

文章编号:1671-8879(2014)04-0159-08

基于车联网信息融合多 Agent 方法的 交通事件检测

梁 军¹, 沈伟国¹, 蒋 焱², 李世浩¹, 陈 龙¹

(1. 江苏大学 汽车工程研究院, 江苏 镇江 212013; 2. 四川航天职业技术学院 计算机系, 四川 成都 610100)

摘 要:针对当前交通事件发生过程及状态自动识别的不足,围绕车联网道路交通信息所体现出的新特性,提出基于多 Agent 的车联网信息融合方法(VIFMA)。通过在多 Agent 间引入决策关联矩阵进行信息交互,将车联网道路交通信息融合建模为 Agent 决策问题,从而实现对交通事件的自动检测。仿真试验结果表明:VIFMA 能较好地地区分出交通事件发生过程中自由流、拥堵加剧和拥堵消散 3 类状态,揭示拥堵加剧状态与拥堵消散状态之间存在一定的“粘黏”;对比试验显示 VIFMA 具有更良好的容错性能和平稳特性。

关键词:交通工程;车联网;信息融合;智能体;道路交通;自动事件检测

中图分类号:U491

文献标志码:A

Automatic incident detection based on vehicle networking of multi-agent information fusion method

LIANG Jun¹, SHEN Wei-guo¹, JIANG Yan², LI Shi-hao¹, CHEN Long¹

(1. Automotive Engineering Research Institute, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, Jiangsu, China;

2. Department of Computer Science, Sichuan Aerospace Polytechnic, Chengdu 610100, Sichuan, China)

Abstract: In order to make up for present shortcomings of automatic identification of traffic accidents process and status this paper, focused on new features reflected by road traffic information of vehicle network, and proposed a multi-agent based vehicle network information fusion algorithm (VIFMA) which casts information fusion problem into an agent decision problem by introducing decision-making matrix into multi-agent systems to realize the automatic detection of traffic accidents. VIFMA makes use of multi-agent clustering method to classify sorting vector of individual agent. The experimental results show that, VIFMA is able to distinguish three categories, i. e. free flow, aggravation and dissipation of congestion, when some traffic incidents happen. It also reveals there is certain “sticky” between the aggravation and dissipation of congestion. Comparing with the connection method, the experiments show VIFMA owns better fault-tolerant performance and stability characteristics. 5 tabs, 5 figs, 29 refs.

Key words: traffic engineering; vehicle networking; information fusion; Agent; road traffic; au-

收稿日期:2013-04-23

基金项目:国家自然科学基金项目(51108209,61203244);交通运输部信息化项目(2013-364-836-900);

江苏省自然科学基金项目(BK2010339);江苏省高校自然科学基金项目(10KJD580001);江苏省博士创新金项目(CXLX11_0593);

江苏高校优势学科建设工程资助项目(PAPD);江苏大学大学生科研立项项目(12B086,Y12A109,12A321)

作者简介:梁 军(1976-),男,江苏扬州人,副教授,工学博士,E-mail:liangjun@ujs.edu.cn.

tomatic incident detection

0 引言

随着车联网概念的诞生,汽车电子也从原来的以机械、安全为主,转变为强调系统整合能力,以及车与车、车与环境之间的协同交互。作为核心资源,信息在车联网中扮演着至关重要的角色。车联网要解决各子系统间的信息交换和共享、与驾乘人员实现有效互动,以及通过车身网络连接,获取车身中各类传感器数据,处理后用于报警、远程诊断等多个主动安全问题。因此,研究道路交通信息融合的理论和方法对实现车联网具有重要的理论意义和实用价值。

信息融合是智能交通系统研究的重要技术领域,尤其是在车联网出现之后^[1-2]。目前,车联网道路交通信息采集方式在传统的诸如线圈检测器、雷达、超声波检测器、摄像机、GPS 探测车、手机等传感设备基础上出现了大量新型异类传感设备。随之就产生了采集的信息不完备、不一致、不精确等新问题,这也相应提高了对新型传感数据处理和融合的要求^[3]。在交通工程实践中,以往经典的信息融合理论和方法面临新的挑战^[4-6]。因此,研究车联网信息融合理论和方法是智能交通研究的前沿和热点。文献[7-11]总结、分析智能交通系统信息的特征,均强调信息融合技术在智能交通系统中的重要性。目前常用在道路自动事件检测(Automatic Incident Detection, AID)系统中的融合方法主要有,最优线性估计、加权最小二乘方法、模糊回归以及神经网络技术^[12-15]。车联网环境下如何高效、安全地实施道路交通信息融合,目前还是智能交通领域一个亟待解决的难题,尤其是在传感网络资源复杂、网络不稳定(网络切换或者失败)等情形下,融合车联网多传感器数据,并进行目标跟踪、态势估计和优化交通网络,此方面的研究工作还比较少。

