

驾驶员意图与行驶环境的 统一识别及实时算法

王玉海 宋 健 李兴坤

(清华大学汽车安全与节能国家重点实验室 北京 100084)

摘要：针对以往意图识别存在的问题，根据车辆运行过程中的动力学特性，定义了平直道路匀速运动的平衡节气门开度和相对节气门开度，并在此基础上分析了驾驶员期望加速特性，给出了相互关联的五个分类以及各个分类下的换挡操作特征。分析表明，行驶环境在换挡过程中可以等效为驾驶员期望加速特性，从而提出了驾驶员意图与行驶环境的统一识别方法。根据相应的实车试验数据和经验收集，制定了模糊推理规则库，建立了多输入单输出的模糊推理模型，并将该模型移植到单片机控制系统中，实现了驾驶员意图识别的实时算法。经过对实车试验数据进行的识别验证，该算法能够比较准确完整地识别驾驶员意图。

关键词：驾驶员意图 行驶环境 驾驶员期望加速特性 模糊推理 单片机控制

中图分类号：U467

0 前言

在车辆行驶过程中驾驶员会根据车辆运行状态和周围环境以及自己的驾驶习惯对油门踏板、制动踏板等采取一定动作，以此来实现驾驶意图。在“人—车—路”的闭环系统中，驾驶员可以看作一个自适应智能传感器，而驾驶员意图识别就是将该传感器的信号加以处理得到的信息。驾驶员意图和行驶环境的识别很难给出数学模型，只能根据车辆行驶状态和驾驶员操作，结合行车经验做出判断，以处理经验模型见长的模糊推理模型具有很大优势。

参考文献[1]中给出了对换挡操作有影响的几种驾驶意图，分析了每种意图相应的特征。由采集的数据分别进行模糊贴近度计算，再综合判断出驾驶员的确切意图。参考文献[2]建立了一种递阶的行驶环境识别体系，底层进行实时识别，上层根据底层的识别结果，确定与当前行驶环境相适应的汽车换挡规律。参考文献[3]将车辆行驶环境分为五类，提取各类行驶环境的特征，制定模糊规则来判断车辆行驶环境。参考文献[4]通过解释结构模型将驾驶员模型识别分为定量模型和定性模型两部分，通过模糊推理得到定性的结果，可以有效避免弯道及坡道行驶时的误升挡或频繁换挡。

1 驾驶员期望加速特性分析

在手动驾驶车辆行驶的过程中，驾驶员通过调整发动机状态(油门踏板)和变速器挡位来改变车辆驱动力以适应行驶阻力和驾驶意图的改变，必要时辅以制动踏板(这里只讨论驾驶员不踩制动踏板的情况，制动状态下的驾驶员意图及换挡规律将另文探讨)。在自动变速系统中，驾驶员只能通过油门踏板来表达自己的期望加速特性，自动变速控制系统则通过挡位选择规律以及换挡过程控制来配合驾驶需求的实现。在装有电控节气门(ETC)的车辆中，油门踏板开度和节气门开度并不一致，前者反映的是驾驶员意图，后者则是平衡节气门的基础，而用作意图识别的是油门踏板开度。

1.1 升降挡的动力学分析及平衡节气门开度

车辆运行中的动力学方程可以表示为

$$ma = \frac{hT_e i_n i_0}{r_w} - F_f - F_w - F_i \quad (1)$$

式中 m ——车辆质量
 a ——加速度
 T_e ——发动机输出力矩
 h ——传动系统总效率
 i_n ——第 n 挡传动比
 i_0 ——主减速器传动比
 r_w ——车轮滚动半径

F_f, F_w, F_i ——道路滚动阻力、空气阻力、坡道阻力

定义第 n 挡时传递到车轮上的等效驱动力为

$$F_{en} = \frac{hT_e i_n i_0}{r_w}$$

定义总行驶阻力为

$$F_{\pi} = F_f + F_w + F_i$$

由式(1)可知, 由于换挡过程中车速可以认为基本不变, 升挡在相同的油门开度下使得发动机转速降低, 因而有更大的升速空间, 但等效驱动力一般会减小, 加速度减小; 降挡会在相同的油门开度下使得发动机转速升高, 车辆升速空间变小, 但等效驱动力一般会增加, 加速度增加。

