

白皮书

雷达技术与监控应用

技术背景与性能注意事项

六月 2024

目录

1	概述	3
2	引言	4
3	什么是雷达?	4
	3.1 它是如何工作的?	4
	3.2 RCS (雷达散射截面)	4
4	为什么使用雷达监控?	5
	4.1 低能见度条件下的可靠性能	5
	4.2 低假报警率	5
	4.3 内置分析能力	6
	4.4 监控与隐私保护	6
5	安讯士雷达	6
	5.1 通用特点和功能	6
	5.2 典型用途	7
	5.3 区域监控和道路监控	8
	5.4 方案和排除区域	8
	5.5 侦测范围以及使用多个雷达	9
	5.6 跟踪与分类	9
	5.7 注意事项	10
	5.8 EMF安全	10
6	监控技术比较	10

1 概述

尽管雷达建立在非视觉技术的基础之上，但它在监控领域却有着较大的用武之地。许多情况下，例如在光线不足、黑暗和雾霾环境中，或者场景中有移动的影子或灯光时，其他监控技术可能漏报或产生假报警，而雷达都能很好地发挥作用。雷达还有助于保护隐私，因为从雷达信息中无法识别人员的身份。

安讯士雷达集成了目标跟踪和分类功能，通过深度学习分类器算法来区分所侦测目标的类型，例如人员或车辆。雷达可以进行相应设置，根据其所侦测的目标触发一系列操作。

例如在出于隐私考虑而不允许使用摄像机的环境中，可以单独使用雷达。但雷达通常还是与音频、视频设备一起集成在安防系统中。

典型安装包括：

- 雷达与感光摄像机相结合 – 用于识别雷达侦测到的人员的身份。这对于PTZ（水平转动-垂直转动-变焦）摄像机特别有效，此类摄像机可以根据雷达提供的确切地理位置跟踪和识别人员或车辆。
- 雷达与热成像摄像机相结合 – 雷达的大范围侦测与热成像摄像机窄而长的侦测范围相辅相成。
- 雷达与音频设备相结合 – 适合不允许或不优先考虑视觉确认的场合。威慑性音频信息可以有效阻止雷达侦测到的入侵者。
- 雷达用于交通统计或驾驶员反馈 – 雷达可用于统计车辆或侦测超速车辆。雷达可与数字限速标志关联，向驾驶员提供反馈信息。

安讯士还提供雷达视频融合摄像机，将雷达与摄像机集成在一台设备中。视频分析与雷达分析相结合，可以实现更好的侦测、分类和可视化。

安讯士雷达在公众电磁场暴露的安全限制范围内运行。正常工作时的发射功率大大低于推荐的参考水平。这样就可以在同一场所安全使用多个雷达，而不必担心辐射安全问题。

在本文最后一部分，比较表列出了雷达、感光摄像机和热成像摄像机之间的异同点。由于各种技术具有不同的优势和局限性，因此通常倾向于将多种技术结合使用。

2 引言

雷达是一项基于无线电波的成熟侦测技术。雷达技术大约始于20世纪40年代，一开始用于军事用途，但不久后在其他市场也找到了用武之地。它的用途还在不断扩大，当今的常见应用场合包括天气预报、道路交通监控以及航空海事领域的防碰撞。得益于先进的半导体技术，雷达系统级芯片的尺寸变得越来越小，因此更多地应用在汽车和小型消费产品中。在民用安防市场上，雷达装置可以成为视频摄像机和其他技术的补充，进一步扩展并改善监控系统。

本白皮书简要介绍了雷达技术的工作原理，并详细分析了这些技术可以如何应用到安防和监控领域。其中讨论了在安装雷达之前应该考虑的因素以及这些因素如何影响侦测效率。其中着重介绍了雷达相较于其他安防技术（如视频分析工具和热成像摄像机）的优劣势，并介绍了如何结合使用不同的技术以达到理想的监控效果。