多 Agent 方法为解决这类大系统问题提供了可能^[16-17]。通过各子系统(各 Agent)间相互协调工作,完成从动态建模、数据的实时获取到自主推理决策的全过程。同时,实现各子系统间硬件、能量和信息的共享,使系统具有更强的鲁棒性、自组织能力,更快的动态响应特性,既解决了局部冲突,又实现了系统协调,即在局部自治的基础上,实现系统全局优化,从而提高车联网道路交通的综合性能^[18-20]。

基于此,本文针对当前车联网环境下道路交通

信息的新特点,提出车联网道路交通信息融合多 agent 方法(VIFMA),为实现车联网诸多信息的协同,保证车联网信息系统的可靠性、高效性、时效性和资源适应性打下坚实基础。

1 车联网信息融合多 Agent 方法

1.1 车联网信息特点分析

当前,随着智能交通系统的大力发展,道路交通信息出现了区别于传统道路交通信息的新特征,主要表现在多元性与多源性、层次性与交互性、相关性与时时性、自主性与安全性等几个方面,详细情况见下页表 1^[21-26]。

通过不同功能的多个独立 Agent 的信息融合,将需要解决的各种问题分配给不同 Agent,每个 Agent 完成各自承担的任务,利用局部信息进行自主规划,并通过规划推理解决局部冲突,实现协作和全局优化,完成与自身相关的局部目标。

1.2 车联网信息融合多 Agent 结构模型

针对目前复杂系统尤其是智能交通领域车联网系统所呈现的分布式、大规模、动态、开放、异构、智能化的特点,提出车联网信息融合多 Agent 结构模型,如下页图 1 所示。融合 Agent 分 3 个层次进行信息融合。第 1 层是信号处理级问题,为检测级融合,Agent 融合中心传送经过某种处理的检测和背景杂波统计量,然后 Agent 融合中心直接进行 CFAR 检测。预滤波根据传感器类型、观测时间、报告位置和信息特征等分选和归并数据,控制进入第 2 层的信息量,避免融合系统负载过大;第 2 层为位置目标融合,主要包括数据的校准、互连、滤波、预测等,综合来自多个 Agent 节点的位置信息简历目标的航迹和数据库;第 3 层次为属性特征融合,指对多个 Agent 实体目标属性进行组合,得到对目标的联合估计。

1.3 车联网信息融合多 Agent 方法描述

1.3.1 算法思路

设有 n 个 agent 根据自己的知识、经验和偏好,选择不同的决策方法,独立做出决策,得到 1 个对于 m 个类别的 n 个决策序列: $D_k = (A_{k1}, A_{k2}, \dots, A_{km}), 1 \leq k \leq n$ 。其中: $\{A_1, A_2, \dots, A_m\}$ 为类别集; D_k 为第 k 个 Agent 对类别集决策后的一个排序结果,第 k 个 Agent 的权重为 $w_k (k=1, 2, \dots, n), w_k > 0, \sum_{k=1}^n w_k = 1 (i, j=1, 2, \dots, n)$ 。

表 1 车联网信息新特点分析

Tab. 1 Analysis of vehicle networking information features

名 称	特 点	表现形式	存在主要问题	解决方式
多元性与多源性	来源广、种类多、量大、分布性和共享度高	数据、图像、图片、声音、动画、视频;涉及多单位和部门	①在信息获取过程中容易引起短时间内信息量迅速膨胀;②易造成信息“孤岛”	海量信息存储、组织、压缩、查询及优化
层次性与交互性	遵循信息论中信息的层次特性	信息在采集、融合、决策、协作和服务不同层次上的特性各不相同,用途各异	①具有显著的层次特性,如上下层之间面向信息的具体应用不同;②如何确保各层子系统之间的频繁交换和共享问题	信息模型;信息交互模型及其方式
相关性与实时性	时间、空间及主题相关性	交通流、信号控制、违章及事故、公交调度、GIS、GPS、天气、停车场、收费等信息	①相关性研究不够,如车流量数据与时刻、路口的联系;②海量信息实时处理问题	海量信息存储、交换模式、信息处理、主题相关
自主性与安全性	生命特性、安全性	从信息采集到应用的过程与生物进化论中遗传、变异、选择和进化相似	①在受到攻击或不法分子恶意操作控制下,缺乏安全有效的保护机制而产生的交通拥堵与事故问题;②如何利用成熟的进化算法模拟信息处理过程	信息模型、信息组织及处理;安全机制与策略

