

## 基于决策树的驾驶行为决策机制研究

王晓原, 杨新月

(山东理工大学交通与车辆工程学院 智能交通研究所, 山东 淄博 255049)



**摘要:** 驾驶决策过程中, 驾驶行为常受到人、车、路、环境等多源信息的刺激和影响。由于信息处理能力有限, 驾驶员对多源信息无法同时实现知识获取与表示, 以致有时不能准确、快速地进行驾驶决策, 易引发交通事故。文章利用决策树能融知识表示与获取于一身的优点, 将决策树用于不同驾驶行为决策机制的研究, 以实现驾驶员行为的模拟再现。仿真结果表明, 用决策树构建的驾驶决策识别模型有较高的推理速度, 能实时、准确地识别当前的驾驶行为和预测下一时刻的驾驶决策, 为智能车辆中自动驾驶系统的仿真和实现提供了理论指导和可行性依据。

**关键词:** 驾驶员行为; 决策机制; 决策树; 信息熵; 分类规则; 交通流; 智能运输系统(ITS)

**中图分类号:** U491.122; TP391.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-731X (2008) 02-415-05

## Study on Decision Mechanism of Driving Behavior Based on Decision Tree

WANG Xiao-yuan, YANG Xin-yue

(Institute of Intelligent Transportation, School of Transportation and Vehicle Engineering, Shandong University of Technology, Zibo 255049, China)

**Abstract:** In driving decision-making process, driving behavior is usually affected by many elements, such as human, vehicle, road and environment. Because of the limitation of information processing capabilities, knowledge representation and acquisition are not be able to realized simultaneously, and driving decision can not be made so quickly and correctly that traffic incident usually happens. Decision tree was used to study the decision mechanism of driving behavior in order to simulate driving behavior. Simulation results show that the recognition model of driving decision based on decision tree possesses a high reasoning speed. Current driving behavior and next driving decision can be recognized and forecasted exactly. The theory base and feasibility can be provided for automatic driving system in intelligent vehicles.

**Key words:** driving behavior; decision mechanism; decision tree; information entropy; classification rule; traffic flow; intelligent transportation systems (ITS)

## 引言

不同驾驶行为模式的决策机制和车辆运行模式的执行机制, 是仿真多源信息刺激下驾驶员任务集聚、综合认知活动的两个重要环节<sup>[1-2]</sup>。其中, 驾驶决策的准确性直接关系到道路交通安全。决策过程中, 驾驶行为经常受到人、车、路、环境等多源信息的刺激和影响。由于信息处理能力有限, 驾驶员对多源信息无法同时实现知识获取与表示, 以致有时不能准确、快速地进行驾驶决策, 易引发交通事故。因此, 驾驶决策知识的自动获取与表示, 对确保准确、快速的驾驶决策和道路交通安全至关重要。目前, 用于研究知识获取与表示的方法主要有模糊理论<sup>[3-4]</sup>、专家系统<sup>[4]</sup>、Petri 网<sup>[5]</sup>、人工神经网络<sup>[6]</sup>等多种基于知识的人工智能方法, 运用这些方法的关键在于获取专家知识并以有效的形式表示出来。其中, 模糊理论和专家系统采用基于规则的知识表示方法, 此法简单、直观, 但一般不能自动获取知识, 所采用的模式匹配推理机制使系统的推理速度较慢、实时性较差; Petri 网以

图的形式表示知识, 所表示的知识简单明了、有较高的推理速度, 但 Petri 网模型必须人工构建, 不能实现知识的自动获取; 神经网络能融知识获取与表示于一身, 能实现知识的自动获取, 但模型存在“过学习”和“欠学习”现象, 对数据平衡性要求较高, 知识表示隐晦, 不便于人类专家检验, 灵活性差, 系统的任何变化都须重新学习, 学习收敛速度较慢。决策树方法克服了上述缺陷, 能融知识获取与表示于一身, 以决策树形式表示的知识简单直观、便于人类专家检验、有较高的推理效率<sup>[7]</sup>。鉴于此, 本文将决策树用于不同驾驶行为决策机制的研究, 以实现驾驶员行为的模拟再现。

## 1 基于 ID3 分类算法的决策树理论

## 1.1 基本原理

决策树是由内部节点和叶节点构成的、以分类和决策为目的的树。其中, 每个内部节点表示一个属性上的测试, 每个分枝代表一个测试输出, 每个叶节点代表类或类分布。树的最顶层结点是根节点, 从根节点到叶节点的一条路径形成一条分类规则。决策树可以很方便地转化为分类规则, 是一种非常直观的分类模式表示形式<sup>[8]</sup>。

