

新时代的航空遥感

李儒¹ 刘波² 房成法¹

(1 中国科学院航空遥感中心 100094; 2 环保部南京环境科学研究所 210042)

2014年8月,中科院航空遥感中心参与完成了遥感科学国家重点实验室的全波段、多尺度遥感机理综合试验。该试验中,航空遥感中心在同一实验区同时使用两架遥感飞机,分别搭航空相机、机载激光雷达、热红外传感器、C波段雷达、P波段雷达及L波段雷达,为实验提供了全波段、多尺度的遥感数据支撑,这样的大范围全波段准同步遥感数据也只有通过航空遥感才可能快速获取。航空遥感在科学研究和工程应用领域发挥了巨大作用,优势明显。

1. 遥感的基本原理

说到航空遥感,首先简单介绍一下遥感的原理。遥感(remote sensing),通俗来讲即“遥远感知”的意思。如图1太阳提供光源(也有无需借助太阳光的遥感),太阳光照射到物体并被反射出去,传感器接收到反射光并经模数转换为数字信号形成数据,最后业务和科研人员从获取的数据中解译出相应的信息。眼睛看到物体并认出“该物体是什么”就是一种典型的遥感过程。

理解遥感技术的另外一个重要因素是“光谱(波段)”的概念。太阳光经过棱镜可以分解成7色光,这些可见光只是太阳光中人眼能看到的部分,还有人眼无法看到却能够被仪器感知(捕获)到的其他部分。

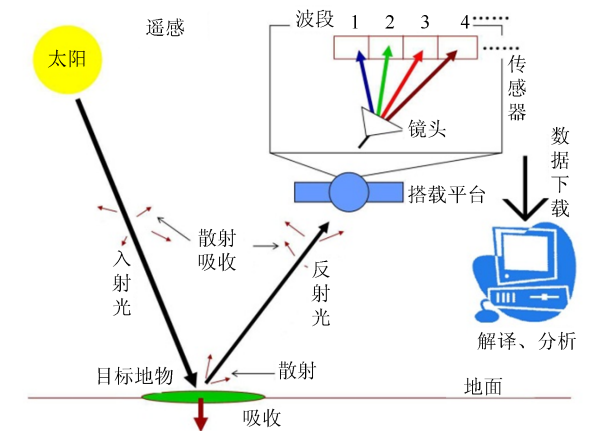


图1 遥感过程示意图^①

将太阳光通过棱镜等色散系统分光,将得到的单色光按照波长或频率大小依次排列形成光学频谱,简称光谱。这个可见光光谱进一步向两边扩展,比如向波长变小方向(图2中左向)到 γ 射线,向波长变大方向到无线电波(图2中右向),便可形成完整的电磁波谱。与光谱(波谱)相关的一个概念是波段。特定传感器有效接收的电磁波能量往往集中于某个光谱区间,这样的区间便称作一个波段,不同的传感器有着不同的波段数目和分布情况。通常情况下,在一定的电磁波范围内,当传感器的波段数较少时,每个波段相对都比较宽,此时称为多光谱遥感;当波段数量到一定程度后,不仅每个波段比较窄,而且波段之间的间隔也变窄,具有了高光谱分辨率的特点,这时就称为高光谱遥感。高光谱数据因为包含的光谱波段多,可以提供更加丰富和细致的光谱信息,因而在目标识别和定量化应用等领域的优势更加显著。

2. 航空遥感的特点

遥感按照平台划分可分为地面遥感、航空遥感和航天(卫星)遥感。航空遥感与其他两类遥感主要区别是传感器所搭载的平台不同,不同平台体现出各自遥感系统的优势与特点。卫星平台的优势是大面积数据获取,但因处在宇宙中,传感器更换、维修实现困难,目标地区实时数据获取也受制于卫星过境情况;地面遥感的优势在于机动灵活,可以根据需求随时更换传感器并运输到特定地点进行数据获取,但因为传感器架设在地面或离地面不高处,获取的数据面积小;航空遥感的传感器搭载在飞行器上,比如飞机、无人机、飞艇,甚至航模,可以根据应用需要随时更换传感器,快速到达人力难以涉及的地区开展数据获取工作。

