

多基线数字近景摄影测量系统测树方法及数据分析*

刘千里¹ 李春友¹ 孟平² 柳瑞武¹ 张劲松² 高峻²

(1. 河北农业大学园林与旅游学院 保定 071000; 2. 中国林业科学研究院林业研究所 北京 100091)

关键词: 多基线; 数字近景摄影测量; 数据分析; 测树

中图分类号: S758 文献标识码: A 文章编号: 1001-7488(2010)02-0166-05

Forest Measurement Method and Data Analysis of Multi-Baseline Digital Close-Range Photogrammetry System

Liu Qianli¹ Li Chunyou¹ Meng Ping² Liu Ruiwu¹ Zhang Jinsong² Gao Jun²

(1. College of Landscape Architecture and Tourism, Agricultural University of Hebei Baoding 071000;

2. Research Institute of Forestry, CAF Beijing 100091)

Abstract: Based on the measurement principle of multi-baseline digital close-range photogrammetry system, this paper proposed method of gain forest measurement factors by this system. Through comparing research of the statistical results in photogrammetry data of stumpage and measured data of total station, the result indicates that people may gain more reliable data by multi-baseline digital close-range photogrammetry system, accurately monitor forest and meet the need of forest measurement by this system. At the same time, by establishing three-dimension point cloud model based on 3-D model of tree, people may expediently gain forest measurement factors which shall be harder by traditional methods.

Key words: multi-baseline digital; close-range photogrammetry; data analysis; forest measurement

传统的测树方法是用轮尺、直径卷尺和检径尺(钩尺)、围尺等测量树的胸径,而对于树木上部直径的测量就显得无能为力,并且目前对于立木上部直径的测量都没有很好的方法(孟宪宇,2002;吴富楨,1992;大隅真一,1981)。对于树高,在我国常用的是布鲁莱斯测高器,用该测高器时先要测出测点至树木的水平距离,且要等于整数 10,15,20,30 m,测量效率较低,并且测量结果受人为因素影响较大,精度不够高(大隅真一,1981)。而对于树冠实际上不可能直接量测,且树冠轮廓的不规则导致在野外测定树冠的直径非常困难。目前常用的方法是确定树冠周边在地上的垂直投影,并对其投影量测直径;但由于森林环境的限制,很难得到树冠的准确投影,因此这种方法只能粗略的测量(刘益军等,2004)。若在树木上选定一些能描述其形态结构的特征点,获取其在三维坐标系中的坐标值,就能方便地获取测树因子(郭焱等,2001;张向华等,2004;王秀美等,2001)。Sinoquet等(1991)为测定作物冠层的空间坐标所采用的基于声学原理的三维数字化仪,其精度为 ± 10 mm。宫鹏等(1999)用加州橡树草原区

1970 和 1995 年 1:12 000 比例尺航空摄影立体像对,构建有别于数字地形模型的该模型,数字表面模型上记录着树冠和其他景观的三维表面坐标。随着近景摄影测量的不断发展,近年来由武汉朗视软件有限公司根据张祖勋院士提出的计算机视觉代替人眼的“短基线、多影像摄影测量”原理,开发了多基线数字近景摄影测量系统,该系统能将少量全站仪测量的高精度点位坐标与摄影测量丰富的影像信息结合起来,建立高精度三维空间点阵数据(张剑清等,2007;张祖勋等,1997;2007)。通过应用多基线数字近景摄影测量系统获取单株树木的三维空间点阵数据,可以非常方便地获取测树因子(韩光瞬等,2005)。这些测树因子包括树的高度、树的胸径、树冠的体积和形状等,并利用空间点阵数据实现树木的三维表达。该方法是一种瞬间获取被测物体大量物理信息和几何信息的测量手段,作为信息载体的相片或影像包含被测目标最大的信息,特别适用于形态结构复杂测量(王志和,2005;杨国强,2005;贺跃光等,2001;冯仲科等,2001),它为林业工作者提供了测树的有力工具,同时又是一种非接

触性量测手段,不伤及测量目标,不干扰被测物自然状态,保护了生态环境。此外所摄取的照片及资料便于存档供日后做详细的比较研究。

1 多基线数字近景摄影测量系统的测量原理

张剑清等(2007)从摄影测量的基本原理出发,提出了由 2 幅二维影像所构成的“单基线”立体像对重建三维空间是一个“病态”问题。如图 1a 所示,由目标点 a 进行影像匹配可能获得多解 A_1, A_2, A_3 ;若采用多基线影像进行匹配,正确的光线只能交于同一点,就能较好地得到匹配点 A (图 1b)。

