数字中医中药

DOI:10.13193/j.issn.1673-7717.2025.09.004

毫米波雷达与中医望诊多维多模态数据采集相关性探讨

王舒怡[1,2],田雨[2],刘红萍[1,2],耿嘉蔚[1,2],杨杰[2]
(1.中国中医科学院中医药信息研究所,北京 100700;2.中国中医科学院中医药数据中心,北京 100700)

摘要:毫米波雷达(Millimeter Wave Radar,MWR)与中医望诊有无感观测的共同点,现有研究证实毫米波雷达应用于医学可以检测出呼吸与心率两大生命体征,除了呼吸与心率,还可通过测距、测速等识别出人体的动作等信号。从毫米波雷达测角、测距、识别人体生命体征等原理出发,根据其可检测到的信号结合望诊的神、色、形、态、面、目、情志、呼吸8个方面探讨二者的关系,基于毫米波雷达结合多种技术一同探测感知人体表现于外的体征,具有理论价值上的意义,并以期能为临床中对疾病的准确判断与迅速诊察作出贡献。

关键词:毫米波雷达;中医望诊;呼吸频率;心跳波;情志;中医药数据科学
中图分类号:R222.19 **文献标志码**:A **文章编号**:1673-7717(2025)09-0016-05

Correlation between Millimeter Wave Radar and Multi - Dimensional and Multi - Modal Data Acquisition of Traditional Chinese Medicine

WANG Shuyi[1],TIAN Yu[2],LIU Hongping[1,2],GENG Jiawei[1,2], YANG Jie[2]
(1. Institute of Information on Traditional Chinese Medicine,China Academy of Chinese Medical Sciences,Beijing 100700,China;
2. National Data Center,China Academy of Chinese Medical Sciences,Beijing 100700,China)

Abstract:Millimeter wave radar and traditional Chinese medicine observation have the same non - inductive observation in common. Existing studies have confirmed that the application of millimeter wave radar in medicine can detect the two vital signs of breathing and heart rate. In addition to breathing and heart rate,it also can identify human movements and other signals through ranging and speed measurement. Based on the principles of millimeter wave radar such as angle measurement,distance measurement and recognition of human vital signs,this paper discussed the relationship between the detected signals and the eight aspects of observation such as spirit,color,body,state,complexion,eyes,emotions and breath,and made theoretical innovations based on millimeter wave radar and various technologies to detect and sense human physical signs displayed outside,in the hope of contributing to the accurate judgment and rapid diagnosis of diseases in clinic.

Keywords:millimeter wave radar;traditional Chinese medicine inspection;respiratory rate;heartbeat wave;emotions;traditional Chinese medicine data science

中医药数据科学是在中医药理论的指导下,将中医药临床诊疗模式与数据科学技术相结合。在中医药数据科学中,可靠的中医信息采集是其后续数据分析、计算、加工、管理、信息化及标准化的重要基础。

目前此领域研究多集中于中医望、闻、问、切的数字化,其中望诊作为中医四诊之首十分重要。应用于望诊诊察过程的数字化技术以图像的获取、预处理、分割和特征的提取及选择、分类识别几个步骤为主,但在探测的精度与适用的设备仪器的研究理论较为冗杂,相关理论也较不完善。毫米波雷达(Millimeter Wave Radar,MWR)探测角度、距离及检测出生命体征信号的特点与望诊诊察内容类似,因而本文从多维多模态数据采集的角度探讨毫米波雷达与中医望诊各个部分结合的可行性,多维即为多种维度,多模态即是从多个模态(例如文本、图像等)来表达或感知事物,探讨望诊与毫米波雷达的关系时,需结合多种技术一同探测感知人体表现于外的体征,即基于多维多模态进行毫米波雷达对于望诊数据的采集。

1 MWR工作原理及中医领域应用现状

1.1 毫米波雷达工作原理 毫米波雷达,是指一种工作在毫米波频段(millimeter wave)、使用短波长电磁波的特殊雷达技术,利用无线电雷达感应被测物体的距离、在空间中的位置以

