

基于无人机航片的贵州山区树种判读及树高测量研究^{*}

——以贵州省安顺市虹山湖公园为例

谢刚¹, 谭伟^{2▲}, 谢元贵¹, 顾卿先³, 廖小锋¹, 陈远¹

(1 贵州科学院山地资源研究所, 贵州贵阳 550001; 2 贵州大学林学院, 贵州贵阳 550025; 3 黔东南州林业调查规划设计院, 贵州凯里 556000)

【摘要】为解决贵州森林资源外业调查周期长, 耗费大量人力、物力、财力等问题, 以贵州省安顺市虹山湖公园森林资源为研究对象, 基于无人机适时航片数据, 利用数字摄影测量系统, 获取了虹山湖公园真彩色正射影像、近红外正射影像和立体航空像对, 在此基础上对森林的树种进行解译判读, 利用立体航空像对对树高进行测量, 并结合实测数据对测量精度进行了分析评价, 探讨了这一技术应用于林业调查中的可行性。结果表明: 利用真彩色正射影像和近红外正射影像相互判读得出的树种精度较高; 利用立体航空像对测量的树高与全站仪实测树高的误差较小, 精度可达到 91%, 能满足林业调查的精度需要。

【关键词】无人机, 正射影像, 立体像对, 树高

【中图分类号】S771.5

【文献标识码】A

【文章编号】1003-6563(2018)02-003846

0 引言

大范围森林资源的实地调查周期长, 每每耗费大量人力、物力、财力, 并且数据精度受人为因素的影响较大。贵州省多为山区, 山高坡陡, 森林资源实地调查的困难更为突出, 迫切需要一种高效便捷的森林资源调查替代方法。虽然卫星遥感技术在林业调查中的应用已较为普遍, 可大大降低人力、物力、财力的耗费, 且高效便捷。但贵州一年四季阴雨天气较多, 导致获取高质量的卫星遥

收稿日期:2017-09-05; **修回日期:**2017-11-09

***基金项目:**贵州省自然科学基金“基于 RS 的森林蓄积量监测模型的研究”(黔科合 J 字〔2008〕2058);贵州省优秀科技教育人才省长专项资金项目“基于中巴资源卫星(02B)的贵州省主要树种森林生物量遥感反演模型研究”(黔省专合字〔2008〕8);喀斯特峰丛洼地地区景观格局动态与土壤侵蚀耦合机制研究——以国家重点生态功能区平塘县为例(黔科院字〔2017〕04 号);平塘 FAST 周边区域地方特色中药资源调查与评价(黔科院字〔2016〕05 号);乡村复合生态系统对位配置技术模式构建与示范(黔科合 SY 字〔2013〕3169);基于生物多样性保护的土地整理复垦开发技术研究与示范(黔科合 SY 字〔2009〕3084);贵州省国土厅财政专项科研项目“基于小流域为单元的高标准基本农田建设土地整治项目工程建设体系、标准及效益评价研究”。

作者简介:谢刚(1987-), 男, 助理研究员, 工程师, 研究方向:林学与水土保持。

▲通讯作者:谭伟(1973-), 男, 教授, 硕士生导师, 研究方向:森林经理和水土保持研究。

感影像资料变得相当困难,加之受坡度、高程、坡向等因素的变化及地物类型单元小且复杂多样等因素的影响,使获取的卫星遥感影像在时间序列上和空间分辨率上受到极大的限制,因而卫星遥感技术在贵州喀斯特山区的推广及应用具有一定的难度。无人机机动性强,成本低,受天气等不良影响较小,能在短时间内快速获取监测区的高质量空间信息;同时其航空像片所含信息丰富,容易判读,不但能反映林木的树种组成,还可测定树高等数据^[1-3]。如将该技术应用于贵州森林资源的调查工作,则可大幅度减少外业调查工作量,降低调查成本,缩短调查周期,提高调查的速度和精度,从而实现低成本、高效、快速、精准的森林资源调查和监测。为此,本文以贵州省安顺市虹山湖公园为研究对象,探讨了利用无人机航片解译贵州山区森林资源的可行性,研究结果对于贵州山区林业调查中利用无人机航片快速精准提取树种及树高信息具有指导意义。

