

基于深度神经网络的智能诊断预测模型研究^{*}

李 民 马良玉 姚 智

(南通市第一人民医院(南通大学第二附属医院) 南通 226001)

〔摘要〕 提出一种基于深度神经网络语言模型的诊断预测框架,在南通市第一人民医院医疗数据基础上进行实验并分析结果,指出该框架能够有效提高诊断预测的准确率。

〔关键词〕 临床决策支持系统;诊断预测;深度学习

〔中图分类号〕 R-058 〔文献标识码〕 A 〔DOI〕 10.3969/j.issn.1673-6036.2022.08.009

Study on an Intelligent Diagnosis and Prediction Model Based on Deep Neural Network LI Min, MA Liangyu, YAO Zhi, Nantong First People's Hospital (The Second Affiliated Hospital of Nantong University), Nantong 226001, China

〔Abstract〕 A diagnosis and prediction framework based on Deep Neural Network (DNN) language model is proposed, and the experimental results are analyzed based on the medical data of Nantong First People's Hospital. It is pointed out that the framework can effectively improve the accuracy of diagnosis and prediction.

〔Keywords〕 Clinical Decision Support System (CDSS); diagnosis and prediction; deep learning

1 引言

1.1 研究背景

临床决策支持系统是指运用相关、系统的临床知识和患者基本信息及病情信息,加强医疗相关的决策和行动,提高医疗质量和服务水平的计算机应用系统。其核心任务是诊断预测,其目的是根据患者历史医疗数据预测当前诊断^[1]。为了使决策支持结论更加准确,诊断预测任务需要充分有效地利用

已有医疗数据,包括患者基本信息、电子病历、病程记录以及医嘱、检验、影像、护理信息等^[2-3]。现有临床决策支持系统大多利用机器学习分类模型对结构化数据如患者基本信息、检查检验、医嘱等数据进行建模,对非结构化文本数据,主要使用基于规则的方法抽取关键词进行建模,文本数据利用率偏低^[4]。能够反映患者病情的关键信息主要体现在电子病历、病程记录等文本中,有效利用此类文本数据并将其与结构化数据相结合对提高诊断预测准确率意义重大^[5-7]。

1.2 研究内容

为解决上述问题,本文提出一种基于深度神经网络语言模型的诊断预测框架,可以获得电子病历、病程记录等医学文本数据的深度语境表示,并将其与患者结构化数据相结合,输入到卷积神经网络分类模型

〔修回日期〕 2021-10-07

〔作者简介〕 李民,高级工程师,发表论文 11 篇。

〔基金项目〕 国家自然科学基金面上项目“基于真实世界数据的 2 型糖尿病发生风险预测模型的创建及效用评价”(项目编号:81971708)。

中进行预测，输出最可能的诊断^[8-9]。本文提出诊断预测框架，并针对南通市第一人民医院（以下简称南通一院）医疗数据构建数据集进行验证。实验结果表明使用深度神经网络语言模型对医学文本进行表示，结合结构化医疗数据进行诊断预测，较之以往方法 *F1* 值提高了 13.66%，充分验证了本文提出的诊断预测框架的有效性和先进性。

2 方法

2.1 结构化数据表示

结构化数据主要是指患者就诊产生的基本信息、检查检验、医嘱等数据。这部分数据存储于关系数据库中，结构清晰，较易从中筛选特征并抽取特征向量用于诊断分类系统^[10-12]。选取多个特征作为结构化数据的分类特征，所有特征分为数值型和多项型。数值型指该维度特征值是数字，包括整形和浮点数；多项型指该维度特征值有多个可选值，见表 1。

表 1 结构化数据特征

特征名称	含义	类型	类型
sex	性别	多项型	nominal
age	年龄	数值型	numeric
dept	科室	多项型	nominal
height	身高	数值型	numeric
weight	体重	数值型	numeric
assayDetailName_ 1	检验名称	多项型	nominal
assayDetailName_ 2	检验名称 1	多项型	nominal
...	...	...	...
assayDetailName_ n	检验名称 n	多项型	nominal

