



Views & Comments

中国森林资源检测体系建设关键技术

赵修莉, 冯仲科, 周扬扬, 林奕成

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

1. 引言

森林作为人类重要的资源宝库, 不仅具有不可替代的经济效益, 更具有维持陆地生态系统平衡的生态效益, 是生物圈的能量基地。随着信息化和全球化发展, 为了实现林业资源的可持续发展, 人们对从森林资源调查中获得有关单木和林分的准确信息的需求日益增长[1–6]。与传统测量工具相比, 无人机(UAV)航空摄影测量技术具有高效快捷、操作简便、作业成本低等优势, 在农业、林业等各个领域都得到了广泛的应用[7–9]。随着各类传感器的小型化和多样化, 作为信息获取的一种重要方式, 无人机将会被应用到越来越广泛的领域。作为数字化时代中另一种不可代替的技术——地理信息系统(geographic information system, GIS)也得到了飞速发展。与此同时伴随着组件技术、互联网技术等的发展。随着这些技术的发展, 地理信息系统开始走向组件化和网络化, 其传统功能也得到日趋完善。例如, 数据编辑、查询统计、空间分析以及空间数据引擎等技术的发展都为GIS在各行业的应用提供了强有力的技术支持和理论保障[10]。

森林资源是林地及其所生长的森林有机体的总称, 是生物多样性的体现, 森林资源为人类的生产生活提供了必需的物质基础。因此, 如何高效、准确、快速地获取森林资源信息, 成为林业行业的热点问题。森林资源检测是一项对森林资源的数量、质量、空间分布及其利

用状况进行定期定位观测分析和评价的工作, 其目的是及时掌握森林资源现状和消长变化动态以及预测森林资源发展趋势, 为林业经营管理的科学决策服务。中国森林资源调查最早始于甘肃省洮河林区的森林资源清查, 是1950年由国家林垦部(现为中华人民共和国自然资源部)组织的[11]。从20世纪60年代开始, 抽样调查理论及技术、遥感技术(RS)、GIS技术、定位和导航系统技术等新型技术被应用到林业调查中[12], 促进了森林资源调查技术的发展, 以及中国森林资源调查技术体系雏形的形成。

到20世纪80年代, 中国森林资源调查的基本框架才初步形成。国家森林资源调查被分为三类: ① 国家森林资源连续清查(一类调查), 是以全国为清查对象的森林资源调查, 其目的是摸清家底以及了解宏观森林资源现状与动态, 为林业方针、方案、规划、设计提供依据; ② 森林资源规划设计调查(二类调查), 是以区划的小班为单位开展的调查, 其目的是充分掌握基层林业生产单位现状, 并为分析和检查森林活动经营效果以及制定森林可持续经营方案提供依据; ③ 作业设计调查(三类调查), 一般是为企业生产作业设计而进行的调查。自21世纪以来, 以信息技术为先导, 单一测树因子已不能满足实际生产需求, 而森林知识挖掘、森林资源精准测量以及森林观测年度数据的获取逐渐成为现代森林资源调查监测的重点[13,14]。

中国的森林资源管理在完整性和成熟度方面还有待

进一步提高，这也导致中国森林资源调查依然面临着一些现实性问题。具体来说，有关森林资源调查的检测系统没有得到广泛应用，与国外的森林资源测量标准相比，中国的相关标准还有待进一步完善。这些差距不仅体现在森林资源动态更新的系统建立方面，还体现在数据更新技术方面，因此，中国森林资源动态评估的现代化程度还不够。显而易见，无论是5年一次的一类调查数据，还是10年一次的二类调查数据，都无法全面掌握中国森林资源现状及动态变化情况，特别是森林年度生长量状态[15]。因此，迫切需要利用森林生长模型来预测推估森林资源年度数据。中国森林资源调查技术比较落后，早期的森林资源调查主要依靠人工完成，研究人员需通过实地调查，然后手动计算获取数据。这种方法使森林资源调查的成本高、效率低且精确度不高。随着科学技术的发展，中国森林资源调查技术逐渐从依靠人工转变为人工与遥感相结合的模式，遥感技术的应用大大提高了调查效率。然而，这种转变并未从根本上解决森林资源实地调查的模式，森林资源调查仍然需要消耗大量的人力和物力。因此，迫切需要建立动态的森林资源生态系统仿真模型，以进一步节约人力和物力，从而实现了对森林生态系统进行精细化的管理与计算。森林资源调查和检测体系流程图如图1所示。