1 研究区概况

本研究选择安顺市西秀区虹山湖公园作为实验区域,并于2014年3月在公园内进行了样木实测工作。虹山湖公园属于北亚热带季风湿润型气候,年平均气温在13.2~15℃之间,最高温度为34.3℃,最低温度为-7.6℃,全年日照时数在968~1309h之间,年平均无霜期285~300d,年相对湿度为80%,年平均降雨量1350mm,光照条件好,雨量充沛,适宜多种林木生长,森林覆盖率达到36%。

2 研究方法

2.1 技术流程

根据研究要求,研究流程图如图1所示。

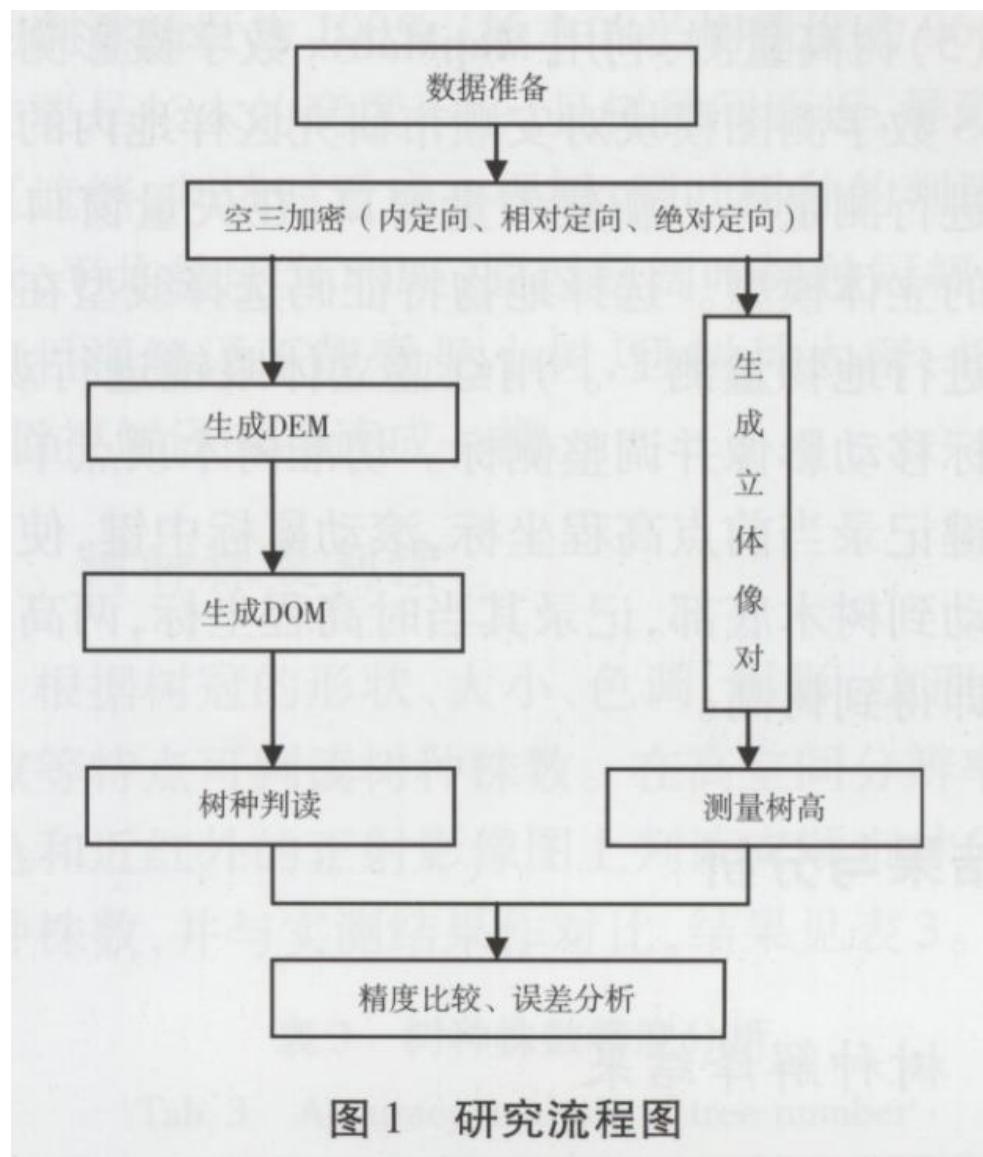


图 1 研究流程图

2.2 数据获取

(1) 全站仪实地测量

利用全站仪对虹山湖公园 48 棵立木样树进行树高实地测量, 目的是为了对利用立体航空像对测量立木高度的精度进行对比及误差分析。全站仪测量精度达到毫米级, 获得数据作为树高真值。

(2) 航片及相关数据

采用拍摄于 2013 年 5 月地面分辨率为 0.08m 的 3 张彩色航空像片, 共一条行带。使用这些航片作为一个测区完成内定向、相对定向和绝对定向, 最终创建立体像对模型及生成正射影像^[4-5]。已知航片的相机检校文件、外方位元素和控制点文件。

2.3 数据处理

-
- (1) 内定向:利用相机参数建立像片坐标系与扫描坐标系之间的数学关系^[6]。
 - (2) 相对定向:建立左右像片摄站间的空间位置及姿态参数的相对关系,消除左右像片同名点间的上下视差,建立立体模型^[7]。
 - (3) 绝对定向:利用控制点数据建立地面坐标与像片坐标间的数学转换关系。
 - (4) 树种判读:利用高空间分辨率的真彩色和近红外的正射影像图数据,在 ArcGIS 软件中进行树种判读。
- (5) 树高量测:利用 MapMatrix 数字摄影测量系统 IGS 数字测图模块对安顺市研究区样地内的树木高度进行测量^[8]。新建矢量窗口,在矢量窗口装载相应的立体模型。选择地物特征码选择线型在影像窗口进行地物量测^[9]。用红蓝立体眼镜进行观测,用鼠标移动影像并调整侧标。切准树木顶点单击鼠标左键记录当前点高程坐标,滚动鼠标中键,使十字丝移动到树木底部,记录其当时高程坐标,两高程值相减即得到树高。

3 结果与分析

3.1 树种解译结果

真彩色正射影像图像平淡、色调灰暗、彩色不饱和,可用于各种地类的识别。

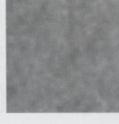
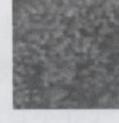
