

序 一

第四次工业革命浪潮来袭，人工智能、大数据、物联网等前沿技术正在重塑生物医药和医疗服务的发展格局。人工智能正在这场深刻的技术变革中冲击并将改变医学研究和临床实践的思路与模式，在机遇与挑战中必将影响医疗服务方式、效率和质量，甚至更新医学实践的内涵与外延。

拥有并使用基于临床医师诊疗经验的自动、智能、经济和高性能的医疗系统应用，一直是人类的梦想。人工智能、大数据和物联网等技术的快速进步为这一医学梦想提供了可能。人工智能让早期的专家系统和医学理论探索迈向深度学习驱动的智慧医疗实践，在全生命周期各环节实现强大赋能。无论是计算机视觉支撑的医学影像识别、自然语言处理驱动的电子病历分析，还是机器学习算法助力的疾病预测诊断，都提升了医疗服务的精准度和效率，并为解决医疗资源配置不均、防诊治成本攀升等现实问题提供新思路和新策略。

当今，人工智能学者与临床医师协同创新，使得人工智能赋能精准诊疗取得显著成效。例如，医学影像学作为人工智能最早成功应用的方向之一，已实现 CT 和 MRI 等图像的人工智能辅助分析与诊断；全切片图像的广泛应用，推动了基于数字病理和病理大模型的智慧病理快速进展，加之分子病理与影像、检验等多尺度和多模态信息融合，推进了下一代诊断病理学的发展。再如，疾病生物标志物检测与实时数字信号分析结合，在内镜智能检查、代谢病无创监控、心脑血管病预警、皮肤病和眼底病人工智能诊断等方面都取得了重要进展。大语言模型和医学大模型助力人工智能+医学发展，无论是海量医学文献和临床数据分析，还是医学教育和基层医疗服务，人工智能将彻底推动医学范式变革，大大提升医疗智能服务水平。数学和物理学理论创新、计算和信息技术突破、人文和伦理法规进步，终将推进健康咨询建议、风险预警、疾病早筛早诊、辅助治疗决策、远程专家会诊、防治技术增强、医疗过程管理、医院智慧管理等方面的进展，实现健康智能管理、疾病智慧诊疗和医院智慧运行，从而推动精准医学研究与智慧医疗实践的深度融合。目前，我们一方面需要加强学科交叉和融合深度促进人工智能相关技术创新与应用，另一方面需要深入研究和建立监管体系与法规，保障医学人工智能领域健康、快速发展，服务基层机构和大众健康。

医学教育作为培养未来医疗人才的关键环节，必须适应智能化时代的发展需求。传统的医学教育模式亟需引入人工智能的理念、方法和工具，培养既掌握扎实医学理论基础又具备智能技术应用能力的复合型医学人才。本教材的编写正是顺应了这一时代发展的迫切需要。教材系统地涵盖了人工智能技术基础、医学大语言模型、各临床学科的人工智能应用、智能医院管理、远程医疗与可穿戴设备、政策法规与伦理等内容。从技术原理到临床应用，从理论探讨到实践案例，从现状到展望，教材构建了一个相对完整的医学人工智能知识体系。

本教材在内容组织上充分体现了医工交叉的特色。既有深度学习、计算机视觉、自然语言处理等核心人工智能技术的专业阐释，又有临床学科的具体应用案例；既关注技术层面的创新突破，又重视伦理法规的规范引导；既立足当前的应用实践，又前瞻未来的发展趋势。全方位、多角度的内容设计有助于读者建立起对医学人工智能的系统认知。

智能赋能医学，创新引领未来。面向未来，医学人工智能的发展将更加深入和广泛，应用将不

断拓展和深化。希望本教材能够为广大医学生、医疗和科研人员及相关领域同仁提供有价值的学习参考，为推动我国医学人工智能事业的健康发展贡献力量。在智能医学的新时代，让我们以更加宽广的胸襟拥抱变革技术，以更加审慎的态度应对机遇挑战，为构建更加科学、公平、高效、优质和经济的医疗健康服务体系贡献我们这一代人的智慧和力量！

卞修武
中国科学院院士
陆军军医大学第一附属医院
2026年1月

序 二

习近平总书记强调：“人工智能是引领这一轮科技革命和产业变革的战略性技术，具有溢出带动性很强的‘头雁’效应。”人工智能技术快速发展，并通过学科和行业之间的深度交叉融合，正不断为各行各业带来新的智能化升级机遇。

人工智能与医学的交汇，是一条由浅入深的渐进之路。二者深度融合，并非机械地拼接，它要求人工智能算法架构必须融合医学知识，精准把握临床逻辑，严格遵循生命科学规律。早期的“前深度学习”时代，专家系统、统计机器学习等人工智能技术已在医学领域试探性地嵌入规则化推理与统计判断，为临床决策和研究方法构建了初步框架。继而迎来“深度学习”时代，以深度神经网络为核心的人工智能与医疗的融合愈发深入，研究突破不断涌现，产业应用持续拓展。近年来，以大模型与新型计算范式为代表的技术突破，提供了更强的表达能力和更通用的表达工具，进一步放大了医学智能可及范围。从基因序列的智能解析到影像图像的精准判读，再从疾病的个性化诊疗方案的生成到公共卫生决策的优化，人工智能正深度嵌入医学研究、临床实践与健康管理的全链条。

人工智能与医学的深度融合，不是技术工具的单向赋能，而是两者的共进与互促。本教材以“医学各学科应用驱动、人工智能技术方法适配”为核心脉络，遵循“理论概论-技术简介-技术实践”的渐进式教学方式，系统阐释医学人工智能的理论全貌和实现路径：从医学影像的像素级细节分析到电子病历的语义信息提取，从分子运动规律的智能模拟到诊疗方案的动态优化决策，每个应用都深度融合了医学知识的严格逻辑和人工智能技术的灵活适应性。这种跨学科的深度耦合，揭示了医学人工智能的本质特征——它既是用算法重新诠释医学知识的认知革命，也是以医学实践不断创新人工智能的理论与技术。

人工智能已成为医学创新发展的重要引擎。医学的发展离不开多学科协同创新，人工智能技术的价值既包括诊疗精度与效率的提升，也包括医疗服务模式向以患者为中心的革新，体现了更具预见性的健康管理模式，更标志着医学科学向智能化、精准化的新维度跨越，将推动医学进入一个全新、高效的发展阶段。医学与人工智能的每一次深度交融，都会重构学科边界、激发新兴研究主题并提出新的教育需求。人工智能与医学的融合之路注定充满挑战，面对复杂的临床问题与不断涌现的数据资源，我们比以往任何时候都更需要兼具医学素养与计算思维的复合型人才。《医学人工智能》作为本科教材的问世正逢其时。期待本教材能为医学与人工智能交叉领域的学习者与实践者提供清晰的理路与可行的方法，为医学创新带来无限可能。

