

# 人工智能在神经医学中的应用综述

李诗语 王 峰 曹 彬 梅 琪

(广东工业大学信息工程学院 广州 510006)

**摘 要** 人工智能影响着人们生活的方方面面,而医疗也成为了人工智能最热门的应用领域之一,越来越多的人工智能设备被用于辅助医生进行诊断和治疗。对人工智能在神经医学中的应用进行了综述,特别针对帕金森病和阿尔兹海默症的诊断进行了详细的归纳分析。首先,阐述了人工智能的发展历史、分类和应用现状;其次,归纳总结了利用人工智能诊断帕金森病和阿尔兹海默症的研究现状,对比分析了其中采用的关键技术;最后,总结了人工智能应用于神经医学中的关键技术,阐明了人工智能应用于医疗领域的重要性,并展望了未来人工智能应用于神经医学中的研究方向。

**关键词** 人工智能,帕金森病,阿尔兹海默症

**中图分类号** TP183 **文献标识码** A

## Application Survey of Artificial Intelligence in Neurology

LI Shi-yu WANG Feng CAO Bin MEI Qi

(School of Information Engineering, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, China)

**Abstract** Artificial intelligence affects all aspects of people's lives, and medical treatment has become one of the most popular areas of artificial intelligence. More and more artificial intelligence equipments are used to assist doctors in the diagnosis and treatment. The application of artificial intelligence in neurology was reviewed, especially for the diagnosis of Parkinson's disease and Alzheimer's disease. Firstly, the development history, classification and application status of artificial intelligence were expounded. Secondly, the research status of artificial intelligence diagnosis of Parkinson's disease and Alzheimer's disease was summarized, and the key technologies used to diagnosis Parkinson's disease and Alzheimer's disease were analyzed. Finally, The technology in the application of medicine was summarized, and the importance of the application of artificial intelligence in the medical field was clarified. The future research direction of artificial intelligence in the application of neurology was prospected.

**Keywords** Artificial intelligence, Parkinson, Alzheimer's disease

随着互联网和物联网技术的迅速发展,需要处理的数据量越来越庞大,大数据时代降临,人工智能应运而生。目前,人工智能已经渗透到各个领域,如无人驾驶、医学、金融贸易、重工业、运输、远程通讯、游戏和音乐等领域。其中,将人工智能与医学结合可以辅助医生诊断、治疗一些疾病,提高医生的效率及诊断的准确率,缩短治疗时间。日本东京大学医学研究院的科学家利用美国国际商用机器 (IBM) 公司研发的“沃森”人工智能系统在 10 分钟内就判断出一名 60 岁女性患有罕见的白血病,并向研究人员提出了治疗方案。此事激发了科学家对将人工智能应用于医学领域的兴趣。由于中国社会呈现老龄化,一些老年病如帕金森症和阿尔兹海默症受到越来越多的关注,这两种疾病的早期诊断也一直是医学界的难题。本文对现有涉及人工智能治疗这两种疾病的文献进行了综述和总结。人工智能通过分析海量数据辅助早期诊断,大大提高了医生的效率,防止了病情的恶化,为病人提供了准确的治疗方案,降低了误诊率,缓解了医疗资源不足的问题。因此,将人工智能应用于医疗领域具有广阔的应用前景。

## 1 人工智能的发展概述

### 1.1 人工智能的发展历史

1950 年,图灵在一篇论文中提出了著名的图灵测试,即把 1 个人和 1 台机器隔开,通过一些设备向机器提问,如果机器超过 30% 的回答让人不能分辨出这是人还是机器的回答,则认为这个机器通过了图灵测试,即机器拥有人类智能。图灵因此被称为人工智能之父。1956 年,达特茅斯会议在美国达特莫斯大学举行,会议首次提出了人工智能的术语,同时出现了最早的一批研究者和最初的成就,AI 被认为是首次诞生于这次会议。麻省理工大学、卡内基梅隆大学、斯坦福大学、爱丁堡大学的人工智能项目都受到了政府的资助,不过这些资金的投入并未达到预期的效果,受限于当时电脑的处理速度,人工智能并不能解决实际问题。20 世纪 70 年代迎来了人工智能研究领域的第一次低谷,直到 1981 年才逐渐回暖,日本拨款支持人工智能,希望研究出可以和人对话、能像人一样分析和处理图片的机器人。随后,美国、英国纷纷响应,

