



中国科学院遥感与数字地球研究所
Institute of Remote Sensing and Digital Earth, CAS

基于风云卫星数据的火情监测研究

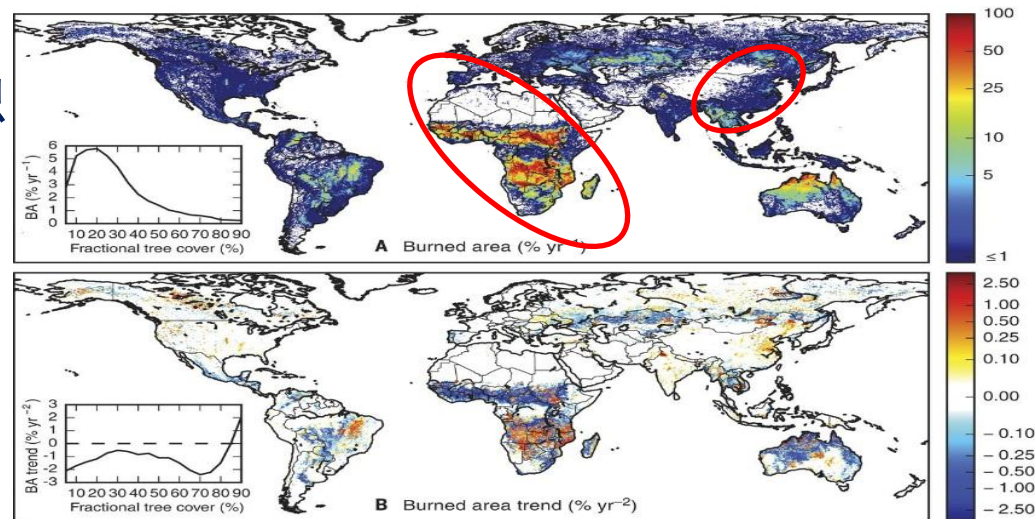
报告人：陈方
chenfang@radi.ac.cn

2018年11月13日 成都

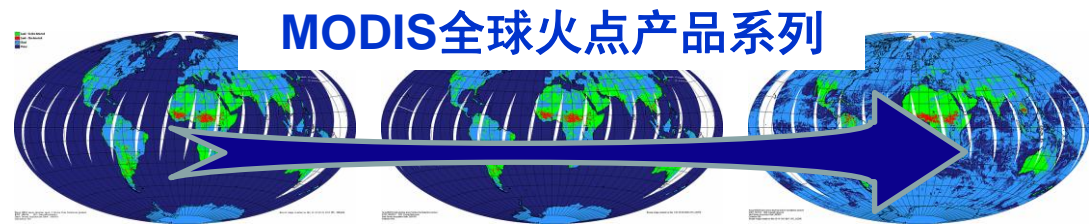


基于卫星的火情监测研究

- 每年全球约有**4亿公顷**陆地受到火灾的威胁，火灾灾害**突发性强、破坏性大**、处置救助较为困难。
- 我国森林面积**2.08亿公顷**，森林覆盖率21.63%。森林面积和森林蓄积分居世界第5和第6，**人工林面积居世界首位**。
- **火情监测**，特别是林火监测是**我国防灾减灾**工作的重要组成部分



基于卫星遥感数据的全球燃烧面积示意图，我国呈现出小规模火情频发但总体可控的态势



相比于传统手段，卫星在火情监测中具有**快速、高效、大面积监测**等多种优势，目前逐步成为世界各国应对自然灾害的重要方式。

在具体研究中，包括AVHRR、MODIS、VIIRS等多种遥感数据被广泛应用。

风云卫星在火情监测研究中的优势与应用

卫星监测火情的核心：需要有**特定光谱波段**的数据、具有**相对较高的时空分辨率**、具有**高普适性**高效率的算法

相对优势

相关应用

在轨运行
风云卫星系列数据

极轨卫星

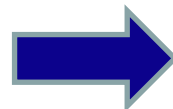
风云三号 C/D

静止卫星

风云二号 E/F/G

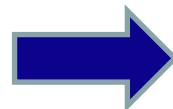
风云四号 A

- ✓ 序列在不断更新中，相比国际同类数据具有可持续性
- ✓ 合适的光谱波段
- ✓ 新数据具有较高的空间分辨率



火情发生中的**火点识别算法**研究
火灾后的**燃烧面积提取**分析研究

- ✓ 国际同类卫星对亚洲和太平洋地区关注不足
- ✓ 合适的光谱波段
- ✓ 新数据具有较高的时空分辨率



高时间分辨率下的火情**火点动态**分析研究
结合极轨卫星高空间分辨率的**综合火情**研究

火点识别及监测研究

数据选择

极轨-低空间分辨率

AVHRR

极轨-中低空间分辨率

MODIS、**VIRR(FY-3C)**

极轨-中空间分辨率

VIIRS、**MERSI(FY-3D)**

极轨-中高空间分辨率

ASTER、Landsat

静止轨道

SEVIRI、**VISSR(FY-2)**、
AGRI(FY-4A)

火点识别方法

目视解译法

识别不准确，容易出现错误；

Dozier模型方法与阈值算法

选择合适的阈值困难；
大面积范围内适应性差；

上下文
模型方法

算法具有较好适应性，但
需要针对数据进行调整

针对风云系列数据在算法上的改进研究

- 1、针对上下文算法进行了**模型的优化**
- 2、对极轨卫星数据采用**时序分析算法**进行火点动态识别
- 3、对静止轨道卫星数据采用**时序与图像分析结合的方法**进行火点识别

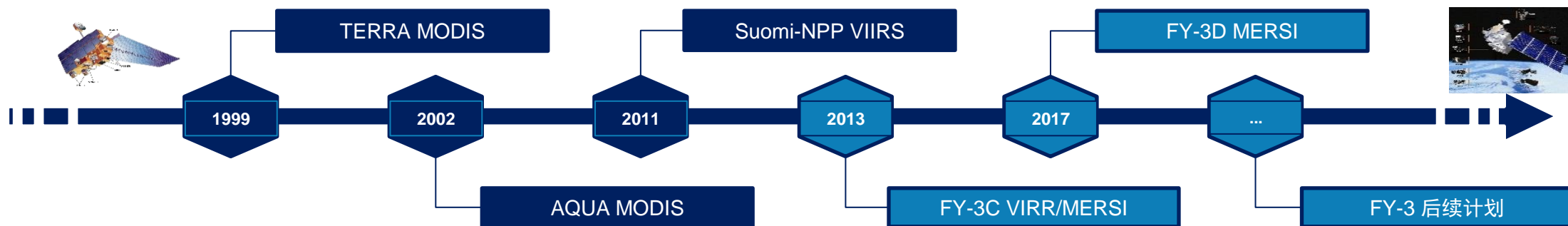
极轨卫星火点识别算法研究

提出了基于**上下文方法**的风云三号C星火点识别算法

1. 成熟的卫星发射计划保证了风云极轨系列卫星**对地观测的持续性**
2. **新设备、新载荷**具有接近或优于MODIS等同类仪器的性能
3. 通过新算法**提高风云三号数据火点产品(GFR)精度, 满足应用需求**
4. 为**后续**风云数据火点**算法**提供设计思路

