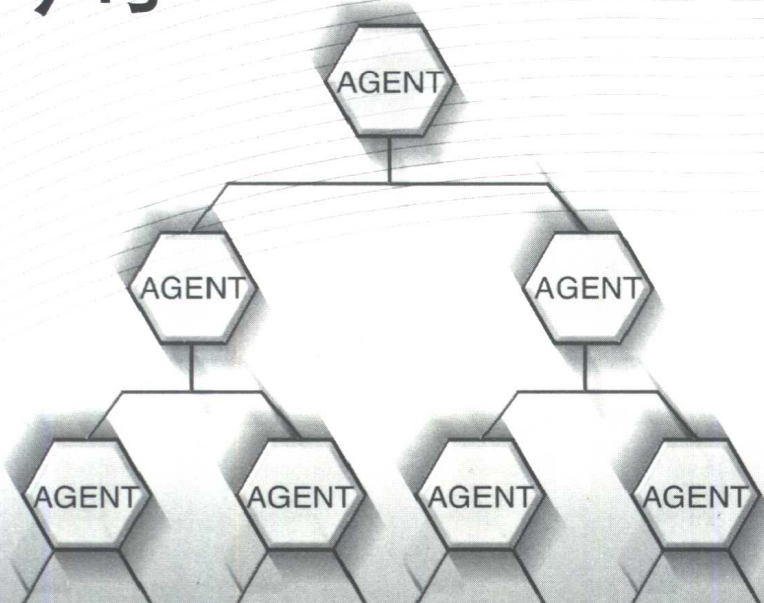
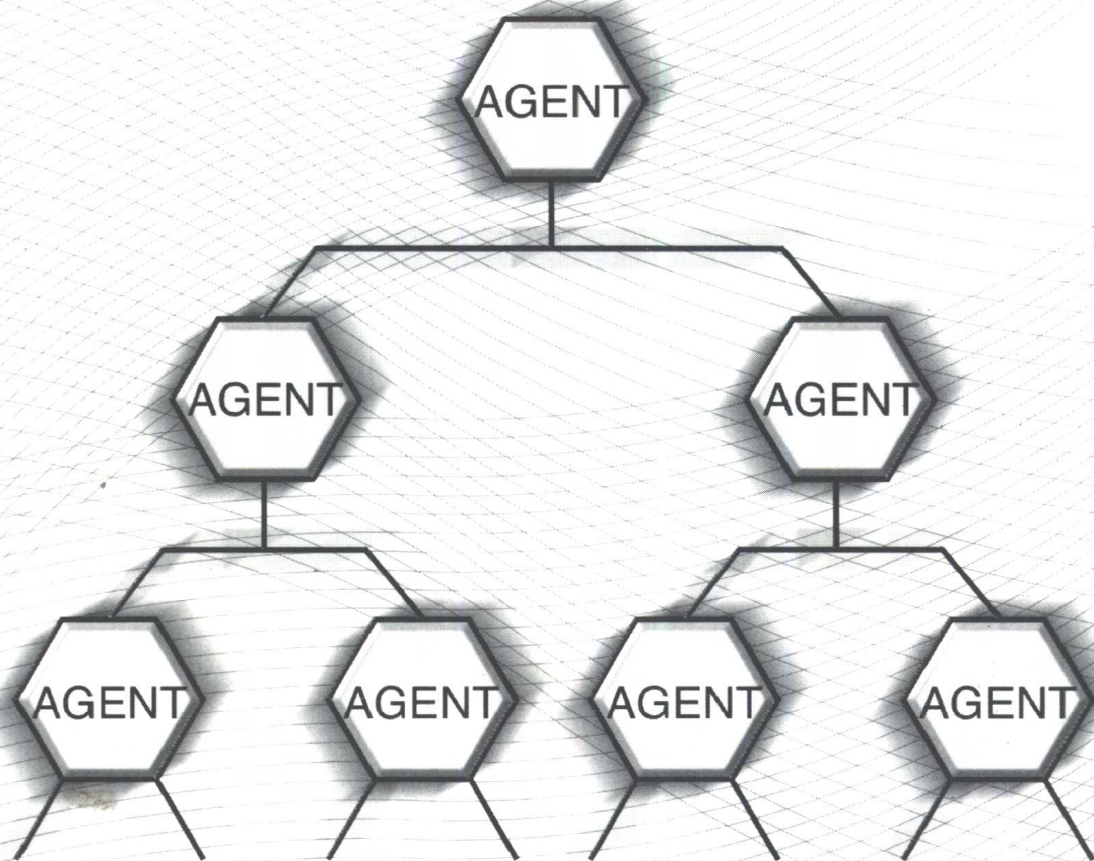


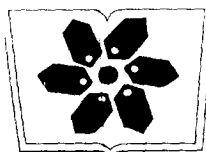
智能主体及其应用

史忠植 著

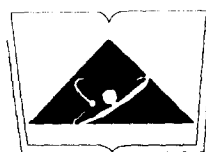
智能主体及其应用



科学出版社



中国科学院科学出版基金资助出版



国家自然科学基金委员会资助出版

智能主体及其应用

史忠植 著

科学出版社

2000

内 容 简 介

智能主体是一种处于一定环境下的计算机系统,它能在那种环境下灵活地、自主地活动。智能主体提供了一种新的计算和问题求解风范,将是下一代复杂的、分布的工程系统的模型。本书系统地论述了智能主体的基本概念和关键技术,反映了当前智能主体研究的最新成果。

