【Café 速递】陶鹏杰：机载 LiDAR 点云控制航空影像摄影测量

核心提示：LiDAR 已经逐渐成为新型标准地理空间信息产品，其优良的几何精度能够满足大比例尺摄影测量对控制数据的要求，可作为高精度几何控制信息。本报告介绍利用机载 LiDAR 数据作为“云控制”，进行无外业控制点的大比例尺航空摄影测量的方法，并介绍该方法在 2020 珠峰测量项目中的应用。

主持：谢嘉仪　摄影：郭真珍　摄像：丁锐　文字：程昀

>>>人物名片

陶鹏杰，武汉大学特聘副研究员，摄影测量与遥感博士。主要从事航空航天摄影测量的研究，包括卫星影像高精度几何处理、光学影像密集匹配与三维重建、“云控制”摄影测量等。主持国家自然科学基金和国家重点研发计划子课题各 1 项，参与 973 计划、国家重点研发计划、高分对地观测系统重大专项等科研课题 10 余项；发表 SCI/EI 论文 20 余篇；拥有软件著作权 4 项。研发的 VirtuoZoSat 软件累计销售 1000 多套，销售额达 2000 余万，是我国测绘生产单位卫星影像空三和立体测图的主要作业软件。

>>>报告现场

10 月 9 日晚上 7 点，武汉大学特聘副研究员陶鹏杰做客 GeoScience Café 第 269 期人文报告活动。

图 1 陶鹏杰博士作精彩报告

陶鹏杰老师以问题为导向，开门见山地提出了此次报告的主题：用激光点云取代外业控制点，作为影像区域网平差的几何控制，实现无外业控制点的大比例尺航空摄影测量。

“云控制”摄影测量

陶鹏杰首先就国际摄影测量遥感学会(ISPRS)的 logo，引出摄影测量的含义：从影像中提取信息(Information from Imagery)。

和计算机视觉不同，摄影测量的输入除了影像数据外，还有控制信息。两者结合，最终才能得到满足规范精度要求、带地理信息的测绘产品。

传统的控制信息即外业控制点。陶鹏杰博士谈到，“点控制”摄影测量的弊病很多，测区内布设控制点成本昂贵，周期较长，数据处理的过程中还需人为在图像上刺点。考虑到二维图像中地物点的歧义，以及倾斜摄影场景下同一地物点可能有百级以上的观测数，后续的处理也费时费力。“云控制”摄影测量的必要性由此显现。

“云控制”摄影测量是张祖勋院士提出方法，“利用自动影像匹配技术，从已有的参考地理信息数据(DOM、DEM、DLG)中自动获取大量密集的控制信息。由于其获取的控制点非常密集，形成了**控制点云**，因此称之为‘云控制’。”传统的摄影测量生产过程是个开环，输入数据经处理后得到的测绘成果主要服务于导航、规划等其他领域。“云控制”则将处理后的结果作为控制信息，重新纳入“输入端”，由此形成了一个闭环。

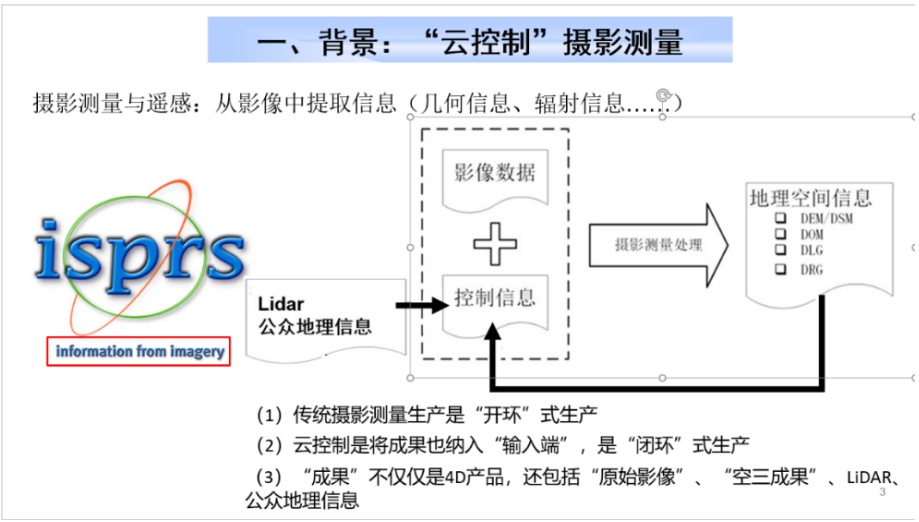

图 2 传统摄影测量与“云控制”摄影测量

陶鹏杰强调，“云控制”中的“密集控制点云”，一方面可从已有的参考地理信息数据中获取，另一方面，LiDAR 作为一种新型标准地理空间信息产品，同样可以作为高精度几何控制信息参与摄影测量生产。

