

“十二五”辽宁省重点图书出版规划项目

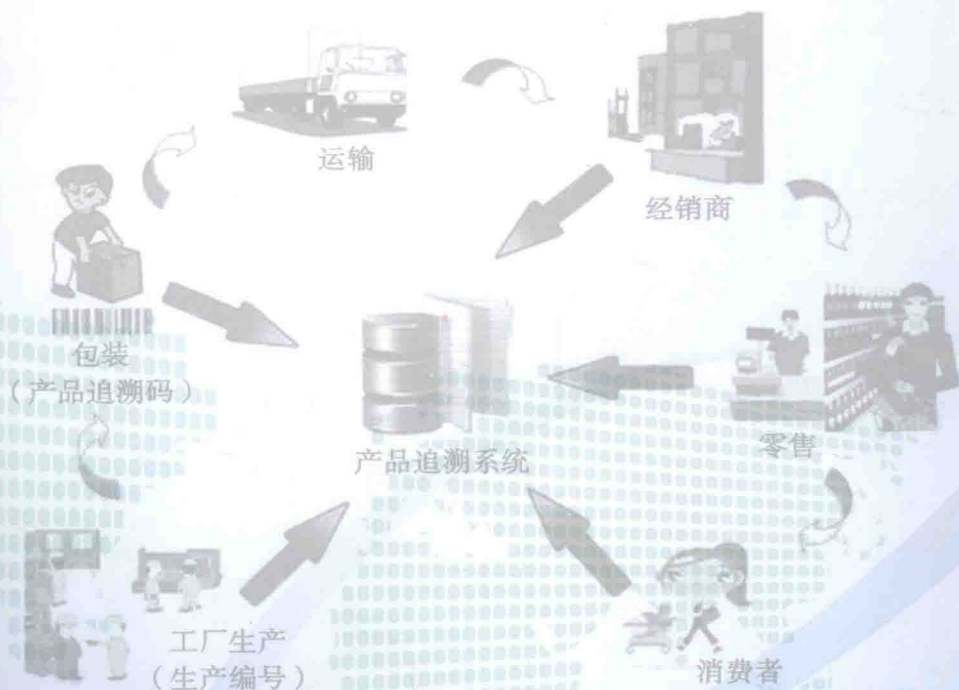
国家自然科学基金资助项目 (61401083, 61202447, 61300195)

WULIANWANG GONGCHENG

物联网工程

— 导论

主 编 王和兴 史闻博



东北大学出版社
Northeastern University Press

“十二五”辽宁省重点图书出版规划项目

国家自然科学基金资助项目 (61401083, 61202447, 61300195)

物联网工程

——导论

主 编 王和兴 史闻博

主 审 王翠荣

副主编 王 聪 朱 方

鲁 宁 胡 曦

东北大学出版社

· 沈 阳 ·

© 王和兴 史闻博 2014

图书在版编目 (CIP) 数据

物联网工程——导论 / 王和兴, 史闻博主编. —沈阳: 东北大学出版社,
2014. 12

ISBN 978 - 7 - 5517 - 0850 - 0

I. ①物… II. ①王… ②史… III. ①互联网络—应用 ②智能技术—应用
IV. ①TP393.4 ②TP18

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 295217 号

出版者: 东北大学出版社

地址: 沈阳市和平区文化路 3 号巷 11 号

邮编: 110819

电话: 024 - 83687331(市场部) 83680267(社务室)

传真: 024 - 83680180(市场部) 83680265(社务室)

E-mail: neuph@neupress.com

http: //www. neupress. com

印刷者: 抚顺光辉彩色广告印刷有限公司

发行者: 东北大学出版社

幅面尺寸: 170mm × 240mm

印 张: 20.75

字 数: 406 千字

出版时间: 2014 年 12 月第 1 版

印刷时间: 2014 年 12 月第 1 次印刷

责任编辑: 任彦斌 孙德海

责任校对: 图 图

封面设计: 刘江旻

责任出版: 唐敏志

ISBN 978 - 7 - 5517 - 0850 - 0

定 价: 32.00 元

前 言

物联网工程专业是教育部审批设置的高等学校战略性新兴产业本科专业，我们在该专业的第一个学期开设了“物联网工程导论”课程，旨在让学生了解物联网相关的概念、架构以及应用。但目前大多数物联网专业的教材过于专业化，直接跳过了计算机的相关知识，这导致了该专业的新生难以理解和掌握这些过于专业的内容。基于此，本书将计算机的相关基础知识加入其中，让学生首先了解计算机相关的基础知识，再循序渐进地引入物联网的相关概念，使学生能从零基础开始逐渐了解整个物联网的体系架构。

