

毫米波雷达在皮沙发干扰下的有无人检测方法*

梁庆真, 周 杨, 张彭豪

(四川启睿克科技有限公司, 四川 成都 610041)

摘 要: 智能家居环境中, 毫米波雷达在判断有无人时, 皮沙发由于其材料本身的原因会有一个强反射信号, 这个强反射信号给实际判断带来很大的干扰, 导致虚警发生。针对这个问题, 通过人体呼吸时胸腔壁的起伏幅度获取特定的参数, 并设置阈值, 再加上呼吸频率的低频限定, 又通过选取的特定的 4 根虚拟天线能达到该阈值的天线数做一些判定, 能很大程度地排除皮沙发的虚警干扰。

关键词: 毫米波雷达; 有无人检测; 虚警

中图分类号: TP391.9

文献标识码: A

DOI: 10.16157/j.issn.0258-7998.222652

中文引用格式: 梁庆真, 周杨, 张彭豪. 毫米波雷达在皮沙发干扰下的有无人检测方法[J]. 电子技术应用, 2022, 48(9): 149-152.

英文引用格式: Liang Qingzhen, Zhou Yang, Zhang Penghao. Manned and unmanned detection with the interference of the leather sofa[J]. Application of Electronic Technique, 2022, 48(9): 149-152.

Manned and unmanned detection with the interference of the leather sofa

Liang Qingzhen, Zhou Yang, Zhang Penghao

(Sichuan Qiruike Technology Co., Ltd., Chengdu 610041, China)

Abstract: When mmwave radar makes the manned or unmanned detection in the smart home environment, leather sofa reflects a strong signal because of its material itself, the strong reflection signals would bring a great disturbance, and finally cause false alarm. Aiming at this problem, a specific parameters through the human body breathe the margin of ups and downs in the chest wall was obtained, and the threshold was setted, coupled with the breathing frequency of the low frequency limit, and by choosing specific 4 root virtual antenna can achieve the threshold number do some judgement, greatly eliminating the false alarm interference of leather sofa.

Key words: mmwave radar; manned and unmanned detection; false alarm

0 引言

毫米波雷达作为一种精度更高的传感和检测技术, 相比摄像头、激光雷达、PIR、超声波等技术有超精准且高性价比的显著优势^[1]。毫米波雷达技术可以将检测范围提高至 10 m, 并能精确识别到 1 mm 幅度动作, 大至剧烈运动小至静止呼吸都能精准感知, 可以联动家中设备做安防报警^[2-4]。毫米波雷达技术能对生命体进行非接触式感知, 既能摆脱传统感知设备 24 小时佩戴问题, 也能保护用户安全隐私^[5]。毫米波雷达可以做到非接触精确识别呼吸及心率数据, 通过对呼吸深度、心跳频率、体动参数等数据深入分析, 判断用户睡眠质量, 为睡眠呼吸中潜在的呼吸疾病提供辅助数据支持, 所以毫米波雷达能够广泛应用于智能家居、智慧养老、智慧医院、康复中心项目建设中, 24 小时实时监测和照护, 满足居家、社区、机构三位一体的养老监护要求, 缓解即将到来的老龄化社会养老难题^[6-8]。然而在智能家居实现更精准的人员监测的过程中, 首先要能实现室内有无人员的

正确判断, 如若无人, 可以关闭一些电器以避免资源的浪费, 如若有人则定位人员的位置, 提供一些更精准的服务。在这个过程中遇到的一个问题是, 皮沙发会反射出一个和人体一样的强信号, 从而将沙发误判为人, 且当人静坐在沙发上时, 沙发的角落也会折射一个类似于人的信号, 从而误判人员的数量。针对这个问题, 本文通过人体呼吸时胸腔壁的起伏幅度获取特定的参数, 并设置阈值, 再加上呼吸频率的低频限定, 又通过选取的特定的 4 根虚拟天线能达到该阈值的天线数做一些判定, 能很大程度地排除皮沙发的虚警干扰。

1 雷达的测距测速原理

毫米波调频连续波雷达通过发射扫频信号, 并捕获路径中的目标反射的信号来获取对目标物的距离^[9]。FMCW 雷达信号经目标反射延迟后, 整体向后移动了 $\tau(t)$ 。当目标速度与雷达没有径向的相对运动时, 即使有横向运动, 其多普勒速度也为 0。从上述多普勒频率与目标径向速度的正比关系可知, 多普勒频率也为 0。从而, 目标差拍信号对应的频率为^[10]:

* 基金项目: 四川省科技厅重大专项(2017SZDZX0022)

$$f_b = \mu \tau(t) = \frac{2B}{T} \tau(t) = \frac{4B}{Tc} R \quad (1)$$

式中, B 表示毫米波雷达信号的带宽, T 表示雷达的脉冲重复间隔, c 表示电磁波在空间中的速度, μ 表示信号带宽与发射周期的比值, R 则目标到雷达平台的径向距离。

当目标与雷达有径向方向的相对运动时, 不妨设径向速度为 V , 对应的多普勒频率为 f_d , 则有:

$$f_d = \frac{2v}{\lambda} = \frac{2v}{c} f_0 \quad (2)$$

$$R(t) = R_0 - vt \quad (3)$$

接收信号可以看作是发射信号在时间轴上的平移, 与待测目标的距离 R 之间的关系可以表示为:

$$\tau(t) = \frac{2R(t)}{c} = \frac{2R(0)}{c} - \frac{2v}{c} t \quad (4)$$

因此,

$$f_{b+} = \mu \tau(t) - f_d \quad (5)$$

$$f_{b-} = \mu \tau(t) + f_d \quad (6)$$

由式(5)和式(6)可以计算出接收信号相对于发射信号的时间延后和多普勒频率分别为:

$$\tau(t) = (f_{b-} + f_{b+}) / 2\mu \quad (7)$$

$$f_d = (f_{b-} - f_{b+}) / 2 \quad (8)$$

因此可以计算出待测目标的距离和速度:

$$R(t) = \frac{\tau(t)c}{2} = (f_{b-} + f_{b+}) Tc / 8B \quad (9)$$

$$v = \frac{cf_d}{2f_0} = \frac{c(f_{b-} - f_{b+})}{4f_0} \quad (10)$$

由式(9)和式(10)可知, 要测量目标与雷达的径向距离, 主要是要想办法求出差拍信号频率, 所以对差拍信号频域分析就显得尤为重要。对于时域信号求其频率, 可以使用快速傅里叶变换(FFT)进行操作。由于三角波分为上下两个调频段, 在FFT算法以后, 还需要进行频谱配对操作, 继而求出感兴趣目标与雷达的径向距离和径向相对速度。从式(9)中可以看出, 影响测距精度的因素是差拍信号的频率精度; 从式(10)中可知影响测速精度的也是差拍信号的频率精度。

2 有无人检测算法

毫米波雷达对待测空间不断发射电磁波信号, 收集回波信号并根据雷达的测距测速原理进行信号预处理、相位展开和去趋势以及低通滤波处理获得低频数据, 再对低频数据找峰值, 如果峰值满足一定的阈值条件, 再考虑天线信道发射信号强度不一的问题, 选取的4根天线中有3根符合上述条件则判定为有人, 否则为无人。具体可以概括成以下几个步骤。

2.1 预处理

先收集待测空间无人时的回波信号, 用来对后续的有人时的回波数据做差以消除静态杂波, 可以减少室内较大静态物体所产生的杂波信号对目标回波信号的影响。

响。

2.2 相位展开和去趋势

对以上静态杂波消除后的数据, 根据毫米波雷达中距离与相位成正比的关系, 从距离维信息中提取出相位数据。

将提取的相位数据进行相位展开处理以获得相位真实值。

将展开后的相位数据作分段去趋势处理, 具体为通过获得的相位真实值的相邻极值构造线性函数, 以此求得每个索引所对应的预测值, 然后以相位真实值与预测值作差可达到去趋势的效果, 解决相位漂移问题, 再累积一定帧数的数据后作傅里叶变换, 以此获得频域范围内的信号强度分布情况。

2.3 低通滤波

对相位展开和去趋势后的数据滤波, 去除高频噪声, 获得低频信号。

2.4 找峰值

有人存在时就有呼吸, 呼吸时有胸腔壁的起伏, 就容易被雷达捕获, 呼吸频率为低频, 所以有人时一般能在低频找到一个峰值。

2.5 阈值判断

当人坐在沙发上时, 呼吸时身体的微动也会传导到皮沙发上, 由于皮沙发的强反射, 可能也会产生一个峰值, 所以需要对上述找到的峰值做一个阈值筛选, 满足一定的条件才认为可能是人, 否则认为是无人。

