

一种扩展式动态环境演算范型的 Petri 网描述

曹玉辉^{1,2}, 王卫红², 覃征¹

(1. 西安交通大学电子与信息工程学院, 710049, 西安; 2. 河北经贸大学信息技术学院, 050061, 石家庄)

摘要: 为了以可视化的方式验证扩展式动态环境演算范型对移动协同中移动性和协作性的描述能力及描述语义的正确性, 提出了一种扩展式动态环境演算范型的 Petri 网描述(PND). 首先, 给出基本演算实体的 Petri 网表示, 用 Petri 网的顺序行为理论和并发行为理论中的变迁来表达任意动作, 用库所来表达任意动作前后的各种环境状态及其变量. 其次, 给出演算实体的各操作语义关系的 Petri 网表示, 并引入弧权重来刻画动作与其前后相关的环境、状态的相互作用关系. 最后, 引入了 Petri 网的合成理论, 用简单 Petri 网合成法来构造动态复杂环境的模型. 采用染色 Petri 网工具进行仿真, 结果表明 PND 具有正确的描述语义, 从而进一步为扩展式动态环境演算范型的有效性提供了有力的论证.

关键词: 移动计算; 环境演算; 染色 Petri 网

中图分类号: TP391.41 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-987X(2008)10-1230-05

A Petri Net Description of Extended Ambient Calculus Model

CAO Yuhui^{1,2}, WANG Weihong², QIN Zheng¹

(1. School of Electronics and Information Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China; 2. College of Information & Technology, Hebei University of Economics & Business, Shijiazhuang 050061, China)

Abstract: In order to verify the correctness of semantic description and description capability about EMA by visual way, that are used for the mobility and collaboration in mobile collaboration computing, a novel model named Petri net description (PND) is proposed. PND is a Petri net description form. The Petri net expression for the basic calculus entity is given. Each act is expressed by transition, and all kinds of fore-and-aft environment variables of act are expressed by places. Then, all kinds of operation semantic relations of basic calculus entities are expressed by Petri net, and the weights of arcs are used to depict the interactional relations among acts and their fore-and-aft environments. The synthesized theory of Petri net is used in PND, and the model of dynamic complex environment is constructed by synthesizing simple Petri nets. The simulation results with color Petri net tool show that the PND has the right semantic, and provides a strong demonstration for EMA.

Keywords: mobile computing; ambient calculus; color Petri net

为了在一个统一的框架下既能刻画移动性又能刻画协作性, 作者曾提出了一个扩展式动态环境演算范型(EMA)^[1]. 在该范型中, 抽取了刻画协同行为的基本概念 A, 并将其作为参与环境演算^[2-3]的基

本演算实体, 从而借助已有动态环境演算对移动性的描述来刻画移动协同计算的移动性, 借助 A 来刻画移动协同中的协作性.

本文是在文献[1]工作的基础上, 借助 Petri

网^[4]的图形化优势及其适用于模拟和验证的特性,又提出了一种扩展式动态环境演算范型的 Petri 网描述(PND),从而以可视化方式直观地验证了 EMA 对移动协同中移动性和协作性的描述能力及描述语义的正确性。

1 相关工作

1.1 动态环境演算

动态环境演算(MA)^[2-3]通过环境、移动等概念,能够从最基础的层次上刻画移动计算的本质-移动性.就移动协同计算^[4-5]而言,其不仅具有移动性而且还具有协作性^[5].因此,在已有 MA 的基础上探讨如何通过语法、语义的进一步扩展,使得扩展了的 MA 既能描述移动性又能描述协作性,具有十分重要的意义。

1.2 扩展式动态环境演算

为了在一个统一的框架下既刻画移动性又刻画协作性,本文在 MA 的基础上引入了概念 $A^{\square}$,从而通过 MA 来刻画移动协同的移动性,通过概念 A 来刻画移动协同的协作性.较之已有的 MA 演算,EMA 弥补了 MA 不能刻画移动协同中协作性的缺陷,为移动协同理论框架的完善提供了一种新思路,为移动协同应用的构建建立了一种理论基础。