3 什么是雷达？

雷达一词最初是*无线电探测与测距*这个更具描述性的词组的缩写。雷达是一种利用无线电波侦测目标并确定其距离的技术。

3.1 它是如何工作的？

雷达发射射频频谱的电磁波信号（简称无线电波）。当雷达信号遇到目标时，通常会在多个方向上反射和散射信号。少量信号被反射回雷达设备，并在那里被雷达接收器侦测到。侦测到的信号信息可用于确定所遇到的目标的位置、尺寸和速度。

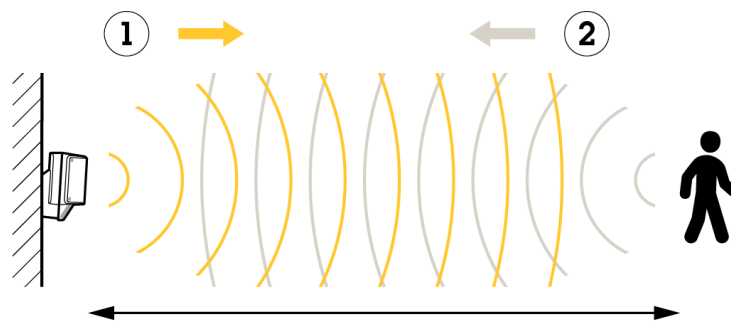


Figure 1. 雷达的一般原理：雷达发射的信号 (1) 在遇到目标时被反射 (2)。

虽然所使用的一般原理相同，但雷达可以设计使用短无线电脉冲，或者也可以设计使用连续信号。它们的基础技术可以建立在对反射信号传输时间或其频移的测量的基础上。雷达可被设计来测量与侦测目标相距的距离或者该目标的速度，其先进的信号处理则可以进一步优化侦测过程。安讯士雷达是调频连续波 (FMCW) 雷达，这种雷达能够同时负责测距和测速任务。它们测量径向速度（目标朝向或远离雷达的速度分量）并以此来计算实际速度。

3.2 RCS（雷达散射截面）

目标的雷达可视性取决于其雷达散射截面 (RCS)。这个数值可以根据目标的尺寸、形状和材质来计算得到，它最终决定着目标对雷达设备所呈现出来的大小。人眼的RCS通常介于 0.1 m^2 至 1 m^2 的范围内，但这也是压扁的易拉罐的典型RCS，它的实际尺寸要小得多，但面对雷达却较醒目。请注意，尽管RCS以 m^2 来计量，但它并不对应于实际面积，而只是一个假设当量。

表 3.1 典型雷达散射截面。

目标	雷达散射截面
昆虫	0.00001 m ²
鸟	0.01 m ²
人	0.1 – 1 m ²
压扁的金属罐	0.1 – 1 m ²

4 为什么使用雷达监控？

与（例如）感光摄像机相比，雷达以全然不同的技术来进行监控。雷达可以与感光摄像机、热成像摄像机、号角扬声器和PIR（被动红外）移动侦测器一起集成到安防系统中，也可以独立使用。单独使用或与音频设备配合使用时，可实现非视觉类型监控，从而保护隐私。

4.1 低能见度条件下的可靠性能

雷达不受视觉效果影响，因此能够免疫能见度不佳的天气现象，如雾霾。在光线较差或低照度（如有着强烈背光或者甚至漆黑）的环境中，雷达也有着良好的表现。在这样的条件下，雷达能够很好地补充视频监控。虽然配备有分析工具的热成像摄像机也能够做到这点，但雷达能够以更低的成本提供更丰富的目标信息，而且它还有着更大的侦测范围。

4.2 低假报警率

在监控领域，必须限制假报警数量，同时还不应遗漏真实事件。例如，在直接向安保人员发送报警的场合中，必须保持非常低的假报警率。如果假报警过多，安保人员可能丧失对系统的信任，进而解除真警报。