1903年,纽布朗纳(Julius Neubronner)设计了由鸽子和捆绑在鸽子身上的微型相机(图3)组成的早期“航空遥感”系统。在鸽子飞行中可以获取地面照片,这种借由“生物平台”获取地面信息的空中摄

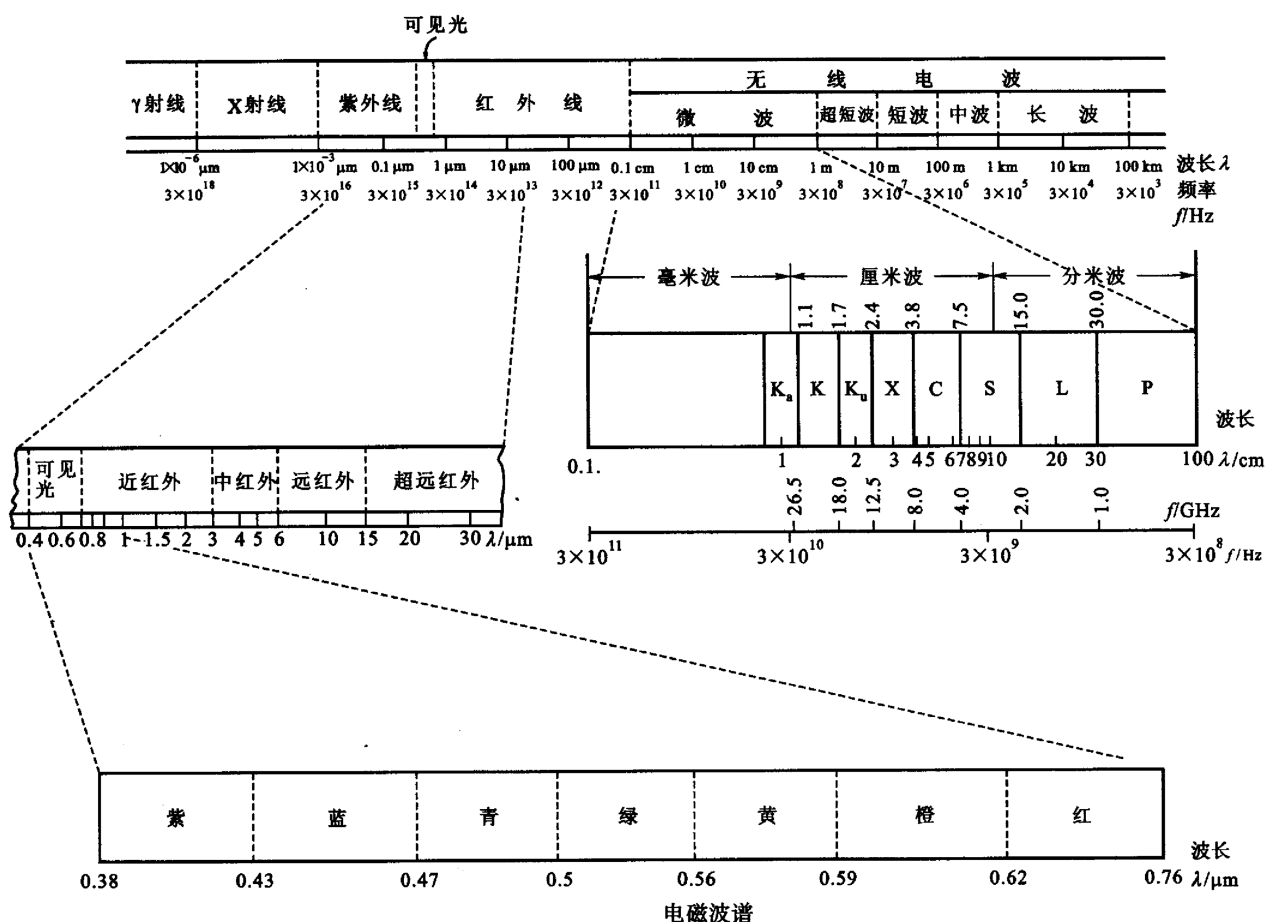


图2 电磁波谱 (波长: m)

