

毫米波雷达： AI生活的催化剂

宋元科技&云帆瑞达：杜东
平



从智能家居到AI家居

- 家居生活发展：
 - 可居→可用→方便→舒适→智能→AI
- 智能家居需要人主动介入控制，通过遥控器、手机、声音等控制方式
- AI家居，主动感知人员分布及特征、感知家居场景状态，实现家居的AI控制
 - 毫米波雷达是AI家居的主要感知手段之一



毫米波雷达：多维度信息感知传感器

毫米波雷达是多维度信息感知

雷达基本观测参量：距离、速度、方位、微动

- 微动感知是毫米波雷达区别其他频段雷达的重要参量
- 家居应用主要目标是人，运动与静止目标分离，可以有效剔除家居场景干扰（雷达优势）
- 呼吸/心跳/身体微动是家居探测的重要参数
 - 毫米波雷达参量可以衍生得到多种参数
 - 有人/无人
 - 位置、轨迹及运动态势
 - 身体姿态及手势
 - 衣服及被褥下面的心跳、呼吸、血压



毫米波雷达：多维度信息感知传感器



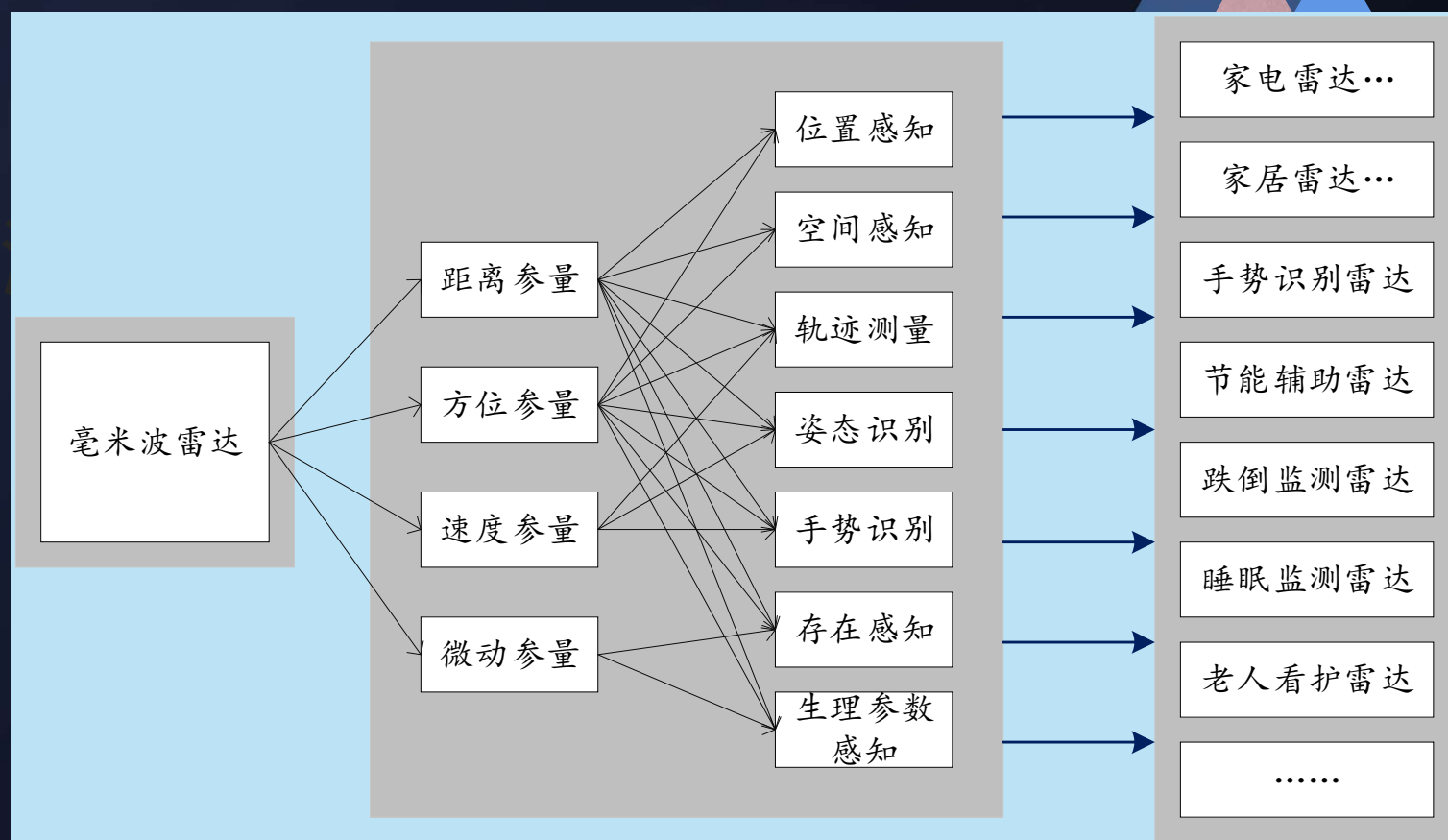
家居场景的雷达信息，包括

- 运动状态（静坐、静卧、站立等）
- 姿态信息（姿态、手势等）
- 睡眠状态（睡眠参数）
- 身体情况（生理参数）

单一传感器实现了多维度信息感知

毫米波雷达丰富的家居应用拓展

毫米



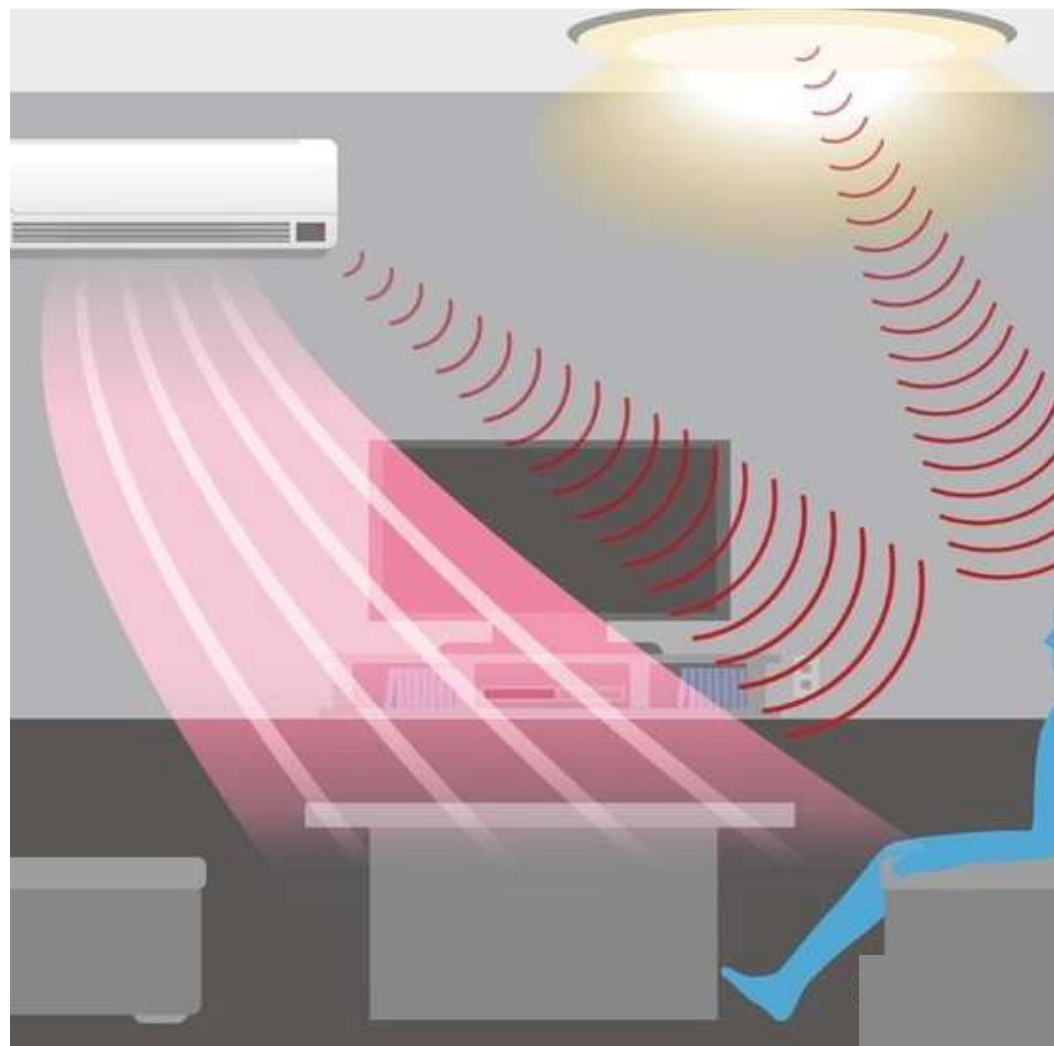
毫米波雷达适应家居感知应用

■ 适用于场景感知

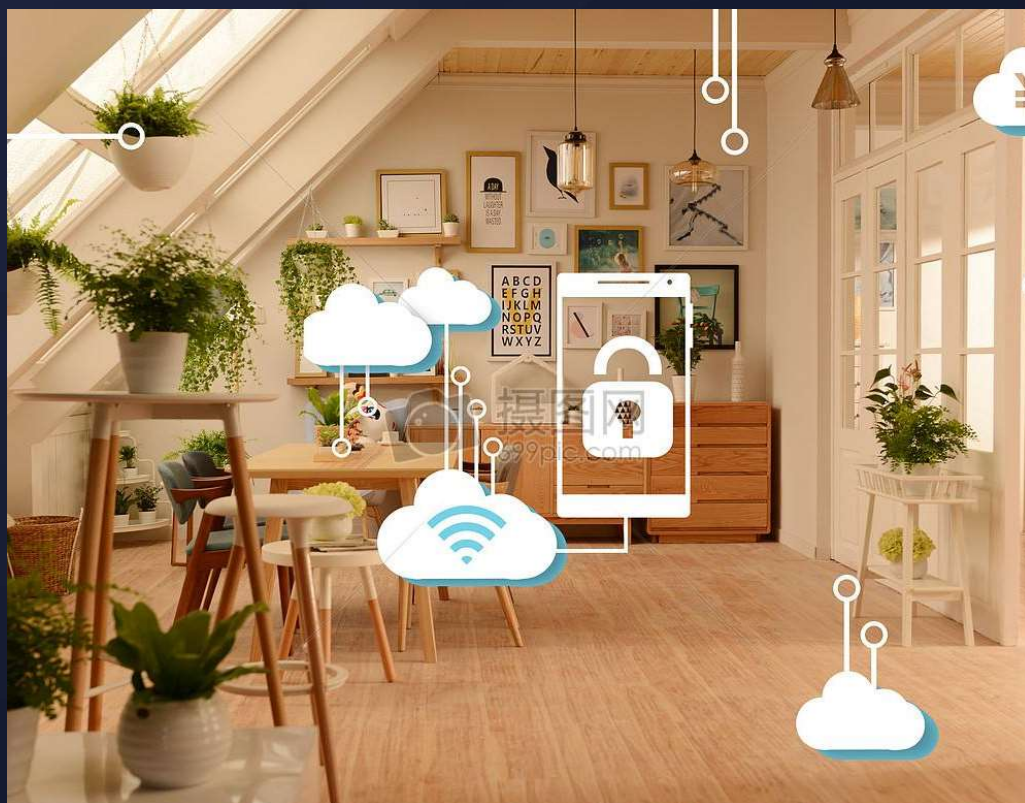
- 主动家居应用的场景感知
- 家电主动控制→场景感知，AI控制

毫米波雷达应用于家居场景

- 低隐私泄露风险
- 毫米波雷达小型化、非接触式，便于无感探测
