

基于模糊聚类法的高速公路养护管理职能分类^{*}

易诞¹, 邱震², 刘红军³, 谢鸿¹

(1.湖南联智桥隧技术有限公司, 湖南 长沙 410000; 2.湖南省高速公路管理局 怀化管理处, 湖南 怀化 418000;

3.湖南省高速公路管理局 衡阳管理处, 湖南 衡阳 421000)

摘要: 高速公路养护管理职能繁杂, 交叉联系紧密, 目前仍存在由于不合理的职能配置所引起的职能重叠、权责不明、管理效率低下等情况。文中针对养护管理职能的模糊属性, 运用模糊聚类法对其进行分类, 并基于 MATLAB 平台, 以湖南省高速公路养护管理为例进行实例分析, 验证了模糊聚类法应用于高速公路养护管理职能分类的有效性与实用性。

关键词: 工程管理; 高速公路; 养护管理职能; 模糊聚类法

中图分类号: U415.1

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2017)02-0182-04

高速公路作为一种高投入、高产出的基础服务设施, 不仅带来了人流、物流、信息流的高速运转, 而且其运营后产生了巨大的经济效益和社会效益, 在国民经济发展中占据了举足轻重的地位。随着高速公路建设的迅速发展, 高速公路的养护管理更加迫切和重要。而高速公路养护管理涉及多项职能, 且相互交叉。随着高速公路里程的快速增长, 高速公路养护管理内容不断扩大和深化, 对养护效果和养护管理水平要求越来越高, 传统的以经验和简单的专业性质进行的职能分类和机构设置问题凸显, 已无法满足职能分类精细化和准确化的要求。在高速公路大修改造现行管理模式中, 由职能重叠、机构设置不合理所引起的对项目进度的不良影响尤其突出。该文基于高速公路养护管理职能相互交叉、界限模糊的特征, 采用模糊聚类法, 在 MATLAB 平台上对高速公路管理职能进行合理分类, 并针对分类结果设置相应的职能部门, 作为养护管理机构设置和职能分布的依据。

1 模糊聚类分析法

由于工程管理领域涉及的概念通常具有模糊属性, 即事物之间界限模糊、交叉联系、属性不明确, 传统分类方法无法适用。模糊聚类分析法根据特征数据对事物的相似性进行区别和分类, 使同一聚类中的事物具有较高相似度, 不同聚类中的事物相似度较低, 从而实现对实际生产、生活中模糊性问题的有效分类处理。该分析方法以其良好的可理解性和实

用性而在农业、经济、气象预报等工程领域得到了广泛应用。

1.1 基本概念及定理

定义 1: 设 $R = (r_{ij})_{m \times n}$, $0 \leq r_{ij} \leq 1$, 则称 R 为模糊矩阵。对角线元素均为 1, 其余元素均为零的 n 阶模糊方阵成为 n 阶单位模糊矩阵。

定义 2: 设 $R = (r_{ij})_{m \times n}$, $S = (s_{ij})_{m \times n}$ 均为模糊矩阵, 则 $R = S \Leftrightarrow r_{ij} = s_{ij}$, $R \leq S \Leftrightarrow r_{ij} \leq s_{ij}$ 。

定义 3: 设 $R = (r_{ij})_{m \times l}$, $S = (s_{ij})_{l \times n}$ 均为模糊矩阵, 则称模糊矩阵 $R \circ S = (t_{ij})_{m \times n}$ 为 R 与 S 的合成矩阵, 其中 $t_{ij} = \bigvee_{k=1}^l (r_{ik} \wedge s_{kj})$, 算子 \vee 表示取大即 max 运算, \wedge 表示取小即 min 运算。

若 R 为 n 阶方阵, 则其幂运算定义为: $R^2 = R \times R$, $R^3 = R^2 \times R$, \dots , $R^n = R^{n-1} \times R$ 。

定义 4: 设 $R \in M_{n \times m}$ ($M_{n \times m}$ 表示全体 n 行 m 列的模糊矩阵), 对任意 $\lambda \in [0, 1]$, 记为式(1), 则称 R_λ 为模糊矩阵 R 的 λ 截矩阵, 截矩阵是布尔矩阵。

$$R_\lambda = (\lambda r_{ij}), \lambda r_{ij} = \begin{cases} 1, & r_{ij} \geq \lambda \\ 0, & r_{ij} < \lambda \end{cases} \quad (1)$$

