

多智能体在城市交通系统中应用现状综述^①

王龙飞 陈红 李杨 邵海鹏 (长安大学 公路学院 陕西 西安 710064)

摘要: 多智能体技术通过各自智能体间的通讯、协调、合作来表达实际的复杂系统,特别适用于城市交通系统的建模。在分析了多智能体技术和城市交通系统特性的基础上,对多智能体在城市交通管理系统、出行信息系统和公交系统中的应用现状进行了综合论述,对各个领域最具代表性的应用进行了介绍和分析。研究认为,多智能体技术为城市交通问题提供了良好的解决方案,在具体应用中需要对交通环境和实体进行准确的建模,缓解通信需求、降低运算量及低协调复杂度、增强应用系统的稳定性和安全性。最后指出了多智能体技术在城市交通系统应用中的发展趋势。

关键词: 多智能体 协调 交通管理系统 出行信息系统 公交系统

A Survey: Application of Multi-Agent Technology to Urban Traffic System

WANG Long-Fei, CHEN Hong, LI Yang, SHAO Hai-Peng

(School of Highway, Chang'an University, Xi'an 710064, China)

Abstract: By adopting communication, coordination and corporation between agents, multi-agent technology can express complex system and especially can be used to model urban traffic system. Based on the analysis of the characters of multi-agent technology and urban traffic system, application status are summarized from the urban traffic management system, traveler information system and public transportation system. The most representative applications of all areas are also introduced and analyzed. Study shows that multi-agent technology provides effective solutions for urban traffic problems, and it is suggested that in order to make a better use of multi-agent technology, traffic environment and activities need to be modeled correctly. Communication needs to be reduced. Computational and coordination complexity need to be cut down. System stability and security need to be strengthened. Further applications and research directions are also discussed in detail.

Keywords: multi-agent; coordination; traffic management system; traveler information system; public transportation system

1 引言

Agent 是运行于动态环境中的具有较高自制能力的实体,具有自主性、分布性、协调性和一定学习、推理能力^[1]。多智能体系统通过 Agent 间的通讯、合作、协调和控制表达系统功能及行为特性^[2]。城市交通系统是自然的、分布的、复杂的、动态的、规模庞大的系统,采用多 Agent 技术建模城市交通系统可为交通决策者和使用者提供良好的解决方案。从二十世

纪 80 年代末,就有学者将多 Agent 技术引入到城市交通系统的建模中,利用其协作、存储、智能性和自治性为使用者提供在线决策支持、实时交通控制,或利用其对客观世界的准确描述进行交通系统运行仿真,发现交通系统中的问题、规律或验证新的理论和算法。本文从 ITS 框架中的先进的交通管理系统(ATMS)、先进的出行者信息系统(ATIS)、先进的公交系统(APTS)三个方面对 Agent 技术在城市交通系统

① 基金项目:国家“十一五”计划(2006BAJ18B06);国家自然科学基金(50808021)

收稿时间:2009-05-06

中的应用现状展开论述,最后指出多 Agent 技术在城市交通系统的应用中需解决的问题以及发展趋势。

2 多Agent在ATMS中的应用

在 ATMS 中,多 Agent 技术主要用于提供实时的决策支持并进行适当的管理控制。根据 Agent 慎思型和反应型两种模型结构^[3],建构基于 Agent 的城市交通管理系统也有两种思路:分层递阶式和完全分布式。

2.1 分层递阶式结构

分层递阶式结构的每一级都由功能、结构类似的 Agent 组成,同级 Agent 间可相互协调,上级 Agent 可作为对应下级 Agent 的协调单元,下级 Agent 向所属上级 Agent 传输局部系统环境和系统控制的反馈信息,为上级 Agent 提供决策依据^[4]。最早的分层递阶式系统就是 KITS 和 TRYS。

KITS 产生于在 1992-1994 年间,将交通领域知识分解成与路网拓扑结构相匹配的单元集合,提供专门的推理机制进行交通决策和管理^[5]。如图 1 所示,底层的 Agent 通过协作完成交通监控和管理任务,Actor 是直接和问题区域对应的交通评价和管理单元,Supervisor 负责全局路况分析、解释以及合成全局行动方案。KITS 的成功表明:基于知识的模型可以和多 Agent 技术相集合来提高城市交通系统的监控和管理能力。