2.2 非结构化数据表示

2.2.1 命名实体识别 非结构化数据主要是指患者就诊产生的医学纯文本，如电子病历、病程记录等。高效分析该部分数据是诊断预测的关键。命名实体识别是一项序列标注任务，该任务在给定的文本序列上预测序列中需要标注的标签。使用目前最成功的语言模型双向编码器表征（Bidirectional Encoder Representations from Transformers, BERT）来识别文本中的医学实体。其中 Classification（CLS）为句子开始标志，输入句子为“患者服用华法林后牙

龈出血”，在 BERT 模型中经过多层自注意力机制和残差网络计算，最终识别出 3 个实体：华法林（药品）、牙龈（部位）、出血（症状），见图 1。

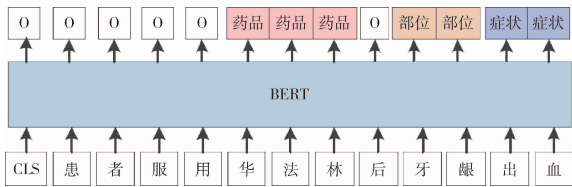


图 1 基于 BERT 的医学命名实体识别

2.2.2 关系抽取 关系抽取使用模板匹配方法。该方法利用医学专家根据经验预先定义的关系模板库，从模板库中对输入文本两个给定实体进行上下文匹配，如果满足模板则输出模板对应关系。在一个句子中，如果有两个实体类型匹配到关系模板的实体 1 和实体 2，则判定其存在对应关系，见表 2。

表 2 实体关系模板

关系名称	实体类型 1	实体类型 2
症状的发生时间	发生时间	症状 +
诊断的发生时间	发生时间	诊断 +
症状的持续时间	持续时间	症状 +
诊断的持续时间	持续时间	诊断 +
症状的部位	部位	症状 +
诊断的部位	部位	诊断 +
症状的程度	程度	症状 +
诊断的程度	程度	诊断 +
症状的程度	症状 +	程度
诊断的程度	诊断 +	程度
症状的性质	性质	症状 +
诊断的性质	性质	诊断 +
症状的频率	频率	症状 +
诊断的频率	频率	诊断 +
症状的诱因	诱因	症状 +
诊断的诱因	诱因	诊断 +
症状的转归	转归	症状 +
诊断的转归	转归	诊断 +
诊断的类型	类型	诊断 +
诊断的分期	诊断 +	分期
诊断的分型	诊断 +	分型
诊断的分期	分期	诊断 +
诊断的分型	分型	诊断 +
检查的结果	检查发现	检查
检查的描述	检查描述	检查
检查的指标	检查指标	检查
检验指标的值	检验指标	属性值
检查指标的值	检查指标	属性值
体征指标的值	体征指标	属性值
检验指标的单位	检验指标	属性值单位
检查指标的单位	检查指标	属性值单位
体征指标的单位	体征指标	属性值单位
药物的剂量	药物	属性值
药物的剂量单位	药物	属性值单位

2.3 诊断分类

诊断分类的本质是多分类任务，采用卷积神经网络（Convolutional Neural Networks, CNN）完成最终诊断预测，见图 2。其中 x_1 为个人信息、医嘱、检验等结构化数据表示矩阵， x_2 为电子病历、病程记录、检查报告等非结构化数据表示矩阵， X 为输入矩阵，其计算方式如下：

$$x = x_1 \oplus x_2$$

得到输入的矩阵 x 后，通过卷积核在矩阵上进行扫描，得到每个窗口卷积后的值 c_i ，然后将所有卷积值首尾拼起来作为卷积层的输出 c ，使用最大池化，得到池化层 $\hat{c}$ ，将所有池化结果通过连接操作拼起来，作为隐藏层 z 。计算方式如下：

$$\begin{aligned} c_i &= f(W^T x_{i:i+h-1} + b) \\ c &= [c_1, c_2, \dots, c_{n-h+1}] \\ \hat{c} &= \max \{c\} \\ z &= [\hat{c}_1, \hat{c}_2, \dots, \hat{c}_m] \end{aligned}$$