## 1.2 决策树 ID3 分类算法

决策树学习是以实例信息为基础的归纳学习。学习算法中, 最著名的是基于信息熵的 ID3 分类算法, 它用信息增益

收稿日期: 2006-11-03

修回日期: 2007-05-21

**基金项目:** 山东省自然科学基金项目(Y2006G32); 山东理工大学科研基金重点资助项目(2004KJZ02)

**作者简介:** 王晓原(1970-), 男, 山东莱州人, 教授, 硕导, 博士, 研究方向为交通仿真与智能运输系统等; 杨新月(1979-), 女, 山东淄博人, 硕士, 研究方向为微观交通流仿真建模理论等。

(Information Gain) 作为决策属性分类判别能力的度量, 依此进行决策节点属性的选择。ID3 算法在目前有较大影响, 它简单、计算速度快、易实现、适于处理规模较大的分类问题, 得到的决策树也是较为优化的形式。其中, 决策属性信息增益值的计算方法如下<sup>[9]</sup>:

设  $S$  是训练样本数据集,  $S$  中类别属性有  $m$  个独立取值, 即定义了  $m$  个类  $C_i$  ( $i=1,2,\dots,m$ )。  $R_i$  为数据集  $S$  中属于  $C_i$  类的子集, 用  $r_i$  表示子集  $R_i$  中元组的数量。

集合  $S$  在分类中的期望信息量定义为

$$I(r_1, r_2, \dots, r_m) = -\sum_{i=1}^m p_i \log_2(p_i) \quad (1)$$

其中:  $p_i = r_i/|S|$ ,  $p_i$  表示任意样本属于  $C_i$  类的概率;  $|S|$  是训练样本数据集中元组的数量。

设属性  $A$  有  $v$  个不同取值  $\{a_1, a_2, \dots, a_v\}$ , 这些取值将数据集  $S$  划分为  $v$  个子集,  $S_j$  表示数据集  $S$  中属性  $A$  取值为  $a_j$  ( $j=1,2,\dots,v$ ) 的子集。若  $A$  被选作决策属性, 则这些子集将对应该节点的不同分枝。

若用  $s_{ij}$  表示  $S_j$  子集中属于  $C_i$  类的元组数量, 则属性  $A$  对于分类  $C_i$  ( $i=1,2,\dots,m$ ) 的熵定义为

$$E(A) = \sum_{j=1}^v \frac{s_{1j} + \dots + s_{mj}}{|S_j|} I(s_{1j}, \dots, s_{mj}) \quad (2)$$

其中:  $\frac{s_{1j} + \dots + s_{mj}}{|S_j|}$  是  $S_j$  子集的权重, 表示  $S_j$  子集在数据集  $S$  中的比重;  $I(s_{1j}, \dots, s_{mj})$  是属性  $A$  的每个取值对分类  $C_j$  的期望信息量。  $I(s_{1j}, \dots, s_{mj})$  定义为

$$I(s_{1j}, \dots, s_{mj}) = -\sum_{i=1}^m p_{ij} \log_2(p_{ij}) \quad (3)$$

其中:  $p_{ij} = s_{ij}/|S_j|$ , 表示在  $S_j$  子集中属于  $C_i$  类的比重;  $|S_j|$  表示  $S_j$  子集中元组的数量。

属性  $A$  作为决策分类属性的度量值 (即信息增益) 定义为

$$Gain(A) = I(r_1, r_2, \dots, r_m) - E(A) \quad (4)$$

ID3 算法需要计算每个决策属性的信息增益, 具有最大信息增益的属性被选为给定数据集  $S$  的决策属性节点, 通过该属性的每一个取值建立由该节点引出的分枝。

## 2 驾驶决策识别模型

驾驶决策不仅受人、车、路、环境等多源信息的刺激和影响, 而且具有较高的实时性要求, 因此这既要求驾驶决策知识能自动获取与表示, 又要求驾驶决策知识具有较高的推理效率。

### 2.1 数据采集

数据采集方案为, 在综合实验车上配备美国 Stalker Pro 型雷达测速仪, 采集目标车同车道紧邻前车的实时动态信息, 信息包括两车间的车间距、速度差和车头时距等; 配备 GPS 实验系统采集目标车的实时动态信息, 信息包括目标车速度、加速度、所在车道等; 配备多个同步摄像头和采用问答式数据采集手段, 采集涵盖驾驶行为和驾驶环境在内的车内外多源信息, 信息包括驾驶员期望信息、道路状况、天气状况和交通标志信息等。为确定交通标志的可辨认距离, 本文对文献[10]中的实验方案进行了改进, 改进的方案见表 1。

