

監視におけるレーダー

技術的背景とパフォーマンスに関する考察

6月 2023

目次

1	概要	3
2	はじめに	4
3	レーダーとは?	4
	3.1 仕組み	4
	3.2 RCS (レーダー反射断面積)	5
	3.3 EMFの安全性	5
4	監視にレーダーを使用する理由	5
	4.1 可視性が低い環境でも高い信頼性を実現	5
	4.2 低い誤報率	6
	4.3 内蔵分析機能	6
	4.4 プライバシーを確保した監視	6
5	Axisセキュリティレーダー	7
	5.1 Axisカメラの補完	7
	5.2 除外範囲による望ましくない反射の処理	8
	5.3 検知距離	9
	5.4 追跡と分類	9
	5.5 インストラクションに関する考慮事項	9
	5.6 一般的な使用例	10
	5.7 検討事項	11
6	監視技術の比較	12

1 概要

レーダーは、電波に基づいた確立済みの検知技術です。現代のレーダー装置は小型でチップベースであるため、消費者製品でも使用されることが増えています。

非可視技術に基づいているため、レーダーには監視目的に適した多くの特長があります。セキュリティレーダーは、低光量、暗闇、霧など、その他の監視技術では対応が困難な多くの状況でも機能を発揮することができます。また、レーダーは、シーン内に動く影や光がある場合、悪天候、装置に雨滴や虫が入り込んだ場合など、分析ソフトウェアを使用した映像監視では誤報が発生しやすい多くの状況においても安定しています。また、レーダー情報から人物を識別するのは不可能なため、プライバシーを確保した監視を提供できるという利点もあります。

Axisのセキュリティレーダーは、プライバシーの問題が原因でカメラが許可されていない環境などでも、単独で使用できます。ただし、レーダーは、主にビデオ製品および音声製品が使用されたセキュリティシステムに統合されています。Axisのカメラと同様、Axisのセキュリティレーダーは主要なビデオ管理システム (VMS) と互換性があり、検知時にさまざまなアクションをトリガーするように設定することができます。

Axisレーダーなら、物体を検知、追跡、分類する機能すべてがレーダー装置に統合されているため、追加の分析アプリケーションは不要です。ディープラーニング分類アルゴリズムは、人物や車両など、検知された物体のタイプを区別します。Axisでは、機械学習とディープラーニングの両方を使用してアルゴリズムを開発しました。

レーダー装置は、人物を識別するために可視光カメラと組み合わせるのが一般的です。これは、特にPTZ (パン/チルト/ズーム) カメラとの併用で効果を発揮し、レーダーによる正確な地理的位置に基づいて人物や車両を追跡することができます。またサーマルカメラと併用されることも多く、レーダー装置の広い検知範囲とサーマルカメラの狭く長い検知範囲を組み合わせることで、最適な効果を発揮します。レーダーと音声も、視覚的な識別が認められていない、または優先されない状況では有効な組み合わせです。抑止を目的とした音声メッセージは、レーダーによって検知された侵入者を効果的に阻止することが可能です。

このホワイトペーパーの最後のセクションにある比較表に、セキュリティレーダー、可視光カメラ、およびサーマルカメラの相違点と類似点が一覧表示されています。それぞれの技術には長所と短所があるため、多くの場合は、複数の技術を組み合わせると効果的です。

2 はじめに

レーダーは、電波に基づいた確立済みの検知技術です。1940年代ごろ軍用として開発されたレーダーは、すぐに他の市場にも広がっていきました。その用途は常に発展し続けており、現在では、天気予報、道路交通監視、航空・船舶の衝突防止などが一般的な用途となっています。最新の半導体技術により、非常に便利なサイズのレーダーシステムオンチップを自動車や小型の消費財製品でも使用できるようになりました。民間のセキュリティ市場では、レーダー装置でビデオカメラやその他の技術を補完して、監視システムを拡張・改善することができます。

