

基于云模型的道路交通安全等级评价

李 雪, 赵 宁, 郑 晔

(长安大学 电子与控制工程学院, 西安 710064)

摘 要: 针对道路交通安全等级评价具有的模糊性和随机性特性, 提出了道路交通安全等级云模型评价方法. 通过分析道路交通安全的影响因素, 确定评价指标及标准; 计算出每个评价指标的云数字特征, 生成各指标云模型; 评价实测数据, 由最大隶属度的加权值确定道路安全等级. 对西安市二环路实测数据进行评价, 评价结果为: 东二环、南二环、北二环路道路交通安全, 隶属度 $U(\text{II})$ 分别为: 0.404 8、0.609 8 和 0.497 6; 西二环路道路基本安全, 隶属度 $U(\text{III})$ 为 0.621 2. 对比灰色评价法和模糊数学法, 云模型法不仅能反映出道路交通安全等级, 更能精确反映所隶属等级的确定度.

关键词: 交通运输系统工程; 道路交通安全; 云模型; 评价指标; 隶属度

中图分类号: U 491.5

文献标志码: A

文章编号: 0254-0037(2015)08-1219-06

doi: 10.11936/bjtxb2014120076

Road Traffic Safety Evaluation Based on Cloud Mode

LI Xue, ZHAO Ning, ZHENG Xuan

(School of Electronic and Control Engineering, Chang'an University, Xi'an 710064, China)

Abstract: A cloud model evaluation method was proposed according to the characteristics of fuzziness and randomness in road traffic safety evaluation. The evaluation indexes and standards were determined by analyzing the factors effected road traffic safety. The cloud model of each factor on each level was generated by each factor's cloud digital characters. The road traffic safety levels were determined by the weighted average value of the maximum membership. Data measured in the second ring road of Xi'an were evaluated. The results showed that road traffic safety was relatively safe in East Second Ring, South Second Ring and North Second Ring, and the membership of $U(\text{II})$ were 0.404 8, 0.609 8 and 0.497 6 respectively. Road traffic safety was basically safe in West Second Ring, and the membership of $U(\text{III})$ was 0.621 2. The results were compared with Grey evaluation method and Fuzzy Mathematics method. Not only the evaluation method based on the cloud model can determine road traffic safety, but also can determine the membership more accurately.

Key words: engineering of communication and transportation system; road traffic safety; cloud model; evaluation index; membership

道路交通安全评价是道路交通安全管理、决策的基础, 安全等级的划分有助于制定合理的道路交通安全改善优先顺序. 在道路交通安全评价中, 由于专家经验和知识的不同, 导致指标数值等级划分

的随机性; 并且, 指标数值在实际测量时, 会受到外界环境与人为的干扰, 导致在临界区域的数值可能被划分为 2 个不同的级别, 造成分类亦此亦彼的模糊性. 因此, 道路交通安全评价问题是随机性与模

收稿日期: 2014-12-31

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51308057); 陕西省自然科学基金资助项目(2013JQ8006)

作者简介: 李 雪(1980—), 女, 副教授, 主要从事交通信息工程及控制方面的研究, E-mail: superlixue@126.com

糊性问题的综合。

传统的道路交通安全评价有相对事故率法、时间序列分析法、回归分析法等^[1]分析方法。而这些方法均存在一个共同的问题:由于参数选取不同,导致评价结果差异较大。近年来,国内外学者对此开展了进一步研究,牛会永、刘俊娟等^[2-3]运用灰色理论的“非唯一性”原理,将道路交通安全水平确定在某一灰域内,实现了评价交通安全的目的;黄文杰^[4]利用BP神经网络法建立了道路交通安全评价模型;王涛、王薇等^[5-6]采用层次分析法和模糊评价法建立了道路安全评价模型,考虑了道路交通中的模糊性;范东凯等^[7]从微观角度确定了城市道路安全评价指标体系,采用主成分分析法(PCA)并结合统计软件SPSS对实测数据进行处理,避免了评价的主观随意性。但是,这些方法均未能综合考虑道路交通安全评价的随机性与模糊性。

