

基于评价标签 ATLAS 高程控制点筛选与精度验证

袁晖岳 刘俊 周翔 陈骏齐 杨洪伟
上海工程技术大学

DOI:10.12238/gmsm.v7i10.1999

[摘要] 精度验证是确保测绘数据与真实地物之间的差异达到可接受范围的关键环节。通过采用如地面控制点验证和交叉验证等方法,可以对测绘数据的准确性进行严格的检查。通过提高测绘地理信息数据的精度,可以推动相关应用领域的发展。地表高程变化在不同的区域具有不同的影响,在城市区域,地表的变化与人类活动或环境变化有关,这些变化大多数情况下都是非弹性形变,几乎是不可逆转的,已成为威胁人类生命财产安全的环境地质问题,严重的地面高程变化会降低建筑物的抗震性能,甚至损坏公共基础设施。

[关键词] 遥感测绘; 高程控制; 精度验证

中图分类号: P2 **文献标识码:** A

Evaluation of Label-based ATLAS Elevation Control Point Screening and Accuracy Verification

Huiyue Yuan Jun Liu Xiang Zhou Junqi Chen Hongwei Yang
Shanghai University Of Engineering Science

[Abstract] The field of mapping and remote sensing relies heavily on the accuracy of the data, and the first step after obtaining the data is often data preprocessing to improve the accuracy, which is often followed by accuracy verification. Accuracy verification is the key link to ensure that the difference between the mapping data and the real features reaches an acceptable range. By using methods such as ground control point validation and cross validation, the accuracy of mapping data can be rigorously checked. By improving the accuracy of mapping geographic information data, the development of related application fields can be promoted. In the field of urban planning, high-precision surveying and mapping data can support the production of detailed digital maps and promote the orderly development of cities. In the field of construction engineering, high-precision mapping data can speed up the construction progress and improve the construction accuracy. In the field of polar research, high-precision remote sensing data can get more detailed information about the polar regions, which is important for the study of polar changes.

[Key words] remote sensing mapping; elevation control; accuracy verification

前言

在极地区域内通过长时间观测极地冰盖高程变化可以观测到冰盖下的活跃冰下湖运动和冰架崩塌等信息。根据 IPCC 的气候变化报告指出,近年来南极冰盖一直处于不断消融状态,尤其南极半岛和西南极冰盖消融的加速十分明显,而且全世界范围内冰盖的范围也在持续缩小。长时序的大量观测数据如机载观测数据、重力卫星数据、测高卫星数据等为冰盖变化研究的开展提供了更多的数据源。

卫星测高技术具有快速、大范围的测量的优点,可获取地表高程、气溶胶、地物覆盖类型等数据。卫星测高技术应用的主要应用领域有(1)海洋和极地测量,研究全球海平面的高度及其

随时间的变化信息,观测极地和冰川的变化,进而分析全球气候变化。(2)地质调查和环境监测,通过测量地球表面的高程来确定地质构造的特征,分析地表变化,如水域面积的变动、地表高程和地下水位的变化等。(3)城市规划和土地利用,提供城市地貌的高程信息,辅助确定土地坡度和高程等信息,以合理规划土地利用和防洪防灾工作。

ICESat/GLAS是全球第一个使用激光测高技术监测地球表面高程变化的卫星传感器,适合用于地球表面高程变化监测研究。CryoSat-2搭载的SIRAL传感器在复杂地形中具有较高精度,能够对冰川的相对陡峭和狭窄的冰盖边缘,以及高海拔大型冰川和冰盖进行连续观测。该卫星的LRM模式多用于高程变化较小

区域,例如冰盖内部区域、内陆水域等,其测量精度能达到分米级别。该卫星SARIn模式为倾斜地形上的回波位置不确定性提供了精确的解决方案,常用于陆地冰川(例如冰盖边缘,冰盖,高山冰川)变化研究,SARIn测高数据在地形起伏较大的区域,通过最先到地面的回波点(POCA)来精确测定测高点的位置及高程,SARIn模式下的冰盖边缘的测高精度能够达到0.17-0.65m,除此之外,CryoSat-2数据在密集度方面是ICESat数据和5倍和6倍,能够为小区域地表高程(冰雪覆盖区)进行变化监测研究。

1 测高卫星研究

由于卫星测高技术具有快速、大范围的测量能力,可获取地表高程、气溶胶、地物覆盖类型等数据,众多科学研究机构陆续成功发射了多个测高卫星,旨在收集地球表面的详细数据。目前国际上卫星测高研究机构主要有:以美国航空航天局(National Aeronautics and Space Administration, NASA)为代表的美国相关研究机构、以欧空局(European Space Agency, ESA)和法国国家空间研究中心(Centre National d'Etudes Spatiales, CNES)为代表的欧洲相关研究机构、中国测高卫星相关研究机构。

