

森林调查装备与信息化技术发展分析*

冯仲科 黄晓东 刘芳

(北京林业大学精准林业北京市重点实验室, 北京 100083)

摘要:回顾了国内外森林调查装备与技术的发展历程,概括了目前森林调查装备的使用情况及相关技术。森林资源调查装备及技术发展趋势已由3S主导的森林调查技术及各种便携式装备逐渐向精准化、智能化及精细化方向发展,通过“天-空-地”空间一体化装备与技术相互协同作用,提高森林调查的精度、准确度以及森林调查的工作效率,减少大量人力、物力的耗费,并研发出林业信息化平台。林业信息化平台是以互联网、GIS技术为依托,通过软、硬件产品的有机结合构建而成,其功能包括:导线测量、坐标放样内业处理,面积、体积、单木材积、每公顷断面面积、每公顷株数、林分蓄积量、生物量的计算,以及相应的统计图、统计表的输出,林业制图等,同时实现林业一、二、三类调查统计表、基本图、林相图、森林分布图和专题图等成果的综合表达。林业信息化平台的建设,促进了林业资源调查的一体化、智能化、集成化。建立“天-空-地”空间一体化森林调查体系是现有森林调查装备与技术的继承和发展。

关键词:森林调查 装备 信息化技术 精准化 一体化

中图分类号: S757.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2015)09-0257-09

Forest Survey Equipment and Development of Information Technology

Feng Zhongke Huang Xiaodong Liu Fang

(Beijing Key Laboratory of Precision Forestry, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: This paper reviewed the development history of the forest survey equipment and technology of domestic outside, summarized the current use of forest survey equipment and related technology, and concluded the development trend of equipment and technology which have been gradually developed to the intelligence, refinement and precision. Through the synergy of integration of aerial - space - ground, the developed equipment and technology enhanced the precision and accuracy of forest survey, improved the work efficiency of forest survey, reduced the waste of a lot of manpower and material resources, and built the forestry information platform at the same time. The platform was based on Internet and GIS technology, and it was built through the combination of software and hardware. The software mainly included traverse survey, coordinate sample, area calculation, volume calculation, single tree volume, section area per hectare determined, stand volume, statistical graph, statistical table, and forestry mapping etc., what's more, the information platform realized the application system with comprehensive functions of survey statistics, basic figure, stock map, forest distribution map and thematic map. In particular, the construction of forestry information platform promoted integration and intelligence of forestry resources survey. Forest survey system of aerial - space - ground was an inheritance and development of the existing equipment and technology. Therefore, the forest survey equipment enters into a new era featuring close relation with geographical information system technology, photogrammetry technology, remote sensing technology, information technology, space technology, image technology and graphics technology.

Key words: Forest survey Equipment Information technology Precision Integration

收稿日期: 2015-05-25 修回日期: 2015-06-25

* “十二五”国家科技支撑计划资助项目(2012BAH34B01)和国家自然科学基金面上基金资助项目(41371001)

作者简介: 冯仲科,教授,博士生导师,主要从事精准林业、测绘与3S技术集成研究,E-mail: fengzhongke@126.com

引言

在我国,森林调查亦称作“森林资源清查”。其中国家森林资源连续清查(简称一类清查)是以掌握宏观森林资源现状与动态为目的、以省(以及直辖市、自治区,以下简称省)为单位、利用固定样地为主进行定期复查的森林资源调查方法,是全国森林资源与生态状况综合监测体系的重要组成部分。森林资源连续清查成果是反映全国和各省森林资源与生态状况,制定和调整林业方针政策、规划、计划,监督检查各地森林资源消长任期目标责任制的重要依据^[1]。在森林资源调查中,林业工作者所使用的装备及技术是保证调查能够得以顺利进行的重要手段,是调查数据精确程度的重要保证。森林调查装备、技术的发展与科学技术的进步息息相关,计算机技术与电子技术的飞速发展带动着森林观测仪器及技术的极大进步。本文主要回顾国内外森林调查装备与技术的发展历程,概述目前国内森林调查装备的使用情况以及相关技术。

1 国内外森林资源调查装备与技术发展现状

初期的森林调查完全采用目测的方法,到了18世纪由于数学的发展,促进了测树学的发展,直到1927年世界才形成测树学体系^[2]。20世纪20年代之后,随着数理统计学和航空摄影测量与航空像片判读理论引入森林调查工作,森林调查技术得到了重大改进和飞速发展^[3],但当时森林资源调查在各个国家之间仍未形成统一的调查技术体系。直至1992年8月,国际林业协会(IUFRO)在其百年大庆之际出版了《国际林协百年大庆论文集》(森林调查监测技术),并于1994年由国际林协秘书处处在奥地利正式出版发行《国际森林调查(监测)指南》^[4](简称《指南》)。《指南》指出3S(遥感(RS)、地理信息系统(GIS)、森林抽样技术(FS))一体化是森林调查的发展方向,是深层次上的互相结合和有机集成。定位系统GPS仅作为森林抽样样地定位的辅助技术。该技术体系能更快、更高效地进行林业作业,降低人力、物理的损耗。

同期,森林调查装备也有极大的发展。林业工作者从使用简单的测绳等测量工具到使用角规、经纬仪、FP-15型光学测试器,又到20世纪60年代使用航空像片判读理论编制林分蓄积量。1998年8月在美国爱达荷州召开的世纪森林生态系统调查监测国际学术讨论会的主题为:21世纪自然资源调查的集成工具。它将航空像片判读与卫星遥感、抽样设计与数学建模、GIS与空间分析、地图与GPS、

