التوصيـــة ITU-R RS.577-7

نطاقات الترددات وعروض النطاق المطلوبة المستخدمة للمحاسيس الفضائية النشيطة والعاملة في خدمات استكشاف الأرض الساتلية (النشيطة) وخدمات أبحاث الفضاء (النشيطة)

(2009-2006-1997-1995-1994-1990-1986-1982)

مجال التطبيق

تتناول هذه التوصية نطاقات الترددات وعروض النطاق لخمسة أنماط أساسية للمحاسيس الفضائية النشيطة. ومع أن المناقشة في الملحق 1 تركز أساساً على رصد الأرض يعتقد عموماً أن تقنيات القياس صالحة أيضاً لكواكب أخرى. لذلك تشمل هذه التوصية خدمات الاستكشاف الساتلي من الأرض (النشيطة)، وخدمات البحوث الفضائية (النشيطة) على حد سواء.

إن جمعية الاتصالات الراديوية للاتحاد الدولي للاتصالات،

إذ تضع في اعتبارها

أ) أن أجهزة التحسس الفضائية النشيطة بالموجات الصغرية هي الأجهزة الوحيدة التي يمكن أن تعطي معلومات بشأن الخصائص المادية للأرض ولكواكب أخرى؛

ب) أن تحسس مختلف الخصائص المادية يتطلب استعمال ترددات مختلفة؛

ج) أن الاستبانة الفضائية للقياسات تحدد عرض النطاق المطلوب؛

د) أنه يلزم في كثير من الأحيان إجراء قياسات في نفس الوقت في ترددات مختلفة للتمييز بين الخصائص المختلفة؛

هـ) أنه يمكن عموماً تقاسم النطاقات بين أجهزة التحسس الفضائية النشيطة بالموجات الصغرية والعاملة في خدمة استكشاف الأرض الساتلية (النشيطة) وخدمات أبحاث الفضاء (النشيطة) وبين رادارات الأرض العاملة في خدمة التحديد الراداري للموقع،

توصي

1 بأن تتوافق الترددات المفضلة وعروض النطاق المطلوبة للتحسس النشيط عن بُعد مع الملحق 1؛

2 بأن تستخدم نطاقات الترددات وعروض النطاق الواردة في الجدول 1 لأغراض قياسات التحسس النشيط عن بُعد للأرض من أجل:

- رطوبة التربة؛
- خرائط الحياة النباتية؛
- توزع الجليد وعمقه ونسبة الماء في الجليد؛
- الخرائط الجيولوجية؛
- خرائط استعمال التربة؛
- حدود الثلوج وعمقها ونوعها وعمرها؛

- بنية الموج في المحيط؛
- سرعة واتجاه الرياح فوق المحيط؛
- رسم خارطة الدوران بالمحيطات (التيارات والدوامات)؛
- مواقع تسرب البترول على سطح المحيطات؛
- خارطة المساحة الأرضية؛
- معدل الهواطل؛
- ارتفاع السحب وانتشارها؛
- الضغط على سطح الأرض؛
- تقييس الكتلة الحيوية في الغابات الاستوائية؛
- وغير ذلك.

الجـــدول 1

نطاقات الترددات كما هي موزعة في المادة 5 من لوائح الراديو	عروض نطاق التطبيقات				
	مقياس الانتثار	مقياس الارتفاع	المصورات	رادار الهواطل	رادار معالم السحب
MHz 438-432			MHz 6		
MHz 1 300-1 215	kHz 500-5		MHz 85-20		
MHz 3 300-3 100		MHz 200	MHz 200-20		
MHz 5 570-5 250	kHz 500-5	MHz 320	MHz 320-20		
MHz 8 650-8 550	kHz 500-5	MHz 100	MHz 100-20		
[1]MHz 9 900-9 300	kHz 5-500	MHz 300	MHz 300-20		
GHz 13,75-13,25	kHz 500-5	MHz 500		MHz 14-0,6	
GHz 17,3-17,2	kHz 500-5			MHz 14-0,6	
GHz 24,25-24,05				MHz 14-0,6	
GHz 36-35,5	kHz 500-5	MHz 500		MHz 14-0,6	
GHz 79-78					MHz 10-0,3
GHz 94,1-94					MHz 10-0,3
GHz 134-133,5					MHz 10-0,3
GHz 238-237,9					MHz 10-0,3

(1) راجع المقرر ذا الصلة الصادر عن المؤتمر WRC-07.

الملحق 1

العوامل المرتبطة بتحديد نطاقات الترددات وعروض النطاقات المطلوبة للتحسس النشيط على متن السواتل

1 المقدمة

إن أجهزة التحسس النشيط على خلاف أجهزة التحسس المنفعل تضيء "الشيء" الذي تتم ملاحظته وتتلقى الطاقة التي يعكسها هذا "الشيء".

وهناك خمسة أنماط أساسية لأجهزة التحسس:

- مقاييس الانتثار؛
- مقاييس الارتفاع؛
- المصورات (رادارات بفتحة تركيبية)؛
- رادارات الهواطل؛
- رادارات رصد معالم السحب.

يستعمل مقياس الانتثار لدراسة خشونة سطوح واسعة. وفوق 300 MHz، يقيس هذا الجهاز كثافة انعكاس خشونة السطح التي يمكن تقسيمها إلى فئات تتدرج من السطح الناعم إلى السطح شديد الخشونة. وعند ترددات تقارب 200 MHz، يتوقف الانعكاس على ثابت العزل الكهربائي للسطح؛ وعند الترددات الدنيا يتوقف الانعكاس أساساً على الإيصالية الكهربائية. وتسمح الترددات الدنيا هذه باختراق سطح الأرض لدراسة البنى الباطنية فيها.

وقد أدى رادار مقياس الارتفاع إلى تحديد ثلاثة أساليب تشغيلية للأنظمة القائمة. ويرتكز أحد هذه الأساليب على استعمال حزمة بفتحة ضيقة جداً (2 mrad) ونبضة سريعة جداً (2 ns). ويستخلص الارتفاع من مدة الانتثار في الاتجاهين من الجبهة الأمامية للنبضة الصادرة. وتقنية ضغط النبضة مماثلة لتقنية النبضات قصيرة المدة التي يتولد عنها نبضة أطول بتشكيل التردد؛ ويتم ضغط إشارة الصدى وهي إشارة بنطاق عريض فتصبح نبضة قصيرة تظهر جبهتها الأمامية. أما الأسلوب الثالث فيقتضي وجود هوائي بأبعاد متوسطة ونظام لاستقرار المركبة الفضائية. وتنتج إشارة صدى الرادار الواصلة من النظير بتقنية تبويب متزامنة. وفي هذا النظام يحصل على معلومة الارتفاع ليس بتحسس الجبهة الأمامية للنبضة قصيرة المدة ولكن بقياس مركز الجزء الأول من إشارة الرادار.

وتحقق أنظمة التصوير بالرادار استبانة عالية بالصور، وذلك ما يتطلبه العاملون في مجالات من قبيل الجيولوجيا وتصوير المحيطات والزراعة. وحتى يكون التصوير من الفضاء واضحاً بشكل كاف، يستعمل رادار بفتحة تركيبية يسمح بتنفيذ تطبيقات كثيرة بما أنه يحقق الوضوح بغض النظر عن المسافة. ويمكن استعمال رادارات دوبلر للمسح في مجال الرصد الجوي.

ينبغي معرفة التوزيع الإجمالي للهواطل والسحب من أجل فهم الاختلافات المناخية على الصعيد العالمي والتنبؤ بها. تتميز أجهزة التحسس بالموجات الصغرية بمزايا واضحة بالنسبة إلى أجهزة التحسس المرئية/العاملة بالأشعة تحت الحمراء، ذلك لأنها قادرة على التوغل في تغطية السحب وبالتالي الإدلاء بمعلومات مباشرة عن حجم الأمطار والسحب. إن أجهزة التحسس النشيطة مفيدة بشكل خاص، إذ تعد الأجهزة الوحيدة التي يمكنها توفير معطيات متعلقة بالبنية العمودية للأمطار والسحب، ولذلك فهي ضرورية لدراسة الدورة المحيطية العامة والنتائج الإشعاعية. كما يمكنها توفير معلومات كمية بشأن الهواطل والسحب بمعزل عن خصائص الإشعاعات بالموجات الصغرية للسطوح العميقة.

إن التحسس النشيط عن بُعد في منطقة الموجات الصغرية له عدة مزايا بالمقارنة مع التحسس في منطقة الطيف المرئية والتحسس المنفعل بالموجات الصغرية. فبالإضافة إلى عدة متغيرات أرضية وبحرية وجوية (مثل رطوبة النبات وارتفاع السحب) فهو يسمح باختراق الطبقات السطحية والنباتية ويمكن أن يعمل في كل الأحوال الجوية وليلاً ونهاراً باستبانة فضائية عالية (رادار بفتحة تركيبية (SAR)) وأن يحسن بعض الملامح بتعديل زاوية الإضاءة كما يعمل في مدى ترددات كثيرة بغض النظر عن الانبعاثات الراجعة لظواهر النطاق الضيق.

تضيء أجهزة التحسس النشيطة الشيء موضوع الرصد وتقيس الطاقة المنعكسة. وحتى يمكن جمع المعطيات المتعلقة بسطح الأرض من الفضاء ينبغي للإشارة الصادرة عن جهاز التحسس أن تخترق الغلاف الجوي مرتين. ونتيجة ذلك فإن خصائص امتصاص وانتشار الموجات الكهرمغنطيسية بالجو تعتبر من العوامل الحاسمة عند اختيار المناطق الطيفية المناسبة للتحسس النشيط عن بُعد.

وبما أن التوهين الجوي الحاد محدود بأقصر الأطوال للموجات فإن تشغيل أجهزة التحسس يتم تحت منطقة امتصاص الأوكسجين (60 GHz) مع تجنب الاقتراب من خط امتصاص بخار الماء (22 GHz).

ويمكن أن يشكل الانتشار الكهرمغنطيسي بالهواطل والسحب مشكلة أصعب من مشكلة الامتصاص بالجو. ذلك أن الصدى من قطرات الماء يزداد بزيادة قطر كل قطرة وينقص بزيادة طول الموجة. ولذا يخف الصدى كلما ازداد طول الموجة، لكن الهواطل تؤدي إلى أصداء أقوى بازدياد حجم قطرات المطر.

وفيما يلي دراسة جوانب مختلفة للبحث في مجال التحسس النشيط في علاقته باختيار الترددات لقياس المتغيرات المتعلقة بالأرض من الفضاء. وتجدر الإشارة إلى أنه عند تحديد أفضل الترددات ونظراً إلى اتساع مدى استجابة الترددات للظواهر المختلفة قيد الدراسة، كثيراً ما يقتضي ذلك إجراء القياسات في نفس الوقت على عدة ترددات كي يمكن التمييز بين أصداء الرادار القادمة من مصادر مختلفة.

ويعتبر صدى الرادار من أي سطح متوقفاً على تردد الرادار وخشونة السطح وخصائص العزل الكهربائي وزاوية الورود والشكل والتركيب الصغري للطبقات دون السطح. وفي كل من التطبيقات المبينة، تتأثر بشدة الطاقة المعكوسة نحو جهاز التحسس على الأقل بآلية واحدة للانتشار المرتد المقترن بالظاهرة موضوع القياس. ويحدث ذلك عموماً بالنسبة: لحالة المحيط (المستعملة في دراسة تكوين المحيط والرياح فوق سطح البحار)؛ وامتصاص الأوكسجين (لتحديد ضغط السطح فوق المحيطات)؛ وتغير مدى خشونة السطح وثابتة العزل الكهربائي (لدراسة خصائص الثلج والجليد والتربة).

2 التحسس النشيط عن بُعد للمحيطات والرياح البحرية

تجري دراسات المحيطات بالتحسس النشيط عن بُعد من خلال تحديد بنية الأمواج وقياس الرياح عند سطح المياه ودراسة التيارات البحرية. وبشكل عام تتوقف طاقة الترددات الصغرية المعكوسة على حالة البحر، وبصورة أدق يمكن القول إن صدى الرادار متوقف على الانعراج الراجع لموجات الثقالة الكبرى والتموج الشعري الضعيف المرتبط بالضغط السطحي المتراكب مع الأمواج الكبرى والزبد. وتتوقف الطاقة المعكوسة الراجعة لكل أثر من هذه الآثار الملاحظة بالتحسس النشيط على حالة البحر وتقنية القياس المستعملة.

وقد أظهرت الدراسات التي أجريت عند ترددات في المدى 3-30 GHz أنه عندما يكون الورود طبيعياً تقريباً تسود أمواج الثقالة الشديدة. وعندما تتجاوز زاوية الورود 20° تسود الموجات الشعرية. لذلك فإنه حتى يمكن تحديد حالة البحر (المتوقفة على التموجات بسبب النسيم) وحجم واتجاه أمواج الثقالة التي تستمر طويلاً (عند اهتياج البحر) يستعمل مفهوم المكون المزدوج. وعند دراسة الرياح بسطح المحيط (وله دور هام عند وضع نماذج التنبؤ بالأحوال الجوية) يرى أن حالة المحيط تسمح بتعرف المتغيرات المتعلقة بالرياح لأن التموجات البسيطة التي تنقل الطاقة الكينتيكية من الرياح إلى البحر تعتبر متوازنة تقريباً مع الرياح.

وباستعمال الترددات والاستقطابات وزوايا الورود المتغير أمكن استخلاص بعض التفاصيل المتعلقة بالرياح بسطح المحيط وارتفاع الموج الدلالي والمتوسط التربيعي لميل الأمواج وهذه نتائج لا يمكن الحصول عليها بالتحسس المنفعل عن بُعد. وتشير التجارب إلى أنه يمكن الحصول على حساسية جيدة لسرعة الرياح بالترددات القريبة من 14 GHz وأن الحساسية لسرعة الرياح محدودة عند 1,3 GHz.

إن استعمال الرادارات بفتحة تركيبية واعد فيما يتعلق بقياس هيكل البحر الهائج (الارتفاع المتوسط الدلالي للأمواج). وهناك تصميم يستند إلى استعمال 4 نطاقات تردد بين 1 و10 GHz وثلاثة استقطابات مع إمكانية توسيع منطقة الاستكشاف وزوايا ورود عدة. إن طبقات البترول المسكوب في المحيطات تقضي على التموجات مما يسمح بتعرف وجود هذه الطبقات بواسطة رادارات تصويرية بالموجات الصغرية.

وقد نجح استعمال مقياس الارتفاع من عدد من السواتل فوق المحيطات المختلفة. وعند إجراء دراسة المحيطات ينبغي استعمال مقياس ارتفاع بدقة قياس إجمالية تتجاوز 2 cm. وحتى تتحقق هذه الدقة يجب القضاء على الأخطاء في قياس المسافات التي تسببها الإلكترونات الأيونوسفيرية (22 cm عند 13,5 GHz). ويسمح نظام القياس ذو الترددين هذا بالقضاء على الشك في القياسات الناجم عن الأيونوسفير. كما يسمح بإجراء قياسات دقيقة على مساحات متواصلة للتركيب الإلكتروني لأيونوسفير، وهذه قياسات غير متوفرة بالنسبة لمناطق واسعة من المحيطات. ويمكن أن يكون التردد الثاني المستعمل للقياس بمنطقة من الطيف تقع على أكثر من أثمون بالنطاق 13,75-13,25 GHz. ويمكن اختيار التردد الآخر يقارب 5 GHz وأن يكون التردد الرئيسي 14 GHz تقريباً. ويرى أنه سيستعمل على الأجل الطويل ترددات أعلى تقارب 35 GHz.

ويتضح من ذلك أن هناك عدة ترددات مفيدة لإجراء التحسس النشيط عن بُعد لدراسة تركيب موجات المحيطات. وبالنظر إلى الدينامية الهائلة لسرعة الرياح وعدم وجود آثار جوية نسبياً، يبدو أن هناك اتفاقاً على استعمال ترددات بالقرب من 10 إلى 15 GHz لقياس سرعة الرياح.

3 التحسس النشيط للأسطح المغطاة بالثلج

تشير الأبحاث أنه يمكن إجراء التحسس النشيط بالموجات الصغرية بدرجات متفاوتة لخصائص الثلج التالية: نوع الثلج (جديد، قديم، إلخ.) وخشونته وتركزه وحجمه وعدد طبقاته والثقوب المائية والانجراف والسمات السطحية وخصائص الضغط والسمك والتغير في طبيعة وتوزع الأنواع. واستناداً إلى هذه الأبحاث اتضح أن التردد في النطاق 3-30 GHz هو أفضل تردد لتحديد أنواع الثلج البحري. ويمكن الاستعانة برادار النطاق 3-30 GHz لتسوية الالتباس الناتج عن قياس الثلج الرقيق خاصة إذا استعملت أيضاً رادارات النطاق 3-30 GHz. ويجري حالياً دراسة ترددات أعلى.

إن أهم تطبيقات التحسس النشيط بالموجات الصغرية للمحيطات من الفضاء هناك الرادار بالفتحة التركيبية SAR ورادار قياس الارتفاع ورادار قياس الانتثار. وتم إجراء البحث الساتلي أساساً برادار SAR عند 1,3 GHz. ويشير التصوير برادار الفتحة التركيبية والفضاء (1,3 GHz و9,6 GHz) إلى أنه في بعض الحالات، ومنها حالة رسم خرائط الثلوج البحرية، تفضل قناة تردد أعلى. ورغم أن تفسير صور الثلوج البحرية يكون أفضل باستعمال ترددات أعلى إلا أن التردد عند 1,3 GHz قد أثبت كفاءته. واستخدم مقياس الارتفاع لقياس معلمات الثلوج البحرية وسمك الطبقة الثلجية بمنطقة غرينلند (Greenland).

ويلاحظ، في الوقت الحالي، أن التحسس عن بُعد للأرض من الفضاء يقتصر بوجه عام على طبقة سطحية رقيقة، بينما تتطلب مسائل كثيرة مرتبطة بالمناخ أو موارد الأرض أو مراقبة المخاطر معلومات من طبقات أكثر عمقاً. وتتيح الرادارات العاملة في نطاقات تقترب من 435 MHz، وفي ظروف معينة، إمكانية التصوير من خلال الطبقات الثلجية حتى القاع (الصخور) الذي قد يتجاوز عمقه 4 كيلومترات. ولكي يتسنى نمذجة دينامية الصفائح الثلجية وتوازن الكتلة على الصعيد العالمي (تراكم الجليد والخسائر الناجمة عن الذوبان وانشقاق الجبال الثلجية) عبر فترات أكثر طولاً (100 إلى 000 100 سنة) فإن من الأهمية بمكان

أن تكون هناك تغطية كاملة للصفائح الثلجية في الدائرة القطبية الجنوبية مشفوعة بملاحظات متجانسة النوعية، ويمكن تحقيق ذلك على أفضل نحو باستخدام منصة على متن مركبة فضائية تستخدم مثل هذا المسبار لثلوج الأعماق.

4 ملاحظات الأرصاد الجوية والمناخية

إن المعلومات المكتسبة في مجال قياس الهواطل وخصائص العواصف ومجالات الضغط من الأرض ومن الطائرات لوضع نماذج التنبؤ بالأحوال الجوية أصبحت تكتسب أيضاً بالأنظمة الساتلية. وتستند هذه التقنيات إلى دراسة تعديلات دليل الانكسار بالجو الصافي نتيجة آثار الأمطار أو التأثير الانعكاسي التفاضلي للصدى بترددات مختلفة. وأثناء الدراسات التي تمت برادار باستقطاب متعامد وتغطية بحزمة ضيقة بترددات مختلفة بين 2 و37,5 GHz، أمكن قياس نسبة الهواطل وكثافتها وتوزعها وحجم قطرات المطر والضغط السطحي فوق المحيطات وكذلك حركة الرياح أثناء العواصف. وهناك عدة عوامل تقيد اختيار التردد. وينبغي اختيار نطاقات تتوافق مع الحساسية للهواطل ولكنها لا تغرق بصدى الأرض عند زوايا الرؤية. ويمكن فقط لحزمة استكشاف آنية موجهة إلى الأسفل (مقارنة بالحزمة المروحية في جميع الاتجاهات أو الحزمة العابرة للمسير) أن تستخلص كثافة الهواطل من خلال تقديرات مقياس الارتفاع للطبقات الجليدية. ويمكن لتقنيات قياس التوهين الناتج عن الهواطل باستعمال تردد واحد وعدة ترددات أن تحدد ملامح الطبقات العمودية للهواطل اعتباراً من السواتل.

ويفضل تردد يقترب من 94 GHz ويستعمل للرادارات المحمولة جواً لتحديد المظهر الجانبي للغيوم بناء على العوامل التالية: أقل انعكاسية سحب قابلة للكشف، والانتشار والانتثار والاستبانة وتداخل حزمة الهوائي والعمل السابق والتكنولوجيا. إن انعكاسية السحاب الطبقي البحري التي تكون مهمة جداً لتحديد ميزانية إشعاع الأرض قد تصل إلى –30 dBZ وهي سوية تكون 70 dB أقل من انعكاسية المطر (10 mm/h). ويكون هدف المهمة تحديد ملامح السحب التي تحمل جواً قياس المظهر الجانبي لانعكاسية كل السحب في مجال رؤية تبلغ انعكاسيته –30 dBZ. وثمة حاجة إلى تردد بالقرب من 94 GHz لتقييس سوية الانعكاسية في حين يتم التقيد بأهداف استبانة المسير. وقد تحقق الكثير في ميدان العمل الاختباري على شكل تطوير الأنظمة القائمة على الأرض والأنظمة الرادارية المحمولة جواً وتجميع المعطيات بالقرب من 94 GHz. وإضافة إلى تطوير العتاد أجري عمل حاسوبي من أجل دراسة تصرف الناثرات من غير نمط رايلي بالقرب من 94 GHz.

5 التحسس النشيط للغطاء النباتي ولرطوبة التربة

ظهر اهتمام بالتحسس النشيط لرطوبة التربة بُعد أن ثبت أن الاستبانة الفضائية للتحسس المنفعل محدودة. وتتوقف قدرة الموجات الصغرية للرادار المنعكسة من الأرض على مدى الخشونة وخصائص العزل الكهربائي للتربة والغطاء النباتي وورود حزمة الموجات الصغرية الصادرة. وتشير التجارب الأولية بالمختبرات إلى أن رطوبة التربة تعدل قدرة الانعكاس وتؤدي إلى تغير خصائص العزل الكهربائي، وأن استعمال زوايا ورود أدنى من 45° يمكن أن يسهل التمييز بين الصدى الراجع إلى الخشونة والصدى الراجع إلى الرطوبة. وتشير الدراسات التي تمت بترددات 4,7 و5,9 و13,3 GHz إلى أن مقياس الانتثار المشغل بالساتل على 4,7 GHz بزوايا ورود بين 5° و17° يسمح بالتمييز بالقدر الكافي بين الصدى الراجع لرطوبة التربة والصدى الراجع إلى الغطاء النباتي أو الخشونة. ومع ذلك ينبغي استعمال ترددات أخرى لمراعاة عامل الغطاء النباتي أو قياس الطبقات السفلى للتربة، عند الاقتضاء.

ومن ناحية أخرى، شكلت دراسة التغطية النباتية بحد ذاتها هدفاً خاصة في إطار تجارب تعرف المحاصيل حيث يكون صدى التربة عاملاً معوقاً. وتم استعمال أجهزة التصوير وقياس الانتثار وكانت الطاقة التي يعكسها الغطاء النباتي مرتبطة بالخشونة والرطوبة وخصائص العزل الكهربائي للنباتات وزاوية الرؤية. وتشير النتائج التي تم التوصل إليها إلى أن سواتل التحسس النشيط تسمح بتعرف المحاصيل والغابات وأساليب استعمال التربة (المراعي والغابات إلخ.) وخصائص الأحواض المائية. واتضح من الملاحظات التي جرت مع زوايا ورود مرتفعة (للحد من صدى التربة ما أمكن) وطيف واستقطاب متعددين ونماذج عدة لوقت الملاحظة، أن أفضل النتائج حصلت عند الترددات التالية 1,3 و5,9 و9,0 و9,4

و13 و16 و35 GHz. ويمكن تحسين تصنيف المحاصيل إذا ما روعيت فترات النمو وباستعمال ترددات مختلفة وبإعادة القياسات عدة مرات بأسابيع مختلفة.

وبسبب تزايد وصول النباتات الكثيفة على مقربة من 400 MHz وزيادة معلومات الانتشار على مقربة من 400 MHz استخدمت رادارات محمولة جواً في المناطق الاستوائية حيث تميل النباتات إلى أن تكون الأكثر كثافة من أجل المساعدة في قياس الكتلة الحيوية في الغابات الاستوائية. ولم تستخدم هذه الرادارات في تحليل التشجير واندثار الغابات فحسب وإنما في قياس الكتلة الحيوية الشجرية فوق الأرض. وفي مواقع متعددة في الغابات الشمالية والمعتدلة على مقربة من 400 MHz أدت معطيات الاستقطاب الأفقية–الأفقية والأفقية–العمودية والعمودية–العمودية إلى تقديرات مجموع الكتلة الحيوية الجافة فوق الأرض ضمن 12% إلى 27% من الكتلة الحيوية الفعلية وذلك يتوقف على تعقيد الغابة. ففي الغابات الاستوائية، يمكن أن يساعد الرادار على مقربة من 400 MHz في تقييم الكتلة الحيوية الغابية وأن يوفر نتائج لا تحقق بأية وسيلة أخرى حتى وإن كانت سويات الكتلة الحيوية تفوق بكثير 20 kg/m^2.

إن الاختراق السطحي على مقربة من 400 MHz يكون أعمق منه على مقربة من 1 250 MHz بعامل 8 إلى 10 ويكون الأكثر ملاءمة لدراسات الدخول الأرضي. وقد يكون من الممكن استخدام رادارات مصورة على مقربة من 400 MHz من أجل تحضير وثائق عن التاريخ الجيولوجي وعن تغير المناخ في أوسع الصحارى في العالم باستخدام خرائط أنظمة نهرية جوفية وطوبوغرافيتها المحيطة ونمذجة تكتونيات على الصعيد الإقليمي في المناطق نصف الجافة من العالم عن طريق استخدام خرائط للسطح والتركيبات الجيولوجية الجوفية مثل الهوات والتصدعات كالقعيرات والحدبات.

6 متطلبات عرض النطاق للتحسس النشيط

تتوقف متطلبات عرض النطاق اللازم للتحسس النشيط على الجهاز المستعمل: أكان راداراً بفتحة تركيبية أو راداراً بفتحة حقيقية أو مقياس انتشار أو مقياس ارتفاع أو رادار أمطار وغيوم. وفي جميع الحالات يتوقف عرض النطاق على الاستبانة من حيث المسافة اللازمة ويعطى بالمعادلة التالية:

$$B = \frac{1}{\tau} = \frac{c}{2\Delta R} \quad (1)$$

حيث تكون:

B: عرض النطاق (Hz)؛

τ: مدة النبضة المكافئة (تعادل عكس عرض نطاق الضغط) (s)؛

c: سرعة الضوء (m/s)؛

ΔR: استبانة المسافة على طول حزمة الرادار (m).

وتجدر الإشارة إلى أن استبانة المسافة على سطح الرادارات الجانبية تعطى بالصيغة $\Delta R/\cos\theta_d$، حيث θ_d هي زاوية التسديد أو زاوية الارتفاع عند سطح الأرض. وعلى سبيل المثال، فإن نطاق عرض قدرته 100 MHz يعطي قيمة تبلغ 1,5 متراً لاستبانة المسافة على طول حزمة الرادار، (ΔR) بزاوية انخفاض تبلغ 60 درجة، واستبانة المسافة هذه على السطح $\Delta R/\cos\theta_d$ تبلغ 3 أمتار. وفي نطاق عرضه 500 MHz ولاستبانة أدق، يعطي ذلك قيمة 0,3 m بطول حزمة الرادار ΔR، وعند زاوية انخفاض قدرها 60 درجة تكون استبانة المسافة على السطح 0,6 m. و يمكن استعمال تقنية خفة الترددات في حالة كشف الهواطل والسحب حيث ينبغي الحصول على عدد كبير من العينات المستقلة خلال فترة وجيزة من الإرسال عند كل موقع للمسح. وفي هذه الحالة ينبغي أن يكون عرض النطاق الإجمالي للرادار مساوياً إلى $N_f \times B$ على الأقل (N_f هو عدد قنوات الترددات في نظام خفة الترددات)، مع مراعاة تباعد الترددات اللازم لعزل قنوات مستقبِل الرادار.

وختاماً، يلائم عرض نطاق بنسبة 100 MHz معظم التطبيقات التي يتوقعها الأخصائيون لأجهزة التحسس بالموجات الصغرية المحمولة على مركبة فضائية يستخدمها العلماء باستثناء مقاييس الارتفاع ورادارات الفتحة التركيبية دقيقة الاستبانة التي تتطلب نطاقات عرض أكبر.

7 ملخص نطاقات التردد وعروض النطاق اللازمة للتحسس النشيط

على الرغم من التقدم السريع الذي تشهده تقنيات التحسس النشيط عن بُعد بالموجات الصغرية، ومن أن هناك مسائل كثيرة ما تزال تحتاج إلى دراسة، إلا أنه يمكن حالياً تحديد نطاقات الترددات التي تفي بمتطلبات القياسات وتسمح بالقياس متعدد الترددات المستعمل للتمييز بين الإشارات القادمة من مصادر مختلفة. ولأسباب تتعلق بالتقاسم، ينبغي بالضرورة أن تكون نطاقات التردد المحددة خصيصاً للتحسس النشيط جزءاً من النطاقات المستعملة بالتقاسم مع خدمة تحديد الموقع راديوياً. وهكذا تكون الترددات المفضلة لقياسات التحسس النشيط عن بُعد بالسواتل قريبة من الترددات 435 MHz و1 و3 و5 و10 و14 و17 و24 و35 و78 و94 و133 و238 GHz. ويكون عرض النطاق 100 MHz هو العرض المناسب لمعظم التطبيقات التي تستعمل أدوات التحسس النشيط غير رادارات الفتحة التركيبية دقيقة الاستبانة ومقاييس الارتفاع. وقد تتطلب قياسات الارتفاع عرض نطاق قد يصل إلى 500 MHz لتحقيق الدقة اللازمة، ولكن في الوقت الحالي لا يمكن استعمال مثل هذا العرض ما عدا في النطاق الموزع للتحسس النشيط بالقرب من 14 و35 GHz. وإن استعمال نطاق آخر بعرض 500 MHz يسمح بتحقيق دقة ذات 2 cm في حالة تطبيق قياس الارتفاع في مجال علم المحيطات. وهناك نطاق تردد آخر يسمح ببلوغ هذه الدقة يبلغ حوالي 5 GHz. وفيما يتعلق بعرض نطاق رادار بفتحة تركيبية قدره 500 MHz لتحقيق استبانة أدق وفي زاوية انخفاض قدرها 60° تقاس استبانة المسافة على السطح بمقدار 0,6 m. وعرض نطاق حده الأدنى 6 MHz بالقرب من تردد 435 MHz يعتبر كافياً لتطبيقات تستخدم الرادار SAR من أجل التقييسات لرطوبة الأرض والكتلة الحيوية ولتوثيق التاريخ الجيولوجي والتغير المناخي، عن طريق قياس حجم وسماكة الصفائح الثلجية العالمية، ووضع خرائط للمناطق القاحلة وشبه القاحلة الواقعة تحت السطح مباشرة.

_____