

人工神经网络在中医脉象 识别分类研究中的应用概况*

□燕海霞 王忆勤** 宫爱民 付晶晶 钱 鹏 员凤英
(上海中医药大学 上海 201203)

摘 要:本文就近 10 余年应用人工神经网络开展中医脉象识别分类的研究进行了综述,其中包括应用人工神经网络进行脉象识别分类,基于人工神经网络的中医脉象分类模型建立和基于不同神经网络算法识别中医脉象的比较研究。文章提出进一步研究应结合中医脉象的特点选取有效的特征值及设计不同的分类器,应以实现临床常见脉象类别的准确识别为最终目标,根据分类识别的结果开展脉象形成机制研究,并将研究结果推广应用到临床。

关键词:中医 脉象 人工神经网络 识别分类

人工神经网络(Artificial Neural Network,ANN)是一种应用类似于大脑神经突触联接的结构进行信息处理的数学模型,已广泛应用于信号处理、模式识别、综合评价、医学诊断、预测、自动控制等方面^[1-2]。ANN 的模型现在有数 10 种之多,目前应用较多的典型的 ANN 模型包括基于误差反向传播算法的人工神经网络(Back Propagation neural network, BPNN)、Hopfield 网络、ART 网络和 Kohonen 网络等。其中, BPNN 是目前 ANN 中研究最深入、应用最为广泛的一种模型^[3-5]。

ANN 目前在中医证候研究、中药功效研究、中药复方研究、中医舌诊研究和中医脉象研究等方面都有应用实例^[6]。中医脉象是临床了解病情、判断病证的重要诊察方法之一。中医脉象辨识是医生利用其大脑对所获得的脉象多维信息进行学习和综合诊断

而完成的。ANN 技术是对人脑神经元结构和功能的简化与模拟,与中医辨识脉象的过程十分相似。近年来应用 ANN 开展中医脉象识别分类的研究十分活跃,本文就近 10 年应用人工神经网络方法进行中医脉象的识别分类研究作一综述。

一、ANN 在中医脉象识别分类研究中的应用

1. ANN 用于不同类别脉象的识别

(1)按中医脉象类别进行识别。

岳沛平^[7-8]构建了一个 4 层的 BPNN,并以脉象信号在不同尺度上的频谱特征和频谱-能量作为脉象信号的神经网络识别系统的输入参数。对 1456 例临床脉象实测表明,基于小波变换和 BP 神经网络的中医脉象信号辨识系统不但可以准确识别平、浮、沉、迟、数、虚、实、滑、涩、洪、弦、促、结、代等基本脉,准确率>92%;对浮数、沉数、沉迟、沉弦、弦数、滑数、迟涩、洪数、弦涩等临床常见的相兼脉象,准确率>82%,

收稿日期:2009-06-08

修回日期:2009-08-20

* 国家“十一五”科技支撑计划经费资助(2006BAI08B01-4):中医四诊信息规范采集和融合方法的研究,负责人:王忆勤;上海市第三期重点学科(S30302):中医诊断学,负责人:王忆勤。

** 联系人:王忆勤,教授,博士,博士研究生导师,主要研究方向:中医四诊客观化及证候规范化研究,Email:wangyiqin2380@sina.com。

也有相当高的识别能力。

王炳和等^[9]建立了一个 3 层 BPNN 识别弦脉、滑脉、平脉、细脉、结代脉、数脉、缓脉等 7 种脉象。从脉搏信号的 3 种谱图(功率、倒谱和传递函数谱)所获得的 15 个特征参数中,选取 8 个特征参数作为模式识别的特征分量。共收集脉象样本 280 例,每类脉象 20 例。将 140 个已知脉象样本作为训练样本集,另外 140 个样本作为检验样本集。识别结果表明:对 280 个脉象信号样本中学习过的样本,识别的正确率很高(平均约 99.71%),但对未学习的样本,识别的正确率相对较低(平均约 87.14%)。