影便具备了航空遥感的雏形。伴随着由气球、飞艇等充当搭载平台的试验性航空摄影测量的发展，特别是飞机发明之后，现代意义上的航空遥感得以确立。作为空天地遥感体系的重要组成部分，航空遥感不仅可以弥补地面遥感与航天遥感难以覆盖全部应用领域的不足，同时也是开展遥感科学研究的强有力工具，一项成熟的遥感技术往往需要先经过航空遥感的反复实验才能用于航天遥感。目前，航空遥感系统建设是国家战略规划中的一项重要内容，我国已经启动了国家重大科技基础设施“航空遥感系统”建设，届时将配备两架遥感飞机和10多种新型遥感设备及高性能地面数据处理系统等，形成先进的高性能航空遥感系统。

我们知道快速、便捷、非接触测量等是所有遥感技术的通用优点，而航空遥感之所以成为当今最有活力的遥感领域之一，与其有着诸多独特的优点密切相关：

航天遥感需要利用卫星等昂贵平台，一般为国家

图3 早期利用鸽子进行“航空遥感”^②

相关职能部门或实力雄厚的大公司才能承担起航天遥感卫星发射计划费用。航空遥感大多数基于飞机平台，成本相对更加经济。特别是无人机兴起以来，很多传感器可以搭载在小型无人机之上开展航空遥感，其成本得到进一步控制，能够为广大公司和用户单位承受。

航空遥感因其平台使用的便捷而具有更大的灵活性，同样的传感器可以获得更高空间分辨率和时间分

分辨率的数据，且可以根据用户需求而随时进行遥感飞行，满足各种行业的多样化需求。比如要对同一区域需要进行高时间分辨率的密集观测，甚至一天之内多次获取遥感数据，而航天遥感可能由于卫星重访周期、空间分辨率种种制约而无法获得相应的理想数据，这种情况下只有航空遥感才能胜任特定任务需求。

航空遥感除了具有相对成本低廉、适应性灵活的优点外，在一些研究和应用领域还具有不可替代性的特点。比如在多尺度遥感研究中，需要利用同一传感器对同一地物或同一区域进行多种不同分辨率的观测，通过设定不同飞行高度即可通过航空遥感实现这一观测要求，而航天遥感通常由于卫星在固定轨道运行其传感器难以获取连续的多尺度数据。同时由于飞机飞行高度可以灵活设置，可以避开飞行高度之上大气对遥感信号的干扰，有利于获取地表的真实信息。此外，一项遥感技术在发射遥感卫星计划之前需要经过大量反复实验来提高其可行性、可靠性和相关参数设置的科学性，而航空遥感为实现这种预先研究和论证提供了良好的试验基础。

当面临一些突发应急事件时，比如汶川地震期

间，由于受到天气因素和卫星过境时间等条件限制，一时难以获取到理想的灾区光学遥感数据，而航空遥感可以借助于飞机方便快捷地获取灾区信息（实际上，目前航空遥感已经是应急救援数据的主要获取手段之一）。受海量卫星数据存储和处理等成本制约，不少航天遥感数据需要提前预定才能在卫星过境时获取，因而无法满足突发事件的需求，航空遥感的快速灵活甚至可以做到准实时反应，这一优点使其在之后的历次地震等突发灾害中都发挥了及时的作用。

3. 航空遥感的飞行平台

航空遥感系统主要包括：飞行平台、传感器（遥感器）、数据处理系统。前两项是机载部分的主要内容。

航空遥感飞行平台根据应用需求可以简单的分为飞机/飞艇、无人机/无人飞艇，甚至航模等（图4、5）。有人飞机因搭载传感器而需要对飞机进行改装，改装后必须经过相关部门鉴定考核后方可开展作业，运行成本相对较高。但航空遥感并不因此遥不可及。随着无人机技术的发展，现在花很少的钱就能在网上买到各种类型的无人机（航模级），通过搭载相应的设备，