在传统单基线摄影测量中,自动匹配和交会难以兼顾。多基线摄影测量是一种“多目”视觉方法,是根据张祖勋等(1997;2007)、张剑清等(2007)提出的计算机视觉代替人眼的“短基线、多影像摄影测量”原理,采用短基线获取大重叠度的序列影像,在短基线序列影像中,相邻的 2 幅影像摄影基线短、交会角小,可用于自动匹配,而首尾的影像摄影基线长、交会角大,并且有多个观测值,交会时可以提高精度。由多基线摄影测量方法获取的序列影像既有利于影像的自动匹配,同时也可以提高交会精度,克服了单基线的缺陷。该系统将少量全站仪测量的高精度点位坐标与摄影测量丰富的影像信息结合起来,建立高精度的数字化模型(张祖勋等 2007)。“短基线、多影像摄影测量”的主要特点是:首先按要求拍摄大量具有较短基线和不同交会角的序列影像,然后通过少量物方控制点的空间坐标及其对应的像点坐标建立空间关系,从而解算出相机参数和影像外方位元素,进而计算出由先进匹配算法获取的大量同名点的空间坐标(杨国强 2005;张祖勋等 2007)。

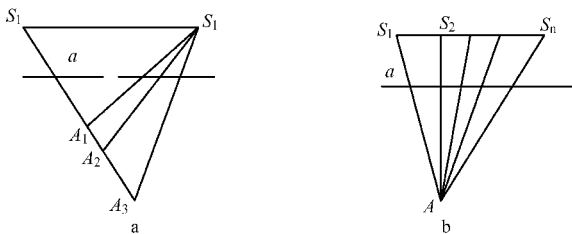


图 1 单基线立体影像与多基线立体影像

Fig. 1 Single baseline stereo images and multi-baselines stereo images

2 多基线数字近景摄影测量系统测树过程和测树因子获取

2.1 多基线数字近景摄影测量系统测树的步骤

1) 控制点布设 为了使拍摄的照片可供量测,并且可提供高的量测精度,根据样木的位置、大小形态和需要获取的重点测树因子需要在样木上均匀布设控

制点。标定控制点的控制牌的大小应在所获得的影像上占 10 个像素为最佳。在所测样木上至少出现 4 个控制点,分布时应满足被摄区域 4 个角上都有控制点。2) 利用全站仪精确测量控制点坐标 该系统利用的全站仪为南方测绘仪器公司生产的型号为 NTS-352R 免棱镜全站仪,该型号的全站仪可以不架设棱镜,系统会自动发出一束红外线照射到被测物体上然后反射回来完成测量过程,这就要求所制作的控制牌光滑且反射性强,而且要求天气晴朗、被测样木清晰可见,这样才能保证测量精度。选择合适的测站架设好全站仪,可以假设该测站坐标为 $(10, 10, 10)$,然后精确测量样木上控制点的相对三维坐标。3) 树木影像采集 该步骤是本系统测树过程最关键的一步,照片质量好坏直接影响系统处理数据的精度,因此,相机要用高分辨率的(不低于 1 200 万像素),在对样木进行拍摄之前要对现场进行考察,选择合适的拍摄距离和拍摄地点,根据拍摄样木的大小、拍摄距离选择合适的相机镜头,一般在林业测量上选择标准定焦镜头 EF50 mm f/1.4USM。由于距离较近,广角采用平行摄影,平行摄影的照片重叠度要达到 80%,且每个摄站上只拍摄 1 张影像而且被拍摄对象最好占满整个相幅,最少不能少于 1/3,相邻摄站距离为拍摄距离的 1/10 左右为宜,拍摄时相机镜头焦距打到无穷远,选择手动变焦,光圈快门可以使用自动(以拍摄的照片清晰为前提)(图 2)。取像及摄站顺序应遵守从左向右顺序。由于树木位于农林复合系统当中,拍照时有部分遮挡,根据系统要求必须至少有 2 个立体像对完全可见才能有完整的影像数据。

