



Formal Concept System in
Artificial Intelligence

人工智能 形式概念系统

危 辉 著



科学出版社

Formal Concept System in Artificial Intelligence

人工智能形式概念系统

危 辉 著

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

在智能行为的模拟过程中,概念系统的形式化是极其重要的,它是多种智能行为得以发生和成功实施的基础.在第一章中,我们从智能行为高度关联的角度出发,给出一个理想的概念系统形式化方法应该具备的属性,叙述概念系统在不同智能行为算法化以及应用深化过程中的核心作用和重要地位.在第二章中,我们从传统人工智能知识表示和认知心理学记忆建模两个方面回顾了概念系统形式化方法的发展历史.在第三章中,我们给出一种基于浸润思想的动态命题网概念表征与问题求解的实现方法.在第四章中,我们简要介绍心理学中的表征重述观点,并讨论了它的不足,以及我们对这一思想如何应用于概念发展与概念系统构造的设想.在第五章中,我们根据表征重述的基本过程,采用面向对象形式化工具对概念习得、发展与形式表征的实现过程进行了详细的论证.在第六章中,我们提出了一种基于框架复合的概念形式表征与非限定问题求解的实现方法.在第七章中,我们从发展心理学的角度论述了智能系统是一个要满足系统性和相关性约束的整体,把对知识表示的研究推进到对表示的研究能够拓展智能行为模拟研究的视野,有助于把不同学科的精髓应用到人工智能研究上来.

本书适合从事人工智能、认知建模研究的研究生与科研人员使用.

图书在版编目(CIP)数据

人工智能形式概念系统(Formal Concept System in Artificial Intelligence)/危辉著. —北京:科学出版社, 2011

ISBN 978-7-03-030556-5

I. ①人… II. ①危… III. ①人工智能-研究 IV. ①TP18

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011) 第 043337 号

责任编辑:王丽平 房 阳 / 责任校对:陈玉凤

责任印制:钱玉芬 / 封面设计:鑫联必升

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>

新 蕾 印 刷 厂 印 刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2011 年 4 月第 一 版 开本: B5(720 × 1000)

2011 年 4 月第一次印刷 印张: 10 1/2

印数: 1—2 500 字数: 202 000

定价: 38.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

前 言

人具有一个在内容和结构上都非常完备的概念系统,而且其自学习、自适应、自更新的能力也非常强,这一概念系统是人的认知能力强大的根本保证.对人工智能而言,无论是经典的问题求解、推理、决策与规划、语言理解与生成、场景理解问题,还是新出现的 Web 信息过滤、视频检索、基于 Web 的搜索、监控等现实应用都需要一个基本可用的语义系统作为支撑,因为这些应用越来越体现出“muddy-task”的特性,需要一个比较宽泛的先验知识基础.这个语义系统就是人的概念系统的形式化表征.

本书以人的概念系统的习得、表征、进化、使用过程的算法化为研究目标,在对已有的概念系统形式化工具进行总结的基础上,提出了基于发展心理学观点的概念系统形式化表征方法,以期建立一个既能反映人的概念系统在构建过程、联想推理、普适性上的认知规律,又能满足计算机编程需求的形式概念系统.这一研究是一项人工智能的基础性工作,既体现了计算机科学对认知心理学、认知语言学等其他学科的借鉴,又在算法的物化智能过程中给这些学科提出了需要澄清的新问题.

本书的部分工作源于作者的导师何新贵院士对模糊推理和浸润的研究给作者的启发,以及多年来导师对作者的鼓励.同时,作者非常感谢另外一位导师怀进鹏院士在 17 年前引导作者走进人工智能知识系统、形式推理、非单调逻辑这一人工智能的基础性分支.导师们的引领使作者对知识获取困难、知识窄台阶、知识系统介入其他人工智能应用的统一方式等问题保持着长久的研究兴趣和新鲜感.另外,作者非常感谢硕士研究生陈燕、贺文、白宇,他们在 2002~2008 年与作者一同工作.

本书的工作曾获得中国科学院智能信息处理重点实验室开放基金 (IIP2002-3)、上海市青年科技启明星计划 (03QG14005)、国家自然科学基金 (60303007)、“973”基础研究重大项目前期研究专项项目 (2001CCA03000)、“973”国家重点基础研究发展规划项目 (2001CB309401 和 2010CB327900) 的资助,作者深表感谢.