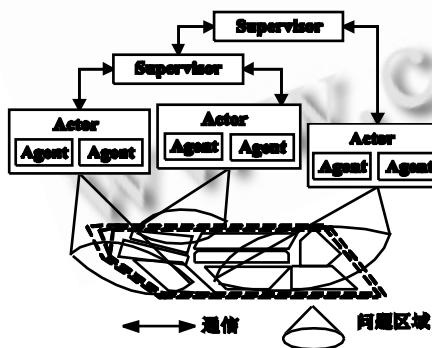


图 1 KITS 架构图

TRYS 是在 1991-1994 年间建立的实时自适应的交通管理决策系统。如图 2 所示,TRYS 的结构与 KITS 相似,通过 Agent 访问实时采集的路况数据,并由 Agent 内部的知识库和推理引擎对数据

进行分析处理,coordinator 负责协调各 Agent 的工作以形成全局解决方案。与 KITS 不同的是,TRYS 中的问题区域由独立的、功能强大的 Agent 负责监督^[6]。

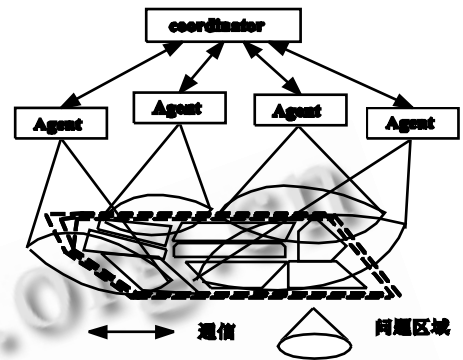


图 2 TRYS 架构图

翟高寿^[7]和 Choy^[8]根据递阶控制结构理论及城市交通系统的结构特征,提出了四层的分层递阶式结构,分别是:决策层(城市交通控制决策系统)、战略控制层(若干区域协调控制系统)、战术控制层(若干路口控制系统)、执行层(检测器、信号控制器和信号灯等)。该结构的协调控制策略在 TRYS 基础上进一步下放到路口级,建立了路口 Agent,每个路口成了一个智能的知识系统,可及时根据路口交通状况进行控制策略的实时部署与调整,更好地适应了交通系统动态性、实时性强的特点,对突发性交通流的变化有很好的适应和调节能力。

2.2 完全分布式结构

在完全分布式结构的系统中,Agent 凭借自身的知识和智能与相邻区域 Agent 协调共同完成路口的管制^[4]。最初的应用就是西班牙的 TRISA2 系统^[9],如图 3 所示。TRISA2 Agent 有一个控制计划集,每个计划都被赋予了能够减轻交通压力的效用值。系统可通过评估相关 Agent 的计划效用值合成系统最优的解决方案。Oliveira^[10]、承向军^[11]、杨兆升^[12]等学者也先后提出了以路口 Agent 为基本控制单元的完全分布式控制结构,系统中的 Agent 都具备了一定的存储、匹配和智能计算功能,可依靠良好的协调算法实现多 Agent 之间的协调与合作以达到整体优化和控制的目的。

2.3 两种架构的性能比较

分层递阶式充分体现了集中和分散控制的有机结

合, 考虑到了全局利益, 可使协调有目的地进行, 但是区域 Agent 和主控 Agent 的实现稍显复杂。完全分布式具有反应快速、灵活性强等特点, 可充分发挥 Agent 的自治性、协调性, 但由于 Agent 自身能力有限、系统的知识又过于分散, 解决全局问题的能力略显不足, Agent 间的协调机制会对系统性能产生较大影响。在扩展性上, 完全分布式只需把新 Agent 注册到其他 Agent 中并修改相应的方案和知识库即可将新 Agent 扩充到当前的 Agent 群体中, 而分层递阶式需要整合区域控制中心和主控中心, 重新赋予各 Agent 优先权关系。在协作复杂度上, 分层递阶式从每一个 Agent 控制方案中选择一个本地最优的方案, 完全分布式在所有的 Agent 中通过搜索策略来查找最佳方案, 因此后者工作量较大。