通常通过对来自不同类型的移动侦测器或视频分析工具的报警进行设置，从而触发录像，触发预先录制的音频消息以遏止不良行为，或者直接向控制室操作人员发送警报。如果视频录像的假报警率较高，将要记录的视频量就非常大。如果没有足够的存储来保存记录，或者搜索触发报警的记录需要太多资源，这就会产生问题。如果录音的假报警率较高，威慑效果将大打折扣。

雷达能够消减或尽可能减少假报警，但这取决于引起假报警的原因：

- **视觉效果。** 视频运动探测器基于监控场景中的一系列像素变化来寄存运动。在发生变化的像素达到足够高的数量时，侦测器会将这视为运动。但如果仅考虑像素变化，就会发生许多因单纯的视觉现象导致的报警。典型的例子是晃动的阴影或光束。由于这些视觉效果不具有雷达散射截面，因此雷达将忽略它们，仅侦测实体目标的运动。
- **不良天气。** 雨雪可能严重妨碍视频探测器的视野，而雷达信号受到的影响较小。
- **昆虫或雨滴。** 在进行视频移动侦测时，如果摄像机近旁有极小的目标，则可能导致假报警。摄像机镜头上的雨滴和昆虫就是典型的例子。在通过红外夜视进行视频监控时，昆虫的影响可能尤其明显，因为昆虫会被光吸引。雷达被设计成能够忽略设备近旁的那些目标，从而消除这种假报警源。而视频设备做不到这点。

4.3 内置分析能力

在使用安讯士雷达的情况下，不需要额外的分析工具。目标侦测、跟踪和分类都已集成在雷达设备中。

4.4 监控与隐私保护

监控摄像机会被认为干扰个人隐私。若要安装摄像机，您可能需要获得有关部门的许可或视频场景中每个人的个人同意。在某些地点，非视觉雷达侦测是更好的选择。为了加强保护，您可以将雷达与（比如）网络扬声器等设备结合使用，当雷达触发扬声器时，扬声器可播放威慑性音频信息。

5 安讯士雷达

安讯士雷达可用作独立的侦测器，也可与提供场景视觉图的感光摄像机一起使用。建议将安讯士雷达用于室外系统，它们能够改善严苛条件下的侦测、尽可能减少假报警。这些雷达配置了先进的跟踪算法，可提供位置和速度信息，能够扩充安防系统的功能。

安讯士雷达设计用于监控开阔区域。这通常可能是封闭区域，如工业设施、屋顶或预计下班后无人使用的停车场。

5.1 通用特点和功能

安讯士雷达与安讯士摄像机在功能上有许多共同之处。例如，在安防系统中，雷达可像摄像机那样工作。它兼容主流的视频管理系统 (VMS) 以及常用的视频托管系统。跟安讯士摄像机一样，安讯士雷达也支持安讯士开放式VAPIX®接口，能够集成到不同的平台上。

此外，同样跟安讯士摄像机一样，安讯士安防雷达也可以被设置成在侦测到目标后触发不同的操作。例如，出于威慑目的，它们可以使用集成式继电器来开启LED探照灯，在号角扬声器上播放音频，或者启动录像操作以及向安保人员发送警报。分类功能可以保证仅在侦测目标被归类为（比如）人或车辆时才应用此规则。

为了能够更加轻松地查看目标移动位置，您可以上载一份显示雷达覆盖区域的参考图（例如，一份平面图或航拍照片）。



Figure 2. 包含场景参比图的安讯士雷达用户界面。

雷达提供持续更新的位置信息。这通过ONVIF标准的开放式元数据流来实现，其中以扩展信息的形式添加了雷达特有的信息（如位置和速度）。第三方开发者可以使用这些信息来创建自己的应用程序，用于越线侦测或速度监控等。也可以添加雷达的地理定位和方位信息，以便在概览图或地图中实时显示侦测结果。

