



信息系统工程丛书

智能协作信息技术

张维明 主编

姚莉 张维明 编著



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

信息系统工程丛书

智能协作信息技术

张维明 主编

姚莉 张维明 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书主要介绍智能主体和多主体系统的基本概念、原理,智能协作信息系统的实现技术。全书共7章,第1章概述智能协作信息技术的主要研究内容和发展概况。第2章介绍智能主体的概念、性质和内部结构,着重介绍BDI主体的形式化描述。第3章介绍多智能主体协作的基本原理、方法和实现技术。第4章讨论相互作用与通信,主要介绍知识查询操纵语言KQML及其实现技术。第5章讨论多主体系统的开发方法,主要说明利用组织学进行分析与设计的建模方法。第6章介绍智能协作信息技术在分布式信息处理领域的应用。第7章介绍智能协作信息技术在办公自动化领域的应用。

本书可作为计算机专业、管理科学与工程专业、信息系统专业和系统工程专业等本科生高年级课程和研究生课程的教科书,也可作为分布式人工智能、信息系统和分布计算等领域相关科研人员的参考书。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,翻版必究。

图书在版编目(CIP)数据

智能协作信息技术/张维明主编. —北京:电子工业出版社,2002.4

(信息系统工程丛书)

ISBN 7-5053-6892-3

I. 智… II. 张… III. ①分布智能②信息系统 IV. ①TP18②G202

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 017856 号

丛 书 名: 信息系统工程丛书

书 名: 智能协作信息技术

主 编: 张维明

编 著 者: 姚 莉 张维明

策划编辑: 秦 梅

责任编辑: 张燕虹

排版制作: 电子工业出版社计算机排版室

印 刷 者: 北京天竺颖华印刷厂

装 订 者: 三河市金马印装有限公司

出版发行: 电子工业出版社 <http://www.phei.com.cn>

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

经 销: 各地新华书店

开 本: 787×1092 1/16 印张: 16.25 字数: 416 千字

版 次: 2002 年 4 月第 1 版 2002 年 4 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-5053-6892-3
TP·3918

印 数: 4000 册 定价: 27.00 元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页、所附磁盘或光盘有问题者,请向购买书店调换;

若书店售缺,请与本社发行部联系调换。电话 68279077

丛 书 序

从现实世界的角度看,客观世界是由物质、能量和信息三大基本要素组成的,人类的社会生活每时每刻都离不开信息。从远古时代开始,人类就一直在同信息打交道,围绕着信息形成了不同的信息作业,包括信息的采集、存储、表示、传递、加工处理、检索利用和控制等,所有这些环节形成了信息系统,并作为客观世界每个系统的一个子系统或显式或隐式地存在着。

从科学技术的角度看,信息系统是在 20 世纪中叶由信息科学、计算机科学、管理科学、决策科学、系统科学等学科相互渗透交叉而发展起来的,经过多年的研究目前已经形成了比较完整的独具特色的体系。信息系统工程是 80 年代出现的以建立信息系统为目标的新兴学科,它是用系统工程的原理、方法来指导信息系统建设与管理的一门工程技术学科,主要研究各级各类信息系统建设和管理中的规律性的问题。它既不是“信息的系统工程”,也不是“信息系统的工程”,而是“信息系统的系统工程”。一般认为,信息系统工程的目标是为以计算机和其它信息技术为手段的各类信息系统提供科学的开发方法、管理手段及有关的工具、标准、规范,通常不包括通信工程、信号处理等具体学科领域的技术。

信息系统工程的研究范围主要包括:

- (1) 信息系统的基本理论。信息系统的基本观点、认识论和方法论等。
- (2) 信息系统建模。信息系统概念模型、逻辑模型和物理模型的描述、观察、试验与验证等。
- (3) 信息系统开发。信息系统建设与管理的概念、方法、评价、规划、工具、标准等一系列相关技术问题和工程问题。
- (4) 信息系统支撑技术在信息系统中的应用。数据库/数据仓库、网络通信、人机交互、分布计算、决策支持、人工智能等技术如何满足信息系统各层次用户的需求,实现业务管理、信息共享、分析决策等功能,并在组织和人的参与下最终达到信息系统的目标。
- (5) 信息系统集成。研究系统集成原则、方法、技术、工具和有关的标准、规范,应用先进的相关技术,将支持各个信息“孤岛”的小运行环境,集成统一在一个大运行环境中,最终形成一体化的信息系统。

《信息系统工程丛书》是由国防科技大学管理学院组织多位专家和科研人员面向信息工程专业撰写的教材类图书。作者所在的单位是 70 年代末在钱学森院士的亲自倡导下建立起来的,在国内最早开设了信息工程专业。作者长期从事信息系统工程方面的教学、科研和开发,这套丛书是其多年学术研究和科技开发的成果总结,也是其多年教学工作中的实践积累,从丛书体系的设置到内容的安排,都基本体现了对当今信息系统工程领域前沿技术的把握。