表 1 交通标志可辨认距离实验方案

项目	设 置
时间	实验在上午 9 点到下午 3 点之间进行, 实验期间天气晴朗, 照度均在 2000L 以上, 标志无背光。
地点	淄博市张店区张周路某段长 2000 米、流量为 1500 辆标准车/小时/车道的单向双车道路段。
对象	出租汽车驾驶员, 男、女各 10 人, 25-35 岁, 中学毕业以上文化程度, 中等驾驶水平。
用车	国产普通 SANTANA 轿车。
内容	在车速为 100km/h、80km/h 和 60km/h 时辨认绕行标志 “←”, 被试者事先不知道会出现什么交通标志。
实验方案	被试驾驶汽车, 主试在副驾驶位置。被试按主试指定的上述三种速度之一行驶, 车辆由 2000 米外向着标志方向行进。当被试辨认出标志意义时告知主试, 与此同时主试扔一沙袋于路面上, 以备计算可辨认距离。

### 2.2 驾驶决策主影响因子

驾驶决策过程中, 驾驶行为常受到人、车、路、环境等多重因素的刺激和影响, 这些因素统称为驾驶决策影响因子, 它们共同作用决定了驾驶员下一时刻的行动战略, 根据此战略和当前的驾驶环境驾驶员能及时、准确地制定驾驶决策, 为综合认知序贯活动链<sup>[1]</sup>的顺利执行打好基础。对特定的人-车单元而言, 在一定时间或行程内其整体可靠性基本恒定, 因此人、车因素对驾驶决策影响较小。而随着车辆的运行, 驾驶员所处的道路和环境会随时间、空间的不同发生变化, 不断变化的道路、环境因素对驾驶决策影响较大。因此, 本文运用灰关联熵分析法<sup>[9]</sup>重点对来自道路、环境的驾

驶决策影响因子进行了榨取和排序, 各驾驶决策影响因子的相关信息见表 2。

灰关联熵分析法用信息熵定量描述各比较列和参考列间的相似和吻合程度, 用熵关联度来完成影响因素的吻合排序。灰关联序列的排序准则: 比较列的熵关联度越大, 表明该比较列与参考列的关联性越强, 对参考列的影响程度越大, 其影响因子的排序就越靠前<sup>[9]</sup>。本文选取  $X$  作为参考列,  $Y_1 \sim Y_{11}$  作为比较列。限于篇幅, 表 3 仅列出了 180000 多个实测数据的一小部分。

根据灰关联熵原理<sup>[9]</sup>对表 3 进行定量计算, 求得各比较列的熵关联度, 如表 4 所示。

表 2 各驾驶决策影响因子的相关信息

驾驶决策 影响因子	各驾驶决策影响因子的含义	取值标准化原则		
		-1	0	1
X(无量纲)	驾驶决策, 本文仅研究三种驾驶决策: 自由行驶、车辆跟驰和车道变换, 简记为 $X_1$ 、 $X_2$ 和 $X_3$ 。用 $X_1$ 、 $X_2$ 和 $X_3$ 各自对应的记录条数占总记录条数的比例分别给 $X_1$ 、 $X_2$ 和 $X_3$ 赋初值。	$X_1$	$X_2 = \text{“车辆跟驰”}$ $X_{21} = \text{“匀速跟驰”}$ $X_{22} = \text{“加速跟驰”}$ $X_{23} = \text{“减速跟驰”}$	$X_3$
$Y_1$ (无量纲)	车道差异, 指目标车当前所在车道与期望车道间的差异。车道相同、相异时分别记为 $Y_{11}$ 和 $Y_{12}$ 。用车道相同和相异各自对应的记录条数占总记录条数的比例分别给 $Y_{11}$ 和 $Y_{12}$ 赋初值。	——	车道相同	车道相异
$Y_2$ (米/秒)	速度差异, 指目标车车速( $v_o$ )与期望车速( $v_d$ )之差。	$v_o < v_d$	$v_o = v_d$	$v_o > v_d$
$Y_3$ (米/秒)	前车车速差, 指目标车车速( $v_o$ )与同车道紧邻前车车速( $v_l$ )之差。	$v_o < v_l$	$v_o = v_l$	$v_o > v_l$
$Y_4$ (米)	前车安全, 指目标车与紧邻前车间安全车距( $d_{ls}$ ) <sup>[11]</sup> 与车间距( $d_l$ )之差。	$d_{ls} < d_l$ 安全	——	$d_{ls} \geq d_l$ 不安全
$Y_5$ (秒)	车头时距, 指目标车与同车道紧邻前车的车头时距 <sup>[12-13]</sup> 。	$Y_5 < 5s$	$5s \leq Y_5 \leq 8s$	$Y_5 > 8s$
$Y_6$ (米/秒)	侧前车车速差, 指目标车车速( $v_o$ )与侧前车车速( $v_{cl}$ )之差。 侧前车指目标车相邻车道上的紧邻前车。	$v_o < v_{cl}$	$v_o = v_{cl}$	$v_o > v_{cl}$
$Y_7$ (米)	侧前车安全, 指目标车与侧前车间安全车距( $d_{cls}$ ) <sup>[11]</sup> 与车间距( $d_{cl}$ )之差。 侧前车含义同上。	$d_{cls} < d_{cl}$ 安全	——	$d_{cls} \geq d_{cl}$ 不安全
$Y_8$ (米/秒)	后车车速差, 指目标车同车道紧邻后车车速( $v_r$ )与目标车车速( $v_o$ )之差。	$v_r < v_o$	$v_r = v_o$	$v_r > v_o$
$Y_9$ (米/秒)	侧后车车速差, 指侧后车车速( $v_{cr}$ )与目标车车速( $v_o$ )之差。 侧后车指目标车相邻车道上的紧邻后车。	$v_{cr} < v_o$	$v_{cr} = v_o$	$v_{cr} > v_o$
$Y_{10}$ (秒)	指目标车换车道时可插车间隙( $h_c$ ) <sup>[14]</sup> 与目标车和侧后车之间车头时距( $h_{cr}$ )之差。侧后车含义同上。	$h_c < h_{cr}$ 安全	——	$h_c \geq h_{cr}$ 不安全
$Y_{11}$ (米)	交通标志, 指目标车和交通标志间的距离( $s$ )与目标车对交通标志的可辨认距离( $s_r$ ) <sup>[10,15]</sup> 之差。	$s < s_r$ 标志有效	——	$s \geq s_r$ 标志无效