基金项目:国家重点研发计划项目(2017YFC1703502);中国中医科学院科技创新工程(CI2021A05402);中国中医科学院中医药信息研究所科研项目(JY202301SJZX-2020YFC0845000)
作者简介:王舒怡(2000-),女,河南濮阳人,硕士在读,研究方向:中医药信息学。
通讯作者:杨杰(1974-),女,辽宁沈阳人,主任医师,硕士研究生导师,研究方向:中医药大数据,中医药信息学,中医诊断学。E-mail:seainheart@126.com。

及生命体征信号等信息[1]，完整的毫米波雷达系统包括发送（TX）和接收（RX）射频（RF）组件。随着交叉学科的发展，毫米波雷达应用于中医学，辅助临床中医师开展工作逐渐成为一种趋势。

本文主要依据毫米波雷达检测生命体征信号与测角这两个部分的功能来探讨其与望诊的关系。毫米波雷达检测生命体征信号时，雷达前端产生线性调频连续波信号（chirp 信号），探测到人体的胸腔处，当人体进行呼吸运动以及人体心脏跳动时，胸腔处会产生微小但可识别的位移运动，雷达会随着此种微小运动发生频率与相位的变化[2]。毫米波雷达进行测角时，由于物体之间距离产生的微小变化会导致信号峰值的相位变化，因而可以使用水平面估算反射信号的角度[3]。

1.2 毫米波雷达的特点和实用优势 毫米波雷达作为无感探测物体，具有波长短、频带宽、穿透力强、受自然光和热辐射源影响小的特点[4]。对于其波长短的特点，具有元件尺寸小、结构紧凑且对低速目标有更强的探测识别能力的实用优势，对于其频带宽的特点，具有频段不拥挤、可有效消除相互干扰与可使用窄脉冲或宽带调频信号来研究目标的精细特征的实用优势。

毫米波雷达作为一种计算机型技术，具有测距、测速、测方位角、微动探测以及 4D 成像的功能，目前常应用于自动驾驶技术与手势识别技术等，在微动探测功能方面研发出人体存在传感器与生命体征监测雷达等，可检测、识别到呼吸与心率两种生命特征的信号，从而开始应用于医学。

1.3 探测人体生命体征信号 呼吸与心率是衡量人体患病与否的重要生命体征参数，针对于生命体征信号的采集，一般是采用接触式的仪器，随着毫米波雷达应用于医学，其可在一定距离内无感采集到生命体征的信号，此种非接触式生命体征检测具有显著优势[5]：被监护者无需佩戴任何设备，无感完成全天候检测，既保护了被检测者的隐私，也为对密闭空间检测有心理障碍的患者提供了舒适的检测环境；超强的穿透性使其可以穿透衣物进行检测，减少医生对患者的检测过程中受到的干扰，较高的灵敏度以及毫米级的波长有利于对微小运动进行捕捉，检测结果更优。由于毫米波雷达技术主要对呼吸频率与心跳（心冲击波）进行探测，故针对于呼吸、心跳与血压的研究现状探讨如下。

（1）对于呼吸和心跳的信号探测，XIANG M X 等[6]使用 77 GHz 的调频连续波（FMCW）毫米波雷达检测呼吸与心跳，准确率达到了 98% 以上，并采用迭代 VMD 小波间隔阈值算法提高了检测生命信号时的信噪比；EMMI TURPPA 等[7]对于 FMCW 雷达在类似于睡眠期间一系列正常和异常生理状况的场景中远程监测心率和呼吸的性能进行评估，可以实现在现实生活场景中准确捕获诸如最小呼吸等生命体征。

（2）因呼吸与心跳产生的频率有差别，故在采集相位信号时，需将二者的信号分离而获得各自的数据。信号分离为从复杂混合信号中提取出有效信息，根据呼吸与心率频率的不同，通过不同的带滤波器分离信号，但当心跳信号很弱时易受到呼吸谐波干扰，因此信号的精确提取与分离需借助相关算法。李牧等[8]改进经验小波变换（Empirical Wavelet Transform，EWT）的生命体征分离算法，重构信号分解的系数，利用 SSA - FE - EWT 与麻雀搜索算法进行信号分离，可以获得精确度较高呼吸、心率信号。研究发现，LFM（Linear Frequency Modulated）毫米波雷达可以根据瓣膜振动引起的胸腔微小位移实现非接触式的心音信号获取[9]。