这套丛书准备分批出版,第一批由《信息系统原理与工程》、《信息系统集成技术》、《信息系统建模》、《多媒体信息系统》、《智能协作信息技术》、《数据仓库原理与应用》、《语义信息模型及应用》等 7 部教材和专著组成,再加上该单位近年已出版的《决策支持系统技术》和《智能决策支持技术》两部研究生教材,基本上已覆盖了上述的信息系统工程主要研究范围。其中:

《信息系统原理与工程》主要介绍信息系统的基本概念、基本原理、技术和设计开发方法。

具体包括信息系统与信息系统工程的基本概念,信息系统中的基础理论、开发方法,结构化系统分析、系统设计和面向对象的分析设计方法,信息系统战略规划,系统实施,信息系统对计划、控制、决策的支持,计算机辅助信息系统开发等。

《信息系统集成技术》主要介绍信息系统集成的基本概念、基本原理和设计开发方法。首先介绍信息系统集成技术的发展,然后从体系结构入手,分网络集成、数据集成和应用集成三个层次展开对信息系统集成的论述,并给出了系统集成的案例。

《信息系统建模》主要介绍信息系统建模的基本概念、基本原理、方法、工程技术与工具。具体包括面向信息系统建模的思想,需求建模,逻辑建模,对象建模,Agent 建模,数据建模,统一建模语言等,是国内第一部按照较完整的体系专门介绍信息系统建模技术的著作。

《多媒体信息系统》主要介绍多媒体信息系统的基本概念、原理、技术和应用,主要内容包括多媒体信息系统的体系结构和数据模型、多媒体数据库和信息管理、多媒体通信和网络、多媒体人机交互与表现技术、原型系统与应用等。

《智能协作信息技术》主要介绍智能协作信息技术及系统的基本概念、基本原理和设计开发方法。具体包括智能协作信息技术的发展概况,智能主体概念、性质、内部结构和实现方法,多智能主体协作的基本原理、实现技术等,还介绍了智能协作信息系统的开发方法和智能协作信息技术在工业、管理、办公自动化等领域的应用。它是国内第一部全面介绍智能协作信息技术和智能协作信息系统的专著。

《数据仓库原理与应用》主要介绍数据仓库的概念、基本原理、规划、开发方法以及相关算法,包括数据仓库的发展、技术体系、元数据管理、分析设计方法和开发工具,并对数据开采的主要理论和方法、联机分析等应用技术作了深入的阐述,是一本理论与实践相结合的教材,是国内较为全面地分析数据仓库、开发数据仓库的书籍。

《语义信息模型及应用》深入到目前信息管理领域的前沿,探讨了语义信息模型的基本概念,并以 XML 为具体实现手段介绍了语义信息模型在信息组织、信息处理、信息服务、信息交换等方面高级应用的原理与实现机制。

除《语义信息模型及应用》以外,丛书中所有教材都作为内印教材或讲义试用过多次,吸收了许多专家学者以及学生的意见。

这套丛书既能够使广大读者从整体上把握知识结构、理清相关技术领域的关系和分类,又能够从中找到每项具体理论、技术、方法、工具的介绍和例解,再加上融合了多项“九五”期间的高水平科研成果,应该使这套丛书具有较高的系统性和实用性。

《信息系统工程丛书》是一套理论与工程实践并重的著作,它不仅可作为相关专业的大学本科和研究生的一系列教材和参考书,而且也可以为从事信息系统工程的科研人员提供参考。我们相信,这套丛书的出版,将对我国信息系统工程的全面、深入发展起到重要的推动和促进作用。

《信息系统工程丛书》编委会

2001 年 6 月

前 言

随着高性能计算机、快速信息交换网络的出现,分布式人工智能、计算机支持的协同工作、数据挖掘和数据仓库等高新技术的迅猛发展,开放、协作、智能的新型信息系统越来越多地出现在人类社会工作和管理的各个环节。

智能协作信息技术是 20 世纪 90 年代出现的一个新的研究方向,主要由信息系统、人工智能、数据库、软件工程、程序设计语言等多门学科相互渗透发展而来。智能协作信息技术的的目标在于集成人工智能(包括分布式人工智能)和信息系统技术,探讨大型互联网络上智能协作信息系统(Intelligent and Cooperative Information Systems, ICIS)的建造方法。

人工智能的本质是研究如何制造出人工的智能机器或智能系统,来模拟人类智能活动的的能力,以延伸人的智能的科学。近年来,新的人工智能定义认为:人工智能是计算机学科的一个分支,其目标是构造具有一定智能行为的主体。主体的研究是智能的核心问题。因此,智能协作信息技术事实上是分布式人工智能学科的一个应用方向,亦称基于主体的信息技术或协作信息技术。研究 ICIS 的目的是利用分布式智能的计算模型建立开放协作的信息系统,使新型的信息系统具有特别的性能。

