

第7章 目标识别技术



中国科学院 信息工程研究所
INSTITUTE OF INFORMATION ENGINEERING, CAS

主讲人：王思叶

2023/10/21

信号安全与目标识别课程

课程大纲

- ❑ 第7章 目标识别技术（3学时，讲授）
 - 7.1 目标识别技术的定义与分类
 - 7.2 基于无线电信号的目标识别技术
- ❑ 第8章 目标定位技术（3学时，讲授）
 - 8.1 目标定位技术的定义与分类
 - 8.2 室外定位技术（卫星定位技术）
 - 8.3 室内定位技术（测距、非测距）
- ❑ 第9章 目标行为识别技术（3学时，讲授）
 - 9.1 目标行为识别与目标身份识别的区别与联系
 - 9.2 运动方式识别
 - 9.3 姿态识别
- ❑ 第10章 目标异常检测技术（3学时，讲授）
 - 10.1 目标异常检测技术简介
 - 10.2 监控场景下目标异常的定义
 - 10.3 门禁检测
 - 10.4 在位检测
 - 10.5 位置及边界检测
- ❑ 第11章 目标识别与检测系统关键技术（3学时，讲授）
 - 11.1 检测性能优化
 - 11.2 数据冗余过滤
 - 11.3 动态目标轨迹重建
- ❑ 第12章 目标识别与检测技术的自身安全性（3学时，讲授）
 - 12.1 恶意识别及防护
 - 12.2 克隆检测
 - 12.3 空口协议安全
 - 12.4 开放讨论：物联网安全方面的最新进展
- ❑ 第13章 目标识别与检测新技术（1学时，讲授）
 - 13.1 区块链技术在目标识别与检测中的应用进展
 - 13.2 边缘计算在目标识别与检测中的应用进展
 - 13.3 机器学习在目标识别与检测中的应用进展

目录

1

• 目标识别技术的定义与分类

2

• 基于声信号的目标识别技术

3

• 基于光信号的目标识别技术

4

• 基于无线电信号的目标识别技术

目录

1

• 目标识别技术的定义与分类

2

• 基于声信号的目标识别技术

3

• 基于光信号的目标识别技术

4

• 基于无线电信号的目标识别技术

1. 目标识别技术的定义与分类

背景

目标识别（Object Recognition）是人类**最重要的基本活动**之一。

- 儿童识字；
- 医生对病情的识别；
- 人群中找人.....



示例1：图像识别



示例2：车辆识别



示例3：物流商品识别

1. 目标识别技术的定义与分类

定义：

本课程中涉及到的目标识别技术是：
基于传感器获取的数据来对目标对象进行识别的技术。

分类：

- 基于**声信号**的目标识别技术；
- 基于**光信号**的目标识别技术；
- 基于**无线电信号**的目标识别技术。

目录

1

• 目标识别技术的定义与分类

2

• 基于声信号的目标识别技术

3

• 基于光信号的目标识别技术

4

• 基于无线电信号的目标识别技术

2. 基于声信号的目标识别技术

基于声信号的目标识别技术简介

又名**声探测技术**，是指采集目标对象所发出或反射的**声波**，从而对其进行识别、定位或跟踪的技术。

□ **主动式**：探测器发出特定形式的声波，并接收目标反射的回波，以发现目标并对其定位。



主要用于探测水面或水下目标，通常采用超声波。

□ **被动式**：直接接收目标发出的声音，发现目标并对其定位。



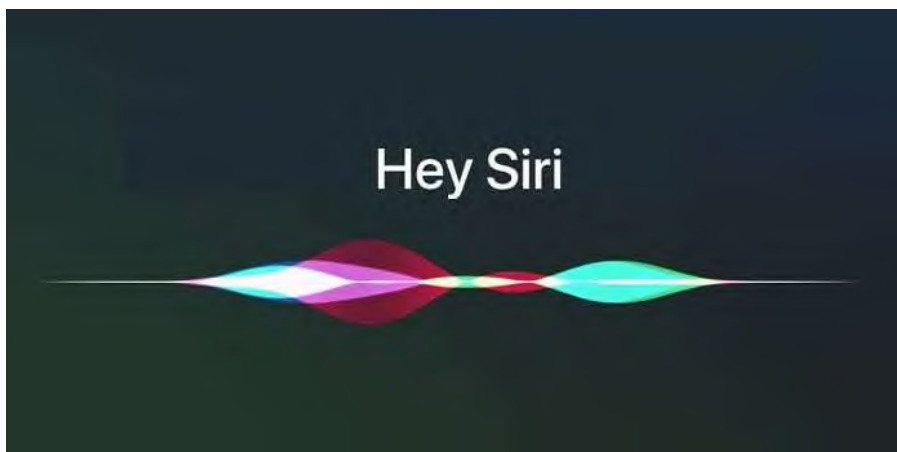
可在水中和空气中使用，但易受其它声源的干扰。

下面对**基于常规声信号**的目标识别和**基于超声波**的目标识别进行介绍

2. 基于声信号的目标识别技术

基于常规声信号的目标识别

基于常规声信号的目标识别一般采用常规麦克风，对周围环境声音进行持续地采集与分析，以对目标声音进行识别。在生活中，人们可以通过喊出“Hey Siri”，“小度小度”等特征口令对智能设备进行唤醒操作，即为基于常规声信号的目标识别的最常见应用。



示例1：Hey Siri



示例2：小度小度

2. 基于声信号的目标识别技术

基于常规声信号的目标识别，具有成本低、隐蔽性好、可全天候工作的特点，并且基于上述特点，使得其在以下几个领域均有重要的潜在应用价值：

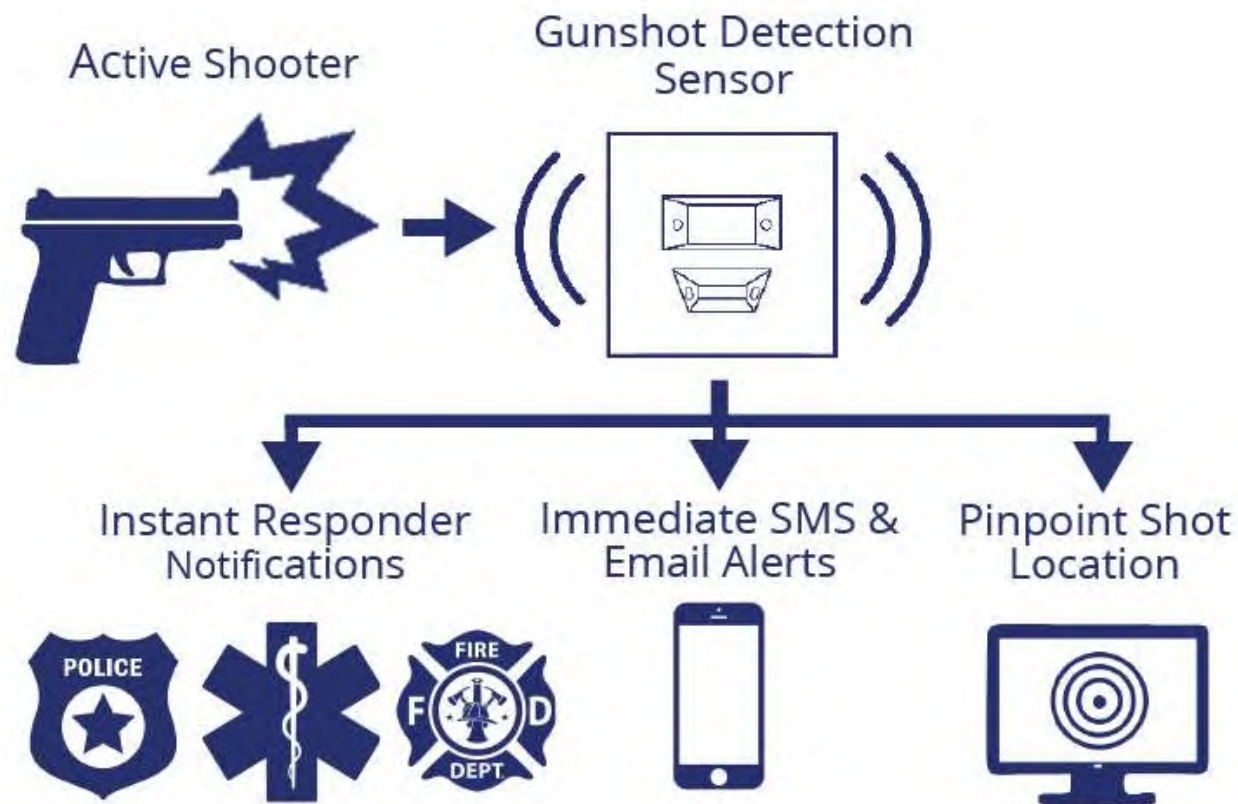
- 安全监督领域
- 生活辅助领域
- 多媒体分析领域
- 生态系统监测

接下来针对基于常规声信号的目标识别在上述四个领域的潜在应用价值进行介绍

2. 基于声信号的目标识别技术

①、安全监督领域

在安全监督领域，目前视频是最受欢迎的监视工具，但它可能无法捕获玻璃碎片、尖叫声或枪声等音频事件。因此在这些情况下，声目标的识别将有很大帮助，它不仅可以被用作基于视频的安全监督的补充手段，而且还能被用作独立的监视系统。



示例：枪声检测

2. 基于声信号的目标识别技术

②、生活辅助领域

声学传感器可以捕获室内声音并提取有用信息，这些信息可以提高居民日常生活质量，同时通过家庭声学智能化也能给一些身体不便的人带来方便。

示例：声学传感器还可以自动检测家庭环境中的一些突发情况（例如跌倒、尖叫或剧烈咳嗽），并触发相应的动作，它们在老年人的家庭护理方面能发挥巨大作用。

特点：声学传感器小而不引人注目，相较于视觉监测，它们能更好的保护相关人员的**隐私**；可以在尽量**不影响居民生活**的情况下感知到居民的需求，在保证其**安全性**的同时兼顾**舒适性**。

Thinkit声音识别小程序

⚡『Thinkit声音识别』亲测有效！新冠病毒咳嗽声检测小程序

一款名为“Thinkit声音识别”的微信小程序，实现通过声音识别新冠患者的功能。小程序有中英两种语言的版本，你只需长按麦克风咳嗽3秒钟，就可以等待系统的检测结果。找2位阳了的朋友进行了测试，检测结果均为“疑似新冠肺炎”，所以准确率应该可以。

ShowMeAI在9月的**这份日报**中提到，人工智能可通过手机应用程序从人们声音中检测出新冠肺炎感染，比快速抗原测试更准确，且更便宜、快速和易用。点击可以查看相关论文及建模原理与训练过程。



2. 基于声信号的目标识别技术

iOS声音辨识功能提供了“警报器、动物、住家、人物”四种声音类型，辨识音源也高达14种（不过列表只有12个似乎有Bug），如果iPhone收到火灾警报器、烟雾探测器、警笛声、猫狗叫声、家用电器、汽车喇叭、门铃、敲门声、水流声、婴儿哭声、大喊声时，就会跳出通知提醒用户。

