

基于 Multi-Agent 的公路仿真系统框架

杨宏志, 许金良

(长安大学 特殊地区公路工程教育部重点实验室, 陕西 西安 710064)

摘要:为了建立公路仿真系统对公路设计的合理性进行评价,研究了公路仿真系统结构问题。公路仿真系统是连续变量动态系统和离散事件动态系统相互作用的混杂系统,通过分析公路仿真系统的特征,建立基于 Multi-Agent 理论的公路仿真系统框架。将系统划分为 3 类相互作用的 Agent,即反应 Agent、合作 Agent 和界面 Agent,给出了适合公路仿真特点的 Agent 元定义,建立了各 Agent 的协商模型,并对其运行机制进行了讨论。该仿真框架的建立,从软件工程的角度解决了仿真过程中混杂性的问题,对于合理设计仿真系统结构具有重要作用。

关键词:道路工程;公路;仿真系统;Multi-Agent;协商模型

中图分类号:U412

文献标识码:A

Framework of highway simulation system based on Multi-Agent

YANG Hong-zhi, XU Jin-liang

(Key Laboratory for Special Area Highway Engineering of Ministry
of Education, Chang'an University, Xi'an 710064, China)

Abstract: For constructing highway simulation system to evaluate the rationality of design, the system structure of highway simulation is analyzed. Highway simulation system is a hybrid system consisting of CVDS and DEDS. By analyzing the character of highway simulation system, the framework of highway simulation system based on Multi-Agent is set up. The simulation system is divided into three kinds of agent that are response agent, collaborate agent and interface agent. The basic definition of simulation agent is present. The agreement model of agent is established and the running mode is discussed. This framework resolves the hybrid problems in simulating process and has an important effect on the structure design of simulation system.

Key words: road engineering; highway; simulation system; Multi-Agent; agreement model

0 前言

公路是由人、车、路与环境组成的复杂系统,设计方案受多种因素的影响,难以用数学模型和现场实验的方式来验证路线设计方案的合理性。目前评价公路设计合理性的手段主要依靠专家评议,但由

于公路设计手段所能完成的工作量有限,能提供给专家的信息有限,在缺乏实验数据的情况下,对公路设计进行评价,专家只能依靠自身的知识和经验进行判断,很难做出客观全面的评价。研究公路仿真系统,通过建立汽车模型、驾驶员模型、公路虚拟环境模型,以公路为主体,对公路设计方案进行反复的

收稿日期:2003-12-29

基金项目:陕西省交通科技项目(02-03K)

作者简介:杨宏志(1975-),男,山东昌邑人,长安大学讲师,博士。

仿真实验,科学的分析和评价仿真实验结果,从而达到科学评价公路设计方案的目的。

在上述思想指导下,本文拟对公路仿真系统的特点、系统框架及开发方法进行研究,为仿真系统开发奠定理论基础,对实现公路设计的科学化、可视化、智能化具有重要的意义。

1 公路仿真系统的特点

行驶在公路上的汽车与驾驶员、公路以及周围环境共同构成了一个时变的行驶状态:驾驶员根据公路环境状态,通过控制速度、方向影响汽车的行驶状态,而汽车的行驶状态又改变汽车所处的公路与环境。而反映这种状态的仿真系统在实现中,则具有了时变性、混杂性的特征。

1.1 人车路与环境时变特征模型

公路仿真过程中的时变特点可以用下述人车路与环境时变特征模型描述

$$\begin{cases} \Phi(t_i) = \{\alpha^i, r^i, w^i\} \\ \alpha^i = \{\alpha_V^i, \alpha_{aV}^i, \alpha_{aH}^i, \alpha_\beta^i, \alpha_o^i, \alpha_p^i\} \\ r^i = \{r_H^i, r_V^i, r_C^i\} \\ w^i = \{w_E^i, w_C\} \end{cases}$$

