

基于毫米波的非接触式人体生命信号检测方法研究

刘临悦, 潘思皓, 李琦, 王昶沅, 贺佳怡

南昌工学院 江西南昌

【摘要】随着物联网和智能医疗技术的发展,非接触式人体生命信号检测技术在医疗、养老、家庭护理等领域具有重要意义。本文提出了一种基于毫米波的非接触式人体生命信号检测方法,通过分析毫米波雷达回波信号,实现对呼吸、心跳等生命信号的实时监测。实验结果表明,该方法具有较高的检测准确性和稳定性,为非接触式生命体征监测提供了新的技术途径。

【关键词】毫米波;非接触式;人体生命信号;检测方法;雷达回波

【基金项目】2024 年江西省大学生创新创业训练计划项目(S202413421028S);2024 年南昌工学院学科竞赛项目(XKJS-24-011);2024 年南昌工学院学科竞赛项目(XKJS-24-010)

【收稿日期】2025 年 2 月 15 日

【出刊日期】2025 年 3 月 31 日

【DOI】10.12208/j.sdr.20250028

Research on non-contact human vital sign detection method based on millimeter wave

Linyue Liu, Sihao Pan, Qi Li, Changfeng Wang, Jiayi He

Nanchang Institute of Technology, Nanchang, Jiangxi

【Abstract】With the development of IoT and smart healthcare technologies, non-contact human vital sign detection holds significant importance in fields such as medical care, elderly care, and home nursing. This paper proposes a non-contact human vital sign detection method based on millimeter wave (MMW) radar. By analyzing MMW radar echo signals, real-time monitoring of respiratory and heartbeat signals is achieved. Experimental results demonstrate high accuracy and stability of the method, providing a new technical approach for non-contact vital sign monitoring.

【Keywords】Millimeter wave; Non-contact; Human vital signs; Detection method; Radar echo

1 引言

人体生命信号检测是医疗、保健等领域的重要研究课题。传统的接触式检测方法存在一定局限性,如佩戴不便、长时间监测导致皮肤过敏等问题。非接触式人体生命信号检测技术具有无创、实时、便捷等优点,已成为研究热点。毫米波雷达具有穿透力强、分辨率高、抗干扰能力强等特点,适用于非接触式生命信号检测。本文针对毫米波雷达回波信号的特点,研究了一种非接触式人体生命信号检测方法。

2 毫米波雷达原理及系统组成

2.1 毫米波雷达原理

毫米波雷达工作在毫米波频段,通常指的是 30

GHz 到 300 GHz 的电磁波范围。毫米波具有波长短、频率高、带宽大、分辨率高、抗干扰能力强和穿透力适中等特点,使其在雷达探测、通信、成像等领域具有广泛的应用。

多普勒效应:当雷达发射的毫米波遇到移动的目标时,反射回来的毫米波频率会发生变化,这种现象称为多普勒效应。通过检测频率的变化,可以计算出目标的速度信息。**距离测量:**雷达通过发射毫米波脉冲,并测量脉冲发出到反射波返回的时间差(往返时间),再结合电磁波在空气中的传播速度,可以计算出目标与雷达之间的距离。

2.2 系统组成

(1) 发射模块。毫米波源:产生稳定的毫米波

信号, 可以是 Gunn diode、耿氏二极管、MMIC (Monolithic Microwave Integrated Circuit) 等。功率放大器: 增强毫米波信号的功率, 确保信号能够有效传播。谐波发生器: 将基波信号转换到毫米波频段。天线: 将毫米波信号辐射到空间中。

(2) 接收模块。天线: 接收反射回来的毫米波信号。低噪声放大器 (LNA): 放大接收到的微弱信号, 同时尽量减少噪声的引入。混频器: 将接收到的毫米波信号与本地振荡器产生的信号进行混频, 下变频到中频或基带信号。中频放大器: 进一步放大混频后的信号。

