

机载激光测距 扫描成像制图系统 的定位原理与误差分析*

刘少创 尤红建 刘 彤 李树楷

(中国科学院遥感应用研究所,北京市大屯路 9718 信箱,100101)

摘 要 阐述了遥感直接对地定位的基本原理,在此基础上分析影响机载激光测距 扫描成像制图系统对地定位精度的各种因素,最后给出了在不同情况下同一条扫描线上不同位置的对地定位精度的特征。
关键词 数字地面模型;地学编码影像; GPS/INS;激光测距;多光谱成像;机载激光测距 扫描成像制图系统
分类号 p286. 6 TP73

人们将努力摆脱地面控制,设计一种不需要在地面上进行测量而进行摄影测图的系统,对今后空中三角测量特别有前途的将是对惯性量测系统和全球定位系统等辅助数据的利用(王之卓 1979, 1986, Wang 1990)。采用空→地定位模式实现遥感直接对地观测正是为达到上述目的而提出的。这一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实现遥感信息的对地定位。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(Flood et al 1997, Ward 1997)以及机载激光遥感影像制图系统(李树楷, 1996)等的出现,均是这一方向研究的重要成果。随着相关技术的发展,遥感直接对地观测技术将会更加完善,应用的深度及广度还会不断增加。

机载激光测距 扫描成像制图系统 (airborne laser-ranging & multispectral-imaging mapping system, 简称为 ALRMIMS) 是将多光谱扫描仪、激光测距仪、姿态测量装置、动态差分 GPS接收机等高新技术产品集成一体的新型遥感信息获取与处理技术系统(李树楷, 1996)。该系统不仅能够像机载激光地形制图系统(Flood et al 1997, Ward 1997)那样,在无地面控制点的情况下直接获得 DEM,还能同时获取与 DEM 精确配准的地学编码影像。本文讨论定位精度对定位结果影响的各种规律,为定位数据的平差处理奠定基础,并为实用型系统的设计提供重要的依据。

1 机载激光测距 遥感成像制图系统对地定位的基本原理

机载激光测距 遥感成像制图系统的目的是确定地面点 P 在大地坐标系 $O-X_GY_GZ_G$ 中的坐标 (X, Y, Z) 及这一点的光谱信息。图 1 为该系统的信息获取示意图和原理图。

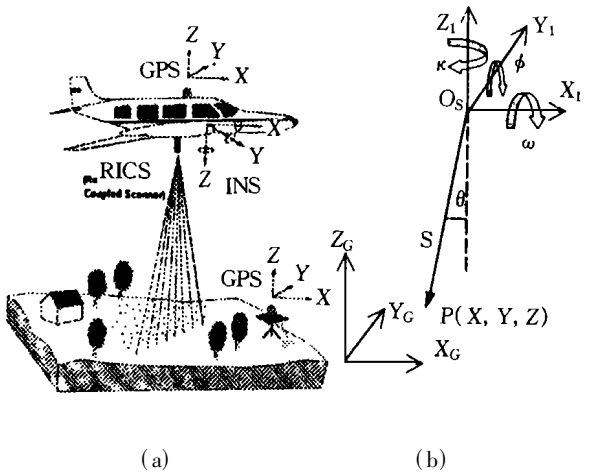


图 1 机载激光测距 扫描成像制图系统信息获取示意图及对地定位原理图

Fig. 1 Principle of Information Acquisition with Airborne Laser-ranging and Multispectral-imaging Mapping System

直接对地定位基于下述原理:若空间有一向量,其模为 S ,方向为 (h, k, κ, θ) ,如能测出起点 O_s 的坐标 (X_s, Y_s, Z_s) ,则该向量的另一端点 $P(X, Y, Z)$ 可以惟一确定。对于机载激光测距 扫描成像制图系统来说,起点 O_s 为遥感器主光学系统的投影中心,可利用动态差分 GPS给出;向

