

DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2012.01.004

基于混合体系结构的无人驾驶车辆系统*

修彩靖 陈慧

(同济大学汽车学院, 上海 201804)

【摘要】 从无人驾驶车辆系统的自主性、实时性、适应性要求出发,建立了基于功能和行为相结合的无人驾驶车辆混合式体系结构,基于功能的分解结构满足无人驾驶车辆的自主控制要求,基于行为的分解结构则满足由于行车环境复杂性以及多变性带来的对无人驾驶车辆系统局部路径规划要求的反应能力和适应能力。实验结果表明,基于混合式体系结构的无人驾驶车辆系统具有自主性,且在环境发生变化时满足实时性及适应性要求。

关键词: 无人驾驶车辆 混合体系结构 功能分解结构 行为分解结构

中图分类号: TP24 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2012)01-0018-04

Autonomous Vehicle System Based on Hybrid Architecture

Xiu Caijing Chen Hui

(School of Automotive Studies, Tongji University, Shanghai 201804, China)

Abstract

Hybrid architecture of autonomous vehicle system was built based both on function and behavior so that requirements in autonomy, real-time and adaptability could be met. Functional decomposition architecture was used to automatically control the vehicle while behavioral decomposition architecture was used to handle the complexity and variability of environment which highly challenged responsiveness and adaptability of vehicle's planning system. Experimental results showed that a hybrid architecture based system enabled the vehicle to drive autonomously while having sufficient adaptability and real-time as the environment changes.

Key words Autonomous vehicle, Hybrid architecture, Functional decomposition, Behavior decomposition

引言

体系结构用来定义系统各部分之间相互关系和功能分配,确定系统信息流通关系和逻辑上的计算结构,简言之,就是系统信息处理和控制的总体结构^[1]。因此,体系结构的研究成为无人驾驶系统研究的一个重要内容。传统的方法是将控制系统垂直分解为一系列功能单元,例如环境感知、规划、执行等。但这种方法存在环境适应性差、反应性差等缺点,针对这些缺点,Brooks等提出了基于行为分解的控制结构,将控制问题分解为一系列并行排列的子系统,每一个子系统都能完成特定的功能^[2]。基于多种基本结构的混合体系结构

在机器人领域也已经得到应用^[3-4],但往往是针对室内简单的环境,而无人驾驶车辆行驶环境具有复杂和多变性等特点,为适应无人驾驶车辆行驶环境的这些特殊性,本文建立基于行为和功能分解的混合体系结构。

1 混合体系结构

基于功能和行为分解的无人驾驶车辆体系结构如图1所示,整体系统结构采用功能分解,包括4层:环境感知、全局路径规划、局部路径规划和底盘控制,保证了整个系统具有很好的规划推理能力,能够满足无人驾驶汽车的自主性要求。4个层次分别实现不同的功能:环境感知层根据各种传感器

收稿日期:2011-07-20 修回日期:2011-08-30

*上海市科学技术委员会科研计划资助项目(07dz05901)

作者简介:修彩靖,博士生,主要从事汽车电子、智能汽车研究,E-mail:xcj2_11@163.com

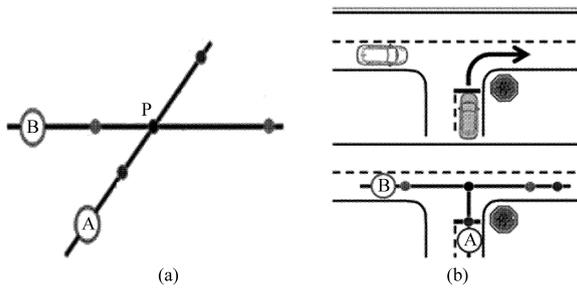


图3 融入交通流

Fig. 3 Merge into flow

(a) 融入交通流工况 (b) 融入交通流几何表示

Condition1: $t_{BP} > t_{AP} + T_{AB}$, Condition2: $t_{AP} > t_{BP} + T_{AB}$ 。IF Condition1 || Condition2 = 1, 融入交通流行为取胜; IF Condition1 & Condition2 = 1, 停车等待行为取胜。其中 t_{BP} 为侧方车辆到达交汇点所用时间, t_{AP} 为无人驾驶车辆到达交汇点所用时间, T_{AB} 为所设定的安全时间阈值, 其与传感器精确度等有关。其中 t_{BP} 和 t_{AP} 计算式为

$$t_{BP} = d_{BP} / v_B \quad (1)$$

$$t_{AMP} = \begin{cases} t_a & (v = v_{plan}) \\ \frac{1}{a_{sat}} (-v_0 + \sqrt{v_0^2 + 2a_{sat}d_{AMP}}) & (v < v_{plan}) \end{cases} \quad (2)$$

