

FY-3B 微波成像仪海洋数据无线电干扰识别

冯呈呈, 赵虹

南京信息工程大学 资料同化研究与应用中心, 江苏 南京 210044

摘 要: 中国风云 3 号 B 星 (FY-3B) 上的微波成像仪 MWRI 通过 5 个频率 (10.65 GHz, 18.7 GHz, 23.8 GHz, 36.5 GHz 和 89.0 GHz) 的双极化通道对地球表面进行监测。研究表明, MWRI 资料的低频波段数据中存在着无线电频率干扰 (RFI) 现象, 这些污染信号对遥感数据和反演产品质量产生极大的影响。本文尝试使用多通道回归方法和双主成分分析 (DPCA) 方法识别 MWRI 的 10.65 GHz 水平通道亮温海洋区域中的 RFI 信号。结果表明, 双主成分分析法可以有效地识别出海洋上的 RFI 信号。微波成像仪 10.65 GHz 水平通道亮温数据中的 RFI 信号主要分布在地中海等欧洲附近海域, 也存在于美国、日本、澳大利亚等近岸地区。

关键词: 微波遥感, 微波成像仪 MWRI, 无线电频率干扰 RFI, 双主成分分析 DPCA

中图分类号: P414.4 **文献标志码:** A

引用格式: 冯呈呈, 赵虹. 2015. FY-3B 微波成像仪海洋数据无线电干扰识别. 遥感学报, 19(3): 465–475

Feng C C and Zhao H. 2015. Identification of radio-frequency interference signal from FY-3B microwave radiation imager over ocean. Journal of Remote Sensing, 19(3): 465–475 [DOI: 10.11834/jrs.20154056]

1 引言

随着遥感技术在气象、气候研究中的发展与应用, 具有时空高分辨率的气象卫星、雷达等就成为极为重要的观测手段, 弥补了常规气象观测的不足。其中, 星载微波遥感可以穿透云层, 对地表植被和土壤也有一定的穿透能力, 同时不受光照条件的限制, 可以全天时、全天候监测。

自 20 世纪六七十年代以来, 有多个星载微波成像仪器投入使用。包括: 扫描式多通道微波辐射计 (Scanning Multichannel Microwave Radiometer, SMMR) (Madrid, 1978), 微波辐射计特别传感器 (Special Sensor Microwave/Imager, SSM/I) (Hollinger 等, 1990), 热带降雨测量卫星 (Tropical Rainfall Measuring Mission, TRMM) 上的微波成像仪 (TRMM Microwave Imager, TMI) (Kummerow 等, 1998), 高级微波扫描辐射计 (Advanced Microwave Scanning Radiometer, AMSR/AMSR-E) (Kawanishi 等, 2003), 全极化微波辐射计 (WindSat) (Gaiser 等, 2004), 以

及中国风云系列卫星上的微波成像仪 (Microwave Radiation Imager, MWRI) (Dong 等, 2009)。星载被动微波辐射资料可以提供各种天气条件下的陆面和大气信息。观测资料常常被用于反演海表温度、海表风场、大气云水、水汽、降水 (Wilheit 等, 2003; Yan 和 Weng, 2008)、土壤湿度 (Jackson, 1993; Njoku 等, 2003)、植被含水量 (Calvet 等, 1994)、地表温度 (Basist 等, 1998; Mao 等, 2007) 以及积雪 (Kelly 和 Bauer, 2000; Kelly 等, 2003) 等。

但是, 随着手机、广播、导航等无线电业务的不断发展, 人类活动中的主动遥感占有越来越多的低频无线电波段, 与卫星微波遥感的低频部分频率重合。这些人为主动遥感信号被相近频率的微波探测仪器接收, 对其观测数据造成干扰, 被称为无线电频率干扰 RFI (Radio Frequency Interference)。RFI 信号的可能来源包括军用、民用雷达、通信媒体卫星信号、空中交通管制、车辆遥控、全球导航定位系统以及国防追踪等。

已有研究表明, 卫星微波观测数据中的无线电

收稿日期: 2014-03-11; 修订日期: 2014-08-18; 优先数字出版日期: 2014-08-25

基金项目: 国家重点基础研究发展计划 (973 计划) (编号: 2010CB951600); 公益性行业 (气象) 科研专项 (编号: GYHY201406008); 江苏省普通高校研究生科研创新计划 (编号: CXLX13_483, CXZZ13_0503); 江苏高校优秀学科建设工程资助项目 (编号: PAPD)

第一作者简介: 冯呈呈 (1986—), 女, 博士研究生, 主要从事微波成像仪数据质量控制及反演模拟研究。E-mail: feng_chengcheng@163.com

©1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

频率干扰信号在陆地和海洋上均有存在。对陆地 RFI 污染信号,常用的分析方法包括:谱差法(Li 等, 2004; Wu 和 Weng, 2011)、平均值和标准差法(Njoku 等, 2005)、主成分分析法(Li 等, 2006)、标准化主成分分析法(Zou 等, 2012)以及双主成分分析(DPCA)方法(Zhao 等, 2013)。由于海洋的微波发射率远低于陆地, RFI 信号识别相对于陆地更加困难。现有的研究显示,海洋上的 RFI 信号通常存在于岛屿、近岸地区以及航空、航运的航线上,有时在大洋内部也会存在。针对海洋上的无线电干扰信号, Li 等人(2006)提出使用多通道回归算法,利用多通道间亮温相关性,通过没有海冰覆盖、无 RFI 信号地区的一定时间段亮温数据进行回归计算,最终得到欧洲海域 WindSat 数据中 RFI 信号分布。Adams 等人(2010)则通过对一定时间长度内海洋区域反演产品的卡方检验进行分析反推 WindSat 亮温数据中存在的 RFI 信号。

在本文中,尝试使用多通道回归方法和双主成分分析 DPCA 方法对风云三号 B 星上的微波成像仪(MWRI)海洋低频通道亮温数据进行 RFI 信号的识别,并对比其结果。

2 MWRI 仪器与通道特征

微波成像仪 MWRI(MicroWave Radiation Imager)装载于中国第二代近极地太阳同步轨道气象卫星风云三号 B 星(FY-3B)上。MWRI 有 5 个频率,分别为 10.65 GHz、18.7 GHz、23.8 GHz、36.5 GHz 和 89.0 GHz,每个频率有垂直和水平两种极化方式,共 10 个通道。各通道对应的星下点空间分辨率分别为 51 km × 85 km、30 km × 50 km、27 km × 45 km、18 km × 30 km 和 9 km × 15 km。

MWRI 以圆锥形的扫描方式对地观测,扫描角为 45°,扫描带宽度为 1400 km。完成一次扫描的时间为 1.8 s,在一个周期内,星下点向前移动路径为 12 km,相当于 89.0 GHz 通道天线波束在地球表面投影的分辨率。视场的采样间隔为 2.08 ms,每个扫描周期内可以得到 254 个地球观测数据采样点。除 89.0 GHz 以外,其他通道的天线视场间会有部分重叠。MWRI 仪器参数及通道特性的相关信息见表 1,其仪器性能被验证是稳定的(乔木等, 2012)。