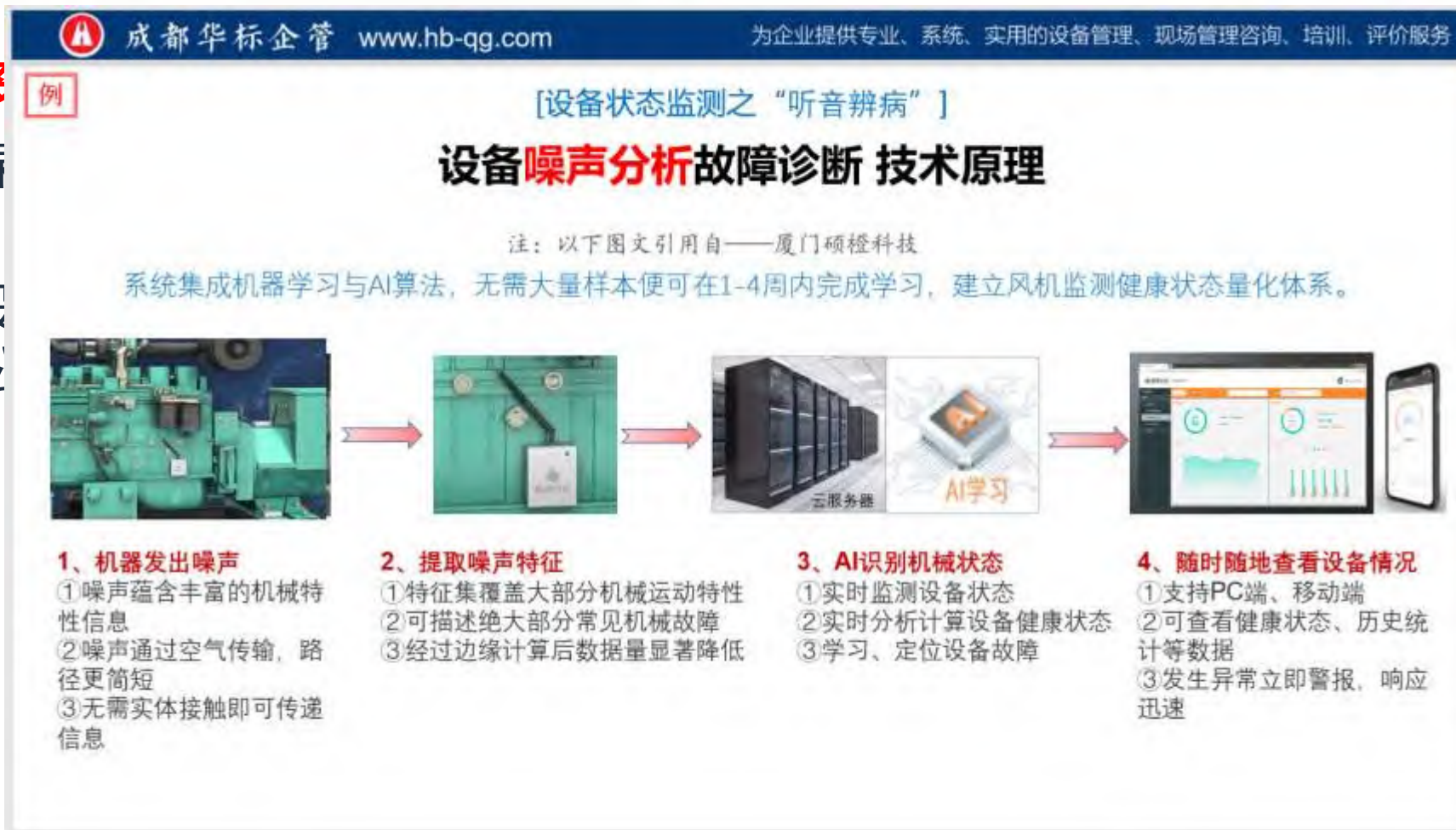


2. 基于声信号的目标识别技术



2. 基于声信号的目标识别技术

③、多
在多媒
段。
对于设
以轻松

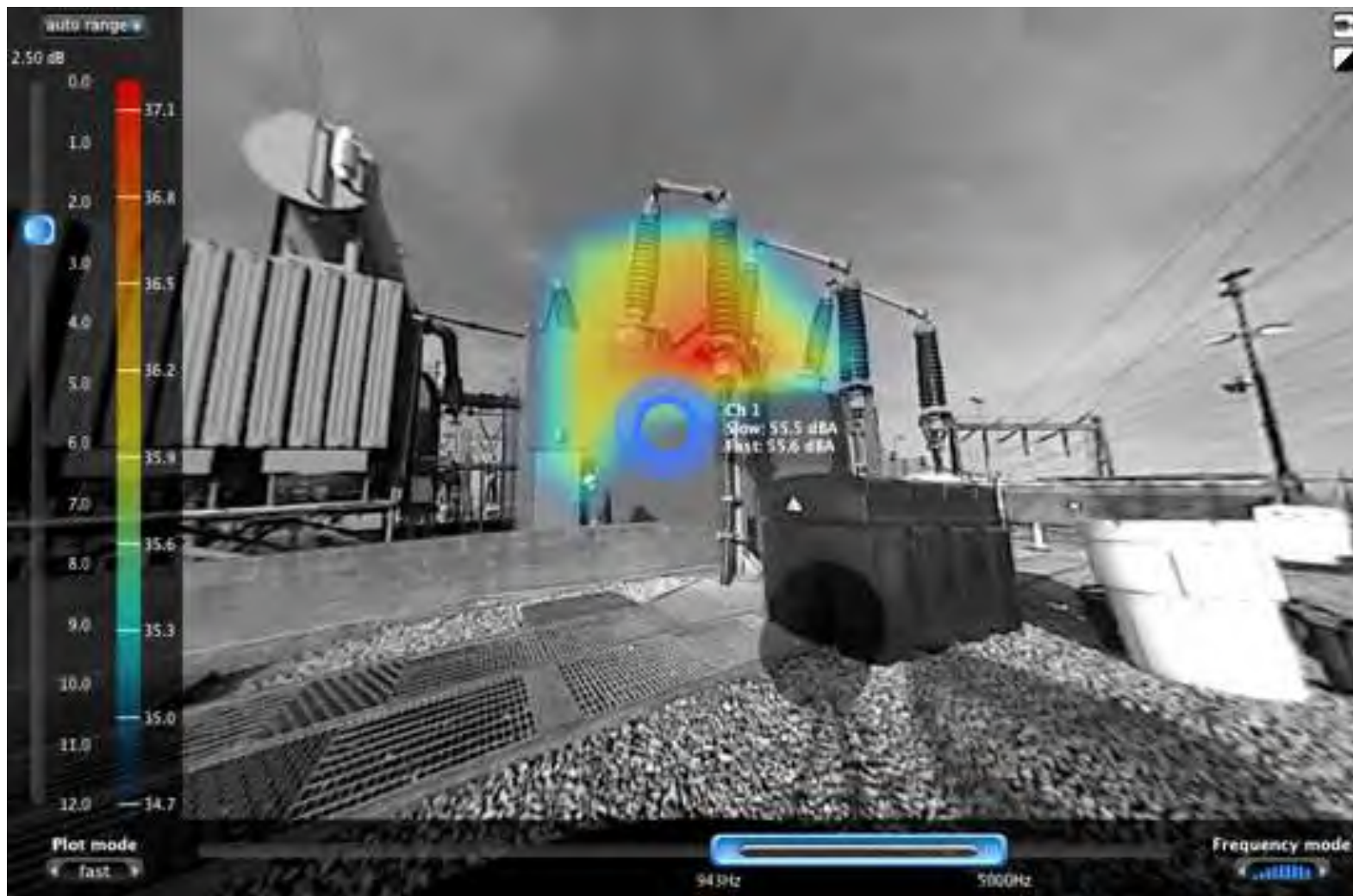


补充手
音频即可

示例：设备噪声分析

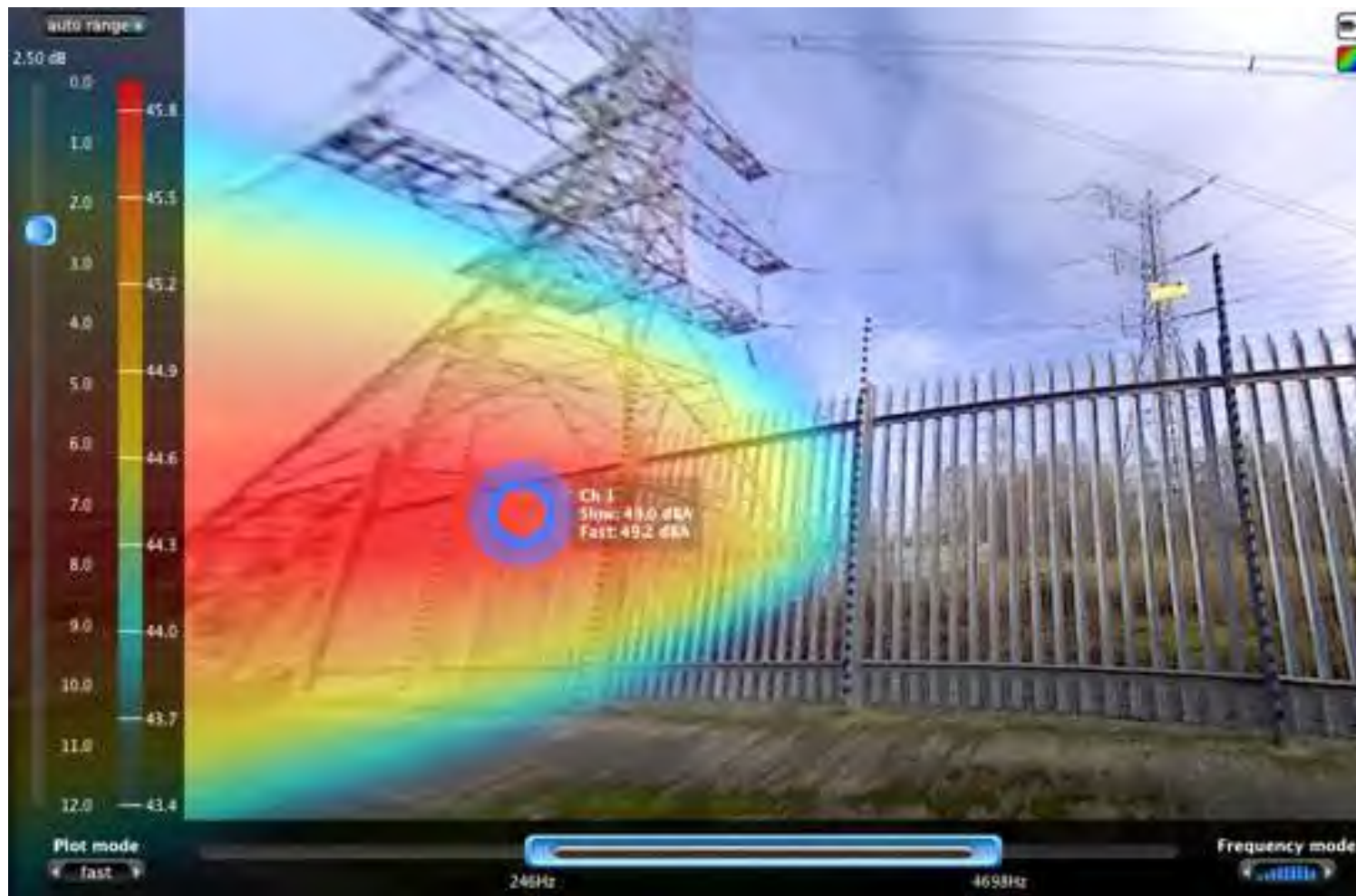
2. 基于声信号的目标识别技术

工业设备噪声识别与故障检测1



2. 基于声信号的目标识别技术

工业设备噪声识别与故障检测2



2. 基于声信号的目标识别技术

办公环境噪声识别



2. 基于声信号的目标识别技术

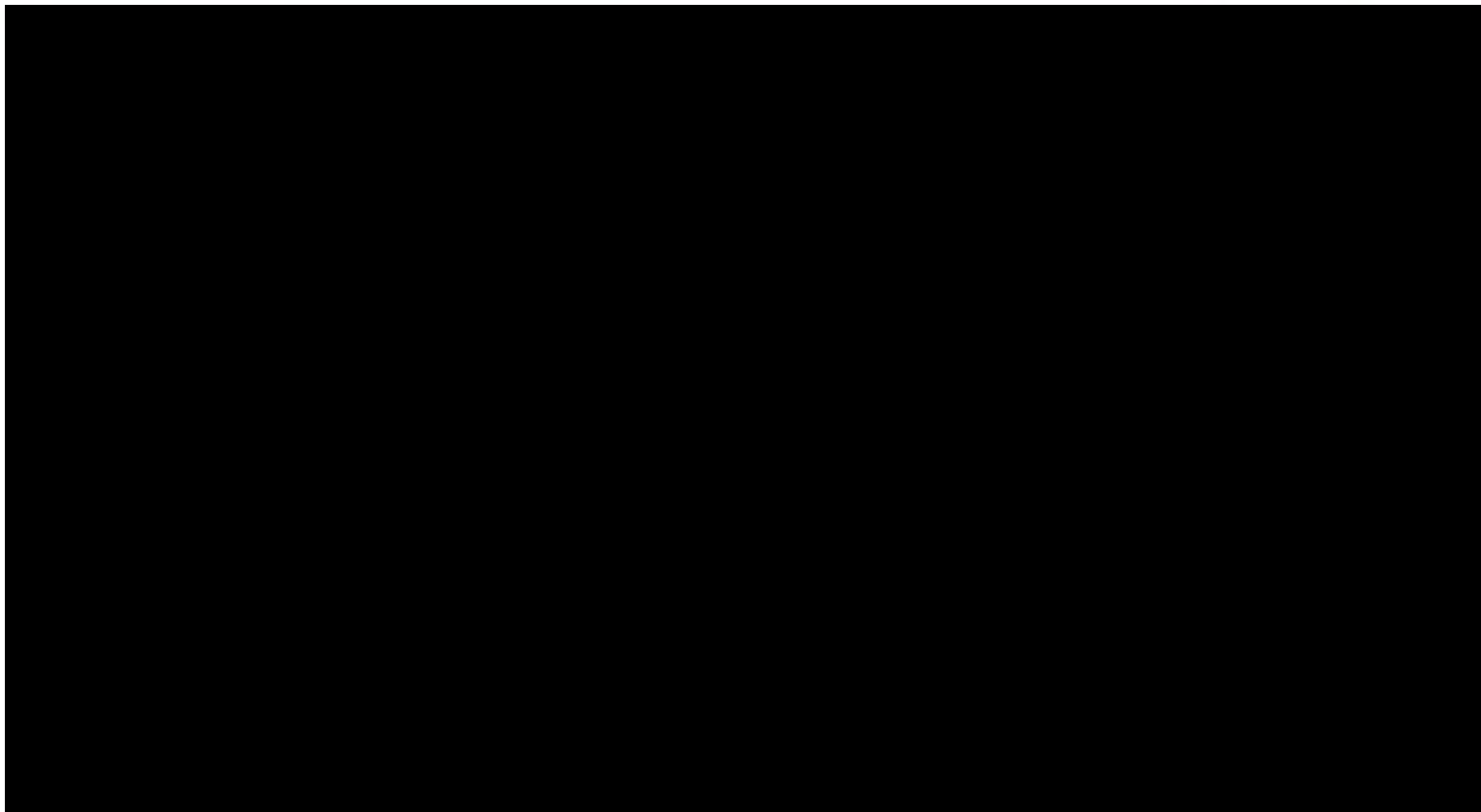
④、生态系统监测领域

随着算力、算法的不断提升，基于声音智能技术的物种监测随之而来，针对“只闻其声，不见其物”的动物，采用基于AI的声音监测系统进行识别是一种非常有效的方法。

该类系统采用高灵敏度的拾音器设备和集成声音识别AI算法模型的物种声音识别边缘计算设备，可以长时间实时采集野生动物声音数据，并对其进行动物物种及声音场景的分类识别。

分析处理声音数据后，系统会将监测数据和对应的识别结果发送至后台数据库进行统计分析，记录出现的物种及频次。如果发现出现新物种、保护物种或珍稀物种，系统会以邮件形式发出新物种报告，并由专业人员进行复核。此外，该系统与物种视频识别系统相结合，可共同构建更加完备的动物智慧监测识别系统。

2. 基于声信号的目标识别技术



2. 基于声信号的目标识别技术

虽然声目标识别具有巨大的应用潜力，但与自动语音识别领域相比，目前仍处于起步阶段。实际上，声目标识别是一种分类任务，旨在为特定事件实例分配标签。然而，这项看似简单的任务实际上具有相当大的挑战。首先，许多音频事件展现出强烈的时间结构，需要明确的建模方法。此外，由于随机声目标的频率范围和持续时间变化多端，与语音相比更为复杂。研究表明，简单地将语音识别方法直接应用于声目标识别往往无法取得令人满意的效果。因此，声目标识别仍是一个学术界具有挑战性的研究领域。

2. 基于声信号的目标识别技术

基于超声波的目标识别

声呐是基于超声波进行目标识别的典型应用，同时也是水下目标识别的典型应用。

声呐是利用声波对水下目标进行探测和定位识别技术的总称。



2. 基于声信号的目标识别技术

基于超声波的目标识别

在陆地上可用雷达探测千里以外的物体，这是运用电磁波遇到物体将被反射回来的原理而实现的。但是电磁波在水中传播时，其能量将很快被水吸收，因而不能传播较远的距离。而声波在水中却很少被吸收，传播距离可达几千公里。声波在水中传播的速度约为1500 米/秒。声波是目前已知的唯一能在水中远程传播的波，所以声呐便成为水中深测目标、传递信息的有效工具。声呐是在水下目标进行探测和定位识别，因为超声波在水中传播时损耗小，且波长较短，易聚成细束。再则目前技术上已能制造功率很强的超声波源。

2. 基于声信号的目标识别技术

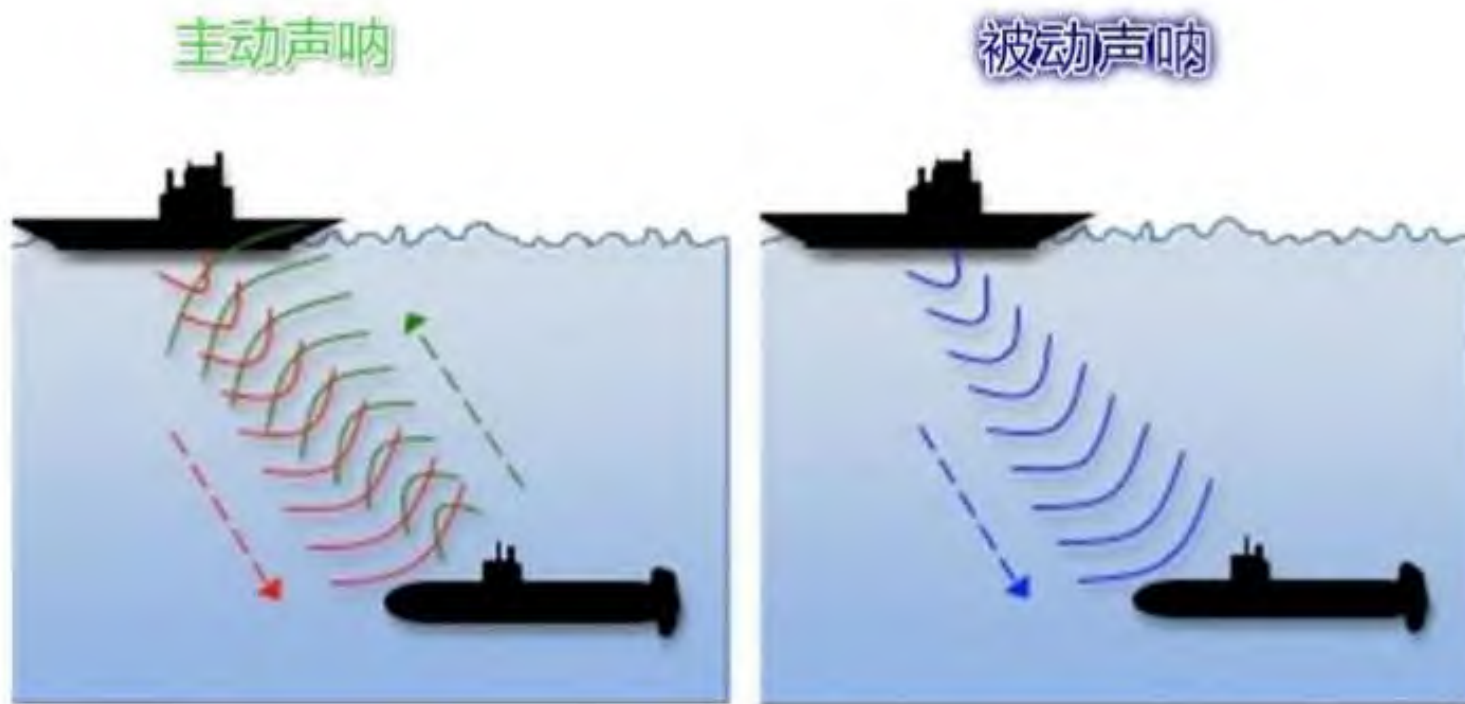
声呐技术至今已有超过100年历史，它是1906年由英国海军的李维斯·理察森（Lewis Nixon）所发明。他发明的第一部声呐仪是一种被动式的聆听装置，主要用来侦测冰山。这种技术，到第一次世界大战时开始被应用到战场上，用来侦测潜藏在水底的潜水艇。目前已能制造分辨率和准确度都很高的声呐系统，利用这种系统甚至可以分辨出远距离的一小块铁块。

