

## 动态位置人员生命体征监测的系统实现方法

Wesley He

Central FAE

### 摘要

人员的生命体征探测一直都是一个热门的话题，不同的技术在实现原理上不尽相同，但是其目的都是一样的，关注在人员的健康监测领域，而这些技术中使用毫米波雷达技术对人员的生命体征探测又是一个比较热的话题，毫米波雷达技术可以实现非接触式的探测，这对日常生活中的无感感知及信息收集会比较有帮助。对于单独的生命体征监测程序而言，一般是关注单人近距离的探测情况，毫米波雷达技术是通过对人体生命活动中带来的胸腔位置波动进行探测，从而估算出被测人员的生命体征情况。而在复杂的家居及办公室场景，人员的位置及角度往往不是处于一个理想的状态，单独的生命体征监测程序较难获得一个可靠的信息输出。本应用手册提出了使用人数统计及人员定位的方式，对被测人的位置（角度及距离）进行初步的跟踪，待被测人进入静止状态后，再使用生命体征监测的算法，对局部区域进行搜索及分析，从而获得了动态位置变化的被测人员的生命体征信息。该参考设计是基于 IWR6843 实现的一个定制化的数据处理流程，TI 的 IWR6843 是业内第一款基于 RF-CMOS 工艺，将中射频电路，VCO，ADC，DSP 和硬件加速器集成在单颗芯片内的 60GHz 毫米波雷达 SoC，它具有集成度高，成本低，开发简单等优点，已经在智能建筑，智能工厂，交通监控，安防，液位检测等领域获得了广泛的应用。本应用手册旨在为使用人员跟踪及定位算法对生命体征监测应用程序进行辅助的设计提供参考，该参考设计可以检测和跟踪最远为 15 米的人员，**对静止目标的生命体征监测，最远可达 3.5 米。**

### 修改记录

Version	Date	Author	Notes
1.0	December 2020	Wesley He	First release

## 目录

1. 系统介绍.....	3
2. 方案介绍.....	3
2.1. TI 驾驶员生命体征监测参考设计方案介绍 .....	3
2.2. TI 乘员检测及生命体征监测参考设计方案介绍 .....	5
2.3. 使用人员定位追踪算法对生命体征监测辅助定位的方案介绍 .....	6
3. 系统设计.....	7
3.1. 硬件框图 .....	7
3.2. 软件框图 .....	8
4. 测试及结果 .....	8
4.1. 安装及测试方法 .....	8
4.2. 测试结果 .....	9
5. 总结.....	10
6. 参考文献.....	10

## 图

图 1. 体表振幅信号的获取 .....	4
图 2. 呼吸及心跳波形的分离算法流程图 .....	4
图 3. 呼吸及心跳波形的分离结果示例.....	5
图 4. 乘员检测 GUI 结果示例 .....	5
图 5. 乘员检测及生命体征监测信号链.....	6
图 6. 使用人员定位追踪算法对生命体征监测辅助的信号链实现.....	6
图 7. IWR6843 芯片框图 .....	7
图 8. IWR6843 外设及电源方案 .....	8
图 9. 软件处理流程图 .....	8
图 10. 板卡安装方式及测量角度说明 .....	9
图 11. GUI 测试结果画面（由正常呼吸转向屏住呼吸） .....	9

## 表

表 1. 主要的性能指标参数 .....	3
表 2. 本文描述方法的优劣势对比.....	7
表 3. 本文所使用方法的测试结果.....	9

## 1. 系统介绍

由于人类生命活动监测可以帮助了解人类的获得、行为意图以及身体健康问题，所以这已成为一个重要的科学探索领域。在监护、家电控制以及大数据分析领域中，连续而不间断的对人类行为活动的数据采集和分析变成了一个重要的功能需求，而数据集的可靠性又对传感器探测精度及准确性提出了要求。在使用诸如无源红外（PIR）和飞行时间（TOF）之类的传感器时，它们会受到精度，虚假警报以及环境变化（如黑暗，亮度和烟雾）的限制。

本应用手册旨在为构建人员跟踪及其生命体征监测应用程序的设计提供参考，该参考设计可以实现两个功能，一是对高达 15 米范围内的人员运动进行监测和跟踪，二是对小于 4 米范围内的静止人员进行生命体征监测。该参考设计是基于 IWR6843 实现的一个定制化的数据处理流程，IWR6843 是一个集成的单芯片调频连续波（FMCW）雷达传感器，能够在 60 至 64 GHz 频段内工作。

雷达传感器提供了感兴趣区域中人员的精确位置和速度的测量信息，此类信息对比起光学、红外探测来说，相对不受环境条件的影响（比如水雾、灰尘或烟雾等能见度的影响），不管是完全黑暗的黑夜或是太阳光强烈的白天，雷达传感器都可以正常的完成目标的探测工作。因此，它们对于楼宇自动化应用（例如人数统计，运动检测，IP 网络摄像机和安全防护）很有帮助。