2.6 天线判定

由于雷达天线生产的误差, 会导致各个信道的强度有所变化, 进而影响峰值阈值的判断, 所以又做了个天线判定, 选取的4根天线中有3根符合上述条件则判定为有人, 否则为无人。

有无人检测算法流程图如图1所示。

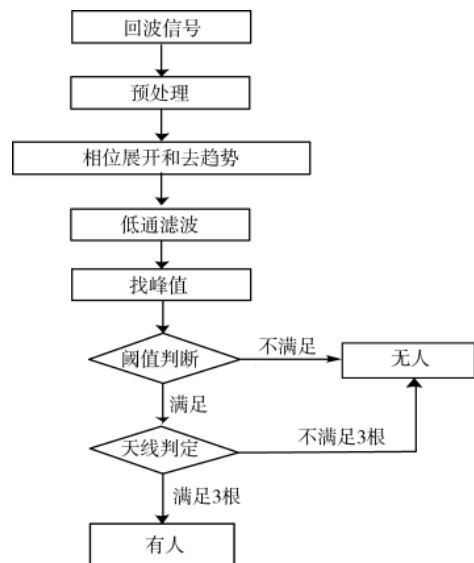


图1 有无人检测算法流程图

3 实验与分析

实验选用 60 GHz 型号为 ISK6843 的毫米波传感器,具有低功耗、自监控、超精确雷达系统的理想解决方案的优点,3 发 4 收,能形成 12 根虚拟接收天线,其距离分辨率为 0.976 m,角度分辨率为 0.9375°。测试环境:雷达架设高度为 1.8 m,检测区域大小为 8 m×15 m,人员在皮沙发上正坐、侧卧。受试者有 10 人,记录回波数据。测试环境为理想的家居环境。首先在无人时,采集 1 帧雷达回波信号,用来做静态杂波消除,减少室内较大静态物体所产生的杂波信号对目标回波信号的影响。

其次,让受试者正坐在沙发上,面朝雷达方向,雷达在受试者正前方,采集 1 280 帧回波信号,每 256 帧分为一段,按步长 128 分别计算相位并展开相位,观察 12 根天线的相位漂移情况,如图 2 所示,然后再观察信号强度情况,如图 3 所示。

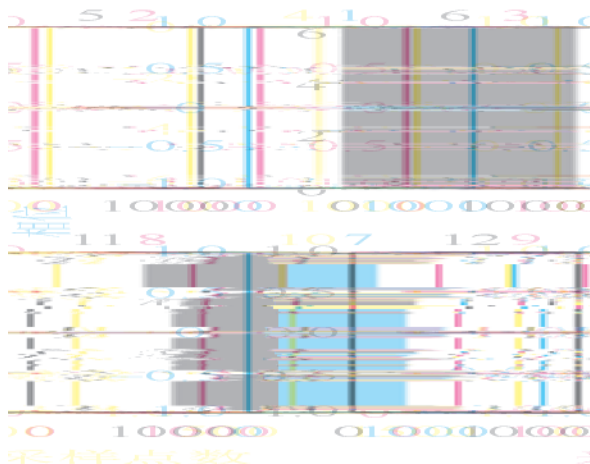


图 2 相位漂移

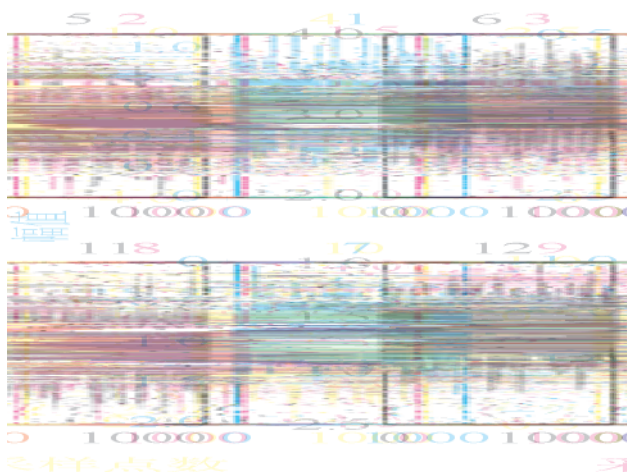


图 3 信道信号强弱情况

由图 2 可以看到,天线 6 和天线 9 存在相位漂移。由图 3 可知,1、3、5、6 这 4 根天线信号幅度较强,所以后续选用这 4 根天线再进一步做无人判断分析。