（3）除了呼吸与心率的检测，针对毫米波雷达对于血压的探测，LOVEDEEP SINGH 等[10]认为血压与脉搏波速度高度相关，血压可以通过脉搏波速度测量，故通过使用两毫米波雷达来测量脉搏波速度，间接测量出的血压误差较小，实现了无接触式测量血压。

1.4 毫米波雷达在中医领域中的研究现状 毫米波雷达以其无感探测与实用优势，目前正逐步应用于中医学临床及科研工作当中。YANG J 等[11]研发了一种基于复合毫米波雷达的中医望诊设备，通过调整设备角度，可以监测到心跳频率、呼吸频率等身体特征，很大程度上提高了中医望诊的检测效率，从设备角度创新性将中医望诊与毫米波雷达相结合。顾兰秋等[12]研究发现毫米波雷达可结合耳穴按压，治疗带状疱疹，在一定程度上缓解了患者的疼痛与神经痛后遗症。马长注[13]利用毫米波治疗仪联合艾灸治疗慢性支气管炎，分组对照治疗，发现干预组的总有效率高于对照组。

2 MWR 可获取的望诊信息的中医理论基础

望诊，主要是医者利用视觉对患者进行全身或局部的神色形态等一切可见征象以及排出物进行有目的的观察，分为望整体与望局部，望整体包括望神、望色、望形与望态，望局部包括望头面、五官、颈项、躯体、四肢、皮肤等，是中医病情诊断的方法之一[14]。在中医“四诊”中，望诊居于“神圣工巧”之首，《难经·六十一难》中云：“望而知之谓之神”，强调了熟练运用望诊在临床辨证中的重要性；东汉张仲景在《伤寒杂病论》中亦多有运用望诊的记载，如《伤寒论·辨太阳病脉证并治上第五》中有：“太阳病面色反有热色者，未欲解也”。现代有研究表明，通过人视觉所获得的信息量约占人全部器官获得信息量的 80%[15]，由此可知望诊的过程中可获取的信息较多，在中医临床信息采集中为关键环节，与毫米波雷达相结合在临床中具有研究意义。

2.1 呼吸 呼吸调匀是气的生成和气机调畅的根本条件。呼吸的过程分为吸清与吐浊，吸入外界的清气，并吐出体内产生的浊气，周身之气的升降出入通过五脏六腑完成整个过程。

五脏之气组成一身之气，肺为气之主，肾为气之根，脾为气之源，肝为气之枢，心为气之母。呼吸异常引起的五脏病变可表现于望诊的各个方面，如心气虚，会出现心悸，气短，胸闷不适，面色淡白等表现，反之，五脏病变也会影响到呼吸而体现于外，“五脏六腑皆令人咳，非独肺也”。五脏都参与了呼吸的调节，呼吸也对五脏气机的调畅起了关键的作用，由此可见，对呼吸功能的诊察可体现出五脏之气的正常与否。

“肺在诸脏之上，而诸脏之气咸由之吐纳也”，肺主一身之气和呼吸之气，而人体内的一身之气的运行是由呼吸主导得以升降出入，故而一身之气是否能正常输布、滋养全身，根本上取

决于肺的呼吸功能是否正常[16]。呼吸功能正常与否在望诊中体现于以下几个方面,于形态则为肩颈部起伏平稳,具有规律性,未出现张口抬肩,鼻翼扇动等异常动作;于面部则为面部红润有光泽,若呼吸急促甚至于憋气,在面部则会出现苍白、青紫等异常颜色。

2.2 心跳 心主血脉的理论来源于《黄帝内经》,《素问·痿论篇》云:"心主身之血脉",《素问·五脏生成篇》亦云:"诸血者皆属于心"。心气推动血液的运行与脉搏的跳动,而心脏的正常搏动,是心气及其心阴和心阳的推动和调控作用协调的结果。心血在脉中运行而影响全身脏腑形体官窍,心脏的搏动异常可通过心气不足、心血瘀阻、心阴虚弱、心阳不振等病因而表现于外。由于心在体合脉、其华在面、开窍于舌,位于胸中,所以心主血脉的功能正常与否,故心跳于望诊的诊察手段常反映于面色、舌色、形态等方面,于皮肤色诊则为色泽红润有光泽,舌色红活荣润,若血行不畅,则会出现面色苍白或青紫;于形态则为肌肉不削,摸之有弹性,行走时无步态不稳,静止时气息平稳等。