量 S 的模 S 可用机载激光测距仪测量投影中心到地面待定点的距离得到;姿态参数 (h, k, κ) 可以利用高精度姿态测量装置进行测量; θ 由编码器按固定的激光脉冲间隔给出。在以 Y 轴为主轴的情况下,另一端点 P (激光与地面的交点) 的地理坐标可由下式求得:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_s \\ Y_s \\ Z_s \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \\ c_1 & c_2 & c_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ S \sin \theta \\ S \cos \theta \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中, $a_1 = \cosh \cos \kappa - \sinh \sin \kappa \sin \kappa$; $a_2 = -\cosh \sin \kappa - \sinh \sin \kappa \cos \kappa$; $a_3 = -\sinh \cos \kappa$; $b_1 = \cos \kappa \sin \kappa$; $b_2 = \cos \kappa \cos \kappa$; $b_3 = -\sin \kappa$; $c_1 = \sinh \cos \kappa + \cosh \sin \kappa \sin \kappa$; $c_2 = -\sinh \sin \kappa + \cosh \sin \kappa \cos \kappa$; $c_3 = \cosh \cos \kappa$; $[X_s \ Y_s \ Z_s]^T$ 表示激光测距 扫描成像传感器投影中心的坐标,由差分 GPS 确定; S 表示图 1 中表示的矢量 S 的模,由激光测距仪测定; (h, k, κ) 为传感器的姿态角,分别表示仰俯、侧滚和航偏,由姿态测量装置确定。

信息的获取采用机载线扫描方式,在每根扫描线上按固定的间隔发射激光脉冲,激光脉冲从机上遥感器的投影中心出发的激光束射到地面后,就构成了上述的有限向量,地面上这一点的地理坐标即可按上述公式求出。在激光测距和遥感成像过程中,以扫描方式获取多波段遥感信息。每一条扫描线上间隔固定的像元,在这个像元成像时刻,同步发射一个激光脉冲,就可以按上述计算公式得到这个像元的地理坐标。采用一些特殊技术,利用飞机的运动完成二维扫描后,即可在遥感图像上得到按图像坐标(线号、像元号)准二维阵列排列的激光测距-成像像元为一体的匹配点,也就是说在遥感图像上形成较像元排列稀疏的具有地理坐标的像元阵列。这样的遥感图像,以激光测距点-成像像元为一体的匹配点为基础的样本点,假设像元的光谱信息为 H ,那么基础样本点的坐标为 (X_i, Y_i, Z, H) 。按常规的拟合内插方法,即可生成 DEM 和地学编码图像。由于生成 DEM 和地学编码影像使用的是同一套基础样本点,二者的匹配仅按地理坐标叠加即可完成。这种基础样本点的生成通过信息获取技术中的硬件和相应的信息处理技术完成。

2 机载激光测距 扫描成像系统的误差分析

影响机载激光测距 遥感成像制图系统精度

的因素主要包括以下几个方面。

- 1) 确定传感器投影中心坐标的 GPS 测量误差,包括 GPS 卫星的轨道误差、对流层和电离层延迟、周跳和多路径等。这些因素的影响有些可以通过差分处理消除或减弱,如轨道误差、电离层和对流层的延迟等。周跳和多路径效应则不能,但可以采用一些特殊的技术(包括硬件和软件)将它们的影响消除或减弱。一般来说,在利用双频载波相位数据处理解算,基线长度为 50 km 以内的条件下,可以得到 20 cm~ 30 cm 的定位精度。
- 2) 系统集成误差。姿态测量装置是由惯性导航系统 (INS) 与 GPS 组合而成的。可利用两种系统各自的长处,克服各自的不足,达到高精度测定传感器姿态参数的目的。
- 3) 激光测距仪内部误差。激光测距部分主要由激光器和扫描镜(可采用光纤、线扫描或圆锥扫描形式,ALRMIMS 采用了线扫描形式)组成。激光测距的精度与激光脉冲的强度、大气质量、激光点的扩散、地物的反射特性、探测器的口径和灵敏度等密切相关。根据现有激光器的性能和当前扫描镜的制造技术,这项误差的影响可以控制在 0.2 m~ 0.3 m 以下。另外,某些地物的镜面反射可能会造成激光测距信号“丢失”,这些“丢失”激光测距信号的测距点的坐标值可以视为粗差。
- 4) 影响机载三维成像仪定位误差的因素主要包括以下几个方面:① 遥感传感器的三轴与姿态测量装置的三轴不重合造成的误差;② GPS 定位误差,其中包括轨道误差、电离层与对流层延迟、GPS 时钟误差、整周模糊度及多路径等误差等,其中部分误差可以通过差分技术消除或减弱,而有些误差(如多路径效应等)属于比较难以模型化的误差;③ 扫描镜法线与扫描镜旋转轴之间不满足设计要求造成的误差;④ 扫描镜旋转轴与 Y 轴正向的夹角不满足设计要求造成的误差;⑤ 测量扫描镜的旋转角的码盘的起点与扫描镜旋转时的起点不一致造成的误差;⑥ 用于测量距离的激光测距仪的系统误差;⑦ GPS 天线与遥感传感器的投影中心偏心向量的测定误差;⑧ 扫描镜震动引起的误差;⑨ 由于 GPS 是 WGS-84 坐标系,而作为姿态测量装置的 INS 采用的是惯导坐标系,这两个坐标系之间存在着一定的差异,这种差异对于不同的地区,大小也不一样,但对于一个局部区域则是一个固定值;⑩ 激光测距点与成像像元不重合造成的误差等。其中①~⑨ 项对由激光测距点生成的 DEM 及由 DEM 和多光谱影像生成的地学编码影像的精度均有影响,而第 ⑩