危 辉

2009 年 12 月 25 日

目 录

前言

第 1 章 概念系统的重要性	1
1.1 概念系统是认知的核心	1
1.1.1 对认知的定义	1
1.1.2 高级智能活动	1
1.1.3 概念系统处于认知技能整合的中心位置	3
1.2 人工智能中概念系统作用的体现	6
1.2.1 概念系统在场景理解中的作用	6
1.2.2 概念系统在言语推理中的作用	7
1.2.3 概念系统在智能分系统融合中的作用	13
1.3 概念系统的特征	23
1.4 对概念系统结构的猜测	27
1.4.1 人工智能受到的批评	28
1.4.2 人工智能中的几个基本问题	29
第 2 章 形式概念系统建构方法的发展	31
2.1 知识表示方法的研究	31
2.2 概念结构表示研究	37
2.2.1 以前的经典知识表示方法对概念结构关注不足	39
2.2.2 概念图知识表示及其应用	40
2.2.3 概念格	41
2.2.4 本体	42
2.3 心理学对此问题的研究	43
2.4 心理学对长时记忆的研究	45
2.4.1 层次网络模型	45
2.4.2 激活扩散模型	46
2.4.3 HAM 模型和 ACT 模型	46
2.5 常识库的研究	48

第 3 章 形式概念系统浸润式问题求解	49
3.1 广泛意义上的问题求解	49
3.1.1 动态语义网 (dynamic semantic network, DSN) 的基本构成	49
3.1.2 基于 DSN 的推理机制	50
3.1.3 基于 DSN 的问题求解过程	51
3.2 动态语义网络的形式化实现	57
3.2.1 DSN 表征规范	57
3.2.2 DSN 形成规范	61
3.2.3 DSN 浸润推理规范	65
3.3 动态语义网络激励传播算法实现	67
3.3.1 基于 DSN 激励传播算法	67
3.3.2 基于 DSN 浸润推理的计算机实现	70
3.4 浸润式问题求解方式的展望	74
3.4.1 小结	74
3.4.2 进一步的发展	75
第 4 章 表征重述	76
4.1 发展心理学中关于表征重述的研究	76
4.2 表征重述的启示	77
4.2.1 从人工智能角度对表征重述观点的深度发掘	77
4.2.2 表征重述应用于知识系统的不足之处	78
第 5 章 使用对象建模工具的形式化方法	79
5.1 面向对象是对世界的刻画	80
5.1.1 面向对象的形式语义特征	80
5.1.2 为什么选择面向对象技术作为形式化表征的手段	82
5.2 面向对象对表征重述的实现	82
5.2.1 以“计数”概念习得过程为例	82
5.2.2 用表征重述对“计数”过程的再解释和基于面向对象规范定义的表征	83
5.2.3 概念表征的形式进化导致问题求解能力的进化	91
5.2.4 长远的考虑	94
5.3 使用标准建模语言 UML 的表征重述实现	95
5.3.1 UML 对表征重述的描述	95

5.3.2 用 UML 实现的计数行为变化表征	99
5.3.3 用 UML 实现表征重述的优点与不足	106
5.4 生成算法	106
5.4.1 形式化表征生成算法	106
5.4.2 概念掌握水平的变化	114
第 6 章 形式概念系统上的推理	116
6.1 基于扩展框架系统的表示	116
6.1.1 扩展的框架知识表示方法	116
6.1.2 框架定义的获得与规范	117
6.1.3 扩展的框架表示实例	121
6.2 扩展的框架系统的推理实现	125
6.2.1 框架复合思想	125
6.2.2 框架复合实例分析	125
6.3 框架复合算法	132
第 7 章 总结	136
7.1 发展心理学与智能系统构造	136
7.1.1 知识与认知过程不可分割	136
7.1.2 发展心理学的启示	137
7.1.3 智能系统构造的发展观	139
7.2 从知识表示到表示	141
7.2.1 知识表示与表示是不同的	141
7.2.2 表示反映了对客观真实的认识	144
7.2.3 AI 认识论上的进步	145
7.2.4 一个关于心理语言学的表示实例	146
7.3 不识庐山真面目, 只缘身在此山中	148
7.3.1 人工智能的新问题	148
7.3.2 人工智能研究的难点	150
7.4 人工智能与其他学科的关系	150
参考文献	153

第 1 章 概念系统的重要性

本章主要讲述概念系统是什么, 以及它在实施各种智能行为中的基础性地位.

1.1 概念系统是认知的核心

本节试图通过认知心理学对认知的定义, 以及人工智能对各种高级智能行为的工程模拟把原本分离研究的各类工程模型统一到认知的框架之下, 并使得概念系统在这个框架中的核心地位被突显出来.

1.1.1 对认知的定义

认知心理学对认知给出的一种定义是: 认知是关于知识获取、存储、回忆与使用的所有内在活动. “Cognition are mental activities including the acquisition, storage, retrieval and use of knowledge”. 这一定义把人的各种高级智能行为, 如推理、决策、规划、理解、理想、语言等都包含在内.