陈雷等^[10-11]建立了 3 层 ANN 对弦脉、滑脉、细脉、数脉 4 种脉象进行识别。对 4 种脉象的各 20 组数据进行频谱分析及盒维数的求取,得到 3 个频域特征及盒维数,共 40 组数据作为输入样本。研究结果显示:对于已训练过的样本,弦脉、滑脉、细脉、数脉的识别正确率分别为 100%、80%、100%、70%;对于未训练过的样本,弦脉、滑脉、细脉、数脉的识别正确率分别为 90%、70%、70%、70%。总的正确识别率为 81%。

郭红霞等^[12]建立了一个 3 层 BPNN 来识别平脉、弦脉、滑脉、细脉、数脉、缓脉、结代脉等 7 种脉象信号。首先对脉象信号作 3 层小波包分解,利用小波包分解系数重构信号;然后计算第 3 层从低频至高频 8 个频带的信号能量,以此能量构造出脉象信号的特征向量送入改进的 BPNN 进行训练。网络训练采用改进的 BP 算法,网络训练样本和测试样本各为 240 例。研究结果显示:对于训练过的样本网络识别正确率为 100%,对于未训练的样本,识别效果最差的缓脉也达到了 85%,识别正确率最高的结代脉为 100%,7 种脉象识别的平均正确率为 92.5%。另从脉象信号的三种谱图(功率谱、倒谱和传递函数)分析所获得的 15 个特征参数中,选取 7 个特征参数作为模式分类的特征分量。将 120 个已知脉象样本(每种脉象 20 例)作为训练样本集,采用动量-学习率自适应调整快速 BP 算法对 ANN 进行训练。结果显示:对学习过的样本,识别分类的准确率很高,为 100%;但对未学习过的样本,识别准确率相对较低,平均准确率为 88.80%^[13]。李华东等^[14]采用改进的学习向量量化神经网络(Improved Learning Vector Quantization Neural Network,ILVQNN)进行学习和识别,对脉象进行 8 级 haar 小波分解,分别计算 8 个频带的能量,并

作为识别过程的输入向量。选择数、浮、洪、弦、结、代、促、革脉 8 类,每种脉选取 50 个训练样本,共 400 个样本作为训练样本,识别率达到 95.94%。

(2)按中医脉象要素进行识别。

胡家宁等^[15]按照中医脉象的要素设计 ANN 分类器。浮沉特征分类网络:建立了 3 层 BPNN,采用了 3 种不同的样本特征输入进行了网络训练:①以 5 种不同压力下的脉象幅值作为输入特征;②以 5 种不同压力下的脉象幅值的相邻值之差作为输入特征;③以 5 种不同压力下的脉象幅值和相邻值之差作为输入特征。迟数特征分类网络:建立了 3 层 ANN,输入特征为脉象对应的平均心率。弦滑特征分类网络:建立了 3 层 BPNN,在网络训练之前对脉象波形数据进行了幅值规范化和频率规范化。识别的正确率分别为:数脉的 86.7%,迟缓脉 100%,弦脉 90%,滑脉 90%,弦滑脉 80%。

2. ANN 用于正常人与其他生理病理状态者的脉象识别

(1)正常人与吸毒者脉象的识别。

许继勇等^[16]建立了一个 6-14-1 的二层 BPNN,采用基于非高斯 AR 模型的双谱估计来分析吸毒者和正常人的脉象信号,并将双谱对角切片幅值作为特征矢量输入 BPNN。从 30 个样本随机抽取 20 个作为训练集,将 30 个样本全部作为检验集,网络输出即为识别的结果,得到平均的正确识别率高达 96.7%。

黄镭等^[17]建立了一个 3-7-1 的二层 BPNN,利用倒双谱估计算法对 15 例正常人的脉象及 15 例吸毒者的脉象进行分析,并借助 BPNN 自动检测与辨别吸毒者。将 30 例原始样本分为 20 个训练样本和 10 个测试样本,网络对测试样本的识别率达到了 100%。