式中: $\Phi(t_i)$ 为人、车、路与环境时变特征模型; α_i 为 t_i 时刻汽车的状态; $\alpha_V^i, \alpha_{aV}^i, \alpha_{aH}^i, \alpha_\beta^i, \alpha_o^i, \alpha_p^i$ 分别为 t_i 时刻的汽车速度、纵向加速度、横向加速度、前轮转角、汽车其他状态以及位置描述; r^i 为 t_i 时刻公路的几何特征; r_H^i, r_V^i, r_C^i 分别为 t_i 时刻的公路平、纵、横几何特征; w^i 为 t_i 时刻周围环境特征; w_E^i 为 t_i 时刻的环境特征; w_C 为天气特征。

用 $Q_{t+1}(\Phi(t_{t+1}))$ 描述在 t_{t+1} 时刻由环境信息确定的行驶状态,则

$$Q_{t+1}(\Phi(t_{t+1})) = p_i(Q(\Phi(t_i)))$$

其中, p_i 为与公路、环境不相关的只对汽车发生作用的操作算子,即驾驶员对汽车的操作。这也说明了过程期望的行驶状态 $Q_{t+1}(\Phi(t_{t+1}))$ 可以通过对过程特征参量 α^i 进行调整,达到行驶目标。

1.2 仿真特点

由上述时变特征模型可见,公路仿真系统具有下述特征:

(1)持续响应反馈特性。公路仿真实验是随路线的延伸,持续推进的。在这一过程中,仿真系统中的驾驶员模型、汽车模型和公路虚拟环境模型具有持续响应的特性。随着公路、环境与汽车状态改变,驾驶员模型必须持续确定控制策略;汽车模型响应驾驶员控制信息,改变行驶状态,并将行驶状态反馈给

公路虚拟环境模型和驾驶员模型;公路虚拟环境模型根据行驶状态信息,改变视景(视点及视景驱动速率等)并产生相应的虚拟声音,同时将改变的线形信息反馈给驾驶员模型。通过持续的响应与反馈,公路仿真系统各子系统显示了相互之间高度的协作特征。

(2)智能仿真特征。公路仿真系统的驾驶员控制行为实际是一种智能决策的行为,仿真系统中的驾驶员模型应具有自适应的特点,随着人、车、路与环境时变状态的改变,驾驶员模型自动调整其控制策略。对仿真系统交互能力、响应能力的要求,也决定了公路仿真系统的智能仿真特征。

(3)混杂性。公路仿真系统是公路与环境特征的离散状态、驾驶员操纵的离散行为和汽车运行的连续状态相结合的混杂系统,系统的演化由时间(汽车运行)和事件(驾驶员操纵、公路与环境状态事件)2类不同性质的机制驱动,表现为结构、算法等的混杂性。

2 基于 Multi-Agent 的公路仿真框架

公路仿真系统的上述特点决定了传统面向过程和面向对象的软件开发方法难以处理时变状态下子系统间交互、协同、自适应、自反馈等特征,同时也难以解决公路仿真系统混杂性的问题。Multi-Agent 系统软件开发思想的提出,为解决软件智能性、协作性提供了一条新的途径。

2.1 Multi-Agent 系统理论

Agent 是一个能在特定环境下连续、自发地实现功能,并且是与相关 Agent 和进程相联系的软件实体。连续、自发的要求来源于环境的变化,要求 Agent 能在没有人引导和干涉下以柔性、智能的方式对用户的需求实时地加以响应。另外,还希望 Agent 能与环境中的其他 Agent 和进程通信、合作。Multi-Agent 系统是指由多个 Agent 组成的系统,是为了解决单个 Agent 不能够解决的复杂问题,由多个 Agent 协调合作形成的问题求解网络。

