

森林防火监测型资源配置评价及优化方法

黄小银¹, 徐爱俊², 张晨辉³

(1. 浙江农林大学 环境与资源学院, 浙江 临安 311300; 2. 浙江农林大学 信息工程学院, 浙江 临安 311300; 3. 浙江农林大学 天目学院, 浙江 临安 311300)

摘要: 在三维空间分析等技术的支持下, 以森林防火监测型资源的配置评价和优化为研究对象, 在森林火险精准区划的基础上, 采用监测率、盲区率、重复率等指标来评价森林防火监测型资源配置的合理性, 并根据这些指标来对监测型资源的配置进行优化。以浙江省临安市板桥乡为例, 实现了从数字高程模型(digital elevation model, DEM)中快速提取山顶点, 并结合区域森林火险等级, 对每个山顶点做可视域分析和叠置分析, 在监测型资源给定的情况下, 计算出该乡镇的监测率、盲区率、重复监测率、高火险区域监测率等指标, 并根据预先设定的参数来对监测型资源的配置进行优化, 使防火资源配置更加科学、合理、有效。图2表5参9

关键词: 森林保护学; 森林防火; 监测型资源; 山顶点提取; 可视域分析; 配置优化

中图分类号: S762.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-0756(2011)04-0583-07

Evaluation and optimization methods of forest fire monitoring resources allocation

HUANG Xiao-yin¹, XU Ai-jun², ZHANG Chen-hui³

(1. School of Environmental Sciences and Resources, Zhejiang A & F University, Lin'an 311300, Zhejiang, China; 2. School of Information Engineering, Zhejiang A & F University, Lin'an 311300, Zhejiang, China; 3. Tianmu College, Zhejiang A & F University, Lin'an 311300, Zhejiang, China)

Abstract: Based on the precise rating of forest fire dangers, the paper had a research on the evaluation and optimization of the allocation of the forest fire monitoring resources with three-dimensional spatial analysis technology to evaluate the rationality of the allocation of the forest fire monitoring resources through the indicators including monitor rate, blind spot rate, repetition rate and etc. The monitoring resources were optimized based on these indicators. Taking Banqiao Town of Lin'an City as an example, the research had a quick extraction of mountain peaks through DEM. On the basis of the regional forest fire danger rating, visual domain and overlay analysis of each mountain peak was conducted. Under the situation of the given monitoring resources, it calculated this town's monitor rate, blind spot rate, repetition rate, monitor rate of high fire risk areas and other indicators. According to the pre-set parameters, it optimized the allocation of the monitoring resources, making resources allocation more scientific, reasonable and effective. [Ch, 2 fig. 5 tab. 9 ref.]

Key words: forest protection; forest fires; monitoring resources; mountain peak extraction; viewshed analysis; allocation optimization

收稿日期: 2010-10-05; 修回日期: 2010-11-20

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30972361); 浙江省自然科学基金资助项目(Y3100352); 浙江省大学生科技创新计划项目(2010R412051)

作者简介: 黄小银, 从事地理信息系统应用研究。E-mail: 492680797@qq.com。通信作者: 徐爱俊, 副教授, 博士, 从事资源与环境信息系统、森林资源信息管理研究。E-mail: xuaj1976@163.com

1 森林防火监测型资源配置问题研究现状

森林火灾是世界上发生面广,危害性大,处置救助极难的自然灾害。当前,国内外数起触目惊心的森林大火不仅摧毁人类赖以生存的家园,而且对全球生态资源环境 and 经济造成严重影响。2007年8月23日至8月25日,希腊境内共发生170多场森林火灾,殃及希腊一半以上国土面积^[1]。2008年1-8月,中国共发生森林火灾12502起,受害森林面积达到4.9万 hm^2 。2009年2月7日,发生在澳大利亚东南部的一场山林大火,烧毁森林总面积达41.0万 hm^2 ^[2]。对林火进行有效监测,不仅可以及早发现火情,而且能极大地减少森林火灾引起的经济和环境损失。林火监测型资源配置优化是实现林火有效监测的重要环节,因此,优化森林防火监测型资源的配置是做好森林防火工作的基本前提。