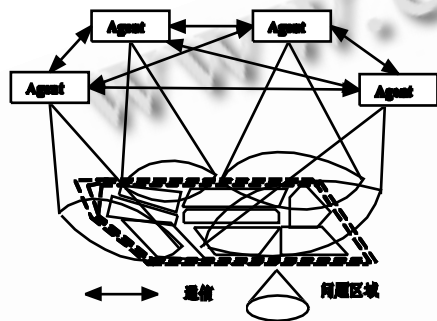


图 3 TRYSA2 架构图

2.4 多 Agent 的协调控制与优化

多 Agent 通过协调实现系统的分布式并行运行, 提高任务的执行效率。在基于多 Agent 的 ATMS 中, 有三种协调方式: ①建立专门的协调 Agent; ②将协调行为分散至各 Agent 中, 由 Agent 自主地完成; ③集中与分布相结合的方法, Agent 自身即可以完成某些协调行为, 又可以接受高层 Agent 制定的规划^[13]。当前常用的协调方法有黑板模型^[11]、博弈模型^[14]、协调器^[6]、交换意见^[15]等。

黑板模型信息传输量大, 对信息传输的稳定性也有一定的要求, 适用于简单的分布式多路口控制。博弈论模型适用于分层递阶结构的上下级 Agent 间和完全分布结构的同级 Agent 间的协调, 但由于重复博弈过程中需要进行复杂的均衡点收敛控制, 所以基于交通信息博弈的计算量较大。协调器可基于一定的目标将同级和下级 Agent 产生的提案合成全局的提案。协

调器降低了系统的通信量和其他 Agent 的实现复杂度, 但却增加了协调器 Agent 自身的设计复杂度和计算量。交换意见法对系统通信的稳定性有很大的要求, 当单个 Agent 节点出现通信故障时, 系统将无法正常工作。

从上述几种方法的分析中可以看到, 协调过程需要传输大量数据, 因此容易造成传输网络的拥塞。目前, 很多学者都采用强化学习的方法来优化本地的交通信息。强化学习方法是以前环境提供的加强信号作为性能评价的反馈, 完成从状态到行为的映射的学习, 特别适合处理不断变化的路网环境。Baher^[16]、欧海涛^[17]等都基于强化学习研究了实时自适应的交通信号控制, 减少路口节点间的大量通讯需求, 增强了决策的可靠性。

2.5 相关应用研究

Ronald^[18]通过将分离独立的交通设施建模成能互相协作的 Agent, 研究了动态交通管理设备互相协作的可能性。Filippo^[19]实现了一种基于多 Agent 架构的交通管理系统 CARTESIUS, 在分析偶发性阻塞和在线制定集成控制方案过程中展示了良好的协作推理和解决冲突的能力, 可为交通管理人员协调多区域间的快车道和地面街道的路网阻塞提供实时决策支持。Bo Chen^[20]等人将移动 Agent 技术融入到交通管理系统中, 增强了处理不确定事件和环境动态变化的能力, 提出了一种基于柔性 Agent 的实时交通检测和管理系统。

3 多 Agent 在 ATIS 中的应用

ATIS 可以影响出行行为, 增强路网性能。当前采用 Agent 技术研究 ATIS 主要是针对不同的出行需求构建各式智能的出行信息系统, 为出行者提供高质量的出行信息和导航服务; 另外是研究 ATIS 条件下的出行者行为以及 ATIS 对城市交通的影响。

3.1 基于 Agent 的典型出行信息系统框架

为实现路网管理者和出行者之间的有效协调, 需要在不严重影响个体出行者的使用偏好(出行类型、路径选择、离开/到达时间等)基础上有效地基于时空二维分配路网。基于此, Adler 和 Blue 研究了智能出行信息系统 (IT IS), 专为出行者提供出行计划和导航辅助信息^[21], 提出一种代表出行者的车载智能导航 Agent, 可以学习、

定义并校准路径和出行计划偏好。在此基础上,他们又提出基于多 Agent 的交通管理和路径导航协作系统(CTMRGS)的概念框架,使路网管理者、信息提供者和出行者之间能有效的协调和沟通^[22]。系统采用原则协商指导出行者 Agent 和信息提供者 Agent 之间的交互,找到一个时空最优的出行方案,最后指出更多的智能将会被用来捕捉和呈现出行者的真实意图和行为。

