



国际电气工程先进技术译丛



WILEY

www.wiley.com

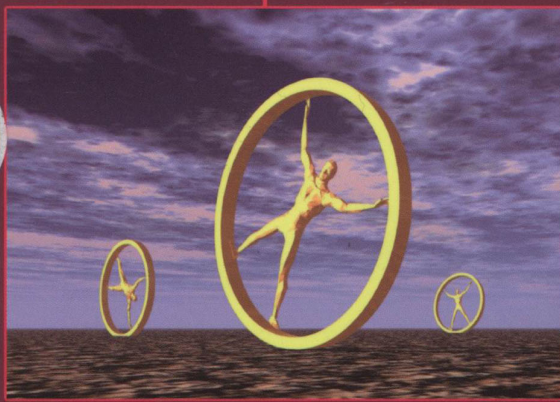
人工智能中 的图表推理

Diagrammatic Reasoning in AI

(美) Robbie T. Nakatsu 著
陈一民 史晓霞 樊清 等译



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



关于作者

Robbie T.Nakatsu博士目前是美国Loyola Marymount大学信息系统领域的教授，其研究领域涉及智能用户接口、人机接口、人工智能应用和信息技术管理。在加入Loyola Marymount大学之前，Nakatsu博士先后在百事可乐公司的信息管理系统做顾问，在哥伦比亚广播公司(CBS)做高级研究分析员，并在摩根士丹利的信息系统部做分析师。他开发了LogNet软件，这种软件可对如何设计商业后勤网络提供了建议。Nakatsu博士也开发了Expert-Strategy(专家战略)软件，这种软件为专家系统的知识库提供了图形用户界面。Nakatsu博士是美国计算机协会和信息系统协会的会员。

Nakatsu博士目前所感兴趣的研究领域集中在智能用户接口，计算机仿真建模和信息技术管理。



国际电气工程先进技术译丛

人工智能中的图表推理

(美) Robbie T. Nakatsu 著
陈一民 史晓霞 樊清 等译



机械工业出版社

本书以一种全新的角度对人工智能及其应用领域中的技术和方法（即图表理论）进行了研究和探索。本书在介绍人工智能基本原理的同时，着重论述了当前图表理论在人工智能领域中的应用。

本书详细介绍了图表的类型与相关应用，包括逻辑推理、基于规则的专家系统、基于规则的推理、基于模型的推理等。本书除了对静态图表的相关理论进行了论述外，也对交互式 and 动态图表进行了阐述，以便帮助研究者、程序员、智能系统设计人员和 Web 应用设计人员进行更深入的研究。

本书可作为高等院校相关专业的高年级本科生、研究生、程序员、智能系统设计人员、Web 应用设计人员及人工智能领域的相关研究人员的参考用书。

DIAGRAMMATIC REASONING IN AI, ISBN: 978-0-470-33187-3.

Copyright© 2010 by John Wiley & Sons., Inc.

All Rights Reserved, This translation published under license.

本书中文简体字版由机械工业出版社出版，未经出版者书面允许，本书的任何部分不得以任何方式复制或抄袭。

版权所有，翻印必究。

本书版权登记号：图字 01-2010-5001 号

图书在版编目（CIP）数据

人工智能中的图表推理/（美）中津（Robbie T. Nakatsu）著；陈一民等译．—北京：机械工业出版社，2011

（国际电气工程先进技术译丛）

Diagrammatic Reasoning in AI

ISBN 978-7-111-35620-2

I. ①人… II. ①中…②陈… III. ①图表法—应用—人工智能—研究
IV. ①TP18

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2011）第 163788 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）

策划编辑：任 鑫 责任编辑：任 鑫

版式设计：霍永明 责任校对：樊钟英

封面设计：马精明 责任印制：杨 曦

北京圣夫亚美印刷有限公司印刷

2012 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

169mm×239mm·18 印张·357 千字

0001—2500 册

标准书号：ISBN 978-7-111-35620-2

定价：88.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社 服 务 中 心：(010)88361066