LiDAR “云控制”航空摄影测量

陶鹏杰谈及，国际上已经越来越认可 LiDAR 作为新型标准地理空间信息产品的潜力。就点密度而言，一些 LiDAR 数据集的分辨率可以达到每平方米里 10 个点，点间距在 0.3m 左右。随后，陶鹏杰又基于点精度，论证了 LiDAR 点云作为“云控制”的可行性，并介绍了一种用现有数据来评价激光精度的方法。

评价 LiDAR 点精度比较常见的方法是使用一些位置已知的靶标，这种方式成本较高。另一种方式则以国家测绘局用纯外业方式测得的 1:500 DLG（一般而言精度可以达到 2~3cm）作为参考数据，用 DLG 上的高程注记点，与该区域 LiDAR 点局部拟合平面的高差，作为反映激光点云高程精度的一个指标；用 DLG 上的房屋轮廓，与该区域提取的房屋立面点的平面坐标比较，从而反映激光点云的平面精度。

论证了激光在精度上作为控制信息的可行性，陶鹏杰又抛出另一个思考，如何利用这样一种控制信息。LiDAR 点云与影像没有明确的物理对应关系，它不像单个控制点可以在影像上找到对应像点位置进行刺点，并根据成像方程列出误差方程。LiDAR 点云与影像的配准一般借助 LiDAR 点云与影像点云的配准实现，经典的方法便是 ICP（迭代最近点）。但陶鹏杰也指出，这种经典方法在航空摄影测量场景下存在一定的不适用性。具体而言，影像自由网中，刚性系统误差与非刚性局部扭曲并存，ICP 仅能解决刚性配准问题。

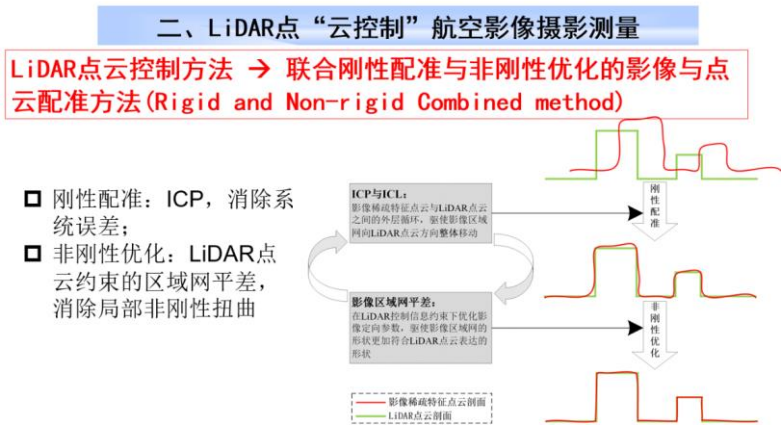

图 3 联合刚性配准与非刚性优化的配准方法

如图 3，图中绿线为激光点云剖面，红线为影像区域网平差后获得的点云。二者之间的配准过程分解成两步：第一步解决系统性的刚性变换，利用 ICP 方法完成平移、旋转、尺度变换，消除系统误差，可以看到两者基本上能套合在一起。

第二步改正局部的非刚性扭曲。对于图 3 中红线上点，找其最邻近的激光点（或者是到激光点局部拟合平面的垂足点），将激光点坐标作为控制点坐标进行平差，反复迭代，非刚性扭曲会逐渐消除，最后红线结果能和绿线代表的激光点云套合得非常好。这一过程中，激光点云不变，通过调整影像的定向参数（内外方元素）实现两种不同来源的点云之间的配准。

随后，陶鹏杰就与宁波市测绘院的具体合作项目，展示了上述算法的实际效果，同时做了无控自由网、刚性 ICP、刚性+非刚性联合配准的三组对比实验，并简单介绍其精度评价的方法。其中定性的评价方法是目视查看平差后 LiDAR 点云与影像的套合情况，定量的评价方法则是利用外业检查点评定绝对精度。

