

PUSHI JISUAN

普适计算

王 堃 编著



清华大学出版社
<http://www.tup.com.cn>



北京交通大学出版社
<http://www.bjup.com.cn>

高等学校物联网专业规划教材

普适计算

王 堃 编著

清华大学出版社
北京交通大学出版社
· 北京 ·

内 容 简 介

本书以普适计算的基本技术为基础,从国内外该领域最新的学术成果和应用研究出发,对普适计算的最新技术做了全面介绍。全书内容以技术渐进为线索,首先对计算和计算模式所涉及的相关问题做了探讨。接着从普适计算概念的形成源,结合物联网中涉及的与普适计算领域的交叉技术,对普适计算中所涉及的核心技术按章节顺序进行系统介绍。为了给读者对普适计算未来的发展和研究提供一个参考与导向,本书最后还对国内外普适计算发展中所遇到的挑战进行了详细分析,并给出了对普适计算未来发展的展望。

本书可作为各大高等院校计算机科学与技术、通信工程、电子信息工程、网络工程和物联网工程等专业的本科生和研究生的教材,也可作为物联网相关领域人士的参考资料。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

图书在版编目(CIP)数据

普适计算/王堃编著. —北京:北京交通大学出版社:清华大学出版社, 2013. 10
(高等学校物联网专业规划教材)

ISBN 978-7-5121-1677-1

I. ① 普… II. ① 王… III. ① 电子计算机—算法理论—高等学校—教材 IV. ① TP301.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 239932 号

责任编辑:郭东青 特邀编辑:张诗铭

出版发行:清华大学出版社 邮编:100084 电话:010-62776969

北京交通大学出版社 邮编:100044 电话:010-51686414

印刷者:北京时代华都印刷有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印张:30.5 字数:761 千字

版 次:2014 年 1 月第 1 版 2014 年 1 月第 1 次印刷

书 号:ISBN 978-7-5121-1677-1/TP·761

印 数:1~3000 册 定价:56.00 元

本书如有质量问题,请向北京交通大学出版社质监组反映。对您的意见和批评,我们表示欢迎和感谢。

投诉电话:010-51686043, 51686008; 传真:010-62225406; E-mail: press@bjtu.edu.cn。

序

物联网是继计算机、互联网和移动通信之后的又一次信息产业的革命性发展。目前物联网被正式列为国家重点发展的战略性新兴产业之一。作为一项战略性新兴产业，物联网的繁荣发展需要大量精通物联网技术的专业人才，教育部针对国家战略性新兴产业发展的需要设置了物联网相关专业。

为配合高等学校物联网相关专业教学需要，填补物联网相关专业教材的空白，清华大学出版社和北京交通大学出版社以“厚基础，重理论，强实践，求创新，促应用”为出发点，根据物联网相关专业培养目标和课程设置，联合编辑出版了这套“高等学校物联网专业规划教材”。

本系列教材突出了以下特点：

1. 在编写思路上，强调理论知识，结合实际应用，培养学生工程实践能力。
2. 在内容阐述上，强调对基本概念、基本知识、基本理论、特别是基本方法和技能给予准确的表述；为培养学生分析问题的能力，教材提供配套习题。
3. 在编写风格上，力求文字精炼，图文并茂，版式明快。
4. 在教材体系上，建立了较为完整的课程体系，突出了各课程之间的内在联系。

本套教材不仅可以作为高等学校物联网相关专业的教学参考书，也适合作为物联网相关领域人员的重要参考资料。相信此套教材必将受到读者的欢迎！

中国科学院院士
北京交通大学教授
物联网专家

姚建铨

2013 年 12 月

前 言

人类对于计算的研究热情始终没有改变，同时计算的问题始终也没有改变，但是那些陈旧的方法和策略已经不再有效了。1987年，Xerox公司Palo Alto研究中心（PARC）的电子和图像实验室（EIL）开始研制大型墙面平板计算机系统。在此背景下，1988年年初，以Mark Weiser为首的PARC计算机科学实验室（CSL）开始了普适计算（Ubiquitous Computing, UC）的研究，直至1991年Mark Weiser在*Scientific American*上发表文章，正式提出了普适计算的概念。自普适计算理念提出至今，国内外业界对与普适计算的研究已逾20个年头，但正如一个学生问爱因斯坦教授：“你的问题怎么和去年的一样呀？”爱因斯坦教授回答道：“噢！没有错，但是今年的答案是不同的呀！”