计算机网络技术等有机地综合为森林调查监测一体化的集成技术^[4]。随着森林资源调查向多目的资源监测方向转移,时空信息的结合和分析也越来越受到重视。各国在森林资源调查中都不同程度地应用了GPS、GIS和RS,比如利用GIS绘制各种森林资源信息图。各国在遥感技术的使用上也存在着差异,如德国、瑞士、日本等侧重于航片,其他各国则采用卫片和航片相结合的方法^[5]。

随着微电子、MEMS、光学测距、激光测距、超声波测距等技术的发展,新型的测高器和树高测量技术不断涌现^[6]。对单棵立木的调查,近年来随着微电子的发展,一些高精尖技术(如超声波和激光)的应用,使得国外的测树技术有了很大提高,如出现了超声波测高器(Hypsometer)和激光测树仪(Laser dendrometer)。这些测树仪具有多功能、携带方便和易操作的特点,能够测量树木的高度、直径、水平距、坡度、方位角和相邻树木间的距离,使测量精度成倍提高^[5]。莱卡D810 Touch是一款在数十秒内就能精确测量出单棵立木高度、方位、冠幅面积、任意直径等数据的便携式测树仪,且测量的数据可直接通过蓝牙传输导入手机或计算机。一些发达国家如美国、瑞士、加拿大、澳大利亚、日本等市场上出现了一种野外电子数据记录装置(EDRs)。此外,国外常见的有英国Husky公司生产的HUNTER和美国Telxon公司生产的TelxonPTC-610等^[5];同时,Maselli等^[7]利用无人机机载高分辨率的激光雷达获取林分材积和树龄,Strunk等^[8]在森林资源清查中使用激光雷达脉冲密度与样地数的方法建立模型对生物量进行统计,Bhattarai等^[9]还开展了用陆地卫星遥感影像对红树林的调查,Roberts等^[10]应用卫星传感器数据对森林结构进行评估等。在几十年的遥感技术发展中,森林资源调查在技术体系上已经形成了以3S技术为主体的调查技术手段。

在我国,森林资源调查真正始于20世纪50年代初期,当时主要采用罗盘仪或经纬仪进行测量,控制调查面积,凭借测树经验和简单工具对林木进行目测调整或是以每木检尺来计算森林蓄积。1954年从前苏联引进了航空像片调查方法,用航空像片编制平面图和进行立体判读、小班区划,同时在各小班内进行目测调查^[3]。20世纪50年代末引进了角规测树技术,作为目测调查的补充。从60年代开始,引进了基于数理统计理论的抽样调查技术^[11],70年代后,在森林调查中逐步应用计算机技术和3S技术,通过采用不同比例尺的多光谱、高光谱等遥感影像进行森林资源判读、森林面积及林分小班、生长量等调查^[12];近年来,无人机遥感成为一个新兴产

业,且在林业调查中得到了应用,主要应用在林火监测、二类调查、森林生态状况监测的林分空间结构调查(林木组成、空间关系等)^[11]。目前,森林调查中常使用测微器、测树仪、测树器等精测立木的树高、胸径,使用机载、车载激光 LiDAR 测量树高,使用三维激光扫描系统^[13-14]测量树冠表面积和体积,以及使用手持式超站测树仪^[15]等精密仪器测量立木基本信息。

2 林业调查信息化平台建设整体思路

目前,森林资源调查装备及技术的发展已由 3S 一体化主导的森林调查技术及各种便携式装备逐渐向智能化、精细化、精准化的林业装备与技术发展,并由技术一体化体系向空间一体化体系发展。通过空间“天-空-地”^[16]一体化的相互协同提高森林调查的精度和准确度,提高森林调查的工作效率,减少大量人力、物力的耗费。研制林业调查硬件装备和研发林业信息化平台,建立“天-空-地”空间一体化森林调查体系是森林调查装备与技术的继承和发展。

东北林业大学基于 3S 技术针对森林生物量、碳储量以及树高冠幅进行了研究^[17];利用遥感数据的多种信息,结合森林类型估算不同森林生物量^[18];针对大兴安岭地区森林生物量问题,以遥感数据为基础利用多元线性回归模型和 BP 神经网络拟合对生物量进行评估^[19];赵鑫^[20]基于数字航空像片对 64 个固定样地的 8 个树种提取树高和冠幅,树高平均精度为 74.76%,冠幅的平均精度为 80.16%。

3 林业调查装备产品与系统平台关键技术

3.1 手持式数字化多功能电子测树枪与 MINI 测树超站仪

北京林业大学精准林业北京市重点实验室研制了一种手持式数字化多功能电子测树枪(图 1)^[6],该设备以 MEMS(Micro-electro-mechanical systems)测角传感器、激光测距传感器、电子罗盘等主要硬件为基础,通过测量距离、倾角、方位角 3 个参数,基于三角函数原理,嵌入操作软件,实现了树高测量、林分平均高测量、株数密度测量、角规绕测、任意高度直径测量、基本测量 6 项功能。距离测量,附加反射片时测量范围为 0.5~100 m,树体自身反射时测量范围为 0.5~60 m,最小显示单位为 1 mm,激光等级为Ⅱ级,测量误差 5 mm。倾角测量范围为-75°~75°,测量精度为±0.3°。方位角测量范围为 0°~360°,测量精度为 1°。