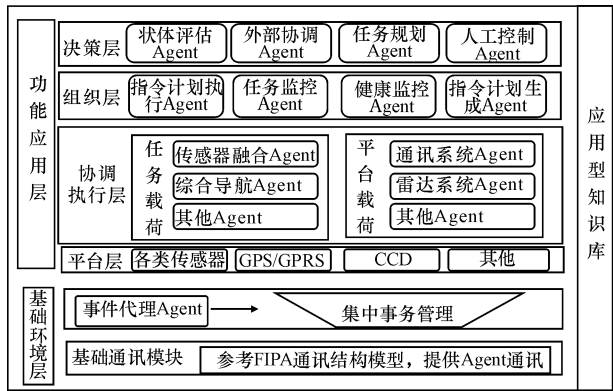


图 1 车联网信息融合多 Agent 结构模型

Fig. 1 Vehicle networking information fusion model based on multi-Agent

对于第 k 个 Agent,按类别的排序结果构造判断矩阵 $\boldsymbol{U}^{(k)}=(u_{ij}^{(k)})_{m\times m}$, $u_{ij}^{(k)}=A_i/A_j$,其中 $k=1,2,\cdots,n$; $i,j=1,2,\cdots,m$ 。

将 $\boldsymbol{U}^{(k)}$ 中元素按列归一化,得到矩阵 $\boldsymbol{C}^{(k)}=[c_{ij}^{(k)}]_{m\times m}$

$$c_{ij}^{(k)}=u_{ij}^{(k)} / \sum_{i=1}^m u_{ij}^{(k)}, i, j=1, 2, \cdots, m \tag{1}$$

记 $\beta_i^{(k)}$ 为各元素权重,则有

$$\beta_i^{(k)}=\frac{1}{m} \sum_{j=1}^m u_{ij}^{(k)} \sum_{i=1}^m u_{ij}^{(k)}, i, j=1, 2, \cdots, m \tag{2}$$

$\boldsymbol{\beta}^{(k)}=[\beta_1^{(k)}, \beta_2^{(k)}, \cdots, \beta_m^{(k)}]^T$ 为第 k 个 Agent 的元素权重向量。

利用聚类分析法(Clustering Analysis Method, CAM) 修改式(2)的权重,得 m 个类别的 n 个决策的权重。基本思路是首先假设每个 Agent 个体排序向量各自成一类,算出各类之间的相似性测度,

比较两类间具有最大相似性测度的数值与阈值。如果大于该阈值,则聚类结束;如果小于该阈值,则将这两类并作一类,如此循环,直到满足阈值要求结束,然后将每 1 个 Agent 的判断结果当做 1 个向量,用 Agent 向量间相似度作为聚类的标准,这里采用欧氏距离(Euclidean Distance, ED)表示 Agent 间评判结果的相似性程度,即

$$d_{ij}=|\beta^{(i)}-\beta^{(j)}|=\sqrt{\sum_{i,j=1}^n (\beta^{(i)}-\beta^{(j)})^2} \tag{3}$$

在式(3)中, d_{ij} 越小,表示 Agent i 与 Agent j 之间的相似性越大,就越趋向于归为同类。假设将 n 个 Agent 分成 l 类($n\geq l$),则可以利用该分类标准(Agent 间的相似度)进行分类,因此,可以认定同类 Agent 在分类决策中具有近似相同的权重。

对于不同类别,包含 Agent 较多的类中,对应的 Agent 赋予较大权重,因为这部分 Agent 代表多数 Agent 的愿望,反之则赋予较小的权重。

设第 k 个 Agent 所在的类中包含有 φ 个 Agent,则 Agent 权重 w_k 与该 Agent 所在类的 Agent 数 φ 成正比,即

$$w_k=\varphi_k / \sum_{i=1}^n \varphi_i \tag{4}$$

由式(4)确定 Agent k 自身的权重。

设 $S_i=(A_{i1}, A_{i2}, A_{i3}, \cdots, A_{im})$ 表示 A 中类别的一种排列,位置较前的元素具有更大的可能性; $Q_i=\{Q_{i1}, Q_{i2}, \cdots, Q_{im}\}$ 表示第 i 个 Agent 的 S 类别集合 A 中所有类别元素的位置。其中, $1\leq Q_{ij}\leq m, 1\leq i\leq n, 1\leq j\leq m, n$ 为 Agent 的个数。若第 i 个 Agent 认为类别 A_j 在序列中排在第 a 位,则 $O_{ij}=a, 1\leq a\leq m$ 。例

如 $A = \{A_1, A_2, A_3, A_4\}$, $O_i = \{4, 2, 1, 3\}$, 则对应的 $S = \{A_3, A_2, A_4, A_1\}$, 所以全部的 Agent 类别排列可以用矩阵 $P = [p_{ij}]_{n \times m} (\forall p_{ij}, 1 \leq p_{ij} \leq m, 1 \leq i \leq n, 1 \leq j \leq m)$ 表示, 其中, 行表示 Agent, 列表示类别, 元素 p_{ij} 表示类别在排序中的位置, 类别可能性越高, 则 p_{ij} 越大。设 w_i 为第 i 个 Agent 的权值, 集合 $w = [w_1, w_2, \dots, w_n]^T$ 是所有 Agent 的权值, 其中, $0 \leq w_i \leq 1, \sum_{i=1}^n w_i = 1$ 。