1.1.2 高级智能活动

人工智能经过半个世纪的理论与技术储备, 其应用的范围已经大大拓展了. 美国科学促进会在其下属的《科学》杂志上公布了 2007 年度科学研究十大突破, 其中之一是完成了西洋跳棋程序, 使之成为迄今为止被计算机彻底掌握了的游戏, 人类不犯任何错误的最好成绩将是以平局结束. 虽然这一成就令人欢欣鼓舞, 但这一游戏是经典人工智能应用中典型的 “clear-cut” 问题, 其问题的范围与内容、专门化知识及其形式化表征、求解方法与策略等都是非常清晰明确的, 与用计算机求解所需要的形式化、存在算法、可计算这三个前提条件极为吻合. 但随着人工智能的应用日益向深层次、实用化发展, 很多问题已经不再具备 “clear-cut” 属性, 实质上, 这些新应用已经是对已有人工智能技术的挑战. 这些受到普遍关注的应用有如下几个方面:

(1) 在自然语言理解分支, 机器翻译、自动文摘、文档自动分类、人机自然交互是传统难题, 如今又新增加了文本检索、Q/A 等新问题. 尽管已经开发出了不少新的实现技术, 但即便在非常局限的应用范畴和目标下, 如 “找出文章中描述主人公颓废的句子” 或在回答除 what/where/who/which 之外的一些问题时, 以自然语言理解 (NLU) 为核心技术的系统实用化程度依旧不高.

(2) 在问题求解与决策分支, 不同于以状态空间搜索方法为核心的弱方法, 很多问题求解是需要大量知识的, 如专家系统方法。但现在很多新应用对基于知识的方法提出了更高的要求, 如综合考虑客户要求的二手房房源筛选、个性化的城市游览线路优化、突发事件爆发时城市的应急联动响应辅助决策系统 (如 2008 年春节前在长江中下游地区爆发的低温灾害的救援就涉及气象、交通、电力、医疗、民政等多个领域的知识), 这些新应用已经越来越表现出知识密集的特点, 很多实际问题不再满足经典专家系统“三五个电话交流”的适用条件了。这些新应用的核心问题已经不是推理的实现方法, 而是知识本身的数量和致密度, 以及概念关联。例如, 为了找到某个交通疏导方案, 就需要道路网络, 交通规则, 车辆特征与性能, 天气, 车流的时段分布与流向特征, 特定日期的车流分布与流向特征, 道路所处地区的属性, 人口分布特征, 城市不同功能区的空间分布, 旅游景点、商业区等设施的地理位置与范围等大量知识。

(3) 在 WEB 信息处理领域, 针对网上有益信息的抽取和有害信息的防范, 分别发展出信息过滤、舆情监控、信息检索、信息挖掘等新需求, 用户更希望把 WEB 当成一个问题求解器, 而不仅限于资源库。最早基于关键字匹配、同义词与近义词匹配、人工标注等手段的技术已不能适应不断发生的新变化, 如“法轮功”变换了一种表达方式。要实现对涉及某个主题的网上言论的自动舆情监控, 或实现对网上不同时空区域发生的若干事件的关联分析都需要很丰富的先验知识, 一旦这样的舆情监控或信息挖掘涉及公众安全话题, 它所需要的知识门类就是很广泛的, 这给该问题的实现带来很大挑战。

(4) 在场景分析问题上, 计算机视觉、模式识别一直致力于对图像理解的研究, 希望能派生出能够广泛应用于智能家用设备、智能城市安全、智能社区、智能交通与物流、服务机器人、城市自然灾害遥感检测等领域的技术。希望它能够感知家庭环境中孩子靠近潜在危险; 发现学校、商场、交通聚集地的突发事件, 候机楼与火车站等敏感地点的人群聚集, 小区中的不速之客, 交通拥堵与交通事故; 对自助银行内部盗窃事件进行自动识别与报警; 陪护机器人发现老人步姿不正常; 过滤对青少年有害的图片等。体现场景分析的另一个代表性应用是图像检索, 如“搜索一部以第二次世界大战为题材的电影, 是美国一位著名导演在 2003 年拍摄的, 里面有大量登陆场景”, 这很容易让我们联想到“拯救大兵瑞恩”, 但要机器以此叙述为线索进行搜索不是件简单的任务。虽然在图像理解领域已经开展了长期的工作, 但没有取得大的突破, 其原因在于无法确认如何使用高层知识来引导注意和很好地实现体现高层知识的自顶向下加工。这些应用都面临一个核心问题, 就是理解场景和发现既定的目标或目标态势。就像“我们不是用音频分析的手段来实现对贝多芬音乐的欣赏, 也不是用视频分析的手段来实现对凡·高油画的欣赏”(杨雄里院士语) 一样, 这其中蕴涵着深刻的整合过程, 因此, 必然涉及大量的背景知识和感知经验。