戴琼海
中国工程院院士
清华大学信息学院
2026年1月

前言

在人类科技发展史上，四次科技革命依次将人类社会带入蒸汽时代、电力时代、信息时代和智能时代。每一次时代的跨越，都伴随着生产力的巨大飞跃和行业领域结构的深刻变革。当人工智能、扩展现实、3D 打印、机器人、可穿戴医疗设备、远程医疗、脑机接口等一系列前沿科技快速发展并融入到医学领域中，智能医学时代也正在到来。医学人工智能作为智能医学领域中的一重要分支，既是人工智能技术与传统医学领域深度融合的产物，也是现今高新科技与医学技术碰撞而出的智慧结晶。目前，医学人工智能正以惊人的速度改变着现代医学的面貌，为医学创新与发展注入源源不断的动力，在疾病诊断、临床治疗决策、医疗大数据分析、疾病预防和慢性病管理等方面均有出色表现。

医学、人工智能、计算机科学、数学、统计学等多学科的深度融合，为医学人工智能的诞生提供了坚实的技术支撑和理论基础。目前医学人工智能的人才培养体系中存在一些痛点：医学生局限于医学专业知识的学习，对计算机科学、人工智能等领域的知识了解不足，难以适应医学人工智能快速发展的需求；在交叉研发过程中，各学科之间的交流与合作存在障碍，导致研究方向分散，难以形成合力，研发出的成果与临床实际需求脱节，无法真正应用于临床实践；科研成果转化的问题仍然突出，许多优秀的医学人工智能研究成果被束之高阁，无法为临床带来实际的益处。

《医学人工智能》主要聚焦于介绍医学人工智能的基本概念、人工智能技术在不同临床科室中的研究成果及临床发展现状。本教材邀请了医学人工智能领域内的知名专家共同撰写，内容涵盖了医学人工智能的多个重要技术和应用，全书分为二十六个章节，阐述了人工智能技术简介、医学人工智能与大语言模型、人工智能赋能医学前沿探索，人工智能在各临床专科、患者服务、医学护理、药物智能研发与监测、中医药、医学教育教学、智能医院管理和建设中的应用，医学人工智能相关政策法规与伦理等内容。

本教材编写过程中，我们不仅注重理论知识的传授，更强调实践能力的培养，通过大量的案例分析和实践项目，力求让读者在学习过程中能够将理论知识与实际应用紧密结合，提高解决实际临床问题的能力。同时，为了确保教材内容的科学性、准确性和前沿性，各位参编人员查阅了大量的国内外文献资料，我们也邀请了多位医学和人工智能领域的专家指导、审核。在此，非常感谢全体编写人员对医学人工智能事业的热爱和对培养优秀人才的责任感，同时也感谢教材秘书团队（刘蓬然、薛明迪、王泓霖、张加尧、霍彤彤、段昱宇、严子能、高伟航）全程的辛勤工作。

医学人工智能的兴起不仅是技术本身的先进性，更代表着人工智能本身和现代医学之间形成系统性关联。医学人工智能将深刻改变医疗领域，推动医学迈向一个全新的高度。

叶哲伟

华中科技大学同济医学院附属协和医院

2026 年 1 月 15 日于武汉

目 录

第一篇 导 论 篇

第一章 医学人工智能概论	1
第一节 医学人工智能的发展历程与现状	1
第二节 医学人工智能面临的挑战及未来	2
第二章 人工智能技术简介	3
第一节 知识工程与知识推理	3
第二节 机器学习与数据挖掘	8
第三节 深度学习与神经网络	8
第四节 决策支持系统与专家系统	12
第五节 人机交互技术	13
第六节 情境感知技术	17
第七节 计算机视觉	20
第八节 生物特征识别	24
第九节 大模型技术	29
第十节 科学智算	34
第三章 医学人工智能与大语言模型	40
第一节 医学人工智能与大语言模型概述	40
第二节 医学大语言模型开发与核心技术	41
第三节 医学大语言模型的关键应用与系统实现	44
第四节 医学大语言模型的评估方法与性能评价	45
第五节 医学大语言模型的规范应用与未来发展	46
第四章 医学人工智能相关伦理与政策法规	49
第一节 医学人工智能伦理相关概念及基本原则	49
第二节 我国医学人工智能伦理及政策法规要求	50
第三节 国际医学人工智能伦理法律和规范要求	56
第四节 医学人工智能伦理与法治治理路径	58
第五节 医学人工智能伦理政策法规存在的问题与困境	63

第二篇 基础医学、药学篇

第五章 人工智能在基础医学中的应用	66
第一节 遗传序列的人工神经网络分类方法	66
第二节 数据分析在代谢组学研究中的应用现状	70



第三节 人工智能对生物化学和分子生物学研究的提升	72
第六章 人工智能在药学中的应用	77
第一节 人工智能与大数据在靶向药物研发中的应用	77
第二节 人工智能在药品调剂和药品管理中的应用	80
第三节 人工智能在药物警戒和个体化药物治疗中的应用	86
第四节 数据挖掘在药品安全监测和分析中的应用	92

第三篇 临床医学篇

第七章 人工智能在心血管内科中的应用	95
第一节 人工智能在心肌病中的应用	95
第二节 人工智能在心力衰竭中的应用	98
第三节 人工智能在冠心病中的应用	103
第四节 人工智能在心律失常中的应用	107
第五节 人工智能在高血压中的应用	111
第六节 人工智能在心脏瓣膜病中的应用	113
第七节 人工智能在先天性心脏病中的应用	118
第八节 人工智能在心脏康复中的应用	121
第八章 人工智能在神经病学中的应用	124
第一节 脑电信号的支持向量机分类	124
第二节 人工智能在卒中中的应用	127
第三节 人工智能在帕金森病中的应用	130
第四节 人工智能在神经重症监护中的应用	133
第九章 人工智能在皮肤科中的应用	137
第一节 人工智能与皮肤影像	137
第二节 基于机器学习的黑色素瘤诊断	138
第十章 人工智能在眼科中的应用	141
第一节 深度学习与视网膜病	141
第二节 人工智能在视觉障碍中的应用	148
第十一章 人工智能在医学影像学中的应用	156
第一节 人工智能在影像诊断中的应用	156
第二节 人工智能在影像指导治疗中的应用	158
第三节 人工智能在检查成像中的应用	162
第四节 人工智能在影像科工作流程管理及质量控制中的应用	164
第五节 人工智能在超声影像中的应用	168
第十二章 人工智能在肿瘤科中的应用	178
第一节 人工智能在肿瘤预防中的应用	178
第二节 人工智能在肿瘤筛查中的应用	180