- 数据轻量化，结构化



毫米波雷达家居应用的技术难点



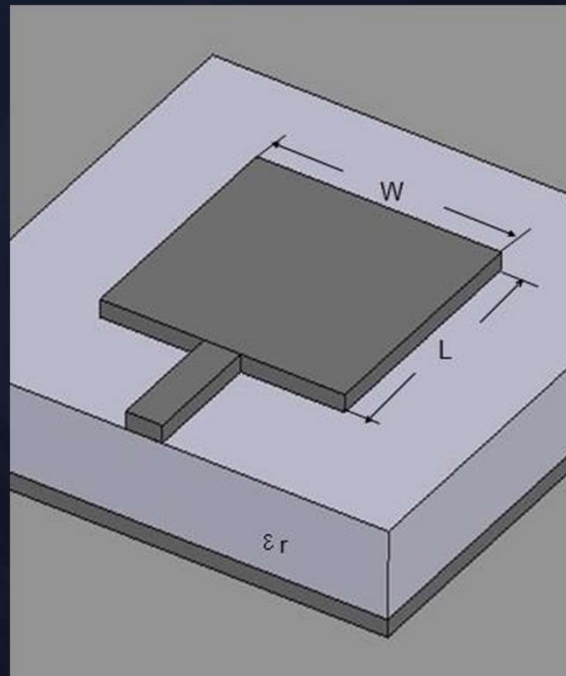
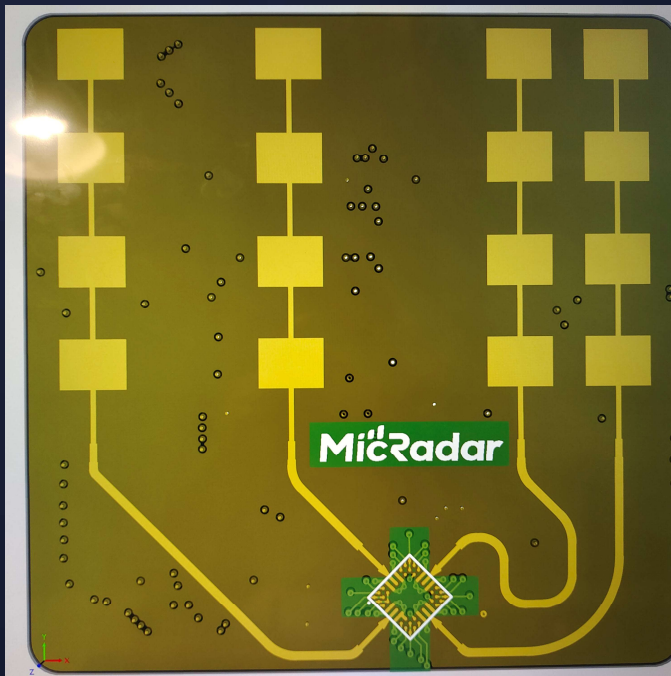
- 家居场景复杂，场景布置差异较大
- 家居场景的干扰因素较多
- 家居应用诉求繁多
- 小体积、低功耗、低成本的限制
- 终端应用诉求多样，部分应用超出传统雷达技术体系，需要结合多种专业领域及AI技术实现
 - 比如呼吸心率探测衍生的睡眠模型、健康模型等需要医学或生理学相关领域参与
 - 手势识别、姿态探测需要结合AI学习方法，才能得到更稳健的识别模型

公司产品分布领域

- 公司毫米波雷达产品定位
 - 毫米波雷达模组
 - 毫米波雷达应用接近方案
- 产品主要聚焦在家居（室内）的雷达探测及场景识别

- 家电应用
- 智能家居应用
- 康养应用
- 其它衍生应用

雷达模组到雷达终端产品的一些场景问题



微带天线

- 毫米波雷达大都采用微带天线形式；
- 微带天线体积小、低剖面、易共形、成本低等特点
- 天线设计受到雷达信号波长、基板介电常数、波瓣图、极化方向等限制
- 微带天线阵是雷达波束控制及方向测量的主要手段

雷达模组到雷达终端产品的一些场景问题



雷达外壳（天线罩）透波特性梳理

- 为了保护雷达天线及电子元器件，雷达大多需要封闭在外壳中。-塑料是雷达天线罩的首选材料
- 金属、含水的木质、塑料中的碳、外壳积水等均会对电磁波形成损耗
- 天线罩到天线的距离均匀性极为重要，不均匀表面、异形表面、倾斜的表面、加强筋或凹口等，均会改变电磁波的传输特性，造成雷达波瓣异形
- 天线罩到雷达天线距离最佳是雷达波长的一半，对于24G雷达，雷达到天线罩距离最佳是6.25mm，其它距离是次优