以上 4 方面的应用与西洋跳棋问题有显著的区别, 系统求解它们要应对很多变数, 它们把对“理解”的依赖给凸显出来, 为了实现“对上下文的理解”、“对场景的理解”等, 又把隐藏在背后的“知识需求”问题给凸显了出来。因此, 可以发现呈现如此多样性的应用系统都包含一个核心模块, 即知识模块。虽然知识的表示与使用问题几乎是所有经典 knowledge-based system 的核心, 但前述这些新涌现的应用对知识系统的诉求显然超越了诸如为了实现符号积分对知识的诉求。上述 4 方面应用对知识的要求在知识量上是巨大的, 在领域上是多样性的, 在概念内涵的细致程度上是不定的, 不同概念间的关联性是多变的, 使用知识的方式也不局限于形式推理。为了提升人工智能在自然语言理解、问题求解、网上信息处理、场景分析上的性能, 需要构造一个内容丰富、使用灵活的知识系统。由此归结出一个共性科学问题: 人的认知系统使用知识完成多种不同类型的智能任务, 其核心是可外显和可陈述的知识体系, 支撑这个体系的是概念系统, 那么它是怎样构成和发挥功效的呢?

人工智能曾经极为关注知识与概念化问题。在专家系统的建构问题上历来存在着知识获取瓶颈与知识窄台阶两大难题 (Forsythe and Buchanan, 1989)。前者涉及的困难是如何把现实世界中的知识变为专家系统可以利用的知识, 而后者涉及的困难是专家系统仅能在限定的领域内解决有限的问题, 一旦涉及跨领域的情况, 其问题求解能力会变得相当脆弱。造成这些问题的主要原因在于专家系统中的知识都是机械地输入系统, 缺乏底层语义的支持, 它们不是从概念发展的角度来构建概念系统。

从上面的例子可见应用是千变万化的, 但一个智力正常的人对这些任务的适应性却很好, 尤其是对那些看起来不适合计算机完成的任务。也就是说, 人的概念系统是非任务特定性的, 具有很强的通用性, 那么这背后必然有某种有效的机制来支持如此强的泛化能力。这样的机制非常值得我们借鉴, 以开发用于计算机的算法模型。

鉴于上述共性科学问题在多类应用上的普遍意义, 可以借鉴语义学、认知语言学、认知心理学在概念获取与表征上的研究, 在要求知识内容较为宽泛的前提下, 对不局限于特定目标的知识系统的构建机制进行初步探索, 重点是开发出一种能够容纳比较丰富的概念内涵和能够灵活使用知识进行自激励式问题求解的计算模型, 即能够围绕概念系统表征结构及发生在其内部的关联传播问题、整个概念结构的渐进式发育过程的问题进行算法层面的设计。

1.1.3 概念系统处于认知技能整合的中心位置

计算机已经越来越普及、计算机网络也连进千家万户, Semantic Web 正在兴起, 因此, 面对计算机的也许是更为寻常的百姓, 但他们需要计算机帮助解决的问

题对计算机科学与技术而言却可能日益不寻常,从应用层面看很平凡,但其蕴涵的科学问题却很深刻。以下类型可能是频繁出现的提问:① 我要给远方来的朋友接风,请告诉我距我家半小时步行距离的特色餐厅;② 我要买房子作投资用,从长远来看,这几个社区的房子哪个更具升值潜力;③ 这是一所中学,校园网络服务器面临的典型任务是确认“这个浏览页面的内容对青少年是否合适”。计算机系统解决这些问题至少有两个关键环节,一是自然语言理解建立语句的深层结构或图像理解建立情景的关系表示,二是根据初始条件与目标进行问题求解,这两个步骤无一不需要使用知识,然而它们与传统专家系统不同的是:① 知识领域的多样性;② 问题求解手段的多样性;③ 求解问题类型的多样性;④ 预设条件与环境的多样性。简单来说,传统专家系统做的是普通百姓做不了、也很少需要去做的事情,而我希望新的基于知识的智能系统是能在尽可能宽的范围内服务于日常生活,要实现这个普及化的目标,其实隐藏着许多需要深入研究的理论问题。也就是说,“应该买何处的房子”其实是比“判断易溶盐含量低、富含 Al_2O_3 与 SiO_2 的样本所属的风化壳类型”更复杂的问题。