从隐藏层 z 到输出层 y ，通过 softmax 函数计算该患者属于每个诊断的概率，然后取概率最大的一个作为本次预测的诊断，计算方式如下：

$$y = \text{softmax} (W^{(s)} z + b)$$

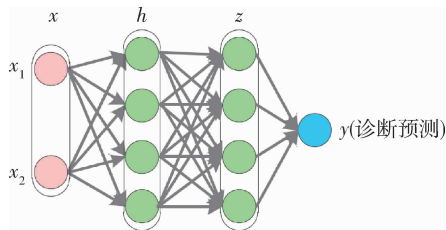


图 2 基于卷积神经网络的诊断预测

3 实验

3.1 数据集

实验中使用的数据集是在南通一院 4 个月的就诊数据基础上生成的，通过多名医学专家进行人工标注，包含病程记录和检查报告等文档共 1 800 份。本文提出的方法需要识别 28 类实体和 32 类关系。28 类实体分别为：治疗、检查发现、检验指标、属

性值、分型、属性值单位、部位、体征指标、症状、诱因、程度、症状 +、药物、检查指标、发生时间、性质、手术、检查、诊断 +、检验、持续时间、类型、频率、检查描述、分期、转归、护理和诊断。32 类关系分别为：症状的发生时间、诊断的发生时间、症状的持续时间、诊断的持续时间、症状的部位、诊断的部位、症状的程度、诊断的程度、症状的性质、诊断的性质、症状的频率、诊断的频率、症状的诱因、诊断的诱因、症状的转归、诊断的转归、诊断的类型、诊断的分期、诊断的分型、检查发现的部位、检查描述的部位、检查的结果、检查的描述、检查的指标、检验指标的值、检查指标的值、体征指标的值、检验指标的单位、检查指标的单位、体征指标的单位、药物的剂量、药物的剂量单位。

3.2 评价指标

为验证本文提出框架的有效性，选择分类模型最常用评价指标：精确率（Precision）、召回率（Recall）和二者的调和平均值 $F1$ ，计算公式如下。公式中 TP 指被模型预测为正的正样本、 FP 指被模型预测为正的负样本、 TN 指被模型预测为负的负样本、 FN 指被模型预测为负的正样本。

精确率度量分类器对某一类别预测结果的准确性，对所有类别求和取均值后可以得到整体精确率。

$$\text{Precision} = \frac{TP}{TP + FP}$$

召回率度量分类器对某一类别预测结果的覆盖面，对所有类别求和取均值后可以得到整体覆盖面。

$$\text{Recall} = \frac{TP}{TP + FN}$$

调和平均值 $F1$ 度量分类器对某一个类别预测结果的精确性和覆盖面。它是精确率和召回率的调和平均值。

$$F1 = \frac{2 * P * R}{P + R}$$

3.3 结果

实验中使用两种方法进行对比，第 1 种方法只用结构化数据进行诊断预测，作为本文的对比方

法, 记为基线方法 (Baseline); 第 2 种方法即本文提出的方法, 将结构化和非结构化数据相结合进行诊断预测, 记为本文提出的方法 (Ours), 见表 3。根据实验结果, 本文提出的框架在数据集上的结果与基线方法相比, 精确率、召回率和 $F1$ 3 个指标均有大幅提高。其中精确率提高了 14.04%, 召回率提高了 13.29%, $F1$ 值提高了 13.66%, 充分验证本文提出诊断预测框架的有效性。

表 3 实验结果 (%)