雷达能够提供速度和距离信息，因此还可以根据速度以及目标通过侦测区域的方式进行筛选操作。

5.2 典型用途

雷达通常与其他设备结合使用，以优化侦测或威慑效果。雷达的常见用途包括：

- **利用雷达和摄像机进行侦测和可视化验证。** 要想高效地找出报警原因，或者进行个体识别，还可使用视频摄像机来监控场景。对于这种用例，可以改用雷达视频融合摄像机，以提供更好的侦测、分类和可视化。
- **PTZ自动跟踪。** 安讯士雷达可用于PTZ（水平转动/垂直转动/变焦）自动跟踪。于是，在雷达侦测到目标时，将自动触发所连接的PTZ摄像机，使其锁定并跟踪侦测目标，从而提供视觉细节。自动跟踪功能的实现得益于雷达能够提供目标的确切地理位置。安讯士同时提供了基于前端的自动跟踪和基于服务器的自动跟踪。在基于服务器的自动跟踪中，您可以将若干PTZ摄像机与雷达组合，并部署在不同位置。
- **利用雷达和热成像摄像机进行周界保护。** 利用沿周界布置的热成像摄像机，并补充搭配雷达来跟踪限制区域内的入侵者，可以实现对限制区域的保护。这种布置组合了热成像摄像机的窄而长的侦测范围与雷达的大范围侦测能力，成本效率高。

- **在维护隐私的同时实现侦测和威慑。** 在安装雷达和网络号角扬声器的系统中，对于雷达侦测到的入侵者，可以通过音频信息实现有效威慑。
- **车速和驾驶员反馈。** 雷达可用于侦测超速车辆。有关配置和最高速度，请查阅用户手册。您可以将雷达与数字限速标志关联，以显示通过车辆的速度。此类限速标志可以向驾驶员提供反馈信息，在促使驾驶员减速方面非常有效。
- **交通统计。** 雷达可以对车辆进行计数，并收集有关车辆速度和行驶方向的交通统计数据。通过使用摄像机和AXIS Speed Monitor，您可以将统计数据可视化，从而对监视道路上的状况和安全情况提供可操作的见解。

5.3 区域监控和道路监控

安讯士雷达设计用于监控开阔区域。您可以使用安讯士雷达进行区域监控或道路监控。它们有两个配置文件，可优化每个方案的性能。

区域监控配置文件针对低速移动的目标进行了优化。此配置文件让您能够侦测到某个目标是人、车辆还是未知物体。您可以设置规则，以便在侦测到这些目标时触发操作。

道路监控配置文件经过优化，可跟踪在郊区道路和高速公路上高速行驶的车辆。

有关配置文件及其各自速度规格的详细信息，请参阅每种雷达的用户手册。

5.4 方案和排除区域

若要确定运动的侦测位置，您可以添加多个区域。不同区域可用于触发不同的操作。有两种区域类型：

方案（之前称为包含区域）是移动目标将在其中触发规则的区域。默认方案与雷达覆盖的整个区域相匹配。如果要为场景的不同部分创建不同的规则，可以添加方案。添加方案时，您可以选择触发针对某一区域内移动的目标，也可以选择触发针对穿过一条或两条线的目标。