专家系统、咨询系统、辅助决策系统、规划等都是典型基于知识的人工智能应用系统,其他必然蕴涵知识使用过程的认知技能还包括在自然语言理解(如分词、语义分析、基于上下文的筛查等)、模式识别(如自顶向下的知觉分析、基于情景的推断、场景的关系表示、情景理解等)、数据挖掘(如数据关系先验模型的假设)、智能检索(如检索条件的相似性、候选对象的匹配程度判定等)等领域,可以说,只要用到推理的地方就会有知识的获取、表示与使用问题。通常对认知的定义(Margaret, 1992)是:认识是包括知识获取、存储、回忆与使用的所有内在活动(Cognition are all mental activities including the acquisition, storage, retrieval and use of knowledge.),可见知识是人认知行为的核心。到目前为止,知识工程所给出的开发专家系统的方法在工程方法、标准规范和工艺流程方面还很不完善,在知识获取的充分性、知识表示的可用性与使用知识点的恰当性方面问题突出。举例来说,让智能化检索系统完成这样一个任务:“我们要召开一次知识科学的学术报告会,请提供作主旨报告的候选人”:① 如果检索系统的知识库不包括“过世的人不能作报告”这样一条约束,那么其已获取的知识对这个问题求解是不充分的;② “人活着才能做事情”是常识性知识,这样一条知识被表示后是否可用取决于它能否以及怎样与“作主旨报告”发生关联;③ 另外就“主旨”一词,如果知识库将其定义为“定调性的、纲领性的”,那么仅这条知识本身尚不足以可用,一定要有一条知识使其与“德高望重”、“贡献突出”等可比较的概念发生联系,才能有助于形成最后可操作的数据库检索条件;④ 与复合名词“知识科学”中的概念“知识”相关的知识点有很多,如“力量”、“财富”、“生产力”、“经验”等,在此检索系统使用“经验证的、可陈述的认识”才是恰当的切入点。正常智力水平的人可以轻松地完成上述类

似的任务,然而对计算机却不是那么显然的,因此,以上例子在另一方面说明了操作性地实现一项智能任务隐含一些知识点与一些推理过程,尽管这个过程的发生对人而言是不经意的,但对计算机算法来说是不能或缺的。

要使人工智能系统尽可能地完成复杂的智能性工作,必须使其具备完备的知识系统和基于知识的推理技能,这恰是人工智能最核心的问题之一:智能系统设计者认为的概念化、智能系统保有的概念系统、概念系统被形式化的方法,这三者是不同的,其不同之处在于一个深刻的哲学问题:怎样才叫掌握了概念。目前,所有基于知识的智能系统存在的“如何缩小形式语义系统与自然语义系统在推理实现上的行为差距”问题,换句话说,就是“两种语义系统在静态表示与动态行为方面的同态”问题,这是全局性的问题,具体细化起来包括:知识表示的形式化方法、公理化的形式语义系统、知识系统的结构与形态、知识系统的一致性与充分性、基于知识的各种(演绎、归纳、类比、基于实例、非单调、非精确等)推理方法、知识系统通过学习的建立过程、各种符号学习算法、知识条目的概念从属关系、知识获取过程、跨领域推理的跳转与衔接、知识结构化过程中的锚点问题、复杂语义的结构表述方法、知识科学与认识论和心理学的密切联系、知识表示和存储与记忆研究、陈述性知识与计算语言学方法等。就现状来看,其中还没有哪一个问题的研究堪称是较完备的,只有极少几个问题的研究是较为系统性的,因此,无论从理论需要还是从应用需求来看,进行上述研究都是非常必要的。本书在充分考虑这些问题的因果相关性、理论基础的全局相容性前提下,仅针对其中的一小部分,即“知识系统的表示结构与系统性建构方法”进行研究。

人能够完成复杂的智能任务一方面是因为具备使用知识的高度技巧,另一方面也是因为人有一个足够丰富的知识系统,即其中的知识项不是简单罗列或堆砌,不是孤立的,而是借助语义依赖特征、学习渐进特征与应用痕迹,建立在直接的知觉经验基础上的,由常识、共性的基础知识、各异性的领域知识融会贯通而成的一个整体,它在表示形态、结构发育方式、推理实现机制三方面必须是经过通盘考虑、协调一致的。对不同复杂层次的问题进行解答的图灵测试是衡量智能计算机知识系统性能的标准。

那么知识系统问题对人工智能系统而言为什么是一个重要而突出的问题呢?这是因为具备某种特殊技能的人类专家的知识系统不是一步获得的,在长时间的完善进程中始终有以复杂神经系统为基础的感知、学习、记忆、言语、思维等脑功能相助。而对于以图灵机方式工作的计算机而言,只能按部就班地机械工作,要获得与该人类专家近似的技能需要足够的知识量,以及使用他们的方法。然而,所需要的符号化知识描述不是如向数据表中添加记录项那样简单的事情,知识工程师需要尽可能地获取知识条目,同时建立起它们之间的语义映射联系,知识获取难免挂一漏万、知识条目的表示目的性强和灵活性差是这个阶段实践的真实写照,与几乎尽善

尽美的人自身知识系统相比差距太大 (人总能应对与预设问题有出入的新问题, 其基础就是有相对充分的知识系统). 所以本书所探讨的科学问题是: 知识系统的建立、形成与功能过程问题, 即“怎样一个表征知识系统的物理结构是逻辑上一致、心理上合理、生理上可行的计算结构, 并且其建立、发展与运行过程是便于算法化的”, 目的是为推理提供一个较为扎实的形式语义基础.