对于单独的生命体征监测程序而言，更关注在单人近距离的监测情况，它是通过对人体生命活动中带来的胸腔位置波动进行探测，从而估算出被测人员的生命体征情况。而在复杂的家居及办公室场景，人员的位置及角度往往不是处于一个理想的状态，同时周边环境强静态反射的干扰源较多，单独的生命体征监测程序较难获得一个可靠的信息输出。本应用手册提出了使用人数统计及人员定位的方式，对被测人的位置（角度及距离）进行初步的跟踪，待被测人进入静止状态后，再使用生命体征监测的算法，对局部区域进行搜索及分析，从而获得了动态位置变化的被测人员的生命体征信息。

本应用手册提供的设计是在 IWR6843ISK 和 IWR6843ISK-ODS 上开发的演示应用设计，用于准确计数和跟踪感兴趣区域中的人数及对区域中的人进行生命体征探测。雷达数据处理链包含了静态杂波去除、距离方位角热图计算、俯仰角估计、多普勒提取以及静止单目标的生命体征估计算法，以获得 4D 点云信息，在使用目标追踪算法对获得的点云信息进行处理后，生命体征估计算法会将人员的生命体征信息估计出来。该信号链一直遵循 mmWave SDK DPM 结构，一直到跟踪器和数据输出，可以较为方便的修改移植及增加新的特性和功能。

表 1. 主要的性能指标参数

性能指标参数	短距离配置
Device	IWR6843AOP, IWR6843ISK, IWR6843ODS
Field of view	120° horizontal, 40° vertical
Maximum range	8.1 meters
Range resolution	8.4 cm
Maximum velocity	16.2 km/h
Velocity resolution	0.324 km/h
Maximum vital sign detection range	3.5 meters
System power consumption	2 Watts

## 2. 方案介绍

雷达传感器不仅可以帮助车辆感知周围的环境，而且还拓展了其他领域感知周边环境和人员的方式。毫米波雷达传感器使用的电磁波探测具有穿透固体物质的特质，所以在实际应用中，可以使用隐藏式安装，以无感知的方式对环境进行探测，同时也可用于儿童、老人等进行运动及健康监视。在此应用基础上，TI 有几个参考设计都可完成对人员的生命体征进行测量与监护，而不同的算法实现方式，可以对单人或者多人的不同场景进行覆盖，以下对几种方案做简要介绍和分析。

### 2.1. TI 驾驶员生命体征监测参考设计方案介绍

驾驶员生命体征监测是 TI 发布的示例程序，可应用于车载 DMS 领域，给驾驶员的疲劳状态监测提供生命体征这个维度的信息，帮助分析驾驶员的疲劳状态，有助于后续 L3 以上级别自动驾驶对驾驶员状态的追踪，保证驾驶安全，此参考设计链接为 [TI REX-Software-AutomotiveToolbox-Labs-](#)

[mmWaveIncabinSensing-DriverVitalSign](#)。此设计使用了 FMCW 波形固有的测距能力，在距离上对目标进行探测，找到对应的目标点后，由于生理活动引起的体表运动会引起接收到的雷达信号的相位变化，所以使用进一步的信号处理算法来提取呼吸和心率。在既定的近距离使用场景中，选取信号反射能量最强点即为被测人体的胸腔，以此为基准对反射相位变化情况进行分析，从而得到呼吸叠加心跳导致的体表振幅变化。

如下图所示，每 50ms 为一帧，每次测量一组数据，通过慢时间积累 N 个帧的数据后，即可在感兴趣的距离点上获取到随时间变化的相位变化情况，这个相位变化情况反映了被测人的体表振幅变化（由生理活动中的呼吸及心跳产生）。

