

白皮書

# 監控雷達

技術背景和效能考量

7月2020

# 目錄

1	摘要	3
2	簡介	4
3	什麼是雷達？	4
	3.1 它是如何運作的呢？	4
	3.2 RCS (雷達截面積)	4
	3.3 EMF 安全性	5
4	為什麼要在監控中使用雷達？	5
	4.1 在低能見度條件下依然可靠	5
	4.2 低誤報率	5
	4.3 整合式分析	6
	4.4 可維護隱私的監控	6
5	Axis 安全雷達	6
	5.1 Axis 攝影機的輔助裝置	6
	5.2 使用排除區域處理不想要的反射	8
	5.3 偵測範圍	8
	5.4 追蹤與分類	9
	5.5 安裝考量事項	9
	5.6 常見使用案例	10
	5.7 考量事項	10
6	監控技術比較	12

# 1 摘要

雷達是一項基於無線電波的成熟偵測技術。由於現代雷達裝置體積較小而且以晶片為基礎，所以在消費性產品上的應用日益普遍。

雷達是根據非視覺技術，可在監控方面提供很多功能。安全雷達適用於其他監控技術可能會失敗的許多情況，例如光線不足、黑暗和多霧環境。在搭配分析軟體使用影像監控可能會產生誤報的許多情況下 (例如場景中有移動的陰影或燈光、惡劣的天候或裝置上有雨滴或昆蟲的情況下)，雷達也能穩定運作。雷達也有一個優點，就是提供可維護隱私的監控機制，因為無法從雷達資訊中識別人員。

Axis 提供的安全雷達可以單獨使用，例如在基於隱私顧慮而不允許使用攝影機的環境中。然而，雷達主要會整合到包含視訊和音訊產品的安防系統中。就像 Axis 攝影機一樣，Axis 安全雷達也與主要影像管理系統 (VMS) 相容，而且可設定為在偵測到物體時觸發一系列動作。

有了 Axis 雷達，就不需要其他分析應用程式，因為物體的偵測、追蹤和分類功能全都整合在雷達裝置中。深度學習分類器演算法會區分偵測到的物體類型，例如人類或車輛。Axis 已使用機器學習和深度學習來開發演算法。

雷達裝置通常會結合識別個人用的影像攝影機。這對於 PTZ (平移-傾斜-變焦) 攝影機特別有用，這種攝影機可以根據雷達提供的確切地理位置來追蹤及識別人員或車輛。雷達也經常與熱顯像攝影機一起使用，雷達裝置的廣域偵測可與熱顯像攝影機的狹窄但長的偵測區域完美結合。在不允許使用影像識別或是無法優先使用影像識別的情況下，雷達和音訊也是很好的組合。嚇阻的音訊訊息很可能會阻擋雷達偵測到的入侵者。

本文最後一節的比較表格列出安全雷達、影像攝影機和熱顯像攝影機之間的異同。結合使用不同技術通常是一個很好的選擇，因為各種技術都有各自的優點和限制。

## 2 簡介

雷達是一項基於無線電波的成熟偵測技術。雷達於 1940 年代被開發用於軍事用途，後來很快進入了其他市場。它的用途不斷在發展中，當今的常見應用包括天氣預報、道路交通監控以及航空和運輸中的防撞機制。現代半導體技術讓尺寸合適的雷達單晶片系統在汽車和小型消費性產品上的應用日益普遍。在民間安防市場中，雷達裝置可以補充影像攝影機和其他技術，以擴充及改良監控系統。

本白皮書會簡短介紹雷達技術的運作原理，並詳細說明如何將其用於安防和監控。我們會討論您在安裝安全雷達裝置之前可能需要考慮的因素，以及這些因素會如何影響偵測效率。我們會重點介紹雷達相較於其他安防技術 (例如影像分析和熱顯像攝影機) 的優缺點，並說明如何合併不同的技術以實現最佳監控成效。

## 3 什麼是雷達？

雷達一詞最初是更具描述性的詞組 *無線電偵測和定距 (RAdio Detection And Ranging)* 的首字組合詞 — 雷達是指使用無線電波偵測物體，並判斷物體距離有多遠的一項技術。

### 3.1 它是如何運作的呢？

雷達裝置會傳送由無線電頻譜中的電磁波 (簡稱無線電波) 所組成的訊號。當雷達訊號命中某個物體時，該訊號通常會以多個方向反射和散射。該訊號的一小部分會被反射回雷達裝置，雷達接收器會在其中偵測到該訊號。偵測到的訊號會提供可用於判斷被命中物體的位置、大小和速度的資訊。