表 1 MWRI 通道特点
Table 1 MWRI characteristics

中心频率/GHz	10.65	18.7	23.8	36.5	89.0
极化方向	V/H	V/H	V/H	V/H	V/H
带宽/MHz	180	200	400	900	4600
灵敏度/K	0.5	0.5	0.5	0.5	1.0
定标校准误差/K	1.0	2.0	2.0	2.0	2.0
地面分辨率/(km × km)	51 × 85	30 × 50	27 × 45	18 × 30	9 × 15
动态范围/K			3—340		
采样点数			240		
量化等级			12 比特		
主波束效率			≥90%		
通道间配准			波束指向误差 < 0.1°		
扫描方式			圆锥扫描		
幅宽/km			1400		
天线视角/(°)			45 ± 0.1		
扫描周期/s			1.8 ± 0.1		
扫描周期误差/ms		0.34 ms(相邻扫描线); 1 ms(连续 30 min 内)			

注 [2013-11-10] http://satellite.cma.gov.cn/PortalSite/StaticContent/DeviceIntro_FY3_MWRI.aspx。

3 识别方法

3.1 谱差法

(C)通常情况下,微波成像仪探测到的亮温数据值会随着通道频率的增加而增大(李小青等, 2012; 邹晓蕾, 2013),即高频通道的亮温值高于低频通道。但当低频通道中存在有无线电干扰信号时,会增加低频通道的亮温值,使得亮温随频率递增的变化趋

势发生变化。以 10.65 GHz 通道为例,正常情况下, $TB_{10.65V} < TB_{18.7V}$, $TB_{10.65H} < TB_{18.7H}$; 当 10.65 GHz 通道亮温数据中混有 RFI 信号时,使得两通道间亮温差值减小,甚至出现相反的谱差,即 $TB_{10.65V} - TB_{18.7V} > 0$ 且 $TB_{10.65H} - TB_{18.7H} > 0$ 。用这一频谱特征的差异识别 RFI 信号称为谱差法。

在已有研究中(Li 等,2004; Wu 和 Weng,2011),为了识别陆面数据中的 RFI 信号,定义以下指数:

$$\begin{cases} RI_{10.65H} = TB_{10.65H} - TB_{18.7H} \\ RI_{10.65V} = TB_{10.65V} - TB_{18.7V} \end{cases} \quad (1)$$

当指数大于 0,就表明有 RFI 存在的可能性,并且数值越大表示 RFI 信号越强。

谱差法的有效使用是基于不同通道间自然信号产生的亮温差异小于 RFI 信号带来的差异这一条件。但在海洋上,由于海面微波发射率远低于陆地,海表状况(风速、风向)及天气现象(水汽、降水、云等)也会使亮温发生很大变化,有时会超过 RFI 带来的影响。谱差法在应用到海洋数据时,无法区分较弱的 RFI 信号和天气变化等现象,在使用中存在一定的误差。

3.2 多通道回归法

Li 等人(2006)在分析 WindSat 的海洋数据中的 RFI 信号分布时,提出使用多通道回归的方法。该方法由模式差异方法(Li 等,2002)发展得到,即将观测值与回归亮温值之间的差异作为 RFI 信号的强度指数。已有研究(Li 等,2006)表明,海洋上各通道亮温值之间具有很高的相关性,可以通过其他通道上的观测亮温估计出指定通道上的亮温值,并且认为回归得到的亮温值不含有 RFI 信号。这样,该通道观测亮温 TB 与估计亮温 FB 之间的差值可以成为衡量这一通道上 RFI 信号的一个指标,即 $RI = TB - FB$ 。多通道回归方法利用通道间的相关性,且不需要借助其他数据或者模式,计算较为简单。

具体回归方程如式(2)(Li 等,2006),选取一定时间内的海洋观测亮温数据(无近海、无海冰、无 RFI 信号污染)作为基本资料,对 10.65 GHz 通道亮温数据进行回归:

$$FB_{10} = a_0 + \sum_{i=1} a_i TB_i + \sum_{i=1} b_i TB_i^2 + c_1 \ln(290 - TB_{23H}) + c_2 \ln(290 - TB_{23V}) \quad (2)$$

式中, TB_i ($i = 1, 2, 3, 4$) 分别表示 18.7 GHz 水平、18.7 GHz 垂直、36.5 GHz 水平和 36.5 GHz 垂直通

道亮温。

3.3 双主成分分析方法(Double PCA,DPCA)

Zhao 等人(2013)提出使用 DPCA 识别 RFI 信号,并成功地应用这一方法识别出南极和格陵兰岛地区 WindSat 数据中的 RFI 信号分布,有效地去除了信号附近积雪散射的影响。

洋面、云、降水及冰雪等的辐射特性会影响微波成像仪的所有通道,使得个通道亮温之间具有很好的相关性。而 RFI 信号主要存在于某一个或某几个低频通道,它的存在减弱了通道间的相关关系。DPCA 方法正是利用了这种相关性特点。

(1) 针对原始各通道亮温数据做第一次 PCA 计算。使用 10 个通道的亮温数据,在各观测点上组成一个 10 个分量的向量,

$$V_i = \begin{pmatrix} TB_{10.65H,i} \\ TB_{10.65V,i} \\ TB_{18.7H,i} \\ TB_{18.7V,i} \\ TB_{23.8H,i} \\ TB_{23.8V,i} \\ TB_{36.5H,i} \\ TB_{36.5V,i} \\ TB_{89.0H,i} \\ TB_{89.0V,i} \end{pmatrix}, i = 1, 2, \dots, N \quad (3)$$

式中, N 为研究范围内的数据点总数, H 表示水平通道, V 表示垂直通道。

对应的数据矩阵:

$$A_{10 \times N} = \begin{pmatrix} TB_{10.65H,1} & TB_{10.65H,2} & \dots & TB_{10.65H,N} \\ TB_{10.65V,1} & TB_{10.65V,2} & \dots & TB_{10.65V,N} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ TB_{89.0V,1} & TB_{89.0V,2} & \dots & TB_{89.0V,N} \end{pmatrix} \quad (4)$$

计算得到相应的特征值 λ_i ($i = 1, 2, \dots, 10$),特征向量 $e_i = [e_{1,i}, e_{2,i}, \dots, e_{10,i}]^T$ 及主成分 PC 系数 $u_i = [u_{i,1}, u_{i,2}, \dots, u_{i,N}]$ ($i = 1, \dots, N$)。其中, i 表示第 i 个主成分模态, e_i 为第 i 个主成分。

通过 PC 系数和模态,可以对矩阵 A 进行重建,

$A_R = \sum_{i=1}^{10} e_i u_i$, 选定数值 α , 将重建场分成两部分:

$$A_R = A_{R1} + A_{R2} = \sum_{i=1}^{\alpha} e_i u_i + \sum_{i=\alpha+1}^{10} e_i u_i \quad (5)$$

式中, α 数值的确定方法在后文中给出。由于 PC 模

态是依据特征值大小的降序排列,数据矩阵 A_{R1} 代表了亮温的主要特征, A_{R2} 矩阵为第 $(\alpha + 1)$ 到第 10 个 PC 模态亮温之和,即为残余的数据矩阵。 A_{R1} 代表了不同通道间的强相关部分。残余矩阵 A_{R2} 则是包含了 RFI 信号的低相关的部分。通过 α 的数值选定,尽可能地将 RFI 信号与主要亮温信息分离开。