蔡坤宝等^[18]设计了具有良好性能的概率神经网络对正常人与吸毒者的脉象进行识别。应用小波变换的多分辨率分析法对 15 例海洛因吸毒者和 15 例正常人的脉象信号进行分析,利用 db2 正交小波对每一例脉象信号进行 3 层分解,取出第 3 层尺度系数的第 6 个分量和第 3 层小波系数的第 2 个分量的绝对值构成特征向量。取 20 个特征向量作为训练样本,另外 10 个作为测试样本。15 例正常人和 15 例吸毒者全部被正确地检测出来,检测率达到了 100%。

(2)正常人与妊娠妇女脉象的识别。

王璐等^[19]选用两层 BPNN 进行正常人与妊娠妇女脉象的识别,提取 131 位妇女的脉象特征,将妊娠

妇女最佳脉形中的 22 个参量值作为网络输入值。为了进一步检验训练后网络的性能,对训练结果做了仿真分析,结果与实际结果吻合较好。对仿真结果作进一步分析,利用 `postreg` 函数对网络仿真的输出结果与目标输出作线性回归分析,并得到两者的相关系数,以此作为网络训练结果优劣的判别依据。回归分析结果显示该网络性能很好。

(3) 正常人与心脑血管疾病患者脉象的识别。

张维平等^[20]把小波和 ANN 技术应用于对心脑血管疾病患者的中医脉象诊断中,采集健康人及不同程度脑血管病患者的脉象信号,利用小波分析中的第 6 层小信号分析心血管病区别于健康人脉象信号的由于动脉硬化、栓塞所引起的脉象信号特征。采用径向基函数神经网络 (Radial Basis Function Neural Network, RBFNN) 对脉象信号的特征进行分类,实现对心脑血管疾病患者进行早期诊断。

二、基于 ANN 的脉象分类模型建立及不同神经网络算法的脉象分类比较研究

1. 基于 ANN 的脉象分类模型建立

胡家宁等^[21]提出一种以 ANN 为手段的脉象智能分析系统模型。拟建立浮沉特征、迟数特征、结代特征、滑弦特征、虚实特征网络。迟数脉类以信号的频率作为分辨的主要指标,结代脉类以信号的节律作为分辨的主要指标,浮沉脉类以不同加压值时的信号幅度变化为主要判别依据,大细脉类以不同加压值时的信号幅度大小作为其分辨依据,滑弦脉类以脉象波形的形态变化为分辨依据。

2. 基于不同 ANN 算法的中医脉象分类比较研究

周越等^[22]进行了 4 种 ANN 分类器用于中医脉象识别的比较研究,选择改进的 BPNN、RBFNN、共轭梯度神经网络 (Conjugate Gradient Neural Network, CGNN) 及模糊极大极小神经网络 (Fuzzy Max-Min Neural Network, FMMNN) 对脉象信号做分类实验,选择弦脉、滑脉、平脉、细脉、结代脉和数脉等 6 种脉象的时域特征参数、频域特征参数、时域波形匹配、小波域特征参数及基于 AR 模型的脉象特征参数等 5 类特征,运用每类特征中对分类有利的特征分量,取长补短,重组特征向量,剔除不利于分类的特征。在分类器的实验比较中发现:(1)在训练集上,BPNN 的效果好于其他分类器,但是在检验集上很差,与其过学习特性有关;(2)CGNN 和 RBFNN 以及 FMMNN 比

BPNN 略好,与 5 种特征的总体分类效果是一致的。(3)由时域特征设计的分类器分类效果最好,最高可达 90%以上,平均识别率也达到了 85%,小波分析的效果最差,而由参数模型设计的分类器效果接近 80%。(4)从特征维数来看,时域特征维数最高,但是在压缩后可以大幅降低特征维数同时识别率仍能保持较高的水平。