全书共分十四章。第一章是绪论,指出智能主体产生的背景以及重大意义。第二章讨论理论模型,着重讨论描述智能主体方法和框架。第三章讨论主体的系统结构,给出几种典型主体的具体结构。第四章论述通信语言。第五章讨论主体的协调与协作。第六章专门论述移动主体的原理和关键技术。第八章提出面向主体的软件技术。第九章给出智能主体的开发环境。第十章到第十三章讨论智能主体在信息检索、电子商务、智能决策支持和智能控制等领域的应用。最后将展望智能主体发展的方向和前景。

本书内容新颖,认真总结了作者的科研成果,取材国内外最新资料,反映了当前该领域的研究水平。论述力求概念清晰,表达准确,层次分明,突出理论联系实际,通过实例说明原理,富有启发性。本书对从事分布式人工智能、分布式计算、复杂系统研究的科技人员具有重要参考价值,可以用作计算机、信息技术等专业博士生、硕士生的教材。

图书在版编目(CIP)数据

智能主体及其应用/史忠植著. -北京:科学出版社,2000

ISBN 7-03-009014-4

I. 智… II. 史… III. 智能分布系统-研究 IV. TP338

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 79189 号

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

新蕾印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2000 年 12 月 第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2000 年 12 月第一次印刷 印张: 16 1/4

印数: 1—3 000 字数: 379 000

定价: 35.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换(环伟))

前 言

21 世纪是人类走向信息社会的世纪,是网络的时代,是超高速信息公路建设取得实质性进展并进入应用的年代。网络计算环境正在由 Client/Server 发展到 Client/Network,并向 Client/Virtual Environment 发展。中文信息处理、缩小与信息系统之间距离的关键技术将在多模式人机接口及声、图、文一体化开发环境、智能化软件开发环境、学习和推理、虚拟现实技术等方面进入实际应用,信息获取、信息安全将成为关键技术。信息系统将从科学计算、数据处理等向提高人民文化教育和生活质量的方向发展,信息资源建设日益受到重视,信息处理逐步由单维向多维化过渡,人类将走向一个以 Internet 为基础的计算机、通信和消费类电子相结合的 3C 世界。

在知识经济时代,以知识为资源,以知识创新为动力,形成以高科技产业为标志的产业化经济。知识创新表现在科学发现和技术创新能力、知识产权的获取能力和集成创新应用的能力。知识创新必将促进人的智能和机器智能共同创造智能社会,形成分布式智能的格局,实现社会生产的自动化和智能化,促进知识经济的发展。

20 世纪 90 年代,随着计算机网络、计算机通信等技术的发展,对于智能主体(Intelligent Agent)的研究不仅成为分布式人工智能研究的一个热点,而且也是信息技术关注的一个热点。智能主体是一种处于一定环境下包装的计算机系统,为了实现设计目的,它能在那种环境下灵活地、自主地活动。智能主体提供了一种新的计算和问题求解风范。在人工智能研究中,主体概念的回归并不单单是因为人们认识到了应该把人工智能各个领域的研究成果集成为一个具有智能行为概念的“主体”,更重要的原因是人们认识到了人类智能的本质是一种社会性的智能。人们在研究人类智能行为中发现:人类绝大部分的活动都涉及多个人构成的社会团体,大型复杂问题的求解需要多个专业人员或组织协作完成。人最重要的和最多的智能是在由众多个体构成的社会中进行各种活动时体现出来的。“协作”、“竞争”、“谈判”等等是人类智能行为的主要表现形式。要对社会性的智能进行研究,构成社会的基本构件“人”的对应物“主体”理所当然地成为人工智能研究的基本对象,而社会的对应物“多主体系统”也成为人工智能研究的基本对象。

智能主体能够提供一种很好的问题求解风范的原因是由于基于主体的系统具有许多优点。智能主体提供了一种远程智能程序设计的方法。多主体系统放松了对集中式、规划、顺序控制的限制,提供了分散控制、应急和并行处理。并且,多主体系统可以降低软件或硬件的费用,提供更快速的问题求解。智能主体快速发展的一个重要原因是 Internet 和 World Wide Web 的广泛的普及和增加。智能主体将使最终用户从纷繁的信息海洋中解放出来,在智能主体的帮助下,用户可以只关注他最感兴趣的那些信息。智能主体帮助个人和企业通过网络数字世界搜索信息,执行任务,将会成为用户重要的工具。

本书系统地论述了智能主体的基本概念和关键技术,并给出智能主体应用的实际例

子。全书共分十四章。第一章是绪论，指出智能主体产生的背景以及重大意义。第二章讨论理论模型，着重讨论描述智能主体的方法和框架。第三章讨论主体的系统结构，给出几种典型主体的具体结构。第四章论述通信语言。第五章讨论主体的协调与协作。第六章专门论述移动主体的原理和关键技术。第七章讨论主体的学习和安全问题。第八章提出面向主体的软件技术。第九章给出智能主体的开发环境。第十章到第十三章重点讨论智能主体在信息检索、电子商务、智能决策支持和智能控制等领域的应用。最后将展望智能主体发展的方向和前景。

