

基于GIS的山地林道网优化配置系统

邱荣祖¹, 兰樟仁², 黎建明¹

(1. 福建农林大学交通学院, 福建 南平 353001; 2. 福州大学省空间信息工程研究中心, 福建 福州 350001)

摘要: 应用系统选择永安元沙国有林业采育场的部分林班为示范, 建立森林资源空间数据库, 以ARC/INFO为开发平台, 以山地林道网理论为指导, 应用GIS技术、DBMS技术与数学规划集成技术, 使用AML语言进行二次开发设计山地林道网优化配置系统, 实现计算机辅助林道网配置, 提高决策的科学性。

关键词: 地理信息系统; 山地林道网; 林道修建费用; 集材费用

中图分类号: S773

文献标识码: A

林道网优化配置是林道网理论核心问题之一。林道网配置以代表性的线型为模图分析的基础, 建立林道网密度计算模型, 通过优化有关配置参数, 取得最佳配置线型和最佳密度模型。其配置的效果如何, 完全取决于实际配置的线型与假设线型的接近程度。实地布设中, 由于山地条件下地形、地质复杂多变特点, 决定了理论模型的决策目标及其约束条件多, 模型影响因素具有不确定性和时空性特点, 使理论研究成果的实际应用面临困难, 最终配置在林地上的实际线型往往与预先假设有很大的差别, 使得林道网配置效果不好^[1]。以地理信息系统为支撑技术, 以山地林道网理论为指导, 按照森林可持续经营原则, 开发基于GIS的山地林道网优化配置系统。系统的应用有利于实现山地林道网优化配置的数字化和自动化^[2-4], 降低生产成本, 减少作业对林地环境的负面影响, 实现森林经营综合经济效益最佳。

1 开发平台及运行环境

1.1 系统开发平台

系统利用GIS专业软件—ARC/INFO的系统功能及其提供的二次开发工具—AML语言进行集成

开发, 利用ARCVIEW进行信息的查询和图形的输出。

1.2 软件配置

系统软件为Microsoft Windows NT或Microsoft Windows 2000, 开发平台软件为ARC/INFO 8.0.2, ARCVIEW 3.2a。

1.3 硬件配置

Pentium以上主机一台, 配置128 MB以上内存, 8 MB以上显卡; 工程扫描仪一台, 高分辨率彩显一台, 彩色喷墨打印机一台^[5]。

2 建立空间数据库

2.1 研究区域概况

2.1.1 地理与地貌

研究区域永安元沙国有林业采育场霞坑工区地处 $117^{\circ}17'24''\sim 117^{\circ}24'35''$ E, $26^{\circ}06'00''\sim 26^{\circ}12'13''$ N。属于亚热带山地丘陵, 海拔401.3~748.6 m, 地形地貌为低山高丘山地。

2.1.2 森林植被

研究区域地处中亚热带, 武夷山脉与戴云山脉中间谷地, 由于气候、土壤等条件优越, 形成丰富的

收稿日期 (Received date): 2005-08-11; 改回日期 (Accepted): 2006-01-20。

基金项目 (Foundation item): 福建省教育厅基金资助项目 (K2001053), 福建省科技厅基金资助项目 (2005D106)。 (Supported by the Education Department of Fujian Province (K2001053) and the Science and Technology Department of Fujian Province (2005D106))

作者简介 (Biography): 邱荣祖 (1961-), 男, 福建莆田人, 教授, 博士, 从事道路网理论与地理信息系统应用研究。E-mail: qrz1010@yahoo.com。

cn [Qiu Rongzu (1961-), Male, professor & Ph.D., Research interest: Forestry road network and application of GIS]

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

植物群落和树种资源。在我国植被区划系统中, 属于亚热带常绿阔叶林区域, 地带性植被是“典型常绿阔叶林”。

2 1 3 森林采运作业方式

森林主伐方式主要以皆伐为主, 部分针阔叶混交林采用择伐方式; 采集作业以油锯采伐, 人力集材为主; 运材主要是汽车到材。

2 2 数据流程

2 2 1 系统数据流程

系统的数据流由 2 个分流组成。地形图和林业专题图, 通过分层、分幅、清绘后, 用工程扫描仪扫描, 形成栅格文件格式, 以此作为背景图进行扫描线跟踪数字化, 创立矢量图层文件, 进入 GIS 系统; 另一分流是描述各图层特征的属性数据, 通过键盘直接输入系统。决策模型则通过应用程序加以描述。系统的数据流程图, 见图 1。