徐方维等^[23]建立了一个的二层 BPNN 来区别正常人及吸毒者的脉象,每个输入样本均是选取脉搏信号的第 25-64 这 40 个点作为网络的输入信号,将 30 例原始样本 PP 分为 20 个训练样本信号 $P_{\text{训}}$ 和 10 个测试样本信号 $P_{\text{测}}$,又令训练样本和测试样本分别加上不同信噪比的高斯噪声。用测试样本 $P_{\text{测}}$ 对训练的网络进行测试,仅一例正常人被误判为病人,网络达到了 96.7%的识别率。另用共轭梯度后向传播算法 (Conjugate Gradient Backpropagation, CGBP) 训练的网络来检测上述脉象信号,采用 CGBP 算法与 $P_{\text{训}}$ 样本对原始网络进行训练,只迭代 133 次就达到误差为 10^{-3} 的性能指标。训练完成的网络对 $P_{\text{测}}$ 和 $PP_{\text{测}}$ 的网络测试结果与应用基本 BP 算法训练的网络检测结果相同,均达到了 96.7%的检测率。

三、问题与展望

从现有应用 ANN 方法开展的中医脉象识别分类研究结果来看,ANN 用于脉象特征的识别和分类是可行的,它不仅可以实现对脉象信号同时进行时域-频域局部化分析,并能一定程度上考虑到脉象自身的模糊性,带有智能处理的特色;另一方面人工神经网络的自组织、自学习和容错性等优点,克服了传统识别分类方法的一些不利因素,大大提高了中医脉象的识别准确率,但在实际的研究中仍有需改进的地方。

目前存在的问题及进一步研究的思路:

1. 应结合中医脉象的特点选取有效的特征值输入 ANN

特征值的选取将直接影响到 ANN 的训练能力及 ANN 的收敛特性。中医脉象的特征提取研究较为深入,涉及时域分析、频域分析、时频联合分析等多种方法提取的很多特征。而且,脉象的类别很多,除中医院校规划教材中常提及的 28 种脉象外,临床还有很多相兼脉。单一的特征提取方法获得的特征值很难完全代表所有脉象的特征,从而影响脉象分类

识别的准确性;另一方面,很有可能某一特征提取方法获得的特征值对某些脉象的识别是更有效的,所以进一步的研究应考虑结合多种脉象特征提取方法获得的特征值输入 ANN,进行中医脉象的识别分类研究。

2. 针对脉象的要素设计不同的 ANN 分类器

中医脉象的类别很多,临床常以位、数、形、势等脉象要素来概括脉象的特征,达到执简驭繁的目的。每一个脉象要素所代表的是脉象在不同方面的特征,代表该要素的特征值也应该是不同的。因此在应用 ANN 进行脉象的识别分类研究中,应针对不同的脉象要素,提取不同的特征值,设计相应的分类器进行识别分类研究。这也是实现准确识别临床相兼脉的关键环节。

3. 应以实现临床常见脉象类别的准确识别为最终目标

现有应用 ANN 开展的脉象识别研究中,有一部分研究是涉及正常人与不同生理病理状态人群脉象的识别问题。中医脉象是临床辨别证候的重要参考依据之一,同一种疾病或生理病理状态(如吸毒、妊娠)可能出现不同的脉象,而不同的疾病或生理病理状态又可能出现同一种脉象。因此,脉象分类识别的最终目标是要实现临床常见脉象类别的准确识别。

4. 结合分类识别的结果进一步开展中医脉象形成机制研究

根据 ANN 分类识别中医脉象的结果,可以获得对于某一类或某几类脉象的分类识别有效的特征值,而这些特征值很可能与此类或此几类脉象的形成机制密切相关。因此,可以在此基础上开展中医脉象的形成机制研究。

5. 研究成果应推广应用到临床

现有应用 ANN 开展的中医脉象识别研究几乎都是停留在学术研究阶段,未能推广到临床应用中,中医脉象仪临床判读的准确性即是基于脉象分类识别研究的成果。因此,有必要将脉象识别分类研究的最新成果体现到现有脉象仪的软件设计中,不断提高现有中医脉象仪的判读准确率。