那么什么是今天的答案呢？普适计算又经过怎样的发展和创新才能适应当今物联网时代对于信息和网络技术的需求呢？

本书从物联网的角度对普适计算的技术进行了系统介绍，具有良好的前瞻性。目前人类社会正处在物联网时代的开端，要实现物联网最终的万物相联的目标，强大可靠的计算模式是必不可少核心技术支撑之一。物联网所涉及的技术领域相当广泛，包括通信技术、光学技术、网络技术和计算技术等方面，而普适计算涉及的前沿计算技术无疑将成为未来人类实现全面物联网的重要保障。本书作者根据各领域普适计算发展的最新研究成果，综合国内外学术界在普适计算相关领域的应用研究，从“普适计算”中“计算”的相关理论开篇，逐步介绍了计算机科学与技术领域中普适计算所涉及的关键技术，对国内外普适计算的先进技术和具体应用情况进行了深入浅出的剖析。

本书共分为14章，从内容上全书分为三个部分：首先，对计算和计算模式的相关问题做了深入探讨；其次，从普适计算的概念谈起，对普适计算领域涉及的关键技术按章节做了逐一的系统介绍；最后，为了给读者对普适计算未来的发展和研究提供一个导向与参考，本书还对普适计算的发展所遇到的挑战做了详细的分析，给出了对普适计算未来发展的展望。值得关注的是，本书在对普适计算关键技术介绍的章节中，不仅从该关键技术本身入手，同时结合了该技术在物联网领域的研究和应用，以崭新的视角对本书中所提及的普适计算关键技术都进行了全面的介绍。

本书第1章介绍了计算的相关概念，包括计算的定义、计算的哲学性和伦理性、计算系统的演变和计算划分理论等。第2章从计算模式的角度阐述了计算模式的分类，并重点介绍了移动计算、泛在计算、游牧计算和云计算这四种目前比较前沿的计算模式；通过这两章的学习，读者能够对“计算”相关的理论有清晰的把握。第3章首先介绍了普适的概念及在不同领域的应用，逐步介绍了普适计算的理念、定义、研究现状和关键技术概述，并说明了两种普适计算系统，让读者在对普适计算关键技术详细学习前，对普适计算有整体性的把握。第4章承接上一章对普适计算系统的介绍，从整体性角度说明了普适计算的架构技术，

其中包括普适计算架构概述和若干种目前研究热门的架构实例的介绍。第5章从普适计算物理层设备、网络支撑、RFID、无线传感器及嵌入式技术五个方面对普适计算的硬件技术做了全面介绍。第6章介绍了普适计算的协议与安全性问题。以服务位置协议开始,提出了普适计算面临的安全问题,接着引入对普适计算中安全机制与安全协议问题的探讨,之后重点介绍了普适计算中的隐私保护和访问控制两类重要的安全协议。第7章介绍了普适计算的传感技术,在第一节对传感技术在普适计算环境下的应用进行了简介之后,后面小节又从传感器网络拓扑控制、网络路由协议、网络地址分配和网络能耗管理四个方面说明了传感技术在普适计算环境下的应用;上下文感知技术也是普适计算中的另一重要概念。第8章从普适计算资源、上下文感知计算及其关键技术、文本标记语言和语义网等五个角度介绍了普适计算中的资源问题,最后从上下文感知计算技术总体角度描述了其系统模型与框架;中间件也是普适计算中另一重要的关键技术。第9章在对普适计算中的中间件技术和研究现状简要介绍之后,重点介绍了在普适计算中三种重要的应用中间件系统,深化了读者对于普适计算中间件技术的理解。第10章和第12章做了介绍可穿戴计算和智能空间;普适计算是以面向服务为重要需求的,第11章主要对普适计算中的服务技术做了介绍,从服务流程和服务质量两方面重点进行了介绍,之后通过异构服务框架将普适计算的服务概念加以整合;第13章介绍了普适计算中的平台技术,把上面提到的普适计算关键技术综合应用于平台应用的开发之中,从应用层面让读者更好地掌握普适计算。第14章对普适计算在发展过程中遇到的挑战做了系统的总结,同时,为未来普适计算的发展提出了展望。

