

基于 WebGIS 平台的森林郁闭度遥感反演信息系统研建

姚 智, 张晓丽

(北京林业大学 林学院, 北京 100083)

摘要: 为满足区域森林资源结构参数特别是郁闭度信息的统一管理 with 处理分析需求, 以福建省三明市将乐县为研究区, 以 Landsat 8 卫星的陆地成像仪(OLI)数据、外业调查的样地数据以及 ASTER GDEM 的高程数据为基础, 选取逐步线性回归模型、向后线性回归模型与偏最小二乘模型研究郁闭度分布情况。在此基础上, 结合空间数据库技术, 在 ArcGIS Server for.NET (ADF)平台下开发基于 B/S 模式的分布式森林郁闭度反演信息系统, 实现基础地理信息系统操作、数据查询、模型因子计算、森林郁闭度模型实现、数据编辑与输出等功能, 为三明市将乐县森林资源结构参数数据的规格化管理与共享服务提供技术支持。图 6 参 15

关键词: 森林测计学; 森林结构参数; 郁闭度反演; 遥感; WebGIS; 信息管理

中图分类号: S758.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-0756(2015)03-0392-07

Based on WebGIS platform developing remote sensing information systems of forest canopy density inversion

YAO Zhi, ZHANG Xiaoli

(Forestry College, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: With Landsat 8 OLI data, field investigation of the sample data and the ASTER GDEM elevation data as the foundation, this paper views Jiangle County, Sanming City, Fujian Province as the study area, and selects the stepwise-linear regression model, the backward-linear regression model and partial-least squares model to study the crown density distribution of the study area. On the ArcGIS Server for the .NET development (ADF) platform, this system combines with the spatial database technology, and sets up a distributed information system on forest crown density inversion which is based on B/S model, so that this system can carry out basic GIS operations, data query, the model factor calculation, forest canopy density model implementation, data editing and output functions, etc. Basically the system can meet the regional forest resources structure parameters analysis especially the unity of the crown density information management and processing requirements, and supports a platform for structural parameters, data normalization management and forest resources sharing services for Jiangle County, Sanming City. [Ch, 6 fig. 15 ref.]

Key words: forest mensuration; forest structure parameters; canopy density inversion; remote sensing; WebGIS; information management

中国森林覆盖率整体偏低, 分布不平衡。随着经济迅速发展, 对森林资源及其生态作用的要求日益增加。为实现森林资源的持续利用, 有必要及时、准确地掌握森林资源动态及其发展趋势, 为国家职能部门进行宏观调控和科学决策提供客观依据。森林结构参数诸如林分平均高、平均冠幅、平均胸径、郁闭度、地上生物量等的空间分布结构不仅能够直观地反映森林生长状况^[1], 而且对于森林可持续经营管

收稿日期: 2014-11-12; 修回日期: 2014-12-11

基金项目: 国家高技术发展研究计划(“863”计划)项目(2012AA102001-5)

作者简介: 姚智, 从事定量遥感研究。E-mail: 413442654@qq.com。通信作者: 张晓丽, 教授, 从事森林动态监测、定量遥感、智能分析模型以及森林可视化研究。E-mail: zhang-xl@263.net

理亦具有重要意义。随着高新技术的不断涌现，诸如星载雷达^[1]、高分辨率卫星^[2]、小光斑雷达^[3]等技术在估测森林结构参数方面都有一定成效，克服了传统林业调查工作中调查效率低下的问题，也节省了一类、二类调查中人力、财力、物力资源的浪费，因此，森林结构参数的动态监测与集中化管理就很有必要。之前有许多森林资源管理的系统平台，它们在森林病虫害综合防治、林火监测及预测预报、森林资源预测与评价^[4]等方面具有独特功能，对于森林结构参数的提取与数据集成管理方向涉及较少。基于此，本系统集中把功能放在森林结构参数的提取与数据的统一管理上，尤其是在遥感图像中实现高精度提取森林结构参数方面。本系统主要是以森林郁闭度为实例入手，实现从卫星遥感数据、高程数据等已验证的郁闭度模型^[5]，为森林结构参数统一管理提供平台支持。

