

基于隐马尔可夫模型的驾驶行为预测方法研究

肖献强 任春燕 王其东

合肥工业大学,合肥,230009

摘要:根据驾驶行为受驾驶意图驱使,在时空上应先产生驾驶意图后有驾驶动作执行,再有具体的驾驶行为的时空顺序,利用意图到行为实现过程中的时间差,研究建立了基于多驾驶操作动作特征观测信息和隐马尔可夫模型的驾驶行为预测方法,实现了跑偏驾驶、一般转向和紧急转向 3 种驾驶行为的预测。从机动车安全预警的角度进行分析,预测出驾驶员的驾驶行为等同于获得驾驶员对车辆未来运行状态的需求,有助于及时纠正或干预驾驶员正在或即将实施的危险行为。

关键词:驾驶行为预测;操作观测信息;隐马尔可夫模型;多指标分析法

中图分类号:TP391.9

DOI:10.3969/j.issn.1004-132X.2013.21.025

Research on Driving Behavior Prediction Method Based on HMM

Xiao Xianqiang Ren Chunyan Wang Qidong

Hefei University of Technology, Hefei, 230009

Abstract: According to time and space relationship of driving behavior and driving intention, driving intention of driver driven driving behavior and manoeuvre, The driver first produced driving intention, and then driving manoeuvre. On the basis of the time difference between driving intention and driving manoeuvre, this paper researched driving behavior prediction method based on multi-characteristics of driving manoeuvre and HMM. The results show that the method has successfully forecasted three type driving behaviors of lane departure, steering and urgent steering. In the vehicle safety warning term, if was understood the demand of the driver to vehicle in the future can be calculated the driving behavior of driver. The method presented herein will help to correct and intervene the hazardous driving behavior of driver for the vehicle safety warning.

Key words: driving behavior prediction; observation information of operation; Hidden Markov chain model(HMM); multi-quota analysis

0 引言

交通事故原因的统计结果表明,80%~90%的交通事故是由驾驶员自己的人为因素造成的,而车辆本身及环境因素造成的交通事故约只占10%~20%,对我国 2001 年至 2011 年一次死亡 3 人以上的特大交通事故分析表明,因驾驶人原因导致的交通事故占到 90%以上。上述数据充分说明驾驶人在交通事故预防中的核心地位和作用,这与驾驶人在整个交通系统中扮演的角色有关,驾驶人不仅是道路交通系统的信息处理者、决策者,也是调节者和控制者,其行为是否安全对于整个系统的状态有重大影响,驾驶员的个体因素在驾驶过程和道路交通中主要体现为其本身的驾驶行为^[1]。Berndt 等^[2]通过提取相关车载传感器信息构建驾驶行为识别特征向量,采用隐马尔

可夫模型预测某种驾驶行为发生的概率,在此基础上结合驾驶人的驾驶操作动作数据对概率进行修正,实现了车道跑偏与跟驰驾驶行为的实时识别。宗长富等^[3]采用隐马尔可夫模型与人工神经网络相结合的方法构建了转向驾驶意图辨析模型和方法。Kishimoto 等^[4]利用驾驶人过去的驾驶操作动作数据库研究开发了基于驾驶操作动作模板的驾驶行为识别算法,并在识别的基础上结合车辆运行状态评估驾驶行为的安全性。肖献强等^[5]通过采集车辆运行过程中的各种数据,提取出各种驾驶行为组成数据信息,再利用 BP 神经网络和 D-S 证据理论相结合的多信息融合方法实现了驾驶行为在线识别。

通过研究我们认为从提高车辆主动安全系统和安全预警系统的事故预防能力的角度来说,驾驶行为的预测非常重要。本文根据驾驶行为动作直接受驾驶意图驱使,在时空上应该先产生驾驶意图后有驾驶操作动作执行,再有具体驾驶行为

收稿日期:2012—12—19

基金项目:中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(2011HGBZ1322);国家自然科学基金资助项目(51175135)

展现的时空顺序^[6],通过分析驾驶操作动作特征与驾驶行为形成特征之间的内在关系,采集驾驶操作动作特征信息,研究构建基于驾驶操作动作观测信息和隐马尔可夫模型(HMM)的驾驶行为预测模型和方法。