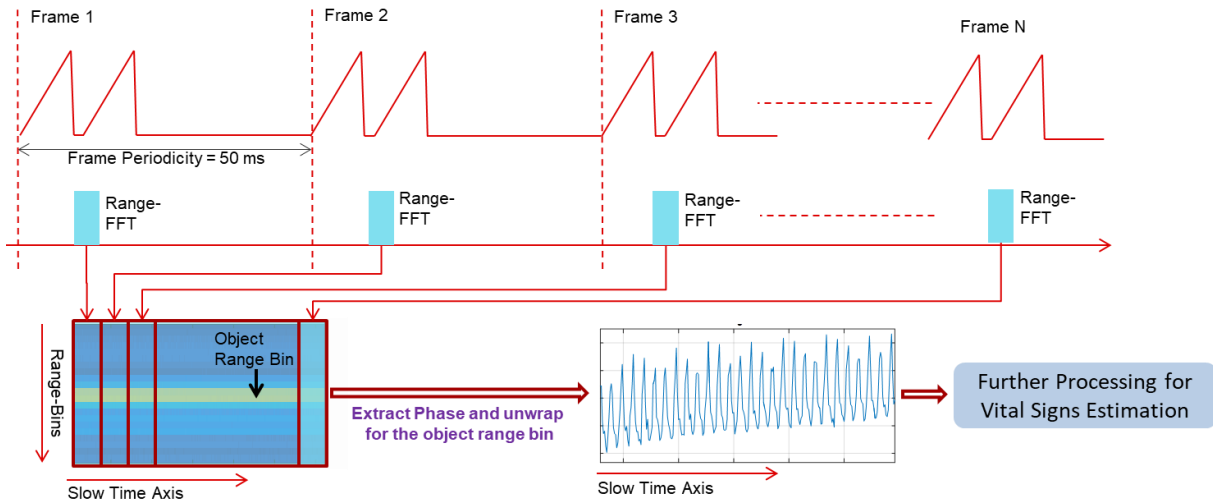


图 1. 体表振幅信号的获取

得到体表振幅变化曲线后，选取合适的滑动窗口，TI 参考设计中使用 512 帧的数据进行估算，即是 25.6s 的滑动窗口，对此相位信息进行相关滤波处理，对于呼吸及心跳的估算，分别使用两组不同截止频率的带通滤波器将呼吸及跳的信号波形滤出，并使用 FFT 或峰计数等方法得到被测人的呼吸及心跳值。