声呐在军事上很有用，它不但是探测潜没在水中的潜艇的主要手段，也是潜没在水中的潜艇了解周围环境的主要工具，常常被喻为舰艇的水下“耳目”。一艘现代的潜艇上通常装置十余部各种类型的声呐装置。

此外，声呐还被用于探雷、制导、导航以及航道测量等方面。在民用方面，声呐常应用于捕鱼、海底地质勘探、水下定位、石油开发和海洋研究等工作中。声呐还可用来制造供盲人使用的定向仪器。

2. 基于声信号的目标识别技术

声呐可分为**主动式**与**被动式**两大类，即主动声纳和被动声纳，如下图所示：



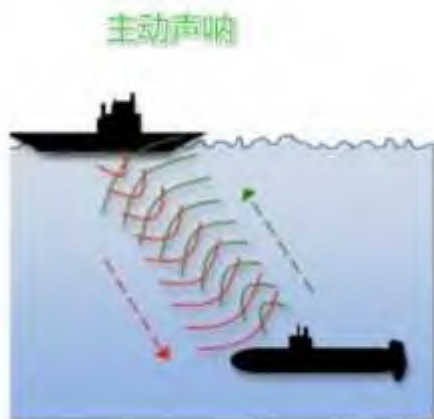
示例：主动声纳与被动声纳

2. 基于声信号的目标识别技术

① 主动声呐（回声定位声呐）

主动声呐原理：本身发射声波，然后当声波遇到被测物体时便反射回来，再由接收器接收，并经过声电转换及信号放大等步骤显示在荧光屏上。根据发射声波的方向以及来回所经历的时间间隔，就可计算出物体的方位和距离。

主动声呐的应用：主动声呐可用于侦察潜艇和海底障碍物等。



示例：水面舰艇发射声呐，遇到潜艇后反射，进而侦察潜艇。

2. 基于声信号的目标识别技术

②被动声呐（噪声测向或测距声呐）：

被动声呐技术是指声呐被动接收舰船等水中目标产生的辐射噪声和水声设备发射的信号，以测定目标的方位和距离。它由简单的水听器演变而来，它收听目标发出的噪声，判断出目标的位置和某些特性，特别适用于不能发声暴露自己而又要探测敌舰活动的潜艇。



示例：水中潜艇探测水面舰船

目录

1

• 目标识别技术的定义与分类

2

• 基于声信号的目标识别技术

3

• 基于光信号的目标识别技术

4

• 基于无线电信号的目标识别技术

3. 基于光信号的目标识别技术

基于光信号的目标识别是指通过目标对光信号的反射来进行目标识别。基于光信号的目标识别主要可分为**基于图像的目标识别、基于视频的目标识别、基于激光雷达的目标识别**。

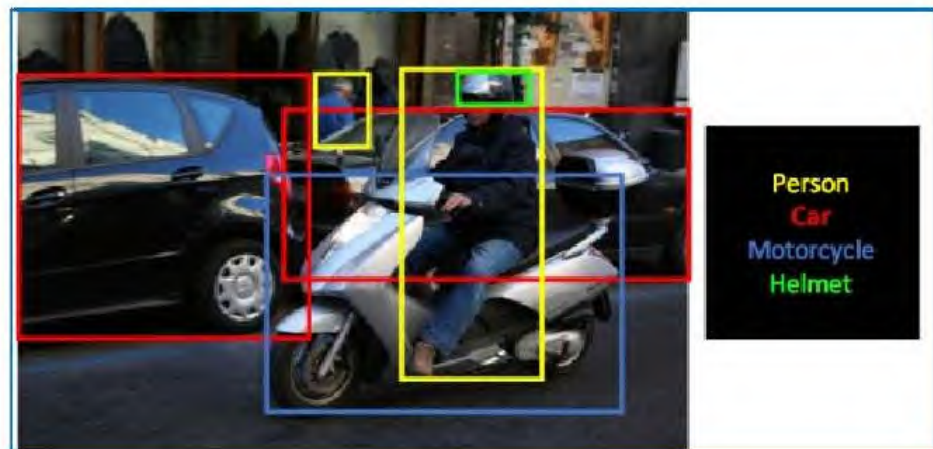
基于图像的目标识别：通过对图像进行处理、分析和理解，使计算机能够识别各种不同模式的目标。图像识别一般利用人工智能技术，特别是机器学习的方法，使得计算机能够识别图像中的目标内容。图像识别是模式识别研究的一个重要领域，涉及手写字符识别、人脸识别、物体识别等等，并且其中一些相对成熟的技术已经得到了广泛的商业应用。

随着智能终端的迅速普及，计算机技术和互联网的持续快速发展，以及自媒体（包括社交网站、微信、微博、各种论坛等）的不断创新，使得数字图像的数量剧增，形式也愈加多样化，信息传播方式发生了巨大变革，计算机视觉信息处理技术显得尤为重要。

3. 基于光信号的目标识别技术

计算机视觉信息处理过程是计算机基于外部感知数据构建模拟人类视觉能力的智能系统并对目标进行判断和识别，涉及现实复杂场景的分析与理解。其基础是判断图片中物体所属类型以及所在位置。

因此，图像目标检测是计算机视觉信息处理的基本问题，是行为理解、场景分类和视频内容检索等其他高级复杂视觉问题的基础。所谓图像目标检测，是通过分析数字图像的内容，提取图像中的特征信息，判断图像中物体所属类别以及所处位置，如下图所示：



图像物体检测技术的研究具有学术研究与实践应用的双重意义。

3. 基于光信号的目标识别技术

作为模式识别和信息处理的重要分支，**图像目标检测技术**是该领域的一个重要基石，但也存在着众多难点问题，因此图像目标检测技术一直都是该领域的研究热点。

传统的图像目标检测方法一般采用人工特征提取方法，这在很大程度上依赖于特定的目标检测任务，如车辆检测、人体目标检测、空中飞行目标检测等。对于不同的目标或同一目标的不同状态，设计者需要思考提取何种特征才能获取符合目标特征的特征描述，以及如何设计提取这些特征。

同时，传统的图像目标检测方法将特征提取和分类检测训练割裂开，在人工特征提取过程中丢失的有用信息，也无法在分类检测训练中恢复出来。因此，研究一种自适应提取特征，将特征提取和分类检测整合在同一框架下的图像目标检测方法，是实现准确效率的图像目标检测的重要思路。

3. 基于光信号的目标识别技术

在计算机视觉和人工智能迅猛发展的数字化时代，图像目标检测在很多领域有广泛应用，包括安防领域的人脸识别、行人检测与跟踪、智能视频分析，交通领域的交通场景物体识别，车辆计数、逆行检测、车牌检测以及智能服务机器人等领域。



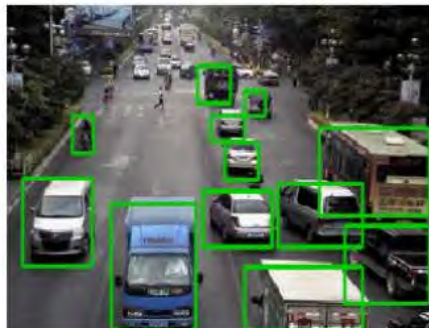
智能养老机器人



服务机器人



人流/人体目标检测



车辆检测

3. 基于光信号的目标识别技术

①、智能服务机器人

基于视觉的智能服务机器人展开服务的核心问题就是目标检测。在复杂场景中移动的视觉服务机器人，经常会因为磕碰到未检测出障碍物而发生服务中断或服务路径错误的现象。如果采用图像目标检测技术识别房间中的常见目标，构建室内语义地图，规划服务最佳路径，判断老人是否跌倒，提高服务效率。



示例：智能服务机器人

3. 基于光信号的目标识别技术

②、安防监控

随着“平安城市”的建设，全国各地部署了数千万的监控摄像头，为公共安全监控提供了良好的物资基础和大数据支撑。但实际的监控任务多数仍需人工完成，视频监控数据无法完全得到实时处理，造成犯罪事件的漏检错检，因此，实现视频监控的“智能化”极为重要。基于计算机的目标检测技术对获取的视频图像进行分析，有效识别和检测相关可疑人员及其异常行为，防患于未然。

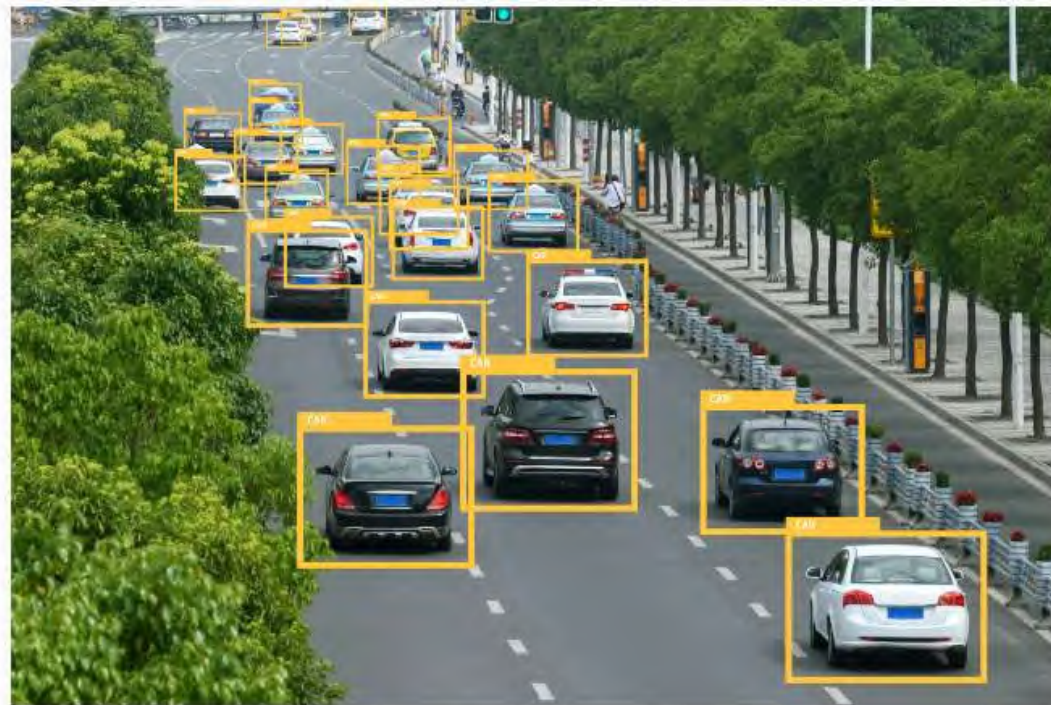


示例：安防监控

3. 基于光信号的目标识别技术

③、公共交通

公共交通的目标检测技术是以视频图像为分析对象，通过对提前设定的检测区域图像内的车辆检测及相关运动信息的分析得到目标的交通状态。基于视频图像处理的车辆检测技术是智能交通系统中的基础部分，是采集交通信息的重要手段。



示例：车辆检测

3. 基于光信号的目标识别技术

基于视频的目标识别：

近几年，随着科技的发展和计算机硬件性能的提升，深度学习技术蓬勃发展，使“**人工智能**”从概念逐渐接近现实，以之为基础的各种方法和产品也进入了人们的生活中，提升了人们的生活质量，对社会经济的发展产生了积极的影响。作为人工智能最热的研究领域之一，计算机视觉也由于深度学习技术取得了巨大的进展。其中视频目标检测技术，作为人机智能交互应用的基础技术，一直备受关注。

目标检测的目的是为了让计算机如人一样能够智能地分析、理解图像，并从这些图像中提取语义目标，比如行人、车辆等。在过去的几年中，基于深度学习的图像目标检测技术的检测性能产生了质的飞跃。但在许多实际场景中，如视频监控、车辆辅助驾驶等领域，高性能的视频目标检测方法将更具有价值和意义。

3. 基于光信号的目标识别技术

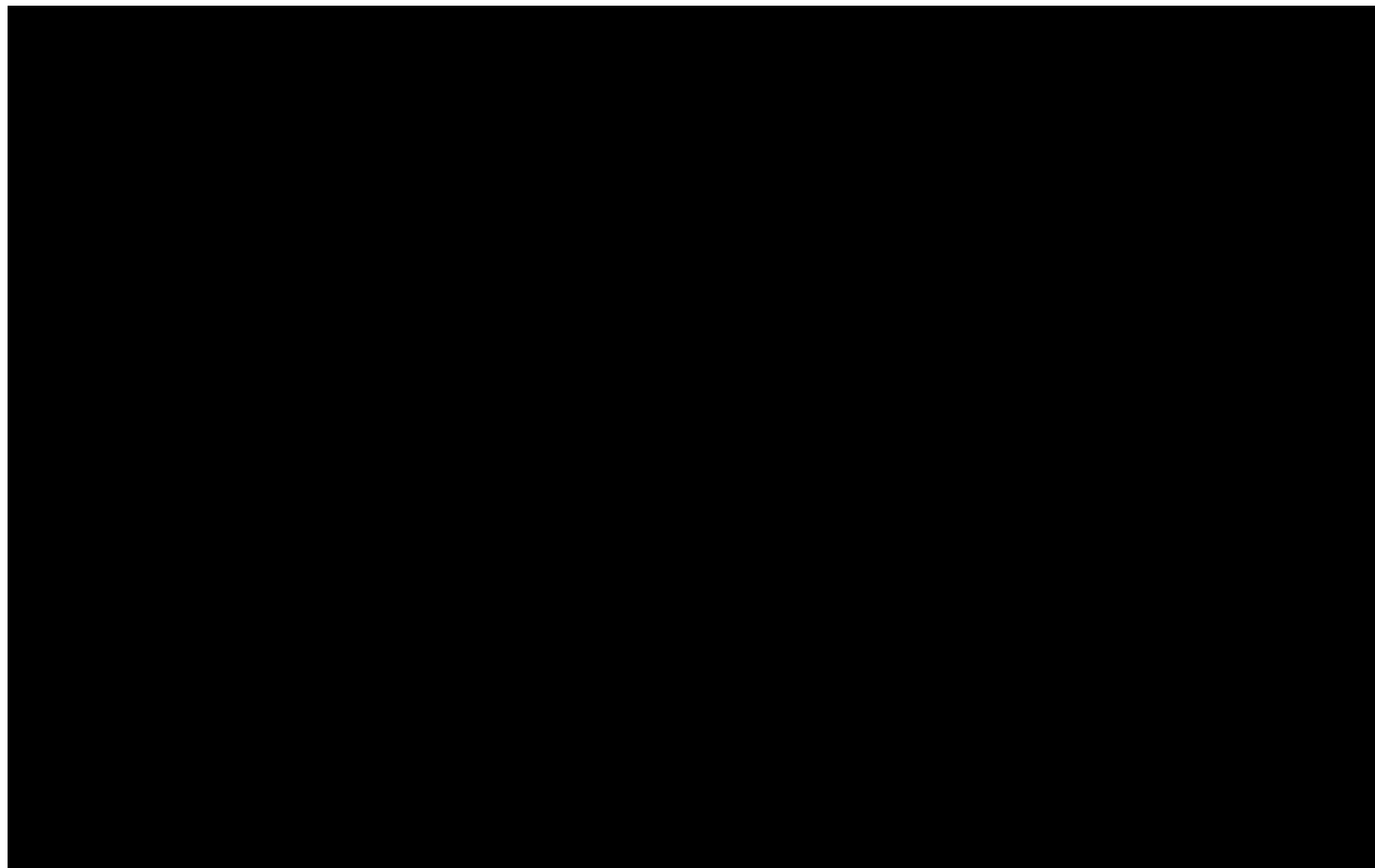
2015 年，随着 ImageNet 视频目标检测（VID）挑战任务的引入，**视频目标检测**在越来越受到关注的同时也展现出巨大的实用价值和应用前景。其在公共安防领域、自动驾驶等方面有着广泛的应用需求。例如在公共安防领域中，许多以目标检测为前提的高级视觉任务，比如异常事件或活动检测、交通状况检测等，都需要使用目标检测技术在复杂的现实环境中检测出预定目标。因为该类任务更加注重目标的动态性，所以视频目标检测方法更为合适和有效



