

文章编号:1001-8166(2009)07-0696-09

黑河试验中机载红外广角双模式 成像仪的设计及实现^{*}

方莉¹,刘 强^{1*},肖 青¹,柳钦火¹,刘志刚²

(1 中国科学院遥感应用研究所遥感科学国家重点实验室,北京 100101;

2. 北京师范大学地理学与遥感科学学院,北京 100875)

摘 要:多角度航空遥感飞行试验是黑河试验的重要组成部分,在介绍了机载红外广角双模式成像仪(Wide-angle Infrared Dual-mode line/area Array Scanner, WiDAS)的研制背景、硬件构架和多角度成像原理之后,结合其数据特点,详细描述了 WiDAS 数据处理流程并设计了 WiDAS 系统的红外产品体系。最后,用地面同步测量数据对定标后的 WiDAS 辐射亮温进行了验证,并从飞行数据中提取了黑河试验区6种典型地物的辐射亮温随观测角度的变化情况。

关 键 词:多角度遥感;辐射方向性;辐射定标;几何定标

中图分类号:TP79

文献标志码:A

1 研究背景

1.1 机载多角度红外传感器研制的迫切性

黑河流域遥感—地面观测同步试验的目标是为发展流域科学积累基础数据^[1],而多角度红外航空遥感观测是其重要的组成部分。大量的试验数据和研究成果表明地表辐射具有非常明显的方向特性^[2],森林、农作物等地物的辐射亮温随观测天顶角和方位角的不同而变化的现象已有众多研究成果^[3~6]。地表辐射方向性的研究对提高地表能量平衡相关参数的反演精度尤为重要。多角度红外遥感是获取地表辐射方向性的重要手段,对地表温度/组分温度、反照率等参数的反演起着重要的作用。尤其是组分温度的反演,传统的多通道信息反演由于通道间的信息高度相关很难保证反演精度,多角度热红外观测数据为组分温度的直接反演提供了可能^[7],而组分温度信息对发展优化地表能量和通量平衡模型有重要价值。同时,热红外遥感中的非同

温混合像元是普遍存在的,其尺度效应也是众多学者关心的问题。机载多角度红外遥感数据作为地面观测数据和星载卫星数据的桥梁,对尺度转换模型的研究和真实性验证有积极作用。因此,获取试验区多角度红外遥感数据集、进而提取辐射方向性信息、反演地表温度/组分温度等地学参数是黑河试验的重要任务之一。

为了大范围获取地表二向反射、方向性热辐射观测数据,完成黑河流域遥感—地面观测同步试验的任务,急切地需要结合现有的硬件,开发红外波段具有多角度观测的机载遥感成像系统。

1.2 多角度数据获取的现状

现有的多角度成像方式,大致可以概括为以下5种:一是通过多个相机获取不同角度的图像,如 MISR^[8~10]和机载模拟器 AirMISR;二是借助相机整体摆动来获取不同角度的图像,如 CHRIS 和 AMTIS 样机^[11];第三种方式是在摆镜扫描成像系统中设计比较独特的扫描方式,使得不同的扫描线具有不同

^{*} 收稿日期:2009-01-12;修回日期:2009-04-08.

^{*} 基金项目:中国科学院西部行动计划(二期)项目“黑河流域遥感—地面观测同步试验与综合模拟平台建设”(编号:KZCX2-XB2-09);国家重点基础研究发展计划项目“陆表生态环境要素主被动遥感协同反演理论与方法”(编号:2007CB714400)资助。

作者简介:方莉(1983-),女,湖北武汉人,博士生,主要从事多角度遥感及辐射方向性研究。E-mail:Li_fang113@163.com

^{*} 通讯作者:刘强(1974-),男,云南昆明人,副研究员,主要从事热红外和多角度遥感的建模和反演研究。E-mail:liuqiang@irsa.ac.cn

的倾角,典型的例子如 ATSR^[12];第四种方式是使用宽视场的画幅式成像代替多角度成像,通过多幅宽视场图像的重叠来提取多角度观测信息,典型的例子如 POLDER^[13,14],这种成像模式对遥感平台的稳定性要求不高,但在一定程度上牺牲了空间分辨率;第五种是采用宽视场镜头以及多个线阵探测器推扫成像,典型的例子如 ADS40 和探月卫星的三线阵 CCD,这种成像模式对遥感平台的稳定性要求较高。

第四种和第五种成像模式的共同点是结构简单稳定,较容易在现有的硬件条件下实现,因此,在黑河试验中,结合这两种成像模式优点,设计和组装了红外广角双模式成像仪(Wide-angle Infrared Dual-mode line/area Array Scanner, WiDAS)。一方面利用宽视场画幅式成像弥补线阵推扫成像给几何校正带来的困难,另一方面我们采用多线阵组推扫代替单线阵推扫来弥补对传感器平台稳定性的要求。

2 WiDAS 成像系统的设计

2.1 成像原理设计

WiDAS 硬件结构简单,由 4 个 CCD 相机、1 个中红外热像仪(AGEMA 550)和 1 个热红外热像仪(S60)组成,能同时获取可见光/近红外(CCD 波段)波段 5 个角度、中红外波段(MIR)7 个角度和热红外波段(TIR)7 个角度的数据。具体的参数详见表 1。数据采集是采用多线阵组推扫成像和画幅式成像 2 种模式同时进行,这种结合画幅式和多线阵组推扫 2 种成像模式的设计,既获取了多波段广角图像,同时也获取了多角度图像。以下将以中红外和热红外为例详细介绍 2 种成像模式原理。