Multi-Agent 系统需要借助一些相关的理论和技术来实现,主要包括知识表达与推理、代理通信语言、多代理协调模型、多代理协商模型。

(1)知识表达与推理。系统中的单个代理通过一定的数据结构以及相应的操作对要解决的问题进行建模,就要用到知识表达和推理方法的相关理论。

(2)代理通信语言。代理之间的通信与信息交流需要以一定层次的协议作基础,代理通信语言可以被用来完成这样的功能。

(3)多代理协调模型。在多代理系统的范畴内,

需要协调的就是代理之间的相互关系。协调模型就是要提供 1 个表达代理之间相互作用的形式化框架。多代理协调模型可以分为控制驱动和数据驱动两种类型。

(4)多代理协商模型。多代理系统中,代理之间的合作要通过通信和协商来完成。对于多代理系统的协商模型,存在着不同的观点,一般认为 1 个 Agent 应包括感应器、决策控制器、精神状态、知识库、通信器等几部分组成,其中 BDI 模型是一被普遍接受的 Agent 协商模型,它认为 Agent 的精神因素包括信念、愿望、意图等部分组成,见图 1。

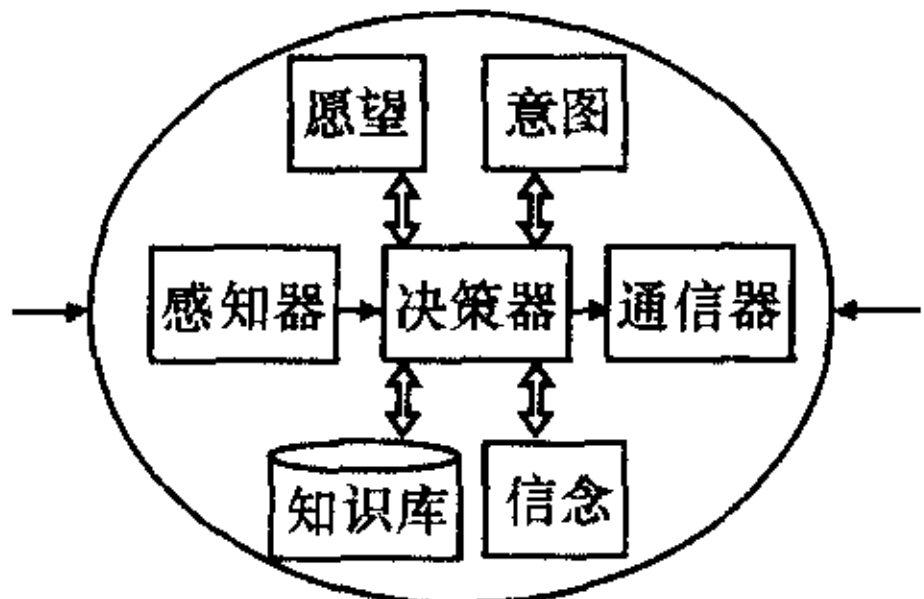


图 1 BDI 模型

2.2 基本框架

根据人、车、路与环境仿真系统的时变动态特点,基于 Multi-Agent 的人、车、路与环境仿真系统框架如图 2 所示。

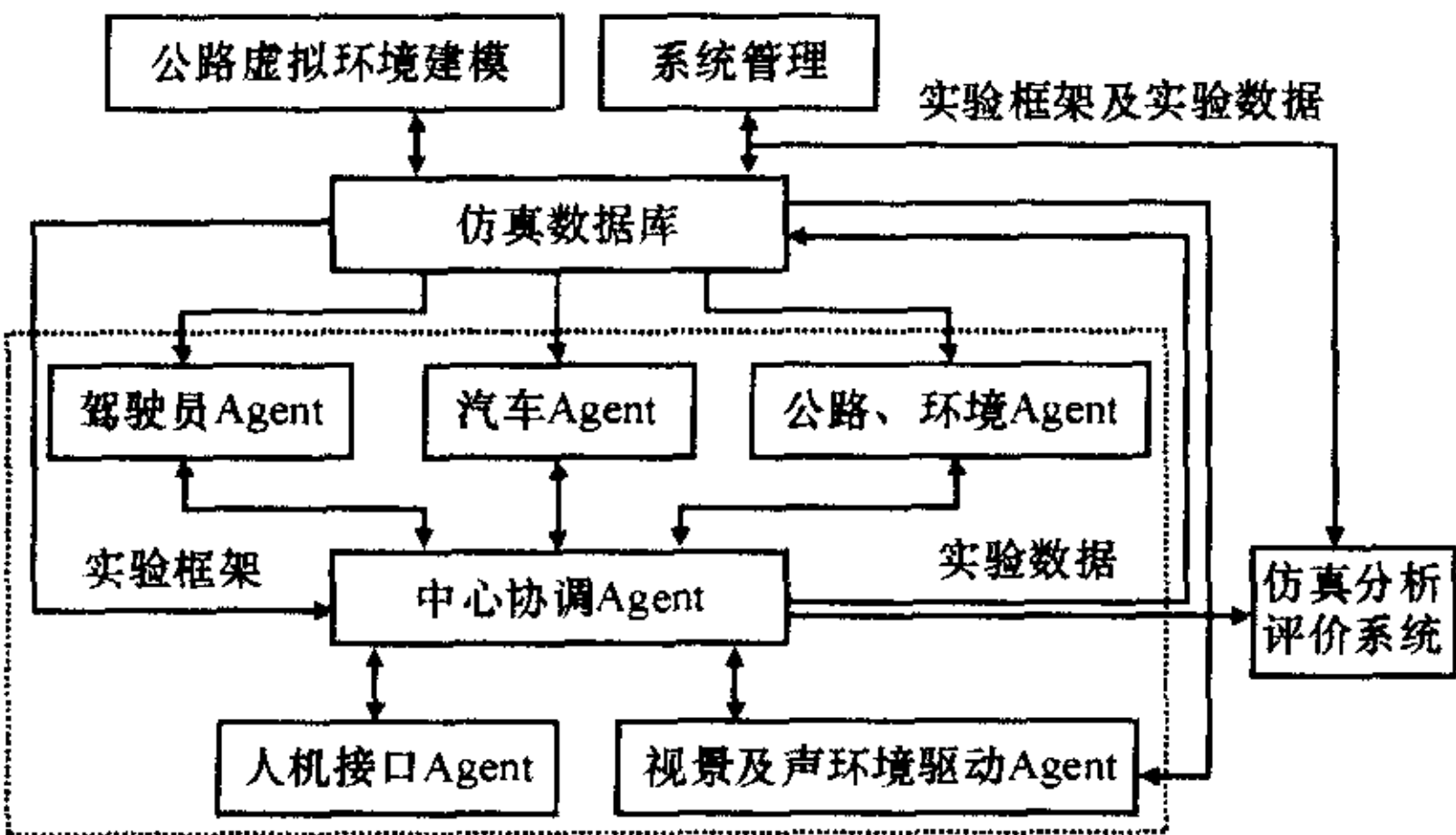


图 2 基于 Multi-Agent 的人、车、路与环境仿真框架