项系统误差造成了 DEM 与地学编码影像配准精度的下降。系统误差及其对定位精度的影响另文讨论

5) DEM 内插方法对遥感对地定位精度的影响。目前所有的 DEM 内插方法均有一定的适应条件,对于激光测距 扫描成像制图系统来说,那些包含的地物种类较多、地形情况较为复杂的区域应该采用自适应的 DEM 内插方法,即根据地形的复杂程度的不同采用不同的 DEM 内插方法,由此提高遥感直接对地定位的精度

上述误差有些属于系统误差,有些属于偶然误差,有些属于粗差。各类误差可根据其不同性质而采用不同的手段进行处理。对于激光测距信息“丢失”造成的粗差,采用相应的测距数据检测手段进行探测,并作出相应的标记。可以通过严格的检校手段,改变作业方式,利用相邻航线之间重叠部分的信息及地面控制点等消除或减弱系统误差的影响;对于偶然误差可以利用测量平差的手段进行处理,进而得到各个激光测距点的最佳估计值。关于观测数据的平差问题另文讨论

根据式 (1),将 X Y 和 Z 按泰勒公式展开并取至一次项,得:

$$\left\{\begin{aligned}dX &= (LX/LX_s)dX_s + (LX/LY_s)dY_s + \\&\quad (LX/LZ_s)dZ_s + (LX/Lh)dh + \\&\quad (LX/Lk)dk + (LX/L\kappa)d\kappa + \\&\quad (LX/LS)dS + (LX/L\theta)d\theta + X^0 - X \\dY &= (LY/LX_s)dX_s + (LY/LY_s)dY_s + \\&\quad (LY/LZ_s)dZ_s + (LY/Lh)dh + \\&\quad (LY/Lk)dk + (LY/L\kappa)d\kappa + \\&\quad (LY/LS)dS + (LY/L\theta)d\theta + Y^0 - Y \\dZ &= (LZ/LX_s)dX_s + (LZ/LY_s)dY_s + \\&\quad (LZ/LZ_s)dZ_s + (LZ/Lh)dh + \\&\quad (LZ/Lk)dk + (LZ/L\kappa)d\kappa + \\&\quad (LZ/LS)dS + (LZ/L\theta)d\theta + Z^0 - Z\end{aligned}\right. \quad (2)$$

令

$$\begin{aligned}a_{11} &= LX/LX_s = 1, \quad a_{12} = LX/LY_s = 0 \\a_{13} &= LX/LZ_s = 0 \\a_{14} &= LX/Lh = -S\{(\sin\theta\sin\kappa - \\&\quad \cosh\sinh\cos\kappa)\sin\theta - \cosh\cos\kappa\cos\theta\} \\a_{15} &= LX/Lk = -S\{(-\sinh\cos\kappa\cos\kappa) \cdot \\&\quad \sin\theta + (\sinh\sinh)\cos\theta\} \\a_{16} &= LX/L\kappa = S\{(\cosh\cos\kappa - \\&\quad \sinh\sinh\sinh\kappa)\sin\theta\} \\a_{17} &= LX/LS = \{(\cosh\sinh +\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}&\quad \sinh\sinh\cos\kappa)\sin\theta + \sinh\cos\kappa\cos\theta\} \\a_{18} &= LX/L\theta = S\{(\cosh\sinh + \\&\quad \sinh\sinh\cos\kappa)\cos\theta - \sinh\cos\kappa\sin\theta\} \\a_{21} &= LY/LX_s = 0, \quad a_{22} = LY/LY_s = 1 \\a_{23} &= LY/LZ_s = 0, \quad a_{24} = LY/Lh = 0 \\a_{25} &= LY/Lk = \\&\quad S(\sinh\cos\kappa\sin\theta + \cosh\cos\theta) \\a_{26} &= LY/L\kappa = S(\cosh\cos\kappa\sin\theta) \\a_{27} &= LY/LS = \\&\quad -(\cosh\cos\kappa\sin\theta - \sinh\cos\theta) \\a_{28} &= LY/L\theta = \\&\quad -S(\cosh\cos\kappa\cos\theta + \sinh\sinh\theta) \\a_{31} &= LZ/LX_s = 0, \quad a_{32} = LZ/LY_s = 0 \\a_{33} &= LZ/LZ_s = 1 \\a_{34} &= LZ/Lh = S\{(\cosh\sinh + \\&\quad \sinh\sinh\cos\kappa)\sin\theta + \sinh\cos\kappa\cos\theta\} \\a_{35} &= LZ/Lk = \\&\quad -S(\cosh\cos\kappa\cos\theta - \cosh\sinh\cos\theta) \\a_{36} &= LZ/L\kappa = S\{(\sinh\cos\kappa + \\&\quad \cosh\sinh\sinh\kappa)\sin\theta\} \\a_{37} &= LZ/LS = \{(\sinh\sinh - \\&\quad \cosh\sinh\cos\kappa)\sin\theta - \cosh\cos\kappa\cos\theta\} \\a_{38} &= LZ/L\theta = S\{(\sinh\sinh - \\&\quad \cosh\sinh\cos\kappa)\cos\theta + \cosh\cos\kappa\sin\theta\}\end{aligned}$$