1 驾驶行为预测分析模型及方法

1.1 基于驾驶操作动作特征的分析方法

实现同一驾驶行为的操作动作具有多样性,具体使用何种操纵序列则要根据实际道路环境和驾驶员驾车习惯而定。但从车辆传动机构及车辆运行态势的分析结果发现,车辆在某一特定时刻的状态和驾驶人的驾驶行为是决定其前面一定时长内驾驶人操作动作的基础。如车辆在实现转弯之前,驾驶人会实施减速、降挡、打开转向灯等相关操作,随着转弯动作实施临界点(转向灯开始向左或向右运动)的临近,用于预测的观测信息量也随之增多,与驾驶行为的关联度也随之增大,在数据方面有利于驾驶行为预测模型的构建^[3]。

1.2 采集的驾驶操作信息及说明

本研究采集的操作动作观测信息有制动踏板操作、油门踏板操作、转向灯操作、转向灯操作、离合操作等共计 6 个观测信息,如表 1 和表 2 所示。

表 1 项目需采集的操作动作特性信息

采集对象	信息源	信息种类
转向灯转角操作	加装传感器	编码脉冲
转向灯开闭操作	车辆已有开关	开关信号
离合器操作状态	加装传感器	电位信号
制动踏板操作状态	车辆已有传感器	开关信号
油门踏板操作状态	加装传感器	电位信号
挡位位置信息	加装传感器	组合开关信号

表 2 操作动作指标信息及意义

动作指标信息	单位	信息的意义
转向灯转角操作	(°)	驾驶员转动转向灯的角度
转向灯开闭操作		表示转向灯的状态
离合器操作状态	(%)	离合踩踏行程占总行程的比例
制动踏板操作状态	(%)	制动踏板踩踏行程占总行程的比例
油门踏板操作状态	(%)	油门踏板踩踏行程占总行程的比例
挡位位置信息		挡位所处的状态,-1 倒挡,0 空挡,1~5 挡

车速作为驾驶人驾驶操控的结果,蕴含了大量的信息,因此笔者也采集了车速信息作为一个补充观测信息,车速虽作为补充观测信息,但在本次设计的算法中不参与预测表决。

驾驶操作动作信息根据参与预测驾驶行为的不同,具有不同的预测权重,也就是说各个操作动作信息根据预测驾驶行为的不同,分别具有不同的决策系数。本文采用的分析思路如图 1 所示。

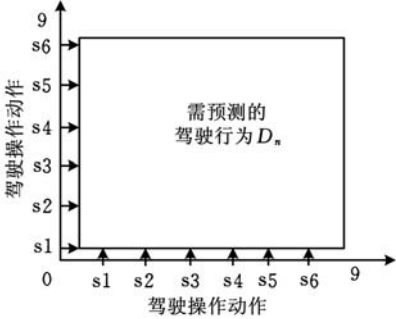


图 1 动作特性信息对行为预测重要性分析图

图 1 所示坐标的 s1、s2、s3、s4、s5、s6 分别表示转向灯转角操作、转向灯开闭操作、离合踏板操作、制动踏板操作、油门踏板操作以及挡位信息中的一种。D_n 表示跑偏驾驶、一般转弯驾驶、紧急转弯驾驶 3 种驾驶行为的某一种驾驶行为。

根据各个操作动作信息的表征意义,结合专家评估经验,采用多指标综合评价法的思路,构建它们相互之间对参与预测的某种驾驶行为的重要程度,共分为 1~9 个数量,数值越大表示这种操作动作观测信息对这种驾驶行为预测影响越大,将专家的定性分析转化为定量分析,通过 AHP 分析法计算获得各个预测权重系数。

1.3 驾驶行为的观测信息分析

1.3.1 观测信息的分析方法

通过分析建立 $D_n = \{s1, s2, s3, s4, s5, s6\}$ ($n=1,2,3$),其中 D_n 代表本文需预测的跑偏驾驶、一般转弯驾驶、紧急转弯驾驶等 3 种驾驶行为,s1、s2、s3、s4、s5、s6 分别表示转向灯转角操作、转向灯开闭操作、离合踏板操作状态、制动踏板操作状态、油门踏板操作状态以及挡位信息的具体特征信息。

道路交通系统是一个人一车一路的闭环系统,针对车辆与道路标志线的位置关系,采用 CCD 视觉传感器和 DSP 采集道路视频信息,通过图像处理计算获得跑偏信息和车道线夹角信息,作为驾驶预测的环境辅助支持观测信息,详细计算方法在文献[7]中已作了详细介绍。因此,参与驾驶行为预测的观测信息包括 6 个驾驶操作动作信息和两个环境信息。