(2) PCA 计算则是针对含有 RFI 信号的残余矩阵 A_{R2} 进行。根据 Zou 等人(2012)的方法,得到矩阵 A_{R2} 的 RFI 指数。定义 5 个分量的 RFI 指数向量,

$$\mathbf{R}_{\text{indices}}^{A_{R2}} = \begin{pmatrix} TB_{10.65H} - TB_{18.7H} \\ TB_{18.7H} - TB_{23.8H} \\ TB_{18.7V} - TB_{23.8V} \\ TB_{23.8H} - TB_{36.5H} \\ TB_{23.8V} - TB_{36.5V} \end{pmatrix} \quad (6)$$

这一指数用于识别 10.65 GHz 水平极化通道上的 RFI 信号。

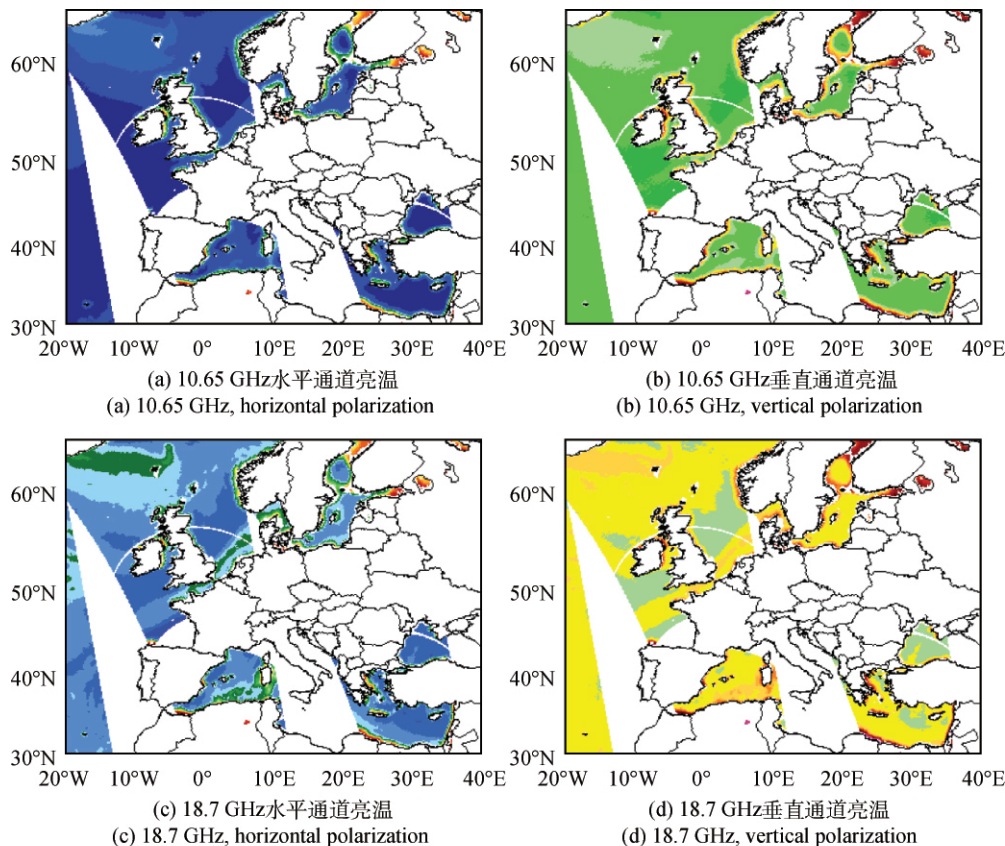
计算得到特征值和特征向量,及其相应的 PC 系数 $U, u_i = [u_{i,1}, u_{i,2}, \dots, u_{i,N}]$ 。第一模态对应最大的数值。由于 RFI 信号包含在残余矩阵中,第一 PC 系数 u_1 体现了 RFI 信号的存在可能性, u_1 的值越高表示 RFI 信号存在的可能性越大。

4 结果分析

由于海洋下垫面的特殊性, MWRI 观测到的亮温数据分布也具有不同于陆地的特点。图 1 给出了 2011 年 2 月 1 日欧洲附近海域 (30°N — 60°N , 20°W — 40°E) 的 MWRI 的 10.65 GHz、18.7 GHz 和 89.0 GHz 水平和垂直通道的观测亮温分布。可以看到,各通道内的海洋亮温数据变化比较平缓,至近岸地区,受到陆地影响,亮温梯度较大。同时,随着频率的增加,亮温数值呈递增趋势,不同频率间的亮温具有基本相同的分布趋势。垂直通道的亮温数值大于水平通道亮温。

4.1 谱差法得到 RFI 信号情况

存在于 10.65 GHz 通道上的 RFI 信号会增加该通道亮温,减少和 18.7 GHz 通道亮温间的差值,因而在一定程度上可以由 10.65 GHz 和 18.7 GHz 通道亮温数值之间的差值来体现 RFI 信号的存在。图 2 给出了欧洲海域 (30°N — 65°N , 20°W — 40°E) 10.65 GHz 和 18.7 GHz 水平与垂直通道间的亮温差 ($TB_{10} - TB_{18}$), 以及相应的亮温散点图。



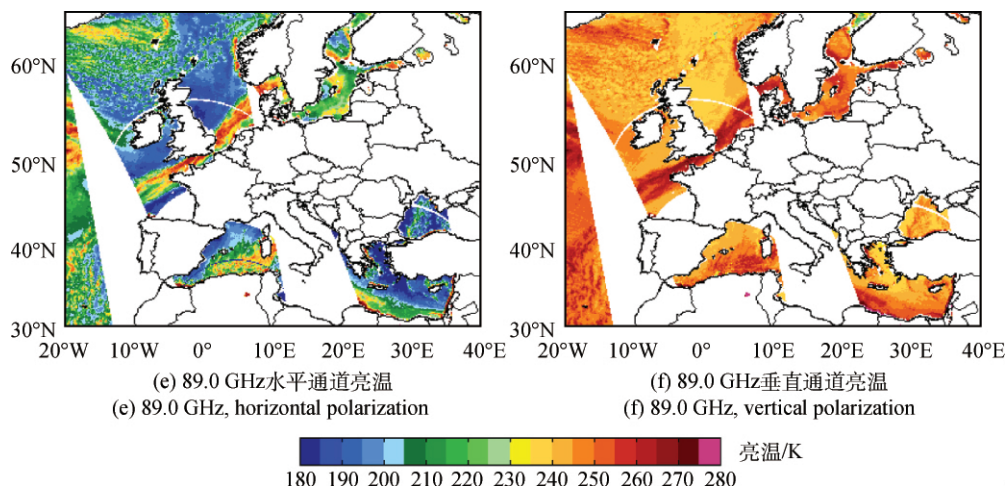


图1 2011年2月1日欧洲海域MWRI各通道亮温分布

Fig. 1 Spatial distribution of brightness temperature of MWRI at 10.65 GHz, 18.7 GHz and 89.0 GHz channels for horizontal and vertical polarization over ocean of Europe on February 1, 2011

