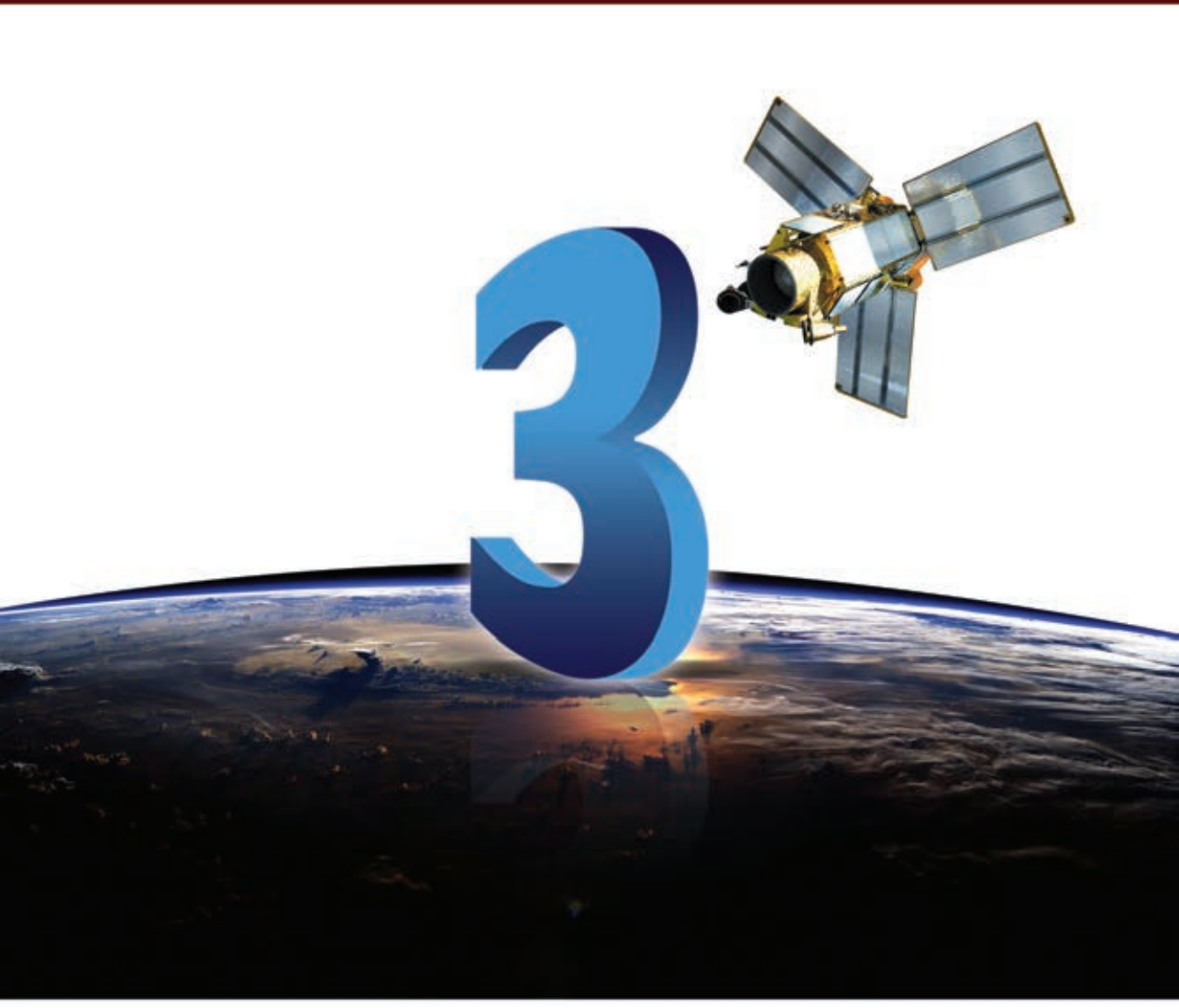
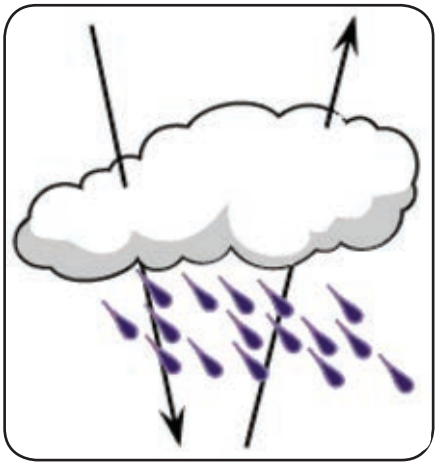
الفصل الثالث



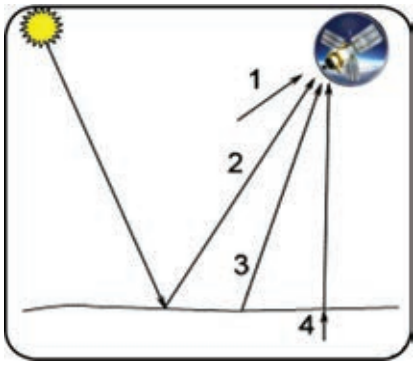
الاستشعار من البعد
باستخدام أشعة الميكروويف

مقدمة:



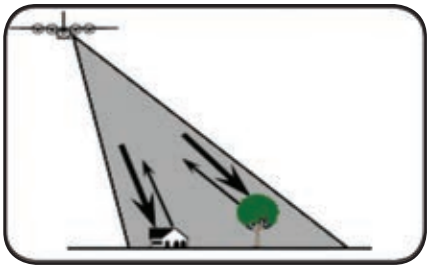
يشمل الاستشعار بأشعة «الميكروويف»، النوعين السلبي و الإيجابي. و كما ذكرنا في الفصل الثاني ، فإن حيز أشعة الميكروويف يغطي الأطوال الموجية من ١سم إلى ١م . و لأن أطوالها الموجية كبيرة – مقارنة بالضوء المرئي والأشعة تحت الحمراء- فهي تمتلك خصائص مميزة تجعل لها أهمية خاصة في مجال الاستشعار من البعد، فأشعة "الميكروويف" ذات الأطوال الموجيه الكبيرة لها القدرة على اختراق غطاء السحب ، والضباب، و الغبار، ولا تتعرض للتشتت في الغلاف الجوي بتأثير الأمطار الغزيرة التى تؤثر على الموجات الضوئية ذات الأطوال القصيرة، تلك الخاصية تتيح رصد طاقة الميكروويف فى كافة الظروف الجوية و البيئية ، وبالتالى يمكن استخدامها فى جميع الأوقات .

الاستشعار السلبي لأشعة الميكروويف يشبه في مفهومه استشعار الأشعة الحرارية، فكل الأجسام يصدر عنها قدر من أشعة الميكروويف و لكنها بطاقة صغيرة جداً. ويقوم «المستشعر السلبي» برصد و قياس هذه الأشعة- التي تشعها الأجسام بشكل طبيعي- خلال مجال تغطيته هذه الطاقة المنبعثة ترتبط بدرجة الحرارة و الرطوبة الخاصة بالسطح الذي تنبعث منه. وهذة الأجهزة (راديوميترات أو ماسحات) وتعمل بأسلوب تشبه الماسحات الضوئية و معظم أجهزة الاستشعار التي ذكرناها سابقاً، والاختلاف، هو استخدام هوائى (antenna) لرصد و تسجيل أشعة الميكروويف.



أشعة الميكروويف التي يقوم المستشعر بتسجيلها، قد تكون منبعثة من الغلاف الجوي (١)، أو منعكسة عن سطح ما (٢)، أو منبعثة بواسطة سطح ما (٣)، أو منتقلة عبر سطح ما (٤). نظراً لأن أطوالها الموجية كبيرة فإن طاقتها تكون قليلة بالمقارنة بالموجات الضوئية، و بالتالي فإن مجال الرؤية للمستشعر يجب أن يكون كبيراً ليتمكن من رصد كمية طاقة كافية. ومعظم أجهزة الاستشعار الخاصة بأشعة الميكروويف لها قدره تفريق مكانية قليلة. (spatial resolution) يوجد العديد من التطبيقات للاستشعار السلبي لأشعة الميكروويف، منها الأرصاد الجوية، وعلم المياه، وعلم المحيطات. يستطيع علماء الأرصاد الجوية استخدام أشعة الميكروويف لتحديد كمية الماء و الأوزون بالغلاف الجوي .

أما العلماء الذين يقومون بدراسة خصائص المياه، فيستخدمون أشعة الميكروويف لقياس درجة رطوبة التربة ، حيث ان انبعاث أشعة الميكروويف يتأثر بالرطوبة. تطبيقات دراسة المحيطات تشمل رسم الخرائط للجليد و التيارات في البحار و المحيطات ، و كذلك الرياح السطحية ، و تحديد أماكن التلوث مثل البقع النفطية .



المستشعرات الإيجابية لأشعة الميكروويف ، هي التي تمتلك مصدراً خاصاً بها لإرسال الأشعة إلى الهدف.

و عادة ما ينقسم هذا النوع من المستشعرات إلى قسمين: تصويري و غير تصويري وأكثر الأجهزة شيوعاً في النوع التصويري هو «الرادار» (RADAR ـ Radio Detection and Ranging) حيث يقوم جهاز «الرادار» بإرسال أشعة الميكروويف تجاه الهدف، ثم يقوم برصد الأشعة التي ترتد منه و بقياس شدة تلك الأشعة، يمكن التمييز بين الأهداف المختلفة، و الوقت بين إرسال الأشعة إلى الهدف و عودتها مرة أخرى لجهاز الاستشعار يحدد المسافة بين الهدف و الجهاز ، أما أجهزة الرادار غير التصويرية فتشمل مقاييس الارتفاعات و التشتت (altimeters and scatterometers)، و تعمل تلك الأجهزة غالباً على بعد واحد فقط بخلاف أجهزة الاستشعار التصويرية التي تعمل على بعدين .

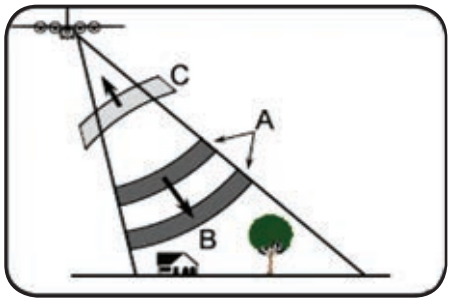
أجهزة قياس «الارتفاعات الرادارية» تقوم بإرسال نبضات قصيرة من أشعة الميكروويف ، و تقيس الزمن الذي تستغرقه في رحلتها إلى الهدف و منه ، لتحديد المسافة بينها و بين الجهاز . وبشكل عام ، فإن مقاييس الارتفاعات تقوم بقياس المسافة بين المنصة الحاملة لها و بين الأرض تحتها (عند نقطة النظير) و بالتالي يمكن قياس الارتفاعات. عند استخدام هذا النوع من الأجهزة لأغراض تحديد الارتفاعات، فإنها تكون محمولة على متن طائرة، أما عند استخدامها في أغراض رسم الخرائط الطبوغرافية و قياس ارتفاع سطح البحر، فيمكن أن يكون الجهاز مثبتاً على متن طائرة أو قمر صناعي . أجهزة قياس التشتت هي أجهزة غير تصويرية أيضاً، و تستخدم لإجراء قياسات دقيقة لكمية الطاقة المرتدة عن الأهداف ، و تعتمد تلك الكمية على خصائص سطح الهدف (مدى خشونته) ، و كذلك الزاوية التي تسقط بها الأشعة على الهدف ، و يمكن الاستفادة من إجراء تلك القياسات على أسطح المحيطات لتقدير سرعة الرياح على السطح، بما يشير إلى مدى اضطراب سطح البحر .

و تستخدم تلك الأجهزة على سطح الأرض لتحديد أنواع المواد و الأسطح المختلفة، و هذا يشبه مفهوم منحنيات الانعكاس الطيفي للمواد المختلفة .

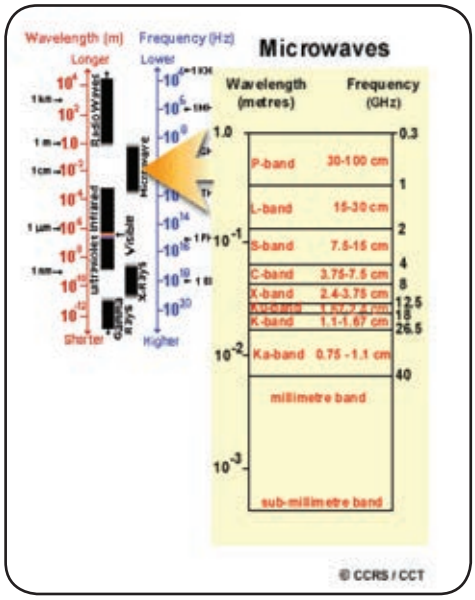
في هذا الفصل سنقوم بالتركيز على أجهزة «الرادار التصويرية» فقط ، فبجانب ميزة قدرة أشعة الميكروويف على اختراق السحب و معظم الظروف الجوية الأخرى ، فكون الرادار جهاز استشعار إيجابي يجعل له ميزة أخرى ، و هي القدرة على التصوير ليلاً أو نهاراً ، و هاتان الميزتان هما أهم مميزات الرادار .

يجب أيضاً معرفة أن أجهزة الرادار تعمل بطريقة مختلفة عن أجهزة الاستشعار التي تم ذكرها في الفصل الثاني ، و بالتالي فإن الصور الخاصة به مختلفة عن تلك الصور الملتقطة في حيز الضوء المرئي و الأشعة تحت الحمراء...نتيجة لتلك الاختلافات، فإن المعلومات التي يوفرها «الرادار» و التي توفرها أجهزة الإستشعار الأخرى، يمكن اعتبارها معلومات مكملة لبعضها، حيث إن كل منها يوفر منظوراً مختلفاً لسطح الأرض، في الأجزاء التالية سوف نتعرض للخصائص الأساسية لأجهزة الرادار .