1.3.2 算法描述

n 个 Agent 聚类算法描述如下:

①初始分类。设每个 Agent 各自为一类, 即 $G_i = \{x_i\}$, 共构造 n 个类, 同时令 $p = n$;

②由式(3)计算 n 个类 Agent i 与 Agent j 两两之间的相似度 d_{ij} ;

③将 d_{ij} 中最小者 d_s 所对应的类 G_s, G_t 合并成一个新的类别, 即 $G_{p+1} = \{G_s, G_t\}$;

④ $p = 2(n-1)$, 转向⑦, 否则转向⑤;

⑤在类集合中删除 G_s, G_t 类, 添加 G_{p+1} 类;

⑥重新计算 d_{ij} , 令 $d_{i, p+1} = \min(d_{is}, d_{it})$, 其中 $i \neq s, i \neq t (i = 1, 2, \dots, n)$; $p = p + 1$, 转向③;

⑦采用 SPSS 画出快速聚类图, 再根据聚类图决定聚类的类别及其数量。

车联网信息融合多 Agent 算法描述如下:

①建立排序集合 P 与排序名次之间的关联矩阵 $N = (n_{ij})$, 关联矩阵 N 中的元素 $n_{ij} = \sum_{k=1}^m w_k (P_{ki} - 1)^2$, 表示第 i 个识别类别相对于第 j 名之间的接近程度, 若 Agent 认为第 i 个类别排名越接近于 j , 则 n_{ij} 越小;

②若关联矩阵 N 中有完全相同的两列或几列, 则对应的方案归于同一类, 此时对同一类中的方案无法区分, 假设有 l 个分类 T_1, T_2, \dots, T_l , 去掉 N 中相同的列, 得矩阵 $N' = (n'_{ij})_m$;

③从关联矩阵的构造可知, 在关联矩阵中每行每列找到 1 个元素, 使得它们的和最小, 构造最优决策模型为

$$\begin{aligned} \min(z) &= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^l n_{ij} x_{ij} \\ \text{s. t. } &\begin{cases} \sum_{i=1}^n x_{ij} = 1, j = 1, 2, \dots, l \\ \sum_{j=1}^l x_{ij} = 1, i = 1, 2, \dots, n \\ x_{ij} = 0, 1, i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, l \end{cases} \end{aligned} \quad (5)$$

式中: $x_{ij} = 1$ 为第 i 个特征排在第 j 位, 否则 $x_{ij} = 0$ 。

可用匈牙利法求解式(5);

④根据式(5)的最优解结果, 得到多 Agent 的类别排列矩阵 S_g ;

⑤使用融合函数 $f_g(p) = S_g$ 和排序函数 $f_r(S_g) = R'$, 信息融合即 $f(p) = f_r(f_g(p)) = R'$; 当 P 中某元素可能性增大时, 在 S_g 中其必然增大, 就向前移动, 同时其拥有的结果元素在 R' 中可能性也增大, 也必然向前移动, 移动的幅度取决于融合函数 f 。

1.4 算法分析

1.4.1 时空复杂度分析

VIFMA 算法的空间复杂度即统计需要存储的矩阵所占空间, 具体就是存储关联矩阵 N 与决策判断矩阵 U , 其空间复杂度为 $O(M \times M \times M \times K \times K)$ 。VIFMA 算法本质上是一种迭代算法, 参数 n 和 l 对收敛速度有较大影响, 当参数 n 和 l 取值很大时, 需要更长的运行时间才能收敛。

1.4.2 收敛性分析

根据各子 Agent 的贡献情况, 各 Agent 相遇的地方溯源概率会加大, 下次溯源可能成为新的相遇地点, 从而实现在某地汇集多数 Agent, 最终达到算法收敛。因此, 可以认为 VIFMA 算法的收敛与迭代过程有关, 是一个概率意义上的正反馈过程。如果存在个别分类器分类错误, 则个别 Agent 可能会被误导至错误的溯源方向, 但是多种错误信息交互后能引导 Agent 趋向正确的方向, 从而及时调整溯源方向, 不会“一错再错”, 最终实现算法的收敛。

