



## 第 1 章

# 人工智能概述

随着互联网技术的高速发展,大数据已成为了影响生产力的重要因素和行业资源,大数据时代的到来使得人工智能技术变得越来越智能化。2012年,在 ImageNet 竞赛上,深度学习模型 AlexNet 在图像识别分类上取得突破发展,远超传统计算机视觉算法,成为深度学习时代到来的重要里程碑。2015年,ResNet 模型的识别能力就已经超过了一般的人眼识别。2016年,谷歌围棋人工智能 AlphaGo 战胜韩国著名棋手李世石,人工智能及其背后的深度学习轰动全球,使人们见识到了人工智能的强大。

经过几十年的沉淀和发展,特别是近年来得益于数据、算力以及算法的重要突破,人工智能技术在学术界和工业界取得了广泛成功,并掀起新一轮的人工智能热潮。国内外越来越多的专家学者致力于将人工智能和深度学习模型引入各行各业中。从安防中的人脸识别到出行中的无人车,从国际会议中的实时翻译到智能家居中的语音识别,无不有人工智能技术的身影。人工智能也因此成为新时代产业数字化和科技革命的核心竞争力,成为全球经济环境变化中的新动力。

以机器学习和知识图谱为代表的人工智能技术火热兴起,使得从海量非结构化数据中提取、获得医学知识成为可能,医疗系统的数字化与信息化是国内外医学发展的必然趋势。我们欣喜地看到,随着移动互联网、大数据、云计算等多领域技术与医疗领域跨界融合,新兴技术与新服务模式快速渗透到医疗各个环节,并使人们的就医方式产生重大变化,也为智能医疗行业带来了新的发展机遇。

## 1.1 人工智能的起源和发展历史

简单地讲,人工智能(artificial intelligence, AI)是一门研究、开发用于模拟和扩展人的智能的理论、方法、技术及应用系统的学科。但是,如何定义“智能”呢?1950年,阿兰·图灵(Alan Turing)发表了一篇具有重要影响力的论文《计算机与智力》(Computing Machinery and Intelligence),提出了著名的图灵测试:“在测试人与被测试者(机器)不接触的情况下,经过多次问答后,测试人无法根据这些问题判断对方是人还是计算机,那么就可以认为这台机器是具有智能的”。图灵测试引导了人工



智能的多个研究方向。为了使计算机智能化，能够通过图灵测试，需要探寻如何用机器来模拟、延伸和扩展人类的智能，让机器会听、会看、会说、会思考、会行动、会决策，就像人类一样。因此，计算机必须具备理解语言、学习、记忆、推理、决策等能力。

一般认为，人工智能的概念诞生于 1956 年的达特茅斯（Dartmouth）会议，在这次会议上，多位著名的科学家从不同学科的角度探讨用机器模拟人类智能等问题，并首次提出了人工智能这个术语，也确定了人工智能的研究使命：“人工智能就是要让机器的行为看起来就像是人所表现出的智能行为一样”。

### 1.1.1 人工智能的发展历史

人工智能的概念诞生于 20 世纪 50 年代，从最初的神经网络和模糊逻辑，到现在的深度学习，人工智能技术经历了一次又一次的繁荣与低谷。其发展历程大致分为三个阶段。

第一阶段（20 世纪 50—70 年代）。人工智能的早期发展阶段，基于抽象数学推理的可编程数字计算机已经出现，符号主义（symbolism）快速发展。研究者对人工智能的热情高涨，开发了一系列的智能系统。该阶段人工智能主要用于解决一些小型的数学和逻辑问题，代表性应用有机器定理证明、机器翻译、专家系统、模式识别等。但随着研究的深入，研究者意识到这些推理规则过于简单，建立的模型存在一定的局限性。人工智能的研究开始陷入低谷。

第二阶段（20 世纪 70—90 年代）。研究者意识到知识对于人工智能系统的重要性。这一时期，出现了各种各样的专家系统（expert system）：1972 年，用于传染性血液诊断和处方的知识工程系统 MYCIN 研发成功，该事件标志着人工智能进入“专家系统”时期。在这一阶段，专家系统得到快速发展，数学模型有重大突破，但由于专家系统在知识获取、推理能力等方面的不足，以及开发成本高等原因，人工智能的发展又一次进入低谷期。专家系统的发展并不顺利，使得人们开始思考，如何让计算机自发理解和归纳数据，掌握数据间的规律，即“机器学习”。