2 ICESat-2单光子计数激光测高数据

2018年9月15日,ICESat-2测高卫星发射升空,主要测量冰盖和冰川表面高程变化、海冰干舷厚度变化,并确定地球森林的高度。其采用的高级地形激光高度计系统使用绿色(532nm)激光和单光子敏感探测来测量飞行时间和表面高度。ICESat-2旨在延续并深化ICESat的任务使命,其专注于量化极地冰盖对近期海平面变化、气候条件的贡献及联系。ICESat-2与ICESat任务相似,都可根据地表类型的不同生产数据,例如冰川表面高程(ATL06)、陆地/植被冠层高度(ATL08)、海冰干舷高度(ATL07)、大气层(ATL09)、海洋表面高程(ATL12)和内陆水面高度(ATL13)等。

ICESat-2 ATLAS首次在地球高程探测中引入单光子探测技术,这种技术很大程度上提高了地形探测的数据获取频率。ATLAS的6束光束投射到地球表面的是一个矩形阵列,其中有两行三列,每列与相邻列之间的间隔约为3.3km,两行之间的间隔为2.5km。每对轨道之间相距约90m。ATLAS脉冲很短,大约1.6ns,每0.1毫秒(10kHz)发送一次。这种快速重复产生沿足迹方向相距约0.7m的足迹中心。每个脉冲照亮地面上直径约为17m的圆形区域。ATLAS的强光束最多可以从每个发射脉冲中检测到12个反射光子。由此可见绿光对光子具有极高的敏感性,激光波长不再像ICESat采用1064nm和532nm两个波长,而是仅使用532nm。

ICESat-2测高卫星轨道的高度设计为496km,轨道倾角94°,重访的周期为91天。ICESat-2的轨道径向精度为2cm,保证了地球表面高度的准确测量30。对比于GLAS,ATLAS提升主要以下几点:(1)在水平方向上定位误差减小,其所使用的跨轨测量方法,可最大限度减小地形坡度(定位误差小于6m)的影响,且其激光脉冲的频率较高、密度较大,可减小光斑直径;(2)可有效消除太阳背景噪声,其采用光子计数方法,而非模数数据采集方法,因此可有效地消除太阳背景噪声;(3)缩短一定的测绘时间,ATLAS提供的多光束测量,可以同时获得更多的测量信息。

ICESat-2数据产品和ICESat数据产品的应用类型基本相同,均从美国国家冰雪数据中心获得(<https://nsidc.org/data.html>),且数据格式为HDF5格式。ICESat-2 Level 1B数据产品(ATL02)提供精确的光子往返飞行时间和其它数据;ICESat-2 Level 2A数据产品(ATL03)将光子飞行时间与天文台的位置和姿态结合起来,以确定ATLAS探测到的光子的大地位置(即纬度、经度和高程)。更高级别(3A级)产品使用ATL03数据产品来确定冰川和冰盖高度、海冰干舷、植被冠层高度、海洋表面地形和内陆水体高度。

ATLAS产品数据的参考椭球为WGS84,采用UTC时,时间原点为2000年1月1日12时。ICESat-2产品数据文件名命名格式为:ATLxx_yyyyymmddhhmmss_tttccss_vvv_r.h5,

3 ICESat-2精度验证研究区域

花溪区隶属于贵州省贵阳市,处于黔中腹地,东、西、南、北部分别与黔南州龙里县、贵安新区、黔南州惠水县和长顺县、南明区和观山湖区接壤,地理位置位于东经106°27'-106°52',北纬26°11'-26°34'。其在云贵高原东斜坡和苗岭山脉中段,地形地貌较为复杂,以山地和丘陵为主,为典型的喀斯特地质地区。花溪区大部分区域海拔在800-1500米之间,区内主要山峰有连麦山、黄泥山、灵岩山、客打山等,呈东南西北走向的山脉相互交错,面积较大的盆地有田园盆地、肖家营盆地和虹口盆地等。花溪区水系发达,主要由乌江及其支流组成,是长江水系和珠江水系的分水岭地带。

4 基于实测数据的ICESat-2数据精度验证

4.1 ICESat-2与实测数据预处理

NASA在ATL06数据的生产过程中,已经通过很多方法剔除了一些粗差点,但仍保留了一些质量较差的数据点。为提高数据的质量可靠性,本文在数据预处理过程中,利用数据质量总指标参数(atl06_quality_summary)对数据进行预处理,保留了质量良好的数据点(atl06_quality_summary=0),剔除了数据质量不合格的数据点(atl06_quality_summary=1),通过预处理后可以有效减少数据误差和粗差的影响,进一步提高数据精度。