٣ـ١ أساسيات جهاز الرادار:



كما ذكرنا سابقاً، فإن «جهاز الرادار» هو في الأصل جهاز لقياس المسافات. و يتكون من مُرسِل ، و مُستقبِل ، و هوائي ، و نظام إلكتروني لتسجيل و معالجة البيانات. يقوم «المُرسِل» بتوليد مجموعات متتالية من النبضات القصيرة لأشعة الميكروويف (A) على فترات ثابتة، و يقوم «الهوائي» بتشكيل وتركيز تلك النبضات على هيئة شعاع (B). يقوم الشعاع المتكون بالسقوط على الهدف بشكل مائل (عمودي على اتجاه حركة المنصة الحاملة للرادار)، ثم تنعكس الطاقة عن بعض الأهداف ، و يقوم "الهوائي" باستقبال جزء منها (C). و بقياس الوقت المستغرق لذهاب و عودة الأشعة ، يتم تحديد المسافات. و أثناء حركة المنصة، يتم تسجيل و معالجة الإشارات المنعكسة ، و تكوين صورة ثنائية الأبعاد لسطح الأرض.



الحيز الذى تشغله «أشعة الميكروويف» من الطيف الكهرومغناطيسي كبير بالنسبة إلى حيز الضوء المرئي و الأشعة تحت الحمراء ، و يوجد العديد من النطاقات شائعة الاستخدام، و التي تمت تسميتها أثناء الحرب «العالمية الثانية»، وظلت تلك التسمية مستخدمة حتى يومنا هذا، منها :

• الحيزات (Ka, K, Ku): لها أطوال موجية قصيرة جداً، و كانت تستخدم في أجهزة الرادار المحمولة جواً قديماً، و هي ليست شائعة الآن .

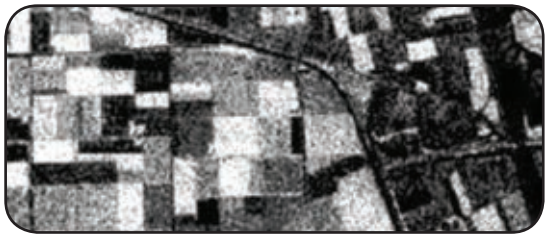
• الحيز (X-band): يستخدم بشكل كبير في الأنظمة المحمولة جواً ، لأغراض الاستطلاع العسكرى، و رسم خرائط التضاريس الأرضية.

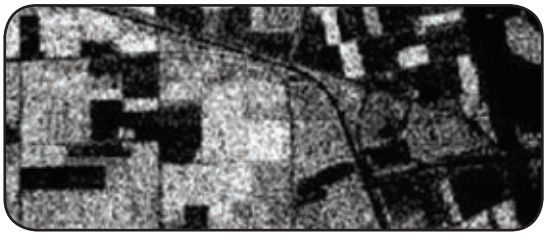
• الحيز (C ـ band): يستخدم في الأنظمة المحمولة جواً ، المستخدمة في مجال الأبحاث مثل القمر الصناعي الأمريكي (NASA AirSAR) ، والأقمار الصناعية الأوروبية (ERS2 ـ ERS1) ، والقمر الكندي (RADARSAT) .

• الحيز (S ـ band) : المستخدم على متن القمر الروسي "ALMAZ".

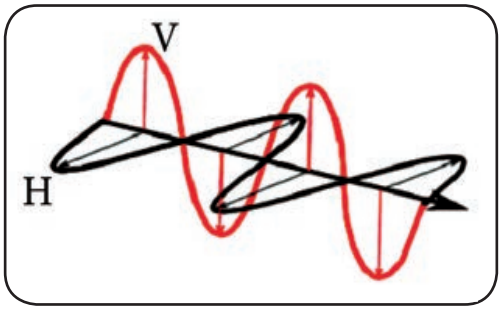
• الحيز (L ـ band) : مستخدم على متن القمر الأمريكي "SEASAT"، و الياباني "JERS ـ 1"، وأنظمة "ناسا" المحمولة جواً :

• الحيز (P ـ band) أكبر الأطوال الموجية المستخدمة في أجهزة الرادار ، و تستخدم في أنظمة «ناسا» المحمولة جواً الخاصة بإجراء التجارب و الأبحاث .





بالأعلى توجد صورتان راداريتان ، لبعض الحقول الزراعية ، و لكن تم التقاط كل منهما باستخدام حيز مختلف، فالصورة الأولى تم التقاطها باستخدام الحيز (C ـ band)، و الأخرى باستخدام الحيز (L ـ band). يمكن ملاحظة وجود اختلافات واضحة في الشكل الذي تظهر به الحقول في الصورتين، و يرجع ذلك لاختلاف الطريقة التي يتفاعل بها الإشعاع مع المحاصيل المختلفة تبعا للطول الموجي، وسوف نتناول تلك الجزئية لاحقا.



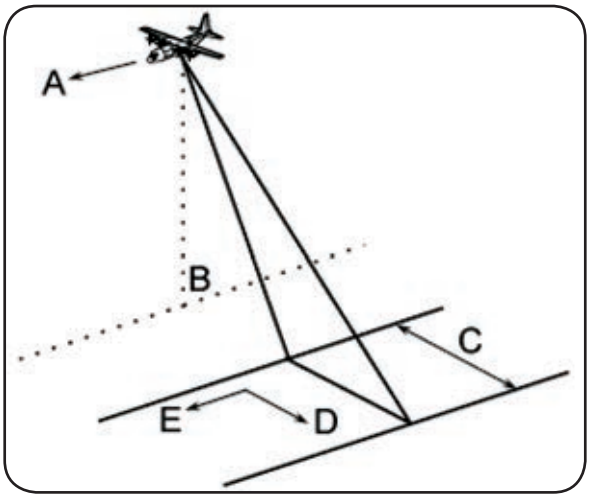
هذا عند مناقشة طاقة الميكروويف ، يجب الأخذ في الاعتبار عنصرالاستقطاب (polarization) و يشير المصطلح إلى اتجاه المجال الكهربي (راجع تعريف الإشعاع الكهرومغناطيسي في الفصل الأول) .... معظم "أجهزة الرادار" يتم تصميمها بحيث يكون الاستقطاب أفقياً (H)، أو رأسياً (V)، و بالمثل فإن الهوائي يقوم باستقبال الأشعة المنعكسة باستقطاب رأسي، أو أفقي، و لكن بعض الأجهزة تستطيع استقبال كلا النوعين. و يمكن تكوين أربع مجموعات استقطاب للإرسال و الإستقبال ، كالتالي:

- HH: إرسال أفقي ، و استقبال أفقي .
- VV: إرسال رأسي، و استقبال رأسي .
- HV: إرسال أفقي، و استقبال رأسي .
- VH: إرسال رأسي، و استقبال أفقي .

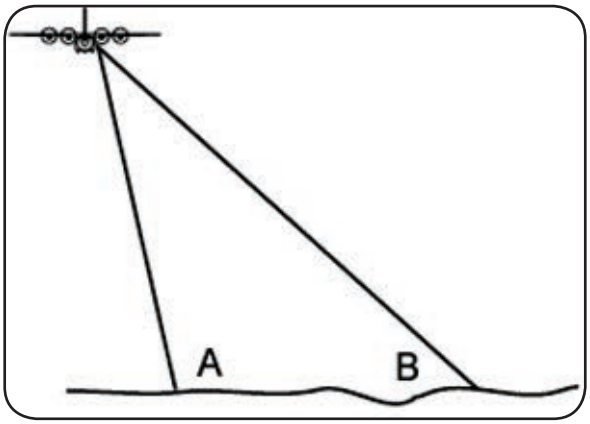
أول نوعين يطلق عليهما اسم "الاستقطاب المتماثل"، حيث إن الاستقطاب الخاص بعملية الإرسال و الاستقبال متماثلان، و النوعان الآخران يطلق عليهما " الاستقطاب المتعاكس".

الصور بالأعلى هي صور تم التقاطها في الحيز (C) لبعض الحقول الزراعية، حيث توضح تأثير اختلاف الاستقطاب على الصور الملتقطة. الصورتان بالأسفل هما من نوع الاستقطاب المتماثل (HH,VV)، بينما الصورة على اليمين بالأعلى فهي من نوع الاستقطاب المتعاكس (HV)، أما الصورة على اليسار بالأعلى فهي نتيجة عرض أنواع الاستقطاب الثلاثة السابقة معاً (HH,VV,HV)، كل منها خلال لون من الألوان الأساسية) الأحمر- الأخضر- الأزرق) طريقة تفاعل الإشعاع مع الهدف، و طريقة انعكاسه عنه تختلف تبعاً لنوع الاستقطاب، فالطول الموجي و نوع الاستقطاب يؤثران على طريقة رؤية الرادار للهدف، و بالتالي فإن استخدام أطوال موجية مختلفة مع أنواع استقطاب مختلفة، يؤدي إلى تجميع بيانات متكاملة عن الأهداف وسطح الأرض .

٢ـ٣ هندسة الرؤية وقدرة التفريق المكانية:

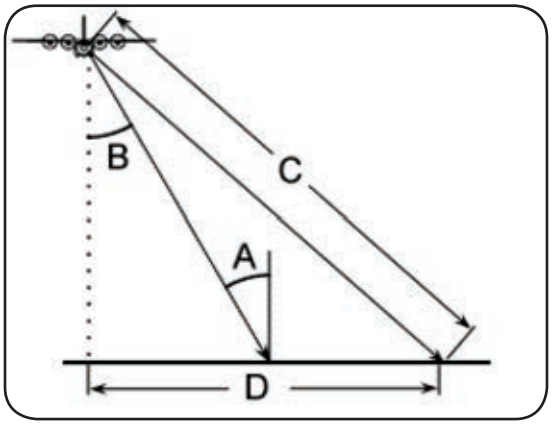


الأسلوب الهندسي للتصوير بجهاز الرادار يختلف عن أسلوب المسح ، وتحديد الإطار (Framing) الشائع الاستخدام فى أنظمة الاستشعار البصرية التي تطرقنا لها سابقا في الفصل الثاني ، ولا يختلف أسلوب حركة المنصة الحاملة للرادار عن تلك التى تحمل المستشعر البصرى، فتتحرك المنصة في اتجاه الطيران (A) و تكون نقطة النظير تحتها مباشرة (B)، تماما مثل الأجهزة السابقة، و تتحرك أشعة الميكروويف بشكل مائل في اتجاه عمودي على اتجاه الطيران، حيث ترى رقعة من الأرض (C)، و التي تكون بعيدة عن نقطة النظير، يُستخدم مصطلح "المدى" "Range" (D) للإشارة للبعد العمودي على اتجاه الطيران ، و الذي هو بداخل المسار ، أما مصطلح "السمت" "Azimuth" فيستخدم للتعبير عن البعد الموازي لاتجاه الطيران ، على طول المسار (E). هذه الرؤية الجانبية ثابتة لكل أنظمة الرادار المحمولة جوا أو في الفضاء .



المدى القريب والبعيد:

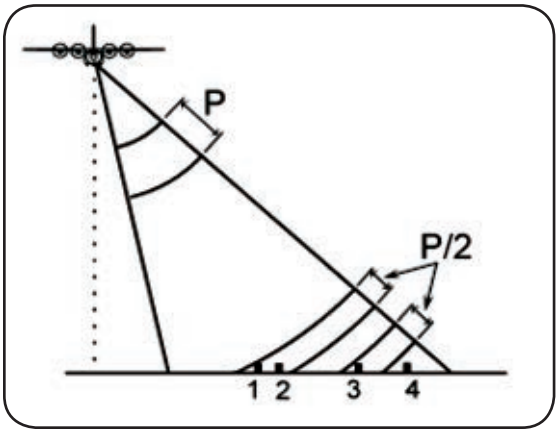
الجزء الأقرب لنقطة النظير (Nadir) - من الرقعة التي يتم رصدها (swath) - يسمى "بالمدى القريب" (A)، بينما الجزء الأبعد عن نقطة النظير يسمى «المدى البعيد» (B) .



زاوية السقوط والرؤية:

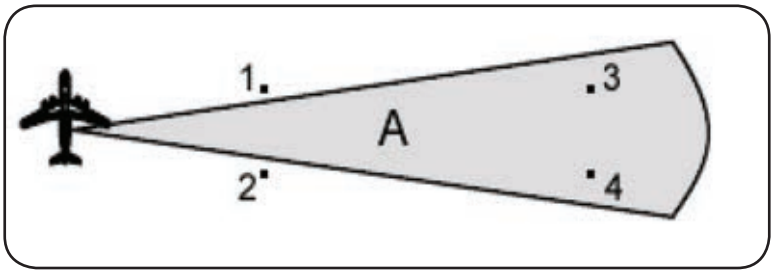
«زاوية السقوط» هي الزاوية بين شعاع الرادار و سطح الأرض (A)، و التي تزداد كلما تحركنا داخل الرقعة من المدى القريب إلى البعيد.

أما «زاوية الرؤية» (B) فهي الزاوية التي يرى منها الرادار سطح الأرض . يقوم الرادار بقياس خط الرؤية بينه و بين الهدف لتحديد المسافات، و يكون هذا الخط هو المدى المائل (C). المدى الأرضي (D) هو المسافة الأفقية على سطح الأرض، و التي تعتبر مسقطاً للمدى المائل.