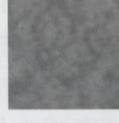
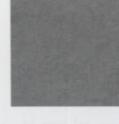
近红外正射影像纹理清晰,色彩分明。可辅助对树种的辨认。

根据树冠的形状、大小、色调、阴影、纹理结构、树种分布规律、生长习性、林木混生的特点和森林发生发展过程等特征判读树种,再依据各树种树冠影像的面积所占比例,确定林分的林木组成。

在 ArcGIS 软件中,利用高空间分辨率的真彩色和近红外的正射影像图判读虹山湖公园林分选区树种,可获得林分中主要树种在影像上的特征,见图 1。

表 1 树种解译标志

树种	真彩解译样片	影像特征	近红外解译样片	影像特征
垂柳	A grayscale image showing a dark green, somewhat mottled texture with visible grain.	影像呈暗绿，色度中等偏暗，纹理较粗糙，颗粒较密	A grayscale image showing a deep red color with darker, more irregular patches and a coarser texture compared to the true-color image.	影像呈深红，色度偏暗，纹理较粗糙，颗粒较密
二球悬铃木	A grayscale image showing a green color with moderate texture and some darker spots.	影像呈绿色，色度中等，纹理粗糙，颗粒密集	A grayscale image showing a large area of bright red with smaller, more numerous dark spots, indicating higher reflectance in the infrared band.	影像呈大红，色度中等，纹理粗糙，颗粒小而密集
构树	A grayscale image showing a dark gray-green color with a fine, dense granular texture.	影像色度偏暗，纹理较粗糙，颗粒密集	A grayscale image showing a dark red color with a distinct, larger-scale granular texture than the true-color image.	影像纹理较粗糙，颗粒较密