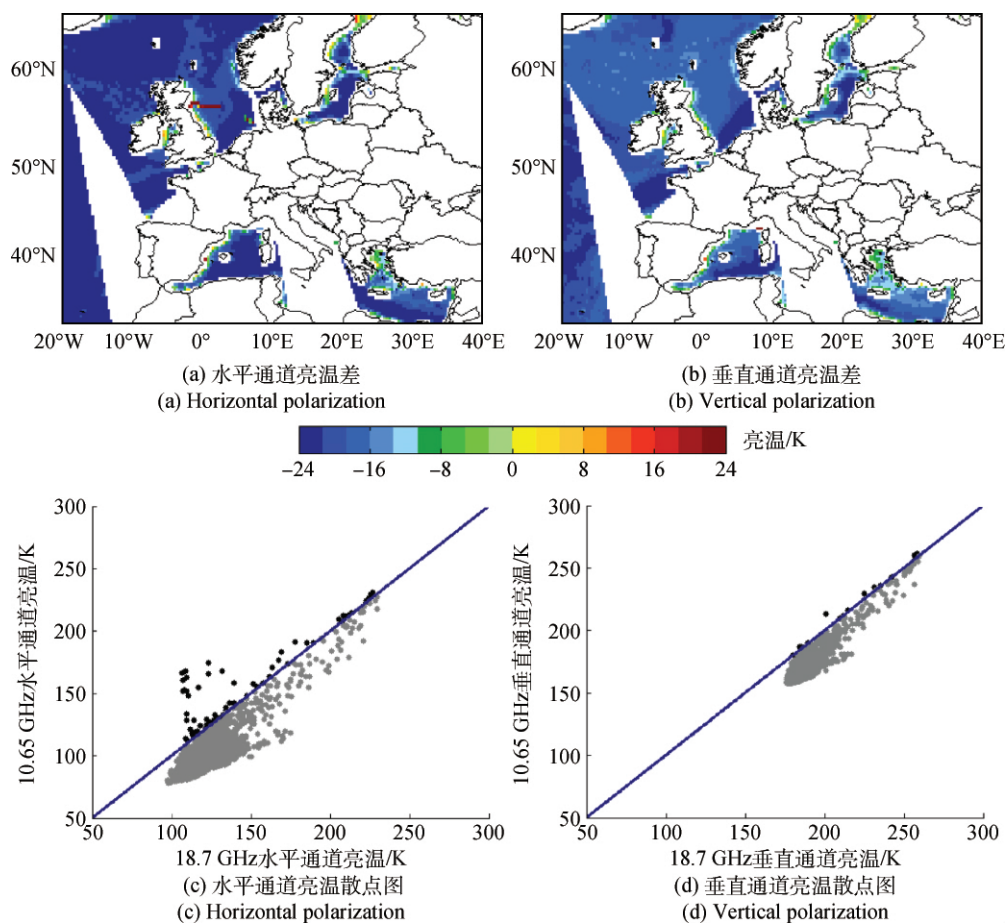


图2 欧洲海域2011年2月1日,10.65 GHz和18.7 GHz通道亮温差

Fig. 2 Difference of brightness temperature between 10.65 GHz and 18.7 GHz channels for horizontal and vertical polarization over ocean of Europe on February 1, 2011

从图中的差值分布可以看出,欧洲海域的通道间亮温差正值主要存在于不列颠岛屿周围、地中海地区以及波罗的海。由散点图可以发现,水平极化通道亮温范围比垂直极化通道宽出许多,这也说明水平极化对下垫面的敏感性高于垂直极化。并且,水平极化通道上的 10.65 GHz 和 18.7 GHz 之间的亮温差大于垂直极化通道。欧洲海域水平极化通道间的亮温差值最高可达 50 K 以上。

4.2 多通道回归方法识别的无线电频率干扰信号分布

根据 3.2 节中描述的方法,统计数据使用 2011 年 2 月—7 月,不包括近岸及高纬海冰覆盖地区的

60°S—60°N 之间远洋区域 MWRI 观测各通道亮温数据。通过多通道回归的方法,利用其他通道亮温数据计算得到 10.65 GHz 水平通道亮温,并将其与观测亮温值之间的差值作为 RFI 信号指标。在图 3 中给出了 2011 年 2 月 1 日欧洲海域多通道回归方法得到的 10.65 GHz 水平通道中 RFI 信号空间分布及观测亮温和回归亮温散点图。结果表明,通过该方法得到的 RFI 信号主要集中在近岸地区,在大不列颠岛周围、地中海和波罗的海较为明显。观测亮温与回归亮温之间的散点关系(图 3(b))与图 2(c)中的亮温散点图分布较为一致,观测亮温与回归亮温之间最大差值达到 50 K 以上。在散点图中可以发现,多通道回归方法识别出的 RFI 信号点多于谱差法。

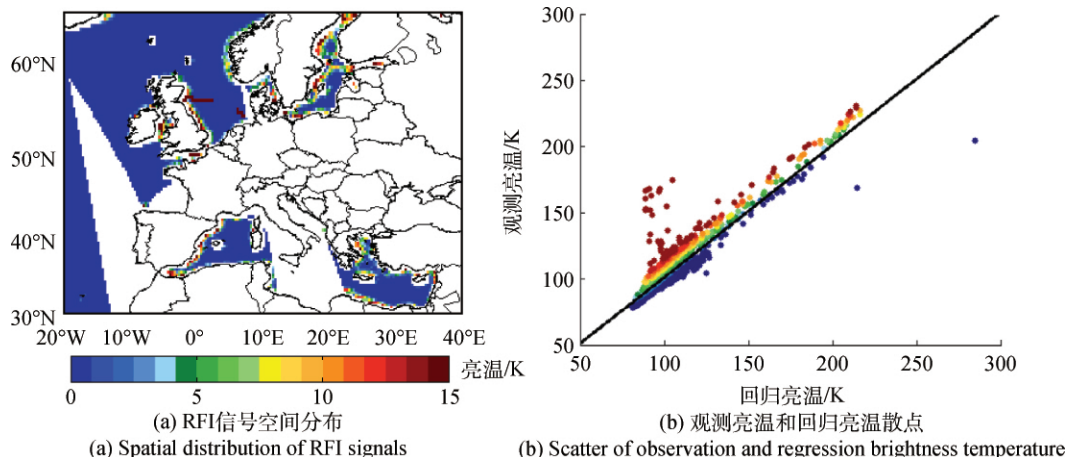


图3 回归计算方法识别出的 10.65 GHz 水平通道 RFI 信号分布,欧洲海域,2011 年 2 月 1 日

Fig. 3 Distribution of RFI signals for 10.65 GHz horizontal polarization detected by multichannel regressions over ocean of Europe on February 1, 2011

