

行车安全的车内环境综合评价理论研究及车载预警系统设计^①

崔法毅^② 信思旭 冯旭初

(燕山大学河北省测试计量技术及仪器重点实验室 秦皇岛 066004)

摘要 分析了车内环境对行车安全的影响,根据车内环境多元化、复杂化的特点研究了对车内环境的评价,进而构建了一套较为完善的综合评价行车安全的车内环境的理论。其中包括:运用改进的韦伯-费希纳定律评价模型确定车内环境分级标准;运用改进的综合集成赋权模型确定各评价指标的权重;基于模糊综合评价模型和检测到的各要素含量,通过计算模糊关系矩阵、指标权重矩阵,得出行车安全的车内环境综合评价结果。在此基础上,利用 STM32F103 单片机、液晶显示屏、气体传感器、ATK-NEO-6M、ATK-SIM900A 等硬件及相关软件,设计了一套能够实时检测、评价、显示、定位、预警、传送车内环境各要素指标的车载预警系统,实测结果表明,该系统达到了预期的检测、评价效果。

关键词 车内环境,模糊综合评价模型,改进的综合集成赋权模型,改进的韦伯-费希纳定律评价模型,STM32F103 单片机,传感器

0 引言

影响行车安全的诸多因素中人是最重要、最直接的因素,人在车辆驾驶过程中的行为反应很大程度上受到其心理、生理因素的影响。在安全、适宜的车内环境下,驾驶员和乘客的心理和生理可以得到适度的调节,从而保障安全行车,预防交通事故的发生^[1]。相反,如果驾驶员在生理上出现眩晕、困乏、焦躁、精神不集中等症状,极易导致其心理随之发生相应的变化,诱发交通事故,而这些症状主要由车内微气候、车内空气质量等车内环境的恶化而造成,所以对车内环境进行实时检测、评价、显示、定位,在必要时发出预警信息并传送至控管中心^[2],以便对行驶车辆的车内环境进行管控,确保车内环境达到行车安全的标准,这对避免人的因素导致交通事故的发生具有重要作用。本文针对车内环境多元化、复杂化的特点,基于模糊综合评价模型、改进的综合集

成赋权模型和改进的韦伯-费希纳定律评价模型,构建了一套较为完善的行车安全内环境的综合评价理论,并在此基础上设计了一套能够实时检测、评价、显示、定位、预警、传送车内环境重要指标的车载预警系统,实测结果表明,这套系统达到了预期效果。

1 车内环境及行车安全

车内环境涉及车内的“人-机-环境”系统,其中“人”指司机和乘客,“机”指车内软硬件的配置,“环境”指车内环境的各要素。从人因工程学的角度分析,车内环境的各要素包括车内微气候、车内空气质量和其他因素。

车内环境属于移动的室内环境^[3]。车内环境污染具有室内环境污染的部分特征,包括人类自身活动造成的污染、内饰材料及相关设施释放的污染和外环境污染的渗透,除此之外,还包括来自汽车发动机、通风系统、内部空调蒸发器的污染,具有成分

^① 秦皇岛市科学技术研究与发展计划(2012021A004)资助项目。

^② 男,1982 年生,博士,讲师;研究方向:计算机视觉,模式识别,嵌入式系统设计;联系人,E-mail:fayi2001@sina.com
(收稿日期:2014-12-04)

复杂、密度集中、危害严重等特点^[4]。保持良好的车内环境是行车安全的基础,车内环境污染极易导致驾驶员和乘客在生理上出现眩晕、困乏、焦躁等症状,使其心理随之发生相应的变化,从而诱发交通事故,造成巨大的生命及财产损失。

2 车内环境综合评价理论

2.1 综合评价理论的核心思想

综合评价理论的核心思想是:以《乘用车内空气质量评价指南》、《室内空气质量标准》为基础,结合改进的韦伯-费希纳定律评价模型确定车内环境的分级标准;分别运用 G_1 法和熵值法进行主、客观赋权,结合改进的综合集成赋权模型确定各评价指标的权重;以模糊综合评价模型为主线,从人因工程学的角度出发,结合检测到的各要素含量,通过计算模糊关系矩阵、指标权重矩阵,得出行车安全的车内环境综合评价结果。

行车安全的车内环境总体评价流程如图 1 所示。流程包括以下步骤:系统监测到车内环境各要素的实时数据(同一个评价指标每 5 个测量样本为一组),然后分别计算各要素的平均值和各评价指标的客观权值;结合各评价指标的主观权值,对各评价指标的主、客观权值进行加法集成,得到二级集成权值,然后将其与上一时刻的一级集成权值进行加法集成,得到该时刻的一级集成权值,即指标权值矩阵;结合车内环境各要素的分级标准,得到车内环境各要素的隶属度,即模糊关系矩阵;最后,按照隶属度最大原则,判断行车的安全程度隶属于哪一级别。