当姿态参数均为微小量,并假定它们的最大值不超过 W_{\max} (W_{\max} 仍然为微小量)时,忽略二次及二次以上项,在各项误差相互独立的情况下,根据误差传播定律可以得到中误差计算公式:

$$\left\{\begin{aligned}M_X^2 &= m_{X_s}^2 + S^2\{W_{\max}^2\sin^2\theta + \cos^2\theta - \\&\quad W_{\max}\sin\theta\}m_h^2 + S^2W_{\max}^2\sin^2\theta \cdot m_k^2 + \\&\quad S^2\sin^2\theta \cdot m_\kappa^2 + W_{\max}^2\sin^2\theta \cdot m_S^2 + \\&\quad S^2\{W_{\max}^2(1 - \sin\theta)\}m_\theta^2 \\M_Y^2 &= m_{Y_s}^2 + S^2(W_{\max}^2\sin^2\theta + \cos^2\theta + \\&\quad W_{\max}\sin\theta)m_k^2 + S^2\sin^2\theta \cdot m_\kappa^2 + \\&\quad (\sin^2\theta + W_{\max}^2\cos^2\theta - W_{\max}\sin\theta)m_S^2 + \\&\quad S^2(\cos^2\theta + W_{\max}^2\sin^2\theta + W_{\max}\sin\theta)m_\theta^2 \\M_Z^2 &= m_{Z_s}^2 + S^2(W_{\max}^2(1 + \sin\theta)m_h^2 + \\&\quad S^2(\sin^2\theta + W_{\max}^2\cos^2\theta - W_{\max} \cdot \\&\quad \sin\theta)m_k^2 + S^2W_{\max}^2\sin^2\theta m_\kappa^2 + \\&\quad (W_{\max}^2\sin^2\theta + W_{\max}\sin\theta + \cos^2\theta)m_S^2 + \\&\quad S^2\{W_{\max}^2\cos^2\theta + \sin^2\theta - W_{\max}\sin\theta\}m_\theta^2\end{aligned}\right. \quad (3)$$

按上述公式计算得到的中误差 M_X 、 M_Y 和 M_Z 是在遥感传感器坐标系中的结果,即 X 轴方向与

飞行方向一致; Y 轴方向与飞行方向垂直且与扫描方向平行, 正向指向左机翼; Z 轴与 X 轴和 Y 轴构成的平面垂直, 向上为正方向。这样构成的坐标系为右手系。对于飞行作业航线上的任意一点, 当该点相对特定坐标系的航向角为 κ^0 时, 误差应表示为:

$$\begin{bmatrix} M_X \\ M_Y \\ M_Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\kappa^0 & -\sin\kappa^0 & 0 \\ \sin\kappa^0 & \cos\kappa^0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} M_X^0 \\ M_Y^0 \\ M_Z^0 \end{bmatrix} \quad (4)$$

