

基于改进 FAHP 的交通系统脆性分析

荣盘祥, 杨晓宇

(哈尔滨理工大学 自动化学院, 黑龙江 哈尔滨 150080)

摘 要:将复杂系统脆性引用到交通系统的研究中,并根据复杂系统的层次结构,采用模糊层次分析法 (FAHP)对交通系统进行了分析.为了更准确地描述两个元素关于某准则的相对重要程度,对模糊层次分析法进行改进.利用九标度法建立目标集的互反型二元比较矩阵,对其用方根法 (或行和归一法)与乘幂法结合使用,以此求得交通系统各子系统 (或元件)的相对重要度排序向量,找出极易使交通系统崩溃的脆性元件或因素,对其进行重点监测,最大限度避免了脆性的发生,从而为交通系统的脆性研究提供了一种可行的分析方法.

关键词:模糊层次分析; 交通系统; 排序向量; 脆性因素

中图分类号: N941.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007- 2683 (2009) 01- 0012- 04

The Brittleness Analysis of the Traffic System Based on the Modified FAHP

RONG Pan-xiang, YANG Xiao-yu

(School of Automation, Harbin University of Science and Technology, Harbin 150080, China)

Abstract: In this paper, the brittleness of the complex system is introduced to the study of the traffic system. According to the hierarchy structures of complex systems, we analyze the brittleness of the traffic system with the Fuzzy Analytic Hierarchy Process (FAHP). In order to describe the relative importance between any two elements exactly, we modify the FAHP method. A reciprocal two-dimensional comparison matrix of objective sets is established with nine scales, and a combined method of both the square-root and power is used on this matrix to obtain the relative importance degree order vector of the subsystem of traffic system by the modified FAHP. We find the significant brittleness factors that lead to system breakdown and watch them. The system brittleness is kept from happening to the utmost extent. Thereby, a feasible method for studying the brittleness of the traffic system is provided.

Key words: fuzzy analytic hierarchy process; traffic system; order vector; brittleness factors

1 引 言

交通系统是一个典型的复杂系统.从脆性分析的角度来看,道路交通系统作为一个复杂系统除了具有层次性、开放性、非线性等基本性质之外,也具有复杂系统的脆性,对于某个具体的路段或路口这

样的交通系统而言,在日常运行过程之中遭遇到恶劣的天气条件,如:暴雨、雪灾、大雾、地震等,以及各种各样的道路交通事故,系统的正常维修,拥挤的人车流量,甚至一个微小的干扰都可能使其崩溃.而对于城市的、由各个子系统构成的复杂系统而言,某个子系统的崩溃、某条线路的超负荷、某个突然事件等情况都有可能导致连锁反应,导致整个系统的崩

收稿日期: 2008 - 03 - 21

基金项目: 黑龙江省自然科学基金项目 (F2007 - 10); 黑龙江省博士后研究基金.

作者简介: 荣盘祥 (1965 -), 男, 哈尔滨理工大学教授, 博士.

溃.同时,随着社会经济的发展,车辆成为人们的主要交通工具,车辆的数目在不断的增长,导致的结果是交通阻塞、车辆通行时间延长,给社会经济生活带来不可挽回的负面影响.因此,从交通系统的脆性出发,找出导致交通系统脆性发生的主要因素是非常必要的.这不仅为道路交通建设的发展奠定了一定的基础,而且也降低系统的脆性提供了一种可行的分析方法.

本文从复杂交通系统事故角度,根据交通系统的层次结构,采用改进的模糊层次分析法对交通系统的脆性进行分析,从而找出复杂系统脆性激发的主要因素,揭示出复杂系统脆性被激发的实质.

2 研究方法

层次分析法 (analytic hierarchy process, AHP) 是 T. L. Saaty 于 1977 年提出的,它是一种定性和定量相结合的多目标决策分析方法. AHP 把复杂的问题分解为各个组成因素,将这些因素按支配关系分组形成有序的递阶层次结构,通过两两比较的方式确定层次中诸因素的相对重要性,然后综合人的判断,以决定决策诸因素相对重要性总的顺序.由于 AHP 的判断矩阵的一致性指标难于达到以及判断矩阵的一致性与人们决策思维的一致性存在差异,所以人们在层次分析法中引入模糊一致矩阵,得到了模糊层次分析法 (简记为 FAHP)^[1].