树种	真彩解译样片	影像特征	近红外解译样片	影像特征
柏木		树形为尖塔形,影像色度偏亮,纹理较粗糙,颗粒较平滑		树形为尖塔形,影像纹理较平滑,颗粒较少
黑荆树		影像呈绿色偏红,纹理较平滑,颗粒较难分清		影像呈浅红,色度较浅,纹理较粗糙,颗粒较大且少
槐树		影像色度中等,纹理较平滑,颗粒较小且较密		影像呈红色,色度中等,纹理较平滑,颗粒密集
楸树		影像呈绿色,色度偏暗,纹理较粗糙,颗粒大且较密		影像颜色较深,纹理粗糙,颗粒大且较密集
杉木		影像色度偏暗,纹理较粗糙,颗粒较平滑		影像色度偏低,纹理较粗糙,颗粒大且较密
夹竹桃		影像色度偏中等,纹理较平滑,颗粒较小		影像色度低,纹理较平滑,颗粒细小
柳杉		树形为尖塔形,影像偏暗红,纹理平滑,颗粒少		树形为尖塔形,影像呈暗红,色度低,纹理平滑,颗粒少
朴树		影像呈绿色,色度中等,纹理平滑,颗粒少		影像呈红色,色度中等,纹理较平滑,颗粒小且密集
杨树		影像绿色偏红,纹理较粗糙,颗粒较密集		影像色度较深,纹理较粗糙,颗粒小且密集
梓树		影像色度中等,纹理较平滑,颗粒较多		影像呈红色,色度中等,纹理较粗糙,颗粒大且较密
桂花		影像色度偏亮,纹理较平滑,颗粒较平滑		影像呈淡红,色度偏暗,纹理平滑,颗粒小且稀疏

树种	真彩解译样片	影像特征	近红外解译样片	影像特征
樟树		影像呈淡绿色, 色度偏亮, 纹理较平滑, 颗粒较平滑		影像呈浅红, 色度中等, 纹理较平滑, 颗粒较密集
广玉兰		影像呈绿色, 色度中等, 纹理较粗糙, 颗粒小且较密		影像呈暗红, 色度偏暗, 纹理较粗糙, 颗粒小且密

在树种判别过程中, 当使用真彩影像出现相近或相似颜色, 造成树种判读出现错误, 可利用近红外影像的纹理和颜色特征辅助判别。

以研究区的三个林分样地为例, 利用高空间分辨率真彩色影像和高空间分辨率近红外影像对树种进行目视解译, 并以实地调查结果作对比得到表 2。

表 2 树种判读精度分析表

样地号	树种	目测株数 /棵	实测株数 /棵	精度 /%
一	槐树	32	39	82
	梓树	76	87	87
	朴树	12	14	86
	杉木	22	24	92
	樟树	12	16	75
	楸树	11	14	79
二	梓树	62	73	85
	槐树	23	31	74
	楸树	20	25	80
	杉木	64	67	96
	樟树	2	3	67
	垂柳	1	1	100
三	二球悬铃木	6	7	86
	桂花	23	28	82
	夹竹桃	2	2	100
	构树	7	11	64
	樟树	3	4	75
	广玉兰	8	11	73
	槐树	3	4	75
	柏木	7	7	100
	柳杉	17	17	100