このホワイトペーパーでは、レーダー技術のしくみについて簡単に説明し、セキュリティと監視におけるその具体的な用途の詳細について説明します。セキュリティレーダー装置を設置する前に考慮すべき要因、およびこれらの要因が検知効率にどのように影響するかについて説明します。ビデオ分析やサーマルカメラなどの他のセキュリティ技術と比較してレーダーの長所と短所に焦点を当て、最適な監視を実現するためにさまざまな技術を組み合わせる方法を示しています。

3 レーダーとは？

レーダーという用語は本来、*RA*dio *D*etection *A*nd *R*anging (電波の検出と測距の測定)の頭文字を取ったものでした。レーダーは、電波を使って物体を検知し、その物体までの距離を特定するために使用される技術です。

3.1 仕組み

レーダー装置は、無線周波域(つまり電波)の電磁波からなる信号を送信します。レーダー信号が物体に当たると、通常、信号はさまざまな方向に反射・散乱します。信号のごく一部は反射されてレーダー装置に跳ね返り、レーダーの受信機によって検知されます。検知された信号はぶつかった物体の位置、大きさ、速度を判断するために使用可能な情報を提供します。

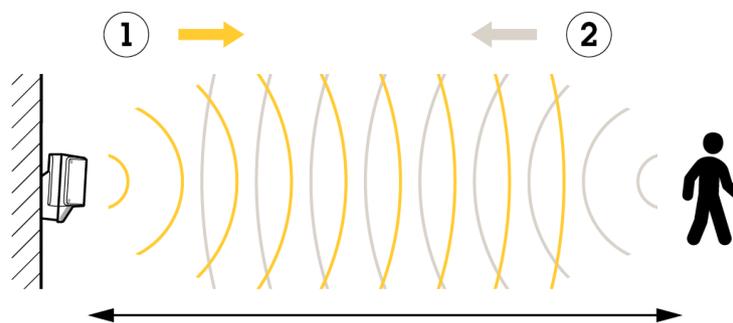


Figure 1. レーダーの一般原理: レーダーから放射される信号は物体にぶつかると反射します。

採用している原則は同じですが、レーダーは短い無線パルスまたは連続信号のいずれかで構成されます。これらの基盤となる技術は、反射する信号の移動時間または周波数シフトのいずれかの測定値に基づいています。レーダーは検知された物体までの距離、またはその物体の速度のいずれかを提供するように設計されており、高度な信号処理によって検知プロセスをさらに微調整することができます。Axisのレーダー製品は、周波数変調連続波(FMCW)レーダー(距離と速度の両方を判断できるレーダーのタイプ)です。これらの装置

では、視線速度 (レーダー装置と反対方向、または装置の方向を向いている物体の速度成分) を測定し、それを使って実際の速度を計算します。

3.2 RCS (レーダー反射断面積)

レーダーによる物体の可視性は、レーダー反射断面積 (RCS) によって決定されます。これは、物体の大きさ、形状、および材質に関する情報から算出可能な数値であり、最終的にはレーダーから見た物体の大きさを決定します。人間のRCSは通常0.1 m²~1 m²の範囲で変動します。ただし、これは潰れた缶の一般的なRCSでもあり、物理的にはずっと小さいのですが、レーダーにとっての可視性は高くなります。RCSは m²単位で測定されますが、実際の面積に対応しているわけではなく、仮想的な換算値です。

表 3.1 一般的なレーダー反射断面積。

物体	レーダー反射断面積
虫	0.00001 m ²
鳥	0.01 m ²
人物	0.1~1 m ²
潰れた金属の缶	0.1~1 m ²

3.3 EMFの安全性

電磁界 (EMF) を放出する無線装置のメーカーは、製品が国際規格や規制に定められた適切な曝露制限に準拠していることを保証する必要があります。Axisのレーダー製品は短距離装置 (SRD) として定義されており、電磁出力と範囲が制限されています。これらの製品は、EMFの安全性に関する要件を満たしています。詳細については、本製品の適合性に関する宣言を参照してください。