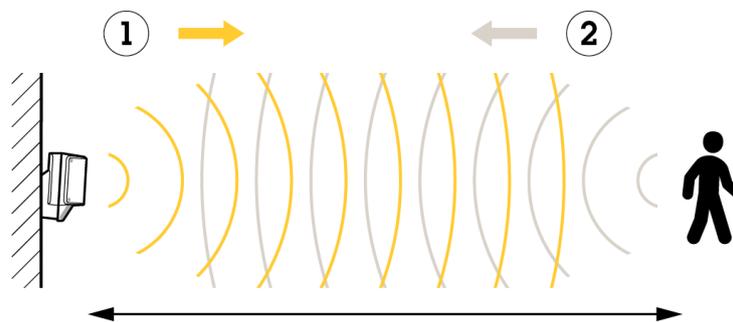


Figure 1. 雷達的一般原理：從雷達發射的訊號在命中物體時被反射。

在運用相同的一般原理時，可以將雷達建構為可在短無線電脈衝或連續訊號下運作。其基礎技術可能是根據反射訊號的傳輸時間或其頻率偏移的測量值。可以將雷達設計為提供與偵測物體之間的距離或該物體的速度，而進階訊號處理則可以進一步微調偵測程序。Axis 提供的雷達產品是調頻連續波 (FMCW) 雷達，這種雷達可以判斷距離和速度。這些產品會測量徑向速度 (指向或來自雷達裝置的物體速度分量)，並使用徑向速度來計算實際速度。

### 3.2 RCS (雷達截面積)

雷達是否可以看見物體取決於其雷達截面積 (RCS)。這是一個數字值，根據物體的大小、形狀和材質的相關資訊計算得出，最終可以決定雷達顯示的物體大小。人類的 RCS 通常在 0.1 公尺<sup>2</sup> 到 1 公尺<sup>2</sup> 之間 — 但這也是壓碎的罐子的典型 RCS，其實體要小得多，但是比較容易讓雷達看到。請注意，雖然 RCS 以公尺<sup>2</sup> 為測量單位，它並不會對應到實際區域，而是假設的同等物。

表格 3.1 典型的雷達截面積。

物體	雷達截面積
昆蟲	0.00001 公尺 <sup>2</sup>
鳥類	0.01 公尺 <sup>2</sup>
人體	0.1 – 1 公尺 <sup>2</sup>
壓碎的金屬罐	0.1 – 1 公尺 <sup>2</sup>

### 3.3 EMF 安全性

發射電磁場 (EMF) 的無線電設備製造商必須確保其產品符合國際標準和法規中所規定的適用暴露極限。Axis 提供的雷達產品被定義為電磁功率和範圍有限的短距離裝置 (SRD)。這些產品符合 EMF 安全性方面的要求。如需詳細資訊，請參閱產品的符合標準聲明書。

## 4 為什麼要在監控中使用雷達？

安全雷達提供的監控是根據完全不同於影像攝影機的技术。它可以整合到包含影像攝影機、熱顯像攝影機、擴音喇叭和 PIR (被動式紅外線) 位移偵測器的安防系統中，也可以單獨使用。單獨使用或搭配音訊裝置使用會提供非影像類型的監控，這種監控相較於傳統影像監控可能會引發較少的隱私問題。

### 4.1 在低能見度條件下依然可靠

雷達裝置對於視覺印象視而不見，所以不會受到影響能見度的天候現象 (例如霧) 的影響。雷達在不良照明條件或低光源 (例如強烈的背光) 或甚至全黑的環境中也能正常運作。在這種情況下，雷達可以成為影像監控的高價值輔助裝置。雖然具有分析功能的熱顯像攝影機也可以進行這項工作，但是雷達以較低的成本提供更多物體資訊，並且可以在更廣的區域內進行偵測。

### 4.2 低誤報率

在監控中，必須限制誤報數量，同時不得遺漏任何實際事件。例如，對安全警衛直接發出警報時，擁有非常低的誤報率是很重要的事。如果有太多誤報，警衛可能會對系統失去信心，最後導致不去理會真正的警報。