本书主要内容包括：数据表示及运算基础、计算机组成及操作系统、算法与程序设计、数据存储、自动识别技术与RFID、传感器技术、通信网络、海量信息计算、物联网安全及物联网应用，这些内容涵盖了计算机科学的基础知识和物联网工程的知识体系。为了便于读者学习，本书在编写过程中尽量做到结合实际，文字力求通俗易懂，在书中使用了大量的实例和插图帮助读者理解。

本书由王和兴、史闻博主编，王翠荣主审，王聪、朱方、鲁宁、胡曦为本书副主编。

本书的出版得到了东北大学秦皇岛分校本科教材建设专项基金的支持。本书作者的工作还得到了国家自然科学基金项目（61401083，61202447，61300195）、河北省自然科学基金（F2014501078）、河北省科技支撑计划项目（112135122）、辽宁省教育厅科学研究一般项目（L2013099）和中央高校基本科研业务费项目（N130323005）的支持和资助，在此一并表示谢意！

物联网相关的技术发展非常快，新思想、新观点不断涌现，本书虽力求全面地介绍物联网涉及到的基础知识和现有主要技术，但由于作者水平有限，加之时间仓促，书中难免有不妥之处，殷切希望广大读者批评指正。

作 者
2014年8月

目 录

第 1 章 绪 论	1
1.1 物联网的概念	1
1.2 物联网体系结构	1
1.3 物联网的发展	3
1.4 物联网与计算机的关系	5
第 2 章 数据表示及运算基础	6
2.1 布尔代数与逻辑电路	6
2.2 数的进制表示	18
2.3 数据的类型与表示	27
2.4 整数的表示法	34
2.5 浮点数表示	44
2.6 二进制运算	50
第 3 章 计算机组成及操作系统	59
3.1 计算机组成	59
3.2 操作系统	76
3.3 嵌入式系统	93
第 4 章 算法与程序设计	97
4.1 算 法	97
4.2 数据结构	112
4.3 程序设计	121
第 5 章 数据存储	128
5.1 文 件	128
5.2 数据库	134
第 6 章 自动识别技术与 RFID	144
6.1 自动识别技术	144
6.2 EPC	154

6.3	RFID	163
第7章	传感器技术	170
7.1	传感器发展历史	170
7.2	传感器的作用及分类	178
7.3	设计需求与硬件组成	181
7.4	传感器操作系统	190
7.5	传感器技术应用	196
第8章	通信网络	201
8.1	互联网	201
8.2	无线宽带网络	211
8.3	无线低速网络	215
8.4	移动通信网络	225
第9章	海量信息计算	238
9.1	分布式计算	238
9.2	搜索引擎	247
9.3	智能决策	255
第10章	物联网安全	263
10.1	信息安全起源与发展	263
10.2	安全事件引发的安全问题	268
10.3	物联网面临的安全威胁	274
10.4	物联网安全需求	279
第11章	物联网应用	284
11.1	智能电网	284
11.2	智能物流	291
11.3	智能交通	295
11.4	智能建筑	301
11.5	环境监测	306
11.6	工业与自动化控制	308
11.7	医疗健康	311
11.8	精细农牧业	314
11.9	金融与服务业	316
11.10	国防军事	319
11.11	航空航天	322
参考文献	324

第 1 章 绪 论

1.1 物联网的概念

物联网可以定义为利用局部网络或互联网等通信技术把传感器、控制器、机器、人员和物等通过新的方式连在一起,形成人与物、物与物相连,实现信息化、远程管理控制和智能化的网络。物联网是新一代信息技术的重要组成部分,其英文名称是“The Internet of things”,所以简单来说,物联网就是物物相连的互联网。这有两层意思:其一,物联网的核心和基础仍然是互联网,是在互联网基础上延伸和扩展的网络;其二,其用户端延伸和扩展到了任何物品与物品之间,进行信息交换和通信。