表 3 驾驶决策及各影响因子的部分数据

NO	X	$Y_1$	$Y_2$	$Y_3$	$Y_4$	$Y_5$	$Y_6$	$Y_7$	$Y_8$	$Y_9$	$Y_{10}$	$Y_{11}$
1	0.932	0.135	-2.610	1.320	-31.199	3.874	-1.931	-101.703	2.354	3.097	-5.515	774.222
2	0.034	0.135	-2.786	1.578	-29.500	3.818	-2.161	-98.630	2.471	3.456	-5.718	760.134
3	0.932	0.865	-2.965	4.544	19.312	5.923	1.146	-68.935	2.423	3.432	-5.903	726.223
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
143	0.932	0.865	0.017	7.771	-55.258	0.147	-0.820	-177.370	55.195	-7.053	-5.009	226.551
144	0.932	0.865	-0.212	8.132	-51.549	0.130	7.063	-181.027	55.762	-6.569	-4.724	212.936
145	0.932	0.135	-0.440	7.844	-44.913	0.565	6.463	-184.374	56.385	-7.210	-5.542	199.506

表 4 各比较列的熵关联度

$E(Y_1)=0.998041$	$E(Y_4)=0.996540$	$E(Y_7)=0.992020$	$E(Y_{10})=0.984929$
$E(Y_2)=0.994221$	$E(Y_5)=0.999819$	$E(Y_8)=0.983219$	$E(Y_{11})=0.998258$
$E(Y_3)=0.993320$	$E(Y_6)=0.966179$	$E(Y_9)=0.973110$	——

根据表 4, 按影响程度大小对各影响因子排序为:  $Y_5 > Y_{11} > Y_1 > Y_4 > Y_2 > Y_3 > Y_7 > Y_{10} > Y_8 > Y_9 > Y_6$ 。简便起见, 本文仅选取前 8 个因子来研究不同驾驶行为的决策机制, 表 5 列出了部分训练样本。

按照表 2 中驾驶决策影响因子的取值标准化原则, 对表 5 中的数据进行标准化处理, 得表 6。

表 5 部分训练样本

No	X	$Y_5$	$Y_{11}$	$Y_1$	$Y_4$	$Y_2$	$Y_3$	$Y_7$	$Y_{10}$
1	车辆跟驰	5.399	698.946	同	-11.147	-3.333	4.268	61.550	0.714
2	车辆跟驰	3.579	587.773	同	15.475	-5.002	2.977	91.733	2.745
3	车道变换	2.765	132.172	异	69.330	-0.012	0.976	-0.770	-1.274
4	车辆跟驰	1.418	-64.693	同	66.005	-2.315	1.446	47.659	2.223
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
147	车辆跟驰	1.919	-155.273	异	68.934	-0.782	1.307	7.583	1.520
148	车道变换	2.274	-268.043	同	47.040	-4.672	0.463	-24.572	-1.183
149	车辆跟驰	2.211	-165.120	同	51.483	-0.228	-0.378	-85.900	11.619
150	自由行驶	9.423	254.342	同	-132.770	0.473	10.868	112.039	1.681

No	X	Y <sub>5</sub>	Y <sub>11</sub>	Y <sub>1</sub>	Y <sub>4</sub>	Y <sub>2</sub>	Y <sub>3</sub>	Y <sub>7</sub>	Y <sub>10</sub>
1	0	0	1	0	-1	-1	1	1	1
2	0	-1	1	0	1	-1	1	1	1
3	1	-1	1	1	1	-1	1	-1	-1
4	0	-1	-1	0	1	-1	1	1	1
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
147	0	-1	-1	1	1	-1	1	1	1
148	1	-1	-1	0	1	-1	1	-1	-1
149	0	-1	-1	0	1	-1	-1	-1	1
150	-1	1	1	0	-1	1	1	1	1