在式(1)中, 令 $a=0, F_i=0$, 可以得到车辆在平直道路上匀速行驶时的受力平衡式。又 $F_f = mgm$, $F_w = \frac{1}{2} \rho A v^2$, 代入(1)式可得

$$mAv^2/2 = \frac{hT_e i_n i_0}{r_w} - mg \quad (2)$$

式中 m ——道路摩擦因数

v ——车速

ρ ——风阻系数

A ——迎风面积

因为发动机输出转矩 T_e 是转速 n (从而也是车速 v)和节气门开度 a 的函数, 即 $T_e = f(v, a)$, 则式(2)可以变为

$$f(v^2) = f(v, a) - K \quad (3)$$

根据式(3)及发动机试验数据, 可以得到不同挡位下的平衡节气门开度曲线, 如图1所示。

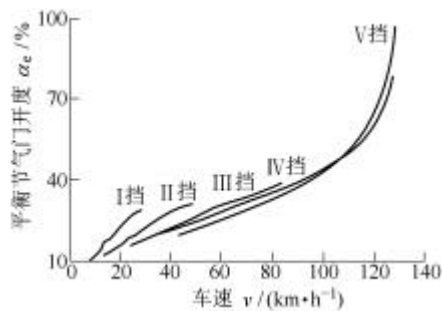


图1 平直道路匀速运动平衡节气门开度曲线图

在当前车速下, 驾驶员所发出的油门开度指令位于曲线下方说明驾驶员的减速意图, 位于上方则说明驾驶员的加速意图。

1.2 换挡操作与驾驶员期望加速特性

一般情况下, 车速到达一定程度, 驾驶员会及时升入高挡, 增加发动机负荷率, 以获得更好的燃油经济性^[5]。在特殊的情况下, 驾驶员会有特定的驾驶意图来确定换挡原则。相对于经济性换挡规律

来说, 在一定节气门开度下, 若升入高挡的车速大于原升挡车速, 有利于增加车辆动力性, 称为升挡延迟; 反之, 称为升挡提前。同理, 若降入低挡的车速高于原降挡车速, 有利于降入低挡提高动力性, 称为降挡提前; 反之, 称为降挡延迟。

根据对有经验驾驶员的访谈和实车驾驶数据采集, 并结合升降挡的动力学分析, 可以将平直道路上驾驶员期望加速特性分为停车、减速、维持、加速和急加速五类, 每一类对应不同挡位操作。这五类驾驶员期望加速特性主要体现在车速、油门踏板开度及其变化趋势上。与参考文献[1]提出的相互独立的驾驶员意图不同, 它们是互相关联的五种特性, 可以在一次识别中得到, 不需要附加的综合判断。

停车意图是指车速较低时驾驶员完全松开油门踏板或者油门踏板松开的趋势明显。此时, 应该禁止升挡、适时空挡。

减速意图是指车速较高时驾驶员完全松开油门踏板或者油门开度明显小于平衡节气门开度。此时, 应该限制升挡、适时降挡。

维持意图是指驾驶员保持当前油门踏板位置或者油门踏板位置变化不大, 并且未大幅度偏离节气门开度平衡曲线。此时, 应该按照最佳经济性曲线换挡。

加速意图是指驾驶员在车辆行驶过程中油门踏板的开度在平衡曲线之上。此时, 应该延迟升挡、适时降挡。

急加速意图是指油门踏板的开度远超出平衡曲线的范围。驾驶员此时的意图是获得尽可能大的加速度, 超车或者紧急运动时都会出现这种情况。此时, 应该延迟升挡、提前降挡。

表1列出了各种意图下的挡位操作原则。

表1 不同意图下的挡位操作原则

期望加速特性	挡位操作
停车	禁止升挡、适时空挡
减速	限制升挡、适时降挡
维持	最佳经济性换挡规律
加速	延迟升挡、适时降挡
急加速	延迟升挡、提前降挡

1.3 不同行驶环境下的等效驾驶员期望加速特性

不同的行驶环境需要的换挡规律也不相同。除平直道路外, 典型的驾驶环境有弯道、坡道(上、下坡)、拥挤道路以及复杂路面等。本节将根据实车试验数据分析表明: 不同的行驶环境可以归类等效为前述平直道路上的驾驶员期望加速特性, 从而达到驾驶员意图识别与行驶环境识别的统一。

