



智能科学技术著作丛书

基于智能Agent的 动态协作任务求解

Intelligent Agent Based Dynamical Collaboration
Mechanism for Complex Task Solving

贾利民 刘 刚 秦 勇 著



科学出版社
www.sciencep.com

(TP-3591.0101)

基于智能Agent的 动态协作任务求解

Intelligent Agent Based Dynamical Collaboration
Mechanism for Complex Task Solving

ISBN 978-7-03-019783-2



9 787030 197832 >

定价: 35.00 元

智能科学技术著作丛书

基于智能 Agent 的动态协作任务求解

Intelligent Agent Based Dynamical Collaboration
Mechanism for Complex Task Solving

贾利民 刘刚 秦勇 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

动态复杂问题求解一直是人工智能和复杂应用系统理论与应用研究中的难点之一。利用 Agent 技术解决该难题是一种行之有效的途径,本书反映了作者对这一问题的研究成果。全书共分 8 章,第 1、2 章对于任务求解及智能 Agent 技术进行了介绍;第 3~7 章,对于基于智能 Agent 技术的动态协作任务求解问题进行全面阐述,不仅给出了任务求解的相关理论基础及严格的形式化证明,同时对于与动态协作任务求解问题相关的描述逻辑、实现机制、时序活动逻辑、智能 Agent 的融合与分解及基于该方式系统自重构思想实现等问题给予全面的介绍。第 8 章综合上述研究成果,并结合我国铁路信息整合的实际情况,将上述理论应用我国铁路信息整合问题,并提出了已开始实施的基于智能 Agent 技术的铁路信息整合总体实现方案。

本书通过总结作者的科研成果,尝试为动态协作任务求解这一当前信息系统理论和应用中所面临的难点问题提供一种新的解决途径。本书力图做到概念清晰、表达准确、层次分明、结构清晰和注重理论联系实际,以对该读者富有启发性。本书对从事人工智能、系统仿真、复杂系统和中大规模应用系统等领域理论及应用研究的科技人员具有较强的参考价值,对从事这方面研究的大学高年级学生、硕士、博士研究生也具有重要的参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

基于智能 Agent 的动态协作任务求解/贾利民,刘刚,秦勇著. —北京:科学出版社,2007

(智能科学技术著作丛书)

ISBN 978-7-03-019783-2

I. 基… II. ①贾…②刘…③秦… III. 人工智能-研究 IV. TP18

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 132550 号

责任编辑:童安齐/责任校对:耿芸

责任印制:吕春珉/封面设计:耕者设计工作室

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

铭清彩色印务有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2007 年 9 月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2007 年 9 月第一次印刷 印张:11 1/2

印数:1—2 500 字数:170 000

定价:35.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换(新欣))

销售部电话 010-62136131 编辑部电话 010-62137026(BI08)

《智能科学技术著作丛书》编委会

名誉主编: 吴文俊

主 编: 涂序彦

副 主 编: 钟义信 史忠植 何华灿 蔡自兴 孙增圻 童安齐 谭 民

秘 书 长: 韩力群

副秘书长: 田士勇

编 委: (按姓氏汉语拼音排序)

蔡庆生 (中国科技大学)

蔡自兴 (中南大学)

杜军平 (北京工商大学)

韩力群 (北京工商大学)

何华灿 (西北工业大学)

何 清 (中国科学院计算技术研究所)

黄河燕 (中国科学院计算语言研究所)

黄心汉 (华中科技大学)

焦李成 (西安电子科技大学)

李祖枢 (重庆大学)

刘 宏 (北京大学)

刘 清 (南昌大学)

秦世引 (北京航空航天大学)

邱玉辉 (西南师范大学)

阮秋琦 (北京交通大学)

史忠植 (中国科学院计算技术研究所)

孙增圻 (清华大学)

谭 民 (中国科学院自动化研究所)

田士勇 (科学出版社)

童安齐 (科学出版社)

涂序彦 (北京科技大学)

王国胤 (重庆邮电学院)

王家钦 (清华大学)

王万森 (首都师范大学)

吴文俊 (中国科学院系统科学研究所)

杨义先 (北京邮电大学)

尹怡欣 (北京科技大学)

于洪珍 (中国矿业大学)

张琴珠 (华东师范大学)

钟义信 (北京邮电大学)

庄越挺 (浙江大学)