方法	精确率	召回率	$F1$
基线方法	68.27	66.41	67.32
本文提出的方法	82.31	79.70	80.98

4 讨论

诊断预测是临床辅助决策系统的核心任务, 该任务根据患者的结构化数据 (个人信息、医嘱、检验等) 和非结构化数据 (病程记录、检查报告等) 预测患者诊断, 是医学研究和应用领域最复杂的任务之一。然而现有诊断预测系统对非结构化文本数据的利用率偏低, 导致诊断预测准确率有待提高。近年来深度学习技术受到广泛关注。与传统的机器学习模型需要领域专家手工完成特征工程不同, 深度学习模型可从源数据中自动学习数据表示, 建立与任务相关的特征。患者电子病历等数据的积累为深度学习预测患者诊断奠定了基础。临床诊断预测模型在医学研究与实践中的应用广泛。借助临床预测模型医生和患者可以共同做出决策, 临床研究者可以更精准地筛选合适的研究对象, 政府部门与卫生管理者可以更好地进行医疗质量管理, 合理配置医疗资源^[12-13]。此外临床预测模型的应用价值体现在疾病的三级预防体系。一是疾病的一级预防。临床预测模型可以给患者和医生提供基于当前健康状况、未来患有某疾病的量化风险值 (概率), 为健康教育和行为干预提供更直观、有力的科学工具。二是疾病的二级预防。临床预测模型尤其是诊断模型, 常可借助无创、低成本、易采集的指标给

出高灵敏度和特异度的诊断方案, 践行“早发现, 早诊断, 早治疗”的疾病预防理念, 具有重要卫生经济学意义。三是疾病的三级预防。预后模型可对疾病的复发、死亡、伤残以及出现并发症的概率给出量化估算, 从而指导对症治疗和康复方案的制定, 防止伤残和促进功能恢复, 提高生存质量, 延长寿命, 降低病死率。

5 结语

诊断预测是指利用大规模的医疗数据建成诊断预测模型, 根据就诊数据预测患者可能发生的疾病。该任务在临床辅助决策系统和疾病预防体系中具有广泛应用。本文使用 BERT、CNN 等先进的深度学习模型构建一种诊断预测框架。该框架可以将患者的非结构化文本数据和结构化数据有机结合, 对患者病情做出更准确预测。实验结果表明, 将非结构化文本数据与结构化数据相结合, 能够有效提高诊断预测的准确率, 为临床决策支持系统后续的诊疗推荐等任务奠定基础。

参考文献

- 葛小玲, 孙利, 薛颜, 等. 基于 CDR 的临床决策支持系统设计与应用初探 [J]. 中国数字医学, 2014, 9 (8): 2-4, 34.
- 王红迁, 汪鹏, 王飞, 等. 多元数据融合的临床辅助决策系统的应用 [J]. 中国数字医学, 2019, 14 (11): 18-20.
- 蔡秀军, 林辉, 乔凯, 等. 智能辅助决策支持系统在临床诊疗决策中的应用研究 [J]. 中国数字医学, 2019, 14 (3): 116-118.
- 洪建, 张洁, 陶敏, 等. 新型临床决策支持系统在智慧医院建设中的应用研究 [J]. 中国数字医学, 2019, 14 (9): 3.
- Devlin J, Chang M W, Lee K, et al. BERT: Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding [C]. Minneapolis: Proceedings of the 2019 Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics, 2019.

(下转第 75 页)

提升, 见表 1。智慧实验室系统的搭建不仅支撑转化医学业务和实验室资源共享, 而且将实验室管理信息化水平提升到新高度。

表 1 调查数据 (单位: 小时)

分类	T_m	T_o	T_p	T
系统部署前	6	1	24	8.17
系统部署后	1	0.5	2	1.08

6 结语

本研究梳理智慧实验室管理系统设计方案和管理模式, 总结物联网技术在实验室仪器管理、实验室危化品管理、实验室环境监测和实验动物管理等方面的实践经验。研究仍有不足之处, 目前数据积累情况尚不足以进行决策支持, 智慧实验室管理系统在整合数据资源的同时, 下一步工作中将实现对运行数据的自动收集和统计分析, 为实验室未来建设规划提供可靠的数据和决策支撑。智慧实验室管理系统的成功建设进一步反映了其在设备共享、便捷管理、流程优化和节约资源方面具有较好的推广意义和应用价值。智慧实验室管理系统建设是现代化智慧医院建设和医院智慧管理的重要组成部分, 为转化医学楼临床实验和科学研究提供有力保障, 未来将进一步助力转化医学实验管理的高水平、多元化和国际化发展。

参考文献

1 中华人民共和国中央政府网. 工业和信息化部办公厅关于深入推进移动互联网全面发展的通知 [EB/OL]. [2020-04-30]. http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2020-05/08/content_5509672.htm.