3 计算结果与结论

从式 (3) 可以看出, 当 $m_{X_S}^k, m_{Y_S}^k, m_{Z_S}^k, m_{X_S}^k, m_{Y_S}^k, m_{Z_S}^k, m_{X_S}^k, m_{Y_S}^k, m_{Z_S}^k$ 等固定, 对于任意一条扫描线来说, k, κ 可以视为一组固定值的条件下, M_X, M_Y 和 M_Z 表达式中的 $m_{X_S}^k, m_{Y_S}^k, m_{Z_S}^k, m_{X_S}^k, m_{Y_S}^k, m_{Z_S}^k$ 三项前的系数均为 1) 等项的系数是变量, 即各个系数值是随着扫描角 θ 及激光测距仪测得的距离 S 的周期性变化而变化的。因此, 在同一条扫描线上的不同位置得到的激光测距点的坐标 X, Y, Z 的精度也是不同的。对于 M_X 的表达式来说,

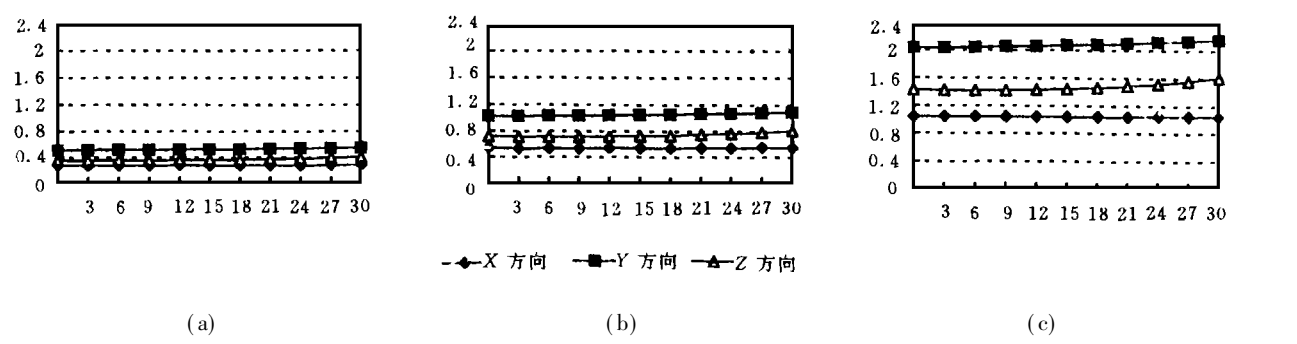


图 2 机载激光测距 扫描成像制图系统对地定位误差分布特征

Fig. 2 The Characteristics of Positioning Accuracy in Airborne Laser-ranging and Multispectral-imaging Mapping System

通过以上计算结果可以得到以下结论:

- 1) 对于机载激光测距 扫描成像制图系统这样复杂的集成型测图系统来说, 包含多种影响定位精度的因素。在系统进行了完善的校正以后, 系统的定位精度是由 GPS 的定位精度、姿态测量装置的量测精度、激光测距仪的测距精度和扫描角的测量精度决定的。系统中任何一种传感器精度的降低, 都会导致系统定位精度的下降。
- 2) $m_{X_S}^k, m_{Y_S}^k, m_{Z_S}^k, m_{X_S}^k, m_{Y_S}^k, m_{Z_S}^k, m_{X_S}^k, m_{Y_S}^k, m_{Z_S}^k$ 在保持不变的情况下, 同一条扫描线的不同位置的定位精度不同 (定位精度随扫描角的增大而下降)。这是因为在姿态参数不变的情况下, 式 (3) 或 (4) 中各项的系数是 S 和 θ 的函数。扫描方向的定位精度要比飞行方向和垂直方向的定位精度差, 这是由

由于 $m_{X_S}^k, m_{Y_S}^k, m_{Z_S}^k$ 前的系数分别为 1 0 0, 这表明, 激光测距点 X 坐标的误差仅受 GPS 的定位误差中 X 方向误差的影响, 而与其他两个方向的误差无关, 而且 GPS 的定位误差是按 1: 1 的关系反映到了激光测距点的定位误差中。这一规律也同样适用于 M_Y 和 M_Z , 而其他各项误差因各种因素的相互作用而得到增强或衰减。

为了描述各种因素对定位误差的综合影响, 本文进行了扫描角由 $0^\circ \sim 30^\circ$ 的模拟计算。计算的条件和结果分别见表 1 图 2 图中横轴表示扫描角, 单位为 $(^\circ)$; 纵轴表示误差, 单位为 m 。

表 1 对地定位误差分布计算条件

Tab. 1 The Calculating Condition of Positioning Accuracy

	图 2 (a)	图 2 (b)	图 2 (c)
飞行高度 /m	600	600	600
GPS 定位误差 /m	0.25	0.5	1.0
扫描角误差 /	2.5	5	10
激光测距误差 /m	0.25	0.5	1
俯仰与侧滚精度 /"	30	60	90
航向精度 /"	45	90	120