定义 5: 若模糊方阵 Q, S, A 满足以下条件: $S \geq A$ ($S^2 \leq S$), $\forall Q \geq A$ ($Q^2 \leq Q$), 且总有 $Q \geq S$, 则称 S 为 A 的传递闭包, 记为 $t(A)$ 。传递闭包就是包含 A 的最小的模糊传递矩阵。

定义 6: 设 $R = (r_{ij})_{m \times n}$ 为 n 阶模糊方阵, 如果满足 $I \leq R$, $R^T = R$, 则称 R 为模糊相似矩阵。如果 R 满足 $I \leq R$, $R^T = R$, $R^2 \leq R$, 则称 R 为模糊等价矩阵。

* 基金项目: 湖南省交通运输厅科技项目(201633)

定理 1: 设 $R = (r_{ij})_{m \times n}$ 为 n 阶模糊相似矩阵, 则必然存在某一最小自然数 $k (k \leq n)$, 使得 R^k 为模糊等价矩阵, 且对于所有大于 k 的自然数 h 均有 $R^h = R^k$ 。

1.2 模型建立与分析

(1) 建立原始数据矩阵。根据分析对象确定被分类的元素, 构成分类集合即论域 $U = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ 。论域 U 中的每个元素 $X_i (i = 1, 2, \dots, n)$ 具有 m 个特征值以表征其性状:

$$X_i = \{x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{im}\} (i = 1, 2, \dots, n)$$

式中: x_{ij} 表示第 i 个元素的第 j 个特征值; $i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m$ 。

由此可建立原始数据矩阵 $X = (x_{ij})_{n \times m}$ 。

(2) 特征值标准化处理。在实际分析过程中, 分析对象的多个特征值通常具有不同的量纲。为了便于分析和进行相对比较, 将各特征值进行标准化处理, 使其取值在 $[0, 1]$ 区间上。令:

$$x'_{ik} = \frac{x_{ik} - \bar{x}_k}{s_k}$$

式中: $\bar{x}_k = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{ik}; s_k = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_{ik} - \bar{x}_k)^2}; i = 1, 2, \dots, n; k = 1, 2, \dots, m$ 。

由此可得到标准化数据矩阵 $X' = (x'_{ij})_{n \times m}$, 该矩阵为模糊矩阵。

(3) 建立模糊相似矩阵。根据相关系数法计算标准化数据矩阵 X' 中的分析对象的相似程度系数 $r_{ij} (i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, n)$, 建立模糊相似矩阵 $R = (r_{ij})_{n \times n}$ 。

$$r_{ij} =$$

$$\frac{\sum_{k=1}^m |x'_{ik} - \bar{x}'_i| \cdot |x'_{jk} - \bar{x}'_j|}{\sqrt{\sum_{k=1}^m (x'_{ik} - \bar{x}'_i)^2} \sqrt{\sum_{k=1}^m (x'_{jk} - \bar{x}'_j)^2}}$$

$$\text{式中: } \bar{x}'_i = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m x'_{ik}; \bar{x}'_j = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m x'_{jk}。$$

(4) 传递闭包法进行聚类。已有定理证明, 对于 n 阶模糊相似矩阵 $R = (r_{ij})_{n \times n}$, 在 n 次幂运算内必然求得其传递闭包 $R^* = t(R)$, 该矩阵即为模糊等价矩阵。为提高计算速度, 可采用平方法求其传递闭包, 即依次求 $R, R^2, R^4, \dots, R^{2^p}, \dots$, 当 $R^{2^{p+1}} = R^{2^p}$ 时, 得到模糊等价矩阵 $R^* = R^{2^p}$ 。求得模糊等价矩阵 R^* 后, 在不同的 λ 水平下求取对应的 λ 截矩阵 $R_\lambda = (r_{ij})_{n \times n}$, 满足:

$$r_{ij} = \begin{cases} 1, & r_{ij} \geq \lambda \\ 0, & r_{ij} < \lambda \end{cases}$$

根据截矩阵 R_λ 的结果, 将其中取值为 1 的元素所对应的原始矩阵中的分类对象聚为同类, 取值为零的元素所对应的原始矩阵中的分类对象单独列为一类。通常可从大到小对 λ 取值进行截矩阵求取, 根据所得结果结合分析对象的具体特征确定最佳 λ 水平, 以此作为聚类依据, 并可根据聚类结果画出动态聚类图。