门户网：<http://www.cmpbook.com>

销 售 一 部：(010)68326294

教材网：<http://www.cmpedu.com>

销 售 二 部：(010)88379649

读者购书热线：(010)88379203

封面无防伪标均为盗版

译者序

人工智能（Artificial Intelligence, AI）诞生于 20 世纪 50 年代中期，是计算机学科的一个分支，20 世纪 70 年代以来被称为世界三大尖端技术（空间技术、能源技术、人工智能）之一，同时被认为是 21 世纪三大尖端技术（基因工程、纳米科学、人工智能）之一。

人工智能领域除了涉及计算机科学以外，还涉及信息论、控制论、自动化、仿生学、生物学、心理学、数理逻辑、语言学、医学和哲学等多门学科。目前人工智能除了在计算机领域内得到了广泛的重视和应用，在机器人、经济政治决策、控制系统、仿真系统中的应用也愈加广泛。

国外人工智能相关理论和应用都明显领先于国内。但最近几年我国的人工智能相关理论的发展与技术应用的实施越来越快。随着人工智能理论的不断发展和相关技术的广泛应用，对于人工智能相关图书的需求也越来越多，并且读者层面在不断扩大，已从最初的理论研究学者扩大到广大院校的师生和相关领域工程技术人员。

本书的作者 Robbie T. Nakatsu 博士目前是美国 Loyola Marymount 大学信息系统教授，其研究领域涉及智能用户接口、人机接口、人工智能应用和信息技术管理。在加入 Loyola Marymount 大学之前，Nakatsu 博士先后在百事可乐公司的管理信息系统部做顾问，在哥伦比亚广播公司（CBS）做高级研究分析员，并在摩根士丹利的信息系统部做分析师。Nakatsu 博士开发了 LogNet 软件，这种软件对如何设计商业后勤网络提供了建议。他也开发了 Expert-Strategy（专家战略）软件，这种软件为专家系统的知识库提供图形用户界面。无疑，Nakatsu 博士在相关领域中丰富的工作经验使得本书中所给出的方法与应用更为贴近实际，并且易于实施。

本书具有以下特点：

1) 在介绍人工智能基本原理的同时，论述了当前新的理论和方法（图表理论）在人工智能领域中的应用。

2) 本书结构清晰，首先介绍了当前人工智能领域的理论和应用局限。并且通过一个实例（人类视觉中的图表）介绍了人类思维模型，从而引出图表的概念。随后，本书详细介绍了图表的类型与相关应用（包括逻辑推理、基于规则的专家系统、基于规则的推理、基于模型的推理，应用置信度和贝叶斯网络

进行不精确推理、理解图表推理的框架)。

3) 本书除了通过静态图表解释相关理论外, 也对交互式 and 动态图表进行了解释, 以便帮助研究者、程序员、智能系统设计人员和 Web 应用设计人员进行深入研究。

4) 本书的文字通畅、论述严密, 同时由于论述通过图形方式实现人工智能, 因此避免了读者接触较多的理论公式推导, 适合更为广泛的读者对人工智能的有关原理和应用方法进行学习。

本书适合于对人工智能基本原理有所了解的高等院校教师、学生、科研人员以及对人工智能感兴趣的工程技术人员作为参考。

本书的第 1~3 章和第 5 章由陈一民翻译, 第 4 章由樊清翻译, 第 6~9 章由史晓霞翻译, 全书由陈一民统稿。樊清重新绘制了书中的图表。

本书的翻译与出版得到了许多同仁和朋友的支持与帮助, 特别是张少军教授、王亚慧教授、魏东博士、李军治博士、马鸿雁博士、周渡海高级工程师、王荣民高级馆员、陈湧工程师、何此昂工程师、李锐工程师、邓颖工程师、庄俊华讲师、胡玉玲讲师、张俊红讲师, 译者在此深表谢意!

本书翻译虽经多次修正审阅, 但是由于译者能力有限, 不当与疏漏之处在所难免, 恳请广大读者予以批评指正。

译 者

原 书 前 言

本书是我几十年研究人工智能的最终成果。在撰写本书的过程中，我从不同的源泉获得了灵感。这些源泉来自于两个实验研究，开发了两个原型系统，对人工智能、计算机用户接口和认知心理学领域广泛的文献的回顾与分析。本书对我们如何理解图形用户接口以便支持最终用户在决策和问题求解方面的需求将特别有益。决策和问题求解是当今重要的主题，这是由于人们急需理解最终用户是如何应对急剧增长且复杂的信息技术和基于计算机的信息系统的。此外，我相信通过图表进行推理将成为未来开发的最新一代人工智能系统的重要组成部分。