2.2 车内环境分级标准的确定

应用心理学建立物理环境特征与人的感知反应之间的桥梁,通过构建两者之间精确的量化关系,以物理环境对人的心理刺激强度为依据进行相对准确的相关评价^[5]。在韦伯-费希纳定律的基础上,结合心理学中认知模型的特点,得到一种认知评价模型

$$P = \sum_{i=1}^N K_i \lg R_i \quad (1)$$

式中 P 为感觉量, K 为权重, R 为刺激量, N 为评价指标个数。

基于韦伯-费希纳认知评价模型可以得出:

$$P_1 = \sum_{i=1}^N K_{1i} \lg R_{1i} \quad (2)$$

$$P_2 = \sum_{i=1}^N K_{2i} \lg R_{2i} \quad (3)$$

式中, R_1 表示以生理学中对人体生理参数的相关界定量为刺激源,同一个环境指标的不同含量对人体的物理刺激量; P_1 表示以生理学中对人体生理参数的相关界定量为刺激源,人体对同一个环境指标不同含量的刺激量所产生的心理感觉量; R_2 表示以现实环境中对人体的客观刺激为刺激源,同一个环境指标的不同含量对人体的物理刺激量; P_2 表示以现实环境中对人体的客观刺激为刺激源,人体对同一个环境指标的不同含量的刺激量所产生的心理感觉量; K_1, K_2 均为权重值,前者因不同人的知识层面等因素而取值不同,后者通常情况下取值恒定。

权重值 K_1, K_2 及刺激量 R_1 由已发放的调查问卷获得。随机选取 400 人作为评价主体发放调查问卷,根据知识层面、社会阅历等方面的不同将评价主体划分为 L_1, L_2, L_3, L_4 四类,分别表示知识十分广

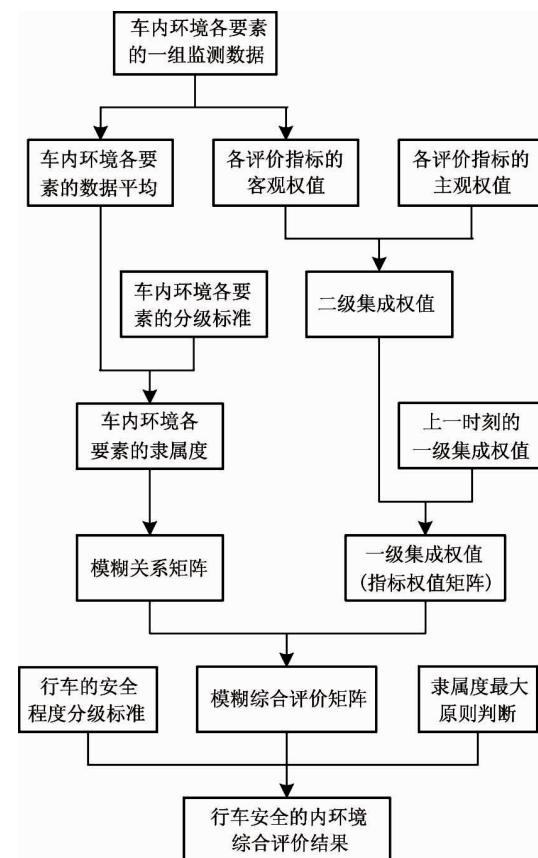


图 1 行车安全的内环境总体评价流程

博、社会阅历十分丰富;知识广博、社会阅历丰富;知识较广博、社会阅历较丰富;知识不广博、社会阅历不丰富;所占权重 K_1 分别为 0.4、0.3、0.2、0.1。按照上述划分方式,在发放调查问卷的 400 人中, L_1 类共 40 人, L_2 类共 120 人, L_3 类共 160 人, L_4 类共 80 人, 确定不同类别中个人所占权重 K_1 分别为

0.02、0.005、0.0025、0.0025;正常情况下权重 K_2 恒定取值为 1/200, 即 0.005。同时, 刺激量 R_1 由调查问卷所填内容获得。