图4 航空遥感飞行平台（飞机）^③

图5 其他航空遥感平台^④

比如数码相机、摄像头、红外相机等组建一套微型航空遥感平台开展一般应用，如小区楼顶违建监测、小区用地类型定量分析、识别大楼或水面的热异常等。

4. 常见的航空遥感传感器及其应用

飞行平台等只是传感器的载体，构成航空遥感系统的另一项重要组成部分是传感器，如这次全波段多尺度遥感机理综合试验就同时搭载了7种传感器。不同类型的传感器代表着不同的航空遥感能力，对应不同的应用需求。航空遥感常见的主要应用有地面高清影像获取、三维数据获取、定量信息提取需求、目标识别需求等。不同需求分别使用不同传感器，但每种传感器不光针对一种需求，往往可以联合使用以达到更好的应用效果。

(1) 航空相机

通过使用航空相机可以获取地面高清影像。航空相机是航空遥感领域最早使用的传感器，简单理解就是放大的照相机。当然，因为航拍的特殊要求，相机经过了特别的设计和制作。航空相机经历了胶片式到全数字式的发展，获取的影像也由原先的黑白相片发展到现在多光谱（红、绿、蓝、近红外，全色）相片。新型数码相机通过多台相机拼接，极大的扩展了相片的覆盖范围。比如微软公司的 UltraCam 相机（图6），由8台相机组合而成，分别为4台彩色相机（红、绿、蓝和近红）和4台全色相机，8台相机通过影像与影像的重叠部分拼接成一整幅影像，提高单幅影像（拼接）的覆盖范围，进而提高相机的工作效率。目前国产航空相机的研制也有了很大的进步，中国测绘科学研究院刘先林院士领衔研制的 SWDC（Si Wei Digital Camera）系列航空相机已经在国家基础测绘中发挥了重要的作用。航空相机获取的影像数据最大的特点就是空间分辨率高，目标地物细节更清楚，凡是需要地

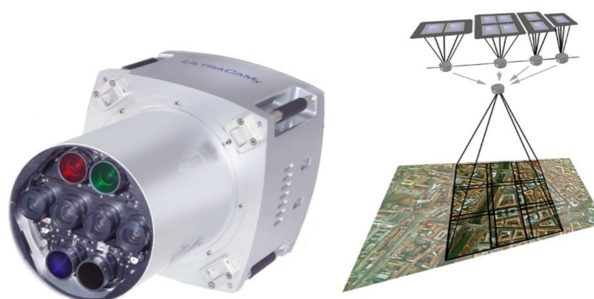


图6 数码航空相机

面形状细节的应用都需要这样的数据，因此是很多应用的基础数据，比如城市规划、灾害评价、制作大比例地形图等应用。在汶川地震后就通过这样的设备获取了大量灾区的地面数据为灾情判别、应急指挥、灾后规划、重建等提供最客观可靠的灾情信息。

(2) 激光雷达与倾斜相机

三维数据是近年来城市信息化的新兴需求，通过机载激光雷达可以获取高精度的地面三维数据，再通过倾斜相机获得建筑物各个侧面的纹理，最后生产真实的三维场景。激光雷达（图7）不同于航空相机，它是主动式遥感。该设备按一定时间间隔向地面发射一定频率和密度的电磁波。电磁波接触到地物后被反射并被激光雷达接收，从而获得地面的三维信息。因为接收到的是一个离散点信号，故激光雷达的成果数据基本表现形式是三维的点云，也可以根据点云生成诸如白模等其他衍生表现形式的产品。设备接收到的反射电磁波越多，地物的表面信息越完整，空间三维信息还原的也就越好。这样的数据能够很好表现地物的三维空间位置信息，但无法表现地物表面的纹理信息，因而应用上还是不够直观，于是倾斜相机便应运而生了（图8）。通过在同一飞行平台上同时从多个不同的视角采集影像，倾斜相机一次曝光就能够获得地物不同侧面的表面纹理信息。再通过一定的技

