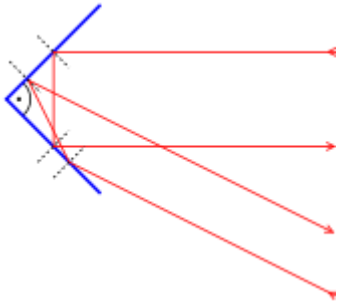
الرادار هو نظام يستخدم موجات كهرومغناطيسية للتعرف على بعدوارتفاع واتجاه وسرعة الأجسام الثابتة والمتحركة كالطائرات،والسفن،والعربات، وتشكيل الطقس،والتضاريس .جهاز الإرسال يبعث موجاترادیو التي تنعكس بواسطة الهدف فيتعرف عليها جهاز الاستقبال .وتكون الموجات المرتدة إلى المستقبل ضعيفة، فيعمل جهاز الاستقبال على تضخيم تلك الموجات مما يسهل على جهاز الرادار أن يميز الموجات المرسلة عن طريقه من الموجات الأخرى كالموجاتالصوتية وموجات الضوء .يستخدم الرادار في مجالات عديدة كالأرصاد لمعرفة هطول الأمطار،والمراقبة الجوية،الشرطة لكشف السرعة الزائدة، وأخيرًا والأهم استخدامه بالمجال العسكري .سمي الرادار بهذا الاسم اختصارا لجملة (RAdio Detection And Ranging)

أول من استعمل الموجات الراديوية للكشف
عن وجود أجسام معدنية
عن بعد كان العالم كريستيان هولسماير الذي أظهر عملية كشف وجود سفينة من
خلال الضباب
ولكن من غير تحديد المسافة وذلك في عام.1904[1]
أنشأ نيكولا تيسلا رائد علم الكهرباءالأسس المرتبطة بين الموجات ومستوى الطاقة
قبل
الحرب العالمية الثانية وكان الرادار البدائي.
أما الرادار أحادي النبض فقد ظهر في عام1934 بأمريكا ثم ألمانياوفرنسا
،وذلك بواسطة إميلي جيراردو ،الذي أظهر أول رادار فرنسي [2]حسب
تصورات تيسلا الأساسية، في حين أن أول ظهور للرادار الكامل كان في
بريطانيا كدفاع عن أي هجوم للطائرات وذلك في عام .1935[3] ازدادت
الأبحاث خلال الحرب لإظهار أفضل الرادارات كأسلوب للدفاع حتى ظهرت
رادارات متحركة بمواصفات أفضل. وبالسنوات التي تلت الحرب استخدم
الرادار بقوة في المجال المدني
كمراقبة الملاحة الجويةوالأرصاد وحتى
بعلم قياسات الفضاء في الفلك.

الموجات الكهرومغناطيسيةتنعكس) أحيانًا تتبدد) عند أي اختلاف كبير في ثوابت
العزل الكهربائي أو التعاكس المغناطيسي) الديامغناطيسية)، وهذا يعني أن
المواد الصلبة الموجودة بالهواء أو الفراغ أو أي تغيير ملموس بالكثافةالذرية بين
الجسموالبيئة المحيطة به سوف يبدد الإشعاع أو الموجات الراديوية .وتنطبق
على الموصلات الكهربية كالمعادن والألياف الكربونية والتي تساعد الرادار
على سهولة الكشف على الطائراتوالسفن .المواد التي تمتص الرادار تحتوي
على مقاومةومواد مغناطيسية وتستخدم بالعربات العسكرية لخفض انعكاس
الرادار، وأيضا الأصباغ الداكنة تعمل نفس العمل.
تتفرق (تتشتت) موجات الرادار بعدة أشكال اعتمادًا على طول الموجة وشكل
الهدف. فإذا كان طول الموجة أقصر من حجم الهدف فإن الموجة سترتد
باتجاهات متغايرة كالضوء على المرآة، وإذا كانت الموجة أطول من حجم
الهدف فإن الهدف سيكون متقاطب) الشحنات الموجبة والسالبة منفصلة)
مثل الإربال ثنائي الأقطاب .الرادارات المبكرة استخدمت موجات ذات أطوال
عالية أطول من الهدف مما جعلها تستقبل إشارات مبهمة، لكن الحديثة
منها تستخدم أطوال قصيرة جدا بحيث يمكنها التقاط أهداف بحجم رغيف

الخبز .موجات الراديو القصيرة تنعكس من الزوايا والمنحنيات بطريقة مشابهة للمعان قطعة زجاج مدورة. الأهداف الأكثر انعكاسا للموجات القصيرة لها زوايا 90 درجة بين الأسطح المنعكسة، الجسم الذي يحتوي على 3 أسطح وتلتقي بزاوية واحدة كزاوية علبة تعكس الموجات الداخلة إليها مباشرة إلى المصدر وتسمى بالزوايا العاكسة وهذه الطريقة تستعمل لتسهيل الكشف الراداري وتوجد بالقوارب لتسهيل حالات الإنقاذ وتقليل الاصطدامات كما بالصورة.