4 監視にレーダーを使用する理由

セキュリティレーダーは、可視光カメラなどとは、まったく異なる技術に基づいた監視を提供します。可視光カメラ、サーマルカメラ、ホーンスピーカー、PIR (受動型赤外線) 動体検知器などと組み合わせてセキュリティシステムに組み込むことも、単独で使用することもできます。スタンドアロンで使用した場合、または音声装置と併用した場合、従来の映像監視よりもプライバシーの問題が生じる可能性が少ない、非視覚的な監視が可能になります。

4.1 可視性が低い環境でも高い信頼性を実現

レーダー装置は、視覚的印象を検知しないため、霧など視界をさえぎる現象による影響を受けません。また、強い逆光や完全な暗闇など、困難な状況や低光量の状況でも機能を発揮します。こういった状況下では、レーダーは映像監視を補完する非常に優れた手段となります。分析機能を搭載したサーマルカメラも同様に機能しますが、レーダーはより多くの物体情報を低コストで提供し、広い範囲での検知が可能です。

4.2 低い誤報率

監視では、実際のインシデントを見逃さないようにすると同時に、誤報の数を抑えることが不可欠です。たとえば、保安担当者に直接アラームを送信する場合、誤報率を最小限に抑えることが重要です。誤報が多すぎると、保安担当者がシステムを信用できなくなり、本当のアラームを誤報と見なしてしまう可能性があります。

さまざまなタイプの動体検知器やビデオ分析機能からのアラームは、多くの場合、ビデオ録画をトリガーしたり、あらかじめ録音された音声メッセージをトリガーして望ましくない行為を抑止したり、管理室のオペレーターに直接通知したりするよう設定されています。ビデオ録画をトリガーする誤報率が高いと、大量の映像が録画されます。この場合、すべての録画を保存するのに十分なストレージがなかったり、あるいは十分なストレージがあっても、アラームでトリガーされたすべての録画のフォレンジック検索を行うには、システム所有者が雇用可能な人数よりも多くのリソースが必要となったりすることにより、問題になる可能性があります。録音済み音声の誤報率が高い場合、抑止力が大幅に損なわれる恐れがあります。

セキュリティレーダーは、以下のような誤報の原因に応じて、誤報をなくしたり、最小限に抑えたりすることができます。

- **視覚効果。** ビデオ動体検知器は、監視シーンの設定されたピクセル数の変化に基づいて動きを登録します。ピクセル数が以前と比べて一定以上数変化すると、検知器はこれを動きとして解釈します。ただし、ピクセルの変化だけを基準にすると、単なる視覚事象に起因するアラームが多数発生します。一般的な例としては、動いている影や光線が挙げられます。レーダー反射断面積がないため、セキュリティレーダーは、このような視覚効果を無視し、物理的な物体の動きのみを検知します。
- **悪天候。** 雨や雪が降ると、映像に基づく検知器の視界が大幅に損なわれますが、レーダーの信号はあまり影響を受けません。
- **装置上の小さな物体。** ビデオ動体検知では、カメラのすぐ近くに小さな物体があると誤報が発生することがあります。カメラのレンズ上の雨粒や虫がその一般的な例です。虫は光に引き寄せられるため、映像監視に暗視用の赤外線照明を併用している場合は、特に問題となることがあります。レーダーは、装置のすぐ近くにある物体を無視するように設計できるため、こういった誤報の原因を排除することができます。ビデオでは、このようなことは不可能です。

4.3 内蔵分析機能

Axisセキュリティレーダーには、分析機能を追加する必要はありません。物体を検知、追跡、分類する機能すべてがレーダー装置に内蔵されています。

4.4 プライバシーを確保した監視

監視は慎重が求められる問題であり、セキュリティカメラは個人のプライバシーを侵害するとみなされがちです。カメラの設置には、当局の許可や、ビデオにとらえられたすべての人からの同意が必要な場合があり、場所によってはカメラを設置できないこともあります。レーダーによる非視覚的検知は、こういった場合でも十分な保護を提供します。これは、レーダー装置が、検知時に犯罪抑止メッセージを再生できるネットワークスピーカーなどで補完される場合に、特に当てはまります。