汤文亮等^[3]提出将 ZigBee 技术应用到无线传感器网络中,实现森林火灾实时监测系统,为相关部门提供监测林区相关环境参数。刘龙申等^[4]和许水燕等^[5]利用 ArcEngine 和数据库技术,采用单点定位方法,开发了林火视频监控定位系统,为有关部门提供关键的火点位置信息,同时利用 ArcEngine 组件和 C#.NET 开发语言,研发了监测点选址功能软件。仇金宏等^[6]通过提出森林火点实时定位几何模型,和研究火情监控摄像机视场角的实时计算方法,最终,根据单目视觉基本原理,设计出森林火点实时定位算法,并进行实地验证。谭三清^[7]建立森林火险区划评判指标体系,从森林防火信息系统的基础数据库中提取森林火险区划因子的属性数据,并对样地数据进行标准化,用聚类分析法进行分析。唐丽华^[8]等提出以指标体系的动态生成框架为技术支撑的基于多指标类型的区域森林火险等级适应性评价方法,阐述了指标体系的动态生成过程以及指标权重、指标度量的确定,构建了不同区域森林火险评价通用模型,并进行了实地验证。

森林防火监测型资源的配置是指在规定的区域内,建立一个优化配置模型,使它们能以最少的监测型资源覆盖最大的监测区域面积,从而达到可视监测区域最优化的理想配置模型。监测型资源主要可以分为2类:一类是陆地监测型资源,如瞭望台、视频监控点等;另一类是卫星监测型资源^[9]。

2 森林防火监测型资源配置算法设计

本研究以浙江省临安市为实验区域,对该区域板桥乡的监测型资源配置的评价与优化方法进行研究。其主要过程包括:研究山顶点提取算法,提取实验区的山顶点属性信息,根据获取的山顶点信息进行可视域分析和叠置分析;再结合单点监测分析与多点监测分析方法对森林防火监测型资源监测配置做出评价及优化,为合理地进行监测型资源配置提供科学的理论依据。其算法结构如图1所示。

3 山顶点提取方法

山顶点提取方法是指利用地理信息系统(GIS)的空间分析技术,在指定区域获取并筛选山顶点的过程。主要包括获取高程值和提取山顶点2个部分。

3.1 获取高程值

格网数字高程模型(DEM)是以离散化的规则格网来描述地表起伏形态,每一个格网记录着地表的高程属性。提取山顶点首先读取转化成DEM的原始数据信息。每个原始数据点包含5部分信息,分别是测量点所在的行数 m 和列数 n ,格网间距 d ,起点坐标 $(X_{\text{corner}}, Y_{\text{corner}})$ 和每一个格网点的高程值 Z_m ,高程值存储在一个巨大的矩阵数组 $Z[m][n]$ 中。

$$Z[m][n]=\begin{pmatrix} Z_{00} & Z_{01} & Z_{02} & \cdots & Z_{0n} \\ Z_{10} & Z_{11} & Z_{12} & \cdots & Z_{1n} \\ Z_{20} & Z_{21} & Z_{22} & \cdots & Z_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Z_{m0} & Z_{m1} & Z_{m2} & \cdots & Z_{mn} \end{pmatrix}。$$

把DEM的覆盖区域划分成为规则排列的正方形格网,DEM实际就是间隔规则的正方形格网点或经纬网点阵列,每一个格网点与其他相邻格网点之间的拓扑关系都已经隐含在该阵列的行列号当中。根据

