

基于层次 Petri 网的多主体系统分析

赵 艳, 郭 娟

(安徽理工大学 计算机科学与工程学院, 安徽 淮南 232001)

摘 要:对多主体系统进行准确的描述和分析是保证多主体系统顺利进行的关键因素之一。将主体的动作分为内部动作和外部动作,主体的内部动作通过 petri 网系统进行描述,进一步得到多主体系统的层次 petri 网系统。提出了多系统的目标计划生成算法,该算法实质是将主体的内部动作作用变迁元素替代,得出替代后的多主体系统的层次 petri 网的可达标识图,进而可以得出多主体系统的目标计划。通过利用变迁元素替代主体的内部动作,可以有效地减小状态空间爆炸问题。

关键词:多主体系统;层次 petri 网;可达标识图;目标计划

中图分类号:TP311

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2009)03-0025-03

Analysis of Multi-Agent System Based on Hierarchical Petri Nets

ZHAO Yan, GUO Juan

(Sch. of Computer Sci. and Eng., Anhui University of Science and Technology, Huainan 232001, China)

Abstract: The accurate analysis of multi-agent system is one of the key factors for the smoothly running of a multi-agent system. Agent has internal and external actions, each agent can be modeled with its petri net system and the multi-agent system described with its hierarchical petri nets system. An arithmetic of multi-agent system aim plan production is presented, the essence of this arithmetic to use transition elements to displace internal actions, reachability graph of displaced petri net is adopted and the aim plan of this multi-agent system is adopted. By using transition elements to displace internal actions, state-space explosion will be efficiently reduced.

Key words: multi-agent system; hierarchical petri nets; reachability graph; aim plan

0 引言

对多主体系统进行准确的描述和分析是保证多主体系统顺利进行的关键因素之一,而 petri 网^[1]作为系统模拟与分析的有效工具已经得到广泛应用,并且作为分析复杂系统的有效途径引起了人们的广泛关注。已经有很多的工作应用 petri 网来刻画多主体系统建模,通过多主体系统的 petri 网运行来描述各主体的动态变化^[2]。

为完成某个复杂的任务,若干不同的主体被组织在一起形成多主体系统,其中每个主体都不能单独地完成系统的任务,必须通过主体间的协作来共同完成系统的任务。每个主体在系统中充当的不同的角色,对系统任务的完成起着不同的作用。在完成各自子任务的过程中,主体通过其行为与所处的环境进行交互。主体的每个行为只有在其前置条件全满足的条件下才

可以发生,通过行为的后置条件说明主体行为对于环境的影响。一个主体行为的运行会改变另一个主体行为的前置条件而使其不能发生。多主体系统的运行伴随着系统状态的不断改变,通过多主体系统中的动作的运行来实现状态之间的转变,这是利用 petri 网对多主体系统进行描述和分析的主要原因。在文献[3]中对多主体系统中主体间的协作和协调进行模拟,并利用已有的高级 petri 网的分析方法和分析工具对多主体之间的并发、异步通信、冲突等进行分析;在文献[4]中利用谓词/变迁网建立了模拟逻辑主体移动的双层模型,对移动主体的环境和移动进行了模拟;文献[5]提出了利用层次 petri 网的可达标识图的方法得到多主体系统关于目标状态的可达动作序列的集合,对可行可达动作序列及其中动作间关系确定得到多主体系统的计划,但并没有给出多主体系统目标计划的具体生成问题。

文中利用层次 petri 网^[6]对多主体系统进行建模,提出了多系统的目标计划生成算法,该算法实质是将主体的内部动作作用一个变迁元素替代,得出替代后的多主体系统的层次 petri 网的可达标识图,进而得出多主体系统的目标计划。通过利用一个变迁元素替代主

收稿日期:2008-07-08

基金项目:国家自然科学基金(30570431);安徽省教育厅青年教师基金(2006JQ1077)