李诗语(1994—),女,硕士生,主要研究方向为机器学习、信号处理,E-mail:276087832@qq.com;王 峰(1961—),男,教授,主要研究方向为卫星导航、纳米电子器件仿真、机器人和智能车辆建模和控制;曹 彬(1992—),男,硕士生,主要研究方向为机器学习、信号处理;梅 琪(1991—),女,硕士生,主要研究方向为卫星导航、信号处理。

人工智能开始了第二次发展。

人工智能经过7年的研究仍未有明显进展,便出现了第二次低谷,直到1993年才重新引起重视。终于,在1997年由IBM研发的深蓝机器人战胜了国际象棋世界冠军,这次事件引起了极大的轰动,也被称为人工智能研究领域的里程碑。随着越来越多的科学家投入人工智能方向的研究,人工智能开始迅速发展,其研究方向目前可分为认知计算、机器学习和深度学习,其功能也越来越多,包括语音识别、自然语言理解、数据挖掘、计算机视觉等,人工智能开始真正地造福人类。

## 1.2 人工智能的发展方向

目前人工智能主要有3个分支,分别是认知计算、机器学习和深度学习。

认知计算的优势在于可以轻松处理复杂和二义性的事物,包括处理语言、图像,视频等。其独特之处在于通过大数据的方式,利用数据采集、模式识别和自然语言处理,让计算机系统能够像人的大脑一样学习、思考,并做出正确的决策。认知计算系统可以成为一个很好的辅助工具,帮助解决人脑不擅长解决的一些问题。

机器学习是人工智能的核心。机器学习就是通过算法,使得机器能从大量历史数据中学习规律,从而对新的样本做智能识别或对未来做预测<sup>[1]</sup>。机器学习的发展分为浅层学习和深度学习。机器学习的主体是对算法的研究,涉及概率学、统计学、逼近论、凸分析、算法复杂度理论等多门学科。机器学习的核心是数据,它通过对大量混乱的数据进行排序、归类,从数据中发现规律,并在实践中不断完善和改进自我。因其学习算法中涉及了大量的统计学理论,所以它又被称为统计学习理论。

深度学习是机器学习研究中一个新的领域,其主要目的是建立模仿人脑的神经网络,因此被称为人工神经网络。与以往的非学习方法相比,深度学习之所以被称为“深度”,是相对支撑向量机(Support Vector Machine, SVM)、提升方法(boosting)、最大熵方法等“浅层学习”方法而言的<sup>[2]</sup>。其神经网络的层数更多,可以处理更加庞大的数据,经过长时间的训练,可以达到更高的准确度。典型的深度学习模型有卷积神经网络(Convolutional Neural Network, CNN)、DBN(Deep Belief Network)和堆栈自编码网络(Stacked Auto-encoder Network)模型等<sup>[3]</sup>。深度学习方法可分为监督学习和无监督学习,例如卷积神经网络就是一种深度监督学习下的机器学习模型;深度置信网络就是一种无监督学习下的机器学习模型。有了深度学习后,机器学习才有了许多实际的应用;它还拓展了AI的整体范围,使得各种类型的机器辅助变成可能。

## 2 人工智能在神经医学领域的应用现状

目前,人工智能已被应用于社会的各行各业,如自动驾驶、机器翻译、指纹识别、智能机器人等。在军事方面,其应用有卫星图像处理、飞行器跟踪、成像精确制导、目标检测等;在医学方面,其应用有医学图像分析、可穿戴设备检测数据等。Andre Esteva等人<sup>[4]</sup>就将人工智能应用于医学图像分析,使用深度卷积神经网络来分类皮肤损伤的图像,以此来判断是否为皮肤癌,例如分类角质化细胞癌与良性脂溢性角化病、分类