物联网是互联网的延伸,它包括互联网及互联网上所有的资源,兼容互联网所有的应用,但物联网中所有的元素(设备、资源及通信等)都是个性化和私有化的。例如:使用物联网技术生产的生物智能腕表,除了具备传统的计时功能外,其内置的传感器还可以感知佩戴者的脉搏、心跳,记录佩戴者行走时的步频、步幅,判断佩戴者现在所处的状态等。这些数据通过接口可以传递给用户的手机,甚至传递到云端的存储中。这些数据的长期积累可以形成整个人的身体状态记录,对于医疗、健康监护、疾病预防等都具有重要的作用。因此可以看出,物联网不仅是一个网络,更是以用户体验为核心、以人为本的各种业务的应用,其通过智能感知、识别技术与普适计算广泛应用于网络的融合中,因此被称为继计算机、互联网之后世界信息产业发展的第三次浪潮。

1.2 物联网体系结构

物联网架构可分为三层:感知层、网络层和应用层。感知层由各种传感器构成,包括温湿度传感器、二维码标签、RFID 标签和读写器、摄像头、红外线、

GPS 等感知终端。感知层是物联网识别物体、采集信息的来源。网络层由各种网络,包括互联网、广电网、网络管理系统和云计算平台等组成,是整个物联网的中枢,负责传递和处理感知层获取的信息。应用层是物联网和用户的接口,它与行业需求结合,实现物联网的智能应用。

和传统的互联网相比,物联网有其鲜明的特征。

首先,它是各种感知技术的广泛应用。物联网上部署了海量的多种类型传感器,每个传感器都是一个信息源,不同类别的传感器所捕获的信息内容和信息格式不同。传感器获得的数据具有实时性,按一定的频率周期性地采集环境信息,不断更新数据。

其次,它是一种建立在互联网上的泛在网络。物联网技术的重要基础和核心仍旧是互联网,通过各种有线和无线网络与互联网融合,将物体的信息实时准确地传递出去。在物联网上的传感器定时采集的信息需要通过网络传输,由于其数量极其庞大,形成了海量信息,在传输过程中,为了保障数据的正确性和及时性,必须适应各种异构网络和协议。

第三,物联网不仅仅提供了传感器的连接,其本身也具有智能处理的能力,能够对物体实施智能控制。物联网将传感器和智能处理相结合,利用云计算、模式识别等各种智能技术,扩充其应用领域。从传感器获得的海量信息中分析、加工和处理出有意义的信息,以适应不同用户的需求,发现新的应用领域和应用模式。

此外,物联网的精神实质是提供不拘泥于任何场合、任何时间的应用场景与用户的自由互动。它依托云服务平台和互通互联的嵌入式处理软件,弱化技术色彩,强化与用户之间的良性互动、更佳的用户体验、更及时的数据采集和分析建议、更自如的工作和生活,是通往智能生活的物理支撑。

物联网体系结构中的“物”需要满足以下条件才能够被纳入“物联网”的范围:

- ① 要有数据传输通路;
- ② 要有一定的存储功能;
- ③ 要有 CPU;
- ④ 要有操作系统;
- ⑤ 要有专门的应用程序;
- ⑥ 遵循物联网的通信协议;
- ⑦ 在世界网络中有可被识别的唯一编号。

这些“物”中所配备的传感器、控制部件用来与真正的物品(商品)进行感知与交互,产生的数据及控制信号利用 RFID、无线数据通信等技术接入到计算机互联网上,从而构造一个覆盖世界上万事万物的“Internet of things”。在这个

网络中,物品(商品)能够彼此进行“交流”,而无需人的干预。其实质是利用射频自动识别(RFID)技术,通过计算机互联网实现物品(商品)的自动识别和信息的互联与共享。RFID标签中存储着规范而具有互用性的信息,通过无线数据通信网络把它们自动采集到中央信息系统,实现物品(商品)的识别,进而通过开放性的计算机网络实现信息交换和共享,实现对物品的“透明”管理。