雷达模组到雷达终端产品的一些场景问题

■ 雷达外壳（天线罩）透波特性梳理

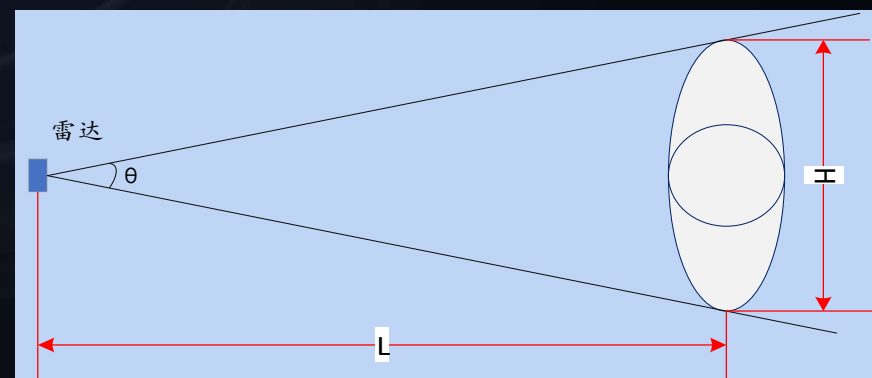
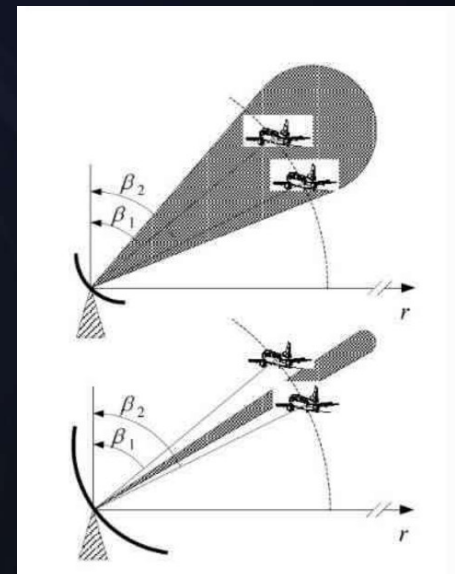
- 天线罩厚度，与所用材料的介电常数 ϵ_r 有关，外壳厚度公式 $h = \frac{\gamma}{2\sqrt{\epsilon_r}}$
- 对于天线罩为曲面，对电磁波可能存在电磁波透镜效应，造成雷达波瓣的聚拢或发散
- 部分产品存在多层壳体结构，雷达波会在多层外壳表面现成反射与折射，对透波效率影响较大
- 雷达天线罩受制于产品工业设计、结构、材料、加工、装配等多种因素影响，对产品的性能影响需要最终通过测试评估



雷达模组到雷达终端产品的一些场景问题

■ 雷达角度分辨率：雷达指向精度，或者两个目标分辨的最小角度

- 对于阵列天线，雷达角度分辨率 $\theta_{res} \approx \frac{2}{N}(\text{rad})$
 - 对于1T2R雷达，其角分辨率约为 57°
 - 对于1T4R雷达，其角分辨率约为 28°
- 测角精度，与雷达测角算法、运算资源有关
- 更重要的，测角精度与目标大小及距离有关联
- 一定距离时，人相对雷达的角度会制约测角精度