表 1 WiDAS 成像系统基本参数			
Table 1 Design parameters of WiDAS			
	CCD 相机	MIR 热像仪	TIR 热像仪
像元数	1 392 × 1 040	320 × 240	320 × 240
波段	550 nm, 650 nm, 700 nm, 750 nm	3 ~ 5 μm	8 ~ 11 μm
角度设计(°)	30(最大)	40(最大)	40(最大)
分辨率(m)	1.2	7.9	7.9
成像模式	画幅式 + 多线阵组推扫		

2.1.1 多线阵组推扫成像的原理

多线阵组推扫成像的原理可以看作是三线阵推扫成像(如 ADS40、探月卫星和测绘卫星)的改进方式。在垂直于飞行方向,选面阵探测器中若干条相

邻的行或列作为一个线阵组,推扫成像。这些相邻的线阵可以认为是同一个观测角度(实际角度差别小于 1.2°)。在面阵相机中选取多个线阵组,即可获取多角度数据。

在飞行试验中,TIR 和 MIR 2 个热像仪都以 320 像元的方向为飞行方向,每 4 列(TIR)或 8 列(MIR)像元构成一个线阵组,同一个线阵组内的像元获取一个观测角度的数据。具体来说,取第 1 ~ 4 列,49 ~ 52 列,89 ~ 92 列,159 ~ 162 列,229 ~ 232 列,269 ~ 272 列和 317 ~ 320 列作为 7 个线阵组,大致对应的角度是前向 40°、前向 30°、前向 20°、0°、后向 20°、后向 30° 和后向 40°。观测到最大角度约 40°,像元分辨率 7.86 m,航线覆盖宽度 1 888 m,采样频率是 15 帧/s。

在这种成像模式下,若干条相邻的行同时推扫,使得每一次采样中线阵组的地面覆盖面积大于单条线阵,这样能保证在采样频率较低或者飞机姿态扰动的情況下不漏点,降低了对传感器采样速度以及姿态稳定性的要求,有助于提高信噪比。同时,可以通过软件灵活地选取和调整观测角度。

图 1 和图 2 分别为 TIR 热像仪在 2008 年 7 月 11 日 11 点 16 分在试验 1 区 7 航带获取的第一线阵组第一扫描线和第四线阵组第一扫描线推扫的原始图像,为截取了 15 s 内线阵推扫 225 帧的局部图。可以看到,同一地面目标在不同线阵的扫描图像上存在一个偏移量,这是因为成像角度不同造成的,另外,不同角度获取的辐射信息存在细微的差异,这将在后面详细分析。

2.1.2 画幅式成像的原理

画幅式成像的数据即保存热像仪画幅式数据,作为多组线阵推扫成像的补充。画幅式成像模式不易受飞机姿态干扰的影响,可以较容易的拼接出完整的测区图像,可辅助多组线阵推扫图像的几何校正工作。在飞行试验中采集数据时,热像仪设计为 0.5 s 记录一帧画幅式数据图像,相邻图像重叠率大于 90%。图 3 为 WiDAS 画幅式成像的原始数据。

2.2 硬件结构设计

WiDAS 成像系统的 4 个 CCD 相机和 2 个热像仪的结构示意图与实物照片分别如图 4 和图 5 所示。在飞机仓的稳定平台窗口内,MIR 波段热像仪和 TIR 波段热像仪在一侧,安装了 80°广角镜头,4 个 CCD 可见光近红外相机在另一侧,分别配置了滤光片。

3 WiDAS 在黑河试验中获取数据的情况

3.1 飞行情况

WiDAS 红外系统在黑河试验中共飞行 6 个架次,其中前 3 个架次的 CCD 数据不太稳定,后面 3 个架次的数据质量较好,推荐使用。表 2 列举了 WiDAS 传感器在黑河试验中的飞行架次和测区的相关信息^[1]。

3.2 WiDAS 红外产品

由于 WiDAS 成像系统的 CCD 相机和热像仪 2 种设备获取的数据在波谱、分辨率、视场范围和成像频率等方面都有显著差异,同时,面阵成像与多线阵组推扫 2 种模式的数据也不是准同步曝光,原始数据的特殊性决定了后期数据处理的复杂流程。针对 WiDAS 数据特殊性,我们设计了 WiDAS 数据产品体系。

- (1) 0 级产品:经过编目和整理后的原始数据。
- (2) 1A 级产品:在 0 级产品的基础上,增加辅助参数,包括:辐射校正和定标系数,画幅式成像数据的波段间相对配准系数。
- (3) 1B 级产品:对 1A 级产品中的画幅式成像数据进行辐射校正和定标,并进行重采样。
- (4) 2A 级产品:在 1A 级产品的基础上,进一步增加辅助参数,包括将 CCD 图像、MIR 图像和 TIR 图像校正到地理坐标系的校正系数,以及面阵成像时刻的相机位置和姿态。
- (5) 2B 级产品:对 1B 级产品中的画幅式成像数据几何校正,投影到地理坐标系,并重采样。
- (6) 2C 级产品:选择时间、空间上最配套的测量大气参数,生成大气纠正后的数据产品。
- (7) 3A 级产品:利用多组线阵推扫成像模式记录的数据生成多角度图像。
- (8) 3B 级产品:对 3A 级产品进行大气校正,生成大气纠正后的数据产品。
- (9) 高级产品:生成角度归一化植被指数、叶面积指数、地表温度/组分温度等数据产品。