我很多年前攻读博士研究生时，在对用户接口设计进行研究的过程中曾调查过有关图形推理的话题。几乎是十分偶然的，我在认知心理学（即人们所知的思维模型）领域中发现了一个概念。这种思想就是我们在大脑中构建世界模型的思想在与世界的联系中帮助了我们。我对这一思想产生了浓厚兴趣，并且希望知道人们是如何、在何时和为什么去使用这一思想。我认为如果我们能够更好地理解这些思维是关于什么的，那么我们就或许能够使用这一知识去设计计算机用户接口和帮助工具，例如在复杂任务和用户日常生活中起到帮助作用的教程和说明。我用一整章（第2章）的内容论述了思维模型的主题。

这样，我对思维模型的调查研究就十分自然地并逐渐地涉及了更多对图表理论的调查研究。这是因为我开始审视思维模型，并认为其在许多实例中无非是人眼中的图形而已。我的意思是通过图表说明图表化表示是如何在一个范围内使目标与其他目标相互联系或关联的。在研究和学习图表的过程中，我得到了几个关键的发现。第一个发现是编制图表确实是一个基本的人类活动——我们中的大多数人十分自然地编制图表，即使是以一种非正式或是自组织的方式。有时候，人们更加正式和清楚地编制图表，并且特别是当我们需要向别人说明图表时，我们将投入时间去创造正确的图表。我十分惊讶于在我的日常生活中是如此经常地使用图表，因此能够很容易举出一些关于图表的例子。第二个发现是图表能够呈现出很多具体化的形式和外观，这大大超出了我的想象。不可能明白所有不同的注释和技术。然而，在注释的所有这些变化的下面是几个潜在的原理和主题。我将在第3章和结论章（第9章）说明这些原理和主

题。第三个发现是图表不仅仅是一张静态图表或是表示，也可以使用一种更加动态和有趣的方式使用图表。本书的主题实际上是说明图表可以作为智能用户接口的中心部分，这意味着可以控制或是调整图表，并且在一些情况下用来推断出难题的结果。总之，图表方法要比呈现在我们眼前的内容更加丰富。

我写作本书的动机是什么？我希望传递给读者的信息是什么呢？首先，我想要明白图表是如何能够帮助学习者理解复杂的思想的。作为在高校工作的一名教师，我对图表的教学功能（这一功能能够十分精确和清晰地教授和传递复杂的思想）特别感兴趣。我敏锐地意识到学生在课堂上努力去理解课程内容时所面对的困难。教科书经常是使一些说明更加令人迷惑，而不是使其更有启发性。同时，由于教师对学生作出了太多的假设（即设想学生应该知道什么或是他们已经知道了什么），因此课堂的教学常常不能有效地传递信息。最终，课堂环境不能为学习者产生对课堂内容有效的思维模型。此外，在不同概念之间的相互联系和相互关系不能被有效加强，以致学习者不能对课堂内容形成长期记忆。通过本书，我给出了许多例子解释如何使用图表去更有效地向学习者传递信息。

第二个动机是要明白如何使人工智能系统更容易理解和使用。这确实是写作本书的最基本的目标。对于人工智能系统的许多批评都是要求如果用户使用或接受这些系统时在用户接口中需要有更多的透明性和灵活性。传统的智能系统是黑盒系统，这样的系统提供很少的机会甚至不提供机会使用户能够对系统的结果和建议进行调查和质疑。因而，我主张图形化的用户接口要能够帮助用户更好地理解并且可视化系统的动作。

为了这一目的，我从人工智能中汲取了大量内容，因而本书的题目是人工智能中的图表推理。本来能够很容易地为本书命名为“图表推理”或是“可视化专家系统”，但这些题目并不能准确地记录我从人工智能理论中借用了多少东西。我特别审视了专家系统、基于模型的推理和不确定推理（包括确定性因素和贝叶斯网络）这三个重要的人工智能领域，这三个领域试图用不同的方式产生能够模仿人类思维和问题解决的程序。我在第4章中也提到了逻辑推理，这一主题也是在人工智能文献中广泛涉及的。