目前,智能协作信息技术已开始广泛应用于商务、工业、军事、医疗、教育等大型信息系统的开发。在这些系统中通常包含数以百计,甚至数以千计的主体,其复杂度相当高,用传统的软件开发方法进行设计与实现是难以想像的。智能主体技术提供了软件开发的新模式,专家们指出基于主体的计算将会给软件开发带来重大突破,是软件业的一场新革命。

本书主要介绍智能主体和多主体系统的基本概念、原理以及智能协作信息系统的实现技术。全书共分 7 章,第 1 章概述智能协作信息技术的主要研究内容和发展概况。第 2 章介绍智能主体的概念、性质和内部结构,着重介绍 BDI 主体的形式化描述。第 3 章介绍多智能主体协作的基本原理、方法和实现技术。第 4 章讨论相互作用与通信,主要介绍知识查询操纵语言(KQML)及其实现技术。第 5 章讨论多主体系统的开发方法,主要说明利用组织学进行分析与设计的建模方法。第 6 章介绍智能协作信息技术在分布式信息处理领域的应用。第 7 章介绍智能协作信息技术在办公自动化领域的应用。

本书是作者 10 年工作的总结。本书在写作过程中得到邓苏教授的大力支持和帮助。参加相关系统的研制人员还有肖卫东副教授、汤大权讲师、蔡建国讲师,徐振宁、王长缨、龚勇、吕明、胡润涛、刘志忠、彭晖等博士生和硕士生。汪浩教授和刘凤岐教授自始至终给予热情的鼓励并提供了宝贵的资料。本书作为教材给国防科学技术大学管理学院的管理学院的研究生讲授了三届,许多学生提出了改进意见。在此向上述各位表示最诚挚的感谢!

本书的研究成果得到国家自然科学基金资助(项目批准号:79800007),在此一并表示感谢!

由于作者水平有限,书中错误在所难免,欢迎广大同行与读者批评指正。

目 录

第 1 章 绪论	(1)
1.1 智能协作信息技术概述	(1)
1.2 关于主体的研究	(2)
1.2.1 “Agent”的概念	(2)
1.2.2 主体的性质	(4)
1.2.3 主体的分类	(4)
1.3 多主体系统	(5)
1.3.1 多主体系统的出现	(6)
1.3.2 多主体系统的研究内容	(6)
1.3.3 多主体系统的分类	(7)
1.4 智能协作信息技术的研究动机	(9)
1.5 智能协作信息技术的应用	(11)
1.5.1 主体应用领域的特征	(11)
1.5.2 主体的应用领域	(12)
1.5.3 开发多主体应用系统的现状与难点	(15)
1.6 智能协作信息技术的研究概况与发展前景	(16)
1.6.1 研究初期的主要工作	(16)
1.6.2 20 世纪 90 年代的研究进展	(18)
1.6.3 未来的发展动向	(23)
第 2 章 智能主体	(24)
2.1 智能主体的知识行为特性分析	(24)
2.1.1 多主体系统中主体的知识特性分析	(24)
2.1.2 自主主体的基本智能活动	(25)
2.1.3 多主体系统的主体概念模型	(26)
2.1.4 主体的推理能力和学习能力	(28)
2.2 主体的信念-愿望-意图模型	(30)
2.2.1 信念-愿望-意图模型概述	(30)
2.2.2 信念-愿望-意图主体模型的一般结构	(31)
2.2.3 典型的 BDI 主体结构简介	(33)
2.3 理性 BDI 主体的形式化模型	(40)
2.3.1 BDI 主体的形式化概述	(40)
2.3.2 形式化理论	(43)
2.3.3 基本公理与语义条件	(47)
2.3.4 作为公理的不同承诺	(49)
2.4 反应主体的结构	(51)

2.4.1 反应主体概述	(51)
2.4.2 反应主体的特性	(51)
2.4.3 反应主体的结构	(52)
2.5 社会主体的结构	(55)
第3章 协作的基本原理	(58)
3.1 协作的基本概念	(58)
3.1.1 协作行为	(58)
3.1.2 协调	(60)
3.1.3 协同和协商	(61)
3.1.4 模型化其他主体	(62)
3.1.5 全局连贯性	(62)
3.2 实用的协作方法	(63)
3.2.1 合同网	(63)
3.2.2 黑板模型	(64)
3.2.3 结果共享与功能精确的协同方法	(66)
3.2.4 市场机制	(68)
3.3 基于承诺和约定的协作方法	(69)
3.3.1 承诺和约定的概念	(69)
3.3.2 用分布目标搜索方法模型化多主体系统	(69)
3.3.3 承诺和约定模型	(71)
3.4 多主体规划	(76)
3.4.1 概述	(76)
3.4.2 多主体规划中的计划表示	(77)
3.4.3 多主体规划方法	(78)
3.4.4 多主体规划中的协调技术	(80)
3.5 协商的原理与方法	(81)
3.5.1 协商的定义	(82)
3.5.2 协商语言范畴	(83)
3.5.3 协商决策范畴	(84)
3.5.4 协商过程范畴	(87)
3.5.5 协商的理论模型	(87)
3.6 多主体系统组织	(90)
3.6.1 组织与结构	(90)
3.6.2 多主体组织和社会	(92)
3.6.3 组织智能	(93)
3.7 基于假设的分布式协作求解	(94)
3.7.1 基于真值维护的协作求解概述	(95)
3.7.2 基于假设的真值维护原理	(96)
3.7.3 基于假设的协作求解模型 ACPS	(100)
3.7.4 ACPS 模型在 DESW 系统中的实现	(101)