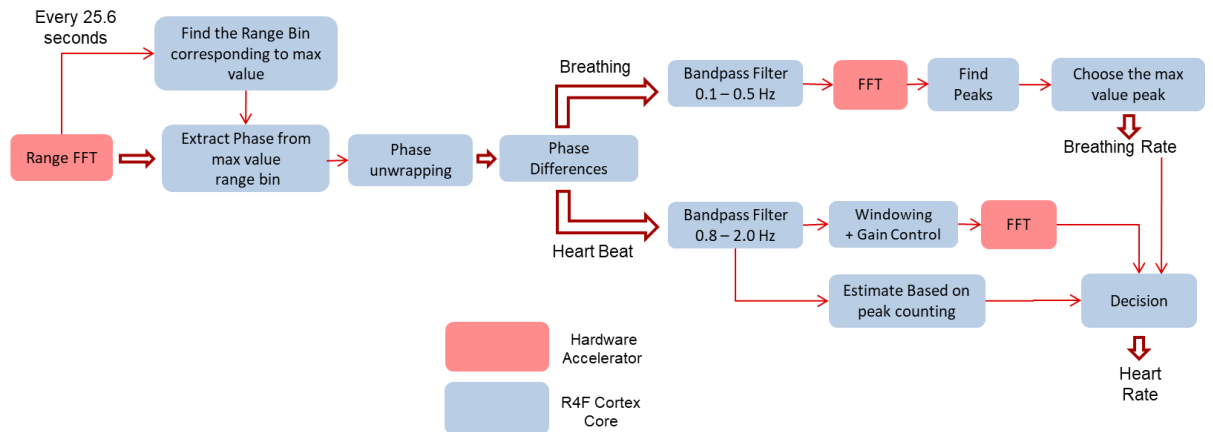


图 2. 呼吸及心跳波形的分离算法流程图

在实验室环境测试，被测人距离雷达约 1.5m 的距离，测试过程中保持身体完全静止，得到波形分离结果及心跳呼吸估算值如下：

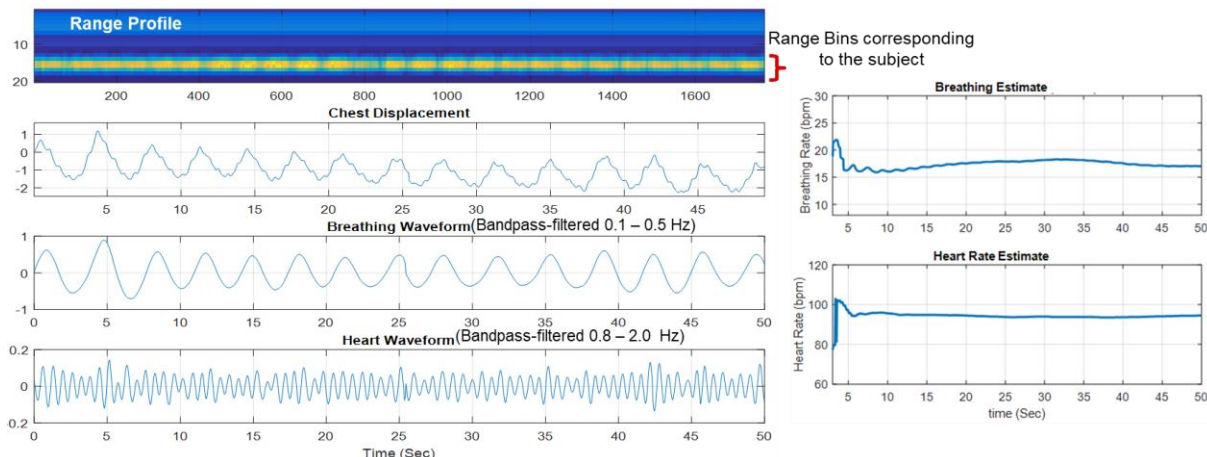


图 3. 呼吸及心跳波形的分离结果示例

此方法使用距离峰值检测的方式来锁定目标的距离点，并提取锁定点的相位变化，反应了被测目标的体表波动，从原理上证明了非接触式探测人员呼吸心跳的可行性。但是，在目标距离点锁定的计算方法上，在实际应用中会存在一些缺陷，首先，它要求雷达与被测人之间没有其他较强反射的静态目标的反射，否则最强反射能量点未必就是人体的胸腔，所以在应用中要求雷达与被测人之间的距离不能太远，否则应用中对环境要求过高，其次，在被测环境中存在多个人情况时，单纯使用距离的信息并不能够很好的将两个目标分离出来，建议使用环境是一人场景。

## 2.2. TI 乘员检测及生命体征监测参考设计方案介绍

TI 乘员检测及生命体征监测参考设计（TI 参考设计，链接：[TIDEP-01001 - 车辆乘员检测参考设计](#)）是为了在实现车载乘员检测的基础上，对前排（驾驶位及副驾驶位）的人员进行生命体征的监测。在章节 2.1 使用的算法中，依靠距离差别来区分两个被测目标，要求两个目标的距离差异大于系统的距离分辨率，在 IWR6843 平台中，这个距离分辨率最佳可以做到 3.75cm，即是如果两个目标如果距离雷达的距离差小于 3.75cm，那么两个目标的生理活动引发的体表微动情况就会互相模糊，互相干扰。

在车内乘员检测应用中，若是雷达模组安装于中控大屏或是后视镜位置，那么前排两个座位距离雷达的距离是比较接近的，使用章节 2.1 所述实现方式是有可能被互相干扰的。为了解决距离接近的两个目标的信号分离问题，TI 乘员监测参考设计中，使用 capon beamforming 算法对车内的 range-azimuth 热图进行估算，在乘员检测信号链中，确定感兴趣的区域有目标后（如下图所示），在对此固定区域的信号进行相位信息提取，随后即可再对慢时间的相位信息变化进行分析。

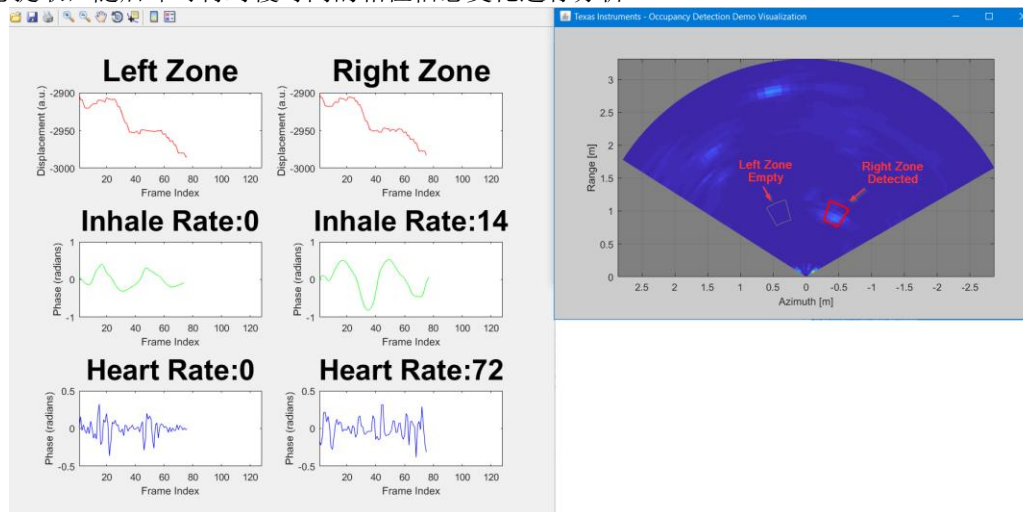


图 4. 乘员检测 GUI 结果示例



如下图所示，乘员检测信号链及生命体征信号链均运行于 DSP 核心，生命体征信号链可对前期已确定的区域，诸如主驾驶位置及副驾驶位置区域进行目标信号的搜索，从而获取到两份独立的互不干扰的体表微动波形图，以保证后续的生命体征监测链路可以分别对两个区域的人员生命体征进行估测。