1.3.1 弯道状况分析

对于曲率比较小的弯道, 驾驶员操作和平直道

路的操作没有区别,无需识别。在曲率较大的弯道行驶时,驾驶员的典型动作是松油门踏板减速,必要时会辅以制动踏板。此时,应该避免升挡、适时降挡。图2是试验所经过路线的示意图,弯道1~6都是90°的明显弯道。



图2 弯道路线示意图

表2 弯道试验驾驶员操作统计表

驾驶员	试验号	弯道1			弯道2			弯道3			弯道4			弯道5			弯道6		
		降挡	油门	制动	降挡	油门	制动	降挡	油门	制动	降挡	油门	制动	降挡	油门	制动	降挡	油门	制动
1	1																		
	2																		
2	1																		
	2																		
3	1	-			-			-			-			-			-		
	2	-			-			-			-			-			-		

1.3.2 坡道状况分析

上下坡道时,与平直道路相比,车辆要受到坡道阻力(下坡时是坡道动力)的影响。

上坡时,为了克服坡道阻力,驾驶员需要靠增大油门来保持足够的驱动力。在这个过程中应该延迟升挡以充分利用发动机驱动力,在驱动力不足时及时降挡。

下坡时,为使车速不至于太高,驾驶员需要减小油门,甚至要辅以制动。在这个过程中应该限制升挡、适时降挡,以利用发动机的辅助制动。

驾驶员上下坡时的这些操作,与车辆在平直道路上行驶时的加减速操作是一致的,其挡位目标也一致,因此可以将上下坡的行驶环境等效识别为驾驶员加速、减速的期望加速特性。从动力学角度看,是将坡道阻力等效为加速阻力。从平衡节气门开度的角度看,上坡时,油门踏板开度在平衡曲线上方,对应加速意图;下坡时则正好相反,对应减速意图。

图3是车辆以三挡在起伏的山路上上坡时的数据曲线图。上图中虚线是根据式(3)和图1及实际车速绘制的平衡节气门开度曲线,实线是实际采集的节气门开度。下图是车速曲线。由图3可知,节气门开度基本上位于平衡曲线的上方,位于下方时也是驾驶员有意减小车速。这说明上坡时的驾驶员操作与平直道路上的加速操作一致。

图4是在同一条山路上下坡时的节气门开度和车速曲线图。曲线含义同图3。由图4可知,下坡时节气门开度很小,基本上全部位于平衡节气门开

表2分别统计了是否降挡、油门是否为零以及是否辅以制动减速,“-”表示有该种操作,“-”表示无该项操作。驾驶员1是经验丰富的汽车试验工程师,驾驶员2是驾驶经验比较丰富的研究人员,驾驶员3是驾驶经验不多的女司机。统计结果表明,各种类型的驾驶员在这些弯道时都是将油门完全松开。三位驾驶员在转弯过程的36次操作中,降挡19次,其余均为保持原挡位,没有升挡。这些操作跟平直道路上驾驶员的减速或者停车操作相一致,挡位目标也一致,因此可以将弯道行驶环境等效识别为减速或停车意图。

度曲线的下方,与平直道路上减速操作一致。

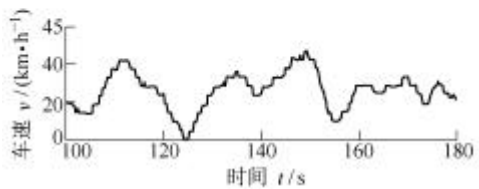
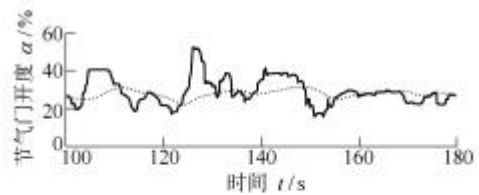