在移动协同中,刻画协作行为最基本的单位 A 的定义式为

$$A = (A\text{-Des}, A\text{-Type}, A\text{-Loc}, \\ A\text{-Time}, A\text{-In}, A\text{-Out}, A\text{-lim})$$

A 除具有进程的计算特性外还有着自己的操作特性,如 A 与 A 间、 A 与 A 序列间、 A 序列与 A 序列间存在较强的关联性,这种强关联性主要表现在语义关联性和操作关联性上.语义关联性是指动作序列与协同成员个体、协同群组、协同服务任务等密切相关,而操作关联性是指 A 与 A 序列间、 A 序列与 A 序列间存在的并发关联性和因果关联等。

A 是一个封装了多种属性的计算实体,如 A 的位置信息、 A 与时间相关的信息、 A 的输入/输出等。

在 EMA 的符号命名规则下,EMA 的语法定义如下。

定义 1 协同群组中的所有 A 的集合为

$$\check{A}::= \{\check{a}_1, \check{a}_2, \dots, \check{a}_s\}$$

定义 2 刻画某一协同任务的 A 序列为

$$\overset{\circ}{A}::= \check{a}_1, \check{a}_2, \dots, \check{a}_s$$

定义 3 A 的互操作为

$$\check{a}_i, \check{a}_j::= \varepsilon \mid (\nu n)\check{a}_i \mid \check{a}_j \mid \check{a}_j \\ \mid \check{a}_i \cdot \check{a}_j \mid k!\check{a}_i \quad (2)$$

式中: ε 是空动作,即该动作不包含任何内容; $(\nu n)\check{a}_i$ 表示引入了新名字 n 及限定了动作 $\check{a}_i$ 的执行范围; $\check{a}_i \mid \check{a}_j$ 表示动作 $\check{a}_i$ 与 $\check{a}_j$ 并行执行; $\check{a}_i \cdot \check{a}_j$ 表示动作 $\check{a}_i$ 与 $\check{a}_j$ 顺序执行; $k!\check{a}_i$ 表示动作 $\check{a}_i$ 被复制 k 次。

定义 4 交互复合操作关系为

$$\check{R}::\check{A}_i \Rightarrow \check{A}_j \mid \check{A}_i * \check{A}_j \mid \check{A}_i \leftrightarrow \check{A}_j \quad (3)$$

式中: $\check{R}$ 表示复合互操作关系; $\check{A}_i \Rightarrow \check{A}_j$ 是顺序操作集,表示动作集 $\check{A}_j$ 在动作集 $\check{A}_i$ 之后执行; $\check{A}_i * \check{A}_j$ 是并行操作集,表示动作集 $\check{A}_i$ 、动作集 $\check{A}_j$ 并发执行的复合操作关系; $\check{A}_i \leftrightarrow \check{A}_j$ 是交互操作集,表示动作集 $\check{A}_i$ 、 $\check{A}_j$ 在执行过程中相互调用、交互信息。

1.3 Petri 网

Petri 网^[4]是研究分布式系统的强有力工具,它不仅能提供数据类型的定义,进行数值处理,还能对语法和语义进行直觉理解,其定义如下:Petri 网是一个五元组 $P_N = (P, T; F, W, M_0)$,其中 $P = (p_1, p_2, \dots, p_m)$ 是库所的有限集合; $T = (t_1, t_2, \dots, t_n)$ 是变迁的有限集合; $F \subseteq PT \cup TP$ 表示流关系,是弧的集合; $W: F \rightarrow \{1, 2, 3, \dots\}$ 是权函数; $M_0: P \rightarrow \{0, 1, 2, 3, \dots\}$ 是初始标记,满足 $P \cup T \neq \emptyset$ 、 $P \cap T = \emptyset$ 2 个条件。