2.3 情志与心、气的关系理论溯源 中医古籍中已有情志与呼吸、心率具有相关性的论述,主要从情志与心、气的关系出发,其溯源如下。

"故凡七情,皆由心发"(《灵素节注类编·阴阳脏腑总论》),五至七情与心的关系最为密切。《灵素节注类编·内伤五脏》中有,"各脏之神如魂、魄、意、志等,皆由心神所化,凡七情皆从心起",从五脏所主的神志活动的角度出发,认为神魂意志魄都由心神所化生;张子和在《儒门事亲·九气感疾更相为治衍二十六》中有"五志所发皆从心造。故凡见喜怒悲恐思之症,皆以平心火为主",从情志之疾从心论治的角度再次阐明心在五至七情中的重要性。

"视息者,察呼吸以观其气。视意者,察形色以观其情"(《类经·诊有大方》),通过观察一呼一吸来诊察气的运行正常与否,进而调节情志,说明情志与气的关系密切。《素问·举痛论篇》中有"怒则气上,喜则气缓,悲则气消,恐则气下,寒则气收,炅则气泄,惊则气乱,劳则气耗,思则气结",五至七情的改变皆可影响气在人体内的运行输布,进而导致疾病的发生。

3 MWR 在中医望诊中的应用探讨

毫米波雷达与中医望诊都有无感识别人体生命体征的共同点。近年来,传统的中医望诊与科学技术相互融合,使得望诊实现了数字化智能化,与毫米波雷达技术的结合为望诊数字化智能化的全新突破点,由于人体所患疾病可通过神、色、形、态等不同角度表现于外,根据毫米波雷达可通过对呼吸与心率的探测、测距、测速与测角进行非接触性观察人体外部的变化的检测,探讨毫米波雷达应用于中医望诊的可行性。

3.1 望色 《灵枢·五色》中有"黄赤为风,青黑为痛,白为寒",可见早在内经中就重视望色与疾病的关系。"十二经脉,三百六十五络,其血气皆上于面而走空窍",临床上面色诊为望色中的重要部分;色诊中还包括查色脉,《灵枢·经脉》中有:"胃中寒,手鱼之络多青矣;胃中有热,鱼际络赤",可根据脉象表现出来的颜色辨别寒热[17]。

对于颜色的特征识别,常使用相机设备进行采集,毫米波雷达结合相机设备对其进行探测,具有减少相机在特殊情况下如强光产生的误差、优化采集效果等优势。车俐[18]等将基于 cross - attention 注意力机制将毫米波雷达与相机融合,对于相机中的图像生成空间注意力权重,提升了对于小目标检测的精确度;宁波龙等[19]将毫米波雷达与融合偏振彩色立体相机结合,使用深度学习识别彩色图像中的检测对象,发现融合偏振彩色立体相机可以提供彩色图像、深度图像以及像素级偏振图像,采集效果良好,使得毫米波雷达与融合偏振彩色立体相机各自发挥优势,融合互补缺点。对于面部颜色与毫米波雷达的结合,黄海[20]等提出了一种多尺度的时空图来表示心跳引发的人脸皮肤颜色变化,通过 rPPG(远程光体积描记术)信号与 Seetaface 将人脸特征点与心率相对应,提高了心率的估计精度,可通过毫米波雷达先将呼吸、心率的信号进行分解,提取其中的心率信号,再由此进一步推算面部的变化。

因而借此探讨毫米波雷达与相机结合后对于颜色特征信号采集的可行性,对于面色诊,毫米波雷达为多普勒信号提供精准距离信息,识别人体面部,对面部图像进行皮肤块分割,结合相机进行 RGB 颜色的识别,并利用深度神经网络对图像特征进行提取与变换,以排除环境噪声以及冗余数据,根据五种常见的面色建立数据库,识别面部的颜色;对于色脉,可用毫米波雷达对人体手腕部进行定位,血管跳动处有频率相位的轻微幅度,结合相机进行 RGB 颜色的识别血管处表现出的颜色,具有一定的临床意义。