图3 起伏山路上坡数据曲线图

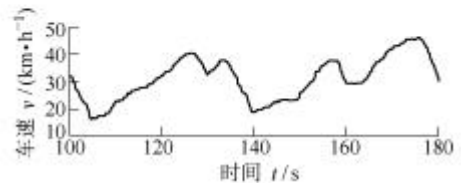
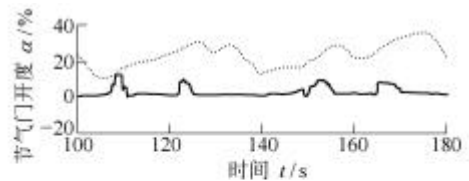


图4 起伏山路上下坡数据曲线图

1.3.3 其他环境状况分析

城市拥挤道路、红灯慢行或等待和乡间复杂道路等,可以统称为车辆蠕行状态。

在蠕行状态时,驾驶员意图主要通过油门踏板和制动踏板的配合来体现,此时应该限制升挡、适时空挡。这种操作跟平直道路上驾驶员的停车意图一致,可以等效判断。图5是驾驶员在一段人流很大的道路上行驶的过程。除了与图3相应的曲线外,在其中还增加了制动踏板开关信号。由图5可见,蠕行时车速低,节气门开度小,不时有制动动作。

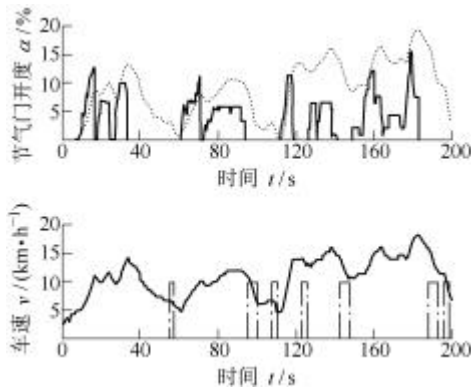


图5 蠕行状态数据曲线图

2 基于模糊推理的意图识别模型

驾驶员意图难以用准确的数学模型来描述,属于经验型模型。将典型的行驶环境与驾驶员意图统一识别,可以得到量化的驾驶员意图。

驾驶员意图主要通过油门踏板开度和踩下或松开油门踏板的速度来体现。

定义相对节气门开度为

$$a_r = \frac{a - a_e}{a_e} \times 100\%$$

式中 a_r ——相对节气门开度

a ——油门踏板开度

a_e ——当前挡位及车速下的平衡节气门开度

以车速、相对节气门开度及油门踏板开度变化率为输入,以量化的驾驶员意图为输出,结合熟练驾驶员的驾驶经验,可以建立如图6所示的驾驶员意图识别模糊推理模型^[6]。

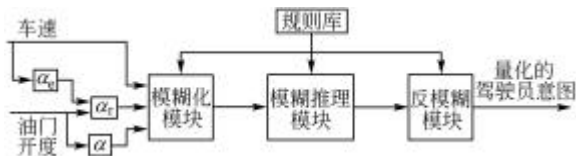


图6 驾驶员意图识别的模糊推理模型

该模型是多输入单输出(MISO)的模糊推理模型,隶属函数采用梯形形式。

论域 $U_v [0, 100]$ 是车速 v 的变化范围(车速超过

100 km/h 的以 100 km/h 计), U_α 上有四个模糊集合, 分别代表非常低速(VS)、低速(S)、中速(M)和高速(H)四个状态。

论域 U_a 是相对节气门开度 a_r 的变化范围。 a_e 的最小值定义为 10%, U_a 的变化范围是 $[-100, 900]$, 取其有判断意义的范围为 $[-100, 200]$ 。设五个模糊集合, 分别代表相对节气门开度负大(NB)、负小(NS)、零(Z)、正小(PS)和正大(PB)。