第三阶段（20 世纪 90 年代末至 2006 年）。20 世纪 90 年代末，IBM“深蓝”计算机击败国际象棋大师卡斯帕罗夫再次引发了全球对人工智能技术的关注。但是受限于当时的技术条件，人工智能尚无法支撑大规模的商业化应用。2000—2006 年，是信息爆炸式增长的时期，研究者开始将研究重点转向让计算机从数据中自己学习，即机器学习（machine learning, ML）。万维网的出现使得我们的知识从封闭走向开放，原来专家系统是系统内部定义的知识，现在可以实现知识源之间相互连接，可以通过关联来产生更多更丰富的知识。

第四阶段（2006 年至今）。2006 年，杰弗里·辛顿（Geoffrey Hinton）提出了深度学习算法，使神经网络的能力大大提高。随着深度神经网络在语音识别和图像分类等任务上的巨大成功，以神经网络为基础的深度学习迅速崛起，人工智能技术也因此迎来第三次高潮。

现在，卷积神经网络（CNN）已广泛应用于医疗健康行业，特别是医疗影像辅助诊断，用以实现病变检测和特定疾病的早期筛查。随着大数据的积累、理论算法的革新、计算能力的提升，人工智能在较多应用领域取得了突破性进展，迎来了又一个繁荣时期。

### 1.1.2 人工智能的主要技术流派

让机器实现人的智能，一直是人工智能学者不断追求的目标。在人工智能的整个发展过程中，不同学科背景的研究人员对人工智能有不同的理解，因此也产生了不同的学派。例如，传统的人工智能被称为符号主义学派，符号主义主要研究基于逻辑推理的智能模拟方法；而一些学者则认为可通过模拟大脑的神经网络结构来实现，即连接主义学派；此外还有学者认为可以从生物体与环境互动的模式中寻找答案，被称为行为主义学派。

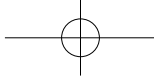
主流的方法大体上可以归结为：符号主义、连接主义和行为主义。

（1）符号主义。符号主义又称为逻辑主义，是一种基于逻辑推理的智能模拟方法，在人工智能早期一直占据主导地位。该学派认为人工智能源于数学逻辑，其实质是模拟人的抽象逻辑思维，并通过某种符号来描述人类的认知过程，从而实现人工智能。符号主义主要集中在人类智能的高级行为，如推理、规划、知识表示等。

（2）连接主义。连接主义又称为仿生学派，是一种基于神经网络和网络间的连接机制与学习算法的智能模拟方法。与符号主义学派强调对人类逻辑推理的模拟不同，连接主义学派强调对人类大脑的直接模拟。连接主义认为人类的认知过程是由大量简单神经元构成的神经网络中的信息处理过程，神经网络、神经网络间的连接机制和学习算法能够产生智能。

（3）行为主义。行为主义又称为进化主义，主要从生物进化的角度考虑，它是一种基于“感知—行动”的行为智能模拟方法。生物智能是自然进化的产物，通过与环境及其他生物之间的相互作用产生复杂的行为，从而发展出越来越强的智能。因此，行为主义认为智能取决于感知和行为，主张从外界环境的互动中获取智能，智能是在与环境交互作用中表现出来的。

简单地说，符号主义靠人工赋予机器智能，连接主义是靠机器自行习得的智能，而行为主义在与环境的作用和反馈中获得智能。在人工智能的发展过程中，符号主义、



连接主义和行为主义等流派不仅先后在各自领域取得了成果，也逐渐走向了相互借鉴和融合发展的道路。符号主义方法的一个优点是可解释性，而这也正是连接主义方法的弊端，随着深度学习的发展，越来越多的研究者开始关注如何融合符号主义和连接主义，建立一种高效并且具有可解释性的方法。特别是在行为主义思想中引入连接主义的技术，便产生了深度强化学习技术。

## 1.2 人工智能领域关键技术

人工智能是计算机科学的一个分支，当下以深度学习为代表的人工智能技术已经在模式识别、计算机视觉、语音识别与生成、自然语言处理、机器翻译等方面取得了重要的进步。下面，我们简单介绍一下人工智能领域的关键技术。