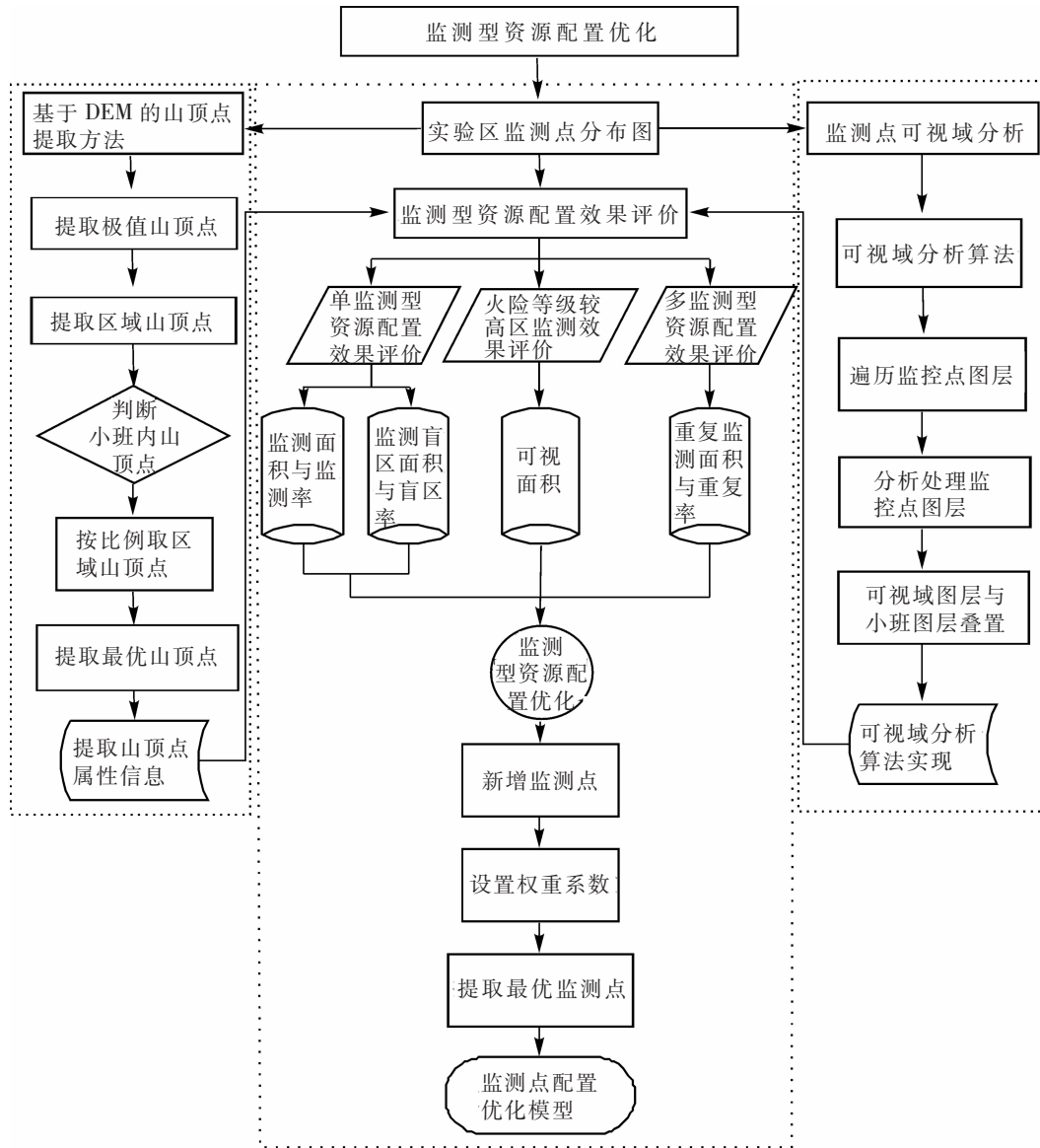


图 1 森林防火检测型资源配置优化模型算法体系

Figure 1 Algorithm system for forest fire monitoring resource allocation model

该区域的原点坐标 (X_{corner}, Y_{corner}) 和格网间距 d , 任意某 m 行 n 列的格网点 $P(X, Y)$ 的地理坐标都可由起算点坐标 $O(X_{corner}, Y_{corner})$ 计算获得。

$$\begin{cases} X = X_{corner} + dn \\ Y = Y_{corner} + dm \end{cases}。$$

而该点的高程值 $Z = Z_{mn} = Z[m][n]$ 。

设 K 点为 P 点周围 8 个点中的任意一个点, K 点的高程值为 $Z[0][0]$, P 点的高程值为 $Z[m][n]$, 若 $Z[m][n] > Z[0][0]$, 则 $Z[m][n]$ 为此范围内的最高点, 作为提取的山顶点。依次对网格内的每一个点取高程值, 遍历以上过程直到取得所有的极值山顶点。在此过程中, 要判断每个疑似山顶点是否同时满足大于所设置的最小高程值和小于所设置的最大高程值。