首先确定各个驾驶行为预测的观测信息,采用多指标综合法中的层次分析法对各个驾驶行为的观测信息进行预测权重分析,对观测信息两两配对进行重要性比对,采用层次分析法的 1~9 的

比率标度将比较判断量化,构成判断矩阵,将专家的定性分析转化为定量分析。对于所有观测信息,根据各信息的参数意义,对全部信息进行两两对比,构造相对重要性的比对判断矩阵 $A = [a_{ij}]_{k \times k}$,其中, $a_{ij} = f(s_i, s_j)$ 为对比函数,对比函数取值如表 3 所示^[8]。然后通过层次分析法中的乘积方根法求解比对判断矩阵,通过特征值和特征向量获得各个观测信息的预测权重系数向量,即 $W_n = (w_1, w_2, w_3, w_4, w_5, w_6, w_7, w_8)$,对应于 D_n 的各个操作动作观测信息的权重系数。

表 3 分级比例标度参考表

赋值(x_i/x_j)	说明
1	表示指标 x_i 与 x_j 相比,具有同样的重要性
3	表示指标 x_i 与 x_j 相比,指标 x_i 比 x_j 稍微重要
5	表示指标 x_i 与 x_j 相比,指标 x_i 比 x_j 明显重要
7	表示指标 x_i 与 x_j 相比,指标 x_i 比 x_j 强烈重要
9	表示指标 x_i 与 x_j 相比,指标 x_i 比 x_j 极端重要
2、4、6、8	对应以上两相邻判断的中间情况
倒数	指标 x_i 与 x_j 比较得 a_{ij} ,则指标 x_j 与 x_i 比较得 $a_{ji} = 1/a_{ij}$

1.3.2 传感器参数量纲一处理

一般来说,各个评价指标 x_1, x_2, \dots, x_m 之间由于各单位及量级的不同而存在着不可公度性,需要对评价指标作量纲一处理,本文采用如下的中心化量纲一方法:

$$x'_{ij} = \frac{x_{ij} - \overline{x_j}}{s_j} \tag{1}$$

式中, $\overline{x_j}, s_j$ 分别为指标 x_j 的样本平均值和样本指标差。
经标准化后,指标 x_{ij} 的均值为 0,方差为 1,消除了量纲和数量级的影响。

1.3.3 观测信息的决策权重向量计算方法

根据转向盘转角操作、转向灯开闭操作、离合踏板操作状态、制动踏板操作状态、油门踏板操作状态、挡位信息、跑偏信息以及车道线夹角 8 个观测信息各自在 3 种预测的驾驶行为中的重要性定性分析结果,分别结合表 1 对全部观测信息进行两两对比,构造 3 种驾驶行为的观测信息相对重要性的比对判断矩阵 $A = [a_{ij}]_{k \times k}$,利用乘积方根法分别求得各个驾驶行为的观测信息预测权重向量 W 。

下面以跑偏驾驶行为观测信息权重计算为例进行简要介绍,根据各个观测信息对跑偏驾驶行为的重要性不同,结合表 1 转化为定量分析,得到各观测信息比例标度,如表 4 所示。

将表 4 转化为相应的判断矩阵:

$A = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 4 & 4 & 2 & 5 & 2 & 4 \\ 0.33 & 1 & 3 & 3 & 4 & 5 & 3 & 2 \\ 0.25 & 0.33 & 1 & 1 & 0.5 & 2 & 0.33 & 2 \\ 0.25 & 0.33 & 1 & 1 & 0.5 & 2 & 0.33 & 2 \\ 0.5 & 0.25 & 2 & 2 & 1 & 3 & 2 & 3 \\ 0.2 & 0.2 & 0.5 & 0.5 & 0.33 & 1 & 0.5 & 0.5 \\ 0.5 & 0.33 & 3 & 3 & 0.5 & 2 & 1 & 3 \\ 0.25 & 0.5 & 0.5 & 0.2 & 0.33 & 2 & 0.33 & 1 \end{bmatrix}$

表 4 跑偏驾驶观测信息分级比例标度表

	跑偏信号	车道夹角	油门信号	方向转角	车速信号	车灯信号	离合信号	刹车信号
跑偏信号	1	3	4	4	2	5	2	4
车道夹角	1/3	1	3	3	4	5	3	2
油门信号	1/4	1/3	1	1	1/2	2	1/3	2
方向转角	1/4	1/3	1	1	1/2	2	1/3	2
车速信号	1/2	1/4	2	2	1	3	2	3
车灯信号	1/5	1/5	1/2	1/2	1/3	1	1/2	1/2
离合信号	1/2	1/3	3	3	1/2	2	1	3
刹车信号	1/4	1/2	1/2	1/5	1/3	2	1/3	1