第三节 人工智能在肿瘤诊断中的应用	183
第四节 人工智能在肿瘤治疗中的应用	184
第五节 人工智能在肿瘤康复中的应用	186
第十三章 人工智能在血液科中的应用	188
第一节 人工智能在血液系统疾病精准诊断中的应用	188
第二节 人工智能在血液系统疾病诊疗中的应用	200
第三节 人工智能在血液病数字化依从性管理中的应用	208
第四节 人工智能在血液系统疾病管理中的应用	211
第十四章 人工智能在消化科中的应用	215
第一节 人工智能在消化内镜中的应用	215
第二节 人工智能在消化影像方面的应用	217
第十五章 人工智能在内分泌科中的应用	219
第一节 决策支持系统的技术原理与现状	219
第二节 临床决策支持系统在血糖控制中的应用	221
第三节 糖尿病诊治策略的智能制定	223
第十六章 人工智能在感染科中的应用	226
第一节 传统统计模型在感染性疾病预测中的应用	226
第二节 感染性疾病的机器学习方法及应用	230
第三节 人工智能在新发传染病中的应用	234
第十七章 人工智能在耳鼻咽喉科中的应用	238
第一节 人工智能在听觉科学中的应用	238
第二节 人工智能在嗓音医学中的应用	244
第三节 人工智能与耳鼻咽喉图像识别	246
第十八章 人工智能在妇产科中的应用	248
第一节 人工智能在妇科恶性肿瘤中的应用	248
第二节 人工智能在产科中的应用	252
第三节 人工智能在辅助生殖技术中的应用	254
第十九章 人工智能在骨科中的应用	256
第一节 人工智能在骨科疾病评估、分诊中的应用	256
第二节 人工智能在骨科疾病诊断及治疗中的应用	257
第三节 人工智能在骨科康复锻炼中的应用	259
第二十章 人工智能在病理科中的应用	262
第一节 人工智能在病理数据管理和质量控制中的应用	262
第二节 人工智能在组织病理学诊断中的应用	263
第三节 人工智能在分子病理学诊断中的应用	265
第四节 人工智能在细胞病理学诊断中的应用	266
第五节 人工智能病理大模型	267



第六节	人工智能在病理诊断中的应用前景及展望	269
第二十一章	人工智能在中医药领域中的应用	270
第一节	中医药大数据与信息描述	270
第二节	中医智能化诊断的研究进展	272
第三节	中医诊疗专家系统	276

第四篇 医院管理与教育篇

第二十二章	智能医院管理和建设	284
第一节	临床辅助决策支持系统与疾病分级诊疗	284
第二节	自然语言处理在语音电子病历中的应用	286
第三节	情境感知在临床康复中的应用	288
第二十三章	人工智能在患者服务中的应用	292
第一节	门、急诊智能导诊的技术现状	292
第二节	门、急诊智能导诊服务系统及导诊机器人	294
第三节	急诊智能预检分诊系统	296
第二十四章	人工智能在医院感染管理科中的应用	300
第一节	医院感染监测与智能化防控	300
第二节	智能化感染风险评估与预警体系	305
第三节	人工智能在医院感染管理科中的应用案例分析	306
第二十五章	人工智能在医学教育教学中的应用	309
第一节	人工智能在医学教育教学中的研究现状	309
第二节	人工智能辅助医学教育教学的应用场景	312
第三节	智能医学教学系统	318
第四节	智能医学答疑系统	320

第五篇 前 沿 篇

第二十六章	人工智能赋能医学前沿探索	323
第一节	生物启发式的药物作用机制学习模型	323
第二节	人工智能大模型赋能未知病原体的发现	328
第三节	人工智能细胞影像识别应用及研究	334
第四节	基于多模态大模型的大规模慢性病质效跃升技术	337
第五节	CT、超声图像分割大模型	341
第六节	以 DeepSeek 为引擎构建医疗 AI 新生态	343
第七节	人工智能辅助下的医学元宇宙场景构建及应用	345
第八节	人工智能驱动的虚拟细胞在生物医学中的应用	348
参考文献		353

第一篇 导论篇

第一章 医学人工智能概论

第一节 医学人工智能的发展历程与现状

一、医学人工智能的发展历程

人工智能（artificial intelligence, AI）是一项通过计算机和机器学习等工具使计算机系统能够模拟、延伸和扩展人类智能表现和能力的科学技术，也是一门涉及多个学科领域的交叉学科，包括计算机科学、数学、哲学、心理学、神经科学、语言学等。人工智能的研究目标是通过模拟人类的感知、思维、决策等过程，计算机系统能够像人类一样具有智能。

人工智能的主要研究内容包括机器学习、自然语言处理、计算机视觉、知识表示与推理、专家系统等。机器学习是人工智能的核心技术之一，它利用大量数据训练机器模型，从而实现自主学习和推理。自然语言处理是让计算机能够理解和处理人类自然语言的技术。计算机视觉是让计算机能够模拟人类视觉系统的技术。知识表示与推理是指将知识表示为计算机可处理的形式，并利用推理技术实现自主决策和推理。专家系统是一种基于规则的人工智能应用，能够模拟人类专家的知识 and 经验，进行诊断和决策等任务。

医学人工智能的发展历程可以追溯到二十世纪五六十年代，当时研究人员开始探索如何利用计算机来帮助诊断和治疗疾病。随着计算机技术的发展和深度学习算法的出现，医学人工智能的发展进入了一个新阶段。

2011 年，超级计算机首次在比赛中击败了人类选手，引发了人们对人工智能在医学领域应用潜力的广泛关注。随后，越来越多的医学研究机构和公司开始投入到医学人工智能领域的研发中。

目前，医学人工智能的应用已经涉及医学预防、诊断、治疗等方面。例如，医学人工智能已经可以通过图像识别技术自动检测和诊断 X 线、计算机体层扫描（computed tomography, CT）、磁共振成像（magnetic resonance imaging, MRI）等医学影像，从而帮助医生更快速和更准确地诊断疾病。

二、医学人工智能的技术现状

1. 医学图像分析 利用计算机视觉技术对医学图像进行分析和处理，如医学影像诊断、病理学分析等。

2. 医学自然语言处理 利用自然语言处理技术对医学文本进行语义分析和处理，如医学文献检索、病例诊断等。

3. 医学大数据分析 医学人工智能可帮助医生对大量患者的医学数据进行分析，从而发现疾病模式和趋势，提高疾病预测和预防的准确度。

4. 医学药物研发 医学人工智能可加速药物研发过程，从而提高药物的研发效率和质量。例如，可以利用机器学习算法进行药物分子筛选和优化，以及对潜在的药物副作用进行预测等。

5. 个性化治疗 医学人工智能可根据患者的基因信息和病情数据，为患者提供个性化的治疗方案，从而提高治疗效果和减少副作用。

6. 医疗机器人 医学人工智能可帮助开发智能医疗机器人，智能医疗机器人可以在手术、康复、护理等方面发挥重要作用。例如，智能机器人可以通过视觉和语音识别技术与患者交互，为患者

者提供更好的护理服务。

总的来说,医学人工智能的发展经历了多个阶段,从最初的探索到现在的广泛应用,未来也将继续推动医学领域的创新和进步。医学人工智能技术的发展也将为医学领域的创新和进步带来新的挑战 and 机遇。

(叶哲伟)

第二节 医学人工智能面临的挑战及未来

随着人工智能技术的不断发展,医学人工智能应用的前景非常广阔。医学人工智能可以帮助医生更快速、准确地诊断疾病、制订治疗方案,提高医疗效率和质量。目前,医学人工智能应用主要集中在医学影像、辅助诊断和精准医疗等方面。

通过机器学习、深度学习等技术,医学人工智能可以快速、准确地识别医学影像中的病灶、异常等情况,为医生提供更加精准的诊断结果。通过分析患者的病史、体征、化验结果等数据,医学人工智能可以对疾病进行初步的判断和分类,并提供治疗方案的建议。这种方式可缩短医生的诊断时间,提高诊断的准确性。通过分析患者的基因信息、病史、生活习惯等多方面数据,医学人工智能可以为每个患者制订个性化的治疗方案,提高治疗效果。