1 系统体系架构

本系统采用 JSF (Java Server Faces) 框架，实现了 J2EE^[6] 网络应用程序的部署配置，搭建在线应用服务平台，实现各个模块的系统集成。通过 ArcGIS Server 发布基于 B/S 模式的地理信息系统处理模块。

1.1 体系结构

本系统采用以 B/S 模式面向数据操作与管理用户为主的模式，以 Visual C# 为开发语言，进行组件式开发，实现开发可扩展、易维护的应用系统。系统的 3 层体系结构如图 1 所示。①应用层：作为系统的表示层，采用简便易操作原则，设计界面风格，以用户权限管理系统的操作显示与功能应用，同时采用 Ajax 来实现系统的异步刷新，使得基本功能由浏览器分流，减少服务端负载与反馈时间。②应用服务层：以 ArcGIS Server 为开发平台发布地图服务与地理数据处理(GP)^[7]服务，结合 ASP.NET 动态网页交互技术开发系统功能，并通过应用程序编程接口进行 ArcObjects 组件的 GP 服务、地图资源的调用。③数据服务层：以 SQL Server 2008 作为系统的基础数据库来统一管理数据，空间数据库引擎——ArcSDE 来实现对空间数据的管理与操作。

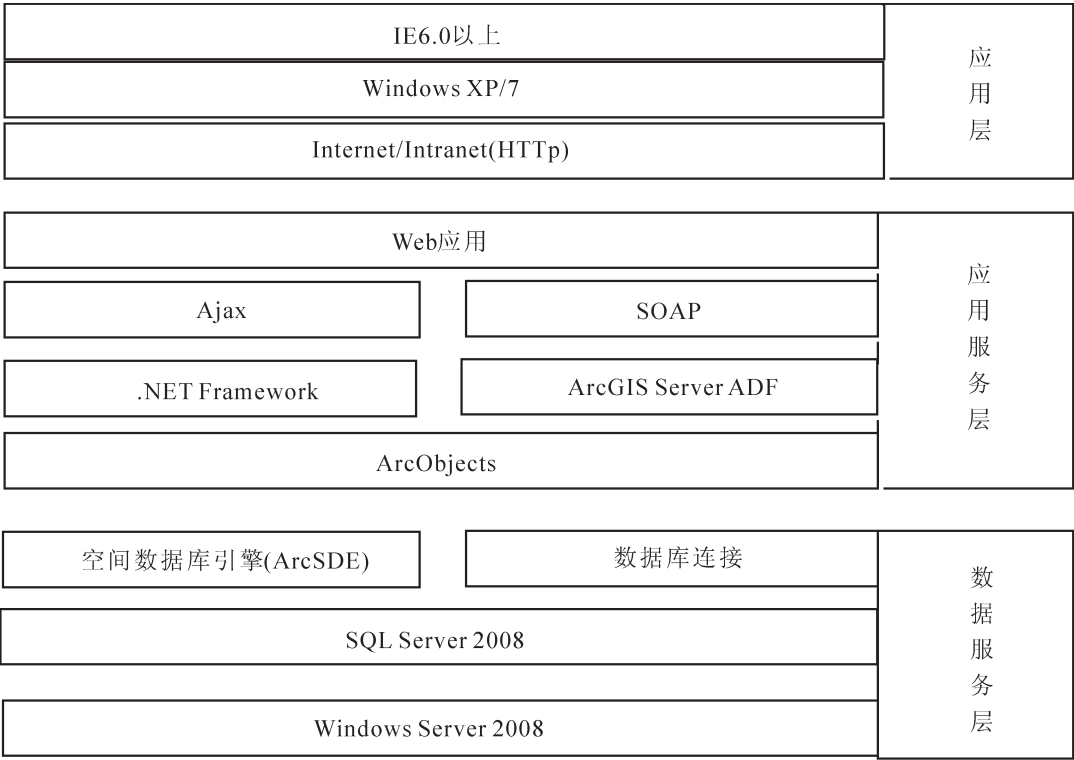


图 1 体系结构图

Figure 1 System structure diagram

1.2 技术路线

本系统依据的技术路线图如图 2 所示，可分为数据获取及预处理、模型建立、系统开发、功能实现与系统维护 4 个模块。①数据获取及预处理：选取 2013 年 7 月与 8 月研究区 8 景 Landsat 8 卫星的陆地

