

自主机器人的单元结构*

林怡青

(广东工业大学机械系·广州, 510643) (华南理工大学自动控制工程系·广州, 510640)

毛宗源 周其节

TP242.6

摘要: 以离散事件动态系统的监控理论为指导, 以运行于分布式多智能体系统框架下的运动规划系统为例研究了自主机器人的单元结构, 提出并论证了满足能控性和一致性条件的一种运行结构并对原型程序的运行结果进行了分析

关键词: 机器人系统结构; 多智能体系统; 离散事件动态系统

文献标识码: A

自主机器人 单元结构 智能体 离散事件系统

Structure of the Functional Unit for Autonomous Robots

LIN Yiqing

(Department of Mechanical Engineering, Guangdong University of Technology · Guangzhou, 510643, P. R. China)

MAO Zongyuan and ZHOU Qijie

(Department of Automatic Control Engineering, South China University of Science and Technology · Guangzhou, 510640, P. R. China)

Abstract: The architecture of the functional unit of autonomous robots running under the framework of distributed multi-agent system is analyzed with the motion planner as an example. The supervisor theory of DEDES is used in this study. Controllability and consistency of the proposed architecture is proved and the running of the prototype analyzed.

Key words: robot architecture; multi-agent system; DEDES

1 引言 (Introduction)

智能机器人具有丰富的感知能力、决策能力和适应能力。这些能力需要附着于某种载体, 依赖某种系统结构来实现。近年提出的比较有代表性的结构模型有组织-协调-执行模型、包容模型、三脊梯模型、环递阶模型以及多智能体 (multi-agent) 模型。这些模型都具有各自最适合的使用场合。对于要实现较高级功能的自主机器人来讲, 多智能体模型是最具潜力的。机器人领域中, 对多智能体模型的研究目前比较集中在多个机器人协同工作的场合^[1], 而对于机器人本体建模的研究报导比较少。文献[2]研究了基于分布式问题求解理论的由若干 agent 组成的视觉系统在时间受限情况下的实时控制问题。本文将要以运动规划器为例讨论基于离散事件动态系统理论的, 运行于多智能体系统框架下的自主机器人功能单元的运行结构。

为便于叙述, 仅讨论自主机器人的四个主要的功能单元 (agent), 分别是任务规划器、视觉处理器、运动规划器和行走驱动器。agent 之间通过发布和响应消息进行协作。在非结构化环境中, 消息的产生、发布和

响应是随机的离散事件, 这些 agent 的运行构成一个离散事件动态系统 (DEDES), 用 G 表示。每一个 agent 尽管在下层可能涉及连续量的控制, 但是在上层构成了 G 的一个局部子系统。根据 DEDES 的基本理论, agent 的运行结构必须满足能控性、一致性及监控器存在性。本文将提出和论证一种能够满足这些要求的结构, 所引用的公式及符号请参考文献[3]。

2 基本结构 (Basic structure)

图 1(a) 是作者提出的基本运行结构, 状态集 $Q = \{A, B\}$ (A 为标识状态), 事件集 $\Sigma = \{a, b, c\}$, a 和 c 是能控事件, b 是不能控事件。文献[4]已经证明了这一结构是无阻塞的, 对于受控运动指标 $K = (ac^*b)^*$ 是能控的, 并存在相应的监控器。图 1(b) 是基本结构的并行扩展, 在状态 A 处并联若干分支, $\Sigma_c = \{a_1, a_2, \dots, a_n, c_1, c_2, \dots, c_n\}$, $\Sigma_u = \{b_1, b_2, \dots, b_n\}$ 。文献[4]已经证明了 $L_m(G_i) = K_i = (a_i c_i^* b_i)^*$ 对于 G_i 能控并存在无阻塞监控器 f_i 使得 $L(f_i/G_i) = K_i$ 。

3 分层结构 (Hierarchy structure)

图 2(a) 是在图 1(a) 的基本结构的状态 B 处串

* 基金项目: 广东省自然科学基金(940004)资助项目。

收稿日期: 1997-3-14; 收修改稿日期: 1999-11-23。

接另一基本结构而形成的两级递阶结构. 下层结构 $G_{lo} = (\{B, C\}, \{c, d, e\}, T_0, \delta, \omega, B, \{B\})$.