全书以普适计算中的关键技术介绍为核心,主要适用于国内各高校计算机科学与技术、通信工程、电子信息工程、网络工程和物联网工程等专业的本科生和研究生使用。读者在使用本书前应具有计算机网络、无线通信技术、通信原理、传感器网络等先修预备知识。此外,本书还可供研究方向为普适计算、物联网与传感网技术等相关领域的研究者使用。

本书在编写过程中参考了国内外各大学术网站和专家学术论文,引用之处已在书中标明,在此,对参考使用到的文章的作者致以衷心的感谢。此外,张舒、郭篁、刘兴贵、卓林超、徐贺和张俊杰等也参加了本书的编辑和整理工作,在此一并表示感谢。由于时间仓促和能力有限,书中难免有不足和遗漏之处,望读者批评指正。

编者

2013年9月

目 录

第1章 计算概述	1
1.1 计算本体	1
1.1.1 计算的定义	2
1.1.2 数值计算	2
1.1.3 符号计算	5
1.2 计算哲学性与伦理性	7
1.2.1 计算哲学渊源	7
1.2.2 计算伦理问题	8
1.3 计算系统演变	12
1.3.1 古代计算系统	12
1.3.2 近代计算系统	13
1.4 计算划分理论	17
1.4.1 阶段划分论	17
1.4.2 发展划分论	18
1.4.3 年代划分论	22
本章小结	24
本章习题	24
参考文献	24
第2章 计算模式	26
2.1 计算模式分类	26
2.2 移动计算	31
2.2.1 移动计算模型	32
2.2.2 移动计算关键技术	33
2.2.3 移动计算研究三要素	34
2.2.4 移动计算的应用	35
2.3 泛在计算	36
2.3.1 泛在计算简介	36
2.3.2 泛在计算的发展现状	37
2.3.3 泛在网络	38
2.3.4 泛在网络关键技术	41
2.3.5 泛在计算的应用	42

2.4 游牧计算	43
2.4.1 游牧计算简介	43
2.4.2 游牧计算的技术特征	44
2.4.3 游牧计算面临的技术挑战	46
2.5 云计算	48
2.5.1 云计算简介	48
2.5.2 云计算技术研究现状	49
2.5.3 云计算特征	49
2.5.4 云计算分类	50
2.5.5 云计算关键技术	51
2.5.6 云计算应用	54
2.6 典型计算模式的比较	56
本章小结	57
本章习题	57
参考文献	57
第3章 普适计算概述	60
3.1 各领域普适规则	60
3.1.1 工农业普适规则	60
3.1.2 贸易与教育普适规则	62
3.1.3 系统论与普适规则	63
3.2 普适计算理念	64
3.2.1 普适计算理念形成	64
3.2.2 普适计算理念提出	66
3.3 普适计算定义	68
3.3.1 广义普适计算	68
3.3.2 狭义普适计算	70
3.4 普适计算研究现状	72
3.4.1 国外研究现状	73
3.4.2 国内研究现状	77
3.5 普适计算特点及关键技术	79
3.5.1 普适计算特点	79
3.5.2 普适计算关键技术	80
3.6 普适计算系统	89
3.6.1 普适计算系统目标	89
3.6.2 典型普适计算系统	90
本章小结	96
本章习题	97
参考文献	97