模糊层次分析法同普通层次分析法的区别在于判断矩阵的模糊性.在构成判断矩阵的时候,要求此矩阵在大体上应该具有一致性,一个混乱的经不起推敲的判断矩阵有可能导致计算的错误.因此还要把此矩阵改成模糊一致矩阵.以重要、同等重要和不重要三个等级来区别每一层次中各因素对上层某因素的相对重要性.然后改造成模糊一致矩阵.虽然三标度法计算简单,但相比较的两个元素之间的重要程度表现很模糊.为了能够准确地描述任意两个因素关于某准则的相对重要程度,引入了改进的模糊层次分析法.

改进的模糊层次分析法同传统的模糊层次分析法的区别是利用九标度法建立目标集的互反型二元比较矩阵,对其用方根法 (或行和归一法) 与乘幂法结合使用,以此求得目标权重 (子系统相对于总目标的重要度排序向量),这样不仅可以控制和提高精确度,提高收敛速度,而且还可以求得精确度较高的目标权重.

改进的模糊层次分析法的步骤如下:

1)建立递阶层次结构图. 根据对系统故障的分析,将因素分层.递阶层次结构一般分为三层:最顶层 (目标层)、中间层 (准则层)和最底层 (措施层或方案层).然后标明上一层元素与下一层之间的关系,并用结构图表示.一般情况下,系统故障的递阶层次结构在划分时,考虑的角度不同,可能有不同的划分方法.可采取综合几位专家意见的方法建立系统故障的递阶层次结构图.

2)构成优先关系矩阵. 由每一层次中的因素针对上层因素的相对重要性建立矩阵.这种矩阵是模糊互补矩阵.为了能够准确地描述任意两个因素关于某准则的相对重要程度,这里采用如表 1 所示的 0.1~0.9 标度给予数量标度.

表 1 0.1~0.9 数量标度

标度 s	说明
0.5	同等重要
0.6	稍微重要
0.7	明显重要
0.8	重要很多
0.9	极端重要
0.1 0.2 0.3 0.4	反比较

3)将优先关系矩阵改造成模糊一致矩阵. 对模糊互补矩阵 $R = (r_{ij})_{n \times n}$ 按行求和,记为 $r_i = \sum_{j=1}^n r_{ij}$, $i = 1, 2, \dots, n$,进行如下数学变换 $\bar{r}_{ij} = (r_i - r_j) / 2n + 0.5$,则变换以后的矩阵是模糊一致矩阵.

4)利用行和归一法.

$$W^{(0)} = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T =$$

$$\left(\frac{\sum_{i=1}^n e_{1j}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n e_{ij}}, \frac{\sum_{i=1}^n e_{2j}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n e_{ij}}, \dots, \frac{\sum_{i=1}^n e_{nj}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n e_{ij}} \right)^T$$

或方根法

$$W^{(0)} = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T =$$

$$\left(\frac{\sqrt[n]{\prod_{j=1}^n e_{1j}}}{\sum_{i=1}^n \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n e_{ij}}}, \frac{\sqrt[n]{\prod_{j=1}^n e_{2j}}}{\sum_{i=1}^n \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n e_{ij}}}, \dots, \frac{\sqrt[n]{\prod_{j=1}^n e_{nj}}}{\sum_{i=1}^n \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n e_{ij}}} \right)^T$$

求得排序向量.

5)利用转换公式 $e_{ij} = r_{ij} / r_j$ 将互补型判断矩阵 $R = (r_{ij})_{n \times n}$ 变为互反型矩阵 $E = (e_{ij})_{n \times n}$.

6)乘幂法通常是求矩阵最大特征值 $\lambda_{\max}$ 及其对

应特征向量的一种数值解法,先由迭代公式求得 $\lambda_{\max}$ 及其对应的特征向量 V ,然后对该特征向量作归一化处理,即为目标权重向量.它可以控制和提高精确度.