### 1.2.1 机器学习

机器学习（machine learning）是一门涉及诸多领域的交叉学科，研究计算机如何模拟人类思维或实现人类的学习行为以获取新的知识或技能，并通过累积经验不断地自我完善。具体来讲，机器学习主要通过输入的数据进行自动学习建立模型，使机器具备一定的学习、分析、分类、识别等能力。机器学习是人工智能的一个分支，并逐渐成为推动人工智能发展的关键因素。根据模型学习方式的不同，可分为有监督学习、无监督学习、半监督学习和强化学习等。

在医疗领域，机器学习可以从大量医疗数据集的数据中学习，为医疗健康人工智能的辅助诊断和辅助治疗提供支持。机器学习是进行疾病诊断预测、预后评估、健康管理、精准医疗、图像诊断等智能化应用的关键基础技术。

### 1.2.2 深度学习

深度学习（deep learning）是近年来发展十分迅速的研究领域，在人工智能的很多子领域都取得了巨大的成功。深度学习的概念由 Hinton 等人于 2006 年提出，深度学习以神经网络为主要模型，通过组合低层特征形成更加抽象的高层表示属性类别或特征，以发现数据的分布式特征表示。深度学习是机器学习的一个分支，本质上仍然是通过算法总结出一般性的规律，并可以应用到新的未知数据上。目前，深度学习已经在计算机视觉、语音识别、自然语言理解等领域取得了突破性的进展。

海量的数据和高效的算力支撑是深度学习算法实现的基础。大数据时代的到来，图形处理器（graphics processing unit，GPU）等各种更加强大的计算设备的发展，使得深度学习可以充分利用海量数据，自动地学习到抽象的知识表达。基于其强大的能



## 第 1 章 人工智能概述

力,深度学习越来越多地被用来解决一些通用人工智能问题,比如推理、决策等。目前,深度学习技术在学术界和工业界取得了广泛的成功,受到高度重视,并掀起新一轮的人工智能热潮。

### 1.2.3 知识图谱

知识图谱(knowledge graph, KG)作为一种知识表示方式,是描述真实世界中客观存在的实体、概念以及它们之间关联关系的语义网络。其基本组成单位为“实体—关系—实体”的三元组,实体间通过关系相互连接,构成网状的知识结构。知识图谱概念是强调事物之间的关系以及如何去表现这种关系,提供了从“关系”的角度去分析问题的能力。

知识图谱为计算机提供了一种更好地组织、管理和理解海量信息的能力,在很多领域都发挥了重要的作用,包括自然语言理解领域、金融领域、互联网领域和医疗领域等。在自然语言理解领域,人们可以利用知识图谱更好地理解语义信息。在医疗领域,知识图谱可以提供可视化的知识表示,为医生和患者提供简单的医疗药物分析、疾病诊断问答和医疗知识咨询等。在智能推荐领域,知识图谱中的知识被作为一种辅助信息,将其集成到推荐系统后,便可提供更加准确的推荐内容。大规模知识图谱已经被广泛应用于信息检索、自动问答、决策分析等重要领域,是推动数据价值挖掘和支撑智能信息服务的重要基础技术。

### 1.2.4 自然语言处理

自然语言处理(natural language processing, NLP)是研究计算机处理人类语言的理论和方法。AI研究的一个主要目标就是使机器能够胜任一些通常需要人类智能才能完成的工作,而使用和理解人类语言的能力是人类智能的一个基本特征。因此,自然语言处理可以理解为以计算机为工具对人类特有的书面形式和口头形式的自然语言的信息进行各种类型处理和加工的技术。

作为人工智能领域中的一个重要方向,自然语言处理的应用领域较多,主要包括机器翻译、机器阅读理解、问答系统、文本挖掘、信息抽取等方向。机器翻译技术是指利用计算机技术实现从一种自然语言到另外一种自然语言的翻译过程。机器阅读理解技术是指利用计算机技术实现对文本篇章的理解,并且回答与篇章相关问题的过程。问答系统技术是指让计算机像人类一样用自然语言与人交流的技术,人们可以向问答系统提交用自然语言表达的问题,系统会返回关联性较高的答案。作为NLP领域最重要的任务之一,智能问答系统为人们提供了一种更加方便、快速、准确的信息检索方式。文本挖掘是指从大量文本数据中抽取事先未知的、可理解的、最终可用的