本书是中国科学院计算技术研究所智能计算机科学实验室有关智能主体研究工作的总结。涉及的研究项目得到国家自然科学基金、国家 863 高技术计划的资助。参加研究工作的人员有田启家博士后、廖乐健博士、王文杰博士、李威博士、李云峰博士、张颖博士、王伟博士、潘谦红博士、焦文品博士、曹虎博士、武成岗、汪涛、江涛、王炬等。澳大利亚人工智能研究所的 Georgeff、Deakin 大学的张成奇博士、荷兰阿姆斯特丹大学的黄智生博士、香港中文大学的梁浩锋博士、香港城市大学的王怀清博士、清华大学的石纯一教授等曾对本书写作给予帮助。本书得到中国科学院科学出版基金、国家自然科学基金委员会优秀研究成果出版基金的资助。科学出版社对本书的出版给予大力支持，在此一并致谢。

史忠植

1999 年 10 月

目 录

前言

第一章 绪论	(1)
1.1 信息社会	(1)
1.2 信息高速公路	(2)
1.3 网络计算	(4)
1.4 分布式人工智能	(6)
1.5 智能主体	(7)
1.5.1 主体弱概念	(8)
1.5.2 主体强概念	(9)
1.5.3 主体的其它属性	(9)
1.6 移动主体	(9)
1.7 智能主体的研究进展	(11)
第二章 理论模型	(12)
2.1 智能主体的心理要素	(12)
2.2 理性主体	(13)
2.3 Cohen 和 Levesque 的模型	(14)
2.3.1 模态逻辑	(14)
2.3.2 Cohen 和 Levesque 的 BDI 模型	(14)
2.4 Rao 和 Georgeff 的模型	(15)
2.4.1 分支模态逻辑	(15)
2.4.2 Rao 和 Georgeff 的 BDI 模型	(17)
2.5 多主体的逻辑框架 RAO	(18)
2.5.1 公共知识	(18)
2.5.2 对其它主体的推理	(18)
2.6 主体心智状态的表示	(20)
2.6.1 主体的信念和动作	(20)
2.6.2 主体的能力	(21)
2.6.3 主体的规划	(22)
2.6.4 主体的意图	(22)
2.7 π 演算主体模型	(22)
2.7.1 π 演算	(23)
2.7.2 主体的心智态度	(23)
2.7.3 主体的行为规范	(25)
2.7.4 主体界面	(25)

2.7.5 主体自适应	(26)
2.7.6 多主体系统模型	(27)
2.8 基于行为的主体理论	(29)
第三章 主体结构	(30)
3.1 主体基本结构	(30)
3.2 慎思主体	(31)
3.3 反应主体	(34)
3.4 混合结构	(36)
3.5 INTERRAP	(37)
3.6 MAPE 主体结构	(38)
3.6.1 部件构成	(38)
3.6.2 主体内核	(41)
第四章 主体通信	(50)
4.1 通信方式	(50)
4.1.1 黑板系统	(50)
4.1.2 消息传送	(50)
4.2 主体通信语言 KQML	(51)
4.2.1 KQML 字符串句法	(52)
4.2.2 保留的动作表达式参数	(52)
4.2.3 保留的动作表达式	(53)
4.3 SACL 语言	(55)
4.3.1 主体间通信的模型	(55)
4.3.2 SACL 语言规范	(58)
4.3.3 SACL 的保留关键字	(58)
4.4 通信服务器	(64)
4.4.1 通信模块	(64)
4.4.2 通信服务器类	(66)
4.4.3 名字服务	(66)
4.4.4 查询服务	(67)
4.4.5 订购服务	(67)
4.4.6 主体生存期服务	(68)
4.4.7 系统监控和调试	(68)
4.5 主体通信语言 ACL	(69)
4.5.1 主体间通信概述	(69)
4.5.2 FIPA ACL 消息	(71)
4.5.3 交互协议	(75)
4.5.4 ACL 语义学的形式化基础	(77)
4.6 本体论	(79)
第五章 协调与协作	(81)

5.1	引言	(81)
5.2	合同网	(83)
5.3	协作规划	(85)
5.3.1	形式化框架	(86)
5.3.2	协作模型	(87)
5.3.3	协作结构	(88)
5.3.4	协作方案	(90)
5.3.5	协作过程分析	(92)
5.4	部分全局规划	(93)
5.5	基于约束传播的规划	(95)
5.5.1	规划表示	(96)
5.5.2	多主体环境下的规划问题	(98)
5.5.3	规划算法	(99)
5.6	基于生态学的协作	(102)
5.7	基于对策论的协商	(104)
5.7.1	对策论	(104)
5.7.2	面向领域的协商	(106)
5.7.3	最佳平衡协商方法	(106)
5.7.4	集中式协商方法	(106)
5.8	基于意图的协商	(107)
5.8.1	意图	(107)
5.8.2	协商过程	(108)
5.9	基于范例推理的合同网协商	(108)
第六章	移动主体	(110)
6.1	概述	(110)
6.2	分布计算模型	(113)
6.3	协作移动主体 CMA	(114)
6.4	任务移动主体 TMA	(118)
6.5	移动主体服务器结构	(121)
6.6	JMAT 系统结构	(125)
6.7	JMAT 本体知识解释器	(127)
第七章	学习与安全	(129)
7.1	学习	(129)
7.2	主动学习	(129)
7.2.1	主动学习概述	(130)
7.2.2	主动学习者以前不正确学习的问题	(130)
7.2.3	克服前面不正确学习问题的方法	(131)
7.2.4	选择训练实例学习的时机	(132)
7.3	异构多主体系统中学习组织角色	(132)