2 利用模糊聚类法进行职能分类

根据湖南省高速公路养护管理的特点, 确定分析对象为养护项目招投标等 31 个职能, 各职能的特征值包括规划管理、财务、技术、信息管理、后勤人事、路政、开发运营等 7 类。各职能之间关系交叉、界限模糊, 故采用模糊聚类分析法进行聚类, 作为养护管理机构设置和职能分布的依据。

MATLAB 具有强大的矩阵计算能力, 在处理大量高阶矩阵方面具有优越性。利用 MATLAB 软件编制模糊聚类分析程序, 对实例中的特征值矩阵进行分析, 求得模糊相似矩阵及传递闭包矩阵, 并根据不同截取水平获得相应截矩阵。表 1 为各职能及其对应的特征值, 取自专家打分及相关研究资料。

表 1 湖南省高速公路养护管理职能及其特征值

序号	职能	各类特征值						
		规划管理	财务	技术	信息管理	路政	开发运营	后勤人事
1	养护融资	0.10	0.90	0.10	0.00	0.00	0.40	0.00
2	资金管理	0.20	0.90	0.00	0.40	0.00	0.00	0.00
3	养护计划	0.40	0.20	0.80	0.20	0.00	0.00	0.00
4	养护技术	0.10	0.20	0.90	0.20	0.00	0.00	0.00
5	养护招投标	0.90	0.10	0.60	0.10	0.00	0.00	0.00
6	养护项目审批	0.80	0.40	0.40	0.10	0.10	0.00	0.00

续表 1

序号	职能	各类特征值						
		规划管理	财务	技术	信息管理	路政	开发运营	后勤人事
7	养护质量监督	0.20	0.20	0.80	0.20	0.10	0.00	0.00
8	养护项目验收	0.20	0.40	0.80	0.30	0.00	0.00	0.00
9	收费稽查	0.00	0.20	0.00	0.00	0.80	0.00	0.00
10	收费财务管理	0.20	0.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11	还贷管理	0.40	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
12	环保	0.20	0.00	0.90	0.00	0.00	0.00	0.00
13	机械设备管理	0.20	0.20	0.60	0.40	0.00	0.00	0.00
14	应急抢险	0.00	0.00	0.90	0.20	0.40	0.00	0.00
15	运政管理	0.10	0.00	0.00	0.20	0.80	0.00	0.00
16	车辆管理	0.10	0.10	0.00	0.00	0.90	0.00	0.00
17	服务区管理	0.20	0.20	0.00	0.00	0.00	0.80	0.30
18	经营开发	0.30	0.20	0.00	0.00	0.10	0.80	0.10
19	经营财务管理	0.00	0.80	0.00	0.00	0.00	0.20	0.00
20	人事管理	0.00	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.90
21	设施管理	0.10	0.20	0.10	0.00	0.65	0.10	0.00
22	劳资管理	0.00	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.90
23	后勤管理	0.00	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.90
24	管理办法及规章制度	0.80	0.10	0.30	0.20	0.10	0.10	0.10
25	市场培育与监管	0.90	0.20	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00
26	灾害防治	0.00	0.00	0.70	0.40	0.40	0.00	0.00
27	路况监控	0.00	0.00	0.20	0.70	0.35	0.00	0.00
28	道路状况检测	0.00	0.00	0.45	0.80	0.20	0.00	0.00
29	数据分析	0.00	0.10	0.45	0.70	0.00	0.00	0.00
30	环境数据采集	0.00	0.00	0.40	0.80	0.20	0.00	0.00
31	信息平台建设运营	0.10	0.00	0.40	0.90	0.20	0.00	0.00

根据表 1 中特征值数据求取 31 个分类职能的相似系数,构成模糊相似矩阵 $R=(r_{ij})_{31\times 31}$,并采用平方追赶法求其传递闭包 $R^*=t(R)_{31\times 31}$ 。分别求得 λ 水平为 0.75、0.85 和 0.95 时的截矩阵,根据截取结果进行聚类,结果见表 2。

由表 2 可知:当 $\lambda=0.75$ 时,各职能被聚类成 4 类,且第 2 类中共有 19 个职能,过于集中且划分不够清晰;当 $\lambda=0.95$ 时,各职能被聚类成 8 类,过于零散,导致所需设置的职能机构过多;当 $\lambda=0.85$ 时,各职能被聚类成 7 类,且基本与 7 类职能特征相