1.4.3 有效性验证

验证法 1: 假设下页表 2 表示 Agent $\{D_1, D_2, D_3, D_4\}$ 对类别 A_1, A_2, A_3, A_4 的排序, 则有

$$\begin{aligned} U^{(1)} &= \begin{bmatrix} 1.00 & 0.50 & 0.75 & 0.25 \\ 2.00 & 1.00 & 1.50 & 0.50 \\ 1.33 & 0.67 & 1.00 & 0.33 \\ 4.00 & 2.00 & 3.00 & 1.00 \end{bmatrix} \\ U^{(2)} &= \begin{bmatrix} 1.00 & 0.25 & 0.75 & 0.50 \\ 4.00 & 1.00 & 3.00 & 2.00 \\ 1.33 & 0.33 & 1.00 & 0.67 \\ 2.00 & 0.50 & 1.50 & 1.00 \end{bmatrix} \\ U^{(3)} &= \begin{bmatrix} 1.00 & 1.33 & 0.33 & 0.67 \\ 0.75 & 1.00 & 0.25 & 0.50 \\ 3.00 & 4.00 & 1.00 & 2.00 \\ 1.50 & 2.00 & 0.50 & 1.00 \end{bmatrix} \\ U^{(4)} &= \begin{bmatrix} 1.00 & 1.50 & 0.50 & 2.00 \\ 0.67 & 1.00 & 0.33 & 1.33 \\ 2.00 & 3.00 & 1.00 & 4.00 \\ 0.50 & 0.75 & 0.25 & 1.00 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

根据式(1)和式(2)计算得出

$$\beta^{(1)}=[0.12\ 0.24\ 0.16\ 0.48]^T$$
$$\beta^{(2)}=[0.12\ 0.48\ 0.16\ 0.24]^T$$
$$\beta^{(3)}=[0.16\ 0.12\ 0.48\ 0.24]^T$$
$$\beta^{(4)}=[0.24\ 0.16\ 0.48\ 0.12]^T$$

计算 Agent 自身权重。因有 4 个 Agent 参加分类,所以先将 Agent 分成 4 类,即 $G_1=\{x_1\}, G_2=\{x_2\}, G_3=\{x_3\}, G_4=\{x_4\}, p=4$ 。根据式(3)计算各 Agent 之间的相似程度值,得: $d_{12}=0.339\ 4, d_{13}=0.419\ 5, d_{14}=0.502\ 8, d_{23}=0.483\ 3, d_{24}=0.483\ 3, d_{34}=0.149\ 7$,因为 d_{34} 最小,所以生成 1 个新类 $G_5=\{x_3, x_4\}$,融合了 G_3, G_4 这 2 个类;再计算剩余类 G_1, G_2, G_5 之间的相似度得: $d_{15}=0.419\ 5, d_{25}=0.483\ 3, d_{12}=0.339\ 4; p=p+1$;将剩余的各类依次聚合,得到新类 $G_6=\{x_1, x_2\}$ 和 $G_7=\{x_1, x_2, x_3, x_4\}$ 。根据上述聚类结果可见,4 个 Agent 分成 2 类较为合适,第 1 类分别为 x_1, x_2 ;第 2 类分别为 x_3, x_4 ;由式(4)得出各 Agent 的权值为 0.25。

表 2 Agent 的识别结果排序

Tab. 2 Sort of agent recognition results

类 别	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄
D ₁	4	2	3	1
D ₂	4	1	3	2
D ₃	3	4	1	2
D ₄	2	3	1	4

验证法 2:假设存在 3 个 Agent,各自权重为 0.5、0.3、0.2,对 6 种类别排序得矩阵 P (如表 3),则关联矩阵为

$$\begin{bmatrix} 10.4 & 10.3 & 3.20 & 10.3 & 0.80 & 14.6 \\ 5.00 & 4.90 & 1.00 & 9.30 & 1.00 & 8.80 \\ 1.60 & 3.50 & 0.80 & 4.80 & 3.20 & 5.00 \\ 0.20 & 6.20 & 2.60 & 2.50 & 5.40 & 3.20 \\ 0.80 & 4.60 & 6.40 & 3.80 & 13.6 & 3.40 \\ 3.40 & 16.6 & 13.2 & 3.30 & 21.8 & 5.60 \end{bmatrix}$$

(7)

利用匈牙利法求解得综合排序结果为: $A_5, A_3, A_2, A_1, A_6, A_4$ 。即 $f(p)=f_r(f_g(p))=R'=(A_5, A_3, A_2, A_1, A_6, A_4)$,决策结果为 A_5 。

表 3 Agent 的识别结果排序

Tab. 3 Sort of agent recognition results

类 别	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆
D ₁	4	2	3	5	1	6
D ₂	4	5	3	6	1	2
D ₃	5	6	1	2	3	4

2 试 验

2.1 试验数据

本文试验数据包括驾驶人特征(年龄、性别、驾龄、性格)、车辆特征(车型、车速、加速度、车距)、道路环境特征(道路等级、拥挤度、天气状况、地理位置),以及用于实时提醒驾驶人做出加速行驶、正常行驶、减速行驶等驾驶行为状态,由此构建刻画交通事件发生过程的数据集共 3 类(自由流状态、交通拥堵加剧状态和交通拥堵消散状态),每个样本 12 个特征,共 20 000 个样本,训练集、验证集和测试集比例为 3 : 1 : 1。

2.2 分类器

采用特征分割的方法获得 9 个分类器,数据集 12 维原始特征按(2,1,1)的形式顺序分割为 3 个长度分别为 2 维、1 维和 1 维的特征子集,这些特征子集分别作为分类器的输入。