排除区域是将忽略移动目标的区域。如果方案内存在触发大量不必要的警报的区域，可以使用排除区域。

5.4.1 规划排除区域，处理不期望的反射

金属等反光材料制成的物体会干扰雷达的性能。反射会造成误侦测，很难与真正的侦测区分开来。

在有大量移动目标的区域（例如繁忙的街道）或者有树叶摆动的树木或灌木丛区域，也会出现不必要的侦测结果。

您可以通过在雷达的网络界面中添加排除区域来避免不必要的侦测结果。雷达将忽略所定义排除区域内的移动目标。

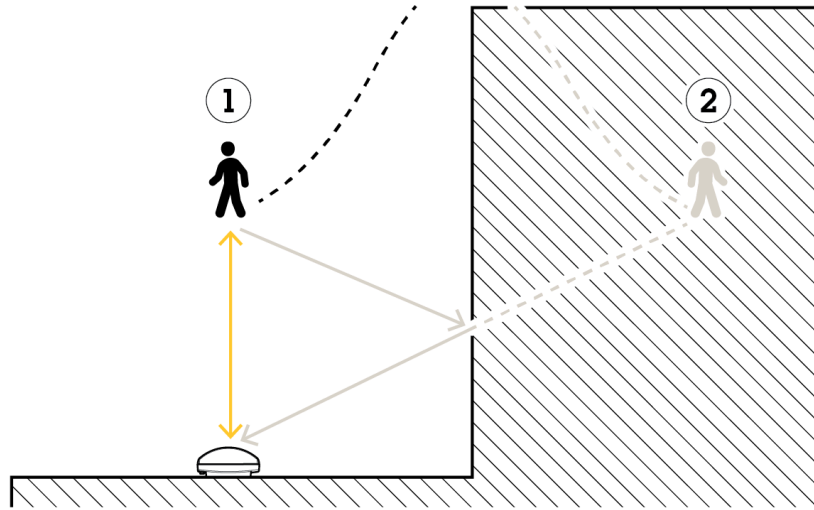


Figure 3. 如果在雷达的侦测范围内存在墙体或类似物体，因反射造成的误侦测 (2) 可能难以与真实侦测 (1) 相区分。在该示例中，您可以在墙体周围添加一个排除区域，从而尽可能减少类似问题。

5.5 侦测范围以及使用多个雷达

侦测范围因所侦测目标的类型而异。它还取决于场景地形以及雷达的安装高度和倾斜角度。您可以安装多个雷达，以覆盖超过每个雷达具体侦测区域的更大范围。

为避免电磁干扰，同一共存区域内的相邻雷达数量不应超过允许的最大值。干扰会对雷达性能产生负面影响。干扰问题会随着同一区域内雷达的数量增加而增大，除此之外，还取决于周围环境以及雷达是否朝向围栏、建筑物或相邻雷达。如果同一共存区域内的相邻雷达数量超过允许的最大值，则应使相邻雷达的方向相互远离。安讯士雷达也有设备共存选项，激活此选项，可以尽可能降低干扰。

有关范围规格和安装建议，请参阅适用的安装指南和用户手册，以实现每个雷达的更大覆盖范围和更小干扰。您还可以使用AXIS Site Designer来规划雷达安装位置和覆盖范围。

5.6 跟踪与分类

目标侦测、跟踪和分类全都集成在雷达中，无需使用额外的分析应用程序。安讯士雷达通过测量反射信号的相移和频移，获得与运动目标的位置、速度、方向和尺寸相关的数据。

这些数据然后由雷达的先进信号处理算法进行处理，从而跟踪和分类侦测目标。系统将反射数据分成多个集群，用以表示不同的目标，系统还收集与这些集群在连续时段内的运动方式有关的信息，从而形成跟踪轨迹。在应用了运动模式的数学模型（“过滤”数据）之后，算法能够判定目标属于哪个类别（例如，人或车辆）。分类算法将传统机器学习方法与深度学习方法相结合，使用来自人、车辆和不同动物的大量雷达特征数据进行训练。不需要由用户进行其他训练。

