

基于信息融合的多智能体混合体系智能车辆导航*

陈无畏 王檀彬 焦俊 汪明磊 王家恩

(合肥工业大学机械与汽车工程学院, 合肥 230009)

【摘要】 针对智能车辆的结构特点和任务要求,综合体系结构和信息处理两方面设计车辆导航策略。提出了一种基于多智能体且包含了慎思和反应结构的混合体系,根据系统特性设计出多个异构智能体。在现有研究的基础上将图像处理、信息融合方法与该体系相结合。仿真与实验显示,智能车辆在多智能体结构下能充分利用多传感器信息,并获得良好的避障导航效果。

关键词: 智能车辆 多智能体 导航 图像处理 信息融合 D-S证据理论

中图分类号: TP242.6 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2011)06-0001-05

Design and Application for Navigation Multi-agent of Intelligent Vehicle Based on Information Fusion

Chen Wuwei Wang Tanbin Jiao Jun Wang Minglei Wang Jiaen

(School of Mechanical and Automotive Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

Abstract

Aiming at the structural characteristics and mission requirements of the intelligent vehicle, a navigation strategy was designed with respect both to architecture and information process. A hybrid architecture containing deliberation and reaction was proposed on the basis of multi-agent. A set of agents was designed according to the structural characteristics. Based on the previous research, the methods of image proceeding and information fusion were integrated into this architecture. The simulation and experiment results showed that the intelligent vehicle with the multi-agent architecture could use the information of multi-sensor efficiently and performed well on navigation and obstacle avoidance.

Key words Intelligent vehicle, Multi-agent, Navigation, Image processing, Information fusion, D-S evidential theory

引言

智能车辆必须在部分或完全自治的情况下完成一段既定路径或自规划路径的行驶,并具有一定的鲁棒性和智能性,这涉及到智能车辆的两个关键技能,即具有一定的环境感知能力和自主行驶能力^[1]。

低成本、小型化、高可靠性是车载导航传感器的研究方向。如能将不同类型传感器信息进行融合,可充分挖掘信息,提高对环境的辨识度^[2]。

对于自主行驶能力,需要智能车辆具备智能化

的体系结构。混合式结构综合了慎思式和反应式的特点,目前是智能车辆领域的重要发展趋势,但仍存在一些问题,如系统的易扩展性、慎思式结构和反应式结构的协调、不同层次间的信息交流等。人工智能领域中具有计算能力、合作能力与竞争能力等特点的智能体技术恰好可以和智能车辆体系结构研究相结合,在不确定环境下进行导航是一个重要研究方向^[3-4]。

本文结合以往研究,在融合视觉与超声信息的导航中,针对智能车辆的结构特点与任务要求,提出一种基于多个异构智能体的混合式体系。

收稿日期: 2010-09-06 修回日期: 2010-11-22

* 国家自然科学基金资助项目(70771036)

作者简介: 陈无畏,教授,博士生导师,主要从事车辆动力学与汽车集成控制研究,E-mail: cww@mail.hf.ah.cn

1 智能车辆模型

如图 1 所示,车上的传感器有:CCD 摄像机,12 组超声波传感器,每组 2 个^[5]。智能车辆通过 CCD 摄像机采集前方道路画面,使车辆跟踪路面上的标志线运行;车辆的前部呈扇形,布置了 8 组超声波传感器,在侧面也布置了 4 组,这些测距传感器可以使车辆在运行中规避在标志线附近可能碰上的障碍物。