知识的过程，而信息抽取则是从自然语言文本中，抽取特定的事件或事实信息，帮助我们自动分类、提取和重构海量内容。

### 1.2.5 计算机视觉

计算机视觉（computer vision，CV）是使用计算机模仿人类视觉系统的科学，使计算机拥有类似人类提取、处理、理解和分析图像及图像序列的能力，自动分析、处理各种视觉信息。在人工智能的发展中，计算机视觉领域作为其中一个重要分支在智能监控、人脸识别、视频识别等领域都有广泛的应用。

计算机视觉始于 20 世纪 60 年代末，是一门涉及人工智能、神经生物学、心理物理学、计算机科学、图像处理、模式识别等诸多领域的交叉学科。最初，计算机视觉旨在模拟人类视觉系统作为机器人智能行为的基础。随着信息化时代的推进，越来越多的图像和视频作为信息传递的载体，庞大的数据量也极大地促进了计算机视觉领域的发展。一般来讲，计算机视觉主要分为图像分类、目标检测、目标跟踪和图像分割四大基本任务。

计算机视觉近年来发展迅速，从医疗保健、零售、银行、体育、教育到媒体娱乐以及游戏，计算机视觉几乎涵盖了人们日常生活中的所有领域，人们的生活方式和消费习惯发生了巨大的改变。

## 1.3 人工智能在医疗领域的应用

早期的医疗人工智能探索出现在 20 世纪 70 年代。1972 年，由利兹大学研发的临床决策支持系统 AAPHelp 可以根据患者的病症来计算疾病的原因，主要解决腹部剧痛的辅助诊断及手术问诊需求。1974 年，该系统诊断精度已经超过了资深医生。在随后的整个 70 年代，又产生了不少新的成果，包括由斯坦福大学研发的用于诊断和治疗细菌感染性疾病的医疗专家系统 MYCIN，该系统内部共有 500 条规则，只要按顺序依次回答其提问，系统就能自动判断出患者所感染细菌的类别，为其开出相应处方。当时专科医生的处方准确率是 80%，而 MYCIN 系统的处方准确率是 69%。

近年基于大数据和深度学习的迅猛发展，医疗人工智能取得了长足的发展和惊人的成绩。网络技术和物联网技术来实现患者与医务人员、医疗机构、医疗设备之间的互动，从而实现医疗系统的逐步信息化。深度学习、自然语言理解等技术在多个医疗业务场景中发挥了重要的作用，为面向医疗的人工智能辅助系统向业务场景丰富化、智能化方向发展提供了有力支撑。

依托信息技术开展数字化医疗服务，是提高基层医疗服务水平、解决基层群众看

病难的有效途径。此外,医疗大数据具有巨大的潜在应用价值,尤其是在临床辅助诊断和健康管理等方面,通过使用人工智能技术对已有的医疗大数据进行分析,可以挖掘出与医疗质量和药物效果密切相关的重要信息,这对医疗服务质量的改善、疾病治疗方案的改进及对整个医学研究的发展都具有十分重要的指导意义。总之,人工智能在医疗领域的应用非常广泛,从应用方向来看主要包括医学影像识别、智能辅助诊断、药物研发、智能健康管理和疾病预测,以及医疗机器人等。

### 1.3.1 医学影像识别

医疗影像数据( medical imaging data )是医疗数据的重要组成部分,包括CT、X线、B超等,是现代医疗诊断最重要的依据之一。医学影像的解读需要长时间专业经验的积累,而人工智能在对图像的检测效率和精度两个方面,都可以做得比专业医生更高,还可以减少人为操作的误判率。

基于深度学习在图像辨识的成效显著,医学影像数据具有可获得、易标注、质量较好、数据标准化程度较高等特点,使得人工智能在医学影像应用中最成熟,例如影像分类、靶点检测、图像分割、影像检索。医疗影像经计算机视觉分析处理后,能够帮助医生更快获取影像信息,进行定量分析,实现机器对医学影像的分析判断。

借助以计算机视觉、机器学习、深度学习等为代表的新一代人工智能技术, AI 医学影像产品已经能够实现对病理、超声、CT 和 MRI 等各类医学检查进行自主学习训练,为医生诊断病情提供科学的参考依据,提高诊断的准确性,有效地辅助医生实现重大疾病的早期筛查等任务。例如,在冠状动脉 CTA 后处理及诊断应用中,采取对图像分割技术、三维重建、血管中心线提取、斑块和狭窄识别判别等技术,为医生提供更精细化的图像处理,辅助医生提高效率。