本文借助 Petri 网的图形化优势及其适用于模拟、验证的特性来描述 A ,依据 Petri 网的顺序行为理论和并发性行为理论并用变迁 T 来表达某个动作 $\check{a}_i$,用库所 P 表达动作 $\check{a}_i$ 前后的各种环境状态及变量,引入弧的权值来刻画 $\check{a}_i$ 与其前后相关的各种环境及状态的相互作用关系.此外,为了与 EMA 在描述动态复杂环境能力上力求一致,PND 采用了 Petri 网的合成理论,用简单 Petri 网合成法来构造动态复杂环境的模型,从而实现了动态复杂环境的刻画。

2 A 及 A 间操作语义的 Petri 网表达形式

2.1 A 的 Petri 网表示

由前述可知, A 、 $\check{A}$ 集均可映射成一个 Petri 网,如图 1 所示。

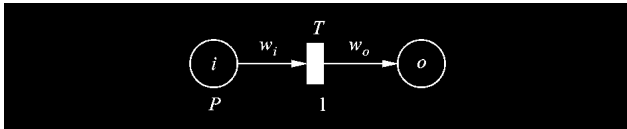


图1 A的Petri网表示

2.2 A间操作语义的Petri网表示

(1)顺序操作的Petri网表示. $\check{a}_i \cdot \check{a}_j$ 为顺序操作,表示 $\check{a}_i$ 、 $\check{a}_j$ 依次执行,即 $\check{a}_j$ 在 $\check{a}_i$ 之后执行,如图2所示.

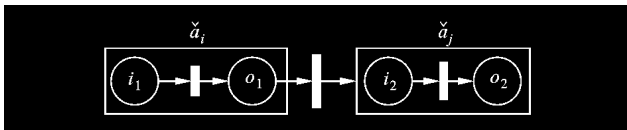


图2 顺序操作的Petri网表示

对于复合操作关系,动作集 $\check{A}_i$ 、 $\check{A}_j$ 顺序操作关系的Petri网表示可由图2中的复合表示来构造.

(2)并行操作的Petri网表示. $\check{a}_i | \check{a}_j$ 为并行操作,表示 $\check{a}_i$ 、 $\check{a}_j$ 并行执行,如图3所示.

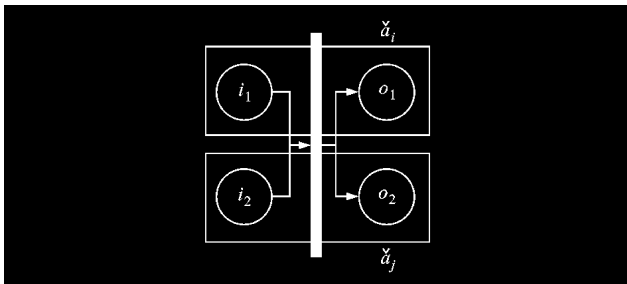


图3 并行操作的Petri网表示

(3)复制操作的Petri网表示. $k! \check{a}_i$ 为复制操作,表示动作 $\check{a}_i$ 被复制 k 次,如图4所示.

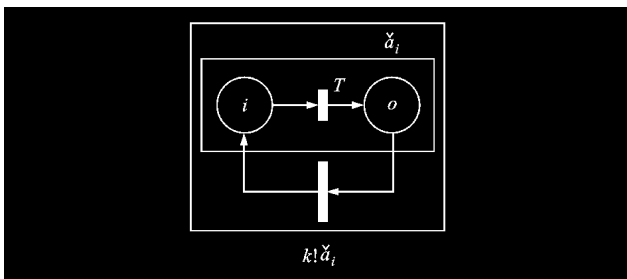


图4 复制操作的Petri网表示

(4)交互操作的Petri网表示. $\check{A}_i \leftrightarrow \check{A}_j$ 为交互操作关系,表示动作集 $\check{A}_i$ 、 $\check{A}_j$ 在执行过程中,相互间

进行信息调用、交互,如图5所示.