通常會設定來自不同類型的位移偵測器或影像分析的警報，以觸發錄影、觸發預先錄製的音訊訊息來阻止不必要的活動或直接向控制室操作員發出警報。由於錄影的誤報率很高，所以將會錄製許多影像。這可能會發生問題，原因是因為沒有足夠的儲存空間來保存所有錄影，或者如果有足夠的儲存空間，在所有警報觸發的錄影中進行鑑識搜尋所需要的資源可能會超出系統擁有者的負擔能力。當預先錄製的音訊的誤報率很高時，您可能會大幅降低嚇阻能力。

安全雷達可以消除誤報或讓誤報減至最少，這取決於以下原因：

- 視覺效果。影像位移偵測器會根據監控場景中的一組像素變化量來記錄位移。當有足夠多的像素看起來與先前不同時，偵測器就會將此解譯為位移。但是，如果您只著眼於像素變化，則會收到許多純視覺現象所引發的警報。典型範例包括移動的陰影或光束。安全雷達由於缺少雷達截面積而將忽略這些視覺效果，只會偵測實體物體的位移。

- 天候不佳。下雨和下雪會嚴重損害基於影像的偵測器的視線，雷達訊號受到的影響則比較小。
- 裝置上的微小物體。使用影像位移偵測時，如果微小的物體非常靠近攝影機，則可能會引發誤報。攝影機鏡頭上的雨滴和昆蟲是典型的例子。當影像監控伴隨著夜視的紅外線照明時，昆蟲尤其可能會成為問題，因為燈光會吸引昆蟲。可以將雷達設計為忽略非常靠近裝置的物體，藉此免除這種誤報來源。當使用影像時，就不可能這樣做。

### 4.3 整合式分析

有了 Axis 安全雷達，就不需要其他分析。物體的偵測、追蹤和分類功能全都整合在雷達裝置中。

### 4.4 可維護隱私的監控

監控可能是一件敏感的事，安全攝影機通常被認為會妨礙個人隱私。攝影機的安裝可能需要獲得主管機關的許可或影像中所拍攝的每個人的同意，而且在某些地點，無法選擇使用攝影機。在這些情況下，雷達提供的非影像偵測通常可以提供足夠的保護。這在以下情況特別實用：如果雷達裝置搭配網路喇叭使用，而網路喇叭可以在偵測到物體時送出嚇阻的音訊訊息。

## 5 Axis 安全雷達

### 5.1 Axis 攝影機的輔助裝置

Axis 安全雷達可以當做獨立偵測器使用，但在搭配可提供場景影像檢視的攝影機使用時，可能會有更好的效果。建議在戶外安裝中使用 Axis 雷達裝置，以便在具有挑戰性的條件下提高偵測效率，並讓誤報減至最少。由於雷達裝置有提供先進的追蹤演算法及定位和速度資訊，所以還可以為安防系統新增功能。