恶性黑素瘤与良性痣等。在对这些症状的分类中,Andre使用了大约12万张图片来进行训练,实现了与专家相当的精确度,体现了深度学习在大数据应用中的优势。在工业方面,其应用包括各种检测系统、分类系统和监控系统等。

人工智能改变了人类的生活方式,人类生活的许多应用中都有人工智能的影子,如智能手机里的指纹解锁和语音识别等。但当前的人工智能都属于弱人工智能,随着研究的深入,未来的人工智能水平必然会走上一个新的高度。目前世界上的科学家对人工智能的发展持有两种态度:1)人工智能对于科学技术领域来说是一种革命,可极大地改变人类的生活和科技水平;2)当人工智能由弱人工智能发展为强人工智能时,人工智能具有自己的思维,可能会产生极大的破坏力,威胁到人类的生存。因此,在研究人工智能的同时,也要考虑到这些负面的影响<sup>[5]</sup>。

### 2.1 人工智能在帕金森病中应用的研究现状

随着现代社会人口老龄化的加重,帕金森病作为一种多发于中老年人的神经系统病变疾病,也引起了社会各界的重视。该病的主要特点是震颤、僵硬、运动缓慢和姿势不稳定性<sup>[6]</sup>。帕金森病的早期诊断一直是医学界的难题,通常在诊断出该疾病时,约60%的黑质纹状体神经元已经退化,80%的纹状体多巴胺耗尽<sup>[7]</sup>。目前,该病的诊断主要依据病史、临床症状和体征以及抗帕金森病药物的治疗反应,但是由于该病起病缓慢,只有当黑质多巴胺神经元缺失到一定程度时才出现临床症状,因此当患者得到确诊时往往已处于疾病的晚期,错过了最佳治疗时机<sup>[8]</sup>。所以,新的治疗方法在此领域的发展取决于两个主要方面:1)该疾病的早期诊断;2)治疗有效性的正确和恒定的评价。虽然一些知名的药物可以帮助患者在早期阶段应对疾病,但若长期使用则可能加速神经变性<sup>[9]</sup>。因此,科学家们一直致力于研究帕金森病的早期诊断。

由于震颤、运动幅度减小等症状,帕金森病病人的写作往往比正常人的更小、更扭曲。Pereira CR等人<sup>[10]</sup>提出了一种帕金森病早期检测的方法,即用智能笔对患者进行手写检查,让患者用智能笔绘制相应的图形。该智能笔产生的信号由6个传感器输出,分别是麦克风、手指握力传感器、油墨的轴向压力传感器和三轴加速度传感器。通过使用卷积神经网络(CNN)对患者绘出的图像进行处理,对比患者绘制的图形和智能笔输出的信号来判断被试者是否患有帕金森病。与正常人相比,患者绘制的图形抖动较大,智能笔输出的波形也比较杂乱。此方法属于非侵入式的检测方法,不会让患者感到痛苦,检测费用也比较低廉。日本大阪的Fukawa K等人<sup>[11]</sup>也通过患者的手部运动来判断帕金森病,不同的是,该研究通过人工神经网络来估计帕金森病患者的手指敲击得分。其测量系统由一对3轴加速度计、一对触摸传感器、模数转换器和个人计算机组成。该实验的具体实施过程是将加速度计放在食指和拇指的远端指间关节上,首先将由不锈钢板制成的触摸传感器放在手指的腹侧表面,传感器分别连接受试者的食指和拇指;其次将受试者的手固定在桌子上,使其尽可能快地执行手指敲击运动,持续60秒;最后用该系统测量患者手指敲击期间的加速度,从获得的加速度中提取4个特征,通过三层人工神经网络模型估计手指敲击得分。该模型使用MATLAB神经网络编程工具箱,模型的输入是提取的4个特征,