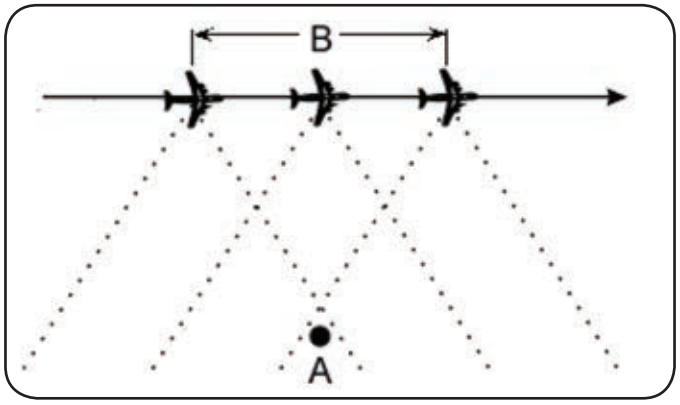
قدرة التفريق المكانية للرادار، تعتمد على خواص «أشعة الميكروويف» و التأثيرات الهندسية، وذلك على عكس أنظمة الاستشعار السابقة. ففي حالة استخدام رادار ذي هوائي حقيقي (Real Aperture Radar "RAR") (كرادار التصوير الجانبي المحمول جواً)، لتكون الصورة عن طريق إرسال نبضة واحدة من الأشعة، و استقبال الأشعة العائدة، و في هذه الحالة تعتمد قدرة التفريق المكانية على الطول الفعال للنبضة باتجاه المدى المائل، و عرض المنطقة التي يضيئها الإشعاع باتجاه بعد السمت "Azimuth"... أما قدرة تفريق المدى (range) أو الاتجاه (azimuth across track) فتعتمد على طول النبضة (P).

عند وجود هدفين متجاورين على سطح الأرض، فإنه يمكن التمييز بينهما في المدى (Range) إذا كانت المسافة بينهما أكبر من نصف طول النبضة، فكما يظهر بالصورة بالأعلى، فإنه يمكن التمييز بين الهدفين ٣ و٤، بينما لا يمكن ذلك مع الهدفين ١ و ٢، قدرة التفريق المكانية في المدى المائل تظل ثابتة ولا تعتمد على المدى، و لكن عندما يتم إسقاطه على إحداثيات المدى الأرضي، فسوف تعتمد القدرة على التفريق الخاصة بالمدى الأرضي على زاوية السقوط، و بالتالي عندما تكون القدرة على التفريق الخاصة بالمدى المائل ثابتة، فإنها بالمدى الأرضي تقل بزيادة "المدى Range".



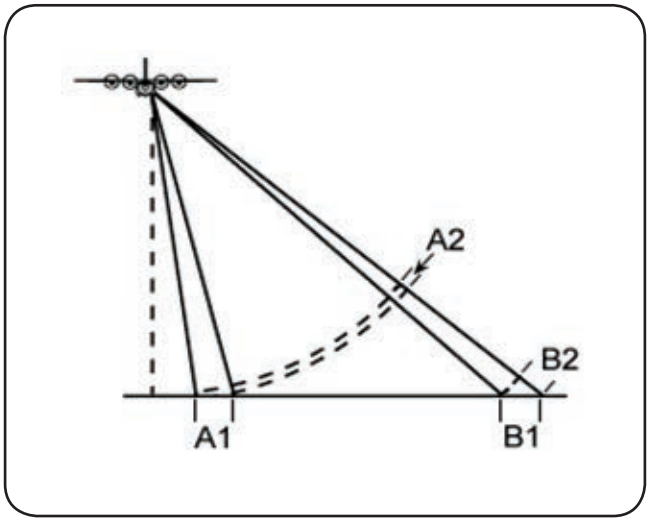
تحدد الدقة على التفريق في الاتجاه "السمت Azimuth"، باتساع الزاوية التي تحددها أشعة الميكروويف، و بمسافة المدى المائل. عندما تتحرك الأشعة مبتعدة عن "الرادار"، يزداد عرض الشعاع الصادر منه (A)، و بالتالي تقل القدرة على التفريق. فكما يظهر بالصورة بالأعلى، يمكن تمييز الهدفين ١ و٢، أما ٣ و٤ فلا يمكن التمييز بينهما. و يتناسب عرض الشعاع عكسياً مع طول الهوائي، فكلما ازداد طول الهوائي كان الشعاع أضيق، و بالتالي تتحسن القدرة على التفريق.

كي تزداد القدرة على التفريق- في المدى- يمكن استخدام نبضات قصيرة، يتم الحصول عليها عن طريق تصميمات هندسية معينة، أما زيادة القدرة على التفريق في السمت، فتزداد بزيادة طول الهوائي، و لكن يظل طول الهوائي محدوداً بقدرة المنصة الحاملة للرادار، سواء كانت في الجو أو الفضاء، ففي الأنظمة المحمولة جواً، يتراوح طول الهوائي بين ١ و ٢ متر، أما في الأقمار الصناعية، فيتراوح بين ١٠ و ١٥ متراً. و للتغلب على تلك القيود على طول الهوائي، يتم استخدام حركة المنصة، بالإضافة إلى عمليات تسجيل و معالجة خاصة للأشعة المرتدة، لمحاكاة هوائي ذي طول كبير، و بالتالي تتحسن قدرة التفريق السمت.



يوضح الشكل بالأعلى تلك العملية، حيث يدخل الهدف (A) حيز أشعة الرادار (١)، ويبدأ تسجيل الأشعة العائدة من الهدف، بينما تستمر المنصة في التحرك إلى الأمام، النقطة التي يخرج عندها الهدف من حيز الأشعة تماماً (٢)، تحدد طول الهوائي الافتراضي (التخيلي) (B). الأهداف عند المدى البعيد ، تتعرض للأشعة لفترة أطول من تلك عند المدى القريب. عرض أشعة الميكروويف (الذي يزداد عند الأطراف)، بالإضافة إلى الوقت الذي يتعرض فيه الهدف للإشعاع، يعادلان بعضهما البعض، و بالتالي تظل القدرة على التفريق ثابتة بالنسبة للرقعة التي يتم رصدها كاملة، هذه الطريقة في الحصول على قدرة تفريق جيدة و ثابتة للرقعة التي يتم رصدها، تسمى "الرادار ذا الهوائي الافتراضية (SAR) "synthetic aperture radar"، و يتم استخدامها في معظم الأنظمة الجوية و الفضائية.

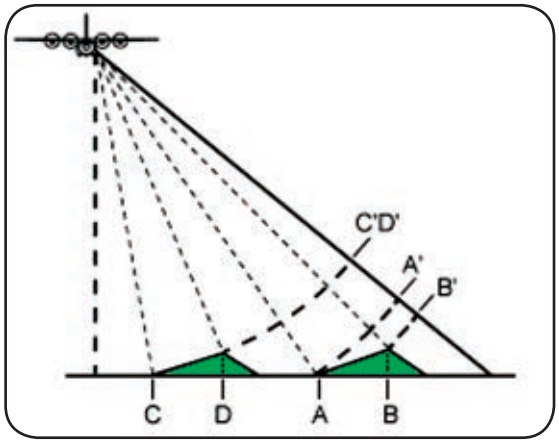
٣ـ٣ تشوهات الصور الرادارية :



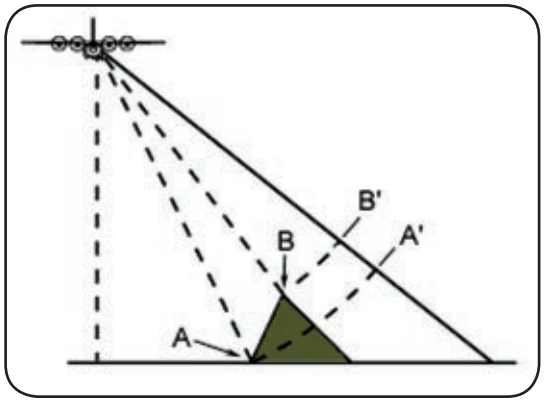
ككل أنظمة الاستشعار، تنتج بعض التشوهات الهندسية في الصور نتيجة طريقة الرؤية الخاصة بالجهاز. و لكن «أنظمة الرادار» تختلف بعض الشيء عن غيرها، و ذلك نتيجة الرؤية الجانبية لها، و طبيعة الرادار من حيث كونه جهازاً لقياس المسافات بالأصل. التشوه في مقياس المدى المائل "Slant range scale distortion" يحدث نتيجة لكون الرادار يقوم بقياس المسافة المائلة بين الأهداف و ليس المسافة الأفقية الحقيقية بينها، و يترتب على ذلك تغير في مقياس الصورة بين المدى القريب و البعيد. ففي الصورة بالأعلى، يظهر الهدفان (A1,B1) و لهما نفس الحجم على سطح الأرض، و لكن الأبعاد التي تظهر لهما (A2,B2) على المدى المائل تكون مختلفة تماماً، حيث تظهر الأهداف عند المدى القريب كأنها مضغوطة مقارنة بالأهداف عند المدى البعيد، و باستخدام علم حساب المثلثات، يمكن حساب المسافة على المدى الأرضي (المسافة الأفقية)، بمعرفة المسافة المائلة و ارتفاع المنصة.

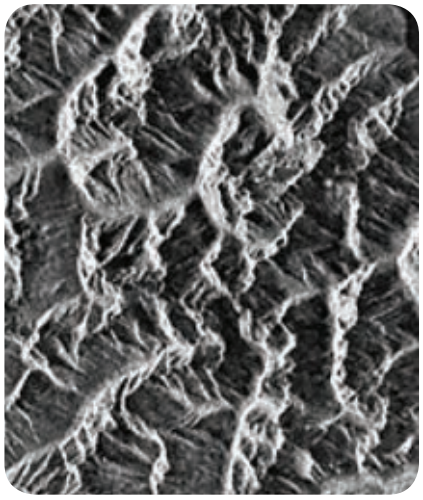
في الصور بالأعلى (الصورة العلوية) تظهر صورة ملتقطة بواسطة رادار (معروضة بالمسافات المائلة دون تعديل)، و تبدو الحقول و الطرق عند المدى القريب (يسار الصورة) كأنها مضغوطة، عند تحويل المسافات و الأبعاد في الصورة إلى المدى الأرضي (أفقياً)، تظهر الأهداف بشكلها الهندسي الطبيعي (الصورة السفلية).

كذلك تعاني «الصور الرادارية» من التشوهات نتيجة الإزاحة، مثلما يحدث عند استخدام آلات التصوير و الماسحات الضوئية، تكون تلك الإزاحة في بعد واحد فقط عمودي على مسار الطائرة و تحدث ظاهرتا قصر المنظور المائل (foreshortening) و التوقف (layover) كنتيجة لتأثير الإزاحة.

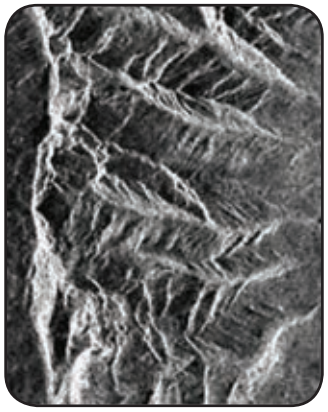


يحدث قصر المنظور المائل عندما يصل شعاع الرادار لقاعدة أحد الأهداف الطويلة، و التي تميل باتجاه الرادار (مثل الجبال) قبل أن يصل الشعاع إلى قمته، و ذلك لأن الرادار يقيس المسافات المائلة ، فتظهر المسافة (A ـ B) مضغوطة و تظهر بشكل غير صحيح كأنها المسافة (A'ـ B') . و يعتمد ذلك على العلاقة بين ميل الجبل أو التل وزاوية سقوط شعاع الرادار، و تحدث تلك الظاهرة بأقصى قيمة ممكنة لها عندما تكون أشعة الرادار عمودية على الميل، بحيث يتم تصوير قاعدة الهدف و ميله و قمته معاً (من النقطة C إلى D)، وبالتالي تختفي المسافة بين النقطتين و تظهر كأنها تساوي صفراً (C'D')، الصورة بالأسفل توضح صورة رادارية لتضاريس جبلية مائلة، ولكنها تعاني من ظاهرة قصر المنظور المائل ، حيث تظهر الأبعاد التي تعاني تلك المشكلة بلون ساطع .

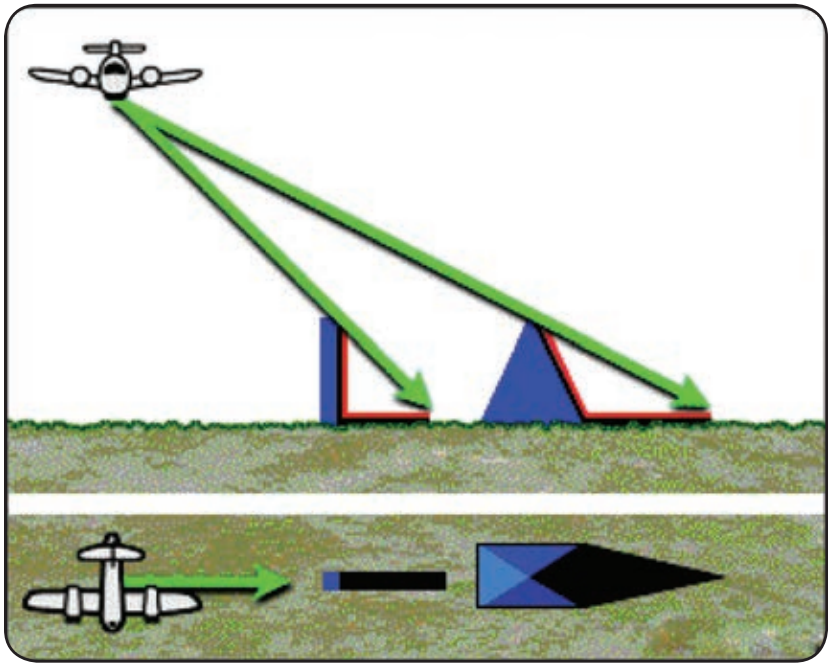




أما «ظاهرة التوقف» فتحدث عندما يصل شعاع «الرادار» إلى قمة هدف ما (ذى ارتفاع عال) قبل أن يصل إلى قاعدته، و بالتالي تعود الأشعة المرتدة من قمة الهدف قبل تلك القادمة من القاعدة ، و كنتيجة لذلك تظهر قمة الهدف و كأنها قد أزيحت من مكانها قليلاً باتجاه الرادار، و تظهر قبل القاعدة (A ـ B'). تؤثر ظاهرة التوقف على الصور الرادارية تأثيراً مشابهاً لظاهرة قصر المنظور المائل .