3.2 望目 五脏六腑之精气皆上注于目,眼睛与五脏六腑有着密切的联系,因而目诊在望诊中有着不可替代的重要性。望目可从神、色、形、态四个方面进行诊察,如白睛发黄为黄疸的重要标志,眼球突出颈部肿大多为瘿病,瞳孔的扩大与缩小为检测生命体征的重要特征,瞳孔放大至 10 mm 意味着患者处于濒死状态。

目前毫米波雷达已可以实现眨眼识别,有相关研究将毫米波雷达的空域分集引入眨眼信号表征,距离、角度二维联合动态眨眼检测的振动鲁棒眨眼动态监测[21]。毫米波雷达具有高多普勒频率的特点,可捕捉慢动作与振动的目标,但随着对毫米波雷达的研究,发现其对于室内静止人体的微小动作特征识别能力较弱,眼动为人脸部的微小动作之一,郭进等[22]利用雷达距离门子集的方法来提高微多普勒时频信号的可靠性,构建 FMCW 雷达微多普勒信号模型,提取识别室内静止人体微小动作的微多普勒时频特征,进一步排除了动植物与环境的干扰。仍有研究通过提高毫米波雷达的电磁波频率来提高其对于细微物体识别的精准率,AKANKSHA BHUTANI 等[23]首次通过实验证实了 122 GHZ FMCW(调频连续波)毫米波雷达比 60GHZ FMCW 毫米波雷达具有更高的微米测量精度,由于人体面部的眼动速度变化较细微,需要高频率的毫米波雷达进行识别。

因而借此探讨毫米波雷达应用于目诊的可行性。可将人的瞳孔位于眼眶内的位置作网格图,正常人的瞳孔位于眼眶中央处,大小为 2 ~ 4 mm,两侧瞳孔等大,可利用高频率毫米波雷

达对瞳孔进行特征定位,利用卷积神经网络进一步提取图像特征,振动鲁棒剔除其他冗余信息。

3.3 望形态 望形态可分为望形与望态。望形为对人体形体的强弱以及体形胖瘦的观察,《素问·三部九候论篇》中:“必先度其形之肥瘦,以调其气之虚实”;望态是指通过观察人体动静状态以及肢体的一些异常姿态,如坐而仰首常见于哮病,异常动作有四肢抽搐、手足蠕动、角弓反张等。人体脏腑的病理变化通常会表现于四肢的动作与皮肤状态中,毫米波雷达在定位与动作的识别中研究较为成熟,因而异常形态的检测也应作为新思路。

毫米波雷达检测动作的变化目前主要应用有手势识别、定位车辆以及呼吸带来的胸腔移动等。以毫米波雷达对手势识别的工作原理为例,探讨雷达对于异常动作的探测与识别思路。毫米波雷达可以采集到点云时序数据和距离多普勒时序数据,对采集到的点云数据信息,将动作帧的各个聚类中心连接起来,实现轨迹的提取,进而获得手势发生时的距离信息[24]。YANG SHANGYI 等[25]将雷达的时间测量转化为能量热图的方式结合深度学习,将同时进行位置估计和姿态感知的问题转化为图像分类问题。正常人跟骨底与跟腱在同一条与地面垂直的线上,双侧内踝在同一高度,双侧骨盆同高,脊柱无侧弯,双侧肩峰、肩胛下角平行,头颈无侧倾和旋转。毫米波雷达可测得角度,常结合算法等进一步的提升探测精度,有研究基于单片微波集成电路毫米波雷达、利用数字波束形成方法估计目标的方位角和仰角测角[26],也有研究级联毫米波雷达大规模输出天线阵列[27],提高角度精度。

因而借此探讨毫米波雷达应用于形态望诊的可行性。可以地面或诊断台的床面为参考线,在人体处于静止状态下,身体各部位的角度为范围内取值,将各部位正常姿态的角度取值范围建立数据库,如站立时膝盖和腿踝在中垂线上与地面呈 90 度,坐立时大腿与膝盖在同一水平位置,用毫米波雷达测角。应用于临床上,若患者呈现颈项强直僵硬,脊背后弯、反折如弓,足面或向前或向后屈曲,则可数字化诊断出患者处于静止状态时的异常姿态。