图 1 手持式数字化多功能电子测树枪
Fig.1 Handheld digitalized and multi-functional forest measurement gun

1. 角规 2. 红光指示器 3. 电子测距 4. 拆卸口 5. 内置电池

同时,在手持式数字化多功能电子测树枪的基础上研制出了 MINI 测树超站仪。MINI 测树超站仪是一款集测距、测角、摄影测量、采集 GPS 坐标等功能于一身的新型仪器,特点是简洁轻便、功能齐全,除具有手持式数字化多功能电子测树枪的功能外,还可以广泛应用于导线测量、样地测量、CCD 测胸径与 GPS 定位等。MINI 测树超站仪由内置处理器、测距模块、码盘、MEMS 传感器、北斗 GPS 模块和 CCD 镜头组成,如图 2 所示。

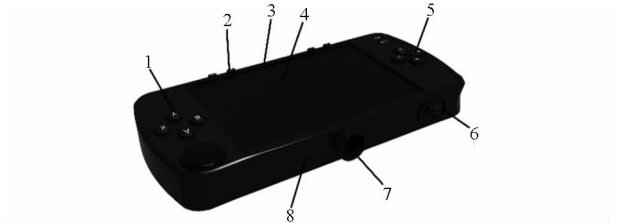


图 2 MINI 测树超站仪
Fig.2 MINI tree measurement smart stations

1. 操作按键 2. 电源开关 3. Micro USB 接口 4. 显示器 5. 控制按钮 6. 测距模块 7. CCD 镜头 8. 内部部件(GPS、MEMS、码盘)

徐伟恒等^[15]对手持式电子测树枪的功能和精度进行了试验验证,试验结果表明:树高测量精度为 99.39%,角规测树精度为 95.25%,林分平均高测量精度为 94.97%,株数密度测量精度为 96.11%,任意处直径测量精度为 95.58%,测径处高度测量精度为 98.75%,倾角测量精度为±0.3°,方位角测量精度为±1°,距离测量精度为±5.56 mm。电子测树枪的各功能测量精度能满足林业调查的精度要求,可以在林业行业中进行推广使用。手持式数字化多功能电子测树枪可应用于高郁密度地区,核心在于测量树高。缺点在于测量胸径时精度较低;MINI 测树超站仪主要应用于中低郁密度地区,能够自动测量树木胸径。缺点是对近距离处胸径的测量不便。

3.2 立木精测系统技术

3.2.1 测树电子经纬仪 FET-2

在森林资源监测过程中,伐倒解析是精确度较高的测量方法,但是其成本高,工作效率低,并不适合大规模的森林资源清查工作,且损耗了很多树木,特别是对于珍稀宝贵树种,选择无损精立木材积测量是保护濒危物种的有力措施。何诚等^[21]、贾振轩等^[22]利用 FET-2 型测树电子经纬仪(图 3)在无伐倒、无破坏的情况下对活立木进行了无损精测与样地试验。该仪器测角精度为 $\pm 0.5''$,通过高精度测量活立木的物理特性,如:胸径、树高、冠幅、材积、自动测量任一高度处直径等,建立一元、二元、甚至多元材积表,为国家森林调查提供了依据。孙梦营等^[23]在甘肃省利用无伐倒立木精测技术编制材积表,通过全站仪、电子经纬仪测量,调查主要树种的材积,测量 2 个树种、共 440 棵标准木,通过相应软件进行数据处理,建立该树种一元、二元材积模型和材积表,目前该技术已在甘肃省天水市、平凉市、舟曲县等地区进行试验应用。测树电子经纬仪立木材积测算原理图见文献^[24]。



图 3 FET-2 型测树电子经纬仪

Fig. 3 FET-2 electronic theodolite for tree measurement

3.2.2 测树全站仪

全站仪(图 4)测树是近年来发展的一种高精度测树方法。徐文兵等^[25]采用自由设站法的多种形式,通过双边交汇法测定树木三维坐标,误差小于 5 cm,相对误差一般小于 1/200;林观土等^[26]证明可将全站仪运用在森林生态调查定位中;郑怀兵等^[27]提出了免棱镜全站仪对边测量原理的立木树干直径精准量测方法,误差在 0.4 mm 以内;李立存等^[28]对全站仪和 Vertex VI 测高仪的测量树高的精度进行了比较,得出测高仪测得的总平均树高略小于全站仪测量结果;谢鸿宇等^[29]使用无棱镜全站仪进行了树高及树冠量测试验;王智超等^[30]基于 Windows CE 平台全站仪,开发了专业测树程序,解决了测树型全站仪在外业之后需要大量的内业工作才能得到相关树木生物参数这一难题,并经过检验,成功解决了全站仪测树内外业一体化的问题。测树全站仪内嵌专业测树软件(图 5)和 Windows CE 人性化操作

平台,能够精密测量水平角、倾角和距离,并存储记录大量数据,测树全站仪内含样地测量、立木材积精测、遮挡树高材积测量及多边形法样地测量功能模块。



图 4 FTS-2 型测树全站仪

Fig. 4 FTS-2 total station instrument for tree measurement



图 5 测树全站仪后处理软件界面

Fig. 5 Software interface of total station instrument for tree measurement

赵芳等^[31]运用全站仪对内蒙古赤峰市喀喇沁旗西南部的旺业甸林场的 188 株落叶松和 146 株白桦进行量测,测算树高和材积的精度均达到 70% ~ 90%;此外,北京林业大学精准林业北京市重点实验室试验小组在北京市 34 块森林固定样地进行了验证,其中乔木样地 30 块、灌木样地 4 块,主要分布在北京市区以及密云、怀柔、平谷、房山、石景山等周边区县,样地中树种约 65 种。北京市森林固定样地调查试验分别于 2011、2012 年 8—10 月份进行,小组对每块样地均进行每木检尺,调查样木达 24 500 棵以上,精度达到 90% 以上^[1]。