式中 v_B ——侧方车辆速度

d_{AMP} ——无人驾驶汽车到交汇点距离

d_{BP} ——侧方车辆到达交汇点距离

a_{sat} ——无人驾驶车辆最大加速度

v_0 ——无人驾驶车辆当前车速

t_{sw} ——无人驾驶车辆加速时间

v ——用来决策到达交汇点的速度

v_{plan} ——规划欲达到的最终车速

$$t_a = \frac{d_{AMP} - v_0 t_{sw} - \frac{a_{sat}}{2} t_{sw}^2}{v_0 + a_{sat} t_{sw}} + t_{sw} \quad (3)$$

2.2 行为规划

行为规划是根据行为决策的结果(即最终取胜的行为)对车辆采取的控制。如前所述6个基本能行为,其行为规划如下:

(1) 车道保持

车道保持根据视觉系统给出的行车线信息以及车辆当前位姿实时跟踪道路中心线。控制器的输入量为无人驾驶车辆与车道中心线上的预瞄点的航向偏差以及侧向偏差,输出量为方向盘转角和车速。

(2) 避障

避障根据雷达系统给出的障碍物信息,结合视觉系统给出的行车线信息,在距离障碍物大于安全距离时避开障碍物,并在远离障碍物大于安全距离时回到原车道内。控制器的输入量为无人驾驶车辆

与障碍物的相对距离及速度信息,输出量为方向盘转角和车速。

(3) 自适应巡航

自适应巡航根据雷达系统给出的前方道路内距离无人驾驶车辆最近的车辆位置和速度信息,对车辆进行的纵向控制,依据最小车间距,实现车辆速度状态随前车变化的功能。控制器的输入量为无人驾驶车辆与障碍物的相对距离和速度信息,输出量为车速。自适应巡航时车道保持行为将输出对无人驾驶车辆的横向控制信息(即方向盘转角)。

(4) 停车线前停车

停车线前停车规划根据视觉系统给出的道路标志信息(即与停车线的距离)对车辆进行纵向控制。控制器的输入量为与停车线的距离和车速信息,输出量为车速。停车线前停车时车道保持行为将输出对无人驾驶车辆的横向控制信息(即方向盘转角)。

(5) 融入交通流

融入交通流规划根据全局路径规划提供的序列点拟合转弯路径并跟踪虚拟路径对车辆进行控制。控制器的输入量为无人驾驶车辆与虚拟路径上预瞄点的航向偏差和侧向偏差,输出量为方向盘转角和车速。

(6) 紧急停车

紧急停车规划直接对无人驾驶车辆进行紧急制动。属于反应式行为,即这个行为被触发时,不经过控制策略直接进行控制。前5种行为均为慎思式行为。

行为规划将给出对车辆的控制期望值,主要包括方向盘转角指令及车速指令,最终期望指令为各行为规划期望指令的加权之和,即

$$\theta = \sum_{i=1}^6 \lambda_i \theta_i \quad (4)$$

$$u = \sum_{i=1}^6 \omega_i v_i \quad (5)$$

式中 θ ——最终输出方向盘转角指令

λ_i —— i 行为规划对期望方向盘转角的权值

θ_i —— i 行为规划的期望方向盘转角

u ——最终输出车速指令

ω_i —— i 行为规划对期望车速的权值

v_i —— i 行为规划的期望车速

在本体系结构中由于已经通过竞争机制明确车辆当前行驶环境下的行为,所以权值确定为1或0,主要是基于不同行为对车辆进行的纵向或横向或复合控制。如当从车道保持行为进入自适应巡航行为,车道保持方向盘转角权值将保持1,而车速权值将变为0。

3 实验验证

3.1 实验条件

车辆的行车环境具有复杂多变的特征,为验证本体系结构全局规划层的自主性以及局部规划层的反应性与适应性,选取其他交通物体可能随机出现,且具有停车线等道路标志的城市环境,由于城市环境下车辆一般处于低速工况以及考虑实验安全性,所以本实车车辆最高车速不大于 3 m/s,在仿真过程中,当车速远大于 3 m/s 时本体系结构具有同样的实验结果。