论域 $U_{da} [-100, 100]$ 是油门开度变化率 $a\dot{}$ 经过数据处理的等效变化范围, 设五个模糊集合, 分别代表负大(NB)、负小(NS)、零(Z)、正小(PS)和正大(PB)。

论域 U_o 是量化的驾驶员意图识别的结果范围, 取为 $[-5, 5]$, 其上有前节所述的五个模糊集合, 分别代表停车(S)、减速(D)、维持(K)、加速(A)和急加速(B)。

确定输入输出论域及隶属函数后, 制定模糊推理规则库。三个输入论域分别有 4、5、5 个模糊集合, 故总的模糊推理规则数目为 $4 \times 5 \times 5 = 100$ 条。根据收集的熟练驾驶员的驾驶经验并结合车辆运行中的动力学特点, 设定模糊规则。模糊规则表如表3所示, 经过合并调整, 最终的规则为 57 条。

表3 模糊推理规则表

相对节气门开度 a_r /%	油门开度变化率 $a\dot{}$ / (% · s ⁻¹)	车速 v / (km · h ⁻¹)			
		VS	S	M	H
NB	NB	S	S	D	D
	NS	S	S	D	D
	Z	S	S	D	D
	PS	S	D	K	K
	PB	S	K	A	A
NS	NB	S	S	D	D
	NS	S	S	D	D
	Z	D	D	K	K
	PS	K	K	K	A
	PB	A	A	A	B
Z	NB	S	S	D	D
	NS	D	D	D	D
	Z	K	K	K	K
	PS	A	A	A	A
	PB	B	B	B	B
PS	NB	D	D	D	D
	NS	K	K	K	K
	Z	A	A	A	A
	PS	A	A	B	B
	PB	B	B	B	B
PB	NB	K	K	K	K
	NS	A	A	A	A
	Z	B	B	B	B
	PS	B	B	B	B
	PB	B	B	B	B

3 模糊推理模型的单片机实时算法

单片机模糊控制系统既可以用模糊单片机实现，也可以用数字单片机实现。数字单片机模糊控制一般采用三种方法：强度转移法、直接查表法、公式计算法^[7]。强度转移法是一种按照极大—极小原则进行模糊推理的方法，这里研究的是改进的强度转移算法。

3.1 强度转移法推理规则

每一条模糊规则都可以用 IF—THEN 的形式来表达。例如表 3 中的一些规则就可以表示为

IF $a_r = NS$ 和 $a\& = PS$ 和 $v = H$ THEN $i = A$

IF $a_r = PS$ 和 $a\& = PS$ 和 $v = M$ THEN $i = B$

...

IF 语句的条件称为规则前件，THEN 语句的结果称为规则后件。对于三输入单输出的模糊推理模型，第 i 条规则可以表示为

X_i^0 和 B_i^0 和 $C_i^0 \Rightarrow O_i^0 \quad i=1,2,\dots,57$

式中 X_i^0 ——相对节气门开度论域 U_a 的模糊子集

B_i^0 ——油门开度变化率论域 U_{da} 的模糊子集

C_i^0 ——车速论域 U_v 的模糊子集

O_i^0 ——驾驶员意图论域 U_o 的模糊子集

用强度转移法进行模糊推理的原则是：取每一个规则前件的隶属度的最小值，作为后件的隶属度。也就是对于输入 $(a_r, a\&, v)$ ，输出 u 的隶属度表示为

$$m_{O_i}(u) = m_{X_i}(a_r) \wedge m_{B_i}(a\&) \wedge m_{C_i}(v) \quad (4)$$

式中 $m_{O_i}(u)$ —— u 对于 O_i^0 的隶属度

$m_{X_i}(a_r)$ —— a_r 对于 X_i^0 的隶属度

$m_{B_i}(a\&)$ —— $a\&$ 对于 B_i^0 的隶属度

$m_{C_i}(v)$ —— v 对于 C_i^0 的隶属度

\wedge ——最小算子

在 $O_i^0(i=1,2,\dots,57)$ 中，包含了意图识别论域上的五个模糊子集的隶属度，设第 i 个模糊子集出现的次数为 n_i ，满足 $\sum_{i=1}^5 n_i = 57$ ，则根据强度转移推理规则，有

