

机载/车载激光扫描测距/成像制图系统的新进展

李树楷 刘少创

(中国科学院遥感应用研究所, 北京 100101)

摘要 结合机载激光遥感影像制图系统的特点。论述了机载/车载激光扫描测距/成像制图系统的研制背景、基本原理、研究进展、应用前景和进一步发展应该解决的问题等。

关键词 遥感, 直接对地定位, 车载测图系统, 机载激光地形测绘系统, 机载激光测距-扫描成像制图系统

1 引言

信息获取技术在相当程度上决定着信息技术中的信息处理、信息应用、信息工程的流程与结构。在遥感信息科学领域, 为了获取数字高程模型(DEM)和地学编码影像, 经历了长期的理论与技术的发展过程。这两类数据及其信息成果也是当今方兴未艾的地理信息系统(GIS)所急需的。信息技术中, 信息是第一位的。信息本身的可信度决定了信息应用成果的可信度; 信息获取技术的快速、准确与否, 决定了信息流的速度。如无法有效地解决快速、准确的信息获取与信息处理问题, 其必将成为遥感与GIS发展中的“瓶颈”问题。

长期以来, 上述两类数据是通过立体摄影测量技术、遥感技术以及摄影测量的产品—地形图上获得的, 这需要一个与当今社会需求不协调的较长周期的作业过程, 如: 高速公路的质量检测是绝不能将高速公路关闭几天进行测量; 经济特区的发展一个月一个样, 一年大变样的动态监测, 几个月后拿出的图件只能作回顾分析, 而无法反映现状, 指导当前的建设。遥感与摄影测量工作者为此进行了大量的研究工作, 以跟上这种快速需求, 其中采用数字技术以及将以往的定位技术中采用的地空定位模式向空地定位模式的转变是其中重要的环节之一, 这一努力推动了对地观测领域集成型技术系统的发

展。

采用空地定位模式实现遥感直接对地观测是近年来摄影测量与遥感领域研究的一个热点问题。这个研究的主要内容就是在无地面控制点或仅有少量地面控制点的情况下, 如何实现遥感对地定位。GPS辅助的空中三角测量与无地面控制的空中三角测量(Lucas 1987, Ackermann et al 1993, Colomina 1993, Jacobsen 1997)、车载立体成像制图系统(Novak 1995, Li, 1997)、GPS/INS组合的遥感直接对地定位(Schwarz et al 1993)、机载激光断面/扫描仪(Lindenberger 1991, Flood et al 1997)以及机载激光遥感影像制图系统(李树楷 1996, Liu et al 1997)等的出现, 均是这一方向研究的重要成果。这些成果已经广泛地用于GIS数据的采集(Novak 1995)、城区高程信息提取(Hug 1996, Haala et al, 1996)、重大灾害后的灾情调查与评价(Orthmeyer 1997)、森林覆盖或困难地区的地形测绘(Krabill et al 1984, Ward 1997)、DTM获取(Schade et al 1994, Lohr 1997)、海洋测深和环境监测(Lillycrop et al 1994, Estep et al 1994)、格陵兰地形测绘和冰雪调查等(Vandemark et al 1994, Krabill et al 1996)。随着相关技术的发展, 遥感直接对地观测技术会更加完善, 应用领域将会不断扩大, 应用的深度还会不断增加。

2 机载激光扫描测距/成像制图系统

机载激光扫描测距—成像遥感/制图系统可分为两种类型,即:机载激光扫描地形测图系统(Airborne Laser Radar Topographic Terrain Mapping System)和机载激光扫描测距—成像制图系统(Airborne Laser Ranging & Mutispectral Imaging Mapping System)。这些系统必将成为未来摄影测量的一个组成部分(Ackerman 1991),进而将成为整个对地观测领域的一个重要组成部分之一。

机载激光扫描地形测图系统和机载激光扫描测距—成像制图系统的基本原理如下,即:假设三维空间中一点的坐标已知,如果能够求得这一点到地面上某一待定点的矢量,则地面上待定点的坐标就可以根据端点加矢量的方法求出。这就是机载激光扫描地形测图系统的基本原理。机载激光扫描测距—成像制图系统在获取地面待定点空间坐标的同时,还获取了该点的光谱信息。

2.1 机载激光地形测图系统

机载激光扫描地形测图系统主要组成部分包括:

(1)动态差分 GPS 接收机,用于确定扫描装置的投影中心的空间位置。

(2)姿态测量装置(一般采用惯性导航系统或多天线 GPS)用于测定扫描装置的主光轴的姿态参数。

(3)激光测距仪用于测定传感器到地面点的距离。

(4)一套成像装置(一般为摄像机),用于记录地面实况,以达到对生成的 DEM 产品的质量进行评价的目的。

目前,在世界范围内主要有三家机构生产并出售这类系统,它们是美国的 NASA(Rabine et al, Krabill et al 1996, Vaughn et al 1996)、瑞典的 Saab(Carlsson et al 1997)和加拿大的 Optech(Lillycrop et al 1997, Flood et al 1997)等,不少机构也正在研制类似的系统(Ritchie et al 1994, Lohr 1997)。以下是几种有代表性的系统的情况:

(1)FLI-MAP(Fast Laser Imaging And Mapping Platform)系统集卫星定位技术、姿态测量技术、图象采集与显示技术、数据处理技术等于一体的信息获取系统(Rougeau et al 1994)。由于采用了多种传感器集成技术,因而在作业过程中,能够获得高

质量的地形信息。系统的最终产品是测区的 DEM。FLI-MAP 的定位是通过作业飞机上的两台作为流动站的 GPS 接收机和地面上的一台或多台作为基准站的 GPS 以及配套的数据链组成的差分 GPS 系统,它可以为飞机提供精确的导航信息和为激光测距仪和彩色摄像机提供定位信息;姿态测量装置用于获取激光器的姿态数据,并与激光数据一起直接记录在活动硬盘上,供数据后处理使用;作为系统的核心部分的激光测距仪用来测量测距仪中心到地面待测点的距离,每条扫描记录的内容除了距离之外,还包括:时间、激光测距仪姿态数据、数据检校信息等;图象信息是通过 2 台彩色摄像机获取的,其中一台安装在激光器上,它们分别记录飞机下方地面的实况,并随时将飞行员、领航员和系统的操作员的对话作为语音信息记录在录像带的语音磁道上,以帮助图象解译,图象的每一帧上都有精确的 UTC 时间标记,这样可以将激光测距数据与图象信息联系起来;系统的外业数据处理采用的 Intel 奔腾处理器的 PC 机和 WINDOWS 环境下的软件。FLI-MAP 可用于高速公路勘测、管线建设和监测、灾害的应急反应及环境监测等领域。

(2)德国 Toposys 系统的(Lohr 1997)信息获取子系统最关键部分激光扫描仪,激光的波长为 $1.54\mu\text{m}$ (近红外区),扫描仪为光纤线扫描仪,扫描角为 $\pm 7^\circ$;动态差分 GPS 接收机,为 Novatel L1/L2 接收机,用于系统的导航定位,数据更新频率为 1Hz;高精度的激光惯性导航系统以 64HZ 的频率测定激光扫描仪的位置和姿态。信息处理部分的硬件是数台 UNIX 工作站,而信息处理部分的关键软件包括飞行航线的复原、DEM 生成和地表植被的删除(地形测绘应消除植被的干扰)等模块。此系统已经用于城市建筑物高度提取、森林覆盖地区的 DEM 提取、海岸地形测绘等。

(3)Topeye 系统是瑞典的 Saab Dynamics 研制的地形测绘系统(Carlsson et al 1997),适用于大比例尺地形测绘、工程测量以及基础设施(如电力线、公路等)的测绘和监测等。此系统集成 GPS、INS、脉冲激光测距仪等。图象记录装置为 1~2 台录像机和 1 台红外相机(可选)。

(4)SHOALS(Scanning Hydrographic Operational Airborne Lidar Survey System)系统(Koppari et al 1994, Estep et al 1994, Lillycrop et al 1994)是一套用于海洋测深的机载激光扫描测距系统。与上述系统类似之处是其组成仍然包括 GPS、

INS 和激光测距仪等。此系统的工作原理是利用海面和海底对同一束激光反射的差值,经过入射角校正,求得海水的深度。其作业航空平台为 Bell 212 直升飞机,飞行高度为 200 米,飞行速度为 25 米/秒。作业时系统利用一台有数十个通道的成像光谱仪同时获取飞行航线上的光谱信息。成像光谱仪与激光测距数据是分别获取的,但是可以通过 GPS 提供的位置和时间信息进行配准。这样就可以利用光谱信息与激光测距信息可以不同情况下的海洋测深工作。SHOALS 的数据处理子系统装载在一部汽车上,可以非常方便地到达测区,信息获取工作完成后即可进行数据处理工作。