输出是指敲击得分,通过得分判断受试者是否为帕金森病患者。

同样是根据运动状态判断是否患有帕金森病,加泰罗尼亚大学的 Joan Cabestany 等人<sup>[12]</sup>则提出另一种方法,即开发一种可穿戴式检测系统来实时识别帕金森病患者的运动状态。该系统通过智能手机对患者进行问卷管理,患者也可通过智能手机接收医疗指示和意见,其系统组成包括智能手机、腰部传感器、步态引导系统、功能性电刺激(FES)装置和听觉提示等。其中,步态引导系统是为了防止步态损伤,最大限度地减少步态冻结和跌倒。听觉提示主要在步态问题识别(主要是冻结步态)之后触发。该方法的主要优点是可以长时间实时收集帕金森病患者的动态数据,与传统临床数据(它们都是静态数据)相比,动态数据的数据量大,一定程度上提升了分析的准确度。虽然传统数据可通过大量病人主观的综合感受来帮助医生判断病情,但由于患者对其病情的感受难以准确描述,因此从另一个角度影响了医生的诊断。而该方法可以收集到大量的数据,并使用 SVM 分类器系列对数据进行分类和分析,从而使得医生对帕金森病的判断更加准确,可以尽早确诊。美国的 Kubota K J 等人<sup>[13]</sup>研发了一种用可穿戴式的传感器检测帕金森病的系统。与上文泰罗尼亚大学的研究不同,该系统的方法是收集 GPS 定位、加速度计、陀螺仪、磁力计、接近度和环境光通量等传感器的原始数据,再使用智能手机收集短时间(小于 5 分钟)的步态、声音、摄像头拍摄动作和休息震颤的传感器数据,最后基于 SVM 使用决策边界将输出数据分类,再判断患者患有帕金森病的概率。

除了通过运动状态判断帕金森病,还有学者通过语音和医学超声图像来进行判断。Agarwal A<sup>[14]</sup>提出可以通过语音样本来检测患者是否患有帕金森。首先对语音样本进行特征提取,用极限学习机(Extreme Learning Machine)来分类,准确率为 81.55%。极限学习机的架构如图 1 所示。此方法的优点是可以远程判断患者患有帕金森病的概率,造福了医疗条件不足地区的患者。西里西亚大学的 Blahuta J 等人<sup>[15]</sup>则使用 MATLAB 软件中的神经网络工具箱对医学超声图像进行分类,主要是通过对中脑中的黑质进行分类来判断患者患有帕金森的概率。

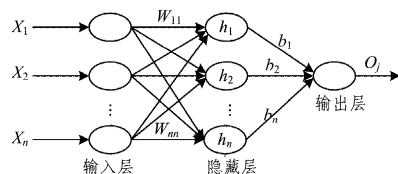


图 1 极限学习机的架构

## 2.2 人工智能在阿尔兹海默症中应用的研究现状

阿尔兹海默症是一种中枢神经系统变性病,又名老年痴呆症,也是一种慢性病,主要症状是记忆丧失、认知功能障碍、语言障碍等<sup>[16]</sup>。在美国,阿尔兹海默症的发病人群数量高达 500 万,主要为 65 岁以上的老人。中国的情况也不乐观,发病人群数量高达 900 万,并且随着中国社会步入老龄化,阿尔兹海默症发病人群数量的增速也将进一步提升。阿尔兹海默症的发病机制主要是患者大脑皮质神经元不同程度地减少或丧失、皮质紫褐质聚集、星形胶质细胞增生肥大神经原纤维缠结、老年斑、颗粒空泡变形及淀粉样血管病等。但阿尔兹海默

症的直接病因至今不明,引起阿尔兹海默症的因素主要有遗传、神经递质、免疫及环境因素等<sup>[17]</sup>。目前,医学界没有单一的测试来诊断阿尔兹海默症,只能根据病史、检查、实验室和脑成像结果,再通过适当培训医生来分析患者病情的原因。通常,需要几个星期才能完成对阿尔兹海默病和相关疾病的诊断评价<sup>[18]</sup>。另外,轻度认知障碍是一种常见于老年人群的认知障碍,大约有 15% 的轻度认知障碍会恶化成阿尔兹海默症,早期检查可以预防疾病的恶化,而目前的检查方式(如骨髓穿刺等)的价格十分昂贵且对患者损伤较大,因此,使用人工智能分析患者的早期数据,进而对阿尔兹海默症进行诊断,显得尤为重要。