第4章 普适计算体系架构	100
4.1 普适计算体系架构概述	100
4.1.1 普适计算体系架构组成	100
4.1.2 普适计算体系架构的研究问题	101
4.1.3 普适计算层次化体系架构	102
4.2 普适计算体系架构实例	105
4.2.1 PCA 模型	105
4.2.2 ECORA 模型	107
4.3 自适应的普适计算体系架构	108
4.3.1 自主单元构件模型	108
4.3.2 可配置构件平台架构	110
4.4 面向异构网络的普适计算网络体系架构	112
4.4.1 新信息网络体系架构与模型	112
4.4.2 一体化网络模型与理论	114
4.4.3 普适服务模型与理论	115
4.5 面向情景感知的普适计算体系架构	116
4.5.1 情景感知体系框架	116
4.5.2 情景感知系统研究分类	117
4.5.3 情景感知系统挑战	118
4.5.4 情景感知模型要求	120
4.5.6 典型情景感知普适计算架构	121
本章小结	127
本章习题	127
参考文献	128
第5章 普适计算硬件技术	131
5.1 普适计算物理层设备技术	131
5.1.1 普适计算系统三要素	131
5.1.2 普适计算硬件技术的作用	134
5.2 普适计算中的网络支撑	135
5.2.1 短距离有线通信网	135
5.2.2 长距离有线通信网	136
5.2.3 短距离无线通信网	136
5.2.4 长距离无线通信网	137
5.3 普适计算中的 RFID 技术	138
5.3.1 RFID 相关技术	138
5.3.2 RFID 标签划分	143
5.3.3 EPC C1G2 空中接口协议	144
5.3.4 EPC 网络应用框架	147

5.3.5	RFID 典型应用	148
5.3.6	RFID 技术发展趋势	151
5.4	无线传感器	154
5.4.1	传感器基本原理及组成	154
5.4.2	传感器分类	157
5.4.3	传感器特点	159
5.4.4	无线传感器组网方式	160
5.5	嵌入式技术	165
5.5.1	嵌入式系统概述	165
5.5.2	嵌入式系统特点	166
5.5.3	嵌入式系统硬件技术	167
5.5.4	嵌入式系统软件部分	168
5.5.5	嵌入式系统的应用及发展趋势	169
	本章小结	170
	本章习题	170
	参考文献	171
第 6 章	普适计算协议与安全性	173
6.1	服务位置协议 SLP	173
6.1.1	SLP 协议介绍	173
6.1.2	SLP 协议概述	174
6.1.3	SLP 协议工作模式	175
6.1.4	SLP 协议需求	177
6.2	普适计算安全性概述	178
6.2.1	普适计算安全问题的提出	178
6.2.2	普适计算面临的安全问题	179
6.2.3	普适计算的安全研究重点	180
6.3	普适计算安全机制与安全协议	182
6.3.1	普适计算的安全机制	182
6.3.2	普适计算安全机制对比	194
6.3.3	普适计算安全协议概念	194
6.3.4	普适计算安全协议分类	197
6.4	隐私保护协议	199
6.4.1	隐私的概念	199
6.4.2	隐私保护策略应用模型	203
6.4.3	隐私保护研究趋势	205
6.5	普适计算访问控制协议	206
6.5.1	普适计算访问控制特点	206
6.5.2	普适计算访问控制方法	208
6.5.3	基于角色的访问控制	210

本章小结	213
本章习题	213
参考文献	214
第7章 普适计算的传感技术	217
7.1 传感器网络简介	217
7.1.1 传感器网络相关概念	217
7.1.2 传感器网络特点	218
7.2 传感器网络拓扑控制	220
7.2.1 拓扑控制简介	220
7.2.2 拓扑控制技术	220
7.3 传感器网络路由协议	228
7.3.1 传感器网络路由协议的改进	228
7.3.2 传感器网络路由协议分类	229
7.3.3 传感器网络路由协议	231
7.4 传感器网络地址分配	235
7.4.1 IPv6 地址空间管理	235
7.4.2 IPv6 地址管理需求	235
7.4.3 IPv6 地址分配算法	236
7.4.4 地址分配算法分析和比较	238
7.5 传感器网络能耗管理	239
7.5.1 传感器网络能耗特点	240
7.5.2 传感器网络能耗因素	241
7.5.3 传感器网络节能技术	242
7.6 传感器网络应用	251
本章小结	252
本章习题	252
参考文献	253
第8章 普适计算上下文感知技术	260
8.1 普适计算资源	260
8.1.1 普适计算资源定义	260
8.1.2 普适计算资源特点	261
8.1.3 普适计算资源管理	261
8.1.4 普适计算资源网络	262
8.2 上下文感知计算	264
8.2.1 上下文感知场景	264
8.2.2 上下文概述	265
8.2.3 上下文感知概述	266
8.2.4 上下文感知计算概述	268