医学人工智能的应用前景还包括智能辅助决策、智能诊疗、智能健康管理等方面。例如,在智能辅助决策方面,医学人工智能可以通过分析患者的病历、病情和治疗方案等信息,为医生提供更加科学、有效的治疗方案和用药建议。在智能诊疗方面,医学人工智能可以通过分析患者的生理数据和病情信息,为患者提供更加个性化的诊疗方案和康复建议。在智能健康管理方面,医学人工智能可以通过分析患者的生理数据和行为数据,为患者提供更加科学、有效的健康管理方案和健康建议。

医学人工智能的应用前景非常广阔,将在医疗中扮演越来越重要的角色。

(一) 机遇

- 1. 提高医疗质量** 医学人工智能可以通过分析大量的医学数据和患者数据,提供更加准确和个性化的诊断和治疗方案,从而提高医疗质量和效率。
- 2. 促进科学研究** 医学人工智能可以辅助科学家在分析大量的医学数据和患者数据时,提高研究效率和准确率,从而促进科学研究的发展。
- 3. 降低医疗成本** 医学人工智能可以通过提高医疗效率和准确率,降低医疗成本,提高医疗资源的利用效率。

(二) 挑战

- 1. 数据安全** 医学人工智能需要大量的医疗数据来进行分析和学习,但这些数据的获取和存储必须保障数据安全和隐私保护,防止数据泄露和滥用。
- 2. 技术难题** 医学人工智能需要面对复杂的医学数据和患者数据,需要解决机器学习和深度学习等技术方面的难题,提高算法的准确率和稳定性。
- 3. 伦理问题** 医学人工智能需要遵守医学伦理和法律法规,避免侵害患者权益,同时也需要避免机器学习和深度学习算法的“黑箱化”现象,保证算法的可解释性和透明度。

总之,医学人工智能在未来发展中将会面临诸多机遇和挑战,需要医疗行业和科技界的协同发力,才能更好地推动其发展和应用。

(霍彤彤)

第二章 人工智能技术简介

第一节 知识工程与知识推理

一、引言

医学人工智能（artificial intelligence in medicine, AIM）在发展的早期阶段（20 世纪 70~80 年代）研究的重点领域是知识工程。当时的研究主要集中在两个方面：一是针对具体的临床问题开发专家系统或其他类型的知识系统；二是探讨如何将这些知识系统有效地融入临床实践。前者侧重于设计和实现智能化的工具，以辅助诊断、治疗规划和决策支持；后者则着重强调知识系统与现有医疗流程整合所面临的挑战，包括技术适应性、临床人员的接受程度及操作效率等问题。例如，当系统给出的建议与医生的判断发生冲突时，如何界定责任归属成为一个关键的伦理障碍。此外，针对知识系统开发的软件设计也成为当时的热门研究方向。这一研究趋势为后续知识工程的发展奠定了坚实的基础。

随着人工智能技术的不断演进，知识工程的应用范围不再局限于开发专家系统，而是逐步扩展至构建复杂的知识库、优化知识表示方法及增强推理算法的精确性。这一转变主要得益于计算能力的显著提升和大规模数据的日益可用，使得知识工程能够与现代机器学习方法相结合，从而推动了从单纯的符号主义向数据驱动与知识驱动相结合的智能化转型。例如，梅奥诊所利用知识图谱整合了病理学、基因组学和临床指南等多源异构数据，显著增强了深度学习模型在乳腺癌分型任务中的可解释性。同时，自然语言处理技术也被广泛应用于从海量的医学文献中自动提取药物相互作用等关键知识，从而辅助构建动态更新的药学知识库。在医疗、法律、教育和工业等领域，知识工程与知识推理的结合为解决日益复杂的现实问题提供了更强大的理论支持和技术实现路径。

二、知识工程体系

（一）概念与目标

知识工程（knowledge engineering, KE）是人工智能领域中一个重要的分支，作为符号主义人工智能的核心技术之一，其主要目标是将人类专家的知识以形式化的方式进行表示（图 1-2-1），使得这些知识能够被机器所理解、存储、推理和应用。图灵奖获得者爱德华阿尔伯特·费根鲍姆于 1977 年提出了知识工程的概念：知识工程为人工智能系统提供了结构化的“思维”模式，如进行逻辑推理、作出基于知识的决策等，是实现高水平智能系统的关键途径。它的核心任务涵盖了知识获取、知识表示、知识推理及知识应用等环节，旨在使机器能够模拟人类专家在特定领域的判断和决策。尤其是在医学领域，由于医学知识本身具有高度的复杂性和强时效性，知识工程需要结合动态更新机制才能有效应对。例如，约翰斯·霍普金斯医院开发的脓毒症预警系统，通过实时整合生命体征、实验室指标和抗生素敏感性数据，将脓毒症识别时间缩短了 35%。这个案例表明，知识工程能够有效地整合多源数据，提升临床决策的效率和准确性。知识工程在辅助诊断和疾病风险预测、个性化治疗和精准用药及临床决策支持等方面发挥着重要的作用，显著提升了医疗服务的效率和质量。

知识表示是知识工程的核心环节之一，其

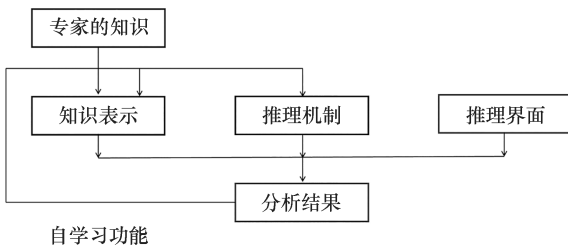


图 1-2-1 专家系统主要结构

核心目标是将抽象的领域知识转换为机器能够处理的结构化形式。常见的知识表示方法包括规则、框架、语义网络等。例如，SNOMED CT（系统化临床医学术语集——国际标准）通过其分层编码体系，实现了临床术语的标准化，覆盖了超过 35 万个医学概念，并被广泛应用于电子健康档案（electronic health record, EHR）系统。这体现了知识工程在构建大规模、标准化的医学知识库方面的能力。近年来，知识图谱作为一种高效的知识表示方式，受到了广泛的关注。知识图谱通过节点和边之间的关联，构建出结构化的知识网络，不仅具有强大的推理能力，还能够揭示数据之间深层次的关系。例如，一个医学知识图谱可以包含“疾病”“症状”“药物”等节点，以及它们之间的“导致”“治疗”等关系。一些大型、商用的医学知识图谱项目（如 Oncology Expert Advisor 系统），其背后需要庞大的医学专家团队进行持续的数据标注与知识审核，人力与时间成本巨大。这个例子强调了知识图谱构建的复杂性和对专业知识的依赖性。知识图谱在多学科知识融合方面展现出了独特的优势，使得知识工程从早期侧重于规则的专家系统，向更加灵活、更具语义理解能力的智能系统演进。

知识推理是知识工程的另一个核心环节，它模拟人类专家在已知知识的基础上进行逻辑推演和决策的过程。除了传统的基于规则的推理方法外，现代知识工程的研究还涉及概率推理、不确定性推理等方法，以更好地适应复杂和动态的应用环境。例如，概率推理适用于处理医学数据中常见的不确定性问题，而不确定性推理则能够有效地应对数据缺失或噪声较大的复杂挑战。这些推理方法的应用增强了知识工程的灵活性，使得智能系统能够在医学等领域作出更加精准的决策。

