

东亚洋面 AMSR2 7.3 GHz 观测中的射频干扰分析

吴莹^{1,2*}, 李美欣^{1,2}

¹南京信息工程大学气象灾害预报预警与评估协同创新中心/中国气象局
气溶胶与云降水重点开放实验室, 江苏 南京 210044;
²南京信息工程大学大气物理学院, 江苏 南京 210044

摘要 基于 AMSR2(Advanced microwave scanning radiometer 2)一级亮温数据,利用广义 RI 指数识别方法评价东亚洋面上 AMSR2 7.3 GHz 通道测量数据受射频干扰(RFI)信号的影响程度,并与谱差法的检测结果进行了对比分析。结果表明:二者检测出通道中 RFI 信号的污染位置和时间变化特征基本相同,但广义 RI 指数识别方法检测出的 RFI 信号强度更大、范围更广、像素更多;相同频率下,采用垂直极化方式观测的 RFI 信号比水平极化方式的多;RFI 信号在东亚海域分布呈现东北—西南走向的狭长条带状,且位置和范围均随观测时间的变化而变化;对于 AMSR2 而言,洋面 7.3 GHz 通道 RFI 信号只出现在降轨观测中,主要来源于洋面反射的位于赤道上空静止卫星的下行信号。

关键词 遥感; 卫星; 星载微波辐射计; AMSR2; 射频干扰

中图分类号 P413.2

文献标志码 A

doi: 10.3788/LOP57.092801

Analysis of Radio Frequency Interference in AMSR2 7.3 GHz Channels over East Asian Ocean

Wu Ying^{1,2*}, Li Meixin^{1,2}

¹*Collaborative Innovation Center on Forecast and Evaluation of Meteorological Disasters, CMA Key Laboratory for Aerosol-Cloud-Precipitation, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing, Jiangsu 210044, China;*

²*School of Atmospheric Physics, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing, Jiangsu 210044, China*

Abstract Based on the advanced microwave scanning radiometer 2 (AMSR2) first level brightness temperature data, the influence of radio frequency interference (RFI) signal on AMSR2 7.3 GHz channel measurement data over East Asian Ocean is evaluated with generalized RI index identification method, and the results are compared with those obtained by spectrum difference method. The results show that the location and time variation characteristics of the RFI signal contamination detected by the two methods are almost the same, but the RFI signal detected by the generalized RI index recognition method has larger intensity, wider range and more pixels. At the same frequency, more RFI signals are observed by vertical polarization than by horizontal polarization. The distribution of RFI signals over East Asian Ocean shows a long and narrow strip with a northeast to southwest trend, and its position and range vary with the observation time. For AMSR2, the 7.3 GHz RFI signal on the ocean surface only appears in the descending orbit observation and is mainly from the downlink signal of the stationary satellite over the equator reflected by the ocean surface.

Key words remote sensing; satellite; spaceborne microwave radiometer; advanced microwave scanning radiometer 2(AMSR2); radio frequency interference

OCIS codes 280.4991; 010.5620; 120.0280

收稿日期: 2019-06-19; 修回日期: 2019-09-03; 录用日期: 2019-09-12

基金项目: 国家自然科学基金(41305033)

* E-mail: wuying_nuist@163.com

1 引言

微波通道具有全天时、全天候和多极化观测特点,能弥补可见光和红外通道的不足^[1-2],因此在地表^[3-4]和大气参数^[5-6]反演中起着重要作用。然而,星载微波辐射计接收的不仅有来自地球表面自然发射的微波辐射,还包括了主动微波发射器发出的辐射以及地球表面反射的辐射,将这些夹杂在自然发射信号中的干扰信号^[7]称为射频干扰(RFI)信号。虽然RFI信号降低了星载微波数据的可靠性^[8-10],但目前的传感器仍需要使用这些无保护的频段才能实现特定目标的观测^[11]。在检测和抑制星载微波辐射计观测中的RFI信号方面,国内外学者进行了大量研究,以提高识别RFI信号的准确性,为评估微波数据反演地表和大气参数的准确性^[12-13]提供了参考。

Li等^[7]首次发现AMSR-E(Advanced microwave scanning radiometer-earth observing system)C波段信道中存在大范围的RFI信号,并使用谱差法量化RFI信号的强度和范围,之后,Li等^[14]第一次将主成分分析(PCA)法应用于陆地区域的RFI信号分析;Zhao等^[15]针对识别冰雪覆盖区域的RFI信号时,会产生大量假信号的问题,提出了双主成分分析^[15-16](DPCA)法;Njoku等^[17]通过RFI指数的标准偏差检验了全球陆地上AMSR-E信道中RFI信号的空间和时间分布特征;Lacava等^[18]提出了一种可以在AMSR-E C波段数据上实施的多时相方法,以确定区域受RFI信号的影响;官莉等^[19]分析了陆地上AMSR2 7.3 GHz通道的RFI信号分布。对洋面区域的RFI信号,一般使用多通道回归算法^[14,20]。Adams等^[21]提出了一种识

别洋面区域RFI信号的卡方概率法;Zou等^[22]使用标准化主成分分析(NPCA)法研究了洋面电视信号反射引起AMSR-E中的RFI信号污染;官莉等^[23]采用DPCA法检测了水面上的RFI信号;周泽华等^[24]使用NPCA法对FY-3C上搭载的微波成像仪(MWRI)在洋面上的电视干扰信号进行识别;Zabolotskikh等^[25]发现通道之间的亮度温差比例不受区域和季节的限制,并通过设置不同通道的光谱差异比例阈值检测RFI信号;Tian和Zou^[26]开发了一个经验模型,以定量计算电视信号对AMSR2观测的干扰。

地球表面的微波发射源或反射源分布数据可作为验证RFI信号检测结果的“真值”。但该数据难以获取,因此使用两种或两种以上相互独立的检测方法可评价RFI信号的检测效果及可靠性。本文采用广义RI指数(Radio frequency interference index)法和谱差法,检测东亚地区洋面上AMSR2中新增C波段通道中的RFI信号,分析两种结果间的差异,为评估不同识别算法的效果提供了参考。

2 AMSR2 仪器和通道介绍

AMSR2仪器是一种搭载在GCOM-W1卫星上的先进圆锥扫描微波辐射计^[27],轨道高度为700 km。与AMSR-E相比,AMSR2提供了更高的空间分辨率。AMSR2共有7个频率,14个通道,分别测量了6.925,7.3,10.65,18.7,23.8,36.5,89.0 GHz通道下水平和垂直(H-pol and V-pol)极化方式时的亮温,同时观测了不同天气条件下的陆地和海洋表面,具体的通道特性如表1所示。其中,7.3 GHz通道是其他星载微波辐射计不具有的。

表1 AMSR2 通道特征参数

Table 1 AMSR2 channel characteristics

Center frequency /GHz	Polarization	Band width /MHz	Spatial resolution /km	Sensitivity /K
6.925	H/V	350	35×62	0.34
7.3	H/V	350	34×58	0.43
10.65	H/V	100	24×42	0.7
18.7	H/V	200	14×22	0.7
23.8	H/V	400	15×26	0.6
36.5	H/V	1000	7×12	0.7
89.0	H/V	3000	3×5	1.2

冬季高纬度地区洋面可能会存在海冰,而谱差法只能识别无冰雪覆盖表面的RFI信号,因此实验选取2017年7月1—16日的AMSR2一级亮温数据进行分析。

3 检测方法

3.1 广义RI指数检测方法

对于同一类型的地球表面,自然产生的微波信

号频谱相对平滑,且带宽较大,星载微波辐射计各通道观测值之间的相关性较高。而 RFI 信号仅出现在某些较窄的波段中,强度持续且有一定的方向性。因而,可以通过未受干扰通道的亮温观测值估计出被 RFI 信号污染通道上的亮温值。

在同一类型地球表面的数据范围内,计算所有其他通道相对于受干扰通道的经验拟合系数,再计算出受干扰通道与预算出其他通道亮温值的差,将该偏差定义为广义 RI 指数 ΔT_i

$$\Delta T_i = T_i - \left[a_{0,i} + \sum_{j \in (f_j \neq f_i)} (a_{j,i} T_j) \right], \quad (1)$$

式中, T 为亮温, i 为受到干扰的通道序号, j 为不受干扰通道的序号, $a_{0,i}$ 为常数项, $a_{j,i}$ 为每个通道 j 用于计算通道 i 亮温值的线性拟合系数。其他未受干扰通道的线性组合可以检测被干扰通道的亮温是否受到射频干扰。以 K 为单位表示的广义 RI 指数 ΔT_i 若为正值,且数值较大,则表明该亮温观测值受 RFI 信号非自然发射的影响。根据广义 RI 指数的大小,可以量化频率干扰信号的强度,检测出地球表面 RFI 信号的空间分布。

3.2 谱差检测方法

表面亮温随频率的增加而增加,可以忽略来自表面 30 GHz 以下的散射辐射,因此低频通道的 RFI 信号可能是产生负频谱梯度的原因。对于无积雪覆盖地区,RI 指数可定义为^[7]

$$\Delta T_{f_1,p} = T_{f_1,p} - T_{f_2,p}, \quad (2)$$

式中,下标 p 为通道的极化方式, f_1 和 f_2 为两个相邻的频率,且 $f_1 < f_2$ 。广义 RI 指数为正,且数值越大说明 RFI 信号越强。

4 检测结果分析

为了比较两种检测方法之间的定量差异,对东亚部分洋面区域,分别采用广义 RI 指数检测法和谱差法检测 AMSR2 7.3GHz 通道中的 RFI 信号。分析一个周期(2017 年 7 月 1 日—16 日)的数据发现,AMSR2 7.3 GHz 的 RFI 信号在洋面上只出现在降轨数据中。图 1 和图 2 分别为采用两种方法检测 2017 年 7 月 6,8,11,12,13,15 日 7.3 GHz 通道水平极化方式观测到的 RFI 信号(垂直极化方式通道的检测结果与水平方向的规律相同)。

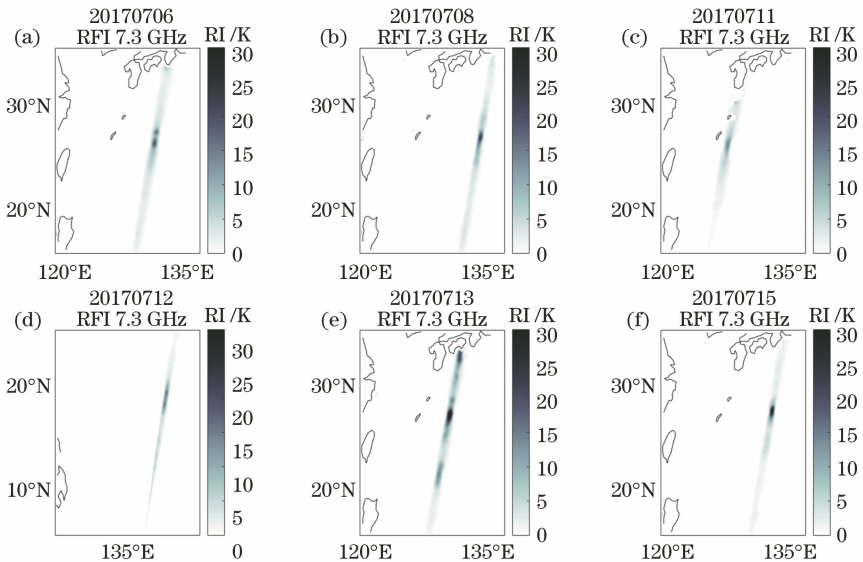


图 1 广义 RI 指数检测方法检测水平极化下观测的 RFI 信号空间分布

Fig. 1 Spatial distribution of RFI signal observed under horizontal polarization with generalized RI index detection method

从图中可以看出,AMSR2 7.3 GHz 通道水平极化方式亮温数据中的 RFI 信号分布在东亚海域日本岛以南的海域,呈东北—西南走向的狭长条带状,广义 RI 指数检测方法的效果更为显著。而 RFI 信号所处的狭长条带位置随观测时间的变化而变化。如 2017 年 7 月 1 日—16 日这 16 天中,RFI 狭长条带位于最西部的日期为 7 月 11 日,处于日本九州岛南端的大隅半岛和大隅群岛之间的大隅海峡至

九州岛冲绳附近(22°N~27°N、125°E 附近);RFI 狭长条带位于最东部的日期为 7 月 12 日(10°N~20°N、135°E 附近)。而 2017 年 7 月 1 日—16 日这个观测周期的其余日期中,检测出的狭长条带均处于 10°N~30°N、120°E~135°E 范围内。

由于日本的地球同步通信卫星下行波段主要为 4~8 GHz 和 11.7~12.2 GHz^[28-29],根据区域洋面上 RFI 范围和强度的分布特点,即受干扰区域呈现

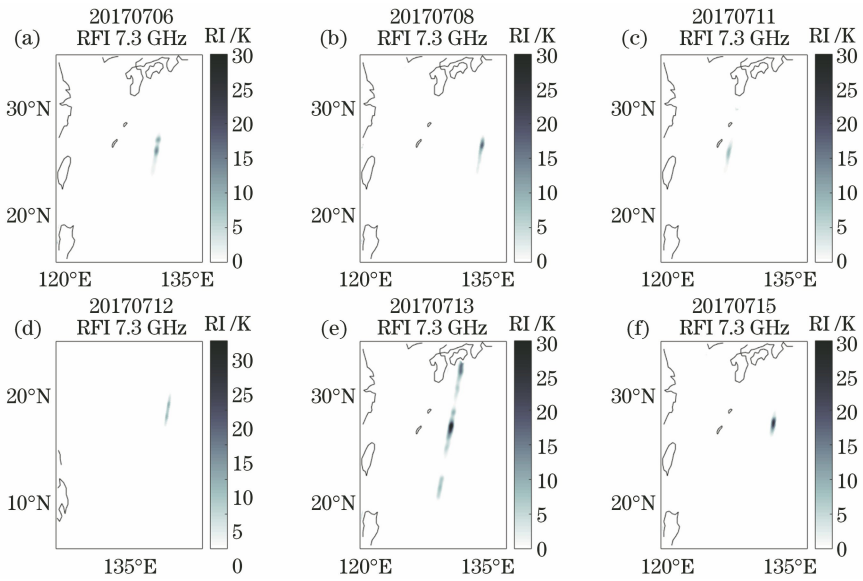


图 2 谱差法检测水平极化下观测的 RFI 信号的空间分布

Fig. 2 Spatial distribution of RFI signal observed under horizontal polarization with spectral difference method

东北—西南走向的狭长条带状,且位置随观测时间的变化而变化;干扰强度在狭长条带的中心位置最强,边缘比较弱,且干扰仅出现在卫星的降轨数据中。因此,可判断出其主要来源是洋面反射位于赤道上空静止卫星的下行信号,且静止卫星的服务范围决定了下行信号(通信/电视)投射至地球表面的范围。

表 2 统计了图 1 所示的东亚海域在 2017 年 7 月 1 日—16 日期间,7.3 GHz 通道水平和垂直极化

方式观测数据中受 RFI 影响的像素点的个数。可以发现,使用广义 RI 指数检测方法,且广义 RI 指数大于 5 K 时,认为该像素受到 RFI 信号的污染;当使用谱差法,且 RI 指数大于 5 K 时,认为该像素受到 RFI 信号的污染。从表 2 中可以发现,对于 7.3 GHz 通道,无论是水平还是垂直极化方式,通过广义 RI 指数法检测出受 RFI 信号污染的像素都比谱差法检测出的多,且垂直极化观测的 RFI 信号比同频率水平极化观测的多一些。

表 2 检测到 RFI 信号的像素数

Table 2 Numbers of pixels of detected RFI signal

Date	7 GHz V-pol		7 GHz H-pol	
	Generalized RFI index method	Spectrum difference method	Generalized RFI index method	Spectrum difference method
1	962	500	548	299
2	1085	451	672	295
3	1168	552	820	474
4	839	422	659	305
5	1107	510	821	416
6	1264	559	1387	555
7	1182	547	954	351
8	1234	588	1517	501
9	988	418	886	273
10	1030	437	993	270
11	1102	436	946	325
12	1402	548	1494	601
13	1830	609	2567	1046
14	1756	598	1786	637
15	1471	620	1105	485
16	1051	486	562	250

5 结 论

基于 AMSR2 亮温数据,通过广义 RI 指数检测法和谱差法检测了东亚洋面上 7.3 GHz 通道的 RFI 信号,比较了不同方法检测结果的差异。得出结论:广义 RI 指数法检测出的 7.3 GHz 通道 RFI 信号污染与谱差法的检测结果大致相同,且 RFI 信号的污染位置和时间变化特征几乎相同;但前一种方法检测出的 RFI 信号强度更大、像素更多,且确定的范围更广。相同频率下,垂直极化方式观测的 RFI 信号比水平极化方式多。对于 AMSR2 仪器,7.3 GHz 通道水平方式测量的亮温数据中 RFI 信号分布在东亚日本岛以南海域,呈现东北—西南走向的狭长条带,且该狭长条带的位置随着观测时间的变化而变化。未来将尝试把该方法扩展到冰雪覆盖的表面,以及 AMSR2 其他波段测量 RFI 信号中,多方面了解 AMSR2 观测数据中的 RFI 信号污染,以便更合理地评估星载微波数据反演地球物理参数的精度。

参 考 文 献

- [1] Zhang F, Qi L L, Ji W, et al. Influence of atmosphere in different areas on middle-far infrared radiation transmission[J]. *Acta Optica Sinica*, 2017, 37(4): 0401002.
张芳, 齐琳琳, 吉薇, 等. 不同地域大气对中远红外辐射传输的影响[J]. *光学学报*, 2017, 37(4): 0401002.
- [2] Kou R K, Wang H Y, Wu X M. Atmospheric transmittance at infrared band in low latitude areas [J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 2017, 54(1): 010102.
寇人可, 王海晏, 吴学铭. 低纬度地区红外波段大气透射率研究[J]. *激光与光电子学进展*, 2017, 54(1): 010102.
- [3] Ermida S L, Jiménez C, Prigent C, et al. Inversion of AMSR-E observations for land surface temperature estimation: 2. Global comparison with infrared satellite temperature [J]. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 2017, 122(6): 3348-3360.
- [4] Huang S, Ding J L, Zhang J Y, et al. Backscattering coefficient research based on microwave remote sensing of Radarsat-2 satellite [J]. *Acta Optica Sinica*, 2017, 37(9): 0929001.
黄帅, 丁建丽, 张钧泳, 等. 基于 Radarsat-2 卫星微波遥感的后向散射系数研究[J]. *光学学报*, 2017, 37(9): 0929001.
- [5] Li X Q, Yang H, You R, et al. Remote sensing typhoon Songda's rainfall structure based on Microwave Radiation Imager of FY-3B satellite [J]. *Chinese Journal of Geophysics*, 2012, 55(9): 2843-2853.
李小青, 杨虎, 游然, 等. 利用风云三号微波成像仪资料遥感“桑达”台风降雨云结构[J]. *地球物理学报*, 2012, 55(9): 2843-2853.
- [6] Wang Y X, Wang R, Yan W. Channel selection for inversion of atmospheric relative humidity profile from ground-based hyperspectral microwave radiometer[J]. *Acta Optica Sinica*, 2019, 39(4): 0428002.
王玉训, 王蕊, 严卫. 地基高光谱微波辐射计反演大气相对湿度廓线的通道选择[J]. *光学学报*, 2019, 39(4): 0428002.
- [7] Li L, Njoku E, Njoku E G, et al. A preliminary survey of radio-frequency interference over the U. S. in Aqua AMSR-E data [J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2004, 42(2): 380-390.
- [8] Wu Y, Weng F Z. Detection and correction of AMSR-E radio-frequency interference [J]. *Acta Meteorologica Sinica*, 2011, 25(5): 669-681.
- [9] Zou X L, Zhao J, Weng F Z, et al. Detection of radio-frequency interference signal over land from FY-3B microwave radiation imager (MWRI) [J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2012, 50(12): 4994-5003.
- [10] Guan L, Zhang S B. Source analysis of radio-frequency interference over Europe land from advanced microwave scanning radiometer-E [J]. *Acta Optica Sinica*, 2014, 34(7): 0728004.
官莉, 张思勃. 星载微波辐射计欧洲大陆无线电频率干扰分析[J]. *光学学报*, 2014, 34(7): 0728004.
- [11] Wu Y, Jiang S L, Qian B, et al. Review on identifying the radio frequency interference of spaceborne microwave radiometer [J]. *Progress in Geophysics*, 2017, 32(5): 1944-1952.
吴莹, 姜苏麟, 钱博, 等. 星载微波资料频率干扰信号识别研究综述[J]. *地球物理学进展*, 2017, 32(5): 1944-1952.
- [12] Wu Y, Weng F Z. Applications of an AMSR-E RFI detection and correction algorithm in 1-DVAR over land [J]. *Journal of Meteorological Research*, 2014, 28(4): 645-655.
- [13] Wu Y, Qian B, Wang Z H. Effect of radio-frequency

- interference on the land surface parameters retrieval from passive microwave remote sensing data [J]. *Remote Sensing for Land & Resources*, 2017, 29(3): 176-181.
- 吴莹, 钱博, 王振会. 被动微波遥感观测资料干扰对地表参数反演的影响分析[J]. *国土资源遥感*, 2017, 29(3): 176-181.
- [14] Li L, Gaiser P W, Bettenhausen M H, et al. WindSat radio-frequency interference signature and its identification over land and ocean [J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2006, 44(3): 530-539.
- [15] Zhao J, Zou X L, Weng F Z. WindSat radio-frequency interference signature and its identification over Greenland and Antarctic[J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2013, 51(9): 4830-4839.
- [16] Wu Y, Jiang S L, Wang Z H. Comparison and analysis of the interference identification methods for microwave measurements over snow land [J]. *Remote Sensing for Land & Resources*, 2018, 30(3): 40-47.
- 吴莹, 姜苏麟, 王振会. 积雪陆表微波观测资料干扰识别方法对比分析[J]. *国土资源遥感*, 2018, 30(3): 40-47.
- [17] Njoku E G, Ashcroft P, Chan T K, et al. Global survey and statistics of radio-frequency interference in AMSR-E land observations [J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2005, 43(5): 938-947.
- [18] Lacava T, Coviello I, Faruolo M, et al. A multitemporal investigation of AMSR-E C-band radio-frequency interference [J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2013, 51(4): 2007-2015.
- [19] Guan L, Huang A J. Detection of radio-frequency interference over land from AMSR-2 observations at 7.3 GHz[J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 2016, 53(2): 022802.
- 官莉, 黄安晶. 陆地上 AMSR-2 7.3 GHz 观测无线电频率干扰的检测[J]. *激光与光电子学进展*, 2016, 53(2): 022802.
- [20] Feng C C, Zhao H. Identification of radio-frequency interference signal from FY-3B microwave radiation imager over ocean [J]. *Journal of Remote Sensing*, 2015, 19(3): 465-475.
- 冯呈呈, 赵虹. FY-3B 微波成像仪海洋数据无线电干扰识别[J]. *遥感学报*, 2015, 19(3): 465-475.
- [21] Adams I S, Bettenhausen M H, Gaiser P W, et al. Identification of ocean-reflected radio-frequency interference using WindSat retrieval Chi-square probability[J]. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 2010, 7(2): 406-410.
- [22] Zou X L, Tian XX, Weng F Z. Detection of television frequency interference with satellite microwave imager observations over oceans [J]. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 2014, 31(12): 2759-2776.
- [23] Guan L, Xia S C, Zhang S B. Identifying the interference of spaceborne microwave radiometer over large water area [J]. *Journal of Applied Meteorological Science*, 2015, 26(1): 22-31.
- 官莉, 夏仕昌, 张思勃. 大面积水体上空星载微波辐射计的干扰识别[J]. *应用气象学报*, 2015, 26(1): 22-31.
- [24] Zhou Z H, Zou X L, Qin Z K. Detection and analysis of television frequency interference from an FY-3C microwave radiation imager [J]. *Journal of Remote Sensing*, 2017, 21(5): 689-701.
- 周泽华, 邹晓蕾, 秦正坤. FY-3C 微波成像仪电视信号干扰识别和分析[J]. *遥感学报*, 2017, 21(5): 689-701.
- [25] Zabolotskikh E V, Mitnik L M, Chapron B. Radio-frequency interference identification over oceans for C- and X-band AMSR2 channels [J]. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 2015, 12(8): 1705-1709.
- [26] Tian X X, Zou X L. An empirical model for television frequency interference correction of AMSR2 data over ocean near the U.S. and Europe [J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2016, 54(7): 3856-3867.
- [27] Kachi M, Imaoka K, Fujii H, et al. Status of GCOM-W1/AMSR2 development and science activities [J]. *Proceedings of SPIE*, 2008, 7106: 71060P.
- [28] 中文寻星(网络版)[EB/OL]. [2019-05-16]. <http://www.playtv.com.cn/>.
- [29] Radio Spectrum Allocation[EB/OL]. [2019-05-16]. <https://www.fcc.gov/engineering-technology/policy-and-rules-division/general/radio-spectrum-allocation>.