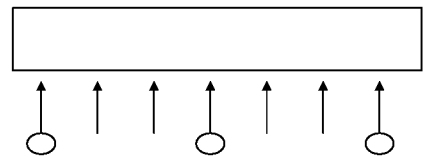


图 2 平行拍摄示意

Fig. 2 Schematic diagram of parallel photography

2.2 多基线数字近景摄影测量系统介绍及数据处理

多基线数字近景摄影测量系统(lensphoto)需要一部普通单反(定焦)数码相机,原则上 4 个控制点就可以很快完成一个区域(对象)的精确测量和建模,其面积可从零点几平米到数万平米。在满足成 1:500 地形图国标精度要求前提下,其最远测距可超过 1 500 m,近距离测量可达 0.2 mm,三维重建将有自动纹理的功能。多基线数字近景摄影测量系统由图 3 所示几个模块组成。



图 3 系统主界面

Fig.3 Interface of system

通过该系统以上几个模块功能处理数据可以得到基于三维空间坐标的各种产品,包括各类数据、图形、图像、数字表面模型以及三维动态序列

影像等。

2.3 测树因子的获取 多基线数字近景摄影测量系统软件数据处理流程如图 4。

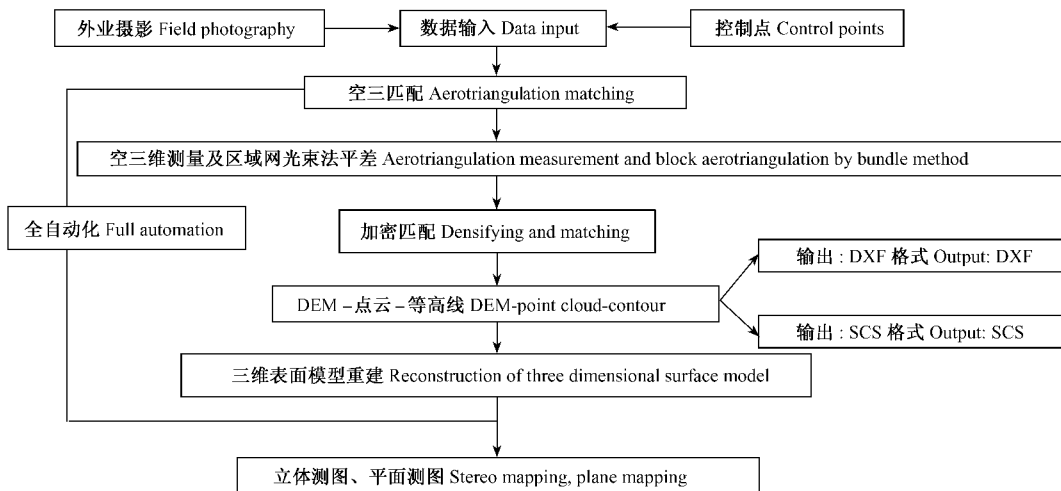


图 4 数据处理流程

Fig.4 Data processing flow

通过以上流程对数据进行处理可以得到样木的三维空间点阵数据(图 5)。

求取距离的功能菜单得到样木树高。同理,用同样的方法得到样木的胸径和冠幅。通过建立样木的三维立体模型,在树冠三维模型的表面沿 Z 轴方向每隔一段距离划分有限个圆台体,树梢处以圆锥体计算,用圆台体来近似逼近样木树冠的表面积、体积和容积。

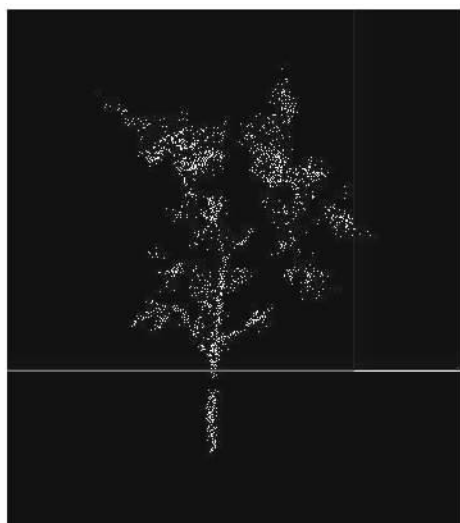


图 5 三维空间点云

Fig.5 Three-dimensional space points cloud

利用系统建立的样木三维点云,在立体编辑模块下可建立样木的立体模型,配合立体显示器和立体眼镜在立体模型上用鼠标点击树梢和树基,运用

3 试验数据与分析

3.1 试验数据 为了验证用多基线数字近景摄影测量系统可以做到对树木的精准测量,于 2008 年 5 月 14 日在河南省济源大沟河林场组织试验,样地为核桃(*Juglans regia*) - 大豆(*Glycine max*)的农林复合系统,核桃株距 3 m、行距 4 m,郁闭度 0.3 ~ 0.4 为中度郁闭,以其中 5 年生绿波 2 号核桃为例,对其进行了精准摄影量测,在该植物体上选择能表现该植物体三维形态的 40 个点作为测试点,布设测试点的顺序为从下到上、从左到右、从枝基部到枝顶端,按照从小号到大号的原则依次布设。因为摄影测量所测量的 X 值、Y 值的精度直接决定植物胸径、冠幅等测树因子的精度,所测的 Z 值精度直接决定树高、枝下高等测树因子的精度,所以考察该系统测量