2.2 机载激光测距-扫描成像制图系统

由国家 863 计划 308 主题支持,中国科学院遥感应用研究所和上海仙通信息技术研究所联合研制

“机载激光影像制图系统”的信息获取子系统,是一套集光机扫描成像技术、激光测距技术、GPS 导航定位技术、姿态测量技术、数据传输和存储技术和计算机技术等于一体的高技术产品(李树楷 1996 年)。系统由 3 部分组成,其中第 1、2 项与机载激光地形制图系统一致,而后者与前者最大的区别就是将激光测距仪与多光谱扫描成像仪器共用一套主光学系统,通过硬件实现了 DEM 和遥感影像的精确匹配,这种匹配包含时间上的匹配和空间上的匹配。这样的系统除了能够像激光断面扫描仪器一样生成地面的 DEM 以外,还可以同时得到与 DEM 精确匹配的遥感影像,由于遥感影像与已知地理坐标的 DEM 精确配准,因而可以由此直接生成地学编码影像。图 1 为“机载激光遥感影像制图系统”的信息获取示意图和原理图。

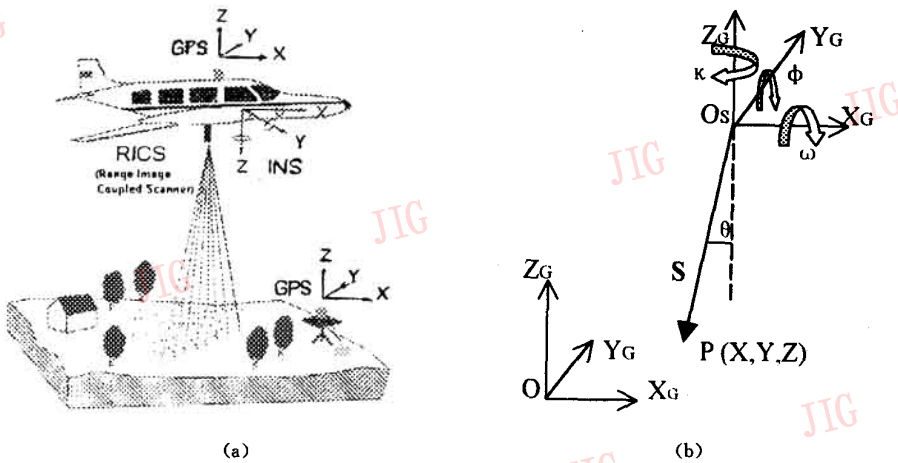


图 1 机载激光测距—扫描成像制图系统信息获取示意图及对地定位原理图

“机载激光测距-扫描成像制图系统”具有以下特点:

(1)通过硬件实现遥感图象与 DEM 的同步生成,即:通过像元点与激光测距点(求三维坐标点)严格匹配的技术达到这一目标;

(2)利用空—>地直接定位方式,实现了在无地面控制点的情况下,完成遥感图象对地定位及同步生成 DEM;

(3)实现了机载光机扫描激光测距技术;

(4)实时(准实时)技术系统。一次飞行后,经过几个小时的处理,即可获得正射遥感图象(地学编码化)的同时,直接获得与正射遥感图象匹配 DEM。效率较现有同类技术系统提高 1~2 个数量级。

本系统已经针对课题组选定的实验区首次飞行试验获得成功的基础上,又于 1997 年 5~6 月间,根据实际需要,对用户指定的区域进行了飞行作业试验。试验区包括:北京九里山试验区和内蒙古自治区的东胜试验区、托克托试验区、固阳试验区及呼和浩特市试验区等,总面积约 400 平方公里,其中面积最大的作业区域需飞行 21 条航线才可覆盖。这些用户指定区域的应用目的包括:露天煤矿复垦、煤田自然探测、金矿勘察和为用于城市规划管理的城市三维表面信息提取等。为用户提供的评定成果包括:地学编码影像、规格化的 DEM 及等高线图、地学编码影像与等高线的叠加影像和三维景观图等。获得的成果得到了用户的高度评价和有关专家的首肯。这些