物联网的出现从技术发展的角度来说也是历史的必然,是工业化和信息化深度结合的产物。首先,工业化的基础是自动化,自动化领域发展了近百年,理论、实践都已经非常完善了。特别是随着现代大型工业生产自动化的不断兴起和过程控制要求的日益复杂应运而生的DCS(Distributed Control System,集散控制系统)控制系统,更是计算机技术、系统控制技术、网络通讯技术和多媒体技术结合的产物。DCS的理念是分散控制,集中管理。虽然自动设备全部联网,并能在控制中心监控信息而通过操作员来集中管理,但操作员的水平决定了整个系统的优化程度。有经验的操作员可以使生产最优,而缺乏经验的操作员只是保证了生产的安全性。是否有办法做到分散控制,集中优化管理?物联网可以带给DCS控制系统的,通过物联网根据所有监控信息,通过分析与优化技术,找到最优的控制方法。

其次,IT信息发展的前期,其信息服务对象主要是人,主要解决的问题是“信息孤岛”问题。当为人服务的“信息孤岛”问题解决后,要在更大范围解决“信息孤岛”问题。就是要将物与人的信息打通。人获取了信息之后,可以根据信息判断,做出决策,从而触发下一步操作;但由于人存在个体差异,对于同样的信息,不同的人做出的决策是不同的,如何从信息中获得最优的决策?另外,物获得了信息是不能做出决策的,如何让物在获得了信息之后具有决策能力?智能分析与优化技术是解决这个问题的一个手段,在获得信息后,依据历史经验以及理论模型,快速做出最优决策。数据的分析与优化技术在两化融合的工业化与信息化方面都有旺盛的需求。

1.3 物联网的发展

物联网的实践最早可以追溯到1990年施乐公司的网络可乐贩售机——Networked Coke Machine。

1991年,美国麻省理工学院(MIT)的Kevin Ashton教授首次提出物联网的概念。

1995年,比尔盖茨在《未来之路》一书中也曾提及物联网,但未引起广泛重视。

1999年,美国麻省理工学院建立了“自动识别中心(Auto-ID)”,提出“万物皆可通过网络互联”,阐明了物联网的基本含义。早期的物联网是依托射频识别(RFID)技术的物流网络,随着技术和应用的发展,物联网的内涵已经发生了较大变化。

2003年,美国《技术评论》提出,传感网络技术将是未来改变人们生活的十大技术之首。

2004年,日本总务省(MIC)提出u-Japan计划,该战略力求实现人与人、物与物、人与物之间的连接,希望将日本建设成一个随时、随地,任何物体、任何人均可连接的泛在网络社会。

2005年,在突尼斯举行的信息社会世界峰会(WSIS)上,国际电信联盟(ITU)发布《ITU互联网报告2005:物联网》,引用了“物联网”的概念。物联网的定义和范围已经发生了变化,覆盖范围有了较大的拓展,不再只是指基于RFID技术的物联网。

2006年,韩国确立了u-Korea计划,该计划旨在建立无所不在的社会(ubiquitous society),在民众的生活环境里建设智能型网络(如IPv6, BcN, USN)和各种新型应用(如DMB, Telematics, RFID),让民众可以随时随地享有科技智慧服务。2009年,韩国通信委员会出台了《物联网基础设施构建基本规划》,将物联网确定为新增长动力,提出到2012年实现“通过构建世界最先进的物联网基础实施,打造未来广播通信融合领域超一流信息通信技术强国”的目标。

2008年后,为了促进科技发展,寻找新的经济增长点,各国政府开始重视下一代的技术规划,将目光放在了物联网上。在我国,2008年11月在北京大学举行的第二届中国移动政务研讨会“知识社会与创新2.0”提出移动技术、物联网技术的发展代表着新一代信息技术的形成,并带动了经济社会形态、创新形态的变革,推动了面向知识社会的以用户体验为核心的下一代创新(创新2.0)形态的形成,创新与发展更加关注用户、注重以人为本。而创新2.0形态的形成又进一步推动新一代信息技术的健康发展。

2009年,欧盟委员会发表了欧洲物联网行动计划,描绘了物联网技术的应用前景,提出欧盟政府要加强对物联网的管理,促进物联网的发展。

2009年,奥巴马就任美国总统后,与美国工商业领袖举行了一次“圆桌会议”。作为仅有的两名代表之一,IBM首席执行官彭明盛首次提出“智慧地球”这一概念,建议新政府投资新一代的智慧型基础设施。当年,美国将新能源和物联网列为振兴经济的两大重点。