建立分支, 对该分支的实例子集递归用该方法建立决策树的节点及其分支, 直至某一子集中的实例属于同一类。由 ID3 分类算法构建和修剪后的驾驶决策分类树如图 1 所示。

驶员可以及时、准确地制定驾驶决策,为驾驶员综合认知序贯活动执行机制(对策)的制定做好准备。

(3) 道路交通标志仅是驾驶决策的最大刺激因素, 决策的制定还有赖于驾驶员的性格类型。例如, 在绕行标志刺激下, 当换道条件处于临界状态时, 对保守型驾驶员而言, 他们不会冒险进行车道变换而是继续跟随前车行驶, 即使交通延误较大或(和违反), 将涉及道路交通标志的有效性问题, 有违反交通标志。而对冲动型驾驶员而言, 他们则会冒险换道。驾驶员对交通标志的不同反应(即遵守关这方面的研究将另文叙述。

(4) 在车辆行驶过程中, 当目标车同车道紧邻前车不安全时, 驾驶员可以减速跟驰或变换车道, 但在绕行标志刺激下驾驶员会首选换道操作, 因为减速跟驰会在交通延误、油耗等方面付出代价。当前车安全时, 驾驶员可以进行车道变换或车辆跟驰等操作, 此情况下绕行标志会促使驾驶员进行车道变换。但是, 对某些保守型驾驶员而言, 只要当前驾驶环境能满足自身期望值, 他们仍会保持原车道行驶。

(2) 在驾驶决策过程中, 驾驶行为常受到驾驶员、车辆、道路和环境等多重因素的刺激和影响, 这些因素共同作用促使驾驶员在脑海中逐步形成下一时刻的行动方针(即行动战略或策略), 根据这一长期策略和当前的驾驶环境, 驾