3.2.3 三维激光扫描系统森林植被冠体提取

三维激光扫描系统也称为三维激光成图系统,主要由三维激光扫描仪和系统软件组成,其工作目标就是快速、方便、准确地获取近距离静态物体的空间三维模型,以便对模型进行进一步的分析和数据处理。该系统具有扫描范围大、速度快、精度高和易于建模等优点,因此也成为当前森林调查中的重要装备。地面三维激光扫描系统 Terrestrial LiDAR (TLiDAR)由地面三维激光扫描仪 FARO Photon 120(图 6)、数码相机、配准球、支架以及附属设备构成,通过非接触激光测量方式获取目标物表面点云数据^[1,32-33]。

徐伟恒等^[13]为实现单木树冠投影面积和树冠

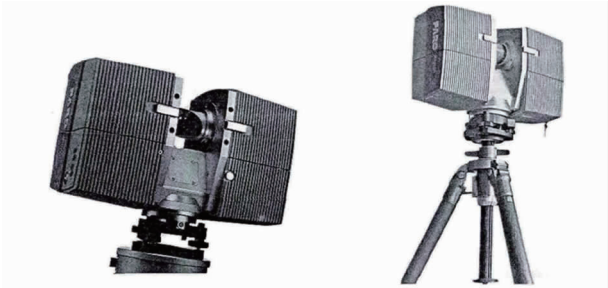


图6 FARO Photon 120 型三维激光扫描系统
Fig. 6 FARO Photon 120 3D laser scanner

体积的自动提取和精准测量,以三维激光扫描获取的树木点云数据为数据源,运用平面散乱点集凸包算法——Graham 扫描算法和不规则体切片分割累加算法,以 VC++ 和 Matlab 7.0 混合编程,实现树冠投影面积和树冠体积的自动提取,以此来估测单木生物量,在精准林业领域具有推广应用价值;韦雪花等^[34]针对树冠形状不规则、树冠体积难以测量和计算的问题,提出一种基于三维激光扫描点云的树冠体积计算方法——体元模拟法,该算法对于任何树种不用考虑树冠的形状,减少了人为判别导致的差异;刘峰等^[35]采用黑龙江省长白山地区长白落叶松人工林 LiDAR 数据和野外调查补充样地数据,利用树冠高层模型和三维点云分割相结合的方法实现单木识别,选择逐步回归分析法进行单木参数和生物量估算;王佳等^[36]利用三维激光扫描仪获取单株树木的点云数据,通过点云数据的处理提取测树因子,求算三维绿量;Heurich^[37]通过激光扫描树高和树冠半径,采用多元回归方程来确定树高、冠幅、胸径和单木材积;赵芳等^[14]在北京鹫峰森林公园林场,利用三维扫描系统在样地内对油松、龙爪槐、银杏 3 种树种、共 180 株标准木进行了立木三维扫描,获取精确的立木胸径、树高、冠幅等基本测树因子,并根据点云数据构建树木模型,实现树干的三维表面重建,得到精确单木材积,然后由这些精确的单木材积数据回归建立一元立木材积模型、二元立木材积模型。通过内、外复合精度检验之后,最终所得模型所描绘的曲线与三维激光扫描所构建的材积曲线基本上一致,说明这种方法能够用于回归建立立木材积模型及材积表。

3.2.4 手机/单片摄影测量系统

智能手机凭借其内置的摄像头、角度传感器、内核处理器等可使其在功能上满足普通摄影测量和林业记录的需求。北京林业大学精准林业北京市重点实验室以智能手机为工具,成功研发了手机单片摄影测量软件及手机控制广角镜头的数字摄影测量系统软件,该软件是在 Eclipse 平台上使用 Java 语言编写的 Android 手机软件。

手机单片摄影测量软件主要用于测量树高、胸径和材积。它是利用手机正直平行摄影一棵树,取其照片上胸径处的高度,结合图片上树根、胸径、树高等地方的像点位置,反算出树的胸径和树高,继而计算出树的材积。

应用手机控制广角镜头的数字摄影测量系统对单木及林分样地进行定量计测,研究能够满足森林计测必要精度的条码标志,自动提取树木树种、任意高处的直径、树高及相对坐标,进而获取单木及样地包括材积、蓄积、生物量、密度、径阶密度等信息,建立森林数字摄影样地模型,为森林调查内外业一体化提供了新的理论技术和方法,提高了样地观测处理分析的效率和自动化程度,克服了以往样地信息计测中作业复杂、劳动强度大、信息单一等难题。

3.3 智能手机/平板森林观测记录系统

在森林资源调查中,传统的野外调查记录都靠林业工作者外业现场以纸质的形式记录数据,回到室内整理,再录入为电子数据资料,该方法工作重复性大,数据核查困难。智能手机/平板森林观测记录系统(图 7)是一款配合森林一调、二调、三调所形成的一套记录系统,该软件是利用 Android 系统,用 Java 语言在智能手机/平板上开发出的一种能够取代传统调查卡片的软件,能够实时自动记录数据并保存到手机数据库内,并且能够在回到内业后直接导入计算机数据库中。该软件在手机上自动形成表格,并且利用手机内存能大量地记录保存调查内容。调查结束可以直接导出 Excel 数据,形成数据的电子化。