令 $P_1 = P_2$, 则由已知量 K_1, K_2, R_1 可以求得待测量 R_2 , 即为待确定的车内环境分级标准矩阵, 如表 1 所示。

表 1 车内环境分级标准

环境类别	环境指标	单位	分级类别				
			S_1	S_2	S_3	S_4	S_5
		安全	较安全	较危险	危险	极危险	
车内空气质量	甲醛	mg/m ³	0.05	0.10	0.15	0.52	0.90
	苯及同系物	mg/m ³	0.05	0.11	0.22	0.33	0.66
	一氧化碳	mg/m ³	5.00	10.00	31.43	49.91	199.66
	二氧化碳	mg/m ³	883.49	1964.26	2946.45	3928.26	9821.32
	氮氧化物	mg/m ³	4.42	9.44	18.44	37.45	75.45
	二氧化硫	mg/m ³	0.12	0.50	0.57	0.62	0.72
其它因素	酒精含量	mg/L	0.04	0.11	0.20	0.27	0.36
	烟雾浓度	ppm	22.93	46.57	103.63	478.63	863.48
	粉尘浓度	mg/m ³	1.99	4.00	7.92	11.93	19.74
车内微气候	温度(夏季空调暖系)	℃	25	26	28	30	33
	温度(夏季空调冷系)	℃	25	24	23	21	18
	温度(冬季采暖暖系)	℃	20	22	24	26	28
	温度(冬季采暖冷系)	℃	20	18	16	14	11
	湿度(夏季空调暖系)	%	60	65	70	80	90
	湿度(夏季空调冷系)	%	60	45	30	20	10
	湿度(冬季采暖暖系)	%	45	50	60	70	80
	湿度(冬季采暖冷系)	%	45	40	30	15	10

2.3 车内环境各评价指标权重的确定

采用综合集成赋权模型确定车内环境各评价指标的权重。运用 G_1 法进行主观赋权, 运用熵值法进行客观赋权, 将主、客观部分确定的权重运用加法集成进行有效融合。为克服客观权值计算带来的偶然性, 对综合集成赋权进行了必要的改进, 即采用闭环调整模式, 将上一时刻得到的权值与此时刻得到的权值进行二次集成。

2.3.1 主观权值部分

主观赋权法主要包括集值迭代法、层次分析法、 G_1 和 G_2 法, 其中层次分析法和 G_1 法的应用最为广泛。 G_1 法很好地克服了层次分析法的不足, 对评价对象中元素的个数没有特殊要求, 且无需进行判断矩阵的一致性检验, 计算量大幅减少^[6]。下面运用

G_1 法进行主观权值的计算:

设定评价指标集为 $A = \{A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, A_6, A_7, A_8, A_9, A_{10}, A_{11}\}$, A_1, \dots, A_{11} 分别为甲醛、苯及同系物、一氧化碳、二氧化碳、氮氧化物、二氧化硫、酒精、烟雾、粉尘、温度和湿度指标。对评价指标集进行重要性排序, 可以得到 $A_2 > A_{10} > A_1 > A_7 > A_{11} > A_3 > A_8 > A_6 > A_9 > A_4 > A_5$, 进而将评价指标集调整为 $A = \{A_1^*, A_2^*, A_3^*, A_4^*, A_5^*, A_6^*, A_7^*, A_8^*, A_9^*, A_{10}^*, A_{11}^*\}$, A_1^*, \dots, A_{11}^* 分别为苯及同系物、温度、甲醛、酒精、湿度、一氧化碳、烟雾、二氧化硫、粉尘、二氧化碳、氮氧化物指标。

依据式

$$r_k = w_{k-1}/w_k, k = 2, 3, \dots, 11 \quad (4)$$

对评价指标 A_{k-1} 与 A_k 之间的重要程度进行比较判

断, r_2, \dots, r_{11} 间的数量关系需满足以下条件:

$$r_{k-1} \cdot r_k > 1, k = 2, 3, \dots, 11 \quad (5)$$

r_k 的取值如表 2 所示。

表 2 r_k 的取值及其含义

r_k	含义
1.0	两个指标相比较,两者具有同样的重要性
1.2	两个指标相比较,前者(行)比后者(列)稍微重要
1.4	两个指标相比较,前者相对后者来说明显重要
1.6	两个指标相比较,前者相对后者来说强烈重要
1.8	两个指标相比较,前者相对后者来说极其重要

依据各评价指标的重要程度,取 r_2, \dots, r_{11} 依次为 1.0、1.8、1.4、1.2、1.2、1.2、1.2、1.4、1.2、1.2。依据下式计算各评价指标的主观权重值(如表 3 所示):

$$w_{11} = (1 + \sum_{k=2}^{11} \prod_{i=k}^{11} r_i)^{-1} \quad (6)$$

$$w_{k-1} = r_k \cdot w_k, k = 2, 3, \dots, 11 \quad (7)$$

表 3 行车安全的内环境各评价指标的主观权值

评价指标 A_j	主观 权值 w_j	指标 j	评价指标 A_j	主观 权值 w_j	指标 j
甲醛	0.129	1	酒精含量	0.092	7
苯及同系物	0.231	2	烟雾浓度	0.053	8
一氧化碳	0.064	3	粉尘浓度	0.031	9
二氧化碳	0.026	4	温度	0.231	10
氮氧化物	0.022	5	湿度	0.077	11
二氧化硫	0.044	6			

2.3.2 客观权值部分

客观赋权法主要包括拉开档次法、均方差法、极差法和熵值法。熵值法很好地克服了主观赋权法过多的人为因素,通过计算指标的信息熵,根据指标的相对变化程度对系统整体的影响来决定指标的权重,具有较高的可信度和精确度^[7]。