طريقة عمل الزوايا العاكسة

ولأسباب مشابهة هناك أهداف تحاول تجنب الكشف الراداري وذلك بعمل الزوايا لأجسامها بطريقة لمنع الكشف وتكون حوافها عمودية لاتجاه الكشف مما يقود لاتجاه العكس كما بطائرة الشبح، ومع ذلك فإن التخفي لا يكون كاملا بسبب
عامل الانحراف للموجات وخاصة للموجات الطويلة.

الاستقطاب

إشارات الرادار المرسلة يكون مجالها الكهربائي متعامد مع اتجاه الموجة واتجاه هذا المجال يكون هو استقطاب الموجة، فنرى قطبية الرادار إما أفقية أو عمودي أو على شكل خط مستقيم أو دائري حتى يمكنه الكشف على عدة أنواع من الانعكاسات، فمثلا الاستقطاب الأفقي يستخدم لتقليل التشويش

الآتي من المطر .الاستقطاب المعاد على خط مستقيم يستخدم للتعريف على الأجسام المعدنية، الاستقطاب العشوائي المعاد يدل على الأسطح الصغيرة والكسرات كالصخوروالتربة وهذا النوع من الرادار تستخدم بمراقبة الملاحة الجوية

التداخل

نظام الرادار يجب عليه تخطي بعض الإشارات الغير مرغوبة الناشئة من (مصادر داخلية أو خارجية سواءً سلبية أو إيجابية) حتى تظهر الأهداف الحقيقية. وتعرف تلك المقدرة على تخطي موجات التشويش بنسبة الإشارة إلى الضجيج (signal to noise ratio SNR) .كلما كانت النسبة عالية كلما كانت كلما كانت نقاوة الموجة المستقبلة أفضل

الضوضاء

إشارة الضوضاء هي مصدر داخلي من الاختلافات المتعددة للإشارة، وتشكلت إلى حد ما من قبل القطع الإلكترونية الداخلية. وهو مضاف بشكل عشوائي على الموجة المرتدة بالرادار المستقبل، كلما ضعفت الإشارة المستقبلة كلما زادت صعوبة تطهيرها من الضجيج، وأفضل مثال على ذلك هو السماع
لهمس بجانب طريق مزدحم. لذلك من الأهمية تقليل تلك الضوضاء بتقليل عواملها، ويقاس تلك الضوضاء المنتجة داخل الجهاز المستقبل مقارنة مع الجهاز المثالي وكلما قلت الكمية المقروءة كلما كان الاستقبال أفضل.
هناك ضوضاء ذات مصدر خارجي ويكون
عادة من الحرارةالطبيعية المحيطة بالهدف. أنظمة الرادار الحديثة تكون أجهزة الاستقبال ذات كفاءة بحيث أن الضوضاء الداخلية تكون بسيطة وأقل نسبة من الضوضاء الخارجية. وأيضا توجد الضوضاء المتقطعة، تظهر خلال مرور الإلكترونات وتكون ذات علاقة عكسية مع الموجة بمعنى كلما زادت قوة الموجة كلما قلت تلك الضوضاء بشكل كبير، الرادار النبضي يستخدم النظام التمازجي بمعنى اقتران ترددين.

الموجة المزعجة

الموجة المزعجة أو الفوضوية يرجع مصدرها إلى موجة الراديو الحقيقية،

وهي صدى لموجة تعود من الهدف ولكنها غير مرغوب بها من العامل بجهاز الرادار.

أنواع الأهداف التي تحتوي على الموجة الفوضوية:

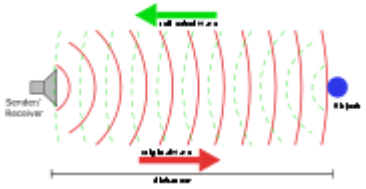
- أجسام طبيعية كالأرضوالبحر والمنتشرة كالمطروالثلجوالأعاصيرالرملية والجوية والحيوانات والتأثير الغلاف الجويوالنيازك الصغيرة وحتى منتوجات البشر كالبنايات أو مضاد الرادار كالشذرات والخدع الرادارية.