成果我们将在以后的文章中进行详细介绍。

事实上,人们在开发车载激光扫描测距制图系统的同时,已经认识到了影像信息在实际应用中的作用。因此,在飞行作业时,通过各种途径获取同一作业航线上的影像(如:利用摄像机、CCD相机、成像光谱仪等),然后再通过各种手段(如:时间标记和位置标记等)将影像与DEM(Digital Elevation Model)或DDM(Digital Depth Model)在后处理过程中配准,从而达到将地形信息与影像信息融合进行应用的目的。这是因为对于各种应用问题,仅利用DEM和DDM 仍然存在着一定的缺陷,如在目标的识别过程中,在仅仅依靠几何信息是难以有效地解决问题的,虽然目前也提出了一些从车载激光断面扫描系统获取的DEM中提取目标的方法,如在处理Topeye激光扫描数据时采用的 α - β 方法和QSD(Qualitative Slope Descriptor)方法等(Carlsson et al 1997, Letalick et al 1992),这些方法虽然在某些特殊的情况下,能够提取特定的目标(如:军用车辆等),但由于没有顾及(或无法顾及)目标的光谱信息,因而处理结果的精度和可靠性较差。另外,对于系统中特别重要的测量数据误差处理问题或称平差问题,由于仅依靠作业航线上的DEM数据(Kilian et al 1996),这就造成了重叠部分同名点选取的困难,因而不会有好的效果。因此,如何获得与地形信息在时间上与空间上精确匹配的遥感图象就成了激光断面扫描系统应解决的一个重要问题。Lemmens最近提出了如下的设想:“当能够记录到激光反射脉冲的信号强度时,就有可能同时得到近红外波段的专题信息,这就有可能利用这一波段的信息与其它遥感数据(如:多光谱数据)融合而达到对影像进行分类的目的”(Lemmens 1997);Hug已经实现了在利用激光进行距离测量的同时,记录激光回波的反射强度,作为区分地面不同目标的辅助信息(Hug 1996);在车载激光遥感影像制图系统中,已经实现了遥感信息获取的过程中,通过激光扫描测距—成像传感器,在每一条扫描线上,按固定的间隔(以像元为单位),有一个与相应像元严格匹配(即:时间匹配和空间匹配)的激光测距点,激光测距点是待求三维地理坐标(X, Y, Z)的点,这个激光测距点在地面上的位置正是与其同步匹配的扫描影像像元的地面位置。激光测距点的地理坐标即是这个同步像元的地理坐标,而这种同步与匹配由硬件实现。这种独特的设计思想的优点是显而易见的。

3 车载制图系统

车载地形制图系统(Mobile Mapping System)的基本原理源于摄影测量学(Wang, 1990)。这类系统的研制是80年代后期开始的。近十年来,在世界范围内有多个不同的研究机构致力于此类系统的研制,特别是美国和加拿大两国。而这类系统已经成功地用于高速公路调查(Schwarz 1993, He et al 1992)、GIS信息获取(Rougeau et al 1994, Pottle 1995)及水下地形测绘(Li et al, 1997)等。车载制图系统一般是由以下几部分组成:

- (1)用于导航定位的差分GPS接收机。
- (2)确定传感器姿态的惯性导航系统(Inertial Navigation System,简称INS)。
- (3)测图传感器,如:CCD相机、激光测距仪和雷达等。
- (4)运载平台为汽车。

车载成像测图系统的基本原理如图2所示。车载成像测图系统的目的是要测得点 M 在地理坐标系 $O-XYZ$ 中的三维坐标,即:由坐标原点到目标 M 的矢量 \vec{R}_M 。 C_1 与 C_2 为用于获取立体像对的CCD相机。 $O-xyz$ 坐标系相对于地理坐标系的3个的坐标轴的旋转角度可以通过姿态测量装置(如INS等)实时测定;平台局部坐标系的原点在地理坐标系中的坐标是通过差分GPS测定的坐标加上原点与GPS天线的偏移矢量(可在实验场中测定)确定。这样就可以实现利用立体像对确定目标 M 在地理坐标系 $O-XYZ$ 中的三维坐标的目的。