3.7.5 关于基于假设的协作求解模型 ACPS 性质的讨论	(107)
3.8 协作问题求解模型	(108)
3.8.1 协作问题求解模型概述	(108)
3.8.2 形式化框架简介	(109)
3.8.3 承诺、约定和意图	(110)
3.8.4 协同问题求解过程	(111)
第4章 相互作用与通信	(117)
4.1 主体的相互作用与通信概述	(117)
4.1.1 相互作用与通信	(117)
4.1.2 通信需解决的基本问题	(118)
4.1.3 通信语言	(119)
4.2 Speech Act 理论及其在协作中的应用	(120)
4.2.1 Speech Act 理论	(120)
4.2.2 Speech Act 理论在多主体协作中的应用	(123)
4.3 知识查询操纵语言(KQML)	(126)
4.3.1 KQML 的传输假设	(127)
4.3.2 KQML 语法	(127)
4.3.3 保留的执行原语参数	(127)
4.3.4 保留的执行原语	(128)
4.4 KQML 语言的语义	(132)
4.4.1 语义框架	(132)
4.4.2 KQML 原语的基本语义	(133)
4.5 通信的设计与实现	(136)
4.5.1 基于 BDI 结构的通信模型	(136)
4.5.2 通信机制的设计与实现	(138)
第5章 多主体系统的分析与设计	(148)
5.1 多主体系统开发方法概述	(148)
5.1.1 相关的研究工作	(148)
5.1.2 多主体系统的典型特性	(149)
5.1.3 多主体系统与面向对象系统	(149)
5.1.4 多主体系统开发现状	(151)
5.2 建造多主体系统的组织模型	(153)
5.2.1 组织学中有关组织的定义	(153)
5.2.2 多主体系统组织的基本概念	(153)
5.2.3 多主体组织建模的分析过程	(161)
5.3 基于 BDI 主体的多主体系统设计建模	(163)
5.3.1 概述	(163)
5.3.2 主体模型	(163)
5.3.3 相互作用模型	(166)
5.3.4 相识者模型	(167)

5.4 一个多主体系统分析与设计的应用实例	(167)
5.4.1 应用背景简介	(167)
5.4.2 多主体系统 MICS 的分析建模	(168)
5.4.3 多主体系统 MICS 的设计建模	(178)
第6章 多主体协作信息处理系统	(182)
6.1 简介	(182)
6.1.1 多主体协作信息处理系统的组成	(182)
6.1.2 主要功能简介	(183)
6.2 基组织结构模型	(185)
6.2.1 基组织结构模型简介	(185)
6.2.2 基组织的知识表示	(186)
6.2.3 基组织的计算模型	(187)
6.3 智能主体的结构及其实现	(189)
6.3.1 智能主体的结构	(189)
6.3.2 智能主体的实现	(191)
6.4 多源信息融合	(194)
6.4.1 多源信息融合技术概述	(194)
6.4.2 实时数据信息输入主体的实现	(196)
6.4.3 用户录入主体的实现	(197)
6.4.4 信息融合主体的实现	(198)
6.5 分布式态势评估	(199)
6.5.1 概述	(199)
6.5.2 态势评估中的模糊判别	(199)
6.5.3 态势评估主体的实现	(199)
6.6 协同工作平台 MBOS	(200)
6.6.1 协同工作平台 MBOS 的结构	(200)
6.6.2 MBOS 的基础设施与系统构建工具	(201)
6.6.3 协作环境生成	(203)
6.7 基于基组织结构的共识学习	(203)
6.7.1 基组织内部共识学习的基本原理	(204)
6.7.2 共识学习在电子商务中的应用	(207)
第7章 智能协作办公系统	(210)
7.1 智能协作办公系统 IC-OFFICE 概述	(210)
7.1.1 IC-OFFICE 系统的设计思想	(210)
7.1.2 IC-OFFICE 的体系结构	(210)
7.1.3 主要的软件功能模块	(212)
7.2 办公系统中的异步协作文档编辑	(214)
7.2.1 有关概念	(214)
7.2.2 异步协同文档编辑的基本工作原理	(217)
7.2.3 协作文件夹管理机制	(219)