将多通道回归方法应用到其他区域,得到图 4 所示的 2011 年 2 月 1 日—10 日、7 月 1 日—10 日欧洲海域(30°N—65°N, 20°W—40°E),北美海域(20°N—60°N, 60°W—135°W)以及亚洲东部海域(5°N—50°N, 100°E—150°E) RFI 信号的分布情况。使用 10 天的亮温资料可以去除卫星扫描轨道间的空白区域。RFI 信号通常被认为具有定向、窄频、空间上孤立分布、时间上持续存在的特性,因而,在两个时间段内得到的 RFI 信号分布应该具有比较一致的形态。在图 4 的结果中,欧洲地区的 RFI 信号表现得最为强烈,主要分布在不列颠群岛周围、英吉利海峡、地中海及波罗的海。在北美和东亚海域,RFI 信号较弱,多存在于近岸地区。另外,北美地区哈得孙湾处 2 月份存在有很强的 RFI 信号,在 7 月份这一信号基本上不存在,很可能为虚假信号。结合当地气候

条件,推断是海冰所引起的。原因可以认为是,所选取的长时间段的基础回归亮温数据中不含有海冰区域亮温数据所致。这也说明,多通道回归分析方法无法适用于不同条件的海洋表面,例如海冰区域。

4.3 双主成分分析法识别出的无线电频率干扰信号分布

采用 DPCA 法对 MWRI 的 10.65 GHz 水平通道上的 RFI 信号做出识别。依据之前的介绍,分两步对 MWRI 亮温数据做主成分分析计算。仍以 2011 年 2 月 1 日欧洲海域为例,根据 3.3 节中的算法描述,对 MWRI 十个通道的亮温数据进行第一步的主成分分析,并对亮温做重构。选取合适的数值 α ,将重构亮温场分为主要部分和残余部分,同时使得 RFI 存在于残余亮温中。

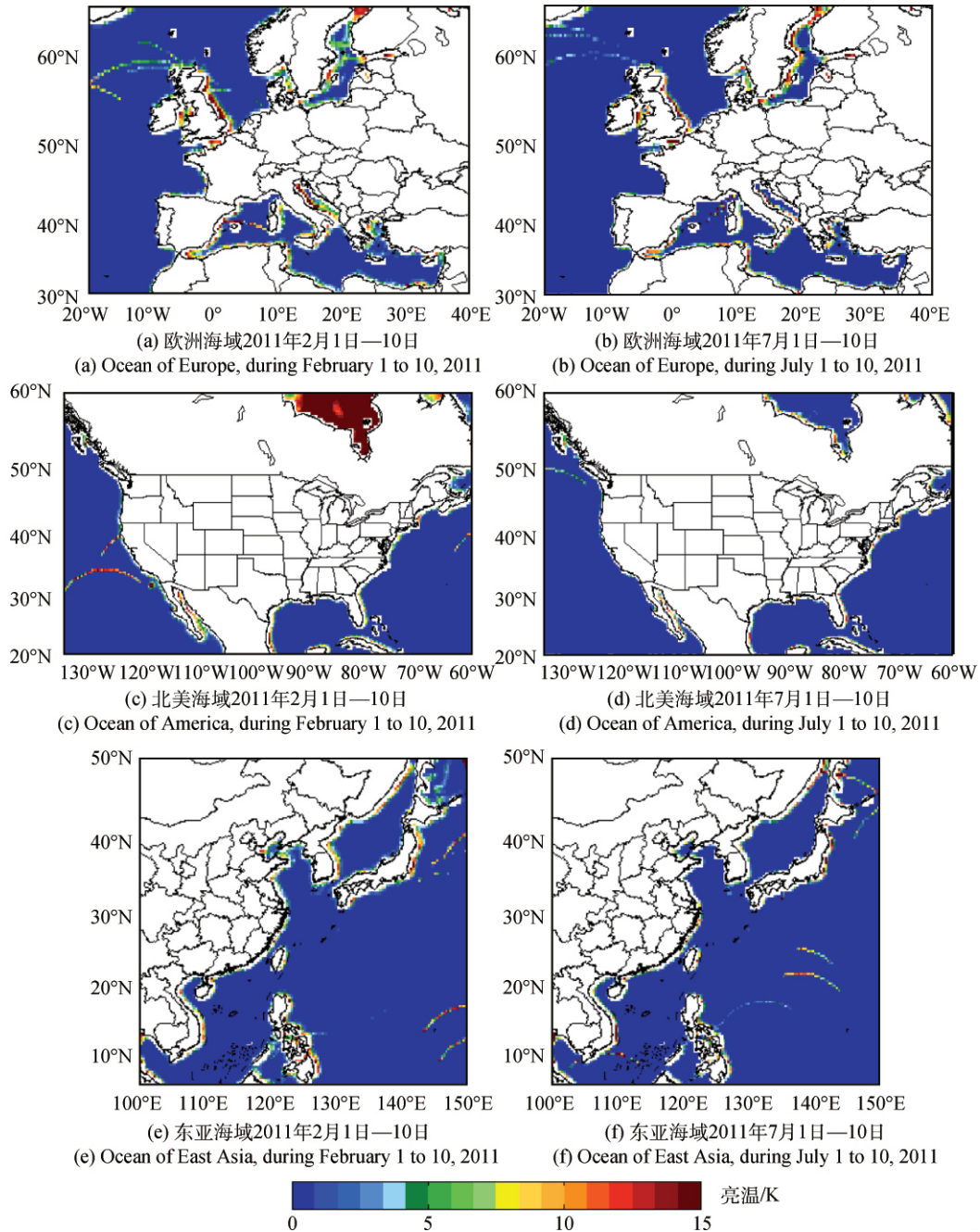


图4 多通道回归方法识别 10.65 GHz 水平通道数据中的 RFI 信号分布

Fig. 4 Distribution of RFI signals for 10.65 GHz horizontal polarization detected by multichannel regressions

对 α 的确定,如图5所示,根据谱差法得到的结果,选取3个典型区域(图5(a)),其中A、B位于RFI信号存在区域,C位于无RFI信号海域。分析3个区域内各格点PC系数(第二次PCA计算)随 α 取值的变化(图5(b)),可以发现,当 α 取值为4的时候,存在RFI信号区域的PC系数达到最大值,因此确定 α 的最终取值为4。

取 $\alpha=4$,将重构的亮温场分为主要部分和残余

部分,RFI信号包含在残余部分。针对分离出的残余部分的亮温数据计算式(6)中的RFI干扰指数向量,然后通过计算第二步的PCA,得到其中主要的成分,即RFI信号。在图6中给出了2011年2月1日欧洲地区海洋上MWRI观测数据中10.65 GHz水平通道RFI信号分布(图6(a))及RFI信号和观测亮温之间的散点图(图6(b))。RFI信号主要存在于地中海、不列颠群岛周围及波罗的海。散点图的分布与