تؤدي هاتان الظاهرتان إلى حدوث ما يسمى بالظل الراداري "radar shadow" ، و هو يحدث عندما لا يتمكن شعاع الرادار من إضاءة سطح الأرض . تظهر الظلال باتجاه المدى البعيد ، خلف الأهداف الرأسية أو التي جوانبها شديدة الانحدار، وتظهر تلك المناطق معتمة في الصورة ، حيث لا تصلها طاقة وبالتالي لا يرتد منها أي إشعاعات؛ نتيجة ازدياد زاوية السقوط كلما اتجهنا إلى المدى البعيد، كذلك تأثير الظلال يزداد في نفس الاتجاه، حيث يزداد ميل الشعاع الساقط. تظهر الصورة التالية تأثير الظل الراداري على الجانب الأيمن من التلال التي تضاء من جهة اليسار .

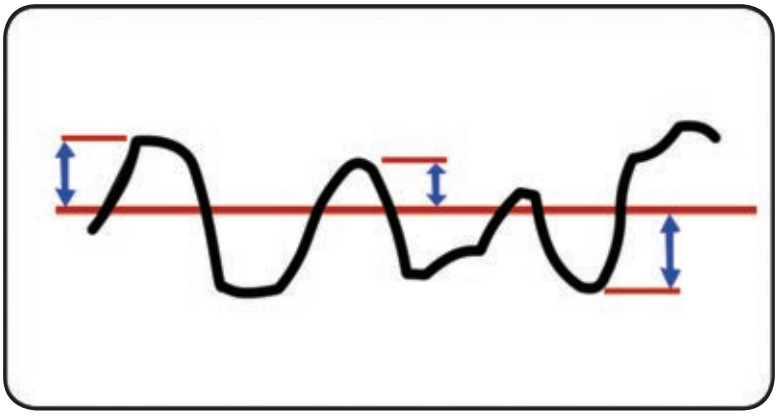


الأسطح التي لونها «أحمر» تقع بالكامل في منطقة الظل، و المناطق «السوداء» هي مناطق مظللة و لا تحتوي أية معلومات .

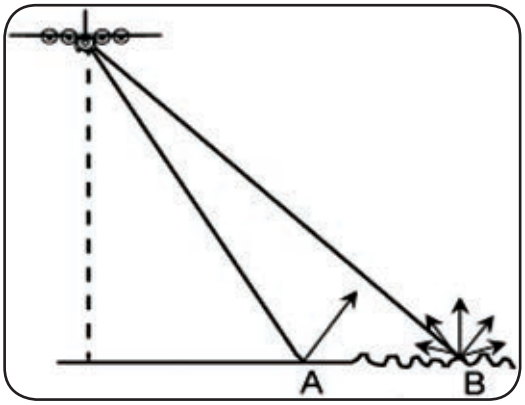
٤ـ٣ تفاعل الهدف وشكل الصورة :

يعتمد «سطوع الهدف» في الصور على الطاقة التي أرسلت و عادت مرة أخرى للرادار من الأهداف . أما كمية و شدة الطاقة المنعكسة ، فتعتمد على كيفية تفاعل الطاقة مع السطح ، و ذلك يتوقف على عدة عوامل . تشمل تلك العوامل خصائص الرادار نفسه (التردد، والاستقطاب، وهندسة الرؤية...)، إلى جانب خصائص السطح (الغطاء الأرضي، و التضاريس، وطبوغرافية الأرض،....) و لأن العديد من تلك الخصائص ترتبط ببعضها البعض، فمن المستحيل تحديد تأثير كل منها على الصور على حدة، حدوث تغيرات في بعض العوامل قد يؤثر على عوامل أخرى مما ينتج عنه تغير في كمية الأشعة العائدة للرادار من الهدف، و لهذا فإن سطوع الأهداف في الصور يعتمد على مجموعة متغيرات، ولكن يمكن تقسيم تلك المتغيرات إلى ثلاث مجموعات رئيسية:

- خشونة سطح الهدف .
- العلاقة بين هندسة السطح و الرؤية للرادار .
- محتوى الرطوبة و الخصائص الكهربية للهدف .



خشونة سطح الهدف، تتحكم في تفاعل «أشعة الميكروويف» مع الهدف، و يعتبر أكثر العوامل تأثيراً في درجات ألوان الصورة، و يشير مصطلح خشونة السطح إلى متوسط الاختلاف في ارتفاعات تفاصيل السطح عن أي سطح مستو ، و يقاس بالسنتيمترات،ويتوقف مظهر السطح بالنسبة للرادار (سواء ناعماً أو خشناً) على الطول الموجي، و زاوية السقوط .

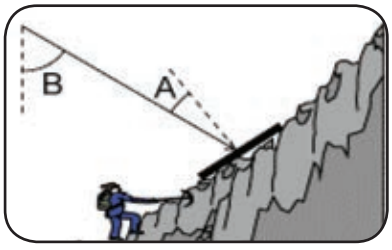


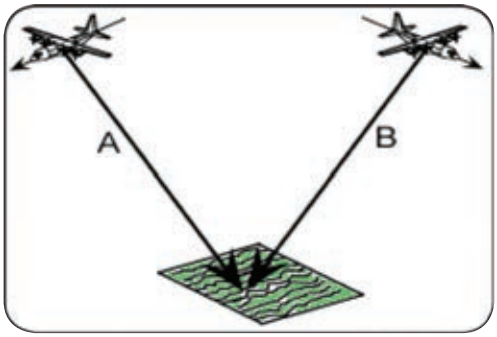
يعتبر السطح ناعماً، إذا كان اختلاف الارتفاعات أصغر بكثير من الطول الموجي لأشعة الرادار، وكلما اقتربت تلك الاختلافات من قيمة الطول الموجي، كان السطح أكثر خشونة، وبالتالي فإن السطح الواحد سيظهر أخشن للأطوال الموجية القصيرة، وأنعم كلما ازداد الطول الموجي .

يظهر بالصورة، السطح الناعم (A) ، الذي تنعكس عنه الأشعة (الانعكاس المنتظم) و يكون اتجاهها بعيداً عن الرادار ، و يعود جزء صغير فقط - من الأشعة الساقطة- باتجاه الرادار ، ذلك يؤدي لظهور الأسطح الناعمة ممثلة بدرجات لونية داكنة في الصور الرادارية . أما «السطح الخشن» (B)، فيقوم بتشتيت الطاقة- الساقطة عليه- بشكل متساو تقريباً في كل الاتجاهات، و بالتالي يعود جزء كبير من الطاقة باتجاه الرادار ، فتظهر تلك الأسطح بدرجات لونية فاتحة .

كذلك تلعب زاوية السقوط بالإضافة إلى الطول الموجي ، دوراً ملحوظاً في مظهر السطح. فلنفس السطح و نفس الطول الموجي، يظهر السطح بشكل أنعم كلما زادت زاوية السقوط، وكلما تحركنا خلال الرقعة التي يتم رصدها – من المدى القريب إلى البعيد – تقل كمية الطاقة التي تعود للرادار ، و بالتالي تظهر الصورة بلون داكن .

تعرضنا من قبل لزاوية السقوط (الرؤية) ، و علاقتها بهندسة الرؤية ، و كيفية تأثيرها على الإشارات التي تعود للرادار. و لكن عند الحديث عن هندسة السطح و تفاعل الأشعة مع الهدف و شكل الصورة، يكون مصطلح "زاوية السقوط المحلية" (local incidence angle) أكثر قدرة للتفريق وملاءمة. وتعرف هذه الزاوية، بأنها الزاوية (A) بين شعاع الرادار و الخط العمودي على الميل عند نقطة السقوط، وبالتالي فإن زاوية السقوط المحلية تأخذ في اعتبارها ميل الأرض بالنسبة لشعاع الرادار . و عندما تكون الأرض مستوية (غير مائلة)، تكون زاوية السقوط المحلية هي نفسها زاوية الرؤية للرادار (B)، ولكن ليست تلك هي الحالة في معظم الأحوال، حيث إن الأرض غالبا ليست مستوية و بها بروزات (جبال، هضاب....) و بشكل عام فإن وجود ميل في مواجهة الرادار ، يجعل زاوية السقوط المحلية صغيرة، مما يؤدي إلى رجوع الأشعة إلى الرادار بقوة، و تظهر تلك المناطق في الصور ساطعة اللون .



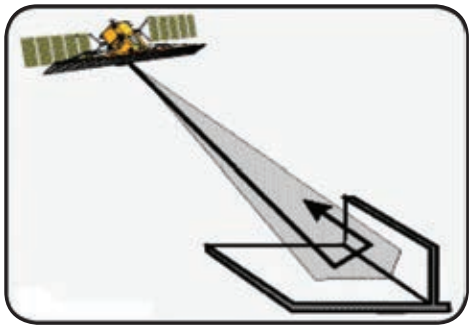


و بناءً على ما سبق ، فإن العلاقة بين «هندسة الرؤية للرادار و هندسة السطح» و خصائصه، تلعبان دوراً هاماً في كيفية تفاعل الطاقة مع الهدف، و السطوع المقابل لتلك الأهداف في الصور .

اتجاه الرؤية للرادار يوصف اتجاه شعاع الرادار بالنسبة للسطح . فاتجاه الرؤية يمكن أن يؤثر بشكل واضح على شكل الأهداف في الصور الرادارية، بالأخص عندما تكون تلك الأهداف على هيئة خطية (مثل المحاصيل الزراعية، و سلاسل الجبال). إذا كان اتجاه الرؤية يكاد يكون عمودياً على الهدف (A)، فسوف ينعكس جزء كبير من الأشعة باتجاه الرادار ، و يظهر ذلك الهدف بلون ساطع . أما إذا كان اتجاه الرؤية مائل بالنسبة للهدف (B)، فتقل نسبة الأشعة المنعكسة باتجاه الرادار ، و يظهر الهدف بلون داكن .

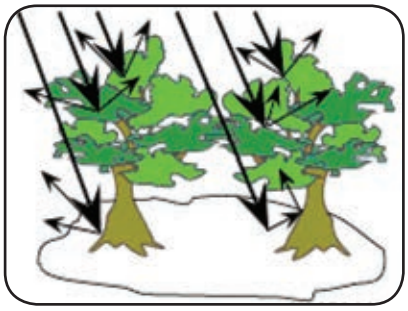
اتجاه الرؤية هو عنصر هام في تحسين التباين (Contrast) بين الأهداف في الصورة ، و تظهر أهميته بشكل كبير في المناطق الجبلية ، و ذلك لتقليل تأثير ظواهر التوقف و الظل. فعن طريق التقاط الصورة من أكثر من اتجاه ، يمكن تحسين تمييز الأهداف الموجودة بالصورة .

الأسطح التي لها سطحان (أو أكثر) متعامدان (عادة تكون أسطح ملساء) يمكن أن تؤدي لحدوث ظاهرة الانعكاس الركني "corner reflection"، و ذلك إذا كانت الزاوية في مقابل الهوائي الخاص بالرادار مباشرة، وضع السطح عند الزوايا القائمة يؤدي إلى انعكاس معظم الطاقة باتجاه الهوائي نتيجة ارتدادها مرتين (أو أكثر) عن السطح. العواكس الركنية corner reflectors ذات الزوايا المعقدة توجد بكثرة في مناطق العمران (المباني ، الشوارع، الكباري ، و العديد من المنشآت الأخرى) . أما العواكس الركنية الطبيعية فتكون مثل الصخور ، و المنحدرات، والنباتات المستقيمة في المياه . و عامة فإن تلك الأهداف تظهر بلون ساطع في الصور، مثل المباني في هذه الصورة الرادارية.



تؤثر الرطوبة على الخصائص الكهربية للهدف، كما أن تغير الخصائص الكهربية يؤثر على الامتصاص، والانتقال والانعكاس لأشعة الميكروويف، وبالتالي فإن محتوى الرطوبة يؤثر على طريقة انعكاس الأشعة عن الهدف و طريقة ظهور الأهداف في الصور . و بشكل عام ، فإن الانعكاس (وسطوع الأهداف في الصور) يزداد بزيادة محتوى الرطوبة ، و لذلك فإن التربة و الغطاء النباتي يظهران بشكل أكثر سطوعاً عندما يكون محتوى الرطوبة بهما كبيراً .