术，将不同侧面的纹理信息（相片）提取贴到已建立的三维模型上，进而生产出符合人眼视觉的直观的真实三维地物，如图9就是在三维模型上贴纹理而建成的真实三维场景。这些技术可作为“智慧城市”建设中三维建模数据获取和更新的主要技术手段，建立城市高分辨率航空影像数据库。未来人们在电脑上查询地图时看到的可能就不再是二维平面的，而是真实三维再现场景，就像科幻电影中常见的虚拟现实场景一样。目前这项技术还在继续发展当中，比如数据采集效率、纹理质量、数据处理自动化程度等都需要进一步完善。机载激光雷达获取的数据还有一个重要的用途就是植被生长量监测。通过特定数据处理对前后两期数据求差，结果就是这段时间植被生长量，这次全波段实验就有这方面的应用。

(3) 机载成像光谱仪

高光谱传感器无疑是地物定量信息获取的最佳工具，它拥有很多波段，光谱分辨率很高，可到数个纳米，



图7 进口 ASD70 激光雷达[®]



图8 国产 SWDC-5 倾斜相机[®]



图9 三维建筑白模与真实三维场景[®]

较多的光谱波段更能反应出目标表面的精细光谱特征，如果光谱波段足够多足够精细就称之为超光谱遥感。高光谱传感器又称作成像光谱仪，即其所获数据既有地物的二维空间信息（成像），又有地物的光谱信息（光谱），具有图谱合一的特点。我国在 863 计划的支持下，研发出了实用型模块化成像光谱仪系统（Operational Modular Imaging Spectrometer, OMIS, 图10）。OMIS 工作波段覆盖了 $0.46 \sim 12.5 \mu\text{m}$ 可见光至热红外的全部大气窗口，设置了 128 个光谱波段，相对于多光谱遥感数据，具有更为精细的光谱和几何分辨率。如图 11，通过成像光谱仪获取的地面影像，图像上的每一个点都有一条光谱曲线，可以使用这条曲线，通过光谱匹配等技术，就能精确地识别出地物