参考文献

1 Mohanty,Swati.Artificial neural network based system identification and

- model predictive control of a flotation column.Journal of Process Control,2009,19(6):991~999.
- 2 Güler,İnan,Gökçil,et al.Evaluating of traumatic brain injuries using artificial neural networks.Expert Systems with Applications,2009,36 (7): 10424~10427.
- 3 Yuen C.W.M,Wong W.K,Qian S.Q,et al.Fabric stitching inspection using segmented window technique and BP neural network.Textile Research Journal,2009,79(1):24~35.
- 4 Yiping Dong,Watanabe T.Network on chip architecture for BP neural network.2008 International Conference on Communications,Circuits and Systems, 2008:964~968.
- 5 姜礼平,胡伟文,龚沈光.基于神经网络和小波分解的目标信号检测方法研究.数据采集与处理,2003,18(4):475~478.
- 6 尹耀慧,金益强,易振佳.神经网络在中医药现代化研究中的应用.中医药导报,2006,12(9):83~85.
- 7 岳沛平.神经网络识别在中医脉象信号辨识系统中的运用.江苏中医药,2005,26(11):4~6.
- 8 岳沛平,李训铭.基于小波变换的中医脉象信号特征提取与分析.医疗卫生装备,2006,27(1):23~25.
- 9 王炳和,相敬林.基于神经网络方法的人体脉象识别研究.西北工业大学学报,2002,20(3):454~457.
- 10 陈雷,杨丽娟.分形理论和小波在脉象识别中的应用.航空计算技术,2008,38(4):41~44.
- 11 杨丽娟,宋蛰存,王术平,等.小波变换和分形理论在脉象识别中的应用.自动化技术与应用,2006,25(7):9~12.
- 12 郭红霞,王炳和,张丽琼,等.基于小波包分析和 BP 神经网络的中医脉象识别方法.计算机应用研究,2006,(6):185~187.
- 13 郭红霞,师义民.中医脉象的 BP 神经网络分类方法研究.计算机工程与应用,2005,(32):187~189.
- 14 李华东,王崇骏,李训铭,等.基于改进的 LVQ 算法的中医脉象识别.广西师范大学学报:自然科学版,2006,24(4):195~198.
- 15 胡家宁,阎述池,王秀章,等.脉象特征人工神经网络分类器.中国医科大学学报,1996,25(6):571~578.
- 16 许继勇,蔡坤宝.参数化双谱估计在中医脉象信号识别中的应用.自动化技术与应用,2007,26(11):33~35.
- 17 黄镭,刘宗行,蔡坤宝.倒双谱估计在海洛因吸毒者脉象信号检测中的应用.重庆工学院学报(自然科学版),2007,21(7):98~102.
- 18 蔡坤宝,吴太阳,戴光明.吸毒者脉象信号的小波与神经网络分析.重庆大学学报:自然科学版,2007,30(10):50~54.
- 19 王璐,吴南健,温殿忠.神经网络在孕妇脉象判别中的应用.黑龙江大学自然科学学报,2003,20(4):66~68,72.
- 20 张维平,张寅,张莎莎,等.小波分析与神经网络在心脑血管疾病脉象信号分析识别中的应用.生物医学工程进展,2008,29(2):84~86.
- 21 胡家宁,阎述池,王秀章,等.脉象人工神经网络分析系统模型.中国医科大学学报,1997,26(2):134~137.
- 22 周越,许晴,孔薇.脉象特性分析和识别方法的研究.生物医学工程杂志,2006,23(3):505~508.
- 23 徐方维,蔡坤宝.神经网络在中医脉象信号检测中的应用.重庆大学学报,2004,27(8):35~39.