為了便於對場景進行影像解譯，可以上傳參考影像，並將其與雷達檢視結合。

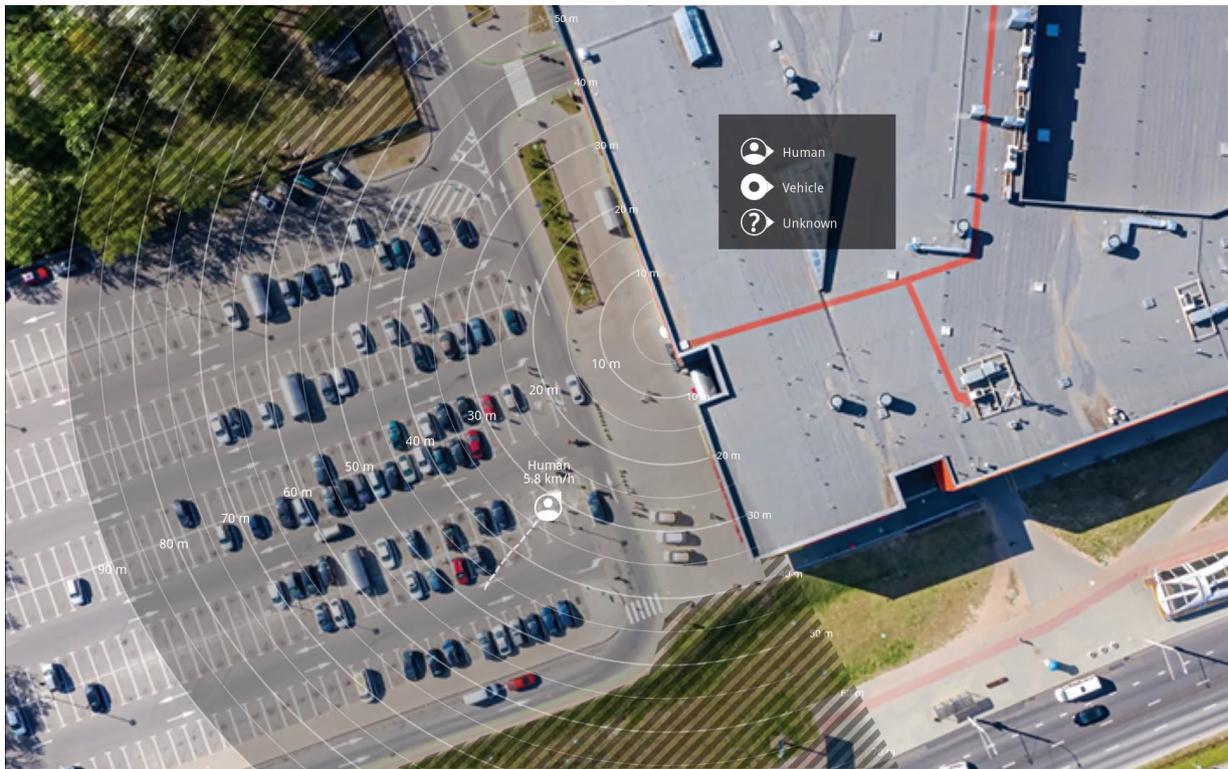


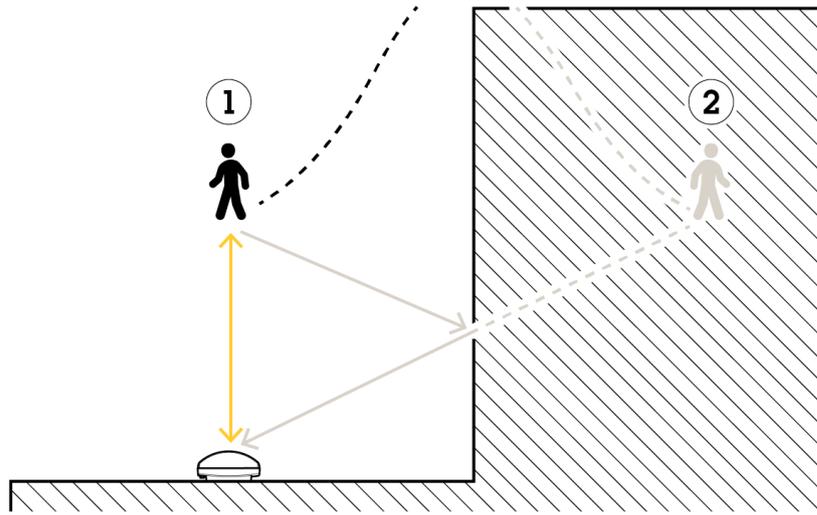
Figure 2. Axis 雷達使用者介面搭配場景參考影像的螢幕擷取畫面。

Axis 雷達裝置會與 Axis 攝影機共享許多功能。例如，可以將雷達裝置視為像是安防系統中的攝影機。它與主要影像管理系統 (VMS) 和常見的影像代管系統相容。就像 Axis 攝影機一樣，Axis 安全雷達也支援不同平台上的 Axis 開放式 VAPIX® 介面啟用的整合功能。Axis 雷達裝置也跟 Axis 攝影機一樣，可以設定為在偵測到物體時觸發不同的動作。例如，出於嚇阻目的，它可以使用整合式繼電器打開 LED 泛光燈、在擴音喇叭中播放音訊或開始錄製影像，並傳送警示給安全人員。分類功能可以確保只有當偵測到的物體已被分類為像是人類、車輛等類別時才套用此規則。

此雷達裝置會提供持續更新的定位資訊。這是透過符合 ONVIF 規範的開放式中繼資料串流所完成，在 ONVIF 規範之下，雷達專屬資訊 (例如位置和速度) 都已新增為延伸資訊。第三方開發人員可以使用此資訊來建立自己的應用程式，例如警戒線偵測或速度監控應用程式。也可以新增雷達裝置的地理位置和方位，以協助在概觀影像或地圖中即時將偵測到的物體視覺化。