采用乘积方根法来计算判断矩阵各指标对应的权重值,乘积方根法计算其权重的过程如下^[9]:① 将各行元素连乘得 $M_i(i = 1, 2, \dots, k)$;② 对 M_i 开 k 次方得 a_i ;③ 将 a_i 归一化 ($w_i = a_i / \sum_{i=1}^k a_i$),即得信号 s_i 的权重系数 w_i 。

根据乘积方根法的求解步骤,对比对判断矩阵求解特征值和特征向量,获得各个观测信息的预测决策系数向量 $W = (0.28, 0.21, 0.07, 0.07, 0.14, 0.05, 0.13, 0.04)$ 。类似方法可以确定其余两种驾驶行为的观测信息决策权重系数向量。

2 基于 HMM 驾驶行为预测模型设计

驾驶过程中驾驶人即将实施的驾驶行为是不可观测的,但即将实施的驾驶行为通过驾驶操作动作表征指标随时间变化而呈现出一系列外在的可见观测序列,驾驶行为预测本质就是利用驾驶操作动作表征指标观测信息预测驾驶人即将实施的驾驶行为,隐马尔可夫模型是一种通过外在观察序列辨识内在不可见状态的好方法。因此,采用隐马尔可夫模型来构建驾驶行为预测模型是一个解决驾驶行为预测难题的好方法,隐马尔可夫模型的双重随机过程特性也非常符合驾驶过程中驾驶人驾驶行为形成特点。

2.1 HMM 模型及参数

一般情况下,HMM 包含两组状态集合和三组概率集合,表示为 $\lambda = \{N, M, A', B, \pi\}$,简记 $\lambda = \{A', B, \pi\}$ 。其中, N 代表 HMM 的状态数目, $S = \{s_1, s_2, \dots, s_N\}$ 为状态集合。在 t 时刻的模型状态记为 q_t ,模型经历的状态序列记作 $q = \{q_1, q_2, \dots,$

$q_t\}$ 。M 表示每个状态可能的观察值数目,观察值的集合用 $V = \{v_1, v_2, \cdots, v_M\}$ 表示。 $A' = [a'_{ij}]$, $a'_{ij} = p(q_{t+1} = s_j/q_t = s_i)$ 表示状态转移概率, a'_{ij} 表示由状态 s_i 转移到状态 s_j 的概率,且满足 $a'_{ij} > 0$, $\sum_{j=1}^N a'_{ij} = 1$ 。 $B = [b_{ik}]$, $b_{ik} = p(O_t = v_k/q_t = s_i)$ 表示观察值概率, b_{ik} 表示在状态 s_i 下出现观察值 v_k 的概率。 $\pi = [\pi_i]$, $\pi_i = p(q_t = s_i)$ 表示初始状态分布概率并且满足 $\sum \pi_i = 1$ 。

本文研究利用转向盘转角操作、转向灯开闭操作、离合踏板操作状态、制动踏板操作状态、油门踏板操作状态、挡位信息、跑偏信息以及车道线夹角 8 种观测信息,预测跑偏驾驶、一般转向和紧急转向 3 种驾驶行为。

HMM 模型设计如下:

(1) 因为驾驶员的驾驶状态不能直接被观察到,也就是 HMM 中所说的隐状态,用参数 N 来表示隐状态数,本文需识别 3 种驾驶行为,故 $N = 3$;

(2) 虽然驾驶状态不能直接被观察到,但可以通过观测信息来推断,这里可观察的观测信息就是隐马尔可夫链中所说的观察状态,用参数 M 表示可观察状态的数目,因用到 8 种观测传感器信息,故 $M = 8$;

(3) A' 表示跑偏驾驶、一般转向与紧急转向这 3 个隐状态相互间的转移概率组成的矩阵;

(4) B 表示由转向盘转角操作、转向灯开闭操作、离合踏板操作状态、制动踏板操作状态、油门踏板操作状态、挡位信息、跑偏信息以及车道线夹角组成的观测值概率矩阵;