朴树	1	1	100
杉木	4	4	100
杨树	1	1	100

通过表 2 分析精度结果可得出：林分中，垂柳、朴树和杨树的数量为 1 棵，且影像上的冠幅没有出现重叠现象，可直接根据树种的颜色进行目视解译，其判读精度为 100%;针叶树种的判读精度明显高于阔叶树种，分析其原因主要是针叶树种独特的尖塔树形，可被观察人员直接目视解译出来，柏木和柳杉的判读精度为 100%;杉木的平均精度为 96%，原因主要是杉木的高度不一，且树种间距近，导致冠幅相互遮挡，判读时看成一棵树；阔叶树种的判读精度较低，平均精度为 80%，原因是阔叶树种冠幅较大，人工目视解译不能看见小树，且树种太密，相互遮挡，目视解译时判读成一棵。

3.2 树种株数判读

根据树冠的形状、大小、色调、阴影、纹理结构、缝隙等特点可判读树种株数。在高空间分辨率的真彩色和近红外的正射影像图上判读安顺市林分选区树种株数，并与实测结果作对比，结果见表 3。

表 3 树种株数精度分析

样地号	目视解译/棵	实测/棵	精度/%
1	165	194	85
2	171	199	86
3	83	90	92
平均		87.7	

通过表 3 比较结果可知目视解译林分株数精度达到 87.7%，而且目视解译的株数要小于实测株数，原因有两种情况：其一是由于人工目视解译不能看见小树，从而造成误差；其二是由于林木树种一样，太密，相互遮挡，目视解译时判读成一棵。

3.3 立木树高的测量

以安顺市虹山湖公园内 48 棵独立木的树高进行数字摄影测量，并与野外调查数据做对比，结果如表 4 所示。

表 4 IGS 系统测量的树高数据

编号	树高/m			实测树高 /m	误差	相对误差 /%	精度 /%
	地面高程	树顶高程	差值				
1	1379.34	1386.41	7.07	7.4	0.33	4	96
2	1379.29	1385.13	5.84	7.5	1.66	22	78
3	1379.5	1389.64	10.15	11.6	1.45	13	87
4	1379.23	1388.79	9.56	11.3	1.74	15	85
5	1378.62	1390.55	11.93	10.5	1.43	14	86
6	1378.43	1385.72	7.29	8.8	1.51	17	83
7	1378.69	1394.02	15.33	14.5	0.83	6	94

编号	树高/m			实测树高 /m	误差	相对误差 /%	精度 /%
	地面高程	树顶高程	差值				
8	1378.69	1383.78	5.08	6.5	1.42	22	78
9	1379.19	1386.35	7.16	7.6	0.44	6	94
10	1379.21	1386.23	7.02	7.5	0.48	6	94
11	1379.26	1385.58	6.31	7	0.69	10	90
12	1379.18	1385.98	6.8	7.1	0.30	4	96
13	1379.22	1384.31	5.1	5.8	0.70	12	82
14	1379.2	1385.84	6.64	6.5	0.14	2	98
15	1379.11	1385.96	6.84	7.2	0.36	5	95
16	1379.32	1386.33	7	7.5	0.50	7	93
17	1379.41	1386.46	7.05	7.8	0.75	10	90
18	1379.31	1385.63	6.32	6.1	0.22	4	96
19	1379.49	1385.14	5.65	5.2	0.45	9	91
20	1379.44	1385.5	6.06	6.7	0.64	10	90
21	1379.41	1385.26	5.85	6.4	0.55	9	91
22	1379.52	1386.11	6.58	7.1	0.52	7	93
23	1379.2	1385.94	6.74	6.2	0.54	9	91
24	1379.42	1386.46	7.04	6.3	0.74	12	88
25	1379.43	1386.01	6.57	5.8	0.77	13	87
26	1379.32	1386.03	6.71	7.1	0.39	5	95
27	1379.51	1385.78	6.27	6.7	0.43	6	94
28	1379.26	1384.72	5.46	5.1	0.36	7	93
29	1379.59	1385.72	6.13	6.7	0.57	9	91
30	1379.66	1385.85	6.19	6.5	0.31	5	95
31	1379.77	1386.48	6.71	6.3	0.41	7	93
32	1379.47	1385.67	6.2	5.7	0.50	9	91
33	1379.37	1384.12	4.76	5.4	0.64	12	88
34	1379.61	1385.1	5.49	5	0.49	10	90
35	1379.72	1385.77	6.04	6.5	0.46	7	93
36	1379.65	1386.79	7.14	7.3	0.16	2	98
37	1379.8	1386.09	6.29	7.2	0.91	13	87
38	1379.86	1385.36	5.5	6.5	1.00	15	85
39	1379.74	1385.98	6.24	5.6	0.64	11	89
40	1379.33	1386.28	6.96	6.8	0.16	2	98
41	1379.66	1389.46	9.8	9.2	0.60	7	93
42	1379.23	1396.17	16.94	17.6	0.66	4	96
43	1379.7	1390.5	10.81	9.3	1.51	16	84
44	1379.59	1389.27	9.68	9	0.68	8	92
45	1379.64	1387.19	7.55	8.5	0.95	11	89
46	1379.64	1385.33	5.69	5.2	0.49	9	91
47	1379.57	1385.19	5.62	5	0.62	12	88
48	1379.66	1385.4	5.74	5.2	0.54	10	90