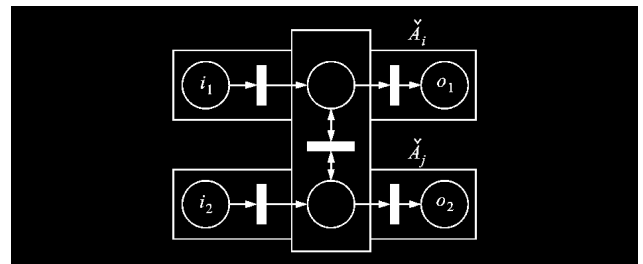


图5 交互操作的Petri网表示

2.3 复杂任务序列的Petri网表示

依据Petri网的合成理论,可通过简单Petri网合成法来构造动态复杂环境的模型,从而实现动态复杂环境中的A及A间复杂操作关系的刻画.

例如,在一个包含有若干操作语义关系的动作集 $\check{A}_1$ 、 $\check{A}_2$ 和 $\check{A}_3$ 等的复杂任务序列中,存在着如下关系:

(1) $\check{A}_1$ 的2个动作 $\check{a}_1$ 、 $\check{a}_2$ 顺序执行,其中动作 $\check{a}_1$ 执行后的各种环境状态及变量(即输出)将作为动作 $\check{a}_2$ 执行前的各种环境状态及变量(即输入);

(2) $\check{A}_2$ 的 $\check{a}_4 \cdot \check{a}_5$ 、 $\check{a}_6 \cdot \check{a}_7$ 均为顺序操作, $\check{a}_4$ 、 $\check{a}_5$ 的子序列动作集与 $\check{a}_6$ 、 $\check{a}_7$ 的子序列动作集并行执行,即 $\{\check{a}_4 \cdot \check{a}_5\} * \{\check{a}_6 \cdot \check{a}_7\}$,而 $\check{a}_3$ 、 $\{\check{a}_4 \cdot \check{a}_5\} * \{\check{a}_6 \cdot \check{a}_7\}$ 与 $\check{a}_8$ 又为顺序执行关系,即 $\{\check{a}_3\} \Rightarrow \{\{\check{a}_4 \cdot \check{a}_5\} * \{\check{a}_6 \cdot \check{a}_7\}\} \Rightarrow \{\check{a}_8\}$,其中 $\{\check{a}_3\}$ 与 $\{\check{a}_8\}$ 均可看作仅包含一个动作的子序列;

(3) $\check{A}_1$ 与 $\check{A}_2$ 间具有交互操作关系,即 $\check{A}_1 \leftrightarrow \check{A}_2$;

(4) $\check{A}_3$ 的 $\check{a}_9$ 、 $\check{a}_{10}$ 与 $\check{a}_{11}$ 为顺序执行关系,即 $\check{a}_9 \cdot \check{a}_{10} \cdot \check{a}_{11}$;

(5) $\check{A}_2$ 与 $\check{A}_3$ 并行执行,即 $\check{A}_2 * \check{A}_3$,此外 $\check{A}_2$ 与 $\check{A}_3$ 之间也具有交互操作关系,即 $\check{A}_2 \leftrightarrow \check{A}_3$;

(6)动作 $\check{a}_0$ 与子序列 $\{\check{A}_2 * \check{A}_3\}$ 、动作 $\check{a}_{11}$ 之间为顺序执行关系,即 $\{\check{a}_0\} \Rightarrow \{\check{A}_2 * \check{A}_3\} \Rightarrow \{\check{a}_{11}\}$;

(7)任务序列的输入动作 $\check{a}_i$ 、输出动作 $\check{a}_o$ 与各子序列的操作关系为 $\{\check{a}_i\} \Rightarrow \{\check{A}_1 * \{\{\check{a}_0\} \Rightarrow \{\check{A}_2 * \check{A}_3\} \Rightarrow \{\check{a}_{11}\}\}\} \Rightarrow \{\check{a}_o\}$.

综上关系,一个复杂任务序列中的各动作及其动作、动作子序列间的相关操作关系的Petri网表示如图6所示.