(5) π 为初始某个驾驶状态的概率矩阵,采用均值法得到, $\pi = [1/3 \quad 1/3 \quad 1/3]$ 。

2.2 状态转移概率矩阵的获取

在利用多指标综合分析法获得各个观测信息关于每种驾驶行为的预测决策权重系数向量的基础上,结合专家评估设计每种驾驶行为观测序列样本,利用前向一后向算法进行 HMM 学习训练。样本格式如表 5 所示。输入观测信息顺序为:跑偏观测信息、车道夹角观测信息、油门踏板观测信息、转向盘观测信息、制动踏板观测信息、转向灯观测信息、离合踏板观测信息、挡位观测信息。输出概率向量中数值顺序表示为:跑偏驾驶、紧急转向、一般转向。对应位置的概率值最大值者则表示内在状态就是此位置代表的驾驶行为。将 HMM 工具箱添加到 MATLAB 中,利用 MATLAB 编程实现批量导入 200 组学习训练样本。

表 5 HMM 模型训练样本格式

驾驶行为	输入观测量	输出状态
跑偏驾驶	(0.28,0.21,0.07,0.07,0.14,0.15,0.13,0.14)	(1,0,0)
紧急转向	(0.06,0.14,0.30,0.20,0.06,0.04,0.07,0.12)	(0,1,0)
一般转向	(0.09,0.16,0.30,0.12,0.06,0.06,0.06,0.14)	(0,0,1)

学习训练得到的状态转移矩阵为

$$A = \begin{bmatrix} 0.4349 & 0.0526 & 0.5125 \\ 0.6768 & 0.0578 & 0.2654 \\ 0.5782 & 0.2430 & 0.1788 \end{bmatrix}$$

(3)

3 传感器信息采集系统硬件设计

传感器信息采集系统的硬件设计采用模块化设计,传感器信息采集及处理使用 STC89C51 单片机完成,AD 转换器采用 TI 的高速 AD 芯片 TLC2543 芯片,具有 11 路的 12 位采集精度 AD 转换器。车道夹角与跑偏信息采用基于 CCD 和 DSP 的车载视觉系统获得原始图像,利用图像处理技术获取车道夹角和跑偏信息。DSP 采用的是基于 TI6416 的 TMS320DM642 的合众达 SEED-VP642 实时图像处理 DSP 开发板及附件 CCD。

算法仿真平台的主控芯片选择基于三星电子 ARM9 的 s3c2440 核,主频 400MHz,最高 533MHz。车载传感器的信息采集接口采用维斯特电子公司的 16100D 型 USB 数据采集接口,该数据采集接口采用 12 位高精度 A/D 转换器,共有 12 路 A/D 采集接口,合理地分配接口资源,可以同时采集数字量和模拟量及数字 I/O 端口的状态。

4 仿真分析

HMM 预测驾驶行为属于 HMM 的解码应用,利用 Viterbi 算法进行隐藏状态的解码识别,解码的 3 个驾驶行为对应的概率值中最大值代表此时预测出来的驾驶行为,并将预测结果用状态曲线图表示出来。利用 Ve-DYNA 仿真软件中的高级道路和高级驾驶员包、Traffic 模块及 DY-NAanimation 工具包建立驾驶行为仿真模型及程序,通过仿真获取需识别的各种驾驶行为的离线参数化向量,利用获得的驾驶行为离线参数化样本集对 HMM 模型进行仿真验证测试。利用 Ve-DYNA 仿真软件获得的部分驾驶行为离线参数如表 6 所示,HMM 模型解码的结果如图 2 所示。测试结果表明,基于 HMM 模型的驾驶行为预测方法可以实时跟踪预测出驾驶行为。

表 6 HMM 仿真测试数据

驾驶行为	输入信息表示
跑偏驾驶	$S=(0.28,0.21,0.07,0.07,0.14,0.05,0.13,0.14)$
跑偏驾驶	$S=(0.27,0.22,0.08,0.06,0.13,0.06,0.13,0.14)$
紧急转向	$S=(0.06,0.14,0.30,0.20,0.06,0.04,0.07,0.12)$
紧急转向	$S=(0.06,0.13,0.31,0.19,0.07,0.03,0.08,0.12)$
一般转向	$S=(0.09,0.16,0.30,0.12,0.06,0.06,0.06,0.14)$
一般转向	$S=(0.08,0.17,0.31,0.12,0.05,0.07,0.07,0.13)$