新近发展起来的云理论^[8]具有综合考虑模糊性与随机性的特点。通过云的期望值、熵和超熵3个数字特征将模糊性和隶属度的随机性完全集成到一起,完成定量与定性之间的映射。因此,云模型成为道路安全评价的优选方法。本文将道路安全评价指标映射成云成员,生成各指标隶属于各交通安全级别的云模型,确定了道路交通安全评价等级,并以实例验证了该方法的可行性和有效性。

1 评价指标

评价指标的选取遵循可操作性、代表性、可比性的原则^[9]。据此选择了最能表征交通安全特性的事故指标、车速指标、道路因素3个指标进行分析。

1) 事故指标

常用的事故指标包括单位人口死亡率和单位车辆死亡率,但是,2种评价指标分别考虑了人口和机动车数量的差异。为了将两者的关系联系起来,选取道路交通综合死亡率作为事故指标,即

道路交通综合死亡率 =

$$\frac{\text{区域内道路交通事故死亡人数}}{\sqrt{\text{区域内机动车数量} \times \text{区域内人口数量}}} \quad (1)$$

该指标同时考虑了研究区域内的人口总量和机动车保有量,即2个主要交通参与因素对交通安全的影响,且该评价指标中各参数的数据获取准确、客观,可操作性好;由于是相对指标,具有可比性。

2) 车速指标

车速指标取运行车速与设计车速差 $|v_{85} - v_d|^{[10]}$ 。其中 v_{85} 是指在自由流交通状态下各类小汽车在车

速累计分布曲线上第85位百分点的车辆行驶速度, v_d 是指设计车速。车速指标易获取,可操作性好。

3) 道路因素指标

道路是交通安全的基本因素,道路交通安全是人、车、路等因素和谐统一的结果。在道路系统中,驾驶员的任何行为都时刻受到车辆、道路因素的影响。路面平整度直接影响到行车的舒适度和安全性。选取易于测量和可靠的国际平整度指数(IRI)指标^[11]作为道路因素指标,具有可操作性和客观性。结合城市道路设计车速,确定路面平整度安全评价指标范围。

基于国内现有规范,已有文献资料和研究成果^[9-14]将道路交通安全划分为5个等级,分别为:安全I、较安全II、基本安全III、不安全IV和极不安全V。评价指标分类标准见表1。

表1 道路交通安全评价指标分类标准

Table 1 Classification for road traffic safety evaluation indexes

类别	道路交通综合死亡率/%	车速差/($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$)	路面平整度/($\text{m} \cdot \text{km}^{-1}$)
安全I	0~1	0~5	0.0~1.0
较安全II	1~2	5~10	1.0~1.8
基本安全III	2~5	10~20	1.8~2.8
不安全IV	5~8	20~25	2.8~3.6
极不安全V	8~10	25~30	3.6~4.6

2 道路交通安全评价云数字特征

云模型用3个数字特征(期望 E_x 、熵 E_n 、超熵 H_e)来表征一个概念的整体特性^[8]。通过这3个数字特征,利用数学算法可以生成不同的云模型,从而构造不同的云。在道路交通安全评价中,将每一个指标的稳定性级别看作一个自然语言的概念,根据各评价指标标准集生成对应等级的云数字特征。

道路交通综合死亡率、车速差和路面平整度3个评价指标隶属于各安全等级的范围都具有上下边界,形如 $V[X_{\min}, X_{\max}]$,其云数字特征可表示为

$$\begin{cases} E_x = (X_{\min} + X_{\max})/2 \\ E_n = (X_{\max} - X_{\min})/6 \\ H_e = k \end{cases} \quad (2)$$

式中: X_{\min} 、 X_{\max} 分别为指标的下界与上界; k 为常数,可根据变量的模糊度进行调整。本文确定的道路交通安全评价指标的云模型参数见表2。

表2 云模型数字特征(E_x 、 E_n 、 H_e)的确定

Table 2 Digital characteristics of cloud model

云模型	E_x	E_n	H_e
I	$E_{x1} = 0$	$E_{n1} = (E_{x2} - E_{x1})/3$	0.01
II	$E_{x2} = (a + b)/2$	$E_{n2} = (E_{x2} - E_{x1})/3$	0.01
III	$E_{x3} = (b + c)/2$	$E_{n3} = (E_{x3} - E_{x2})/3$	0.01
IV	$E_{x4} = (c + d)/2$	$E_{n4} = (E_{x4} - E_{x3})/3$	0.01
V	$E_{x5} = (d + e)/2$	$E_{n5} = (E_{x5} - E_{x4})/3$	0.01

表2中, a 、 b 、 c 、 d 和 e 分别代表各分级指标的边界值.如评价指标车速差的5个评价区间为I(0, a], II(a , b], III(b , c], IV(c , d], V(d , e].经计算,车速差安全等级I的云数字特征为(0, 2.5, 0.01).各数字特征的含义为:

期望 $E_x = 0$ 云滴在论域空间中分布的期望,即处于安全等级I时,期望的运行车速与设计车速的差为0.