3.2 提取山顶点

将乡镇面分为 4 个区域, 根据用户要求提取的最优山顶点个数, 在每个区域内分别提取相应个数的极值山顶点, 判断所提取的极值点是否在小班上, 剔除不在小班上的极值点, 按比例提取每个区域的山顶点个数, 判断最终得到的山顶点总个数是否小于所求山顶点总个数, 若是小于, 则返回重新提取, 否则生成最优山顶点, 并提取山顶点属性信息。基本流程如图 2 所示。

4 监测型资源可视域分析算法

4.1 可视域分析

对每一个监控点进行可视域分析以得到拥有最大可视域的监控点, 所以需要对所有的监控点图层进行遍历, 然后应用可视域分析接口对监控点图层进行分析处理, 处理结束后得到的分析结果也是 1 个二值网格图层, 在可见区域的网格赋值为 1, 否则为 0。

算法描述: 首先通过 IFeatureClass 类创建一个点要素 fc.CreateFeature()。把提取的山顶点传给该要素类, 然后获得 X, Y, Z 值, 并写入属性表; 把点要素放入数据集, 实例化栅格表面, 生成 1 个栅格分析环境, 需设置栅格大小, 设置其输出工作空间。最后调用 viewshed-Analyze 类进行可视域分析, 求出可视域的面积, 栅格转化为矢量并保存结果。

4.2 叠置分析

首先精确地计算可视域范围在小班区域图元内的分布状况, 包括拥有类型数、类型的面积、一级火险区域面积、二级火险区域面积、三级火险区域面积、四级火险区域面积、五级火险区域面积等信息。

算法描述: 通过循环获得每个监测点的可视域图层, 再通过 IBasicGeoprocessor 接口调用 Intersect() 方法, 自动获取每个监测点的可视域图层与小班图层的叠置图。

5 试验区资源配置效率评价与优化

5.1 试验区概况

板桥乡位于浙江省临安市东南部, 跨越经纬度范围为 29°56' ~ 30°23'N, 118°51' ~ 119°52'E。东界杭州市余杭区和富阳市, 西接临安市上甘乡, 南连临安市三口镇, 北邻临安市锦城镇和青山镇, 国家一级公路杭昱线临境而过, 省二级公路牧松线贯通南北, 离杭州市区 45 km, 距临安市中心 10 km。是临安市重点林业基地之一, 是一个以农业经济为主的乡镇。全乡林业用地 136.9 km², 森林覆盖率 82.1%。地势从西北向东南倾斜, 地貌类型由西向东可划分为山地、丘陵、河谷平原等。西北高, 东南低, 高差悬殊。

5.2 监测型资源配置评价

监测型资源配置评价是对任一监测型资源在某一监测点上的监测效率分析, 主要根据监测区域内监测点的监测面积、监测率、盲区面积和盲区率来分析监测型资源配置效率。由于地形复杂性, 在一个监测范围内, 某区域部分可能还被其余多个监测点同时监测到, 说明可能存在多余的监测型资源, 所以, 还应考虑重复监测面积和重复监测率。为了提高林火监测有效性, 对林火监测型资源配置分析而言, 除了分析监测范围, 还需考虑地势和火险等级等因素。本研究以临安市板桥乡防火监测型资源配置为依托。经分析, 在高程为 300 ~ 570 m, 最终提取 7 个有效监控点。其中, 考虑到监测型资源有限, 可剔除那些重复率大于用户设定的阈值, 单独监测面积小于用户设定的阈值, 同时火险等级较高区域单独监测面积较少的监测点。

5.2.1 监测型资源单点监测效率评价 ①监测型资源单独监测面积和监测率。监测面积是监测型资源能够观测到的林场内的面积, 监测率是监测实际面积在监测范围中所占的比例, 即 $p_1 = \frac{s_1}{s} \times 100\%$ 。其中: p_1 为监测率, s_1 为有林地监测面积, s 为监测范围。监测面积和监测率越大, 说明监测到的范围越