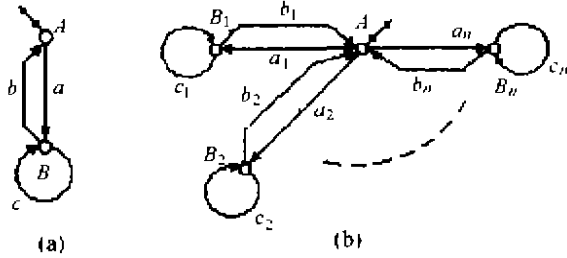


图1 基本结构
Fig. 1 Basic structure

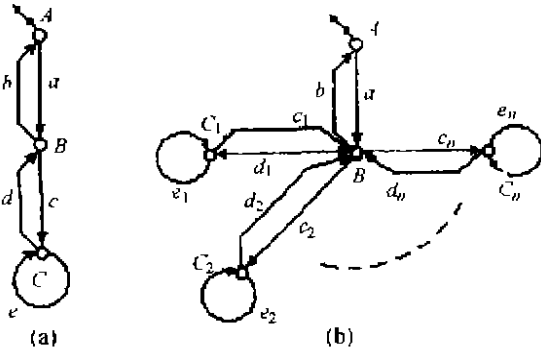


图2 多层结构
Fig. 2 Hierarchy structure

命题 3.1 对于图 2(a)的两级结构, 如果取 $T = \{\tau\} = T_c$, 以及输出映射

$$\omega(\epsilon) = \tau_0,$$

$$\omega(\epsilon\sigma) = \begin{cases} \tau_0, & \sigma = c \text{ or } \sigma = e, \\ \tau, & \sigma = d, \end{cases}$$

则 G_{lo} 输出控制一致.

证 引入 Σ^* 上的等价关系 $U = \{(s, s') \mid \omega(s) = \omega(s')\}$, 则 $L(G_{lo})$ 划分为等价类 $(ce^*d)^*ce^*$ 和 $(ce^*d)^*$. 对于等价类 $(ce^*d)^*ce^*$, $s = "(ce^*d)^*ce^*"$, 由于 $\omega(s) = \tau_0$, 不需考虑. 对于等价类 $(cd^*d)^*$, 有 $c \in \Sigma, e \in \Sigma, s = "(ce^*d)^*ce^*d"$, 满足 $\omega((ce^*d)^*ce^*) = \tau_0, \omega(s) = \tau$, 并且 $\tau \in T_c$, 存在 $c \in \Sigma_c$. 根据输出控制一致性定义^[3], G_{lo} 输出控制一致.

命题 3.2 图 2(a)的串行扩展结构如果满足命题 3.1, 并且取 $K_{hi} = L_m(G_{hi})$, 则 K_{hi} 对于 G_{hi} 能控 (下标 hi 表示上层结构).

证 由题目条件, $L(G_{hi}) = (a\tau^*b)^*(a\tau^* + \epsilon)$, $K_{hi} = (a\tau^*b)^*$, 能控事件集 $\Sigma_{huc} = \{a, \tau\}$, 不能控事件集 $\Sigma_{huu} = \{b\}$. 按照等价关系 $R = \{(s, s') \mid q(s) = q(s')\}$ 把 $\overline{K_{hi}}$ 划分为等价类 $(a\tau^*b)^*$ 和等价类 $(a\tau^*b)a\tau^*$. 对于等价类 $(a\tau^*b)^*$,

$(a\tau^*b)^*b \cap L(G_{hi}) = \Phi$; 对于等价类 $(a\tau^*b)^*a\tau^*$, $(a\tau^*b)^*a\tau^*b \cap L(G_{hi}) \subseteq \overline{K_{hi}}$. 根据能控性定义^[3], K_{hi} 对于 G_{hi} 能控.

命题 3.3 并行扩展结构如果满足 a_i 与 $a_j (i \neq j)$ 互斥的约束, 并取 $T = \{\tau_i, i = 1, 2, \dots, n = T_c$, 以及

$$\omega(\epsilon) = \tau_0,$$

$$\omega(\epsilon\sigma) = \begin{cases} \tau_0, & \sigma = c_i \text{ or } \sigma = e_i, \\ \tau_i, & \sigma = d_i, \end{cases} \quad i = 1, 2, \dots, n.$$

则并行扩展结构作为串行扩展的低级结构时(图 2(b)), 系统满足一致性条件.

证 下层系统的第 i 个基本结构包含事件 $\Sigma_i = \{c_i, d_i, e_i\}$. 定义集合 $I_n = \{1, 2, \dots, n\}$. 当满足上述约束条件时, 并行扩展结构作为下层系统, 其标识运行特征 $L_m(G_{lo})$ 中的字串具有 $s = (s_i)^* (i \in I_n)$ 的形式, 其中 $s_i = "c_i e_i^* d_i"$ ($i \in I_n$). 而 $L(G_{lo})$ 按照等价关系 U 划分为等价类 $(s_i)^* c_j e_j^* (i, j \in I_n)$ 和等价类 $(s_i)^* (i \in I_n)$. 对于等价类 $(s_i)^* c_j e_j^*$, $s = (s_i)^* c_j e_j^*$, $\omega(s) = \tau_0$, 仅需考虑等价类 $(s_i)^*$. 对于等价类 $(s_i)^* (i \in I_n)$, 有 $c_i \in \Sigma, e_i \in \Sigma, s = "(s_i)^* c_j e_j^* d_j"$, 满足 $\omega((s_i)^* c_j e_j^*) = \tau_0, \omega(s) = \tau_j$, 并且对于 $\tau_j \in T_c$, 存在 $c_j \in \Sigma_c$. 根据输出控制一致性定义^[3], G_{lo} 输出控制一致.

采用类似命题 3.2 的方法可进一步证明, 若取 $K_{hi} = L_m(G_{hi}), K_{hi}$ 对于 G_{hi} 能控.