示例：视频目标检测

3. 基于光信号的目标识别技术

示例：基于视频的小目标检测



3. 基于光信号的目标识别技术

视频目标检测与图像目标检测相比，最大的特点就是视频中的目标本身往往具有运动特性，同时目标与背景会产生更多的关联。

从一个角度来看，该特点导致即使直接将最优秀的单帧图像目标检测方法移植到视频检测任务中也并不能得到很好的检测结果，因为视频目标往往会存在运动模糊、相机失焦、目标遮挡或拥挤、目标形态变化多样性等情况。从另一个角度来看，视频中存在大量的冗余帧，其带来了丰富的目标时序信息和上下文等信息，如何利用这些信息来提升视频目标检测精度和速度也是该任务面临的问题之一。另外，视频目标检测方法还应该保证长时间稳定地命中每个目标，减少目标丢失和漂移，减轻检测结果的中心位置抖动和尺度及纵横比抖动，这也是视频目标检测在实际应用中所面临的挑战。

视频目标检测将会成为为计算机视觉备受关注的领域之一，将视频目标检测算法应用到的实际的工程领域顺应了时代发展的潮流，具有一定的科学意义和良好的应用前景。

3. 基于光信号的目标识别技术

基于激光雷达的目标识别

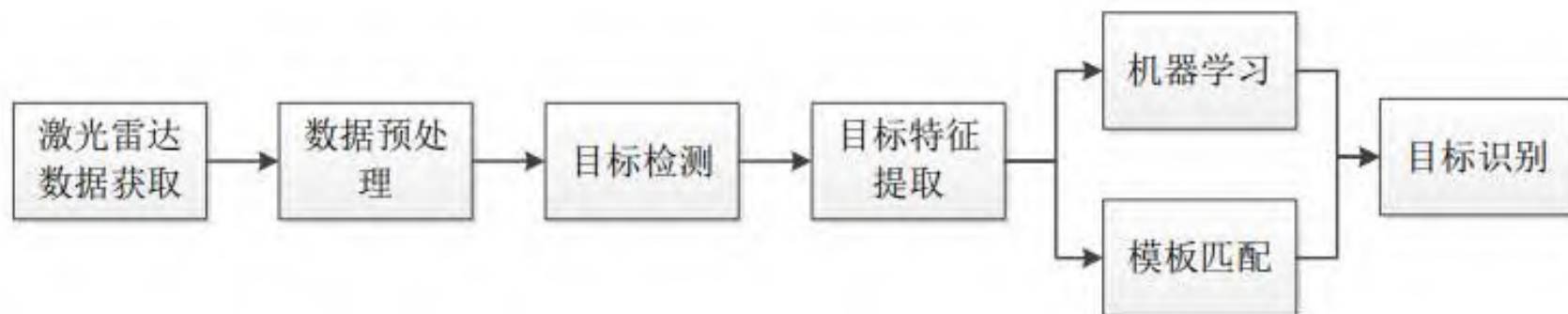
基于激光雷达的目标检测与识别技术是指从雷达数据中自动检测并识别出目标的过程，其广泛应用与军事与民用领域上。

在军事上，各种侦察机器人层出不穷，激光雷达作为该类机器人的主要传感器，负责对场景进行三维重绘，得到场景的真实三维信息。

在民用上，随着对无人车、无人船技术研究的不断深入化，无人驾驶技术在复杂场景下面临着一系列具有挑战性的环境感知问题，激光雷达作为环境感知传感器，负责对场景中的障碍物进行快速准确检测，便于及时对无人车、无人船的运动姿态进行调整。

3. 基于光信号的目标识别技术

激光雷达目标检测与识别技术的流程一般包括：数据解析、数据预处理、目标检测、特征提取、目标识别等。流程框图下图所示。



首先，根据激光雷达的数据传输协议对其原始数据包进行解析，对得到的原始数据进行预处理；随后使用目标检测算法，提取出三维场景中多类目标，根据目标的全局特征或局部特征，建立目标的特征描述子，最后使用机器学习或模型匹配的方法对目标进行识别。

目录

1

• 目标识别技术的定义与分类

2

• 基于声信号的目标识别技术

3

• 基于光信号的目标识别技术

4

• 基于无线电信号的目标识别技术

3. 基于无线电信号的目标识别技术

无线信号定义：

无线信号是指不依赖于导线传播的电磁信号，其利用电磁波的传播特性，实现无导向线的远距离信息传输和环境感知，是现代信息社会的重要基础。

基于无线信号的目标识别：

无线信号在目标识别中的应用，是指利用无线电信号的传播特性，结合信号处理和机器学习算法，实现对目标进行检测、定位和识别的一类技术。其基本原理是：无线信号发射后与目标相互作用，目标会引起信号的反射、散射、衍射等效应，通过分析信号参数变化，可以判断目标的存在并提取其特征，进而实现对目标的识别。这类技术利用了无线信号的穿墙能力，可以非视线探测目标，有望应用于安防监控、智能家居、无人驾驶等领域。下面主要介绍基于雷达、WiFi、RFID三种技术的目标识别方法。

3. 基于无线电信号的目标识别技术

雷达技术简述

雷达(Radar)是一种基本的无线电探测和测距装置，工作距离远、时间长，具有一定的穿透能力，广泛应用于军事和民用领域。随着现代信息化战争对武器和电子系统的要求越来越高，需要雷达获取更多的雷达目标的特征信息，并且可以对雷达目标进行可靠的分类和识别。



3. 基于无线电信号的目标识别技术

基于雷达的目标识别简述

雷达目标识别主要是在目标检测的基础上，从目标的散射回波中提取电磁散射特征，进而识别目标。雷达自动目标识别技术可以提供的目标信息包括其种类、编队架次、属性甚至是武器挂载等等，这些在现代信息化战争中至关重要。因此，雷达自动目标识别技术对于提高军队的指挥自动化水平，增强敌我识别、精确制导、电子对抗、防空反导、情报获取、空间探测以及战略预警能力都具有十分重要的作用。

随着雷达目标识别技术的快速发展，从军事到民用，从弹道导弹防御到气象预报、从海情到埋地物监测等等各个领域都应用到雷达目标识别技术，并且弹道雷达目标识别在其中更是重中之重。

。

3. 基于无线电信号的目标识别技术

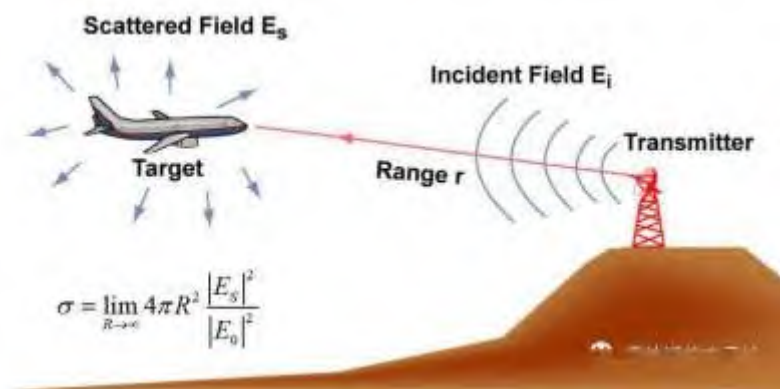
雷达自动目标识别技术在军事战争中的应用：

- ❑ 1955年，最早具有识别能力的雷达产自法国，其利用多普勒音频信号来对地面目标进行识别。
- ❑ 上世纪60年代,美国建立的弹道导弹预警系统2里所使用的AN/FPS-108雷达总共可以产生的雷达波多达10种，其使用窄带信号来搜索、宽带信号来识别。
- ❑ 70年代初美国利用Tradex、Altair、Alcor以及毫米波雷达(MMW)进行雷达组网，从少量的诱饵云及助推器碎片中成功识别出了“民兵”导弹弹头。
- ❑ 1986年，美国国防部列出的二十项国防关键技术中就包括了雷达自动目标识别技术,并将其作为提高防空武器系统生存及性能的重要手段。
- ❑ 在1991年的海湾战争，美国的AN/MPQ-53雷达已经具备检测、跟踪以及有限识别高、中、低空目标的能力，可以分辨气动型以及弹道型目标，同时也可以识别真假弹头，从而确定拦截的优先级。
- ❑ 2002年，美国林肯实验室(Lincoln Laboratory)公开的资料显示，在多次的飞行测试中，美国弹道导弹防御系统中的X波段宽带雷达可以在多个假目标和诱饵的干扰下精准识别、跟踪靶弹。由此可以看出，美国在雷达目标识别技术上的研究持续进行了几十年，并且通过实际装备进行了许多验证。

3. 基于无线电信号的目标识别技术

按照特征种类的不同可以将雷达目标识别技术分作下面几类:

(1) **基于RCS (Radar Cross-Section) 及其起伏特征的雷达目标识别**。雷达目标的RCS随着其相对于雷达视线的姿态改变而改变, RCS 的起伏与目标的尺寸和形状有关。其中, RCS的大小、随时间的变化规律及其统计特性等都可以作为目标识别的特征。



雷达散射截面积: 目标在雷达接收方向上反射雷达信号能力的度量, 一个目标的RCS等于单位立体角目标在雷达接收天线方向上反射的功率(每单独立体角)与入射到目标处的功率密度(每平方米)之比。

(2) **基于微动特征的雷达目标识别**。微动特征 (目标在雷达扫描过程中产生的旋转或运动引起的多普勒频率的变化特征) 蕴含了目标的结构以及运动信息, 反映了目标的电磁散射特性, 可以用于分类与识别。其关键在于对微多普勒进行精准的估计和提取, 按照数据种类主要有两种方法: 一是用窄带RCS序列来估计周期, 二是利用时频分析方法进行特征提取。

3. 基于无线电信号的目标识别技术

(3) **基于极点特征的雷达目标识别**。雷达目标的极点特征（目标在不同方位角下的散射特性变化）仅仅与目标的形状结构、尺寸大小以及构成材料等等固有的属性有关，而与目标的姿态变化无关，因此，有许多学者将其作为目标识别的特征。

(4) **基于极化特征的雷达目标识别**。目标的极化特征（雷达发射和接收信号的极化状态及其与目标相互作用产生的效应）是电磁散射中的一个重要属性。回波的矢量特征可以由极化来表示，同时其极化特性也是由目标的本质属性决定的。通常可用极化散射矩阵、瞬态极化统计来进行目标识别。

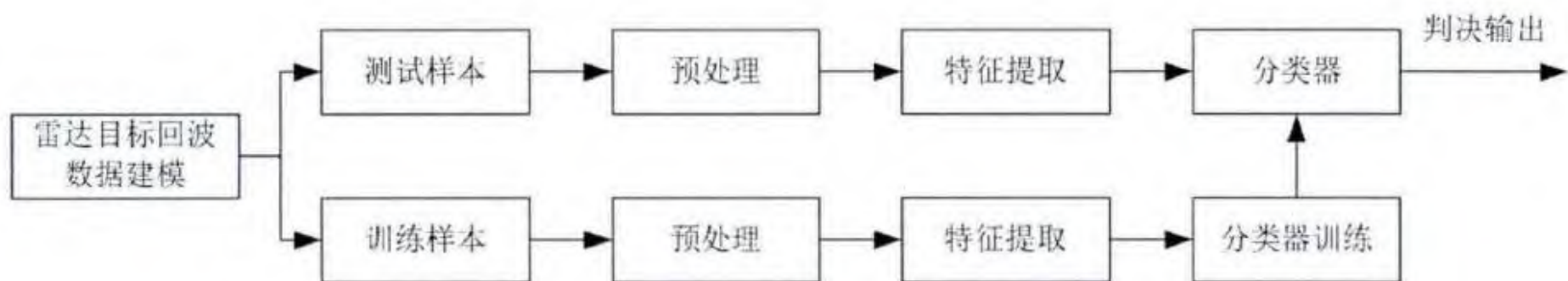
3. 基于无线电信号的目标识别技术

(5) 基于高分辨一维距离像 (High Range Resolution Profile, 简称HRRP) 的雷达目标识别。在光学定义下, 雷达目标可以等效为由多个离散散射中心组成, 而不同目标对应的散射中心分布、幅度、类型等不同, 因此可以利用散射中心特征进行目标识别。高分辨一维距离像反映了雷达目标的散射中心沿距离维的分布情况, 是雷达目标的重要的结构特征, 对目标识别很有价值。随着高分辨雷达的不断普及, 获取高分辨一维距离像特征也更加容易, 基于高分辨一维距离像的雷达目标识别方法已经成为近年来研究最多的一种方法。

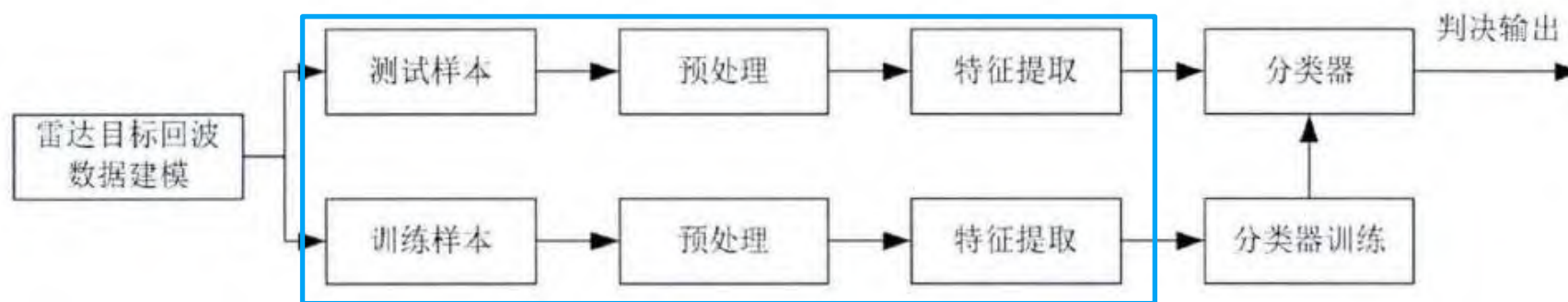
(6) 基于合成孔径雷达 (Synthetic Aperture Radar, 简称SAR) 像/逆合成孔径雷达 (Inverse Synthetic Aperture Radar, 简称ISAR) 像的雷达目标识别。与高分辨一维距离像相比, SAR和ISAR像能够同时提供雷达目标的距离和方位向信息, 更好地反映了目标的几何结构。但是, 它们对目标的转动角度以及目标的横向定位都有一定的要求, 同时需要的运动补偿算法也比较复杂, 因此对目标识别的实时性有一定影响。

3. 基于无线电信号的目标识别技术

雷达目标识别流程如下图所示：

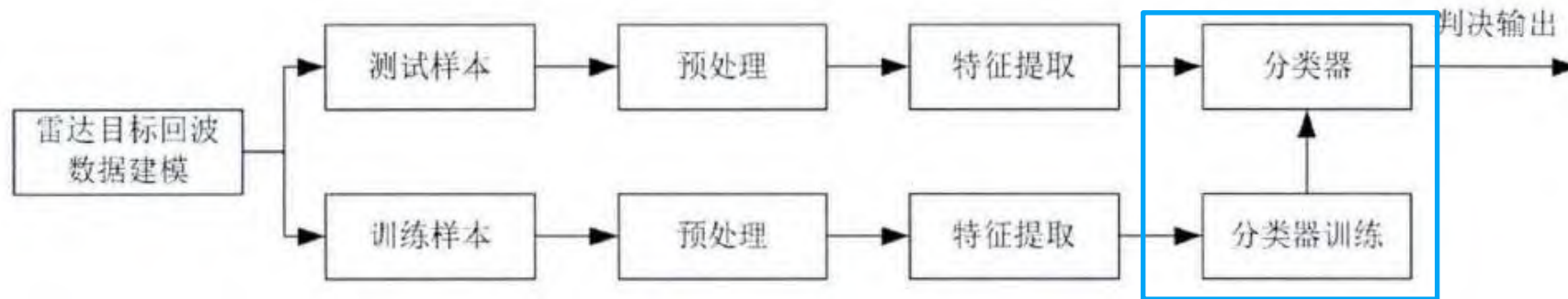


3. 基于无线电信号的目标识别技术



- (1) 雷达目标回波数据建模是指使用数学方法建立描述雷达目标回波特性的模型。
- (2) 预处理：对采集到的原始回波数据进行去噪、干扰分离等预处理,提取有效信息。
- (3) 特征提取：从预处理后的数据中，使用信号分析方法提取目标的回波特征，如多普勒特征、极化特征等。特征提取是模型建立的基础，通过提取回波数据中的特征，可以建立更加准确解释目标散射机理的模型。