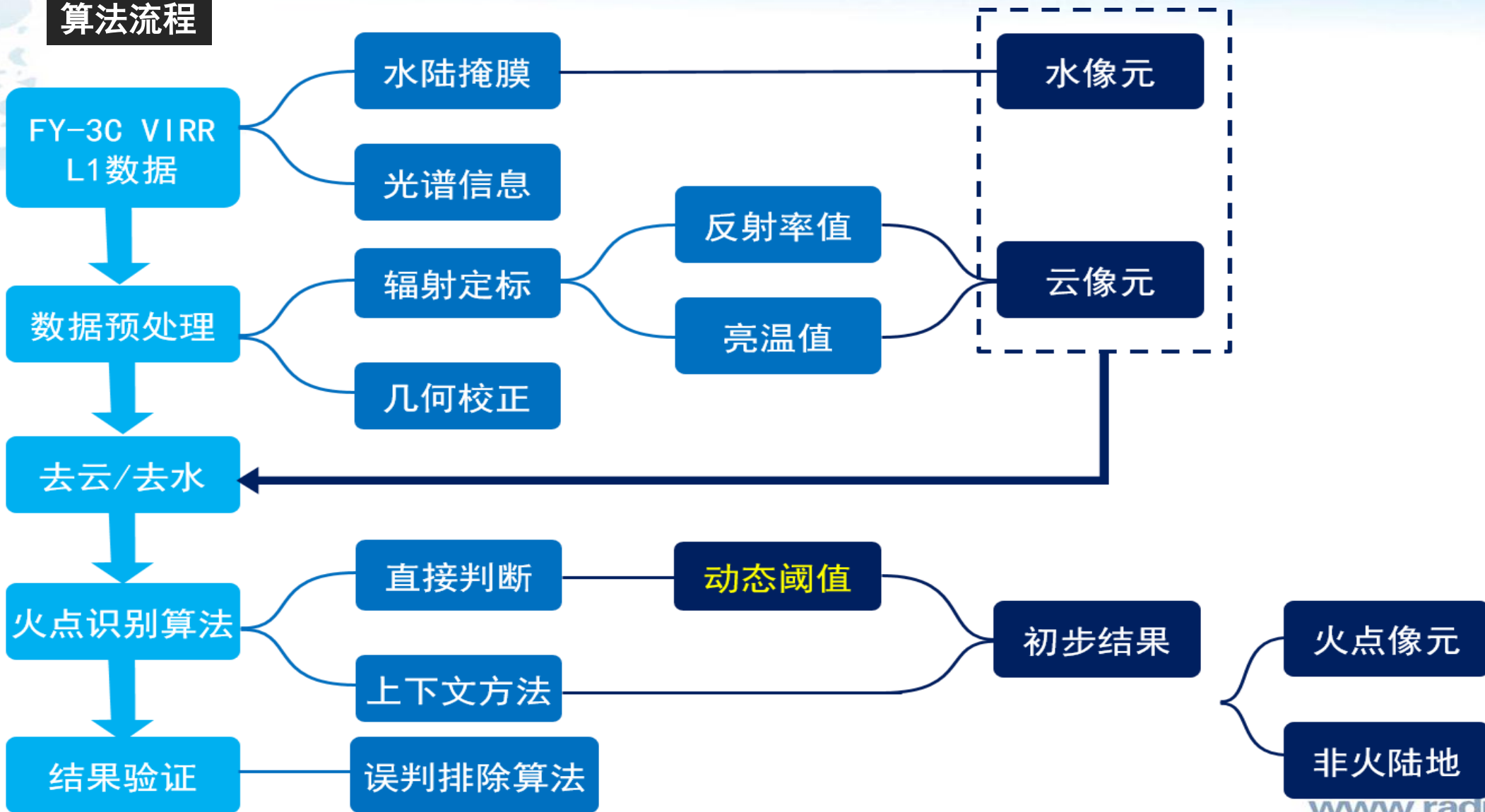
算法设计思路

1. 框架上借鉴MODIS上下文方法(第四代算法)的设计思路
2. 在算法中针对VIRR传感器光谱波段进行了**参数修正**
3. 考虑到算法在**全球范围内的适应性**, 增加了**动态阈值方法**和**红外通道斜率**的内容, 提高了算法的稳定性和精度



极轨卫星火点识别算法研究

算法流程

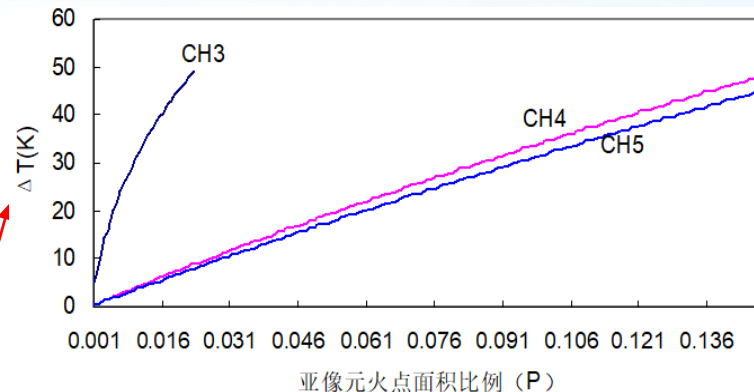


极轨卫星火点识别算法研究

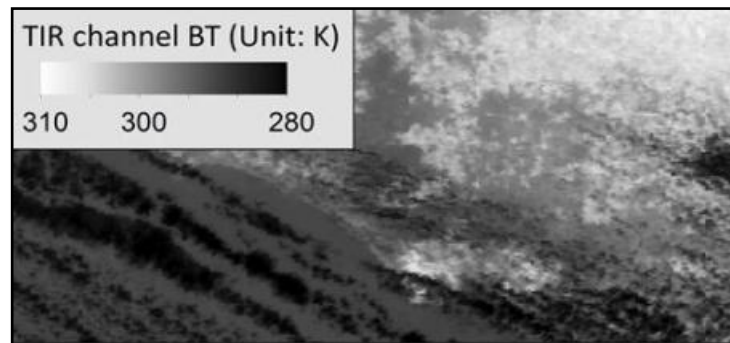
➤ 数据处理与波段选择

在火点识别中采用**可见光红外扫描辐射计 (VIRR)** 数据, 相比于空间分辨率更高的中分辨率光谱成像仪 (MERSI), 前者具有的**中红外通道**在火点识别更有效

通道	波段范围 (μm)	噪声等效反射率 ρ (%) 噪声等效温差 (300k)	动态范围 (ρ 或k)
1	0.58-0.68	0.1%	0-100%
2	0.84-0.89	0.1%	0-100%
3	3.55-3.93	0.3k	180-350k
4	10.3-11.3	0.2k	180-330k
5	11.5-12.5	0.2k	180-330k
6	1.55-1.64	0.15%	0-90%
7	0.43-0.48	0.05%	0-50%
8	0.48-0.53	0.05%	0-50%
9	0.53-0.58	0.05%	0-50%
10	1.325-1.395	0.19%	0-90%



中红外波段对高温更敏感



$$r_1 + 0.02 > r_6 \quad \text{or} \quad r_6 > 0.055$$

$$T_5 < \{280, \overline{T}_{5\max}$$

(Daytime Only) $(T_3 - T_5) > 15 \text{ K}$

(Nighttime Only) $T_5 < 270\text{K}$

热红外及可见光波段用于去除云等其他像元的干扰

VIRR数据中有预设的**水陆掩膜数据** (Land and Sea Mask), 可以方便地进行水陆像元区

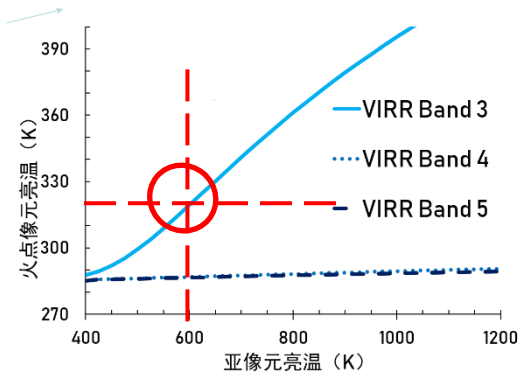
极轨卫星火点识别算法研究

1. 火点识别-直接阈值法初步判断

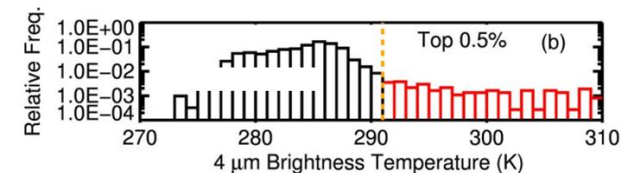
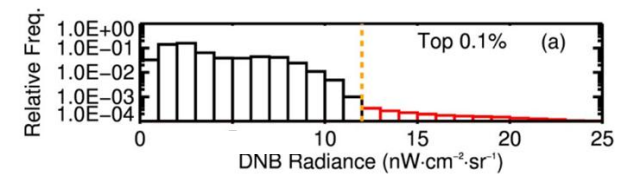
- a) 在火点算法的研究中，直接阈值法曾作为判断火点的首要方法。但由于传感器参数、观测条件、地表环境等多种条件的差异，采用**均一阈值严重影响**大空间尺度内的火点判识的精度。
- b) **MODIS火点**算法中通过直接阈值进行初步判断，**筛选出部分明显为火点的像元**。
- c) 基于风云数据算法与MODIS算法的思路相同，但是为了更好地适应不同观测环境，这里采用**动态阈值**（这里计算单景影像中**亮温值前0.01%**）作为火点初识步骤中的基准值。