4 WiDAS 红外相机的数据处理

4.1 辐射定标

4.1.1 实验室定标

WiDAS 红外相机的辐射定标采用了实验室黑体定标方案,使用的定标黑体为低温黑体辐射校正源 Mikron340。在实验室内,控制黑体温度从 273.16

K 开始以 5 K 的温度等间隔递增至 358.16 K,两热像仪对等间隔温度变化的黑体成像。定标的数据如表 3 所示。

绝对定标采用多项式拟合,拟合公式如式(1),其中 T_{obs} 为探测器观测值, T 为定标后的亮温值,定标系数如表 4 所示。

$$T = B_0 + B_1 \times T_{\text{obs}} + B_2 \times T_{\text{obs}}^2 \quad (1)$$

4.1.2 地面同步试验验证定标结果

为了检验实验室定标结果的有效性,我们使用地面试验中的同步测量数据进行验证。验证流程设计为:将 0 级数据获取的 DN 值用绝对定标系数进行校正,得到传感器入孔处的辐射亮温,提取同步 GPS 探空气球得到的大气廓线数据,应用 Modtran 模拟计算大气的程辐射与透过率,对整幅图像进行大气纠正,大气校正后得到地表的辐射亮温,将这个亮温与地表测得的点辐射温度比对,来验证定标系数的有效性。

绝对定标系数的验证点来源于 2008 年 5 月 30 日和 7 月 7 日两架次飞行试验的同步地面辐射温度测量数据。表 5 列出了地面同步验证点的位置及类型(包括了水体、荒漠和玉米)。表 6 依次列出了 7 个地面验证点的同步测量温度、定标前后的温度和定标前后传感器温度与同步测量温度的差值,这两组差值如图 6 所示。

从定标结果可看出,除定标点 4 外,其他验证点定标后亮温都比定标前更接近地面同步测量值。由于温度变化较快,测量的不稳定性高,对于第 4 定标点 0.27℃ 的差值,我们认为是可以接受的。总体上说,经过定标和大气校正后的遥感测量值与地面试验测量值有较好的一致性。

4.2 WiDAS 红外相机几何处理

对单独的波段直接进行几何纠正的难度较大,因此结合 WiDAS 系统成像的几何关系,我们将 WiDAS 数据的几何处理分步进行。首先将 CCD 的 4 个波段配准,再将红外图像与 CCD 图像配准,最后将 CCD 数据与几何精纠正的 SPOT 数据匹配,并将图像校正到地理坐标系。

4.2.1 波段间的配准

WiDAS 原始数据是 6 个孤立的波段,且相互之间视场不完全一致,成像时刻也有细微的差别,所以几何校正首先需要进行波段之间的配准。我们以 550 nm 波段为标准,其他 5 个波段向其配准并重采样到相同分辨率。采用 Harris 算子^[15]提取具有丰富纹理信息的特征点,然后用简单的灰度相关算子

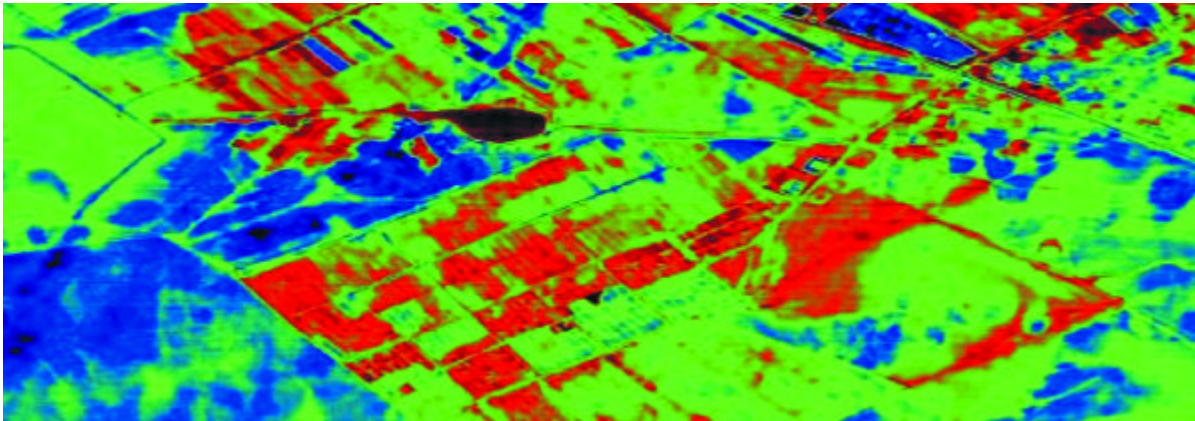


图 1 第一组线阵推扫成像图(39.240984 N ,100.059276 E ,高度 :3 056.91 m)

Fig.1 The pushbroom scanning im age obtained by 1st linear detector arrays
(39.240984 N ,100.059276 E ,ELE :3 056.91 m)

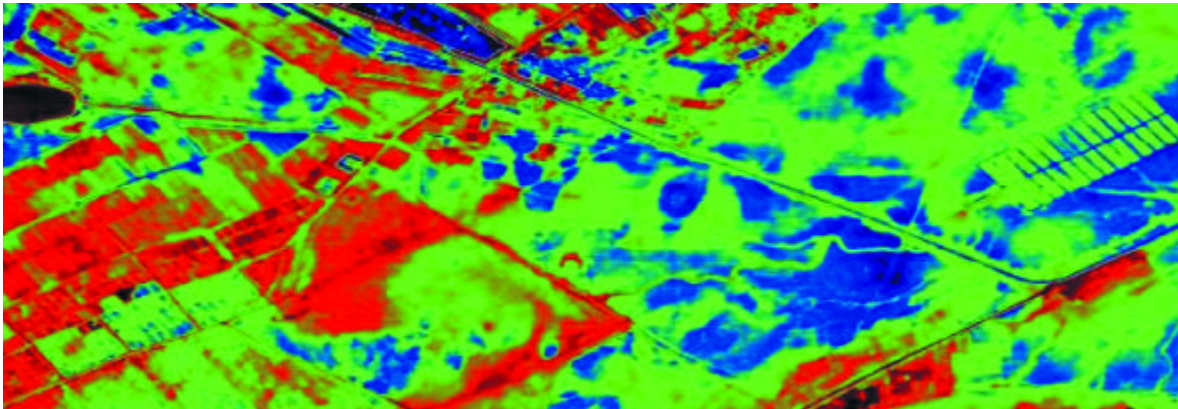


图 2 第四组线阵推扫成像图(39.240984 N ,100.059276 E ,高度 :3 056.91 m)