3. 基于无线电信号的目标识别技术



(4) 分类识别：即在对数据的训练样本特征提取之后，对分类器进行训练，同时利用其对未知类别的数据测试样本进行分类识别。目前常用的分类器有最小距离分类器(Minimum Distance Classifier, 简称MDC)、K近邻(K-Nearest Neighbor, 简称KNN)、相关匹配、贝叶斯分类器(Bayes Classifier)、支持向量机(Support Vector Machine, 简称SVM)、神经网络(Neural Network, 简称NN)等单分类器以及融合分类器。

3. 基于无线电信号的目标识别技术

WiFi技术简述

WiFi是 Wireless Fidelity 的缩写，指一种基于IEEE 802.11标准的无线局域网技术，使用2.4GHz、5GHz等频段的电磁波信号，通过无线路由器实现在数百米范围内的无线网络访问。它实现了在普通家庭、企业、公共场所通过无线方式进行数据传输和网络访问，是当前应用最广泛的无线网络接入技术之一。主要特点有易部署、移动自由、网络共享等。

WiFi信号传播过程中会与室内环境中的人员及物体产生反射、散射、衍射等效应,从而在信号的参数上引起可检测的变化。通过分析WiFi信号的变化，可以感知室内环境和目标的信息。具体可分析的信号特征包括信号强度、相位、频率等在时域和频域上的变化，这些变化反映了环境中的运动、存在等信息。综合多种特征的变化，可以实现对室内目标的探测、识别和定位。

3. 基于无线电信号的目标识别技术

WiFi技术的优势：

与一些传统的无线设备相比，WIFI具有如下几项**优点**：（1）成本低廉（2）设备易于部署（3）信号覆盖范围广（4）传输速率较快（5）具有良好的稳定性。

WiFi技术在目标识别相关的应用领域：

随着WiFi网络的广泛普及，基于WiFi信道状态信息的感知方法在室内定位、入侵检测、人体行为识别等方面引起了广泛的关注。它在以下几种场景具有良好的应用前景：

（1）安防领域：

由于摄像头监控容易侵犯人的隐私，容易受到光线烟雾的影响，而且有一定的盲区，虽然识别精度很高，但是有一定的局限性。红外监控存在着布线复杂，误报率高等问题，因此也不能广泛的普及应用。而基于无线的检测方法，则不会受到上述因素的影响。我们可以对非法入侵者提前进行识别，及早预警，从而提醒监测人员做好相关防范措施。

3. 基于无线电信号的目标识别技术

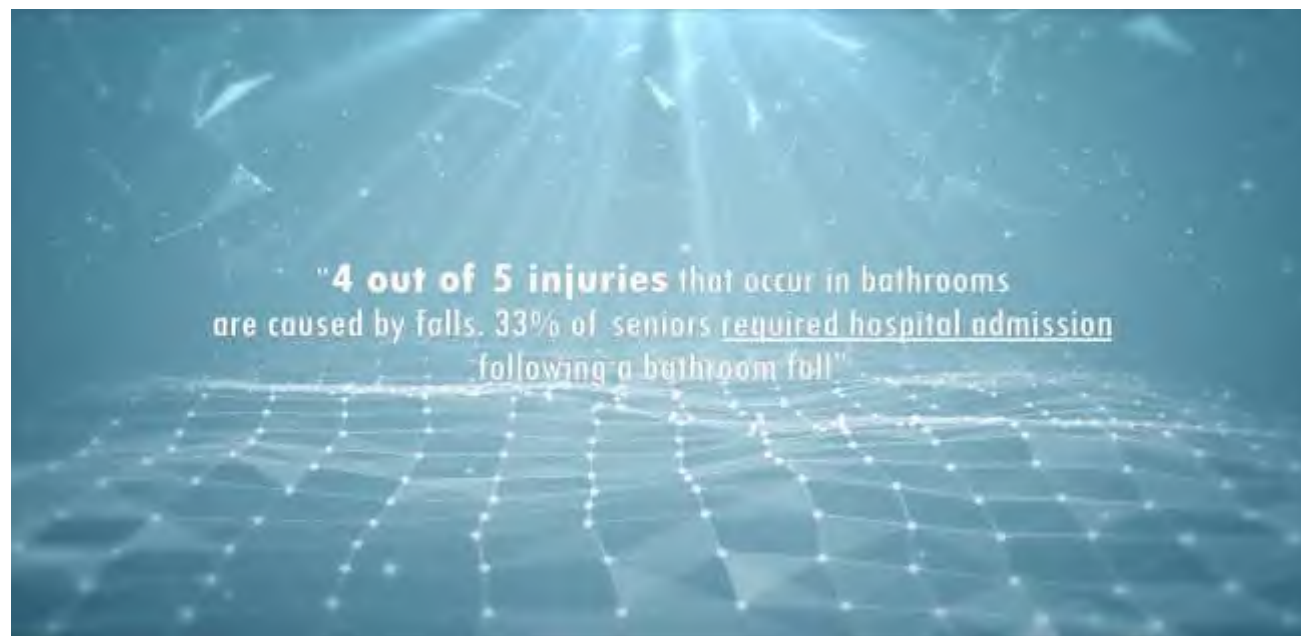
基于WIFI技术的WIFI智能报警器如下图所示，我们可以对非法入侵者提前进行识别，及早预警，从而提醒监测人员做好相关防范措施。



3. 基于无线电信号的目标识别技术

(2) 跌倒检测:

根据疾病控制和预防中心的最新一项调查显示,对于超过65岁的老人来说,每年有近1/3的老人会发生意外跌倒。跌倒不仅仅威胁着老人的生命健康,而且还会花费很大的一笔医疗费。基于WIFI的跌倒检测方法,会在识别跌倒动作后做出及时的报警,避免发生危及生命的意外事故。



3. 基于无线电信号的目标识别技术

(3) 火灾救援:

发生意外火灾，在消防人员不确定是否有被困人员的情况下，贸然闯入烟雾弥漫的事发现场，可能会危及消防人员的生命安全。而基于WIFI信号的人体识别技术可以检测火灾现场是否有人，从而避免发生人员牺牲。

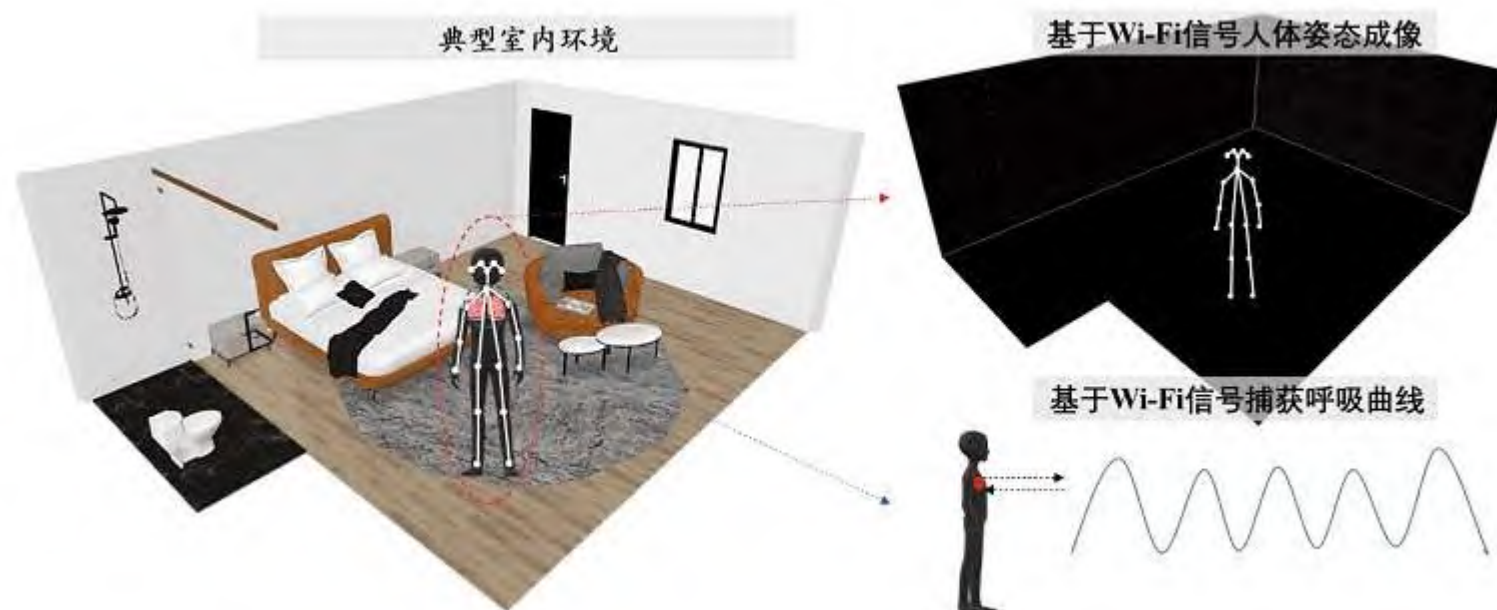


WIFI人体感知

3. 基于无线电信号的目标识别技术

(4) 智能家居：

基于WiFi信号的无源感知技术，可以实现对家居环境中人和物体活动的自动监测和分析，为智能家居提供关键的环境认知能力。具体来说，可以通过分析WiFi信号在空间中的衰减和多路径效应变化，实现人员的定位和跟踪,检测房间的人数变化。在此基础上，可以实现诸如智能照明、温控、安防等功能，做出对应不同情况的自动响应和控制，提高家居的舒适性、便利性和安全性。



3. 基于无线电信号的目标识别技术

③、RFID技术简述

R
探
变
的

二
C
R
用
机



示例：RFID标签

国和美国
是我方。
帮助进行敌
改进和应

出实验室
Electronic Arti
RFID 的产
物流管理、



示例：RFID读写器

3. 基于无线电信号的目标识别技术

九十年代为 RFID 发展历史上最为重要的十年，此间意大利、美国、法国、西班牙等国家开始大规模部署 RFID 用于电子不停车收费系统（Electronic Toll Collection, ETC），仅北美地区就安装了约 3 亿个标签。这也成为综合性的集成 RFID 应用的开始。

进入二十一世纪，RFID 标准化初步形成，全球的多个标准化组织，如美国的 EPCglobal、日本的 UID 和韩国的 NID 等，都在积极参与并试图在标识编码、操作协议、应用接口等方面制定统一和规范的平台。世界零售业巨头沃尔玛公司宣布采用 RFID 技术管理供应链中的商品，并要求其供应商在货品和外包装上粘贴射频标签。RFID 在得到更广泛和大规模应用的同时，产品种类也变得更加丰富，电子标签成本不断降低。

3. 基于无线电信号的目标识别技术

RFID技术的优势与应用

射频识别是一种**无线通信技术**，通过无线电信号（交变磁场或电磁场）实现对特定目标的识别和相关数据的读写，因此无需识别系统与特定目标之间建立机械或者光学接触。相比于传统的条码技术，它具有**非接触识别、通信距离远、使用寿命长、耐环境性、难以复制、可批量识别多个标签**等诸多优点。因此也被认为是未来可替代条形码的一项重要技术。典型的应用实例包括但不限于：门禁系统、供应链、产品防伪、动物标识、交通运输等。

3. 基于无线电信号的目标识别技术

(1) 门禁系统：很多学校和公司等都采用**电子标签**来进行身份识别，还可以对小区或停车场的车辆出入进行实时监控。此外，现在普遍应用的二代身份证、电子护照和学生证等都是电子标签的杰出产物。



示例：RFID门禁系统

3. 基于无线电信号的目标识别技术

(2) 供应链管理：这是目前 RFID 市场的重头戏，企业需要实地、准确地掌握供应链上的商品、信息和资金的流向，通过对仓储、物流的全过程管理，实现降低成本和提高服务水平为目的。由于 RFID 具有**远距离读取、快速扫描、高存储量等优点**，可以帮助企业大大提高货品管理的效率和效益，下图所示是基于RFID的供应链管理系统。



示例：基于RFID的供应链管理系统

3. 基于无线电信号的目标识别技术

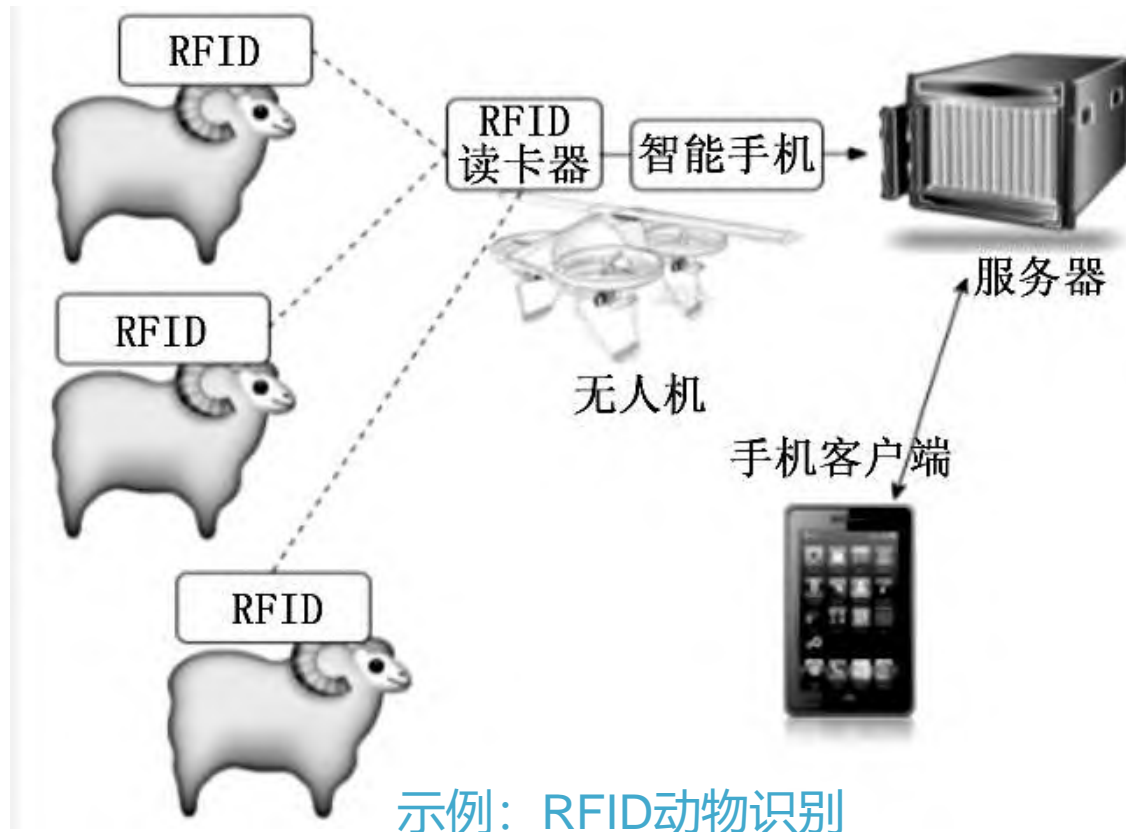
(3) 产品防伪：电子标签具有可靠的安全加密机制，且具有全球唯一的ID 号码，是在制作芯片时包含在 ROM 中的，难以被修改和仿造。与其它防伪技术例如激光防伪、数字防伪等相比，更加完善和可靠。



示例：RFID酒类溯源防伪技术实施

3. 基于无线电信号的目标识别技术

(4) 动物标识：将 RFID 标签注射或安装到动物个体上，可以为它们建立一个永久性的数码档案，唯一标识每个动物的属性。此外，还可以对动物的饲养、运输、屠宰及产品的加工、储藏、销售等环节进行追溯和记录，为公共食品安全提供保障，不仅能够提高管理水平，而且节省大量的人力和物力。



3. 基于无线电信号的目标识别技术

(5) 交通运输：RFID 本身能够对高速运动物体进行识别，这就使得我们能够在交通体系中实现对各种车辆的追踪和管理，做好安全防范工作并及时了解车辆的相关情况。例如在公路收费场合进行电子不停车收费，出租车、公交车枢纽管理，铁路机车识别等。