作者简介:赵 艳(1985-),女,安徽合肥人,硕士研究生,研究方向为系统性能分析;方贤文,副教授,博士,研究方向为 Petri 网及应用。

体的内部动作,可以有效地减小状态空间爆炸问题。

1 基本知识

多主体系统的运行伴随着系统状态的不断改变,而 petri 网作为系统模拟和分析的有效工具已经得到广泛应用,作为合成复杂系统的有效途径已经引起人们的高度注意。多主体系统中的动作可分为:

(1)主体动作:如果多主体中的某个动作是由主体执行的;

(2)系统动作:为了协调系统状态的改变,系统中的某个动作可能不是某个主体的动作,而是一种系统行为,称为系统动作。

与现实社会中的人类各种行为特点相对应,一个主体 Agent 具有两类动作:

1)主体的内部动作。类似于人类考虑如何求解一个问题的思考过程。主体首先根据其任务和目标及其所处环境,通过主体内部的知识推理对其行为进行规划以完成其任务和目标。这个过程是主体的某些内部动作运行的结果。主体 Agent 的内部动作集合记为:

$$\text{Agent_Internal_Act} = \{\text{Agent_I_act}_1, \dots, \text{Agent_I_act}_m\} (m \geq 1)$$

2)主体的外部动作。为了完成主体目标,主体总是通过一定的行为与其他主体和周围环境交互,此类行为是主体的外部行为,主体的外部行为是主体外部动作运行的结果。主体 Agent 的外部动作集合记为:

$$\text{Agent_External_Act} = \{\text{Agent_E_act}_1, \dots, \text{Agent_E_act}_n\} (n \geq 1)$$

单个主体 Agent 的内部结构 N_{in} 在系统中的其他主体看来是一个黑盒子,仅有接口元素和外部动作是外界可见的。主体根据其内部动作执行的结果选择执行具体的外部动作,故可将主体的内部动作用一个变迁元素 T_A 替代,简化了系统的复杂度。对 Agent 的内部 petri 网结构定义如下:

定义 1^[5] 主体 Agent 的内部 petri 网结构为 $N_{in} = (S_A, T_{in}, F_1)$,其中:

- (1) S_A 为 Agent 的内部元素,如主体的知识库、规则库等;
- (2) T_{in} 为 Agent 的内部动作的集合;
- (3) $F_1 \subseteq (S_A \times T_{in}) \cup (T_{in} \times S_A)$ 。

将主体与外界交互的接口元素与外部动作考虑在内,得到单个 Agent 的 petri 网结构如下:

定义 2^[5] 单个 Agent 的 petri 网结构为 $N = (S, T, F)$,其中:

- (1) $S = \{S_{in}, S_A, S_{out}\}$, S_{in} 和 S_{out} 分别代表主体接

收外界信息和主体向外界传送信息的接口元素, S_A 为主体的内部结构元素,例如主体的知识库等;

(2) $T = \{T_{in}, T_{ex}\}$, T_{in} 是主体内部动作的集合, T_{ex} 是主体外部动作的集合,显然 $T_{in} \cap T_{ex} = \emptyset$;

(3) $F \subseteq \{(S_{in} \times T_{in}) \cup F_1 \cup (S_{out} \times T_{ex})\}$ 。
 F_1 如定义 1。

处于某一状态 State 下的 Agent,可以通过其对应的 petri 网系统 (N, M) 进行描述,其中 M 对应于状态 State。在多主体系统中的单个 Agent 的 petri 网结构如下:

定义 3^[5] 在多主体系统中,单个 Agent 为五元组: $\text{Agent} = (S_{in}, T_A, S_{out}, T_{ex}, F_A)$,其中:

- (1) S_{in}, S_{out}, T_{ex} 如定义 2 中的定义;
- (2) T_A 为 Agent 的内部结构 N_{in} 的替代结构,作为变迁类元素;
- (3) $F_A = \{(S_{in} \times t_A) \cup (t_A \times S_{out}) \cup (S_{out} \times T_{ex})\}$ 。

假设多主体系统中含有的主体集合为 $SA = \{\text{Agent}_1, \dots, \text{Agent}_n\} (n \geq 1)$,主体 Agent_i 对应的 petri 网系统为:

$$\sum_i (N_i, M) \quad (i = 1, \dots, n)$$

$\{S_{in}, S_{out}, S_A, T_{in}, t_A, T_{ex}, F_A\} |_{\text{Agent}_i}$ 分别标记 $N_M = (S_M, T_M, F_M)$, Agent_i 的各种结构与动作。多主体系统的 Petri 网结构如下:

定义 4^[5] 多主体系统的 petri 网结构为:

- (1) $S_M = \{S_s, S_{in}, S_{out}\}$
 $S_{in} = \bigcup_{i=1}^n S_{in} | \text{Agent}_i, S_{out} = \bigcup_{i=1}^n S_{out} | \text{Agent}_i, S_s$ 为系统中其他库所元素,如系统中资源等;
- (2) $T_M = (T_s, T_A, T_{ex})$,其中:
 $T_A = \bigcup_{i=1}^n T_A | \text{Agent}_i, T_{ex} = \bigcup_{i=1}^n T_{ex} | \text{Agent}_i, T_s$ 为系统中其他变迁元素;
- (3) $F_M \subseteq (S_M \times T_M) \cup (T_M \times S_M)$ 。

与单个主体相同,处于某一状态 state 的多主体系统可以通过系统对应的 petri 网系统进行描述, state 对应于 \sum_M 中的标识 M 。

在多主体系统中往往要求在有限的时间内完成任务,因此文中约定多主体系统对应的层次 petri 网系统是有界 petri 网系统。

2 多主体系统的目标计划生成算法

对于有界 petri 网,由于其可达标识集 $R(M_0)$ 是一个有限集,因此可以以 $R(M_0)$ 作为顶点集,以标识之间的直接可达关系为弧集构成一个有向图,这种有

向图称为 petri 网的可达标识图。文中利用 petri 网的可达标识图的方法来分析多主体系统的目标计划生成问题。主体的内部动作类似于人类考虑如何求解一个问题的思考过程,所以可以将主体的内部动作看作一个整体,用一个变迁元素 T_A 替代,这样可以有效地减小状态空间爆炸问题。

多主体系统目标计划实质上就是从多主体系统的初始状态出发,能够到达其目标状态的某一动作序列 σ 。计划中动作的执行需要的资源和前置条件通过系统或主体的 petri 网系统的标识表示。多主体系统的开始运行时的状态为初始状态,对应于其层次 petri 网系统的初始标识 M_0 ,目标完成时多主体系统的状态通过层次 petri 网的目标标识 M^g 表示。

对于替代后的有界层次 petri 网系统,相对于原系统减少了库所和变迁的个数,从而有效地减小状态空间爆炸问题。对替代后的有界层次 petri 网系统,根据如下算法构造其可达图,并得出目标计划。

多主体系统的目标计划生成算法:

(1) 根结点 r 由 M_0 标注。

(2) 一个标注 M 的结点 x 是一个叶结点,那么对于所有 $x \in T_M: t$ 在 M 是可实施的或者在从 r 到 x 的路上存在一个结点 $y \neq x$,但结点 y 也是由 M 标注的。

(3) 如果一个标注 M 的结点 x 不是一个叶结点,那么对于所有 $x \in T_M$ 使得在 M 下可实施的 t 实施而产生一个新的结点 y ,且从 x 到 y 新产生的弧上标注 t 。 y 结点标注的标识 M' 可由 M_1 来计算, M_1 满足于 $M[t > M_1$, 且 $\forall s \in S_M, M'_1 = M(s) - W(s, t) + W(t, s)$ 。

(4) 将等价的结点重叠。

(5) 检索所有的叶结点,如果有与目标标识 M^g 等价的标识 M ,则目标计划生成;如果没有与目标标识 M^g 等价的标识 M ,说明需要调整多主体系统的初始

标识 M_0 或目标标识 M^g ,如果有必要,还要考虑调整整个系统中各个主体的初始状态。

根据生成的目标计划,可以有效地运行多主体系统以及对其进行分析和描述。多主体系统中也可能出现冲突问题,利用层次 petri 网对多主体系统进行分析也可以很容易地检测出可能出现的冲突,并能利用 petri 网中的相关方法消除冲突。