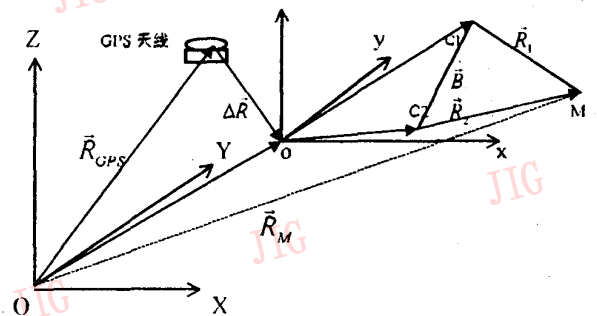


图2 车载成像测图系统原理图

如果在作为运载平台的汽车运动过程中,CCD相机获取了连续的影像序列,差分GPS和INS不断地提供影像获取时刻平台的位置和姿态数据,在后处理过程中就可以实现无地面图根控制的地面目标

定位,提取作业路线上有关目标的空间信息和属性信息。这种研究和航空摄影测量中在无地面控制的情况下确定相片的外方位元素的研究相同(Schade 1994)。以下是几个有代表性的车载制图系统的一般情况:

(1) TruckMap™ (Truck Mounted Acquisition Platform)(Rougeau et al 1994, Pottle 1995)的研制始于1992年。该系统是利用GPS、激光测距仪和高精度方位角测量装置确定目标的位置,摄像机记录下相应的图象,目标与影像是通过记录的位置和时间信息达到一一对应的。在无地面图根控制的情况下,可以采取动态和静态两种方式获取地面目标精确的三维信息,获取的信息用于建立GIS数据库。实时记录的数据包括:作为运载平台的汽车的轨迹、目标的位置、GPS时间信息及目标的属性信息等。根据姿态数据,可以对目标的位置信息进行实时纠正。数据处理的最终结果可以以多种数据格式表示,其中包括:ARC/INFO、DXF、Intergraph(dgn)和AutoCAD(dwg)等。TruckMap™已经应用于基础设施的调查与管理。

(2) Advanced Engineering公司利用车载12通道双频差分GPS接收机、惯性导航系统、能够将车轮转动数据传给惯性导航系统的计数器、以及车顶上安装的数字相机,获取带有时间标记的数字彩色立体像对的制图系统。该系统已经用于1997年5月1日美国中西部地区水灾后的灾情调查(Orthmeyer 1997)。此系统沿街道运行了285英里,每隔40英尺获取一幅影像。在作业过程中,系统在获取道路中心线和其他特征(如:污水井盖)的数字影像的同时,还记录下位置信息。INS提供获取影像时刻相机的姿态参数。最后通过描述作业车辆位置的信息将不同的影像与实地联系起来,从而达到对损失的程度作出准确快速评估的目的。

(3) GPSVan™(Bossler et al 1991, Novak 1995, Bossler et al 1995)是俄亥俄州立大学制图中心研制的车载成像测图系统。该系统利用动态GPS接收机、一组可以形成立体像对的CCD相机(Kodak DCS全数字、高分辨率 1280×1024 象元)、一台自动计程仪记录汽车行驶的距离、一台能够测量汽车运行速度的车轮传感器和一台用于测量姿态参数的陀螺系统组成的车载测图系统。这套系统可以获取其运载车辆前面或后面的立体像对,其立体成像系统利用了数字摄影测量的原理,可以对三维空间中的目标进行精确定位。该系统已成功用于完成与

铁路有关的地形制图任务。

(4) VISAT (Video Images, INS System and the GPS Satellite System)(Schwarz et al 1993, Li et al 1996, Li 1997, Chaplin et al 1997)是加拿大 Calgary 大学开发的用于道路调查和通常的GIS应用的车载测图系统。该系统利用LTN90-100捷联型高精度惯性导航系统测定CCD相机(COHU 4912)的姿态参数、由动态差分GPS(ASHTECH PXII)提供CCD相机的位置定向参数、由8台CCD相机构成了覆盖 180° 视场的影像获取系统。它可以在50~60公里/小时的行驶速度下,自动获取并按GIS规定的格式存储道路两侧约50米以内的目标的信息。系统中GPS与INS的组合应用可以利用各自的优点,弥补对方的不足。CCD相机的快门和INS的输出同步时间是由GPS的时钟提供的。