3.4 望神 中医注重“形神合一”,神是人体生命活动表现于外的高度概括,《素问·移气变精论篇》中有:“得神者昌,失神者亡。”神志正常称为得神,神志异常则会根据人体患病程度的不同分为少神、失神、假神、神乱,在精神状态、面色、双目、形态等方面表现不同。现代研究认为,神为中医理论中难以描述以及表现于生理特征的事物,但神可通过诸多外在体征而表现出来,如目光神情、面色表情、语言声音、体态举止、呼吸气息、舌象及脉象等诸多方面,当气血津液充足,脏腑组织功能正常,人体才能表现出良好的神气状态。

由于望神所体现出的是人体的综合状态,可通过目光、颜色、形态等望诊的内容综合表现于外。综上所述,毫米波雷达在精神状态中的应用将分别通过面色、双目以及形态等方面综合体现。

3.5 呼吸 从西医角度来讲,呼吸分为胸式呼吸与腹式呼吸。胸式呼吸为以肋骨和胸骨活动为主的呼吸运动;腹式呼吸以膈肌运动为主的呼吸运动,正常人为混合式呼吸,当人体患病时会根据病情不同改变呼吸方式。如患腹水、腹腔巨型肿瘤等腹部疾病时,由于膈肌活动受限,可出现明显的胸式呼吸;成人患胸膜炎、胸腔积液、肋骨骨折及脊髓胸段靠上的部位横断时,可出现明显的腹式呼吸。毫米波雷达可根据胸部或腹部的位移幅度的不同而区分胸式呼吸与腹式呼吸,若雷达前端产生的线性调频连续波信号探测到胸腔的位移频率比腹部大,则可判断为胸式呼吸;若信号探测到膈肌的位移频率比胸腔大,则可判断为腹式呼吸。若应用于临床,可由此进一步判断病变部位以及病发原因。

3.6 情志 中医情志分为五志与七情,五志为怒喜思悲恐,七情为喜怒忧思悲恐惊。七情之中思与忧情感相似,可以相合;惊亦有恐惧之意,故惊可归于恐,因而情志引发的病情仍以五志对应五脏为主。怒、喜、思、悲、恐对应于五脏则为肝、心、脾、肺、肾,过怒则伤肝,过喜则伤心,过思则伤脾,过悲则伤肺,过恐则伤肾。

从毫米波雷达可探测的呼吸、心跳来论述情志与二者的关系如下,情绪在发生变化的时候,会导致呼吸与心率的变化,当人处于轻松愉悦的状态,呼吸平缓,心跳匀速;当人处于惊吓或发怒的状态时,呼吸急促,心跳没有规律性。正常人呼吸频率次数为 12 ~ 20 次/min,心率为 60 ~ 100 次/min,根据毫米波雷达可探测识别人体生命体征信号的原理,其检测出的呼吸速率、心率变异性参数的数值可对应正常范围。基于毫米波雷达识别呼吸与心跳信号的原理应用于情绪的识别已有相关研究,毫米波雷达检测出的心跳信号与 K 近邻算法、支持向量机和随机森林 3 种机器学习分类算法,提取情绪特征,可识别出高兴、平静、恐惧 3 种不同的情绪[28];DANG X C 等[29]通过毫米波雷达识别人体处于毫米波雷达前观看不同诱导特定情绪的视频时的呼吸心跳的不同,通过各自的 CNN 深度学习模型进行特征提取后的并行融合进行情绪分类,实现了快乐、愤怒、放松和悲伤四种不同情绪的识别。李梦甜等[30]通过研究表明 HRV 指标(心率变异性)可成为识别抑郁症自杀意念的客观生理指标,积极与消极情绪对 HRV 指标的影响程度不同,消极情绪使得交感与副交感神经系统受到抑制,心脏兴奋性也随之降低,故而可利用毫米波雷达分解出的心率变异性进一步识别情绪的变化。