熵 $E_n = 2.5$ 由概念的模糊性和随机性共同决定,反映了定性概念的不确定性.

超熵 $H_e = 0.01$ 熵的不确定性的度量,即熵的熵,由熵的随机性和模糊性共同决定.

3 道路交通安全云模型

3.1 评价指标云模型确定

根据给定云的3个数字特征(E_x , E_n , H_e),产生正态云模型的若干云滴 $\text{drop}(x_i, u_i)$,构造正向云发生器.其中 x_i 为实测数据, u_i 为此 x_i 隶属于该云的确定程度,即隶属度.以评价指标车速差为例,将其分为5个评价等级,对应生成5个隶属云模型.隶属于安全等级I的云模型数字特征为(0, 2.5, 0.01),生成对应等级的隶属云模型步骤为:

1) 2.5为期望值, 0.01^2 为方差,生成一个正态随机数 $y_i = \text{Rn}(2.5, 0.01)$;

2) 生成以0为期望值, y_i^2 为方差的一个正态随机数 $x_i = \text{Rn}(0, y_i)$;

3) 计算 $u(x_i) = \exp\left(-\frac{(x_i - 0)^2}{2y_i^2}\right)$;

4) $(x_i, u(x_i))$ 即为求得的一个云滴;重复1)~3)步,直到得到1000个云滴.

根据上述算法,生成道路交通综合死亡率、车速差和路面平整度的云模型,见图1.

图1中,横坐标表示指标的取值,纵坐标表示对应等级的隶属度.由生成的车速差云模型可看出,车速差5个等级之间的界限是不明显的,同一个车

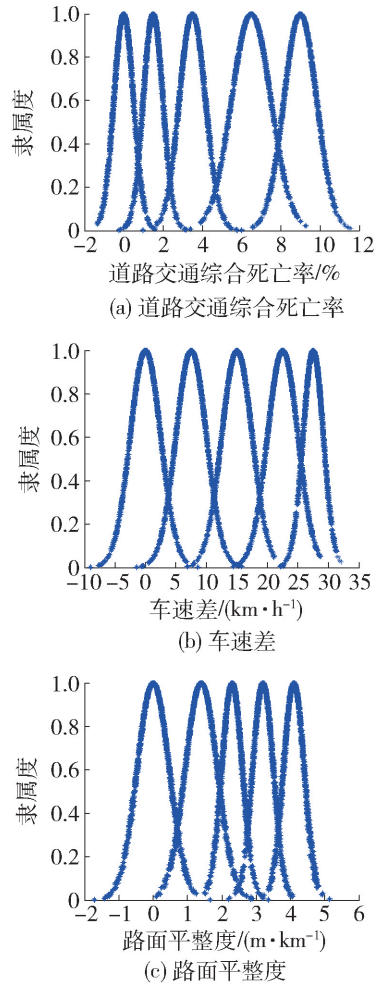


图1 各评价指标安全等级云模型

Fig. 1 Cloud for each evaluation factor

速差值可属于不同的级别,由此表现出了概念的“亦此亦彼”性.而且算法本身又带有随机性,从而云模型揭示了客观对象的模糊性和随机性.

3.2 评价指标权重确定

确定各评价指标在评价过程中的权重 $w_i (i = 1, 2, 3)$ ($w_i \geq 0, \sum w_i = 1$),在专家打分法的基础上,采用云模型克服打分过程中的随机性和模糊性. n 个专家对评价指标 x_i 评分为 $\{v_1, v_2, v_3, \dots, v_n\}$,利用云发生器生成评分集的数字特征 $C(E_x, E_n, H_e)$ 及云图,通过比较云滴的聚拢性来判断专家对该指标权重认同的差异.然后,专家不断优化指标权重评分集.最后,对所有评价指标权重评分集的数字特征进行加权平均,得到评价指标 x_i 的初始权重值.