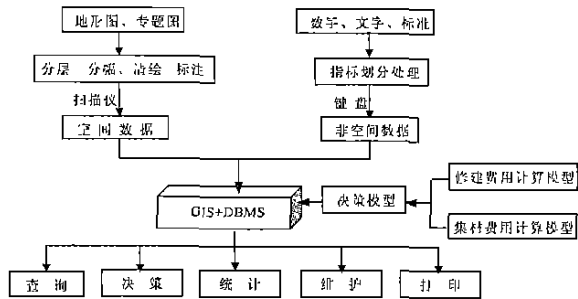


图 1 数据流程
Fig 1 Data flow of system

2 2 2 地理数据

基本地理数据由林分 (Stands)、等高线 (Contour lines)、林道 (Roads)、河流 (Streams)、边界 (Boundary) 5 个矢量型图层文件组成。图层 Stands 是面状要素图层, 包含林分边界的空间数据和材积、树种、木材等级等属性数据, 图层 Contour lines 是线状要素图层, Contour lines 由数字化方法建立后被转化为 DEM 模型, 如图 2 所示。图层 Roads 也是线状要素图层, 描述了研究区域内林道网空间分布的现状, 以及林道等级等属性数据; Streams 也是线状要素图层, 描述了研究区域内河流的空间分布和等级属性数据。

2 3 空间数据设计

2 3 1 地图数字化

系统数字化所采用的地图为元沙国有林业采育场 1:1 万的地形图和各种专题地图。首先, 对地图

进行分层、分幅、清绘, 然后再进行扫描 (用 350 dpi)。在 ARC/INFO 的 ARCED IT 模块下进行扫描线跟踪数字化, 建立图层; 从地形图上获取各配准点地理坐标, 创建配准文件, 在 ARC 模块下对各个图层进行坐标转换。

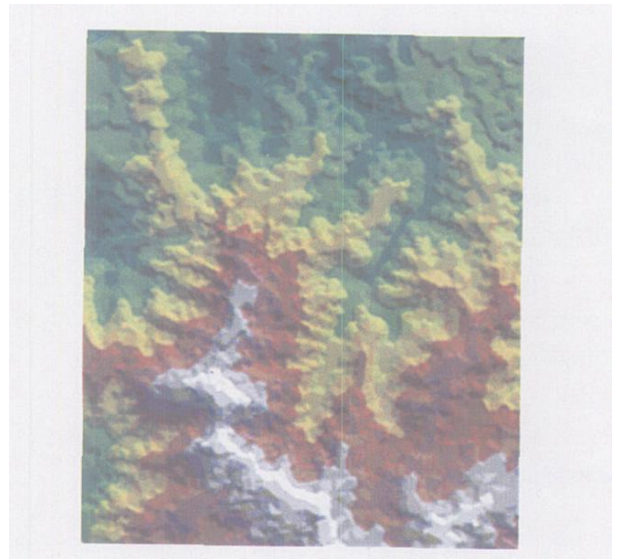


图 2 霞坑工区的 DEM 模型
Fig 2 DEM of Xiekeng felled area

2 3 2 空间数据误差消除

数字化后的地图存在许多误差和错误, 包括伪多边形、伪结点、悬挂弧未封闭多边形等, 必须加以消除, 使空间数据可用, 保证拓扑关系正确^[6]。处理后各小班的面积与元沙国有林业采育场提供的小班面积数据比较, 最大误差为 2.5%。

2 4 非空间数据分析与设计

2 4 1 非空间数据的来源

非空间数据来源于元沙国有林业采育场三类资源调查的小班卡, 包括: 林班号、大班号、小班号、造林面积、树种组成、生长类型、立地条件、造林时间、平均树高、平均胸径、小班单位面积蓄积量、郁闭度、森林经营类型、山权、林权等一系列属性数据^[7]。

2 4 2 数据编码

编码主要以国家地理编码标准和国家林业局有关标准和规范进行^[8], 应用系统对各层的数据编码如下:

1) 小班: 林班号 + 大班号 + 小班号。

2) 公路线: 参照国家基础地理信息系统地形数据库库国道编码国家标准《公路路线命名编号和编码规则》(GB 917.1~917.2-89), 并考虑林区道路特

点进行编码。

3)河流: 全国河流名称代码采用 6 位数字和字母混合码。

4)小班因子: 根据国家林业局有关代码标准, 对小班的山权、林权、树种种类、生长类型、立地等级、土壤类型、坡度、龄组、出材等级等, 进行编码。

3 林道网优化配置决策模型

3.1 林道网修建费计算模型

林区便道的修建费与线路所经过林地的地形特征有关, 林道修建费模型为^[1]

$$Y_0 = -81451 + 2056 \cdot 2R_D + 20352 \cdot IV \quad (1)$$

式中 R_D 为研究区域的平均比降, %; V 为研究区域的沟谷密度, 个 / km²。

3.2 集材费计算模型

集材费与集材方式、作业条件和资源质量有关, 集材费计算模型可以表达为

$$C_d = a + b \cdot L_p \quad (2)$$

式中 L_p 为平均集材距离, m; a 为固定集材成本 (元 / m³); b 为可变集材成本元 / (m³ · m)。

模型参数 a 、 b 与集材方式和作业条件有关。

3.3 最佳林道网优化配置决策模型

从楞场 i 的象元 n 修建林道到现有林道 r 的最低费用和最佳路径模型为

$$C_{xi} = \min_{l \in P_{il}} \sum_{h=1}^{H_l} V_{xih} \quad (3)$$

式中 V_{xih} 为修建楞场 i 到现在林道 r 的路径 l 上的象元 h 的值; H_l 是构成路径 l 的象元数目; P_{il} 是为连接楞场到现有林道 r 的路径矩阵。

3.4 最佳集材路径决策模型

从作业伐区集材到楞场 i 的最佳路径和最小费用模型为

$$C_{ji} = T \left(a + \sum_{n=1}^N \left[\min_{k \in P_{ni}} \left\{ \sum_{k=1}^{K_m} V_{jmk} \right\} \right] \right) \quad (4)$$

式中 V_{jmk} 是作业伐区的象元 n 集材到楞场 i 沿路径 m 上的象元 k 的值; K_m 是构成路径的象元数目; P_{ni} 是连接作业伐区的象元 n 到楞场 i 的路径矩阵; N 为作业伐区的象元数目; T 为作业伐区总出材量 (m³)。

3.5 决策总模型

楞场位置和林道路径应以林道修建费与集材费的和为目标函数, 即

$$Z = \min (C_{xi} + C_{ji}) \quad (5)$$

式中 I 为可选楞场位置数目。

4 空间网络分析

4.1 数据模型

数字化后得到的为矢量数据图层, 但栅格数据模型更适合于进行空间分析, 大部分空间分析如最小费用路径分析, 都是以栅格为数据模型。因此需要对 Stands、Contours、Lines、Roads 和 Streams 四个矢量型图层文件组进行栅格化。集材成本的计算结果以文本文件格式存储, 用于创建集材费用面^[9]。

4.2 林道费用面

林道费用面是一个费用栅格数据模型, 每个象元值代表道路通过一个象元宽度的修建费用。象元宽度取决于精度要求和内存空间资源, 象元宽度越小精度越高, 但需要占用的内存空间越大。综合考虑精度要求和内存空间资源, 本应用系统把象元宽度定为 30 m。费用面的象元值与落入象元的实际道路长度和这个象元的坡度有关。根据林道修建费模型, 林道费用面的象元值等于象元宽度 L 与 Y_0 的乘积, 即

$$V_{c1} = L \cdot Y_0 / 1000$$

4.3 集材费用面

集材费用面的象元值反映了在林地上单位材积木材集运单位距离的费用, 其值大小主要受到地貌特征的影响。根据集材费模型 (2), 集材费用面中的象元值按下式计算

$$V_{c2} = b \cdot L$$

担筒集材的定额与伐区作业条件有关, 伐区作业条件等级化后, 集材费用与伐区作业条件等级是离散函数, 可调用 RECLASS() 函数创立集材费用面。

4.4 空间网络分析

应用加权距离函数 COSTDISTANCE(), 输出 2 个栅格数据文件, 一个是费用距离栅格数据文件, 各象元值代表了最小累加费用, 即从一象元位置沿最小费用路径, 修建林道到现有道路的费用, 另一个是费用反向连接栅格数据文件, 象元值取 0~8 的整数值, 分别定义最小费用路径的 8 个方向。应用函数 COSTPATH(), 以费用反向连接栅格数据文件为输入文件, 可以很容易得到从一个楞场到现有道路的最小费用路径, 图 3 是以人工担筒集材方式为例。