3.2 ATIS 影响下的基于多 Agent 仿真的出行者行为研究

ATIS 的有效性取决于系统提供信息的能力以及出行者对出行信息的反应。因此,了解出行者的行为及其在出行信息下的决策过程便显得尤为重要,这将有助于设计出高效的 ATIS。目前,国内外很多学者都采用 Agent 仿真方法研究 ATIS 环境下的出行者行为。Dia^[23]首先提出利用多 Agent 仿真来研究实时交通信息影响下的驾驶员行为。通过对驾驶员行为(特性、心理、知识、偏好等)的调查采用 BDI^[24](信念-渴望-意图)结构建模,配合交通仿真组件评价交通实时信息对驾驶员行为的影响。Rossetti^[25]基于 BDI 架构提出了基于 DRACULA(一种结合用户学习和微观模拟的动态路径分配模型)的多 Agent 扩展模型对出行者进行建模,允许出行者对出行路径和离开时间做出理性选择。

驾驶员的行为会影响到 ATIS 系统收益和系统的整体性能。Rossetti 基于谓词逻辑表达方式对出行者 Agent 建模,使决策过程中呈现了更多的出行者心理因素^[26]。仿真结果表明,系统的整体性能会受到出行信息需求和交通网络拓扑结构的影响,当出行信息单独向个体提供的时候,总体影响可以得到很大改善。Joachim^[27]将出行者建模成 Agent,基于两条平行路径的路网分析了 ATIS 环境中的出行者路径选择行为,研究指出出行信息的特性很大程度上影响了 ATIS 的潜在收益。赵凇^[28]在 Joachim 的基础上,通过对系统中的微观行为建立基于 Agent 的仿真模型来观察系统“涌现”出来的宏观特征。仿真结果显示 ATIS 对通勤者出行前的出行规划有一定影响,随着交通量的增加,交通系统的不确定性也随之增加,ATIS 系统收益会有所提高。

3.3 相关应用研究

Zargayouna^[29]提出了一种基于 Agent 的出行者信息服务中心架构,通过实例化大量的交通实体,建立了基于环境的服务、信息资源和出行者主动交互

支持模型,允许实体间建立各自感兴趣的交互。Wahle^[30]提出了一个基于多 Agent 的实时交通流在线仿真和预测框架,通过历史数据的启发结合当前动态数据可提供对路径选择行为和交通走向的短期预测。王健^[31]采用数据挖掘中的决策树方法获取出行者信息需求,使用 Agent 技术建立了基于移动终端的信息服务网络框架。Chou^[32]构建了基于多 Agent 的停车导航协商网络,将汽车、停车场和导航系统建模成 Agent,通过各 Agent 的协作为驾驶员选择价格和路线最优的停车场。

4 多Agent在APTS中的应用

4.1 基于多 Agent 的公交运行状态检测

公交运行状态检测对于确保公交系统的正点到站、运行具有重要的意义。采用 AVM 系统获取公交运行数据进行扰动(延迟和超车)检测缺乏对全局路况的总览而且稳定性差,很难提供基于时空二维的路况进展状态。因此,Flavien^[33]提出了采用多 Agent 技术诊断公交扰动以及检测定位数据传输的连贯性。公交车和站点被建模成 Agent,站点 Agent 备有公交运行时间表,负责计算公交到站后的调度;公交车 Agent 负责向 STOP Agent 报告路网实际状态,供 STOP Agent 将车辆到达的理论时间和当前实际时间相比较以检测公交扰动。在此基础上,他们又对扰动的整个生命周期进行了动态建模,把扰动模型融合到多 Agent 决策支持系统中,研究了扰动对路网活动的影响^[34]。模型包括三个信息区域:后继区域(延迟公交车后继站点),关键区域(延迟公交车所在的站点),先前区域(延迟公交车的前驱站点)。如图 4 所示,最底层的 STOP Agent 接收 BUS Agent 传来的信息,中间层的 STOPAREA Agent 负责从 STOP Agent 中收集信息合成交通评价、客流信息、路况进展系数等,顶层的 INCIDENT Agent 形成综合的实时调度决策。