2. 森林资源检测系统研建

2.1. 基于互联网+的体系研建

中国森林资源调查主要包括一、二、三类调查。森林资源一类调查主要以森林固定样地为主进行每木检尺调查。森林资源二类调查主要以小班为单位进行调查，记录小班的面积、林分蓄积量、林分平均高、郁闭度、立地环境等信息。森林资源三类调查是以采伐区为单位进行的调查，是为主伐作业和营林作业服务的。

2.2. 研建一类连续清查样地生长模型

为实现中国森林资源的精细化管理，准确地掌握森林资源状况，尤其是资源数据的动态变化情况及树木生长与立地环境之间的关系是十分必要的。具体而言，立地环境是指对林木生长有影响的各个环境因子的综合，主要包括地形地势、气温、降雨量、土壤、株数密度等因子[16]。立地环境直接关系到森林经营的各个方面，如生产效率、经济效益、采伐收获、森林培育的方向以及生长速度等。中国森林生长量预测模型对森林精准经营和规划管理具有重大的现实意义。森林资源的量化管理以及森林生长量的预测预估，可更好地实现不同林分条件下森林资源的抚育、间伐、轮伐以及补植、移栽等

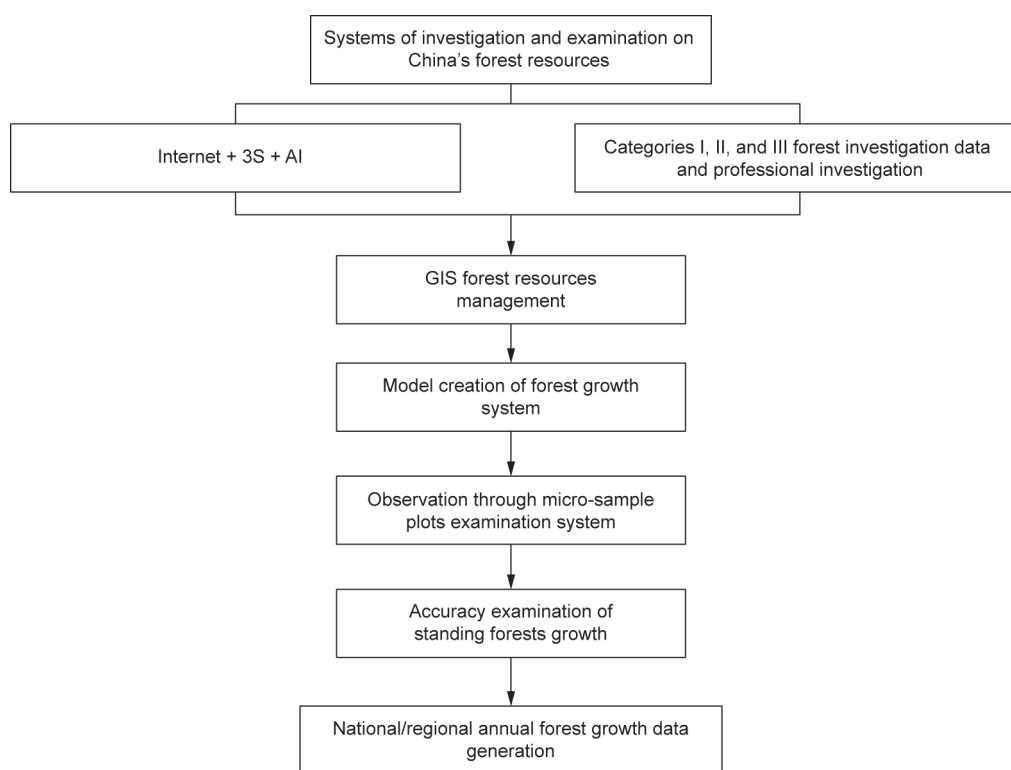


图1. 中国森林资源调查和检测体系流程图。3S: 遥感技术、全球定位系统、地理信息系统; AI: 人工智能。

经营管理[17],而且,能够在获得较高的经济价值效益的同时实现森林资源的可持续发展。本研究根据福建省连清样地多期一类调查数据,即各区域经度纬度、海拔、气温、降雨量数据以及各样地坡度、坡向、坡位、土壤厚度数据,研建了包括生长格局(立地环境)指数和生长结构(地位级)指数的中国森林生长量预测模型,如公式(1)所示。

$$\Delta Y_{t+\Delta t}^j = A_j \cdot Y_t^{j_2} \cdot e^{-b_j \cdot Y_t^j} \cdot X_p^i \cdot X_s^k \quad (1)$$

式中, j 是中国主要乔木树种; Y_t 是被调查的乔木胸径信息; $\Delta Y_{t+\Delta t}^j$ 是5年后预测的生长量; A_j 是 j 树种生长速度系数; b_j 是 j 树种生长加速度系数; X_p^i 是第 i 种生长格局(立地环境)指数; t 是树龄; X_s^k 是第 k 种生长结构(地位级)指数。

3. 微样地检测系统观测