应用同样算法可以得到一个林分到楞场最小费

用集材路径,应用 ZONALSUM()函数可以求出伐区集材到楞场的总费用。

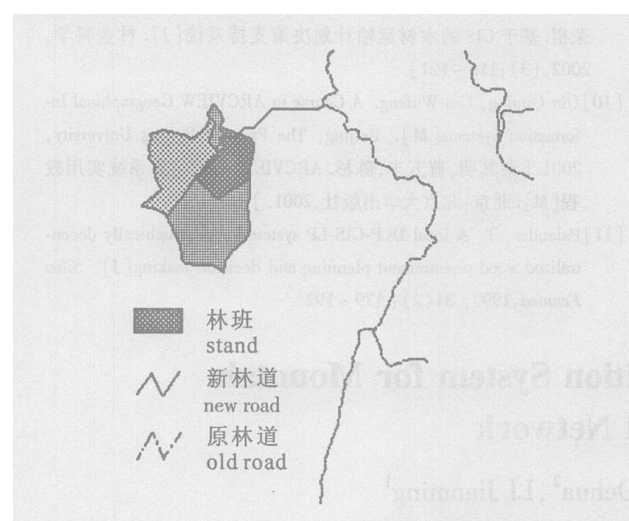


图 3 林道网配置
Fig 3 Forest road network disposition

5 系统结构与功能

5.1 系统结构

系统采用模块化设计,由 4 个模块组成: 初始化模块、费用面分析模块、空间网络分析模块和退出。系统结构流程,见图 4。

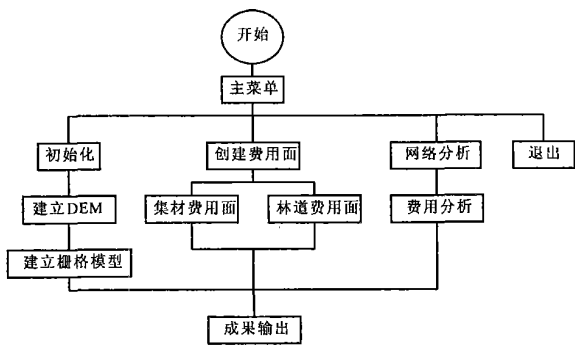


图 4 系统结构
Fig 4 System structure

5.2 功能

5.2.1 初始化模块

对原始数据初步处理,为费用面分析和空间网络分析模块提供所需数据。应用数字化所得到的等高线图层建立 DEM 模型,把道路、林班的矢量数据转为栅格数据,把高程数据转为用坡度数据表示。

初始化模块是对整个区域进行处理,计算量很大,较为耗时。但应用系统空间数据库一经初始化,一般就不需要重复进行,除非原始数据或基本参数有变动。

5.2.2 费用面分析模块

利用初始化所得到的数据进行费用面分析,建立林道费用面和集材费用面,2 个费用面空间网络分析提供输入参数。

5.2.3 空间网络分析模块

应用其他模块得到的数据模型,进行空间网络分析,确定出使综合费最少的林道走向,分析综合费用构成。

6 结论与建议

采用扫描跟踪的方法,进行地形图和林业专题图的数字化,建立起满足决策和管理质量要求的森林资源空间数据库,实现林业采育场的森林资源管理数字化和科学化。基于 GIS 的山地林道网优化配置系统森林资源空间数据库为数据源,为科学地配置和评价林道网配置现状提供决策支持。系统以客户为导向,以达到森林综合效益最优为目标,进行系统开发设计,系统稳定性好,易于操作,可扩展性强。

应该指出,应用系统调用的加权距离函数等的运算效率较低,致使初始化模块运行过程较为耗时。由于 AML 没有编译功能,无法对原代码编译,影响了应用系统的保密性能;系统的算法需要进一步优化,提高系统的运行效率。这些都有待进一步提高。

参考文献 (References)

- [1] Qiu Rongzu. Highway Traffic and Transportation System Engineering [M]. Xiamen: The Press of Xiamen University, 2001. [邱荣祖. 公路交通运输系统工程 [M]. 厦门: 厦门大学出版社, 2001.]
- [2] Dean D. J. Finding optimal routes for networks of harvest site access roads using GIS-based techniques [J]. Canadian Journal of Forest Research, 1997, 7: 11~22
- [3] Hentschel S. GIS-based deduction of areal opening effects of road networks demonstrated by the example of ARC/NFO [J]. Forest technische-Informationen (Germany), 1996, 48(1,2): 8~13
- [4] Qiu Rongzu, Zhou Xinnian, Gong Yuqi. Applications and prospect of "3S" techniques in forest engineering [J]. Forestry Source Management, 2001, (1): 66~77 [邱荣祖, 周新年, 龚玉启. "3S" 技术及其在森林工程上的应用与展望 [J]. 林业资源管理, 2001, (1): 66~77]
- [5] Fan Hong. Technology and Application of ARC/INFO [M]. Wuhan,