写作本书的第三个动机是当前我还未在市场上看到有通过一致的或是统一的方式描述图表推理的图书。我希望通过对这一主题进行更加一致的处理来填补这一空白。虽然有许多书籍是关于使用信息设计和图形设计去处理图表的，但是这些书籍主要是从解释一个好的图形设计的原理观点去探究这一主题的。例如，介绍统一建模语言（UML），这是一种用来对软件系统建模和在开发系统中起到帮助作用的图形标准的书籍。另一种在文献中很好地涵盖了图表技术是决策图和其他用于决策分

析的符号。所有这些书籍在描述和说明图表技术的一个特别类型上都做出了出色和细致的工作，但是这些书籍也是有限的，这是由于它们仅仅涉及了图表中的一种类型或是仅仅聚焦于推理方法的一个方面。本书从另一方面希望涉及广泛的图表和推理方法，从而使读者看到围绕图表的更多的问题。我希望通过给出许多不同类型的图表和许多不同类型的应用使读者得到对图表功能的更深的评价。

本书确定的读者范围是人工智能和人机交互方面的专业人员和研究者、从事图形用户接口开发的程序员和设计员（包括 Web 应用的设计员）、商业和计算专业人员（这些人员可能对在其组织内配置智能系统感兴趣），本书也适用于非计算专业人员（这些人员对学习更多的图表的用途感兴趣）。确实，不同于当前市场上许多人工智能教科书，作者假定读者之前并不了解人工智能相关知识，或是在高中代数之外并没有更多的数学知识（有一个例外，当我在第 8 章中讨论贝叶斯网络这一主题时需要具备概率理论基础知识。我首先对概率理论进行了简要介绍，以便为对概率理论不了解的读者提供方便）。本书可以作为自学者学习图表推理和智能用户接口的指南。此外，在本书中所建立的图表化应用并不是以任何一类特定的读者为目标，而是用来代表一种广泛性，同时去说明对于每一类读者，图表都可以是一种强有力的方法。

本书包含 9 章内容，每一章的内容或多或少是独立的，以便读者能够很容易地读懂它们的每个部分，而无需掌握前一章的知识。第 5 章是个例外，在这一章中说明了基于规则的专家系统的基本原理，这些内容构成了第 6 章的背景知识。另外一个例外是最后一章（即第 9 章），这一章的内容是对前 8 章内容的总结。

第 1 章首先讨论了人工智能出现的难题和制造可以像人一样解决问题的机器（即阿兰·图灵在几十年前提出的所谓的思考机器）的局限。在本章中，我指出了人们需要通过寻找解决的方案来更多地接受人工智能的局限。特别是，我建议我们需要审视用户接口在智能系统中的角色，即我们如何能够使智能系统更加透明和更加灵活，以便我们能够更多地接受它们的局限？

第 2 章中讨论了思维模型或是内部模型，我们的大脑内部产生这一模型去理解复杂现象或系统。我将本章的子标题命名为“人眼中的图表”，以便反映如下的思想，即思维模型常常涉及了自组织图表的构建，这种自组织图表可以十分迅速地创建，以便帮助我们解决问题并对现实世界作出响应。本章讨论的内容涉及了两种思维模型：

内部连接：描述了系统的元件如何相互作用去产生输出或是产生行为。

外部连接：在人的前期知识和需要去理解的复杂目标系统之间的联系（例如使用相似说明去理解复杂领域）。

我通过几个实例说明了思维模型，这包括机电自动调温器的思维模型（一个

原始实例)，同时还有几个来自认知科学文献的众所周知的实例，包括使用类比去帮助解决问题。

第3章就当前使用的大量不同图表进行了分类。分类方案包括依照其不同功能的6类图表：

- 1) 系统拓扑；
- 2) 序列与流程；
- 3) 结构与分类；
- 4) 联系；
- 5) 因果；
- 6) 逻辑推理。

通过本章，我对广泛的应用领域中的图表进行了说明：这涉及了从网络图表中得到的全部。从计算机网络中的硬件元件是如何与其他元件相互联系，到帮助医生对心脏病病人进行分类，再到解释莎士比亚戏剧《哈姆雷特》用词相互联系的语义网络。即使有如此大量的使用范围，这6个分类涉及了所有这些图表的类型，并且作为一个统一的框架，以便去理解和组织一个变化多样的图表注释。