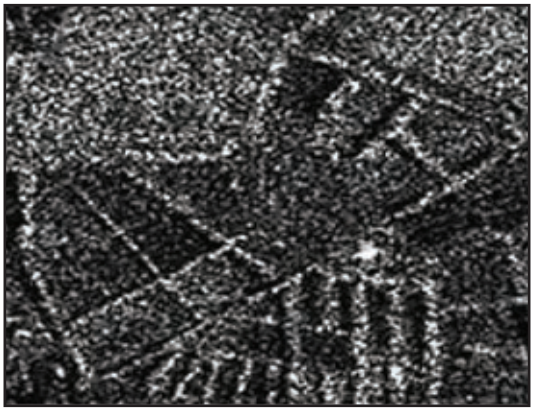
عندما يكون الهدف «مبللاً أو رطباً»، يكون التشتت من الجزء العلوي للهدف هو الأكثر حدوثاً و تأثيراً . نوع الانعكاس (من الانعكاس المنتظم إلى الانعكاس العشوائي) و كميته يعتمدان على مدى انتظام السطح أو عدمه بالنسبة للرادار . إذا كان السطح «شديد الجفاف» و يظهر كسطح أملس بالنسبة للرادار ، فإن الطاقة قد تتمكن من اختراق السطح، سواء كان ذلك السطح متصلاً (مثل: التربة ، الرمال ، الجليد) أم لا (مثل : أوراق و فروع أشجار الغابات) . بالنسبة للسطح الواحد، تستطيع الأطوال الموجية الأكبر أن تخترق السطح لمسافات أكبر من غيرها .

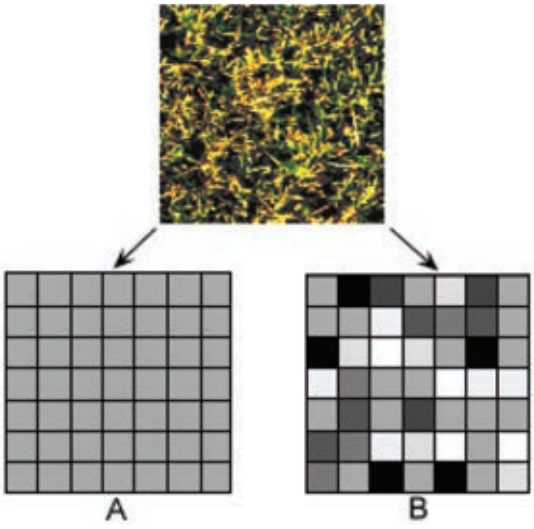


إذا نجحت «أشعة الرادار» في اختراق السطح العلوي، فقد تحدث ظاهرة التشتت الحجمي "Volume scattering"، و هو نوع من التشتت يحدث لأشعة الرادار، خلال وسط ما، و يتكون عادة من عدة ارتدادات و انعكاسات من المكونات المختلفة للوسط . على سبيل المثال : قد يحدث التشتت في الغابات، بسبب الأوراق في أعلى الأشجار، و الأوراق و الفروع التي تليها، وجذوع الأشجار و التربة على مستوى الأرض . قد يساهم هذا النوع من التشتت في زيادة أو تقليل سطوع الصورة، بناءً على كمية الطاقة التي تتشتت و تعود مرة أخرى للرادار .

٥.٣ خصائص الصور الرادارية:

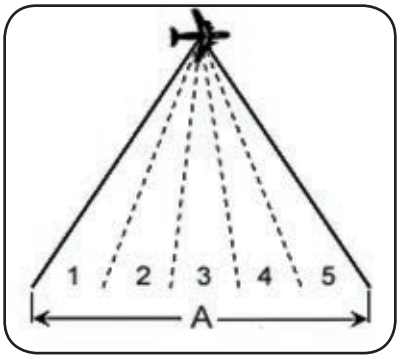
تظهر في معظم الصور الرادارية نقاط بدرجات مختلفة و تسمى تلك النقاط "Speckles" . و يتم تشبيه تلك النقاط بحبيبات "الملح و الفلفل" المنثورة على الصورة. و يحدث ذلك نتيجة العديد من التداخلات البناءة و الهدامة للأشعة المنعكسة للرادار. مثال على ذلك: الأهداف المتجانسة مثل حقل كبير مغطى بالعشب، فبدون تأثير النقاط، سيظهر على هيئة لون فاتح في الصورة (A)، بينما الانعكاسات الناتجة عن أوراق النباتات كل على حدة، لكل وحدة قدرة تفريق ، ينتج عنها أن بعض عناصر الصورة (pixels) تظهر بلون فاتح و أخرى بلون داكن (B) ، و بالتالي يظهر الحقل و كأن به نقط.



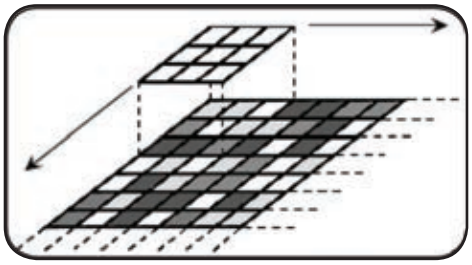


النقاط (Speckles) هي نوع من أنواع الضوضاء (noise) التي تقلل من جودة الصورة، و يمكن أن تجعل التعامل مع الصورة و استخلاص المعلومات منها (سواء بالنظر أو بالمعالجة الرقمية)، أمراً صعبا، و بالتالي فإنه يجب التقليل من تلك النقاط في الصورة قبل استخدامها و التعامل معها. تقليل النقط Speckle reduction، يمكن تحقيقه بطريقتين :

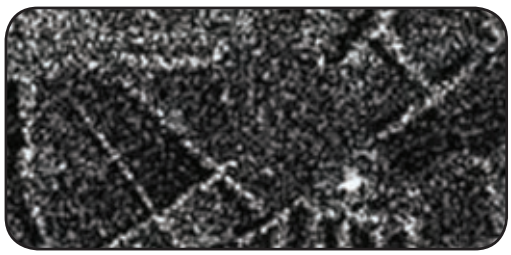
- معالجة الرؤية المتعددة "multi-look processing"
- التصفية المكانية "spatial filtering"



معالجة الرؤية المتعددة ، تشير إلى تقسيم الشعاع الراداري إلى عدة أشعة أضيق (في هذا المثال تم تقسيمه إلى ٥)، كل شعاع جزئي له رؤية مستقلة للمشهد . كذلك فكل منها معرض لتأثير النقاط ، و لكن بتجميعها و الحصول على المتوسط، تقل كمية النقط .



بينما تتم عملية معالجة «الرؤية المتعددة» أثناء الحصول على الصور ، تتم التصفية المكانية على الصورة المتكونة، عند المعالجة الرقمية للصورة، و يتم عن طريق تمرير نافذة صغيرة من عناصر الصورة pixels (مثلاً : ٣×٣ ، أو ٥×٥)، على كل بكسل في الصورة، و إجراء عملية حسابية باستخدام كل بكسل مقابلة لتلك النافذة (حساب المتوسط)، و استبدال البكسل التي تتوسط تلك النافذة بقيمة المتوسط . تتحرك تلك النافذة على كل الصفوف، و الأعمدة بمقدار بكسل لكل حركة، حتى تتم تغطية الصورة بالكامل، وينتج عن تلك العملية حدوث انطماس و عدم وضوح لمعالم الصورة، و يقل مظهر النقط بشكل عام .

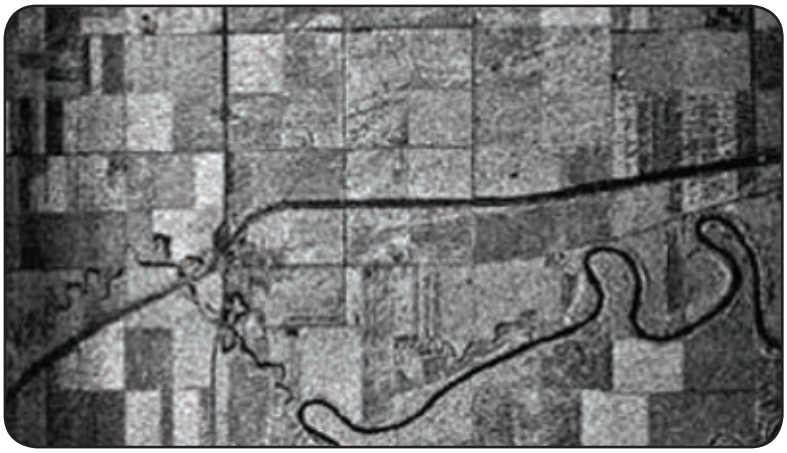


تظهر الصورتان السابقتان تأثير تلك العملية ، فالصورة بالأعلى هي قبل استخدام المرشح و الصورة بالأسفل هي بعد تلك العملية . توجد بعض العمليات الأكثر تعقيدا التي تستخدم لتقليل تأثير النقط، مع الحفاظ على وضوح الصورة .

كل من هاتين العمليتين تقلل تأثير النقط ، و لكن على حساب قدرة تفريق الصورة ووضوحها، لذلك فإن تقليل النقاط يجب أن يتم بدرجة معينة على حسب التطبيق الذي ستستخدم فيه تلك الصور، و كمية التفاصيل المطلوبة له . فإذا كان ذلك التطبيق يحتاج تفاصيل كثيرة و قدرة تفريق عالية، فيجب استخدام هاتين العمليتين بشكل بسيط أو عدم استخدامهما تماماً، أما إذا كان التطبيق هو رسم الخرائط مثلاً (العمل على مقياس كبير) فيمكن استخدامهما .

توجد صفة أخرى تميز الصور الرادارية ، و هي الرؤية المائلة و التشوهات التي تنتج عنها (تحدثنا عنها سابقاً في الجزء ٣.٣) (تشوه مقياس المدى المائل)، حيث إن الأهداف الموجودة في المدى القريب تكون مضغوطة بالنسبة للأهداف عند المدى البعيد؛ نتيجة الاختلاف في المقياس . و يفضل – بالنسبة لكثير من التطبيقات- عرض الصور الرادارية بعد تصحيح ذلك التشوه ، و ذلك للحصول على قياسات حقيقية للأهداف في الصورة ، ذلك يتطلب أن يتم تحويل الصور من المدى المائل إلى المدى الأرضي .

يقوم الهوائي الخاص «بالرادار» بإرسال طاقة أكبر عند منتصف الرقعة المعرضة للأشعة من تلك عند أطراف الرقعة، و يعرف ذلك التأثير باسم الهوائي "antenna pattern"، و يؤدي ذلك إلى انعكاس الأشعة من منتصف الرقعة بقوة أكبر من الأطراف، بالإضافة إلى أن الطاقة المنعكسة تقل كلما ازدادت المسافة، و بالتالي فإنه بالنسبة للسطح الواحد، تقل الطاقة المنعكسة كلما ابتعدنا خلال الرقعة؛ نتيجة لذلك تختلف درجة (شدة) ألوان الصورة باتجاه المدى . تستخدم عملية «تصحيح الهوائي» "antenna pattern correction" لتوحيد شدة السطوع في الصورة .



مستويات السطوع التي يستطيع نظام الاستشعار تمييزها ترتبط بقدرة للتفريق القياسات الاشعاعية Radiometric Resolution، و تسمى الحيز الديناميكي "Dynamic range" .

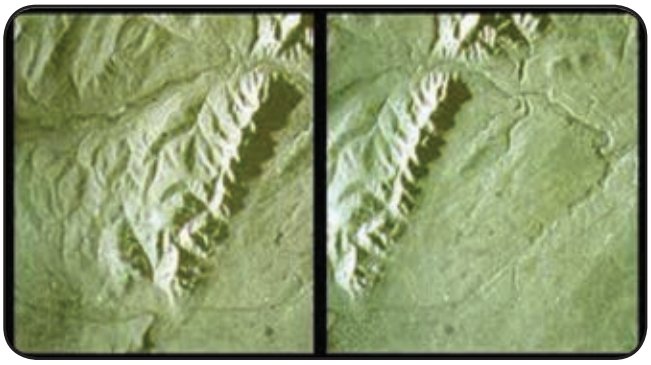
فبينما تتمكن المستشعرات البصرية- كتلك الموجودة بأقمار "لاندسات" و "سبوت" من التمييز بين ٢٥٦ مستوى ، فإن أنظمة الرادار تستطيع تمييز حوالي ١٠٠,٠٠ مستوى!! تستطيع العين البشرية التمييز بين حوالي ٤٠ مستوى فقط في آن واحد، فبالتالي المستويات الخاصة بالصور الرادارية تكون كثيرة جداً بالنسبة لما يمكن تمييزه بالعين . حتى أجهزة الكمبيوتر قد تجد صعوبة في التعامل مع ذلك الكم من المعلومات، لذلك معظم أجهزة الرادار تسجل و تتعامل مع البيانات على ١٦ بت (bits)، وبالتالي تنتج ٦٥,٥٣٦ مستوى ، و يتم تقليصها لـ ٨ بت (٢٥٦ مستوى) عند عرضها على الكمبيوتر .

المعايرة "Calibration" : هي عملية التأكد من أن نظام الرادار و الإشارات التي يقوم بقياسها صحيحة بقدر الإمكان . فقبل تحليل الصور ، تحتاج معظم الصور الرادارية إلى عملية المعايرة النسبية "relative calibration"، حيث تقوم تلك العملية بتصحيح التغيرات التي تطرأ على الهوائي و استجابات نظام الرادار ، و التأكد من أنه يمكن إجراء قياسات منتظمة العديد من المرات . تلك المعايرة تمكننا من إجراء مقارنات بين الأهداف المختلفة في الصورة الواحدة ، و بين الصور وبعضها البعض . و لكن إذا أردنا إجراء قياسات كمية دقيقة تمثل الطاقة الحقيقية المنعكسة عن الأهداف، فتصبح المعايرة المطلقة "absolute calibration" ضرورية في تلك الحالة .