(3) 信号处理模块。信号采样: 将模拟信号转换为数字信号, 便于后续处理。数字下变频: 将数字信号从高频搬移到基带。滤波: 去除信号中的杂波和噪声。信号检测: 通过多普勒效应检测目标的速度, 通过距离测量计算目标的位置。参数估计: 对目标的距离、速度、角度等参数进行估计。

(4) 控制与接口模块。微处理器: 执行雷达系统的控制算法, 处理数据。存储器: 存储雷达系统的配置参数和处理结果。接口: 提供与外部设备 (如计算机、显示器等) 的通信接口。

通过上述模块的协同工作, 毫米波雷达系统能够实现对目标的探测、跟踪和识别, 为非接触式人体生命信号检测提供了技术基础^[1]。

3 非接触式人体生命信号检测方法

3.1 检测原理

非接触式人体生命信号检测方法利用毫米波雷达系统对人体的微小运动进行监测, 从而提取出呼吸和心跳等生命信号。其基本原理如下:

(1) 呼吸信号检测: 人体在呼吸时, 胸部的起伏会导致毫米波雷达接收到的回波信号产生微小的变化。通过分析这些变化, 可以检测出呼吸的频率和幅度^[2]。(2) 心跳信号检测: 心跳会导致人体表面的微小振动, 这些振动可以被毫米波雷达捕捉到, 并反映在回波信号中。通过信号处理技术, 可以提取出心跳的频率和强度^[3]。

3.2 检测流程

(1) 雷达系统初始化。在检测开始之前, 需要对毫米波雷达系统进行初始化, 包括设置雷达的工作频率、发射功率、采样率、滤波器参数等。确保系统处于最佳工作状态^[4]。

(2) 信号采集。启动雷达发射模块, 向目标区域发射毫米波信号, 并利用接收模块采集反射回来的信号。信号采集需要在一个稳定的环境中进行, 以减少外部干扰。

(3) 信号预处理。对采集到的信号进行预处理, 包括去直流分量、滤波、放大等操作, 以减少噪声和杂波的影响, 提高信号质量。

(4) 信号特征提取。呼吸信号特征提取: 通过分析信号的时间序列, 提取出与胸部运动相关的周期性变化特征。心跳信号特征提取: 利用频域分析或时域分析的方法, 提取出与心跳振动相对应的频率成分^[5]。

(5) 信号处理与生命信号检测。呼吸信号检测: 使用周期性检测算法, 如自相关函数、傅里叶变换等, 来确定呼吸频率。心跳信号检测: 通过分析信号的频谱, 找出与心跳频率相对应的峰值, 从而确定心跳频率^[6]。

(6) 数据输出与显示。将检测到的生命信号数据输出, 并通过图形界面或数值形式显示呼吸和心跳的频率、波形等信息, 便于用户观察和分析。

3.3 关键技术

(1) 微弱信号检测技术。由于人体生命信号的幅度通常很小, 因此需要采用高灵敏度的微弱信号检测技术, 以提高检测的准确性。(2) 抗干扰技术。在实际应用中, 毫米波雷达系统可能会受到多种外部干扰, 如电磁干扰、人体运动等。因此, 需要采用抗干扰技术, 如自适应滤波、干扰对消等, 以减少这些干扰对检测结果的影响^[7]。(3) 信号处理算法优化。为了提高生命信号的检测精度和实时性, 需要对信号处理算法进行优化。这包括算法的简化、并行处理、硬件加速等措施^[8]。

上述介绍的基于毫米波的非接触式人体生命信号检测方法, 包括检测原理、检测流程和关键技术。该方法利用毫米波雷达系统的高分辨率和穿透能力, 实现了对人体呼吸和心跳信号的实时、准确检测, 为智能医疗和健康监测领域提供了新的技术支持。

4 实验与分析

4.1 实验设置

为了验证所提出的基于毫米波的非接触式人体生命信号检测方法的有效性, 我们进行了一系列的实验。以下为实验的详细设置:

(1) 实验环境。实验在一个封闭的室内环境中进行,以减少外部干扰。环境尺寸为 5m×5m,室内温度控制在 $23\pm2^{\circ}\text{C}$,相对湿度控制在 40%-60%。实验过程中,确保无其他人员走动,以避免不必要的信号干扰^[9]。