依据下式计算各指标不同样本间的特征比重。

$$p_{ij} = x_{ij} / \sum_{i=1}^m x_{ij}, i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n \quad (8)$$

式中, p_{ij} 表示第 j 项指标第 i 个样本的特征比重; x_{ij} 表示第 j 项指标第 i 个样本的测量值; m 表示测量样本的个数。设定 $m = 5$, 即从 5 个测量样本中确定客观权值; $n = 11$, 即共包括 11 个评价指标。另外,由于评价指标均为有害气体,测量数值越小越优,故计算时应将其倒数代入式(8)进行计算。

依据下式计算第 j 项指标的熵值 e_j 和差异性系数 g_j :

$$e_j = -\frac{1}{\ln m} \sum_{i=1}^m (p_{ij} \ln p_{ij}) \quad (9)$$

$$g_j = 1 - e_j \quad (10)$$

式中, $0 < e_j < 1$, $0 < g_j$, 对于给定的 j , x_{ij} 的差异越小, e_j 越大, 指标对被测样本的比较作用越小。

依据下式计算各评价指标的客观权重值:

$$w_j = g_j / \sum_{j=1}^n g_j \quad (11)$$

2.3.3 综合集成部分

综合集成部分采用加法集成:

$$w_j = k_1 w_j' + k_2 w_j'', j = 1, 2, \dots, 11 \quad (12)$$

式中, w_j 表示同时体现主客观信息集成特征的各评价指标权重系数; w_j' 表示各评价指标的主观权值; w_j'' 表示各评价指标的客观权值; k_1, k_2 为主、客观权值系数, $k_1 > 0, k_2 > 0, k_1 + k_2 = 1$ 。充分考虑主、客观因素的影响,取 $k_1 = k_2 = 0.5$ 进行计算。

为克服客观权值计算带来的偶然性,采用闭环调整模式,将上一时刻得到的权值与此时刻得到的权值进行二次集成,其权值系数均取值为 0.5,从而得到各评价指标的最终权重系数 W_j 。

2.4 行车安全的车内环境综合评价机制的构建

运用模糊评价模型,将各评价指标具有的不同物理量纲的指标特征值较客观地转化为反映指标优劣程度的隶属度,实现评价由定性向定量的转化,进而从模糊信息中求得明确的评价结果^[8]。具体步骤如下:

(1) 评价指标空间 $A = \{A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, A_6, A_7, A_8, A_9, A_{10}, A_{11}\} = \{\text{甲醛、苯及同系物、一氧化碳、二氧化碳、氮氧化物、二氧化硫、酒精、烟雾、粉尘、温度、湿度}\}$ 。

(2) 由 2.2 节所述,车内环境分级标准如表 1 所示,各要素的合理取值范围为 $S_{\min}/2 \sim 3S_{\max}/2$, 其

中 $S_{\min} = \min\{S_1, S_2, S_3, S_4, S_5\}$, $S_{\max} = \max\{S_1, S_2, S_3, S_4, S_5\}$ 。

(3) 隶属函数采用负效应指标的降半梯形分布函数

$$\begin{aligned} r_{j1} &= \begin{cases} 1 & x_j \leq a_{j1} \\ (a_{j2} - x_j)/(a_{j2} - a_{j1}) & a_{j1} < x_j < a_{j2} \\ 0 & x_j \geq a_{j2} \end{cases} \\ r_{j2} &= \begin{cases} (x_j - a_{j1})/(a_{j2} - a_{j1}) & a_{j1} < x_j \leq a_{j2} \\ (a_{j3} - x_j)/(a_{j3} - a_{j2}) & a_{j2} < x_j < a_{j3} \\ 0 & x_j \geq a_{j3} \text{ 或 } x_j \leq a_{j1} \end{cases} \\ r_{j3} &= \begin{cases} (x_j - a_{j2})/(a_{j3} - a_{j2}) & a_{j2} < x_j \leq a_{j3} \\ (a_{j4} - x_j)/(a_{j4} - a_{j2}) & a_{j3} < x_j < a_{j4} \\ 0 & x_j \geq a_{j4} \text{ 或 } x_j \leq a_{j2} \end{cases} \\ r_{j4} &= \begin{cases} (x_j - a_{j3})/(a_{j4} - a_{j3}) & a_{j3} < x_j \leq a_{j4} \\ (a_{j5} - x_j)/(a_{j5} - a_{j3}) & a_{j4} < x_j < a_{j5} \\ 0 & x_j \geq a_{j5} \text{ 或 } x_j \leq a_{j3} \end{cases} \\ r_{j5} &= \begin{cases} 0 & x_j \leq a_{j4} \\ (x_j - a_{j4})/(a_{j5} - a_{j4}) & a_{j4} < x_j < a_{j5} \\ 1 & x_j \geq a_{j5} \end{cases} \end{aligned} \quad (13)$$

