

分布式微机电系统的多主体控制

曲大成¹, 高世桥², 刘玉树¹

(1. 北京理工大学信息科学技术学院 北京 海淀区 100081; 2. 北京理工大学机电工程学院 北京 海淀区 100081)

【摘要】分析了分布式微机电系统特点,对基于多主体控制的分布式微机电系统构成进行了研究,提出了采用多主体技术实现分布式MEMS控制的框架。对系统的模型、微机电主体的结构、行为策略进行了形式化表示,给出了控制算法,并在此基础上开发了原型系统。

关键词 微机电系统; 多主体控制; 行为决策
中图分类号 TP393 **文献标识码** A

Multi-Agent Control for Distributed MEMS

QU Da-cheng¹, GAO Shi-qiao², LIU Yu-shu¹

(1. School of Computer Science and Technology, Beijing Institute of Technology Haidian Beijing 100081;
2. School of Mechatronics Engineering, Beijing Institute of Technology Haidian Beijing 100081)

Abstract This paper analyzes the characteristics of distributed Micro Electromechanical System (MEMS) and studies components of MEMS based on multi-agent technology. Then, the control architecture of distributed MEMS designed with multi-agent technology is presented. The system model, structure of micro electromechanical agent, and behavior decision are expressed in formal approach. An algorithm is developed for the controlling the behavior decision and production in distributed real-time MEMS. And a prototype system is realized based on the algorithm.

Key words micro electromechanical system; multi-agent system; behavior decision

近年来,应用多主体系统(Multi-Agent System, MAS)技术于分布式系统控制受到了来自计算机、自动控制、机电工程、人工智能领域研究者的重视。文献[1]采用包容(Subsumption)结构和仿生学设计了大量自治、移动、具有群体行为的机器人。文献[2]将多主体技术应用于城市智能交通管理,通过多个基于知识的监测传感器主体的协作,采用TRYSA₂结构控制城市交通的流量。文献[3]应用多主体组织理论,以辖区(Sector)为单位,研究了针对车辆的分布式实时跟踪系统。文献[4-6]在多主体理论及形式化方面开展了工作。上述研究均采用多主体技术研究了大尺度分布式系统的控制理论和方法。

微机电系统(MicroElectroMechanical System, MEMS)是指将微结构的传感技术、微电子控制技术、自动技术集成于一体,形成具有“传感-计算(控制)-执行”功能的智能微结构或系统^[7]。

目前,关于多主体系统与MEMS控制之间的相关研究较少,仅文献[7]采用多主体组织理论对分布式智能材料的弹性力学特性进行过研究。应用多主体技术于分布式MEMS控制,不仅涉及MEM器件与环境之间信息、能量的交换,更关系到分布式MEM器件的自治、自主协调、鲁棒性控制^[9-11],需要新的体制来研究和设计主体和MEM器件的关系。本文提出了应用多主体技术实现分布式微机电系统实时控制的系统框架。

1 分布式微机电主体结构

主体侧重软件逻辑, MEM器件侧重硬件逻辑。二者的共同特点是能够感知外界环境,经过计算后,产生相应行为作用于环境。MEMS是借助于微加工技术,利用集成电路工艺制造的智能微装置或系统,如果赋予其主体的自治性、反应性、社会性等特点,将产生出体积微小、结构完整、功能一致/各异的微机电主

收稿日期: 2004-10-13

基金项目: 国防科研基金资助项目

作者简介: 曲大成(1974-), 男, 助研, 博士, 主要从事人工智能、微机电系统方面的研究。

体(MEM-Agent, MA)。本文提出的分布式MEMS就是由这样一些具有自治、协作功能的MA构成。一个分布式微机电主体系统的构成定义如下:

- (1) 具有一定空间范围的环境及环境的状态表示;
- (2) 处于环境中并能与环境进行交互的MEM传感器和执行器。每个MEM传感器和(或)执行器构成一个

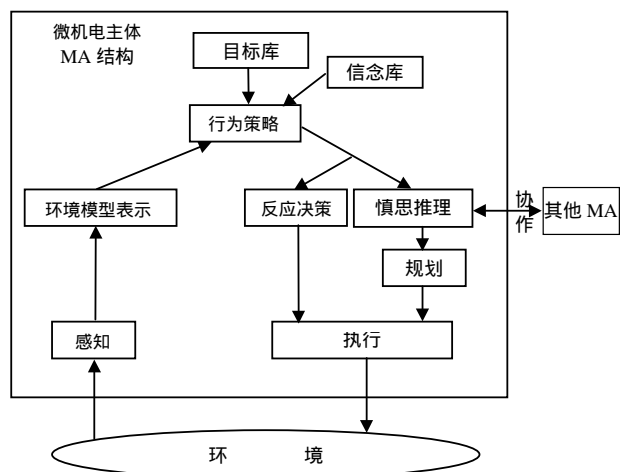


图1 微机电主体MA结构示意图

具有实体自治功能的微机电主体MA。MA感知环境信息的变化,并在目标驱动下执行动作,对环境做出响应;

