

# 基于自组织结构的自主智能机器人集成系统\*

朱森良 张新晖 王寻羽 唐文彬

(浙江大学人工智能研究所 杭州 310027)

E-mail: zml@whale.hzuni.edu.cn

**摘要** 该文提出了基于多 Agent 的面向任务集成的自组织结构 IRASO (intelligent robotic architecture with self-organization). 该系统利用事件-势态估计-状态变化协调多 Agent 的结构组成,使其与外界环境变化一致. 文章详细讨论此结构的集成方案,通过仿真分析其特性.

**关键词** 自主智能机器人, 分布式多 Agent, 异质分布式计算, 公告板调度系统.

**中图法分类号** TP242

对环境变化作出准确推理和快速反应是自主智能机器人完成预期任务的关键,体系结构的首要任务是寻求两者之间的最佳折衷. 典型的体系结构有递阶分层式和包容式两种,但都存在缺点<sup>[1]</sup>. 分布式多 Agent 是人工智能中一个活跃的研究领域,本文提出一种基于分布式 Agent 的自组织体系结构 IRASO (intelligent robotic architecture with self-organization),作为自主式机器人的结构框架,IRASO 是分布式人工智能中的协作多 Agent 系统,Agent 相互协作产生不同的行为,响应不同的环境,公告板收集事件信号进行势态评估,作出总体决策和协调 Agent,从而对势态作出反应.

基于软件工程和系统集成的观点,分布式实时多 Agent 系统是一个分布式实时软件系统<sup>[2]</sup>. 软件代理 (software agent) 和面向对象技术的结合是分布式多 Agent 系统的新的解决方案<sup>[3]</sup>. 自组织结构 IRASO 中的每个 Agent 可以映射成计算机系统中的一个功能模块,形成完整运行的独立进程. 本文根据协作多 Agent 的特点提出了 IRASO 的集成环境,将不同的 Agent 组合成整个自主智能机器人,基于 TCP/IP 协议的连通域 Robix 为该环境的实现提供了一套强有力的工具.

## 1 自主智能机器人自组织结构 IRASO

自主智能机器人由感知、规划、决策行为等不同 Agent 组成,在全局知识的引导和监督下完成室外环境的驾驶任务. IRASO 将智能行为分布在 Agent 中,由其依据当前状态决定行为,并协作解决全局任务. 当前状态由公告板汇集 Agent 的事件信号,根据先验经验或知识模型作出精确推理而得到. Agent 在不同状态下采用不同的功能行为,公告板组织 Agent 形成不同的拓扑结构,因而系统结构根据环境改变动态重组,表现出自组织性.

IRASO 中存在着 3 类不同的消息. 第 1 类是描述周围物理对象的数据,它们依次被不同的 Agent 处理且只在 Agent 之间交换;第 2 类是 Agent 对结果数据简单描述或处理过程评价的事件信号,它们被编码成符号,提交给公告板;第 3 类为当前状态,是公告板对当前势态的评估结果,并广播给所有的 Agent. 系统存在数据流和信号流两个不同的信息/控制流,由对象数据组成的数据流形成感知-规划-行为的环路;由 Agent 与公告板之间的事件和当前状态组成的信号流形成状态-决策-行动的环路,后者是比前者更加高级的监控回路. 数据流和信号流的分开处理使得在 IRASO 中不存在通信瓶颈,提高了系统效率. IRASO 没有复杂的固定结构,但是同样

\* 作者朱森良,1946年生,教授,博士生导师,主要研究领域为人工智能,计算机视觉,智能机器人,体系结构. 张新晖,1970年生,博士,主要研究领域为分布式实时智能系统,智能机器人,体系结构. 王寻羽,1972年生,博士生,主要研究领域为分布式计算,计算机视觉. 唐文彬,1975年生,博士生,主要研究领域为人工智能,智能机器人.

本文通讯联系人:朱森良,杭州 310027,浙江大学人工智能研究所

本文 1998-12-30 收到原稿,1999-03-30 收到修改稿

能处理复杂的动态环境。

## 2 IRASO 的计算机集成方案

IRASO 中不同的 Agent 可以映射成运行在不同计算机平台上的软件模块,IRASO 的计算机支撑系统主要由 Unix 操作系统的工作站和使用 Windows 95/NT 的 PC 机组成。系统集成就是提供一个无缝的计算平台,使所有 Agent 工作在统一的异质分布式计算环境中,由基于 TCP/IP 协议的网络供 Agent 交换数据。IRASO 中除了不定期的对象数据、事件信号和当前状态之外,还有定位系统周期性发出的定位数据。为了平衡网络负载和减少冲突,流量较大的定位数据通过串行口 RS 232 直接实现点到点的通信。图 1 是 IRASO 的计算机集成系统方案示意图。图中显示了具体的 Agent 在计算机中的分布。