评价指标数值越大,环境等级越差。式中, r_{j1}, \dots, r_{j5} 表示第 j 项评价指标的隶属度; x_j 表示第 j 项评价指标的 5 个测量样本的平均值,即 $x_j = (\sum_{i=1}^5 x_{ij})/5$; a_{j1}, \dots, a_{j5} 表示第 j 项评价指标的分级标准。

(4) 将各评价指标的测量值代入隶属函数,计算各项评价指标的隶属度,得到模糊关系矩阵

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & r_{14} & r_{15} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & r_{24} & r_{25} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{b1} & r_{b2} & r_{b3} & r_{b4} & r_{b5} \end{bmatrix} \quad (14)$$

(5) 由 2.2 节所述,车内环境各评价指标权重空间 $W = \{W_1, W_2, W_3, W_4, W_5, W_6, W_7, W_8, W_9, W_{10}, W_{11}\}$ 。

(6) 隶属程度空间 $S = \{S_1, S_2, S_3, S_4, S_5\} = \{\text{安全、较安全、较危险、危险、极危险}\}$ 。

(7) 利用已经求得的模糊关系矩阵 R 和指标权重矩阵 W 确定模糊综合评价矩阵 $S = W \times R = [S_i]$,

$S_2, S_3, S_4, S_5]$ 。

(8) 根据隶属度最大原则,得到行车安全的内环境的综合评价结果,当综合评价结果和各要素指标均处于 S_3 较危险状态之上时,则认为此时行车较为安全,其实例分析如第 4 节所述。

3 行车安全的车内环境车载预警系统设计

3.1 系统总体设计

基于所构建的行车安全的车内环境综合评价理论,设计并搭建了相应的预警系统(如图 2 所示)。该系统由 11 个物理量传感器、5 个 5mm 信号灯、2 个 5mm 视觉报警指示灯、1 个有源蜂鸣器、1 个 LCD12864 液晶、1 个 ATK-NEO-6M、1 个 ATK-SIM 900A、1 个 STM32F103 控制器构成,其中传感和控制部分集成在箱体内,声光报警部分设置在驾驶员眼睛水平偏下 20°、垂直偏左 15°,LCD 显示部分设置在驾驶员眼睛水平偏下 20°、垂直偏右 15°,定位和无线通信部分设置在汽车前窗的底部,外部指示灯设置在汽车后窗的底部。工作过程中,车内环境的某一要素超过预定指标或综合评价结果处于较危险状态以下时,声光预警系统、GPS 定位系统启动,车内 LCD 显示屏自动切换至预警界面,并将车内环境情况及车辆定位信息发送到控管中心。

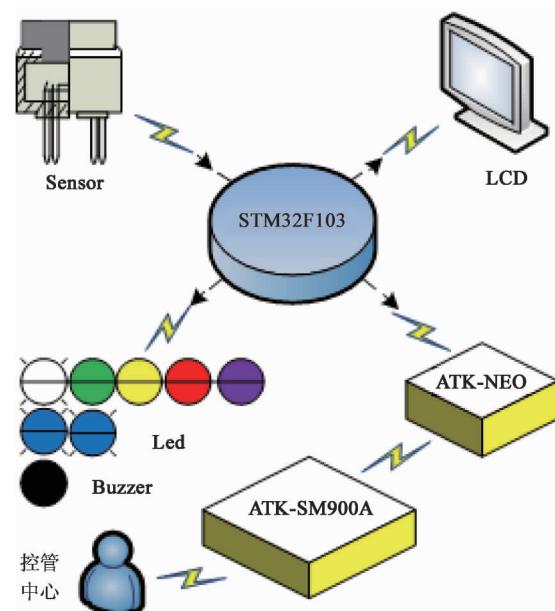


图 2 系统结构示意图

3.2 传感器设计

分别基于烟雾敏感元件 MQ-2、酒精敏感元件 MQ-3、一氧化碳敏感元件 MQ-7、氮气与硫化物敏感元件 MQ-135、醇酮醛类与芳族化合物敏感元件 MQ-138、二氧化碳敏感元件 MG-811、粉尘敏感元件 PPD42NS、温湿度敏感元件 DHT11 等对传感器进行设计，并通过建立输出的模拟电压量、AD 值、各要素含量的对应关系，实现对影响行车安全程度的关键指标的含量检测，并判断其是否超标。