图 2 中,将人、车、路与环境仿真运行系统划分为 6 个相互作用 Agent,根据其承担的任务和对任务求解机制的不同,可将其分为反应 Agent、合作 Agent、界面 Agent 3 类。驾驶员 Agent、汽车 Agent 和中心协调 Agent 属于合作 Agent,即具有内部状态的主动 Agent,具有知识表示,问题求解表示等;公路、环境 Agent 和视景及声音驱动 Agent 属于反应 Agent,只是简单的对外部刺激产生反应,类似于客户/服务器体系结构,Agent 既是客户,又是服务器,根据程序安排,做出回答或发出请求;人机接口 Agent 属于界面 Agent,能够与用户交互,进行显示和控制。

3 公路仿真系统 Agent 的基本结构

3.1 Agent 的元定义

为了便于对 Agent 进行形式化描述,可以将系统中的 Agent 的共性进行抽象,定义为 Agent 元,按照公路仿真系统中 Agent 的特点并参照 Agent

的动力学特征,将 Agent 定义为

$$\begin{aligned} \text{Agent} &= \langle A.id, T, I, O, S, IA, OA, R \rangle \\ T &\in R_0^+ \\ I &= EI \cup II \\ \forall i \in I &\Rightarrow i.source \in IA \\ \forall o \in O &\Rightarrow o.source \in OA \end{aligned}$$