情志的变化则主要体现于面色和形态两个方面。人在喜乐之时,面色通常表现为红润光泽;在恐惧之时,面色苍白;在思虑过度时,脾气结滞,面色呈现蜡黄色;忧虑抑郁时,肝气不畅,面色略发青色(面色前面介绍过不必赘述,此处描述可放在面色部分)此外,人在情绪变化时外部形态也会随之变化,如高兴时“捧腹大笑”;恐惧时“紧缩双肩”,并于面部形态中呈现出“惊恐貌”;紧张时“坐立不安”。(形态前面介绍过不必赘述,此处描述可放在形态部分)LEE I 等[31]基于卷积神经网络建立了一个人体外部关键点的框架;针对于面部表情的识别,GE H L 等[32]认为结合面部动作单元模型和快感唤醒维度模型,以及其他多模态模型,如音频模式、3D 人脸深度信息和人体生理信息,能够使面部表情识别更加具有实用性。

4 讨论

本文主要从 3 个部分探讨毫米波雷达与中医望诊的关系,

一为毫米波雷达的工作原理与特点，二为中医关于望诊以及毫米波当前可测得的呼吸与心率信号的原理解释，三为毫米波雷达应用于中医望诊的具体技术探讨，首次在理论上将毫米波雷达应用于中医诊断技术中，具有一定的创新性。从其测角以及检测生命体征的功能出发，发现毫米波雷达应用于中医望诊的颜色、面目、形态几部分具有一定的可行性，并可由此三部分综合表现于神，在使用毫米波雷达的基础之上，根据望诊部位的不同，结合不同的设备及算法，进一步提高了其创新性与应用于临床的实用性。除了望诊的神色形态 4 个基本方面，对情志与呼吸的检测进行了展望，使得毫米波雷达与望诊的结合更加紧密。伴随着人工智能、机器设备、数字化技术的不断发展，中医的智能化也随之快速发展，将现代技术与设备应用于中医诊断过程中是非常必要的，促进中医在现代科学技术中站稳脚跟，继续为世界医学贡献力量，毫米波雷达技术以其非接触式探测的优势已应用于诸多学科中，由于中医望诊同样属于无感探测人体机能信息的范畴，故而二者的结合不论是理论或实践、数据采集或是诊断治疗，皆具有可行性与必要性。

参考文献

[1] HE M, NIAN Y, GONG Y. Novel signal processing method for vital sign monitoring using FMCW radar[J]. Biomedical Signal Processing & Control, 2017, 33(3): 335 - 345.

[2] 刘震宇，李成光，王梓斌. 基于改进奇异谱分析的毫米波生物雷达干扰抑制方法[J]. 广东工业大学学报，2024，41(1)：47 - 54.

[3] 舒月，傅东宁，陈展野，等. 基于 RD - ANM 的毫米波雷达动目标超分辨 DOA 估计方法[J]. 雷达学报，2023，12(5)：986 - 999.

[4] 王金生，江城城，陈风月. 基于毫米波雷达在汽车尾部盲区中的应用研究[J]. 汽车与配件，2023(23)：66 - 68.

[5] 李牧，骆宇，柯熙政. 基于调频连续波雷达的人体生命体征检测算法[J]. 计算机应用，2024，44(6)：1978 - 1986.

[6] XIANG M X, REN W, LI W M, et al. High - Precision Vital Signs Monitoring Method Using a FMCW Millimeter - Wave Sensor[J]. Sensors, 2022(19): 7543.

[7] TURPPA EMMI, KORTELAINEN JUHA M, ANTROPOV OLEG, et al. Vital Sign Monitoring Using FMCW Radar in Various Sleeping Scenarios[J]. Sensors (Basel, Switzerland), 2020(22): 6505.

[8] 吴丹，杜燕，王永利. 耳针联合疏肝活血汤剂对中风后抑郁患者神经功能和睡眠生活质量的影响[J]. 辽宁中医杂志，2024，51(7)：160 - 164.

[9] 王浩，张兴敢. 基于毫米波雷达的心音检测[J]. 现代电子技术，2023，46(23)：12 - 18.

[10] SINGH LOVEDEEP, YOU SUNGJIN, JEONG BYUNG JANG, et al. Remote Estimation of Blood Pressure Using Millimeter - Wave Frequency - Modulated Continuous - Wave Radar[J]. Sensors (Basel, Switzerland), 2023(14): 1402 - 1406.

[11] YANG J, LIU B Y, WANG B, Beobachtungsger t der traditionellen chinesischen Medizin mit verbundenem Millimeterwellen - Radar [J]. München, 2023(3): 302.