将3个评价指标的权重值进行归一化处理,得到道路交通综合死亡率、车速差、路面平整度的权重分别为0.35、0.40和0.25.

4 实例分析

4.1 数据采集

采集西安市二环路的道路安全指标,对道路安全等级进行评价.西安市二环路位于城市建成区的中心地带,路宽50~100 m,设计车速60~80 km/h,为城市快速干道.于2013年3月—2014年3月分别选取东二环路、南二环路、西二环路和北二环路4个路段各1 km距离进行数据采集.各指标的采集方法为:道路交通综合死亡率根据交警部门数据得出;车辆的行车速度采用跟车法得出;路面平整度数据采用平整度仪测量得出.实测数据见表3.样本1、2、3、4分别为东、南、西、北二环路数据.

表3 样本实测值

Table 3 Measured values of evaluation indexes

样本	道路交通综合死亡率/%	车速差/(km·h ⁻¹)	路面平整度/(m·km ⁻¹)
1	1.3	12.0	2.81
2	3.5	7.0	1.65
3	1.4	14.0	2.32
4	0.4	5.6	0.98

由表3中样本1数据可知,道路交通综合死亡率为1.3%,属道路交通较安全范畴;车速差为12.0 km/h,表明东二环在大多数情况下车辆运行顺畅,道路的顺畅减少了交通事故的发生;路面平整度为2.81 m/km,表明路面较不平整,不平整的路面会增大行车阻力,影响驾驶的平稳和乘客的舒适,从而影响行车的速度与安全.决策者可在路面的维修、养护等方面做出优化,提高道路的安全性.

4.2 评价结果及分析

4.2.1 云模型评价

评价实测数据,计算每种数据隶属于各个级别的确定度,选取确定度最大的等级,得出该指标数据的等级;每种指标乘以相应的权重因子,由综合确定度最大值所属等级确定道路交通安全等级.基于云模型的评价结果为:样本1、2和4的道路交通安全等级属于Ⅱ级,道路交通较安全;样本3的道路交通安全等级属于Ⅲ级,道路交通基本安全.

由表3中样本1数据可知,根据主观评价,道路交通综合死亡率属于Ⅱ级,车速差属于Ⅲ级,路面平整度属于Ⅳ级,3种指标分别属于不同的评价级别,因此无法用主观评价法准确地确定道路的安全等级.基于云模型的道路交通安全评价方法,根据每

个指标的权重,选取隶属度最大的等级作为评价等级.样本1的道路交通安全等级评价结果见表4.

表4 样本1评价结果

Table 4 Evaluation results of Sample 1

等级	道路交通综合死亡率/%	车速差/(km·h ⁻¹)	路面平整度/(m·km ⁻¹)	隶属度 <i>U</i>
权重	0.35	0.4	0.25	
样本1	1.3	12.0	2.81	
I	0.033 9	0.000 0	0.000 0	0.011 9
II	0.922 9	0.197 8	0.010 7	0.404 8
III	0.004 4	0.486 7	0.236 9	0.255 4
IV	0.000 0	0.000 1	0.430 4	0.107 6
V	0.000 0	0.000 0	0.000 1	0.000 2

由表4可知,样本1的道路交通综合死亡率属于Ⅱ级,车速差属于Ⅲ级,路面平整度属于Ⅳ级,与主观评价相同.基于云模型的道路交通评价方法,综合各评价指标权重,最大隶属度值 $U(II) = 0.404 8$,因此,样本1的道路交通安全等级为Ⅱ级.

4.2.2 对比分析

选取灰色评价法^[15]和模糊数学法^[12]对样本进行评价,对比3种方法所得结果的异同.对比评价结果见表5.

表5 道路交通安全评价结果对比

Table 5 Comparison of road traffic safety results

样本	云模型法	灰色评价法	模糊数学法
1	II	II	II
2	II	II	II
3	III	III	III
4	II	II	II

由表5可知,灰色评价法与模糊数学法的评价结果与云模型的评价结果相同.但是,这2种算法只是对不同评价等级进行粗略描述,而不能对其准确量化.由于云模型的道路交通安全等级评价可精确得出实测数据所属等级的确定度,因此可准确量化和细分评价结果,评价结果如表6所示.