2 国家卫生健康委员会医政医管局. 国家卫生健康委办公厅关于印发医院智慧管理分级评估标准体系 (试行) 的通知 [EB/OL]. [2021-03-15]. <http://www.nhc.gov.cn/yzygj/s3594q/202103/10ec6aca99ec47428d2841a110448de3.shtml>.

3 郭宏. 基于物联网技术的智慧实验室架构研究 [J]. 科技展望, 2017, 27 (27): 16.

4 郝倩. 智慧实验室管理系统的设计 [J]. 电脑知识与技术, 2019, 15 (2): 50-52.

5 周春月, 闫子淇. 基于物联网技术的智慧实验室架构研究 [J]. 实验室研究与探索, 2014, 33 (5): 239-243.

6 聂跃光, 户晓玲. 基于物联网的实验室管理系统设计 [J]. 物联网技术, 2020, 112 (6): 104-111.

7 郑超英. 混合云计算架构在智慧实验室建设中的应用探索 [J]. 当代教育实践与教学研究, 2020, 9 (1): 13-14.

8 林燕奎, 熊贝贝, 王丙涛, 等. 现代智慧实验室的设计和应用 [J]. 实验室研究与探索, 2014, 33 (6): 231-234.

9 邓倩, 王芳, 陈俊伶, 等. 武汉市某中医院脑病科医生门诊工作量状况及适宜工作量研究 [J]. 医学与社会, 2020, 33 (12): 37-41.

10 陶梦野, 郝欢欢. 基于格拉布斯准则的项目活动持续时间估算研究 [J]. 项目管理技术, 2017, 15 (2): 40-43.

(上接第 55 页)

6 Bouvrie J. 1 Introduction Notes on Convolutional Neural Networks [EB/OL]. [2021-06-10]. <https://www.researchgate.net/publications/28765140>.

7 李理, 汪鹏, 左锋, 等. 医院临床决策支持系统设计与应用 [J]. 医学信息学杂志, 2019, 40 (2): 26-28.

8 Eom J H, Kim S C, Zhang B T. AptaCDSS - E: A Classifier Ensemble - based Clinical Decision Support System for Cardiovascular Disease Level Prediction [J]. Expert Systems with Applications, 2008, 34 (4): 2465-2479.

9 Secrest J, Zeller R. Replication and Extension of the Continuity and Discontinuity of Self Scale (CDSS) [J]. Journal of Nursing Scholarship An Official Publication of Sigma Theta Tau International Honor Society of Nursing, 2006, 38 (2): 154-158.

10 Tiwari P, Shah N, Samuel E, et al. Clinical Decision Support Systems [J]. International Journal of Scientific Research in Computer Science Engineering and Information Technology, 2019, 5 (2): 993-995.

11 Oluoch T, Katana A, R Cornet, et al. A Clinical Decision Support System is Associated with Reduced Loss to Follow - Up among Patients Receiving HIV Treatment in Kenya: A Cluster Randomised Trial [EB/OL]. [2021-06-10]. <https://www.researchgate.net/Publications/344816675>.

12 宋佳丽, 郑昕, 蒋立新. 临床辅助决策系统在高血压领域的评价现状和应用前景 [J]. 心血管病学进展, 2019, 40 (2): 147-151.

13 侯冷晨. 知识中台框架下的临床决策支持知识库构建方法 [J]. 中国数字医学 2021, 16 (3): 14-17.