成像仪(OLI)数据,对原始数据进行拼接合成、辐射校正(包括大气校正与去霾、去云处理等),得到研究区范围内的遥感卫星图,并转化本系统所支持的数据格式。②模型建立:依据适合研究区的森林郁闭度模型,本系统选择逐步线性回归模型、向后线性回归模型与偏最小二乘模型^[5]作为本系统依据模型,按照模型进行编码调试。③系统开发:进行需求分析,明确功能要求,选择开发环境与搭建数据库并对数据进行统计分析处理。④功能实现与系统维护:通过对 2013 年研究区 8 景 Landsat 8 OLI 数据预处理后数据进行模型因子计算,最后实现选取的 3 种模型并进行重分类,满足用户对郁闭度信息提取的需求。系统维护要求能够修复软件系统运行中发生的错误(BUG),确保软件系统的正常运作并扩展系统在使用过程中所需功能要求,如其他郁闭度模型可以加入本系统中运行。

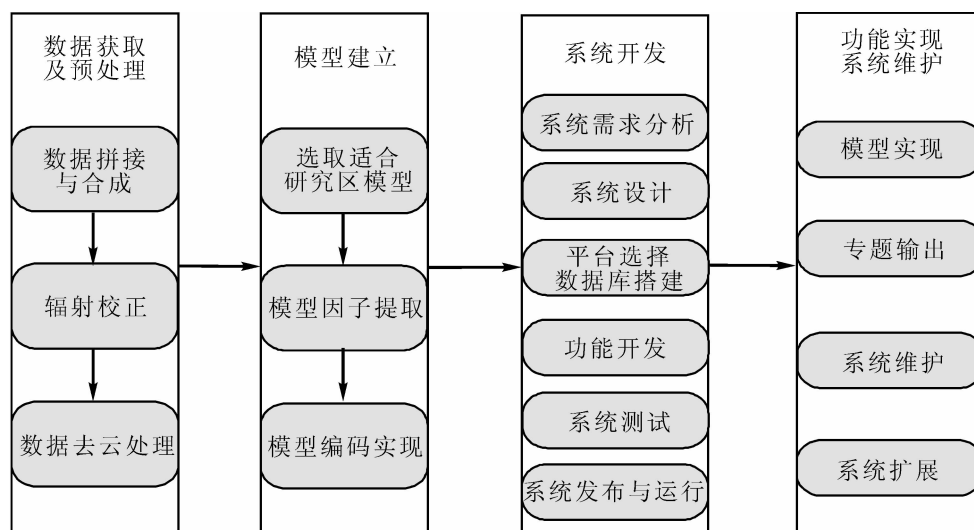


图 2 技术路线图

Figure 2 Technical route diagram

2 开发关键技术

2.1 基于 ArcGIS Server 的 ADF 开发模式

WebADF(Web 应用程序开发框架)是基于服务器端的“重量型”的 ArcGIS Server 用于 Web 应用程序开发的框架,它主要是由一些 JSF 组件、实现地理信息系统(GIS)相关功能的 Java 类库、支持 AJAX 的 JavaScript 脚本库和一些帮助文档及例子的集合^[10]。本系统主要采用 ASP.NET 环境进行开发,ASP.NET 是一个已编译、基于 .NET 环境的、可用于任何与 .NET 兼容的语言创作的应用程序,如可以实现服务器控件拖放到 Web 页的 GUI 与完全集成的调试支持。Web 前端界面使用 .Net 语言利用 Microsoft visual studio 平台进行设计,服务器端负责管理地图服务、GP(geoprocessing)服务、地理编码服务等。

2.2 基于关系型数据库 SQL Server 与空间数据库引擎 ArcSDE

森林郁闭度信息系统以 SQL Server 2008 作为基础数据库,由空间数据库、模型因子数据库与模型工具组成。ArcSDE^[8]是基于多层体系的空间数据存储、管理通路,实现 ArcGIS 与关系型数据库(RDB)的连接。本系统以 SQL Server 作为基础数据库,由基础空间数据库、模型因子数据库和模型工具组成。在基础空间数据的表达上以研究区高程图、研究区行政区划图以及研究区遥感影像图作为公共底层数据,并对各图层的地理坐标和空间投影进行统一转换入库(图 3)。