التشويش

تشويش الرادار مصدره موجات الراديوية ناشئة من خارج نظام الرادار، ترسل على موجة الرادار فيخفي الأهداف المرغوبة. التشويش قد يكون متعمدا كسلاح مضاد للرادار في تكتيكات الحروب الإلكترونية، وقد يكون غير متعمد مثل النيران الصديقة أجهزتها تعمل على نفس الموجة الرادارية. ينظر إلى التشويش بأنه قوة تداخل فعالة لأنها تنشئ من عناصر خارج النظام
وغير مرتبطة بإشارات الرادار.
التشويش مشكلة معقدة لأن الموجة
المشوشة تحتاج إلى ذهاب إلى الرادار المعني دون الحاجة للرجوع، بينما موجة الرادار يرحل ذهاب وإياب الرادار-الهدف-الرادار فتقل قوته بشكل ملموس مع عودته للمستقبِل. أجهزة التشويش تحتاج إلى طاقة أقل من أجهزة الرادار ولكنها تبقى ذات فعالية قوية لإخفاء الأهداف خلال خط البصر ***line of sight*** من المشوش إلى الرادار(فص التشويش الرئيسي **Mainlobe Jamming.** (المشوش يكون معه تأثير مضاف إلى تأثير الرادار على طول خط البصر خلال استقبال الرادار ويسمى (فص التشويش الجانبي (**Sidelobe Jamming.**فص التشويش الرئيسي ممكن تقليله بتضييق الزاوية المجسمة له، ولكن لا يمكن إزالتها خاصة عندما تواجه مباشرة المشوِش الذي يستخدم نفس الموجات ونفس الاستقطاب الذي يستخدمه الرادار. الفصوص الجانبية للتشويش ممكن التغلب عليها بواسطة تصميم هوائي يقلل استقبال الفصوص الجانبية واستخدام هوائي لجميع الاتجاهات ***omnidirectional antenna*** لكشف

وإهمال إشارات الفصوص الجانبية. التقنيات الأخرى المضادة للتشويش
مثل الاستقطاب وقفزات التردد***frequency hopping***
)وهي تغيير التردد بتسلسل عشوائي يعرفه المرسل والمستقبل فقط .(

قياس المسافة وقت العبور



رحلة الموجة ذهاب وإياب

طريقة واحدة لقياس بعد الهدف وهي إرسال نبضة قصيرة من
موجةالراديو) إشعاع كهرومغناطيسي (ثم حساب الوقت حتى عودتها من الهدف
وسرعة الموجة هي سرعة الضوء
186.000)ميل بالثانية) والمسافة تكون نصف
الرحلة كلها (ذهاب وإياب(، لحساب
ذلك بدقة يتطلب أجهزة دقيقة.
كما أسلفنا فإن المستقبِل لا يعمل في لحظة إرسال الموجة والسبب هو
جهاز ***duplexer*** أو المبدل التناوبي، وهو يعمل على تناوب الرادار ما
بين إرسال واستقبال بمعدل زمني محدد سلفا، لمعرفة مسافة الهدف
يقاس طول الموجة ضرب السرعة ونقسم على اثنين، وللكشف على
أهداف اقرب يتطلب موجات أقصر.
هناك عامل يفرض استعمال المدى الأقصى،
هو عند عودة النبضة من الهدف بلحظة

إرسال نبضة أخرى يجعل المستقبِل لايستطيع التمييز، إذا يجب علينا إطالة المدى باستخدام وقت أطول بين النبضات أو ما يسمى توقيت تكرار النبضات ***pulse repetition time*** ، المشكلة أن هذان العاملان يميلان أن يكونا متضادين، إذ ليس سهلا لدمج موجتان إحداهما قصيرة المدى والأخرى طويلة برادار واحد، والسبب أن النبضات القصيرة المطلوبة عند الحد الأدنى للبث الجيد لديها طاقة ضعيفة، ومما يقلل الموجات الراجعة وتكون الأهداف صعبة الكشف، ولتجنب ذلك نزيد النبضات ولكن ذلك مرة أخرى يقلل الحد الأعلى للمسافة، لهذا كل رادار يستخدم نوع خاص من الإشارة. فالرادارات ذات المدى البعيد تستخدم نبضات طويلة ولها توقيت انتشار أطول، والرادارات ذات المدى القصير تستخدم نبضات قصيرة مع توقيت انتشار أقل. هذا لتشكيل من النبضات والتوقيت يسمى تردد النبضات المتكرر ***pulse repetition frequency***، وهو أحد الصفات المهمة للرادار. بما أن الإلكترونيات طورت بأنظمة الرادار بحيث يمكنها تغيير تردد النبضات المتكرر ومن ثم يتغير المدى، فالرادارات المتطورة أو الحديثة تطلق نبضتين بالضربة الواحدة، إحداهما للمسافات القصيرة حوالي 6 أميال، والأخرى حوالي 60 ميل للمسافات الطويلة. تحليل المسافة ومميزات الإشارة المستقبلة