7.4	分布式环境下的数据库知识发现 DEKDD	(134)
7.5	多主体范例推理	(137)
7.6	多主体系统的安全	(139)
7.6.1	处理 AOSDE 分布式安全机制 DSM 的设计	(140)
7.6.2	DSM 的低层算法设计	(141)
7.6.3	低层算法的安全性分析及实现	(142)
7.6.4	DSM 的高层设计	(144)
第八章	面向主体的软件技术	(147)
8.1	软件开发方法	(147)
8.2	分布式对象构件技术	(148)
8.3	面向主体程序设计	(151)
8.3.1	AGENT-0 语言	(151)
8.3.2	AGENT-0 解释器	(153)
8.4	基于主体的分布计算模型	(155)
8.5	公共主体请求代理体系结构 CARBA	(155)
8.6	AOSDE 的总体结构	(156)
第九章	主体开发工具	(158)
9.1	引言	(158)
9.2	Java 语言	(159)
9.3	PLACA 语言	(165)
9.4	IBM 的 ABE	(166)
9.5	AOSDE	(167)
9.5.1	通用主体模板	(168)
9.5.2	主体控制循环	(169)
9.5.3	主体描述语言 ADL	(169)
9.6	CIAgent	(171)
9.6.1	基本类 CIAgent	(171)
9.6.2	类 CIAgentEvent	(173)
9.6.3	类 CIAgentEventListener	(174)
9.6.4	类 Rule	(174)
9.6.5	类 RuleBase	(177)
9.6.6	类 FacilitatorAgent	(180)
第十章	信息检索	(185)
10.1	网络信息检索	(185)
10.2	JMAT 分布信息检索	(186)
10.3	基于主体的多媒体并行检索系统 MIRES/INPAR	(189)
10.3.1	系统体系结构	(189)
10.3.2	系统工作过程	(191)
10.4	基于本体论的信息检索服务器	(192)

第十一章 电子商务	(194)
11.1 引言	(194)
11.2 运作模式	(195)
11.3 电子商店设计	(197)
11.4 电子商务实现	(199)
11.4.1 类 BuyerAgent	(199)
11.4.2 类 SellerAgent	(203)
11.4.3 类 BasicNegotiation	(209)
11.4.4 类 BestBuyerAgent	(210)
11.4.5 类 BestSellerAgent	(212)
11.4.6 类 MarketPlace	(216)
第十二章 智能决策	(223)
12.1 引言	(223)
12.2 决策支持系统	(224)
12.3 智能决策支持系统	(225)
12.4 群体决策支持系统	(225)
12.4.1 信息共享群体决策支持系统	(226)
12.4.2 协同工作群体决策支持系统	(227)
第十三章 智能控制	(230)
13.1 引言	(230)
13.2 空中交通管理系统	(231)
13.3 智能机器人	(233)
13.4 Brooks 的包容结构	(234)
13.5 O'Hare 的社会机器人	(235)
13.6 机器人世界杯足球赛	(236)
第十四章 展望	(238)
参考文献	(240)

第一章 绪 论

1.1 信息社会

信息既非物质,也非能量,是构成世界的基本要素之一。信息科学、信息技术及产业在国民经济、国防建设、科学研究中发挥突出作用,对人类社会的发展产生巨大影响。信息科学是研究各种系统中信息过程(产生、采集、存储、变换、传递、处理和使用等)的一般规律,并能动地加以利用的科学。信息科学是以信息为主要研究对象、以信息及其运动规律为主要研究内容、以信息科学方法论为主要研究方法、以扩展人的信息功能,特别是其中的智力功能为主要研究目标的一门新兴的横断科学。信息科学包括研究信息基本理论的信息论,研究信息过程基本物质手段的材料科学,研究基本技术手段的电子学,以信息处理工具——计算机为研究对象的计算机科学,研究系统中信息运动规律的系统与控制科学,研究信息传递的通信理论和技术,以及研究和模拟人脑中信息过程的智能科学 [288]。

信息理论,原来的狭义含义是通过数学理论和方法对信息传输进行定量的分析和研究,也就是信息论。这种理论包含了通信中的两大基本问题,即提高传送信息的有效性和可靠性。它对通信实践起了十分重大的作用。新信息理论研究的目的,就是要打破香农(Shannon)信息论的局限性,建立全新的信息科学理论体系。

信息科学的研究有力地推动了信息技术的迅速发展。信息科学技术在近代发展经济和促进人类社会进步中一直起着关键的作用。1945年美籍匈牙利人冯·诺伊曼等人提出“存储程序”概念,形成“诺伊曼机”(计算机)的设计思想。1946年世界上诞生了第一台存储程序式的电子数字计算机。1948年美国E. 香农等人发表《通信的数学理论》,奠定了信息论的基础。美国N. 维纳的《控制论》一书的出版,标志控制论学科的诞生。1950年英国A. M. 图灵发表《计算机和智力》,提出把思维赋予机器的观点。这些为信息科学的发展奠定了理论基础。从科学技术的发展角度来看,信息技术在20世纪后叶获得了巨大发展,成为现代社会中的关键技术。计算机技术已从一种单纯的快速计算工具,发展成为能高速处理一切数字、符号、文字、语音、图象以至知识等的强大手段。其应用领域已覆盖社会全方位。计算机科学技术已经成为人类社会巨大的生产力。计算机与通信的结合更深刻地影响和改善了人类生产与生活方式,大大促进了人类文明的进步,使人类进入信息社会。