8.3 上下文感知关键技术	269
8.3.1 上下文信息的获取	269
8.3.2 上下文信息的建模和表示	269
8.3.3 上下文的过滤、演化和融合	270
8.3.4 上下文信息的储存与管理	271
8.3.5 上下文安全和隐私	271
8.4 文本标记语言 OWL	272
8.4.1 OWL 概念	272
8.4.2 OWL 分类	274
8.4.3 OWL 基本组成及实例	275
8.4.5 OWL 系列标准规范体系	277
8.5 语义网	277
8.5.1 语义网基本概念	278
8.5.2 语义网协议栈	278
8.5.3 语义网基础	283
8.5.4 语义网优点	284
8.5.5 语义网面临的挑战	285
8.5.6 语义网及 OWL 在上下文感知中的应用	286
8.6 上下文感知计算系统模型及框架	291
8.6.1 上下文感知系统	291
8.6.2 上下文感知计算通用系统模型	292
8.6.3 上下文感知计算异构系统融合框架	294
本章小结	298
本章习题	298
参考文献	299
第9章 普适计算的中间件技术	302
9.1 中间件技术概述	302
9.1.1 中间件产生	302
9.1.2 中间件定义	302
9.1.3 中间件分类	303
9.1.4 中间件架构需求	306
9.1.5 中间件体系架构	307
9.1.6 普适计算中间件基本架构	308
9.2 中间件研究现状	308
9.2.1 中间件的横向探究	308
9.2.2 中间件的纵向探究	310
9.3 典型的中间件应用系统	312
9.3.1 RFID 中间件系统	312
9.3.2 实时监控中间件系统	318

9.3.3 上下文感知中间件系统	321
本章小结	324
本章习题	324
参考文献	325
第10章 普适计算的可穿戴计算技术	329
10.1 可穿戴计算概述	329
10.1.1 可穿戴计算定义	329
10.1.2 可穿戴计算研究现状	330
10.1.3 可穿戴计算机体系架构	331
10.1.4 可穿戴计算功能	333
10.2 可穿戴计算关键技术	333
10.2.1 低功耗计算机设计技术	333
10.2.2 信息处理技术	337
10.2.3 人机交互技术	337
10.2.4 硬件技术	338
10.2.5 语音识别技术	339
10.2.6 显示技术	340
10.2.7 接口技术	341
10.3 可穿戴计算系统指标	342
10.3.1 可穿戴计算机性能	342
10.3.2 可穿戴计算机属性	343
10.3.3 可穿戴计算系统特征	344
10.4 可穿戴计算技术应用领域	344
10.4.1 工业领域	344
10.4.2 军事领域	345
10.4.3 医疗领域	347
10.4.4 其他领域	347
10.5 可穿戴计算面临的挑战	349
10.5.1 系统的局限性	349
10.5.2 人体供电模式	349
10.5.3 可穿戴群体智能与社区	349
10.5.4 身体传感网络及可穿戴传感系统	349
10.6 可穿戴计算的市场前景	350
本章小结	352
本章习题	352
参考文献	352
第11章 普适计算的服务技术	355
11.1 普适计算服务概述	355

11.1.1 普适计算服务描述需求	355
11.1.2 普适计算服务描述方法	356
11.1.3 普适计算服务描述方法比较	357
11.2 普适计算服务流程	358
11.2.1 普适计算服务发现	359
11.2.2 普适计算服务选择	361
11.2.3 普适计算服务组合	365
11.2.4 普适计算服务迁移	367
11.3 普适计算服务质量	371
11.3.1 普适计算服务质量定义与特征	371
11.3.2 普适计算 QoS 参数表达	372
11.3.3 普适计算 QoS 框架	374
11.4 普适计算异构服务集成框架	375
11.4.1 SOA 概述	375
11.4.2 SOA 异构服务集成框架	378
11.4.3 基于普适计算的 SOA 应用	383
本章小结	386
本章习题	387
参考文献	387
第12章 普适计算的智能空间技术	390
12.1 智能空间简介	390
12.1.1 智能空间定义及特点	390
12.1.2 智能空间发展阶段	391
12.1.3 智能空间主要组成部分	392
12.1.4 智能空间关键技术	393
12.1.5 智能空间研究热点	394
12.1.6 智能空间应用	395
12.2 智能空间定位参考点布署技术	399
12.2.1 传统多边形定位算法	399
12.2.2 等边三角形定位算法	400
12.2.3 定位参考点选择算法	400
12.3 智能空间定位技术	401
12.3.1 基于实体的定位技术	401
12.3.2 基于地球表面的定位技术	402
12.3.3 定位技术评价标准	411
12.4 智能空间的挑战	412
本章小节	413
本章习题	413
参考文献	413