图7 森林一类调查记录卡片
Fig. 7 Forest inventory record card

3.4 无人机森林观测

无人机航空摄影系统作为一个新兴产业正蓬勃发展,且日渐完善,在森林资源的调查中备受瞩目。无人机具有机动快速、使用成本低、维护操作简单等特点,具有对地快速实时调查监测能力,是一种新型的低空高分辨率遥感影像数据快速获取系统。无人机系统运输便利、升空准备时间短、操作简单,可快速到达监测区域,搭载数码相机可在短时间内快速获取遥感监测结果。可按预定飞行航线自主飞行、

拍摄,航线控制精度高,飞行姿态平稳。无人机飞行高度为 50 ~ 1 000 m,在云下低速飞行,倾斜角可小于 20°,飞行平台轻小型化,虽抗干扰能力差,但起降飞行约束少,高效机动灵活,精度可达 90% 以上。近年来,我国针对各种无人机航测系统进行了比较详细的对比研究,认为无人机航测系统具有高效率、低成本、操作简单等优点^[38],李宇昊^[39]通过试验,研究了无人机在林业调查中的应用技术,论证了无人机在林业调查中的可行性。崔新宇等^[40]对无人机在林火中的监测和预警进行了论述。针对小班或固定样地,樊江川^[41]利用无人机(图 8)搭载普通数码相机试验拍摄高分辨率航空影像,并对像片进行拼接处理等,精确获取小班或固定样地面积、林木的林分密度、单棵立木树高等信息。



图 8 多旋翼无人机
Fig. 8 Multi-rotor UAV

3.5 遥感森林反演

林业资源是整个林业发展的核心部分,而森林蓄积量则是描述森林资源最直观的定量数据,以卫星遥感数据为信息源,结合计算机技术,对森林蓄积量、生物量进行定量化、定性化表达,结合大量各种数学模型进行遥感信息的反演是现代森林调查(监测)体系的重要技术手段^[42]。White 等^[43]探讨了星载高光谱遥感数据的关系和森林结构的几种措施;Oehmichen 等^[44]以 Landsat 5、Landsat 7 和 QuickBird 卫星影像为数据源并辅以调查现场数据提出了一种基于卫星的方法来确定大尺度森林林区数据,满足德国国家森林资源清查的要求。丁敏^[45]在内蒙古旺业甸林场建立了生物量反演模型。试验中利用 2012 年 5—7 月份的外业实地测量所得样地的生物量数据结合 TM 多光谱影像,建立样地反演生物量回归模型。结果显示阔叶林模型与针叶林模型的模型拟合数据显示多元线性模型的复相关系数 R 为 0.81、0.76,决定系数 R^2 为 0.64、0.58。拟合情况良好,2 个模型的预估精度较高,分别达到 82.51%、80.12%。

3.6 采伐调查与造材设计

3.6.1 采伐设计

近年来,采伐设计的合理化与最优化成为森林三调的重点。综合 3 类调查主要作业范围,面向森

林小班信息,通过外业观测、数据整合计算以及制图统计,完成合理采伐设计,可以实现最优择伐。金广超等^[46]通过图形库与档案库的互查联动,全面掌握了伐区情况,伐区设计的图文材料一次同时完成,形成从采伐许可、组织伐区作业到伐区验收一整套严格的采伐作业管理程序;张同新等^[47]以宽甸县永甸镇为试验区,对采伐作业设计工作流程进行了分析,开发了一套前后端一体化的采伐作业设计系统,并分析了该系统的关键技术。

在传统的森林资源三类调查中,需要对伐区内的林木进行每木检尺,然后进行采伐设计,其工作量大,周期长。北京林业大学精准林业北京市重点实验室研制的 3D 角规有别于传统的水平抽样和垂直抽样角规,是一种更加快捷测定林分参数的仪器,其测树原理参照文献[6]。3D 角规可量测并记录计数木的树种、胸径、树高、相对坐标等信息,通过结合森林一元材积表、二元材积表、树高胸径模型等常用林业数表,实现采伐小班密度、林分平均高及径阶平均高、平均胸径及径阶胸径的计算,进而计算林分出材率、废材率等。该方法工作量只有传统工作量的 1% ~ 2%,且精度整体上相当,可有效减少工作量,提高工作效率。

3.6.2 造材设计

随着 GIS 的发展,造材设计系统的实现技术已日趋完善,造材模型的设计也有了发展。早在 1994 年,李福秀等^[48]应用计算机技术对供造林设计使用的计算机造林设计系统进行了探讨;吴发云^[49]研究了基于 GIS 的北京造林规划设计及管理系统。目前,在造材设计中采用较为先进的人工神经网络——遗传算法(ANN-CA)能够拟合出更为准确的造材模型。

3.7 林业 GIS 平台研建

林业 GIS 平台的研建是将地面仪器精准测量、轻小型/无人机摄影测量以及卫星遥感影像三方面数据集中在一个统一管理的信息系统中并能相互调用,以此有效地将外业测量获取的数据在 GIS 平台上进行精准、高效、快速的处理,并能在各比例尺上对林业资源进行动态地精准观测,及时有效地做出相关造林决策,实现森林资源信息管理以及动态监测。

