الاتحاد الدولي للاتصالات

ITU-R

قطاع الاتصالات الراديوية في الاتحاد الدولي للاتصالات

التوصيـــة ITU-R RS.515-5

(2012/08)

نطاقات الترددات وعروض النطاق المستخدمة للاستشعار المنفعل عن بعد بالسواتل

السلسلة RS

أنظمة الاستشعار عن بعد

تمهيـــد

يضطلع قطاع الاتصالات الراديوية بدور يتمثل في تأمين الترشيد والإنصاف والفعالية والاقتصاد في استعمال طيف الترددات الراديوية في جميع خدمات الاتصالات الراديوية، بما فيها الخدمات الساتلية، وإجراء دراسات دون تحديد لمدى الترددات، تكون أساساً لإعداد التوصيات واعتمادها.

ويؤدي قطاع الاتصالات الراديوية وظائفه التنظيمية والسياساتية من خلال المؤتمرات العالمية والإقليمية للاتصالات الراديوية وجمعيات الاتصالات الراديوية بمساعدة لجان الدراسات.

سياسة قطاع الاتصالات الراديوية بشأن حقوق الملكية الفكرية (IPR)

يرد وصف للسياسة التي يتبعها قطاع الاتصالات الراديوية فيما يتعلق بحقوق الملكية الفكرية في سياسة البراءات المشتركة بين قطاع تقييس الاتصالات وقطاع الاتصالات الراديوية والمنظمة الدولية للتوحيد القياسي واللجنة الكهرتقنية الدولية (ITU-T/ITU-R/ISO/IEC) والمشار إليها في الملحق 1 بالقرار ITU-R 1. وترد الاستمارات التي ينبغي لحاملي البراءات استعمالها لتقديم بيان عن البراءات أو للتصريح عن منح رخص في الموقع الإلكتروني http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/en حيث يمكن أيضاً الاطلاع على المبادئ التوجيهية الخاصة بتطبيق سياسة البراءات المشتركة وعلى قاعدة بيانات قطاع الاتصالات الراديوية التي تتضمن معلومات عن البراءات.

سلاسل توصيات قطاع الاتصالات الراديوية

(يمكن الاطلاع عليها أيضاً في الموقع الإلكتروني http://www.itu.int/publ/R-REC/en)

السلسلة	العنـــوان
BO	البث الساتلي
BR	التسجيل من أجل الإنتاج والأرشفة والعرض؛ الأفلام التلفزيونية
BS	الخدمة الإذاعية (الصوتية)
BT	الخدمة الإذاعية (التلفزيونية)
F	الخدمة الثابتة
M	الخدمة المتنقلة وخدمة التحديد الراديوي للموقع وخدمة الهواة والخدمات الساتلية ذات الصلة
P	انتشار الموجات الراديوية
RA	علم الفلك الراديوي
RS	**أنظمة الاستشعار عن بعد**
S	الخدمة الثابتة الساتلية
SA	التطبيقات الفضائية والأرصاد الجوية
SF	تقاسم الترددات والتنسيق بين أنظمة الخدمة الثابتة الساتلية والخدمة الثابتة
SM	إدارة الطيف
SNG	التجميع الساتلي للأخبار
TF	إرسالات الترددات المعيارية وإشارات التوقيت
V	المفردات والمواضيع ذات الصلة

ملاحظة: *تمت الموافقة على النسخة الإنكليزية لهذه التوصية الصادرة عن قطاع الاتصالات الراديوية بموجب الإجراء الموضح في القرار ITU-R 1.*

النشر الإلكتروني
جنيف، 2013

© ITU 2013
جميع حقوق النشر محفوظة. لا يمكن استنساخ أي جزء من هذه المنشورة بأي شكل كان ولا بأي وسيلة إلا بإذن خطي من الاتحاد الدولي للاتصالات (ITU).

التوصيـــة ITU-R RS.515-5*

نطاقات الترددات وعروض النطاق المستخدمة للاستشعار المنفعل عن بعد بالسواتل

(2012-2003-1997-1994-1990-1978)

مجال التطبيق

تقدم هذه التوصية معلومات عن نطاقات الترددات وعروض النطاق المستخدمة للاستشعار المنفعل عن بعد بالأرض وغلافها الجوي بواسطة السواتل، من أجل أجهزة الاستشعار المنفعل بالموجات الصغرية.

إن جمعية الاتصالات الراديوية التابعة للاتحاد الدولي للاتصالات،

إذ تضع في اعتبارها

أ) أن للبيانات المتعلقة بالبيئة الأرضية أهمية متزايدة؛

ب) أن سواتل استكشاف الأرض وسواتل الأرصاد الجوية تجري الاستشعار المنفعل عن بعد بالموجات الصغرية في بعض النطاقات الموزعة لهذا الغرض وفقاً للوائح الراديو؛

ج) أن بعض هذه النطاقات موزَّع أيضاً لخدمات اتصالات راديوية أخرى؛

د) أن الحماية من التداخل في بعض الترددات أساسية للاستشعار المنفعل عن بعد وتطبيقاته؛

ه) أن لبعض النطاقات في ترددات معينة أهمية خاصة لقياسات بعض الخطوط الطيفية؛

و) أنه لقياسات مختلفة للاستشعار المنفعل عن بعد تستعمل نطاقات ترددات معينة لا يمثل موقعها المحدد في الطيف أهمية حرجة طالما يكون توزيع الترددات المركزية منتظماً بالطيف؛

ز) أن متطلبات الاستشعار المنفعل عن بعد يجب أن تُستعرض دورياً، نظراً لاستمرار التطور التكنولوجي والعلمي في النطاقات من 275 GHz إلى 000 3 GHz؛

ح) أن ثلاث فئات رئيسية من أجهزة الاستشعار المنفعل يمكن تحديدها لاستخدام النطاقات من 275 GHz إلى 000 3 GHz:

1) أجهزة سبر الغلاف الجوي العمودية ثلاثية الأبعاد التي تتطلب بيانات ذات موثوقية عالية جداً واستبانة متوسطة عبر قنوات متعددة؛

2) مقاييس الإشعاع التصويرية التي تتطلب بيانات ذات موثوقية عالية واستبانة متوسطة عبر قنوات وحيدة ذات عرض نطاق واسع نسبياً؛

3) أجهزة سبر حافة الغلاف الجوي الأعلى التي تتطلب بيانات ذات موثوقية متوسطة واستبانة عالية جداً عبر قنوات عديدة ذات عرض نطاق ضيق؛

ي) أن أياً من متطلبات الأداء يجب أن يعتمد على المتطلبات العلمية المعروفة للقياس، ولذلك يجب أن تكون استبانة البيانات ومستويات التيسر ذات معنى علمي فيما يتعلق بالتطبيقات التي تُستخدم من أجلها (مثل التنبؤ وعمليات رصد السطح ومراقبة المناخ)،

* أدخلت لجنة الدراسات 7 للاتصالات الراديوية عام 2010 تعديلات صياغية في هذه التوصية طبقاً للقرار ITU-R 1.

وإذ تلاحظ

أ) أن من غير العملي تحديد نطاقات فردية مناسبة للاستشعار المنفعل عن بعد ضمن مجال 000 1-000 3 GHz، نظراً لكثرة الخطوط الطيفية التي تهم عمليات رصد الأرض في هذا المدى؛

ب) أن الغلاف الجوي في المدى 000 1-000 3 GHz مسدود أمام أي بث بحيث يتعذر الرصد من الناحية العملية إلا عن طريق سبر حافة الغلاف الجوي الأعلى؛

ج) أن الحماية الكافية لعمليات الاستشعار عن بعد المنفعلة مضمونة أساساً، والتشارك في الترددات ممكن مع أي خدمة اتصالات راديوية أرضية، بسبب كتامة الغلاف الجوي في المدى 000 1-000 3 GHz،

توصي

1 بأن تستعمل نطاقات الترددات وما يرتبط بها من عروض النطاقات المبينة في الجدول 1 في النطاقات ما دون 275 GHz للاستشعار المنفعل بالخصائص البرية والبحرية والجوية في كوكب الأرض، وأن تُستعمل النطاقات ما بين 275 GHz و1000 GHz المبينة في الجدول 2 لأغراض الاستشعار المنفعل عن بعد بالسواتل، على أساس الملحقين 1 و2؛

2 بأن يتاح لأنظمة الاستشعار عن بعد المنفعلة بالموجات الصغرية ولأنظمة أي خدمة اتصالات راديوية أرضية أن تستخدم الترددات نفسها في المدى الترددي 000 1-000 3 GHz.

الجـــدول 1

نطاقات الترددات للاستشعار المنفعل عن بعد بالسواتل ما دون 275 GHz

نطاق (نطاقات) الترددات (GHz)	مجمل عرض النطاق اللازم (MHz)	الخط الطيفي (الخطوط الطيفية) أو التردد المركزي (GHz)	القياسات (الأرصاد الجوية–ظواهر المناخ، كيمياء) (انظر الجدول 3)	أسلوب المسح النمطي N، C، L[1]
1,427-1,37	57	1,4	رطوبة التربة، ملوحة المحيط، حرارة سطح البحر، مؤشر الغطاء النباتي	N ،C
2,7-2,64	60	2,67	ملوحة المحيط، رطوبة التربة، مؤشر الغطاء النباتي	N
4,4-4,2	200	4,3	حرارة سطح البحر	N ،C
7,25-6,425	350[4]	6,85	حرارة سطح البحر	N ،C
10,7-10,6	100	10,65	معدل الأمطار، محتوى الماء الثلجي، تشكل الجليد، حالة البحر، سرعة رياح المحيط	N ،C
15,4-15,2	200	15,3	بخار الماء، معدل الأمطار	N ،C
18,8-18,6	200	18,7	معدلات الأمطار، حالة البحر، جليد البحر، بخار الماء، سرعة رياح المحيط، إشعاعية ورطوبة التربة	N ،C
21,4-21,2	200	21,3	بخار الماء، الماء السائل	N
22,5-22,21	290	22,235	بخار الماء، الماء السائل	N
24-23,6	400	23,8	بخار الماء، الماء السائل، القناة المرتبطة لسبر الغلاف الجوي	N ،C
31,8-31,3	500	31,4	جليد البحر، بخار الماء، البقع النفطية، السحب، الماء السائل، حرارة السطح، النافذة المرجعية للمدى 50-60 GHz	N ،C
37-36	1 000	36,5	معدلات الأمطار، ثلج، جليد البحر	N ،C
50,4-50,2	200	50,3	نافذة السحاب المرجعية لتحديد نمط حرارة الغلاف الجوي (حرارة السطح)	N ،C

الجـــدول 1 *(تتمة)*

نطاق (نطاقات) الترددات (GHz)	مجمل عرض النطاق اللازم (MHz)	الخط الطيفي (الخطوط الطيفية) أو التردد المركزي (GHz)	القياسات (الأرصاد الجوية–ظواهر المناخ، كيمياء) (انظر الجدول 3)	أسلوب المسح النمطي N، C، L[1]
59,3-52,6	6 700[2]	عدة خطوط ما بين 59,3-52,6	تحديد نمط حرارة الغلاف الجوي (خطوط امتصاص O_2)	N، C
92-86	6 000	89	سحب، بقع نفطية، جليد، ثلج، مطر، نافذة مرجعية لسبر الحرارة قرب 118 GHz	N، C
102-100	2 000	100,49	N_2O، NO	L
111,8-109,5	2 300	110,8	O_3	L
116-114,25	1 750	115,27	CO	L
122,25-115,25	7 000[2]	118,75	تحديد نمط حرارة الغلاف الجوي (خطوط امتصاص O_2)	N، L
151,5-148,5	3 000	150,74	N_2O، حرارة سطح الأرض، معلمات السحاب، نافذة مرجعية للسبر الحراري	N، L
158,5-155,5[3]	3 000	157	معلمات الأرض والسحاب	N، C
167-164	3 000[2]	164,38، 167,2	N_2O، ماء وجليد السحب، مطر، CO، ClO	N، C، L
191,8-174,8	17 000[2]	175,86، 177,26، 183,31، 184,75	N_2O، تحديد نمط بخار الماء، O_3	N، C، L
209-200	9 000[2]	200,98، 203,4، 204,35، 206,13، 208,64	N_2O، ClO، بخار الماء، O_3	L
231,5-226	5 500	226,09، 230,54، 231,28	سحب، رطوبة، N_2O (226.09 GHz)، CO (230.54 GHz)، O_3 (231.28 GHz)، نافذة مرجعية	N، L
238-235	3 000	235,71، 237,15	O_3	L
252-250	2 000	251,21	N_2O	L

(1) N: نظير السمت، تركز أساليب مسح نظير السمت على السبر أو أو مشاهدة سطح الأرض في زوايا ورود عمودية تقريباً. وينتهي المسح عند السطح أو في مستويات متنوعة في الغلاف الجوي وفقاً لدوال الترجيح. L: طرف، تشاهد أساليب مسح الطرف الغلاف الجوي "على الحافة" وتنتهي في الفضاء وليس على السطح، وبالتالي فإن ترجيحها صفر على السطح وفي حده الأقصى في ذروة نقطة المماس. C: مخروطي، تشاهد أساليب المسح المخروطي سطح الأرض بتدوير الهوائي بزاوية تخالُف من اتجاه نظير السمت.

(2) تشغل قنوات متعددة عرض النطاق هذا.

(3) يلزم هذا النطاق حتى عام 2018 لاستيعاب أجهزة الاستشعار القائمة والمزمعة.

(4) عرض النطاق هذا هو عرض النطاق المطلوب لأجهزة الاستشعار ضمن المدى الترددي الوارد في العمود 1.

الجـــدول 2

نطاقات الترددات ما بين 275 GHz و1000 GHz لأغراض الاستشعار المنفعل عن بعد بالسواتل

نطاق (نطاقات) الترددات (GHz)	مجمل عرض النطاق اللازم (MHz)	الخط الطيفي (الخطوط الطيفية) (GHz) (انظر الجدول 3)	القياسات			أسلوب المسح النمطي N، C، L[1]
			الأرصاد الجوية – ظواهر المناخ	النافذة (GHz)	كيمياء	
285,4-275	10 400	276,33 (N_2O)، 278,6 (ClO)		285,4-276,4	ClO ،N_2O	L
306-296	10 000	نافذة من أجل 298,5 ،325,1، 300,22 (HNO_3)، 301,44 (HOCl)، (N_2O)، 303,57 (O_3)، 304,5، 305,2 ($O^{17}O$)، (HNO_3)	قناة جناح لسبر الحرارة	306-296	أوكسجين، HNO_3، HOCl، N_2O، O_3، $O^{17}O$	N، L
355,6-313,5	42 100	313,8 (HDO)، {315,8، 346,9، 344,5، 352,9} (ClO)، {318,8، 345,8، 344,5} (HNO_3)، {321,15، 325,15} (H_2O)، {321، 345,5، 352,3، 352,6، 352,8} (O_3)، {322,8، 343,4} (HOCl)، {345,0، 345,4} (CH_3Cl)، 345,0 ($O^{18}O$)، 345,8 (CO)، 346 (BrO)، 349,4 (CH_3CN)، 351,67 (N_2O)، 354,5 (HCN)	تحديد نمط بخار الماء، سحاب، قناة جناح لسبر الحرارة	348,5-339,5	HDO، ClO، HNO_3، H_2O، O_3، HOCl، CH_3Cl، $O^{18}O$، CO، BrO، CH_3CN، N_2O، HCN	N، C، L
365-361,2	3 800	364,32 (O_3)	قناة جناح لتحديد نمط بخار الماء		O_3	N، L
391,2-369,2	22 000	380,2 (H_2O)	تحديد نمط بخار الماء		H_2O	N، L
399,2-397,2	2 000		تحديد نمط بخار الماء			N، L
411-409	2 000		سبر الحرارة			L
433,46-416	17 460	424,7 (O_2)	أكسجين، تحديد نمط الحرارة		O_2	N، L
466,3-439,1	27 200	442 (HNO_3)، {443,1، 448} (H_2O)، 443,2 (O_3)، 452,09 (N_2O)، 461,04 (CO)	تحديد نمط بخار الماء، سحاب	466,3-458,5	HNO_3، H_2O، O_3، N_2O، CO	N، L، C

الجـــدول 2 *(تابع)*

نطاق (نطاقات) الترددات (GHz)	مجمل عرض النطاق اللازم (MHz)	الخط الطيفي (الخطوط الطيفية) (GHz) (انظر الجدول 3)	القياسات		أسلوب المسح النمطي N، C، L[1]
			الأرصاد الجوية – ظواهر المناخ	النافذة (GHz)	كيمياء
496,75-477,75	19 000	487,25 (O_2)	أكسجين، تحديد نمط الحرارة		O_2	L
502-497	5 000	{497,6، 497,9} 497,9 (BrO)، 498,6 ($N_2{}^{18}O$)، (O_3)	قناة جناح لتحديد نمط بخار الماء	502-498	BrO، $N_2{}^{18}O$، O_3	L، N
527-523	4 000	نافذة من أجل 556,9	قناة جناح لتحديد نمط بخار الماء	527-523		N
581-538	43 000	{541,26، 542,35، {550,90، 556,98} (HNO_3)، {544,99، {566,29، 571,0} (O_3)، 556,93 (H_2O)، 575,4 (ClO)	تحديد نمط بخار الماء	542-538	HNO_3، O_3، H_2O، ClO	L، N
629,7-611,7	18 000	620,7 (H_2O)، 624,27 (ClO_2)، {624,34، 624,89، {625,84، 626,17} (SO_2)، {624,48، 624,78} (HNO_3)، 624,77 (^{81}BrO)، 624,8 (CH_3CN)، 624,98 ($H^{37}Cl$)، 625,04 (H_2O_2)، {625,07، 628,46} 625,37 (HOCl)، 625,66 (O_3)، 625,92 (HO_2)، 627,18 ($H^{35}Cl$)، 627,77 (CH_3Cl)، ($O^{18}O$)	تحديد نمط بخار الماء، أكسجين		أكسجين، H_2O، ClO_2، SO_2، BrO، HNO_3، CH_3CN، H_2O_2، ($H^{37}Cl$)، O_3، HOCl، $H^{35}Cl$، HO_2، $O^{18}O$، CH_3Cl	L
654-634	20 000	635,87 (HOCl)، 647,1 ($H_2{}^{18}O$)، 649,24 (SO_2)، 649,45 (ClO)، 649,7 (HO_2)، 650,18 (^{81}BrO)، 650,28 (HNO_3)، 650,73 (O_3)، 651,77 (NO)، 652,83 (N_2O)	قناة جناح لتحديد نمط بخار الماء	651-634,8	$H_2{}^{18}O$، HOCl، ClO، SO_2، BrO، HO_2، O_3، HNO_3، NO، N_2O	L، N

الجـــدول 2 (تتمة)

نطاق (نطاقات) الترددات (GHz)	مجمل عرض النطاق اللازم (MHz)	الخط الطيفي (الخطوط الطيفية) (GHz) (انظر الجدول 3)	القياسات		أسلوب المسح النمطي N، C، L[1]
			الأرصاد الجوية – ظواهر المناخ	النافذة (GHz)	كيمياء
692-656,9	35 100	658 (H_2O)، 660,49 (HO_2)، 687,7 (ClO)، 688,5 (CH_3Cl)، 691,47 (CO)	تحديد نمط بخار الماء، سحاب	689,5-676,5	H_2O، HO_2، ClO، CH_3Cl، CO	C ،N ،L
717,4-713,4	4 000	715,4 (O_2)	أكسجين		O_2	L
733-729	4 000	731 (HNO_3)، 731,18 ($O^{18}O$)	أكسجين		HNO_3، $O^{18}O$	L
754-750	4 000	752 (H_2O)	ماء		H_2O	L
775,8-771,8	4 000	773,8 (O_2)	أكسجين		O_2	L
845,15-823,15	22 000	834,15 (O_2)	أكسجين		O_2	L ،C ،N
854-850	4 000	852 (NO)			NO	L
861,9-857,9	4 000	859,9 (H_2O)	ماء		H_2O	L
882-866	16 000		سحاب، نافذة			C ،N
927,17-905,17	22 000	916,17 (H_2O)	ماء		H_2O	L ،N
956-951	5 000	952 (NO)، 955 ($O^{18}O$)	أكسجين		NO، $O^{18}O$	L
972,31-968,31	4 000	970,3 (H_2O)	ماء		H_2O	L
989,9-985,9	4 000	987,9 (H_2O)	ماء		H_2O	L

(1) N: نظير السمت، تركز أساليب مسح نظير السمت على السبر أو مشاهدة سطح الأرض في زوايا ورود عمودية تقريباً. وينتهي المسح عند السطح أو في مستويات متنوعة في الغلاف الجوي وفقاً لدوال الترجيح. L: طرف، تشاهد أساليب مسح الطرف الغلاف الجوي "على الحافة" وتنتهي في الفضاء وليس على السطح، وبالتالي فإن ترجيحها صفر على السطح وفي حده الأقصى في ذروة نقطة المماس. C: مخروطي، تشاهد أساليب المسح المخروطي سطح الأرض بتدوير الهوائي بزاوية تخالُف من اتجاه نظير السمت.

الجـــدول 3

الجزيئات الرئيسية للاستشعار المنفعل عن بعد ما دون GHz 1 000

الجزيء	الاسم الكيماوي	الجزيء	الاسم الكيماوي	الجزيء	الاسم الكيماوي
BrO	أول أكسيد البروم	CH_3Cl	كلوريد الميثيل	CH_3CN	الأسيتونيتريل
ClO	أول أكسيد الكلور	ClO_2	ثاني أكسيد الكلور	CO	أول أكسيد الكربون
$H^{35}Cl$	كلوريد الهيدروجين	HCN	زرنيخ الهيدروجين	HDO	أكسيد الديوتيريوم البروتيوم
HNO_3	حمض النيتريك	H_2O	ماء	$H_2{}^{18}O$	
HO_2	فوق أكسيد الهيدروجين	H_2O_2	ماء الأوكسجين	HOCl	حمض تحت الكلور
NO	أكسيد النيتريك	N_2O	أكسيد النيتروز	O_3	الأوزون

الملحق 1

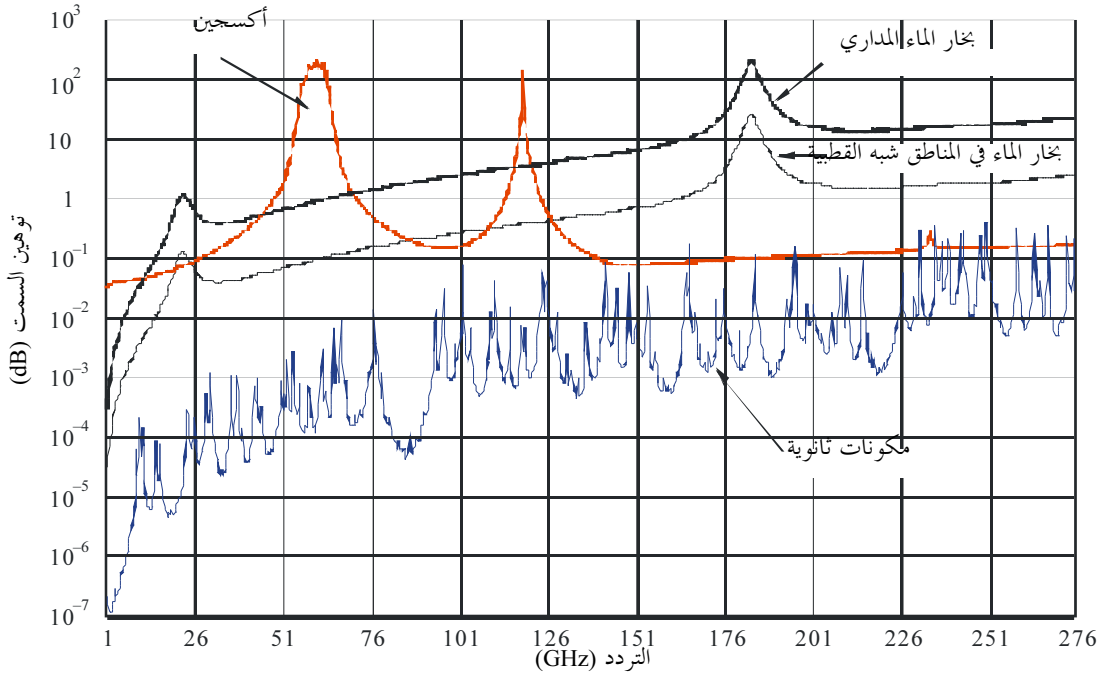
اختيار ترددات الاستشعار المنفعل عن بعد بالسواتل

1 مقدمة

تُبث طاقة الترددات الصغرية وتُمتص على سطح الأرض وفي الغلاف الجوي فوقه. وتتغير خصائص الإرسال في الغلاف الجوي الممتص حسب التردد كما يتضح في الشكلين 1أ و1ب. ويبين هذان الشكلان القيم المحسوبة للتوهين على مسير سمتي باتجاه واحد (زاوية الارتفاع 90°) للأكسجين وبخار الماء ومكونات ثانوية. وهذه الحسابات هي لمسير بين سطح الأرض وساتل. وتظهر هذه الحسابات نطاقات الترددات التي يكون الغلاف الجوي مسدوداً أمامها فتعجز عن اختراقه، ونطاقات ترددات أخرى يكاد يكون الغلاف الجوي مفتوحاً أمامها. ففي سبر نظير السمت على سبيل المثال، يمكن استخدام المناطق أو النوافذ شبه المفتوحة لرصد ظواهر على سطح الأرض، فيما تُستخدم المناطق المسدودة لرصد الغلاف الجوي.

الشـــكل 1أ

التوهين السمتي الجوي مقابل التردد، 1-275 GHz

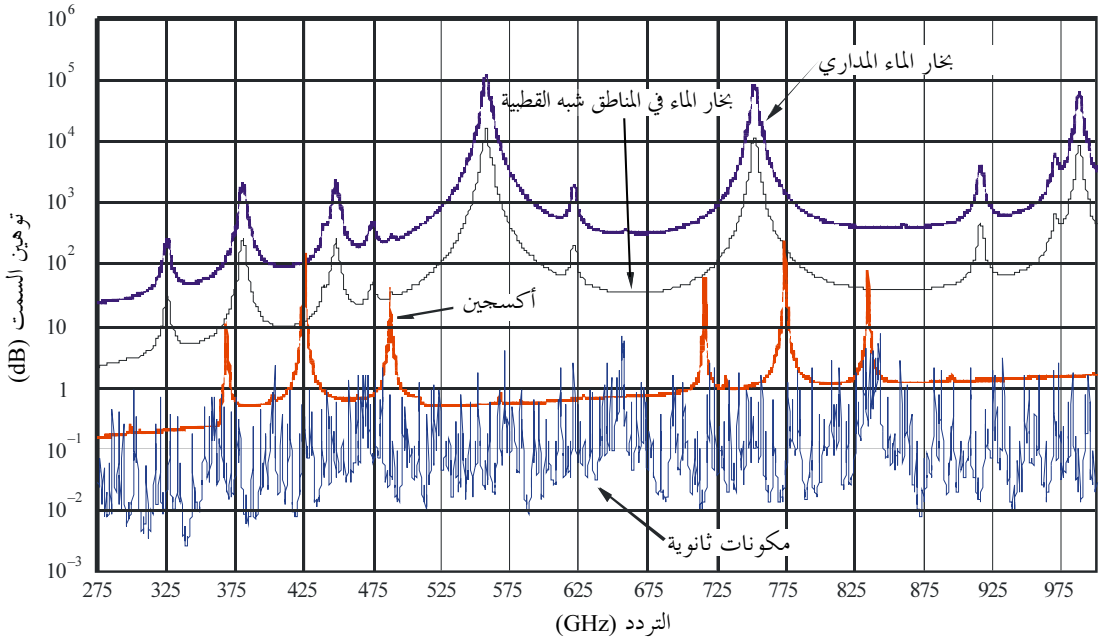


RS.0515-01a

وتستخلص حرارة لمعان السطح وحرارة الغلاف الجوي بنقاط على طول المسير وكذلك معاملات الامتصاص من قياسات حرارة الهوائي T_A. وتعتمد حرارة لمعان السطح ومعاملات الامتصاص على خصائص طبيعية للسطح أو الغلاف الجوي الذي تجري دراسته. ولا يمكن بمجرد رصد تردد واحد تقدير معلمة فيزيائية واحدة. لذلك، قبل أن يتسنى التوصل إلى حلول، ينبغي رصد عدة ترددات في نفس الوقت ودمج النتائج بنماذج لتغير حرارة لمعان السطح وتغير معاملات الامتصاص حسب الترددات وحسب المعلمات الفيزيائية.

الشـــكل 1ب

التوهين السمتي الجوي مقابل التردد، 275-000 1 GHz



RS.0515-01b

ويتم اختيار الترددات لأجهزة الاستشعار المنفعل عن بعد بالترددات الصغرية أساساً حسب الظاهرة المزمع قياسها. ويكون الاختيار محدوداً بالنسبة لبعض التطبيقات وخاصة قياسات الإشعاعات بالترددات الصغرية لغازات الغلاف الجوي؛ ويتوقف على ترددات الخطوط الطيفية لهذه الغازات. وفي حالات أخرى يكون مدى الترددات التي تستند إليها دراسة هذه الظواهر أكثر اتساعاً.

2 قياسات الغلاف الجوي

لا يحدث التوهين بسبب الغلاف الجوي في طبقة واحدة وبدرجة حرارة ثابتة. وتتوقف غالباً القيمة المقيسة لحرارة الهوائي على حرارة الجو في المجال حيث يقل التوهين الإجمالي في المسير إلى الساتل عن 10 dB ولا تتوقف كثيراً على حرارة الغلاف الجوي في المناطق حيث يبلغ التوهين قيماً ضئيلة أو تكون قيمته الإجمالية كبيرة بالمسير حتى الساتل. ويمكن قياس الحرارة على ارتفاعات أو مسافات مختلفة على طول مسير باختيار ترددات على حدود مناطق مسدودة بقيم توهين مختلفة تعطي دالات مرجحة أو معاملات ضرب مختلفة للحرارة الجوية $T_{(s)}$ في نقطة معينة.

ويمكن اختيار عدد من الترددات المختلفة للتوصل إلى مجموعة معقولة من دالات الترجيح لقياسات حرارة الغلاف الجوي وبخار الماء والأوزون وأوكسيد الكلورين والأكسيد النيتري وأول أكسيد الكربون. وبالنسبة لقياسات الجزيئيات الأربعة الأخيرة فليس لكل خط بنية دقيقة بشكل كاف كما في نطاق تحديد نمط حرارة O_2 وعرض النطاق لا يكفي كما هو الحال في نطاق بخار الماء البالغ حوالي 22,235 GHz بحيث يمكن قياس البيانات الوصفية على خط واحد مع مراعاة القيود التي يفرضها الساتل فيما يتعلق بوقت الدمج. لذلك هناك حاجة إلى قياسات بعدة خطوط حتى يمكن الحصول على معلومات تحديد نمط بشأن هذه العناصر المكونة.

ويمكن الحصول حالياً على البيانات الوصفية للحرارة الجوية من أجهزة سبر تُحمل جواً وتقيس في أطياف ما تحت الحمراء (IR) وصغرية الموجة (ويبلغ الامتصاص الأكسجيني 60 GHz).

وإذا ما قورنت بتقنيات الأشعة ما تحت الحمراء (IR)، لعل القدرة العاملة في كل الأحوال الجوية (قدرة جهاز الاستشعار المحمول جواً على "النظر" عبر أكثرية السحب) هي أهم خاصية تقدمها التقنيات بموجة صغرية. وهذا عنصر أساسي للتنبؤ العملياتي بالطقس وتطبيقات العلوم الجوية نظراً إلى أن أكثر من 60% من سطح الأرض في المتوسط مغطى بالسحب بشكل كامل وفقط 5% من أي نقطة 20×20 Km^2 (بما يقابل الاستبانة الفضائية النمطية للمسابر العاملة بالأشعة ما تحت الحمراء) خال من السحب. وتعيق هذه الحالة بشدة تشغيل المسابر العاملة بالأشعة ما تحت الحمراء التي لا يكون لها إلا نفاذ صغير أو لا نفاذ على الإطلاق إلى مناطق واسعة عالية النشاط في الأرصاد الجوية.

والمنطقة العريضة المسدودة ما بين 50 GHz و66 GHz تتكون من عدد من خطوط الامتصاص الضيقة (المسدودة) ويمكن إجراء عمليات رصد إما على حواف مجمع الخطوط أو في الوديان بين الخطوط. ويقل كمون الطيف المقبل لامتصاص O_2 حول التردد 118 GHz بسبب بنيته الخاصة (أحادية اللون مقارنة بالتركيبة الغنية متعددة الألوان على مقربة من 60 GHz) ويتأثر بدرجة أكبر بالتوهين الذي تسببه الرطوبة الجوية.

ويمكن أن تؤدي السحب والأمطار إلى المزيد من التوهين عند ظهورها على طول المسير. ويمكن استشعار الأمطار والسحب في نوافذ الغلاف الجوي بين 5 و150 GHz. وهناك حاجة إلى إجراء عدة رصدات على مدى ترددات واسع لفصل الأمطار عن السحب وفصل آثارها عن البث المنبعث من سطح الأرض.

ويمكن استخدام هندسة سبر حافة الغلاف الجوي الأعلى، أي رصد الغلاف الجوي على خط المماس، من جهاز ساتلي أو محمول جواً لاستخراج البيانات الوصفية لتركيز أنواع التتبع المفيدة لاستقصاء كيمياء الغلاف الجوي. وسبر حافة الغلاف الجوي الأعلى أكثر حساسية ويتيح استبانة عمودية أعلى بالمقارنة مع سبر نظير السمت. وفي الترددات القريبة من 500 GHz فأعلى بأطوال الموجة ما دون المليمترية، يمكن الهبوط بالسبر إلى طبقة الستراتوسفير السفلى. وفي الترددات ذات أطوال الموجة المليمترية، ولا سيما ما بين 180 و360 GHz، يمكن التوغل في الهبوط بالسبر، أي وصولاً إلى طبقة التروبوسفير العليا.

3 القياسات في البر والبحر

يُرسل البث الصادر من سطح الأرض عبر الغلاف الجوي إلى الساتل. وإذا ارتفعت قيم التوهين، تعذر الاستشعار بهذا البث. وحتى يمكن قياس حرارة الطبقات السفلى للغلاف الجوي ينبغي أن يكون التوهين ضعيفاً؛ وفي هذه الحالة، ينبغي دمج بث سطح الأرض والغلاف الجوي حتى يمكن الاستشعار عن بعد بحرارة أدنى طبقة للغلاف الجوي. وينبغي إجراء قياسات إضافية داخل قنوات النوافذ للفصل بين نمطين من المساهمات. ويتناسب بث السطح مع الحرارة والبثية على السطح. وتتوقف هذه الخصائص على طبيعة العزل الكهربائي للأرض ومدى خشونة الأرض. وإذا ما قلت هذه البثية عن واحد، تُرسل إشعاعات من السطح وتنتشر. وتصدر هذه الإشعاعات المنتشرة من بث إلى الأسفل يأتي من الغلاف الجوي فوق السطح. وعندما تكون قناة النافذة بقيم توهين ضئيلة تكون الإشعاعات غير ملحوظة؛ وفي غير ذلك من الحالات تؤخذ قيمتها في الاعتبار من أجل التوصل إلى حل.

ولا تتغير حرارة لمعان السطح حسب التردد بنفس سرعة تغير البث من خطوط الامتصاص الجوي. وبما أن تأثير خصائص السطح يتغير ببطء حسب التردد فإن تحديد قيم هذه الخصائص يتطلب إجراء عدة رصدات في نفس الوقت على مدى ترددات واسع في النوافذ الجوية. ولا يمكن التفرقة بين المعلمات المختلفة إلا في حالة اختلاف تغير هذه المعلمات حسب التردد. وإن حرارة اللمعان في سطح المحيط تتوقف على درجة الملوحة والحرارة والرياح. ويعدل هبوب الرياح حرارة اللمعان إذ تجعل السطح خشناً فيعلوه الزبد الذي تختلف خصائص العزل الكهربائي فيه عن خصائص الماء. وتقاس الملوحة على أفضل وجه عند ترددات أدنى من 3 GHz، وعندما تلزم الدقة العالية جداً في القياس يجري القياس بأدنى من 1,5 GHz. ويجري قياس حرارة سطح البحر على أفضل وجه بين 3 و10 GHz ويكون التردد الأمثل قريب من 5 GHz. وتؤثر الرياح على الرصد في جميع الترددات، لكن أفضل القياسات تتم فوق 15 GHz.

وإن لطبقات الجليد أو النفط العائمة على سطح البحر خصائص عزل كهربائي تختلف عن خصائص الماء مما يسمح باستشعارها عن بعد نتيجة تغير حرارة اللمعان. ويمكن أن تؤدي البقع النفطية إلى تغير حرارة اللمعان فوق 30 GHz بمقدار يزيد على 50 K ويمكن لطبقة الجليد أن تؤدي إلى تغير الحرارة بمقدار يزيد على 50 K في مدى الترددات من 1 إلى 40 GHz. ورغم أنه يمكن لطبقات الجليد أو النفط العائمة أن تفضي إلى تغير كبير في حرارة اللمعان، يجب إجراء عدد من الرصدات في كل نافذة في الغلاف الجوي لفصل آثار الجليد و النفط عن آثار الأمطار والسحب.

ويمكن كشف محتوى الرطوبة في الطبقات السطحية بترددات الموجات الصغرية. وتتغير حرارة لمعان الثلج والتربة بتغير محتوى الرطوبة والتردد. وعموماً كلما كان التردد أدنى، كانت الطبقة التي يُستشعر بها عن بعد أكثر سماكة. وبما أن الرطوبة على السطح مرتبطة ببيانات الرطوبة الوصفية تحت السطح فقد يكون من المفيد إجراء رصدات في ترددات أعلى. وعند استشعار الجليد الذائب عن بعد بالقرب من السطح توفر رصدات بالتردد 37 GHz أو أعلى معظم المعلومات المطلوبة. وتكون أفضل الترددات تحت 3 GHz عند استشعار التربة عن بعد، خاصة التربة المغطاة بطبقة نباتية. وعملياً، ينبغي إجراء الاستشعار عن بعد بعدة ترددات بحيث يمكن تصنيف الأسطح وفقاً لدرجة خشونتها أو التغطية النباتية أو عمر طبقة الجليد البحري إلخ، هذا من ناحية، وقياس معلمات مثل سمك الجليد أو محتوى الرطوبة، من ناحية أخرى.

الملحق 2

العوامل المرتبطة بتحديد عروض النطاقات المطلوبة

1 حساسية مستقبلات قياس الإشعاع

إن مستقبل قياس الإشعاع هو جهاز لقياس الإشعاعات الحرارية التي يجمعها الهوائي الخاص به والضوضاء الحرارية الناتجة عن مستقبِل قياس الإشعاع. وبدمج الإشارة المستقبَلة يمكن خفض تغيرات الضوضاء العشوائية وإجراء تقييم دقيق لمجموع قدرات الضوضاء الحرارية للمستقبل والضوضاء الحرارية للإشعاعات الخارجية. وبتحويل قدرة الضوضاء في كل وحدة عرض النطاق إلى حرارة ضوضاء مكافئة، يمكن التعبير عن مدى تأثير الدمج في خفض نسبة عدم التيقن من القياس وذلك بالمعادلة التالية:

$$\Delta T_e = \frac{\alpha(T_A + T_N)}{\sqrt{B\tau}}$$

حيث تكون:

ΔT_e: استبانة قياس الإشعاع (عدم التيقن الفعال بشأن تقدير الضوضاء الإجمالية في النظام، $T_A + T_N$)

α: ثابت نظام الاستقبال، ≤ 1، حسب تصميم النظام

T_A: حرارة الهوائي

T_N: حرارة ضوضاء المستقبل

B: الاستبانة الطيفية لمقياس الإشعاع الطيفي أو عرض النطاق قناة قياس إشعاع واحدة

τ: مدة الدمج.

ويعتمد ثابت نظام الاستقبال، α، على نوع نظام الكشف. ولمجمل مقاييس قدرة الإشعاع التي تستخدمها أجهزة الاستشعار في خدمة استكشاف الأرض الساتلية، لا تقل قيمة هذا الثابت عن الواحد. وفي الممارسة العملية، يقترب هذا الثابت كثيراً من قيمة واحد في معظم مقاييس قدرة الإشعاع الحديثة.

وعندما يزيد طول الموجة عن 3 cm يمكن الحصول على حرارة ضوضاء بالمستقبل تقل عن 150 K بمكبرات معلمات بالحالة الصلبة. وعندما يقل طول الموجة عن 3 cm فإنه يستعمل عادة مستقبل فوقي بحرارة ضوضاء تقدر بعدة مئات من الدرجات عند 3 cm وبحوالي 2000 K عند 3 mm. وسيسمح تحسين ترانزستور الحركة الإلكترونية العالية باستعمال مكبرات أولية قليلة الضوضاء بنسبة حرارة لضوضاء المستقبل تبلغ 300 K عند 5 mm.

وبالإضافة إلى تحسين حرارة ضوضاء المستقبل باستعمال مكبرات أولية قليلة الضوضاء يمكن أيضاً تخفيض عدم التيقن ΔT_e (أي زيادة الحساسية) في أجهزة قياس الإشعاع المحمولة بالسواتل بزيادة عرض النطاق المستعمل وباستعمال تشكيلات خاصة للمقياس تسمح بالتوصل إلى الوقت الأمثل للدمج. وحسب الاستبانة الفضائية المطلوبة يقتصر وقت دمج مقاييس الإشعاع المحمول بسواتل المدارات المنخفضة على عدة ثوان على الأكثر بسبب السرعة النسبية للسواتل.

2 خصائص أجهزة الاستشعار المنفعل عن بعد

إن جهاز الاستشعار النمطي المستخدم لقياس العديد من المظاهر في الغلاف الجوي وسطح الأرض هو جهاز استشعار ماسح. ويمكن تحسين عرض التغطية وتضييق عرض النطاق من خلال استخدام أجهزة استشعار مكنسة الدفع. ويمكن خفض قيم ΔT_e من خلال استخدام أجهزة استشعار مكنسة الدفع بفضل إمكانية إطالة وقت الدمج في كل رصدة.

وتحدَد متطلبات عرض النطاق لجهاز استشعار منفعل عن بعد يقيس الغازات النزرة في الغلاف الجوي بعروض خطوط الغازات المرصودة وبفرصة رصد عدد من خطوط الغازات نفسها أو المختلفة في النافذة عينها.

ويعتمد عرض خطوط انبعاث الغازات في الغلاف الجوي على الضغط أساساً. ويملي هذا الاعتماد متطلبات الحد الأدنى من عرض النطاق (والاستبانة أيضاً). فعلى مستوى الأرض، تكون عروض الخطوط بواقع بضعة غيغاهرتزات. وفي طبقة الستراتوسفير، تضيق إلى ميغا هرتزات قليلة. ونظراً لاتساع عروض هذه الخطوط في المناطق الأقل ارتفاعاً، فإن أجهزة سبر حافة الغلاف الجوي الأعلى العاملة بالموجات الميلليمترية (أعلى من 100 GHz) تتطلب عروض نطاق واسعة جداً بواقع 10 GHz.

وقد أجريت دراسات لتحديد المتطلبات اللازمة لحساسية الاستشعار والاستبانة المكانية ووقت التكامل والاستبانة الطيفية. وترد هذه المتطلبات في التوصية ITU-R RS.2017.