基础空间数据库的存储数据类型可分为矢量类型和栅格类型。系统在栅格数据的存储表达上,由 ArcSDE 通过将栅格数据划分成若干个等间距的切片网格,再由空间索引的方式进行检索和存储管理,实现系统中遥感影像与矢量数据叠加表达和各因子数据的栅格化操作等。

2.3 模型因子及计算

本系统基于强大的 ArcObjects 核心功能组件,结合方便、灵活的建模工具 ModelBuilder 为系统设计出稳定、完善的应用服务功能,从而实现系统因子数据的处理以及显示功能。本研究针对模型因子数据

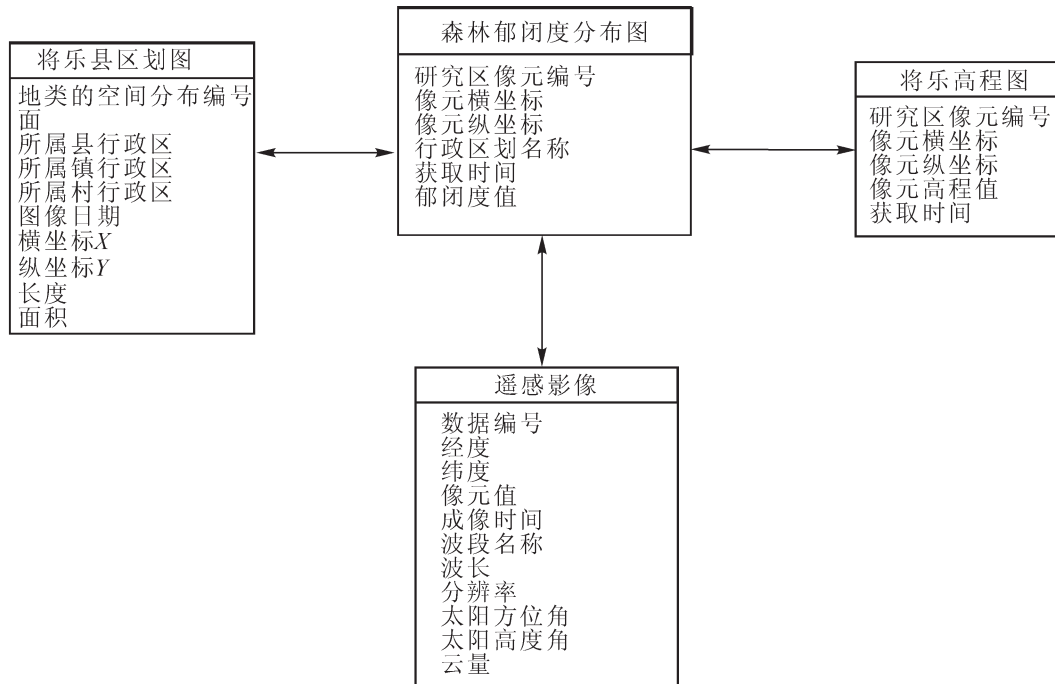


图 3 数据库关系图

Figure 3 Database diagram

的特点,并结合分类标准和行业规则,构建了植被覆盖指数模型因子(NDVI),比值植被指数模型因子(RVI),转换植被指数模型因子(TNDVI),差值植被指数模型因子(DVI),穗帽变换($K-T$ 变换)以及 IHS 变换 6 个模型因子,供 Web 应用的调用显示。①植被覆盖指数模型因子:经归一化处理的植被覆盖指数可以在一定程度上消除太阳高度角及大气辐射等影响,特别适用于大尺度范围的植被状态动态监测。②比值植被指数模型因子:其原理为可见光红波段(R)与近红外波段(NIR)对绿色植物的光谱响应差异十分显著,且具有倒转的关系,故两者之间的数值比能充分地表达两波段对于绿色植物反射率之间的差异,对其取平方根更能体现这种差异。③转换植被指数模型因子:该指数可修正植被覆盖指数对于植被覆盖度较低或较高时的灵敏度下降问题,能更好地反映植被的综合状况。④差值植被指数模型因子:该指数对土壤背景的变化较敏感,可用于对植被生态环境的监测。但当植被覆盖度较高(当大于 80%)时,对植被的灵敏度会有所下降,所以其适用于植被发育的早中期监测,或低中覆盖度时的植被检测。