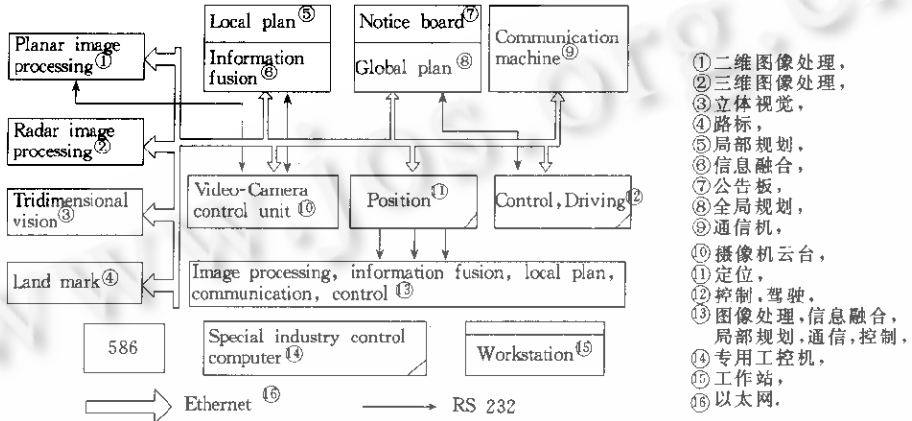


Fig.1 Sketch map of IRASO architecture computer integration system  
图1 IRASO体系结构计算机集成系统示意图

### 2.1 Robix 连通域

Robix 连通域是 IRASO 中消息传递的支持平台,用以完成 Agent 间透明的消息交换。它利用 TCP/IP 协议连接网络上的机器,通过接收和发送代理完成数据传输,同时提供应用层接口实现 Agent 的消息传递请求。Robix 集成所有计算机,为一多机平行处理连通域,Agent 不必关心其在连通域中的物理位置,能像在一个操作系统中一样自由通信、共享资源和接受统一调度。接收/发送代理是两个后台运行的进程,与应用接口层的数据交换通过共享内存完成。共享内存中主要包括接收缓冲器、进程表(Agent 表)信息、主机信息表等。进程表和主机信息表存放的主机 IP 地址及相应进程所在主机等信息是网络传输不可或缺的,其结构见表 1 和表 2。

Table 1 Process table

表 1 进程表

Indicate bit <sup>①</sup>	Process name <sup>②</sup>	The computer IP address <sup>③</sup>	Process PID <sup>④</sup>
0	FUSION	210.32.132.200	1039
1	...	...	...

①标志位,②进程名,③所在主机 IP 地址,④进程 PID。

Table 2 Computer table

表 2 主机表

Indicate bit <sup>①</sup>	Computer name <sup>②</sup>	The computer IP address <sup>③</sup>	Socket	Local
1	SGI	210.32.132.200	4	1
2	...	...	...	...

①标志位,②主机名,③所在主机 IP 地址。

接收/发送代理的工作原理简单描述如下:当发送代理发送消息时,首先取出目的方的进程名,然后根据目的名在进程表中找到其 IP 地址,在主机表中得到相应的 Socket,将其 Socket 送出.接收代理得到消息后直接将其放入接收缓存,若是异常消息则取出目的方进程名,通过进程名在进程表中找到其进程号,给相应的进程发中断信号,通知它读取信息.进程表和主机表在运行时从配置文件获取,通过对配置文件的修改可动态地改变系统配置及应用进程所在主机,使系统灵活、方便,适用于 IRASO 结构.

### 2.2 Agent

Agent 是具有自己的知识模型和 I/O 系统的特定领域问题求解单元,工作在计算环境中,相当于一个独立进程.Agent 可以是简单的设备驱动器,也可以是复杂的专家系统,具备多种功能,可以处理不同的势态,能柔性地改变与其他 Agent 的 I/O 连接. IRASO 中的 Agent 模型包含 3 个部分:内核、I/O 端口和“开关”.内核含有特殊的功能函数库或知识库.I/O 端口是与其他 Agent 互换消息的软连接通道.“开关”接收公告板的当前状态,选择内核功能和建立 I/O 通道,其工作模型是简单的查表或状态自动机. Agent 一般按如下方式工作:首先从公告板得到当前状态,并由“开关”作出决策,选择内核功能和 I/O 通道,内核处理从输入通道来的数据,并把结果输出到相应的输出通道,同时分析处理结果,将评价作为事件报告给公告板.