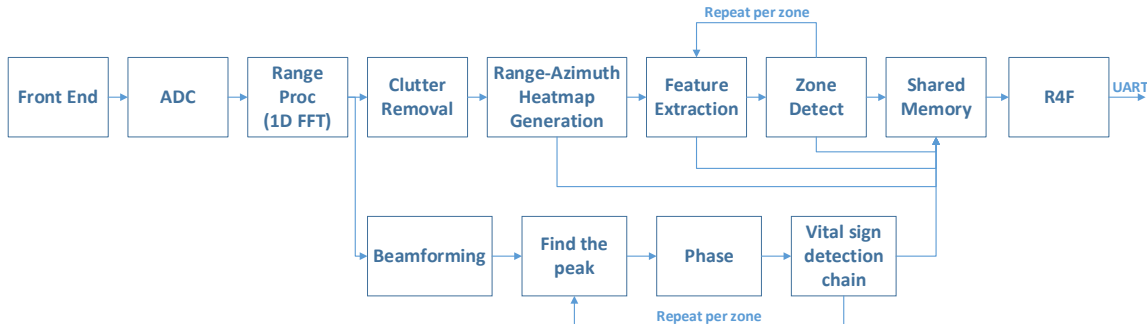


图 5. 乘员检测及生命体征监测信号链

此方法使用 Digital Beamforming 的方式来区分位于接近距离的两个目标，获得两个独立的体表波动波形，可以使用单一传感器实现双人乃至多人的生命体征探测。得益于车内使用场景相对固定，主驾驶位及副驾驶位的位置相对确定，信号的搜索区域及范围也是已知的，所以在可以重复式的在确定区域搜索目标信号即可完成相位信息的提取。在实际应用场景中，适用于已知位置的目标的探测，比如车内探测、养老床位监护等目标位置相对固定的场景。

### 2.3. 使用人员定位追踪算法对生命体征监测辅助定位的方案介绍

为丰富参考设计适用场景，解决章节 2.1 方法仅适用于简单环境以及章节 2.2 方法选择监测区域需要提前预设的问题，最终目标为可适配各个家居环境的差异，同时保证生命体征监测程序的性能。本应用手册提出了一个新的目标区域跟踪方法，此方法是基于人数统计及人员定位的参考设计软件框架，在通用的人数统计链路中，DSP 底层算法同时获取动态目标及静态目标的 4D 点云信息，ARM 核心拿到 4D 点云信息后，使用追踪算法对运动特性一致的目标进行聚类，从而估计出不同目标的具体位置，此位置即是通用人数统计的输出信息，本应用手册在此基础上，将 ARM 核心运算完成后的追踪结果（人员中心位置信息）反馈给到 DSP 中的生命体征监测链路以做进一步的分析。本文所描述的方法，使用了动态人员定位作为框架，在获得人员位置的坐标后，动态选择该区域进行生命体征信号的提取与追踪，可优化复杂使用环境下的生命体征监测难以准确抓取到目标的情况。

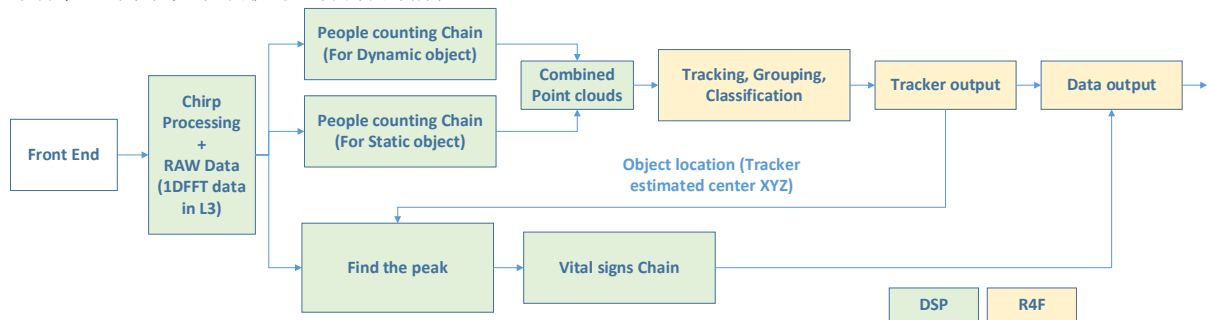


图 6. 使用人员定位追踪算法对生命体征监测辅助的信号链实现

生命体征监测链路拿到兴趣点的位置坐标后，需要从 L3 提取原始 ADC 数据，重新对感兴趣区域的热图进行计算，得到感兴趣区域的热图后，再使用峰值搜索算法获取瞬时的相位信息，从而实现了动态的兴趣点、搜索区域调整。对比章节 2.2 所使用的固定搜索区域，本应用手册的使用的动态兴趣点调整特性可以更好的对区域中运动的人进行追踪，同时也使得此参考设计兼容性更好，自适应场景的能力也随之增强，其适用场景更丰富。

在使用高层级的追踪算法对目标进行追踪的过程中，追踪算法可以获取目标的几种运动状态（FREE, DETECT, ACTIVE or SLEEP），由于生命体征监测中，每个兴趣点的运算需要耗费约 4ms 的运算时间，ARM 追踪器追踪结果的状态输出则可以帮助 DSP 节约一些运算时间，降低系统运算负载。