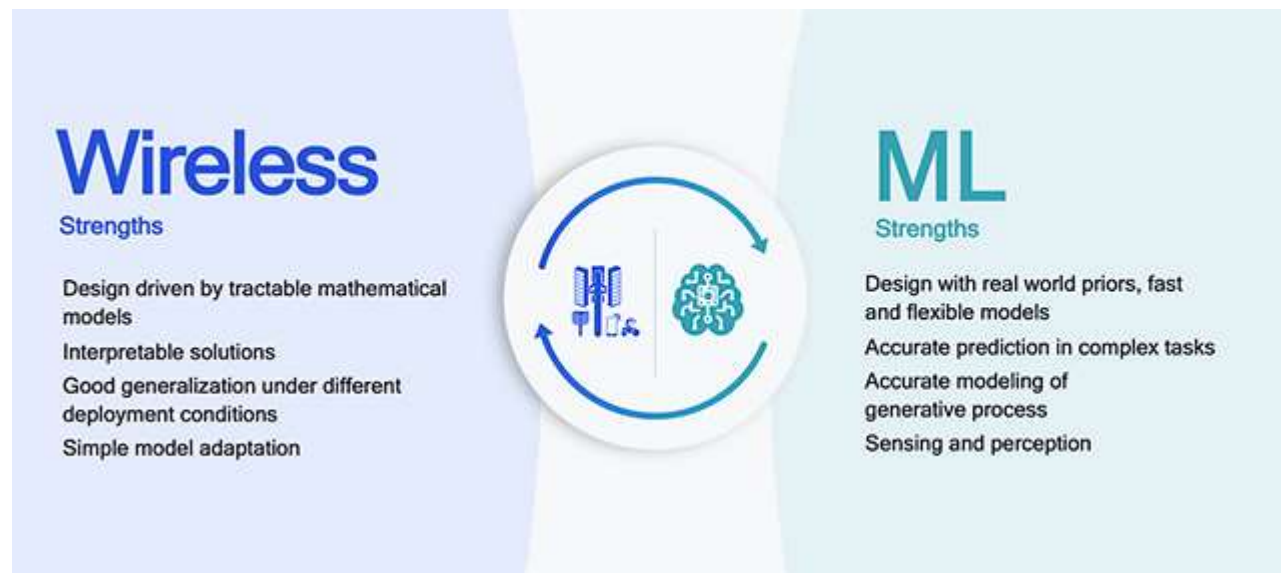


示例：RFID公路收费场景

3. 基于无线电信号的目标识别技术

无线感知识别技术研究现状

最近几年来，无线感知识别技术吸引了众多的研究者，各种创新性的成果不断出现。本节将围绕身份识别、日常行为活动识别、人机交互和生命体征监测四个方面介绍无线感知识别技术的研究现状，接下来进行详细介绍。

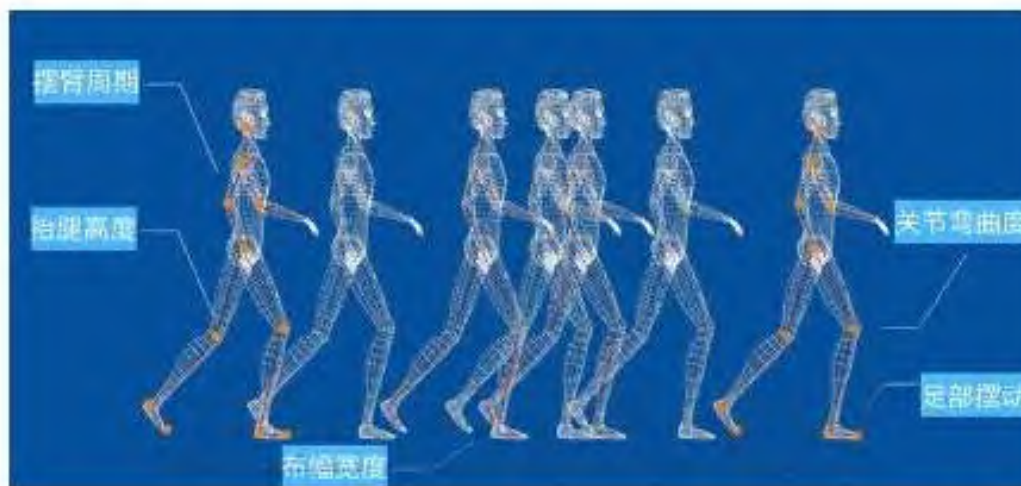


事实证明，无线和ML具有互补的优势，但需要两者的领域知识才能创建最佳的无线解决方案。现有的无线技术实现了可扩展和可解释的解决方案，而ML算法在复杂任务和生成过程中表现良好。例如人工智能可以增强无线技术能力的许多方面，包括但不限于节能、信道估计、定位、MIMO检测、环境传感、波束管理和优化。

3. 基于无线电信号的目标识别技术

①、身份识别

在用无线信号进行行为识别时，通常会发现即便执行同一种动作，不同用户对无线信号的影响也会有很大不同，这主要是由用户身体对信号的反射能力和用户执行动作的习惯不同导致的，这种个体的差异性就可以用来鉴定用户的身份。由于走路是最常见的行为之一，并且人的步态特征是无需配合就可以采集到的生物特征，因此步态识别是基于无线信号的身份识别研究中最常见的识别手段。



步态识别

3. 基于无线电信号的目标识别技术

②、日常行为活动识别

人的日常行为活动通常是一些大幅度、粗粒度的活动，如走路、跑步、摔倒、做饭、睡觉等。根据具体的应用场景，我们可以将目前对日常活动识别的研究分为四个方面：一是检测环境中是否有人，通过 **CSI 信号**（**channel state information**，**信道状态信息**，缩写为**CSI**）的变化来检测房间是否有人，当人处于运动状态时，其通过连续信号相关矩阵的特征向量来表征信号的变化。



日常行为活动识别

3. 基于无线电信号的目标识别技术

当人处于静止状态时，则通过检测呼吸来判断房间中是否有人。此外，研究人员还可以识别人的各种常见的活动，例如 E-eyes是最早被提出利用 WiFi 的 CSI 信息感知人体行为的系统，其通过 CSI 的幅度信息，利用模式识别的方法区分人在智能家庭环境中的各种活动，包括做饭、洗盘子等 11 种动作以及9种跨房间的走动情况，CARM建立了反射体速度和 CSI 幅度的理论模型，并以此为基础通过小波变换提取人体各部分的运动速度，进而识别运动类型，三是专门针对某一项活动进行检测，一般多指跌倒检测。

3. 基于无线电信号的目标识别技术

③、人机交互

相比于人的日常行为活动，人机交互中的人体动作基本上都只是人身体某一部分的运动，运动幅度较小。这里按粒度从粗到细逐一介绍目前的研究。首先是**手势识别**。WiSee通过基于USRP设备中的WiFi信号提取人体运动的多普勒频移作为特征进行手势识别。AllSee、SideSwipe等研究在 WiSee 的基础上提出利用电视信号、RFID 信号、和移动通信 GSM 信号识别手势。WiGest则基于现有设备，通过分析 WiFi RSSI信号变化的上升沿、下降沿等特征，实现手势识别。由于RSSI的信号粒度较为粗糙，WiGest 只能识别几种简单的手势。

3. 基于无线电信号的目标识别技术

④、生命体征监测

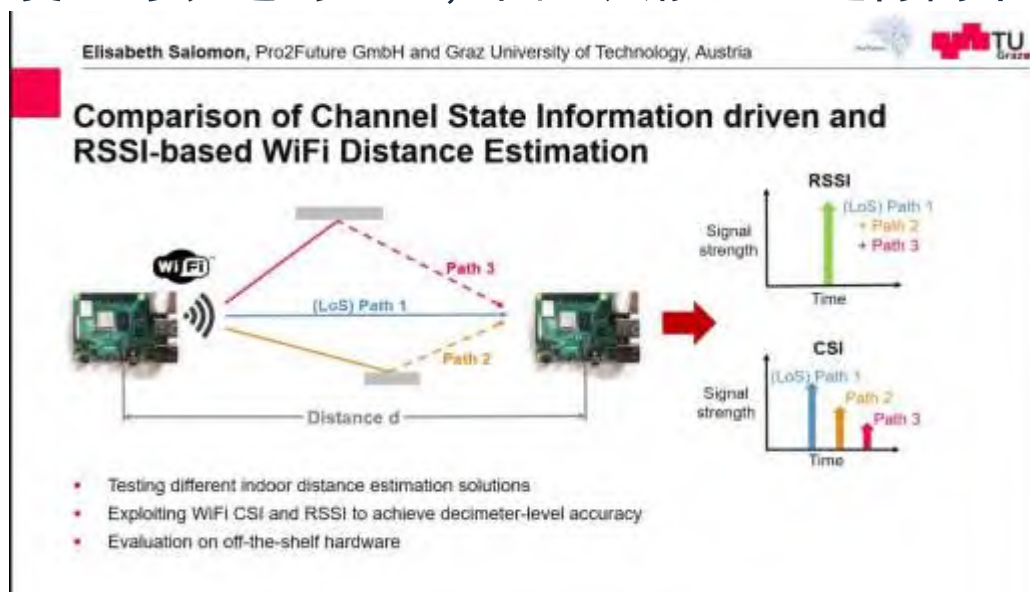
当人体在无线信号覆盖的区域内时，人体上的周期性生命活动，如呼吸和心跳，会引起身体表面轻微的运动或震动，从而会对无线信号产生微小的多普勒频移。通过使用无线信号接收器，分析接收信号的频移变化情况，可以检测出人体生命体征对应的周期信号。经过信号处理和分析，可以提取呼吸率和心率等参数。例如：Wi-Sleep将 WiFi 收发器部署在床的两侧，通过收集 CSI 信息实现对呼吸以及睡觉姿势的检测。虽然心跳运动对无线信号的影响更为微弱，但一项研究通过计算 CSI 的能量频谱分布，验证了心跳检测的可行性。另一项研究提出了菲涅尔区感知模型，揭示了用 Wi-Fi 信号在空间上感知人体活动的机理，并将其应用于呼吸检测中，探讨了设备位置、人体姿势对呼吸检测的影响，为基于 WiFi 的呼吸检测提供了理论支撑。

相比传统的接触式检测，这种技术实现了无接触远距离监测人体生命体征的能力。可应用于医疗监护、运动评估、睡眠监测等场景。它只需要普通的无线设备，无须佩戴任何传感器，使用方便快捷。随着技术的进一步发展，基于无线信号的生命体征检测将为未来的远程医疗和个人健康管理提供新的手段。

3. 基于无线电信号的目标识别技术

WiFi 信道状态信息

WiFi信号是一种较为普适的无线通信信号，基于 WiFi 的感知技术可以利用已经广泛部署的 WiFi 设备进行感知，因此在成本、易用性、普适性等方面都具有明显的优势。传统的 WiFi 感知技术基于接收信号强度（Received Signal Strength Indicator, RSSI）的变化来识别人体行为。虽然 RSSI 可以通过绝大多数 WiFi 设备直接获取，但是 RSSI 表征的是多径叠加后的信号强度，无法反映细粒度的小尺度衰落信息以及手指等微小运动的多径变化信息，而且研究表明 RSSI 即便是在静态环境下的波动幅度也可以达到 5dB，因此只能用来进行简单的大幅度动作的识别。



3. 基于无线电信号的目标识别技术

WiFi CSI中的参数：

在 WiFi 通信中，信道状态信息 (Channel State Information, CSI) 被用来描述各个子载波在多径环境下的衰减情况。每个子载波的CSI 都表示该子载波（中心频率为 f_n ）的频率响应 $H(f_n)$ ：

$$H(f_n) = A_n e^{-j\theta_n}$$

根据 $H(f_n)$ 可以很容易得到其幅度 $A_n = |H(f_n)|$ 和相位 $\theta_n = \angle H(f_n)$ ，分别表示每个子载波经过多径传输后的信号能量衰减和相位偏移。CSI 的幅度和 RSSI 一样，都是衡量信号能量的指标，但是相比于 RSSI 表示所有子载波的平均能量，CSI 的幅度表示的是每个子载波的信号能量衰减，因此包含了丰富的频率多样性，可以更全面、更细粒度地描述多径信号的变化。理论上，CSI 的相位信息也可以描述多径信号的变化，但实际上其包含着太多的噪声，并不能直接被拿来使用。

3. 基于无线电信号的目标识别技术

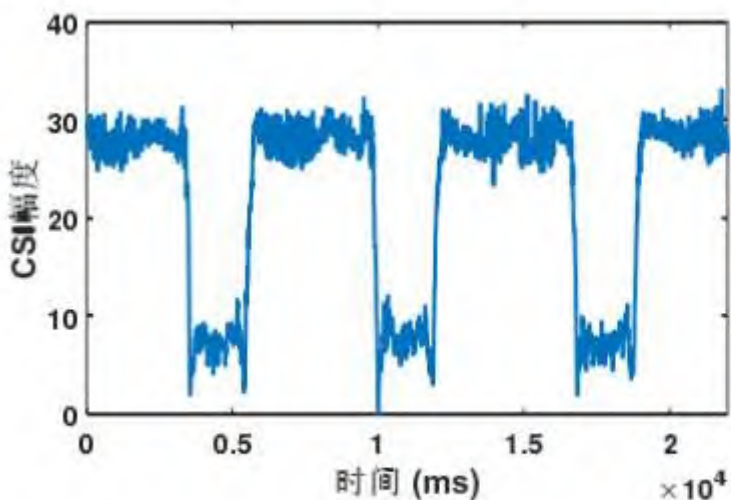
CSI 的原始相位信息由以下几部分组成：

$$\hat{\theta} = \theta + \theta_{CFO} + \theta_{SFO} + \beta + z$$

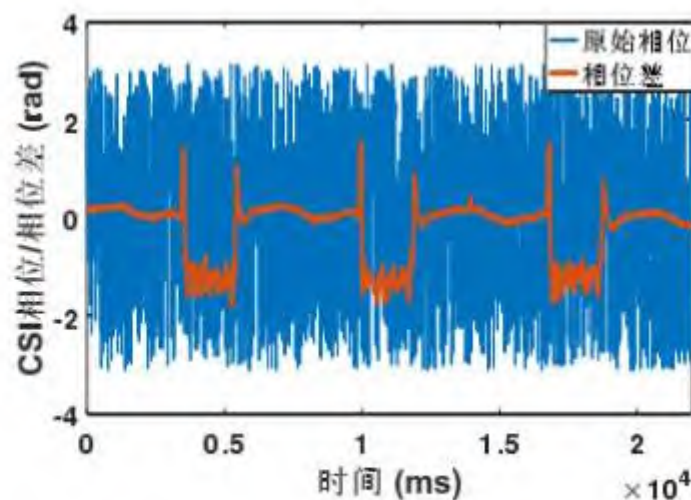
其中， θ 是真实的相位，即信号在空中传播引起的相位偏移，是收发设备和天线等硬件引起的固定相位偏移，表示测试噪声。而 θ_{CFO} 和 θ_{SFO} 则分别是由于收发设备的载波频偏 (Carrier Frequency Offset, CFO) 和采样频偏 (Sampling Frequency Offset, SFO) 带来的相位偏移。RFID 信号的发送和接收都是由同一台读写器完成的，而 WiFi 信号往往是不同的收发设备，因此无法实现完全相同的信号载波和采样频率。

3. 基于无线电信号的目标识别技术

下图是一名志愿者执行美国手语动作"food"时的 CSI 幅度和相位的变化，共执行了三次。从 CSI 幅度图中可以明显观察到手势引起的信号变化，而无论志愿者是执行手势还是保持静止，CSI 的原始相位都随机地分布在 $[-\pi, \pi]$ 的区间内，真实的相位变化完全淹没在 CFO 和 SFO 引起的噪声中了。由于相位受噪声影响严重，现有的很多基于 CSI 进行行为识别的研究都是利用 CSI 的幅度信息，但是信号的相位信息无疑在捕捉细粒度的人体动作时更有优势。