Tripoliti E E 等人<sup>[19]</sup>提出用从功能性磁共振成像(fMRI)中提取的信息来辅助阿尔兹海默症状态的诊断和分类。该方法包括 5 个阶段:预处理,建模,特征提取,特征选择和分类。最终对非患者和患者的分类准确度高达 88%。麦克马斯特大学的 Sarraf S 等人<sup>[20]</sup>使用 CNN 和著名的架构 LeNet-5 将阿尔兹海默症的 fMRI 数据与正常数据进行对照分类,使用大量图像进行分类和测试,最后测试健康样本和患病样本的准确性达到了 96.85%;与 Tripoliti E E 等人的方法相比,该方法的准确度提升了 8.85%,体现了深度学习的优势。米德塞克斯大学的 Gao X W 等人<sup>[21]</sup>提出用 CNN 深度卷积神经网络对电子计算机断层扫描(CT)脑图像分类,首先将 CT 脑图像进行切片,把 3D 的 CT 图像切片变为 2D 形式,然后处理切片后的图像,将 CT 图像分为阿尔兹海默症、损伤(例如肿瘤)或正常老化 3 类,准确度分别为 88.8%, 76.7% 和 95.0%,综合平均准确度为 86.8%。Morabito F C 等人<sup>[22]</sup>提出在舒适的休息环境下记录患者的脑电波,在此之前排除各种干扰因素,最后用 CNN 对脑电图(EEG)进行分析。其中,卷积神经网络包括两个部分:1)特征提取,可以自动从原始数据中学习特征;2)可训练多层神经网络(MLP),根据上一部分的学习功能进行分类。此方法可以区分阿尔兹海默症、轻度认知障碍和健康样本,准确度达到 82%。以上这些研究都是基于对医学脑图像的处理、分类来实现阿尔兹海默症的诊断,都能达到一定的准确度,节省了医疗资源,降低了检测费用。

除了基于处理医学图像来诊断阿尔兹海默症,也有从遗传因素等其他因素着手来诊断阿尔兹海默症的方法。MGR 大学的 Joshi S 等人<sup>[23]</sup>提出一种对帕金森病和阿尔兹海默症进行分类的方法,使用诸如年龄、糖尿病、心脏病、高血压、吸烟、低密度脂蛋白、酒精和遗传因素的主要危险因素开发分类模型,从中找出阿尔兹海默症和帕金森病患病的主要风险因子。最终计算得出的风险因子表明,年龄、基因、糖尿病、吸烟和中风是这两种疾病的最强危险因素,其中中风和糖尿病在帕金森病中的诱发作用更明显。在测试样本和分类模型上分别使用随机森林树和多层感知器的分类模型,实验表明对帕金森病和阿尔兹海默症分类的准确度达到了 99.25%。另外, Hosseini-Asl E<sup>[24]</sup>等人则采用深 3D 卷积神经网络(3D-CNN)来分析心室尺寸、皮质厚度和海马体模型等这些与阿尔兹海默症相关的特征,以预测疾病。

**结束语** 本文首先介绍了人工智能的发展历史和人工智能的发展方向,接着介绍了人工智能应用于帕金森病和阿尔

兹海默症的意义和目前的研究现状,并分析了当前使用人工智能对帕金森病和阿尔兹海默病进行诊断的方法。主要结论如下:

(1)对于使用人工智能诊断帕金森病,本文所介绍的几种方法主要包括使用人工智能通过手指运动检测帕金森病,使用一整套可穿戴设备检测患者平时的运动数据,使用神经网络处理患者的语音样本来判断是否患病以及分类患者的医学超声图像等。其主要思想都是使用人工智能对大量的数据进行收集、处理和分析。诊断方法具有费用低廉、患者无痛苦、可远程观测等优点,若推广使用,将有助于医生对帕金森病的诊断。