Figure 2. The pushbroom scanning im age obtained by 4th linear detector arrays
(39.240984 N ,100.059276 E ,ELE :3 056.91 m)

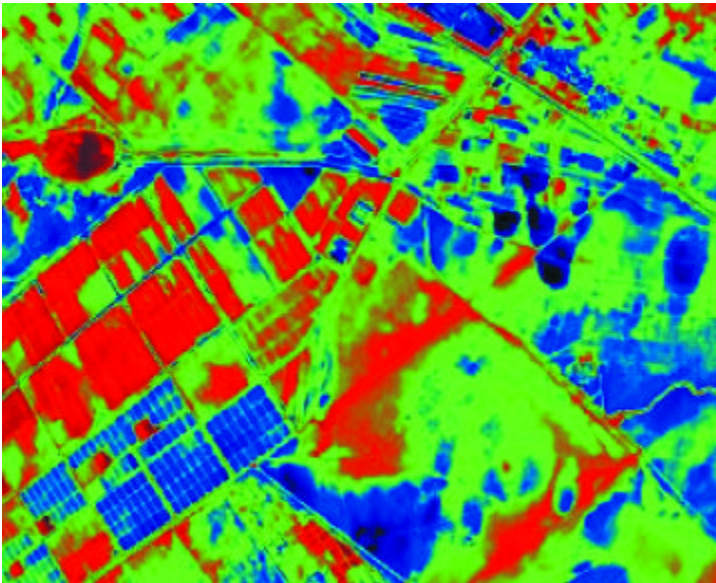


图 3 画幅式成像图(地点同多线阵组推扫图像)

Fig.3 The frame im aging data (the sam e area with Fig.1 and Fig.2)

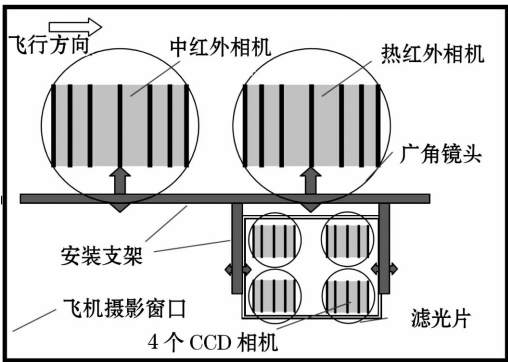


图 4 WiDAS 成像系统结构示意图

Fig. 4 The structure diagram of WiDAS

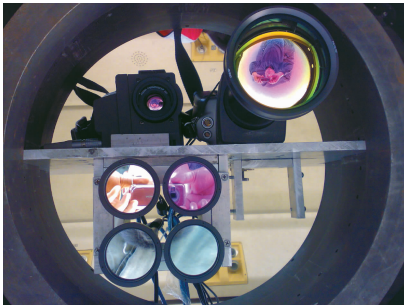


图 5 WiDAS 成像系统实物图

Fig. 5 The picture of WiDAS

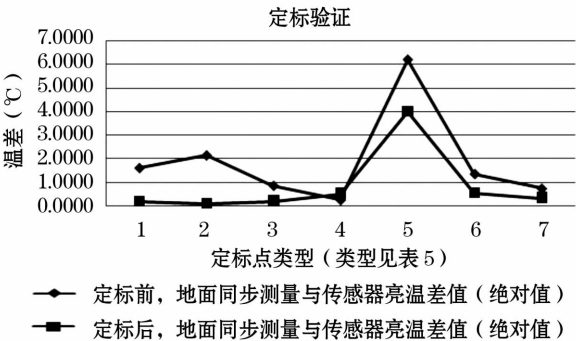


图 6 热像仪定标数据验证

Fig. 6 Validation of the absolute Radiometric Calibration coefficient for thermal imagers

进行同名点匹配。这是影像匹配的常用算法,以下主要针对 WiDAS 数据特点说明算法要点。

由于 CCD 4 个相机由硬件触发器保证同步曝光且分辨率较高,其波段图像间的配准相对容易,而 WiDAS 成像系统 CCD 波段与 MIR/TIR 成像时刻不完全同步,加上波谱相关性小、空间分辨率差异大、广角镜畸变较大等问题,配准的难度大大增加,因此,将 TIR 波段与 CCD 550 nm 波段配准的形变函数分解为两部分,第一部分是仿射变换,代表由曝光不同步引起的平移和旋转,是每一景图像配准都需要单独估算的;第二部分是复杂非线性函数,代表由相机内方位元素以及镜头畸变引起的形变,对于所有图像是不变的,只需估算一次。经过这样的分解,克服了镜头畸变大等问题,减少了每一景图像配准时需要估算的参数,因此只需找到少量质量好的同名点就能较好地完成配准。