最后还讨论了初始精度对定向的收敛速度和最终精度的影响。陶鹏杰补充到，ICP 对两组点云的初始套合精度有一定要求，因此影像的 POS 精度不能太差。

应用实例

基于上述算法开发的软件，应用在许多实际项目中。通过对实际工程项目中的应用介绍，同学们认识到传统“点控制”摄影测量的不足，看到了 LiDAR 作为控制信息的可行性。

三、应用实例

工程化与应用实践：

应用单位	应用项目	数据情况	精度情况
宁波测绘院	宁波市倾斜影像三维建模	5cm倾斜影像 LiDAR点密度4pts/m^2	1:500比例尺精度
中科遥感	山东临沂市1800km^2	29.5万张倾斜影像，分辨率5cm LiDAR点密度4pts/m^2	1:500比例尺精度
	广东新会165 km^2	5cm 分辨率DMCII影像 LiDAR点密度4pts/m^2	1:500比例尺精度
	新疆阿勒泰10 km^2	4cm分辨率DMCII影像 LiDAR点密度4pts/m^2	1:500比例尺精度
广州建通	珠海 9 km^2	12 cm分辨率DMCII影像 LiDAR点密集7 pts/m^2	1:500比例尺精度
中国地质调查局自然资源航空物探遥感中心	2020珠峰测量	PhaseOne影像、ADS100影像与激光点云融合处理	

图 4 应用实例

随后，陶鹏杰谈起此次 2020 珠峰测量任务中的经历和 LiDAR“云控制”在其中的应用，使用 LiDAR“云控制”方法，实现了航空影像数据（包括 PhaseOne 影像和 ADS100 影像）的精确定位，为制作高精度珠峰三维实景模型提供了重要技术支撑。

存在的问题

上述配准存在高程和平面两个方向的误差，陶鹏杰指出，测区在平面方向一定要有地形起伏，否则会存在“相对滑动”的问题。

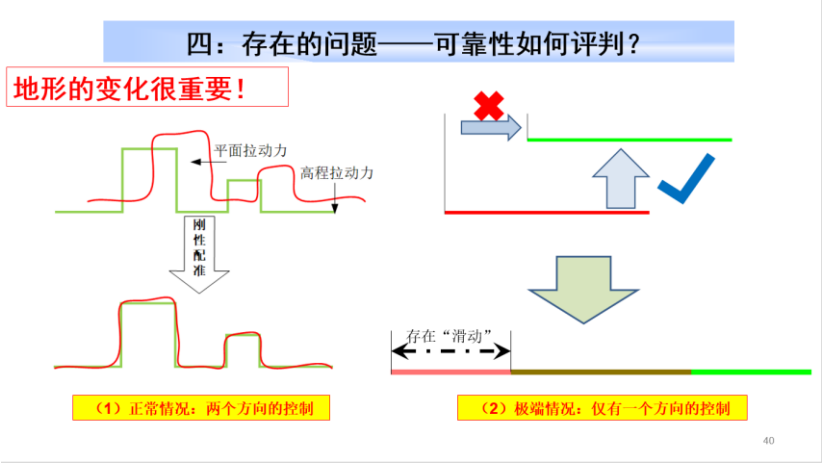

图 5 地形变化对配准的影响

就上述问题，实验验证只有当坡度大到一定程度后，配准的结果才是可靠的。陶鹏杰指出，通过扩大测区范围可以避免局部平面带来的问题，而利用线特征增加约束是目前他们团队研究的方向之一。

图 6 观众认真听报告

图 7 陶鹏杰博士与同学们交流

图 8 陶鹏杰（右二）与 Geoscience Café 团队成员合影留念

GeoScience Café 以**“谈笑间成就梦想”**为目标，于**每周五晚 7:00** 在**实验室四楼休闲厅**，邀请 1-4 位嘉宾，为大家带来学术报告或经验分享。报告内容包括摄影测量与遥感、地理信息系统、导航与定位服务等研究方向，听众可在报告结束后向嘉宾提问、与嘉宾交流探讨，同时每学期还会举办 2 期人文类讲座和 2 场导师信息分享会。每期报告会根据嘉宾意愿在 B 站开设直播，使不能来到现场的听众同步参与。**报告 PPT** 和**视频**会在征得嘉宾同意的情况下在 **qq 群**和 **B 站**上发布。

更多精彩内容（讲座预告、讲座回顾、报告 PPT、报告视频）敬请通过以下方式获取：

QQ群　　微信公众号　　B站直播