所应用的数学模型还能够视需要（例如，在雷达应忽略某个时段或者目标被短暂遮掩的情况下）预测目标位置。因此，跟踪算法使得雷达能够更好地避免噪声和误测。

5.7 注意事项

与其他侦测技术一样，在某些情况下，安讯士雷达的性能可能欠佳。这样的情况包括：

- **摇摆的静止目标可能导致发生假侦测。**即使雷达通常能够滤除随风摆动的树木、灌木和旗帜，但在大风天气或者突发的阵风天气下，这种过滤算法可能还不够。如果存在此类问题，您可以排除整个区域。
- **植被可能影响对运动速度非常慢的目标的侦测。**在特定范围和速度下，雷达只能侦测一个目标。这就意味着（例如）如果在一个方向的50 m处有一片缓慢摇摆的树木，它们可能会妨碍对另一个方向50 m处缓慢移动人员的侦测。
- **繁杂的环境可能导致发生假侦测。**在反射目标（如车辆和建筑物）较多的场景中，雷达信号多次反射，故而便可能导致发生假侦测。
- **处于运动状态的两个或更多的人或物体可能被错误地认定为一个人或物体。**雷达在区分目标时，通常要求目标相距至少3 m (10 ft)。
- **对于交通应用方面的例子，请查阅您使用设备和配置文件的速度限值。**跟踪算法设计用于处理低于数据表所列最高速度的速度。速度较快的目标可能会被遗漏或以错误的角度被侦测到。

5.8 EMF安全

发射电磁场 (EMF) 的无线电设备的制造商必须遵守严格的国际标准和法规，以确保其产品的安全。其中包括在24 GHz或60 GHz频段运行的安讯士雷达。虽然在这些频段工作的设备不需要许可证，但安讯士聘请独立测试和认证服务提供商执行评估，以确保符合有关人体电磁场暴露的地方和国际法规。

根据广泛的医学研究，有关方面制定了电磁场暴露限值，以确保EMF发射设备的安全运行。许多国家/地区采用国际非电离辐射防护委员会 (ICNIRP)¹ 制定的指南，而美国则遵循联邦通信委员会 (FCC)²执行的类似限值。这些限值的设置比较保守，安全系数较大，明显低于已观察到的对健康产生负面影响水平。

安讯士雷达在这些安全限制范围内运行。在正常运行期间，其发射功率大大低于规定的参考水平，因此可以在同一场所安全使用多个雷达，而不必担心辐射安全问题。

安讯士雷达的发射功率远低于100 mW，与标准Wi-Fi®路由器的输出功率相当。功率密度遵循平方反比定律，即随着与发射源距离的增加而迅速降低。因此，在几厘米的短距离处，安讯士雷达的功率密度已经远远低于EMF暴露限值。

安讯士建议与雷达保持至少20 cm (~7.9 inches) 的距离，以实现更好的安全性。在此距离处，功率密度只有0.2 W/m²，远远低于ICNIRP和FCC设置的10 W/m²的公众暴露限值。该建议确保雷达附近人员更加安全和安心。

¹ ICNIRP 《限制电磁场暴露指南》
(100 kHz至300 GHz)，<https://www.icnirp.org/cms/upload/publications/ICNIRPrfgdl2020.pdf>

² FCC 《射频辐射环境影响评估指南》，<https://www.fcc.gov/document/guidelines-evaluating-environmental-effects-radiofrequency>

6 监控技术比较

没有哪项技术能够适配一切系统。下表对不同监控技术（包括雷达）进行了多方面的比较。

表 6.1 针对侦测和区域保护应用的产品比较

	安讯士雷达	带移动侦测功能的监控摄像机	搭载分析工具的热成像摄像机
范围/区域	中等/宽	短/宽	长/窄
需要辅助照明	否	是	否
假报警率	低	高	低
成本 (Cost)	中等规模	低	高
目标信息	侦测、位置、GPS坐标、速度、距离和运动角度	侦测、识别、验证	侦测、识别

通过比较可知，雷达监控提供的目标信息类型（包括位置速度）不同于其他技术。然而，为了保证理想的监控效果，建议结合使用不同的技术，让它们彼此互补，因为不同的技术有着不同的优劣势。

关于 Axis Communications

Axis 通过打造解决方案，不断提供改善以提高安全性和业务绩效。作为网络技术公司和行业领导者，Axis 提供视频监控解决方案，访问控制、对讲以及音频系统的相关产品和服务。并通过智能分析应用实现增强，通过高品质培训提供支持。

Axis 在 50 多个国家/地区拥有约 4,000 名敬业的员工 并与全球的技术和系统集成合作伙伴合作 为客户带来解决方案。Axis 成立于 1984 年，总部在瑞典隆德