对于 MIR,其图像与 TIR 图像波谱特征非常相近,图像相关性好,所以先把 MIR 图像与 TIR 图像匹配,获得 MIR 到 TIR 的形变函数,再与 TIR 到 CCD 550 nm 的形变函数复合,就得到 MIR 到 550 nm 的形变函数。

4.2.2 校正到地理坐标

为了实现 WiDAS 数据的全面几何校正,以几何精纠正后的 2.5 m SPOT5 图像为参考底图,将 WiDAS 数据 550 nm 波段图像与其配准。覆盖试验区的 SPOT5 全色波段数据需要两景(张掖地区和临泽地区),分别为 2008 年 3 月 29 日获取的张掖地区 2.5 m 分辨率图像和 2008 年 7 月 4 日获取的临泽地区 2.5 m 分辨率的图像,图像基于高精度星基差分 GPS 采集的近 30 个地面控制点精校正后,张掖地区几何精度的中误差是 1.368 m,临泽地区的中误差是 0.273 m。

因为实验区基本是平原,通过飞机上与成像同步获取的 GPS 数据,代入粗略估算的成像姿态,可

表 2 WiDAS 飞行架次及测区表

Table 2 Airborne missions and the flight regions

架次	飞行时间	飞行试验区	测区地理方位及相关信息			
			编号	名称	所在试验区	行带
1	5月30日	1、3	测区1	临泽站—草地站飞行区	干旱区水文	13 km×22 km
2	5月31日	4、6	测区2	观象台—张掖飞行区	干旱区水文	9 km×28 km
3	6月1日	3	测区3	张掖—大满—花寨子飞行区	干旱区水文	15 km×29 km
4	6月29日	1、2、3	测区4	大野口飞行区	森林水文	13 km×12 km
5	7月7日	3、6、7	测区5	冰沟飞行区	寒区水文	18 km×12 km
6	7月11日	1、2、3	测区6	阿柔飞行区	寒区水文	10 km×10 km
			测区7	扁都口飞行区	寒区水文	8 km×12 km

表 3 实验室黑体定标数据

Table 3 Observation data of blackbody calibration in laboratory

黑体温度(K)	273.16	278.16	283.16	288.16	293.16	298.16	303.16	308.16	313.16
MIR 观测亮温	257.93	272.25	283.15	292.34	300.20	307.46	314.38	320.95	327.37
TIR 观测亮温	267.91	275.43	281.70	288.19	294.70	301.21	307.43	313.82	320.06
黑体温度(K)	318.16	323.16	328.16	333.16	338.16	343.16	348.16	353.16	358.16
MIR 观测亮温	333.70	339.84	346.04	352.23	358.35	364.43	370.54	376.52	382.51
TIR 观测亮温	326.23	332.52	338.66	344.95	351.17	357.56	363.80	370.05	376.14

表 4 WiDAS 红外相机定标系数

Table 4 Absolute radiometric calibration coefficient for infrared cameras of WiDAS

	B_0	B_1	B_2
MIR 相机	$2.87597e+02$	-0.58336	0.00202
TIR 相机	86.19557	0.62729	$2.54228e-04$

以初步估算 WiDAS 图像的大致地理坐标。以此为初始条件,利用自动配准技术实现 WiDAS 图像与参考底图配准。因为 WiDAS 图像与参考底图的获取时间差别几个月,地表覆被情况有所变化,所以自动匹配中会出现误匹配情况。为保证匹配成功率,充分利用了相邻两景 WiDAS 图像具有 60% 以上重叠的特点,先进行相邻图像之间匹配,利用相邻图像之间的几何约束条件可进一步提高配准初始条件的精度。经过这些处理,基本可实现 WiDAS 与参考底图的全自动匹配,误匹配率很低,可通过人工检验纠正。配准后的 WiDAS 图像被投影到地理坐标系,然

后经过多条航带图像的镶嵌形成完整的测区图像。

4.2.3 几何处理结果图

图 7 给出的是 WiDAS 系统 6 个波段间的配准结果图,是 WiDAS 1B 级数据产品的快视图。左上角图例显示出了窗口分布情况:①区为 CCD 650 nm、750 nm 和 550 nm 的假彩色合成图像;②区为 TIR、CCD 550 nm 和 MIR 的假彩色合成图像;③区和④区分别为 MIR 和 TIR 图像。

图 8 是一景 WiDAS 数据与 SPOT 匹配的结果图,是 WiDAS 2B 级数据产品的快视图,灰色部分为 2.5 m 分辨率的 SPOT 几何校正底图,彩色部分为 WiDAS 数据 550 nm、650 nm 和 750 nm 波段的合成图像。

5 从 WiDAS 数据中提取的典型地物辐射方向性特征

许多学者在地表、航空和航天 3 个尺度上设计试验观测地物辐射亮温随观测角度的变化情况,并

表 5 地面定标点的分布情况

Table 5 The distribution of ground simultaneous experiment sites

序号	日期	飞行航带	检验点坐标(°)		地表类型
1	5 月 30 日	3 区 5 带	100.32100	38.7677	荒漠
2	5 月 30 日	1 区 5 带	100.11186	39.3272	水库水体
3	5 月 30 日	3 区 9 带	100.4104	38.8571	玉米(盈科)
4	5 月 30 日	3 区 9 带	100.3469	38.7669	玉米(花寨子)
5	7 月 7 日	3 区 5 带	100.3224	38.7688	荒漠
6	7 月 7 日	3 区 9 带	100.4104	38.8571	玉米(盈科)
7	7 月 7 日	3 区 9 带	100.3469	38.7669	玉米(花寨子)