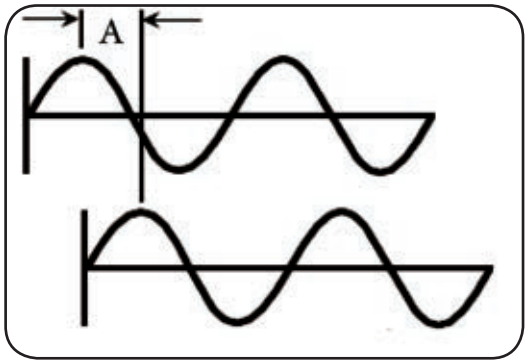
المعايرة المطلقة: هي عملية تربط بين الطاقة التي يتم تسجيلها و الطاقة الحقيقية المنعكسة عن الأهداف لكل وحدة قدرة تفريق. للوصول لذلك يجب إجراء قياسات تفصيلية لخصائص نظام الرادار ، و كذلك القياسات الكمية لخصائص الأهداف . كذلك يتم استخدام جهاز على الأرض يسمى "transponder"، و يستخدم قبل التقاط الصور للمعايرة ، حيث يقوم باستقبال الإشارة من الرادار و تكبيرها، و إرسال إشارة – معلومة الشدة- للرادار مرة أخرى ، و عن طريق معرفة الشدة الحقيقية لتلك الإشارة، يمكن معايرة الاستجابات المختلفة للأهداف .

٦-٣ التطبيقات الرادارية المتقدمة:

بالإضافة للحصول على المعلومات و استخدامها، توجد ثلاثة تطبيقات أخرى للرادار تستحق الذكر.

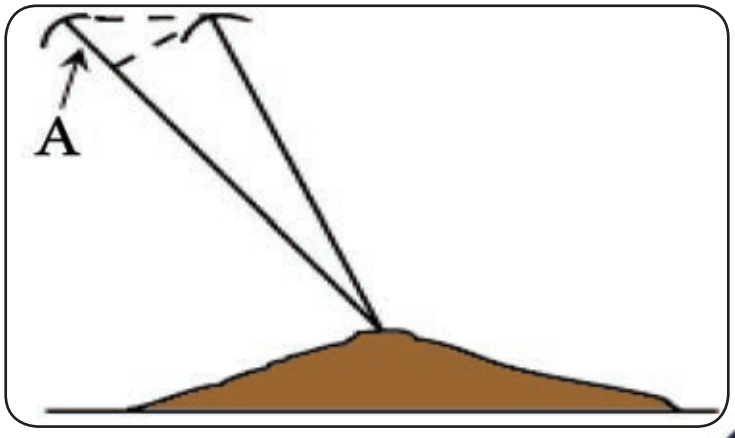


وأولها هو "الرادار المجسم" "Stereo radar": وهو يشبه رسم الخرائط المجسمة "stereo mapping" باستخدام التصوير الجوي، حيث يتم التقاط صورتين لكل منطقة، و ولكن بزوايا سقوط مختلفة، أو اتجاهات نظر متعاكسة. و على عكس الصور الجوية، حيث تكون الإزاحة في اتجاه أنصاف أقطار دائرة مركزها نقطة النظير تحت آلة التصوير مباشرة، فإن الصور الرادارية تُظهر الإزاحة في اتجاه المدى فقط.



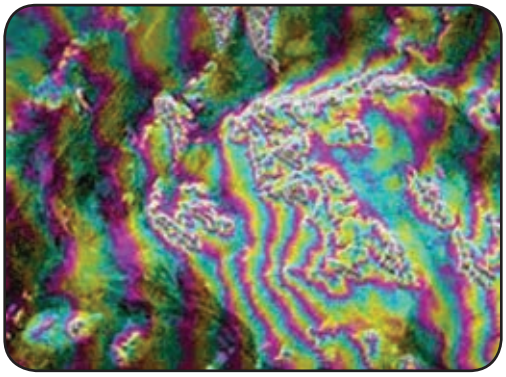
عند التقاط زوج من الصور لكل منطقة (إحداهما باتجاه الشمال و الأخرى باتجاه الجنوب)، قد يكون هناك اختلاف كبير بينهما، و بالتالي يكون من الصعب التعامل معها بصرياً أو رقمياً. في التضاريس الجبلية، يظهر ذلك بشكل أكثر وضوحاً، حيث إن الظل في الاتجاه الآخر من الهدف سوف يلغي التأثير المجسم للأهداف. تم استخدام التصوير المجسم الجانبي لعدة سنوات للمساعدة في دراسة الغابات و طبقات الأرض، وكذلك رسم الخرائط الطبوغرافية. عملية الحصول على قياسات للمسافات و الارتفاعات من البيانات الرادارية المجسمة، تسمى المساحة الرادارية radar grammetry، و هو شبيه بالمساحة التصويرية photogrammetry التي تتم لنفس الغرض، و لكن باستخدام التصوير الجوي.

وتستخدم تلك الطريقة لمعرفة ارتفاعات التضاريس باستخدام الرادار. توجد طريقة أخرى متقدمة تسمى "القياس بالتداخل" "interferometry"، و تعتمد على قياس خاصية من خصائص الموجات الكهرومغناطيسية ، و هي الطور "phase". لنفترض أن لدينا موجتين لهما نفس الطول الموجي و التردد و تتحركان في الفراغ، و لكن نقطة بداية إحداهما تختلف قليلاً عن الأخرى (تسبقها أو تتأخر عنها).

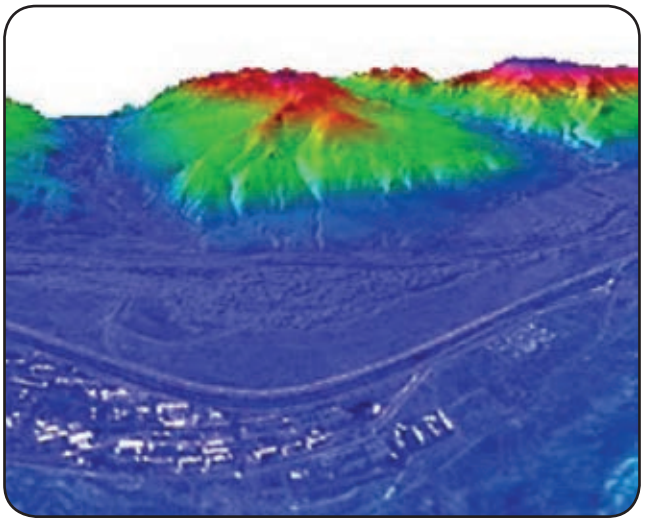


الإزاحة بين نقطتين متقابلتين على الموجتين (A)، تسمى «فرق الطور» "phase difference" أنظمة القياس بالتداخل، تستخدم هوائيين يبعدان عن بعضهما قليلاً، وذلك على البعد الخاص بالمدى، و يقوم كل منهما بتسجيل الطاقة العائدة من كل خلية قدرة تفريق resolution cell .

و يمكن أن يكون كل من الهوائيين موجودين على نفس المنصة، أو يتم الحصول على البيانات على مرحلتين باستخدام نفس المستشعر ، و ذلك للأنظمة المحمولة في الجو أو الفضاء .



عن طريق قياس فرق الطور بين الموجتين العائدتين "phase difference"، يمكن قياس فرق المسار بقدرة تفريق تتناسب مع وحدات الطول الموجي (سنتيمترات مثلاً) ، و بمعرفة مكان الهوائي بالنسبة لسطح الأرض ، يمكن معرفة مكان وحدة القدرة على التفريق . فرق الطور بين وحدتي قدرة تفريق متجاورتين، يظهر في ذلك الرسم، حيث تعبر الألوان عن الاختلاف في الارتفاعات، و يمكن استخدام تلك البيانات في معرفة المعلومات الطبوغرافية، و رسم صور ثلاثية الأبعاد لتضاريس الأرض .

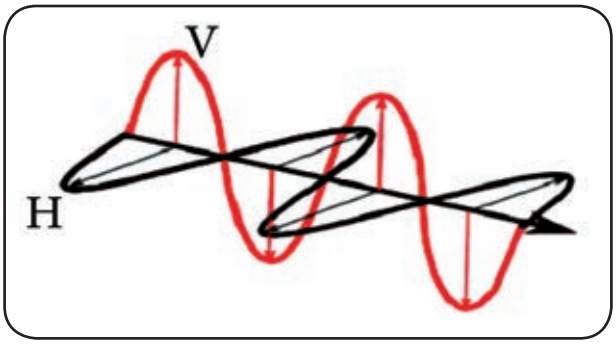


مفهوم القطبية تعرضنا له سابقاً عند الحديث عن أساسيات الرادار

قياس القطبية polarimetry، كما يوضح اسمه ، يعتمد على التمييز بين الاستقطابات التي يستطيع جهاز الرادار الإرسال و الاستقبال عبرها، حيث تقوم معظم أجهزة الرادار بإرسال و استقبال موجات الميكروويف باستقطاب أفقي (H) أو رأسي (V). أما الرادارات متعددة القطبية (multi - polarization) تستطيع الإرسال و الاستقبال باستقطاب أفقي أو رأسي سواء بشكل متماثل أو متعاكس (HH,VV,HV,VH). رادارات قياس الاستقطاب "polarimetric radars" تستطيع التعامل مع أنواع الاستقطاب الأربعة السابق ذكرها، كل من قنوات الاستقطاب تلك لها حساسيات مختلفة لأنواع الأهداف المختلفة و خصائصها، وبالتالي تسهل عملية التمييز بين الأهداف، بالإضافة إلى تسجيل شدة الإشارات لكل نوع من أنواع الاستقطاب، كذلك تستطيع تلك الرادارات تسجيل معلومات عن الطور الخاص بكل إشارة، و الذي يمكن أن يستخدم لتحديد بصمة الاستقطاب لكل أهداف سطح الأرض .

٣ـ٧ قطبية الرادار:

عندما نتطرق إلى أشعة الميكروويف من حيث «الانتشار و التشتت»، يكون من الضروري التحدث عن قطبية الأشعة . ففي الموجات الكهرومغناطيسية، يشير مصطلح القطبية إلى موضع متجه المجال الكهربي في المستوى العمودي على اتجاه الانتشار، بينما طول المتجه يمثل سعة الموجة (wave's amplitude)، و معدل دوران المتجه يمثل التردد الموجي، و الاستقطاب يشير إلى شكل و توجه مقدمة المتجه . الشكل الموجي للمجال الكهربي للموجة الكهرومغناطيسية ممكن أن يكون متوقعاً (إذا كانت الموجة مستقطبة)، أو عشوائياً (إذا كانت الموجة غير مستقطبة)، أو خليط بين الاثنين، وفي الحالة الأخيرة تلك، تكون درجة القطبية: هي النسبة بين الطاقة المستقطبة إلى الطاقة الكلية للموجة . ومثال على ذلك موجة (sine wave) أحادية الطول الموجي، التي لها تردد ثابت و سعة موجية ثابتة .



مثال على المستوى الأفقي (اللون الأسود)، و الرأسي (اللون الأحمر) للموجة الكهرومغناطيسية .

كما ذكرنا فإن «أجهزة الرادار» ترسل و تستقبل الموجات باستقطاب أفقي أو رأسي ، بأربع مجموعات من القطبية للإرسال و الاستقبال، و دراسة تلك المجموعات هو ما يعرف بعلم «قطبية الرادار» .

توجد أربع مجموعات كما ذكرنا سابقاً:

- HH: إرسال أفقي ، و استقبال أفقي .
- VV: إرسال رأسي، و استقبال رأسي .
- HV : إرسال أفقي، و استقبال رأسي .
- VH: إرسال رأسي، و استقبال أفقي .

تسمى أول مجموعتين بـ"الاستقطاب المتماثل" "like-polarized"، و المجموعتان الباقيتان بالاستقطاب المتعاكس "cross-polarized".

أمثلة على الأنظمة الرادارية:

أحادي القطبية	- HH أو VV (و من الممكن أن يكون HV أو VH)
ثنائي القطبية	- (HH و HV) ، أو (VV و VH) ، أو (HH و VV)
قطبية تبادلية	- HH و HV ، بالتبادل مع VV و VH
قياس الاستقطاب	- HH ، VV ، HV ، VH

كذلك يمكن الإشارة للنوع الأخير باسم "رباعي القطبية" "quadrature polarization" أو الاستقطاب الكلي "fully polarimetric".

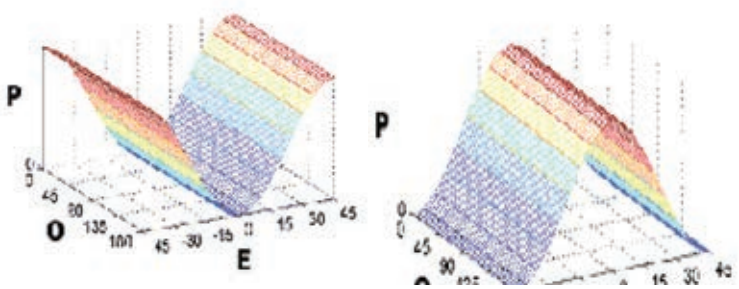
المعلومات الاستقطابية:

مصفوفة التشتت، هي التي يتم الحصول منها على وصف لطريقة تشتيت السطح أو الهدف للطاقة الكهرومغناطيسية، و منها أيضاً يمكن الحصول على معلومات أخرى عن الاستقطاب، مثل بصمة الاستقطاب .

بصمة الاستقطاب:

لأن الموجات الساقطة و المتشتتة، يمكن أن يكون لها أنواع عديدة من الاستقطاب، و مصفوفة التشتت تتكون من أربعة أعداد مركبة، فإنه من المفيد تبسيط الأمر باستخدام رسم ثلاثي الأبعاد . فـ «بصمة الاستقطاب» للهدف تمكننا من التعبير عن خصائص التشتت له بشكل مرئي، وتسمى أيضاً "رسم استجابة الاستقطاب" "polarization response plots" .