均一阈值可有效判断火点，但在高反射率、高亮温区域会有明显误判



依据波段光谱相应函数计算的均一阈值

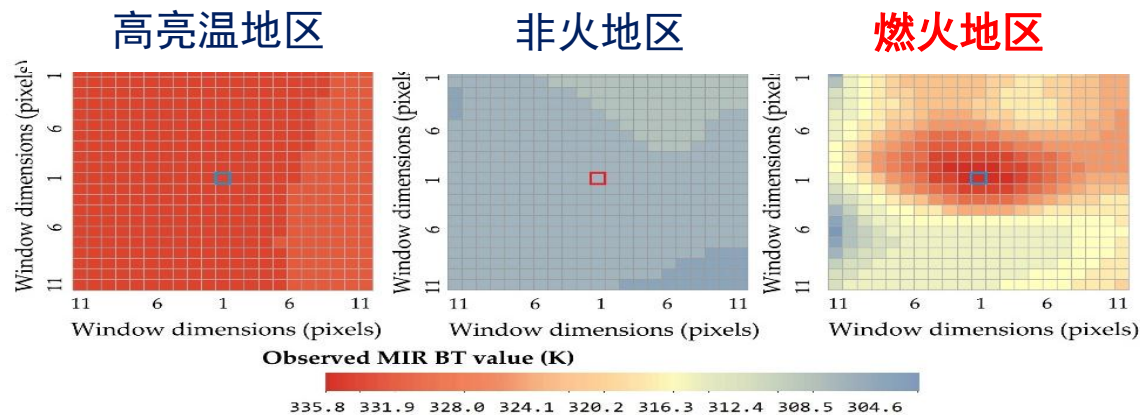


依据图像亮温分布情况计算的动态阈值

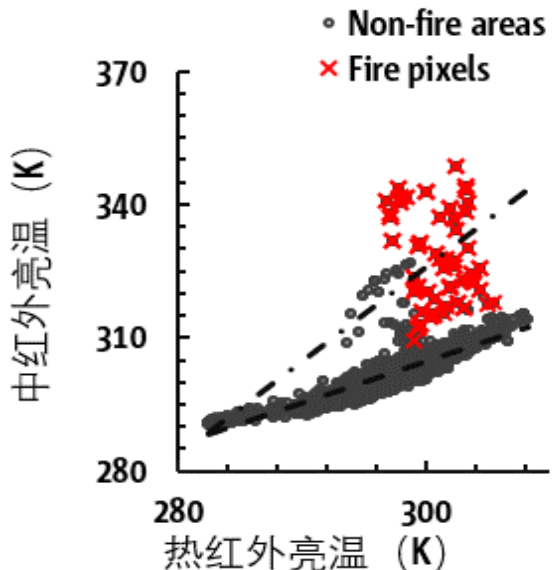
极轨卫星火点识别算法研究

2. 火点识别-上下文算法

- 上下文方法是一种基于图像的、逐像元的火点判识方法。
- 基本判断过程如下：通过计算目标像元邻域窗口内其他像元的亮温特征，将其与目标像元的特征进行比较，从而判断其是否为火点。



对于不同类别的观测地表，中心窗口与邻域窗口内像元的特征有着显著差异



为了将火点像元与邻域像元更好更有效的进行区分，提出的火点算法中引入了**红外通道斜率的计算 (ICGI)**。

$$\rho_{\text{pixel}} = \frac{T_3 - T_{3,\text{valid,min}}}{T_4 - T_{4,\text{min}3}} \quad \text{目标像元 ICGI}$$

$$\rho_{\text{base}} = \frac{\overline{T_{3,\text{valid}}} - T_{3,\text{valid,min}}}{\overline{T_{4,\text{valid}}} - T_{4,\text{min}3}} \quad \text{邻域窗口 ICGI}$$

$$\rho_{\text{pixel}} - \rho_{\text{base}} > 0.10.$$

中心目标像元具有更显著的 ICGI 值可判别为火点

红外通道斜率综合计算了窗口内中红外、热红外亮温值的绝对与相对大小

极轨卫星火点识别算法研究

3. 误判火点去除

- 上述方法能够有效地将具有高亮温的火点与其他诸多类别的非火点加以区分；
- 但是仍然有**少量同时具有高亮温特性的非火点**会被误判为火点；
- 这类像元包括裸露岩石地表、云/水像元与陆地像元的连接处等，因此还需要进行额外的误判火点去除工作。

$$\Delta T < \overline{\Delta T}$$

$$T_3 < T_{\text{limit}}(\text{day or night})$$

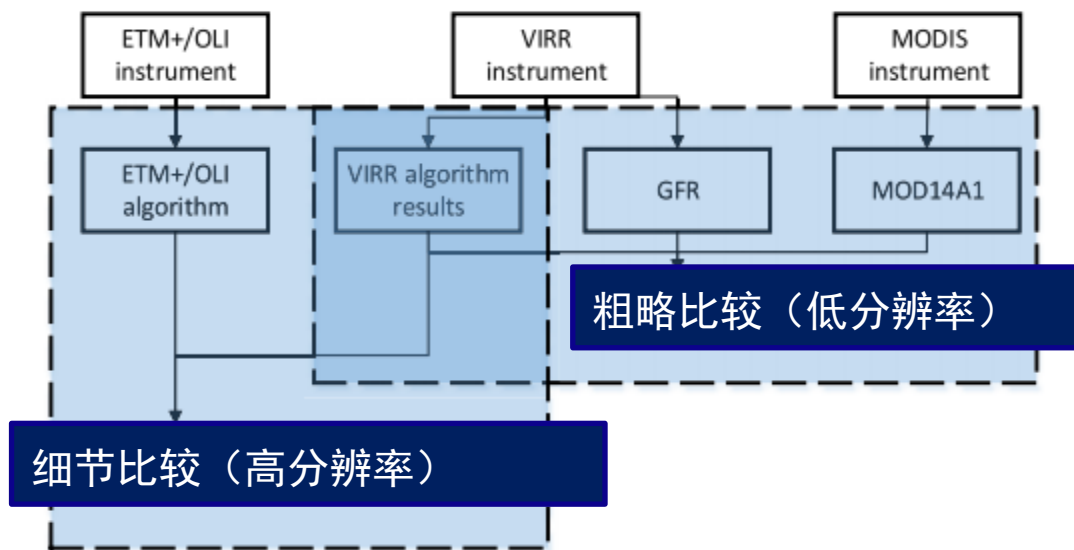
$$T_3 < 330 \text{ K and } (r_1 > 0.09 \text{ or } r_6 > 0.15)$$