林业 GIS 平台是在外业数据基础上开发的,其主要功能包括:林地面积计算、单木材积计算、每公顷断面积计算、每公顷株数计算、林分蓄积量计算、林分生物量计算、导线测量、坐标放样处理以及各相应功能的统计图、统计表输出等。该平台实现了林业森林一、二、三类调查中统计表、林相图、分布图和

专题图等成果的综合表达。林业 GIS 平台的信息化建设以及相应软硬件产品的结合,促进了林业资源调查的一体化、智能化和集成化。

4 结束语

森林资源调查不仅仅是利用单一的工具进行野外现地调查,而是多项技术的集成,是调查装备高度协同的过程。伴随计算机、互联网技术的高速发展,遥感、地理信息也蓬勃发展,森林调查同样得益于3S 技术而从传统调查方式转向精准化林业调查。同时,森林资源的调查对象也由单纯的植被扩大到

了林区气候气象、土壤、水文、地质、地形地貌以及森林动物等方面。今后将在森林大数据背景中进行深层次的数据挖掘,更好地将遥感、无人机获取的数据与现地精准调查数据相结合,总结造林、护林等更多的机理与规律,深入植物、动物生境分析等,更好地为森林生态、造林决策服务。在森林计测仪器方面,可通过电子测树枪等仪器进行森林地面精准调查,并凭借互联网技术配合手机云端传输,促使森林计测仪器进入到与地理信息系统技术、摄影测量技术、遥感技术、信息技术、空间技术、影像技术、图形技术集成和结合的时代。

参 考 文 献

- 1 闫飞. 森林资源调查技术与方法研究[D]. 北京:北京林业大学, 2014.
Yan Fei. Research of technology and method of forest resource inventory [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2014. (in Chinese)
- 2 董乃钧,周昌祥,沙琢. 国外森林调查的一些技术[J]. 林业资源管理, 1973(1): 22 – 27.
- 3 李留瑜. 林业调查技术的回顾与思考[J]. 林业资源管理, 1999(5): 50 – 57.
- 4 李芝喜. 国际森林调查(监测)指南技术体系分析[J]. 云南林业调查规划设计, 1998(1): 4 – 7.
- 5 朱胜利. 国外森林资源调查监测的现状和未来发展特点[J]. 林业资源管理, 2001(2): 21 – 26.
- 6 徐伟恒. 手持式超站测树仪研制及功能测试研究[D]. 北京:北京林业大学, 2014.
Xu Weiheng. Study on handheld tree measurement smart station manufacture and function test [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2014. (in Chinese)
- 7 Maselli F, Mari R, Chiesi M. Use of LiDAR data to simulate forest net primary production[J]. International Journal of Remote Sensing, 2013, 34(7): 2487 – 2501.
- 8 Strunk J, Temesgen H, Andersen H, et al. Effects of LiDAR pulse density and sample size on a model-assisted approach to estimate forest inventory variables[J]. Canadian Journal of Remote Sensing, 2012, 38(5): 644 – 654.
- 9 Bhattarai B, Giri C. Assessment of mangrove forests in the Pacific region using Landsat imagery[J]. Journal of Applied Remote Sensing, 2011, 5(1): 3509 – 3520.
- 10 Roberts J W, Van Aardt J A N, Ahmed F B. Image fusion for enhanced forest structural assessment[J]. International Journal of Remote Sensing, 2011, 32(1): 243 – 266.
- 11 张园,陶萍,梁世祥,等. 无人机遥感在森林资源调查中的应用[J]. 西南林业大学学报, 2011, 31(3): 49 – 53.
Zhang Yuan, Tao Ping, Liang Shixiang, et al. Research on application of UAV RS techniques in forest inventories [J]. Journal of Southwest Forestry University, 2011, 31(3): 49 – 53. (in Chinese)
- 12 刘安兴. 森林资源年度监测理论与方法研究[D]. 南京:南京林业大学, 2006.
Liu Anxing. Study on the annual forest resources monitoring theory and method [D]. Nanjing: Nanjing Forestry University, 2006. (in Chinese)
- 13 徐伟恒,冯仲科,苏志芳,等. 一种基于三维激光点云数据的单木树冠投影面积和树冠体积自动提取算法[J]. 光谱学与光谱分析, 2014, 34(2): 465 – 471.
Xu Weiheng, Feng Zhongke, Su Zhifang, et al. An automatic extraction algorithm for individual tree crown projection area and volume based on 3D point cloud data [J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2014, 34(2): 465 – 471. (in Chinese)
- 14 赵芳,韦雪花,高祥,等. 三维激光扫描系统在建立单株立木材积模型中的研究[J]. 山东农业大学学报:自然科学版, 2013, 44(2): 231 – 238.
Zhao Fang, Wei Xuehua, Gao Xiang, et al. Research on establish single trees volume model by 3D laser scanning system [J]. Journal of Shandong Agricultural University: Natural Science Edition, 2013, 44(2): 231 – 238. (in Chinese)
- 15 徐伟恒,冯仲科,苏志芳,等. 手持式数字化多功能电子测树枪的研制与试验[J]. 农业工程学报, 2013, 29(3): 90 – 99.
Xu Weiheng, Feng Zhongke, Su Zhifang, et al. Development and experiment of handheld digitalized and multi-functional forest measurement gun [J]. Transactions of the CSAE, 2013, 29(3): 90 – 99. (in Chinese)
- 16 董斌,冯仲科,姚山,等. 天地空立体化森林精准自动计测技术研究[J]. 北京林业大学学报. 2008, 30(1): 173 – 177.
Dong Bin, Feng Zhongke, Yao Shan, et al. Aerial-ground-space precision auto-measurement technology in stereo forest surveying [J]. Journal of Beijing Forestry University, 2008, 30(1): 173 – 177. (in Chinese)
- 17 邢艳秋. 基于 RS 和 GIS 东北天然林区域森林生物量及碳贮量估测研究[D]. 哈尔滨:东北林业大学, 2005.
Xing Yanqiu. Regional forest biomass and carbon storage estimation study for northeast natural forest based on RS and GIS [D].