注:测量仪器:手持式辐射仪;飞行区的编号见表 2

表 6 定标数据验证

Table 6 Validation of the absolute radiometric calibration coefficient

点号	地面同步测	定标前	定标后	定标前与同步测	定标后与同步测量
	量亮温(℃)	亮温(℃)	亮温(℃)	量温度差值(℃)	温度差值(℃)
1	47.6000	49.2168	47.8221	1.6168	0.2221
2	53.8278	55.9780	53.9563	2.1502	0.1285
3	26.8000	27.6712	26.5731	0.8712	0.2269
4	30.6000	30.8749	30.0592	0.2749	0.5408
5	45.8634	52.0468	49.8605	6.1833	3.9971
6	29.3150	30.6809	29.8936	1.3659	0.5786
7	26.5333	27.2831	26.1607	0.7498	0.3726

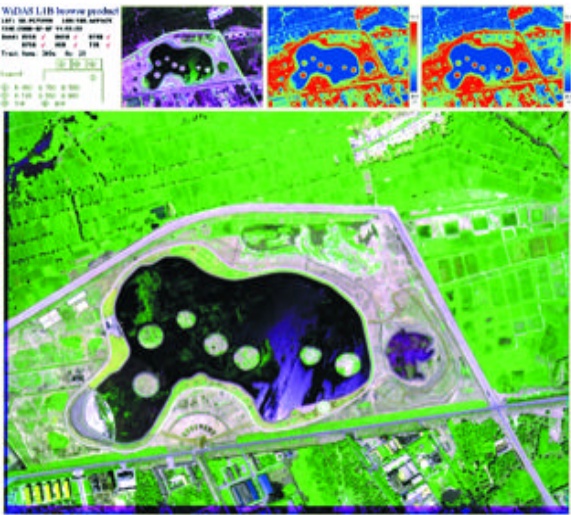


图7 W iDAS1B 数据产品快视图

Fig.7 Snapshot for W iDAS1B product

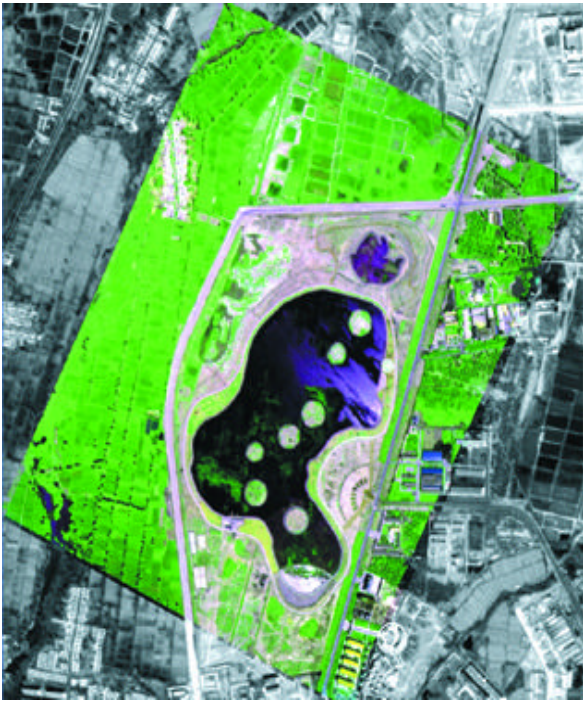


图8 W iDAS2B 数据产品快视图

Fig.8 Snapshot for W iDAS2B product

对辐射方向性的规律展开研究^[16~18]。在黑河流域遥感—地面观测同步试验中,W iDAS 成像系统在航空尺度上获取了一套红外多角度数据集,尤其是机载中红外多角度数据集,尚为国内首次获取。

从W iDAS 的画幅式图像中,提取了辐射亮温随观测天顶角变化的信息,并做了简要的分析。首先人工选取典型地物的均匀地块,生成感兴趣区域 ROI(Region Of Interest),通过相邻图像的匹配,定位 ROI 在一系列相邻图像中的像元,将 ROI 的亮温

值平均,得到代表典型地物的亮温值。由于画幅式图像的重叠度较高,因此可以提取从前向 40° 至后向 40° 逐渐变化的近 60 个观测角度下的不同亮温值。我们选取的典型地物为临泽站—草地站测区的芦苇、苜蓿和张掖—大满测区的水体、玉米、小麦、荒漠等 6 种典型地物,其辐射亮温值随观测天顶角的变化如图 9 所示。

从图上可以看出,对于热红外波段,辐射亮温随观测天顶角的变化呈现出单峰现象。由于地表是植被与土壤混合的地表,而晴天条件下,土壤的温度一般高于植被,在接近垂直观测时,土壤在像元内占的比例高于倾斜观测,所以表现出大角度观测的辐射亮温低于小角度的观测值。对于芦苇、荒漠和苜蓿等地物辐射亮温有大于 2 K 的变化。对于水体,其发射率较高,热红外方向性不明显,变化不超过 0.5 K。

中红外除了考虑自身的发射以外还需考虑对太阳辐射的反射因素。由于飞行航线的方向接近正南北方向,飞行时间为地方时 11:00~14:00 点之间,因此在太阳主平面上获取的中红外辐射方向性是由发射和反射共同作用形成的,显得更加复杂,单一平面的辐射亮温分布不能很好地说明方向性问题。中红外的多角度机载数据以往较为缺乏,该波段的辐射方向性研究还不多,影响中红外波段的辐射方向性的因素还有待进一步研究分析。W iDAS 系统在黑河试验中获取的中红外多角度数据正好弥补了以往数据缺乏的困难,为更深入的研究中红外辐射方向性提供了条件。