以酒精含量检测模块为例，如图 3 所示，模拟端 AO 输出的电压为

$$V_{OUT} = \frac{R_2}{R_2 + R_s} \times V_{cc} \quad (15)$$

式中， V_{cc} 为 +5V 直流稳压电源输出； R_s 为敏感体电阻，随酒精浓度变化； R_2 为 1kΩ 定值采样电阻。

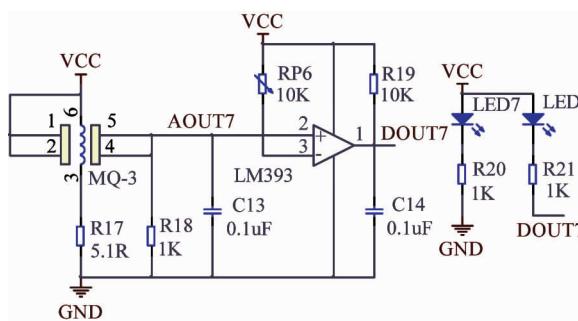


图 3 酒精含量检测电路图

STM32F103 内含有一个 12 位连续渐进式模数转换器 ADC1，转换后的 AD 值为

$$AD = \frac{V_{OUT}}{V_{REF}} \times 2^{12} \quad (16)$$

式中， V_{OUT} 为模拟端 AO 的电压输出， V_{REF} 为 +5V 参考电压。

如图 4 所示， R_o 表示标准条件下没有检测到酒精含量之前气敏元件 A-B 脚间的电阻值 1.033kΩ，酒精浓度与 R_s/R_o 是近似线性的关系。取其中 10 个样本点，依据式(15)，将酒精浓度与 R_s/R_o 的对应关系转化为酒精浓度与模拟端输出的电压 V_{OUT} 的对应关系，进而得到酒精浓度与转换后的 AD 值的对应关系。

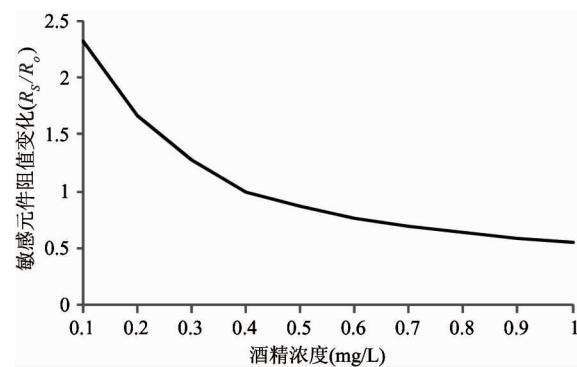


图 4 MQ-3 型敏感元件特性曲线

3.3 LCD 显示、车内预警功能设计

如表 4 所示，选用不同颜色的 LED 作为指示灯和信号灯，代表不同的属性级别。LCD 显示拥有评价结果、测量数据及常置共 3 类、16 页显示界面。

表 4 系统指示灯、信号灯的含义说明

颜色	含义	说明
白	安全	行车的安全程度处于 S1 属性等级
绿	较安全	行车的安全程度处于 S2 属性等级
黄	较危险	行车的安全程度处于 S3 属性等级
红	危险	行车的安全程度处于 S4 属性等级
紫	极危险	行车的安全程度处于 S5 属性等级
蓝	视觉报警	行车的安全程度达到 S3 属性等级
		行车的安全程度达到 S4 属性等级

3.4 GPS 定位、信息发送功能设计

GPS 定位采用的是 ATK-NEO-6M 高性能 GPS 模块，追踪灵敏度高达 -161dBm，测量输出频率最高可达 5Hz。信息发送采用的是板载 SIMCOM 公司的工业级双频 GSM/GPRS 的 ATK-SIM900A 模块，用以实现 SMS、数据和传真信息的传输，如表 5 所示。GPS 定位及信息传送时的显示样例如图 5 所示。



图 5 信息传送显示样例

表 5 信息内容与评价结果对应表

评价结果	信息内容
S1 安全	不发送
S2 较安全	不发送
S3 较危险	车内环境处于较危险状态, *** 浓度超标, 请及时与车主联系! + GPS 定位信息
S4 危险	车内环境处于危险状态, *** 浓度超标, 请速与车主联系! + GPS 定位信息
S5 极危险	车内环境处于极危险状态, *** 浓度超标, 请立即通知交管部门! + GPS 定位信息

4 行车安全的车内环境车载预警系统的测试结果及数据分析

随机选取一辆丰田轿车作为测试对象, 以车内的酒精、打火机、香烟、油漆、纯净水等作为刺激源, 针对系统的有效性进行测试。夏季某一时刻 5 组测量数据如表 6 所示。

表 6 夏季某一时刻车内环境监测数据表

名称	浓度(5 组)	单位
甲醛	0.09, 0.11, 0.12, 0.11, 0.13	℃
苯同系物	0.18, 0.17, 0.17, 0.16, 0.14	%
一氧化碳	12.28, 12.25, 12.24, 12.26, 12.29	mg/m ³
二氧化碳	1530.2, 1640.0, 2015.6, 2200.0, 2356.4	mg/m ³
氮氧化物	13.42, 12.40, 12.05, 11.30, 10.38	mg/m ³
二氧化硫	0.32, 0.36, 0.39, 0.34, 0.35	mg/m ³
酒精含量	0.11, 0.13, 0.14, 0.16, 0.16	mg/m ³
烟雾浓度	40.26, 45.32, 50.28, 54.26, 58.30	mg/m ³
粉尘浓度	3.20, 3.22, 3.24, 3.27, 3.28	mg/L
温度	25, 27, 27, 26, 28	ppm
湿度	60, 62, 62, 65, 66	mg/m ³