在信息社会中,信息的获取、处理和传输是社会运行的首要任务。计算机和通信结合并形成高速信息网络技术,在世界范围内将产生革命性的影响,令世人关注。技术多样性、业务综合性、行业的融合性、市场的竞争性、用户的选择性是信息社会的显著特征。未来信息社会中,不是我们有什么用户就用什么,而是用户需要什么我们就能提供什么。将来,随着企业、家庭与政府上网数目的增多,信息传输的数字化,整个社会通过计算机网络联系在一起(见图1.1)。

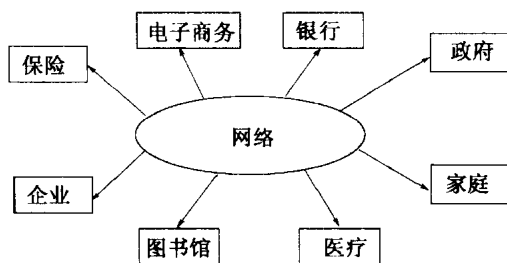


图 1.1 信息社会结构

信息技术是当代高技术的生长点和经济发展的核心推动力。仅因特网就创造了上万亿美元的新财富，大大超过美国政府对网络研究的投资。1995~1997 年，信息技术对美国经济增长的贡献率达三分之一以上。以仿真为基础的科学正在影响着工业。信息技术不仅对美国经济增长、工作岗位创造、生产率和全球竞争力有重大影响，而且是国家实现每一项重大目标的有力手段。美国为了保持在这个领域的领先地位，于 1993 年提出了“信息基础设施计划”(NII)，这一计划在全球引起了普遍而强烈的反响。1994 年发展成为“全球信息基础设施计划”(GII)。1996 年美国推出“新一代 INTERNET 网络计划”(NGI)。1997 年公布了“全球电子商务框架”。1998 年进一步发展成为“数字经济”、“数字地球”。为了保持在 21 世纪的竞争优势，美国联邦政府于 1999 年 1 月 24 日推出了一项宏大的信息技术计划，称为 21 世纪信息技术计划 (IT2)。这项计划是美国政府促进信息技术发展的重要举措，该项计划将与现有的高性能计算计划 (HPCC) 和 NGI 计划同时开展。

1.2 信息高速公路

计算机网络是计算机技术与通信技术相结合的产物，是信息化社会主要的基础设施。传统的通信只是进行信息的传递，而在计算机网络中，不仅可使信息传递得更快和更加可靠，而且还可进行信息的收集、存储和加工处理，提供多样化的信息服务。网络互连技术的发展使整个社会实现网络化成为可能，形成“社会网络化、网络社会化”的局面。

当今 Internet 发展速度之快令人瞠目。1998 年 7 月 21~24 日在日内瓦召开的 INET'98 大会开幕式上，著名的 MCI 公司高级副总裁 VintCerf 博士做了题为“新世纪前的通信”的报告。他在报告中列举了一些有关 Internet 发展的最新数据：截止到 1998 年 7 月，网上已有域名逾 300 万，主机 4500 万，到 1998 年 1 月有 240 个国家和地区组建了 IP 网络，拥有 1 亿用户。根据目前的统计，网上 75% 的业务量是 WWW。估计到 1998 年全球有 150 万个 Web 站点，3.5 亿个网页，而业务量的年增长率是 100%~1000%。目前全球有 Internet 服务提供商 (ISP) 7500 家，其中 60% 是在美国。预计到 2000 年 12 月将有 3 亿~10 亿用户。

伴随着 Internet 的飞速发展，NGI、IPv6、RSVP、IPOA、MPOA、MPLS、IPPhone、IPFax、IPmulticast、IPoverSDH/Sonet、IPoverWDM/optical 等引起广泛的兴

趣。第一次浪潮是以信息为基础的 Internet；第二次浪潮是以服务为基础的 Internet，即信息成为公共 Web 站点提供的商品。下面五个发展趋向引起人们的高度重视：

- (1) 从以连接为中心的网络向以多业务数据为中心的网络转移；
- (2) 从在电话上传送数据转向在分组网上传送话音；
- (3) 未来用户的需求将向 WWW、移动性和多媒体方向发展；
- (4) 未来 Internet 的新应用将包括与广播媒体、通信业务以及出版媒体的结合；
- (5) 未来每一个人都将是出版者或信息制造者。

随着计算机技术的发展，电信网络也出现了四大变化，即电信网络被越来越多地用于传输数据；电信部门正在提供越来越多的非话务服务；电话网络数字化；电话网络的内在属性正在悄悄发生变化。通信介质的迅速光纤化为数据通信打下了基础。

千兆位 (Gigabit) 网络的研究不仅是大学实验室里的小规模学术研究，大多数研究队伍的规模较大，有的甚至是一个机构的独立组织，如 AT&T 的 LuckyNet，有些则由多个机构的成员组成，如 Aurora。它们大多数已建立了实验式 Gigabit 网络，也称为验证环境 (Testbed)。其中最著名的是美国的五个验证环境，它们大部分由美国自然科学基金会等资助，构成了美国 Gigabit 的主要研究活动。