5 Axisセキュリティレーダー

5.1 Axisカメラの補完

Axisのセキュリティレーダーは、スタンドアロンの検知器としても使用できますが、シーンの視覚的な映像も提供できるカメラで補完することで、その目的をさらに果たすことができます。Axisレーダー装置は、厳しい環境下での検知力を高め、誤報を最小限に抑えることができるため、屋外の設置に推奨されます。レーダー装置の高度な追跡アルゴリズムと、それが提供する位置情報や速度情報により、レーダー装置は、セキュリティシステムに新たな機能を追加することもできます。

シーンを視覚的に解釈しやすくするため、参照画像をアップロードしてレーダー表示と組み合わせることができます。

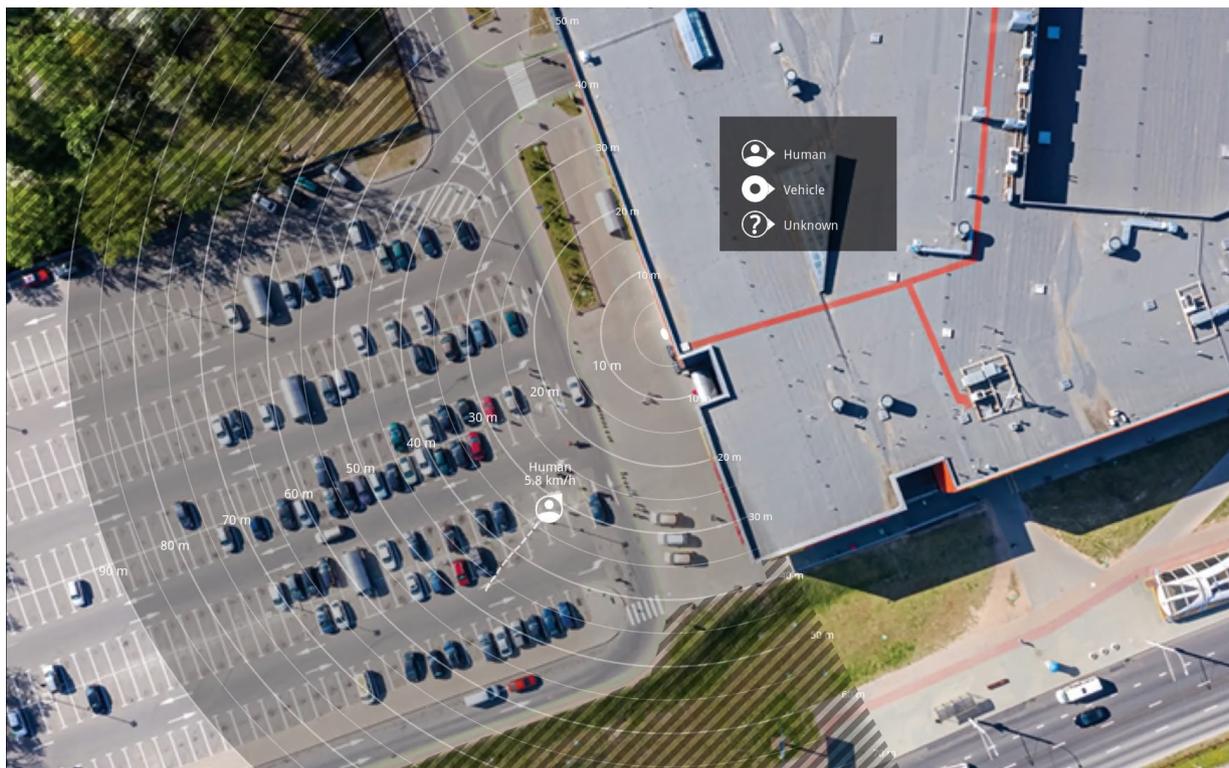


Figure 2. シーンの参照画像が合成された、Axisレーダーユーザーインターフェースのスクリーンショット。

Axisレーダー装置は、Axisカメラと多くの機能を共有しています。たとえば、レーダー装置をセキュリティシステムのカメラと同様に扱うことができます。主要なビデオ管理システム (VMS) と、一般的なビデオホスティングシステムに対応しています。Axisカメラと同様、Axisセキュリティレーダーは、AxisのオープンVAPIX®インターフェースに対応しており、さまざまなプラットフォームで統合が可能です。さらに、Axisカメラと同様、Axisレーダー装置は、検知時にさまざまなアクションをトリガーするよう設定することができます。抑止力を目的として、たとえば統合されたリレーを使用してLED投光器のスイッチを入れたり、ホーンスピーカーで音声を再生したり、ビデオ録画を開始してセキュリティ担当者にアラートを送信したりすることができます。分類機能では、検知された物体が人物や車両などに分類された場合にのみ、このルールが適用されるようになります。