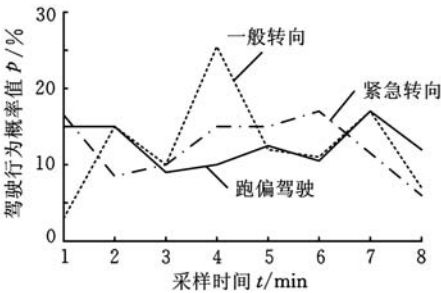


图 2 驾驶行为概率曲线图

5 结论

根据驾驶操作动作特征和驾驶行为之间的内在关系及时空顺序,建立了驾驶行为预测的驾驶操作动作观测信息,利用 HMM 本身具有的双重随机特性,从本质上揭示了驾驶行为的特征。研究建立了基于驾驶操作动作观测信息和隐马尔可夫模型的驾驶行为预测方法,可有效解码出隐藏在观测信息内部的驾驶行为,也是目前关于驾驶行为预测的一个重要研究方向。目前课题的研究数据样本较少,预测准确性需进一步提高。下一步主要完善两个方面的工作:一是完善驾驶行为数据采集与分析;二是针对观测信息对不同的驾驶行为具有不同的决策权重系数的问题,研究设计基于决策系数的改进型隐马尔可夫模型和算法。

参考文献:

[1] Sathyanarayana A, Boyraz P, Hansen J H L. Driver Behavior Analysis and Route Recognition by Hidden Markov Models[C]//Proceedings of the 2008 IEEE International Conference on Vehicular Electronics and Safety. Columbus, OH, 2008:276-281.

[2] Berndt H, Dietmayer K. Driver Intention Inference with Vehicle Onboard Sensors[C]//Vehicular Electronics and Safety ICVES 2009 IEEE International Conference on. Pune, 2009:102-107.

[3] 宗长富,杨肖,王畅,等. 汽车转向时驾驶员驾驶意

图辨识与行为预测[J]. 吉林大学学报(工学版), 2009,39(增刊 1):27-32.

Zong Changfu, Yang Xiao, Wang Chang, et al. Driving Intentions Identification and Behaviors Prediction in Car Lane Change[J]. Journal of Jilin University (Engineering and Technology Edition), 2009,39(S1):27-32.

[4] Kishimoto Y, Oguri K. A Modeling Method for Predicting Driving Behavior Concerning with Driver's Past Movements [C]//Proceedings of the 2008 IEEE International Conference on Vehicular Electronics and Safety. Columbus, OH, 2008:132-137.

[5] 肖献强,王其东. 基于驾驶行为的汽车主动安全控制系统研究[J]. 中国机械工程, 2010,21(9):2390-2393.

Xiao Xianqiang, Wang Qidong. Research on Automotive Active Safety Technology Based on Driving Behavior[J]. China Mechanical Engineering, 2010, 21(9):2390-2393.

[6] Tideman M, van der Voort M C, van Arem B. A New Scenario Based Approach for Designing Driver Support Systems Applied to the Design of a Lane Change Support System [J]. Transportation Research Part C, 2010,18:247-258.

[7] 肖献强,王其东. 基于视觉及 TLC 的车道跑偏检测方法研究[J]. 汽车工程, 2010,32(1):77-81.

Xiao Xianqiang, Wang Qidong. A Study on Lane Departure Detection Method Based on Vision and TLC Concept[J]. Automotive Engineering, 2010, 32(1):77-81.

[8] 李楠,曲长文,苏峰,等. 基于 AHP 与 D-S 理论的辐射源识别技术[J]. 宇航学报, 2009,30(6):317-321.

Li Nan, Qu Changwen, Su Feng, et al. Emitter Recognition Technology Based on Analytic Hierarchy Process and D-S Theory[J]. Journal of Astronautics, 2009,30(6):317-321.

[9] 汪洪波,孙永俊,刘泽山. 基于层次分析法的食堂卫生综合评价[J]. 暨南大学学报(自然科学版), 2008,29(1):65-68.

Wang Hongbo, Sun Yongjun, Liu Zeshan. Comprehensive Evaluation of Refectory Sanitation Based on Analytical Hierarchy Process[J]. Journal of Jinan University(Natural Science Edition), 2008,29(1):65-68.

(编辑 袁兴玲)

作者简介:肖献强,男,1978 年生。合肥工业大学机械与汽车工程学院讲师、博士。主要研究方向为汽车主动安全、驾驶行为建模与分析。发表论文 10 多篇。任燕燕,女,1988 年生。合肥工业大学机械与汽车工程学院硕士研究生。王其东,男,1962 年生。合肥工业大学机械与汽车工程学院教授、博士研究生导师。