⑤穗帽变换模型:所有多波段遥感图像都可以看作是 1 个 N 维的表示空间,图像上的每一象元都可以表示为处在 N 维空间中的 1 个点,象元各个波段上的数值决定了其在空间中的位置,所以对于常见的多波段对地观测数据而言植被信息可以通过 3 个维度(亮度、绿度和湿度)来确定其位置,这 3 个数据轴的信息可通过线性计算和数据空间旋转而获得^[9]。其结构如图 4 所示。⑥IHS 变换模型:是由色调(hue),饱和度和(situation)及亮度(intensity)等 3 个变量所构成的颜色显示方式,可以通过处理使合成图像更加饱和更具有分辨率,可以进行不同分辨率不同来源的多种遥感图像的融合,可以通过针对亮度参数的滤波进行图像增强以便于多源数据的综合显示,其结构如图 5 所示。本系统采取吴石磊^[5]的基于 Landsat8 OLI 数据的森林郁闭度反演研究的郁闭度模型,其中,对实验区而言逐步线性回归模型效果最佳,数据检验精度达到 88%。该模型包括计算研究区模型因子(NDVI 模型因子、RVI 模型因子、TNDVI 模型因子、DVI 模型因子、穗帽变换以及 IHS 变换)。本系统则将选取的郁闭度模型编码实现。

2.3.1 逐步线性回归模型 $F=0.907T-1.839\times10^{-5}Z-0.072$ 。其中: F 为郁闭度; T 为转换植被指数; Z 为第 7 波段灰度值。

2.3.2 向后线性回归模型 $F=3.554\times10^{-5}L+5.423I+5.717T+0.003P-3.629-1.091R$ 。其是: F 为郁闭度; T 为转换植被指数; L 为穗帽变换湿度分量值; I 为 IHS 变换亮度分量值; P 为坡度值; R 为比值植被指数的平方根。

2.3.3 偏最小二乘模型 $F=0.742-7.801\times10^{-6}Q+2.670\times10^{-7}U+7.612\times10^{-6}V-3.138\times10^{-6}W+2.401\times10^{-6}X-$