レーダー装置は、継続的に更新される位置情報を提供します。これは、位置や速度などレーダー特有の情報が拡張機能として追加された、ONVIF仕様準拠のオープンメタデータストリームを介して実行されます。サードパーティの開発者は、この情報を使用して、クロスラインディテクションや速度監視などの用途に適したアプリケーションを作成することができます。また、レーダー装置の位置情報と方位を追加して、オーバービュー画像やマップ画像でリアルタイムに検知を視覚化することもできます。

5.2 除外範囲による望ましくない反射の処理

金属屋根、フェンス、車両、さらにはレンガの壁など、レーダーを反射する材質の物体は、レーダーの性能を妨害する可能性があります。これらの材質は反射を生じさせ、実際の検知と区別するのが難しい見掛け上の検知を引き起こすことがあります。

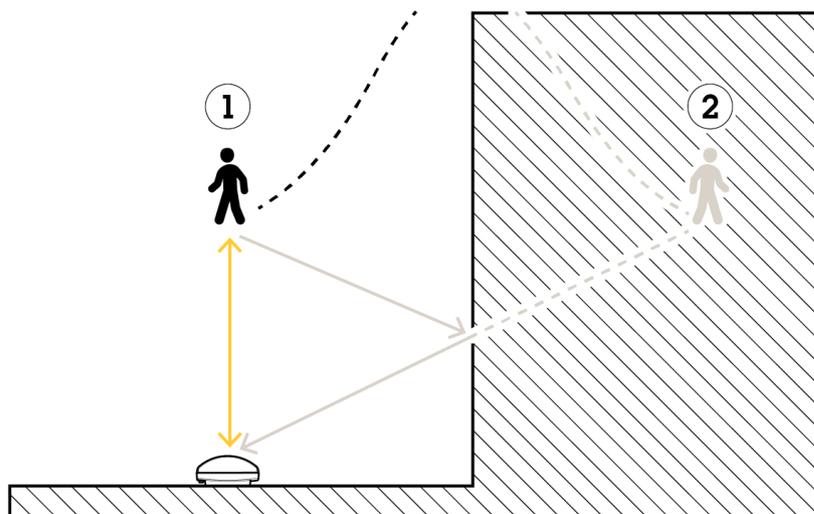


Figure 3. レーダーの検知範囲に壁面やそれに類似した物体がある場合、見掛け上の検知 (2) と実際の検知 (1) を区別しにくい場合があります。この例では、壁の周りを除外範囲に設定することで、問題を最小限に抑えることができます。

レーダー装置のユーザーインターフェースで設定可能な除外範囲を使用して、検知距離内で望ましくない反射が生じるのを回避することができます。

物体の検知と追跡は、検知範囲全体で継続的に行われます。ただし、フィルター機能により、レーダー装置は、対象範囲内で検知された物体に対してのみアクションをトリガーします。フィルターは、特定の物体の種類を無視するように設定することも可能で、たとえば、一定時間追跡された車両や物体に対してのみトリガーすることができます。