(1) AT&T 与加利福尼亚大学伯克利分校、伊利诺伊大学和威斯康星大学等联合启动了实验大学网络 (XUNET)，研究基于信元的广域网计划。1990 年 XUNET 扩展为 Blanca 验证环境。其研究内容十分广泛，主要有呼叫、多路复用、拥塞控制、计算机与网络界面（如超级计算机的整合、网络虚拟存储机制）及 Gigabit 应用等。该工程已产生了不少有趣的结果，包括对多媒体协议的支持、拥塞控制与回避。在 XUNET 工程中，也有来自哥伦比亚大学、宾夕法尼亚大学的研究人员。

(2) Aurora 是位于美国东部的测试环境，其中配置了 Bellcore SunshineATM 交换机及 IBM 的 PlanET 交换机。测试环境与工作站连接，进行网络协议、应用、分布式系统方法学、工作站操作系统及性能保证等方面的研究。杰出的工作有 ATM 纠错、流和拥塞控制、协议体系结构及 ATM 协议接口等。

(3) 美国的 Nettar 主要研究 Gigabit 网络应用，其研究人员来自匹兹堡。他们利用 HIPPI 开关及 ATM/SONET 连接 HIPPI 开关，并将 CMU 的各种计算机与匹兹堡的巨型计算机互连，主要研究异构系统分布处理性能中协议及操作系统的设计。

(4) 美国的 CASA 建立于 1990 年，它是美国 ARPA/NSF 的一个测试试验基地。主要研究分布式超级计算机，并连接了美国西部的主要超级计算机实验室，如洛斯阿拉莫斯国家实验室 (LANL)、加利福尼亚技术学院 (CalTech)、圣迭戈超级计算机中心 (SDSC) 及 JetPropulsion 实验室 (JPC) 等。正在研究的应用项目主要包括超级计算机间基于网络的通信、采用大量数据的化学反应计算、交互式地理应用及气象预报等。该工程主要利用 SONETOC-3 长途线路连接 LANL、JPC、CalTech 及 SDSC 等。

除了上述典型的千兆位网络研究项目外，还有英国的剑桥大学、SuperJANET、ACORN (Advanced Comm. Organization for Research Network)、VISANet，以及 XEROX、HP、DEC、NASA 等联合组成的 BAGNET (Bay Area Gigabit Network)。

千兆位网络的发展与光纤通信技术紧密相关，光纤通信技术是千兆位网络的基础。光纤具备长距离的每秒传送若干千兆位的能力，同时，误码率非常低，这为千兆位网络

的发展打下了基础。光纤通信中两个重要的基础技术是 SONET 与 WDM。

SONET 是电信标准 SDH 簇的一个重要组成部分, 它的目的是代替传统电缆主干线路的话路信令。许多研究人员认为, 电信行业将逐步采用 SONET 帧格式。发展 SDH 的目的是改变目前低速链路上三种标准的现状 (美国标准、日本标准和 ITU 标准)。例如, 美国采用 T1 标准将 24 个 64 kb/s 的话音电路复路复用到 1.5Mb/s 的链路上, 而 ITU 则将 32 个话音电路复用到速率为 2 Mb/s 的 E1 电路上。而人们希望在高速链路上只有一种复用标准。SONET 是按帧传递数据, 在逻辑上每帧由 90 列 $\times$ 9 行字节组成, 对于 OC-n 的数据速率, 传送单位为 n 帧, 单个 OC-n 的帧由 n 个 OC-1 帧组成。SONET 的前三列用于传送开销信息。

与 SONET 截然不同的另一种技术是波分多路复用 (WDM)。它利用光纤的特殊性质来建造新型数据网络。WDM 的基本原理是将光纤带宽分为多个通道, 并将通信的主机调节到特殊的通道。这种调节可以预分配, 也可以将接收器或发送器调节到指定的通道。WDM 的主要优势在于, 它可以克服光电信号转换目前只能达到千兆位级的局限。WDM 的目标是通过不同波长的多种并行光电设备来充分发挥光纤的容量。有人将其称为 Tb/s 网络。由于数据通信领域的速率一般指单结点能达到的速率。因此, WDM 网络也是千兆位网络。

1.3 网络计算

计算机怎样互连起来以更好地利用资源, 高效完成各种信息处理? 这是一直为人们所思考和探索的问题: 从 50 年代计算机互连概念的出现到 70 年代早期是单主机的时代; 从 70 年代早期到 80 年代中期这段时间则是通过专用网络或 ARPANET 将小型机连接起来的时代; 从 80 年代中期到 90 年代早期则是工作站通过局域网连接起来占主导地位的时代; 从 90 年代早期到近期, 则通过局域网、广域网和 Internet 将工作站服务器和瘦客户机连接起来; 现在, 人们认为网络就是计算机, 出现了一种全新分布式计算概念, 即: 任何计算设施不需预先配置和安装, 便可在任何时间、任何地点加入网络, 并且能和网络中已有的各种软硬件一起协调工作, 完成网络计算。

在 21 世纪即将到来之际, 世界各大软、硬件公司都提出了自己对未来的看法, 诸如 IBM 的网络中心计算、SCO 的 Internet 计算、Oracle 的网络计算、Sybase 的分布式计算、Intel 的 MMX 计算、Microsoft 的 NT 计算、DEC 的 Web 计算、HP 的可缩放优质服务服务器、Sun 公司的 Java 计算等。SUN 早就提出了“网络就是计算机”的口号。总之, 从世界信息技术发展趋势看, 网络计算时代已经到来。