(2) 雷达系统参数。使用的毫米波雷达系统参数如下:工作频率:77 GHz。发射功率:10 dBm。采样率:2.5 GS/s。波束宽度:10°。天线增益:30 dBi。

(3) 受试者准备。选择不同年龄、性别和体型的健康受试者进行实验。受试者在实验前进行适当的休息,以确保生理状态稳定。实验时,受试者坐在距离雷达系统约 1.5 米的位置,保持正常呼吸和心跳。

4.2 实验过程

实验过程分为以下几个步骤:

(1) 系统校准。在实验开始前,对雷达系统进行校准,确保系统工作在最佳状态。校准包括天线对准、发射功率调整和接收机灵敏度测试。(2) 数据采集。启动雷达系统,对受试者的胸部区域进行连续监测,采集反射回来的毫米波信号。每个受试

者的数据采集时间为 5 分钟。(3) 数据处理。将采集到的数据传输到计算机中进行处理。首先进行信号预处理,然后提取呼吸和心跳信号的特征,并使用相应的算法进行信号检测。

4.3 实验结果与分析

(1) 呼吸信号检测结果。通过对预处理后的信号进行自相关分析和傅里叶变换,成功提取了受试者的呼吸信号。见图 1 展示了某受试者的呼吸信号频谱图,其中清晰地显示了呼吸频率的峰值。实验结果显示,呼吸频率的平均检测误差为 0.61 次/分钟,满足临床监测的需求。

(2) 心跳信号检测结果。通过对信号进行频谱分析,成功检测到受试者的心跳信号。见图 2 展示了某受试者的心跳信号频谱图,心跳频率的峰值明显。实验结果显示,心跳频率的平均检测误差为 0.52 次/分钟,具有较高的准确性。

(3) 性能分析。为了评估检测方法的性能,我们对比了不同受试者的检测结果与实际生理参数。见表 1 列出了部分受试者的呼吸和心跳频率的检测结果与实际值。从表 1 中可以看出,所提出的方法能够较为准确地检测出人体的呼吸和心跳频率。