(a) CSI 幅度



(b) CSI 相位/相位差

执行手势动作时的CSI幅度和相位/相位差变化图

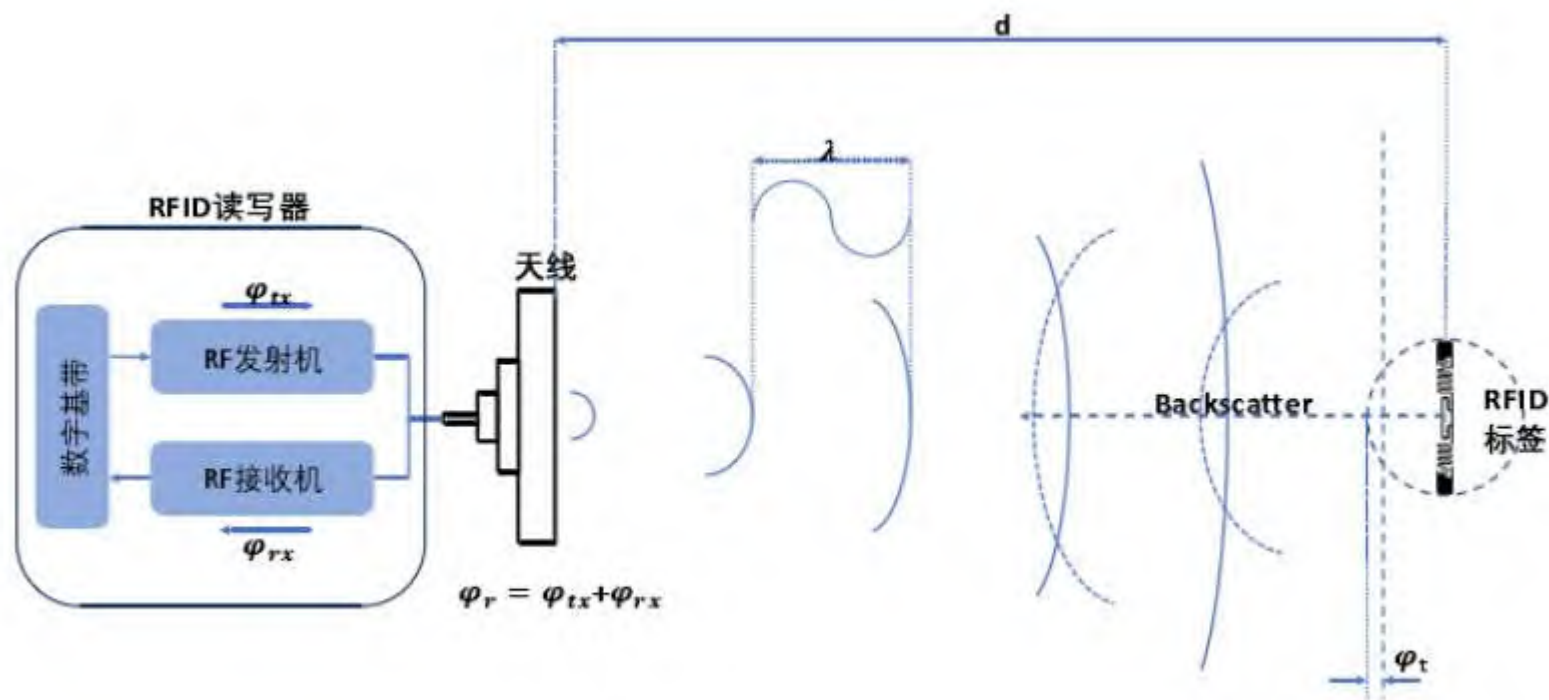
3. 基于无线电信号的目标识别技术

RFID信号模型

与诸如Wi-Fi等常见的通信技术不同，UHFRFID系统利用反向散射信号通信。系统中RFID标签芯片工作使用的能量全部来源于RFID读写器发射的连续电磁波。具体而言，读写器发射的电磁波在标签天线上产生感应电流，标签芯片激活后根据读写器的指令改变自己的阻抗并反向散射来自读写器天线的电磁波，以反向散射调制的方式将信息传递给读写器。

3. 基于无线电信号的目标识别技术

这种类似双向雷达（two-way radar）的被动、无源工作方式如下图所示，整个系统中接收和发射信号都在读写器端，标签主要起到“反射”信号的作用。



3. 基于无线电信号的目标识别技术

当一个目标携带有RFID标签时，其相对读写器天线位置的改变会使得读写器接收到的信号发生改变；环境中其它目标（不携带标签）的活动也会改变信号的传播路径进而影响接收到的信号。这种信号变化一般体现在接收信号的强度 A_{rx} （RSS）以及相位偏移 φ （phase）。

为方便表述，本文将它们写成如下面公式所示的复数形式：

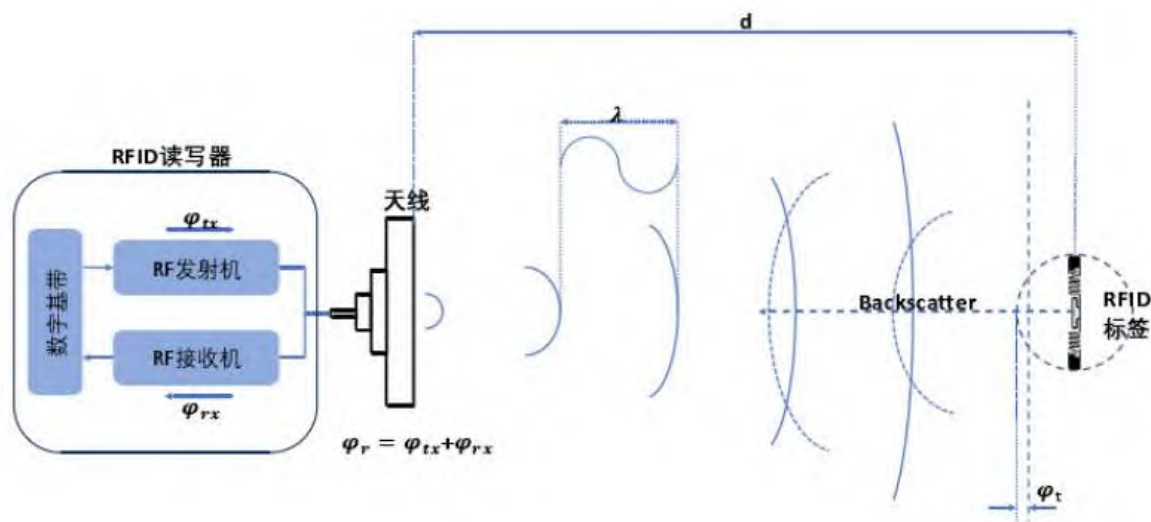
$$s = A_{rx}e^{-j\varphi}$$

读写器报告的都是接收到的每个数据包信号强度峰值或均值，因此上式忽略每个数据包内 A 和 φ 随时间的变化。而且根据不同的调制方式，数据包内的这种变化一般反映的是标签传播的ID号等信息，而无源感知所依据的信号变化通常指连续的数据包对应的 A 和 φ 的波动。读写器每成功盘存一次标签即获得一个数据包，相当于对接收信号做一次采样，其几十到上千赫兹的标签读取率（采样速率）对于无源感知一般已经足够。

3. 基于无线电信号的目标识别技术

从通信信道的角度，读写器发射的信号（强度为 A_{tx} ）经过空间传播和标签的反向散射后，再由读写器接收时所经历的信号衰减 $a=A_{rx}/A_{tx}$ 和相移 φ 同时表征了这个信道对发射信号的响应，可以用信道冲激响应CIR表征这个信道的特性 $h(t)=a\delta(t-\tau)e^{-j\varphi}$ ，其中 $\delta(t)$ 指狄利克雷脉冲函数， τ 是该信道的传播时延。 a 和 φ 即代表了这个信道的独特特征，反映了信道本身的特性，包括传播距离以及传播过程中经过反射、折射、衍射和散射等带来的损耗，这两个量通常和发射信号的强度无关，这也是基于RFID的无源感知的出发点。

3. 基于无线电信号的目标识别技术



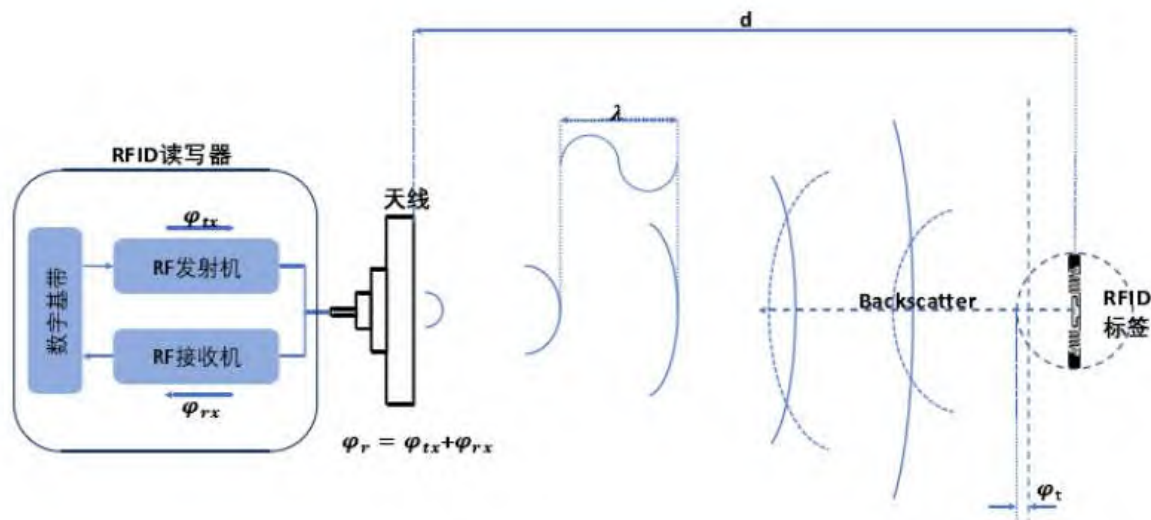
(1) 信号的强度

在左图中，当读写器天线和标签间的距离为d时，信号会经历从读写器到标签的前向链路以及反向散射后从标签到读写器的后向链路的两次传播，即信号在空间的实际传播距离为2d，且会经历两次空间传播衰减。根据Friis公式，读写器最终收到的标签反向散射信号的功率如下公式所示：

$$P_{rx} = G_{\text{reader}}^2 G_{\text{tag}}^2 \cos^2 \theta_{\text{polarization}} \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^4$$

$$P_{tx} = \frac{G_{\text{reader}}^2 \lambda^2 \sigma \cos^2 \theta_{\text{polarization}}}{(4\pi)^3 d^4} P_{tx}$$

3. 基于无线电信号的目标识别技术



$$P_{rx} = G_{\text{reader}}^2 G_{\text{tag}}^2 \cos^2 \theta_{\text{polarization}} \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^4$$

$$P_{tx} = \frac{G_{\text{reader}}^2 \lambda^2 \sigma \cos^2 \theta_{\text{polarization}}}{(4\pi)^3 d^4} P_{tx}$$

公式中其中 P_{tx} 和 P_{rx} 分别代表读写器的发射和接收功率（单位为W）， G_{reader} 是读写器天线增益， σ 是标签雷达反射面积， λ 是信号波长，而标签反向散射“增益” G_{tag} 为 $4\pi\sigma/\lambda^2$ ，显然，读写器接收信号的功率随着读写器天线与标签间传播距离的增加而不断衰减，其衰减因子为 $1/d^4$ 。另外公式中的 $\cos^2\theta_{\text{polarization}}$ 代表了标签和读写器天线间极化失配角度对读写器接收信号功率的影响。

3. 基于无线电信号的目标识别技术

(2) 信号的相位偏移

类似地，根据信号传播经历的不同介质，以及 $2d$ 长度的实际空间传播路径，读写器报告的相位信息 φ ，即接收信号和发射信号的相位差可以用以下公式表示：

$$\varphi = (\varphi_{prop} + \varphi_r + \varphi_t) \bmod 2\pi = \left(\frac{4\pi d}{\lambda} + \varphi_r + \varphi_t \right) \bmod 2\pi$$

φ_{prop} 代表信号在自由空间中传播时引入的相位偏移，而 φ_r 和 φ_t 分别是读写器和标签反射引入的相位旋转。 φ_r 包括读写器接收 φ_{rx} 和发射 φ_{tx} 两个过程，由于UHFRFID读写器现多采用收发一体天线，因而这里统一记为 φ_r 。另外，由于测量相位方式的限制，读写器报告的相位会发生相位缠绕（PhaseWrap），其取值总是在 2π 范围内变化。当读写器天线和标签的距离 d 每变化半个波长 $\lambda/2$ ，接收信号和发射信号的相位差变化 2π ，但读写器报告的相位保持不变，即读写器报告的相位信息存在 2π rad模糊问题。然而，与随着距离的增大而迅速衰减且容易受到干扰的RSS相比，相位信息的鲁棒性更强。

3. 基于无线电信号的目标识别技术

(3) 多普勒频移

现在一些COTS UHF RFID读写器还能报告信号的多普勒频移信息，这是指读写器和标签相对运动导致的读写器接收信号的频率偏移 $f_m = 2v \cos \alpha / \lambda$ ，其中 α 代表标签速度矢量 v 和LOS路径的夹角。当读写器收到一个来自标签的时域上长度为 ΔT 的数据包时，多普勒频移会带来一个额外的相位偏移 $\Delta \theta = 4\pi f_m \Delta T$ 。由于读写器报告的多普勒频移信息仅利用单个数据包估测，不需要通过多个数据包的相位信息计算，能避免由随机盘存、切换天线和FHSS换带来的相位缠绕、不连续等陷阱。

3. 基于无线电信号的目标识别技术

但另一方面，RFID系统中单个数据包的持续时间也限制了读写器报告的多普勒频移的范围（ $1/(180\Delta T, 1/\Delta T)$ ）和精度[182]。例如，当标签返回读写器的信号采用米勒8（Miller8）编码且后向链路频率（BackscatterLinkFrequency, BLF）为170.6kHz时，读写器接收一个96bit长度的EPC号用时 $(96/(170.6/8))\approx 4.5\text{ms}$ ，因而此时可测量的多普勒频移范围为(1.23Hz, 222Hz)，对应的标签相对读写器天线的运动速度范围为(0.20m/s, 36m/s)；而如果采用FM0编码且BLF=640kHz时，读写器接收同样长度的EPC号仅用时0.15ms，其可测量的多普勒频移范围为(37Hz, 6667Hz)，对应的相对速度范围约为(5.9m/s, 1067m/s)。可见，测量较小的多普勒频移需要标签反向散射较长的ID（如特殊的EPC长度）和较慢的反向链路速率，但读写器一般并不开放设置BLF，而且正常人肢体活动的速度范围一般在1m/s以内，此时使用COTS RFID读写器得到的多普勒频移可能无法满足实际应用的需求。另外，多普勒频移极易受到噪声的干扰，难以采集高精度的数据。