الموجات الكهرومغناطيسية الساقطة يكون لها مجال كهربي على هيئة قطع ناقص (elipticity) بين الزوايا -٤٥° و +٤٥°، و يكون اتجاهها (orientation) بين ٠° و ١٨٠°. و يتم استخدام هذه المتغيرات لتكون المحور السيني و الصادي (x and y axes) للرسم ثلاثي الأبعاد، ويتم حساب شدة الاستقطاب و تمثيلها على المحور الثالث (z-axis).



استقطاب متعاكس　　استقطاب متماثل

P = power, O= orientation, E= Elipticity

معايرة البيانات:

واحدة من أهم العمليات في رادارات قياس القطبية، و ذلك لأن جزءاً كبيراً من المعلومات يكون في النسب و الفروق بين السعات الموجية و الطور لمجموعات الاستقطاب الأربع. وإذا لم تتم تلك العملية بشكل صحيح، فإن القياسات لن تتم بقدرة التفريق، و بالتالي نفقد ميزة القطبية.

تطبيقات الاستقطاب:

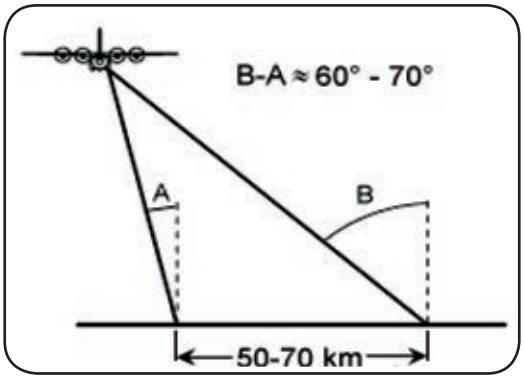
باستخدام معلومات الاستقطاب قام العلماء بإجراء الكثير من الأبحاث، و من هذه التطبيقات:

- الزراعة: لتمييز أنواع المحاصيل، مراقبة ظروف الزراعة، قياس رطوبة التربة.
- الغابات: تقدير الكتلة الحيوية، تحديد أنواع النباتات، مراقبة الحرائق و إزالة الغابات.
- الجيولوجيا: رسم الخرائط الجيولوجية.
- المياه: مراقبة الأغطية الجليدية.
- المحيطات: تحديد أماكن الجليد، أماكن الرياح الساحلية، و قياس شدة الأمواج.

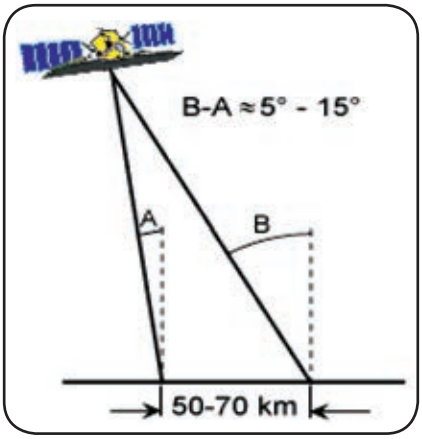
- الشحن البحري: لتحديد أماكن السفن و تصنيفها .
- المناطق الساحلية: تحديد أماكن البقع النفطية ، و أماكن الزراعة .

٣ـ٨ الرادارات المحمولة في الجو أو الفضاء:

توجد اختلافات بين النوعين ، تعتمد على الهدف من عملية الرصد و التصوير . و بغض النظر عن نوع المنصة الحاملة للرادار، توجد ميزة كبيرة لاستخدام «الرادار ذى الهوائي الإفتراضي» (SAR)، و هي أن القدرة على التفريق المكانية لا تعتمد على ارتفاع المنصة ، و بالتالي يمكن الحصول على قدرة تفريق عالية من الجو أو الفضاء .



وبالرغم من أن قدرة التفريق لا يوجد فيها خطأ ولا تعتمد على الارتفاع ، إلا أن الارتفاع يؤثر بشكل كبير على هندسة الرؤية (الزوايا و الأبعاد)، و على الرقعة المغطاة من الأرض . فالرادار المحمول جواً يجب أن يقوم بالتصوير على حيز واسع من الزوايا ، حوالي ٦٠° أو ٧٠° ، و ذلك ليتمكن من تغطية رقعة كبيرة من الأرض (من ٥٠ إلى ٧٠ كم تقريباً) وكما ذكرنا في الأجزاء السابقة، فإن زاوية السقوط (الرؤية) تؤثر بشكل كبير على الأشعة المنعكسة عن الأهداف، و كذلك الطريقة التي تظهر بها الأهداف في الصور كذلك تتأثر ظواهر قصر المنظور المائل، والتوقف، و الظل بالتغير في زاوية السقوط أما الرادارات في الفضاء، فتستطيع تجنب تلك المشاكل الهندسية، و ذلك لأنها توجد على ارتفاعات أعلى من الطائرات بحوالي مائة مرة . فعلى بعد مئات الكيلومترات، تستطيع تلك الرادارات تغطية رقعة جيدة من الأرض و لكن بزوايا صغيرة تتراوح بين ٥ و ١٥ درجة، مما يسمح بالحصول على إضاءة منتظمة ويقلل التغيرات التي تحدث في الصورة بسبب هندسة الرؤية .



على الرغم من كون الأنظمة الجوية أكثر عرضة و تأثراً بهندسة الرؤية ، إلا أنها أكثر مرونة في التقاط الصور في أكثر من اتجاه و أكثر من زاوية سقوط ، كذلك فإن تلك الأنظمة لها القدرة على جمع البيانات لأي مكان في أي وقت (طالما كانت الأحوال الجوية و ظروف الطيران ملائمة)، وعلى العكس ، فإن أنظمة الرادار الفضائية لا تمتلك مثل هذه القدرة ، فهندسة الرؤية الخاصة بها و أوقات جمع البيانات مرتبطة بالنمط الخاص بمداراتها. و لكن أنظمة الفضاء لها ميزة أخرى وهي القدرة على التقاط الصور بشكل أسرع لمناطق كبيرة ، و هندسة الرؤية الخاصة بها ثابتة . الأنظمة الجوية لها القدرة على التقاط الصور بشكل دوري أكثر من الأنظمة الفضائية، ولكن بناءً على مداراتها و هندسة الرؤية و المنطقة المراد تصويرها، يمكن أن يقل زمن إعادة الزيارة الخاص بالقمر ليوم واحد .

الأنظمة المحمولة جواً تكون أكثر عرضة للتغيرات في السرعة و تأثير الحركة، بالإضافة إلى الأحوال الجوية ، و للتغلب على تلك المؤثرات ، يجب أن يستخدم الرادار نظام ملاحة و تحديد مواقع معقداً جداً، و كذلك نظام معالجة صور متقدماً، لإزالة تلك التأثيرات . و بشكل عام، يمكن معادلة التغيرات الحركية الكبيرة مثل الاضطرابات الجوية ، و لكن على العكس فإن الأنظمة الفضائية لا تعاني من مثل تلك الاضطرابات، حيث إن مداراتها ثابتة ويمكن حساب أماكنها بقدرة التفريق، و لكن في الصور الفضائية ، يجب الأخذ في الاعتبار بعض العوامل الأخرى ، مثل دوران الأرض و تحدبها، و ذلك للحصول على التوقيع الصحيح لأماكن الأهداف على سطح الأرض .

٣ـ٩ أمثلة على الأنظمة الرادارية الجوية والفضائية:

فيما يلي سنورد بعض الأمثلة للأنظمة المحمولة في الجو والفضاء:

AirSAR:

الوكالة الأمريكية للملاحة الجوية و إدارة الفضاء "ناسا" ، كانت تتصدر الأبحاث الخاصة بالرادارات متعددة الترددات و الاستقطابات (SAR) لسنوات عديدة، و قد أطلقت معامل الطائرات النفاثة «بكاليفورنيا» العديد من الأنظمة المتطورة لحساب وكالة ناسا. فنظام "AirSAR" الذي يعمل في الحيزات (C,L,P)، هو نظام استقطابي متقدم من النوع SAR ، وهو يستطيع التقاط الصور في تلك الحيزات بكل مجموعات الاستقطاب الممكنة. و البيانات التي يتم الحصول عليها منه يمكن معايرتها و استخلاص القياسات منها . و قدرة التفريق المكانية له حوالي ١٢ متراً . و تتراوح قيمة زاوية السقوط من ٠° عند نقطة النظير إلى ٧٠° عند المدى البعيد. و نتيجة قدرته على التقاط الصور في حيزات مختلفة و مجموعات استقطاب متعددة، و كذلك على حيز كبير من الدرجات لزوايا السقوط، أصبح استخدامه مفيداً في الكثير من الأبحاث والتجارب .

Convair - 580:

تم تصميم و تطوير نظام "Convair ـ 580 C/X SAR" بواسطة «كندا» ، و كان الهدف منه إجراء الأبحاث و التجارب ، و خاصة للتمهيد لحمل أنظمة "SAR" على متن الأقمار الصناعية، كذلك كان يستخدم في دراسة البقع النفطية، و بعض التطبيقات البيئية الأخرى. و يعمل هذا الرادار على الحيزات (C,X)، و على مدى كبير من زوايا السقوط (من ٥° إلى ٩٠°). كذلك يتميز ذلك النظام بوجود هوائي آخر مثبت على جسم الطائرة ، و ذلك ليتمكن الرادار من العمل كجهاز قياس بواسطة التداخل .

:STAR

كذلك تمتلك «كندا» نظاماً آخر و هو Sea Ice and Terrain Assessment Radar) ("STAR" و كان من أوائل الأنظمة التي تستخدم تجارياً على مستوى العالم، و يعمل كل من "STAR ـ 1" و "STAR ـ 2" على الحيز (X) ، باستقطاب (HH)، و وضعين مختلفين لقدره التفريق. فالرقعة المغطاة يتراوح عرضها بين ١٩ و ٥٠ كم ، و تتراوح القدرة على التفريق بين ٥ و ١٨ م. و قد تم تصميمه في البداية لمراقبة الجليد في البحار ، و كذلك مراقبة تضاريس سطح الأرض. و قد كان "STAR ـ 1" هو أول نظام "SAR" يقوم بمعالجة البيانات على متنه ، و كذلك مد المحطات الأرضية بالمعلومات مباشرة .

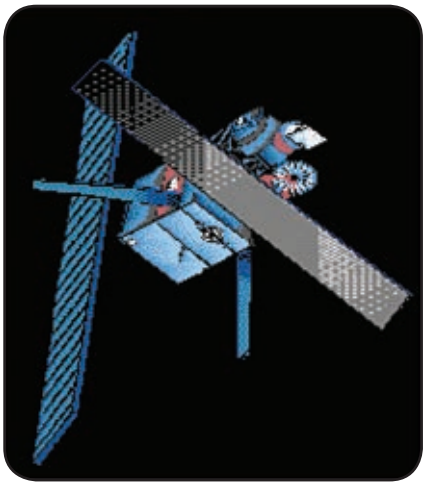
:SEASAT

بعد النجاح الذي حققته الأنظمة الجوية ، أصبحت الخطوة التالية هي استخدام الأقمار الصناعية في هذا المجال . تم إطلاق القمر "SEASAT" عام ١٩٧٨، و كان هو أول قمر صناعي مستخدم في الأغراض المدنية يقوم بحمل رادار "SAR". و قد كان الرادار يعمل على الحيز (L) بإستقطاب (HH). زوايا الرؤية الخاصة به ثابتة و تتراوح بين ٩° و ١٥°، و عرض الرقعة التي يمكنه رصدها ١٠٠كم، بقدرة التفريق مكانية ٢٥ متراً. و قد تم تصميمه في الأساس لمراقبة المحيطات و الجليد في البحار، و لكنه التقط العديد من الصور لليابسة أيضاً. زوايا السقوط الصغيرة أدت إلى زيادة ظواهر قصر المنظور المائل والتوقف خاصة عند المناطق ذات التضاريس المرتفعة. بالرغم من أن القمر عمل لمدة ثلاثة أشهر فقط ، إلا أنه أوضح الكم الهائل من المعلومات الذي يمكن الحصول عليها من الرادارات المحمولة في الفضاء .

:ERS

بعد نجاح تجربة "SEASAT" ، أطلقت وكالة الفضاء الأوروبية (ESA) القمر الصناعي "ERS ـ 1" في يوليو عام ١٩٩١. و كان على متنه رادار لقياس الارتفاعات ، و جهاز قياس إشعاعات

للأشعة تحت الحمراء، و مستشعر في حيز أشعة الميكروويف، و جهاز يعمل في الحيز (C) لقياس شدة الأشعة المنعكسة، حيث يستخدم في قياس الانعكاسات عن أسطح المحيطات، و كذلك اتجاه و سرعة الرياح على أسطح المحيطات. كما يمكنه العمل كجهاز "SAR"، حيث يقوم بجمع الصور على رقعة عرضها أكثر من ١٠٠ كم، و زوايا السقوط تتراوح بين ٢٠° و ٢٦°، وتصل دقته إلى ٣٠ متراً. نوع الاستقطاب الخاص به هو (VV)، مما يجعله بالإضافة إلى زوايا الرؤية الخاصة به، يتمكن من رصد خشونة أسطح الأهداف.