之前两种方法得到的结果(图 2(c)、图 4(b)) 相近, 较强的 RFI 信号主要存在于 10.65 GHz 水平通道的

100—150 K 亮温范围内。由此可见,将 DPCA 方法用于识别海洋亮温数据中的 RFI 信号,结果是可信的。

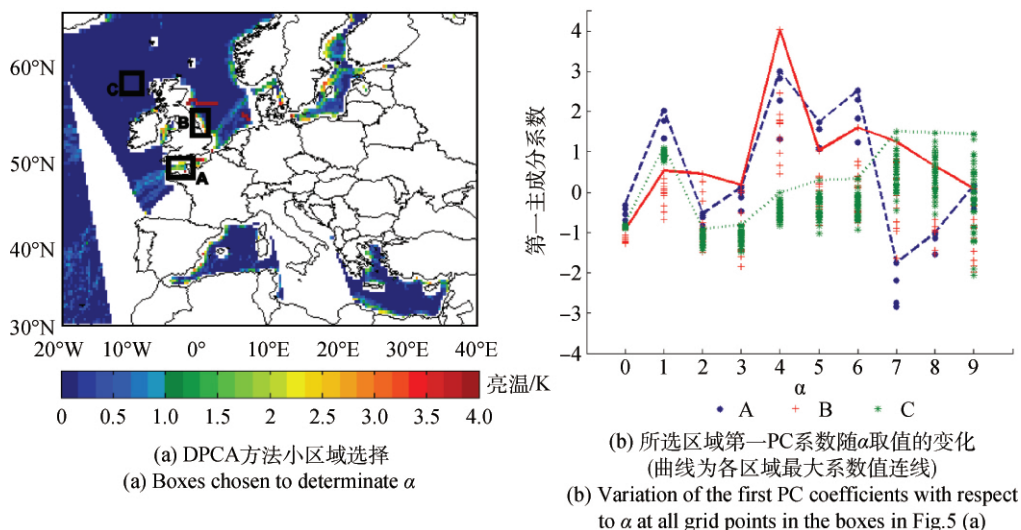


图 5 α 数值的确定

Fig. 5 Determination of parameter α

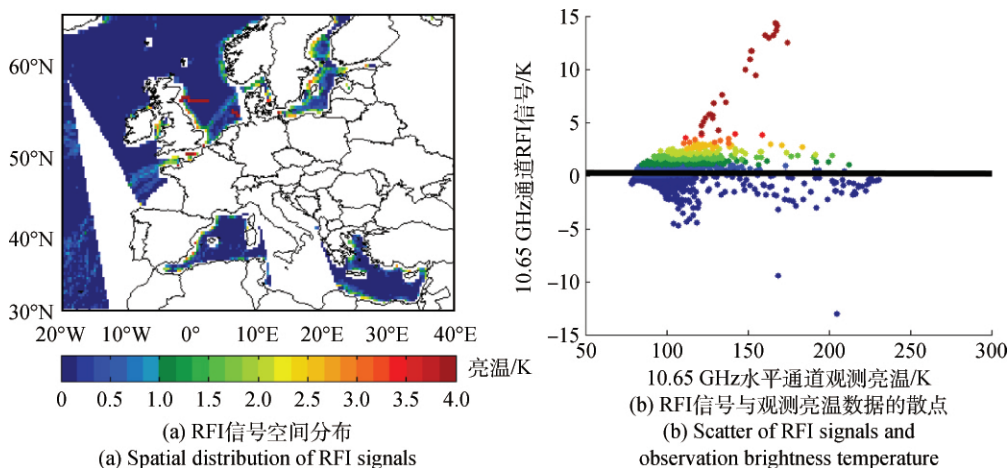


图 6 DPCA 方法识别出的 10.65 GHz 水平通道 RFI 信号,欧洲海域,2011 年 2 月 1 日

Fig. 6 RFI signals for 10.65 GHz horizontal polarization detected by DPCA method over ocean of Europe, on February 1, 2011

将 DPCA 方法用于识别 2011 年 2 月 1 日—10 日和 2011 年 7 月 1 日—10 日欧洲、北美与东亚海域的 MWRI 的 10.65 GHz 水平通道观测亮温中的 RFI 信号,结果如图 7 所示。可以看到 DPCA 的结果与多通道回归方法相近,大部分的 RFI 信号都可以被两种方法识别出来。同样,RFI 信号在欧洲海域表现最强烈,主要还是存在于近岸地区。并且由 DPCA 识别出的 RFI 信号在 2 月与 7 月的空间分布具有更好的一致性。如北美哈得孙湾区域,多通道回归方法会产生虚假信号,而 DPCA 方法没有出现错误的识别结果,可以较好地避免异

常判断。

利用 DPCA 对全球大洋(除两极以外,65°N—65°S)范围内 2011 年 2 月 1 日—10 日和 7 月 1 日—10 日 MWRI 10.65 GHz 水平通道亮温数据中的 RFI 信号进行识别,所得结果如图 8 所示。从图中可以看出,不同季节的 RFI 分布具有较好的一致性。全球范围海洋上,MWRI 仪器 10.65 GHz 水平通道亮温数据中 RFI 信号主要分布在欧洲海域,包括地中海、英吉利海峡、波罗的海等处。同时在美国、日本、澳大利亚等一些发达地区附近海域,受到人类活动的影响也存在有 RFI 污染信号。