（二）知识生命周期

知识工程的实施是涉及知识全生命周期管理的过程，主要包括知识的获取、表示、存储、应用及维护等关键阶段。在医学领域，由于医学知识更新速度快、结构复杂且对准确性要求极高，对知识生命周期的有效管理显得尤为关键。

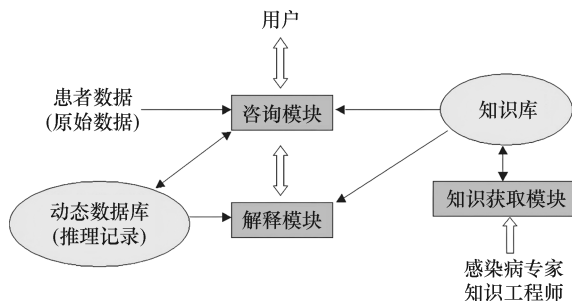


图 1-2-2 MYCIN 专家系统主要结构

1. 知识获取 是知识工程的起点，其主要任务是通过各种途径收集和提取医学知识。例如通过与医学专家进行深入访谈、系统地查阅和分析医学文献，如语义解析工具 SemRep 可从 PubMed 摘要中提取“药物-疾病”关系三元组；对临床数据进行挖掘分析（图 1-2-2 为 MYCIN 专家系统的主要结构。MYCIN 是 20 世纪 70 年代开发的早期经典医疗专家系统，主要用于诊断细菌感染性疾病并推荐抗生素治疗方案，其名称源于抗生素的常见后缀“-mycin”）；

以及解析现有的医学知识库与本体等方式。然而，知识获取过程常常面临“知识获取瓶颈”问题，即难以系统化、高效率地捕获专家经验。为了缓解这一难题，研究者们积极探索多种知识获取方法，包括利用自然语言处理技术自动地从大量的医学文献中提取知识，以及利用众包的方式汇集多位专家的知识和见解，如通过搭建专门的在线协作平台，让医生群体共同编写和迭代临床决策规则，这体现了利用协作方式来丰富和验证医学知识的潜力。

2. 知识表示 是知识工程的核心环节，其关键在于确保所获取的医学知识能够以机器可以高效处理的结构化形式进行表达。常见的知识表示方法包括规则、语义网络、知识图谱等。例如，甲状腺功能亢进症的诊断规则可表示为：“if TSH<0.4mIU/L and Free T₄>1.8ng/dL then 诊断为甲状腺毒症”，这个简单的规则示例展示了如何将临床决策知识形式化。选择合适的知识表示方法对于后续的知识存储、推理及最终的应用至关重要。

3. 知识存储 是将经过表示的结构化知识存储到合适的数据库或知识库中，以便能够进行高效的检索和推理。不同的知识表示方法可能需要不同的存储方案。例如，MySQL 数据库通常适合存储基于规则的知识，而 Neo4j 数据库则更擅长处理知识图谱中复杂的关联查询。例如，“药物

A-禁忌-疾病 B-替代-药物 C”的多跳推理，这个例子突出了图数据库在处理复杂关系方面的优势。选择合适的存储方案需要充分考虑知识的类型、规模及后续的查询需求。

4. 知识应用 知识应用的最终目标是服务于实际的临床实践，其应用领域非常广泛，包括辅助诊断和疾病风险预测、个性化治疗和精准用药、药物研发、医学决策支持及医学教育等。例如，Watson for Oncology（一款利用人工智能技术为肿瘤治疗提供辅助决策建议的系统）曾尝试整合来自 300 种医学期刊和 200 本教科书的知识，为肿瘤治疗提供建议，但由于未能充分适应临床医生日常的工作流程而受到了一定的限制，这也提醒我们，技术应用需要与实际临床工作流程紧密结合。随着医疗数据的爆炸式增长，知识工程的应用范围也在不断拓展，其在辅助诊疗、疾病预测、智能问答系统等方面都发挥着日益关键的作用。

5. 知识维护 是知识生命周期的最后一个重要环节，由于医学知识是不断发展和更新的，因此需要定期对知识库进行更新、校正和优化，以确保知识库的准确性、时效性及可靠性。例如，基于 Git 版本控制的医学知识库可以有效地追踪医学指南的修订历史，并支持多位专家协同进行审校，从而保证知识的质量，这表明版本控制和专家协作对于维护医学知识库的准确性至关重要。知识维护是一个持续不断的过程，需要投入大量的人力和物力，同时也需结合自动化技术以提高效率。

（三）符号主义人工智能的基石作用

知识工程在人工智能发展历程中占据核心地位，特别是在符号主义人工智能（symbolic AI）范式下，它被视为智能系统的基石。符号主义人工智能的基本假设是，人类智能本质上是对符号的操作，因此可以通过符号、规则及逻辑推理构建具备推理能力的机器。知识工程在该框架下的核心贡献体现在三个方面：

1. 显式知识表示 通过规则、语义网络或知识图谱，将领域知识结构化，使机器能够进行逻辑推理。如图 1-2-3 所示，SNOMED CT 临床术语本体通过“is-a”层级关系，就像“糖尿病足”属于“糖尿病并发症”；或是“part-of”空间关系，如“心脏瓣膜”是“心脏”的组成部分，支持疾病分类的自动推理，这展示了本体在支持自动分类和推理方面的能力。

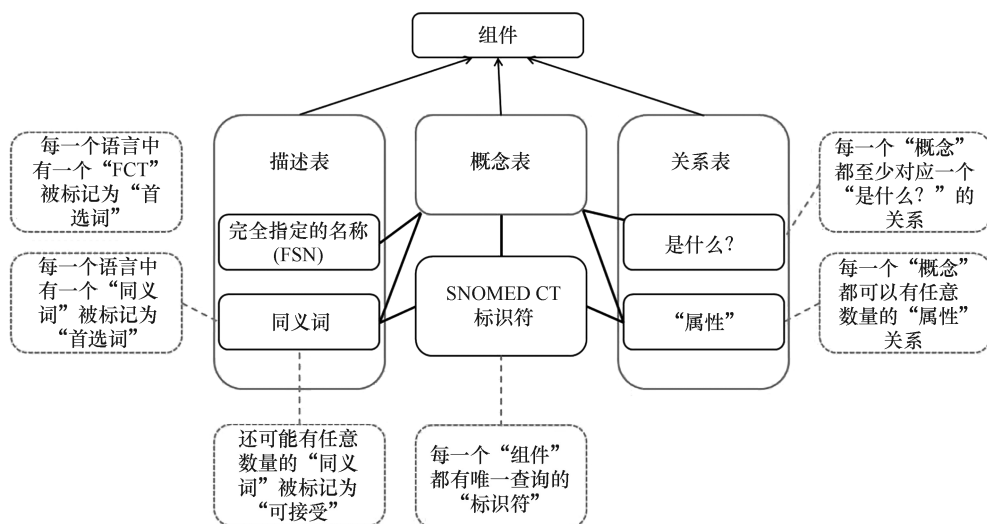


图 1-2-3 SNOMED CT 系统逻辑模型定义

2. 基于规则的推理 通过构建规则库和设计推理引擎，使系统能够基于既有知识推断新的信息。例如，MYCIN 系统包含 465 条抗生素使用规则，如“if 病原体为革兰氏阴性杆菌 then 建议使用氨基糖苷类抗生素”，其推理引擎通过反向链式推理生成治疗建议，这突出了基于规则的系统在生成专家级建议方面的作用。