2009年8月,温家宝“感知中国”的讲话把我国物联网领域的研究和应用开发推向了高潮。无锡市率先建立了“感知中国”研究中心,中国科学院、运营商、多所大学相继建立了物联网研究院。物联网被正式列为国家五大新兴战略性

产业之一，受到了全社会极大的关注。

物联网作为一个新经济增长点的战略新兴产业，具有良好的市场效益。《2013—2017年中国物联网行业应用领域市场需求与投资预测分析报告》数据表明，2010年物联网在安防、交通、电力和物流领域的市场规模分别为600亿元、300亿元、280亿元和150亿元，2011年中国物联网产业市场规模达到2600多亿元。

在这种迅猛的发展中，人们又根据物联网所面向的应用环境，将物联网分成几种类别。

- ① 私有物联网：一般面向单一机构内部提供服务。
- ② 公有物联网：基于互联网向公众或大型用户群体提供服务。
- ③ 社区物联网：向一个关联的“社区”或机构群体(如一个城市政府下属的各委办局——公安局、交通局、环保局、城管局等)提供服务。
- ④ 混合物联网：是上述两种或两种以上物联网的组合，但后台有统一运维实体。
- ⑤ 医学物联网：是将物联网技术应用于医疗、健康管理、老年健康照护等领域。
- ⑥ 建筑物联网：是将物联网技术应用于路灯照明管控、景观照明管控、楼宇照明管控、广场照明管控等领域。

1.4 物联网与计算机的关系

物联网是继计算机、互联网和移动通信网络之后世界信息产业的第三次浪潮，它以计算机科学为基础，将网络、电子、射频、感应、无线、人工智能、条码、云计算、自动化和嵌入式等技术综合为一体，将各种设备与装置的“物”组成一个庞大的网络。然后，通过互联网，使人们能够对处于庞大网络中的人与设备等的运转情况实施监控，达到人与物的沟通和交流，实现对“物”的智能化、精确化监管与操作。

可以看出，计算机是物联网发展的基础，要学习好物联网的相关技术，就需要首先了解计算机科学与技术。系统学习和掌握好计算机科学的相关理论，对于理解物联网的理论和技術，以及实施物联网的工程应用都具有重要的意义。

本书作为物联网工程导论，将大半的篇幅用来介绍计算机的基础知识，对计算机数据的表示、计算机的基本组成、计算机操作系统，以及数据结构、算法、程序设计和数据存储等基础知识进行比较概括的介绍，就是希望大家重视计算机科学的基础理论与相关技术，在此基础上，再强化物联网的技术实践，推动物联网在理论和实践方面取得长足的进步。

第2章 数据表示及运算基础

2.1 布尔代数与逻辑电路

在数字电子系统中，通常按照电压区分电信号的值：一般来说，0~2伏范围内的电压是低电压，用数字0表示；2~5伏范围内的电压是高电压，用数字1表示。因此数字电路只能表示和处理两个值——0和1。

逻辑门是数字电子系统中对电信号执行基础运算的设备，可以实现这两个值的多项运算：一个逻辑门可以接受一个或多个输入信号(0或1)，生成一个输出信号(0或1)。通过逻辑门的组合可以构建更为复杂的逻辑电路，逻辑电路是数字电子系统的基本结构单元。

为了描述和分析逻辑电路，需要一种新的数学理论：它的所有变量和函数的值都只能为0和1。我们把这种数学理论称为布尔代数(Boolean algebra)。布尔代数特有的运算和属性使我们能够用数学符号定义和操作逻辑电路。

表示逻辑门和逻辑电路的方法有三种，它们互不相同，却一样有效。

① 布尔表达式。布尔表达式就是用布尔代数中的表达式进行表示。

② 逻辑框图。逻辑框图是电路的图形化表示。每种类型的逻辑门由一个特定的图形符号表示。通过用不同方法把这些逻辑门连接起来，就可以表示整个逻辑电路。

③ 真值表。真值表列出了一种逻辑门可能遇到的所有输入组合和相应的输出，从而定义这种逻辑门的功能。我们可以设计更为复杂的真值表，描述整个逻辑电路在输入任何一套输入值时的运行。