6 结论及讨论

W iDAS 成像系统将热像仪和多波段 CCD 进行集成,软件控制多角度图像采集,成功地获取了光学和红外波段多角度机载遥感数据,完成了黑河流域遥感—地面观测同步试验预期要求,为地表温度/组分温度、发射率、雪面温度等参数的反演提供了大量有价值的机载遥感图像。本文详细地介绍了 W iDAS 的设计原理,并针对 W iDAS 成像系统的特殊性,实现了其数据的辐射和几何处理,最后提取了 6 种典型地物的多角度红外数据。

W iDAS 作为一个试验系统,在黑河试验中首次设计并使用,其系统的硬件和软件还需要进一步调整和完善,在硬件方面表现为 W iDAS 各个波段的相机视场不完全一致,成像不完全同步,可见光和红外波段之间空间分辨率差异非常大,同时,缺乏机上定标系统和姿态测量装置。在软件方面,虽然产品

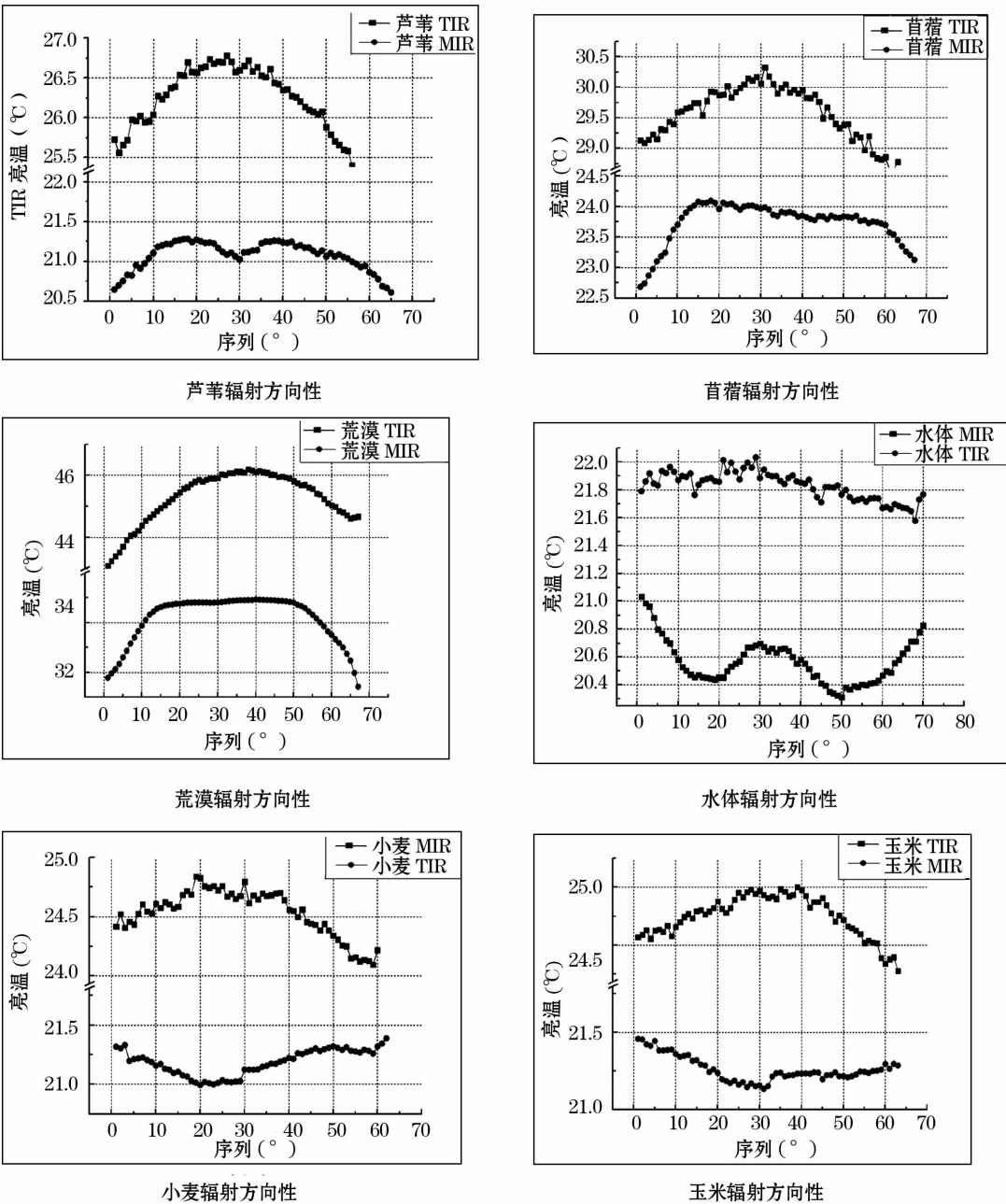


图 9 从 WiDAS 数据提取的典型地物辐射亮温随观测天顶角的变化
Fig.9 Radiant directionality of several typical ground objects extracted from WiDAS data

生成算法能完成大部分实验数据的自动处理,但在草地、荒漠等缺乏纹理的地区,其自动配准难以实现,配准效果的检验仍然需要人工处理。多线阵组推扫数据的处理尚待完成。

本文仅对地物的辐射方向性进行了简单的定性分析,还有待更深层次的挖掘辐射方向性特征并进行定量分析,尤其是在中红外波段的辐射方向性,由于其复杂性,中红外的辐射方向性建模和反演需要考虑更多的因素,需要进一步研究。

参考文献 (References):

[1] Li Xin, Ma Mingguo, Wang Jian, *et al.* Simultaneous remote sensing and ground-based experiment in the Heihe basin: Scientific objectives and experiment design[J]. *Advances in Earth Science*, 2008, 23(9):897-914. [李新, 马明国, 王建, 等. 黑河流域遥感—地面观测同步试验: 科学目标与试验方案[J]. *地球科学进展*, 2008, 23(9):897-914.]