正是在这一历史潮流的指引下, SUN 公司宣布一套基于 Java 的分布式计算平台 Jini。首先, Jini 是一种 Java 结构, 它可以执行操作系统功能, 并把这种功能扩展到整个网络; 其次, Jini 是一个 Java 程序, 它运行在 Java 虚拟机上, 并具有设备即插即用的网络功能。Jini 体系结构的目的是将成组的设备和软件构件联合成一个单一的、动态的分布式系统, 联合后的联邦系统向用户提供如下能力: ①简单的网络访问; ②网络的易于管理; ③在保持单机或工作站的灵活性、统一响应和控制的情况下, 支持由联邦系统提供的共享能力。在这种体系结构下, 提出了一些新概念:

(1) 服务。Jini 体系结构最重要的概念是服务。一个服务是一个实体，它能被人、程序或其它服务使用。一个服务可能是一次计算、存储、和另一个用户交流的通道、软件过滤器、硬件设备或另一个用户。例如：提供从一种字处理器的格式到另一字处理器的格式翻译或文档中语言的翻译。Jini 系统中成员间的联邦是为了对服务共享访问。一个 Jini 联邦不应被简单看成是客户机和服务器的集合，或者是用户和程序的集合，或者是程序和文件的集合；相反，一个 Jini 联邦由服务组成，这些服务组合到一起完成某一特定的任务，也可能服务利用其它服务来完成某一任务。Jini 系统提供一种机制，在分布式系统中实现对服务的构造、查找、通信和使用，服务的例子包括硬件设备（如打印机、显示器或磁盘）、软件构件（如应用程序或工具）、信息（如数据库和文件）以及系统的使用者。Jini 系统中通过使用服务协议（即一套 Java 接口）完成服务间的通信。

(2) 查找服务。通过查找服务发现和确定服务，同时查找服务还起到连接系统和系统使用者的作用。一个查找服务的对象或许包括其它查找服务，因此系统支持等级查找服务。另外，一个查找服务包括封装了其它名字或目录的服务对象，这样能很方便地将 Jini 查找服务和其它形式的查找服务连接起来。

(3) Java 远程方法调用 (RMI)。服务间的通信通过使用 Java 的 RMI 完成。RMI 提供机制来发现、激活并收集无用对象，RMI 也提供多点广播、复制以及基本的安全和保密的基础设施。严格说来，RMI 只是利用 Java 编程语言来扩充传统的远程过程调用 RPC，和 RPC 不同的是：RMI 允许数据和代码在网络中的对象间进行迁移。

(4) 安全。Jini 的安全模型建立在负责人 (principal) 和访问控制列表两个概念上。Jini 服务只能通过某种实体（即负责人）才能获得访问，该负责人可以跟踪到系统中的任何特定用户。基于完成某服务的对象的身份，服务可提出访问其它服务的请求，访问服务是否获得允许取决于伴随该对象的访问控制列表的内容。

(5) 租用 (leasing)。在 Jini 环境中，对服务的访问基于租用。和房产租用一样，当某人想租用房产时，他们就房产的使用时间进行磋商。类似地，在 Jini 中，对象间就租用进行磋商。

(6) 事务 (transactions)。不管是在单一服务还是在跨多服务的一系列操作，都包含在一个事务中。Jini 事务接口提供两阶段提交所需的服务协议，至于事务是如何实现的，即事务的语义，则留给使用该接口的服务来完成。

(7) 事件 (events)。Jini 体系结构支持分布式事件。一个对象允许其它对象注册对该对象感兴趣的事件，并能收到该事件发生的通知。

Jini 系统是将单机上 Java 的基础设施、编程模式和服务扩展到分布式网络上，其组成构件可分为三类：基础设施、编程模式和服务。基础设施指构建 Jini 联邦的构件集，该设施实现分布式系统中服务的联合；服务指联邦中的实体，该服务能为联邦中其它成员提供某种功能以完成特定的任务；编程模式指构造出可靠服务的接口集。一般来说，基础设施利用编程模式为分布式计算提供可靠基础，寄居在基础设施中的服务使用编程模式较好地完成分布式任务，编程模式的实施必须得到基础设施所提供的支持。

1.4 分布式人工智能

近年来,随着计算机技术的不断发展和应用的广泛普及,随着国际互联网络的出现和发展,计算机软件系统结构和计算机组织结构的复杂性不断增加,从而为软件系统的开发提出了更多、更复杂的要求,如可伸缩性、多功能性、可重用性、鲁棒性、一致性。传统的整体设计和集中控制的软件开发方法越来越显示出其固有的局限性。同时软件系统的设计越来越向个性化、智能化方向发展,一些大型软件系统纷纷采用了人工智能的技术。因此可以说智能化、分布式是未来软件设计的方向。

作为人工智能和分布式计算的结合,分布式人工智能(DAI, Distributed, Artificial, Intelligence)正逐渐受到人们的重视。在DAI系统中,鲁棒性已取代最优性,成为检测这类系统质量的主要的准则。另外一个要求是互操作性(interoperability),即不同的异构系统在快速变化的环境中交换信息、共同工作的能力。互操作性基于的是开放、灵活的结构。