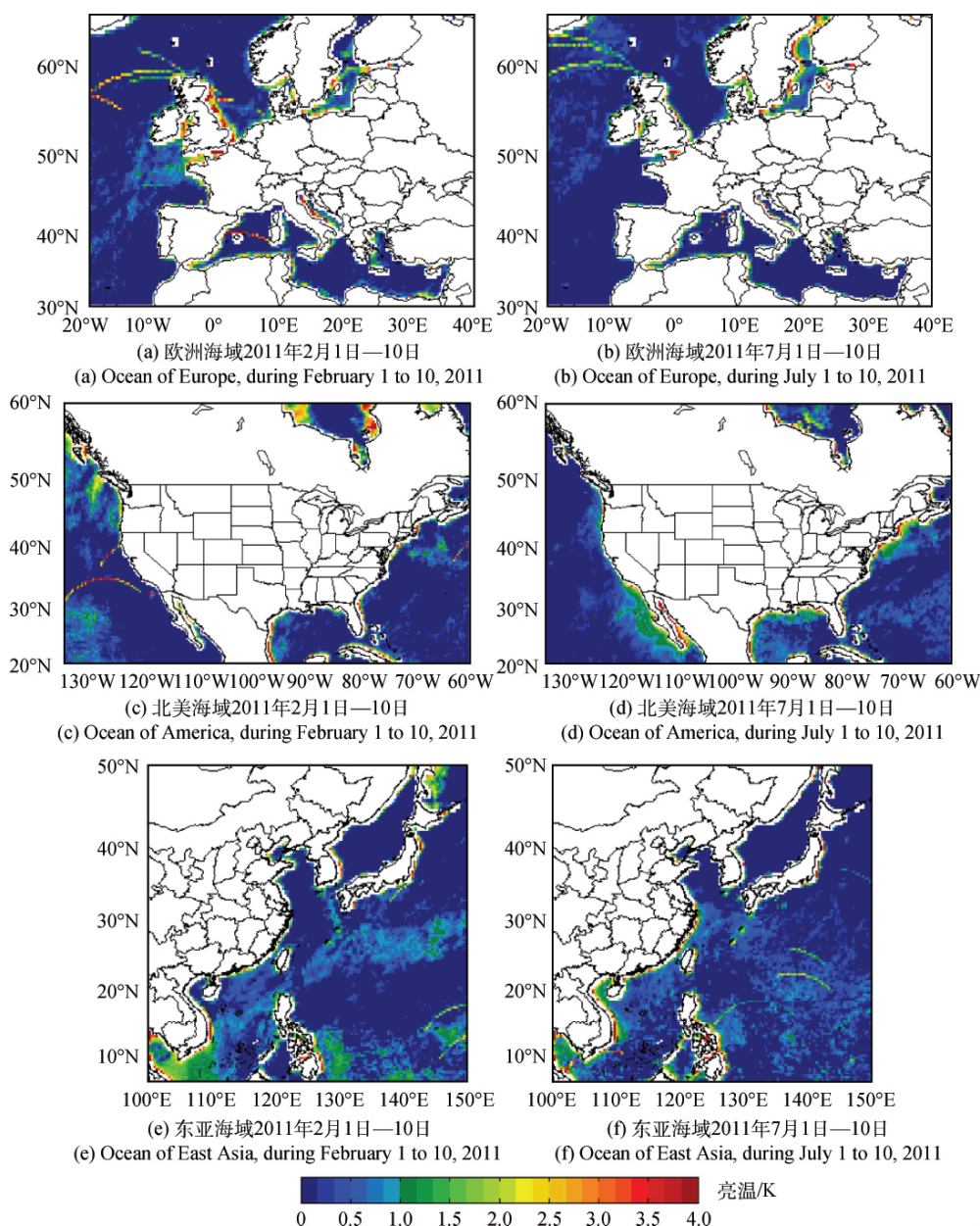


图7 通过DPCA方法识别10.65 GHz水平通道数据中的RFI信号分布

Fig. 7 Distribution of RFI signals for 10.65 GHz horizontal polarization detected by DPCA method

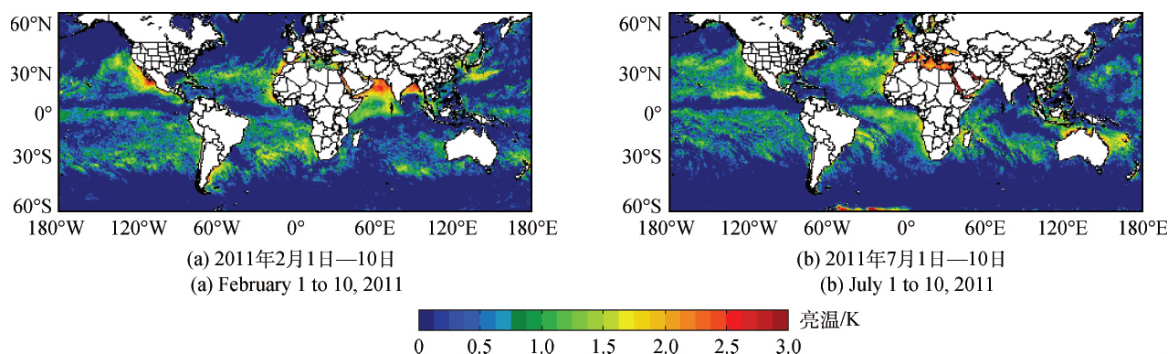


图8 DPCA方法得到的MWRI 10.65 GHz水平通道全球海洋(65°N—65°S)数据中RFI信号分布

Fig. 8 Distribution of RFI signals from MWRI brightness temperatures at 10.65 GHz

5 结 论

由于人类活动的影响,星载微波成像仪低频数据受到无线电干扰信号的影响越来越严重,这些污染信号降低了遥感数据的质量。因此,在 MWRI 数据同化和反演之前,对 RFI 信号的识别就是十分必要的。本文使用多通道回归和 DPCA 方法对 FY-3B 上的 MWRI 的 X 波段水平通道海洋区域亮温数据中的 RFI 信号进行了识别与分析。DPCA 方法利用各通道间亮温数据的相关性,融合谱差法的 RFI 指数信息,对低频通道中的 RFI 信号做出识别。DPCA 方法得到的 RFI 信号分布与多通道回归结果基本一致,可以认为 DPCA 在识别 MWRI 海洋亮温数据中的 RFI 信号时是有效的,同时 DPCA 方法可以很好地避免海冰的散射影响。结果显示:在欧洲地区,RFI 主要存在于地中海、波罗的海及不列颠群岛附近;在东亚地区,主要存在于日本岛海域、中国东部沿海海域及菲律宾群岛附近;在北美地区较少,主要是受陆面延伸影响,存在于近岸地区。在没有真实可信的海洋上无线电信号数据的情况下,不同识别方法得到的一致结果,有助于识别海上数据中频率干扰。

在今后的研究中,会进一步的完善双主成分分析方法,并将其应用到卫星遥感数据的产品反演与同化中。

志 谢 感谢南京信息工程大学大气科学学院院长、资料同化研究与应用中心主任邹晓蕾教授给予的指导;感谢中国气象局气象干部培训学院赵娟老师提供的帮助;感谢国家卫星气象中心提供的 MWRI 亮温数据。

参考文献(References)

- Adams I S, Bettenhausen M H, Gaiser P W and Johnston W. 2010. Identification of ocean-reflected radio-frequency interference using WindSat retrieval chi-square probability. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 7(2): 406–410 [DOI: 10.1109/LGRS.2009.2037446]
- Basist A, Grody N C, Peterson T C and Williams C N. 1998. Using the special sensor microwave/imager to monitor land surface temperatures, wetness, and snow cover. *Journal of Applied Meteorology*, 37(9): 888–911 [DOI: 10.1175/1520-0450(1998)037<0888:UTSSMI>2.0.CO;2]
- Calvet J C, Wigneron J P, Mougin E, Kerr Y H and Brito J L S. 1994.