《智能科学技术著作丛书》序

“智能”是“信息”的精彩结晶,“智能科学技术”是“信息科学技术”的辉煌篇章,“智能化”是“信息化”发展的新动向、新阶段。

“智能科学技术”(intelligence science & technology,简称 IST)是关于“广义智能”的理论方法和应用技术的综合性科学技术领域,其研究对象包括:

- “自然智能”(natural intelligence,简称 NI),包括:“人的智能”(human intelligence,简称 HI)及其他“生物智能”(biological intelligence,简称 BI)。

- “人工智能”(artificial intelligence,简称 AI),包括:“机器智能”(machine intelligence,简称 MI)与“智能机器”(intelligent machine,简称 IM)。

- “集成智能”(integrated intelligence,简称 II),即:“人的智能”与“机器智能”人机互补的集成智能。

- “协同智能”(cooperative intelligence,简称 CI),指:“个体智能”相互协调共生的群体协同智能。

- “分布智能”(distributed intelligence,简称 DI),如:广域信息网,分散大系统的分布式智能。

1956年,“人工智能”学科诞生,50年来,在起伏、曲折的科学征途上不断前进、发展,从狭义人工智能走向广义人工智能,从个体人工智能到群体人工智能,从集中式人工智能到分布式人工智能,在理论方法研究和应用技术开发方面都取得了重大进展。如果说,当年“人工智能”学科的诞生是生物科学技术与信息科学技术、系统科学技术的一次成功的结合,那么,可以认为,现在“智能科学技术”领域的兴起是在信息化、网络化时代又一次新的多学科交融。

1981年,“中国人工智能学会”(Chinese Association for Artificial Intelligence,简称 CAAI)正式成立,25年来,从艰苦创业到成长壮大,从学习跟踪到自主研发,团结我国广大学者,在“人工智能”的研究开发及应用方面取得了显著的进展,促进了“智能科学技术”的发展。在华夏文化与东方哲学影响下,我国智能科学技术的研究、开发及应用,在学术思想与科学方法上,具有综合性、整体性、协调性的特色;在理论方法研究与应用技术开发方面,取得了具有创新性、开拓性的成果。“智能化”已成为当前新技术、新产品的发展方向和显著标志。

为了适时总结、交流、宣传我国学者在“智能科学技术”领域的研究开发及应用成果,中国人工智能学会与科学出版社合作编辑出版《智能科学技术著作丛书》。需要强调的是,这套丛书将优先出版那些有助于将科学技术转化为生产力以及对社

会和国民经济建设有重大作用和应用前景的著作。

我们相信,有广大智能科学技术工作者的积极参与和大力支持,以及编委们的共同努力,《智能科学技术著作丛书》将为繁荣我国智能科学技术事业、增强自主创新能力、建设创新型国家做出应有的贡献。

祝《智能科学技术著作丛书》出版,特赋贺诗一首:

**智能科技领域广
人机集成智能强
群体智能协同好
智能创新更辉煌**

涂序彦

中国人工智能学会荣誉理事长

2005年12月18日

前 言

近年来,随着计算机网络技术,特别是 Internet 和 WWW 技术的发展,使得动态复杂问题求解成为问题求解研究中的一个难点。利用 Agent 技术解决该难题是一种非常行之有效的途径。因而,基于 Agent 技术的动态协作任务求解研究具有重要的理论价值和实际意义,也是当前该领域研究的热点。本书对基于智能 Agent 的动态协作任务求解问题进行了详细的阐述,主要内容如下:

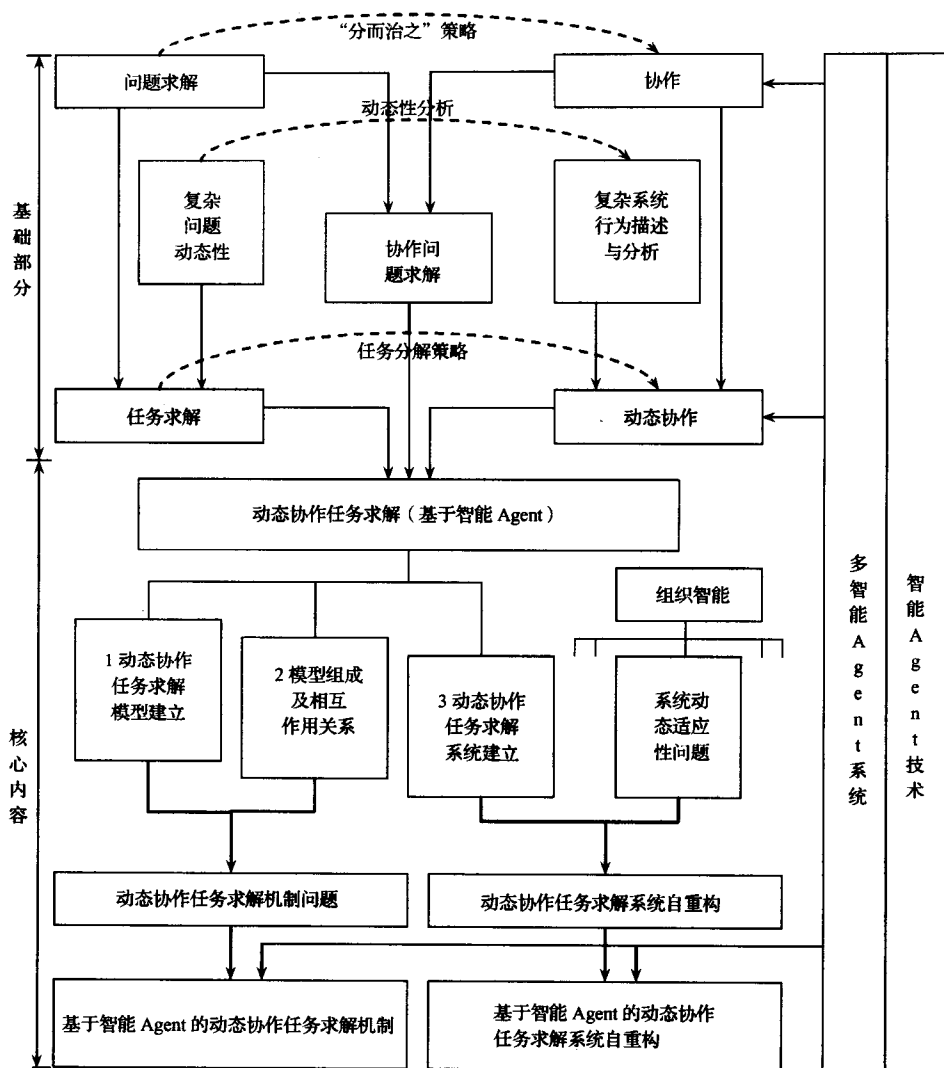
第一,介绍了问题求解及任务求解,并回顾了问题求解及 Agent 技术的发展历程,阐述了它们之间存在的关系;说明了任务求解是问题求解发展的高级阶段及智能 Agent 技术为复杂问题求解提供了新的途径,为进一步说明动态协作任务求解问题奠定了基础。

第二,在动态协作任务求解问题进行详细介绍的基础上,对基于智能 Agent 的动态协作任务求解机制问题进行了分析,即从社会层面上对组织动态适应性问题进行研究;不仅从总体上对动态协作任务求解实现过程进行了形式化描述,并且还对其具体实现机制进行了阐述。

第三,介绍了基于 Agent 融合与分解的系统自重构思想,即从个体层面上对组织动态适应性问题进行研究;提出了通过 Agent 融合与分解方式实现系统自重构的思想及系统自重构控制实现模型;在组件式 BDI 主体结构基础上,对 Agent 融合与分解的具体实现过程进行了分析。

最后,以信息整合任务为例,提出了基于智能 Agent 的动态信息整合任务协作求解模型,并进行了形式化描述;将该模型应用于铁路信息整合问题,提出了基于智能 Agent 的铁路信息整合总体实现方案,并阐述了数据挖掘过程在该总体方案中的实现。

由于本书中的理论涉及内容较多,相互关系复杂,为了更好进行说明,下面给出了本书理论体系结构图。



本书共由八章组成,各章的主要内容如下:

第 1 章:对问题求解与任务求解的具体内涵给予阐述,并说明了两两者之间的联系,回顾了问题求解在人工智能研究中的历程,说明任务求解是问题求解发展的高级阶段。

第 2 章:对智能 Agent 技术进行了介绍,重点介绍了近年了出现的多智能 Agent 系统及出现,对复杂问题的出现进行了回顾,指出了采用“分而治之”策略带来的新问题,并说明智能 Agent 技术的出现为复杂问