植物体上测试点三维坐标值来说明该系统可以做到树木的精确测量。假设测站 A 点坐标(10 ,10 ,10) 单位为米 ,利用全站仪所测控制点坐标如表 1。

为了消除摄影测量时人眼所产生的误差 ,本试验采用对测试点测量 3 次取其平均值作为该点的坐标值。比较结果如表 2。

3.2 分析 通过对该立木上 40 个测试点的坐标数据分析 ,从表 2 中发现 ,27 ,29 ,30 ,38 ,40 号点坐标差值较大 ,为树冠侧枝上的测试点 ,受外界风力影响较大 ,为错点删除。以多基线数字摄影测量坐标值

表 1 控制点三维坐标

Tab. 1 Three-dimensional coordinate of control point

点名 Point name	X/m	Y/m	Z/m
A ₁	13. 947 00	13. 332 00	10. 159 00
A ₂	13. 959 00	13. 339 00	10. 405 00
A ₃	13. 975 00	13. 331 00	10. 615 00
A ₄	14. 198 00	13. 213 00	10. 912 00
A ₅	13. 992 00	13. 308 00	10. 985 00
A ₆	13. 757 00	13. 348 00	10. 941 00
A ₇	13. 968 00	13. 324 00	11. 577 00
A ₈	14. 206 00	13. 310 00	11. 470 00

表 2 立木控制点的多基线数字近景摄影测量数据和全站仪测量数据比较

Tab. 2 Comparison of data from control point of standing tree by multi-baseline digital close-range photogrammetry and total station