)مقارنة مع الإزعاج الآتي معها (تعتمد بقوة على شكل النبضة. النبضة عادة تكون معدلة للحصول على كفاءة أفضل بتقنية تسمى انضغاط النبضات ***pulse c***

تعديل التردد

شكل آخر لقياس المسافة بالرادار تستند على تعديل التردد Frequency modulationFM،مقارنة التردد ما بين إشارتين أكثر دقة إلى حد بعيد) حتى بالأنظمة الرادارية القديمة) من توقيت الموجة. بتغيير تردد الإشارات الراجعة ومقارنتها مع الأصلي ثم يحسب الفرق بينهما. هذه التقنية تستخدم برادار الموجة المتصلة ويستخدم بالطائرات ويسمى [مقياس الارتفاع الراديوي](#) ***radio altimeters.بتلك الأنظمة يكون إشارة الرادار الحاملة معدلة***

التردد، التغيير فوق وتحت مع موجة الجيب sine wave أو شكل سن المنشار لترددات الصوت، وهذه الإشارة ترسل بهوائي ويستقبلها هوائي آخر (وتلك الهوائيات تكون بالجانب السفلي من الطائرة) والمقارنة بين الإشارات تتم بشكل متواصل. بما أن تردد الإشارة يتغير فالإشارة العائدة تكون مزاحة عن ترددها الأصلي، فمعدل الإزاحة يزداد كلما ازدادت الفترة لعودة الإشارة بمعنى كلما ازداد الفرق بالتردد كلما كانت المسافة أطول.
نظام معالجة الموجة هنا مشاب
ه لنظام رادار دوبلر

قياس السرعة

السرعة هي فرق المسافة مع الزمن، لذلك فإن النظام الموجود لقياس المسافة يقترن مع سعة الذاكرة ليعرف أين كان الهدف فيسهل عليه قياس السرعة. بالسابق كانت الذاكرة بالقلم والمسطرة على الشاشة لاستخراج السرعة أما الآن فالرادار الحديث يستخلص السرعة بكفاءة أفضل بواسطة الحاسوب. وإذا كانت معطيات المرسل متماسكة أي متطابقة المراحل، سيكون هناك تأثير آخر لجعل قياسات السرعة تكون فورية ولا حاجة للذاكرة، وهو ما يسمي بتأثير دوبلر، هذه الأساسيات تستخدم بالأنظمة الحديثة للرادار وتسمى رادار دوبلر النبضي pulse-doppler radar. الإشارات العائدة من الهدف تكون منحرفة من التردد الأصلي خلال تأثير دوبلر مما يمكن حساب سرعة الجسم بالنسبة إلى الرادار. تأثير دوبلر يكون قادرا لتحديد السرعة النسبية للهدف خلال خط الرؤية من الرادار للهدف فقط. فأي عنصر من سرعة المستهدف يكون عمودي على خط الرؤية لا يمكن تحديده بطريقة تأثير دوبلر وحده، ولكن يمكن تحديده بمتابعة اتجاه السمت للهدف. النظام الآخر للرادار غير النظام النبضي ويسمى رادار الموجة المتصلة (كما شرحت سابقا (

تقليل تأثيرات التداخل

معالج الإشارة يستخدم بالرادار لتقليل آثار التداخل، ويستخدم بالأنظمة التالية: بيان الأهداف المتحركة moving target indication ، رادار دوبلر، معالجات كشف الأهداف المتحركة moving target detection (MTD) processors، ومرتبط بأهداف رادار

المراقبة الثانوي secondary surveillance radar
SSR، معالجة تكيف الزمن الفضائي space-time adaptive
processing STAP. ثابت معدل الإنذارات الكاذبة
Constant False-Alarm Rate ومعالج التضاريس الرقمي
digital terrain model (DTM تستخدم في بيئات الموجات
المزعجة.