机载系统

地面系统

图10 国产 OMIS 系统

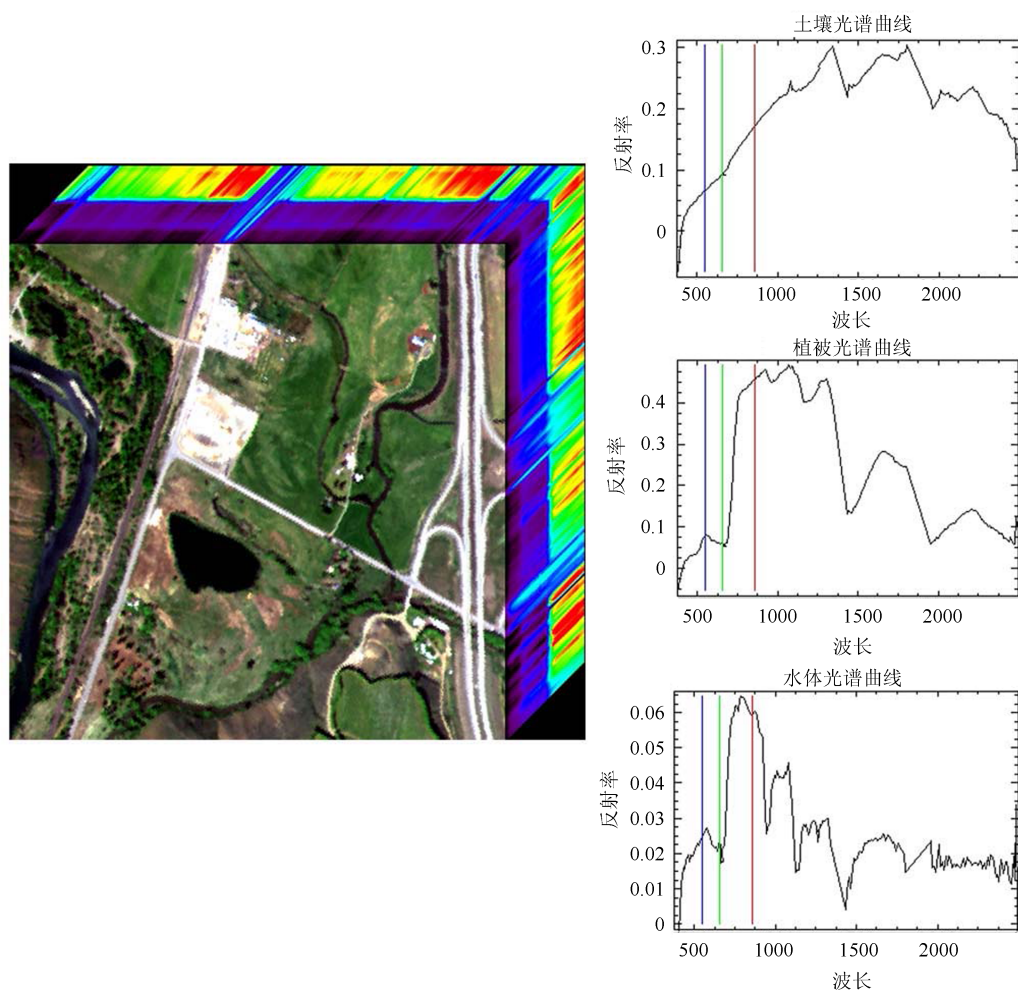


图 11 图谱立方体和典型地物特征光谱 (AVIRIS)

了。OMIS 在农作物、城市、荒漠化、资源调查、海洋及海岸带、生态环境等诸多应用领域获取了一批高质量的成像光谱数据，其中 2001 年 8 月到 9 月在日本名古屋进行的中日联合遥感试验中，OMIS 在名古屋、东京等地进行了若干架次的遥感作业，获得了高质量的遥感数据，赢得了良好的国际声誉。

OMIS 成像光谱的光谱波段主要集中在可见光和红外波段，另一套航空遥感机载设备 TASI 航空热红外成像光谱测量系统 (图 12)，则专注于热红外波段，以获取地物的热状况信息。该设备光谱测量范围在 $8.0 \sim 11.5 \mu\text{m}$ ，分为 32 个波段。根据波段设置的优势，该设备

主要在煤火、地热、城市热岛等领域的探测中具有广泛应用前景。热红外还有一个重要的用途就是军事目标探测，目前高精度的设备国外对我国禁运和技术限制。

(4) 机载微波遥感系统

机载微波遥感系统，主要是合成孔径雷达

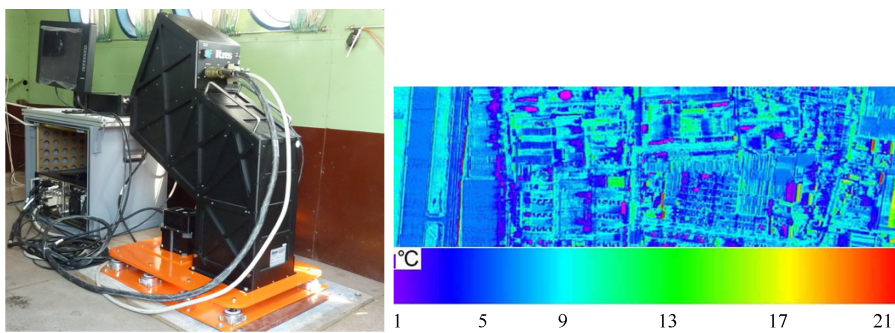


图 12 TASI 航空热红外成像光谱测量系统及获取的地面热图像[®]