题求解提供了新的解决途径。

这两部分内容是本书的基础部分,通过这部分内容说明了问题求解、任务求解、协作和 Agent 技术的之间的关系,为后续动态协作任务求解的介绍做了铺垫。

第 3 章:对动态协作任务求解问题进行一般性的阐述。在说明了动态协作任务求解问题产生的背景及它传统的分布式人工智能区别的基础上,指出了当前动态协作任务求解研究所面临的五个方面问题;随后阐述了任务求解的理论基础。从理论上,对于问题、任务以及相互关系给出了形式化描述;严格证明了任务分解的可行性及解空间的性质;建立了动态协作问题(任务)求解模型,并对相关实现机制进行了讨论;进而,对协作问题及组织的动态适应性问题进行了介绍;最后,提出时序活动关系,从时间和状态角度对动态系统的行为进行描述,为动态系统的行为分析奠定了基础。

第 4 章:从整体上对基于智能 Agent 的动态协作任务求解进行了阐述。首先介绍了动态协作任务求解机制的含义,并提出了一个动态协作任务求解实现模型,在对其实现过程进行分析的基础上,将其实现过程归纳为六个步骤;随后提出了基于活动的任务求解 BDI 主体模型,描述主体的信念、愿望、意图的产生过程,并给出相应的形式化定义;进而对于整个动态协作任务求解实现过程的六个阶段给予详细的介绍,并给出相应的形式化描述。

第 5 章:对基于智能 Agent 的动态协作任务求解组织实现机制的具体内容给予详细的描述,重点介绍了协作、通信、协商和学习机制,并指出了它们之间的关系,同时介绍了目前这方面的一些研究成果。

第 3 章至第 5 章:从浅至深对动态协作任务求解问题给予了详细的描述,同时也说明了基于智能 Agent 动态协作任务求解机制的建立问题。这部分内容是本书的核心内容之一。

第 6 章:对系统自重构思想进行了介绍,它是用来解决目前基于智能 Agent 技术的动态协作任务求解系统中普遍存在的缺乏动态适应性问题新途径。在分析现有组织结构方法存在的不足基础上,提出了通

过基于 Agent 融合和 Agent 分解操作的系统自重构思想。从理论上,给出了 Agent 及构造的形式化定义,并严格证明了通过 Agent 融合与分解实现系统自重构的可行性;其次,介绍了组件式 BDI 主体的基本结构及推理过程;在此基础上,对 Agent 融合与 Agent 分解的实现过程做了分析;Agent 融合和分解技术也是实现团体形成的关键技术。最后,概述了系统自重构思想的特点。

这章内容回答了如何使得系统在动态环境下对环境的变化具有适应性的问题,对于提高动态协作任务求解系统的求解效率也是一种非常行之有效的途径。它与前三章内容一起构成了本书的核心内容。

第 7 章:对信息整合问题进行介绍,对其实现过程进行了分析。在此基础上,给出了信息整合系统的形式化定义。同时,基于动态系统建模技术、信息技术、控制技术,并根据多 Agent 系统组织建模方法对信息整合任务进行进一步的解析;在此基础上,提出了基于智能信息 Agent 的信息整合任务实现模型,对各组成部件的功能和职责进行了阐述,并对该系统进行形式化描述。

第 8 章:将上述模型应用于铁路信息整合问题。在对铁路信息资源的特点进行分析的基础上,提出了基于智能 Agent 的铁路信息整合任务协作任务求解实现方案,说明了其实现机制及数据挖掘在整个总体实现方案的具体实现,并对该铁路信息整合总体实现方案的特点进行了分析。

书末,对本书进行总结,并对进一步的工作做了展望。

作者及其团队在过去的十几年中致力于智能系统相关理论及其在铁路等交通领域的研究,主持承担了国家自然科学基金“智能控制中知识表示的普适方法——FTPN 法”、“复杂动态系统建模与控制的模糊穴映射法——FCM 法”、“高速列车运行智能控制与指挥理论研究”、“模糊离散事件动态系统的建模与控制理论研究”、“模糊进化神经网络理论及应用研究”、“模糊混杂系统的建模理论及应用研究”、“高速铁路智能运输系统综合信息系统与关键技术的研究”、“面向列车群的一类智能混杂系统建模及分析理论的研究”和“铁路运输系统安全监控信息智能集