(2)对于人工智能对阿尔兹海默症的诊断,本文介绍的方法包括使用神经网络分析医学图像(如fMRI,CT,EEG等)来判断被试者是否患有阿尔兹海默症,或者是用心室尺寸、皮质厚度和海马体模型等来判断。还有研究工作使用遗传因素来判断阿尔兹海默症,准确度可以与有经验的医生相当,不仅可以降低误诊率,还可以节约医疗资源。

尽管目前人工智能对帕金森病和阿尔兹海默症的诊断能达到一定的准确度,但其中仍然还存在一些问题。

(1)人工智能检测疾病时需要大量的数据进行训练,数据越多精度越高,但这些研究必须在患者愿意公开他们的数据的前提下进行,由于涉及到患者隐私,因此目前可供研究的数据量仍然相对较小。

(2)训练网络的过程中容易出现过拟合的现象,训练样本过大时容易将样本自身的特点当作样本的普遍特点,例如使用可穿戴设备检测帕金森病时,容易把训练样本的一些正常的日常活动(如除草)当作是帕金森的震颤,从而间接影响诊断结果。

(3)在实验条件下,训练集数据中难免会混入测试集的数据,从而破坏训练集和测试集数据的独立性,造成测试精度不准确。

(4)人工智能仍然不能代替医生诊断疾病,机器不能给病人关怀和尊重,不能像医生那样给病人带来心理安抚,有时候病人对病情的一些主观综合感受需要得到医生的解答,这些主观综合感受对病情诊断十分重要,这是机器暂时无法完成的。

综上,未来人工智能在神经医学中应用的发展方向是提升对这两种疾病的诊断准确度,在实现方式上可以着重提高算法精度,尽量增加检测到的数据量,克服以上缺点。在实际应用中也可以实现诊断系统,同时使用本文提到的多种方法来对疾病进行一个综合的诊断,以提高诊断的正确率。

## 参考文献

[1] 余凯,等.深度学习的昨天、今天和明天[J].计算机研究与发展,2013(9):1799-1804.

[2] 尹宝才,王文通,王立春.深度学习研究综述[J].北京工业大学学报,2015(1):48-59.

[3] 刘建伟,刘媛,罗雄麟.深度学习研究进展[J].计算机应用研究,2014,31(7):1921-1930.

[4] ESTEVA A, KUPREL B, NOVOA R A, et al. Dermatologist-level classification of skin cancer with deep neural networks[J]. Nature, 2017, 542(7639): 115.

[5] 韩晔彤.人工智能技术发展及应用研究综述[J].电子制作,2016(12):95-95.

[6] SHETTY S, RAO Y S. SVM Based Machine Learning Approach to Identify Parkinson's Disease Using Gait Analysis[C]//International Conference on Inventive Computation Technologies (ICICT). 2016.

[7] FRID A, KANTOR A, SVECHIN D, et al. Diagnosis of Parkinson's Disease from Continuous Speech using Deep Convolutional Networks without Manual Selection of Features[C]//International Conference on the Science of Electrical Engineering. 2016.

[8] 丁宏娟,何建成,周阿高.帕金森病早期诊断的中西医结合方法探索[C]//中国中西医结合学会诊断专业委员会2009'年会论文集.2009.

[9] LI Z, ZHANG Y. Application of arithmetic CAP2 in medical diagnosis expert system[C]//International Conference on Education Technology and Computer. IEEE, 2010; V2-297-V2-299.

[10] PEREIRA C R, WEBER S A T, HOOK C, et al. Deep Learning-Aided Parkinson's Disease Diagnosis from Handwritten Dynamics[C]//SIBGRAP 2016 - Conference on Graphics, Patterns and Images. 2016; 340-346.

[11] FUKAWA K, OKUNO R, YOKOE M, et al. Estimation of UPDRS Finger Tapping Score by using Artificial Neural Network for Quantitative Diagnosis of Parkinson's disease[C]//International Special Topic Conference on Information Technology Applications in Biomedicine. Tokyo; IEEE, 2007; 259-260.