### 1.3.2 智能辅助诊疗

辅助诊疗的概念广泛,通常来说是将人工智能应用到医学诊疗中,帮助医生进行疾病诊断和提出治疗方案,包括电子病历、导诊、虚拟助力等。专家系统是人工智能领域较为成熟的技术,也是应用于医疗领域的核心技术之一。医疗专家系统通过结合医学知识和权威专家的诊疗经验,来分析特定医疗领域的复杂问题,成为可以替代医学专家解决疑难杂症的诊疗系统,在智能问诊、导诊方向中的应用也较为广泛。随着深度学习和计算机视觉技术与专家系统的结合,医疗专家系统也在经历不断地升级与完善,成为当代医学实践中的重要辅助工具。

智能辅助诊疗技术通过深度模型在临床中提供诊断或辅助的病情分析,可以帮助医生提高诊疗效率,降低误诊风险。具有代表性的当属 IBM 公司的 Watson 系统。



## 急诊知识图谱与智能分析

Watson 系统学习了超过 330 种医学期刊、250 本肿瘤专著以及超过 2700 万篇的论文研究数据后，可以在肺癌、乳腺癌、胃癌和宫颈癌等疾病方面给医生提出辅助性的意见，并且准确率也保持在专业医生的水平上。

目前，使用计算机来进行辅助医疗是一个很热门的话题。特别是利用病理检查结果，图像和病例数据来推理出疾病。另外，辅助治疗决策以临床指南知识库为基础，结合海量真实的临床诊疗数据和离院随访数据，协助医生为患者提供更精准优质的诊疗方案。医生的培养需要经过长期的学习和临床实践，智能辅助诊断技术的应用将有助于高质量医疗服务的普及。随着神经网络理论的发展，深层神经网络可以很好地模拟人类思考的过程，使得利用深度学习技术来辅助医生进行数据分析，最后得出疾病的预测和决策推荐结论成为了可能。

### 1.3.3 智能药物研发

传统的药物研发周期长，投入成本巨大，而人工智能技术在新药研发中可以有效地解决这个问题。智能药物研发是指将人工智能中的深度学习技术应用于药物研究，通过大数据分析等技术手段快速、准确地挖掘和筛选出合适的化合物或生物，达到缩短新药研发周期、降低新药研发成本、提高新药研发成功率的目的。

在医药领域，最早利用计算机技术和人工智能并且进展较大的就是在药物挖掘方面，如研发新药、老药新用、药物筛选、预测药物副作用、药物跟踪研究等，均起到了积极作用。利用人工智能强大的数据分析和处理能力，可以持续不断地对药物组成成分进行筛选分析，提高了早期药物筛选的准确率，而且借助大数据技术，对海量的药物数据进行挖掘分析，缩短了研发的周期，提升了药物研发迭代效率。

### 1.3.4 智能健康管理

与疾病治疗不同的是，健康管理是主动的自我健康监控。目前主要应用领域是慢病管理、疾病预测、虚拟护士、精神健康、母婴管理、健康干预以及基于精准医学的健康管理。主要产品也包括智能可穿戴设备。与传统可穿戴设备相比，智能可穿戴设备能够长时间实时监测人体的一些基本特征，如饮食、身体健康指数、睡眠等，对身体素质进行评估，提供多维数据管理与分析，进一步给出个性化的健康管理方案。

健康管理行业因其预防和个体化管理的特性，正在成为预防医学的主流。我国当前正加速进入老龄化社会，利用 AI 技术对健康管理进行智能升级的智能健康管理是目前适合我国国情的一种健康管理方式，未来健康管理的市场潜力巨大。

### 1.3.5 医疗机器人





## 第 1 章 人工智能概述

医疗机器人作为近年来出现的先进医疗器械，包括手术机器人、服务机器人、护理机器人、康复机器人、医疗服务机器人和微型检测与治疗机器人等。医疗机器人可以服务于医疗机构的各项业务，从事医院服务、住院护理、患者康复训练等工作内容。例如，护理机器人可协助护士确认患者身份，测量体温等生命体征，并准确地进行配药，缓解护理人员烦琐的护理工作；手术机器人协助外科医生手术辅助医护人员进行手术操作、提高手术质量、减轻医生的工作强度。