表 2. 本文描述方法的优劣势对比

	章节 2.1 – TI 驾驶员生命体征监测参考设计算法	章节 2.2 – TI 乘员检测及生命体征监测参考设计	章节 2.3 – 本文提出的方法：使用人员定位追踪算法对生命体征监测辅助定位的方案
单目标生命体征监测	支持	支持	支持
检测区域	支持 3m 内单目标	支持预设区域	对 4m 内任意角度人员移动进行动态追踪
多目标生命体征监测	不支持	支持预设区域	支持动态区域调整
环境要求	被测目标直对雷达，环境干扰少	被测目标需坐在预设区域内，区域外干扰影响较小	动态追踪被测目标所在区域，区域外干扰影响较小
优缺点	近距离监测可较易锁定目标，算法较简单	对固定场景较优，需要对场景变化进行独立配置	适用于复杂场景，算法较复杂，生命体征监测结果依赖于人员定位准确度

### 3. 系统设计

#### 3.1. 硬件框图

本应用手册的硬件实现基于基于 IWR6843 实现的一个定制化的数据处理流程，IWR6843 是一个集成的单芯片调频连续波（FMCW）雷达传感器，能够在 60 至 64 GHz 频段内工作。该传感器采用 TI 的低功耗 45nm RFCMOS 工艺制造，并以极小的体积实现了前所未有的集成度。IWR6843 是工业领域中集成低功耗，丰富内部自监控电路，超精确探测的雷达系统的理想解决方案。

**mmWave Application Sensor  
+ HWA + MCU + DSP  
IWR6843 / AOP**

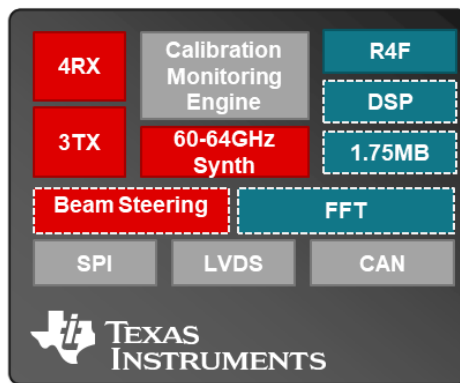


图 7. IWR6843 芯片框图

得益于较高的集成度，IWR6843 外围电路较为简单，仅需 1 颗 PMIC 和简单的外设接口芯片即完成了整个系统的搭建。本应用手册所介绍的方法可以使用不同的配置文件，实现在 IWR6843ISK、IWR6843ISK-ODS 及 IWR6843AOP 芯片上运行，兼容多款不同的天线阵列设计。

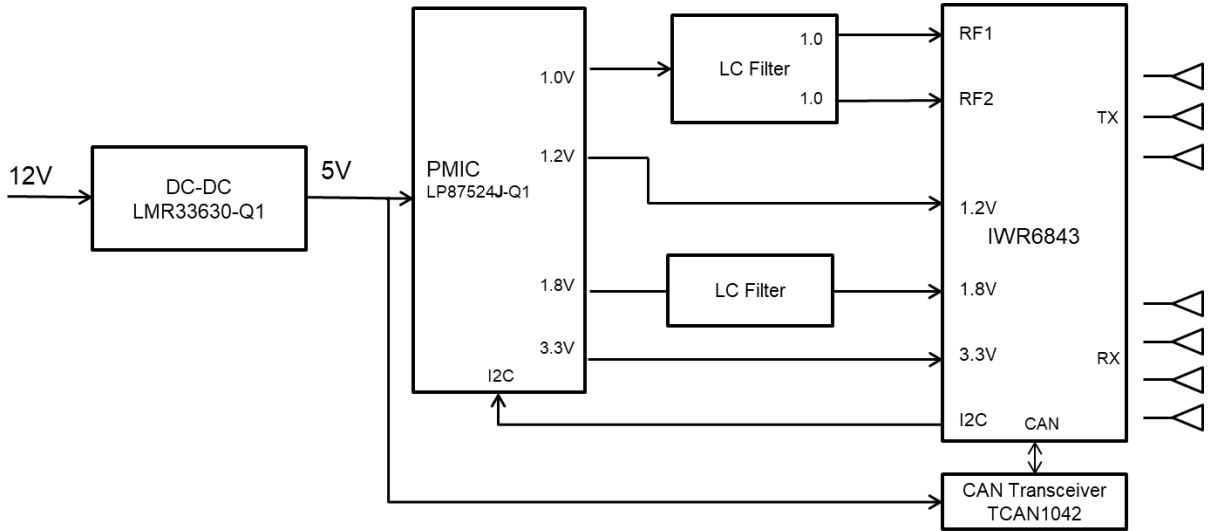


图 8. IWR6843 外设及电源方案

### 3.2. 软件框图

软件处理流程图如下图所示，考虑到 L3 中的 ADC 数据可以一直保留到下一帧 chirping 开始，所以所有的算法流程均在两次 chirping 中间完成，需要根据实际的刷新率要求和算法复杂度，平衡每帧的周期。此处选择 70ms 的帧周期，每秒有约 14Hz 的刷新率，可以保证人员定位及追踪算法能够有足够快速的响应时间，可以满足系统的设计要求。