ATL08数据会给定单光子的置信水平,置信水平将光子分为噪声、背景填充、低中高置信度信号,置信水平是影响数据精度的重要因素,下文将置信度为0的单光子保留,精度验证时作为对比。

实测数据预处理,在数字地形图中提取高程实测数据,将数据中的重复数据删除,将无意义的高程标注点删除。

对于高程坐标系统,获取的单光子数据的高程基准是WGS84高程系统,而实测数据的高程基准是1985国家高程基准,WGS84的高程系统的参考基准是参考椭球面,属于大地高,也称为椭球高度;1985国家高程基准的参考基准是似大地水准面,属于正常高,两者之间存在高程异常,这个高程异常参数经过高精度2008地球重力场模型(Earth Gravity Model 2008, EGM2008)计算出,通过正常高加上此参数即可转换为大地高。1985国家高程基准和2000国家大地坐标系统。根据实测数据范围选出满足条件的测量点26个。

数据为CGCS2000坐标系36度带,第一行为卫星数据,其余为周围的实测数据

表1 置信度正常的数据库,平均绝对误差为1.348m,均方根误差为1.194m

x	y	h	H三角	D
363052.7	2921982	1173.6447	1174.432805	-0.788104625
363039.379	2921978.077	1174.114		
363051.304	2921978.277	1174.804		
366320.4	2922228	1112.1171	1111.824758	0.292341514
366302.945	2922232.147	1112.0585		
366325.035	2922223.98	1111.6467		
363095.8	2921482	1162.7091	1163.411275	-0.702175305
363081	2921477	1162.172		
363132.661	2921492.966	1166.297		
363088.115	2921508.883	1166.736		
363101.5	2922389	1160.6289	1160.271935	0.356965106
363120.06	2922382.114	1158.141		
363093.456	2922415.781	1164.423		
363053.489	2922399.222	1164.756		
363104.7	2921382	1176.6694	1176.740243	-0.070842608
363105.6918	2921395.083	1176.7911		
363123	2921379	1176.712		
363105.8	2922329	1162.2655	1161.714459	0.551040986
363107.397	2922345.178	1161.056		
363090.713	2922339.979	1162.327		
363110.9	2922289	1165.252	1165.409443	-0.15744275
363110.626	2922299.274	1165.445		
363125.485	2922294.56	1165.386		
363121.6	2921183	1151.0838	1150.259927	0.82387346
363130.401	2921171.403	1152.132		
363157.973	2921179.005	1149.307		
363130	2921083	1146.239	1145.384717	0.854282839
363120.277	2921106.249	1136.189		
363126.955	2921067.565	1153.332		
363141.197	2921070.674	1149.089		
363186.1	2921490	1178.2151	1177.672295	0.542804681
363184.4417	2921502.094	1178.5633		
363172.91	2921473.616	1176.344		
363202.744	2921475.348	1176.707		
363195.6	2921390	1176.4163	1176.003165	0.413135204
363199	2921407	1177.172		
363215	2921387	1175.212		
363213.5	2921191	1144.9912	1144.012561	0.9786389
363219	2921215	1147.822		
363189	2921193	1148.392		
363218.833	2921174.338	1139.878		
366218.1	2922420	1115.4352	1115.501	-0.0658

366203.739	2922416.961	1115.501		
363017.6	2922381	1163.505	1165.585996	-2.080995567
363020.169	2922386.111	1165.527		
363005.242	2922371.287	1165.653		
363021.231	2922371.618	1165.767		
363026.5	2922282	1171.8807	1175.380042	-3.499341614
363044.486	2922295.333	1173.526		
363021.58	2922296.591	1174.961		
363016.274	2922264.817	1176.924		
363034.9	2922323	1168.6859	1167.571615	1.114284611
363059.794	2922316.827	1169.83		
363067.455	2922344.628	1165.563		
363078.5	2921682	1170.9512	1174.143017	-3.191817426
363094.104	2921686.206	1174.617		
363069.767	2921681.79	1174.313		
363072.992	2921658.759	1169.546		
363126.5	2921324	1178.4917	1174.988935	3.502764516
363135	2921329	1174.502		
363119	2921325	1175.862		
363125	2921311	1174.082		
366235	2922220	1113.5973	1111.583892	2.013408458
366219.659	2922230.248	1114.8936		
366251.985	2922207.19	1110.0461		
366242.4	2922221	1113.4755	1111.898112	1.577387548
366219.659	2922230.248	1114.8936		
366251.985	2922207.19	1110.0461		
366243.9	2922121	1112.6287	1109.876156	2.752543852
366238.645	2922139.856	1110.2198		
366247.615	2922105.829	1109.685		
363139.4	2920983	1170.2908	1166.97662	3.314180418
363165.836	2921008.611	1165.278		
363139.406	2920984.044	1166.935		
363130.31	2920957.438	1168.221		