点号 Point No.	多基线数字近景摄影测量 Multi-baseline digital close-range photogrammetry			全站仪测量 Total station			差值 Difference		
	X/m	Y/m	Z/m	X/m	Y/m	Z/m	X/m	Y/m	Z/m
1	13. 950	13. 323	10. 032	13. 956	13. 322	10. 032	- 0. 006	0. 001	0. 000
2	13. 951	13. 328	10. 113	13. 954	13. 326	10. 114	- 0. 003	0. 002	- 0. 001
3	13. 943	13. 324	10. 239	13. 949	13. 327	10. 238	- 0. 006	- 0. 003	0. 001
4	13. 943	13. 323	10. 326	13. 947	13. 325	10. 326	- 0. 004	- 0. 002	0. 000
5	13. 966	13. 339	10. 469	13. 967	13. 336	10. 470	- 0. 001	0. 003	- 0. 001
6	13. 976	13. 342	10. 542	13. 970	13. 335	10. 545	0. 006	0. 007	- 0. 003
7	13. 984	13. 327	10. 704	13. 982	13. 324	10. 704	0. 002	0. 003	0. 000
8	13. 991	13. 323	10. 795	13. 988	13. 318	10. 796	0. 003	0. 005	- 0. 001
9	14. 092	13. 283	10. 832	14. 083	13. 282	10. 834	0. 009	0. 001	- 0. 002
10	14. 158	13. 241	10. 887	14. 151	13. 240	10. 887	0. 007	0. 001	0. 000
11	13. 991	13. 306	10. 913	13. 987	13. 309	10. 915	0. 004	- 0. 003	- 0. 002
12	13. 891	13. 345	10. 745	13. 892	13. 343	10. 746	- 0. 001	0. 002	- 0. 001
13	13. 832	13. 348	10. 844	13. 828	13. 342	10. 845	0. 004	0. 006	- 0. 001
14	13. 781	13. 341	10. 911	13. 785	13. 343	10. 911	- 0. 004	- 0. 002	0. 000
15	13. 712	13. 350	10. 995	13. 712	13. 349	10. 995	0. 000	0. 001	0. 000
16	14. 237	13. 135	10. 995	14. 234	13. 131	10. 995	0. 003	0. 004	0. 000
17	14. 284	13. 058	11. 119	14. 282	13. 059	11. 119	0. 002	- 0. 001	0. 000
18	14. 353	13. 026	11. 227	14. 351	13. 024	11. 228	0. 002	0. 002	- 0. 001
19	14. 241	13. 262	10. 966	14. 237	13. 261	10. 969	0. 004	0. 001	- 0. 003
20	14. 322	13. 278	11. 016	14. 323	13. 279	11. 018	- 0. 001	- 0. 001	- 0. 002
21	14. 428	13. 313	11. 070	14. 425	13. 312	11. 072	0. 003	0. 001	- 0. 002
22	14. 001	13. 285	11. 145	13. 999	13. 288	11. 146	0. 002	- 0. 003	- 0. 001
23	14. 029	13. 579	10. 930	14. 030	13. 575	10. 932	- 0. 001	0. 004	- 0. 002
24	14. 013	13. 283	11. 232	14. 009	13. 284	11. 234	0. 004	- 0. 001	- 0. 002
25	14. 019	13. 281	11. 298	14. 011	13. 280	11. 299	0. 008	0. 001	- 0. 001
26	14. 015	13. 287	11. 352	14. 015	13. 280	11. 353	0. 000	0. 007	- 0. 001
27	14. 001	13. 341	11. 523	13. 984	13. 309	11. 492	0. 017	0. 032	0. 031
28	14. 092	13. 274	11. 367	14. 097	13. 275	11. 368	- 0. 005	- 0. 001	- 0. 001
29	14. 157	13. 295	11. 410	14. 135	13. 265	11. 409	0. 022	0. 030	0. 001
30	14. 174	13. 250	11. 460	14. 151	13. 221	11. 459	0. 023	0. 029	0. 001
31	14. 164	13. 153	11. 515	14. 159	13. 152	11. 514	0. 005	0. 001	0. 001
32	14. 161	13. 080	11. 592	14. 166	13. 077	11. 587	- 0. 005	0. 003	0. 005
33	14. 271	13. 342	11. 523	14. 264	13. 339	11. 522	0. 007	0. 003	0. 001
34	14. 001	13. 296	11. 662	13. 996	13. 299	11. 662	0. 005	- 0. 003	0. 000
35	14. 001	13. 281	11. 769	14. 007	13. 284	11. 765	- 0. 006	- 0. 003	0. 004
36	14. 001	13. 285	11. 835	13. 999	13. 276	11. 829	0. 002	0. 009	0. 006
37	14. 003	13. 276	11. 901	13. 995	13. 268	11. 896	0. 008	0. 008	0. 005
38	14. 001	13. 283	11. 969	13. 982	13. 254	11. 967	0. 019	0. 029	0. 002
39	13. 940	13. 405	11. 596	13. 935	13. 404	11. 596	0. 005	0. 001	0. 000
40	13. 908	13. 425	11. 709	13. 893	13. 453	11. 705	0. 015	- 0. 028	0. 004

与全站仪坐标测量值为配对数据,进行配对数据的显著性检验(t 检验),样本容量 $n=35$,经计算 X, Y, Z 坐标观测值检验统计量 T 为 $T_x=2.002954, T_y=1.959165, T_z=-0.394118$,对于显著水平 $\alpha=0.05$,查自由度 $n-1=34$ 的 t 分布表得 $t_{\alpha/2}(34)=t_{0.025}(34)=2.0322$,由于 X, Y, Z 的 $|T| < t_{0.025}(34)=2.0322$,说明2种测量方法对同一立木测量值没有显著变化。