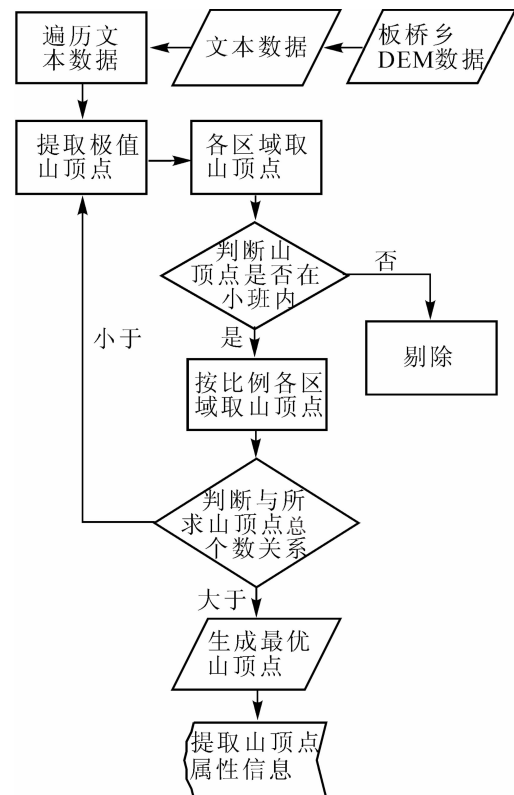


图 2 山顶点提取基本流程图

Figure 2 Flow chart for top-point's pick up

大。在监测范围区域中包括有林地和非林地，为使评价更具实际性，此监测面积仅指有林地监测面积。7 个监控点的监测面积和监测率如表 1。由于地形复杂性，1 个监测点所能监测到的实际面积很小。从表 1 中可看出，所选的 7 个监测点的监测率为 10% ~ 30%，监测点之间的监测面积和监测率相对接近。其中，1 号，3 号，6 号，7 号监测点的监测面积和监测率相对较高，可作为最优监测点；2 号和 5 号监测点的监测面积和监测率较低；而 4 号监测点监测面积虽较高，但监测率最低。②盲区面积和盲区率。监测盲区指的是在一个监测范围内不被任何一个监测型资源监测到的地方，盲区率是盲区面积在监测范围中所占的比例。即 $p_2 = \frac{s_2}{s} \times 100\%$ 。其中： p_2 为盲区率， s_2 为盲区面积， s 为监测范围。盲区面积和盲区率越小，说明没有被监测到的面积越小。此盲区面积包括有林地盲区面积和无林地盲区面积。7 个监控点的监测盲区面积和盲区率如表 2。

表 1 监测面积和监测率结果图层

Table 1 Monitoring area and monitoring rate layer

监测点号	s_i/hm^2	s/hm^2	$p_i/\%$
1	37.198	215.162	17.29
2	27.142	220.365	12.32
3	63.402	305.990	20.72
4	36.992	262.434	11.10
5	26.675	191.945	13.90
6	48.034	309.898	15.50
7	43.327	161.064	26.90

表 2 监测盲区面积与盲区率结果图层

Table 2 Blind area and blind rate layer

监测点号	s_2/hm^2	s/hm^2	$p_2/\%$
1	161.178	215.162	74.91
2	168.403	220.365	76.42
3	231.175	305.990	75.55
4	184.229	262.434	70.20
5	133.095	191.945	69.34
6	244.076	309.898	78.76
7	119.075	161.064	73.93

从表 2 中可看出，7 个监测点的盲区率都在 70% 左右，盲区面积和盲区率都比较高，说明在每个监测点的监测范围内，很大部分区域都没被监测到。

5.2.2 多个监测型资源监测效率评价 重复监测面积是指被 2 个或多个监测型资源同时监测到的区域面积。在 1 个监测范围内，重复监测面积大小与监测型资源的数量有关，也由于地形复杂性，重复监测面积是不可避免的。但某些区域被重复监测到是多余的，同时也浪费宝贵的监测资源。重复监测率是监测范围内重复监测面积在有林地监测面积中所占的比例。即 $w = \frac{v_1}{s_1} \times 100\%$ 。其中： w 为重复监测率， v_1

为重复监测面积， s_1 为有林地监测面积。重复监测面积和重复率越小越好。重复监测面积及重复率如表 3。如表 3 中所示，3 号，4 号，7 号监测点没有出现重复监测面积，说明相应监测点在监测范围内监测到的有林地区域没有被其余任何一个监测点所监测到。而 1 号和 2 号监测点的重复监测率分别达到 92.98% 和 91.47%，说明在这 2 个监测范围内，相应的监测点监测到的有林地区域同时有被其余监测点监测到。