$$m_{O_m}(u) = \bigvee_{i=1}^{n_m} m_{O_{mi}}(u) \quad m=1,\dots,5 \quad (5)$$

式中 O_m —— U_o 上的第 m 个模糊子集

$m_{O_{mi}}$ ——由式(4)得到的关于 O_m 的隶属度的第 i 个值

\bigvee ——最大算子

由式(5)可求出各个模糊输出量对应的隶属度。

3.2 改进的反模糊化重心法

所有隶属度不为零的模糊输出量对输出都起到一定贡献，因此需要求出能代表所有模糊输出量作用的精确值，即进行反模糊化。图 7 是采用重心法进行反模糊化的示意图。在五个模糊输出量(即模糊子集)中， X^0 和 B^0 的隶属度分别为 $m_A = 0.75$ 和 $m_B = 0.25$ ，其余模糊输出量的隶属度为 0，则精确化输出为

$$u^* = \frac{\sum_{i=1}^m S_i X_i}{\sum_{i=1}^m S_i} \quad m=1,\dots,5 \quad (6)$$

式中 u^* ——输出量的精确值

S_i ——第 i 个输出模糊量的隶属度函数所包围的面积，图 7 中阴影部分分别是 X^0 和 B^0 所对应的面积

X_i ——第 i 个输出模糊量的隶属函数所包围面积的重心到原点的距离

通常，为简化输出模糊量反模糊化过程的计算量，使反模糊化中的积分运算(求阴影部分面积)转化为求和运算，把输出论域的隶属函数定义为单点，或者不管输出论域所定义的隶属函数取何种形状，都只取其中各隶属函数的某点的论域值的隶属度作为有效值，参加反模糊化运算，而忽略其他部分，并将该点的论域值称为中心元素^[7]，如图 7 中垂直虚线所示。

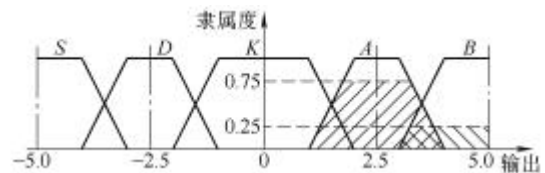


图 7 输出反模糊化示意图

则式(6)可以变为

$$u^* = \frac{\sum_{i=1}^m m_i Y_i}{\sum_{i=1}^m m_i} \quad m=1,\dots,5$$

式中 m_i ——第 i 个模糊输出量的隶属度

Y_i ——第 i 个模糊输出量的单点位置或者中心元素的位置

因为系统的控制品质对隶属函数的形状不敏感，只与隶属函数的个数和每个隶属函数所覆盖的论域范围大小有着密切的关系^[7]，故图 7 中隶属函数可以取为规则的等腰梯形及半等腰梯形，其面积不需积分即可求得，其重心也位于规则位置，因此不需大规模

增加计算量就可以实现完整的反模糊化重心法。

图8是等腰梯形面积计算示意图。在单片机中，隶属度的计算可以通过扩大倍数转化为整数运算， h_0 是隶属度为1时的等效值，一般可以取 $h_0=100$ ； h_1 是需要计算的等效隶属度； h 则为三角形OCD的高。根据相似三角形关系及梯形面积公式，梯形CDEF的面积为

$$S = \frac{CDh}{2} - \frac{EF(h-h_1)}{2} = CDh_1 - \frac{CDh_1^2}{2h} \quad (7)$$

式(7)只需要2次乘法运算，1次除法运算和1次加法运算。该梯形重心位置即为对称中心位置，为固定值，故只需要存储CD、2h和重心位置 X_i 。

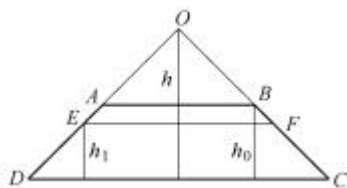


图8 等腰梯形面积计算示意图

图9是半等腰梯形面积计算示意图。定义与图8一致。梯形CDEF的面积与式(7)所示完全一致，计算量分析也是如此。

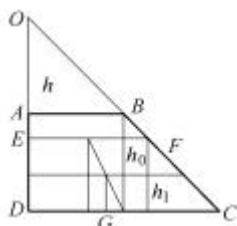


图9 半等腰梯形面积计算示意图

梯形CDEF的重心位置由两条中线交点确定。设C点位置为初始位置，则重心G到C点的距离为

$$X_G = GC = \frac{1}{2}CD + \frac{1}{4}(CD - EF) = \frac{1}{2}CD + \frac{1}{2}CD \frac{h_1}{2h}$$