[12] CABESTANY J, LÓPEZ C P, SAMA A, et al. REMPARK: When AI and technology meet Parkinson Disease assessment [M]//Mixed Design of Integrated Circuits and Systems. IEEE, 2013; 562-567.

[13] KUBOTA K J, CHEN J A, LITTLE M A. Machine learning for large-scale wearable sensor data in Parkinson's disease: Concepts, promises, pitfalls, and futures[J]. Movement Disorders Official Journal of the Movement Disorder Society, 2016, 31(9): 1314.

[14] AGARWAL A, CHANDRAYAN S, SAHU S S. Prediction of Parkinson's Disease using Speech Signal with Extreme Learning Machine[C]//2016 International Conference on Electrical, Electronics, and Optimization Techniques (ICEEOT). 2016; 3776-3779.

[15] BLAHUTA J, SOUKUP T, CERMAK P, et al. Ultrasound medical image recognition with artificial intelligence for Parkinson's disease classification[C]//2012 Proceedings of the International Convention. 2012; 958-962.

[16] BHATKOTI P, PAUL M. Early diagnosis of Alzheimer's disease: A multi-class deep learning framework with modified k-sparse autoencoder classification[C]//IEEE Image and Vision Computing. New Zealand, IEEE, 2017.

[17] 张勇,刘小莉,郭利锋. SPECT/CT影像技术用于阿尔兹海默症患者诊断的临床价值分析[J].中国民康医学,2017,29(2):4-5.

[18] UEMURA T, ISHII K, MIYAMOTO N, et al. Computer-assisted system for diagnosis of Alzheimer disease using data base-independent estimation and fluorodeoxyglucose-positron-emission tomography and 3D-stereotactic surface projection[J]. Ajan American Journal of Neuroradiology, 2011, 32(3): 556-559.

由图6可以看出,当推荐列表长度为1~3时,准确率下降得比后半段快;当推荐列表长度大于3时,准确率的变化相对较小,即曲线趋于平缓。召回率曲线较为均匀,没有在哪一段有明显区别;覆盖率曲线则在推荐列表长度在1~3时变化较大,其后也趋于平缓。因此,最合适的推荐列表长度为3,在其余数据集上也取得了类似的表现。

#### 4.5 算法对比

计算不同的推荐引擎权值组合下推荐系统的预测准确度和覆盖率,选择效果最佳的组合作为组合推荐算法,在同样的数据集上,将其与文献[8]的基于Markov链和关联规则的预测模型以及分别单独使用3种推荐引擎的推荐方法进行比较,推荐的准确率结果如表1所列。本文所提出的组合推荐系统的推荐效果优于基于Markov链和关联规则的预测模型,且总体优于分别单独使用任何一种推荐方法的效果。

表1 不同算法推荐准确率的对比

数据集	本文方法	文献[8]方法	仅用频度统计方法	仅用关联规则方法	仅用Markov链方法
第一组	0.15269	0.14813	0.14127	0.08807	0.12998
第二组	0.21183	0.20535	0.19323	0.05421	0.19392
第三组	0.21183	0.10858	0.09198	0.06660	0.09254
第四组	0.11004	0.10645	0.08557	0.09433	0.09080
第五组	0.17763	0.17638	0.16548	0.17839	0.17534
第六组	0.10578	0.10124	0.09067	0.00919	0.09145
第七组	0.15626	0.15209	0.06550	0.15528	0.16742

**结束语** 本文提出一种餐厅点单的组合推荐系统,该推荐系统的推荐主体由3个推荐引擎组成,分别使用频度统计、关联规则和Markov链生成初步的推荐结果后,由推荐系统进行整合、排序、筛选,从而产生推荐结果。基于预测准确度(准确率和召回率)和覆盖率等离线评价指标评估推荐系统的性能,并通过推荐引擎权重和推荐列表长度两个参数优化推荐系统的性能。3个推荐引擎的权值组合中,效果最佳的是(0.2167, 0.5167, 0.2666),该结果具有普适性;在(0.2167, 0.5167, 0.2666)权值下,最佳的推荐长度为3。