Application of the Artificial Neural Network in Recognition and Classification of TCM Pulses

Yan Haixia, Wang Yiqin, Gong Aimin, Fu Jingjing, Qian Peng, Yun Fengying

(Shanghai University of Traditional Chinese Medicine, Shanghai 201203, China)

Abstract: This paper reviews the application of the artificial neural network in recognition and classification of TCM pulses, in terms of recognition and classification of pulses with the artificial neural network, establishment of the pulse classification model based on the artificial neural network, and comparative research of pulse recognition based on different artificial neural network algorithms. This paper also makes some proposals for the future research. That is, to select efficient eigen values in combination with the characteristics of TCM pulses and correspondingly design different artificial neural network classifiers, so as to realize the accurate recognition of common pulses in clinics; to study the pulse formation mechanism based on recognition and classification results, and facilitate its application in clinics.

Keywords: TCM; pulse; artificial neural network; recognition and classification

(责任编辑:崔建华,李沙沙,责任译审:张立崑)

中国科学家揭示光调控植物发育新机制

中科院上海生科院植物生理生态所植物分子遗传国家重点实验室研究员林鸿宣领导的研究组,在水稻重要性状遗传与功能基因研究上又取得重要进展。该研究组通过对水稻耐盐相关基因 *OsHAL3* 的功能分析,揭示了光调控植物发育的一个新机制。相关研究论文于 6 月 21 日在线发表于国际著名学术杂志《自然-细胞生物学》(*Nature Cell Biology*),并将刊登在 7 月份的该杂志上。

这是该研究组自 2005 年以来,继分离克隆水稻耐盐功能基因 *SKC1*、水稻粒重功能基因 *GW2* 和水稻株型驯化基因 *PROG1* 之后,第四次将研究成果发表在 *Nature* 系列杂志上。

植物的生长速度和形态受到很多环境因子的影响,其中阳光是最重要的一个因子。在弱光或黑暗的条件下,植物生长速度较快,形态幼嫩;强光下则反之。这种现象对于植物适应光环境变化,完成生活史以及提高生物产量具有决定性的意义,因而一直以来是植物研究的基本问题之一。长期以来,传统的光受体调控机制是解释这一现象的主流模式。

HAL3 (*halotolerance3*) 是前人在筛选酵母耐盐基因的过程中分离克隆的抗逆相关基因,研究发现其编码一种促进细胞分裂以及提高耐盐性的核黄素蛋白。它的过量表达不仅可以提高植物的耐盐性,还可以加速植物的生长。林鸿宣指导博士生孙世勇和晁代印等通过大量的实验,对水稻中 *HAL3* 同源基因 *OsHAL3* 开展了深入的功能和作用机理研究,发现这一基因介

导了一个与普通光受体模式不同的光控发育机制。

他们的研究证明,该基因编码的蛋白以三聚体的形式行使功能,而阳光特别是蓝光可以促使三聚体解体,从而导致该蛋白功能失活;同时,光线还能抑制该基因的表达。光的这种双重抑制,使得细胞分裂减慢,最终导致水稻的生长变缓。

他们的分析还表明,光照产生的活性氧以及光线对于 *HAL3* 配体 FMN (*flavin mononucleotide*, 黄素单核苷酸) 的直接作用,可能是三聚体解聚的原因。进一步的实验显示, *HAL3* 与一种可能参与降解细胞分裂抑制因子的 E3 泛素连接酶 *HIP1* 互作,并激活后者而促进细胞分裂。而先前发现的磷酸泛酰半胱氨酸脱羧酶的功能则被证明和其参与的细胞分裂作用不相关。

这一结果也是第一次发现 *HAL3* 扮演细胞分裂信号传导的角色。同时,由于 *HAL3* 基因广泛存在于包括人类在内的生物界,使得这一研究具有更广泛的意义。正如该论文评阅人的评论:“这项工作本来以其在植物学方面的贡献就可以得到我的支持发表于 *Nature Cell Biology* 上,但很显然,它应具有更为广泛的影响。”

该研究得到科技部“973”项目、“863”专项、国家自然科学基金委和中科院知识创新工程等的资助。

(文 摘)