基于互联网+,可将县域级全部森林小班依调查因子聚类分析为100~300个独立异质化小班类,通过对这100~300个小班进行精测调查,可反映全部小班的整体情况[12]。对每个森林小班的观测,可采用精准测树法,即微样地林分观测法(5~9棵树)。微样地观测是以多边形样地法为基础衍生出的一种高效能、低误差、标准化的样地抽样调查方法。微样地观测的基本方法是以一棵观测树木为中心,在其周围选取5或9棵观测树木,测定所有树木的胸径值、中心树木的树高和样地半径,计算林分平均胸径、林分密度、林分蓄积量等林分参数。微样地观测法的样地布设原则:①各个样点分布均匀,在不同的地形地势上都有布设,样地之间至少间隔10 km;②样地选择要具有代表性,能体现该地区树种的分布;③选择交通便利、利于监测的地方,以方便连年观测;④要避开林缘、路边以及人为干扰严重的地区,否则会給数据带来较大误差。图2为九棵树微样地观测示意图。

林分密度、林分平均胸径、林分蓄积量的算法如下。

林分密度 \bar{N} ,通常指的是每一块固定面积的微样地中的株树密度,计算公式为:

$$\bar{N} = \frac{n-0.5}{\pi R_{n-1}^2} \times 10^4 \quad (2)$$

式中, n 是树木数量; R_{n-1} 为中心树木到最远第 $n-1$ 棵树的距离,单位为m。

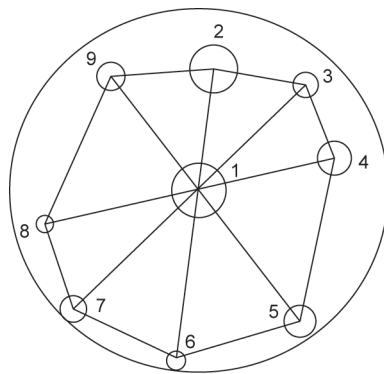


图2. 九棵树微样地观测示意图。

林分平均胸径 \bar{D} ,指整个林分树木的普遍胸径数值,计算公式为:

$$\bar{D} = \frac{\sum_{i=1}^{n-2} D_i + D_n + 0.5D_{n-1}}{n-0.5} \quad (3)$$

式中, D_i 、 D_n 和 D_{n-1} 分别是第 i 号、第 n 号和第 $n-1$ 号树木的胸径,单位为cm。

林分蓄积量 M ($\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$)需要根据推导形数求得,即每棵树的材积由推导形数求得,而林分蓄积量根据材积求得,其计算公式如下:

$$M = \frac{\sum_{i=1}^{n-2} V_i + V_n + 0.5V_{n-1}}{\pi R_{n-1}^2} \times 10^4 \quad (4)$$