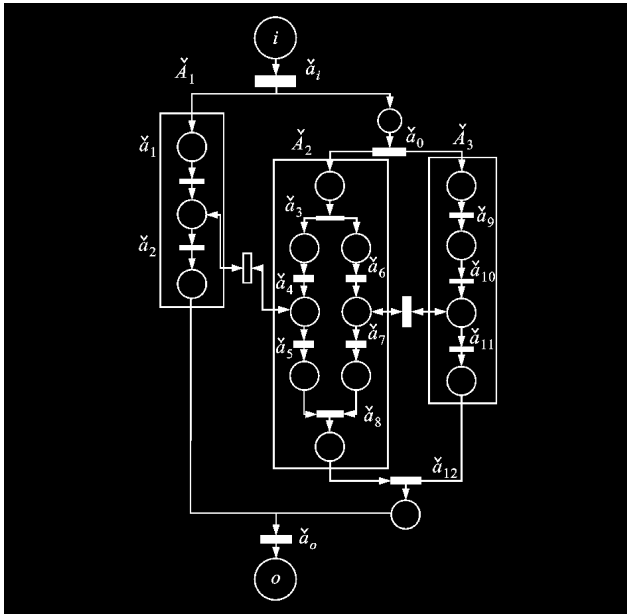
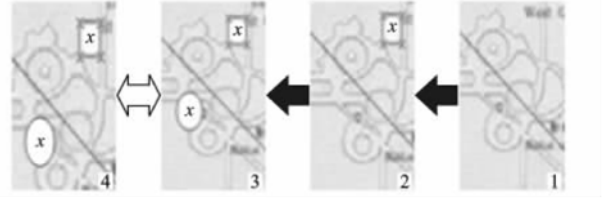


图6 复杂任务序列的 Petri 网表示

户 U_1 、 U_2 借助各自的移动终端设备在群组共享空间中进行标绘活动,执行各种标绘操作命令.每一时刻,共享空间均处于某个特定的协同标绘格局状态,如图 7 所示.



1:执行了 U_1 的“画线”动作后相应的协作共享空间中的结果;2:执行了 U_2 的“画矩形”动作后相应的协作共享空间中的显示结果;3:执行了 U_2 的“画圆”动作后相应的协作共享空间中的显示结果;4:某时刻最终协作共享空间中的标绘状态

图7 协同标绘动作在移动终端共享空间上的实现过程

3 染色 Petri 网的仿真验证

由前述 PND 的构建可知,PND 是 EMA 的一种可视化图形描述,它体现了 EMA 的语法、语义特性.为了验证这种可视化图形描述的语义正确性,可采用染色 Petri 网(CPN)^[5]对其进行仿真验证.

3.1 仿真平台

CPN 是一种适用于系统设计、描述、模拟和验证的面向图形的建模语言^[5],它提供了验证设想、检验一致性的途径.仿真实验平台为 CPN Tools.

3.2 仿真设计

仿真设计如下.

(1)首先设定移动协同标绘情景,即 2 个移动用

(2)仿真的 Petri 网是按照图 6 所示的复杂任务序列 Petri 网表示法设计的,其中各动作及其动作间的操作语义关系赋予了确定的移动协同标绘情景的语义.

3.3 仿真结果显示

仿真结果如图 8 所示.图中, j, k, l 及 M 等为辅助库所,用来标识协同标绘情景中的各种环境状态和变量,变量 x_1, y_1, z_1 分别代表环境中的某种资源条件(如网络带宽、存储空间大小等).其中, M 库所表示环境的使能状态,它通过变迁动作环境操作可实现共享空间初始化.