式中: $A.id$ 为 Agent 的标识符; T 为逻辑时钟; I, O 分别为输入和输出消息; EI 为外部输入消息, II 为内部输入消息; S 为 Agent 元的状态的集合, S 中的状态为有限维实数向量; IA 为所有可能向该 Agent 元输入消息的 Agent 集合; OA 为所有该 Agent 元可能输出消息的 Agent 集合; R 为 Agent 元规则处理。

Agent 中的消息和消息流可以定义,按 BNF 格式,消息的定义为

$$\begin{aligned} \langle \text{系统消息} \rangle &::= \langle \text{消息 ID} \rangle \langle \text{消息类型} \rangle (: \langle \text{参数} \rangle)^* \\ \langle \text{消息 ID} \rangle &::= \langle \text{数字} \rangle^* \\ \langle \text{消息类型} \rangle &::= \langle \text{标识符} \rangle \\ \langle \text{参数} \rangle &::= (\langle \text{参数名} \rangle \langle \text{空白} \rangle \langle \text{参数值} \rangle)^* \\ \langle \text{参数名} \rangle &::= \langle \text{标识符} \rangle \\ \langle \text{参数值} \rangle &::= \langle \text{标识符} \rangle \\ \langle \text{标识符} \rangle &::= \langle \text{字母} \rangle (\langle \text{字母} \rangle | \langle \text{数字} \rangle | _)^* \end{aligned}$$

而消息流可定义为

$$\langle \text{系统消息流} \rangle ::= \langle \text{消息流目的} \rangle \langle \text{消息流源} \rangle \langle \text{发出时间} \rangle \langle \text{有效时间} \rangle \langle \text{消息格式} \rangle \langle \text{系统消息} \rangle$$

Agent 的状态 S 可用 1 个五元组来描述

$$S = \langle A.id, EI.n, A.e, EO.n, t \rangle$$

式中: $A.id$ 为 Agent 的标识符; $EI.n$ 为 Agent 的输入事件的名称; $A.e$ 为 Agent 的激活状态; $EO.n$ 为输出事件的名称; t 为 Agent 激活后的运行时间。

当 Agent 接受到其他 Agent 发送的信息时,或者 Agent 自主的,根据自身当前的状态和规则系统进行处理,改变自身状态,并且向其他 Agent 发送信息。Agent 的状态改变如图 3 所示。