再次,人体呼吸和心跳的频率是在 0.1~2 Hz,其中呼吸是在 0.1~0.8 Hz,心跳是在 0.8~2 Hz^[11],所以通过

低通滤波将频率范围锁定在 2 Hz 以内,通过生理特征参数区别与别的物体。

然后,由于正常情况下呼吸时会引起胸腔起伏 1~12 mm,而心跳会引起胸腔起伏 0.1~0.5 mm,因此同一人体条件下,雷达更容易捕获呼吸的起伏,而淹没心跳的起伏。所以本文是通过能否在低频信号中找到呼吸的微动来区别与其他物体的,由雷达采样频率算得 2 Hz 对应的采样点为 23,图 4 代表 2 Hz 内信号情况,可以看到在采样点 9 的位置有一个峰值,9 对应的频率为 0.78 Hz,在呼吸频率 0.8 Hz 内,所以初步认为这是有人,需做进一步分析。

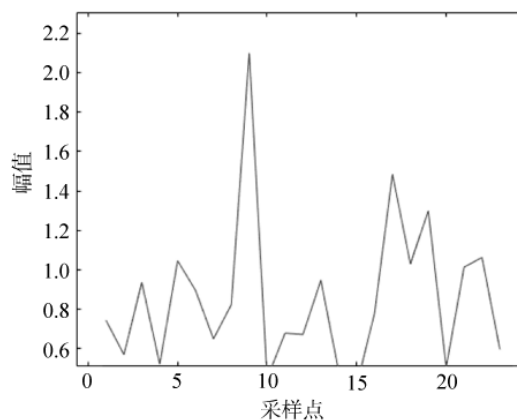


图 4 低频信号的分布情况

因为皮沙发会反射一个类似于人体的信号,产生虚警,所以需排除皮沙发的干扰。排除方法为将一个 256 段内的点取平均,得到一个均值,再找到这个段内的最大值,将最大值减去均值后再除以均值作为一个参数 Ratio,把 Ratio 作为一个阈值,通过大量数据的分析,取值为 2.5,能较大概率地区别人与皮沙发。如果每一个段内算出的这个值小于 2.5,则暂定认为有人,需做进一步的判定。

由前面选取的最强信号强度的天线得到的数据分别进行上述判定,如果大于等于 3 根的天线数据都符合以上情况,则认为是有人,否则是无人。

由 10 个受试者分别参与上述测试,雷达距离沙发分别为 1 m、2 m 和 3 m。其中男女各 5 人,识别情况如表 1 所示。

表 1 受试者识别情况

人数	距离/m	姿势	能否正确识别	识别正确率/%
10	1	正坐	能	100
10	1	侧卧	能	100
10	2	正坐	能	100
10	2	侧卧	能	100
10	3	正坐	能	100
10	3	侧卧	能	90

由表 1 所示, 利用有无人算法处理后的数据, 3 m 时其中有 1 人未能检测准确外, 其余均能正确识别, 60 人次能正确识别 59 人次, 其整体检测准确率在 98% 以上, 检测可信度高, 可排除皮沙发的干扰。

4 结论

本文在针对智能家居环境中皮沙发的干扰, 提出一种判断策略方法, 通过人体呼吸信号的频率范围是否有峰值来做初步判定, 然后再根据大数据分析取得 Ratio 的经验阈值来排除皮沙发的干扰, 最后通过天线数是否达到阈值做最终判定, 这种层层相扣使得识别正确率较高, 整体达到 98% 以上, 使虚警减少。在判定有人的情况下, 可以进一步地去计算呼吸次数和心跳次数, 为家庭监护或者医疗监护提供更便捷的方法。

参考文献

- [1] 熊丁丁. 多通道毫米波雷达人体检测定位方法研究[D]. 成都: 电子科技大学, 2018.
- [2] 祝彬. 国外毫米波雷达制导技术的发展状况[J]. 中国航天, 2007(1): 40-43.
- [3] 郇晓翔. 雷达反隐身技术的发展及实现方法[J]. 信息化研究, 2008, 34(8): 3-5.
- [4] 郑睿, 李方东. 基于调频毫米波的安防移动机器人导航系统[J]. 仪器仪表学报, 2021, 42(3): 105-113.
- [5] 黄旭, 牛洁. cTracker: 一种基于毫米波雷达传感器的室内人员快速检测与追踪系统[J]. 仪器仪表学报, 2020,

41(9):130-139.