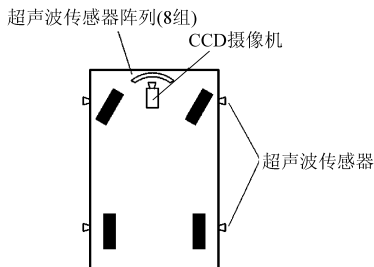


图 1 视觉和测距传感器的布置
Fig. 1 Layout of the vision and range sensors

2 智能车辆的多智能体结构

2.1 多智能体混合体系结构

针对智能车辆模型,设计了一种基于多智能体的混合体系机构,其功能模块如图 2 所示。

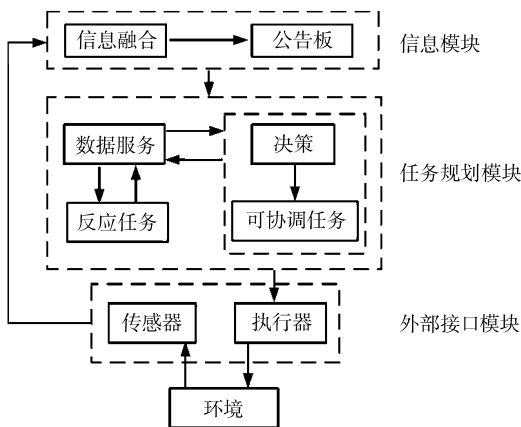


图 2 多智能体混合式体系的功能模块
Fig. 2 Main function modules of hybrid architecture

该混合体系由信息模块、任务规划模块和外部接口模块 3 部分组成,各模块又分别由多个异构分布式智能体组成。环境信息由传感器子模块获取,并通过信息模块采集和加工。任务规划模块分为数据服务、反应任务、决策和可协调任务 4 个子模块。信息模块提供的信息可以通过数据服务模块处理,也可以不经处理就传递给反应任务模块和可协调任务模块。反应任务模块和可协调任务与决策模块均与数据服务模块进行双向的信息交流。数据服务模块既为其提供信息,又收集两个任务模块的反馈信

息。反应任务模块通过信息模块和数据服务子模块的信息,判断是否触发反应任务。如果触发则立即通知执行器子模块执行反应任务,且不受其他模块控制。可协调任务模块也是通过数据信息来判断是否触发任务,触发后将任务请求发送给决策子模块,由决策子模块决定从多个可协调模块中挑选一个执行。

图 2 中部分子模块是单个功能模块,部分由多个功能模块组成:数据服务模块由车身状态与航迹推测 2 个智能体组成;可协调任务模块由循线巡航、避障和沿墙走 3 个智能体组成;反应任务模块由系统检测、防静止和限界 3 个智能体组成;传感器模块由视频采集、视频预处理、超声波探测和轮速传感器 4 个模块组成;执行器模块由驱动轮控制和前轮转向控制 2 个模块组成。

2.2 多智能体间的结构关系与运行机制

智能车辆上各模块间的运行机制如图 3 所示,实线表示数据信息,虚线表示控制信息。由于表示的是各模块间信息利用关系,所以省略了公告板模块和执行模块。

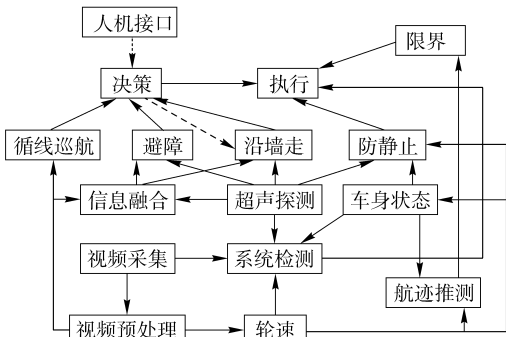


图 3 多智能体间的结构关系与运行机制
Fig. 3 Relationship and operating mechanism of the multi-agent

各模块的作用如下:

视频采集模块:实时采集车辆前方路面图像。

视频预处理模块:处理视频采集的图像,采用自适应阈值分割出路面标志线的方位信息。

轮速模块:采集轮速传感器的脉冲信号,计算出左右车轮实时转速。

超声探测模块:通过 12 组超声波探测器,实时探测车辆周围的障碍物方位信息。

信息融合模块:将图像信息进行处理,提取出障碍物在车辆周围的方位信息,再结合超声波传感器模块信息,用 D-S 证据理论进行信息融合,得到车辆运行环境中障碍物较准确的方位信息。

车身状态模块:实时记录车辆是否启动、前轮转角和左右驱动轮的轮速信息。

航迹推测模块：在车辆脱离路面标志线时启动，根据车身状态和轮速信息，实时计算车辆偏离路面标志线的距离。

系统检测模块：车辆启动后自动运行，根据车身状态信息，验证系统各模块是否正常工作；若某一模块停止工作，则立即触发停车反射行为，停止车辆运行，并显示故障信息。

限界模块：将航迹推测信息与预定的允许偏离标志线距离作比较，如果偏离过远，则触发立即停车的反射行为。

防静止模块：根据车身状态信息，计算左右驱动轮理论转速比，若与实际转速比偏差过大，则判定车轮存在堵转现象，为防止电动机和电路烧坏，立即触发停车反射行为。若驱动轮转动，而超声波信号和视频信号基本保持不变，则判定车轮打滑，车辆静止，立即触发停车反射行为。