## 5.2 使用排除區域處理不想要的反射

由雷達反射材質構成的物體 (例如金屬屋頂、柵欄、車輛，甚至磚牆) 可能會干擾雷達的效能。它們可能會產生反射，進而導致可能很難與實際偵測分開的表觀偵測。



*Figure 3. 對於在雷達範圍內的牆壁或類似物體，由反射引起的表觀偵測 (2) 可能很難與實際偵測 (1) 分開。在此範例中，牆壁周圍的排除區域可以讓問題最小化。*

可以使用可在雷達裝置的使用者介面中繪製的排除區域來避免偵測區域中不想要的反射。

物體的偵測和追蹤會在整個偵測範圍內持續進行。然而，由於雷達裝置具有過濾功能，所以只會針對包含區域內偵測到的物體觸發動作。過濾也可以設定為忽略特定的物體類型，例如，只針對已被追蹤一定時間的車輛或物體觸發動作。

包含區域之外的區域將不會有任何觸發。但是，可以將排除區域放置在包含區域內。這可以是避免觸發的工具，例如，在特別繁忙的區域中而且其中的物體可能會造成誤報 (例如搖曳的灌木叢和樹木) 時。但是，預設情況下會忽略來自雷達裝置緊鄰區域的資料，這表示雷達表面上的水滴或昆蟲都不會引發任何誤報。

在包含區域外面新增排除區域可能會很有用。完成這項操作時，雷達將忽略該處的偵測，並在感興趣的地方使用處理能力。

## 5.3 偵測範圍

相較於空中交通管制和天氣預報中所使用的雷達，Axis 安全雷達為短距離裝置。偵測範圍取決於要偵測的物體類型，也取決於場景的地形以及裝置的安裝高度和傾斜度。如需範圍規格和安裝建議，請參閱適用的安裝指南。

若要覆蓋比指定的偵測範圍更大的區域，可以使用多個雷達。當使用多個雷達時，它們可能彼此會有電磁上的干擾。由於無線電波持續在偵測區域之外，所以即使將某個雷達裝置放置在另一個雷達的偵測範圍之外，還是可能會造成干擾。

如果發生干擾，偵測範圍會變短，雷達也可能無法正確分類物體，並且可能會發生誤報。這些問題的可能性和嚴重性會隨著相同共存區域內的雷達數量而增加。這也取決於環境及雷達朝向柵欄、建築物或鄰近雷達的方向。建議讓鄰近的 Axis 安全雷達彼此遠離，它們也有共存選項，啟用該選項就可以讓干擾減至最少。

## 5.4 追蹤與分類

物體的偵測、追蹤和分類功能全都整合在雷達裝置中，所以不需要其他分析應用程式。Axis 裝置可藉由測量反射訊號的相位偏移和頻率偏移來取得移動物體的位置、速度、方向和大小等相關資料。

然後，裝置的進階訊號處理演算法會處理該資料，該演算法可追蹤偵測到的物體，並將其分類。系統會將反射資料分組到代表每個物體的叢集，並收集有關叢集如何在連續的時間範圍內移動以形成軌道的資訊。演算法在套用動作模式的數學模型及過濾資料後，就可以判斷物體所屬的類別，例如人類或車輛。結合傳統機器學習和深度學習方法的分類演算法已使用來自人類、車輛和各種動物的大型雷達簽章資料集進行了訓練。使用者不需要進一步的訓練。

套用的數學模型還可以根據需要來預測物體位置，例如，當雷達錯過某個影格或者物體有短暫的時間被遮擋時。因此，追蹤演算法讓雷達裝置對雜訊和錯誤測量具有更強大的抵抗性。

## 5.5 安裝考量事項

Axis 雷達裝置適用於空曠地區的監控。這通常是用柵欄隔開的區域，例如工業房產或屋頂或是下班後應該不會有任何活動的停車場。

為實現最佳偵測和分類效能，Axis 雷達裝置應該安裝在地面上方 3.5 公尺 (11 英尺) 處，或是安裝在堅固的桿子、桁架或牆壁上。

如果安裝中需要多個雷達，則應以盡量減少干擾的方式加以放置。例如，若要建立虛擬圍欄，可以並排放置雷達。如需建議的間距，請參閱產品的安裝指南。若要覆蓋建築物周圍的區域，應在建築物的牆壁上放置雷達。如此一來，雷達就可以彼此靠近而不會產生干擾，因為這些雷達的無線電波不會瞄準彼此，而且建築物有助於阻擋鄰近的電波。如果將雷達對準建築物，則雷達會互相發射無線電波，即使它們不在彼此的偵測範圍內，也會降低效能。