成模型及理论的研究”等项目；承担了国家 863 计划“面向网络海量空间信息的大型 GIS”、“铁道部客票网络安全管理系统”和“国家重大建设项目动态监测与评价信息系统原型研制及关键技术研究”、“分布式交通系统信息互操作技术”、“新一代交通信号智能控制器研制”、“轨道交通运营安全的关键装备监控预警及应急技术”和“交通状态获取的智能传感器、传感器网络及融合”等课题；承担了国家科技攻关计划“铁路智能运输系统标准体系的研究”、“铁路运输信息化的研究”、“全国铁路地理信息系统应用服务共享平台”、“铁路智能交通系统发展战略研究”和“铁路地理信息系统的研究”等课题，以及铁道部科技发展计划——“铁路安全监控数据高速移动接入系统”、“高速铁路综合调度中心系统智能化软件的研究”、“高速铁路运营综合仿真系统研究”、“广深线行车组织模拟仿真系统研究”、“铁路地理信息系统总体设计与开发”、“铁路智能运输系统(RITS)框架体系结构研究”、“地理系统关键技术与应用的研究——青藏铁路地理信息系统应用的研究”、“铁路地理信息系统的研究”、“地理信息系统关键技术平台研究”和“青藏铁路运营综合监控系统”等项目。这些理论、技术和应用的研究都涉及一个具有普适意义的问题，即如何构造具有智能行为能力的 Agent 以满足非结构化的动态的复杂问题求解需要？本书就是在总结作者及其团队的既有工作成果基础上，力图回答上述问题的初步尝试。

本书涉及的研究工作是在作者及其团队共同努力下完成的。国家科技部、国家自然科学基金委员会和铁道部等部门对作者及其团队的科研工作给与了长期的理解和支持；作者所在的“轨道交通控制与安全国家重点实验室”及其同事们也为本书的撰写工作给与了大力支持；作者还汲取了与作者一道工作的“全国智能交通系统专家咨询委员会”委员们的宝贵建议，在此一并对他们表示衷心感谢。

在本书撰写过程中，作者参考了大量文献资料，在此向相关作者致以谢意。

目 录

《智能科学技术著作丛书》序

前言

第 1 章 问题求解与任务求解	1
1.1 问题与任务	1
1.1.1 什么是问题	1
1.1.2 什么是任务	1
1.1.3 问题与任务之间的关系	1
1.2 问题求解与任务求解	2
1.2.1 问题求解的实现过程	2
1.2.2 任务求解的实现过程	3
1.3 从问题求解到任务求解	3
1.3.1 问题求解与人工智能	3
1.3.2 复杂问题的出现	4
1.3.3 “分而治之”策略的诞生	5
1.3.4 任务求解——问题求解的高级阶段	5
1.3.5 问题求解与任务求解的关系	6
第 2 章 智能 Agent 技术——复杂问题求解的新途径	8
2.1 智能 Agent	8
2.1.1 什么是智能 Agent	8
2.2.2 智能 Agent 的特点	9
2.2.3 智能 Agent 的分类	10
2.2.4 智能 Agent 的应用	11
2.2 多智能 Agent 系统	13
2.2.1 多智能 Agent 系统的出现及特点	13
2.2.2 智能 Agent 系统的应用及前景	13
2.3 智能 Agent 技术	14
2.3.1 智能 Agent 技术	14
2.3.2 智能 Agent 技术——复杂问题求解的新途径	16
2.3.3 协作问题求解与分布式人工智能	17

第 3 章 动态协作任务求解	18
3.1 动态协作任务求解	18
3.1.1 动态协作任务求解问题的出现	18
3.1.2 动态协作任务求解与分布式协作问题求解的区别	18
3.1.3 动态协作任务求解所面临的困难	19
3.2 任务求解理论基础	21
3.2.1 问题、任务的形式化定义	21
3.2.2 问题求解与任务求解过程的形式化描述	22
3.2.3 任务分解理论	23
3.2.4 任务求解的构造理论	25
3.2.5 任务求解描述逻辑	27
3.3 协作问题	29
3.3.1 什么是协作问题	29
3.3.2 个体与协作	29
3.3.3 协作、协调与协商之间的联系与区别	30
3.3.4 协作问题求解模型	31
3.4 组织结构的动态性	32
3.4.1 组织与结构	32
3.4.2 群体组织	33
3.4.3 组织智能的诞生	33
3.4.4 动态协作任务求解的组织动态适应性问题	36
3.5 时序活动逻辑关系-系统动态特征的描述工具	37
3.5.1 时序活动关系	37
3.5.2 时序活动关系图	39
3.5.3 时序活动逻辑关系和关系图的作用	43
第 4 章 基于智能 Agent 的动态协作任务求解机制	45
4.1 动态协作任务求解机制	45
4.1.1 动态协作任务求解机制的内涵及意义	45
4.1.2 动态协作任务求解模型	46
4.1.3 动态协作任务求解的实现过程	48
4.1.4 动态协作任务求解的具体实现阶段	49
4.2 面向任务求解 Agent 结构	50
4.2.1 BDI 主体简介	50
4.2.2 面向任务求解的 BDI 主体结构	51