- (3) 分布式系统所需完成的全局性目标以及每个MA所要达到的局部目标;

(4) MA的一组行为集合及行为策略。针对问题的复杂程度及实时响应的要求,MA采取不同的响应行为。对于紧急的、MA有能力完成的任务,可采用反应式行为;对于非紧急的、MA没有足够把握和经验完成的任务,MA可通过慎思推理产生相应行为规划并执行;因任务紧迫、能力不足等原因,MA要通过移交或与其他MA协作以实现局部或全局目标;

- (5) 构成环境状态和MA内部状态的一组信念

集。环境状态的变化决定了主体的信念,而信念与目标之间的联合决定了MA的行为规划;

- (6) MA之间相互通信的语言及规范。

上述定义所描述的MA是一个模块化、层次化的结构,如图1所示。与常规的分布式控制系统有所不同,MA本身就是一个高度集成的具有“传感-执行-控制”功能的自治系统,其控制功能兼具感知处理、行为推理、反应行为、慎思行为、交互行为、规划生成、动作执行等。

2 分布式MA的形式化表示

2.1 分布式MA系统环境模型

分布式微机电主体系统的环境模型 $M = \langle E, M_A, G, A_c, \tau \rangle$ 。其中, $E = \{\varepsilon_0, \varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_E\}$ 是环境集合,集合中的元素是由一组表示环境的瞬间状态组成, ε_0 和 ε_E 分别表示初始和终止状态; $M_A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ 为 n 个微机电主体构成的集合,在不同的应用中, M_A 可能是同质的,也可能是异质的; $G = \{G_1, G_2, \dots, G_m\}$ 表示微机电主体集合要实现的全局目标是由若干个子目标构成,且 $G \subseteq E \times E$, 目标是由设计者所期望的环境状态来表示; A_c 是一组行为集合,表示 M_A 在不同环境状态下根据信念可能采取的行为; 状态转移函数 $\tau: E \times M_A \times A_c \rightarrow E$, τ 为环境中因MA执行相应动作而导致环境状态的变化。

2.2 MA结构模型

微机电主体MA的结构模型 $M_{A_i} = \langle G_i, B_i, A_{c_i}, C_i, S_i \rangle$ 。其中, $G_i = \{g_1, g_2, \dots, g_m\}$ 是 M_{A_i} 将要实现的局部目标集合,表示为在时间约束条件下主体的行为动机,全局目标 G 与分布式MA局部目标之间存在关系 $G \subseteq \bigcup_{a_i \in M_A} G_i$; B_i 为主体 M_{A_i} 在当前状态下对环境的信念, B_i 为环境的状态信息, $B_i \subseteq E \times E$; 主体 M_{A_i} 的信念更新为 $B_i \times p_i \rightarrow B_i$, 其中 p_i 为主体 M_{A_i} 对当前环境状态的感知; C_i 为 $E \times M_{A_i} \times A_{c_i} \rightarrow \{0,1\}$, 是 M_{A_i} 的能力估价函数,表示 M_{A_i} 当前环境状态及时间约束条件下是否能完成动作 A_{c_i} ; S_i 是行为选择函数, $S_i: G_i \times B_i \rightarrow A_{c_i}$, 决定了主体 M_{A_i} 在当前状态环境下根据目标和信念所采取的动作。

2.3 MA行为策略模型

在环境中,微机电主体MA根据任务的紧迫性以及响应时间来决定采取反应式行为还是慎思式行为,或与其他MA进行协作。 M_{A_i} 在实时环境下根据局部及全局目标所确定的行为 $A_{c_{ij}}$ 可表示成如下结构:

$A_{c_{ij}} = \langle A_{c_{rec}}, f_{A_{c_{rec}}}, A_{c_{del}}, f_{A_{c_{del}}}, B_{ij}, S_j, D_j \rangle$ 。其中, $A_{c_{rec}}$ 是 M_{A_i} 的一组反应式行为集合; $A_{c_{rec}} = \{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_m\}$;