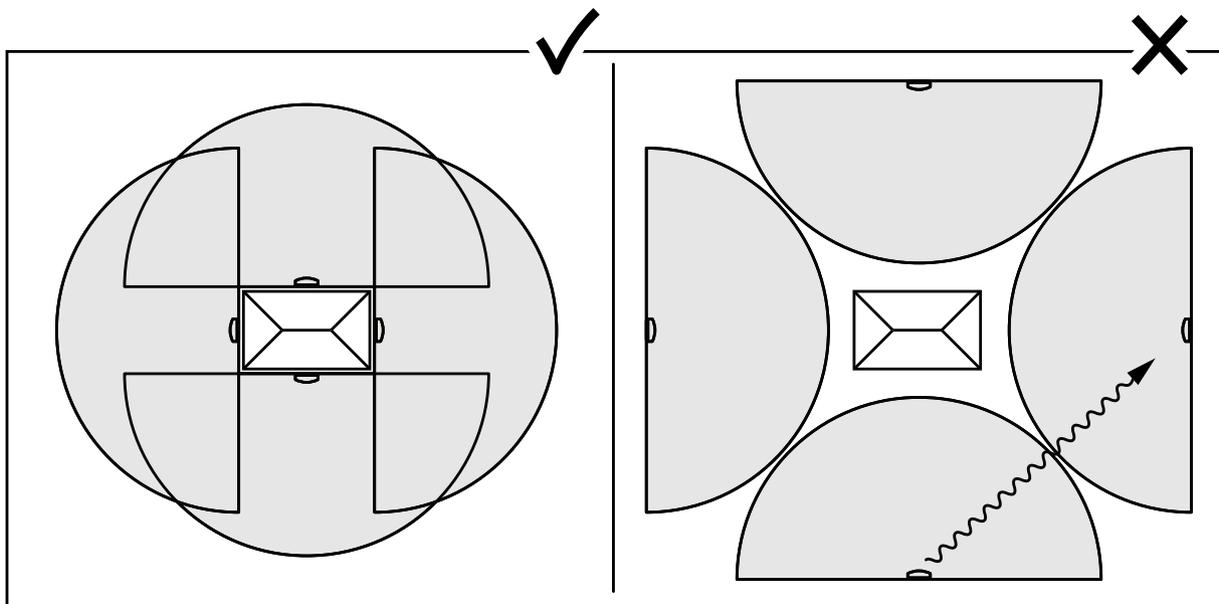


Figure 4. 雷達放置在建築物牆壁上以覆蓋周圍區域 (俯視圖)。

若要覆蓋大型空曠區域，可以將兩個雷達背對背放置在桿子上。

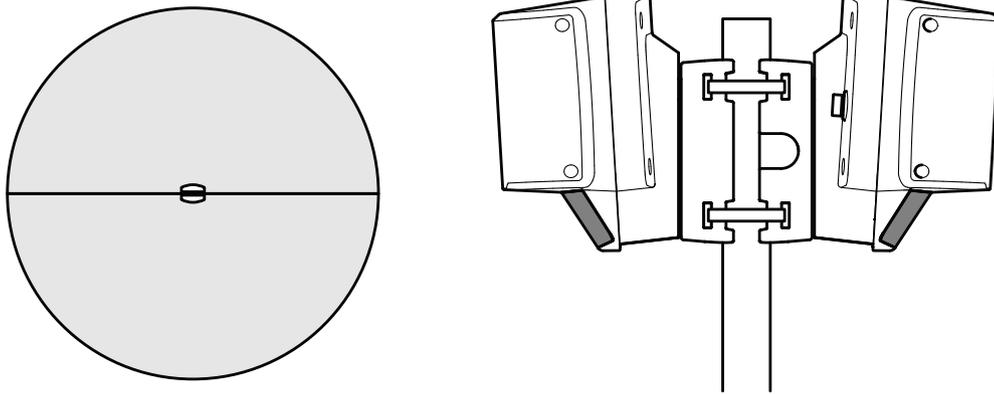


Figure 5. 雷達背對背安裝在桿子上。上方(左方)和側邊(右方)視圖。

## 5.6 常見使用案例

雷達通常會與其他監控技術一起使用，以獲得最佳偵測效果。雷達裝置通常可以結合以下裝置使用：

**固定式攝影機。** 專門基於雷達的位移偵測器將不會提供任何視覺化方式確認。為了有效識別警報的原因或啟用個人識別，也應該使用影像攝影機來監控場景。

**PTZ 攝影機。** Axis 安全雷達可用於 PTZ (平移-傾斜-變焦) 自動追蹤。然後，雷達提供的偵測功能將會自動觸發連接的 PTZ 攝影機，以精確定位並跟隨偵測到的物體，並提供影像細節。可以執行自動追蹤功能是因為雷達裝置會提供該物體的確切地理位置。Axis 提供基於邊緣和基於伺服器的自動追蹤。有了基於伺服器的功能，您就可以結合使用放置在不同位置的多部 PTZ 攝影機和雷達裝置。

**熱顯像攝影機。** 若要對受限區域提供保護，可以在週邊使用熱顯像攝影機，並輔以雷達裝置，以追蹤受限區域內的入侵者。此設定以很好的方式結合了熱顯像攝影機的狹窄但較長的偵測區域與雷達裝置的寬廣偵測區域。

**戶外用喇叭。** 使用網路擴音喇叭時，可以透過音訊訊息來有效嚇阻雷達偵測到的入侵者。

雖然獨立的雷達裝置並不是專為交通監控所設計，但還是可以用來偵測在低速區域中超速行駛的車輛。如需最大速度的測量值，請參閱產品型錄。

## 5.7 考量事項

就如同所有偵測技術一樣，在某些情況下，Axis 安全雷達可能無法實現最佳效能。已知情況包括：

- 搖擺的固定物體可能會導致錯誤的偵測。即使雷達裝置通常可以過濾掉隨風移動的樹木、灌木叢和旗幟，但在風勢很強的天候或突然的陣風中，過濾演算法可能還是不夠。如果這是一個問題，建議您改為排除整個區域。