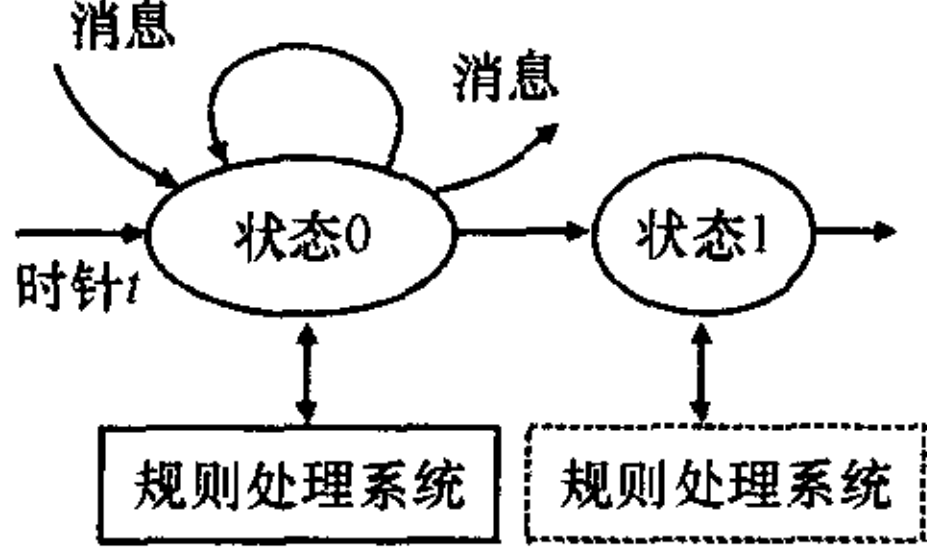


图 3 Agent 状态转换图

3.2 Agent 的基本结构

公路仿真系统中,各 Agent 的特点不同,其基本结构也有所不同。本文仅介绍中心协调 Agent 和驾驶员 Agent 的基本结构。

3.2.1 中心协调 Agent

中心协调 Agent 在 Multi-Agent 系统中处于核心地位,负责消息的分发、协调、仿真时钟的协调等,

其基本结构如图 4 所示。

图 4 中感知器负责环境信息的接收,通过消息处理器将消息分发给存储器、协调器和状态机,存储器将与实验分析、评价有关的信息存入实验数据库;消息处理器具有 2 个方面的作用,消息分发的功能和 Agent 内部状态存储和调整的功能;状态机将存储系统的时变环境信息,并将先前时变环境信息通过消息处理器分发给协调器并进行状态更新;协调器根据预先确定的规则,决定要分发的消息,利用消息处理器、通信器分发给其他 Agent。例如,中心协调器在接收到驾驶员 Agent 操纵信息时,协调器将信息与状态机存储的信息比较,如没有发生改变,该信息将不再分发给汽车 Agent,反之,则发送。

中心协调 Agent 的消息处理机制非常复杂,难以用普通工具对离散事件和连续变量进行协调,Petri 网以其描述并发、同步等的的能力得到广泛应用。

3.2.2 驾驶员 Agent

驾驶员 Agent 提取模型库中的决策算法,根据中心协调 Agent 提供的时变特征信息($\Phi(t_i)$),进行决策推理,反馈操纵行为(P_i)。具有智能决策的特性,其 Agent 结构如图 5 所示。