$f_{A_{crec}} : B_{ij} \times (S_j, D_j) \rightarrow A_{crec}$ 是反应式行为选择函数, 描述在时间约束条件下将被 M_{A_i} 执行的反应式动作; $B_{ij} \subset B_i$, 是 M_{A_i} 的内部状态和关于环境的信念表示; B_{ij} 是主体 M_{A_i} 所拥有的信念集合 B_i 的子集; $A_{c_{del}}$ 是 M_{A_i} 的一组慎思式行为集合; $A_{c_{del}} = \{\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_m\}$; $f_{A_{c_{del}}} : B_{ij} \times (S_j, D_j) \rightarrow A_{c_{del}}$ 是慎思式行为选择函数, 描述了在时间约束条件下将被 M_{A_i} 执行的慎思型动作; S_j 表示 M_{A_i} 将要执行动作的起始时间, 根据任务实时性及时序性的要求, M_{A_i} 不能先于该时间执行动作; D_j 表示 M_{A_i} 执行动作所不能超过的最大时间间隔, 否则要么是环境状态已发生变化, 要么是主体执行动作的失败。

3 控制策略和原型系统

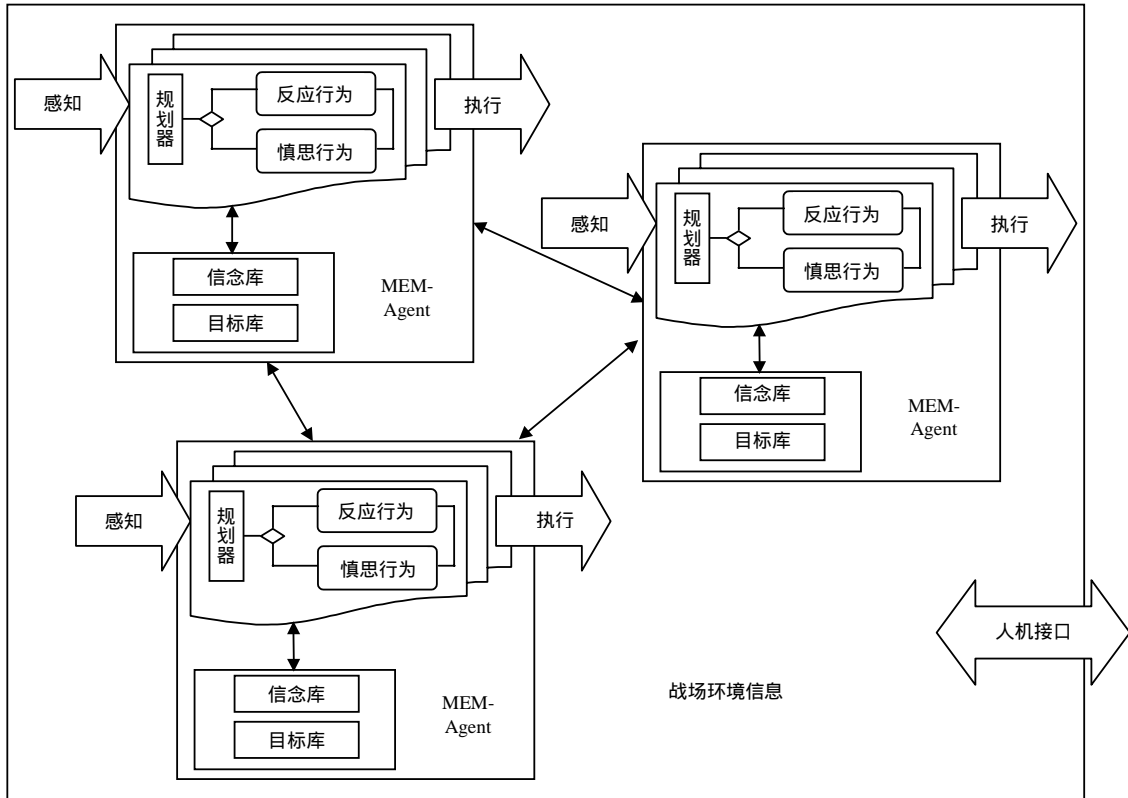


图2 分布式微机电主体原型系统

关于分布式MA的形式化表示是一个模块化、层次化的智能决策结构模型, 根据该模型可产生以下行为决策和控制策略, 算法描述了从环境的初始状态开始, MA感知环境并规划实时行为策略的过程:

- (1) $\varepsilon \leftarrow \varepsilon_0; B \leftarrow B_0$ /*信念初始状态和环境初始状态赋值*/
- (2) M_{A_i} 通过相应的传感器感知环境状态;
- (3) 如果感知到环境的终止状态($p = \varepsilon_E$), 终止退出;
- (4) 通过 $B_i \leftarrow B_i \times p$ 更新信念;
- (5) 在当前环境状态 ε 下找到当前要实现的局部目标 $g_{ij} \in G_i$;
- (6) 应用行为选择函数 $S: A_{c_i} \leftarrow g_{ij} \times B_i$ 选择合适的动作;
- (7) if $C_i \leftarrow \varepsilon \times M_{A_i} \times A_{c_i}$ then /* MA_i 能完成此项任务 */
 - if $A_{c_i} \in A_{crec}$ and time satisfy ($S_j D_j$)
 - $A_{c_{ij}} \leftarrow B_{ij} \times \text{time}; \text{execute}(A_{c_{ij}})$ /*应用反应式行为产生函数, 并执行动作*/
 - else $A_{c_{ij}} \in A_{c_{del}}$ and time satisfy ($S_j D_j$)
 - $A_{c_{ij}} \leftarrow B_{ij} \times \text{time}$ /*应用慎思式行为产生函数*/
- $\pi \leftarrow \text{plan}(B_{ij}, g_{ij}, A_{c_{ij}}); \text{execute}(\pi)$ /*产生行为规划, 并执行规划*/

end-if

else M_{A_i} 不能完成此项任务, 通知其他主体协作

(8) 跳转到第(2)步。

将算法应用到野战辅助决策中, 开发了一个分布式微机电主体原型系统, 如图2所示, 验证微机电主体的设计并模拟行为决策过程。在该系统中, 众多的分布式微机电主体MA代表了具有独立功能的侦察器或作战器, 具备感知、执行、目标、信念、反应式和慎思式行为规划等功能。原型系统中包括了15个微机电主体, 以赋予信念、目标等属性的对象来表示。功能包括目标感知、地形分析、跟踪、态势估计、寻求联盟、实施打击等。环境库包括了双方状态、部署强弱、地形等信息。信念库用来表示微机电主体对外部环境的信念, 由信念集和多个信念状态组成。信念库的初始状态是环境库的子集, 随着微机电主体对外部环境的动态感知而不断发生变化。目标库包含了微机电主体所执行任务的目标集合, 信念库与目标库不断进行比较, 并通过规划器产生相应的实时行为策略, 取得了预期的设计效果。

4 结论和未来工作

本文提出的采用多主体技术对分布式MEMS进行控制, 融主体的自治性、社会性等特点于MEMS的设计中, 将为分布式MEMS的控制提供了一种新颖的设计思路。由于微机电器件系统尺寸的限制和实时响应的要求, 单个主体的慎思规划推理通常不超过7步, 满足灵巧、智能的要求。进一步的工作包括协调多个微机电主体之间的任务态势评估和行为决策, 分布式MEMS的组织结构及组织运用等。

参 考 文 献

- [1] Brooks R. The relationship between matter and life[J]. *Nature*, 2001, 409: 409-411.
- [2] Ossowski S. Co-ordination in artificial agent societies: Social structure and its implications for autonomous problem-solving agents[M]. German: Springer, 1999.
- [3] Bryan H, Roger M. Using autonomy, organizational design and negotiation in a distributed sensor network[R]. *Distributed Sensor Network: A Multiagent Perspective*, Kluwer Academic Publisher, 2003: 139-183.
- [4] Wooldridge M. An introduction of multiagent system[M]. Wiley: John Wiley & Sons Ltd, 2002.
- [5] 朱 娟, 刘玉树. 基于多主体的智能决策系统构建方法[J]. *北京理工大学学报*, 2001, 21(1): 6-10.
- [6] Julian V, Carrascosa C, Rebollo M, et al. SIMBA: An approach for real-time multi-agent system[C]// *CCIA 2002*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2002, LNAI 2504, 282-293.
- [7] 高世桥, 曲大成. 微机电系统(MEMS)技术的研究与应用[J]. *科技导报*, 2004, 4: 17-21.
- [8] Hogg T, Bernardo A H. Controlling smart matter[J]. *Journal of Smart Matters and Structure*, 1998, 7: R1-R14.
- [9] 曲大成, 刘玉树, 高世桥. 分布式微机电主体系统中的联盟形成[J]. *计算机应用*, 2004, 24: 306-308.
- [10] 曲大成, 刘玉树. 一种分布式微机电主体系统(DMAS)设计[J]. *北京理工大学学报*, 2005, 25(10): 890-894.
- [11] 曲大成, 刘玉树. 群智能系统中的突现(Emergence)和混沌控制[J]. *计算机应用研究*, 2005, 22: 26-28.

编 辑 漆 蓉