表 7 驾驶决策识别规则库

NO	驾驶决策分类规则
1	IF Y <sub>5</sub> =-1/0 AND Y <sub>11</sub> =1 AND Y <sub>1</sub> =0 AND Y <sub>4</sub> =-1 AND Y <sub>2</sub> =-1 AND Y <sub>7</sub> =-1 AND Y <sub>10</sub> =-1 THEN X=X <sub>3</sub>
2	IF Y <sub>5</sub> =-1/0 AND Y <sub>11</sub> =1 AND Y <sub>1</sub> = 0 AND Y <sub>4</sub> =-1 AND Y <sub>2</sub> =-1 AND Y <sub>7</sub> =-1 AND Y <sub>10</sub> =1 THEN X=X <sub>22</sub>
3	IF Y <sub>5</sub> =-1/0 AND Y <sub>11</sub> =1 AND Y <sub>1</sub> =0 AND Y <sub>4</sub> =-1 AND Y <sub>2</sub> =-1 AND Y <sub>7</sub> =1 THEN X=X <sub>22</sub>
4	IF Y <sub>5</sub> =-1/0 AND Y <sub>11</sub> =1 AND Y <sub>1</sub> =0 AND Y <sub>4</sub> =-1 AND Y <sub>2</sub> =0 THEN X=X <sub>21</sub>
5	IF Y <sub>5</sub> =-1/0 AND Y <sub>11</sub> =1 AND Y <sub>1</sub> =0 AND Y <sub>4</sub> =-1 AND Y <sub>2</sub> =1 THEN X=X <sub>23</sub>
6	IF Y <sub>5</sub> =-1/0 AND Y <sub>11</sub> =1 AND Y <sub>1</sub> =0 AND Y <sub>4</sub> =1 AND Y <sub>7</sub> =-1 AND Y <sub>10</sub> =-1 THEN X=X <sub>3</sub>
7	IF Y <sub>5</sub> =-1/0 AND Y <sub>11</sub> =1 AND Y <sub>1</sub> =0 AND Y <sub>4</sub> =1 AND Y <sub>7</sub> =-1 AND Y <sub>10</sub> =1 AND Y <sub>3</sub> =-1 THEN X=X <sub>2</sub>
8	IF Y <sub>5</sub> =-1/0 AND Y <sub>11</sub> =1 AND Y <sub>1</sub> =0 AND Y <sub>4</sub> =1 AND Y <sub>7</sub> =-1 AND Y <sub>10</sub> =1 AND Y <sub>3</sub> =0/1 THEN X=X <sub>23</sub>
9	IF Y <sub>5</sub> =-1/0 AND Y <sub>11</sub> =1 AND Y <sub>1</sub> =0 AND Y <sub>4</sub> =1 AND Y <sub>7</sub> =1 AND Y <sub>3</sub> =-1 THEN X=X <sub>2</sub>
10	IF Y <sub>5</sub> =-1/0 AND Y <sub>11</sub> =1 AND Y <sub>1</sub> =0 AND Y <sub>4</sub> =1 AND Y <sub>7</sub> =1 AND Y <sub>3</sub> =0/1 THEN X=X <sub>23</sub>
11	IF Y <sub>5</sub> =-1/0 AND Y <sub>11</sub> =1 AND Y <sub>1</sub> =1 AND Y <sub>7</sub> =-1 AND Y <sub>10</sub> =-1 THEN X=X <sub>3</sub>
12	IF Y <sub>5</sub> =-1/0 AND Y <sub>11</sub> =1 AND Y <sub>1</sub> =1 AND Y <sub>7</sub> =-1 AND Y <sub>10</sub> =1 AND Y <sub>4</sub> =-1 AND Y <sub>2</sub> =-1/0 THEN X=X <sub>22</sub>
13	IF Y <sub>5</sub> =-1/0 AND Y <sub>11</sub> =1 AND Y <sub>1</sub> =1 AND Y <sub>7</sub> =-1 AND Y <sub>10</sub> =1 AND Y <sub>4</sub> =-1 AND Y <sub>2</sub> =1 THEN X=X <sub>23</sub>
14	IF Y <sub>5</sub> =-1/0 AND Y <sub>11</sub> =1 AND Y <sub>1</sub> =1 AND Y <sub>7</sub> =-1 AND Y <sub>10</sub> =1 AND Y <sub>4</sub> =1 AND Y <sub>3</sub> =-1 THEN X=X <sub>2</sub>
15	IF Y <sub>5</sub> =-1/0 AND Y <sub>11</sub> =1 AND Y <sub>1</sub> =1 AND Y <sub>7</sub> =-1 AND Y <sub>10</sub> =1 AND Y <sub>4</sub> =1 AND Y <sub>3</sub> =0/1 THEN X=X <sub>23</sub>
16	IF Y <sub>5</sub> =-1/0 AND Y <sub>11</sub> =1 AND Y <sub>1</sub> =1 AND Y <sub>7</sub> =1 AND Y <sub>4</sub> =-1 AND Y <sub>2</sub> =-1/0 THEN X=X <sub>22</sub>
17	IF Y <sub>5</sub> =-1/0 AND Y <sub>11</sub> =1 AND Y <sub>1</sub> =1 AND Y <sub>7</sub> =1 AND Y <sub>4</sub> =-1 AND Y <sub>2</sub> =1 THEN X=X <sub>2</sub>
18	IF Y <sub>5</sub> =-1/0 AND Y <sub>11</sub> =1 AND Y <sub>1</sub> =1 AND Y <sub>7</sub> =1 AND Y <sub>4</sub> =1 AND Y <sub>3</sub> =-1 THEN X=X <sub>2</sub>
19	IF Y <sub>5</sub> =-1/0 AND Y <sub>11</sub> =1 AND Y <sub>1</sub> =1 AND Y <sub>7</sub> =1 AND Y <sub>4</sub> =1 AND Y <sub>3</sub> =0/1 THEN X=X <sub>23</sub>
20	IF Y <sub>5</sub> =-1/0 AND Y <sub>11</sub> =-1 AND Y <sub>7</sub> =-1 AND Y <sub>10</sub> =-1 THEN X=X <sub>3</sub>
21	IF Y <sub>5</sub> =-1/0 AND Y <sub>11</sub> =-1 AND Y <sub>7</sub> =-1 AND Y <sub>10</sub> =1 AND Y <sub>4</sub> =-1 AND Y <sub>2</sub> =-1/0 THEN X=X <sub>22</sub>
22	IF Y <sub>5</sub> =-1/0 AND Y <sub>11</sub> =-1 AND Y <sub>7</sub> =-1 AND Y <sub>10</sub> =1 AND Y <sub>4</sub> =-1 AND Y <sub>2</sub> =1 THEN X=X <sub>2</sub>
23	IF Y <sub>5</sub> =-1/0 AND Y <sub>11</sub> =-1 AND Y <sub>7</sub> =-1 AND Y <sub>10</sub> =1 AND Y <sub>4</sub> =1 AND Y <sub>3</sub> =-1 THEN X=X <sub>2</sub>
24	IF Y <sub>5</sub> =-1/0 AND Y <sub>11</sub> =-1 AND Y <sub>7</sub> =-1 AND Y <sub>10</sub> =1 AND Y <sub>4</sub> =1 AND Y <sub>3</sub> =0/1 THEN X=X <sub>23</sub>
25	IF Y <sub>5</sub> =-1/0 AND Y <sub>11</sub> =-1 AND Y <sub>7</sub> =1 AND Y <sub>4</sub> =-1 AND Y <sub>2</sub> =-1/0 THEN X=X <sub>22</sub>
26	IF Y <sub>5</sub> =-1/0 AND Y <sub>11</sub> =-1 AND Y <sub>7</sub> =1 AND Y <sub>4</sub> =-1 AND Y <sub>2</sub> =1 THEN X=X <sub>2</sub>
27	IF Y <sub>5</sub> =-1/0 AND Y <sub>11</sub> =-1 AND Y <sub>7</sub> =1 AND Y <sub>4</sub> =1 AND Y <sub>3</sub> =-1 THEN X=X <sub>2</sub>
28	IF Y <sub>5</sub> =-1/0 AND Y <sub>11</sub> =-1 AND Y <sub>7</sub> =1 AND Y <sub>4</sub> =1 AND Y <sub>3</sub> =0/1 THEN X=X <sub>23</sub>
29	IF Y <sub>5</sub> =1 THEN X=X <sub>1</sub>