$$T_3 < 340 \text{ K and } r_1 + r_2 > 0.26.$$

- 1、排除由于云/水像元误判导致的错误：云像元也具有较高的中红外-热红外亮温差值
- 2、引入反射率进行判断：排除高反射率、高亮温的像元

4. 精度验证与说明

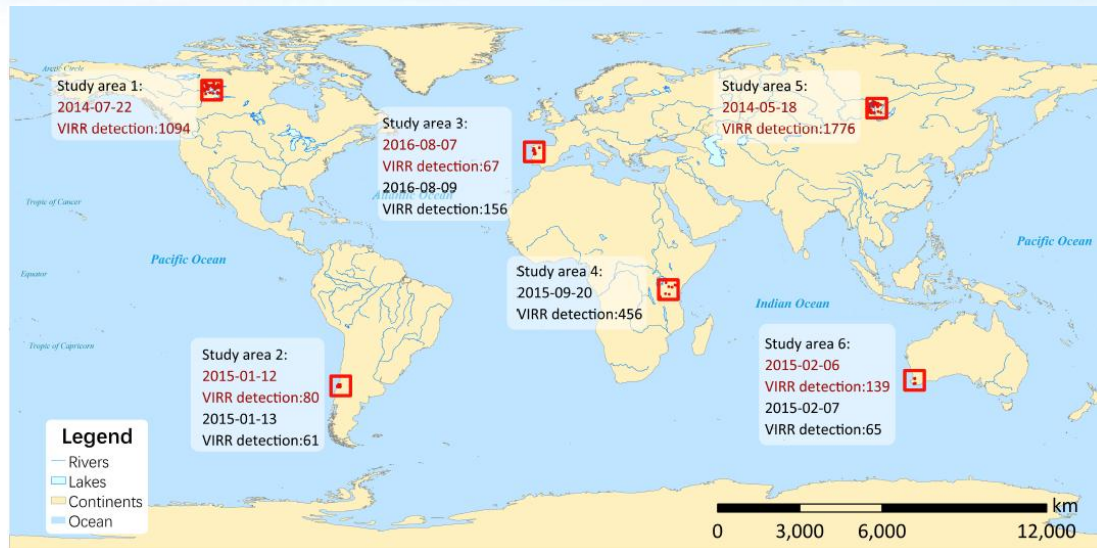
为了更好地对算法结果进行分析，利用**MODIS火点产品**、**风云火点产品(GFR)**以及具有更高空间分辨率的**Landsat数据**进行比较。



极轨卫星火点识别算法研究

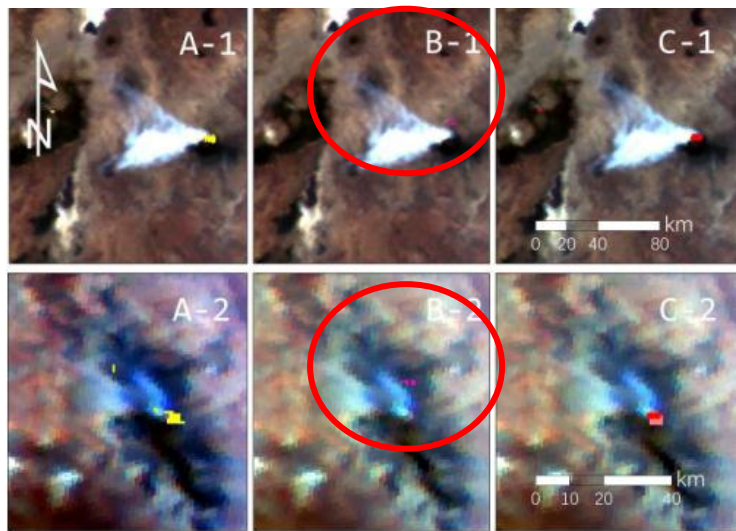
算法结果在全球不同研究区进行测试

区域	VIRR结果	VIRR观测时间	MODIS结果/匹配率	Landsat结果/匹配率	Landsat观测时间
加拿大	1094	2014/7/22 19:05	1140 84.00%	12051 80.57%	2014/7/22 18:51
坦桑尼亚	456	2015/9/20 8:15	397 70.83%	----	----



01

坦桑尼亚
算法结果与
MODIS结果
基本一致，
但风云火产
品GFR有明
显偏移

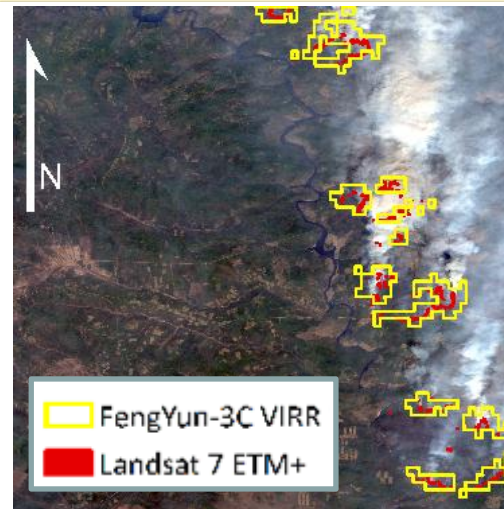


Active fire detection

■ FengYun-3C VIRR
 ■ FengYun-3C GFR High possible
 ■ MOD14A1 Medium confidence
 ■ MOD14A1 High confidence

02

加拿大
算法结果与
Landsat判识
结果基本一
致



Lin Z Y, **Chen F***, et al (2017). FengYun-3C VIRR Active Fire Monitoring: Algorithm Description and Initial Assessment Using MODIS and Landsat Data, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 55(11), 6420 - 6430

极轨卫星火点识别算法研究

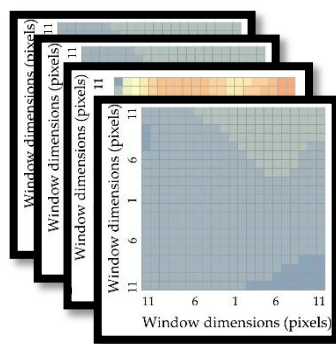
提出了基于**时间序列分析**的风云三号C星火点识别算法

1. 基于上下文方法的火点识别算法依赖于**云像元、水陆掩膜等非核心判别条件**的识别精度
2. 基于**单景**影像的分析方法仅考虑**像元的空间特征**，而**时间序列**所反映出的变化特征同样有助于将火点像元与其他非火点像元进行区分
3. 传统方法较难对水域内的火情进行判识

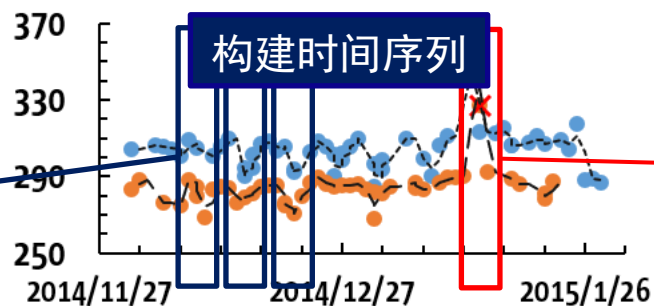
算法设计思路

1. 逐像元构建中红外/热红外**亮温值时间序列**
2. 通过**拟合**的方法获得中红外/热红外亮温**相关关系**
3. 通过热红外亮温，比较分析时间序列**预测得到的中红外亮温**与观测值的差异，进而得到火点的判别结果

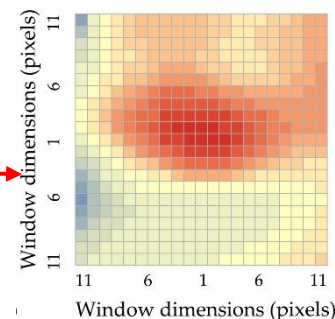
未利用的时间特征



构建时间序列



上下文算法



极轨卫星火点识别算法研究

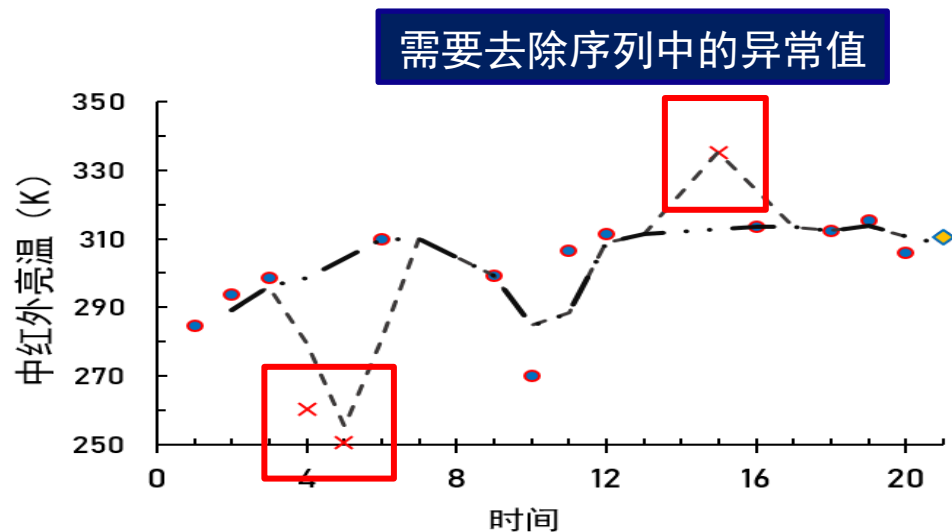
➤ 数据处理与波段选择

1. 光谱上，由于不进行云像元的去除，仅需要考虑像元的亮温变化情况（适用于昼夜），因此采用VIRR数据的中红外和11 μm 热红外通道数据；
2. 时间上，**为了保证有足够的数据用于构建有效的时间序列**，进而计算序列稳定状态下像元中红外与热红外亮温的**线性相关关系**，对每幅目标测试区域的影像读取其**前20天数据**并进行时间序列构建