医疗机器人可以有效降低医院的用人成本，并能实现医疗服务的标准化、自动化，有着广泛的应用前景。

### 1.4 基于模糊专家系统的疾病诊断

专家系统是一种模拟人类专家解决领域问题的计算机程序，它能运用领域专家多年积累的经验与专门知识，模拟人类专家的思维过程，求解需要专家才能解决的困难问题。专家系统是早期人工智能的一个重要分支，它实现了人工智能从理论研究走向实际应用、从一般推理策略探讨转向运用专门知识的重大突破。

专家系统通常由知识库（knowledge base）、推理机（inference engine）、知识获取模块（knowledge-acquisition module）、解释模块（explanation module）和人机接口等部分组成。其中，知识库是专家系统的一个重要组成部分，提供求解问题所需的知识的基础；推理机是专家系统的核心部分，它具有依据一定的策略进行推理的功能，能够模拟相关领域内的专家的思维过程。

#### 1.4.1 医疗诊断知识库

医学知识库的构建是医学专家系统的关键。知识获取一方面采用与医学专家之间的密切合作，另一方面是知识的自动获取技术。

医学知识有两种类型：

（1）科学知识。这类知识来自医学文献、书籍或医学期刊论文，主要包括医学认知或推理，是临床医生必须掌握的生物学过程的原理，以及病理生理状态与疾病症状的关系等。

（2）经验性知识。例如记录完整的患者数据库和行之有效的指导原则等，这类知识与识别（recognition）或归纳（induction）有关，这是临床医生在实践中运用所掌握的科学知识对多个病例分析、判断、总结和积累起来的行之有效的、类似于临床直觉的、抽象的知识。

科学知识的主要来源是各领域的医学专家及相关的医学文献，而经验性的知识难



以获得。例如，医生在给患者看病时虽然可以自如地处理各种疑难杂症，但由于缺少总结，不一定能有条理地说出处理疾病的道理和原则。为了获取有用的知识，知识工程师需要反复多次地与医学专家交谈，并且有目的地引导交谈的内容，然后通过分析、综合、去粗取精、去伪保真，归纳出可供建立知识库的经验性知识。

产生式规则是专家系统中使用最广泛的一种知识表示方法，其基本结构包括前提和结论两部分：前提（或 IF 部分）描述状态，结论（或 THEN 部分）描述在状态存在的条件下所做的某些动作。因此，一个典型的产生式规则表示为：前提条件  $E \rightarrow$  结论动作  $H$ 。产生式规则的语义为：如果前提  $E$  满足，则可得结论或者执行相应的动作  $H$ 。

### 1.4.2 基于产生式规则的推理

基于产生式规则的推理是根据输入的已知事实，推理计算得出结论，即依据当前已知的事实，利用知识库中的知识，按照一定的推理方法和控制策略进行推理，求得问题的答案或证明某个假设的正确性。

在医学中我们常常会遇到不精确的概念，例如患者向医生主诉“最近头有点晕”，在这一描述中“最近”的时间性和“晕”的程度都是非常模糊的概念。同时，在具体的专家系统中，产生式规则本身也有不确定性，因此，在应用这些不精确事实和知识时，不确定性推理必不可少。

根据不确定性测度算法的不同，不确定性推理主要有以下三种：

（1）基于概率的不确定推理：概率论是处理不确定性的经典理论，在不确定性推理中，将能使某个结论为真的证据组成一个集合，这样的集合也可称为一个事件，包含在一个事件集合中的元素都能使对应的结论为真，因此，就可以用事件发生的概率来描述和计算推理的不确定性测度，这就是基于概率的不确定性推理。

虽然基于概率的不确定推理具有概率论严密的理论依据，但是它要求给出知识的概率，即使富有经验的领域专家也难以直接给出，因此使其应用受到了限制。

（2）基于可信度的不确定推理：基于可信度的不确定推理是在确定性理论的基础上提出的一种不确定推理方法。在实际应用中，领域专家掌握的规则大多是经验性的、不精确的。同时，在推理过程中，前提的不确定性一定会引起结论的不确定性。因此，为了更好地表示领域专家的知识，需要将不确定性引入产生式规则的内部，即：

$$\text{if } E \text{ then } H \quad (CF, \lambda) \quad (1)$$

$E$  表示前提条件，既可以是单个的简单前提，也可以是多个的组合； $H$  是结论； $CF$  称为可信度，用于表示该条规则的可信程度，取值范围为  $0 \sim 1$  的实数。 $CF$  的值由领域专家给出。 $\lambda$  是规则的阈值，用于指出规则可被使用的限制，即只有  $\lambda$  满足