[2] Dozier J, Warren S G. Effect of viewing angle on infrared brightness temperature of snow[J]. *Water Resources Research*, 1982, 18: 1 424-1 434.

[3] Liu Qinhua, Liu Qiang, Xin Xiaozhou, *et al.* Experimental study

- on directionality in thermal infrared observations of corn canopy [C]//Proceeding of IGARSS'01. Sydney, Australia, 2001.
- [4] Francois C, Ottle C, Prevot L. Analytical parameterization of canopy directional emissivity temperatures radiance in thermal infrared [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1997, 18 (12): 2 587-2 612.
- [5] Norman J M, Chen J L. Thermal emissivity and infrared temperature dependence on plant canopy architecture and view angle [C] // Proceedind of International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS'90, IEEE Geoscience and Remote Sensing Society, New York), 1990:1 747-1 750.
- [6] Otterman J. Inferring parameters for canopies nonuniform in azimuth by model inversion [J]. *Remote Sensing of Environment*, 1990, 33:41-53.
- [7] Xu Xiru, Chen Liangfu, Zhuang Jiali. Retrieval method of component temperatures of mixed pixel based on multi-angle remote sensing information [J]. *Science in China (Series D)*, 2001, 31 (1): 81-88. [徐希孺, 陈良富, 庄家礼. 基于多角度热红外遥感的混合像元组分温度演化反演方法 [J]. 中国科学: D 辑, 2001, 31 (1): 81-88.]
- [8] Diner D J, Bruegge C J, Martonchik J V, *et al.* MISR: A multian-gle imaging spectroradiometer for geophysical and climatological research from EOS [J]. *IEEE Transactions on Geoscience & Remote Sensing*, 1989, 27:200-214.
- [9] Chrien N L, Bruegge C J, Ando R R, *et al.* Multi-angle l imaging SpectroRadiometer (MISR) On-Board Calibrator (OBC) in-flight performance studies [J]. *Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2002, 40(7): 1 493-1 499.
- [10] Jovanovic Veljko, Catherine Moroney, Nelson David. Multi-angle geometric processing for globally geo-located and co-registered MISR image data [J]. *Remote Sensing of the Environment*, 2007, 107 (1/2): 22-32.
- [11] Liu Qiang, Liu Qinhua, Xiao Qing, *et al.* Research on geometric correction method for airborne multiangle image [J]. *Science in China (Series D)*, 2002, 32 (4): 299-306. [刘强, 柳钦火, 肖青, 等. 机载多角度遥感图像的几何校正方法研究 [J]. 中国科学: D 辑, 2002, 32 (4): 299-306.]
- [12] Prata A J F, Cechet R P, Barton I J, *et al.* The along track scanning radiometer for ERS-1 scan geometry and data simulation [J]. *IEEE Transactions on Geoscience & Remote Sensing*, 1990, 28: 3-13.
- [13] Deuze J L, Breon F M, Deschamps P Y, *et al.* Analysis of the POLDER (POLarization and Directionality of Earth's Reflec-tances) airborne instrument observations over land surfaces [J]. *Remote Sensing of Environment*, 1993, 45:137-154.
- [14] Deschamps P Y, Breon F M, Leroy M, *et al.* The POLDER mis-sion: Instrument characteristics and scientific objectives [J]. *IEEE Transactions on Geoscience & Remote Sensing*, 1994, 32: 598-615.
- [15] Harris C, Stephens M. A combined corner and edge detector [C] //Proceedings of the 4th Alvey Vision Conference, 1988: 147-151.
- [16] Zhang R H, Sun X M, Su H B, *et al.* A new design for measur-ing directional radiant temperature and data analysis [C] // Pro-ceeding of IEEE 2002 International Geoscience and Remote Sens-ing Symposium (IGARSS02), 2002, 5: 2 768-2 770.
- [17] Wang J, Yan F, Xiao T. Development of an airborne multi-angle TIR/VNIR imaging system [C] //IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS'02), 2002, 4: 2 245-2 248.
- [18] Li Z L, Stoll M P, Zhang R H, *et al.* On the separate retrieval of soil and vegetation temperature from ATSR2 data [J]. *Science in China (Series D)*, 2001, 44(2): 97-111.

Design and Implementation of Airborne Wide-angle Infrared Dual-mode Line/area Array Scanner in Heihe Experiment

FANG Li¹, LIU Qiang¹, XIAO Qing¹, LIU Qinhua¹, LIU Zhigang²

(1. State Key Laboratory of Remote Sensing Science, Institute of Remote Sensing

Applications, Chinese Academy of sciences, Beijing 100101, China;

2. School of Geography, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract: Wide-angle infrared Dual-mode line/area Array Scanner (WiDAS) is an airborne remote sensing instrument designed to acquire multi-angle infrared remote sensing data, which is one of the essential observation in the simultaneous remote sensing and ground-based experiment in the Heihe river basin. After a brief introduction of the research background and hardware structure, the processing algorithms and product system for WiDAS thermal data are subsequently proposed according to the characteristics of WiDAS imaging system. In the end, the radiant directionality of six typical ground objects is extracted from calibrated and georectified WiDAS data, which indicates WiDAS as a good data source for study of land surface radiant directionality in MIR and TIR band.

Key words: Multi-angle remote sensing; Radiant directionality; Radiometric calibration; Geometric calibration.