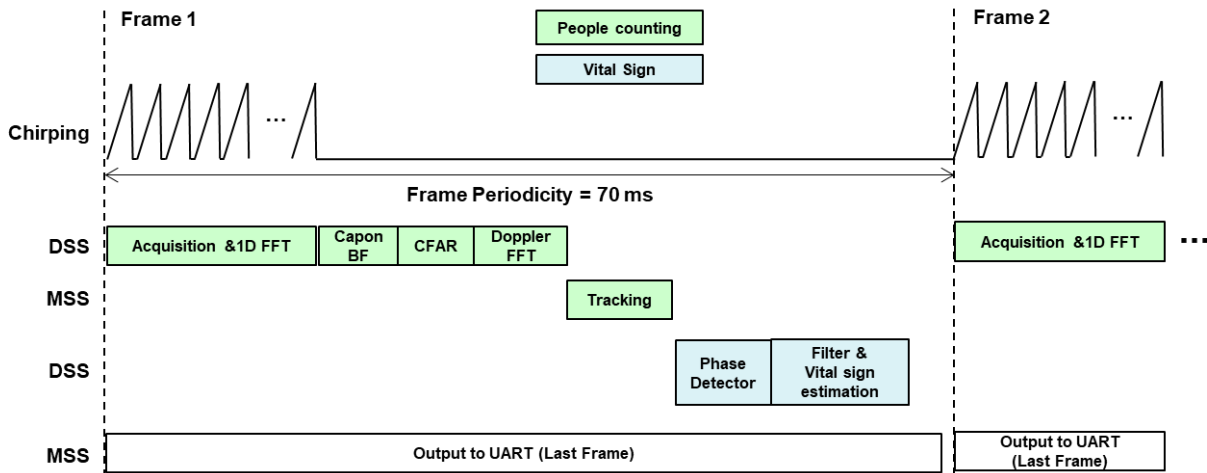


图 9. 软件处理流程图

## 4. 测试及结果

### 4.1. 安装及测试方法

如下图所示，IWR6843 雷达安装高度选取 1.8m 高，下倾角约 10 度，测试过程中关注被测人在 0 度角及大 FOV 角度情况下的测量结果。



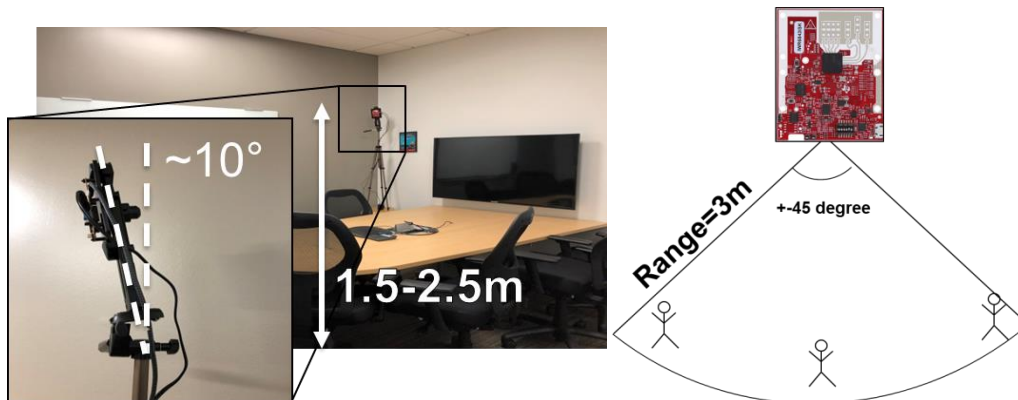


图 10. 板卡安装方式及测量角度说明

## 4.2. 测试结果

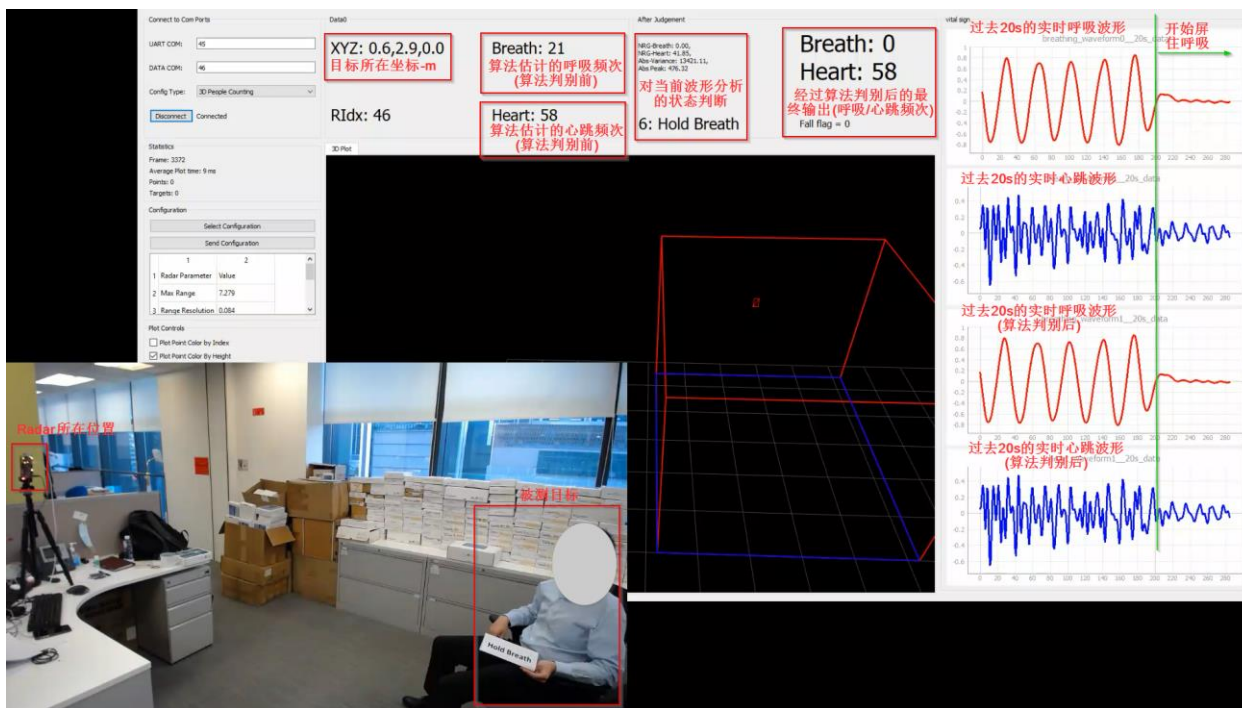


图 11. GUI 测试结果画面（由正常呼吸转向屏住呼吸）

表 3. 本文所使用方法的测试结果

目标距离	1.5m			3m		
	0°	-45°	+45°	0°	-45°	+45°
目标角度	0°	-45°	+45°	0°	-45°	+45°
人员定位	较佳	较佳	较佳	较佳	较佳	较佳
呼吸波形	较佳	较佳	较佳	较佳	振幅下降	振幅下降
屏住呼吸	较佳	较佳	较佳	较佳	可以探测 成功率降低	可以探测 成功率降低
人员存在检测	正常	正常	正常	正常	正常	正常

如上表结果所示，毫米波雷达在 0° 角方向，可以获得较佳的探测结果，由于天线波束在大角度时在衰减，所以也会导致而在大角度探测时，近距离情况较好，远距离时由于 SNR 恶化，检测效果的下降。

## 5. 总结

常规的接触式生命体征监测传感器，可以获得一个稳定的生命体征信号，噪声的干扰较小，而基于毫米波雷达的生命体征监测系统具有非接触式，全天候工作和隐私友好等优点，但是也同样的会受到周围环境的干扰。本文基于 TI 的 IWR6843 这一业内第一款 RF-CMOS 工艺的单芯片 60GHz 毫米波雷达 SoC，设计了一个动态单目标生命体征监测系统。得益于 IWR6843 的多通道和强大的数字信号处理能力，本系统可以单芯片实现室内人员位置以及静止状态下的生命体征监测的功能。本文详细介绍了使用人员定位辅助生命体征监测锁定位置的实现方式，并给出了实验室的测试结果。根据初步的测试结果，本系统具有适应性好的特点，能广泛应用于家居、办公室等室内场景。

## 6. 参考文献

1. [IWR6843 Datasheet](#)
2. [IWR14xx/16xx/18xx/68xx/64xx Industrial Radar Family Technical Reference Manual](#)
3. [Vital signs monitoring of multiple people using a FMCW millimeter-wave sensor](#)