利用式(8)~(11), 对各评价指标的客观权值进行计算, 以酒精含量为例:

$$p_{17} = \frac{\frac{1}{x_{17}}}{\sum_{i=1}^5 \frac{1}{x_{i7}}} = \frac{\frac{1}{0.11}}{\frac{1}{0.11} + \frac{1}{0.13} + \frac{1}{0.14} + \frac{1}{0.16} + \frac{1}{0.16}} = 0.249$$

同理, 得到第 7 项评价指标酒精含量的第 2~5 个测量样本的特征比重, $p_{27} = 0.211$, $p_{37} = 0.196$, $p_{47} = 0.172$, $p_{57} = 0.172$ 。则酒精含量的熵值 e_7 为

$$\begin{aligned} e_7 &= -\frac{1}{\ln 5} \sum_{i=1}^5 p_{i7} \ln p_{i7} \\ &= -(p_{17} \ln p_{17} + p_{27} \ln p_{27} + \cdots + p_{57} \ln p_{57}) / \ln 5 \\ &= 0.994 \end{aligned}$$

$$\text{差异性系数 } g_7 = 1 - e_7 = 1 - 0.994 = 0.006。$$

同理, 得到其它评价指标的差异性系数: $g_1 = 0.005$, $g_2 = 0.002$, $g_3 = 0.001$, $g_4 = 0.009$, $g_5 = 0.002$, $g_6 = 0.002$, $g_8 = 0.005$, $g_9 = 0.001$, $g_{10} = 0.001$, $g_{11} = 0.001$ 。则第 7 项评价指标酒精含量的客观权重 w_7'' 为

$$\begin{aligned} w_7'' &= g_7 / \sum_{j=1}^{11} g_j \\ &= 0.006 / (0.005 + 0.002 + \cdots + 0.001) \\ &= 0.171 \end{aligned}$$

利用式(12), 对酒精含量的主、客观权重进行加法集成:

$$\begin{aligned} w_7 &= k_1 w_7' + k_2 w_7'' \\ &= 0.5 \times 0.092 + 0.5 \times 0.171 \\ &= 0.132 \end{aligned}$$

采用闭环调整模式, 对酒精含量的权值系数进行二次集成, 得到其最终权重系数 $W_7 = 0.5 \times 0.130 + 0.5 \times 0.132 = 0.131$ 。

同理, 得到行车安全的车内环境各评价指标的客观权值、权重系数和最终权重系数, 如表 7 所示,

表 7 行车安全的内环境各评价指标的权值系数

评价指标 A_j	客观 权值 w_j'	权值 系数 w_j	上一时刻 权值系数 W_j'	最终权重 系数 W_j	指标 j
	w_j''	w_j	W_j'		
甲醛	0.143	0.136	0.134	0.135	1
苯同系物	0.058	0.145	0.145	0.145	2
一氧化碳	0.028	0.046	0.048	0.047	3
二氧化碳	0.257	0.142	0.150	0.146	4
氮氧化物	0.058	0.040	0.036	0.038	5
二氧化硫	0.058	0.051	0.047	0.049	6
酒精含量	0.171	0.132	0.132	0.132	7
烟雾浓度	0.143	0.098	0.096	0.097	8
粉尘浓度	0.028	0.029	0.025	0.027	9
温度	0.028	0.129	0.141	0.135	10
湿度	0.028	0.052	0.046	0.049	11

注: 此处直接给出了依据上一时刻 5 组测量数据计算求得的各评价指标的权重系数 W_j' 。

即指标权重矩阵 $W = [0.135, 0.145, 0.047, 0.146, 0.038, 0.049, 0.132, 0.097, 0.027, 0.135, 0.049]$ 。

酒精含量的 5 个测量样本的平均值为

$$\begin{aligned}x_7 &= \left(\sum_{i=1}^5 x_{i7} \right) / 5 \\&= (0.11 + 0.13 + 0.14 + 0.16 + 0.16) / 5 \\&= 0.14\end{aligned}$$

根据表 1 所示的车内环境各评价指标的分级标准,可以得到酒精含量的分级标准 $[a_{71}, a_{72}, a_{73}, a_{74}, a_{75}] = [0.04, 0.11, 0.20, 0.27, 0.36]$ 。模糊关系矩阵为

$$R = \begin{bmatrix} 0 & 0.800 & 0.200 & 0 & 0 \\ 0 & 0.509 & 0.491 & 0 & 0 \\ 0 & 0.894 & 0.106 & 0 & 0 \\ 0.015 & 0.985 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.726 & 0.274 & 0 & 0 \\ 0.389 & 0.611 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.667 & 0.333 & 0 & 0 \\ 0 & 0.945 & 0.055 & 0 & 0 \\ 0.377 & 0.623 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.700 & 0.300 & 0 & 0 \\ 0.400 & 0.600 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