第4章说明了在正式逻辑推理中使用图表。本章说明了如何能够通过图表使复杂逻辑问题更加容易理解。我特别审视了动态维恩图表（Venn diagram），可以使用这一图表为逻辑问题构建逻辑证据。

对于维恩图表的讨论可以使读者一步一步地完成一个步骤，这个步骤可使读者以图形化和可视化的方式建立逻辑证据。本章中所描述的维恩图表比在数学或是集合理论中使用的传统的维恩图表要更加广泛：这些图表不仅仅是形容两个或三个子集之间关系的静态的图表，而是可以以许多种不同的方式进行调整、升级和连接。事实上，我展示了如何用维恩图表构建逻辑证据。然后，我考虑了语义表示系统（例如一阶逻辑）是如何与一个非语义系统（如维恩图表）进行对比的。

第5章描述了专家系统，这一系统是用来模仿人类专家（即在某一领域掌握专门技术的人）决策解决能力的人工智能程序。在许多方面，本书全部都是关于获得一些表现形式的专门技术，这样专家系统在本书的讨论中就占有了中心角色。专家系统的最通常的形式是以“IF-THEN”规则的聚合存储的知识，因而将其作为基于规则的专家系统。在本章中，我描述了传统的基于规则的专家系统的组成，其包括两个最重要的部分：知识库和推论机。然后，我说明了如何通过使用特定的程序语言（CLIPS[⊖]）产生基于规则的专家系统。最后，我提出了专家系统技术的一些好处和问题。

⊖ Compiler Language for Information Processing，信息处理用的编译程序语言。——译者注

第6章探究了一些技术，可以用这些技术增加基于规则的专家系统的透明性和灵活性。我特别审视了一些图表，可以用这些图表作为用户接口自身的中心组成部分，这包括：

1) 允许用户通过知识库来可视化跟踪推理线索的流程图，它使得用户一步一步地完成推理过程。

2) 将复杂的知识库分割为有意义的区块的图表，这一图表可以一种等级的方式进行组织。

3) 可以图形化显示在规则轨迹中条件与行为关系的规则轨迹图表。

4) 对用来进行问题解决的战略知识、方法和途径进行建模的图表，以使用户能够对专家系统是如何获得结论有更深入的理解。

这些图表用户接口能使用户更加有效地看到一个系统是如何获得结论和具有可取之处的。此外，这些用户接口具有很高的灵活性，因为它们能够使用户探究并得出不同的模式和假设。

第7章讨论了基于模型的推理技术，并讨论了如何使用它们去产生更加交互式的智能系统。这一技术相对于更加传统的基于规则的代表系统提供了一种强有力的选择。通过基于模型的推理，我提到了一类人工智能技术，这一类技术包括对系统结构和行为的分析。基于模型的推理系统由一些图表引出，然后通过图表进行了推理去帮助解决困难问题。我们将审视基于模型的推理的两种应用。首先，将审视在简单设备的故障诊断中，如何使用基于模型的推理。其次，将审视在设计商业后勤网络中，如何使用基于模型的推理。

第8章中涉及了不确定推理的问题，或是如何在人工智能中表示和处理不确定性。本章中描述了两不同的方法去处理不确定，即置信度和贝叶斯网络。第一种方法建立置信度作为一种实际的和方便的方法去处理不确定性。虽然很容易去计算置信度，但是这种方法缺乏精确性和理论支持。因而，贝叶斯网络在当前变成了一种越来越流行的方法。本章说明了贝叶斯网络可以作为一种选择去提供技术上更加正确的方法。这一计算是基于概率论和贝叶斯定理。

此外，我也对如何使用主要网络和临时图表对这两种方法进行建模。这些图表不仅是静态的而且是动态的，这是因为它们能够基于引入的新的数据和证据而改变。

最后，在第9章中，我对前8章的内容进行了总结并整合。我尝试提出以下的问题：图表存在的必要性是什么？良好的图表的标准是什么？在本书中如何对图表化推理方法进行分类？通过回答这些问题，我希望提出理解图表化推理的框架。