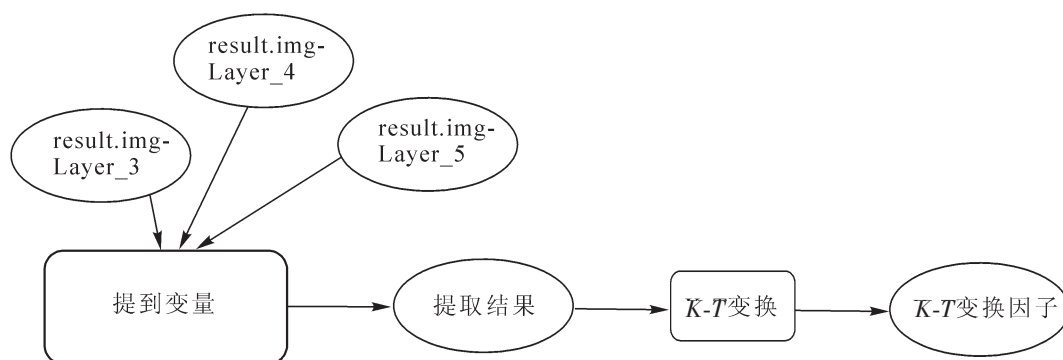


图 4 穗帽变换模型

Figure 4 K-T transformation model

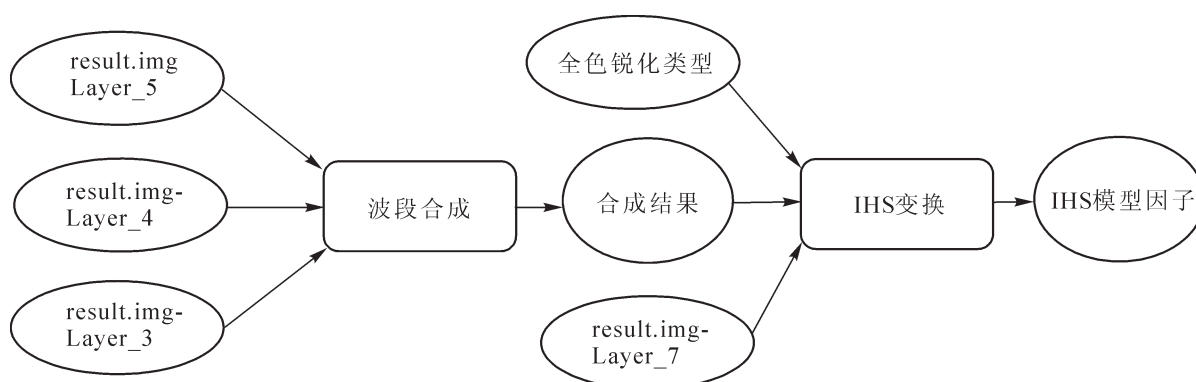


图 5 IHS 变换模型

Figure 5 IHS transformation model

$7.363 \times 10^{-6}Y - 1.384 \times 10^{-5}Z + 3.456 \times 10^{-6}A + 0.081N - 0.016R - 1.111 \times 10^{-7}H + 2.309 \times 10^{-6}I + 1.215 \times 10^{-5}J - 0.096K - 0.001L - 0.031M + 2.483 \times 10^{-6}D + 0.191T$ 。其中： F 为郁闭度； Q 为第1波段灰度值； U 为第2波段灰度值； V 为第3波段灰度值； W 为第4波段灰度值； X 为第5波段灰度值； Y 为第6波段灰度值； Z 为第7波段灰度值； A 为第8波段灰度值； N 为植被覆盖指数； R 为比值植被指数的平方根； H 为穗帽变换亮度值； I 为穗帽变换绿度值； J 为穗帽变换湿度值； K 为IHS变换色调值； L 为IHS变换饱和度值； M 为IHS变换亮度值； D 为差值植被指数； T 为转换植被指数。

3 系统功能设计及具体实现

本系统把森林结构参数管理应用与地理信息系统相互结合，完成基于广义网的分析查询，搭建基于WebGIS的森林结构参数管理平台，并将森林郁闭度这一参数作为实例放入其中。本研究主要针对的是WebGIS在森林郁闭度模型信息系统的应用。系统界面如图6所示。

本系统主要包括5个功能模块：基础GIS操作模块、数据查询模块、模型因子计算模块、森林郁闭度模型实现模块、数据编辑维护模块、输出功能与系统维护扩展功能。

3.1 基础GIS操作模块

实现研究区地图的显示、坐标定位、放大、缩小、漫游、鹰眼、测距等基础GIS操作。

3.2 数据查询模块

包括地图要素查询、地图信息查询。鼠标点击地图某点时，可以显示该点对应全部图层的属性信息，用户可以根据需求选择不同图层中被选中地理要素所对应的属性信息；地图要素查询是在所显示的数据中查找特定的地理要素，并进行快速定位且高亮显示。