4.2.3 面向任务求解的 BDI 主体求解过程	52
4.3 基于活动的任务求解实现过程形式化描述	53
4.3.1 任务分析阶段	53
4.3.2 任务执行阶段	55
4.3.3 结果评估阶段	56
4.4 动态协作任务求解过程形式化描述	57
4.4.1 形式化基础	57
4.4.2 任务动态分配阶段	58
4.4.3 协作意愿的产生	59
4.4.4 协作群体形成	60
4.4.5 共同计划的制定	64
4.4.6 协作群体行动及结果评估	66
第 5 章 基于智能 Agent 的动态协作任务求解具体实现机制	68
5.1 基于智能 Agent 的协作机制	68
5.1.1 动态协作任务求解的机制内容	68
5.1.2 基于智能 Agent 的协作机制	68
5.1.3 协作机制研究简介	70
5.2 通信机制	70
5.2.1 通信机制包含的内容	71
5.2.2 通信语言与协议	71
5.2.3 智能 Agent 的通信方式	74
5.3 协商机制	74
5.3.1 协商问题的理论	75
5.3.2 协商机制	75
5.4 学习机制	77
5.4.1 智能 Agent 的学习机制	77
5.4.2 智能 Agent 群体的学习机制	78
5.4.3 智能 Agent 系统的学习机制	79
5.4.4 学习的方法	81
第 6 章 系统动态自重构——提高组织动态适应性的新途径	82
6.1 系统动态自动重构思想	82
6.1.1 现有问题求解系统构造方法的不足	82
6.1.2 组织动态适应性问题研究简介	83
6.1.3 系统自重构思想提出	84

6.2 基于智能 Agent 的系统自重构方法理论基础	84
6.2.1 Agent 融合与分解的形式化定义	85
6.2.2 基于 Agent 融合与分解的系统重构的可行性	86
6.3 基于智能 Agent 的系统自重构实现基础	87
6.3.1 系统重构控制模型的提出	88
6.3.2 组件式 BDI 主体结构	90
6.4 组件式 BDI 的智能 Agent 融合与分解	94
6.4.1 输入表示	94
6.4.2 控制决策	98
6.4.3 决策执行	100
6.4.4 基于智能 Agent 融合与分解的系统自重构方法的特点	104
第 7 章 智能 Agent 信息整合动态协作任务求解系统实现	105
7.1 信息整合问题概述	105
7.1.1 信息整合的定义及基本功能	105
7.1.2 信息整合的四个层面	107
7.1.3 信息整合的迫切性	108
7.2 信息整合问题分析	109
7.2.1 信息整合实现过程分析	109
7.2.2 信息整合系统研究简介	112
7.3 基于智能 Agent 的信息整合动态系统分析	114
7.4 动态信息整合系统组成及功能介绍	117
7.4.1 组的概念及基本结构	117
7.4.2 各 Agent 组功能结构介绍	118
7.4.3 几个特殊结构的组功能结构介绍	123
7.5 各 Agent 相互作用关系及表示	128
7.5.1 全局数据模型生成过程	128
7.5.2 局部数据模型的生成过程	130
7.5.3 环境信息控制交互过程	130
7.5.4 系统的特点分析	132
7.5.5 系统形式化描述的基本概念	133
第 8 章 基于智能 Agent 的铁路信息整合任务求解机制	136
8.1 铁路信息整合国内外研究综述	136
8.2 铁路信息资源现状分析	138
8.2.1 现有铁路信息资源结构分析	138

8.2.2 现有铁路信息资源分布和利用上存在的问题	138
8.2.3 铁路信息整合总体功能实现架构	140
8.3 基于智能 Agent 的铁路信息整合总体实现方案	142
8.3.1 部、各路局及各站段信息整合中心的功能结构	142
8.3.2 基于智能 Agent 技术的铁路信息整合方案	143
8.4 铁路信息整合机制研究	145
8.4.1 纵向整合要求实现机制	145
8.4.2 横向整合要求实现机制	147
8.5 基于智能 Agent 的数据挖掘在铁路信息整合方案中的实现	148
8.5.1 基于智能 Agent 数据挖掘模型	148
8.5.2 数据挖掘在铁路信息整合方案中具体实现	150
8.6 基于智能 Agent 的铁路信息整合方案特点	152
结束语	154
参考文献	155