通道	波段范围 (μm)	噪声等效反射率 ρ (%) 噪声等效温差 (300k)	动态范围 (ρ 或k)
3	3.55-3.93	0.3k	180-350k
4	10.3-11.3	0.2k	180-330k

➤ 时间序列构建规则

逐像元构建时间序列，并根据给定的中红外通道阈值、中红外-热红外亮温差**去除其中的显著异常值**



$$T_i \in [270, T_{i,max}] (i = MIR, TIR; T_{MIR,max} = 350; T_{TIR,max} = 330)$$

去除了空值 (NaN)、低温像元、错误值 (超过上限)

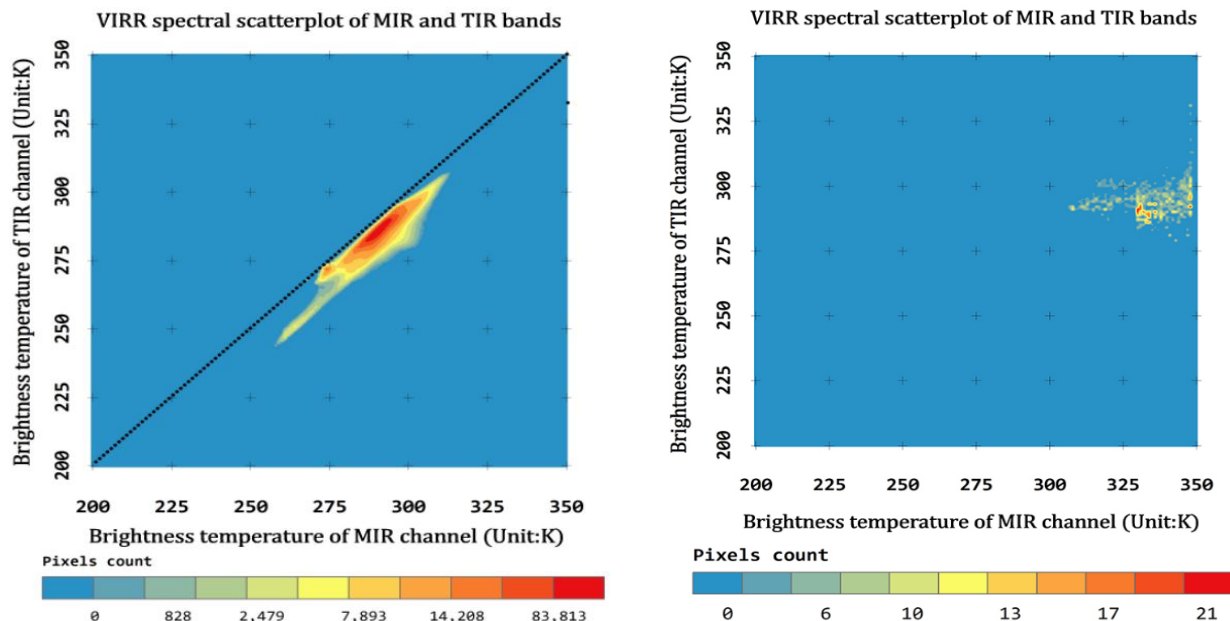
$$\Delta T = T_{MIR,TS} - T_{TIR,TS}, \Delta T < 20$$

排除了云干扰的像元

极轨卫星火点识别算法研究

➤ 序列拟合

上下文算法中得到的红外通道斜率反映出一个现象，即无云无火等情况下像元的中红外与热红外亮温值具有一定的相关性



对5,500,000非火点像元的中红外、热红外亮温值绘制散点图得到的结果

拟合思路

- 1) 将筛选过后中红外、热红外的有效亮温值构建二维数组并对该二维数组进行**奇异值分解 (SVD)**
- 2) 由分解后得到的**第一主成分**做矩阵乘法求得新的中红外与热红外亮温值序列
- 3) 用最小二乘法求取新的序列中**线性相关系数a, b**

$$A = [T_{MIR,TS}, T_{TIR,TS}] = U \Sigma V^T$$

$$[T_{MIR,After\ SVD}, T_{TIR,After\ SVD}] = u_1 \times \sigma_1 \times v_1^T$$

$$T_{MIR,After\ SVD} = a \times T_{TIR,After\ SVD} + b$$

$$T_{MIR} = a T_{TIR} + b, \quad s. t. \min \sum_{i=1}^{\mathcal{Q}} (a T_{TIR,i} + b - T_{MIR,i})^2$$

极轨卫星火点识别算法研究

➤ 两类值的计算过程

用奇异值分解并拟合新序列得到的线性相关系数a, b进行拟合的**稳定值和预测值**的计算

$$T_{situation} = aT_{TIR,situation} + b$$

$$situation\ 1\ T_{situation} = T_{predict};\ T_{TIR,situation} = T_{TIR,aim\ day}$$

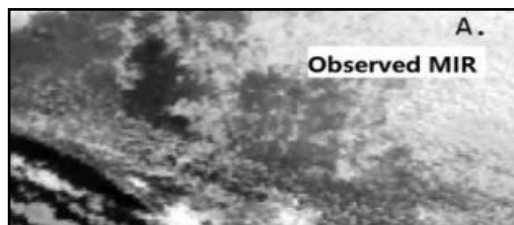
$$situation\ 2\ T_{situation} = T_{stable};\ T_{TIR,situation} = \overline{T_{TIR,TS}}$$

预测值：在线性相关系数a, b条件下，**由观测的热红外亮温值**计算（预测）该像元的中红外亮温

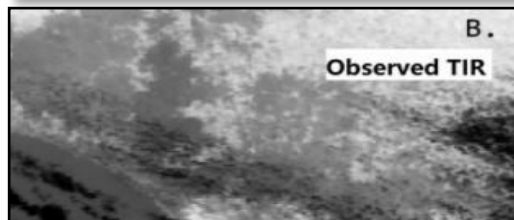
稳定值：在线性相关系数a, b条件下，计算序列中有效**热红外亮温的平均值**，以此计算该像元稳定状态下的**中红外亮温**

$$T'_i = T_i \times \frac{\overline{T_{MIR,target\ day}}}{\overline{T_i}},\ i = predict, stable$$

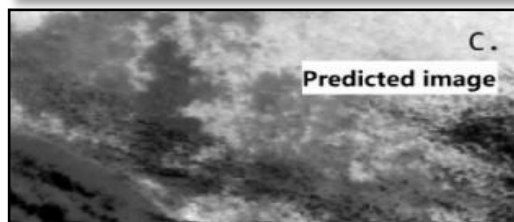
为了避免计算得到的预测值和稳定值与实际观测值有较大出入，还需要对两类值**进行倍率计算**