式中, V_i 、 V_n 和 V_{n-1} 分别为第 i 棵、第 n 棵和第 $n-1$ 棵树的材积,单位为 m^3 。

4. 年度生长量预测方法

为保证模型在具体实践运用中的适用性与准确性,本研究对福建样地数据进行分析处理,在SPSS中进行模型解算。模型汇总结果如表1所示,利用拟合优度(GFI)衡量估计模型与观测值之间的拟合程度,相关系数 R 越接近1,说明模型与观测值之间的拟合程度越好。在本研究中,生长量预测模型的 R 高达0.98,此外,调整的 R^2 为0.98,说明自变量可以解释因变量98%的变化。综上所述,该模型方程能够较好地适用于生长量预测。

方差分析(ANOVA)主要针对方差结果进行分析。 F 值为方差分析结果,是对整个回归方程的总体检验,该结果有助于确定模型中自变量与所有因变量之间是否存在显著线性关系。由表2可以看出,本模型独立自由度(DOF)为52,样本容量为37 798,因此,在0.05的

显著性水平下计算所得的 F 值远小于本研究中模型的 F 值。这表明本模型选择的所有自变量对胸径生长量有显著影响。此外,显著性为0 (<0.05),表明该模型的设计与选择是正确可用的。

5. 微样地生长模型精度验证

为了验证模型对森林生长量的预测精度,本研究选取100个福建省样地数据,同时保证每组数据均包含经度、纬度、海拔、坡度、坡向、坡位等地理因子,降雨量、平均气温等气象因子,土壤厚度和类型等土壤因子以及林分密度、RS指数等树种信息。接下来,对来自100个样地的567个数据进行回归分析,计算出偏差(bias)、相对偏差(relative bias)、均方根误差(RMSE)、相对RMSE以及 R^2 ,然后运用上述评价指标对模型进行综合评价。结果如表3所示,从表中可以看出,偏差值为 -2.187 mm、相对偏差值为 -1.235% 、RMSE值为 14.154 mm、相对RMSE值为 7.993% 、 R^2 值为 0.941 (大于 0.9)。上述结果表明,本模型能够有效地对森林年度生长量进行预测。

6. 结论

本研究选取福建省37 798个样地的一类调查数据,包括各区域经度、纬度、海拔、气温、降雨量数据以及各样地坡度、坡向、坡位、土壤厚度数据,研建包括生长格局(立地环境)指数和生长结构(地位级)指数的中国森林生长量预测模型。以初始胸径、各区域经度、

纬度、海拔、气温、降雨量数据以及各样地坡度、坡向、坡位、土壤厚度数据为自变量,预测森林生长量。通过对福建地区进行模型拟合发现,年度生长量预测精度可高达 0.98 以上,说明该模型能够较好地进行森林生长量预测。为了验证模型对森林生长量的预测精度,本研究选取未参与森林生长量模型构建的福建省100个样地数据,并保证每组数据包含所有的树种信息。通过对567个数据进行精度验证可知, R^2 均在 0.9 以上,说明本模型能够有效地对森林年度生长量进行预测。因此,该模型可被广泛应用于全国森林资源调查体系,以保障森林年度生长量的可靠数据的获取,从而为森林碳汇计算、年产量、森林质量评价提供基础数据。

致谢

感谢北京林业大学北京精密林业重点实验室的工作人员,感谢所有为本文做出贡献的人。本研究由中央高校基本科研业务费专项资金(2015ZCQ-LX-01)和国家自然科学基金(U1710123)共同资助。