表 2 不同 λ 水平下的聚类结果

聚类	不同 λ 水平下的聚类结果		
	0.75	0.85	0.95
第 1 类	1,2,10,11,19	1,2,10,11,19	1,2,10,11,19
第 2 类	3~8,12~14,17~18,24~31	3,4,7,8,12~14,26	3,4,7,8,12,14,26
第 3 类	9,15,16,21	5,6,24,25	5,6,24,25
第 4 类	20,22,23	9,15,16,21	9,15,16,21
第 5 类		17,18,	13
第 6 类		20,22,23	17,18
第 7 类		27~31	20,22,23
第 8 类			27~31

对应。因此,取 $\lambda = 0.85$ 作为最佳截取水平并以此作为职能分类和机构设置的依据。

由 $\lambda = 0.85$ 时的聚类结果可知:7 类职能分别可划归财务类、技术类、综合管理类、路政类、开发类、人事后勤类及信息管理类。因此,分别对应设置财务处、技术处、综合管理办公室、路政处、经营开发处、后勤人事处及信息中心等 7 个机构,各机构的职能见表 3。

表 3 养护职能部门及其职能设置

部门名称	具体职能
综合管理办公室	养护招投标;养护项目审批;管理办法及规章制定;市场培育与监管
财务处	养护融资;资金管理;收费财务管理;还贷管理;经营财务管理
技术处	养护计划;养护技术;养护质量监督;养护项目验收;环保;应急抢险;灾害防治
路政处	收费稽查;运政管理;车辆管理;设施管理
经营开发处	服务区管理;经营开发
后勤人事处	人事管理;劳资管理;后勤管理
信息中心	路况监控;道路状况检测;数据分析;环境数据采集;信息平台建设运营

运用模糊聚类法所得的高速公路养护管理机构结构清晰、职能明确、重点突出,与传统养护管理机构设置相比具有以下特征:1) 突出技术处和信息中心两个部门的设置。传统养护管理机构中的养护技术职能通常笼统地划归于工程管理部,与诸多综合管理职能混归一个部门,造成严重的重管理、轻技术的现象,制约了养护技术的引进和自主研发。针对此情况,设置独立的技术处,将养护计划、技术、质监、验收、防灾抢险等专业性较强的职能归于该部门,并加入环保这一重要职能,以此加强养护管理和决策的技术支撑,同时注重养护环保问题,有利于推动环保材料和新型养护技术的应用。此外,中国养护信息化建设程度较低,对数据的积累和重视不足,制约了对高速公路病害机理和养护规律的本质性认识。信息中心的设置与养护信息化建设趋势相一致,通过对环境、病害、养护历史、实时监控结果等数据的采集和积累,形成高速公路信息数据库,建立信息存储和分析平台,对于养护科学研究和实际施工指导具有重大意义。2) 养护与路政交通相结合。传统高速公路管理体制下的养护职能与交通管理职能分属交通和公安两个部门,两家分管的模式使得在职能交叉的情况(如应急抢险、大修施工时的交通引导等)发生时无法实现及时的协调合作,且容易产生利益冲突和互相推诿责任的现象。将路政管理纳入养护管理,有利于高速公路管理的整体性,避免由于部门隔阂产生的迟滞和冲突。3) 各部门职能明确,权责清晰。管理职能本身具有模糊属性,单个职能通常同时与多个特征属性相关,实际管理中各职能往往分类不明,导致管理混乱。通过模糊聚类法

将具有模糊属性的职能明确划归至最合理的部门,能有效减少职能重叠,明确权责主体,提高管理和执行效率。

3 结语

该文基于 MATLAB 平台,运用模糊聚类法对湖南省高速公路养护管理职能进行分类,将具有较高相似度和关联性的养护管理职能归于一类,并根据分类结果设置相应的职能部门,可从理论上为高速公路养护管理职能分类提供技术支持,对高速公路养护具有实用价值。该方法在小修保养管理模式及大修改造机构设置上均适用,对提高养护管理效率、实现快速化大修改造具有重要指导意义。

参考文献:

[1] 余军华.论我国政府机构设置科学化[D].武汉:华中师范大学,2004.

[2] 岳士弘,黄妮,王鹏龙.基于矩阵特征值分析的模糊聚类有效性指标[J].天津大学学报:自然科学与工程技术版,2014,47(8).

[3] 曲福恒.模糊聚类算法及应用[M].北京:国防工业出版社,2011.

[4] 李震.高速公路养护管理研究[D].成都:西南交通大学,2010.

[5] 赵宝峰.基于 MATLAB 模糊聚类分析法治理矿井水害[J].煤炭科学技术,2013(7).

[6] 惠先宝.高速公路管理机构设置方法及其应用[J].交通标准化,2000(3).