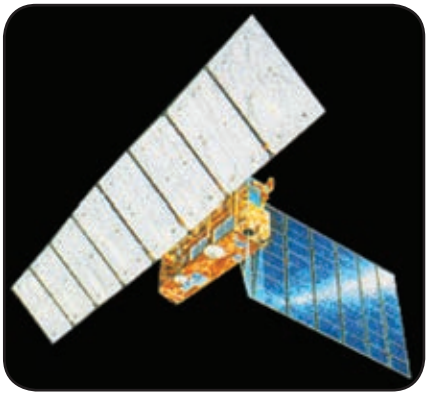


زمن إعادة الزيارة الخاص به يمكن تغييره عن طريق تعديل مداره، و يتراوح من ٣ أيام إلى ١٦٨ يوماً، و ذلك بناءاً على وضع التشغيل المستخدم، و لكن بشكل عام فإن فترته المدارية تكون ٣٥ يوماً.

تم إطلاق قمر آخر من نفس المجموعة "ERS ـ 2" في أبريل عام ١٩٩٥، و قد تم تصميمه من أجل الأبحاث و التطبيقات الخاصة بمراقبة المحيطات.

و كما حدث مع "SEASAT"، فإن زوايا السقوط أثرت على التقاط بعض التضاريس، نتيجة التأثيرات الهندسية.

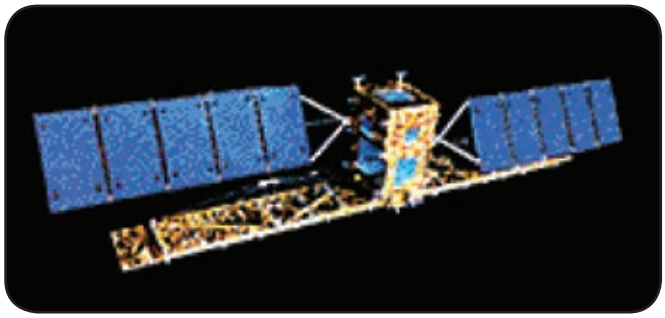
JERS :

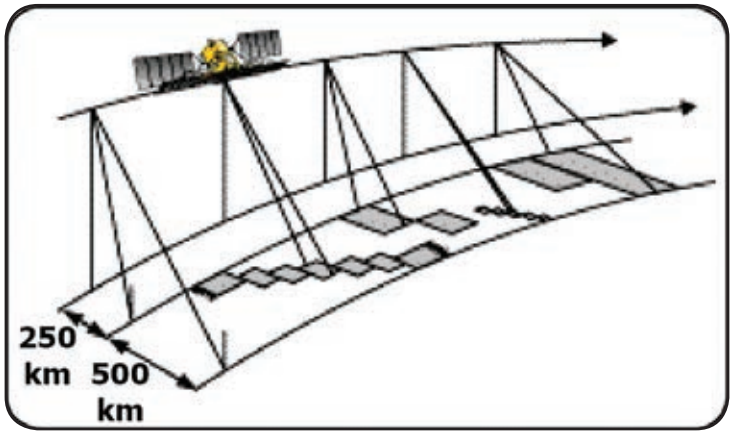


أطلقت وكالة الفضاء «اليابانية» (NASDA) القمر "JERS-1" في فبراير عام ١٩٩٢. و بالإضافة لكونه يحمل مستشعرين بصريين، فقد كان مزود برادار "SAR" ذى استقطاب (HH)، و يغطي رقعة بعرض ٧٥ كم، و دقته المكانية حوالي ١٨ متراً. تختلف هندسة الرؤية الخاصة به عن تلك الخاصة بالقمرين السابقين، حيث إن زاوية السقوط الخاصة به عند منتصف الرقعة تكون ٣٥°، وبالتالي تكون الصور الخاصة به أقل عرضة للمشاكل الناتجة عن التضاريس. كذلك فإن الأطوال الموجية للحيز (L) تكون كبيرة إلى حد ما، مما يسمح لها باختراق النباتات و بعض الأسطح.

RADARSAT :

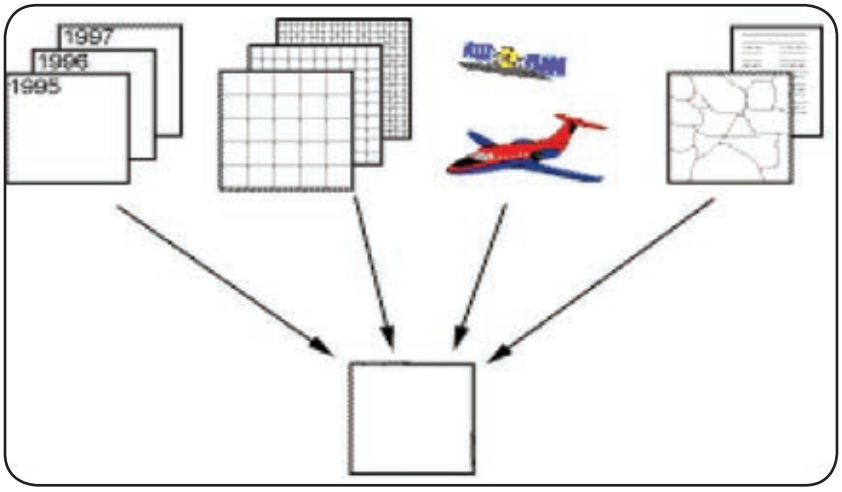
بإطلاق القمر "RADARSAT" الخاص بكندا عام ١٩٩٥، حدثت طفرة في الاستشعار عن بعد باستخدام الرادارات المحمولة في الفضاء "SAR". يحمل القمر راداراً متطور يعمل في الحيز (C)، و الاستقطاب الخاص به هو (HH)، كما يمكنه توجيه الشعاع الخاص به مما يسمح بالتقاط الصور على مدى ٥٠٠ كم. حيث يتراوح عرض الرقعة بين ٣٥ و ٥٠٠ كم، و تتراوح دقته بين ١٠ و ١٠٠ متراً، و تتراوح زوايا السقوط بين أقل من ٢٠° وأكثر من ٥٠°، و الفترة المدارية للقمر هي ٢٤ يوماً يستطيع القمر توفير صور يومية للمنطقة القطبية الشمالية، و كذلك تصوير أي منطقة في كندا كل ثلاثة أيام.





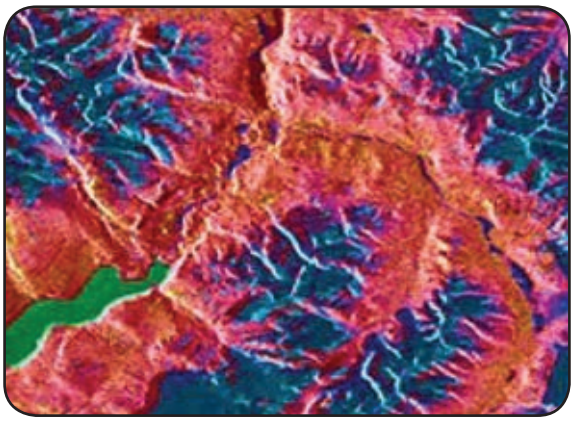
١٠-٣ التعامل مع البيانات وتحليلها:

قديماً، عندما كان الاعتماد على «التصوير الجوي» فقط ، كانت إمكانية إجراء تكامل بين البيانات المأخوذة من أكثر من مصدر محدودة . أما الآن، و قد أصبحت معظم البيانات متاحة بالصيغة الرقمية، فقد أصبح الأمر أسهل بكثير، و تعتمد تلك العملية على جمع أو دمج البيانات مختلفة المصادر، و قد يتضمن ذلك أن تكون البيانات مختلفة زمنياً أو في دقتها أو طبيعتها أو نوع جهاز الاستشعار الملتقطة بواسطته .

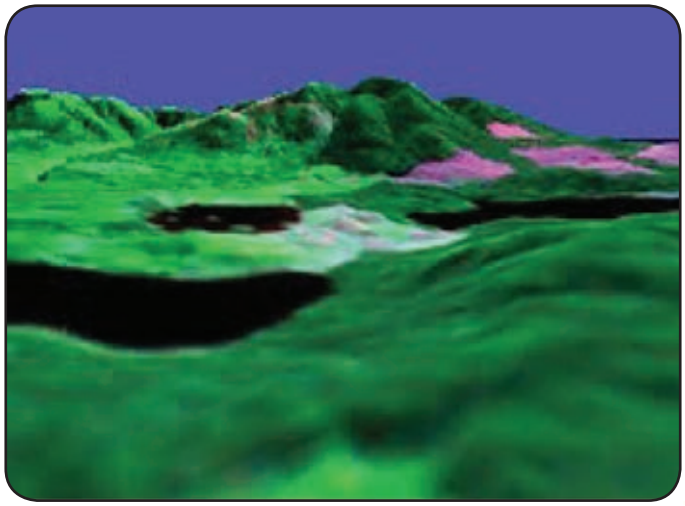


تعرضنا سابقاً لنقطة دمج بيانات مختلفة زمنياً، حيث تستخدم تلك البيانات لمراقبة التغيرات التي تحدث لمنطقة ما بمرور الوقت، و يمكن رصد تلك التغيرات بعدة طرق منها المقارنة بين عدة تصنيفات، أو التصنيف باستخدام مجموعات متكاملة من البيانات المختلفة زمنياً .

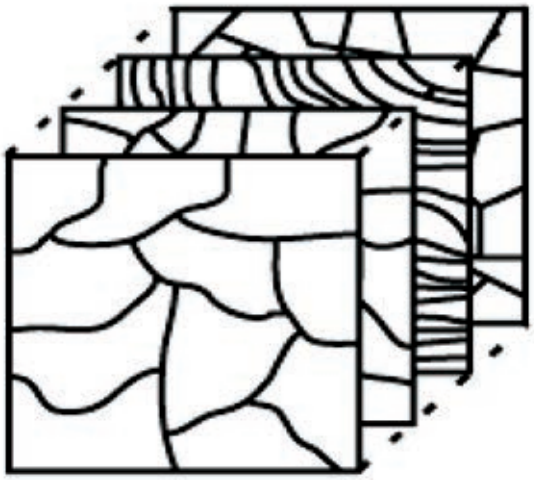
أما دمج الصور المختلفة في دقتها، فيستخدم في عدة تطبيقات، فإذا قمنا بدمج صورة ذات قدرة تفريق عالية مع أخرى ذات قدرة تفريق أقل، فإن ذلك يحسن قدرة التفريق للصورة بشكل عام ، و يحسن التمييز بين عناصرها . و تستخدم تلك الطريقة مع الصور الخاصة بالقمر "سبوت"، حيث يتم دمج «الصور البانوكروماتية» ذات القدرة العالية على التفريق (١٠ أمتار)، مع الصور متعددة الأطياف ذات القدرة الأقل على التفريق (٢٠ متراً). حيث إن الصور «متعددة الأطياف» توفر قدره تفريق طيفية عالية ، بينما الوضع البانوكروماتي، يوفر قدرة تفريق مكانية عالية .



البيانات من أكثر من نوع لأجهزة الاستشعار ، يمكن دمجها أيضاً. و مثال على ذلك دمج الصور البصرية متعددة الأطياف مع الصور الرادارية. فهذان النوعان من البيانات يوفران معلومات تكمل بعضها البعض. فالبيانات البصرية، توفر معلومات طيفية مفصلة، تفيد في التمييز بين الأنواع المختلفة من الأغطية الأرضية، بينما الصور الرادارية ، توضح التفاصيل الهيكلية في الصورة .



في التطبيقات التي تستخدم بيانات متكاملة من عدة أجهزة استشعار، يجب أن تكون تلك البيانات مسجلة بالنسبة لأحد أنظمة الإحداثيات الجغرافية، و ذلك يسمح أيضا للبيانات الإضافية بالتكامل مع البيانات الأساسية. على سبيل المثال: المعلومات الخاصة بالارتفاعات، في صيغتها الرقمية، تسمى (DEM) "Digital elevation Model" يمكن دمجها مع البيانات الخاصة بالاستشعار عن بعد، لتستخدم في عدة أغراض . و قد تستخدم تلك البيانات في عملية التصنيف للصور، حيث إن تأثيرات الارتفاعات يمكن تصحيحها باستخدام تلك البيانات، مما يؤدي إلى تحسن قدرة التفريق، التصنيف بشكل عام، كذلك يستخدم هذا النوع من البيانات في عمل نماذج ثلاثية الأبعاد.



كما ذكرنا سابقاً، فإن دمج البيانات المختلفة المصادر و الأنواع، هو الهدف الأساسي، و عند التعامل بالبيانات في صيغتها الرقمية، حيث تكون جميع المصادر مسجلة بالنسبة لقاعدة جغرافية، و هذا هو المفهوم الخاص بنظام المعلومات الجغرافية (GIS)، وتعتبر البيانات الرقمية للارتفاعات "DEM" هي مثال على ذلك النوع من البيانات، يوجد كذلك أمثلة أخرى مثل الخرائط الرقمية لأنواع التربة و الغطاء الأرضي، أنواع الغابات، و شبكات الطرق، و العديد من المعلومات التي تختلف تبعاً للتطبيق. النتائج التي يتم الحصول عليها بعد عمليات التصنيف لعناصر الصورة ـ على هيئة خريطة ـ يمكن استخدامها أيضاً في نظام المعلومات الجغرافية "GIS" كنوع آخر من المعلومات الذي يستخدم لتحديث خرائط موجودة بالفعل.

كذلك عند تحليل عدة أنواع من البيانات معاً، فإن المعلومات التي نحصل عليها تكون أكثر قدرة للتفريق، و يوجد عدد لا حصر له من التطبيقات التي تحتاج ذلك النوع من تحليل البيانات . وسوف نتحدث لاحقاً عن بعض تطبيقات الاستشعار عن بعد، و التي يستخدم معظمها أنواعاً مختلفة من البيانات .