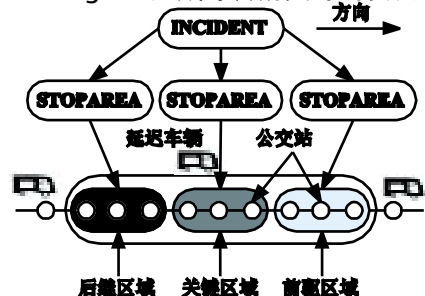


图 4 基于分级多 Agent 公交扰动检测框架图

4.2 基于多 Agent 的公交系统运行仿真

公交系统的运行仿真可用于调整公交调度、评价公交路网结构以及制定策略。David^[35]采用多 Agent 仿真方法描述了公交系统运行,将公交车和出行者建模成 Agent,所有的模型都结合了公交操作、出行者行为和道路交通负载。文中使用了多项 logit 模型配备交通需求,评价了步行、汽车、公交模式的效用,并基于效用模型制定了出行者的出行路线和交通行为。仿真主要关注了公交乘客载荷和乘客等待时间。仿真结果表明,通过将公交车和出行者建模成 Agent,可方便地模拟公交车在运行过程中可能出现的各种状况(饱和、不足),为特殊事件(事故、阻塞)的发生制定有效的调度策略。

5 结论与展望

ITS 的将来会被各式智能、自治的 Agent 布满整个交通系统中,通过互联网、无线网络或自组织网络连接,不断采集信息做出智能决策,最终使交通系统获得彻底的智能^[36]。要使 Agent 发挥更大的作用,还需要在实际应用中充分考虑城市交通系统及其内含实体的特点(出行方式特征、交通规则、路网结构、出行心里),缓解通信需求、降低运算量及协调复杂度、优化系统组织结构、增强系统的稳定性和安全性。多 Agent 今后在城市交通系统中的研究方向应主要集中在以下几方面:

(1) 多个 Agent 系统的信息融合,如在交通管理系统、出行信息系统、导航系统、停车系统间共享信息,通过协调多系统的工作,提高路网运行效率和出行信息服务质量;

(2) 针对城市交通系统存在的问题,研究面向特定应用领域的多 Agent 系统结构、协调算法和组织优化技术,形成规范的技术体系,包括通信环境、建模方法、评价方法等;

(3) 将更多 Agent 新技术引入到城市交通系统设计当中,如移动 Agent、Agent 规范、Agent 体系结构、Agent 通信和语言、Agent 组织与联盟、Agent 学习与规划、Agent 协商与协调等方向上的新技术;

(4) Agent 技术理论研究在城市交通中的应用已形成一定的规模,如何更高效地发挥 Agent 的特性使之与城市交通更紧密的结合与适应将会成为新的研究热点;

(5) Agent 的广泛应用会把更多的人工智能、系统工程、控制理论、优化算法和分布式计算技术引入到实际的交通问题解决中来,为 Agent 的具体应用提供更多的新思路。

参考文献

- 1 刘金昆,尔联洁.多智能体技术应用综述.控制与决策,2001,16(2):133-140.
- 2 Chaibdraa B, Moulin, B. Trends in distributed artificial intelligence. *Artificial Intelligence*, 1992,56(6):35-66.
- 3 李海刚,吴启迪.多 Agent 系统研究综述. *同济大学学报*, 2003,31(6):728-732.
- 4 孙建平.基于 Agent 的城市交通区域协调控制及优化研究[博士学位论文].长春:吉林大学,2004:17-18.
- 5 Kirschfink H, Hernandez J, et al. Intelligent traffic management models. *7th World Congress on Intelligent Transport Systems*. 2000.36-45.
- 6 Hernandez J, Cuenca J, Molina M. Real-time traffic management through knowledge-based models: The TRYS approach. *ERUDIT Tutorial on Intelligent Traffic Management Models*, 1999.
- 7 翟高寿.基于智能工程的城市交通控制系统的研究[博士学位论文].北京:北方交通大学,2000.54-56.
- 8 Choy M, Srinivasan D, Cheu R. Cooperative, hybrid Agent architecture for real-time traffic signal control. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics Part A: Systems and Humans*, 2003,33(5):597-607.
- 9 Hernandez J, Ossowski S, Serrano A. On multiagent co-ordination architectures:A traffic management case study. *Proc. of the 34th Hawaii International Conference on System Sciences*. 2001.
- 10 Oliveira D, et al. Reinforcement learning-based control of traffic lights in non-stationary environments: A case study in a microscopic simulator. *Fourth European Workshop on Multi-Agent Systems*. 2006.
- 11 承向军,杨肇夏.基于多智能体技术的城市交通控制系统的探讨. *北方交通大学学报*,2002,26(5):47-50.
- 12 杨兆升,刘喜敏,卢守峰.基于混合遗传算法的多 Agent 交通控制系统. *交通运输系统工程与信息*, 2006,6(1):64-67.
- 13 马寿峰,李英,刘豹.一种基于 Agent 协调的两路口