第 13 章 普适计算平台	415
13.1 普适计算平台概述	415
13.1.1 普适计算平台定义	415
13.1.2 普适计算平台需求	419
13.1.3 基于平台的普适学习	420
13.2 普适计算平台交互界面模型	423
13.2.1 基于自然界面的普适计算	423
13.2.2 普适计算平台的人机交互框架	425
13.2.3 普适计算平台的交互界面	435
13.3 平台搜索技术	438
13.3.1 平台搜索简介	438
13.3.2 信息获取技术	439
13.3.3 信息查询策略	441
13.3.4 普适计算平台搜索系统	445
13.3.5 平台搜索面临的挑战	451
13.4 典型的普适计算平台	453
13.4.1 普适计算测试平台	453
13.4.2 普适计算个人代理平台	456
本章小结	458
本章习题	458
参考文献	458
第 14 章 普适计算的挑战与安全性	463
14.1 普适计算挑战概述	463
14.1.1 普适计算的隐患	463
14.1.2 实现普适计算的关键因素	464
14.1.3 面临的技术挑战	466
14.2 普适计算未来前景展望	467
14.2.1 普适计算技术支撑	467
14.2.2 普适计算应用前景	468
14.2.3 普适计算发展趋势	468
14.2.4 普适计算的发展目标	469
本章小结	471
本章习题	472
参考文献	472

第1章 计算概述

本章为全书的起始章节，将首先介绍“普适计算”中“计算”的相关内容。首先通过介绍计算的定义及两种重要的计算形式：符号计算和数值计算，构成了计算的本体内容；其次，介绍了目前学术界对计算的跨学科研究比较热门的两个方面，即计算的哲学性和伦理性；再次，从古今两个方面描述了计算系统的演变和发展过程；最后，在本章中的最后一节给出了三种按照不同的角度对计算的发展进行划分的理论。



1.1 计算本体

21 世纪，人类的历程正处在一个转折点。在这个人口以统计的、信息以指数的、网络以幂率的速度增长的“爆炸”时代，科学扮演着一个重要的角色。因此，保持自然与社会通信渠道的畅通比以往任何时候都更加重要。西方科学诞生在 17 世纪的文化环境中，而当前西方科学的发展已经在这个文化环境的外面打开了自然与社会通信的渠道。我们相信，今天科学携带着更能为不同的传统文化所接受的普适信息。

在人类社会的早期时代，加减乘除的概念就已被人们所认识。随着人类文明的发展和技术的进步，对求方程的解，求函数的微分和积分等概念也纳入了计算的范畴。伴随人类生产活动的不断增加，人们对计算的要求也越来越大，计算工具也在不断的改进。

尽管无处不在的“计算”为我们带来了巨大的机遇，然而也带来了巨大的挑战。我们的问题始终没有变化，但是传统的“计算”已经无法满足人们如今的需要了。从传统的意义上来讲，自然科学讨论的是普适性的问题，人文科学讨论的是特殊性的问题。

爱因斯坦与其学生的故事非常形象地描述了传统“计算”与未来“计算”之间的关系。在爱因斯坦（A. Einstein）教授为他的学生们进行的一次考试中，采用了与上年相同的试卷。他的一个学生问道：“你的问题怎么和去年的一样呀？”爱因斯坦回答道：“噢！没有错，但是今年的答案是不同的呀！”