対象範囲外ではトリガーは生じません。ただし、対象範囲内に除外範囲を配置することはできません。これは、揺れる茂みや樹木など、誤報の原因となり得る物体がある、特に込み入った場所で、トリガーを防ぐためのツールとなります。ただし、レーダー装置のすぐ近くにあるデータはデフォルト設定で無視されるため、レーダーの表面に水滴や虫が付着しても誤報が発生することはありません。

対象範囲の外側に除外範囲を追加すると便利な場合があります。これにより、レーダーは除外範囲の検知を無視し、対象範囲に処理能力を使用できるようになります。

5.3 検知距離

航空交通管制や天気予報で使用されているレーダーと比べて、Axisセキュリティレーダーは短距離装置です。検知距離は検知される物体の種類にだけでなく、シーンの地形や装置の取り付け高さや傾きによっても異なります。距離の仕様やインストール関連のアドバイスについては、該当するインストールガイドを参照してください。

規定の検知範囲より広いエリアをカバーするために、複数のレーダーを使用することも可能です。ただし、同じ共存エリア内で隣接するレーダーの最大許容数を超えると、レーダー同士が電磁的に干渉する可能性があります。電波は検知範囲を超えても継続するため、あるレーダーが別のレーダーの検知範囲外に設置されている場合でも、干渉が生じることがあります。

干渉が発生すると検知距離が短くなり、レーダーが物体を正しく分類できず、誤報が発生する場合があります。これらの問題の発生確率と深刻度は、同じ共存エリア内にあるレーダーの数に応じて増加しますが、環境や、フェンス、建物、または隣接するレーダーへのレーダーの方向にも左右されます。同じ共存エリア内で隣接するレーダーの最大許容数を超える場合は、隣接するレーダーの方向を離すことをお勧めします。また、Axisレーダーには、干渉を最小限に押さえるために有効化できる共存オプションも用意されています。

5.4 追跡と分類

物体の検知、追跡、および分類はすべてレーダー装置に統合されているため、追加の分析アプリケーションは不要です。反射した信号の位相変化と周波数シフトを測定することで、Axisレーダー装置は動いている物体の位置、速度、方向、大きさに関するデータを取得します。

次に、データは検知された物体を追跡して分類する、装置の高度な信号処理アルゴリズムによって処理されます。システムは、反射データをクラスターにグループ化して各物体を表し、クラスターが連続するタイムフレームでどのように移動するかに関する情報を収集してトラックを形成します。動きのパターンの数学的モデルを応用し、データを「フィルタリング」することによって、人や車両など、物体がどのカテゴリーに属するかをアルゴリズムによって決定することができます。従来の機械学習をディープラーニングと組み合わせた分類アルゴリズムは、人物や車両、さまざまな動物からのレーダーシグネチャーの大容量のデータセットを使用して学習しています。ユーザーによる、さらなるトレーニングは必要ありません。

適用された数学的モデルは、レーダーがフレームを見逃した場合や、物体が短時間遮蔽された場合などに、必要に応じて物体の位置を予測することもできます。この追跡アルゴリズムによって、ノイズや測定の失敗に対するレーダー装置の堅牢性が向上します。

5.5 インストレーションに関する考慮事項

Axisレーダー装置は、オープンエリアの監視を目的として設計されています。これには通常、工業用の敷地や屋上など柵で囲まれたエリアや、営業時間外は活動が予想されない駐車場などが挙げられます。

最適な検知と分類のパフォーマンスを実現するには、Axisレーダー装置を支柱、トラス、または壁面の、地上3.5 m (11 ft) 以上の高さに設置する必要があります。

監視システムに複数のレーダーが必要な場合は、干渉を最小限に抑えるように設置する必要があります。また、同じ共存ゾーン内の隣接するレーダーの数を抑え、指定の最大許容数を超えないようにする必要があります。同じ共存ゾーンに3台以上のレーダーが