循线巡航模块：根据视频预处理信息，若检测到路面标志线，则向决策模块发出巡航申请，若得到允许，则跟踪路面标志线。

避障模块：当超声探测信息与融合模块信息显示车辆周围存在障碍物，则向决策模块发出避障申请。若得到允许，则根据障碍物的距离和方向信息，自动规划路径，使车辆避障行驶。

沿墙走模块：当避障行为启动后，若车辆偏离路面标志线，则决策模块触发沿墙走行为，使车辆绕过障碍物，寻找标志线继续跟踪。常见的沿墙走行为在经过墙面以后往往会脱离既定路径，此处采用改进的沿墙走行为：车辆综合利用两侧和前方的障碍物信息，始终沿墙走，直至再次发现路面标志线。这样使车辆不仅可以沿侧面墙行走，还可避免车辆陷入无法驶出的局部陷阱状态。改进的沿墙走模式的示意框图如图 4 所示。

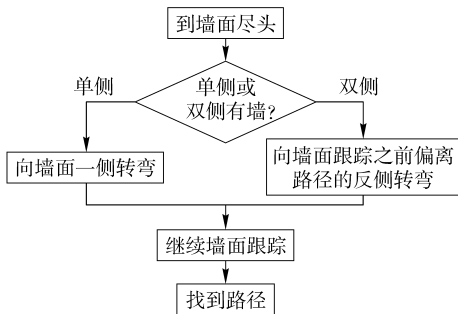


图 4 改进的沿墙走行为

Fig. 4 Improved behavior of walk along the wall

决策模块：当循线巡航、避障、沿墙走这 3 个模块中有 2 个及以上同时发出行为申请时进行决策，只允许 1 个模块的申请。决策规则为：对这 3 个模块采用固定优先级，级别从高到低依次为避障、沿墙

走、循线巡航。级别高者优先获得许可。

人机接口模块：操作者可以通过此模块对车辆进行控制和参数设定。

3 信息融合与仿真分析

根据文献[5]的方法，对超声波和图像信息进行融合处理，然后结合信息融合对智能车辆的多智能体导航体系进行仿真并对结果进行分析。

3.1 超声测距信号的模糊处理

超声波信号采用均匀分布法测距模型^[6]，根据超声波探测范围对车辆探测区域进行划分，标注出障碍物的概率。将车辆前方超声波信号的探测范围按角度等分为 5 个部分^[7]。每个测距信号在各个划分角度中所占概率可根据超声波均匀分布模型算出。将障碍物的距离取为模糊集合^[8]： $\{近, 中, 远\}$ ，再与 5 个角度划分相叠加，可以把车辆前方的测距范围划分为 15 个部分。

3.2 图像处理

对摄像头采集的图像进行滤波、分割等处理^[9-10]，可以计算出障碍物横向的大小和在画面中的位置，并按与超声波信号同样的方法进行角度划分，根据道路图像中障碍物在各划分角度中所占角度与该划分角度范围的比值，计算出该角度范围存在障碍物的概率。

3.3 信息融合

用 D-S 证据理论将测距信号进行融合计算^[11]，针对车辆的避障行为，可以对障碍物的特性作简化处理，从而设识别框架为 $\Theta = \{E, O\}$ ， Θ 的幂集为

$$2^\Theta = \{ \Phi, E, O, \{E, O\} \}$$

式中 E ——存在物体 O ——没有物体

将通过测距处理及图像所得的车前方探测范围划分后的每一部分中的基本概率用 D-S 证据理论进行融合，可以得到车辆探测范围内 15 个划分部分的障碍物概率大小。

3.4 仿真结果与分析

按上述多智能体结构和信息融合方法，在无障碍和有障碍环境中进行仿真试验。智能车辆行驶轨迹如图 5~7 所示。图中坐标表示距离，粗实线表示路面标志线，细实线和虚线分别表示智能车辆使用和未使用功能模块时的运行轨迹，方块表示障碍物。车辆轴距 1.5 m，轮距 1.1 m，前轮最大转角 40°，最大速度 4.5 m/s，最小速度 0.5 m/s，采样间隔 0.02 s。