由表6可知,样本1的隶属度 $U(II) = 0.404 8$,样本2的隶属度 $U(II) = 0.609 8$,样本4的隶属度 $U(II) = 0.497 6$.隶属度表示实测数据处于各安全等级的程度,数值越大,程度越高.因此,虽然同属于第Ⅱ级,样本2的隶属度 $U(II)$ 最高,即最接近第Ⅱ级,道路最安全.由此可见,云模型算法求得的道路交通安全评价等级确定度,不仅可以确定安全等

表 6 基于云模型的道路交通安全评价结果
Table 6 Road traffic safety evaluation results based on cloud model

样本	道路交通综合死亡率/%	车速差/(km·h ⁻¹)	路面平整度/(m·km ⁻¹)	U(I)	U(II)	U(III)	U(IV)	U(V)	结果
1	1.3	12.0	2.81	0.011 9	0.404 8	0.255 4	0.107 6	0.000 2	II
2	3.5	7.0	1.65	0.008 5	0.609 8	0.376 4	0.003 9	0.000 0	II
3	1.4	14.0	2.32	0.007 0	0.392 5	0.621 2	0.004 8	0.000 0	III
4	0.4	5.6	0.98	0.314 5	0.497 6	0.000 3	0.000 0	0.000 0	II

级,还可全面反映同级别道路安全性的高低.

5 结论

针对道路交通安全评价过程中的模糊性与随机性问题,提出了一种基于云模型的道路交通安全等级评价方法. 选用道路交通综合死亡率、车速差和路面平整度 3 个评价指标,得出了道路交通安全评价结果. 基于云模型的道路交通安全评价方法相对于其他评价方法,不但能确定评价指标等级,而且能确定评价指标隶属于各个等级的确定度,评价结果更加精确直观. 该评价结果可为交通管理部门制定有效的出行策略提供依据,并为在有限的资金下制定道路交通安全改善优先次序提供数据支持.

参考文献:

[1] 刘运通. 论道路交通安全的宏观评价[J]. 中国公路学报, 1995, 8(增刊 1): 158-162.
LIU Yun-tong. On the macroscopic evaluation of road traffic safety[J]. China Journal of Highway and Transport, 1995, 8(Suppl 1): 158-162. (in Chinese)

[2] 牛会永. 基于灰色理论的城市道路交通安全评价研究[J]. 中国安全科学学报, 2005, 15(9): 92-95.
NIU Hui-yong. Study on safety evaluation of urban road traffic based on gray theory [J]. China Safety Science Journal, 2005, 15(9): 92-95. (in Chinese)

[3] 刘俊娟, 王伟, 程琳. 基于相对优劣聚类的道路交通安全灰色评价方法[J]. 道路与安全, 2006, 6(11): 1-4.
LIU Jun-juan, WANG Wei, CHENG Lin. The gray clustering evaluation of road traffic safety based on relative superior or inferior[J]. Road Traffic & Safety, 2006, 6(11): 1-4. (in Chinese)

[4] 黄文杰. 基于 BP 神经网络的城市道路交通安全评价研究[J]. 科学技术与工程, 2009, 9(18): 5607-5609.
HUANG Wen-jie. Research on the evaluation of city road traffic safety based on BP artificial network [J]. Science Technology and Engineering, 2009, 9(18): 5607-5609.

(in Chinese)

[5] 王涛, 陈峻. 基于模糊综合评价法的城市道路交通安全评价研究[J]. 交通信息与安全, 2011, 29(4): 99-103.
WANG Tao, CHEN Jun. Urban traffic road safety evaluation based on fuzzy mathematic method[J]. Journal of Transport Information and Safety, 2011, 29(4): 99-103. (in Chinese)

[6] 王薇, 黄瑛, 高宁波. 基于模糊界定的道路交通安全评价模型[J]. 交通信息与安全, 2013, 31(5): 87-92.
WANG Wei, HUANG Ying, GAO Ning-bo. A road safety evaluation model based on fuzzy definition theory [J]. Journal of Transport Information and Safety, 2013, 31(5): 87-92. (in Chinese)

[7] 范东凯, 曹凯. 基于主成分分析法的城市道路交通安全评价[J]. 中国安全科学学报, 2010, 20(10): 147-151.
FAN Dong-kai, CAO Kai. Urban road traffic safety evaluation based on principal components analysis [J]. China Safety Science Journal, 2010, 20(10): 147-151. (in Chinese)

[8] 李德毅, 杜鹄. 不确定性人工智能[M]. 北京: 国防工业出版社, 2005: 81-184.