ある場合は、干渉を防ぎ性能を向上させるために、Webインターフェースでレーダーをグループに追加する必要があります。

たとえば、建物の周囲のエリアをカバーするには、同じ共存ゾーン内のデバイスの数が上限値を超えない限り、レーダーを建物の壁面に設置することができます。サッカー場のような、中央にレーダーを設置できないエリアをカバーするには、競技場の周囲にレーダーを向かい合わせに設置することができます。レーダー間の距離は指定された最短距離より長く、同じ共存ゾーン内のレーダーの数は上限値以下である必要があります。

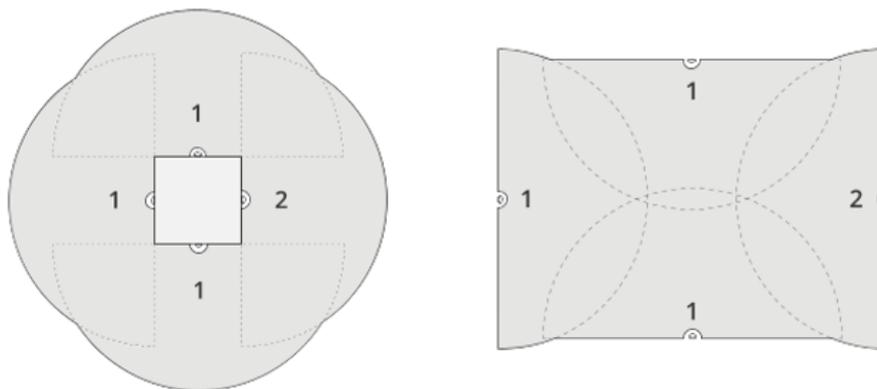


Figure 4. 周囲のエリアをカバーするために建物の壁面に配置されたレーダーと、競技場をカバーするために配置されたレーダー(上から見た図)。この数値は、同じ共存ゾーンに3台以上のレーダー(ただし、指定のレーダー最大数以下)を設置する場合に、最適なパフォーマンスを得るためにレーダーを3台1組で追加する方法の例を示しています。

仮想フェンスを作成するには、複数のレーダーを並べて配置します。推奨される間隔と設定については、ユーザーマニュアルをご覧ください。広いオープンエリアをカバーするため、2台のレーダーを背中合わせにしてポール上に配置することができます。

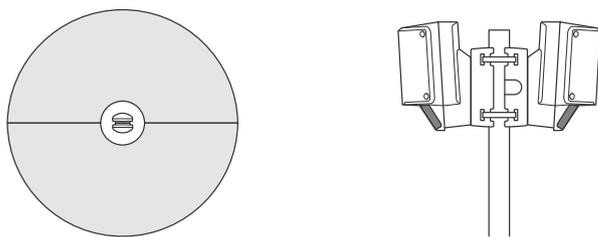


Figure 5. ポール上に背中合わせに設置されたレーダー。上部(左)と横(右)から見た図。

5.6 一般的な使用例

レーダーは検知を最適化するために、他の監視技術と併用されることが多くあります。一般にレーダー装置は、次のような製品と組み合わせることができます。

固定カメラ。 レーダーのみに基づく動体検知器は、映像による確認を一切提供しません。アラームの原因を効率的に特定したり、個人を識別したりするには、シーンをビデオカメラで監視することも必要です。

PTZカメラ。 Axisセキュリティレーダーは、PTZ(パン/チルト/ズーム)オートトラッキングに使用できます。レーダーが検知すると、接続されたPTZカメラが自動的にトリガーされ、検知された物体に焦点を合わせて追跡し、視覚的な詳細情報を提供します。レーダー装置

が物体の正確な地理的位置を提供するため、オートトラッキング機能が可能です。Axisでは、エッジベースとサーバーベースのオートトラッキングを提供しています。サーバーベース機能を使用する場合は、複数のPTZカメラとレーダー装置を組み合わせ、さまざまな場所に設置することができます。