在试验中,对错误率的估计使用了 10 次交叉验证方法,每次从所有数据中取出 1 个子集 i ,以剩下的 $m-1$ 个子集来进行训练,然后以 i 作验证,计算出错误率。重复计算 m 次以后,估计出的推广错误率是 m 个错误率的平均值。图 2 和表 4 分别以图和表的形式列出了单个分类器在测试集上得到的错误率。

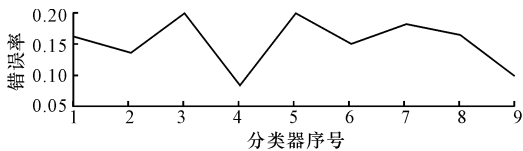


图 2 单个分类器在测试集上的错误率

Fig. 2 Error rate of single classifier on test set

表 4 单个分类器在测试集上的错误率

Tab. 4 Single classification error rate on test set

分类器序号	错误率
1	0.163 3
2	0.136 6
3	0.201 4
4	0.086 1
5	0.200 5
6	0.151 5
7	0.181 6
8	0.166 7
9	0.096 5

2.3 试验结果及分析

VIFMA 融合算法对交通事件发生过程自由流状态、交通拥堵加剧状态和交通拥堵消散状态的 3 类分类结果如图 3 所示,算法较好地地区分出自由流、拥堵加剧和拥堵消散 3 类状态。值得一提的是图 3 显示拥堵加剧状态与拥堵消散状态存在一定的“粘黏”,从另一个角度体现以速度为核心,研究交通流的流量-速度-密度 3 参数关系模型的动态特征。为了验证 VIFMA 融合算法的分类精度,把 VIFMA 算法同最高序号法、Borda 计数法、Logistic 回归法 3 种算法进行了对比试验,结果如图 4 所示^[27-29]。

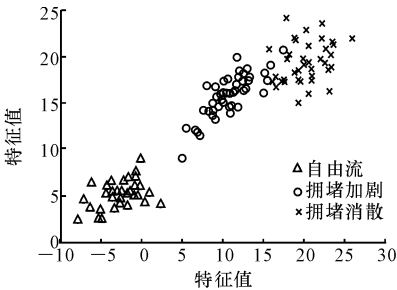


图 3 交通事件发生过程分类结果

Fig. 3 Classification of the occurrence process of traffic accidents

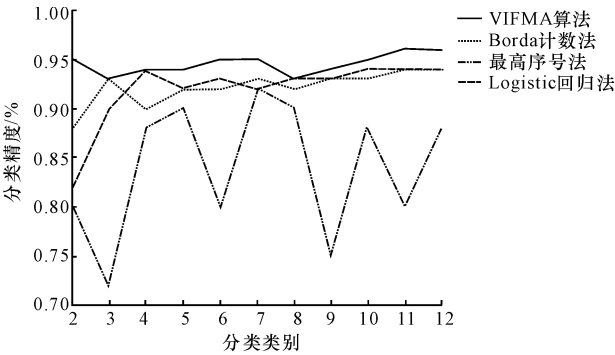


图 4 交通事件发生过程 4 种融合方法精度对比

Fig. 4 Accuracy comparison of four kinds fusion process on traffic incidents

从图 4 可以看出,VIFMA 算法的分类精度明显高于其他 3 种方法,观察图中各曲线随分类器数目的情况可以发现,VIFMA 算法所对应的曲线较为平坦,说明 VIFMA 算法具有较好的容错性能。

图 5 为 VIFMA 融合算法同最高序号法、Borda 计数法、Logistic 回归法在运行时间上的对比结果。从图 5 可以看出,VIFMA 算法耗时高于 Borda 计数法,但是优于其他 2 种方法。最高序号法和 Logistic 回归法随着分类器数目的增加其耗时迅速增加,VIFMA 算法在分类器数量小于 8 的时候,优势

并不明显,当分类器数量大于 8 时,时间的增加就变得缓慢,说明 VIFMA 算法具有较好的平稳特性。

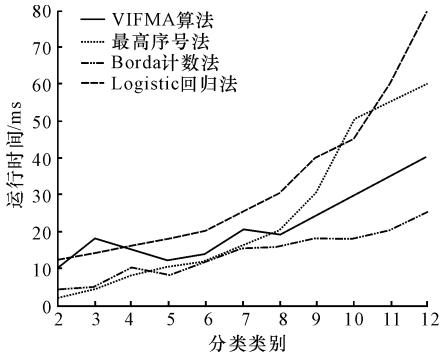


图 5 交通事件发生过程 4 种融合方法运行时间对比

Fig. 5 Time comparison of four kinds fusion process on traffic incidents

VIFMA 融合算法同最高序号法、Borda 计数法、Logistic 回归法各融合算法分类的错误率情况见表 5。结合表 3 可以看出,就分类错误率而言,融合方法得到的错误率远远低于单个分类器得到的错误率,表明融合方法总体上确实能降低分类的错误率。不过,通过信息融合方法并不一定能确保系统性能的提高。比如,表 5 中对 9 个分类器进行融合时,用 Borda 计数法得到的错误率(0.219 8)就高于其他所有分类器的错误率,而表 4 中第 4 个分类器的错误率仅 0.086 1,优于表 4 中的部分融合的结果。