1.2 人工智能中概念系统作用的体现

1.2.1 概念系统在场景理解中的作用

图 1.1(a)~(c) 分别显示了几个幼儿园孩子进行问题求解的例子, 它们分别是要孩子根据图片的内容找出配对的上衣与裤子, 或找出一样大小的球, 或找出最长的铅笔等. 要完成这些任务, 孩子需要具备关于衣服、玩具、文具等领域的基本概念与知识. 如果就以图片的形式将其中一个问题呈现给某一个人工智能系统, 并要求它解答, 那么由于涉及图像理解、基于知识的推理等环节, 要实现这一人工智能系统还是相当有难度的. 即便是孤立地设计一个仅仅针对单个图片的智能系统是可以做到的, 那么当要求扩大到适应所有三张图片时这一智能系统的设计还能轻易实现吗? 要知道, 这三个例子仅仅是孩子能够轻易完成的智能任务中极小的一部分, 孩子在问题求解方面所表现出来的多任务适应性, 恰是对机器智能的极大挑战. 以图 1.1(b), (c) 为例, 它们都涉及测量长度, 那么人工智能系统怎样知道在 (b) 中计算直径时应该测量哪两个像素间的距离, 以及在 (c) 中计算长度时又应该测量哪两个像素间的距离呢? 当这些规则都定义好之后, 若又碰到要测算一头长颈鹿的脖子是否足够长, 以便判断它是否能够把落地的小鸟送回它在树上的巢时, 这一测量长度的规则又该如何充实呢?

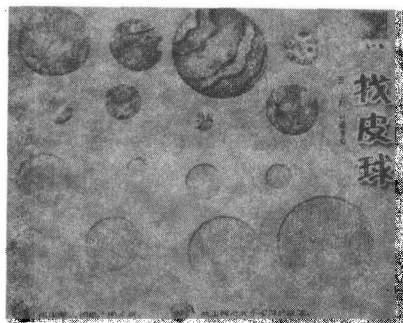
这几个问题求解的例子看似非常简单, 皆是学龄前孩子玩的, 表面上看其难度不能与求解一个不定积分相提并论, 但却反映出一个专用系统与通用系统在知识量和知识应用的灵活性上的巨大差别. 设计一个求解不定积分的智能程序现在仅是一个工程问题, 而开发一个能够求解图 1.1 中所有问题的程序在知识与概念化方面却是一个悬而未决的理论问题. 总而言之, 求解这几个看似简单的问题对知识系统理论研究的启示很深刻, 虽然这几个 5 岁孩子就能够快速解答的问题易如反掌, 不属于人工智能要考虑的应用范畴, 但它们确实体现了人认知系统的特质.

由此引出几个问题: 第一, 在认同知识对智能系统的重要性的前提下, 为什么还要强调概念依赖性和发展过程? 我们能用诸如经典的“低阶结构不连续假设”来绕过这个复杂的问题吗? 第二, 若不可回避, 那么应该怎样来构建概念系统, 并使之有良好的多任务适应性呢? 第三, 为了能应用于机器智能系统, 概念系统的发展

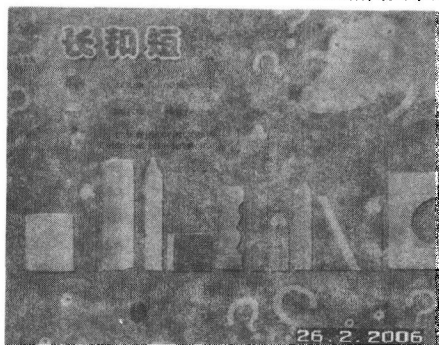
与构建能被形式化吗?



(a) 问题求解内容是将上衣和裤子配对



(b) 问题求解内容是找出最大、最小的皮球, 找出相同大小的皮球, 并将球与孔配对



(c) 问题求解内容是选出最长的铅笔和
最长的积木

图 1.1 学龄前儿童在不同领域进行问题求解的例子

1.2.2 概念系统在言语推理中的作用

在言语获取、理解和生成这三个过程中广泛存在推理问题, 它们有不同的类型和表现形式, 而且推理的实现是基于语义的, 这些推理的完成对于言语行为能否得以顺利执行是至关重要的。推理得以完成依赖于语义系统的完善与承载结构的建立, 发现它们对于引导我们去实现一种基于认知语言学观点的、在逻辑上一致、在心理上合理的言语计算结构整体模型, 进而以不割裂语言发展过程和考虑言语行为制约条件的观点, 从动态语义网上激励传递主动构建的角度为统筹考虑计算语言学中诸如语义表达、分词过程、语法规则习得、语境的整合与指导作用发挥、学习机制等典型问题, 寻找新的思路, 具有重要的意义。