3. 可解释性 符号主义 AI 的推理过程具有透明性，可为医学人工智能系统提供可解释的决

策支持。例如，基于规则的临床决策支持（clinical decision support, CDS）系统可明确显示触发警报的具体规则，而深度学习模型通常难以追溯决策依据。在医学领域，由于决策的严肃性、可解释性对于医生信任和采纳人工智能系统的建议至关重要。例如，一项针对内科医生的研究表明，83%的医生更倾向于使用能展示推理路径的 AI 工具。这强调了可解释性在医学人工智能应用中的重要性。

相较于近年来兴起的连接主义人工智能，符号主义 AI 更关注知识表示与逻辑推理，而连接主义 AI 则侧重于从大规模数据中自动地提取特征和模式。例如，在符号主义优势场景中，基于指南的罕见病诊断规则，法布里病的 α -半乳糖苷酶活性检测规则；又或是在连接主义优势场景中，从胸部 X 线片中检测肺结节，依赖卷积神经网络（convolutional neural network, CNN）的视觉特征提取。然而，现代人工智能的发展趋势是两者结合。例如，梅奥诊所开发的乳腺癌分型系统，将知识图谱中的病理学关系与深度学习提取的肿瘤形态特征相结合，使分型准确率提升至 92%。自然语言处理技术可自动地从文献中提取“基因-疾病”关联，辅助构建动态更新的遗传病知识库。这些例子说明了符号主义和连接主义方法在现代医学人工智能中的融合与互补。

知识工程作为符号主义 AI 的基石，其理论体系和方法仍然是人工智能研究和应用的重要支撑，特别是在医学人工智能领域，它在促进智能诊断、精准治疗和医学知识管理等方面发挥着不可替代的作用。

三、知识推理内涵

（一）概念、目标与主要推理类型

知识推理是知识工程的核心组成部分，旨在利用已有知识推导新信息或结论，为智能系统提供决策支持、问题求解和知识发现的能力。

在知识工程的早期，特别是专家系统时代，基于形式化规则的逻辑推理是主要方法。该方法的核心思想是将领域专家的知识表示为明确的规则，并利用这些规则对输入事实进行逻辑演算，以得出结论。最常见的规则表示形式是“if...then...”语句，即产生式规则。例如，在医学领域可以建立如下规则，“if 患者有发热 and 患者有咳嗽 then 患者可能患有呼吸道感染”。又或者“if 患者有呼吸道感染 and 胸部 X 线显示肺部阴影 then 患者可能患有肺炎”。基于规则的推理通常采用前向推理（从已知事实推导新事实）和后向推理（从目标回溯寻找支持事实）两种机制。这些推理方式依赖形式逻辑，如命题逻辑和谓词逻辑，以确保推导结论的逻辑一致性。然而，在实际应用中，基于形式化规则的逻辑推理存在局限性，尤其是在处理复杂、不确定的真实世界问题时，面临非单调推理和常识推理的挑战。

传统逻辑推理是单调的，即一旦某个结论被推导出，即使新信息加入也不会改变既有结论。然而，现实世界的知识往往是动态和不确定的，新信息可能会推翻原有推断。例如，我们通常认为鸟会飞，但当我们得知某只鸟是企鹅时，这个结论就被推翻了。这种推理是非单调的，如默认推理和基于封闭世界假设的推理。此外，人类具备丰富的常识知识，而如何有效地形式化表示这些常识，并使智能系统像人类一样进行灵活推理，仍是未完全解决的难题，涉及知识表示的复杂性和推理的适应性。知识推理的方法多种多样，主要包括演绎推理、归纳推理、溯因推理和类比推理等，它们在不同的应用场景中发挥着重要作用。

1. 演绎推理（deductive reasoning） 是从一般性知识或规则推导出针对具体情况的确定性结论。只要前提真实且推理过程有效，则结论必然成立。例如，若已知“所有细菌感染均可用抗生素治疗”，且某患者被诊断为细菌性肺炎，则可演绎得出该患者适用于抗生素治疗。

2. 归纳推理（inductive reasoning） 是从有限的个别事实或观察中推导出一般性结论或规律。由于归纳推理基于有限数据，其结论可能正确，但不具有绝对确定性。例如，通过大量糖尿病患者的临床数据，观察到他们普遍存在血糖升高的现象，由此归纳出高血糖是糖尿病的常见特征。

3. 溯因推理（abductive reasoning） 是一种从观察结果推断最可能原因的推理方式，常用于

诊断问题。其结论是对现象的最佳解释，但未必是唯一可能的解释。例如，如果患者出现发热、咳嗽和呼吸困难等症状，医生可能溯因推断其最可能患有肺炎，但仍需进一步检查以排除其他可能性。

4. 类比推理 (analogical reasoning) 通过比较不同事物间的相似性，将已知规律推广到类似事物。这在医学研究和药物开发中较为常见。例如，若某药物在治疗疾病 A（具有特定病理机制）上有效，则可类比推测其可能对另一种具备类似病理机制的疾病 B 也有效。

知识推理是智能系统的重要组成部分，不同类型的推理方法各具优势，适用于不同场景。在知识工程实践中，需要根据具体问题选择合适的推理方式，并结合多种推理策略，以提升系统的智能化水平。然而，在实际的医学决策中，知识和信息往往带有不确定性。

（二）不确定性推理

在医学领域及其他复杂应用场景中，知识往往并非完全确定，而是充满不确定性和模糊性。这种不确定性可能源于数据缺失、专家意见不一致、知识本身的固有模糊性及环境的动态变化等因素。为了使智能系统能够在复杂环境中作出合理决策，不确定性推理技术至关重要。

概率推理是基于概率论的方法，用于量化和处理不确定性。在医学诊断中，医生通常根据患者的症状、体征和检查结果评估疾病的可能性。概率推理可以利用大量病例数据建立条件概率关系，并基于新的患者信息计算不同诊断结果的概率，从而辅助医生决策。贝叶斯网络是一种典型的概率图模型，它通过有向无环图表示变量间的依赖关系，并利用贝叶斯定理进行推理。当输入新的患者数据时，贝叶斯网络能够自动更新各个疾病的概率，为医生提供最可能的诊断结果，特别适用于处理复杂的因果关系。模糊逻辑则提供了一种处理语言性和模糊性知识的方法。在医学中，许多描述性术语如“轻微疼痛”“显著改善”本身具有模糊性。模糊逻辑可以将这些概念形式化，并通过模糊规则模拟医生的判断过程。例如，可以定义模糊集合表示“高血压”或“低血压”，并基于这些规则进行推理，使医学智能系统更好地理解 and 处理自然语言描述。