图 5 所示为在无障碍的情况下对曲线路径进行跟踪。图 6 所示为限界行为。车辆在进行避障和沿墙走行为的同时，实时监测航迹推测模块中的数据，

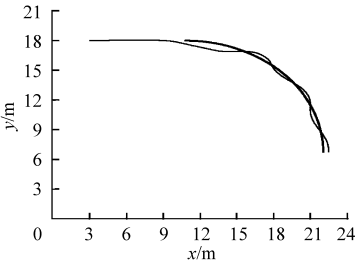


图 5 曲线路径
Fig. 5 Curved path

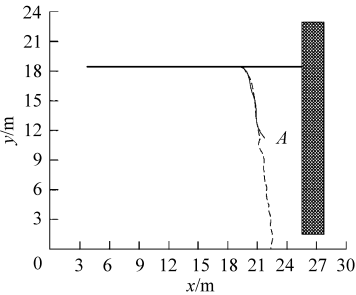


图 6 限界行为
Fig. 6 Behavior of boundedness

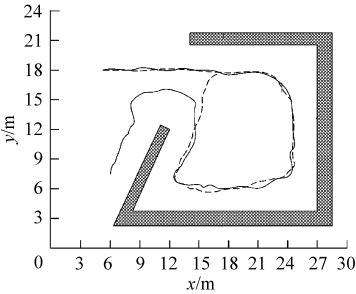


图 7 过 U 形谷
Fig. 7 U-valley throughing

一旦车辆偏离标志线距离超过设定阈值时,立即触发停车反射行为,停在图中 A 点处,轨迹如细实线所示。而无限界模块的轨迹如虚线所示,会一直沿墙走。图 7 所示为在 U 形谷中,经过改进的与未经改进的沿墙走行为的对比。在未经改进的沿墙走行为中,车辆在 U 形谷中的行驶轨迹如虚线所示是一个圈,无法走出 U 形谷。而在经过改进的沿墙走方式中,车辆会始终沿墙走,直至再次发现路面标志线,轨迹如细实线所示。图 7 为突出效果,隐藏了路面标志线并关闭限界模块。

4 试验

4.1 试验平台

自行研制的试验智能车由车体、道路画面获取与分析、测距信号获取与分析、行驶控制等部分构成。试验车的信号处理及工作原理如图 8 所示。

道路画面获取和分析系统由 1 个摄像机、DSP 试验电路板 DEC643、计算机、彩色图像显示器等组

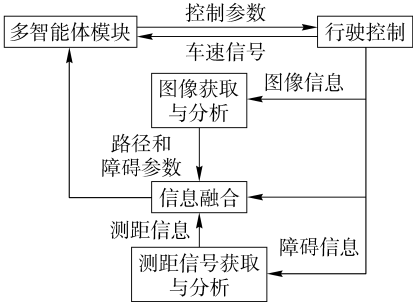


图 8 车辆试验平台工作原理

Fig. 8 Working principle of vehicle test platform

成。DEC643 根据采集的画面计算出行驶控制参数,然后传递给行驶控制系统。车辆以道路中间的标志线为跟踪目标。

测距信号获取与分析系统由 URM37 V3.2 超声测距模块和 DECF2812 试验板构成。其中超声测距模块的性能参数为:测距最大值 500 cm,测距最小值 4 cm,可识别最小 1 cm 的物体。

行驶控制系统由 DECF2812 试验板、脉宽调速和能耗刹车电路、轮毂驱动电动机、步进电动机、小型工控机、交流转换电源、蓄电池等构成。

4.2 试验结果

在直线路径、曲线路径、墙面跟踪等 3 种环境中对智能车辆试验平台进行了试验。

试验车辆的宽度为 1.2 m。在直线路径和曲线路径试验时,无障碍物。直线距离为 30 m,曲线是半径为 10 m 的圆弧。车辆行驶轨迹与路面标志线的偏差如表 1 所示。

表 1 直线和曲线路径跟踪误差

Tab. 1 Tracking errors on the straight and curved path

车速 /m·s ⁻¹	直线		曲线	
	均值/m	方差/m ²	均值/m	方差/m ²
1	0.085	0.016	0.092	0.021
2	0.113	0.029	0.136	0.033
3	0.138	0.047	0.174	0.064

从表 1 可以看出,直线跟踪效果优于曲线跟踪,低速跟踪效果优于高速跟踪。这是因为在高速和转弯时,转向机构的响应速度难以跟上控制参数的快速变化。

墙面跟踪试验中,障碍物挡住路面标志线,使车辆只能绕障碍物的边缘行驶,具体环境设置为: $d_p = 1\text{ m}$, $d_c = 5\text{ m}$, d_p 为靠近车辆一侧的障碍边缘与路面标志线间的最小距离; d_c 为障碍物的长度。车辆与障碍物的距离误差如表 2 所示,因为主要考虑车辆在跟踪墙面时的稳定性,所以只用距离偏差的方差来表示。

表 2 墙面跟踪误差

Tab.2 Tracking errors when walk along the wall

车速/ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	距离偏差的方差/ m^2
1	0.031
2	0.052
3	0.085