7.3 办公系统中的 workflow 管理	(226)
7.3.1 协同办公过程概述	(226)
7.3.2 工作流程编辑器	(227)
7.3.3 workflow 管理技术	(228)
7.4 组织知识的集成	(230)
7.4.1 组织信息的存储与表示	(231)
7.4.2 组织知识的访问	(231)
7.4.3 组织知识的安全性管理	(231)
附录 A 模态逻辑的基础知识	(232)
A.1 模态逻辑的语法定义	(232)
A.2 模态命题逻辑的语义定义	(234)
A.3 时序逻辑	(236)
参考文献	(237)

第1章 绪 论

随着高性能计算机、快速信息交换网络的出现,分布式人工智能、计算机支持的协同工作、数据挖掘和数据仓库等高新技术的迅猛发展,协作信息系统越来越多地出现在人类社会工作和管理的各个环节。开放、协作和智能的信息处理已成为现代信息系统的重要特征。

智能协作信息技术主要研究大型互联网上多个信息子系统相互作用、协同工作,联合完成信息处理任务的原理、方法,是实现异质网络上信息集成和支持群体决策的重要途径。

1.1 智能协作信息技术概述

智能协作信息技术是 20 世纪 90 年代出现的一个新的研究方向,主要由信息系统、人工智能、数据库、软件工程、程序设计语言等多门学科相互渗透发展而来。智能协作信息技术的研究目标在于集成人工智能(包括分布式人工智能)和信息系统技术,探讨大型互联网上智能协作信息系统(Intelligent and Cooperative Information Systems, ICIS)的建造方法。在这种协作信息处理系统中,相对被动的不同信息子系统或信息源被转换成智能主体(Agent),虽然多个智能主体获得的信息是不完整的、不精确的或信息处理能力有限,但每个主体具有关于系统整体组织结构的知识,或关于其他主体的资源、技能、组织职能、目标等知识,因而,智能主体具有自主性和社会性,能够相互作用,高效、透明地使用计算机网络上的所有资源,协同解决由单一主体无法解决的困难问题。智能主体协作完成的信息任务通常分为两个方面:

(1) 当新的原始数据到来时,各主体根据合作关系协同处理,以使相关主体均能获得高质量的可靠信息;

(2) 当用户访问请求到来时,能够根据协作知识共同工作,集成出用户所需要的信息内容和信息形式。

智能协作信息技术亦称基于主体的信息技术或协作信息技术,目前已经成为信息与决策领域的一个新的研究热点。它的发展分为两个阶段:第一个阶段可追溯到 20 世纪 80 年代初期,其基础主要来自分布式人工智能(DAI),作为 DAI 学科的一个应用方向,主要研究具有符号化内部模型的慎思主体(Deliberative Agent),研究工作集中于宏观问题的理解、表示与求解,如主体之间的相互作用与通信、任务的分解与分配、协调和协同、协商与冲突消解等;第二个阶段出现于 1990 年左右,其基础主要来自软件主体(Software Agent),与 Internet 信息技术的发展以及人工智能技术的新进展密切相关。主要研究各种类型的软件主体在开放信息网络上的应用,从低智能主体(Moronic Agent)到灵巧主体(Smart Agent),从自私主体(Self-Interested Agent)到承担社会职能的主体(Social Agent),研究范围从慎思到做事、从推理到远程行为等。

采用基于主体的信息技术构建智能协作信息系统(ICIS)具有良好的社会性、模块性、

并行性和可靠性。在军事指挥控制、远程通信网络管理、空中交通控制、工程设计、计算机集成制造 (CIMS)、企业管理、办公室自动化、信息检索与管理、电子商务、教育、个人数字助手 (PDA)、E-mail 筛选、数字图书馆等领域具有十分重要的应用价值。

1.2 关于主体的研究

本节讨论主体的概念、性质及其分类, 简要介绍各类主体的研究范畴。

1.2.1 “Agent” 的概念

主体技术是一个迅速发展的研究领域, 专家们指出: 在 10 年之内大部分信息技术 (IT) 的发展都将受到主体技术的影响, 并且许多消费产品将会含有嵌入式主体系统。

1. 什么是主体

主体的概念源自人工智能 (Artificial Intelligence, AI) 学科。早期的 AI 研究主要基于物理符号假设的思想, 它的主题是智能任务可以通过对问题的符号化内部表示进行操作的推理过程来完成, 推理过程及内部表示构成了主体的最初轮廓。随着硬件水平的提高和计算机科学理论的进一步完善, 主体的能力不断加强, 能模拟人越来越多的思维和行为。20 世纪 70 年代末, AI 研究者又开始了合作、分布的多主体系统的研究工作。近年来, 在软硬件领域, 并行计算和分布处理技术的研究都取得了很大进展, 使得早期研究者探索的一些主体问题已在许多新领域广泛展开, 如分布式人工智能、机器人学、人工生命、分布式对象计算、人机交互、智能和适应性界面、智能搜索和筛选、信息检索、知识获取、终端用户程序设计等。