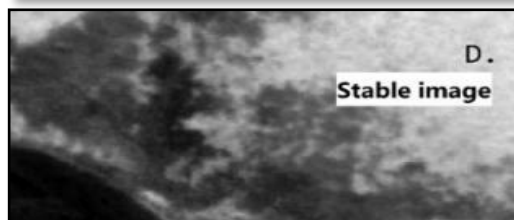
01.中红外亮温观测值



02.热红外亮温观测值



03.中红外亮温预测值



04.中红外亮温稳定值

极轨卫星火点识别算法研究

➤ 不同类别像元的差异区分

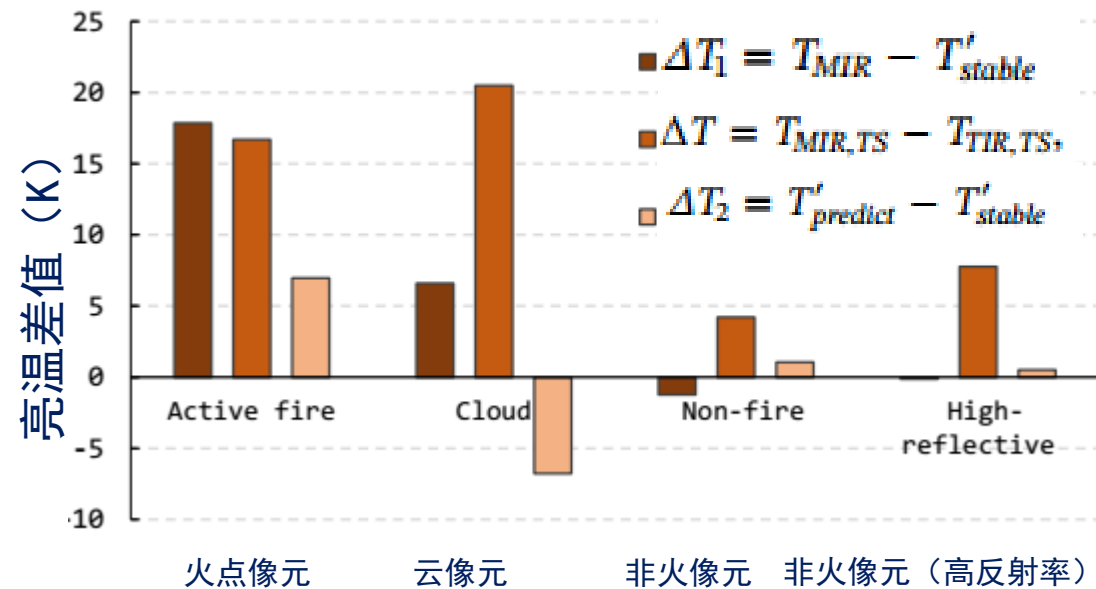
借助上述观测值与稳定值，同时加入观测得到的中红外与热红外亮温值，不同类别的像元的特性可以得到反映

样例说明

将四类像元的四种值相减得到右图，值的差异特性得到量化，其中：

1) 火点像元**三类差值均较高**（**燃火时刻中红外亮温高于热红外亮温**；作为突发事件，异常升温导致中红外亮温与预测值均高于稳定值）

2) 云像元的中红外-热红外差值显著高于其他两类差值，且**预测值与稳定值的差为负**



3) 非火像元与非火像元（高反射率）三类差值类似，中红外亮温与预测值、稳定值**接近**，但高反射率的**中红外-热红外亮温差相对较高**

极轨卫星火点识别算法研究

➤ 精度比较

时间序列算法在全球不同研究区进行测试，同时与上下文算法进行了比较。下表中正确率、漏判、误判数据中第一列为时间序列算法结果，第二列为上下文算法结果。

标红（时间序列算法正确率较高）
标蓝（时间序列算法错误率低）

1) 时间序列方法具有**更高的火点识别正确率**，同时**漏判、误判率也有所降低**

2) 对于两种算法，**漏判问题**仍然是主要存在的问题

3) **局部地区**的表现不够理想

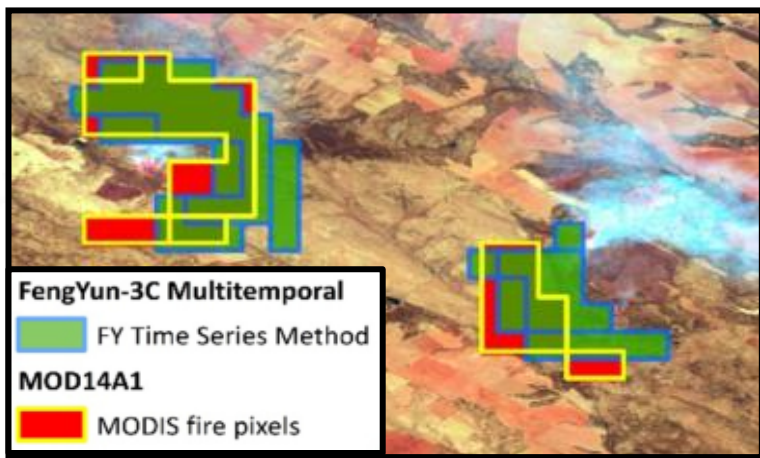
研究区	VIRR观测时间	正确率	漏判	误判			
加拿大	2014/07/20 18:05	85.52%	82.86%	10.17%	20.33%	14.43%	17.18%
	2014/07/22 19:05	92.12%	84.00%	10.96%	12.28%	7.85%	15.99%
	2014/07/27 20:55	76.67%	81.12%	9.94%	11.70%	23.44%	18.88%
墨西哥	2015/04/08 16:35	100 %	0	0	100%	0	0
智利	2015/01/12 15:20	100 %	95.00%	0	2.88%	0	4.80%
	2015/01/13 15:00	100 %	88.37%	12.96%	14.81%	0	12.50%
	2015/01/23 15:15	100 %	85.29%	5.88%	8.88%	0	14.71%
葡萄牙	2016/08/07 10:30	75.41%	98.51%	7.14%	7.14%	24.60%	1.49%
	2016/08/09 11:35	88.54%	83.33%	6.45%	18.13%	11.46%	16.67%
	2016/08/10 11:15	87.25%	100%	8.96%	79.58%	12.75%	0
坦桑尼亚	2015/09/07 07:20	100 %	33.33%	60.61%	93.93%	0	66.67%
	2015/09/20 08:15	100 %	74.80%	25.18%	24.47%	0	25.53%
俄罗斯	2014/05/05 03:10	94.55%	68.77%	11.22%	17.07%	5.46%	31.10%
	2014/05/05 04:55	96.77%	100%	4.39%	35.12%	3.23%	0
	2014/05/10 05:00	79.37%	92.06%	10.00%	4.73%	20.64%	7.94%
	2014/05/16 03:05	82.61%	40.58%	9.05%	10.00%	16.77%	59.42%
	2014/05/16 04:45	83.60%	40.22%	12.38%	19.05%	16.40%	59.78%
	2014/05/17 04:30	96.43%	96.69%	1.98%	23.61%	3.90%	3.31%
	2014/05/18 04:10	92.54%	98.35%	13.38%	1.57%	12.18%	1.63%
尼泊尔	2016/04/24 05:05	89.47%	100.00%	71.70%	84.91%	10.53%	0
	2016/04/27 05:50	70.24%	62.07%	63.84%	88.93%	29.76%	37.93%
	2016/04/28 05:30	71.56%	64.55%	51.21%	84.66%	28.00%	35.45%
澳大利亚	2015/02/02 01:55	94.73%	89.81%	9.29%	3.57%	5.71%	10.19%
	2015/02/04 01:15	99.71%	100.00%	11.52%	28.92%	2.94%	0
	2015/02/06 02:20	82.95%	96.89%	9.52%	1.59%	17.04%	3.17%