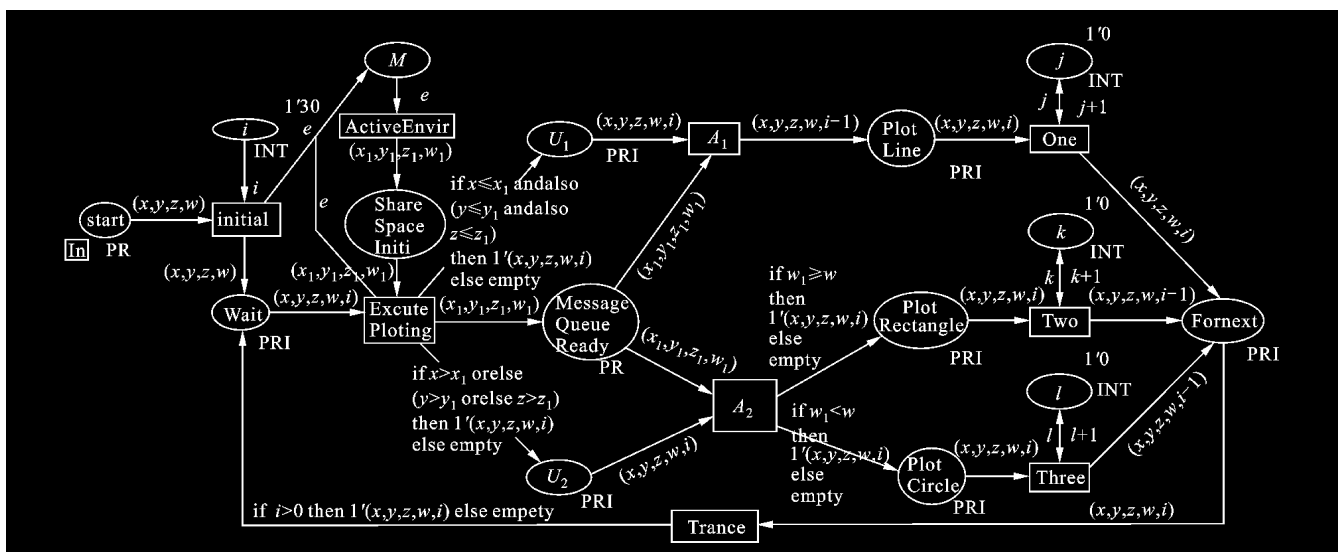


图8 移动协同标绘过程中协同标绘动作的仿真显示

当等待状态满足就绪队列的条件时,PND触发执行标绘动作,此时 U_1 、 U_2 分别在协调消息队列的控制下执行各自的标绘动作 A_1 和 A_2 ,而 A_1 对应共享空间中的一条线, A_2 对应共享空间中的一个矩形和一个圆.当共享空间进入了等待状态,PND准备执行新的标绘操作.

仿真结果表明,PND具有正确的描述语义,从而论证了EMA的有效性.

4 结 论

移动计算与传统协同技术融合的移动协同技术具有广阔应用前景及发展潜力,已成为一个极具吸引力的研究领域.它既支持移动性,也支持协作性.如何有效地刻画移动协同中的移动性及协作性,也是一个研究热点.本文在EMA工作的基础上,进一步给出了扩展式动态环境演算范型的Petri网描述,从而更为深入地探讨了EMA对移动协同中的移动性及协作性的刻画能力,为EMA的有效性提供了依据.EMA演算系统已在构建移动协同服务支撑平台上得到应用,并有效指导了平台的构建过程.目前,移动协同服务支撑平台已通过专家鉴定,而今后研究内容包括:进一步完善EMA模型,进一

步实现EMA模型的理论性验证.

参考文献:

- [1] 曹玉辉,王卫红,覃征.面向移动协同的扩展式动态环境演算范型研究[J].西安交通大学学报,2008,42(4):427-430.
CAO Yuhui, WANG Weihong, QIN Zheng. Research of extended mobile ambient calculus oriented mobile collaboration [J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 2008, 42(4): 427-430.
- [2] MILNER R, PARROW J, WALKER D. A calculus of mobile processes, parts I and parts II [J]. Journal of Information and Computation, 1992, 100(9): 1-77.
- [3] CARDELLI L, GORDON A. Mobile ambients [J]. Theoretical Computer Science, 2000, 240(1): 177-213.
- [4] MURATA T. Petri nets: properties, analysis and applications [J]. Proceedings of the IEEE, 1989, 77(4): 541-580.
- [5] JENSEN K. Coloured Petri nets: a high level language for system and analysis [M]// Lecture Notes in Computer Science. Berlin, Germany: Springer-Verlag, 1987: 248-299.

(编辑 苗凌)