- Plant water content and temperature of the Amazon forest from satellite microwave radiometry. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 32(2): 397–408 [DOI: 10.1109/36.295054]
- Dong C H, Yang J, Yang Z D, Lu N M, Shi J M, Zhang P, Liu Y J, Cai B and Zhang W J. 2009. An overview of a new Chinese weather satellite FY-3A. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 90(10): 1531–1544 [DOI: 10.1175/2009BAMS2798.1]
- Gaiser P W, St Germain K M, Twarog E M, Poe G A, Purdy W, Richardson D, Grossman W, Jones W L, Spencer D, Golba G, Cleveland J, Choy L, Bevilacqua R M and Chang P S. 2004. The Wind-Sat spaceborne polarimetric microwave radiometer: Sensor description and early orbit performance. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 42(11): 2347–2361 [DOI: 10.1109/TGRS.2004.836867]
- Hollinger J P, Peirce J L and Poe G A. 1990. SSM/I instrument evaluation. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 28(5): 781–790 [DOI: 10.1109/36.58964]
- Jackson T J. 1993. III. Measuring surface soil moisture using passive microwave remote sensing. *Hydrological Processes*, 7(2): 139–152 [DOI: 10.1002/hyp.3360070205]
- Kawanishi T, Sezai T, Ito Y, Imaoka K, Takeshima T, Ishido Y, Shibata A, Miura M, Inahata H and Spencer R W. 2003. The Advanced Microwave Scanning Radiometer for the Earth Observing System (AMSR-E), NASDA's contribution to the EOS for global energy and water cycle studies. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 41(2): 184–194 [DOI: 10.1109/TGRS.2002.808331]
- Kelly G and Bauer P. 2000. The use of AMSU-A surface channels to obtain surface emissivity over land, snow and ice for numerical weather prediction // *Proceedings of the 6th International TOVS Study Conference*. Budapest, Hungary; [s. n.]: 167–179
- Kelly R E, Chang A T, Tsang L and Foster J L. 2003. A prototype AMSR-E global snow area and snow depth algorithm. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 41(2): 230–242 [DOI: 10.1109/TGRS.2003.809118]
- Kummerow C, Barnes W, Kozu T, Shiue J and Simpson J. 1998. The Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) sensor package. *Journal of Atmospheric and Oceanic*, 15(3): 809–817 [DOI: 10.1175/1520-0426(1998)015<0809:TTRMMT>2.0.CO;2]
- Li L, Im E and Njoku E G. 2006. Radio-frequency interference (RFI) identification and suppression of the 7-GHz AMSR-E channels for land remote sensing. *Jet Propulsion Lab., Pasadena, CA, D*–24839.
- Li L, Gaiser P W, Bettenhausen M H and Johnston W. 2006. WindSat radio-frequency interference signature and its identification over land and ocean. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 44(3): 530–539 [DOI: 10.1109/TGRS.2005.862503]
- Li L, Njoku E G, Im E, Chang P S and Germain K S. 2004. A preliminary survey of radio-frequency interference over the U. S. in Aqua AMSR-E data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 42(2): 380–390 [DOI: 10.1109/TGRS.2003.817195]
- Li X Q, Yang H, You R, Zhao F S and Qiao Y L. 2012. Remote sensing typhoon Songda's rainfall structure based on Microwave Radiation Imager of FY-3B satellite. *Chinese Journal of Geophysics*, (in Chinese), 55(9): 2844–2853 (李小青, 杨虎, 游然, 赵凤生, 乔

- 延利. 2012. 利用风云三号微波成像仪资料遥感“桑达”台风降雨结构. 地球物理学报, 55(9): 2844–2853 [DOI: 10.6038/j.issn.0001–5733.2012.09.004]
- Madrid C. 1978. The Nimbus-7 User's Guide. NASA Goddard Space Flight Center
- Mao K B, Shi J C, Li Z L, Qin Z H, Li M C and Xu B. 2007. A physics-based statistical algorithm for retrieving land surface temperature from AMSR-E passive microwave data. Science in China series D: Earth Sciences, 50(7): 1115–1120 [DOI: 10.1007/s11430–007–2053–3]
- Njoku E G, Ashcroft P, Chan T K and Li L. 2005. Global survey and statistics of radio-frequency interference in AMSR-E land observations. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 43(5): 938–947 [DOI: 10.1109/TGRS.2004.837507]
- Njoku E G, Jackson T J, Lakshmi V, Chan T K and Nghiem S V. 2003. Soil moisture retrieval from AMSR-E. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 41(2): 215–229 [DOI: 10.1109/TGRS.2002.808243]
- Qiao M, Yang H, He J K and Lü L Q. 2012. On-orbit performance stability analysis of microwave radiometer imager onboard FY-3 Satellite. Journal of Remote Sensing, 16(6): 1246–1261 (乔木, 杨虎, 何嘉彬, 吕利清. 2012. 风云三号卫星微波成像仪在轨性能稳定性分析. 遥感学报, 16(6): 1246–1261)
- Wilheit T, Kummerow C D and Ferraro R. 2003. Rainfall algorithms for AMSR-E. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 41(2): 204–214 [DOI: 10.1109/TGRS.2002.808312]
- Wu Y and Weng F Z. 2011. Detection and correction of AMSR-E radio-frequency interference. Acta Meteorologica Sinica, 25(5): 669–681 [DOI: 10.1007/s13351–011–0510–0]
- Yan B H and Weng F Z. 2008. Application of AMSR-E measurements for tropical cyclone predictions. Part I: retrieval of sea surface temperature and wind speed. Advances in Atmospheric Sciences, 25(2): 227–245 [DOI: 10.1007/s00376–008–0227–3]
- Zhao J, Zou X L and Weng F Z. 2013. WindSat Radio-Frequency interference signature and its identification over Greenland and Antarctic. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 51(9): 4830–4839 [DOI: 10.1109/TGRS.2012.2230634]
- Zou X L. 2012. Introduction to microwave imager radiance observations from Polar-orbiting meteorological satellites. Advances in Meteorological Science and Technology, 2(3): 45–50 (邹晓蕾. 2012. 极轨气象卫星微波成像仪资料. 气象科技进展, 2(3): 45–50)
- Zou X L, Zhao J, Weng F Z and Qin Z K. 2012. Detection of Radio-frequency interference signal over land from FY-3B microwave radiation imager (MWRI). IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 50(12): 4994–5003 [DOI: 10.1109/TGRS.2012.2191792]

Identification of radio-frequency interference signal from FY-3B microwave radiation imager over ocean

FENG Chengcheng, ZHAO Hong

Center of Data Assimilation for Research and Application, College of Atmospheric Science,
Nanjing University of Information and Technology, Nanjing 210044, China

Abstract: Radio-Frequency Interference (RFI) is an increasingly severe problem for present and future microwave satellite missions. It causes serious problems to passive and active microwave sensing observations and to corresponding retrieval products. Detecting RFI signals is an important step before data can be used. The Microwave Radiation Imager (MWRI) on board the FengYun (FY)-3B satellite can provide the brightness temperature data at 10.65 GHz, 18.7 GHz, 23.8 GHz, 36.5 GHz, and 89 GHz, each having dual channels at horizontal and vertical polarization states. RFI signals are present in MWRI data over land and ocean. RFI signals from data over ocean are more difficult to detect than those over land because of the low microwave emissivity of the sea surface. In general, RFI signals are detectable by using a multichannel regression method and retrieval chi-square probability. However, the two methods need auxiliary brightness temperature data within a certain period of time under conditions without ice and RFI, and located away from the coast. In this study, we use multichannel regression and Double Principal Component Analysis (DPCA) to identify the RFI signals from MWRI data over ocean. DPCA takes advantage of the decorrelation for RFI signals and the correlation characteristics of radiation data in different channels for nature surface, including snow cover and synoptic process. This method does not need auxiliary brightness temperature data, and it can be used to offer a real-time RFI detection method before data are provided. Compared with the results of multichannel regression, the results of DPCA can be considered effective in detecting RFI signals from MWRI ocean brightness temperatures. Moreover, the results obtained from the water near North America in winter indicate that multichannel regression produces false results over sea ice. The false signals could be avoided effectively in DPCA. The consistent results from different methods show that the RFI signals detected are credible. The RFI signals of MWRI at 10.65 GHz horizontal polarization over ocean are distributed widely over the ocean of Europe, and these signals are present at the offshore marine areas of East Asia and North America.

Key words: microwave remote sensing, microwave radiation imager, radio-frequency interference, double principal component analysis