其中误差范围在 $-1\sim 1$ m之间的比例为59.1%,误差在 $-2\sim 2$ m之间的为81.82%。

4.2 ICESat-2数据精度验证

4.2.1 利用实测数据验证ICESat-2精度

将数据进行参数关联后,绘出沿纬度的高程剖面,并选取实测点做精度对比,在精度对比时选取测量点30m范围内的实测数据进行插值,将插值后结果和实测数据对比;验证不同因素影响下的数据精度证明其在城市区域测高应用潜力。

由于实测数据和ICESat-2数据不是完全重合的,筛选后的卫星数据有限,且实测高程点足够密集,所以使用对实测数据线插值的方式得到卫星对应点的原始数据。

对比原始数据和各因素下影响数据的平均绝对误差和均方根误差,可以估计各个因素对ICESat-2/ATLAS单光子数据精度的影响。

表2 置信度为0的数据平均绝对误差表, 误差值为5.706m

x	y	h	H三角	D
363087.3	2921582	1161.9359	1167.622859	-5.68695909
363078.455	2921576.166	1167.448		
363088.372	2921592.142	1168.462		
363103.526	2921585.133	1167.284		
363088	2922529	1163.8296	1170.255336	-6.425736499
363090.831	2922532.787	1170.666		
363110.371	2922534.075	1170.525		
363047.029	2922504.669	1167.955		
363176.8	2921590	1179.3972	1173.378465	6.018735197
363186.427	2921592.005	1173.745		
363171	2921591	1173.082		
363182.552	2921580.374	1173.975		
363204.6	2921290	1162.1679	1166.861971	-4.694070768
363203	2921293	1167.662		
363189	2921285	1166.692		
363221.993	2921282.479	1164.004		

城市内部地形复杂, 有高层密集区、非高层密集区、城市森林等类型的覆盖, 使用ICESat-2单光子数据可以对比城市内部地形, 为城市建设和发展提供依据。实验中用到了四组数据。

在实验范围内, 分类出水泥路、裸地、森林三种地物类型, 同时将ICESat-2单光子数据分为强弱光束、强光束、弱光束, 分别进行相关性统计分析, 三种地物覆盖类型和三种单光子对比, 同时计算出了平均绝对误差MAE、均方根误差RMSE和相关系数R2。

在不考虑地物类型情况下, 强光束光子与实测数据的R要比弱光束光子的大, 代表光束光子与实测数据的相关性更好, 强光束光子与实测数据的MAE和RMSE要比弱光束测量情况下的要小, 代表强光束光子与实测数据的偏差更小。在不考虑强弱光束光

子的情况下, 地物类型为水泥路时, R2最大且更接近1, 代表在该地物类型下单光子数据和实测数据的相关性更好, 同时MAE和RMSE要比其他两种地质类型下的更小, 代表该地物类型下测量精度更高。

ICESat-2单光子强光束数据在水泥路上与裸地上的实测数据和相关性最好, 其相关系数R2都为0.99, 同时计算出的MAE、RMSE也是较小的, 说明单光子精度较高, 其中水泥路上计算得到的MAE和RMSE最小, 是单光子测量精度最高的地物类型; 弱光束点在森林上实测数据和ICESat-2单光子数据相关性最差, 其相关系数R2为-8.04, 这说明这两个数据的相关性很差, 同时MAE、RMSE最大的, 代表着弱光束单光子在森林地物类型下测量精度最低。ICESat-2单光子光束分为强光束和弱光束, 两者能量比值为4:1, 能量越强发射光子越多, 测量精度也越高。

5 结语

本文对ATL08用实测数据验证了数据的精度, 并对实测数据和单光子数据的偏差进行了统计, 大部分数据的偏差集中在-1到1m之间。将数据处理后研究了强弱光束、地物类型对单光子精度的影响, 同时将单光子数据用于城市内部地形测量, 可以反映城市内部地形, 证明了单光子数据在城市区域应用的能力。

[参考文献]

- [1]覃志刚, 尤号田, 黄元威, 等. 不同植被覆盖区ICESat-2和GF-7卫星地表高程信息对比研究[J]. 航天返回与遥感, 2023, 44(05):91-104.
- [2]唐新明, 刘昌儒, 张恒, 等. 高分七号卫星立体影像与激光测高数据联合区域网平差[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2021(10):1423-1430.

作者简介:

袁晖岳(2004--), 男, 汉族, 福建人, 本科在读, 研究方向: 环境、海洋、测绘。