1. 问题的由来

本书中所说的语言, 更多的是指个体的、作为个人认知活动一部分的、言语层

面的现象。

基于物理符号系统假设、假设低阶结构不连续的传统人工智能方法对自然语言理解问题处理不力是因为语言的符号性仅是它的一个方面,可以说就像是冰山一角,其实它大部分的复杂性还隐藏在水面之下。用形式化的方法对语言进行描述,其可能实现的完善性程度是有限的,许多语言学问题的出现和解决有更深层的、涉及整个言语机制的内在特征。

在言语的获取、理解和产生过程中存在许多推理问题,包括归纳、类比和演绎类型,对于这些推理的执行过程和发生条件进行深入的探究,我们会发现语义是基础。对发生在这些过程中语义推理问题的探讨是为了发现一些新思路与新观点,所有这些问题的讨论已经超越了经典语言学、计算语言学的范畴,而是在心理语言学、认知语言学(袁毓林, 1994; Brown and Hagoort, 1999; Carol, 1994)的范畴内展开,是对言语的计算结构研究的一部分,是为基于自然语言的人工智能系统提供新范型的一种尝试。我们会发现,对于自然言语理解的各种应用形式,包括问答、自动文摘生成、机器翻译、基于语义相关性的检索等都与语义推理密切相关。

2. 言语三过程中的推理问题

言语获得过程是指婴幼儿通过学习掌握本民族语言的过程,它是一个受脑组织发育和后天语言环境双重制约的过程。学习语言的过程非常复杂,只能勾画出一个粗线条:前言语活动的发音阶段、单字句阶段、双字句阶段、精确化阶段这4个发展步骤。在它们之前,还有一个至关重要的语义发展阶段(Collins and Kuczaj II, 1991),这也就是概念内涵的获取过程,这个过程在言语精确化阶段以后仍然会继续,很显然,在掌握语法之后的主要任务就是不断地丰富语义。语义发展和语法规律的掌握是基于发现学习的结果,而且也只能是通过自主发现学习的结果,因为在这个年龄段,孩子还无法进行相对高效率的、基于言语接受的学习。在这个自主发现学习过程会发生的推理类型是多样性的。

关于概念获得中的推理,我们来看一个孩子学习颜色的过程。假设他看见许多白色的东西,如白色的球、白色的积木、白色的衣服、白色的地毯、白色的墙壁、白色的牛奶、白色的糖等。要从这么多具有白色属性的物体中获得概念“白色”的内涵,这个发现它们具有的共性的过程是一个归纳推理的过程:它们形状不同,质地不同,有的可以吃,有的可以玩,有的坚硬,有的柔软,唯一相同的是它们的反射光刺激;同时孩子也见过许多其他颜色的球、积木、衣服、地毯等,受到另外几种的光波长刺激,但所引起的感觉有所不同;将所有这些信息表达在心理世界中,孩子会发现“先前的那种光刺激所产生的感觉是独立于物体的,这种感觉不同于其他光刺激所产生的感觉,这种独特的感觉在知觉上可以被分类和再现”,这个分类和再现

的清晰的神经反应过程可以稳定下来, 对应到心理事件上就是孩子获得了抽象概念“白色”的内涵。同样的归纳推理过程还发生在对形状的认识、为小动物命名、对数量概念的学习等许多其他认知任务上。也许在一些情况下学习是有监督的, 如孩子父母对正例的肯定或对反例的否定, 但把这种监督与正在发生的学习过程联系起来、与正在进行的操作联系起来的意识, 或者说, 建立事物间因果联系的能力本身还是自主发现学习的结果。例如, 母亲让他指出哪一块积木是白色的, 他却拿出一块红色的, 母亲摇头说不对或还同时指着白色的墙壁, 这时孩子要将母亲的否定与所指和积木的颜色联系起来, 而不是与积木的形状或他此刻是站着还是坐着等其他可能同时呈现或发生的事件联系起来, 只有这样学习才能有效地推进。

语法获得中的推理语法结构中最基本和最重要的是“主 + 谓 + 宾”结构。语言具有可产生性 (productive), 也就是说, 从有限的例句以及伴随发生的“行动者 + 行动 + 被作用者”模式中提取出的语法结构, 可以作为生产式规则套用在新的环境中。提取句法模式的过程是归纳推理, 而在新句子上的实践是类比推理或基于实例的推理。又如, 孩子学习主动语态和被动语态、被字句与把字句、不同的陈述变换, 却是针对同样一件事情, 孩子据此发现句型变化的规则, 并类推。再如, 孩子学习疑问句、感叹句等句型结构, 人称、时态和格的变化, 助动词、介词、副词、连词的使用等, 都必须从例句中将具体描绘单个事件的语义情景与语法共性分别发现, 并分离出来, 舍弃变化万千的前者, 而只对具有共性的后者进行分析, 再类推分析得到的规则。所有这些归纳与类推推理的结果。