从表 2 可知,车辆在墙面跟踪时存在摆动,在高速时比低速时明显。这是因为在墙面跟踪时要综合视觉和超声波的信息进行导航,而超声波的信息不如视觉信息精确所导致的。

总体来看,试验车辆的跟踪误差较小,能成功跟踪路径,避开障碍,可靠性较好。

5 结束语

根据智能车辆的结构特点和任务要求,提出了一种基于多个异构智能体的混合体系。将任务分为可协调和反应式两种。兼顾了对环境的响应速度和任务规划的合理性。各智能体之间充分交互信息,协调运作,提高了系统的容错性能,并且避免了车辆因避障而产生的脱轨和陷入局部势能陷阱状态。

结合以往研究,将图像中障碍物模糊分割方法以及图像与多测距信息的 D-S 信息融合方法应用于多智能体混合体系车辆上,在不同工况下的仿真与试验结果表明,智能车辆在行驶中有较高的智能和可靠性。

参 考 文 献

1 Casper J, Murphy R. Human-robot interaction during the robot-assisted urban search and rescue response at the World Trade Center [J]. IEEE Transactions on System, Man, and Cybernetics-Part B: Cybernetics, 2003, 33(3): 367 ~ 383.

2 Ruichek Yassine. Multilevel-and neural-network -based stereo-matching method for real-time obstacle detection using linear cameras [J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2005, 6(1): 54 ~ 62.

3 李旭,张为公. 智能车辆导航技术的研究进展[J]. 机器人技术与应用, 2007(4): 24 ~ 27.
Li Xu, Zhang Weigong. Research on intelligent vehicle navigation technology [J]. Robot Technique and Application, 2007(4): 24 ~ 27. (in Chinese)

4 高永生, 赵杰. 多智能体模型在多机器人网络遥操作中的应用[J]. 机械工程学报, 2006, 42(5): 116 ~ 120.
Gao Yongsheng, Zhao Jie. Application of multi-agent model in multi-robot tele-operation system [J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2006, 42(5): 116 ~ 120. (in Chinese)

5 王檀彬,陈无畏,焦俊,等. 多传感器融合的智能车辆导航研究[J]. 中国机械工程, 2009, 20(11): 1 381 ~ 1 385.
Wang Tanbin, Chen Wuwei, Jiao Jun, et al. Study on navigation of intelligent vehicles based on multi-sensor fusion [J]. China Mechanical Engineering, 2009, 20(11): 1 381 ~ 1 385. (in Chinese)

6 Moravec H P, Elfes A. High resolution maps from wide angle sonar [C]// Proceedings of the International Computers in Engineering Conference and Exhibition. USA: ASME, 1985: 375 ~ 380.

7 肖本贤,齐东流,刘海霞,等. 动态环境中基于模糊神经网络的 AGV 路径规划[J]. 系统仿真学报, 2006, 18(9): 2 401 ~ 2 404.
Xiao Benxian, Qi Dongliu, Liu Haixia, et al. AGV path planning in the dynamic environment based-on fuzzy neural network [J]. Journal of System Simulation, 2006, 18(9): 2 401 ~ 2 404. (in Chinese)

8 刘兆祥,刘刚,籍颖,等. 基于自适应模糊控制的拖拉机自动导航系统[J]. 农业机械学报, 2010, 41(11): 148 ~ 152.
Liu Zhaoxiang, Liu Gang, Ji Ying, et al. Autonomous navigation system for agricultural tractor based on self-adapted fuzzy control [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(11): 148 ~ 152. (in Chinese)

9 李进,陈无畏,李碧春,等. 自动导引车视觉导航的路径识别和跟踪控制[J]. 农业机械学报, 2008, 39(2): 20 ~ 24.
Li Jin, Chen Wuwei, Li Bichun, et al. Road recognition and tracking control of an vision guided AGV [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(2): 20 ~ 24. (in Chinese)

10 Choset Howie, Nagatani Keiji, Lazar Nicole A. The arc-transversal median algorithm: a geometric approach to increasing ultrasonic sensor azimuth accuracy [J]. IEEE Transactions on Robotics and Automation, 2003, 19(3): 513 ~ 522.

11 李宏坤,马孝江,王珍. 基于多征兆信息融合理论的柴油机故障诊断[J]. 农业机械学报, 2004, 35(1): 121 ~ 124.
Li Hongkun, Ma Xiaojang, Wang Zhen. Diesel engine fault diagnosis based on multi-symptom information fusion [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2004, 35(1): 121 ~ 124. (in Chinese)