车载制图系统的信息处理是一个非常重要的问题。到目前为止,还没有适合处理不同类型的车载制图系统的商用软件。由于这类系统均基于摄影测量的原理,因此由数字影像序列中提取目标的几何信息和物理信息的过程与目前大多数数字摄影测量系统中采用的途径基本相同,即:通过影像匹配提取目标的几何信息,采用交互式或半自动的手段提取目标的物理信息(Tao et al 1997)等。由于数字摄影测量中的影像匹配方法是建立在表面光滑和连续的条件之下的,因而对于数字摄影匹配中存在的遮蔽和深度断裂造成的匹配困难等问题,在车载制图系统中仍然无法克服,特别是城区的立体像对匹配这种困难可能更加明显。因此,目前的信息提取还无法达到实时或准实时的要求。系统在作业过程中,由于建筑物、隧道等遮蔽不可避免的会出现GPS信号丢失和多路径效应等影响定位质量的问题。虽然可以利用INS信号进行改善(Chaplin et al 1997),但目前还无法从根本上解决这一问题。由于系统的运载平台是在地面行驶,虽然能连续的获取影像,但作业时覆盖的范围太小,而且对于某些车辆无法通行困难地区(如:滩涂、海岸等),作业无法进行。但它们具有灵活、受气候影响小和成本低的特点。

4 展望

机载/车载激光扫描测距—成像遥感/制图系统是随着激光测距技术、成像技术、惯性导航技术、计算机技术和GPS技术等的发展以及社会需求的迫

切性的增加而发展起来的新型技术系统。该项技术代表了对地观测领域一种新的发展方向。

车载测图系统基本上属于一种测量系统。主要用于与道路检测等有关的领域。而机载系统的作业高度均在1000米以下,这样是为了减少姿态测量装置误差、激光点在地面上的扩散范围及其它几种潜在误差的影响(Vaughn et al 1996, Lemmens 1997)。机载激光地形制图系统是以生成DEM为主种测量系统,可以用于以快速获取DEM为主要目标的各个领域。机载系统中同步生成DEM和地学编码影像的系统——“机载激光遥感影像制图系统”是一种遥感系统,其与一般机载遥感系统的应用领域相同。这种遥感系统的前述特点,又使其具有较常规遥感系统不能胜任的应用领域,包括:需要快速资源环境动态

变化数据、高动态监测的应用领域(政府级用户),主要解决随着经济迅速发展而出现的资源供需分析、经济发达区的环境变化监测、城市变化监测、土地面积的动态监测、国家基础地形数据库的建设等为政府宏观决策急需的基本数据等;第二类应用领域,或称第二类用户是局部区域的问题,如:大型工程进度监测(三峡工程)、城市重点发展区的城市规划用图、移动通讯网布设时急需的城市建筑物高度分布图、区域1:5万地形库的建立、特殊目标的遥感专题识别、荒漠区石油资源及矿产资源的遥感调查、地面工作极度困难地区(滩涂、海岛、礁盘等的资源调查等)、极地考察(南北极地区的冰雪调查、海冰漂移和地形测绘等)和为重大突发性灾害(如:地震、洪水、石油泄漏等)的处理及救援提供决策依据等。



李树楷 研究员,从事摄影测量与遥感应用研究。主持和参加多项国家和部委重大科研项目。发表近百篇学术论文及3部专著。



刘少创 分别于1989年、1991年和1997年由武汉测绘科技大学大地测量系和摄影测量与遥感系获得工学学士、工学硕士和工学博士学位,现为中国科学院遥感应用研究所博士后,主要从事影像理解、极地遥感和集成型测图系统的研究。

Progress in Mobile/Airborne Laser-Ranging/Multispectral-Imaging Mapping System

Li Shukai, Liu Shaochuang

(Institute of Remote Sensing Applications, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101)

Abstract The recent development of Mobile/Airborne Laser-Ranging/Multispectral-Imaging Mapping System is driven by the availability of compact ruggedized solid state lasers, charge coupled device camera (CCD), radar sensor, multispectral-imaging scanner, Global Positioning System (GPS) and high precision Inertial Navigation System (INS). It is emerging as an attractive alternative to the traditional techniques for large scale spatial data and associated attributes in geographical information systems (GIS) capture. This paper provides the systematic introduction to the use of Mobile/Airborne Laser-Ranging/Multispectral Imaging Mapping System. The Airborne Laser-Ranging & Multispectral-Imaging Mapping System, which is developed by our group in IRSA, is presented in this paper. This system has the ability of simultaneously capturing multispectral information and DEM, both of them are georeferenced and matched accurately by Laser-Ranging & Multispectral-Imaging Coupled Scanner (LARMICS) that is invented by our group.

Keywords Information acquisition, Remote sensing, Geographic georeferencing, Mobile/Airborne mapping, Airborne laser-ranging & multispectral-imaging mapping system