此外，还有证据理论、粗糙集理论等方法可用于不确定性推理。这些技术的应用能够显著提升医学智能系统在复杂环境中的鲁棒性和可靠性，使其更好地辅助临床决策。

（三）推理技术与工具

随着人工智能技术的不断发展，现代知识推理技术已经不再局限于传统的基于规则的逻辑推断，它正在与深度学习、大数据分析等先进技术深度融合，从而具备了对更加复杂和多样化数据的智能处理与推理能力。结合深度学习的推理是指利用深度学习技术来处理非结构化数据。例如，利用其在医学影像、自然语言文本信息方面的强大能力，将其提取的特征与知识图谱中结构化的医学知识相结合，实现更高级的推理。一个医疗诊断系统可以利用 CNN 分析医学影像，识别出病灶等关键特征，然后将这些特征与知识图谱中的疾病知识进行匹配和推理，最终给出诊断建议，这种结合利用了深度学习的感知能力和知识工程的推理能力，能够显著提升诊断的准确性和效率。

基于大数据的推理则利用大数据技术为知识工程提供海量的医学数据资源，这些数据可以用于知识发现、知识库构建和推理模型训练，通过对大规模电子病历、基因组数据、临床试验数据等进行分析，可以发现新的疾病关联、药物靶点及个性化的治疗方案。跨模态数据推理是指能够整合和分析来自不同模态的数据，并进行综合推理的技术。例如，一个智能诊断系统需要同时理解患者的症状描述、影像表现及实验室检查结果，才能作出准确的判断，这需要复杂的推理机制和强大的知识表示能力。在实现这些现代推理技术的过程中，涌现了许多先进的工具和平台，如用于构建和查询知识图谱的工具、用于进行概率推理的库，以及各种支持深度学习和大数据分析的框架。现代推理技术往往也依赖结构化的知识图谱，知识图谱能够提供丰富的背景知识和实体关系，从而提升推理的准确性和效率。这些工具和平台为知识工程师、医学研究人员提供了强大的支持，加速了智能医学应用的开发和部署。

（向李智）

第二节 机器学习与数据挖掘

一、机器学习

机器学习是一种从数据中学习、发现规律、进行预测的技术。它可以帮助计算机自动从数据中学习和发现规律，从而实现自主决策和预测。机器学习可以帮助医生自动识别医学影像中的病灶、异常等情况，对病情进行初步的判断和分类，并提供治疗方案的建议。

机器学习的主要应用技术包括决策树、支持向量机、神经网络等。例如，决策树可以帮助计算机自动分析医学影像中的图像特征，从而自动识别病灶和异常情况。支持向量机可以帮助计算机对病例进行分类和诊断。神经网络可以帮助计算机模拟人脑中的神经元，从而进行自主学习和决策。

机器学习的应用在医学领域已经取得了很多成果。例如，机器学习可以帮助医生自动识别医学影像中的肿瘤、结节等异常情况，从而提高诊断的准确性和效率。

二、数据挖掘

数据挖掘是一种从大量数据中自动挖掘出有用信息的技术。其主要应用技术包括聚类分析、关联规则挖掘、异常检测等。聚类分析可以帮助计算机自动对病例进行分类和诊断。关联规则挖掘可以帮助计算机自动发现病情和治疗方案之间的关系。异常检测可以帮助计算机自动发现病例中的异常情况和异常值。

数据挖掘的应用在医学领域也取得了很多成果。例如，数据挖掘可以帮助医生分析患者的基因信息、病史、生活习惯等方面数据，为每个患者制订个性化的治疗方案。数据挖掘还可以帮助医生分析大量的病例数据，发现疾病和治疗方案之间的关系和规律，从而提高诊断的准确性和效率。

机器学习和数据挖掘是人工智能技术的重要分支，在医学领域具有广泛的应用前景。但是，机器学习和数据挖掘也存在一些挑战和问题，如数据隐私和伦理问题等，需要综合考虑科技、法律、道德等多方面因素，确保其健康、可持续的发展。

(霍彤彤)

第三节 深度学习与神经网络

神经网络 (neural network) 最早是生物学领域的概念，被用来表征大脑活动的工作原理。在生物学中，大脑被看作由上千亿个神经元组成的神经网络，每一次脑部活动都通过每个神经元独立

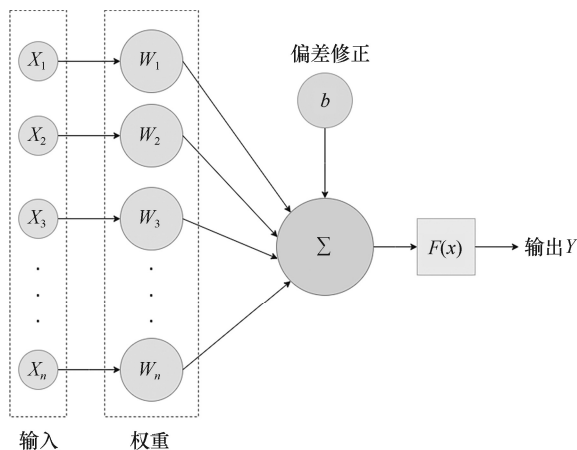


图 1-2-4 神经元模型

运行，再将信息传递到神经网络中，最终作出相应反应。随着生物学对人脑工作机制的研究越来越深入，各种“类人脑”机制的研究也被应用到更多工程领域。这种“类人脑”的机制被我们称为人工神经网络 (artificial neural network, ANN)。人工神经网络的工作原理来自对神经网络原理的数学抽象，我们可以将每个神经元抽象为如图 1-2-4 所示的数学模型。由此可以延展搭建起人工神经网络的数学模型。近年来，人工神经网络的研究不断深入，已经在众多领域取得重要进展，它在机器人、交通管制、无人驾驶、预测估计、生物医疗等现实领域表现出强大的应用能力。

首先抽象模拟来自其他神经元的信息输入 $\{X_1, X_2, X_3, \dots, X_n\}$ ，并模拟针对各个神经元信息不同重要程度所对应的权重 $\{W_1, W_2, W_3, \dots, W_n\}$ 。然后对神经元接收到的各信号进行累加，并引入 b 作为偏差修正量，即 $x = b + \sum_{i=1}^n X_i W_i$ 。最后由激活函数 $F(x)$ 判断 x 是否达到预设阈值（达到为1，未达到为0或-1），得到 Y 作为输出信号。

在本节之前我们已经介绍了人工智能与机器学习的概念，简单来讲，机器学习是实现人工智能的重要方法之一。但随着研究的深入，早期的机器学习算法在面对更加“智能”的问题时显得越加力不从心，早期机器学习算法的简单网络结构无法解释更高维度的信息传输过程。这一状态直到2006年加拿大多伦多大学教授杰弗里·埃弗里斯特·欣顿（Geoffrey Everest Hinton）对传统的神经网络算法进行优化，在此基础上提出深度神经网络（deep neural network, DNN）并引入深度学习（deep learning）概念后才得到改善。自此，深度学习成为机器学习领域的研究热潮。

深度学习是一种基于神经网络算法的机器学习方法。与早期的神经网络算法相比，深度学习算法使用具有隐藏层的神经元模型构成人工神经网络。隐藏层将输入数据的特征抽象到另一维度，实现将不同类型的数据更好地线性划分。含有隐藏层的神经网络模型如图1-2-5所示。多层隐藏层的引入也意味着如果对网络中所有层进行训练，将导致计算量过大、训练过慢。为此，深度学习算法引入无监督学习克服训练中遇到的训练速度慢、易过拟合等问题。