各种各样 “Agent” 的出现, 使得在术语使用上存在混乱, 目前学术界仍没有对 “Agent” 的确切含义达成一致意见。例如, 某些程序被称为主体仅仅是因为它们能够被预先调度并能在远程机器上完成任务 (类似于早期一个主框架中的批处理工作); 某些程序是因为它们在完成低级计算任务的同时能够用高级程序设计语言编程; 某些程序是因为它们抽象或封装了信息源或计算服务之间不同的细节; 某些程序是因为它们实现了一个基本的或多个 “认知功能”; 某些程序是因为它们显示了分布智能的特性; 某些程序是因为它们在人和程序之间起着中介职能; 某些程序是因为它们起着 “智能助手” 的作用; 某些程序是因为它们能够以自引导的方式在计算机之间移动; 某些程序是因为它们具有可信任的特点出现在用户面前; 某些程序是因为它们 “说” 一种主体通信语言; 某些程序是因为它们具有意图、心智状态等性质^[7]。

由于存在这些混乱, 所以关于主体的定义也是多种多样, 下面介绍三种定义: 理想主体、智能主体和软件主体。随着研究的逐步深入, 工程经验的不断积累, “Agent” 软件有用性、技术实现可行性的进一步发展, 围绕 “Agent” 进行的研究必将推动软件技术的飞速前进。

本书主要介绍智能主体。在本书以后各章节中, “Agent” 均被译为 “主体”。在没有特别说明情况下, 主体均指智能主体。

2. 理想主体

人工智能的本质是研究如何制造出人工的智能机器或智能系统, 来模拟人类智能活动的能力, 以延伸人的智能的科学。人类智能活动的能力一般是指人类在认识世界和改造世界

活动中，由脑力劳动表现出来的能力，具体概括如下：

(1) 通过视觉、听觉、触觉等感官活动，接受并理解文字、图像、声音、语言等各种外界的自然信息，即认识和理解世界环境的能力。

(2) 通过人脑的生理、心理活动以及有关的信息处理过程，将感性知识抽象为理性知识，并能对事物运动的规律进行分析、判断和推理，即提出概念，建立方法，进行演绎和归纳推理、做出决策并可能影响外部世界的问题求解能力。

(3) 通过教育、训练和学习过程，日益丰富自身的知识和技能，即学习能力。

(4) 对变化多端的外界环境条件，如干扰、刺激等作用能灵活地做出反应，即自我适应能力。

(5) 能与其他人合作，解决单个人无法解决的大型复杂问题，即协作能力。

目前，随着主体概念的发展，人工智能研究者认为理想主体应当具有上述五种智能，正如著名的 AI 学者 Hayes Roth 在一篇报告中所指出：“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。”

我们所要研究的主体应当是将 AI 各个领域的研究成果集成为一个具有智能概念的计算实体。大部分人类智能行为都涉及多个人构成的社会团体，大型复杂问题的求解也需要多个专业人员或组织协作完成。计算机上的复杂信息处理可对应为多主体系统来完成。

3. 智能主体

目前的人工智能技术还难以实现理想主体的智能行为。智能主体是指能在某一环境中运行，并能响应环境的变化，灵活、自主地采取行动以满足其设计目标的计算实体。这类主体通常由当前的人工智能技术来实现，一般具有某种程度的感知、推理、学习、自适应和协作能力，如某些智能控制系统、实时专家系统等。

近年来，新的人工智能定义认为：人工智能是计算机学科的一个分支，其目标是构造具有一定智能行为的主体。主体的研究仍然是智能的核心问题。

4. 软件主体

软件主体是从软件设计的角度研究“Agent”，Shoham 等人将其定义如下：

“主体是一种在特定环境中连续、自主地运行的软件实体，通常与其他主体一起，联合求解问题”。

连续与自主的需求来自我们需要主体以一种灵活和智能的方式完成其活动，无需人的引导与干预而响应环境的变化。最理想的情况是，一个主体能够在一种环境中连续地运作一段较长时间，并能从它自己的经验中学习。而且，我们希望一个主体能够与其他主体同处于一个环境，并能相互通信和协同，或从一个地方移到另一个地方以求解决问题。目前，大部分软件主体都十分脆弱并针对特定目的，还没有一个系统能以一般形式完成这些功能。

倡导研究软件主体的另一种观点类似于早期对面向对象的研究，将其作为设计和实现软件系统的新范例。正如一些算法用面向对象的表示形式比用过程的形式更易于表达和理解，有时对开发者和用户来说，根据主体来设计程序的行为比各种对象更容易。

我们希望主体能够像人一样完成分配给它的一些特定任务，能够从我们告诉它的内容中推导出所需结果。主体只有在“知道”有关请求的背景知识时才能做到这一点。因此，最好的主体不仅需要特定形式的专家知识，而且需要考虑用户和当前状态的独特性质。