4. [People Tracking and Counting Reference Design Using mmWave Radar Sensor \(Rev. D\)](#)
5. [Vehicle Occupant Detection Reference Design \(Rev. A\)](#)
6. [3 ways radar technology is changing the in-cabin sensing market](#)
7. [LP87524 Datasheet](#)

## 重要声明和免责声明

TI 提供技术和可靠性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证没有瑕疵且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、某特定用途方面的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

这些资源可供使用 TI 产品进行设计的熟练开发人员使用。您将自行承担以下全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的 TI 产品，(2) 设计、验证并测试您的应用，(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他安全、安保或其他要求。这些资源如有变更，恕不另行通知。TI 授权您仅可将这些资源用于研发本资源所述的 TI 产品的应用。严禁对这些资源进行其他复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。您应全额赔偿因在这些资源的使用中对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 TI 的销售条款 (<https://www.ti.com.cn/zh-cn/legal/termsofsale.html>) 或 [ti.com.cn](https://www.ti.com.cn) 上其他适用条款/TI 产品随附的其他适用条款的约束。TI 提供这些资源并不会扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明。

邮寄地址：上海市浦东新区世纪大道 1568 号中建大厦 32 楼，邮政编码：200122

Copyright © 2021 德州仪器半导体技术（上海）有限公司