(Synthetic Aperture Radar, SAR, 图 13) 是目标探测的利器, 它不需要阳光, 能穿透云雾发现地面隐蔽和伪装的目标, 可以实现全天候、全天时作业, 因此在军事上重要性尤其凸显。这次实验使用的 C 波段雷达、P 波段雷达及 L 波段雷达属民用 SAR 设备, 其命名来源于使用的具体频段。在雷达领域, 把在侧视方向上的分辨率称为距离分辨率, 沿航线方向上的分辨率称为方位分辨率。雷达的方位分辨率与天线尺寸(孔径)有关, 飞机、卫星上无法安装很大尺寸的天线, 于是科研工作者利用雷达与目标的相对运动把尺寸较小的真实天线孔径用数据处理的方法合成一较大的等效天线孔径, 所得到的方位分辨率相当于一个大孔径天线所能提供的方位分辨率, 通过这样的技术来提高雷达的分辨率, 称为合成孔径雷达(SAR)。由于 SAR 在军事上的重要用途, 国外对我国实行禁运和技术限制。我国的科研机构历时多年的攻关, 相继成功研发了 L、S、X、Ku 波段等系列雷达, 实现了机载雷达全天候、全天时高分辨成像和三维干涉成像, 可获取大范围内的高分辨条带 SAR 图像, 即可实现临空侦查又可在国民经济建设中执行民用遥感任务, 如洪水检测、地震灾害调查、森林火灾检测、水域动态变化检测、地质遥感等。



图 13 机载微波遥感系统^①

5、结语与展望

了解了航空遥感用到的各种传感器, 再看这次的全波段多尺度遥感机理综合试验, 通过航空遥感, 应用不同的飞行平台, 搭载不同的传感器, 已经能够实现全波段(光学 - 热红外 - 微波)、多尺度(数据获取的不同高度)准同步数据。但这对全波段多尺度遥感模型集成研究还不够理想, 理想状态是能同一个平

台上同时搭载不同的传感器多次重复同步获取数据, 这是未来航空遥感发展的一个重要方向。目前, 航空遥感数据都是线下处理, 削弱了应急救援的数据支撑能力。因此, 在机上数据实时准实时的智能化处理也是未来航空遥感发展的重要议题之一。可以展望, 在不久的将来, 航空遥感将实现: 借助搭载的微波传感器, 航空遥感全天候、全天时数据获取的能力不断加强, 实现一个飞行平台多传感器同步运行、高效率的智能化数据处理, 飞机未落地数据已经得到处理并向应用部门传送; 同时, 以无人机装备小型化传感为代表的微型航空遥感也将跨越式大发展, 使得航空遥感走向更为广泛的应用, 更好地服务于国民经济建设。

作者简介:

李儒, 从事航空遥感相关工作, 先后参加和主持了多项工程与科研项目, 包括地震航空遥感应急任务、摄影测量工程、无人机关键技术研究与运行等, 在遥感无人机及航空遥感工程领域具有一定的工作积累。

刘波, 从事高光谱遥感研究。目前研究兴趣主要集中在青藏高原生态环境遥感监测和全球变化遥感, 在地面成像光谱仪应用领域具有丰富的工作经验。

房成法, 教授级高工, 中科院航空遥感中心副主任, 长期负责遥感飞机运行管理、新型遥感器航空试验校飞任务; 承担了国家遥感飞机大科学装置维修改造等众多项目。

^① http://www.iue.cas.cn/kpjy/kp wz/200905/t20090531_1875261.html, 有改动; ^② <http://publicdomainreview.org/collections/dr-julius-neubronners-miniature-pigeon-camera/>; ^③ <http://www.peacemap.com.cn/show3.aspx?id=34>, 有改动; ^④ <http://www.uavrs.com/index.php?m=content&c=index&a=show&catid=7&id=44>; <http://www.dazhahui008.cn/tupianwang/cnc9pabtuo8bwy02103.html>; http://news.xinhuanet.com/photo/2014-04/26/c_126437461_2.htm, 有改动; ^⑤ http://www.ceode.cas.cn/kycg/kydt/201211/t20121114_3682899.html; ^⑥ <http://www.casm.ac.cn/cgzh.php?col=143&file=4133>; ^⑦ <http://www.inspireinfo.com.cn/zyfw/sjfu/5741.html>; ^⑧ http://briug.com.cn/news/news_show.asp?tid=116&id=717; ^⑨ <http://www.kongzhi.net/ecc/ecc.php?newsId=132083>