在今后的工作中可以进一步研究消费者的背景信息(如性别、年龄等)对推荐的影响。

#### 参考文献

- [1] 赵凌云. 面向服务的消费者行为分析及推荐模型研究[D]. 济南: 山东师范大学, 2014.
- [2] ZHANG F, YUAN N J, ZHENG K, et al. Exploiting dining preference for restaurant recommendation [C] // International Conference on World Wide Web. 2016: 725-735.
- [3] 许海玲, 吴潇, 李晓东, 等. 互联网推荐系统比较研究[J]. 软件学报, 2009, 20(2): 350-362.
- [4] ADOMAVICIUS G, TUZHILIN A. Toward the next generation of recommender systems: A survey of the state-of-the-art and possible extensions[J]. IEEE Transactions on Knowledge & Data Engineering, 2005, 17(6): 734-749.
- [5] 马宏伟, 张光卫, 李鹏. 协同过滤推荐算法综述[J]. 小型微型计算机系统, 2009, 30(7): 1282-1288.
- [6] 何明, 刘伟世, 魏铮. 基于信任网络随机游走模型的协同过滤推荐[J]. 计算机科学, 2016, 43(6): 257-262.
- [7] BREESE, JOHN S, HECKERMAN, et al. Empirical analysis of predictive algorithms for collaborative filtering[C] // Fourteenth Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence. 2013: 43-52.
- [8] 林惠珍, 杨晨晖, 李翠华, 等. 基于Markov链和关联规则的Web访问预测模型[J]. 厦门大学学报(自然科学版), 2010, 49(4): 476-481.
- [9] GÉRY M, HADDAD H. Evaluation of web usage mining approaches for user's next request prediction[C] // ACM CIKM International Workshop on Web Information & Data Management. 2003: 74-81.
- [10] ZUCKERMAN I, ALBRECHT D, NICHOLSON A. Predicting user's requests on the WWW[C] // International Conference on User Modeling. 1999: 275-284.
- [11] 刑永康, 马少平. 多Markov链用户浏览预测模型[J]. 计算机学报, 2003, 26(11): 1510-1517.
- [12] GÜNDÜZ S, ÖZSU T M. A Web page prediction model based on click-stream tree representation of user behavior[C] // ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery & Data Mining. 2003: 535-540.
- [13] 项亮. 推荐系统实践[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2012.
- [14] 于嘉. 基于MAHOUT的几种推荐算法的组合实现与评测[D]. 武汉: 华中师范大学, 2015.
- [19] TRIPOLITI E E, FOTIADIS D I, ARGYROPOULOU M. A supervised method to assist the diagnosis and classification of the status of Alzheimer's disease using data from an fMRI experiment[C] // 30th Annual International IEEE EMBS Conference. 2008: 20-24.
- [20] SARRAF S, TOFIGHI G. Deep learning-based pipeline to recognize Alzheimer's disease using fMRI data[C] // Future Technologies Conference. 2016.
- [21] GAO X W, HUI R. A deep learning based approach to classification of CT brain images[C] // Sai Computing Conference. 2016: 28-31.
- [22] MORABITO F C, CAMPOLO M, IERACITANO C, et al. Deep convolutional neural networks for classification of mild cognitive impaired and Alzheimer's disease patients from scalp EEG recordings[C] // International Forum on Research and Technologies for Society and Industry Leveraging A Better Tomorrow. IEEE, 2016: 1-6.
- [23] JOSHI S, SHENOY D, VIBHUENDRA S G G, et al. Classification of Alzheimer's Disease and Parkinson's Disease by Using Machine Learning and Neural Network Methods [M]. IEEE Computer Society, 2010.
- [24] HOSSEINI-ASL E, KEYNTON R, EL-BAZ A. Alzheimer's disease diagnostics by adaptation of 3D convolutional network [C] // IEEE International Conference on Image Processing. IEEE, 2016.

(上接第32页)