[9] 郭应时, 袁伟, 付锐. 道路交通安全评价指标特性分析[J]. 公路交通科技, 2006, 23(5): 102-105.
GUO Ying-shi, YUAN Wei, FU Rui. Research on characteristics of assessment indexes for road safety [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2006, 23(5): 102-105. (in Chinese)

[10] LAMM R, PSARIANOS B, CAFISO S. Safety evaluation process of two-lane rural roads: a ten-year review [J]. Transportation Research Record, 2002, 8(1796): 51.

[11] SAYERS M W, GILLESPIE T D, PATERSON W D O. Guidelines for conducting and calibrating road roughness measurements [R]. Washington D. C.: The World Bank, 1986.

[12] 王琰, 郭忠印. 基于模糊逻辑理论的道路交通安全评价方法[J]. 同济大学学报, 2008, 36(1): 47-51.
WANG Yan, GUO Zhong-yin. Road safety evaluation

based on fuzzy logic[J]. Journal of Tognji University: Natural Science, 2008, 36(1): 47-51. (in Chinese)

- [13] 张金喜, 杜艳花. 基于乘客感受的沥青路面平整度评价方法[J]. 北京工业大学学报, 2013, 39(2): 147-151.

ZHANG Jin-xi, DU Yan-hua. Evaluation method of asphalt pavement roughness based on passengers' riding comfort[J]. Journal of Beijing University of Technology, 2013, 39(2): 147-151. (in Chinese)

- [14] International Organization for Standardization. ISO2631-1 Mechnacial vibration and shock-evaluation of human

exposure to whole-body vibration-Part 1: General requirements[S]. Geneve: International Organization for Standardization, 1997.

- [15] 齐庆杰, 吴宪, 温秀红. 道路交通安全评价方法[J]. 辽宁工程技术大学学报, 2005, 24(3): 309-312.

QI Qing-jie, WU Xian, WEN Xiu-hong. Evaluation methods of road traffic safety [J]. Journal of Liaoning Technical University, 2005, 24(3): 309-312. (in Chinese)

(责任编辑 张 蕾)

北工大“云控制人工心脏泵”项目荣获科技周最受公众喜爱奖

来源:北京工业大学信息门户网站 发布时间:2015-06-08

5月24日,为期8天的2015年全国科技周暨北京科技周在北京民族文化宫正式落幕,在300多项参展的科技项目中,北京工业大学生命学院“云控制人工心脏泵”项目荣获科技周最受公众喜爱奖。

本次北京科技周活动以“创新创业 科技惠民”为主题,通过大型科普博览,突出民生科技,向公众展示国家和北京地区的创新成果和创业案例,让社会公众亲身感受科技给人们生产生活带来的变化,以激发全社会的创新创业热情。作为“关注你的健康展区”的代表,北京工业大学“云控制人工心脏泵”展示项目是由人工心脏、云服务器、医生端与患者端4部分构成,通过患者端,能采集患者的各项生理数据,并调整人工心脏的工作状态,将各项数据传输到医生端;通过医生端,医生能调取预存患者的病例信息和患者的实时生理数据,主动调整人工心脏的工作状态,并能向患者推送实时的医嘱与建议。

项目成员在会场与观众积极互动,为公众普及了各类心脏常识,介绍挽救心衰患者生命的方法,增强青少年保护心脏的意识。项目组成员在会场中出色的服务与专业的讲解,在观众评选和媒体关注度中脱颖而出,从上百个科技项目中被主办方评选为最受公众喜爱的科普项目,为北工大赢得了荣誉。

此次参展不仅展示了学校的科研能力,还为学校科技成果推广搭建了新平台。同时也展现了学校在教育职能上的作用,体现了学校服务北京、服务社会的理念。