本文将行和归一法或方根法求得的目标权重 $W^{(0)} = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T$ 作为乘幂法的迭代初值,利用迭代法求解方程:

$$E_{n \times n} V_{n \times 1} = \lambda_{\max} V_{n \times 1}$$

式中: E 为互反型比较矩阵; $\lambda_{\max}$ 为矩阵 E 的最大特征值; $V_{n \times 1}$ 为对应于 $\lambda_{\max}$ 的特征向量.

其算法步骤为: ①输入比较矩阵 $E_{n \times n}$, 绝对误差限 ε , 最大迭代次数 N ; ②输入特征向量初值 $V_0 = V_0 (v_{01}, v_{02}, \dots, v_{0n})^T$, 并求 V_0 的无穷范数 $\|V_0\|_{\infty} = \max \{v_{01}, v_{02}, \dots, v_{0n}\}$; ③利用迭代公式 $\begin{cases} \bar{y}_k = V_k / \|V_k\|_{\infty} \\ V_{k+1} = E \bar{y}_k \end{cases}$ 求特征向量 V_{k+1} ; ④判断: 若 $|\|V_{k+1}\|_{\infty} - \|V_k\|_{\infty}| \leq \varepsilon$, 则 $\|V_{k+1}\|_{\infty}$ 即为最大特征值 $\lambda_{\max}$, 将 V_{k+1} 进行归一化, 处理后得

$$V_{k+1} = \left(\frac{V_{k+1,1}}{\sum_{i=1}^n V_{k+1,i}}, \frac{V_{k+1,2}}{\sum_{i=1}^n V_{k+1,i}}, \dots, \frac{V_{k+1,n}}{\sum_{i=1}^n V_{k+1,i}} \right)^T$$

即为目标权重向量, 迭代结束.

3 复杂系统的脆性理论

复杂系统的脆性理论是研究复杂系统本身的一种属性的理论. 复杂系统脆性的定义为: 由于受到内、外干扰因素的作用而使得其一部分 (子系统) 崩溃, 并使得其它部分 (子系统) 或整个复杂系统受到直接或间接的影响, 从而引发了这些部分 (子系统) 的崩溃; 由此带来的连锁反应, 最终会导致整个复杂系统的崩溃^[2]. 这个属性被称之为复杂系统的脆性, 系统的崩溃过程也可以称之为脆性被激发了.

脆性具有不确定性、普遍性、客观性、可变性、隐蔽性、突发性等特点, 其中不确定性和可变性是主要属性. 脆性是系统在产生和发展过程中所固有的, 而且是隐形的, 作用结果是突变的、延时的, 而且表现形式是多样的, 脆性产生并作用于系统的一个根源是子系统之间的非合作博弈^[3-5]. 系统的脆性被激发即系统崩溃一定存在内部或外部的某种诱因, 我们称这种诱因为系统的脆性因素. 脆性因素又可以分解为基本的脆性因子.

由于交通系统具有层次结构, 而模糊层次分析

法的层次总排序又给出了某一层的子系统相对于总目标的相对重要度排序. 因此, 可以根据这个结果对交通系统的脆性进行分析.

4 交通系统脆性分析

本文用改进的模糊层次分析法对交通系统进行如下脆性分析:

1) 建立交通系统的递阶层次结构图

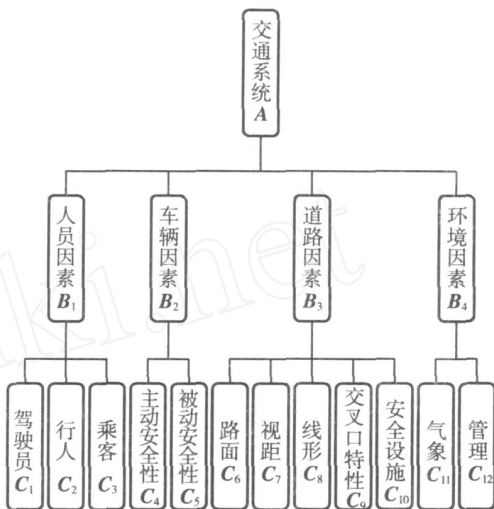


图1 交通系统的递阶层次结构图

2) 构成优先关系矩阵

这里一共构造 5 个优先关系矩阵, 其数值如下:

$$A - B = \begin{bmatrix} 0.5 & 0.9 & 0.9 & 0.9 \\ 0.1 & 0.5 & 0.6 & 0.4 \\ 0.1 & 0.4 & 0.5 & 0.3 \\ 0.1 & 0.6 & 0.7 & 0.5 \end{bmatrix}$$

$$B_1 - C (C_1, C_2, C_3) = \begin{bmatrix} 0.5 & 0.9 & 0.9 \\ 0.1 & 0.5 & 0.8 \\ 0.1 & 0.2 & 0.5 \end{bmatrix}$$

$$B_2 - C (C_4, C_5) = \begin{bmatrix} 0.5 & 0.6 \\ 0.4 & 0.5 \end{bmatrix}$$

$$B_3 - C (C_6, C_7, C_8, C_9, C_{10}) = \begin{bmatrix} 0.5 & 0.7 & 0.7 & 0.7 & 0.7 \\ 0.3 & 0.5 & 0.7 & 0.7 & 0.7 \\ 0.3 & 0.3 & 0.5 & 0.7 & 0.7 \\ 0.3 & 0.3 & 0.3 & 0.5 & 0.7 \\ 0.3 & 0.3 & 0.3 & 0.3 & 0.5 \end{bmatrix}$$

$$B_4 - C (C_{11}, C_{12}) = \begin{bmatrix} 0.5 & 0.8 \\ 0.2 & 0.5 \end{bmatrix}$$

3) 将优先关系矩阵改造成模糊一致矩阵, 结果如下:

$$A - B = \begin{bmatrix} 0.500\ 0 & 0.700\ 0 & 0.737\ 5 & 0.662\ 5 \\ 0.300\ 0 & 0.500\ 0 & 0.537\ 5 & 0.462\ 5 \\ 0.262\ 5 & 0.462\ 5 & 0.500\ 0 & 0.425\ 0 \\ 0.337\ 5 & 0.537\ 5 & 0.575\ 0 & 0.500\ 0 \end{bmatrix}$$

$$B_1 - C(C_1, C_2, C_3) = \begin{bmatrix} 0.50 & 0.65 & 0.75 \\ 0.35 & 0.50 & 0.60 \\ 0.25 & 0.40 & 0.50 \end{bmatrix}$$

$$B_2 - C(C_4, C_5) = \begin{bmatrix} 0.50 & 0.55 \\ 0.45 & 0.50 \end{bmatrix}$$

$$B_3 - C(C_6, C_7, C_8, C_9, C_{10}) = \begin{bmatrix} 0.50 & 0.54 & 0.58 & 0.62 & 0.66 \\ 0.46 & 0.50 & 0.54 & 0.58 & 0.62 \\ 0.42 & 0.46 & 0.50 & 0.54 & 0.58 \\ 0.38 & 0.42 & 0.46 & 0.50 & 0.54 \\ 0.34 & 0.38 & 0.42 & 0.46 & 0.50 \end{bmatrix}$$

$$B_4 - C(C_{11}, C_{12}) = \begin{bmatrix} 0.50 & 0.65 \\ 0.35 & 0.50 \end{bmatrix}$$

4)层次单排序.

根据上述模糊一致矩阵,利用归一法算出单排序结果如下:

A层相对于B层:

$$W_0 = [0.325\ 0 \quad 0.225\ 0 \quad 0.206\ 3 \quad 0.243\ 7]$$

C层相对于B层中的B₁:

$$W_1 = [0.422\ 2 \quad 0.322\ 2 \quad 0.255\ 6 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0]$$

C层相对于B层中的B₂:

$$W_2 = [0 \quad 0 \quad 0 \quad 0.525 \quad 0.475 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0]$$

C层相对于B层中的B₃:

$$W_3 = [0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0.232 \quad 0.216 \quad 0.2 \quad 0.184 \quad 0.168 \quad 0 \quad 0]$$