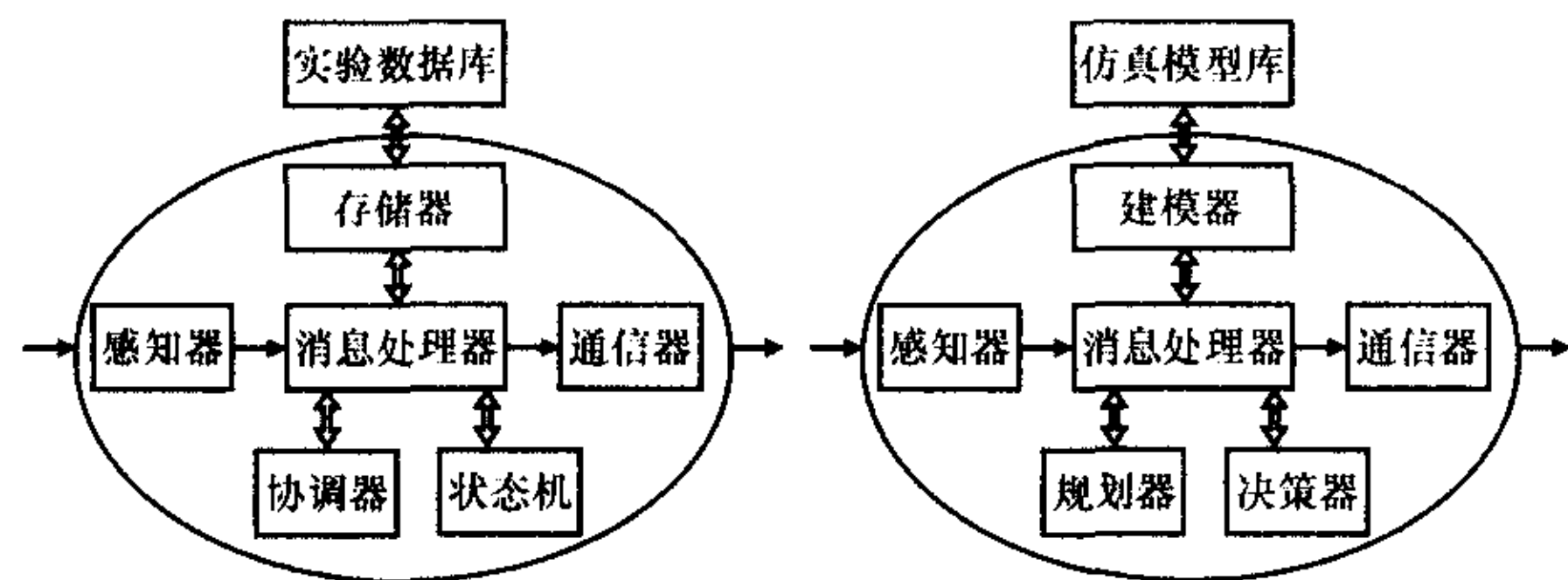


图 4 中心协调 Agent

图 5 驾驶员 Agent

图 5 中,初始状态下,消息处理器将实验框架信息分发给建模器,从仿真模型库中提取驾驶员决策算法和规则;仿真状态下,消息处理器将时变环境信息分发给规划器和决策器,决策器在建模器算法和规则支持下,参考规划器中的信息进行速度和方向控制决策,反馈消息。这里规划器的设计基于这样一个事实:驾驶员在驾驶汽车时通常是根据时变环境信息,对汽车的行驶状态进行规划;另一方面再考虑影响因素对汽车行驶轨迹和速度进行决策。

4 结 语

本文提出建立公路仿真系统对公路设计进行评价的思想,在分析仿真特点基础上,提出基于 Multi-Agent 的仿真系统软件开发思路和基于 Multi-Agent 的公路仿真系统框架,给出了适合公路仿真特点

的 Agent 元定义,讨论了中心协调 Agent、驾驶员 Agent 的基本结构,从软件工程的角度解决了仿真过程中时变、动态的特点,对公路仿真系统的实现具有指导意义,并应用到课题的系统开发过程中。

参考文献:

References:

- [1] 范玉顺,曹军威.多代理系统理论、方法与应用[M].北京:清华大学出版社,2002.
FAN Yu-shun, CAO Jun-wei. Theory, method and application of Multi-Agent system [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2002.
- [2] 李宏亮.基于 Agent 的复杂系统分布仿真[D].长沙:国防科学技术大学,2001.
LI Hong-liang. The Agent-Based distributed simulation for complex systems[D]. Changsha: National University of Defense Technology, 2001.
- [3] 蔡自兴,徐光祐.人工智能及其应用[M].北京:清华大学出版社,1996.
CAI Zi-xing, XU Guang-you. Artificial intelligence and application [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 1996.
- [4] 吕立华,宋执环,李平,等.基于 Multi-Agent 的面向过程混杂系统的集成技术[J].系统工程理论与实践,2001,(9):62-66.
LÜ Li-hua, SONG Zhi-huan, LI Ping, et al. Process-oriented hybrid system integrated framework based on Multi-Agent[J]. Theory and Practice of System Engineer, 2001, (9): 62-66.
- [5] 王小捷,文传源.一类混合动态系统的仿真方法[J].系统仿真学报,1997,9(3):51-55.
WANG Xiao-jie, WEN Chuan-yuan. Simulation of a class of hybrid dynamic systems[J]. Journal of System Simulation, 1997, 9(3): 51-55.
- [6] 王 栩. Agent 系统通讯理论及组织结构的研究[D].北京:中国科学院软件研究所,2000.
WANG Xu. A study of communication theory and organization structure in agent systems[D]. Beijing: Institute of Software, Chinese Academy of Sciences, 2000.
- [7] 初 东,许娅娅,赵永平.公路环境仿真系统中三维地面模型简化[J].长安大学学报(自然科学版),2003,23(1):19-22.
CHU Dong, XU Ya-ya, ZHAO Yong-ping. Simplification of 3D terrain models of highway[J]. Journal of Chang'an University (Natural Science Edition), 2003, 23(1): 19-22.