利用式(13)降半梯形隶属函数对酒精含量的隶属度进行计算,由于 $a_{71} < a_{72} < 0.14 < a_{73} < a_{74} < a_{75}$, 则酒精含量在该时刻的隶属度 $[r_{71}, r_{72}, r_{73}, r_{74}, r_{75}] = [0, 0.667, 0.333, 0, 0]$ 。同理,计算各项评价指标该时刻的隶属度,得到模糊关系矩阵 R ,则模糊综合评价矩阵为

$$\begin{aligned}S &= W \times R = [S_1, S_2, S_3, S_4, S_5] \\&= [0.051, 0.746, 0.203, 0, 0]\end{aligned}$$

根据隶属度最大原则进行判断,可知行车安全的内环境隶属于 S_2 等级,为较安全。

5 结 论

本文构建了一套较为完善的行车安全的车内环

境综合评价理论,并利用 STM32F103 单片机、稳压电源、液晶显示屏、气体传感器、GPS 模块、GSM 模块等硬件及相关软件,设计了一套能够实时检测、评价、显示、定位、预警、传送车内环境各要素指标的行车安全的内环境车载预警系统,在实测中达到了预期的效果。主要的创新性工作有:(1)把车内的复杂环境细分化,基于模糊综合评价模型、改进的综合集成赋权模型和改进的韦伯-费希纳定律评价模型,从车内环境的分级标准、各评价指标的权重以及综合评价机制 3 个方面对行车安全的内环境综合评价理论进行了较为完善的构建;(2)从心理学、人机工程学的角度对车载预警系统进行了较为完善的硬件设计。经实际测试,行车安全的内环境综合评价理论可行、有效,硬件预警系统测试效果好、操作性强。今后需要进一步完善评价机制,改善数据处理方法。

参 考 文 献

- [1] 王泽申. 关于人机系统安全分析中人的因素的一些探讨. 中国安全科学学报, 1997, 7(2): 26-29
- [2] 李家文, 成波. 驾驶员疲劳状态适应式复合预警方法的研究. 汽车工程, 2012, 34(3): 211-216
- [3] 章骅, 周述琼, 但德忠. 室内污染控制技术研究进展. 中国测试技术, 2005, 31(6): 130-135
- [4] 戴涟漪, 邓大跃, 张哲等. 汽车内空气的污染与健康驾驶. 北京联合大学学报(自然科学版), 2004, 18(1): 60-65
- [5] 李祚泳, 汪嘉杨, 张国丽. 基于韦伯-费希纳定律的空气质量普适韦伯指数公式. 中国环境监测, 2010, (2): 58-62
- [6] 王红卫, 郑超, 魏永长等. 基于数据的决策方法综述. 自动化学报, 2009, 35(6): 820-833
- [7] 郑斌, 唐德善, 史兹国. 基于综合集成赋权法的河道整治方案优选研究. 水电能源科学, 2010, 28(4): 113-118
- [8] 聂宏展, 吕盼, 乔怡等. 基于熵权法的输电网规划方案模糊综合评价. 电网技术, 2009, 33(11): 60-64

Theoretical study on comprehensive evaluation of the environment in vehicle for safe driving and design of its vehicle-mounted early warning system

Cui Fayi, Xin Sixu, Feng Xuchu

(Measurement Technology and Instrumentation Key Lab of Hebei Province, Yanshan University, Qinhuangdao 066004)

Abstract

The influence of the environment in a vehicle for safe driving was analyzed, the evaluation of the in-vehicle environment was studied under the consideration of its characteristics of diversification and complication, and a set of more perfect theories for comprehensive evaluation of the environment in vehicles were built, including determination of the grading standards of the environment in vehicle using the improved Weber-Fechner law evaluation model, determination of the weight level of each evaluation index using the improved integrated weight model, and obtaining of the comprehensive evaluation results based on the fuzzy synthetic evaluation model as well as the computation of the matrixes of fuzzy relation and index weight. Based on the above-mentioned work, theories for a vehicle-mounted early warning system for real time detection, evaluation, display, position, alarm, deliver of vehicles' interior environment was designed and implemented by using STM32F103 microcontroller, LCD display, gas sensors, ATK-NEO-6M, ATK-SIM900A, and other hardwares and relational softwares. Which achieved the desired effect in practical applications.

Key words: environment in vehicle, fuzzy synthetic evaluation model, improved integrated weight model, improved Weber-Fechner law evaluation model, STM32F103 microcontroller, sensor