2. 极轨卫星火点识别算法研究

➤ 结果展示

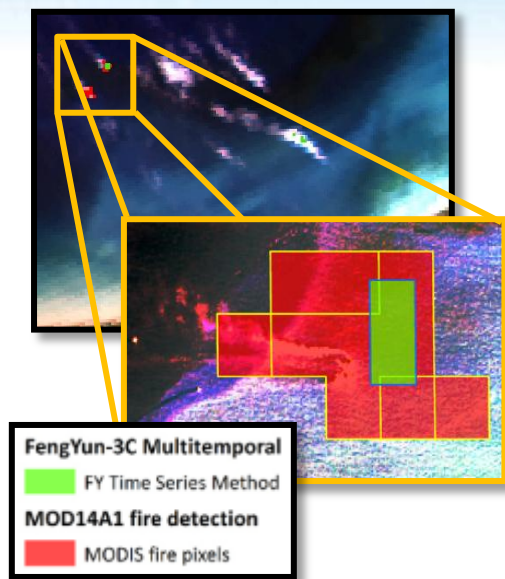
01

俄罗斯
2014-05-18
算法结果与
MODIS结果基
本一致



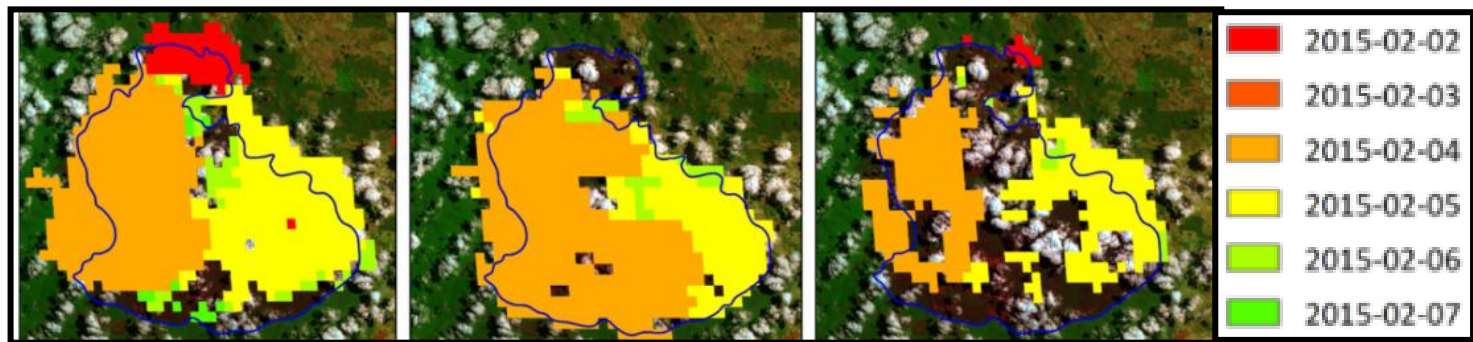
02

墨西哥
2015-04-08
水域内火点识
别（海上钻井
平台爆炸）



03

澳大利亚
2015-02
时间序列算法
结果的叠加



时间序列算法

MODIS火产
品

上下文算法

Lin Z Y, **Chen F***, Niu Z, Li B, Yu B, Jia H C, and M M Zhang (2018). An active fire detection algorithm based on multi-temporal FengYun-3C VIRR data, *Remote Sensing of Environment*, 211(15), 376-387

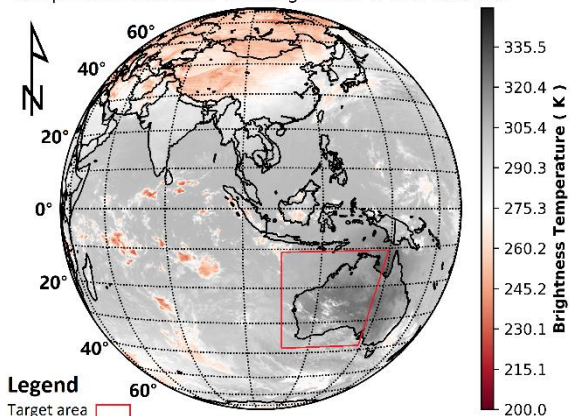
静止轨道卫星火点识别算法研究

提出了基于风云二号G星的火点识别算法

利用静止轨道卫星的**高时间分辨率**的特点，综合利用图像与时序分析方法进行火点识别

中红外通道单日分幅成像

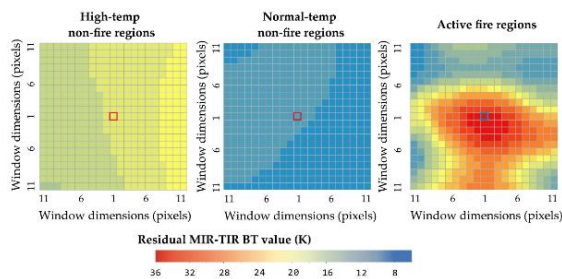
Footprint of FY2G data and target area of this research