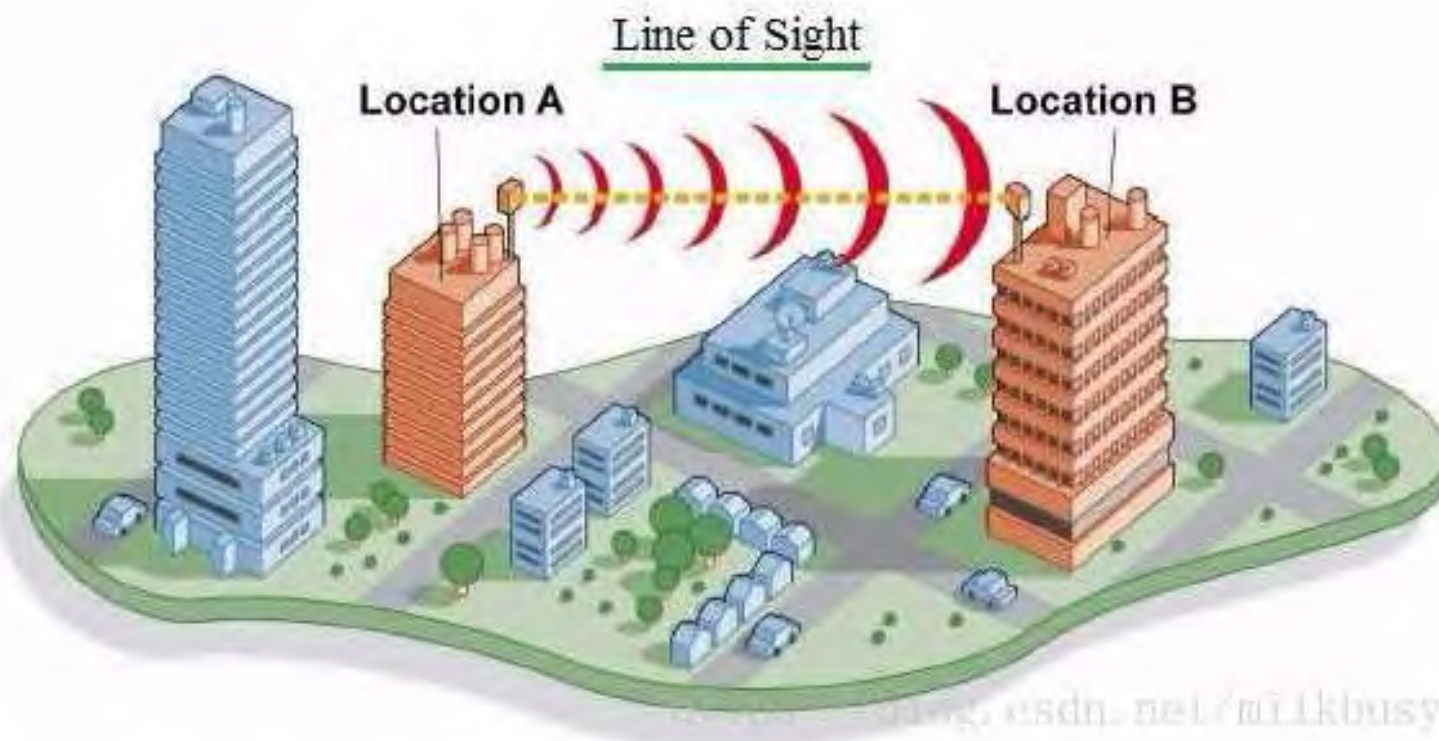
3. 基于无线电信号的目标识别技术

(4) 信号的多径传播

4.1 LOS和

LOS即line-
的信道，术

当两个基站
跟NLOS信



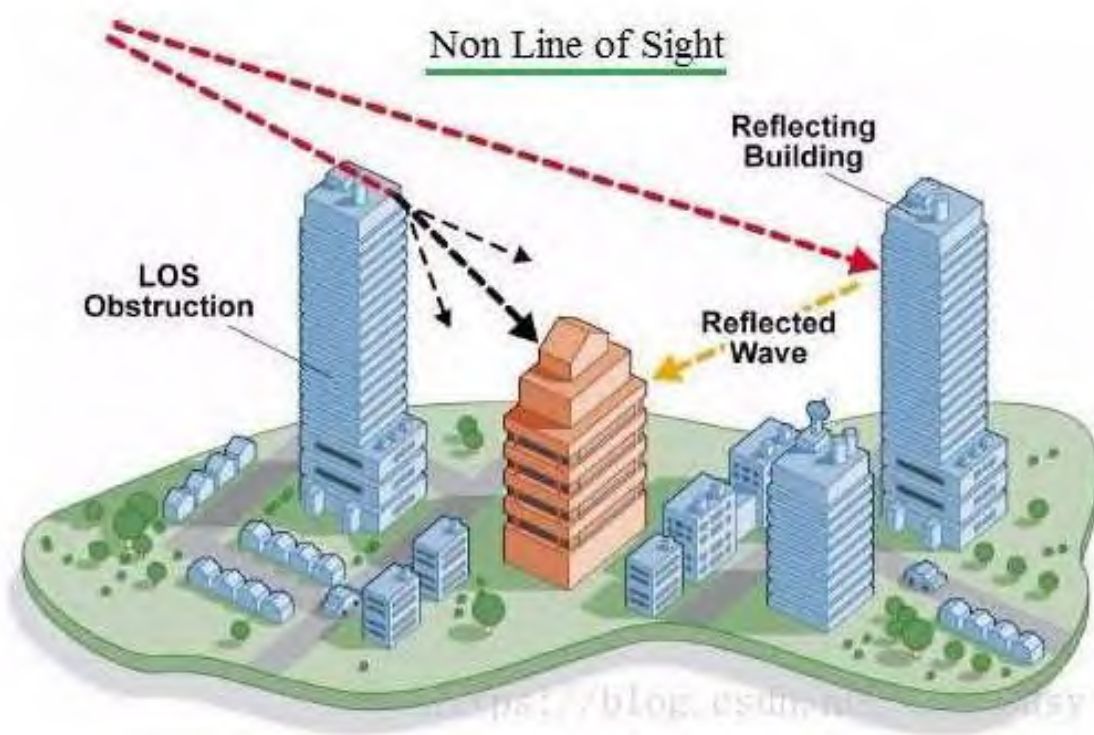
不可直线看到

为衰减少，所以

示例：LOS场景

3. 基于无线电信号的目标识别技术

当收发端有建筑、植物遮挡的时候，除了衰减，信号还有反射、衍射和穿透损耗。



示例：NLOS场景

3. 基于无线电信号的目标识别技术

$$P_{rx} = G_{\text{reader}}^2 G_{\text{tag}}^2 \cos^2 \theta_{\text{polarization}} \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^4 \quad \varphi = (\varphi_{\text{prop}} + \varphi_r + \varphi_t) \bmod 2\pi = \left(\frac{4\pi d}{\lambda} + \varphi_r + \varphi_t \right) \bmod 2\pi$$
$$P_{tx} = \frac{G_{\text{reader}}^2 \lambda^2 \sigma \cos^2 \theta_{\text{polarization}}}{(4\pi)^3 d^4} P_{tx}$$

上述两个公式分别反映了信号沿LOS路径传播时的能量衰减和相位偏移。在LOS路径上，电磁波从读写器天线直接经过标签反向散射回到读写器天线而没有遭遇其它障碍物，因而LOS路径有时也被称为直接路径。如前所述，实际环境中存在多径效应，电磁波的传播还会经历反射、折射、吸收、衍射和散射等传播机制，产生许多其它的信号传播路径，这些路径可称为NLOS路径。

比如当电磁波信号在传播过程中遇到与其波长相比有较大尺寸的物体（如地板和墙壁等）时，会发生反射和折射；当电磁波在传播过程中被具有不规则（边缘）表面阻挡时，会发生衍射，此时电磁波能偏离原来的传播方向绕过障碍物使得其阴影处的接收机仍然能接收到信号。经过这些NLOS路径传播的信号有着各自的传播距离、信号强度衰减和相位偏移，最终的接收信号是这些有着不同传播路径的同源信号分量的矢量叠加。

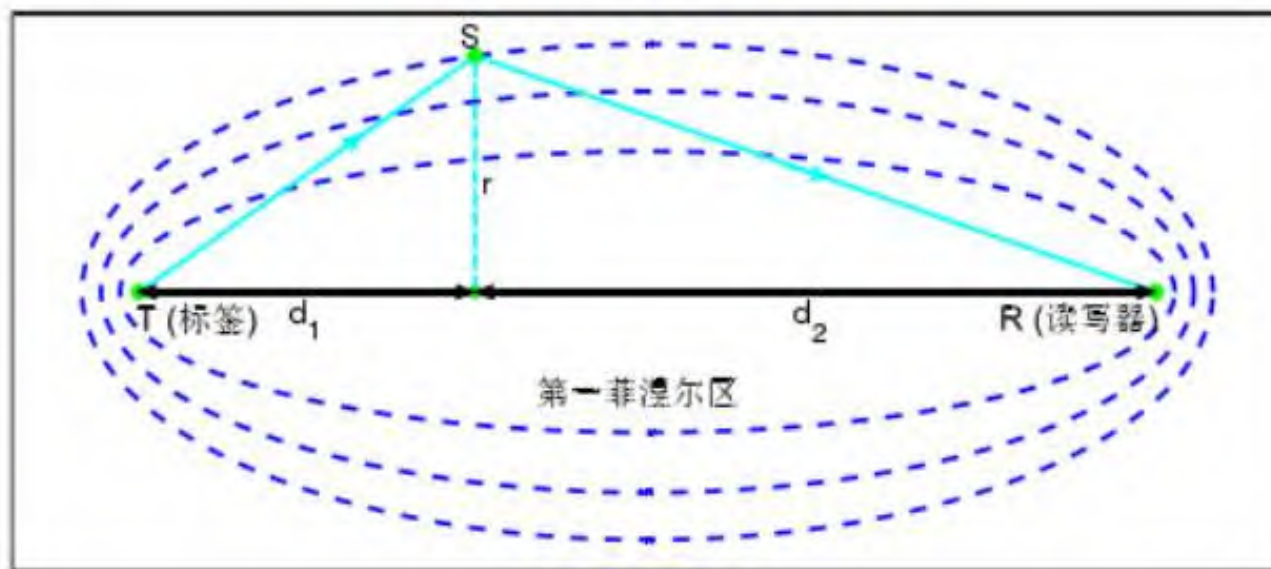
3. 基于无线电信号的目标识别技术

考虑到信号传播的**多径效应**，RFID通信时整个信道的CIR同样是各个子信道对应的CIR的叠加，即 $h(t)=\sum N_i a_i \delta(t-\tau_i) e^{-j\phi_i}$ ，其中N是实际传播路径（子信道）的数目。根据不同路径信号分量之间的相位差，它们之间可能会相互增强或削弱。

例如，如果某条NLOS路径引入的相位偏移刚好比LOS路径引入的相位偏移多半周期的奇数倍 $((2n+1)\pi)$ ，即在不考虑反射折射等带来的额外相位偏移的情况下，两条路径的传播距离相差半个波长的奇数倍时，这两条路径传播的信号分量相位偏移相反，在接收端会相互削弱；而如果二者的相位差为半周期的偶数倍 $(2n\pi)$ 时，则信号分量会相互增强。这种特性可以用**菲涅尔区模型**描述。

3. 基于无线电信号的目标识别技术

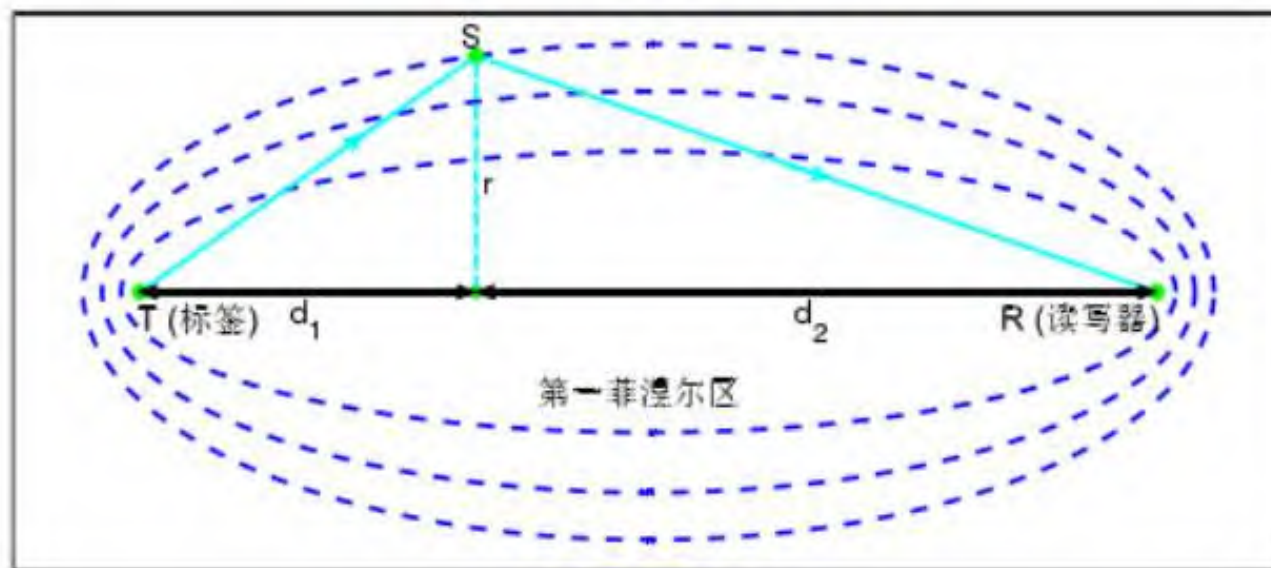
以LOS路径的长度为基准，空间中所有和收发机（标签和读写器）连线的距离比基准距离多 $n\lambda/2$ 的点即构成第 n 菲涅尔边界，即对应NLOS路径相对LOS路径的相位差为 $n\pi$ 。这些菲涅尔边界就是一系列以读写器天线和标签为焦点的椭球体，且目标在同一个椭球面上运动时，经过该物体的NLOS路径长度不变（反射路径需要考虑反射引入的额外相位偏移），如图所示：



3. 基于无线电信号的目标识别技术

在空间中，点S到LOS路径的垂直距离为r，其在LOS上的投影距离标签和读写器的距离分别为d1和d2，这个点对应的菲涅尔相位差（衍射路径相对LOS路径长度的差异带来的相位偏移）为：

$$\varphi = \frac{2\pi\Delta d}{\lambda} \approx \frac{\pi r^2(d_1 + d_2)}{\lambda d_1 d_2}$$

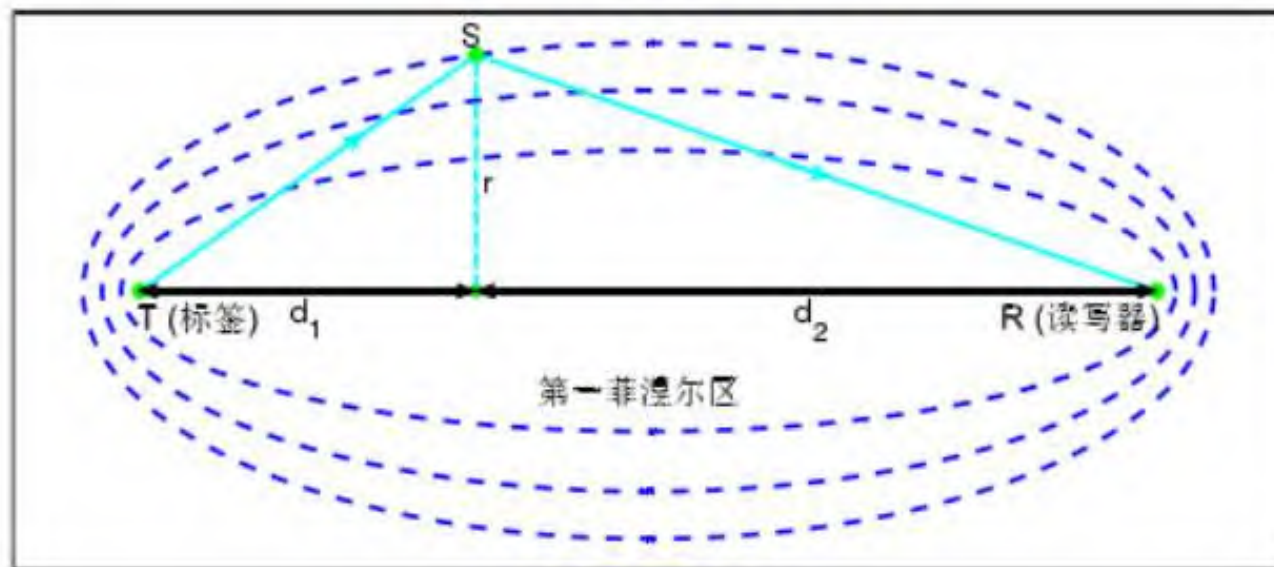


3. 基于无线电信号的目标识别技术

第 n 个菲涅尔边界的半径为：

$$r_n = \sqrt{n\lambda d_1 d_2 / (d_1 + d_2)}$$

另外，从频率响应的角度考虑，多径传播会造成信号的频率选择性衰落，可以用信道的频率响应（channel frequency response, CFR）描述，即 $H(f) = |H(f)|e^{j\angle H(f)}$ 。在带宽无限时，CFR与 CIR 互为傅里叶变换，而 Wi-Fi 等设备获取的 CSI 就是 CFR 的采样。



Q&A



中国科学院 信息工程研究所
INSTITUTE OF INFORMATION ENGINEERING, CAS