- Harbin: Northeast Forestry University, 2005 (in Chinese)
- 18 孙小添. 基于 MODIS 数据反演森林地上生物量的研究[D]. 哈尔滨:东北林业大学, 2014.
Sun Xiaotian. A study on forest aboveground biomass based on MODIS data[D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2014. (in Chinese)
- 19 张元元. 大兴安岭地区森林生物量遥感模型的研究[D]. 哈尔滨:东北林业大学, 2009.
Zhang Yuanyuan. The research on the remote sensing model for forest biomass in Daxingan Mountains[D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2009. (in Chinese)
- 20 赵鑫. 基于数字航空像片样木的测树因子的估测研究[D]. 哈尔滨:东北林业大学, 2013.
Zhao Xin. Based on the estimation of measurement factors in digital aerial photograph[D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2013. (in Chinese)
- 21 何诚, 张思玉, 冯仲科. 一种电子经纬仪立木材积精准测算方法[J]. 测绘通报, 2014(6): 116–119.
He Cheng, Zhang Siyu, Feng Zhongke. A fine estimation of standing tree volume based on electronic theodolite[J]. Mapping Bulletin, 2014(6): 116–119. (in Chinese)
- 22 贾振轩, 冯仲科, 焦有权, 等. 无伐倒活立木材积精准计测原理与试验[J]. 中南林业科技大学学报, 2014, 34(5): 31–36.
Jia Zhenxuan, Feng Zhongke, Jiao Youquan, et al. Accurate measurement principle and experiment of timber volume by no-felled standing tree method[J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2014, 34(5): 31–36. (in Chinese)
- 23 孙梦营, 冯仲科, 闫飞, 等. 电子经纬仪自动精测立木材积原理与应用[J]. 林业资源管理, 2013(5): 80–84.
Sun Mengying, Feng Zhongke, Yan Fei, et al. Principle and application of automatic accurate measurement of stem volume by using electronic theodolite[J]. Forest Resources Management, 2013(5): 80–84. (in Chinese)
- 24 高祥, 冯仲科, 王智超. 基于电子经纬仪无损立木精测技术的干形指数研究[J]. 农业机械学报, 2015, 46(1): 299–305.
Gao Xiang, Feng Zhongke, Wang Zhichao. Study on stem form index based on non-destructive precision measurement through electronic theodolite for larix principis-rupprechtii in China[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(1): 299–305. (in Chinese)
- 25 徐文兵, 汤孟平. 全站仪双边交会法测定树木三维坐标[J]. 浙江林学院学报, 2010, 27(6): 815–820.
Xu Wenbing, Tang Mengping. Tree's 3D coordinates positioned by two-side intersection with total station[J]. Journal of Zhejiang Forestry College, 2010, 27(6): 815–820. (in Chinese)
- 26 林观土, 王长委, 韩锡君, 等. 全站仪在森林生态系统大样地定位中的应用[J]. 测绘科学, 2011, 36(4): 242–243.
Lin Guantu, Wang Zhangwei, Han Xijun, et al. Application of total station in the positioning of large-scale plot sampling in forest ecosystem[J]. Science of Surveying and Mapping, 2011, 36(4): 242–243. (in Chinese)
- 27 郑怀兵, 张民, 侠冯浩. 一种全站仪精准量测立木直径的方法[J]. 北京林业大学学报, 2014, 36(6): 36–40.
Zheng Huabing, Zhang Min, Xia Fenghao. A precise method to measure the trunk diameter of standing tree using total station[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2014, 36(6): 36–40. (in Chinese)
- 28 李立存, 张淑芬, 邢艳秋. 全站仪和测高仪在树高测定上的比较分析[J]. 森林工程, 2011(4): 38–41.
Li Licun, Zhang Shufen, Xing Yanqiu. Comparative analysis on tree height measured by total station and vertex IV altimeter[J]. Forest Engineering, 2011(4): 38–41. (in Chinese)
- 29 谢鸿宇, 温志庆, 钟世锦, 等. 无棱镜全站仪测量树高及树冠的方法研究[J]. 中南林业科技大学学报, 2011, 31(11): 53–58.
Xie Hongyu, Wen Zhiqing, Zhong Shijin, et al. Measure method research of tree height and tree crown by non-prism total station[J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2011, 31(11): 53–58. (in Chinese)
- 30 王智超, 冯仲科, 闫飞, 等. 全站仪测树的内外业一体化方法研究[J]. 西北林学院学报, 2013, 28(6): 134–138.
Wang Zhichao, Feng Zhongke, Yan Fei, et al. Integrated indoor and field forest measurement by using total station[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2013, 28(6): 134–138. (in Chinese)
- 31 赵芳, 冯仲科, 高祥, 等. 树冠遮挡条件下全站仪测量树高及材积方法[J]. 农业工程学报, 2014, 30(2): 182–190.
Zhao Fang, Feng Zhongke, Gao Xiang, et al. Measure method of tree height and volume using total station under[J]. Transactions of the CSAE, 2014, 30(2): 182–190. (in Chinese)
- 32 郑君. 基于三维激光扫描技术的单木量测方法研究与实现[D]. 北京:北京林业大学, 2013.
Zheng Jun. Research and implementation of single tree measurement method based on 3D laser scanning technology[D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2013. (in Chinese)
- 33 巩垠熙, 何诚, 冯仲科, 等. 基于改进 Delaunay 算法的树冠三维重构单木因子提取[J]. 农业机械学报, 2013, 44(2): 192–199.
Gong Yinxi, He Cheng, Feng Zhongke, et al. Amended Delaunay algorithm for single tree factor extraction using 3-D crown modeling[J]. Journal of Agricultural Machinery, 2013, 44(2): 192–199. (in Chinese)
- 34 韦雪花, 王卫国, 郑君, 等. 基于三维激光扫描点云的树冠体积计算方法[J]. 农业机械学报, 2013, 44(7): 235–240.
Wei Xuehua, Wang Yongguo, Zheng Jun, et al. Tree crown volume calculation based on 3-D laser scanning point clouds data[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(7): 235–240. (in Chinese)
- 35 刘峰, 谭畅, 张贵, 等. 长白落叶松单木参数与生物量机载 LiDAR 估测[J]. 农业机械学报, 2013, 44(9): 219–224, 242.
Liu Feng, Tan Chang, Zhang Gui, et al. Estimation of forest parameter and biomass for individual pine trees using airborne LiDAR