サーマルカメラ。 境界線にサーマルカメラを使用し、制限区域内の侵入者を追跡するためのレーダー装置で補完することで、立入制限区域を保護することができます。この設定は、サーマルカメラの狭く長い検知範囲と、レーダー装置の広い検知範囲の組み合わせにより、最適な状況を提供します。

屋外対応スピーカー。 ネットワークホーンスピーカーを使用することで、レーダーで検知された侵入者を音声メッセージによって効率的に抑止できます。

スタンドアロンセキュリティレーダーは、低速エリアでのスピード違反車両の検知に使用することができます。設定と最高速度については、ユーザーマニュアルをご覧ください。

5.7 検討事項

すべての検知技術と同様、Axisセキュリティレーダーの性能が最適とはいえない状況も考えられます。このような状況には次のようなものがあります。

- **揺れる静止物体が誤検知を引き起こす可能性があります。** レーダー装置は通常、風で揺れる木、植込み、旗などをフィルターで除外できますが、強風や突風が発生すると、フィルタリングアルゴリズムが十分に機能しない場合があります。これが問題となる場合は、ゾーン全体を除外することが推奨されます。
- **植物により、動きが非常に遅い物体の検知効率が制限される可能性があります。** 所定の範囲と速度に対して、レーダー装置が検知できる物体は1つのみです。たとえば、ある方向の50m離れた場所にある木々が、風でゆっくりと揺れている場合、別の方向の50m離れた場所でゆっくりと移動している人物を検知できない場合があります。
- **込み入った環境では、誤検知が発生する可能性があります。** 車両や建物など、反射する物体が多数存在するシーンでは、レーダー信号の複数の反射により誤検知が発生する可能性があります。
- **2つ以上の動いている人物や物体が、誤って1つの人物や物体に分類される場合があります。** レーダー装置が物体を個別のものとして区別するには、通常、物体が3 m (10 ft)以上離れている必要があります。
- **Axisセキュリティレーダーは、エリア監視プロファイルまたは道路監視プロファイルのいずれかの交通ユースケースに使用できます。** 追跡アルゴリズムは、製品データシートに記載されている最高速度以下の速度に対応するように設計されています。最高速度を超える物体はまったく検知されないか、誤った角度で検知される場合があります。

6 監視技術の比較

すべての設置状況に最適な単一の技術は存在しません。この表は、レーダーを含む監視技術を複数の要素を考慮して比較したものです。

表 6.1 検知およびエリア保護における製品比較。

	可視光カメラの動体検知	Axisセキュリティレーダー	分析機能付きサーマルカメラ
距離/範囲	短い/広い	中程度/広い	長い/狭い
照明が必要	必要	不要	不要
誤報率	高	低	低
Cost (価格)	低	中	高
物体情報	検知、認識、識別	検知、位置、GPS座標、速度、距離、動きの角度	検知、認識

この比較からわかるように、レーダー監視は他の技術よりも、位置や速度など、さまざまなタイプの物体情報を提供します。ただし、すべての技術には独自の長所と短所があるため、最適な監視を実現するためには、複数の技術を組み合わせて相互に補完することが推奨されます。

Axis Communicationsについて

Axisはセキュリティとビジネスパフォーマンスを向上させるソリューションを生み出すことで、よりスマートで安全な世界の実現を目指しています。ネットワークテクノロジー企業として、また業界のリーダーとして、Axisはビデオ監視、アクセスコントロール、インターコム、音声システムなどのソリューションを提供しています。これらのソリューションはインテリジェントな分析アプリケーションによって強化され、高品質のトレーニングに支えられています。

Axisは50ヶ国以上に約4,000人の熱意にあふれた従業員を擁し、世界中のテクノロジーおよびシステムインテグレーションパートナーと連携することで、カスタマーソリューションをお届けしています。Axisは1984年に設立され、本社はスウェーデンのルンドにあります。