本书的一个重要的方面是全书对应用的开发和图形化进行了说明。我提出了一个广泛领域，如物理科学、宏观经济学、金融、商业后勤管理和医学，以便说明一

些中心思想。例如，我使用了图表和图形说明去解释影响美国失业率的因素是什么（什么是变量和读者如何图形化地描绘在变量之间的偶然关系）。在医学领域，我说明了决策流程，这一流程可以告诉我们什么因素可以影响预测心脏病的准确性。这意味着急救室医务人员〔他们必须十分迅速地作出决策，以便对病人（这些病人在送到急救室时已具有心脏病症状）作出何种处置〕可以使用决策流程。

除非另外进行说明，本书中的绝大多数图表都是原始的实例。如果我计划写一本关于图表理论的书籍去建立原始的实例和应用，我想这是十分重要的。我也相信，这对于我去实际地画出图表将是十分重要的。只有这样，我才能充分地意识到特定图表技术的好处和局限。因而，所有原始的图表都是手工绘制的（借助于 Microsoft Visio 的帮助）。在绘制这些图表的过程中，我认识到只有通过图表的动态生成，才能够充分意识到制作图表是一个过程，有时候需要进行重复和提炼。这对于更加复杂的图表来说特别确切，许多图表并不能在一页纸上概括。最终的产品（在本书中读者在不同页中所见到的图表）有时要考虑到对困难的设计的折中。我很早就认识到，没有一个图表注释是完美的或是完全的，读者在本书中所看到的图表将是这些折中的最终结果。

致谢

我十分感谢在本书出版工作中提供帮助的许多人士。感谢 Chris Green 设计了本书的封面，同时感谢 Wiley 出版社的封面设计部门制作了读者所见的本书最终封面。在本书出版之前，许多人士阅读了作者手稿的部分内容，并且提出了很多有益的建议和评论。我特别感谢 Peder Fedde，他通读了本书中的一些图表和章节，以便确保这些图表和章节的精确和清晰。Peder Fedde 自始至终都给予了很大的支持和帮助，当本书的写作进展变得止步不前时，他的帮助就是雪中送炭。当我不列颠哥伦比亚大学攻读博士学位的时候，不列颠哥伦比亚大学的 Izak Benbasat 为书中所讨论的原型系统（TransMode 结构和 LogNet）的开发提供了帮助。

在本书的撰写过程中能够有 Loyola Marymount 大学中的众多同事提供十分有力的帮助，我感到十分幸运。这些年来，我的同事们成了我的力量和灵感之源。我要感谢商学院的夏季研究资助委员会（Summer Research Grant Committee）对写作本书给予的资金支持。我也要感谢我的学生（包括本科生和研究生）提供的帮助。在他们之中要特别提到 Timothy Lui 和 Nathan Peranelli，他们是我的本科研究学生的成员。Glenn Grau-Johnson 和 Ted Tegencamp 帮助我对与本书的出版有关的版权问题进行了研究。Diana Asai 在管理方面提供了有力的支持。Tony Patino 和他的市场营销班级就如何推广本书提供了宝贵的意见。

在本书的编纂出版过程中，Wiley 出版社的同仁提供了有益的和专业的帮助。

我想对助理出版人 George Telecki 深表感谢，即使是在本书处于开始和没有成形阶段，他也对本书的出版发行充满信心。高级出版编辑 Kristen Parrish 在审阅本书的过程中给出了特别有益的帮助，他总是对我所关心的问题做出耐心、及时和有益的解答。助理编辑 Lucy Hitz 对我所提出的问题无不尽可能予以解答，同时花费了大量时间就本书中的许多内容进行了审阅。我也要感谢加工编辑 Candace Levy，他对如何使手稿变得更好提出了许多有益的建议。能够有机会和这样的专业队伍一起进行工作我感到十分幸运。