于系统用于测量扫描角的码盘精度较差。

- 3) 用于测量扫描角的码盘精度对系统定位精度的影响很大, 垂直方向的定位精度会随码盘精度的降低而迅速下降, 而对飞行方向的定位精度几乎没有影响。扫描角精度的提高不仅需要提高码盘的分辨率, 还需要缩小激光束的发散角。码盘的分辨率和精度的提高相对来说比较容易实现, 而缩小激光测距仪的激光发散角需要付出较大代价。
- 4) 姿态测量装置的姿态测量精度对飞行方向 (X 方向)、扫描方向 (Y 方向) 和垂直方向 (Z 方向) 的定位精度的影响几乎相同。
- 5) 系统的定位精度在飞行方向上和扫描方向上随着飞行高度的增加而下降, 而在垂直方向

上的定位精度受飞行高度变化的影响并不明显。

6) 若其他传感器的精度保持不变,系统在飞行方向和扫描方向的定位精度几乎不受激光测距仪精度下降的影响,而 Z 方向的定位误差会随着测距精度的下降而迅速增加。

参 考 文 献

1 王之卓.摄影测量原理.北京:测绘出版社,1979
2 王之卓.摄影测量原理续编.北京:测绘出版社,1986
3 李树楷.遥感多维信息集成的装置和方法.中国专利, 96114306. 1. 1996-12-12
4 Ackermann F, Schade H. Application of GPS for Aerial Triangulation. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 1993, 59 (11): 1 625~ 1 632
5 Colomina I. A Note on the Analytics of Aerial Triangulation with GPS Aerial Control. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 1993, 59 (11): 1 619 ~ 1 624
6 Flood M., Gutelius R. Commercial Implications of Topographic Terrain Mapping Using Scanning Airborne Laser Radar. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 1997, 63 (4): 327~ 366
7 Jacobsen D K. Operational Block Adjustment Without Control Points. In 1997 ACSM /ASPRS Annual Convention & Exposition, GIS & GPS, Seattle,

Washington, 1997 (2)
8 Li R. Mobile Mapping: An Emerging Technology for Spatial Data Acquisition. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 1997, 63 (9): 1 085~ 1 092
9 Lucas J R. Aerotriangulation Without Ground Control. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 1993, 53 (3): 311~ 314
10 Novak K. Mobile Mapping Technology for GIS Data Collection. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 1995, 61 (5): 493~ 501
11 Schwarz K P, Chapman M A, Cannon M W, *et al.* An Integrated INS/GPS Approach to the Georeferencing of Remotely Sensed Data. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 1993, 59 (11): 1 667~ 1 674
12 Schwarz K P, Martell H E, El-Sheimy N, *et al.* VISAT-A Mobile Highway Survey System of High Accuracy. In Proc. of the IEEE Vehicle Navigation and Information System Conf., Ottawa, 1993. 476~ 481
13 Wang Z. Principles of Photogrammetry (with Remote Sensing). Press of Wuhan Technical University of Surveying and Mapping & Publishing House of Surveying and Mapping, 1990
14 Ward D J. Airborne Terrain Mapping. GPS World, 1997

Positioning Accuracy of Airborne Laser-ranging and Multispectral-imaging Mapping System

Liu Shaochuang You Hongjian Liu Tong Li Shukai

(Institute of Remote Sensing Applications, China Academy of Sciences, Box 9718, Datun Road, Beijing, China, 100101)

Abstract This paper provides a systematic description to the accuracy of airborne laser-ranging & multispectral-imaging mapping system (ALRIMS). This integrated system driven by the availability of global positioning system (GPS), compact ruggedized solid state lasers, high precision airborne inertial navigation systems and rugged precise high speed multispectral scanner is developed for capturing topographic and multispectral information of the earth surface in the form of georeferenced multispectral image with digital elevation model (DEM). The DEM and georeferenced multispectral imagery has matched accurately when they are captured. This is essential for many remote sensing purposes, such as geometric and radiometric rectification of the multispectral image, the utilization of auxiliary information for multispectral image classification, etc. This is reached by using laser-ranging & multispectral-imaging coupled scanner (LRMICS) developed by our team in IRSA.

Key words DEM; georeferenced imagery; GPS/INS; laser ranger; multispectral imaging; airborne laser-ranging & multispectral-imaging mapping system (ALRIMS)