表 5 不同分类器个数下 4 种融合方法分类错误率

Tab. 5 Classification error rate of four kinds of fusion process on different number classifiers

分类器个数/个	3	4	5	9
VIFMA 算法	0.058 7	0.059 0	0.059 7	0.054 5
最高序号法	0.134 5	0.139 6	0.102 8	0.098 3
Borda 计数法	0.086 5	0.094 8	0.065 5	0.219 8
Logistic 回归法	0.086 7	0.095 5	0.063 3	0.049 0

从表 5 可以得出,在分类器数目较少时,VIFMA 融合算法表现出优越的性能。因此,VIFMA 融合算法具有极强的实用性,不仅适用于车联网系统中像交通事件检测这样仅能获得少量分类器的应用环境,还适用于驾驶人的脸、指纹和语音等身份认证信息的数据融合^[29]。

与 Borda 计数法假设各分类器独立决策相比,VIFMA 融合算法引入了决策关联矩阵,本质上讲是对各分类器(Agent)决策的一阶关联估计,是对分类器决策相关信息的充分利用,使得 VIFMA 算

法更适合实际环境,更能取得较好的结果。

从表 5 还看到,VIFMA 算法对分类器数目变化不敏感,其错误率也比较稳定。这是因为当决策关联矩阵中出现某些未训练或者训练不足的单元测试样本时,统计结果的误差可能倾向于将 Agent“误导”至错误的方向,分类器数的增加也不能有效改善这种“误导”。但是由于分类器对样本的决策与样本本身的特性是弱相关的,因为 Agent 在多种错误信息交互后更能引导其趋向正确的方向,从而及时调整溯源方向,不会“一错再错”。所以,VIFMA 算法可以用较少的代价(较少的分类器)得到比较好的融合结果,而不是一般想象中的可以通过增加更多的分类器来改进融合性能。

而对于最高序号法,分类器数目及其影响在分类器数目增加时与 Logistic 回归法相似,即分类器数量的增加能够在一定程度上提高最高序号法的效果,它本质上采用的是一种投票机制。

3 结 语

(1)VIFMA 算法在对交通事件发生过程自由流状态、交通拥堵加剧状态和交通拥堵消散状态的分类中能较好地地区分出自由流、拥堵加剧和拥堵消散 3 类状态,揭示拥堵加剧状态与拥堵消散状态存在一定的“粘黏”,从另一个角度体现研究以速度为核心的交通流的流量-速度-密度 3 参数关系模型的动态特征。

(2)VIFMA 算法同最高序号法、Borda 计数法、Logistic 回归法算法相比具有较好的容错性能。

(3)VIFMA 算法同最高序号法、Borda 计数法、Logistic 回归法算法相比具有较好的平稳特性。

(4)VIFMA 算法在分类器数目较少时表现出优越的性能,特别适用于车联网中只能得到较少分类器进行融合的情况。因此计划后续研究车联网中驾驶人身份认证(驾驶人脸、指纹和语音 3 种数据)的信息融合。

参考文献:

References:

[1] Munz M, Mählich M, Dietmayer K. Generic centralized multi sensor data fusion based on probabilistic

sensor and environment models for driver assistance systems[J]. Intelligent Transportation Systems Magazine, 2010, 2(1): 6-17.

[2] Martinez F J, Toh C K, Cano J C, et al. Emergency services in future intelligent transportation systems based on vehicular communication networks[J]. Intelligent Transportation Systems Magazine, 2010, 2(2): 6-20.

[3] 刘 唐,彭 舰,杨 进,等. 基于物联网的智能交通流探测技术研究[J]. 计算机科学, 2011, 38(9): 67-70.

LIU Tang, PENG Jian, YANG Jin, et al. Intelligent transportation flow detection technology based on internet of things[J]. Computer Science, 2011, 38(9): 67-70. (in Chinese)

[4] Qu X B, Zhang J, Wang S A, et al. Modelling follow up time at a single-lane roundabout[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering: English Edition, 2014, 1(2): 97-102.

[5] 杨兆升,冯金巧,张 林. 基于卡尔曼滤波的交通信息融合方法[J]. 吉林大学学报:工学版, 2007, 37(5): 1039-1042.

YANG Zhao-sheng, FENG Jin-qiao, ZHANG Lin. Kalman filtering based traffic information fusion method[J]. Journal of Jilin University: Engineering and Technology Edition, 2007, 37(5): 1039-1042. (in Chinese)

[6] Joky J, Shu K, Sunwoo M. Interacting multiple model filter-based sensor fusion of GPS with in-vehicle sensors for real-time vehicle positioning[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2012, 13(1): 329-343.