最后，我要把我的最大感激献给我的父母——Ron 和 Yoshiko Nakatsu，他们在这些年给予了我巨大的支持。我将本书献给他们。

ROBBIE T. NAKATSU

2009. 2

Los Angeles, California

目 录

译者序

原书前言

第 1 章 引言：人工智能领域的局限	1
1.1 引言	1
1.2 人工智能的局限	4
1.2.1 创造一台思考机器的困难	4
1.2.2 缺乏常识性推理	7
1.2.3 难以驾驭的特性	9
1.3 智能系统的解释能力	11
1.3.1 系统的透明度	12
1.3.2 系统的灵活性	14
1.4 人工智能的未来：面向交互式的图表	17
参考文献	18
第 2 章 思维模型：在人眼中的图表	20
2.1 思维模型的定义	20
2.2 知识的组织	23
2.2.1 内部连接	23
2.2.2 外部连接	35
2.3 讨论	45
参考文献	47
第 3 章 图表的类型	50
3.1 引言	50
3.2 系统拓扑	54
3.3 顺序和流程	55
3.3.1 活动图表	57
3.3.2 泳道：分割一幅活动图表	60
3.3.3 案例研究：在急救室中的治疗类选法	61
3.4 层次和分类	64
3.4.1 组织图表	65
3.4.2 遗传层次	66
3.4.3 组成模型	68

3.5 关联	68
3.5.1 语义网络	69
3.5.2 实体关系图表	70
3.6 因果关系	72
3.6.1 有向图	73
3.6.2 其他符号系统	76
3.6.3 因果关系推理中的谬论	80
3.7 决策图表	83
3.7.1 决策树	84
3.7.2 影响图表	86
3.7.3 顺序的决策	86
3.8 讨论	90
参考文献	91
第4章 应用图表的逻辑推理	93
4.1 引言	93
4.2 论证图表	94
4.3 用动态维恩图表进行逻辑推理	96
4.3.1 维恩图表介绍	98
4.3.2 通过维恩图表的演绎推论：第一个途径	102
4.3.3 转换规则	106
4.4 回顾演绎推理	113
4.4.1 两种表示系统的检验：语言学（一阶逻辑）对应非语言学（维恩图表）	115
参考文献	120
第5章 基于规则的专家系统	121
5.1 引言	121
5.2 基于规则的推理	125
5.2.1 基于规则的专家系统的组成部分	128
5.2.2 推理机	129
5.2.3 冲突结果	135
5.2.4 CLIPS	138
5.3 利益与局限	150
5.3.1 很难对专门技术进行提取	153
5.3.2 不能捕获所有的知识	154
5.3.3 专家系统不能够学习	154
5.3.4 专家系统缺乏灵活性	154
5.3.5 缺乏对专家系统的信任，同时在解释结果上面专家系统的能力有限	154

5.3.6 专家系统很难检验和验证	155
附录 A 股票选择专家系统	156
参考文献	161
第 6 章 带有图形的基于规则的推理	162
6.1 专家系统的透明性	163
6.2 用图表表示一个简单的专家系统	168
6.3 更复杂的应用：运输模式选择	170
6.4 知识库的分层模型	173
6.5 专家系统的灵活性	177
6.6 规则轨迹图	180
6.7 策略知识	182
6.8 讨论	189
附录 A 运输模式知识库	191
参考文献	195
第 7 章 基于模型的推理	196
7.1 基于模型的诊断	198
7.1.1 排除一个简单设备的故障	199
7.1.2 排除逻辑门设备故障	203
7.2 设计商业后勤网络	205
7.2.1 LogNet 描述	206
7.2.2 网络基准	207
7.3 带有图形用户界面的可视化交互模型	209
7.4 基于模型的推理：通向一个较好网络设计的向导	211
7.4.1 网络整理	211
7.4.2 网络分散	213
7.5 使用 LogNet 解决问题：两个方案	215
7.6 基于启发式搜索的调整	220
7.7 讨论	222
参考文献	224
第 8 章 基于置信度与贝叶斯网络的不精确推理	226
8.1 置信度	227
8.1.1 信度网络	230
8.1.2 恶意病毒检测系统	231
8.2 概率论基本原理	237
8.2.1 基本概念	238
8.2.2 条件概率与贝叶斯定理	241

8.3 贝叶斯网络	245
8.4 讨论	253
参考文献	254
第9章 理解图表推理的框架	256
9.1 评估图表准则	258
9.1.1 有效图表可以深化对系统的理解	258
9.1.2 有效图表表述非常明确	259
9.1.3 有效图表是最简的	260
9.1.4 有效图表是相关的	261
9.1.5 有效图表支持多层的描述	261
9.2 比较两个图表：信息能力和计算能力	262
9.3 超越静态图表	266
9.4 编后：应用并超越人工智能技术的图形化用户界面	268
参考文献	270