- [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013,44(9):219–224,242. (in Chinese)
- 36 王佳,杨慧乔,冯仲科. 基于三维激光扫描的树木三维绿量测定[J]. 农业机械学报, 2013,44(8): 229–233.
Wang Jia,Yang Huiqiao,Feng Zhongke. Tridimensional green biomass measurement for trees using 3-D laser scanning[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013,44(8): 229–233. (in Chinese)
- 37 Heurich M. Automatic recognition and measurement of single trees based on data from airborne laser scanning over the richly structured natural forests of the Bavarian Forest National Park [J]. Forest Ecology and Management,2008, 255(7): 2416–2433.
- 38 王青山. 简述无人机在遥感技术中的应用[J]. 测绘与空间地理信息,2010,33(3):100–101.
Wang Qingshan. UAV applications in remote sensing technology[J]. Geomatics & Spatial Information Technology, 2010,33(3): 100–101. (in Chinese)
- 39 李宇昊. 无人机在林业调查中的应用实验[J]. 林业资源管理, 2007(4):70–73.
Li Yuhao. Experiment on using unmanned aerial vehicle in forest investigation[J]. Forest Resources Management, 2007(4):70–73. (in Chinese)
- 40 崔新宇,刘艳萍. 关于无人机在森林防火监测方面的探究[J]. 科技与创新, 2014(7):128–130.
Cui Xinyu,Liu Yanping. About UAV explore aspects of forest fire monitoring [J]. Science and Technology & Innovation, 2014(7):128–130. (in Chinese)
- 41 樊江川. 无人机航空摄影测树技术研究[D]. 北京:北京林业大学, 2014.
Fan Jiangchuan. Study of the tree measurement technology by UAV aerial photography[D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2014. (in Chinese)
- 42 赵芳. 测树因子遥感获取方法研究[D]. 北京:北京林业大学, 2014.
Zhao Fang. Research of measuring trees factor method by remote sensing[D]. Beijing:Beijing Forestry University,2014. (in Chinese)
- 43 White J C, Gomez C, Wulder M A, et al. Characterizing temperate forest structural and spectral diversity with Hyperion EO–1 data [J]. Remote Sensing of Environment, 2010, 114 (7): 1576–1589.
- 44 Oehmichen K, Koehl M. Proposal for a satellite based method to obtain forest maps for the german national forest inventory (“Bundeswaldinventur”)[J]. Photogrammetrie Fernerkundung Geoinformation,2008(6): 499–507.
- 45 丁敏. 旺业甸林场森林生物量遥感反演研究[D]. 北京:北京林业大学,2013.
Ding Min, Research on the remote sensing inversion of forest biomass in Wangyedian forestry farm[D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2013. (in Chinese)
- 46 金广超,郑文秀. 浅谈地理信息系统技术在伐区采伐作业调查设计中的应用[J]. 林业勘查设计, 2006(1):83.
Jin Guangchao, Zheng Wenxiu. Superficial talking about the application of geographic information system technology in cutting operating investigation and design[J]. Forestry Exploration and Design,2006(1):83. (in Chinese)
- 47 张同新,刘永杰. 基于移动 GIS 的采伐设计系统的研究[J]. 辽宁林业科技,2011(2):25–30.
- 48 李福秀,周蛟,张兆国,等. 提高造林技术的研究——应用计算机技术进行造林设计[J]. 北京林业大学学报,1994,16(增刊2): 11–15.
- 49 吴发云. 基于 GIS 的北京造林规划设计及管理系统的研建[D]. 北京:北京林业大学, 2005.
Wu Fayun. Study and development on silviculture planning and design and management system based on GIS in Beijing[D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2005. (in Chinese)