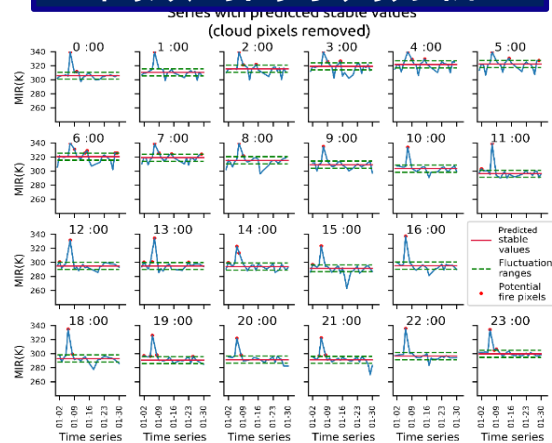
亮温信息结合云分类数据



上下文图像分析

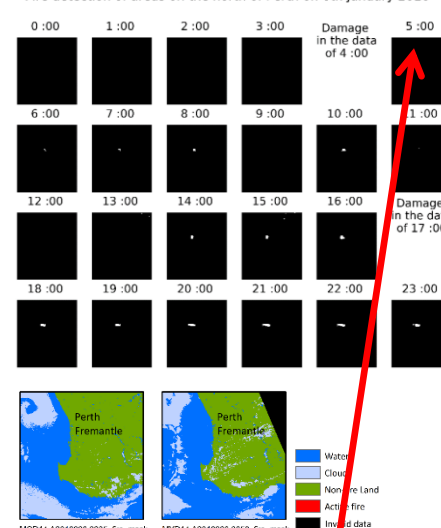


高频时间序列分析



火点结果

Fire detection of areas on the north of Perth on 6th January 2016

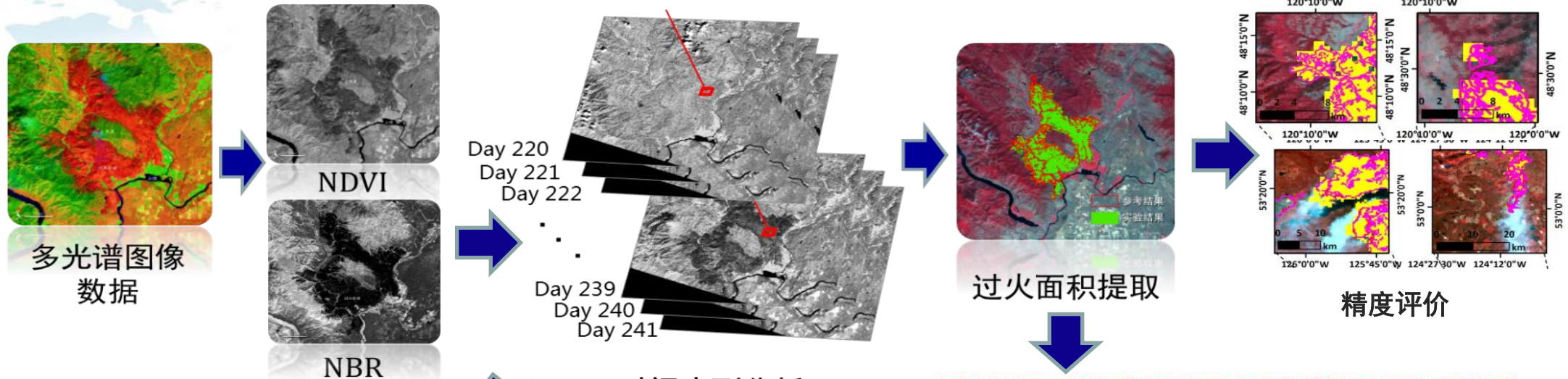


相比于MODIS等极轨卫星数据，静止轨道卫星数据可以**更早发现、更及时地对火情进行动态监测**

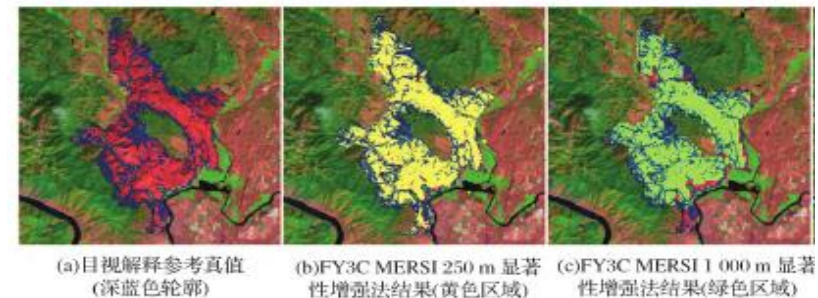
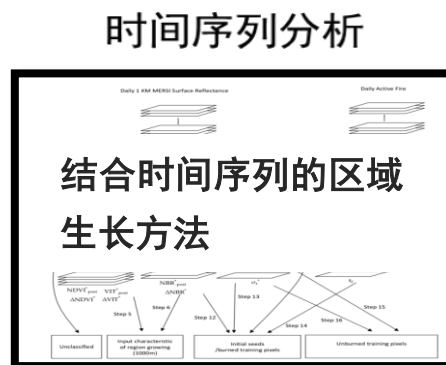
基于中分辨率数据过火面积提取

针对风云三号C卫星MERSI数据特点，设计、应用**区域生长算法**与**支持向量方法**，对图像通过**显著性增强方法**进行过火区域的提取

美国、加拿大研究区



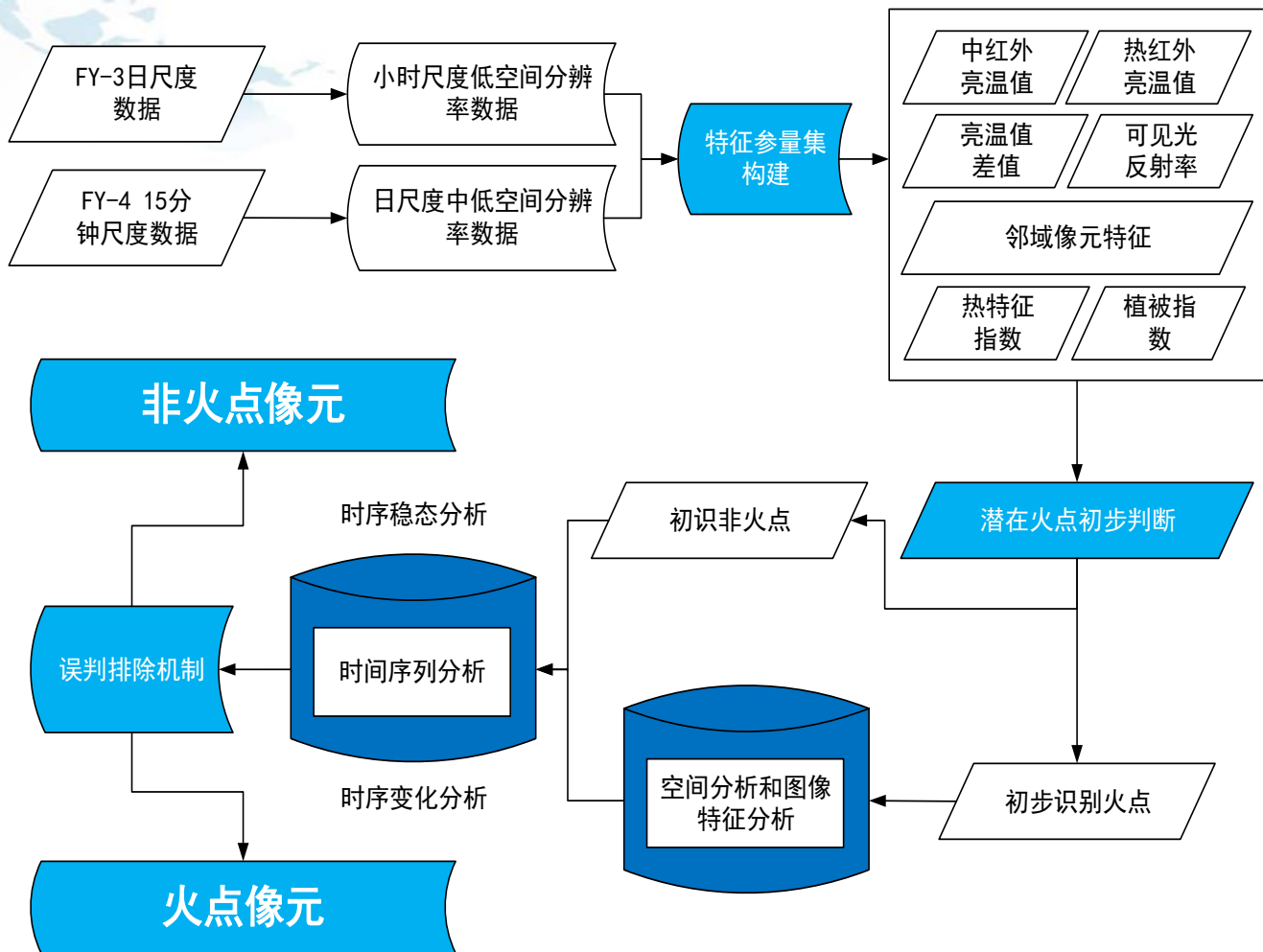
植被指数	英文名称	缩写	计算公式	性能 ^[23]
归一化差值植被指数 ^[24]	Normalized Difference Vegetation Index	NDVI	$\frac{P_{NIR} - P_R}{P_{NIR} + P_R}$	0.8
全球环境监测植被指数 ^[24]	Global Environment Monitoring Index	GEMI	$\gamma(1 - 0.25\gamma) - \frac{P_R - 0.125}{1 - P_R}$	0.06
燃烧区域参量分析计算	Index		$\frac{P_{NIR} - P_{SWIR}}{P_{NIR} + P_{SWIR}}$	0.14
修改型土壤调整植被指数 ^[25]	Modified Soil Adjusted Vegetation Index	MSAVI	$2.5 \frac{2P_{NIR} + 1 - \sqrt{(2P_{NIR} + 1)^2 - 8(P_{NIR} - P_R)}}{2}$	0.21
过火区域指数 ^[26]	Burned Area Index	BAI	$\frac{1}{(C_N + P_N)^2 + (C_{NIR} + P_{NIR})^2}$	0.29
归一化燃烧比值 ^[26]	Normalized Burned Ratio	NBR	$\frac{P_{NIR} - P_{SWIR}}{P_{NIR} + P_{SWIR}}$	1.13



利用显著性增强的方法对结果进一步优化

风云卫星火情监测研究展望

基于极轨卫星与静止轨道卫星数据的火点联合反演研究



传感器性能	FY-4A	FY-2系列	FY-3D	FY-3C
	AGRI 14个波段 空间分辨率: 0.5-4 km 时间分辨率: 15 minutes 快视时间: 2.5 minutes	VISSR 5个波段 空间分辨率: 1.25-5 km 时间分辨率: 30 minutes 快视时间: 3-6 minutes	MERSI-2 25个波段 空间分辨率: 0.25-1 km 可见光、热红外: 0.25km 分辨率波段	VIRR + MERSI 10个波段 + 20个波段 空间分辨率: 0.25-1 km 可见光、热红外: 0.25km 分辨率波段

- 1) 火点识别特征参量集选取优化与构建
- 2) 极轨卫星与静止轨道卫星火点识别时间序列分析
- 3) 极轨卫星与静止轨道卫星火点识别模型构建
- 4) 极轨卫星与静止轨道卫星火点相关性分析
- 5) 误判火点去除
- 6) 结果验证与精度评价

谢谢！



中国科学院遥感与数字地球研究所

地址：北京市海淀区邓庄南路9号（100094）

电话：86-10-82178008 传真：86-10-82178009

邮箱：office@radi.ac.cn

网址：www.radi.cas.cn