2.1.1 布尔代数

布尔代数起源于1850年左右英国数学家乔治·布尔(George Boole)的工作，并因此而得名。布尔观察到通过将二进制值0和1编码为逻辑值FALSE(假)和TRUE(真)，能够设计出一种代数，研究命题逻辑的属性。布尔代数是围绕数值

0 和 1 演化出的一种丰富的数学知识体系, 被广泛应用于解决数字逻辑电路的分析和设计上, 所以也把布尔代数称为逻辑代数。

2.1.1.1 常量、变量、运算符和表达式

(1) 常量

在布尔代数中只有两个常量——0 和 1, 其中 0 相当于逻辑值 FALSE(假), 1 相当于逻辑值 TRUE(真)。

(2) 变量

在布尔代数中用字母来表示变量, 称为布尔变量。逻辑变量一般用大写字母表示, 如 A, B, C, \dots 等。每个布尔变量的取值只有 0 和 1 两种可能。

(3) 运算符

布尔代数使用三个基本的运算符: 非(NOT)、与(AND)和或(OR)。

① 非(NOT)。NOT 运算符是一元操作符(用单引号“'”表示)。它只有一个输入。输出位是输入位的反转, 如果输入是 0, 则输出为 1; 如果输入为 1, 则输出为 0。

② 与(AND)。AND 运算符是二元运算符(用一个点“·”表示)。它有两个输入。如果输入都是 1, 则输出为 1; 而在其他三种情况下, 输出都是 0。

AND 运算符一个有趣的特性是: 若输入中有一位是 0, 则不需要检查其他输入的相应的位, 便可迅速得到结果为 0。

③ 或(OR)。OR 运算符也是二元运算符(用加号“+”表示)。它有两个输入。如果输入都是 0, 则输出为 0; 而在其他三种情况下, 输出都为 1。

OR 运算符一个有趣的特性是: 若输入中有一位是 1, 则不需要检查其他输入的相应的位, 便可迅速得到结果为 1。

(4) 表达式

表达式是布尔运算符、常量和变量的组合。

例如: $C \text{ AND } B$ 或 $C \cdot B$ $C \text{ OR } B$ 或 $C + B$ $\text{NOT } A$ 或 A'

2.1.1.2 布尔函数

我们可以把 n 个布尔输入变量和一个布尔输出变量构成的函数称为布尔函数, 如图 2.1 所示。布尔函数通常记作:

$$F = f(A, B, C, \dots) \quad (2.1)$$

在式(2.1)中, F 叫作因变量或输出变量, 它只有“1”和“0”两种取值, 相对地把变量 A, B, C, \dots 叫作自变量或输入变量。



图 2.1 布尔函数

2.1.1.3 公理、定理和恒等式

在布尔代数中，可以将规则分成三大类：公理、定理和恒等式。

(1) 公理

布尔代数像其他代数一样使用一些规则，它们不需要证明，称为公理。表

2.1 列出了布尔代数中的公理。

表 2.1 布尔代数中的公理

	与 NOT 相关	与 AND 相关	与 OR 相关
1	$A=0 \rightarrow A' = 1$		
2	$A=1 \rightarrow A' = 0$		
3		$0 \cdot 0 = 0$	$0 + 0 = 0$
4		$1 \cdot 1 = 1$	$1 + 1 = 1$
5		$1 \cdot 0 = 0 \cdot 1 = 0$	$1 + 0 = 0 + 1 = 1$

(2) 定理

定理是我们用公理证明的规则，表 2.2 列出了布尔代数中的基本定理。

表 2.2 布尔代数中的基本定理

	与 NOT 相关	与 AND 相关	与 OR 相关
1	$(A')' = A$		
2		$0 \cdot A = 0$	$0 + A = A$
3		$1 \cdot A = A$	$1 + A = 1$
4		$A \cdot A = A$	$A + A = A$
5		$A \cdot A' = 0$	$A + A' = 1$