[7] 程显毅. Agent 计算[M]. 哈尔滨:黑龙江科学技术出版社, 2003.

CHENG Xian-yi. Agent computing[M]. Harbin: Heilongjiang Science and Technology Press, 2003. (in Chinese)

[8] Liang J, Chen L, Cheng X Y, et al. Multi-agent and driving behavior based rear-end collision alarm modeling and simulating[J]. Simulation Modeling Practice And Theory, 2010, 18(8): 1092-1103.

[9] 任江涛,张 毅,李志恒,等. 智能交通系统信息特征及亟待解决的相关问题[J]. 信息与控制, 2001, 30(6): 550-554.

- REN Jiang-tao, ZHANG Yi, LI Zhi-heng, et al. Its information characteristics and related problems[J]. Information and Control, 2001, 30(6): 550-554. (in Chinese)
- [10] Liao F X, Arentze T, Timmermans H. Multi-state supernetworks: recent progress and prospects[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering: English Edition, 2014, 1(1): 13-27.
- [11] Bar-Shalom Y, Fortmann T E. Tracking and data association[M]. Orlando Florida: Academic Press Inc, 1988.
- [12] Zhao Q P. Review of virtual reality[J]. Science in China: Series F: Information Sciences, 2009, 39(1): 2-46.
- [13] Kadali B R, Rathl N, Perumal V. Evaluation of pedestrian mid-block road crossing behaviour using artificial neural network[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering: English Edition, 2014, 1(2): 111-119.
- [14] El Faouzi N E, Lefevre E. Classifiers and distance-based evidential fusion for road travel time estimation [C]//SPIE. Multisensor, Multisource Information Fusion: Architectures, Algorithms, and Applications. Orlando: SPIE Press, 2006: 1-16.
- [15] Choi K, Chung Y. A data fusion algorithm for estimating link travel time[J]. ITS Journal, 2002, 7(3/4): 235-260.
- [16] Ivan J N, Sethi V. Data fusion of fixed detector and probe vehicle data for incident detection[J]. Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, 1998, 13(5): 329-337.
- [17] 王宏刚. 客运专线综合运营高度系统 Agent 结构和规则描述[J]. 交通运输工程学报, 2008, 8(16): 93-98.
- WANG Hong-gang. Description of chitecture and rules integrated operation dispatch system for passenger dedicated line[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2008, 8(16): 93-98. (in Chinese)
- [18] Klein L A. Sensor and data fusion concepts and applications[M]. Bellingham: SPIE, 1993.
- [19] Murphy K P. Dynamic bayesian networks: representation, inference and learning [D]. Berkeley: University of California, 2002.
- [20] Pei S C, Liou L G. Vehicle-type motion estimation by the fusion of image point and line features[J]. Pattern Recognition, 1998, 31(3): 333-344.
- [21] Yager R R. Fusion of multi-agent preference orderings[J]. Fuzzy Sets System, 2001(117): 1-12.
- [22] Qiao H, Wang F Y, Cao X B. Application of a decomposed support vector machine algorithm in pedestrian detection from a moving vehicle[C]//IEEE. International Conference on ISI 2005. Atlanta: IEEE, 2005: 662-663.
- [23] Ritchie M D, Hahn L W, Roodi N, et al. Multifactor dimensionality reduction reveals high-order interactions among estrogen-metabolism genes in sporadic breast cancer[J]. The American Journal of Human Genetics, 2001, 69(1): 138-147.
- [24] Almeida M. Advances In Vehicular Networking Technologies[M]. Rijeka: Intech Press, 2011.
- [25] Hartenstein H, Laberteaux K P. VANET: Vehicular applications and inter-networking technologies [M]. Chichester: Wiley, 2010.
- [26] Munz M, Mählich M, Dietmayer K. Generic centralized multi sensor data fusion based on probabilistic sensor and environment models for driver assistance systems[J]. Intelligent Transportation Systems Magazine, 2010, 2(1): 6-17.
- [27] Yang C S, Tao L, Cao Z T, et al. Pairwise diversity measures based selective ensemble method[J]. Pattern Recognition and Artificial Intelligence, 2010, 23(4): 265-271.
- [28] Zou J, Ji Q, Nagy G. A comparative study of local matching approach for face recognition[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2007, 16(10): 2617-2628.
- [29] 胡启洲, 刘英舜, 郭唐仪. 城市交通拥堵态势监控的时空分布形态识别模型[J]. 交通运输系统工程与信息, 2012, 12(3): 41-58.
- HU Qi-zhou, LIU Ying-shun, GUO Tang-yi. Space-time distribution model on state monitoring of urban traffic congestion[J]. Transportation Systems Engineering and Information, 2012, 12(3): 41-58. (in Chinese)