3 多主体系统的应用举例

下面以一个三主体系统为例来说明基于层次 petri 网的多主体系统的应用。

某人将外出参加一项国际性会议,在出发之前他首先要查询两地的行车时间,再选择乘坐的交通工具(火车或者飞机),成功订票后查询酒店信息再订房间。在查询火车票或者飞机票的过程中火车站或飞机场将接收到此人发出的查询信息并开始查询,查询结果将返回给此人。此系统用层次 petri 网建模见图 1。

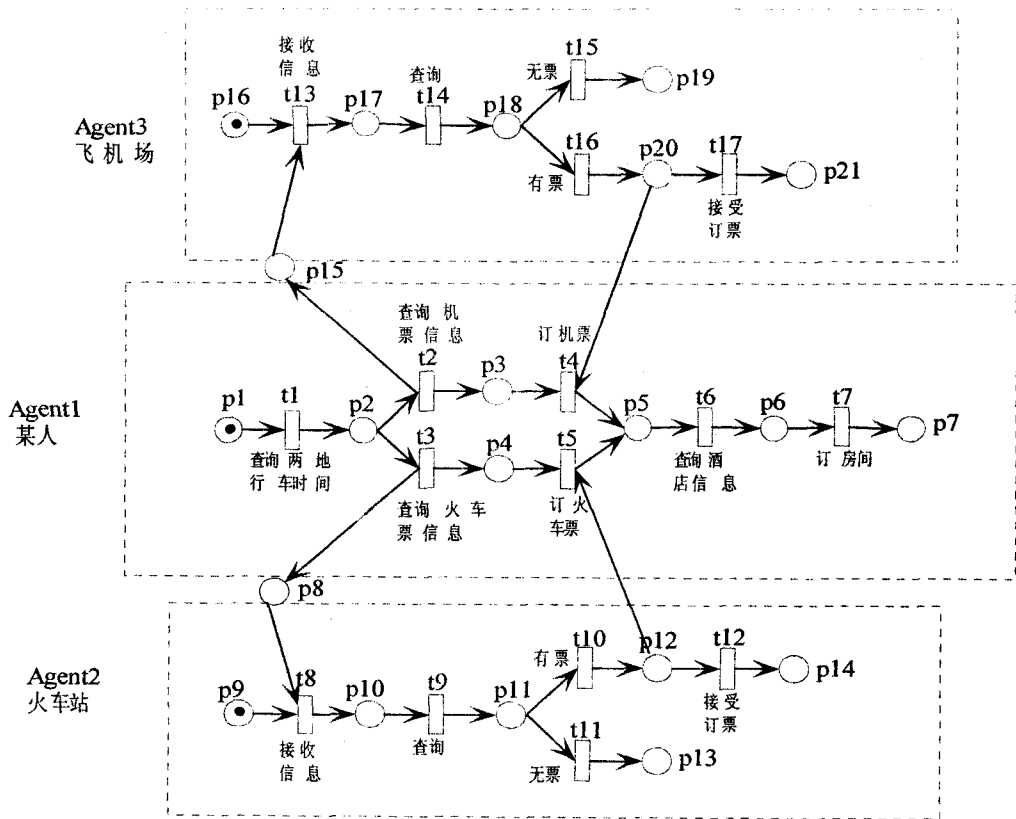


图 1 三主体系统的层次 petri 网

此多主体系统的目标即是成功预定火车票或者飞机票和成功预定酒店房间,在此三主体系统的层次 petri 网中的表现即目标标识 M^g 为 $(0,0,0,0,0,0,1)$ 。根据上面提出的多主体目标生成算法可以得出 Agent1 的可达图如图 2 所示。

择上有待进一步完善,从而得到更可信的模型参数。

表 1 无主包裹识别

HMM 识别	运动目标 A (帧 78-327)		运动目标 B (帧 59-281)		运动目标 C (帧 64-381)	
	概率	结果	概率	结果	概率	结果
无主包裹	0.714000	●	0.006667		0.593167	●
有主包裹	0.000733		0.612667	●	0.001733	