本实验采用高速轮毂电动汽车作为实验平台,使用的传感器主要有摄像头、GPS、激光雷达和超声波雷达,采用 MicroAutobox 作为控制器。

3.2 实验结果

抽取任意一次实验数据,实验轨迹如图 4,本轨迹由 GPS 惯性导航仪 RT3000 实时记录。其中 A 为无人驾驶车辆起始点, F 为其必须经过某些检查点之后的目的地,全局路径规划规划出 A→F 的路径后,会给局部路径规划相关子道路信息。从轨迹图中可以看出,基于混合体系结构的无人驾驶车辆系

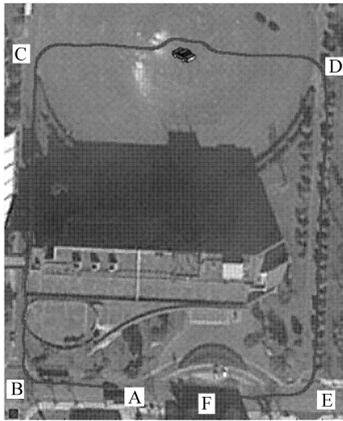


图 4 无人驾驶车辆轨迹

Fig. 4 Tracking of autonomous vehicle

统能够根据全局路径规划给出的子道路信息、环境感知系统给出的实时环境信息以及车辆的位姿信息等决策出车辆当前应该采取的行为状态,且各行为规划如车道保持、避障等能很好地实现行为的路径规划及跟随。

实验期望与实际的方向盘转角以及实验期望与实际的车速如图 5、6 所示,为方便观测,输出图中将行为的方向盘转角权值扩大 200 倍,对应轨迹图可以看出随着环境的变化基于混合体系结构的无人驾驶车辆系统能够决策出车辆在当前行驶环境下应该采取的行为并执行相应的规划。

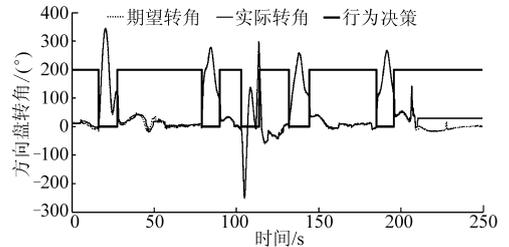


图 5 期望与实际的方向盘转角

Fig. 5 Expected and actual steering angle

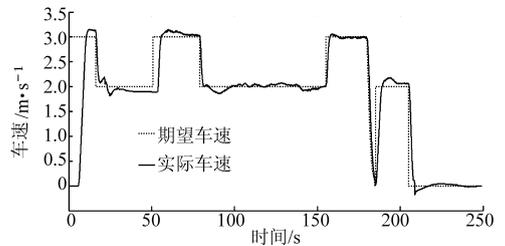


图 6 期望与实际的车速

Fig. 6 Expected and actual velocity

4 结束语

针对无人驾驶车辆行驶环境的特点,建立了基于行为和功能分解的混合体系结构,并在实际环境中进行了验证,验证结果表明该体系结构在兼具复杂和多变性的车辆行驶环境下满足无人驾驶车辆自主性、适应性及实时性的要求。

参 考 文 献

- 刘贤华. 智能移动机器人控制系统关键技术研究[D]. 北京:中国科学院自动化研究所,2004.
Liu Xianhua. Key techniques of intelligent mobile robot control system institute of automation [D]. Beijing: Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, 2004. (in Chinese)
- Brooks R A. A robust layered control system for a mobile robot [J]. IEEE Journal of Robotics and Automation, 1986, 2(1): 14 ~ 23.
- 曹志强,张斌,谭民. 多移动机器人系统个体控制体系结构[J]. 机器人,2001,23(5):450 ~ 454.
Cao Zhiqiang. Zhang Bin, Tan Min. Individual control architecture for multiple mobile robot system [J]. Robot, 2001, 23(5): 450 ~ 454. (in Chinese)
- 范永,谭民. MRCS 中机器人控制体系框架结构[J]. 控制与决策, 2000,15(3):325 ~ 328.
Fan Yong, Tan Min. Architecture of robotic control system in MRCS [J]. Control and Decision, 2000, 15(3): 325 ~ 328. (in Chinese)
- Tobias Gindele, Daniel Jagszent, Benjamin Pitzer, et al. Design of the planner of team annie WAY's autonomous vehicle in the DARPA urban challenge 2007[C]//IEEE Intelligent Vehicles Symposium, 2008.