阈值条件时该条规则才会被激活使用。

例如,规则“if 听诊为干鸣音 then 胃炎 (0.4,  $\lambda$ )”,表示根据患者的听诊为干鸣音而诊断该患者患有肺炎的可信度为 40%。

(3) 基于模糊理论的不确定推理:在实际生活中,当一个概念的边界不能清楚地划分时便出现了模糊现象,例如“年轻”“高”“好”等概念就是模糊概念。对于一个模糊概念,可以加上一个修饰词来对其进行修饰,如非常(extremely)、稍微(somewhat)等。这种模糊概念可以采用模糊集来描述。

在实际情况中,事实和规则都可能存在模糊语言如“年轻”“快”“慢”等,这些模糊概念由模糊集合来描述。在一个论域中可以定义多个模糊集合,如在“年龄”这一论域中,可以定义“年老”“年轻”等多个模糊集合。

### 1.4.3 基于模糊加权规则的疾病推理

在疾病诊断领域,规则的前提不确定性往往更为复杂,主要有以下几种情况:

因证据不足或偶然情况导致的随机不确定性;

因信息的外延模糊而导致的模糊不确定性;

因使用者的主观因素导致的不确定性;

其他未知不确定性。

此外命题的每一个前提包含的信息量不尽相同,在不同的时期同一个前提也具有不同的重要程度,对结论的重要程度也不同,因此推理中所用的前提应该以不同的权重加以区别。也就是说  $E$  作为一个前提条件,也有一定的可信度和权重,其可信度因子和权重都是属于 0 ~ 1 的范围。

因此,可以使用基于加权规则的不确定推理方法,以更好地适应实际情况的需求,加权的规则表示如下:

$$\text{if } E_1(w_1, cf_1), E_2(w_2, cf_2) \cdots E_n(w_n, cf_n) \text{ then } H(CF, \lambda) \quad (2)$$

其中,  $E_i$  表示前提条件,  $w_i$  表示每个前提条件的权重,  $cf_i$  是前提条件  $E_i$  的可信程度。定义所有前提的组合可信度为  $CF$ 。

例如,有规则如下:

(腹泻, 0.168 4, 1) + (呕吐, 0.236 7, 0.8) + (发热, 0.054 9, 1) + (恶心, 0.140 9, 0.8) + (腹痛, 0.168 4, 1) + (不洁饮食, 0.230 7, 0.7) → 急性肠胃炎 (可信度为 0.75)

疾病推理是一个复杂的过程,根据上述疾病诊断规则示例,我们需要获得患者的症状信息。假设对于某位患者,符合其中“腹泻”“呕吐”“发热”和“不洁饮

食”，接下来要利用这些数据和专家给出的产生式规则进行推理，以获取最终的疾病结果。推理时匹配到该条规则时，计算结论的可信度，计算患有急性胃肠炎的概率为43.06%，计算过程如下：

$$CF = (0.1684 \times 1 + 0.2367 \times 0.8 + 0.0549 \times 1 + 0.2307 \times 0.7) \times 0.75$$

$$= 0.57415 \times 0.75 = 0.4306125$$

## 1.5 小结

历经半个多世纪的发展，人工智能技术已成为推动新一轮科技和产业革命的驱动力，深刻影响世界政治、经济、军事和社会发展，得到各国政府、学术界及产业界的高度关注。大数据和人工智能技术是信息产业蓬勃进发的基础和推动力，极大地提高了生产力，推动了科学技术的进步。2017年7月，国务院制订了《新一代人工智能发展规划》，把发展人工智能上升到国家战略高度。人工智能作为新一轮产业变革的核心力量，从衣食住行到医疗教育，正在社会经济各领域深度融合和落地应用，是构建国家竞争新优势的关键突破口之一。

本章首先全面介绍了人工智能的起源和发展历史，以及人工智能领域的关键技术及应用。其次，阐述了人工智能在医疗领域的应用，以及专家系统的基本概念和原理，最后通过示例演示基于模糊专家系统的疾病诊断方法。