(3) 恒等式

使用公理和定理，我们可以推导出许多恒等式。表 2.3 只列出了布尔代数中最常用的恒等式。

表 2.3 布尔代数中与 AND 和 OR 运算符相关的基本恒等式

描述	与 AND 相关	与 OR 相关
1 交换律	$A \cdot B = B \cdot A$	$A + B = B + A$
2 结合律	$A \cdot (B \cdot C) = (A \cdot B) \cdot C$	$A + (B + C) = (A + B) + C$
3 分配律	$A \cdot (B + C) = (A \cdot B) + (A \cdot C)$	$A + (B \cdot C) = (A + B) \cdot (A + C)$
4 德·摩根律	$(A \cdot B)' = B' + A'$	$(A + B)' = B' \cdot A'$
5 吸收律	$A \cdot (A' + B) = A \cdot B$	$A + (A' \cdot B) = A + B$

2.1.2 逻辑门

逻辑门是一种电子设备，它执行的是一种布尔函数，通过接收 $1 \sim n$ 个输入值，产生一个输出值。输出的逻辑值由表示逻辑门的表达式(即逻辑门的类型)和输入值决定。

下面主要对 6 种类型的逻辑门进行介绍和分析。

- ① 非(NOT)门;
- ② 与(AND)门;
- ③ 或(OR)门;
- ④ 异或(XOR)门;
- ⑤ 与非(NAND)门;
- ⑥ 或非(NOR)门。

2.1.2.1 非 门

非门接受一个输入值，生成一个输出值：如果输入值是 0，则输出值是 1；如果输入值是 1，则输出值是 0。图 2.2 展示了非门的三种表示方法，即布尔表达式、逻辑框图符号和真值表。在这些表示法中，变量 A 表示输入信号，其值可以是 0 或 1；变量 X 表示输出信号，其值可以是 0 或 1，由输入变量 A 的值决定。

布尔表达式

$$X = A'$$

逻辑框图符号



真值表

A	X
0	1
1	0

图 2.2 非门的三种表示方法

在布尔表达式中，非操作由求反的值之后的单引号“'”表示。有时，也用求反的值上面的单横线“—”表示这个运算，如 $X = \overline{A}$ 。

非门的逻辑框图符号是一个末端具有小圆圈(叫作求逆泡)的三角形。输入和输出由流入和流出门的连接线表示。

非门的真值表列出了所有可能的输入值和对应的输出值。由于非门只有一个输入信号，而且这个信号只能是 0 或 1，所以在真值表中 A 这一列只有两种可能。 X 这一列显示的是非门的输出，即输入值的逆。注意，在这三种表示法中，只有真值表真正定义了非门在各种情况下的行为。