可以证明, 以上两种分层结构存在使 $L(f_{hi}/G_{hi}) = K_{hi}$ 的监控器 f_{hi} . 以上讨论可以推广至由基本结构和并行扩展结构经有限次串行叠加所构成的多层结构^[5]. 这种多层结构作为 agent 的上层运行结构能够满足能控性、一致性和监控器存在性要求.

4 系统设计及运行分析(Design and analysis)

采用上述多层结构为机器人单元的运行结构编制了机器人运动规划系统, 全局事件如下. α : 任务单元发出“暂停”消息; β : 任务单元发出“启动”消息; γ : 任务单元发出“撤销当前任务”消息; μ : 任务单元发出“删除目标”消息; η : 任务单元发出“增加目标”消息; δ : 视觉单元发出“发现新障碍物”消息; θ : 视觉单元发出“障碍物消失”消息; ζ : 驱动单元发出“到达目标”消息. 在 Novell 网上四台工作站分别运行任务规划器、视觉处理器、运动规划器和行走驱动器原型程序. 图 3 为某次运行运动规划器的可

视觉输出,事件串为: $\alpha \eta \eta \eta \eta \eta \eta \eta \eta \delta \beta \zeta \delta \delta \delta \delta \zeta \mu \delta \zeta \mu \zeta \theta \eta \zeta$. 动态过程为: 1) 新任务到达,任务单元通报事件 α ; 2) 该项任务由 T_0 和六个目标 T_1 至 T_6 组成,任务单元通报事件 $\eta \eta \eta \eta \eta \eta \eta$; 3) 视觉单元发现障碍物 O_1 ,通报事件 δ ; 4) 任务单元通报事件 β ,规划单元和驱动单元同时启动; 5) 规划单元产生从 T_0 至 T_1 的一条轨迹; 6) 驱动单元到达 T_1 并通报事件 ζ ; 7) 正当规划单元从 T_1 向 T_2 进行规划时,视觉单元发现新障碍物 O_2 并通报事件 δ ; 8) 规划单元从 x_1 向 T_2 重新规划该段轨迹……余下情况类似分析,经历了任务变化(T_3, T_5 被删除,新增 T_7),新障碍物 O_3 至 O_6 相断出现并 O_4 消失等过程,最后完成所有的任务,停留在 T_7 .

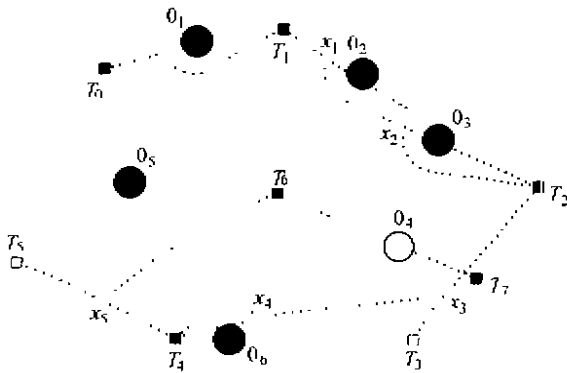


图3 规划过程

Fig. 3 Planning process

5 结束语(Conclusion)

本文提出和论证了分布式多智能体系统框架下自主机器人的一种运行结构,进行了功能单元运行

结构的设计. 原型系统的运行检验了该结构的能控性、一致性以及监控器设计的正确有效. 实际上,由于这些结构与具体系统无关,也可以用于类似的其他复杂系统. 要完整地解决自主机器人功能单元的设计问题,还需要研究系统的集成方式、各种运行指标的实现、系统约束的实现、连续功能的中断与恢复以及监控器的设计等问题,将另文讨论.

参考文献(References)

- [1] 谈大龙,黄閃,李淑华. 分布自主协作式的多机器人系统研究[J]. 机器人,1996, 18(6): 338-343
- [2] Lane D M, Mcfadzean A G. Distributed problem solving and real-time mechanisms in robot architectures[J]. Engineering Application Artificial Intelligence,1994, 7(2): 105-117
- [3] Peter J G, Ramadge, W. Murray wonham. The control of discrete Event Systems[J]. Proceedings of the IEEE, 1989, 77(1): 81-97
- [4] 林怡青,毛宗源,周其节. 自主机器人的分布式结构[J]. 暨南大学学报,1998, 19(1): 55-59
- [5] 林怡青. 自主机器人分布式结构及运动规划[D]. 广州:华南理工大学,1998

本文作者简介

林怡青 1951年生,1982年毕业于华南理工大学机械工程系,1998年毕业于华南理工大学自动控制工程系,获博士学位. 现任广东工业大学副教授. 研究方向为机器人,复杂系统的计算机控制.

毛宗源 1936年生,1962年毕业于大连工学院,现为华南理工大学自动控制工程系教授,博士生导师. 研究兴趣:工业自动化,智能控制.

周其节 1930年生,1955年哈尔滨工业大学研究生毕业,现为华南理工大学自动化系教授,博士生导师. 主要研究领域:非线性系统理论,自适应控制,变结构系统及机器人控制. 发表论文60余篇.