- The Press of Wuhan Geodesy and Geomatics Science and Technology University, 2000. [樊红. ARC/INFO应用开发与技术[M]. 武汉: 武汉测绘科技大学出版社, 2000.]
- [6] Chen Shupeng, Lu Xuejun, Zhou Chengfu. Principles of Geographical Information System[M]. Beijing: Science Press, 2000. [陈述彭, 鲁学军, 周成虎. 地理信息系统导论[M]. 北京: 科学出版社, 2000.]
- [7] Li Zhikui. Forestry GIS[M]. Beijing: Forestry Press of China, 2000. [李芝喜. 林业 GIS[M]. 北京: 中国林业出版社, 2000.]
- [8] Qiu Rongzu, Zhou Xinian. GIS-Based decision support system for cutting site in mountain area[J]. *Remote Sensing Information*, 2001, (3): 37~40. [邱荣祖, 周新年. 基于 GIS 的优选作业伐区决策支持系统[J]. 遥感信息, 2001, (3): 37~40.]
- [9] Qiu Rongzu. GIS-based decision support system for wood transportation planning[J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2002, (3): 116~121. [邱荣祖. 基于 GIS 的木材运输计划决策支持系统[J]. 林业科学, 2002, (3): 116~121.]
- [10] Qiu Rongzu, Cao Wufeng. A Course in ARCVIEW Geographical Information System[M]. Beijing: The Press of Beijing University, 2001. [秦其明, 曹五丰, 陈杉. ARCVIEW 地理信息系统实用教程[M]. 北京: 北京大学出版社, 2001.]
- [11] Paklander T. A local DLP-GIS-LP system for geographically decentralized wood procurement planning and decision making[J]. *Silva Fennica*, 1997, 31(2): 179~192.

GIS-Based Optimum Disposition System for Mountain Forest Road Network

QU Rongzu¹, HUANG Dehua², LI Jiaming¹

(1. Fujian Agriculture and Forestry University, Nanping 353001, China;

2. Spatial Information Engineering Research Center of Fuzhou University, Fuzhou 350001, China)

Abstract Configuration analysis is the traditional method for the disposition of forest road network. In the method a decision model of forest road network density was developed by analyzing typical configuration. The optimum disposition configuration and density model were proposed through optimizing its parameters. The result of disposition mainly depends on how close the practical configuration to the theoretical. As a matter of fact, in mountainous area with rough terrain the object of the decision model and its subject conditions are multiple. The factors of the model has a uncertain and spacial characters. As a result there is a significant difference between the practical configuration and the theoretical. This results to a poor disposition of forest road network, which is the main obstracle of the application of model at the present time. Method for the disposition of forest road network is not only one of key theoretical issues of forest road network, but also pratical application problems. GIS-Based Optimum Disposition System for Mountain Forest Road Network proposed models for optimizing the disposition of forest road network and pathes for off-road transport through the analysis of forest road cost and off-road transport cost creatively. The qualified spacial database of forest resource management and decision was created by means of scanning and digitizing contour map and forestry theme maps under the environment of GIS software—ARC/INFO. The structure and functions of system were designed using Arc Macro Language (AML) programming language through the integration of GIS, DMBS and linear programming (LP). The functions contains module Initiation, cost surface analysis and spacial network analysis. Road transport cost surface (RTCS), and off-road transport cost surface (ORTCS) were created in grid file. Based on the cost surfaces, the optimum pathes of disposition of forest road network and off-road transport were allocated using network analysis. Test runs of GDSSPP indicate that its stability and efficiency are generally satisfactory. The menu-driven user interface is user-friendly and easy to operate by users without any special training using. Module techniques make it more flexible to add new modules to the system in the future. Yuansa state-owned forestry farm in Yong'an was selected as study case. The application of the system in the research area shows that the system plays a important role in digitization and automation of optimum disposition of mountain forest road network, reduction of cost and negative effects of operation on forest land in order to reach the best ecological and economic comprehensive benefits.

Key words: Geographical information system; mountain forest road network; forest road building cost; yarding cost