2.1.2.2 与 门

与门接受两个输入信号，生成一个输出信号：如果两个输入信号的值都是 1，则输出值是 1；否则，输出值是 0。图 2.3 展示了与门的三种表示方法。

在布尔代数中，与操作由点“·”表示，有时也表示为星号“*”。该运算符通常可以省略，例如： $A \cdot B$ 通常被写作 AB 。

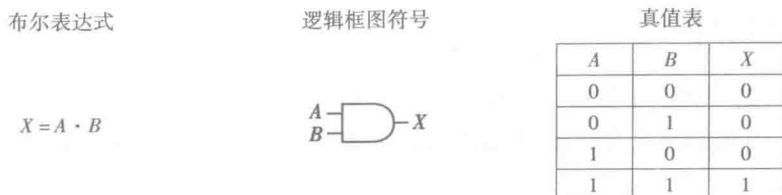


图 2.3 与门的三种表示方法

2.1.2.3 或 门

或门接受两个输入信号，生成一个输出信号：如果两个输入信号的值都是 0，则输出值是 0；否则，输出值是 1。图 2.4 展示了或门的三种表示方法。

在布尔代数中，或操作符由加号“+”表示。

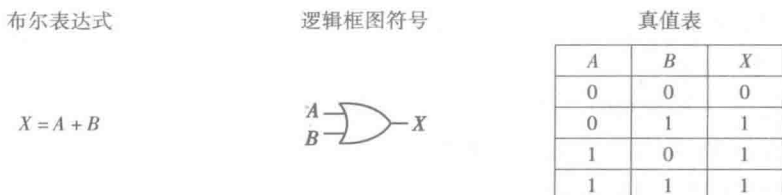


图 2.4 或门的三种表示方法

2.1.2.4 异或门

异或门接受两个输入信号，生成一个输出信号：如果两个输入信号的值相同，则输出值是 0；否则，输出值是 1。图 2.5 展示了异或门的三种表示方法。

在布尔代数中，异或操作符由“ \oplus ”表示。

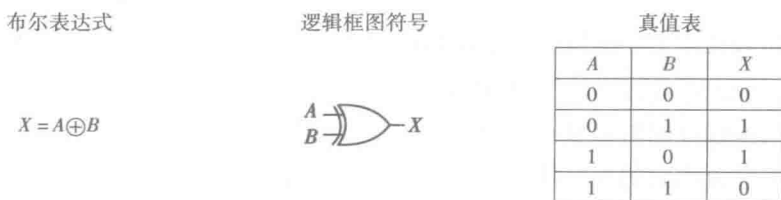


图 2.5 异或门的三种表示方法

2.1.2.5 与非门和或非门

与非门和或非门都接受两个输入值，生成一个输出值。与非门和或非门分别是与门和或门的对立门。也就是说，如果让与门的结果经过一个非门，那么得到的输出值和与非门的输出值是一样的。图 2.6 和图 2.7 分别展示了与非门和或非门的三种表示方法。

在布尔代数中，通常没有表示与非门和或非门的专用符号，而是根据它们的定义来表示这些概念。也就是说，与非门的布尔表达式是对与运算求逆；同样

地,或非门的布尔表达式是对或运算求逆。所以与非门和或非门的逻辑框图符号只是比与门和或门的逻辑框图符号多了一个求逆泡(说明求逆运算)。

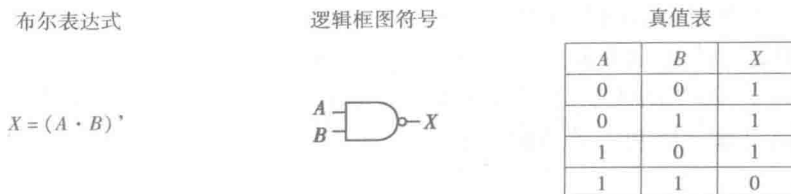


图 2.6 与非门的三种表示方法

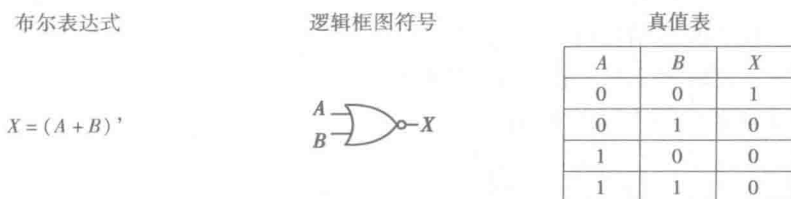


图 2.7 或非门的三种表示方法

2.1.2.6 具有更多输入的逻辑门

逻辑门可以被设计为接受 3 个或更多个输入值。例如,具有 3 个输入值的与门,只有当 3 个输入值都是 1 时,才生成值是 1 的输出。具有 3 个输入值的或门,如果任何一个输入值为 1,则生成的输出值都是 1。这些定义和具有两个输入值的逻辑门的定义是一致的。图 2.8 展示了具有 3 个输入信号的与门的三种表示方法。

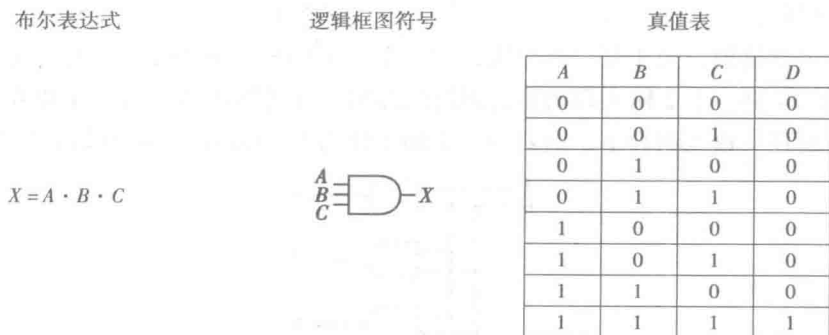


图 2.8 3 输入与门的三种表示方法

注意,具有 3 个输入的逻辑门有 2^3 , 即 8 种可能的输入组合,而对于具有 n 个不同输入的逻辑门有 2^n 种 0 和 1 的组合,这决定了真值表的行数。