### 2.3 公告板调度系统

IRASO 采用分布式平行处理,公告板仅是信息中心而不是控制中心.它完成如下功能:(1) 收集各个 Agent 所发生的事件,进行总体评估;(2) 向 Agent 提供全局性数据/知识;(3) 执行总体导航模型,控制 Agent 的工作方式和安排工作回路.

公告板调度系统基于离散事件系统(DES)模型<sup>[4]</sup>,是采用基于产生式规则的实时推理系统 ROPS 作为工具开发的小型专家系统,由知识库(规则库)、事实库和推理机 3 部分组成.公告板监视器将 Agent 产生的事件信号送入事实库,激发推理机进行实时推理和决策,形成总体状态,通过监视器发往各 Agent.规则库中的规则主要由状态转换规则、错误诊断及处理规则、流水线调度规则等 3 种规则组成.状态转换规则根据事件改变系统的总体状态.错误诊断及处理规则主要是处理各种异常或错误事件的发生.流水线调度规则负责协调各个 Agent 之间的协作运行.规则库和推理机相互独立,对调度策略的修改和完善只需修改或增加知识库中的规则,不必对推理机作任何改动.

## 3 系统仿真与分析

IRASO 的系统集成已经通过了实验室仿真试验.仿真试验由一台 Sun Sparc 工作站、一台 SGI 工作站和多台 586PC 机组成,利用 SOCKET 把 Unix 和 Windows 95/NT 统一成 TCP/IP 级的 Robix 连通域.设计了道路特征检测、激光扫描仪、信息融合、全局规划、局部规划、驾驶控制和虚拟车辆等 Agent,分别完成道路形状、障碍检测、环境描述、路径规划、轨道设计、驾驶指令和车辆模拟等子任务.同时,有一监测 Agent 实时采集其他 Agent 的处理结果,供结果分析时使用.仿真在虚拟道路网上进行,除了全局规划存有道路网的拓扑描述之外,其他 Agent 对地图一无所知.导航是根据道路特征检测和激光扫描仪两个 Agent 看到的前方一段道路,经过局部规划和驾驶控制沿着道路前进,遇到障碍、弯道、分叉等环境变化时,由公告板根据事件-状态协调模型进行推理,改变当前状态,在分叉时由全局规划提供“左转”、“右转”线索.

仿真结果表明,IRASO 结构在智能性和实时性两方面都达到了预期效果,该结构显示了智能的可分布、可灵活组合等特点,使机器人的智能和实时反应能力均得到很大的提高.

## 4 结 论

IRASO 的计算机集成环境是一个可扩充的、具有一定编程模式的分布式开发环境,Agent 的研究和改进可以单独进行,很容易加入新的算法和策略. Robix 是 IRASO 集成的基础,它使得不同计算机上的 Agent 能够在统一的网络环境下平行工作、紧密配合、灵活调度.仿真结果表明,IRASO 体系结构和计算机集成环境可以很方便地移植到实际的自主智能机器人项目中去.

## 参考文献

- 1 Xu H, Brussel H V. A behavior-based blackboard architecture for reactive and efficient task execution of an autonomous robot. *Robotics and Autonomous Systems*, 1997, 22(3):115~132
- 2 Wu Chun-ming, Zhang You-jun, Zhu Miao-liang. Environment for autonomous mobile robot in a distributed system. *Journal of Software*, 1997, 8(10):793~797  
(吴春明, 张友军, 朱森良. 分布式自主移动机器人集成环境. *软件学报*, 1997, 8(10):793~797)
- 3 Genesereth M R, Ketchpel S P. Software agents. *Communication of the ACM*, 1994, 37(7):48~53
- 4 Ramadge P J, Wonham W M. Supervisory control of a class of discrete event processes. *SIAM Journal of Control and Optimization*, 1987, 25(1):206~230

## A Computer Integration System for Autonomous Intelligent Robot with Self-Organization Structure

ZHU Miao-liang ZHANG Xin-hui WANG Xun-yu TANG Wen-bin

(Artificial Intelligence Institute Zhejiang University Hangzhou 310027)

**Abstract** In this paper, based on multi-agent, a task-oriented self-organization architecture IRASO (intelligent robotic architecture with self-organization) is proposed. Using the coordination model “event-situation-state”, it can adjust the collaboration of Agents to respond to the change of environment. The computer system which realizes the architecture is discussed in detail. System characteristic is analyzed through simulation.

**Key words** Autonomous intelligent robot, distributed multi-agent, heterogeneus distributed computing, notice board coordination system.