5.2.3 火险等级较高区监测效率评价 为了实现对林火的有效监测，监测点应建立在火险等级较高区域，并能最大范围地监测到整个区域。在 1 个监测区域内，如果监测区域覆盖火险等级较高区域越多（用所占比例表示），说明此监测点发挥了更大的监测效率。即 $h = \frac{v_2}{v} \times 100\%$ 。其中： h 为火险等级较高

区监测率， v_2 为火险等级较高区监测面积， v 为监测面积，包括有林地监测面积和无林地监测面积。火险等级较高指火险等级在 3~5 级范围内。7 个监测点监测范围中火险等级较高区监测面积及监测率如表 4。从表 4 中可看出，1 号，2 号，5 号，6 号监测点监测到火险等级较高的区域面积较大，占监测范围内监测面积百分率 50% 左右，5 号监测点的百分率达到 76.74%，说明监测效率相对较高。

5.3 监测型资源配置优化

根据数字化后的地形图，同时加载显示林场的资源图、道路图、重点防护区图、河流和已有瞭望台或监控点的可视图等基础数据，实现二维模式向三维模式转换，用户可快速准确地掌握整个林场的地形

表3 重复监测面积及重复监测率层

Table 3 Repeat monitoring area and repeat monitoring rate layer

监测点号	v_1 / hm^2	s_1 / hm^2	$w/\%$
1	34.586	37.198	92.98
2	24.828	27.142	91.47
3	0	63.402	0
4	0	36.992	0
5	2.208	26.675	8.28
6	22.302	48.034	46.43
7	0	43.327	0

表4 火险等级较高区监测面积及监测率表

Table 4 Monitoring area and monitoring rate of high fire danger rating regional layer

监测点号	v_2 / hm^2	v / hm^2	$h/\%$
1	37.471	75.834	49.41
2	29.769	59.378	50.13
3	14.484	74.331	19.49
4	8.803	45.469	19.36
5	74.272	96.779	76.74
6	48.648	95.732	50.82
7	6.722	50.049	13.43

特点。用户可根据监测点的单独监测数据、多个监测资源监测数据以及火险等级因素，自行决定监控点的删除，或保证监控点数不变的情况下，对监控点进行移位。

为使监测到的范围最大，监控点一般建立在地势较高的山顶，但由于地形复杂性，实际每个监测点所能监测到的面积很小。林区内还可能留有某块面积较大而未被任何监测型资源监测到的区域，并且所处区域火险等级较高，因此，用户可根据实际情况，在此区域新增监测点。根据此区域已提取的具有最高高程值的3个山顶点，进行监测效果分析。用户可自行对监测范围内的监测面积、监测范围内的林地监测面积、区域内的监测面积、区域内的林地监测面积和火险等级进行权重系数设置，根据最终权重值，确定最佳监控点位置。则 $z = s_1 \times a_1 + s_2 \times a_2 + s_3 \times a_3 + s_4 \times a_4 + s_5 \times a_5$ 。其中： z 表示权重值， a_1, a_2, a_3, a_4, a_5 分别表示权重系数， s_1 表示监测范围内的监测面积， s_2 表示监测范围内的林地监测面积， s_3 表示区域内的监测面积， s_4 表示区域内的林地监测面积， s_5 表示区域内的火险等级较高的面积。设 $a_1 = 0.1, a_2 = 0.2, a_3 = 0, a_4 = 0.2, a_5 = 0.5$ 。分析结果如表5。

表5 新增监测点结果分析表

Table 5 New monitoring points analysis table

监测点号	s_1 / hm^2	s_2 / hm^2	s_3 / hm^2	s_4 / hm^2	s_5 / hm^2	Z
1	7.536	1.922	7.536	1.922	0	2.099
2	44.131	20.890	43.640	20.399	0.023	12.682
3	32.258	21.138	31.729	20.608	2.527	12.839