- 植被可能會限制移動速度非常緩慢的物體的偵測效率。在給定的範圍和速度之下，雷達裝置只能偵測到一個物體。這表示在風中緩慢搖曳的一組樹木(例如，在 50 公尺距離處朝著某個方向搖曳)可能會導致無法偵測到在 50 公尺距離處朝著另一個方向緩慢移動的人。

- 繁忙的環境可能會導致錯誤的偵測。在有大量反射物體 (例如車輛和建築物) 的場景中，雷達訊號的多重反射可能會導致錯誤的偵測。
- 兩個或幾個移動的人或物體可能會被錯誤地分類為一個人或物體。雷達裝置通常要求物體至少必須距離 3 公尺 (10 英尺)，才能被區分為個別物體。
- 不建議將 Axis 安全雷達用於高速交通監控。雷達脈衝發射模式和訊號處理會限制要偵測的物體的最大速度。追蹤演算法並不是為了處理高速度而設計。基於這些原因，超過最大速度的物體可能根本不會被偵測到，或者以錯誤角度被偵測到。

## 6 監控技術比較

沒有單一技術適合所有安裝使用。此表格會比較包含雷達在內的各種監控技術，並考量多個因素。

表格 6.1 產品在偵測和區域保護方面的比較。

	影像攝影機位移偵測	Axis 安全雷達	具有分析功能的熱顯像攝影機
範圍/區域	短/寬	中/寬	長/窄
需要光線	是	否	否
誤報率	高	低	低
成本	低	中	高
物體資訊	偵測、辨識、識別	偵測、位置、GPS 座標、速度、距離、移動角度	偵測、辨識

如比較表格所示，相較於其他技術，雷達監控會提供不同類型的物體資訊，包括位置和速度。但為了實現最佳監控，建議您結合多種技術並使其相互輔助，因為所有技術都有其獨特的優點和限制。



# 關於 Axis Communications

Axis 透過建立解決方案讓世界更聰明和更安全，以提高安全性和業務績效。做為網路技術公司和產業領導者，Axis 提供影像監控、門禁管制、對講機和音訊系統的解決方案。它們透過智慧分析應用程式獲得強化，並得到高品質訓練的支援。

Axis 在全球 50 多個國家/地區雇用 4,000 多名專職員工，並與全球的技術和系統整合合作夥伴合作交付客戶解決方案。Axis 成立於 1984 年，總部位於瑞典隆德