自从1979年第一次在MIT召开分布式人工智能研究人员的会议至今,大量的理论和研究系统层出不穷。分布式人工智能研究的目的是要创建描述自然和社会系统精确的概念模型。在分布式人工智能中,由于智能本质上不是一个独立存在的概念,而只能在团体中实现,因此分布式人工智能研究感兴趣的主要是几个主体之间的合作、交互等方面。分布式人工智能一般分为分布式问题求解(DPS; Distributed Problem Solving)和多主体系统(MAS, Multiagent System)。分布式问题求解考虑怎样将一个特殊问题求解工作在多个合作的、知识共享的模块或结点之间划分;在多主体系统中,主要研究一组自治的智能主体之间智能行为的协调。知识、规划、不同技能和自身动作的协调是一个过程,在多主体系统非常重要[18]。

分布式人工智能的两个领域都要研究如何对知识、资源、控制等进行划分,不同之处在于,在分布式问题求解中,我们常常有一个全局的概念模型、全局的问题和全局的成功标准,而在MAS中,我们有多个局部的概念模型、问题和成功标准。在概念、模型、控制等方面这两种方法的视角是不一样的。分布式问题求解的目标是要创建大粒度的协作群体,它们之间共同工作以对某一问题进行求解。在一个纯粹的分布式问题求解系统中,问题被分解成任务,并且为求解这些任务,需要仅为该问题设计一些专用的任务执行系统。所有的交互(如果有,如协作等)策略都被集成为系统设计的整体部分。这是一种自顶向下设计的系统,因为处理系统是为满足在顶部所给定的需求而设计的。而MAS可看作是采用由底向上的设计方法设计的系统。因为在原理上,分散自主的主体首先被定义,然后研究怎样完成一个或几个实体的任务求解。主体之间可能是协作关系,也可能存在着竞争、甚至是敌对的关系。

上面这种对分布式问题求解和多主体系统的区分强调了多主体系统中各个主体的控制上的分散性。另一种观点则认为MAS基本等同于DAI,分布式问题求解则是MAS的子集。当MAS满足下面三条假设时便成为分布式问题求解系统:①主体友好假设;②共同目标假设;③集中设计假设。这种观点实际上将MAS的范围大大地扩大了。

由于MAS更能体现人类的社会智能,具有更大的灵活性和适应性,更加适合开

放、动态的世界环境，因而受到越来越多人的重视。由于近年来 Internet 的迅猛发展，MAS 的研究已不再局限于传统的分布式人工智能之中，甚至有人说在未来的 MAS 国际会议中，分布式人工智能只是一个专题而已 [53]。以前对于 MAS 的研究主要是从面向合作的视点出发考虑，现在则趋向于从单个智能主体的角度来考虑更一般的问题，即主体应具有什么样的结构、能力才能在一个有限时间约束、开放的多主体环境中自主地行动、决策以及与其它主体交流。关于智能主体、多主体系统的研究已成为人工智能，甚至计算机科学的研究热点。

多主体系统研究的是一组自治智能主体之间智能行为的协调，它们怎样协调它们的知识、目标、技巧和规划，联合起来采取行动或求解问题。在多主体系统中的主体可能有一个求解的目标，也可能有多个交互的目标。

目前对主体和多主体系统的研究主要集中在以下几个方面：主体和多主体的理论、主体的体系结构和组织、主体语言、主体之间的协作和协调、通信和交互技术、多主体学习以及多主体系统应用等。关于多主体系统的应用已经有人做了许多工作，甚至应用于一些大型、复杂的系统，例如机场管理 [138]、自动驾驶 [141]、高级机器人系统 [17]、分布式电力管理 [106]、信息检索 [57, 205, 274] 等。

1.5 智能主体

一种定义人工智能的方法是：“人工智能是计算机科学的一个分支，它的目标是构造能表现出一定的智能行为的主体 (agent)。”所以，主体应该是人工智能的核心问题。斯坦福大学计算机科学系的 Barbara Hayes-Roth 在 IJCAI'95 的特约报告中谈到：“智能的计算机主体既是人工智能最初的目标，也是人工智能最终的目标。” [89]

90 年代，随着计算机网络、计算机通讯等技术的发展，对于主体以及多主体系统的研究成为分布式人工智能研究的一个热点。当前“主体”一词广泛出现在流行的出版物中，如同出现在人工智能和计算机科学一类的文献中一样。主体技术提供了一种新的计算和问题求解范型。

主体技术快速发展的一个主要原因是 Internet 和万维网 (Web) 的广泛的普及和增加。Web 上信息资源的非常迅速的增长使得许多 Web 用户感到信息超载，这种超载使得人们希望智能主体技术能够减轻 Web 用户的负担。人们看到了主体技术执行许多任务的潜力，从简单和日常的到复杂的工作。智能主体将使最终用户从纷繁的信息海洋中解放出来，在智能主体的帮助下，用户可以只关注他 (她) 最感兴趣的那些信息。

主体能够提供一种很好的问题求解风范的原因是由于基于主体的系统具有许多优点。主体提供了一种远程智能程序设计的方法。多主体系统放松了对集中式、规划、顺序控制的限制，提供了分散控制、应急和并行处理。并且，多主体系统可以降低软件或硬件的费用，提供更快速的问题求解。

在人工智能研究中，主体概念的回归并不单单是因为人们认识到了应该把人工智能各个领域的研究成果集成为一个具有智能行为概念的“人”，更重要的原因是人们认识到了人类智能的本质是一种社会性的智能。人们在研究人类智能行为中发现：人类绝大部分的活动都涉及多个人构成的社会团体，大型复杂问题的求解需要多个专业人员或组