- [6] 张仕阳, 刘成国, 段开源, 等. 毫米波雷达人员检测系统设计[J]. 传感器与微系统, 2020, 39(7):79-82.
- [7] 丁鹭飞, 耿富录, 陈建春. 雷达原理[M]. 第 4 版, 北京: 电子工业出版社, 2009: 22-30.
- [8] 李彦兵, 杜兰, 刘宏伟, 等. 基于微多普勒特征的地面目标分类[J]. 电子与信息学报, 2010, 32(12):5-15.
- [9] 陈超. FMCW 毫米波雷达目标特征提取及分类研究[D]. 成都: 电子科技大学, 2020.
- [10] LI YA, HUNG M H, HUANG S J, et al. A fully integrated 77 GHz FMCW radar system in 65nm CMOS [C]// Digest of Technical Papers of the Solid State Circuits Conference, 2010, 45(12):2746-2756.
- [11] 安东港. 基于毫米波雷达的生命体征信号检测研究[D]. 杭州: 杭州电子科技大学, 2020.

(收稿日期: 2022-02-18)

作者简介:

梁庆真(1988-), 女, 硕士, 主要研究方向: 医学电子信号处理、雷达信号处理等。

周杨(1984-), 通信作者, 男, 硕士, 主要研究方向: 信号处理、模式识别, E-mail: yang.zhou@changhong.com。

张彭豪(1995-), 男, 硕士, 主要研究方向: 雷达信号处理、阵列信号处理。



扫码下载电子文档

(上接第 148 页)

- [3] 贾永康, 保铮. 利用多普勒信息的波达方向最大似然估计方法[J]. 电子学报, 1997, 25(6):71-76.
- [4] ZISKIND I, WAX M. Maximum Likelihood Localization of Multiple Sources by Alternating Projection [J]. IEEE Trans. on ASSP, 1988, 36(10):1101-1103.
- [5] 龚鹏, 栗苹, 季成. 基于交替投影叠代算法的最大似然方位估计[J]. 探测与控制报, 2003, 25(4):47-50.
- [6] 邵朝, 卢光跃, 保铮. 结合交替分离(AS)和交替投影(AP)算法 ASAP 算法[J]. 中国科学 E 辑·信息科学, 2004, 34(4):448-456.
- [7] 王永良. 空间谱估计理论与算法[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.
- [8] 王布宏, 王永良, 陈辉, 等. 相干信源波达方向估计的广义最大似然算法 [J]. 电子与信息学报, 2004, 26(2): 225-232.
- [9] 陈辉, 王永良. 空间谱估计算法结构及仿真分析[J]. 系统工程与电子技术, 2001(8):76-79.
- [10] 朱根生. 米波雷达测高方法研究及实现 [D]. 西安: 西安电子科技大学, 2009.

- [11] 杨克虎, 保铮. 相干信号源最大似然波达方向估计的分辨性能[J]. 电子学报, 1995(12):33-37.
- [12] TSAKALIDES P, NIKIAS C L. Maximum likelihood localization of sources in noise modeled as a stable process [J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 1995, 43:2700-2713.
- [13] 恽小华, 王莉. 基于最大似然算法的空间谱估计测向性能分析[J]. 电子学报, 1996, 24(12):70-72.
- [14] STOICA P, NEHORAI A. Mode, maximum likelihood and Cramer-Rao bound: conditional and unconditional results[C]// International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, 1990.
- [15] STOICA P, NEHORAI A. MUSIC, Maximum likelihood, and Cramer-Rao bound [C]// International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, 1988.

(收稿日期: 2021-12-26)

作者简介:

陈佳(1988-), 男, 工学学士, 工程师, 主要研究方向: 电子战技术、雷达技术。



扫码下载电子文档

版权声明

经作者授权，本论文版权和信息网络传播权归属于《电子技术应用》杂志，凡未经本刊书面同意任何机构、组织和个人不得擅自复印、汇编、翻译和进行信息网络传播。未经本刊书面同意，禁止一切互联网论文资源平台非法上传、收录本论文。

截至目前，本论文已经授权被中国期刊全文数据库（CNKI）、万方数据知识服务平台、中文科技期刊数据库（维普网）、DOAJ、美国《乌利希期刊指南》、JST 日本科技技术振兴机构数据库等数据库全文收录。

对于违反上述禁止行为并违法使用本论文的机构、组织和个人，本刊将采取一切必要法律行动来维护正当权益。

特此声明！

《电子技术应用》编辑部

中国电子信息产业集团有限公司第六研究所