Singh 曾指出采用主体方法进行软件开发的实用和技术原因：

(1) 它们对设计者和分析者来说，比较自然。

- (2) 提供了简明描述复杂系统行为的工具, 有助于理解和解释复杂系统的行为。
- (3) 可获得的一定的行为规则和模式, 这些行为是独立于系统中主体的精确的物理实现。
- (4) 能够被主体用于推导其他主体的意图状态和行为。

1.2.2 主体的性质

Etzioni 和 Franklin 列出主体具有如下属性:

- (1) 反应性 (Reactivity): 有选择地感知和行动的能力。
- (2) 自主性 (Autonomy): 目标引导的、主动的 (Proactive) 和自启动的行为。
- (3) 合作行为: 能与其他主体协调工作以完成共同的目标。
- (4) “知识级”通信能力: 能够与人或其他主体通信, 采用的是类似于人类交流使用的基于 Speech Act 理论的通信语言, 而非一般的符号级程序对程序的协议。
- (5) 推理能力: 能够使用预先了解的一般目标的知识, 根据抽象任务说明采取行动, 并能选择方法以获得灵活性; 除具有已知信息外, 可能还具有关于自己、用户、当前态势和其他主体的明确模型。
- (6) 时态连续性: 在较长时间区间内, 身份与状态的长期保留 (指一系列事件的存储)。
- (7) 个性: 能够表现出性格特征, 如感情、偏好等。
- (8) 适应性: 能够根据经验学习和改进。
- (9) 移动性: 能够以一种自引导的方式从一个主机平台移至另一个主机平台。

1.2.3 主体的分类

主体研究学术界根据主体属性的各种组合形式, 已提出各种分类的标准和分类方法。例如, AI 研究者通常根据智力强弱来区分不同主体, 智力较强的主体通常被设计成具有明确的心智、情感等; 在 DAI 学术界, Moulin 和 Chaib-draa 等人根据问题求解能力来分类主体; Nwana 等人则根据特性和功能分类主体。

1. 根据问题求解能力分类主体

- (1) 反应主体 (Reactive Agent): 能响应环境的变化或来自其他主体的消息。
- (2) 意图主体 (Intention Agent): 能够针对意图和信念进行推理, 建立行为计划, 并执行这些计划。这类主体也称为慎思主体。
- (3) 社会主体 (Social Agent): 除具有意图主体的能力外, 还具有关于其他主体的明确模型。

2. 根据作用、智能和移动性的三维空间分类主体

IBM 公司的 Gilbert 等人曾于 1995 年根据作用 (Agency)、智能和移动性的三维空间来描述智能主体, 如图 1.1 所示。

作用是主体被赋予的自主性和权限的程度, 并至少能够根据主体与系统中其他实体之间交互的性质来定性说明。在最基本的情况下, 主体必须能够异步运行, 如果一个主体能以某种方式代表一个用户, 则作用度被增强, 更为先进的主体能够与数据、应用、服务或其他主体交互作用。

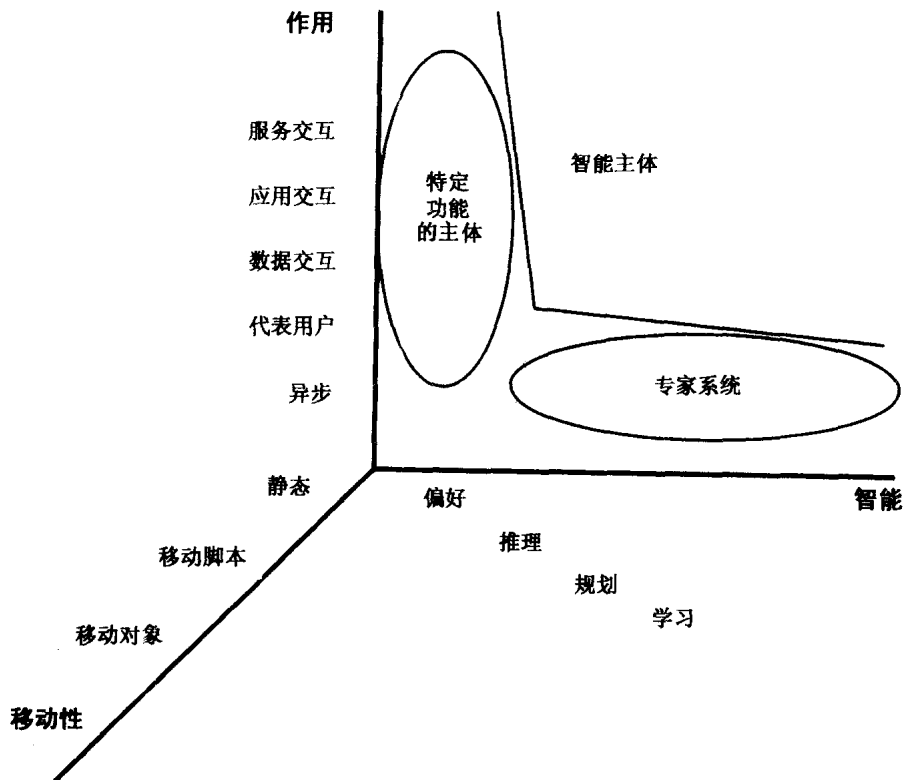


图 1.1 根据作用、智能和移动性的三维空间描述智能主体

智能是推理、规划和学习行为的程度，指主体具有接收用户关于目标的表述并能完成委托给它的任务。在最基本的情况下，能够有一些选择的描述；更高级的模型包括一个用户模型和推理；更进一步的智能是系统对环境的学习和适应能力，学习和适应是根据用户的目的和主体的可用资源进行的。

移动性是主体本身在网络上移动的程度，移动脚本是在一个机器上构成剧本，并运至另一台机器上执行，移动对象则是在执行过程中能够从一台机器移至另一台机器，移动的同时携带所积累的状态数据。

3. 根据特性和功能分类主体

Nwana 根据程序的功能和特性将所研究的主体分为 7 类：

- (1) 合作主体。
- (2) 界面主体。
- (3) 移动主体。
- (4) 信息/Internet 主体。
- (5) 反应主体。
- (6) 灵巧主体。
- (7) 混合主体。

1.3 多主体系统

本节讨论多主体系统的定义、研究内容及其分类，并简要介绍多主体系统出现的原因。

1.3.1 多主体系统的出现

主体技术作为软件设计和实现的一种新范例，其前景近年来引起了人们广泛的关注。特别是在 Internet 这样的分布开放环境上开发软件，这种前景无疑具有独特的魅力。目前，绝大多数基于主体的系统都是单主体的。但随着技术的成熟和日益复杂应用问题的提出，以对等方式进行通信的多主体组成的系统的需求正变得日益突出。多主体系统（Multi-Agent Systems, MAS）设计和有效实施的关键技术正是分布式人工智能领域已研究多年的问题。

研究人工智能技术的目的在于解决大型、复杂的现实问题，而解决这类问题已超出了单主体系统的能力。一个智能主体的能力受其知识、计算资源及其与其他主体相互关系的限制，这种受限推理是建立问题求解组织的基本原因之一。通常，处理复杂事务最有力的工具是模块化和抽象化，多主体系统则提供了这种能力。如果一个问题域十分复杂、庞大或不可预测，那么解决该问题的惟一方法是开发大量有特殊功能的模块化成分（即主体）专门用于解决问题的某个特定方面。这种分解使每一主体都采用恰当的范例解决相应的特殊问题，当出现相互关联的问题时，系统中的各主体必须相互协调，以确保正确处理这种相关性。

此外，分布开放信息系统还存在实时性问题。一个开放系统的结构会动态地变化，这类系统的特征是其组成部分的预先不可知性，随着时间的变化，可能包含由不同人、在不同时间、用不同软件工具和技术实现的不同种类的主体。例如，Internet 就是一个高度开放信息环境的典型例子，可以把 Internet 看成一个庞大、分布的信息资源，网络上的节点是由不同组织和个人设计实现的。在开放环境中，信息资源、通信链路和主体都可能无法预测地出现和消失。目前，Internet 上的主体大都起着信息检索和筛选的作用。下一代主体技术将完成一定背景下的信息收集和通过复杂推理支持用户的问题求解。这些能力需要主体间能够互操作以及以对等交互的方式相互协作，来扩大单主体问题求解范围。

因此，分布式人工智能领域的发展奠定了多主体系统的技术基础，而分布开放信息系统（特别是 Internet）的飞速发展进一步将多主体系统的研究推向高潮。

1.3.2 多主体系统的研究内容

多主体系统定义为由分布在网络上的多个问题求解器松散耦合而成的大型复杂系统，这些问题求解器相互作用以解决由单一个体的能力和知识所不能处理的复杂问题。这些问题求解器通常称为主体，具有自主性，并可以是不同的异质计算实体。

1. 多主体系统的典型特性

多主体系统的特性是：

- (1) 每一主体具有有限信息资源和问题求解能力，缺乏实现协作的全局观点。
- (2) 系统不存在全局控制，即控制是分布的。
- (3) 知识与数据都是分散的。
- (4) 计算是异步执行的。

2. 多主体系统亟待解决的问题

尽管多主体系统有许多潜在的优势，但也面临不少难题。1991 年，Gasser 提出设计和实现任何协作问题求解器内在的、固有的六大问题，1998 年，Sycara 对此进行了补充，如下所述：

- (1) 如何在—组智能主体中形式化地表示、描述问题，分解、分配任务以及综合结果？