一些重要规则的获取还有一些像恒常性、因果律这样重要的认知元规则在语义获取时发挥重要作用, 这些元规则的获得是借助于推理的发现学习的结果。它们虽然不直接属于言语的范畴, 但作用是潜在的。

实现言语理解是一个“分词与词义触接—语义整合”双过程彼此迭代、循环往复、螺旋式上升的过程, 这个过程与产生知觉的双向加工过程有着本质的内在联系。一个分词方案决定了对整句话的理解, 相反, 不同的理解也会产生另一个分词方案, 这是一个与“鸡生蛋, 还是蛋生鸡”相类似的问题, 很难说哪个过程在先, 哪个过程更重要, 直觉上知道它们是完全搅在一起的。对此, 只需看一下标点符号广泛使用之前的中国文言文, 对它们的分词与理解步骤几乎没有分界。

分词过程中的推理主要发生在对有歧义的句子进行理解时。例如, “李明天来”, “明天”既可以是时间状语, 也存在一个人姓李、名“明天”的可能。但概率告诉我们前者的可能性更大, 这就是基于不确定性或基于概率的推理。

通常, 句子发生分词困难的情况很少, 但也存在像“海水朝朝朝朝朝朝朝落, 浮云长长长长长长消”这样的句子。这是一个非常典型的语义理解与分词相互制约的例子。对其进行分词与理解的依据是: 中国诗词或对联在句型与结构、语境上的对仗规则, 以及在各种不同分词方案所造成的不同语义情景之间进行比较, 对它们

的可接受性分别进行度量, 选择最大的, 其度量的标准具有模糊性、主观性与语境依赖性. 这就是分词中的类比和演绎推理, 以及最大似然推理.

语义整合过程中的推理是言语理解中发生的主要推理类型, 而且大量发生. 理解需要大量的预备知识, 是在知识结构上发生的一个主动的构造操作, 是用已有的语义片段来构建一个新的深层结构, 并对它的合理性进行推断. 例如, Nixon 多继承问题可以得到两个结论: “因为 Nixon 是夸克党分子, 所以 Nixon 是鹰派人物” 和 “因为 Nixon 是共和党人, 所以 Nixon 是和平主义者.” 通常人们会有点诧异, 会说 “这是两个互相矛盾的结论”, 产生这一疑问的原因是理解这句话时进行了一串推理. 事先有一些知识: 鹰是一种猛禽, 猛禽是侵略性和攻击性的, 侵略和攻击导致战争, 战争与和平是对立的, 鹰派人物的喻义是有意挑起战争的人; 美国有一位总统叫 Nixon. 这些知识是定义鹰派人物与和平主义者时所依赖的, 当然光有这些知识还不够, 还需要进行一系列的语义继承与识别的推理, 直到将它们分别落实到两个不需要再定义的矛盾命题上, 否则, 上述两个结论就和 “Nixon 是美国总统” 与 “Nixon 是美国公民” 一样是同时可接受的. 其实还应该有一个隐含的推断: 这里的 Nixon 应该就是指 Nixon 总统, 而不太可能是另外无关的 Nixon.

有这样一则趣事: 某人在实验室中大声问 “是谁踩着我的网线了, 弄得我的网络速度这么慢”. 听完此话大家哈哈大笑. 笑是因为大家理解并发现了其中隐含的、不恰当的等同关系: 踩着电缆和踩着橡皮水管的效果是不同的. 至于发现这些不同与探究如何不同, 则是推理的结果.

听到句子 “雄狮在林间敏捷地捕食”, 人们立刻会有不解的疑问, 因为狮子生活在草原上, 而且通常是母狮捕食、雄狮通常是懒散和体态臃肿的, 所以推理结论和听到的句子语义不符.

再看一个反例. “二氧化碳的大量排放会加速地球的温室效应”, 如果没有环境科学方面的知识是不能理解这句话意思的, 即推理无法进行, 以至于不能与已有的知识结构发生关联. 像这样的推理, 演绎占了重要的比重.

言语生成中的推理主要发生在问答模式下的答案语义生成上, 语义经语法规则再生成句子的过程已经高度自动化了. 我们更关注前面那一个过程, 那是人们用语言进行交流的实质性内容.

例 1 甲说 “今天的天气真好”, 乙接着说 “是啊, 要是能不上班就好了”. 甲、乙二人对这样的谈话都不会感到有什么不妥, 因为他们理解在这两句话之间能建立起一个合理的语义联系, 虽然联系不是直接的、明晰的, 但是这些联系是由心智系统的推理建立的. 单对乙而言, 他不说 “是啊, 我的计算机还没修呢” 或别的什么话, 而选择上面那句, 是因为他的心智系统认为上面那句话是对甲的话的合理语义继承, 否则, 甲会认为乙说话缺乏逻辑相关性. 这种相关性让我们能隐约看到人就某一主题进行的言语生成是在一棵语义树上沿着深度或广度方向进行一次搜索,