- 交通控制方法.系统工程学报,2003,18(3):272-278.
- 14 于德新,杨兆升,王媛,孙建平.基于多智能体的城市道路交通控制系统及其协调优化.吉林大学学报,2006,36(1):113-118.
- 15 Ferreira E, et al. Intelligent Agents in decentralized traffic control. IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems. 2001.705-709.
- 16 Abdulhai B, Pringle R, Grigoris J. Reinforcement learning for true adaptive traffic signal control. Journal of Transportation Engineering, 2003,129(3):278-285.
- 17 欧海涛,杨煌普,张文渊,许晓鸣.基于再励学习和遗传算法的交通信号自组织控制.电机与控制学报,2000,4(2):80-83.
- 18 Katwijk V, Koningsbruggen V. Coordination of traffic management instruments using Agent technology. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2002,10C(5,6):455-471.
- 19 Logi F, Ritchie S. A multi-Agent architecture for cooperative inter-jurisdictional traffic congestion management. Transportation Research Part C, 2002, 10C(5,6):507-527.
- 20 Chen B, et al. Integrating mobile Agent technology with multi-Agent systems for distributed traffic detection and management systems. Transportation Research Part C, 2008,10C(5,6):1016-1025.
- 21 Adler J, Blue V. A cooperative multiagent transportation management and route guidance system. Transportation Research, 2002,10C(5,6):433-454.
- 22 Adler JL, et al. A multiagent approach to cooperative traffic management and route guidance. Transportation Research Part B, 2005:297-318.
- 23 Dia H. An Agent-based approach to modelling driver route choice behaviour under the influence of real-time information. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2002,10C(5,6):331-349.
- 24 Rao A, Georgeff M, et al. BDI Agents: From theory to practice. Proc. of the 1st International Conference on Multi-Agent Systems. 1995.312-319.
- 25 Rossetti R, Bordini R, et al. Using BDI Agents to improve driver modelling in a commuter scenario. Transportation Research Part C, 2002,10C(5,6), 2002:373-398.
- 26 Rossetti R, Liu R. An agent-based approach to assess drivers' interaction with pre-trip information systems. Journal of ITS, 2005,9(1):1-10.
- 27 Wahle J, Bazzan A, et al. The impact of real-time information in a two-route scenario using Agent-based simulation. Transportation Research Part C, 2002,10(5):399-417.
- 28 赵凜,张星臣.基于 Agent 仿真的 ATIS 条件下路径选择行为研究.系统仿真学报,2007,19(7):1590-1593.
- 29 Zargayouna M, Balbo F. Agent Information Server: a middleware for traveler information. Engineering Societies in the Agents World 2005.2006.14-28.
- 30 Wahle J, Schreckenberg M. A multi-agent system for on-line simulations based on real-world traffic data. International Conference on System Science, 2001.
- 31 Wang J, Ding Z F, Shi A. An Agent-based study on personalized travel information service. 1st International Symposium on Systems and Control in Aerospace and Astronautics. 2006.489-492.
- 32 Chou S, Lin W, Li C. Dynamic parking negotiation and guidance using an Agent-based platform. Expert Systems with Applications, 2008:805-817.
- 33 Balbo F, Pinson S. Towards a multi-agent modelling approach for urban public transportation systems. In: Omicini A, Petta P, Tolksdorf R, eds. Engineering Societies in the Agents Worlds II, LNAI 2203, Springer Verlag, Prague, 2001.160-174.
- 34 Balbo F, Pinson S. Dynamic modeling of a disturbance in a multi-Agent system for traffic regulation. Decision Support Systems, 2005,41(1):131-146.
- 35 David M, Olivier S, Abderrafaa A. Simulation and evaluation of urban bus-networks using a multiAgent approach. Simulation Modelling Practice and Theory, 2007,15(6):659-671.
- 36 Wang FY. Agent-based control strategies for smart and safe vehicles. IEEE International Conference on Vehicular Electronics and Safety. 2005.331-332.