通过表 4 可知, 数字摄影测量提取独立木树高的精度平均为 91%。对测量得到的误差进行分析, 得到 48 棵独立木树高相对误差分析表 5。

表 5 树高相对误差分析表

相对误差	树高
平均值/%	9
最小/%	2
最大/%	22
样本数/个	48

误差产生的原因主要有以下方面:第一, 航片在数字摄影测量系统中进行空三加密时, 没有对物镜畸变进行改正, 导致在 IGS 测图时会产生误差。第二, 工作人员经验不足, 不能很好判读航片。第三, 测图人员看图时间较长, 影响判读人员读图的识别能力, 不能很好地把鼠标指针放在独立木的顶部和底部, 导致高程值不能和真实值吻合而造成误差。

以立体航片像对测量的树高为 X 轴, 全站仪测树高为 y 轴, 分别用线性关系、二次多项式、三次多项式对它们之间的关系进行了拟合^[10], 拟合结果如图 2 所示。

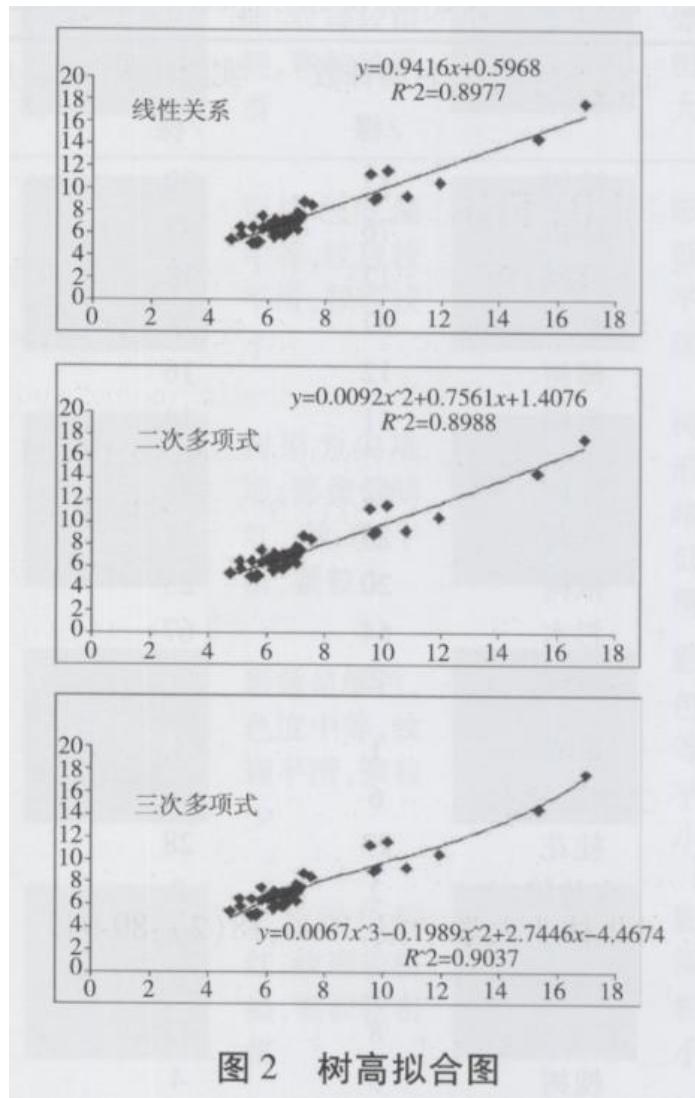


图 2 树高拟合图

图 2 可以看出,以上 3 种方法进行的相关分析 R^2 相差不大,都接近 0.9,说明立体航片像对测量的树高和全站仪测量的树高之间存在显著的相关性,随着方程次数的增加, R^2 没多大变化,选择线性函数作为拟合函数较为适宜,这表明立体航片像对测量的树高与全站仪测量树高存在着正相关关系。

通过研究分析得到:利用数字摄影测量的方法测量树高,精度较高,与全站仪测量的树高存在显著的正相关关系,利用立体像对测量树高平均精度为 91%,能满足林业上树高调查的需要。

4 结论与讨论

1) 高空间分辨率真彩色正射影像真实反映了地面森林真彩色特征,具有稳定的判读特征;高空间分辨率近红外正射影像具有反射率高、透过率高、吸收率低的特点可反映植被颜色和纹理的不同,还可尽量避免同谱异物或同物异谱^[11],以利于地物的判读。利用真彩色影像和近红外影像对地物相互辅助判读,对于树种的判读起到重要作用。

2) 研究结果表明,利用航片立体像对测量得到的树高与实际树高之间存在线性正相关关系,用该方法测量树高,可以满足林业上对树高调查的要求。