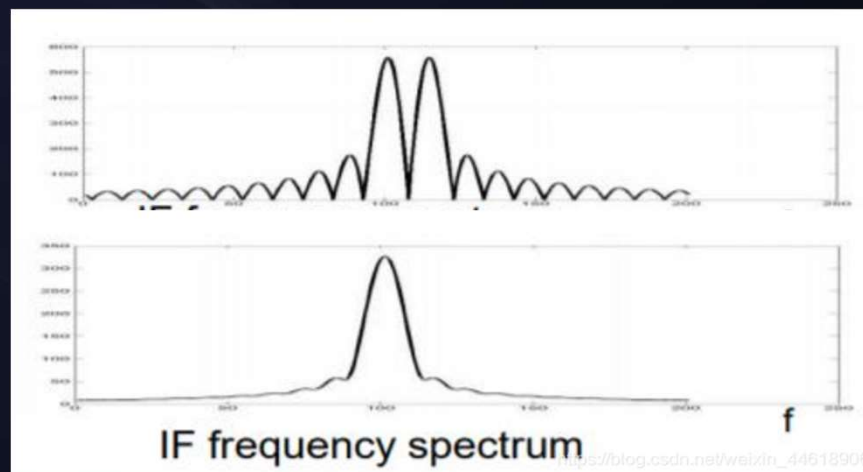
雷达模组到雷达终端产品的一些场景问题

■ 雷达距离分辨率：两个目标分辨的最小距离

■ 距离分辨率与带宽有关 $d = \frac{c}{B}$

■ 对于24G雷达，带宽250MHz，距离分辨率约0.6m

■ 对于60G雷达，带宽500MHz，距离分辨率约0.3m



■ 测距精度与雷达算法、运算资源有关，可以实现分米、厘米甚至毫米量级的测量

■ 距离分辨率影响的多目标分辨问题

■ 测距精度根据不同应用场景选择参数

■ 常规轨迹跟踪测距精度0.2m~0.5米；

■ 姿态识别、手势识别测距精度≤0.2米

■ 呼吸/心率测量反馈的特定目标距离点的相位波动，距离精度要求反而不高

家居场景的雷达干扰与抑制

■ 毫米波雷达接收信号：

$$x(t) = s(t) + n(t) + J(t)$$

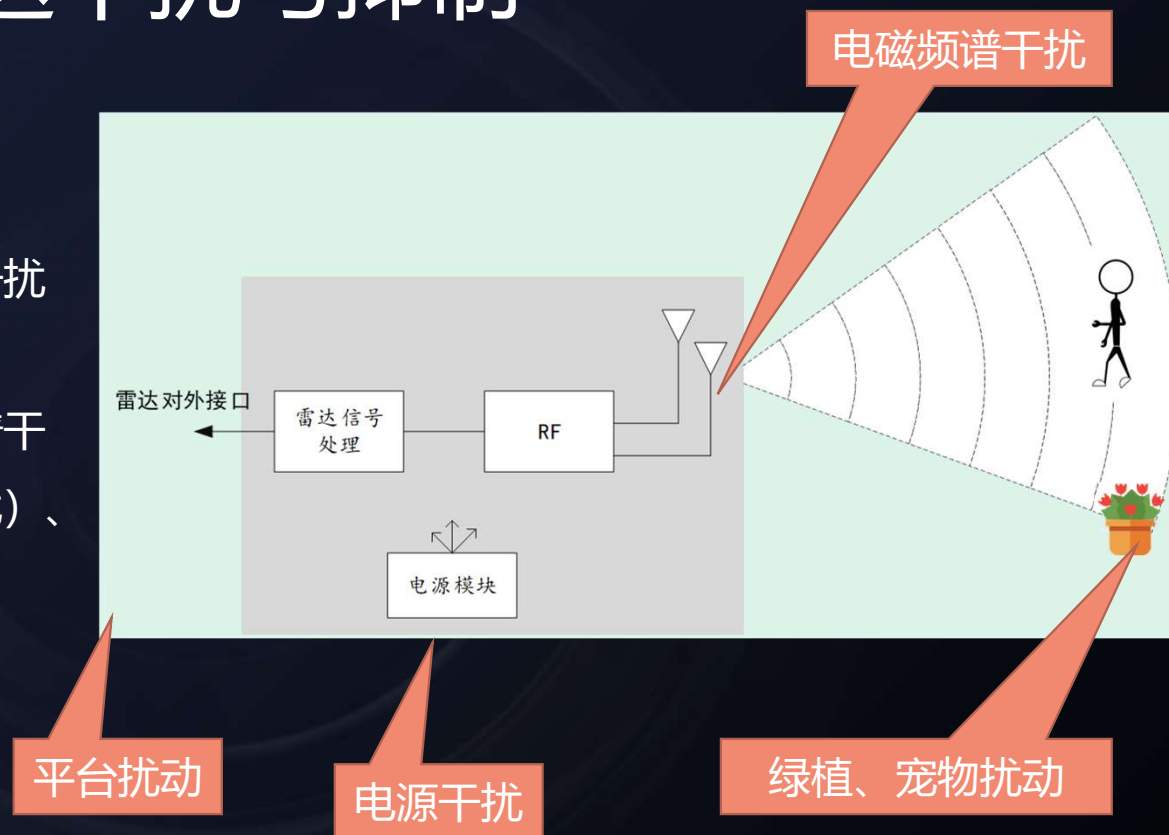
■ 雷达接收信号包括回波信号、噪声信号及干扰信号；

■ 家居场景下雷达干扰信号主要包括电磁频谱干扰、电源干扰、环境干扰（绿植、宠物干扰）、平台扰动等

■ 干扰抑制是雷达处理的重要组成部分之一

■ 干扰抑制途径主要采取躲避或对消

- 从雷达系统上提高雷达处理增益，抑制干扰
- 确认干扰性质及位置，剔除干扰源
- 产生与干扰信号反相的信号进行干扰对消



家居场景的雷达干扰与抑制

01

窗帘、绿植干扰

- 窗帘、绿植会随风扰动，扰动频率、幅度随机，可能与人体呼吸或体动参数接近，从而影响雷达对场景的评估；
- 绿植与窗帘属于固定位置的扰动，通过特征分析及目标匹配，进而对该位置扰动进行剔除；

02

电磁频谱干扰

- 毫米波雷达频段较高，超过当前常见无线电工作的所有频段，所以一般不考虑其它电磁频谱的干扰
- 雷达间的频率干扰需要考虑，但是对于FMCW雷达信号，可以忽略雷达间的干扰

03

宠物干扰

- 宠物在家居场景比较常见，也对人员状态测量及场景评估会造成较大影响
- 可以通过宠物活动高度、目标大小等特征进行识别并剔除