加上计算重心到原点的距离，该重心计算需要1次乘法运算，1次除法运算，1次移位运算和2次加法运算。单片机只需要存储CD、2h和C点到原点的距离 X_C 。

有了规则梯形、半梯形的面积计算公式和重心位置计算公式，就可以根据根据式(6)计算输出量的精确值。在五个模糊输出量的隶属度均不为零的情况下，增加的运算量为12次乘法运算，7次除法运算，9次加法运算和2次移位运算，这个计算量在整个模糊推理(包括精确量的模糊化、规则推理和反模糊化)过程中占的比例很小，不会给单片机造成计算负担。

3.3 单片机模糊推理实时算法验证

图10是基于MATLAB模糊控制工具箱建立的

推理模型得到的量化的驾驶员意图识别结果，推理方式是Mamdani推理，输入信号的采样频率为100 Hz。图10a实线是相对节气门开度，虚线是车速；图10b是油门开度变化率；图10c是量化的驾驶员意图识别结果。

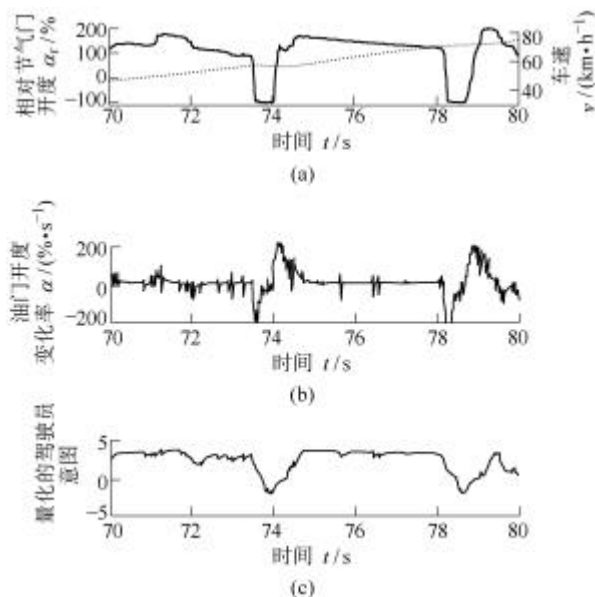


图10 基于MATLAB的模糊推理结果

图11是在英飞凌C164CI单片机上进行实时模糊推理的结果，输入数据在100 Hz采样的基础上等间距抽取，每100 ms进行一次推理。各曲线的含义同图10。其中，量化的识别结果进行了连续的三点平均，相当于进行了低通平滑滤波。对比图10和图11，可以看出两种推理系统的结果是基本一致的，均能够反映出三个输入的变化关系，符合表3所定义的模糊推理规则。