References

- [1] Bai LS, Feng ZK, Li YD, Nie ML, Sui HD. Inventory system of forest resources and its implementation based on PDA. J Beijing For Univ 2008;S1:138-42. Chinese.
- [2] Wang GD, Guo GM, Cao BB, Jiao S. [On the application value of UAV remote sensing in forest resources investigation]. Technol Enterp 2014(15):383. Chinese.
- [3] Feng ZK, You XB, Ren YQ. Discussion on monitoring system for forest resources and environment based on 3S technology. J Beijing For Univ 2001;23(4):90-2. Chinese.
- [4] Fan YX, Feng ZK, Mannan A, Khan TU, Shen CY, Saeed S. Estimating tree position, diameter at breast height, and tree height in real-time using a mobile phone with RGB-D SLAM. Remote Sens 2018;10(11):1845.
- [5] Gao X. [Research on informatization approaches for forest resources inventory and monitoring] [dissertation]. Beijing: Beijing Forestry University; 2015. Chinese.
- [6] Liu J, Feng Z, Yang L, Mannan A, Khan TU, Zhao Z, et al. Extraction of sample plot parameters from 3D point cloud reconstruction based on combined RTK and CCD continuous photography. Remote Sens 2018;10(8):1299.
- [7] Feng Z, Huang X, Forest Liu F. survey equipment and development of information technology. Trans Chin Soc Agric Mach 2015;46(9):257-65.

表1 模型拟合结果

R	R^2	Reset R^2	Standard deviation
0.98	0.98	0.98	1.03

表2 ANOVA结果

Item	Sum of square	DOF	Mean square	F	Significance
Regression	1 647 900.435	52	34 190.314	29 693.399	0.000
Residual	40 284.562	37 746	1.067		
In total	1 688 184.997	37 798			

表3 胸径预测精度的验证与分析

Item	Bias (mm)	Relative bias (%)	RMSE (mm)	Relative RMSE (%)	R^2
Accuracy verification	-2.187	-1.235	14.154	7.993	0.941

- Chinese.
- [8] Gao FX. Characteristics and development suggestions of forest resources in Kaiyuan City. *J Green Sci Technol* 2014;5:116–7. Chinese.
- [9] Zhou GH, Zeng WS, Chen XF. Problems and countermeasures of forest resource and ecological condition monitoring in China. *Cent South For Inventory Plan* 2006;25(4):1–5,9. Chinese.
- [10] Qiu Z, Feng Z, Jiang J, Lin Y, Xue S. Application of a continuous terrestrial photogrammetric measurement system for plot monitoring in the Beijing Songshan National Nature Reserve. *Remote Sens* 2018;10(7):1080.
- [11] Qiu ZX, Feng ZK, Wang MM, Li ZR, Lu C. Application of UVA photogrammetric system for monitoring ancient tree communities in Beijing. *Forests* 2018;9(12):735.
- [12] Chmura GL, Anisfeld SC, Cahoon DR, Lynch JC. Global carbon sequestration in tidal, saline wetland soils. *Global Biogeochem Cycles* 2003;17(4):1–22.
- [13] Houghton RA. Aboveground forest biomass and the global carbon balance. *Glob Change Biol* 2005;11(6):945–58.
- [14] Liu J, Feng Z, Mannan A, Yang L. Positioning of coordinates and precision analysis of sample trees using the intelligent forest survey calculator. *Comput Electron Agric* 2019;159:157–64.
- [15] Chang C, Feng ZK, Lin YC, Qiu ZX. Development and application of new generation forest survey technology system and observation equipment. *Beijing Surv Mapp* 2018;32(12):1412–7. Chinese.
- [16] Fang JY, Wang GG, Liu GH, Xu SL. Forest biomass of China: an estimate based on the biomass–volume relationship. *Ecol Appl* 1998;8(4):1084–91.
- [17] Liu J, Feng Z, Mannan A, Khan TU, Cheng Z. Comparing non-destructive methods to estimate volume of three tree taxa in Beijing, China. *Forests* 2019;10(2):92.