- 对于单通道雷达或低角度分辨率雷达，宠物目标识别比较难

家居场景的雷达干扰与抑制

● 平台扰动

- ▣ 空调、风机等平台存在机械运动，机械振动会造成雷达运动，从而给雷达带来较大影响
- ▣ 通过结构设计，降低平台对雷达的扰动影响
- ▣ 通过干扰对消技术，可以抑制平台干扰

● 其它干扰

- ▣ 电源干扰；雷达模组的电源处理能力受限，电源纹波、尖峰或电源抖动可能会造成雷达干扰
- ▣ 谐波干扰；大功率的无线电设备，其高次谐波与雷达频谱重叠，从而造成雷达干扰

家居场景下的“环境适应性”

- 一般认为，家居场景下，工作环境较好
- 实际上，家居场景内的环境复杂，多样
- 在家居环境中雷达容易受到的影响，包括
 - 雷达平台的影响
 - 雷达需要嵌入到空调、风扇、音箱、电视等家电设施中
 - 雷达安装时受到整机设备的结构位置、面板材质、异形表面，以及安装位置（天花板、床头、灯罩等）等影响
 - 风场对雷达的影响
 - 雷达本身不会检测到风的
 - 风造成家居场景下衣服、窗帘、绿植的扰动，进而造成雷达对场景评估误差
 - 水流/水膜对雷达的影响
 - 毫米波雷达对水流敏感
 - 水膜会加大对毫米波信号的衰减作用

毫米波雷达发展趋势

■ 毫米波雷达

- 多通道、高分辨率雷达
- 多场景适配及自适应切换
- 支持复杂场景能力

■ AI技术对雷达的助力

- 雷达多维度感知，给AI应用提供了拓展空间
- 结合场景的雷达数据AI拓展，可以更深入的雷达应用

■ 毫米波雷达与应用领域的深度融合

- 家电场景感知与控制
- 人居场景的AI感知
- 针对雷达数据的健康模型

毫米波雷达 发展趋势

- 毫米波雷达

- 小型化设计 - 可以嵌入到诸多设备设施中
- 低功耗 - 雷达作为电气开关入口，低功耗是一个重要指标

- 多传感器融合

- 雷达与其它传感器的信息融合
- 同一空间多毫米波雷达的协同探测，也将会增强雷达探测信息维度

毫米波雷达标准化

- 家居场景的标准化工作亟待起步
- 雷达应用场景不断衍生，给标准化工作提出了较高的需求

感谢您的支持!