通过实验进一步验证了该研究方案的可行性,具有较高的准确性,但依然存在不足的是对个别的行为识别效率不高,需要对相关算法加以改进或采用更好的技术方法。对于实验数据也需要不断补充完善,以提高识别的效率和验证在不同环境中的有效性。

4 结束语

重点介绍了智能视频监控系统中监测与识别无主包裹的一个研究方案,主要介绍了利用隐马尔科夫模型实现对目标行为的分类与识别。

该方案还有很多需要改进的地方,如:针对不同环境的具体应用需要完善;针对一些复杂的情况需要对相关运算法则加以改进;在目标的分类上有待进一步的提高;另外,随着人工智能的发展,与其它生物特征识别方法结合起来进行多种特征融合,也是将来的发

展趋势。

参考文献:

- [1] Claudio S, Regazzoni C S. A distributed surveillance system for detection of abandoned objects in unmanned railway environments[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2000, 49:1-13.
- [2] Beynon M, Hook D, Seibert M, et al. Detecting abandoned packages in a Multi-camera video surveillance system[C]// Proceedings of the IEEE Conference on Advanced Video and Signal Based Surveillance. New York: IEEE, 2003:221-228.
- [3] Marcenaro L, Ferrari M, Marchesotti L. Multiple object tracking under heavy occlusion by using Kalman filters based on shape matching[C]// Proceedings of International Conference on Image Processing. New York: IEEE, 2002:341-344.
- [4] 万 琴, 王耀南. 基于卡尔曼滤波器的运动目标检测与跟踪[J]. 湖南大学学报:自然科学版, 2007, 34(3):36-40.
- [5] Rabiner L R, Juang B H. An introduction to hidden Markov models[J]. IEEE ASSP Mag, 1986, 3(1):4-16.
- [6] Yamato J, Ohya J, Ishii K. Recognizing human action in time-sequential images using hidden Markov model[C]// Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. New York: IEEE, 1992:379-385.

(上接第 27 页)

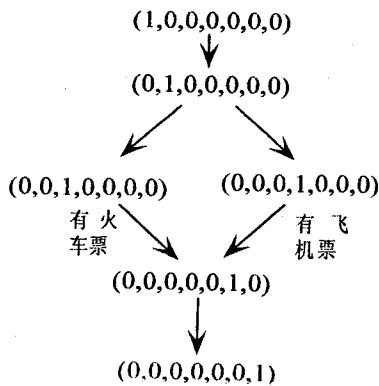


图 2 Agent₁ 的可达图

检索叶子结点,发现叶子结点的标识为(0,0,0,0,0,0,1),与目标标识 M⁰ 等价,此多主体系统目标计划生成。

4 结束语

将主体的动作概括为内部动作与外部动作,单个主体的内部动作通过其对于的 petri 网系统进行描述,进一步得到多主体系统的层次 petri 网系统。将主体的内部动作用一个变迁元素替代,根据给出的算法构

造出替代后的层次 petri 网的可达图,检索其可达图的叶子结点,如果有与目标标识等价,则目标计划生成。文中采用的方法与其他方法相比能有效地减小状态空间爆炸问题。下一步将考虑如何排除多主体系统中可能出现的冲突问题。

参考文献:

- [1] 袁崇义. petri 网原理[M]. 北京:电子工业出版社,1998.
- [2] 蒋昌俊. petri 网的行为理论及其应用[M]. 北京:高等教育出版社,2003.
- [3] Moldt D, Wienberg F. Mult Agent Systems Based on Colored Petri Nets[C]// Proceedings of the 18 International Conference, ICATPN. Toulouse, France: [s. n.], 1997.
- [4] Xu D, Volz R A, Ioerger T R, et al. Modeling and Verifying Multi-agent behaviors Using Predicate/Transition Nets [C]// Proc. of the 14th International Conference on Software Engineering and Knowledge Engineering. Italy: [s. n.], 2002.
- [5] 马炳先. 多主体行为冲突的 petri 网方法研究[J]. 计算机工程, 2006, 32(14):4-6.
- [6] 林 闯. 随机 petri 网和系统性能评价[M]. 北京:清华大学出版社,2005.