[12] 顾兰秋，刘兰，吴波，等. 耳针按压穴位联合毫米波治疗头面部带状疱疹 80 例疗效观察[C]//中国中西医结合学会皮肤性病专业委员会. 2018 全国中西医结合皮肤性病学术年会论文汇编，全国中西医结合皮肤性病学术年会，2018.

[13] 马长注. 艾灸联合毫米波治疗仪对慢性支气管炎患者肺功能、炎症因子水平的影响[J]. 齐齐哈尔医学院学报，2019，40(8)：939 - 941.

[14] 王舒怡，杨杰，田雨. 基于数据科学的中医临床信息采集关键技术研究进展[J]. 中华中医药学刊，2024，42(3)：10 - 18.

[15] 李思汉，夏淑洁，赵文，等. 中医四诊信息采集的方法与原则[J]. 天津中医药，2020，37 (3)：266 - 269.

[16] 李灿东. 中医诊断学[M]. 北京：中国中医药出版社，2016.

[17] 孙迪，鞠宝兆.《黄帝内经》"脉"相关双音节新词考析[J]. 中国中医基础医学杂志，2021，27(2)：192 - 194，211.

[18] 车俐，吕连辉，蒋留兵. AF - CenterNet：基于交叉注意力机制的毫米波雷达和相机融合的目标检测[J]. 计算机应用研究，2024，41(4)：1258 - 1263.

[19] LONG N B, YAN H, WANG L Q, et al. Unifying Obstacle Detection, Recognition, and Fusion Based on the Polarization Color Stereo Camera and LiDAR for the ADAS[J]. Sensors, 2022(7): 2453.

[20] 黄海，谢昊岩，黄驰程. 基于人脸视频的逻辑多任务非接触心率估计[J]. 计算机工程与设计，2023，44(10)：3179 - 3185.

[21] 钱帮豹. 基于毫米波雷达的振动鲁棒眨眼检测系统[D]. 秦皇岛：燕山大学，2022.

[22] 郭进，刘康，张远辉. 基于 FMCW 雷达微多普勒室内人体感知方法[J]. 激光杂志，2024，45(9)：70 - 78.

[23] AKANKSHA BHUTANI, S REN MARAHRENS, MICHAEL GEHRINGER, et al. The Role of Millimeter - Waves in the Distance Measurement Accuracy of an FMCW Radar Sensor[J]. Sensors, 2019(18): 3938.

[24] 张宏旺，周瑞，程宇，等. 基于点云轨迹和压缩多普勒的跨场景手势识别[J]. 计算机科学，2024，51(2)：182 - 188.

[25] YANG, SHANGYI, YOUNGOK KIM. Single 24 - GHz FMCW RadarBased Indoor Device - Free Human Localization and Posture Sensing With CNN. [J]. IEEE Sensors Journal, 2022, 23(3): 30593068.

[26] CHENG Y W, SU J R, CHEN H Y, et al. A new automotive radar 4D point clouds detector by using deep learning[C]// Proc. of the IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing, 2021: 8398 - 8402.

[27] 张明龙，吴雨林，魏文强，等. 基于稀疏矩阵填充的级联毫米波雷达高分辨测角方法[J]. 系统工程与电子技术，2024，46(8)：2629 - 2640.

[28] 曾科龙. 基于毫米波雷达的情绪识别研究[D]. 重庆：西南大学，2023.

[29] DANG X C, CHEN Z T, HAO Z J, et al. Wireless Sensing Technology Combined with Facial Expression to Realize Multimodal Emotion Recognition[J]. Sensors, 2022(1): 338.

[30] 李梦甜，司峰，尹斐，等. 抑郁伴自杀意念大学生的心率变异性分析[J]. 中国学校卫生，2023，44(12)：1839 - 1842，1847.

[31] LEE I, KIM D, WEE D, LEE S. An Efficient Human Instance - Guided Framework for Video Action Recognition[J]. Sensors (Basel), 2021, 21(24): 8309.

[32] GE H L, ZHU Z Y, DAI Y W, et al. Facial expression recognition based on deep learning[J]. Computer Methods and Programs in Biomedicine, 2022(prepublish): 106621.