3.3 模型因子计算模块

系统提供了对研究区地图的植被覆盖指数模型因子(NDVI)，比值植被指数模型因子(RVI)，转换植

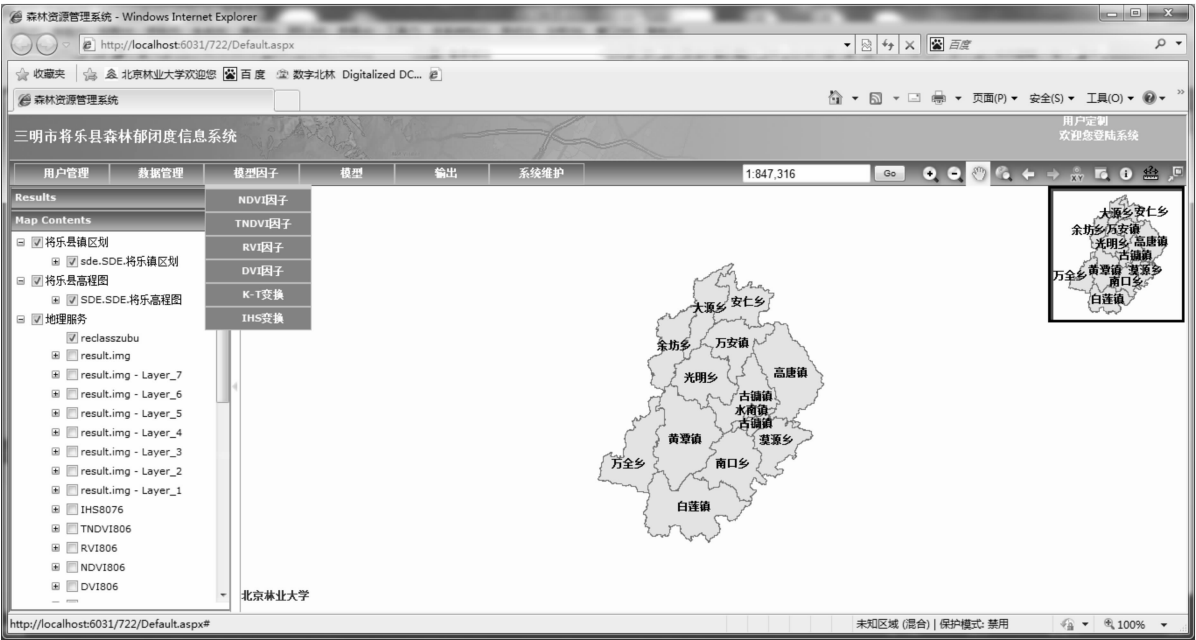


图 6 系统界面图

Figure 6 System interface map

被指数模型因子(TNDVI)，差值植被指数模型因子(DVI)，穗帽变换(K-T 变换)以及 IHS 变换模型因子的计算功能，可供用户直接观察与测量上述模型因子，还可对比各模型因子之间的异同。

3.4 数据编辑维护模块

用户可直接对地图要素进行编辑，但此时要求地图必须是“非池化”，可以使“注册版本”，也可以使“非注册版本”。可对系统中空间信息与属性信息直接进行修改与维护，同时用户还可以直接上传本地文件至服务器，例如.shp 文件和.dat 文件等。如用户可以直接对研究区地图进行添加要素，亦可将最新获取的植被覆盖数据直接上传至服务器。

3.5 图表分析与专题输出功能

对于进行模型化后的郁闭度分布图，用户可进行直方图统计功能，同时可以对各个郁闭度等级进行分类计数，从而计算出各等级郁闭度面积；用户可以基础地图数据进行专题输出，亦可以对处理后的地图进行专题输出，输出后的专题地图，用户既可以导出，也可以进行打印、复制等操作。

4 结语

本系统基于组件式 GIS 开发，在 ASP.NET 的开发环境下，利用 ArcObjects 组件，在可视化的条件下将 GIS 控件与其他非 GIS 控件集成在一起，构建一个基于广义网可供用户在线访问森林结构参数的信息管理系统。该信息系统除了提供了基础地图操作之外，还提供了空间数据与属性数据查询、郁闭度模型因子的计算、3 种郁闭度模型的实现、图表分析统计以及专题制图输出等功能。该系统可以扩展为福建省三明市将乐县国有林场的在线森林结构参数管理系统，预留各种数据的应用程序编程接口，为实现系统的扩展提供了便捷。

5 参考文献

[1] 何祺胜, 陈尔学, 曹春香, 等. 基于 LIDAR 数据的森林参数反演方法研究[J]. 地球科学进展, 2009, 24(7): 748 – 755.
HE Qisheng, CHEN Erxue, CAO Chunxiang, et al. A study of forest parameters mapping technique using airborne LIDAR data [J]. *Adv Earth Sci*, 2009, 24(7): 748 – 755.

[2] 郅广平. 高分辨率遥感影像的森林结构参数反演[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2011.
QIE Guangping. *The Research on Forestry Structural Factor by High-Resolution Remote Sensing Image* [D]. Changsha: Central South University of Forestry & Technology, 2011.