3 模型验证

本文运用驾驶决策识别模型对表 8 中的待识别驾驶决策数据进行决策识别,并将识别结果和车辆的实际驾驶决策进行对比,运用识别的准确率来验证模型的有效性。

对表 9 中标准化的待识别驾驶决策数据,分别运用分类

规则 28、20、23、29、16 和 11 对其进行驾驶决策识别,识别结果为{减速跟驰、车道变换、车辆跟驰、自由行驶、加速跟驰、车道变换},此结果与实际驾驶决策一致且更为明确、细致,具有较高的推理效率。

表 8 待识别的驾驶决策数据

No	实际驾驶决策	Y <sub>5</sub>	Y <sub>11</sub>	Y <sub>1</sub>	Y <sub>4</sub>	Y <sub>2</sub>	Y <sub>3</sub>	Y <sub>7</sub>	Y <sub>10</sub>
1	车辆跟驰	1.920	-155.273	同	68.935	0.000	1.308	7.583	-5.479
2	车道变换	2.175	-256.709	异	46.043	-0.228	0.439	-24.965	-4.364
3	车辆跟驰	2.058	-188.018	异	55.135	0.228	-0.331	-91.717	3.340
4	自由行驶	8.804	268.331	同	-126.341	0.245	11.804	113.641	-5.301
5	车辆跟驰	5.146	685.589	异	-7.275	-3.525	4.125	58.627	-6.505
6	车道变换	2.766	132.173	异	69.330	-0.012	0.976	-0.770	-5.726

表 9 标准化的待识别驾驶决策数据

No	实际驾驶决策	Y <sub>5</sub>	Y <sub>11</sub>	Y <sub>1</sub>	Y <sub>4</sub>	Y <sub>2</sub>	Y <sub>3</sub>	Y <sub>7</sub>	Y <sub>10</sub>
1	车辆跟驰	-1	-1	0	1	0	1	1	-1
2	车道变换	-1	-1	1	1	-1	1	-1	-1
3	车辆跟驰	-1	-1	1	1	1	-1	-1	1
4	自由行驶	1	1	0	-1	1	1	1	-1
5	车辆跟驰	0	1	1	-1	-1	1	1	-1
6	车道变换	-1	1	1	1	-1	1	-1	-1

算法也可用于 SISO-OFDM 符号定时和载波频率同步, 并具有较好的性能。但由于在同步过程中需要较长的采样数据进行循环统计量分析, 因此该算法更适合连续传输的 MIMO-OFDM 系统。

### 参考文献:

- [1] Gordon L Stüber, John R Barry, Steve W McLaughlin. Broadband MIMO-OFDM wireless communications [J]. Proceedings of IEEE (S0018-9219), 2004, 92(2): 271-294.
- [2] Bin Zhou, Yong Xiong, Xiaodong Zhang. Distributed MIMO OFDM Wireless Communication Simulation Based on Simulink [J]. Journal of System Simulation, 2006, 18(4): 927-931.
- [3] Mark Russell, Gordon L Stuber. Interchannel Interference Analysis of OFDM in a Mobile Environment [C]// IEEE 45th Vehicular Technology Conference, Chicago, USA: IEEE, 1995: 820-824.
- [4] Jan-Jaap van de Beek, Magnus Sandell, Per Ola Borjesson. ML Estimation of Time and Frequency Offset in OFDM Systems [J]. IEEE Transaction on Signal Processings (S1053-587X), 1997, 45(7): 1800-1805.
- [5] Tsuguhide Aoki, Magnus Sandell. Pilot Design for Frequency Offset Tracking in MIMO-OFDM Systems[C]// The 17th Annual IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio

- Communications, Helsinki, Finland: IEEE, 2006: 1-5.
- [6] Yinghui Li, Hlaing Minn. Consistent Pilot Designs For Frequency Offset Estimation in MIMO-OFDM Systems [C]// IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing, Honolulu, USA: IEEE, 2007: 249-252.
- [7] Helmut Bölcskei. Blind Estimation Of Symbol Timing And Carrier Frequency Offset in Wireless OFDM Systems [J]. IEEE Transaction on Communications (S0090-6778), 2001, 49(6): 988-999.
- [8] Yingwei Yao, Georgios B Giannakis. Blind Carrier Frequency Offset Estimation in SISO, MIMO, and Multiuser OFDM Systems [J]. IEEE Transaction on Communications (S0090-6778), 2005, 53(1): 173-183.
- [9] Yuji Meng, Qinye Yin, Ming Luo. Blind Carrier Frequency Offset Estimation in MIMO-OFDM without Virtual Carriers [C]// IEEE Consumer Communications and Networking Conference, Las Vegas: IEEE, 2007: 460-464.
- [10] Robert W Heath, Jr and Georgios B Giannakis. Exploiting Input Cyclostationarity for Blind Channel Identification in OFDM Systems [J]. IEEE Transaction on Signal Processings (S1053-587X), 1999, 47(3): 848-856.
- [11] 彭端. 宽带无线移动通信系统中的同步理论和技术研究[D]. 北京: 北京邮电大学, 2006.

(上接第 419 页)

## 4 结论

针对现有知识表示与获取方法存在的不足, 本文利用决策树能融知识表示与获取于一身的优点, 提出基于决策树的知识表示与获取方法, 并将其应用于不同驾驶行为决策机制的研究, 以验证该方法的性能。经仿真验证, 此方法主要解决了以下问题: (1) 实现了驾驶决策识别知识的自动获取与表示, 克服了传统知识表示与获取相分离的缺点; (2) 用决策树表示的驾驶决策识别模型具有较高的推理效率, 能很好地满足驾驶决策对实时性的要求。

### 参考文献:

- [1] Xin-yue Yang, Xiao-hui Wang, Lei Wu, *et al.* Study on the integrated cognitive topological structure of driver in the multi-resource information fusion [J]. GESTS International Transactions on Computer Science and Engineering (S1738-6438), 2006, 32(1): 35-43.
- [2] 王晓原, 杨新月. 基于三次样条非参数拟合的驾驶行为仿真模型 [J]. 系统仿真学报, 2006, 18(9): 2691-2694. (Wang Xiao-yuan, YANG Xin-yue. Simulation model of driving behavior based on the cubic spline nonparametric fitting regression [J]. Journal of system simulation, 2006, 18(9): 2691-2694.)
- [3] Chen Wen-hui, Liu Chin-wen, Tsai Men-shen. On-line fault diagnosis of distribution substation using hybrid cause-effect network and fuzzy rule-based method [J]. IEEE Transactions on Power Delivery (S0885-8977), 2000, 15(2): 710-717.
- [4] 宋新民, 龙杨喜, 贾志军, 等. 基于仿真的故障诊断专家系统应用研究 [J]. 系统仿真学报, 2006, 18(4): 1038-1040. (SONG Xin-min,

- LONG Yang-xi, JIA Zhi-jun, *et al.* Application of fault diagnosis expert system based on simulation [J]. Journal of system simulation, 2006, 18(4): 1038-1040.)
- [5] Lo K L, Ng H S, Grant D m, *et al.* Extended Petri net models for fault diagnosis for substation automation[J]. IEEE Proceedings-Generation, Transmission and Distribution (S1350-2360), 1999, 146(3): 229-234.
- [6] 段敏, 张锡恩. 基于仿真的模拟电路故障知识获取新方法[J]. 系统仿真学报, 2006, 18(3): 802-804. (DUAN Min, ZHANG Xi-en. New method of analog circuit fault knowledge acquisition based on simulation [J]. Journal of system simulation, 2006, 18(3): 802-804.)
- [7] 史忠植. 知识发现 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2001.
- [8] Han Jiawei, Kamber Micheline. 数据挖掘概念与技术 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2002.
- [9] 武森, 高学东, (德)M.巴斯蒂安. 数据仓库与数据挖掘 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 2003.
- [10] 任福田. 交通工程心理学[M]. 北京: 北京工业大学出版社, 1993.
- [11] 柴毅, 孙跃, 黄席樾, 等. 车辆安全行驶动态仿真模型及应用研究 [J]. 系统仿真学报, 2003, 15(6): 869-872. (CHAI Yi, SUN Yue, HUANG Xi-yue, *et al.* Application study of the dynamic simulating model in vehicle traveling [J]. Journal of system simulation, 2003, 15(6): 869-872.)
- [12] Special Report 209: Highway Capacity Manual [M]. Washington DC: TRB, National Research Council, 1994.
- [13] Parker M T. The effect of heavy goods vehicles and following behavior on capacity at motorway roadwork sites [J]. Traffic Engineering & Control (S0041-0683), 1996, 37(9): 524-531.
- [14] 陈宽民, 严宝杰. 道路通行能力分析 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2003.
- [15] 冯浩, 席建锋, 矫成武. 基于前视距离的路侧交通标志设置方法 [J]. 吉林大学学报 (工学版), 2007, 37(4): 782-785.