这里重点考虑的是火险等级因素。最终结果显示：3号监测点的权重值最大，为12.839，相比而言，可确定3号监测点为新增最佳监测点。

6 总结

本研究主要从山顶点提取原理和可视域分析的基本算法实现监测型资源监测范围计算，根据临安市板桥乡森林资源、地形地貌等现状，结合现有的监测型资源配置，并考虑森林火险等级因素，求出该乡镇的监测率、盲区率、重复监测率、高火险区域监测率等指标，并以此为依据，来评判该乡镇监测型资源配置的合理性，并在相关算法的基础上，提出优化方案，从而充分发挥监测型森林防火资源的效益，为森林防火管理工作的科学决策提供技术和数据支持。

本研究虽然是针对临安市的一个乡镇展开研究，但对于其他区域而言，技术方法完全相同，只需更换基础数据和相关参加即可使用，因此，本研究研究对于同类应用具有较高的参考价值。

参考文献：

[1] 田晓瑞, 舒立福, 殷丽. 2007年夏季希腊森林大火发生过程及其影响[J]. 森林防火, 2007(3): 44-46.

TIAN Xiaorui, SHU Lifu, YIN Li. The process and influence of forest fire in Greece on summer in 2007 [J]. For Fire

- Prev*, 2007(3): 44 – 46.
- [2] 杞人. 澳大利亚发生历史上最大森林火灾[J]. 生态经济, 2009(4): 12 – 16.
QI Ren. There occurred the largest forest fire in the history in Australia[J]. *Ecol Econ*, 2009(4): 12 – 16.
- [3] 汤文亮, 曾祥元, 曹义亲. 基于 ZigBee 无线传感器网络的森林火灾监测系统[J]. 实验室研究与探索, 2010, **29** (6): 49 – 53.
TANG Wenliang, ZENG Xiangyuan, CAO Yiqing. Forest fire detection system based on ZigBee wireless sensor network [J]. *Res & Explor Lab*, 2010, **29** (6): 49 – 53.
- [4] 刘龙申, 沈明霞, 何瑞银, 等. 基于 ArcEngine 的林火视频监控定位系统[J]. 浙江农业科学, 2010 (4): 907 – 910.
LIU Longshen, SHEN Mingxia, HE Ruiyin, *et al.* forest fire video monitoring position system based on ArcEngine [J]. *J Zhejiang Agric Sci*, 2010(4): 907 – 910.
- [5] 许水燕, 沈明霞, 何瑞银, 等. 基于 ArcEngine 的森林防火监测系统选址的研究与实现[J]. 浙江农业科学, 2010 (4): 919 – 922.
XU Shuiyan, SHEN Mingxia, HE Ruiyin, *et al.* Research and implementation of site of forest fire monitoring system based on ArcEngine [J]. *J Zhejiang Agric Sci*, 2010(4): 919 – 922.
- [6] 仇金宏, 沈明霞, 丛静华, 等. 基于单目视觉的森林火点实时定位方法[J]. 浙江林学院学报, 2010, **27** (5): 651–658.
QIU Jinhong, SHEN Mingxia, CONG Jinghua, *et al.* Monocular vision technique based real-time location of fire-point in forest [J]. *J Zhejiang For Coll*, 2010, **27** (5): 651 – 658.
- [7] 谭三清. 聚类分析法在森林火险区划中的应用[J]. 中南林业科技大学学报, 2008, **28** (1): 127 – 133.
TAN Sanqing. The application of cluster analysis to the grade classification of forest fire Hazards [J]. *J Cent South Univ For & Technol*, 2008, **28** (1): 127 – 133.
- [8] 唐丽华, 方陆明, 郑文达, 等. 基于多指标类型的区域森林火险等级适应性评价方法[J]. 浙江林学院学报, 2007, **24** (5): 608 – 613.
TANG Lihua, FANG Luming, ZHENG Wenda, *et al.* Study on multi-index based adaptability evaluation method of regional forest fire danger rating [J]. *J Zhejiang For Coll*, 2007, **24** (5): 608 – 613.
- [9] 郑文达, 林明, 唐丽华. 森林防火监测型资源布局优化模型研究[J]. 林业资源管理, 2009(增刊): 55 – 62.
ZHENG Wenda, LIN Ming, TANG Lihua. Research on distribution optimization model of forest fire prevention and monitoring resources [J]. *For Res Manage*, 2009(supp): 55 – 62.