- [3] 邢艳秋, 尤号田, 霍达, 等. 小光斑激光雷达数据估测森林树高研究进展[J]. 世界林业研究, 2014, **27**(2): 006.
XING Yanqiu, YOU Haotian, HUO Da, *et al.* Research progress in estimating forest tree height using small footprint lidar data [J]. *World For Res*, 2014, **27**(2): 006.
- [4] 黄寿昌. 基于 WebGIS 的森林资源动态监测及预警系统[J]. 沈阳农业大学学报, 2013, **44**(3): 341 – 344.
HUANG Shouchang. The dynamic monitoring and pre-warning system of forest resources on the basis of WebGIS [J]. *J Shenyang Agric Univ*, 2013, **44**(3): 341 – 344.
- [5] 吴石磊. 基于 Landsat8 OLI 数据的森林郁闭度反演研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2014.
WU Shilei. *Research on Forest Canopy Closure Inversion Based on Landsat8 OLI Data* [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2014.
- [6] 王阿川, 李丹, 王霓虹. 基于 J2EE 和 ArcGIS 平台的森林资源信息管理系统的应用[J]. 东北林业大学学报, 2007, **35**(10): 92 – 93.
WANG Achuan, LI Dan, WANG Nihong. Application of forest resources management information system based on J2EE architecture and ArcGIS [J]. *J Northeast For Univ*, 2007, **35**(10): 92 – 93.
- [7] 檀丁, 李明峰, 张蔚, 等. GP 服务在基于 SOA 的 WebGIS 空间分析中的应用研究[J]. 测绘通报, 2011 (7): 70 – 73.
TAN Ding, LI Mingfeng, ZHANG Wei, *et al.* Application research on GP service to spatial analysis of WebGIS based on SOA [J]. *Bull Surv Map*, 2011(7): 70 – 73.
- [8] 周龙廷. 直接访问 ArcSDE 空间数据模型的技术方法研究[D]. 上海: 华东师范大学, 2011.
ZHOU Longting. *The Technical Research of Methods to Direct Access to ArcSDE Spatial Data Model* [D]. Shanghai: East China Normal University, 2011.
- [9] 杨凤海, 杨凤江, 苏琦, 等. 基于 ArcGIS 的黑龙省活动积温空间插值与计算[J]. 东北林业大学学报, 2010, **41**(1): 61 – 66.
YANG Fenghai, YANG Fengjiang, SU Qi, Spatial interpolation and calculation of active accumulated temperature of Heilongjiang Province based on ArcGIS [J]. *J Northeast Agric Univ*, 2010, **41**(1): 61 – 66.
- [10] 樊玮. ArcGIS Server Web ADF 框架与 FLEX API 的比较与分析[C]//李斐. 中国地理信息产业论坛暨第 2 届教育论坛就业洽谈会论文集. 武汉: 武汉大学出版社, 2009: 122 – 127
- [11] 倪东英. 基于 WebGIS 的森林资源管理信息系统的研建[D]. 北京: 北京林业大学, 2010.
NI Dongying. *The Research and Design on Information System of Forest Resources Management Based on WebGIS* [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2010.
- [12] 何正国, 杜娟. 栅格地图网上发布系统[J]. 测绘通报, 2003(1): 56 – 58.
HE Zhengguo, DU Juan. An Web issuing system of Raster Map [J]. *Bull Surv Map*, 2003(1): 56 – 58.
- [13] 刘晓静. 基于 DEM 的地学分析以及森林资源网络管理信息系统的开发[D]. 呼和浩特: 内蒙古师范大学, 2010.
LIU Xiaojing. *Geo-science Analysis based on DEM and The Development Of Forest Resources Network Management Information System* [D]. Hohhot: Inner Mongolia Normal University, 2010.
- [14] 魏海林. 应用遥感影像与 WebGIS 建立林场级森林资源管理信息系统[J]. 湖南农业大学学报: 自然科学版, 2013, **39**(1): 144 – 151.
WEI Hailin. Application of remote sensing and WebGIS establish forest resource management information system [J]. *J Hunan Agric Univ Nat Sci*, 2013, **39**(1): 144 – 151.
- [15] 李奇, 马洪超, 邬建伟, 等. 机载小光斑 LIDAR 的森林参数评估[J]. 林业资源管理, 2008(1): 74 – 81.
LI Qi, MA Hongchao, WU Jianwei, *et al.* Use of small footprint scanning airborne lidar to estimate forest stand characteristics [J]. *For Resour Manage*, 2008(1): 74 – 81.