C层相对于B层中的B₄:

$$W_4 = [0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0.575 \quad 0.425]$$

根据上面的结果,可以算出总排序为

$$W' = \begin{bmatrix} 0.137\ 2 & 0.104\ 7 & 0.083\ 1 & 0.118\ 1 \\ 0.106\ 9 & 0.047\ 9 & 0.044\ 5 & 0.041\ 3 \\ 0.037\ 9 & 0.034\ 6 & 0.140\ 2 & 0.103\ 6 \end{bmatrix}$$

5)将互补型判断矩阵变为互反型判断矩阵.

$$E_{Rab} = \begin{bmatrix} 1.000\ 0 & 2.333\ 3 & 2.809\ 5 & 1.963\ 0 \\ 0.428\ 6 & 1.000\ 0 & 1.162\ 2 & 0.860\ 5 \\ 0.355\ 9 & 0.860\ 5 & 1.000\ 0 & 0.739\ 1 \\ 0.509\ 4 & 1.162\ 2 & 1.352\ 9 & 1.000\ 0 \end{bmatrix}$$

E_{Rab}是与3)中求出的互补型判断矩阵A-B相

对应的互反型判断矩阵,用同样的方法可以求得

E_{Rb2c}、E_{Rb3c}和E_{Rb4c}.

6)进一步求精确度较高的排序向量.

$$W_{Rab} = [0.436\ 9 \quad 0.186\ 3 \quad 0.159\ 3 \quad 0.217\ 5],$$

$$W_{Rb1c} = [0.536\ 5 \quad 0.28 \quad 0.183\ 4],$$

$$W_{Rb2c} = [0.55 \quad 0.45],$$

$$W_{Rb3c} = [0.270\ 2 \quad 0.229\ 1 \quad 0.194\ 7 \quad 0.165\ 5 \quad 0.140\ 5],$$

$$W_{Rb4c} = [0.65 \quad 0.35]$$

其中,W_{Rab}是与W₀相对应的精确度较高的排序向量,W_{Rb1c}、W_{Rb2c}、W_{Rb3c}和W_{Rb4c}分别与W₁、W₂、W₃和W₄相对应.经过归一化,最后得出相对于整个交通系统的相对重要度排序向量结果如下:

$$W = \begin{bmatrix} 0.234\ 4 & 0.122\ 3 & 0.080\ 1 & 0.102\ 5 \\ 0.083\ 8 & 0.043\ 1 & 0.036\ 5 & 0.031\ 0 \\ 0.026\ 4 & 0.022\ 4 & 0.141\ 4 & 0.076\ 1 \end{bmatrix}$$

5 结 论

本文基于改进的模糊层次分析法对复杂系统的脆性进行了分析.通过求取某一层相对于总目标的相对重要度,找出了交通系统中驾驶员,行人,气象,以及主动安全性4个主要因素,其中驾驶员为最主要因素.当他们出问题时更容易激发整个交通系统的脆性.为减小交通系统的脆性提供了一种可行的分析方法,为深入研究复杂系统脆性奠定了一定的基础.

参 考 文 献:

[1] 孙庆荣. 基于FAHP的黄河中下游灾害系统脆性评价[J]. 自然灾害学报, 2005, 14(3): 105 - 107.

[2] WEIQi, JN Hongzhang, JIMing. The Research on Brittle Catastrophe of Complex Giant System[J]. IEEE Region 10 Conference on Computers, Communications, Control and Power Engineering, 2002, 10(3): 28 - 31.

[3] WEIQi, JN Hongzhang, GUO Jian, et al. Analysis on the Collapse of Complex System Based on the Brittle Characteristic[C]// 2002 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications, 2002, 10: 7 - 11.

[4] 韦琦, 金鸿章, 郭健, 等. 基于脆性的复杂系统研究[J]. 系统工程学报, 2004(3): 104 - 106.

[5] JN Hongzhang, GUO Jian, WEIQi, et al. Research on the Basic Characteristics of Complex System Brittleness[J]. Journal of Marine Science and Application, 2004, 6(3): 57 - 63.

(编辑:王 萍)