那么今年的答案是什么呢？不变的是问题，变化的是计算方式。虽然我们在讨论计算的本体，但是我们必须认识到普适计算不仅仅是一个计算问题，普适计算环境中的社会问题包括受到普适计算影响的个人、集体和组织的行为。如果利用普适计算技术能解除任何与网络、工作组及组织的物理连接，结果将如何？有什么新的方法来通信、合作、对等、组织和管理？这些问题的答案将引出新的方法来研究普适计算技术的社会影响。普适计算技术不仅使新的方式和交互成为可能，而且激发了对人类的基本行为和交流意义的再评估。在某种情况下，社会活动将以全新的方式发生。而在其他情况下，全新的社会活动将出现。

上面提到的每个问题都表明普适计算不仅能影响可能发生的事情，对已发生事情的结果

也有作用。在人类历史上所有物化的东西是不能与时俱进的，只有观念才能与时俱进。什么是可能的，什么是已经被人们理解的，二者之间的相互关系，构成了计算本体的对立结果。

1.1.1 计算的定义

在人类文明的早期，人们就认识到“加减”这些计算活动，以及它们的重要性。随着计算工具的不断改进，人们对“计算”本身也不断地加深了解。到后来开方、求方程的解和求微分求积分也被纳入计算的范畴。“什么是计算？”^[1]的问题一直到20世纪30年，由哥德尔（K. Godel, 1906—1978），丘奇（A. Church, 1903—1995），图灵（A. M. Turing, 1912—1954）等数学家的研究成果，人们才弄清楚什么是计算的本质，以及什么是可计算的，什么是不可计算的等根本性问题。

抽象地说，所谓计算，就是从一个符号串 f 变换成另一个符号串 g 。比如说，从符号串 $12 + 3$ 变换成 15 就是一个加法计算。如果符号串 f 是 x^2 ，而符号串 g 是 $2x$ ，从 f 到 g 的计算就是微分。定理证明也是如此，令 f 表示一组公理和推导规则，令 g 是一个定理，那么从 f 到 g 的一系列变换就是定理 g 的证明。从这个角度看，文字翻译也是计算，如 f 代表一个英文句子，而 g 为含意相同的中文句子，那么从 f 到 g 就是把英文翻译成中文。这些变换间有什么共同点？为什么把它们都叫做计算？因为它们都是从已知符号（串）开始，一步一步地改变符号（串），经过有限步骤，最后得到一个满足预先规定的符号（串）的变换过程。

从类型上讲，计算主要分为两大类：数值计算和符号计算。数值计算包括实数和函数的加减乘除、幂运算、开方运算、方程的求解等。符号推导包括代数与各种函数的恒等式、不等式的证明，几何命题的证明等。但无论是数值计算还是符号推导，它们在本质上是等价的、一致的，即二者是密切关联的，可以相互转化，具有共同的计算本质。随着数学的不断发展，还可能出现新的计算类型。

随着计算机日益广泛而深刻的运用，计算这个原本专门的数学概念已经泛化到了人类的整个知识领域，并上升为一种极为普适的科学概念和哲学概念，成为人们认识事物、研究问题的一种新视角、新观念和新方法。

随着计算工具的发展，一些哲学家和科学家开始从计算的视角审视世界，科学家们不仅发现大脑和生命系统可被视作计算系统，而且发现整个世界事实上就是一个计算系统。当康韦证明细胞自动机与图灵机等价时，就有人开始把整个宇宙看作是计算机。因为特定配置的细胞自动机原则上能模拟任何真实的过程。如果真是这样，那么我们便可以设想一种细胞自动机，它能模拟整个宇宙。实际上，我们完全可以把宇宙看作一个三维的细胞自动机。基本粒子或其他层次的物质实体可以看作是这个细胞自动机格点上的物质状态，支配它们运动变化的规律可以看作是它们的行为规则。在这些规则的作用下基本粒子发生各种变化，从而导致宇宙的演化。

总之，计算或算法的观念在当今已经渗透到宇宙学、物理学、生物学乃至经济学和社会科学等诸多领域。计算已不仅成为人们认识自然、生命、思维和社会的一种普适的观念和方法，而且成为一种新的世界观。下面分别介绍数值计算和符号计算的有关内容。

1.1.2 数值计算

虽然构造普适计算的各种构件都存在，例如嵌入式技术、网络技术（包括移动计算和