3) 航片立体像对测量树高的精度受到拍摄季节、林冠和周围树木遮挡的影响^[12], 导致部分数据不理想, 如何解决这一问题有待我们下一步研究。

参考文献

- [1] 冯仲科, 景海涛, 周科亮, 等. 全站仪测算材积的原理及精度分析[J]. 北京林业大学学报, 2003, 25(3):60-63.
- [2] 智长贵, 秦学军, 韩爱惠. 基于光束法空中三角测量理论的树高测量方法研究[J]. 林业资源管理, 2006(4):92-95.
- [3] 周洪泽. 提高大比例尺航空像片树种判读精度的方法研究[J]. 东北林业大学学报, 1990, 18(2):89-94.
- [4] 李明泽, 范文义, 张元元. 基于全数字摄影测量的林分立木高度量测[J]. 北京林业大学学报, 2009, 31(2):74-79.
- [5] 李明泽, 李才, 范文义, 等. 基于数字摄影测量的森林蓄积量估算[J]. 东北林业大学学报, 2010, 38(5):117-118.
- [6] 王佳, 冯仲科. 航空数字摄影测量对林分立木测高及精度分析[J]. 测绘科学, 2011, 36(6):77-79.
- [7] 赵芳. 测树因子遥感获取方法研究[D]. 北京:北京林业大学, 2014.
- [8] 蔡文峰, 李凤日. 基于 VirtuoZo 系统对林木冠幅信息的提取[J]. 森林工程, 2010, 26(2):4-7.
- [9] 许延丽, 刘兆刚. 基于航片建立数字高程模型及林分信息提取[J]. 东北林业大学学报, 2009, 37(11):88-91.
- [10] 杨伯钢, 冯仲科, 罗旭, 等. LIDAR 技术在树高测量上的应用与精度分析[J]. 北京林业大学学报, 2007, 29(S2):78-81.
- [11] 李超, 岳树峰, 王胜蕾, 等. 大比例尺航片正射影像中的树冠提取[J]. 东北林业大学学报, 2010, 38(9):71-73.
- [12] 韦雪花. 轻小型航空遥感森林几何参数提取研究[D]. 北京:北京林业大学, 2013.