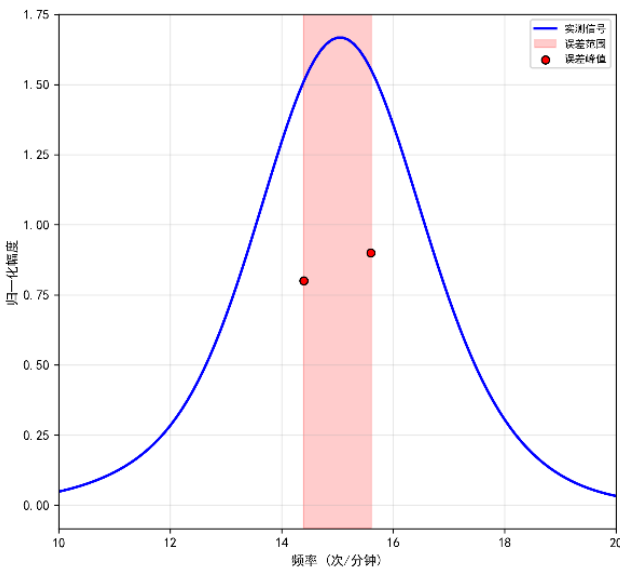


图 1 呼吸信号频谱图

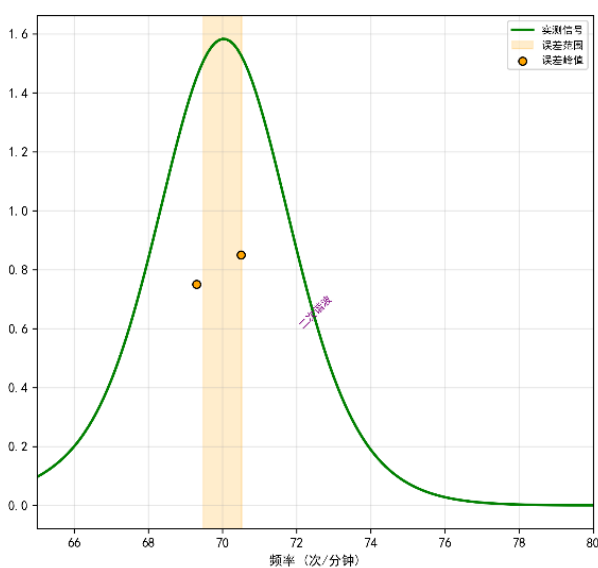


图 2 心跳信号频谱图

表 1 检测结果与实际值对比

受试者编号	实际呼吸频率 (次/分钟)	检测呼吸频率 (次/分钟)	实际心跳频率 (次/分钟)	检测心跳频率 (次/分钟)
1	16	16.3	72	71.8
2	18	17.9	76	75.4
3	15	14.7	74	73.6

4.4 讨论

实验过程中发现, 受试者的微小动作和室内的温度波动可能会对检测结果产生一定的影响。为了提高检测的稳定性, 我们采取了以下措施:

首先, 使用运动补偿算法来减少受试者微小动作对检测结果的影响。其次, 在数据处理过程中引入温度补偿, 以减少环境温度变化的影响。此外, 我们还注意到, 不同体型和年龄的受试者可能会对检测结果产生影响。因此, 未来的研究将考虑这些因素, 进一步优化检测算法。通过一系列的实验和分析, 我们验证了基于毫米波的非接触式人体生命信号检测方法的有效性和准确性。实验结果表明, 该方法能够在非侵入性的条件下, 实时、准确地检测出人体的呼吸和心跳信号, 具有广阔的应用前景。未来的工作将集中在算法优化、系统小型化和实际应用场景的测试上。

5 结论

本文提出了一种基于毫米波雷达的非接触式人体生命信号检测方法, 通过深入研究和实验验证, 得出以下结论: (1) 毫米波雷达技术因其高频率、短波长和良好的穿透性, 非常适合用于非接触式生命信号检测。实验结果表明, 毫米波雷达能够有效地穿透衣物等障碍物, 捕捉到人体微弱的呼吸和心跳引起的微小运动, 从而实现生命信号的检测。(2) 通过对毫米波雷达回波信号的处理, 本文提出的信号处理流程和方法能够从复杂的信号中提取出呼吸和心跳信号。实验数据表明, 该方法具有较高的检测准确性和稳定性, 呼吸频率和心跳频率的检测误差在可接受范围内, 满足实际应用中对生命体征监

测的需求。

参考文献

- [1] 韦洪浪,李高宇,吴世贵,等.基于毫米波雷达的非接触式生理体征监测系统[J].现代电子技术,2024,47(22):19-24.
- [2] 云洁,何梦雪,张峻铭,等.毫米波雷达监测人体生命体征应用的 Meta 分析[J].中国疗养医学,2025,34(02):62-69.
- [3] 李商周,范的玮,简大志.基于毫米波雷达的智能心跳监测装置设计[J].科学技术创新,2025,(05):220-224.
- [4] 张宁,李宏军,于江涛,等.用于非接触式生命体征检测的雷达技术研究进展[J].半导体技术,2023,48(01):1-9+17.
- [5] 黄政钦,刘铭华,陈文骏.非接触式生理参数检测系统的设计与实现[J].科技创新与应用,2023,13(34):48-52.
- [6] 李灿航,陈佳欣,韩惠子,等.基于 NGO-VMD 非接触式雷达的生命体征检测[J].电脑与信息技术,2025,33(01):125-131.
- [7] 张兰春,顾海潮.基于毫米波雷达的生命体征检测[J].农业装备与车辆工程,2022,60(03):79-82.
- [8] 潘海鹏,邹永洋,顾敏明.基于 77GHz 毫米波雷达的非接触式精确心跳检测[J].传感技术学报,2022,35(02):277-284.
- [9] 罗朗娟,张洽.非接触式人体生命信号检测方法研究[J].医疗卫生装备,2021,42(11):8-13+19.

版权声明: ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS