

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. 应用气象学报, 2015, 26(1): 22-31.
doi:10.11898/1001-7313.20150103

大面积水体上空星载微波辐射计的干扰识别

官莉^{1)*} 夏仕昌²⁾ 张思勃¹⁾

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, 南京 210044)

²⁾(中国人民解放军 61741 部队, 北京 100094)

摘 要

卫星微波仪器接收的来自地气系统的被动热辐射与主动传感器发射的信号相混合, 被称为无线电频率干扰 (RFI), 在主动及被动微波遥感探测领域已成为越来越严重的问题。海洋表面反射的静止通讯、电视卫星下行信号是干扰海洋上空星载被动微波辐射计观测的主要来源。该文以先进的微波扫描辐射计 AMSR-E 为例, 采用双主成分分析方法对美国陆地上大面积水体、附近洋面和中国海岸线附近的 RFI 进行识别, 研究表明: 美国附近洋面区域星载微波辐射计 18.7 GHz 通道观测主要受静止电视卫星 DirecTV 的干扰, 由于海表反射引起的 RFI 非常依赖于静止卫星和星载被动仪器的相对几何位置, 只有当闪烁角 θ (观测视场镜面反射的静止电视卫星信号方向与视场到星载仪器方向之间的夹角) 较小时卫星观测易受到污染。美国海洋区域较强 RFI 分布在五大湖区域, 离内陆越近 RFI 越强, 东西海岸 RFI 较强, 而整个南海岸干扰相对较弱。中国海岸线附近 AMSR-E 6.925 GHz 通道观测受 RFI 影响, 而 18.7 GHz 通道观测未受到干扰。

关键词: 微波; AMSR-E; 无线电频率干扰 (RFI); 识别

引 言

卫星微波接收的来自地气系统的被动热辐射与主动传感器发射的信号相混合, 被称为无线电频率干扰 (radio-frequency interference, 简称 RFI), 在主动及被动微波遥感探测领域已成为越来越严重的问题^[1-2]。人为的 RFI 源主要来自建于地表的主动微波发射器, 如手机、雷达、GPS 导航、空中交通管制、车辆测速仪等, 这些 RFI 源会污染地球大气的散射和发射辐射, 会在卫星遥感探测中增加不可预测的噪声^[3]。目前全世界广泛使用的星载微波成像仪, 如美国 NASA 地球观测系统 EOS Aqua 卫星搭载的先进微波扫描辐射计 (Advanced Microwave Scanning Radiometer, 简称 AMSR-E)^[4]、我国 FY-3 卫星搭载的微波成像仪 (MicroWave Radiation Imager, 简称 MWRI)、AMSR-E 的后续仪器 AMSR-2^[5] 和美国国防卫星上的 WindSat 全极化辐射计等

的 C 波段 (6.9 GHz) 或 X 波段 (10.7 GHz) 观测来自地面主动的微波发射即无线电频率干扰 RFI 影响, 造成观测亮温相比视场内自然大气和地表发射、散射辐射而言异常偏大, 进而使反演的地表参数 (如地表温度、海表温度和土壤湿度等) 与资料同化的分析场具有较大误差^[6-8]。如果不正确识别和去除 RFI 污染资料, 将大大降低星载被动微波仪器的科学价值。为解决这一问题已经开发了很多 RFI 识别算法, 定量给出 RFI 的范围和强度, 如谱差法、平均值和标准差方法、主成分分析 (PCA) 方法、标准化的主成分分析 (NPCA) 方法和双主成分分析 (DP-CA) 方法等。

Li 等^[9] 于 2004 年最先发现 AMSR-E 在 C 波段通道的探测数据中存在大范围的无线电频率干扰现象, 并提出可以利用谱差法量化 RFI 的强度和范围, 理论基础是低频通道受 RFI 影响, 而高频通道不受 RFI 影响, 利用受 RFI 影响通道和不受 RFI 干扰通道的观测亮温差进行 RFI 的识别。Njoku 等^[10]

2014-04-02 收到, 2014-09-17 收到再改稿。

资助项目: 江苏省高校自然科学研究重大项目 (13KJA170003)

* email: liguan.nuist@gmail.com

继续分析了 AMSR-E 数据中的 RFI 污染问题,并将研究通道扩展为 C 波段和 X 波段,利用 1 年的观测数据研究发现,6.9 GHz 通道观测中 RFI 区主要集中在美国、日本和中东地区,欧洲地区则分布稀疏;而 10.7 GHz 通道观测中 RFI 区主要集中在英国、意大利和日本。在分析基于谱差法(谱差指数 SI)识别出的 RFI 空间和时间分布特征基础上,指出用 SI 的平均值和标准差识别较强的 RFI 是有效的^[11]。Li 等^[12]进一步研究指出,谱差法没有利用辐射计观测各通道间的相关性,来自自然地表-大气的各通道之间观测相关性非常高,而 RFI 则明显增加被污染通道的观测,使 RFI 干扰通道和其余通道观测之间的相关性很低。这一信息对于从自然辐射数据中识别出 RFI 区十分重要,针对陆地地区首次提出 PCA 方法,将目标物的发射、散射特性和辐射计资料多通道间的相关性集成到一个统计的主成分分析框架中。Zou 等^[1]利用我国极轨卫星 FY-3B 上搭载的微波辐射成像仪 MWRI 对于陆地上 RFI 的识别开展了研究,提出了标准化的 PCA 方法,利用通道间的相关性有效识别积雪覆盖区域 RFI,该算法不仅适用于晴空下垫面,而且适用于积雪陆表。Zhao 等^[13]使用 WindSat 的观测数据对格陵兰岛和南极洲附近海冰下垫面 RFI 识别算法进行研究,指出现有的谱差法及 PCA 方法在对海冰区 RFI 识别时会产生大量虚假信号,提出利用 DPCA 方法识别强散射的海冰区 RFI 信号。

上述研究均针对陆地上星载微波辐射计的 RFI 进行检测,而对洋面上 RFI 的识别研究较少。由于海洋表面固有的大的谱差波动特征使谱差法不能应用于海洋区域,通过利用通道回归模型差技术直接预测没有 RFI 污染时的亮温值,进一步与实际观测

的亮温进行对比,达到识别海洋上 RFI 强度的目的^[12]。Adams 等^[14]利用 WindSat 反演地球物理参数 x^2 概率估计法对洋面反射的 RFI 进行识别,研究发现,海洋表面反射的静止通讯、电视卫星下行信号是干扰海洋上星载被动微波辐射计观测的主要来源。静止通讯、电视卫星固定在地球赤道上空的某一位置上,向指定区域连续发射信号。一般美国或欧洲的静止电视卫星天线均设计为定向的、仅集中向北半球美国或欧洲指定陆地地区发射。全球海岸线地区人口密度较高,尽管这些静止卫星天线设计只集中向陆地地区发射,仍然有少部分较强的辐射投射到海岸线附近的海域上,因此在海岸线附近存在大范围、较强的 RFI 干扰。概率估计算法必须借助大气参数的反演,概率估计是针对反演的海表参数(如海表面温度)进行的。本文将先进的微波扫描辐射计 AMSR-E 为例,用 DPCA 方法对美国地区附近洋面和中国沿海地区的 RFI 进行识别,同时分析洋面上 RFI 来源以及分布特征。

1 资料简介

AMSR-E(Advanced Microwave Scanning Radiometer on the Earth Observing System)搭载在 2004 年 5 月 NASA 发射的 EOS 地球观测系统 Aqua 卫星上,轨道倾角为 98.3° 。该仪器主要用于观测云和地表,分别测量 6.925 GHz, 10.65 GHz, 18.7 GHz, 23.8 GHz, 36.5 GHz 和 89.0 GHz 水平极化和垂直极化的亮温,共有 12 个通道,空间分辨率从 89 GHz 的 5.4 km 下降为 6.9 GHz 的 56 km。具体的通道特性见表 1。AMSR-E 是圆锥型扫描仪器,天线圆锥扫描角为 47.4° ,扫描帧幅宽度为

表 1 AMSR-E 通道特性

Table 1 AMSR-E instrument description

通道	中心频率/GHz	极化方式	带宽/MHz	空间分辨率	灵敏度/K
1	6.925	水平	350	74 km×43 km	0.3
2	6.925	垂直	350	74 km×43 km	0.3
3	10.65	水平	100	51 km×30 km	0.6
4	10.65	垂直	100	51 km×30 km	0.6
5	18.7	水平	200	27 km×16 km	0.6
6	18.7	垂直	200	27 km×16 km	0.6
7	23.8	水平	400	31 km×18 km	0.6
8	23.8	垂直	400	31 km×18 km	0.6
9	36.5	水平	1000	14 km×8 km	0.6
10	36.5	垂直	1000	14 km×8 km	0.6
11	89	水平	3000	6 km×4 km	1.1
12	89	垂直	3000	6 km×4 km	1.1

1445 km。降交点和升交点赤道过境时间分别为 01:30(世界时,下同)和 13:30^[15]。

本文使用的是 2011 年 6—7 月 AMSR-E Level 2A 观测的亮温, Level 2A 资料中所有通道的空间分辨率均重新取样到 56 km 的相同空间分辨率,选取美国和中国海洋区域作为研究对象,探讨静止电视卫星对星载微波辐射计观测的影响。

2 双主成分分析(DPCA)方法简介

双主成分分析方法包含两步主成分分析,第 1 次主成分分析是对由 10 个通道观测组成的亮温 \mathbf{V} 向量进行的,所有观测视野点构成的要进行主成分分析的矩阵为 $\mathbf{A}_{10 \times N}$:

$$\mathbf{V} = \begin{pmatrix} T_{6H} \\ T_{6V} \\ T_{10H} \\ T_{10V} \\ T_{18H} \\ T_{18V} \\ T_{23H} \\ T_{23V} \\ T_{37H} \\ T_{37V} \end{pmatrix}, \quad (1)$$

$$\mathbf{A}_{10 \times N} = \begin{pmatrix} T_{6H,1} & T_{6H,2} & \cdots & \cdots & T_{6H,N} \\ T_{6V,1} & T_{6V,2} & \cdots & \cdots & T_{6V,N} \\ \vdots & \vdots & & & \vdots \\ \vdots & \vdots & & & \vdots \\ T_{37V,1} & T_{37V,2} & \cdots & \cdots & T_{37V,N} \end{pmatrix}. \quad (2)$$

其中, T 是观测亮温,下标 V, H 分别表示垂直极化和水平极化,下标数字表示观测的频率, N 为总观测点数。

矩阵 $\mathbf{A}_{10 \times N}$ 的协方差矩阵为 $\mathbf{R}_{10 \times 10} = \mathbf{A}\mathbf{A}^T$, 通过解方程 $\mathbf{R}\mathbf{e}_i = \lambda_i \mathbf{e}_i$ ($i=1, 2, \dots, 10$) 可求得其特征值 λ_i ($i=1, 2, \dots, 10$) 和特征向量 $\mathbf{e}_i = [\mathbf{e}_{1,i}, \mathbf{e}_{2,i}, \dots, \mathbf{e}_{10,i}]^T$ 。将矩阵 \mathbf{A} 投影到由特征向量 $\mathbf{e}_1, \mathbf{e}_2, \dots, \mathbf{e}_{10}$ 构成的正交空间,可得到主成分系数:

$$\mathbf{U}_{10 \times N} = \mathbf{E}^T \mathbf{A} = \begin{pmatrix} \mathbf{u}_1 \\ \mathbf{u}_2 \\ \vdots \\ \mathbf{u}_{10} \end{pmatrix}, \quad (3)$$

其中, $\mathbf{u} = [u_{i,1}, u_{i,2}, \dots, u_{i,N}]$ 为第 i 个主成分的系

数。

由主成分和主成分系数,矩阵 \mathbf{A} 可以由两部分 \mathbf{A}_1 和 \mathbf{A}_2 重构:

$$\mathbf{A} = \mathbf{A}_1 + \mathbf{A}_2 = \sum_{i=1}^{\alpha} \mathbf{e}_i \mathbf{u}_i + \sum_{i=\alpha+1}^{10} \mathbf{e}_i \mathbf{u}_i. \quad (4)$$

由于来自自然地表和大气的辐射观测值通道与通道之间高度相关,通道间观测的相关性由前几个主成分即 \mathbf{A}_1 捕获;矩阵 \mathbf{A}_2 即从 $\alpha+1$ 到第 10 个主成分亮温的和,被称为残余数据矩阵。RFI 只是使被干扰通道的观测值异常偏高,与其他通道不相关,因而 RFI 信号则含在残余矩阵 \mathbf{A}_2 中,本文 α 取 3。第 2 步主成分分析对残余矩阵 \mathbf{A}_2 展开,即对 \mathbf{A}_2 进行标准化的主成分分析,如 RFI 存在于 18.7 GHz 通道:

$$\mathbf{R}_{\text{indice}}^{\mathbf{A}_2} = \begin{pmatrix} \frac{T_{6H} - T_{10H} - \mu}{\sigma} \\ \frac{T_{6V} - T_{10V} - \mu}{\sigma} \\ \frac{T_{18H} - T_{23H} - \mu}{\sigma} \\ \frac{T_{23H} - T_{36H} - \mu}{\sigma} \\ \frac{T_{23V} - T_{36V} - \mu}{\sigma} \end{pmatrix}_{\mathbf{A}_2}, \quad (5)$$

其中, μ 和 σ 为每个视场点 5 个 RFI 因子的平均值和标准差。

与上述步骤相同,资料矩阵 $\mathbf{B}_{5 \times N}$ 由 $\mathbf{R}_{\text{indice}}^{\mathbf{A}_2}$ 重构:

$$\mathbf{B} = \mathbf{E}\mathbf{U} = \sum_{i=1}^5 \mathbf{e}_i \mathbf{u}_i. \quad (6)$$

其特征向量 $\mathbf{e}_1, \mathbf{e}_2, \dots, \mathbf{e}_5$ 为主成分, $\mathbf{u}_i = [u_{i,1}, u_{i,2}, \dots, u_{i,N}]$ 为第 i 个主成分的系数。矩阵 \mathbf{A}_2 第 1 主成分的系数值越大表明较强 RFI 存在的可能性越大。对该方法的详细描述见文献[13]。

3 应用试验

由于极轨卫星 Aqua 有效载荷 AMSR-E 每 16 d 覆盖完全相同的区域,16 d 的周期内每天轨道覆盖观测范围不太相同,有一定差异^[16]。本文选取 2011 年 6 月 1—16 日 AMSR-E 1 个周期的观测为例,研究重点是洋面上 RFI 的识别,只选择夏季资料,可避免冬季时误将高纬度地区积雪错认为是虚假的 RFI。表 2 给出了目前主要的静止电视卫星,影响欧

洲地区的静止电视卫星主要是中心频率在10.7 GHz附近的 Hot Bird, Atlantic Bird 和 Astra, 而影响美国地区的则是中心频率为 18.7 GHz 的 DirectTV 卫星^[17]。按照上述的 DPCA 方法计算出的美国地区周边海洋上的与 RFI 有关的第一主成分系数 u_1 , 图 1 分别给出 6 月 1 日、4 日、7 日和 11 日 AMSR-E 降轨 18.7 GHz 通道水平极化的 u_1 分布(其余 12 d 类似,图略)。图中白色区域为卫星轨道观测间隙区,灰白色为陆地区域。下一个 16 d 内卫星每天观测区域和 RFI 出现位置重复图 1 的分布(图略)。由图 1 可见, u_1 越大的地方,即暖色调区域,RFI 出现概率越大且强度越强。6 月 1 日 RFI 主要出现在西海岸的俄勒冈州和五大湖的密歇根湖上,4 日较强的 RFI 出现在东海岸的德拉华州、马里兰州和苏必利尔湖西侧,7 日佛罗里达州和加利福尼亚沿岸有较弱的 RFI 出现,11 日较强 RFI 出现在弗吉尼亚的东海岸。卫星观测轨道偏东海岸时,18.7 GHz 通道 RFI 干扰出现在轨道帧幅的西边缘,卫星观测轨

道偏西海岸时,干扰出现在轨道帧幅的东边缘的概率较大,若卫星刚好过境美国大陆中部,则星下点附近的观测受影响。

表 2 主要的静止电视卫星

Table 2 Major geostationary TV satellite

卫星名称	经度	覆盖区域	频率/GHz
DirecTV 10	103°W	美国	18.8~19.3
DirectV 11	99°W	美国	18.3~18.8
Hot Bird	13°E	欧洲	10.7~12.75
Atlantic Bird	7°W	欧洲	10.7~11.7
Astra	19.2°E	欧洲	10.7~10.95

在 16 d 的轨道周期内,RFI 每天出现位置和强度均在变化。海洋表面反射的静止通讯、电视卫星信号是干扰海洋上星载被动微波辐射计观测的主要来源,洋面上风速较小时多发生的是镜面反射。由于海表反射引起的 RFI 非常依赖于静止卫星和星载被动仪器的相对几何位置,闪烁角定义为观测视场镜面反射的静止电视卫星信号方向与视场到星载

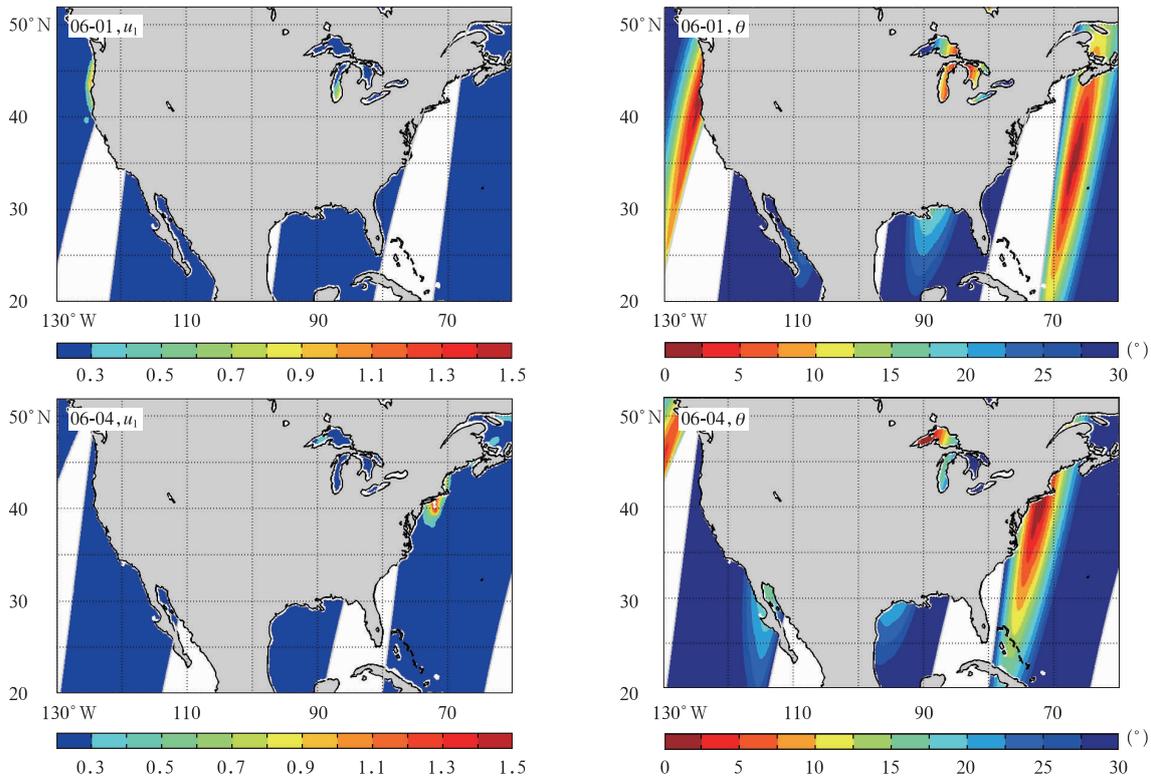
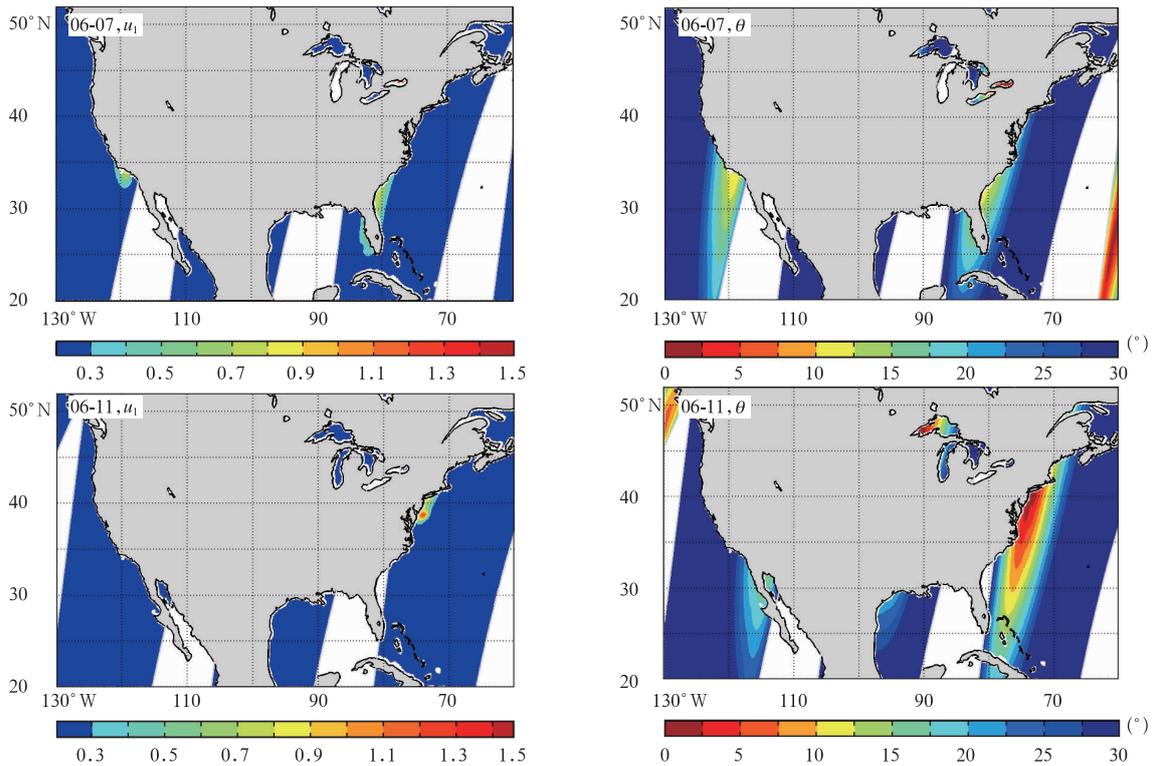


图 1 2011 年 6 月 1 日、4 日、7 日和 11 日 AMSR-E 降轨 18.7 GHz 通道水平极化第 1 主成分系数 u_1 和静止卫星闪烁角 θ 分布

Fig. 1 The first PC coefficient u_1 and the geostationary satellite glint angle θ of AMSR-E 18.7 GHz with horizontal polarization of descending node in June 2011



续图 1

仪器方向之间的夹角。图 2 给出了洋面反射静止卫星下行发射的示意图及闪烁角 θ 的定义。图 1 中展示了 2011 年 6 月 1 日、4 日、7 日和 11 日美国附近洋面上 AMSR-E 每个观测视场的闪烁角 θ 分布。由图 1 可知,RFI 出现概率的大小与 θ 大小的相关性非常好,只有当 θ 小到电视广播信号可以反射进入 AMSR-E 视场,该视场才受到干扰。受 RFI 干扰区域都是闪烁角 θ 非常小的区域,基本小于 15° , θ 越接近 0° 出现的 RFI 强度越强。表 3 给出了 2011 年 6 月 1 日、4 日、7 日和 11 日 RFI 干扰区 θ 不同取值时所占的百分比,识别的 RFI 区域中有 33.37% 的 θ 取值小于 5° , $5^\circ \leq \theta < 15^\circ$ 的占 61.22%, $\theta \geq 15^\circ$ 的只占 5.41%,同样说明 RFI 大都出现在 $\theta < 15^\circ$ 的地方。图 3 为 2011 年 6 月 1—16 日 AMSR-E 降轨观测平均的闪烁角 θ 分布, θ 等值线为圆心在赤道上约 100°W (静止电视卫星的位置)的同心圆, θ 较小值即图中深红色区域($\theta < 2.5^\circ$)分布在 $40^\circ \sim 45^\circ\text{N}$ 附近宽约 5 个纬度的环状带内,该深红色环状区域就是 RFI 出现概率最大的地方,越往南或往北, θ 值逐渐增大。将 6 月 1—16 日 AMSR-E 降轨 18.7 GHz 通道水平极化的第 1 主成分系数 u_1 分布综合显示

在图 4 中,可以看出,美国附近海洋区域出现的 RFI 污染集中在东西海岸和五大湖区域,尤其是五大湖和东海岸北部受无线电干扰概率较大且强度较强,较强 RFI 出现位置与图 3 中的环状 θ 极小值带吻合得非常好。

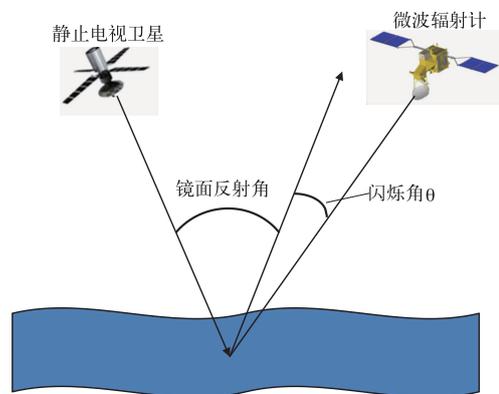


图 2 洋面反射静止卫星下行发射及闪烁角 θ 的示意图

Fig. 2 The sketch map of the reflected geostationary TV satellite downlink signals by ocean surface and the definition of glint angle θ

表 3 RFI 区闪烁角 θ 取值的百分比(单位:%)

Table 3 The percentage of glint angle θ in different range at RFI area(unit:%)

日期	$0^\circ \leq \theta < 5^\circ$	$5^\circ \leq \theta < 15^\circ$	$\theta \geq 15^\circ$
2011-06-01	28.59	71.41	0
2011-06-04	38.21	50.81	10.98
2011-06-07	11.42	78.53	10.05
2011-06-11	55.27	44.13	0.6

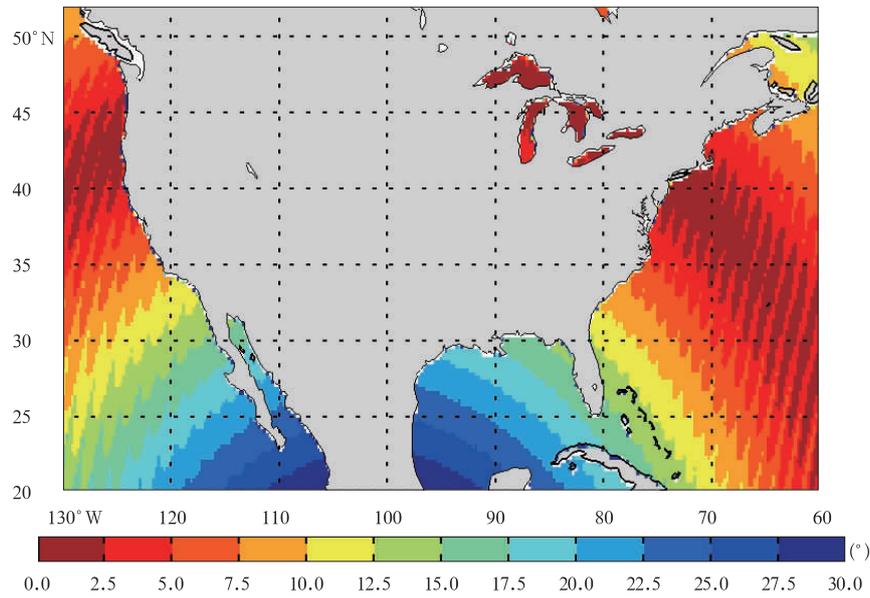


图 3 2011 年 6 月 1—16 日 AMSR-E 降轨观测平均的闪烁角 θ 分布
 Fig. 3 The average glint angle θ based on AMSR-E descending observations from 1 June to 16 June in 2011

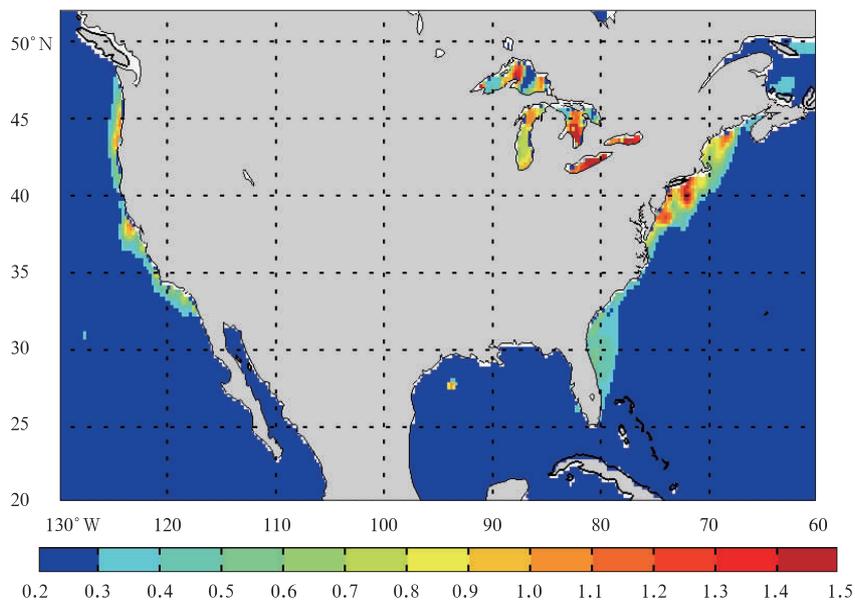


图 4 2011 年 6 月 1—16 日综合 AMSR-E 降轨 18.7 GHz 通道
 水平极化第 1 主成分系数 u_1 分布

Fig. 4 The synthesized distribution of first PC coefficient u_1 based on AMSR-E 18.7 GHz descending observations with horizontal polarization from 1 June to 16 June in 2011

洋面并不是完全光滑、平整的镜面,尤其是洋面风速较大时,非严格的镜面反射造成干扰信号具有角展度,同时为有效防止将小尺度的天气系统误认为是虚假的 RFI 信号,将第 1 主成分系数 $u_1 > 0.3$ 和 $\theta < 25^\circ$ 综合作为判断是否受静止卫星 RFI 干扰的阈值判据,2011 年 6 月 1 日—7 月 2 日两个完整轨道周期,即月平均的美国海洋区域 18.7 GHz 通道水平极化识别的 RFI 分布和强度如图 5 所示。图 6 给出了 6 月 4 日和 6 月 7 日升轨观测时的第 1 主成分系数 u_1 ,对比图 1 中相应日期降轨时 u_1 ,降

轨时在美国近海岸尤其东海岸出现大范围较强 RFI,而图 6 中升轨观测没有出现。对气象极轨卫星而言,降轨时受静止卫星 RFI 影响的主要是北半球,升轨时受干扰的主要是南半球,对美国而言,受静止卫星污染的是降轨观测。较强 RFI 分布在五大湖的密歇根湖、安大略湖和伊利湖,离内陆越近,RFI 越强,东西海岸北部 RFI 较强,而整个南海岸干扰相对较弱。受洋面反射静止电视卫星信号引起的 18.7 GHz 通道垂直极化 RFI 分布和强度与水平极化相似(图略)。

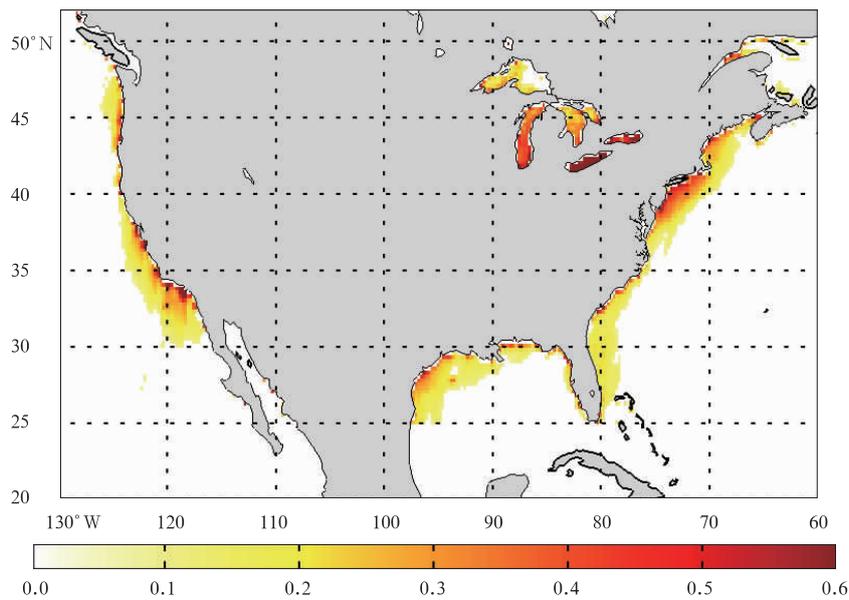


图 5 2011 年 6 月 1 日—7 月 2 日美国海洋区域 18.7 GHz 通道水平极化月平均 RFI 强度分布

Fig. 5 The monthly average RFI intensity at 18.7 GHz horizontal polarization over America ocean from 1 June to 2 July in 2011

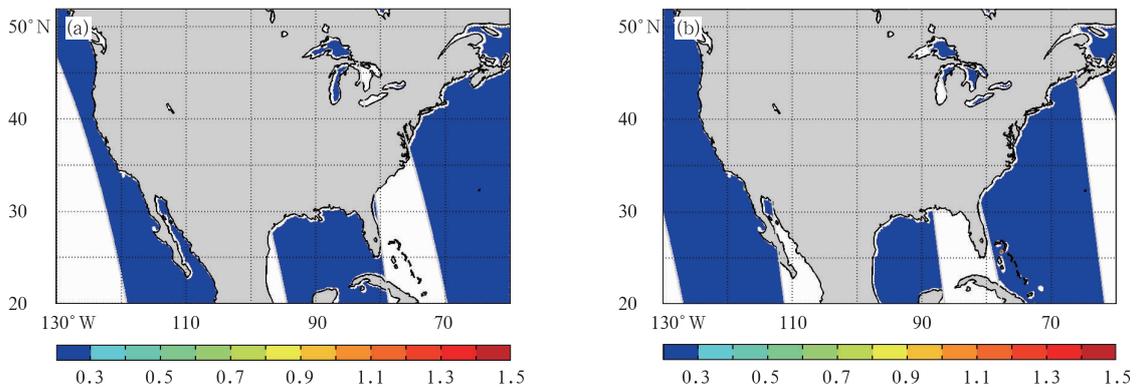


图 6 2011 年 6 月 4 日(a)和 7 日(b) AMSR-E 升轨 18.7 GHz 水平极化第 1 主成分系数 u_1

Fig. 6 The first PC coefficient u_1 of AMSR-E 18.7 GHz with horizontal polarization of ascending node on 4 June(a) and 7 June(b) in 2011

为验证该方法对大面积水体上 RFI 识别的有效性,利用 DPCA 方法对中国海岸线附近的 RFI 进行识别。中国东部海岸线附近 2011 年 6 月 8 日 RFI 的识别结果见图 7。图 7a 是 6.9 GHz 通道水平极化 RFI 的分布及强度,较强 RFI 主要出现在杭州湾和珠江口(黄红色区域),温州附近海域也有一处较弱的 RFI 影响。根据长时间序列的观测分析可知,这几处 RFI 尽管强度时强时弱,但始终都存在,位置不变,即这些干扰源是长期存在、固定的地面源。由图 7b 可知,AMSR-E 18.7 GHz 通道观测在中国不论是陆地还是海岸线均未受无线电干扰。

同时,也利用我国 FY-3 系列气象卫星上搭载

的微波辐射成像仪 MWRI 进行验证。MWRI 与 AMSR-E 相比,没有低频 6.925 GHz 通道,其余 5 个通道的设置完全相同^[18],而日本通信卫星和我国中继卫星等部分使用 18.6~18.8 GHz 频段进行通信^[19],所以重点分析 18.7 GHz 通道观测。图 8a 显示的是 2011 年 6 月 8 日我国海岸线附近 MWRI 观测的 18.7 GHz 水平极化亮温,图中没有亮温值异常偏高的区域;图 8b 是识别出的 RFI 分布及强度。FY-3 MWRI 识别的中国海岸线附近的 RFI(图 8b)与 AMSR-E 识别的结果(图 7b)相似,均不存在值大于 10 的暖色调区域,说明均未发现 RFI 影响。可能是因为日本通信卫星主要下发频率为 C 波段

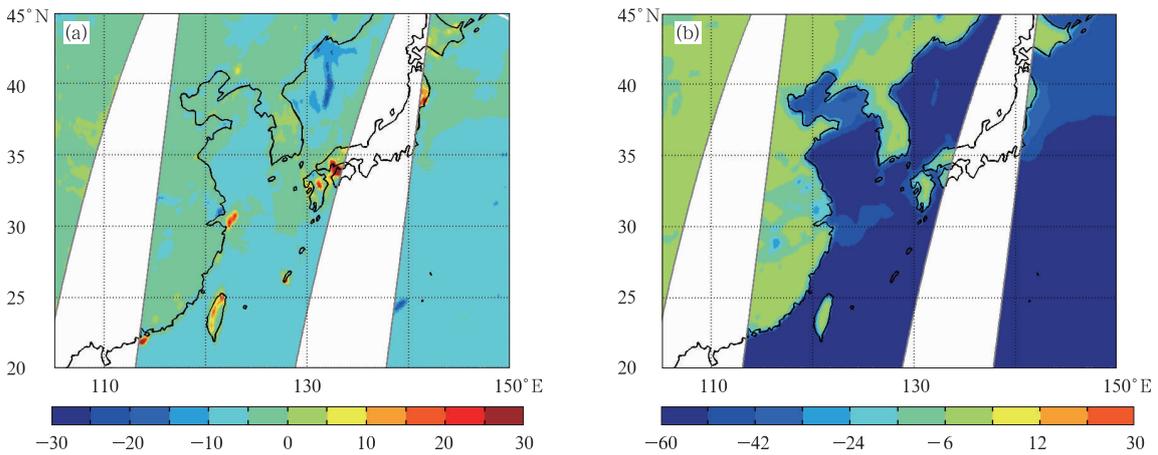


图 7 AMSR-E 识别的中国东部海岸线附近 2011 年 6 月 8 日 6.9 GHz(a)和 18.7 GHz(b)通道水平极化 RFI 的分布

Fig. 7 The identified RFI along China east coast of AMSR-E 6.9 GHz(a) and 18.7 GHz(b) horizontal polarization on 8 June 2011

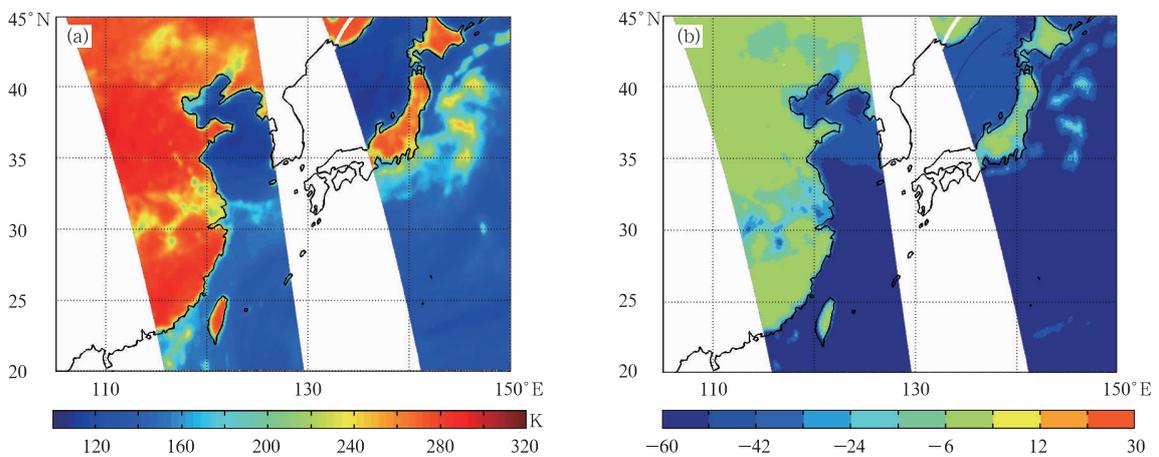


图 8 2011 年 6 月 8 日 FY-3 MWRI 18.7 GHz 通道水平极化亮温(a)和 RFI(b)分布

Fig. 8 The brightness temperature(a) and the RFI(b) of FY-3 MWRI 18.7 GHz horizontal polarization on 8 June 2011

(4~8 GHz)和Ku波段(11.7~12.2 GHz)^[20],所以对星载仪器18.7 GHz通道观测没有造成干扰。通信卫星的用户主要为地面固定站或速度较低的移动通信站,其静止卫星星载天线大多指向固定,中继卫星星间天线大多需要跟踪高速高动态运动的卫星、飞船等航天器,而不是朝向地面发射,因此未对对地观测仪器造成干扰。

4 结 论

本文以先进的微波扫描辐射计 AMSR-E 为例,利用 DPCA 方法对美国陆地上大面积水体、附近洋面和中国海岸线附近的 RFI 进行识别,同时分析洋面上 RFI 来源以及分布特征。结果表明:

1) DPCA 方法对于识别洋面上的 RFI 是有效的,残余矩阵主成分分析后第 1 主成分系数 $u_1 > 0.3$ 和闪烁角 $\theta < 25^\circ$ 综合作为判断是否受静止卫星 RFI 干扰的阈值判据,美国附近洋面区域星载被动微波辐射计 18.7 GHz 通道观测主要受静止电视卫星 DirecTV 的干扰。

2) AMSR-E 降轨观测美国地区洋面时受静止卫星干扰,而升轨观测则不受其影响。当卫星观测轨道覆盖东海岸时,18.7 GHz 通道 RFI 干扰出现在轨道幅的西边缘,卫星观测轨道偏西海岸时,干扰出现在轨道幅的东边缘的概率较大,若卫星刚好过境美国大陆中部,则星下点附近的观测受影响。在 $40^\circ \sim 45^\circ \text{N}$ 附近宽约 5 个纬度的环状闪烁角 θ 极小值带内 RFI 出现概率最大。

3) 月平均的 18.7 GHz 通道 RFI 分布和强度表明,美国海洋区域较强 RFI 分布在五大湖的密歇根湖、安大略湖和伊利湖,离内陆越近,RFI 越强,东西海岸 RFI 较强,而整个南海岸干扰相对较弱。

4) 中国海岸线附近的 RFI 主要干扰 6.925 GHz 通道的观测,而 18.7 GHz 通道观测未受干扰。干扰主要出现在东部杭州湾、温州和珠江口附近海岸线,且干扰源为稳定、长期的地面固定源。

参 考 文 献

- [1] Zou X, Zhao J, Weng F, et al. Detection of radio-frequency interference signal over land from FY-3B microwave radiation imager (MWRI). *IEEE Trans Geosci Remote Sens*, 2012, 50(12): 4994-5003.
- [2] 张秀再, 郭业才, 陈金力, 等. L 与 X 波段气象卫星信道概率统计特性. *应用气象学报*, 2012, 23(4): 478-484.
- [3] Wu Y, Weng F. Detection and correction of AMSR-E radio-frequency interference. *Acta Meteor Sinica*, 2011, 25(5): 669-681.
- [4] 杨晓峰, 陆其峰, 杨忠东. 基于 AMSR-E 土壤湿度产品的 LIS 同化试验. *应用气象学报*, 2013, 24(4): 435-445.
- [5] Keiji I, Norimasa I, Taikan O. AMSR Series in A-Train-Status/Products/Services for GCOM-W1. A-Train User Workshop, 2010.
- [6] 任强, 董佩明, 薛纪善. 台风数值预报中受云影响微波卫星资料的同化试验. *应用气象学报*, 2009, 20(2): 137-146.
- [7] 张森, 卢乃锰, 谷送岩, 等. 风云三号(02)批卫星微波氧气吸收通道降水特性. *应用气象学报*, 2012, 23(2): 223-230.
- [8] 刘健, 张里阳. 气象卫星高空间分辨率数据的云量计算与检验. *应用气象学报*, 2011, 22(1): 35-45.
- [9] Li L, Njoku E G, Im E, et al. A preliminary survey of radio-frequency interference over the US in Aqua AMSR-E data. *IEEE Trans Geosci Remote Sens*, 2004, 42(2): 380-390.
- [10] Njoku E G, Ashcroft P, Chan T K, et al. Global survey and statistics of radio-frequency interference in AMSR-E land observations. *IEEE Trans Geosci Remote Sens*, 2005, 43(5): 938-947.
- [11] Ellingson S W, Johnson J T. A polarimetric survey of radio-frequency interference in C- and X-Bands in the continental United States using WindSat radiometry. *IEEE Trans Geosci Remote Sens*, 2006, 44(3): 540-548.
- [12] Li L, Gaiser P W, Bettenhausen M H, et al. WindSat radio-frequency interference signature and its identification over land and ocean. *IEEE Trans Geosci Remote Sens*, 2006, 44(3): 530-539.
- [13] Zhao J, Zou X, Weng F. WindSat radio-frequency interference signature and its identification over Greenland and Antarctic. *IEEE Trans Geosci Remote Sens*, 2013, 51(9): 4830-4839.
- [14] Adams I S, Bettenhausen M H, Gaiser P W, et al. Identification of ocean-reflected radio-frequency interference using WindSat retrieval Chi-Square probability. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 2010, 7(2): 406-410.
- [15] Kawanishi T, Sezai T, ITO Y, et al. The advanced microwave scanning radiometer for the earth observing system (AMSR-E), NASA's contribution to the EOS for global energy and water cycle studies. *IEEE Trans Geosci Remote Sens*, 2003, 41(2): 184-194.
- [16] AMSR-E Data Users Handbook(5th Edition). Japan Aerospace Exploration Agency, 2-1, 2009.
- [17] Chelle G, Marty B, Kyle H, et al. Algorithm Development GCOM-W AMSR-2 Ocean Product Suite. Joint PI Workshop of Global Environment Observation Mission, 2010.
- [18] Zhang P, Yang J, Dong C, et al. General introduction on payloads, ground segment and data application of Fengyun 3A. *Frontiers of Earth Science in China*, 2009, 3: 367-373.
- [19] 王家胜. 我国数据中继卫星系统发展建议. *航天器工程*, 2011, 20(2): 1-8.
- [20] [2014-04-12]. <http://www.asiatvro.com/channelinfo/128.htm>.

Identifying the Interference of Spaceborne Microwave Radiometer over Large Water Area

Guan Li¹⁾ Xia Shichang²⁾ Zhang Sibó¹⁾

¹⁾ (*Collaborative Innovation Center on Forecast and Evaluation of Meteorological Disasters, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044*)

²⁾ (*Unit 61741 of PLA, Beijing 100094*)

Abstract

The phenomenon of satellite-measured passive microwave thermal emission from natural surface and atmosphere being mixed with signals from active sensors is referred as radio-frequency interference (RFI). Due to increasing conflicts between scientific and commercial users of the radio spectrum, RFI is an increasing serious problem for microwave active and passive remote sensing. RFI greatly affects the quality of data and retrieval products from space-borne microwave radiometry, as the C-band and X-band of spaceborne microwave radiometer operate in unprotected frequency bands. Interference signals over land come dominantly from lower frequency active microwave transmitters, including radar, air traffic control, cell phone, garage door remote control, GPS signal on highway, defense tracking and vehicle speed detection for law enforcement. The signal emanating from geostationary communication and television satellites that reflect off the ocean surface is the major interference source over ocean of spaceborne passive microwave imagers. RFI detection and correction of low-frequency radiances over large water area is extremely important before these data being used for either geophysical retrievals or data assimilation in numerical weather prediction models.

RFI over ocean and inland large water area of North America, as well as over the coastline of China are identified and analyzed based on Advanced Microwave Scanning Radiometer (AMSR-E) observations using double principal component analysis (DPCA) algorithm. The AMSR-E instrument is primarily designed to enhance cloud and surface sensing capabilities. The DPCA method takes advantage of the multi-channel correlation for natural surface radiations, as well as the de-correlation between different RFI contaminated frequencies. Results show that the DPCA method works well in detecting the location and intensity of RFI over ocean and large water area. The AMSR-E observation over the ocean of America at 18.7 GHz is mainly interfered by geostationary television satellites DirecTV. The RFI location and intensity from the ocean reflection of downlink radiation highly depends upon the relative geometry between the geostationary satellite and the measuring passive sensor. Only the field of views with smaller glint angle (defined as the angle between the geostationary specular reflection vector and the AMSR-E line-of-sight vector) is easily affected by RFI. The stronger RFI distribute near the Great Lakes of America, and the RFI magnitude of East and West Coast is stronger than south coast. AMSR-E observations of 6.925 GHz are contaminated by RFI along the coastline of China, while observations of 18.7 GHz are not affected.

Key words: microwave; AMSR-E; RFI; identification