3.3 数据处理 以多基线数字摄影测量值为自变量 x ,全站仪测量值为自变量 y ,分别对 X, Y, Z 值做散点图(图6),进行线性回归拟合,得出回归方程。

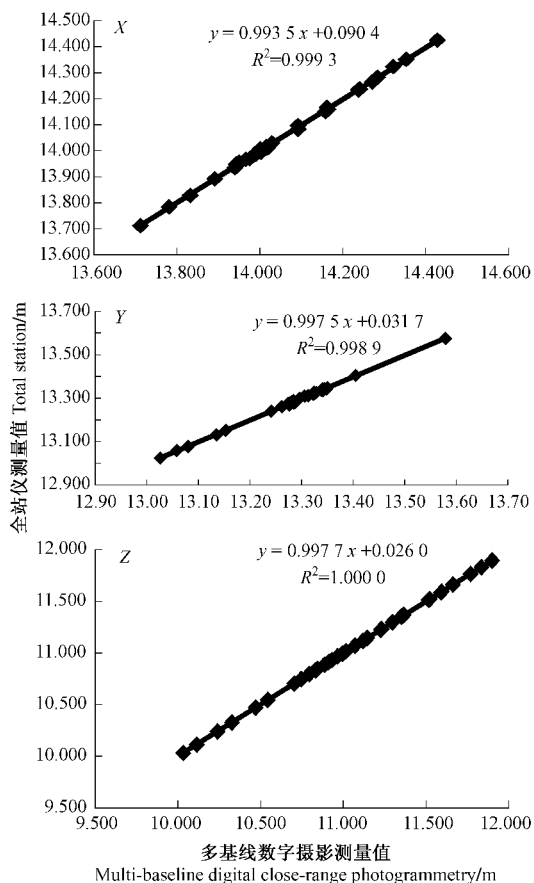


图6 立木三维坐标 X, Y, Z 值散点

Fig. 8 Three-dimensional coordinate of X, Y, Z scattered plot of standing tree

从图6的回归方程得到 X 值的相关指数 R^2 为0.9993, Y 值的相关指数 R^2 为0.9989, Z 值的相关指数 R^2 为1.0000,置信度为95%,说明多基线数字近景摄影测量值与全站仪测量值紧密相关,可以满足林业上的测树要求。

4 结论与展望

4.1 结论 1)用数字近景摄影测量系统测树不仅能够满足林业上测树的要求,而且能够获取较多的

测树因子。用该系统测树不仅能够获得树高、胸径等测树因子,还可以获得用传统的方法难以获取的树冠表面积、形状、分枝角度等测树因子。2)该方法可提供基于三维空间坐标的各种产品,包括各类数据、图形、图像、数字表面模型以及三维动态序列影像等,大大拓展了测树的空间。

4.2 展望 用多基线近景摄影测量系统可以对同一株样木进行多角度拍摄测量,获得多幅点云图和海量数据然后将几个测站数据拼接起来整体平差,建立起样木的三维模型,实现三维可视化表达。如何通过样木的三维模型建立小班林分的三维模型,从而实现林分的三维可视化表达,将是以后研究的重点。

参 考 文 献

- 大隅真一. 1981. 森林计测学. 于璞和,译. 北京:中国林业出版社.
- 冯仲科,殷嘉俭,贾建华,等. 2001. 数字近景摄影测量用于森林固定样地测树的研究. 北京林业大学学报,23(5):15-18.
- 宫 鹏,梅雪良,张祖勋. 1999. 利用数字摄影测量探测橡树草原变化. 遥感学报,3(4):285-289.
- 郭 焱,李保国. 2001. 虚拟植物的研究进展. 科学通报,46(4):273-280.
- 韩光瞬,冯仲科,刘永霞,等. 2005. 三维激光扫描系统测树原理及精度分析. 北京林业大学学报,27(增刊2):187-190.
- 贺跃光,王秀美,曾卓乔. 2001. 数字化近景摄影测量系统及其应用. 矿冶工程,21(4):1-3.
- 刘益军,张子树. 2004. 数码相机用于经济林生态测量的探讨. 经济林研究,22(3):42-44.
- 孟宪宇. 2002. 测树学. 北京:中国林业出版社.
- 王秀美,曾卓乔. 2001. 数字摄影测量技术在森林调查中的应用研究. 林业资源管理(1):31-35.
- 王志和. 2005. 近景树木的三维可视化重建. 武汉大学硕士学位论文.
- 吴富桢. 1992. 测树学. 北京:中国林业出版社.
- 杨国强. 2005. 数字近景摄影测量系统研究. 西安科技大学硕士学位论文.
- 张剑清,胡安文. 2007. 多基线摄影测量前方交会方法及精度分析. 武汉大学学报·信息科学版,32(10):847-850.
- 张向华,陆载涵,宋小春. 2004. 图像测量技术在森林调查中的应用. 湖北工学院学报,19(1):36-38.
- 张祖勋,杨生春,张剑清,等. 2007. 多基线-数字近景摄影测量. 地理空间信息,5(1):1-4.
- 张祖勋,张剑清. 1997. 数字摄影测量学. 武汉:武汉大学出版社.
- Sinoquet H, Mouliat B, Bonhomme R. 1991. Estimating the three-dimensional geometry of a maize crop as an input of radiation models: comparison between three-dimensional digitizing and plant profiles. Agric For Meteorol, 55:233-249.