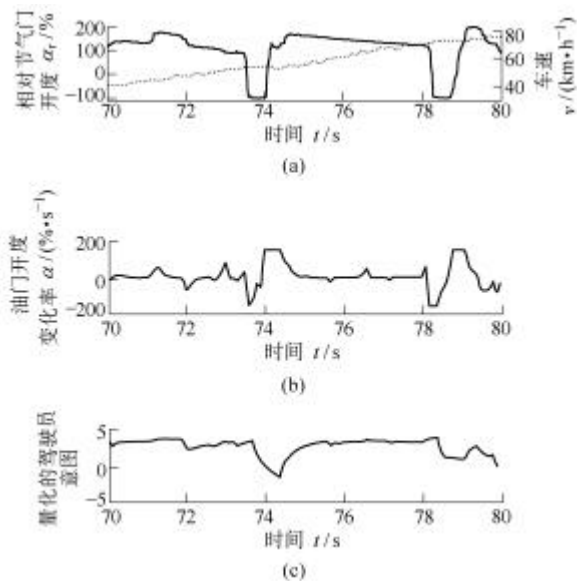


图11 单片机实时模糊推理结果

在英飞凌C164CI单片机上进行了98次识别计

算,总用时 5 415 ms(包括每次计算后通过串口向 PC 机返回计算结果的过程),平均每次意图识别过程用时约 55 ms,这个速度完全可以满足车辆实际运行过程对驾驶员意图识别的要求。

4 结 论

驾驶员意图识别是拟人式自动变速研究的重点和难点。不同的意图分类对识别方法以及识别结果的应用有很大的影响。基于驾驶员期望加速特性的相互关联的五种驾驶员意图分类,可以连续量化,其结果可以直接应用到换挡规律的选择和修正中。

在平直道路上匀速行驶的平衡节气门开度曲线基础上定义的相对节气门开度以及驾驶员操纵加速踏板速度(也就是节气门开度变化率)是反映驾驶员期望加速特性的重要指标,改进了直接应用节气门开度的大小及其变化率来定性判断驾驶员意图的方法。

模糊推理在经验型模型的处理上有优势,可以很好的融合车辆动力学和有经验的驾驶员经验,得到量化的驾驶员意图。应用于单片机的实时算法以强度转移推理规则为基础,通过改进的反模糊化算法,实现了与 PC 机 Mamdani 推理规则一致的效果,可以直接应用于实车系统。对实车试验数据的识别结果表明,该实时方法可以很好的跟随驾驶员操纵油门的动作以及车速的变化,并且有很好的滤波特性,可以消除由油门开度微分来计算油门开度变化率所带来的误差。

参 考 文 献

- [1] 秦贵和. 机械式自动变速器控制技术与系统开发[D]. 长春:吉林工业大学, 1997.
- [2] 金辉, 葛安林, 雷雨龙, 等. 基于行驶环境识别的汽车自动换挡系统研究[J]. 机械工程学报, 2002, 38(5): 56-60.
- [3] QIAO L, SATO M, ABE K, et al. Environment recognition in powertrain control[C]//IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference, 1995: 730-734.
- [4] TAKAHASHI H, KURODA K. A study on automated shifting and shift timing using a driver's mental model [C]//IEEE Intelligent Vehicles Symposium, 1996: 300-305.
- [5] 葛安林. 车辆自动变速理论与设计[M]. 北京:机械工业出版社, 1993.
- [6] 张曾科. 模糊数学在自动化技术中的应用[M]. 北京:清华大学出版社, 1997.
- [7] 余永权, 曾碧. 单片机模糊逻辑控制[M]. 北京:北京航空航天大学出版社, 1995.

INTEGRATED INFERENCE OF DRIVER'S INTENTIONS AND DRIVING ENVIRONMENT AND REAL-TIME ALGORITHM

WANG Yuhai SONG Jian LI Xingkun
(State Key Laboratory of Automotive Safety and Energy, Tsinghua University, Beijing 100084)

Abstract : Referring former methods of driver's intention inference, according to vehicle dynamics, the balance throttle open on plane and straight road and relative throttle open are defined. Based on these, driver demand acceleration characteristics are discussed and driver intentions on plane and straight road are classified to five relative styles. Driver usual operation characteristics under these five classic conditions are summarized. It is proved that driving environment is equivalent to certain driver intention and they can be integrated to infer. A multi-input single-output fuzzy reasoning model is established and the fuzzy rules are based on test data and driver experiences. This model can be applied to micro controller unit and an improved real-time algorithm is brought up. Validated with the test data, this model can infer the intentions quite well.

Key words : Driver's intention Driving environment
Driver demand acceleration characteristics
Fuzzy reasoning MCU control

作者简介:王玉海,男,1977年出生,博士研究生。主要研究方向为车辆自动变速理论与控制策略。

E-mail: wangyuhai@tsinghua.org.cn