输入层由输入单元组成，它从外部环境接收信息，接收样本中的特征信息；隐藏层负责执行计算，将数据特征抽象划分；输出层负责将来自隐藏层的信息输出。

通过引入具有多隐藏层的人工神经网络和海量的训练数据，深度学习算法实现了更有效的特征提取，从而提升了结果的准确性。常见的深度学习算法主要有卷积神经网络（convolutional neural network, CNN）、递归神经网络（recurrent neural network, RNN）和生成对抗网络（generative adversarial network, GAN）等。

（一）卷积神经网络

卷积神经网络（CNN）类似于传统的人工神经网络，它们由通过学习进行自我优化的神经元组成。每个神经元仍然会接收一个输入并执行一个操作（如一个标量积和一个非线性函数）——这是无数人工神经网络的基础。从输入的原始图像向量到类分数的最终输出，整个网络仍然将表达一个单一的分数函数（权重）。最后一层将包含与类相关联的损失函数，并且为传统ANN开发的所有常规提示和技巧所适用。

CNN是一种前馈神经网络，能够从具有卷积结构的数据中提取特征。与传统的特征提取方法不同，CNN不需要手动提取特征。它的架构的灵感来自视觉感知。一个生物神经元对应于一个人工神经元；CNN内核代表不同的受体，可以对不同的特征作出反应；激活函数模拟了只有超过一定阈值的神经电信号才能传输到下一个神经元的功能。损失函数和优化器是人们发明的东西，用来传授整个CNN系统学习以达到我们的期望。

CNN的优点：①局部连接，每个神经元不再连接到前一层的所有神经元，而只连接到少量的神经元，有效减少参数和加速收敛。②权重共享，一组连接可以共享相同的权重，从而进一步减少参数。③降采样和降维，池化层利用图像局部相关原理对图像进行降采样，在保留有用信息的同时减少数据量。它还可以通过剔除冗余信息来减少参数的数量。

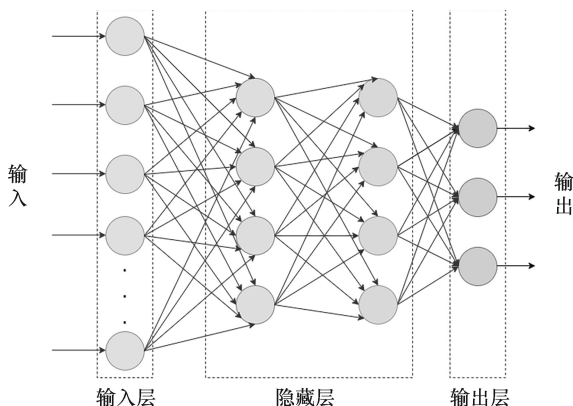


图 1-2-5 含有隐藏层的神经网络模型

这三个优点使 CNN 成为深度学习领域中最具代表性的算法之一。CNN 由卷积层、池化层和全连接层组成。卷积层通过计算神经元的权重与连接到输入体积的区域之间的标量乘积,来确定连接到输入的局部区域的神经元的输出。校正后的线性单元(通常简称为 ReLU)的目的是应用一个“元素级”激活函数,如前一层产生的激活的输出。池化层将简单地沿着给定输入的空间维度进行降采样,进一步减少该激活中的参数数量。然后,全连接层将执行与标准 ANN 中相同的职责,并试图从激活中产生类分数,用于分类,并建议在这些层之间使用 ReLU,以提高性能。

在大数据时代,与传统的方法不同,CNN 能够利用大量的数据来获得良好的结果。因此,出现了很多应用程序。它不仅可用于二维图像的处理,也可用于一维和多维场景。

一维 CNN (1D CNN) 通常利用一维卷积内核来处理一维数据。当从整个数据集中的固定长度的片段中提取特征时,它是有效的,而特征的位置并不重要。因此,一维 CNN 可应用于时间序列预测和信号识别等方面,在医学领域,其可应用于数据的时间序列预测,如心电图(ECG)时间序列;信号识别是根据 CNN 从训练数据中学习到的特征对输入信号进行区分,可应用于心电信号识别、结构损伤识别和系统故障识别。

二维 CNN (2D CNN) 常见的应用有图像分类、目标检测、图像分割、人脸识别等。图像分类是将图像分类为一个类别的任务。CNN 代表了这一领域的一个突破,在医学图像处理方面,可用于骨折级别的判定。目标检测是基于图像分类的。系统不仅需要识别输入图像属于哪个类别,还需要用边界框标记它。图像分割将图像分割为不同的区域。它必须标记图像中不同语义实体的边界。人脸识别是一种基于人脸特征的生物特征识别技术。

在三维(3D)及包含时间维度的视频序列等多维领域中,CNN 可被用作动作识别。基于人体姿势的动作识别方法利用丰富的视觉信息,在许多工作中得到了应用。

(二) 递归神经网络

在海量的数据中,有一类数据被称作时序数据。时序数据通常是指在不同时间点收集到的同类数据,这些数据能够反映出某个现象或事物随着时间变化而发生的变化,它们的特点是前后数据存在某种联系。在分析这一类数据时,要注重对上下文的联系,传统的全连接神经网络模型是无法联系上下文分析的,因此出现了递归神经网络(RNN)。RNN 是一种特殊的神经网络,其本身采用循环的结构,可以实现网络层内神经元之间的信息传递。这种特性使得 RNN 能够很好地处理时序数据,如文本、语音等。

RNN 有多种结构,分别为一对一、一对多、多对一和多对多(图 1-2-6)。以这四种经典结构为原型进行变种得到的编码器-解码器(Seq2Seq)结构因为对输入、输出长度没有要求,在语音识别、机器翻译、DNA 序列分析、文本摘要生成等方面有着更加广泛的应用。这种结构的原理图如图 1-2-7 所示。

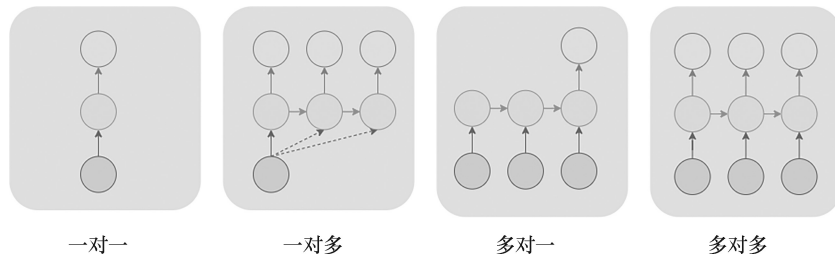


图 1-2-6 递归神经网络的多种结构

一对一结构是最基本的单层结构,输入 x 经变换得到 y ; 一对多模型有两种形式,一种是将 x 作为第一阶段的输入,一种是将 x 作为每一阶段的输入;多对一模型主要用于处理序列分类问题,它的特点是输入为一个序列,输出是一个单值;多对多模型是最常用的 RNN 形式,这种形式在运算中使用的参数都是共享的