型	41
2.5.6 建模规则	41
2.5.7 复杂类型的子类型化	46
2.6 数据变量和特性	50
2.7 对象、变量和方法的 ModelParent	51
2.8 数据类型	53
2.8.1 数据类型节点类别	53
2.8.2 内置和简单数据类型	54
2.8.3 枚举数据类型	55
2.8.4 结构化数据类型	55
2.8.5 特定的内置数据类型	58
2.8.6 数据类型综述	61
2.9 视图	62
2.10 事件	65
2.11 历史访问	67
2.11.1 数据历史	67
2.11.2 事件历史	68
2.11.3 地址空间历史	68
2.12 地址空间模型和信息模型	71
2.13 小结	73
2.13.1 关键信息	73
2.13.2 在哪里能找到更多的信息	73
2.13.3 接下来是什么	73
第3章 信息建模：实例与最佳实践	74
3.1 概述	74
3.2 实例	74
3.2.1 应用方案	74
3.2.2 初级方案——类似于传统的 OPC	75
3.2.3 高级方案——提供全部功能的 OPC UA	76
3.3 最佳实践	82
3.3.1 对象结构、信息类型和视图	82
3.3.2 类型定义（对象类型和变量类型）	84
3.3.3 提供复杂的数据结构	87
3.3.4 提供用户自定义数据类型	88
3.3.5 特性	89
3.3.6 方法	89
3.3.7 建模规则	90

3.3.8 代理对象（引用上的特性）	90
3.4 小结	91
3.4.1 关键信息	91
3.4.2 在哪里能找到更多的信息	91
3.4.3 接下来是什么	91
第4章 标准信息模型	92
4.1 概述	92
4.2 处理信息模型	92
4.2.1 信息模型指出了什么	92
4.2.2 信息模型如何指定	94
4.2.3 如何支持多信息模型	95
4.3 OPC UA 基本信息模型	95
4.4 能力与诊断	97
4.5 数据访问	98
4.6 历史数据的访问和结果返回	99
4.7 状态机	100
4.8 程序	101
4.9 报警和条件	102
4.10 特定领域信息模型	102
4.10.1 概述	102
4.10.2 设备信息模型	103
4.11 小结	104
4.11.1 关键信息	104
4.11.2 在哪里能找到更多的信息	105
4.11.3 接下来是什么	105
第5章 服务	106
5.1 概述	106
5.2 服务的一般概念	107
5.2.1 超时处理	107
5.2.2 请求与应答的消息头	107
5.2.3 错误处理	108
5.2.4 可扩展参数	109
5.2.5 通信上下文	109
5.2.6 本章有关服务描述的约定	110
5.3 查找服务器	111
5.3.1 查找服务器（FindServers）服务	111
5.3.2 获得终端（GetEndpoints）服务	112
5.3.3 注册服务（RegisterServer）服务	113

5.4 客户端与服务器的连接管理	113
5.4.1 安全通道的建立	113
5.4.2 创建一个应用程序会话	114
5.4.3 关闭一个应用程序会话	116
5.4.4 取消未完成的服务请求	116
5.5 在地址空间中查找信息	117
5.5.1 使用服务发现地址空间	117
5.5.2 在地址空间中查找信息的用例	122
5.6 读写数据及元数据	130
5.6.1 读取数据	131
5.6.2 写入数据	132
5.7 订阅数据变化和事件	133
5.7.1 数据变化及事件的传递	134
5.7.2 创建和管理订阅	137
5.7.3 创建和管理监视项	139
5.7.4 监视数据变化	143
5.7.5 监视事件	144
5.7.6 监视数据聚合	146
5.8 调用服务器的方法	147
5.9 访问历史数据和历史事件	148
5.9.1 历史读取 (HistoryRead) 服务	148
5.9.2 历史更新 (HistoryUpdate) 服务	153
5.10 在复杂地址空间里查找信息	155
5.11 修改地址空间	156
5.11.1 添加节点	157
5.11.2 建立节点间的引用	157
5.11.3 删除节点	157
5.11.4 删除节点间的引用	158
5.12 小结	158
5.12.1 关键信息	158
5.12.2 在哪里能找到更多的信息	159
5.12.3 接下来是什么	159
第6章 技术映射	160
6.1 概述	160
6.2 数据编码	161
6.2.1 OPC UA 二进制	161
6.2.2 XML	162
6.3 安全协议	162

XI OPC 统一架构

6.3.1 WS-SecureConversation	163
6.3.2 UA-SecureConversation	164
6.4 传输协议	165
6.4.1 UA TCP	166
6.4.2 SOAP/HTTP	166
6.5 可用映射的实现	167
6.6 小结	168
6.6.1 关键信息	168
6.6.2 在哪里能找到更多的信息	169
6.6.3 接下来是什么	169
第7章 安全	170
7.1 为什么安全问题如此重要	170
7.2 安全的组织视角	171
7.3 安全的技术视角	172
7.4 确定适当的安全级别	172
7.4.1 安全评估	172
7.4.2 OPC UA 的安全评估	174
7.5 OPC UA 的安全模型	175
7.5.1 安全架构	175
7.5.2 保证通信通道安全	177
7.5.3 身份认证和授权	182
7.5.4 安全策略和配置文件	185
7.6 证书	186
7.6.1 什么是证书	186
7.6.2 OPC UA 证书	187
7.7 OPC UA 的公钥基础设施	189
7.7.1 什么是 PKI	189
7.7.2 信任模型	190
7.7.3 证书生命周期管理	192
7.7.4 可用的公钥基础设施框架	198
7.7.5 工业应用的 PKI	201
7.8 小结	208
7.8.1 关键信息	208
7.8.2 在哪里能找到更多的信息	209
7.8.3 接下来是什么	209
第8章 应用程序架构	210
8.1 简介	210
8.2 架构概述	210