

信息/求解网系统的可达图分析

刘歌群^{1,2}

(1 上海理工大学 管理学院, 上海 200093; 2 上海系统科学研究院, 上海 200093)

摘 要: 研究信息/求解扩展 Petri 网系统(I/S 系统)可达图的生成问题及基于可达图的活性分析问题, 给出了 I/S 系统与活性相关的几个定义, 提出了 I/S 系统可达图的定义及生成算法, 基于可达图给出了关于系统活性的几个定理. 最后举例验证了可达图生成算法的有效性.

关键词: petri 网; 信息/求解系统; 可达图; 活性

中图分类号: O24

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2010)12-0001-03

Reachability Graph Analysis of Information/Solver Petri Net System

LIU Ge-qun^{1,2}

(1 School of Management, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China;

2 Shanghai Academy of Systems Science, Shanghai 200093, China)

Abstract: Generation of reachability graph of Information/solver extended Petri net system (I/S-system) is discussed and the system liveness analysis based on reachability graph is discussed as well. Several definitions relating to system liveness are given. Definition of reachability graph of I/S-system and its generating algorithm are presented. Several theorems about system liveness are given based on reachability graph. At last the example verifies the effectiveness of the algorithm.

Key words: petri net; information/solver system; reachability graph; liveness

1 引言

文献[1]提出了一种新型的扩展 Petri 网系统——信息/求解系统, 该网系统具有变迁发生后前集不失去标记的特点, 因而具有有界、安全、拟序行为关系、不可回复和有限步终止等优点, 便于求解、计算、设计过程的表达与分析. I/S 系统与计算链^[2]的运行特征相似, 以 I/S 系统为基础, 可以研究求解、计算、设计过程的工艺线路规划问题. 文献[3]利用计算链对控制算法的计算过程进行建模, 文献[4]利用 I/S 系统研究了控制策略的设计过程. 这些工作显示了 I/S 系统在工艺规划方面的应用前景. 工艺线路的规划有多种方法, 如启发式搜索算法、分枝定界法和线性规划法^[5], 智能算法如遗传算法^[6]与蚁群算法等等. 工艺线路规划的基本方法是基于可

达图的搜索, 可达图在 Petri 网系统的分析中起着重要的基础性作用, 如文献[7]利用可达图验证作业网络的正确性, 文献[8]把扩展的三划分问题归约为可达性问题进行研究. 由于 I/S 系统运行规则的特殊性, 其可达图的特征、生成算法和基于可达图的网络活性分析都与基本 Petri 网不同, 需要进行专门研究.

本文研究 I/S 系统可达图的生成算法, 并基于可达图对 I/S 系统这一新型扩展 Petri 网系统的活性进行分析, 给出相关的定义和结论. 最后通过一个例子验证可达图生成算法的有效性, 并通过该例比较了 I/S 系统与基本 Petri 网系统可达图的不同.

2 基本定义

定义 1^[1] 三元组 $N = (V, S; F)$ 称为信息/求

收稿日期: 2009-11-30; 修回日期: 2010-01-30

基金项目: 上海市重点学科建设项目(S30501)

解网(I/S网),简称网,其中:

- (1) V 是信息的有限集合,称为信息集;
- (2) S 是求解过程的有限集合,称为求解集, $V \cap S = \emptyset$ 且 $V \cup S \neq \emptyset$;
- (3) $F \subseteq (V \times S) \cup (S \times V)$ 是弧的集合,其中“ $\times$ ”为笛卡儿积;
- (4) $\text{dom}(F) \cup \text{cod}(F) = V \cup S$, 其中 $\text{dom}(F) = \{x \mid \exists y: (x, y) \in F\}$, $\text{cod}(F) = \{y \mid \exists x: (x, y) \in F\}$.

定义 2^[1] 信息 / 求解标识网 $\Sigma = (V, S; F, M)$ 具有如下求解发生规则时,称为信息 / 求解网系统(I/S网系统),简称信息 / 求解系统(I/S系统):

- (1) $\forall s \in S, M[s > \text{iff } \forall v \in s: M(v)] = 1$ 且 $v \in s: M(v) = 0$;

- (2) 若 $M[s > M']$, 则 $\forall v \in V$ 有

$$M'(v) = \begin{cases} 1 & v \in s' \\ M(v) & v \notin s' \end{cases}$$

一个 I/S 系统有一个初始标识,记为 M_0 ,三元组 $(V, S; F)$ 和 M_0 一旦给出,就完全确定了一个 I/S 系统 $\Sigma = (V, S; F, M_0)$.

定义 3 设 $\Sigma = (V, S; F, M_0)$ 为 I/S 网系统,信息 $v \in V$,若 $\forall M \in R(M_0): M(v) = 0$ 则称 v 为不可知的,若 $\exists M \in R(M_0): M(v) = 1$ 则称 v 为可知的.

定义 4 设 $\Sigma = (V, S; F, M_0)$ 为 I/S 网系统, $s \in S$,

- (1) 若 $\forall M \in R(M_0): \neg M[s >]$, 则称求解 s 是死的.
- (2) 若 $\exists M \in R(M_0): M[s >]$, 则称求解 s 是一级活的.

I/S 系统中,一个求解要么是一级活的,要么是死的.

定义 5 设 $\Sigma = (V, S; F, M_0)$ 为 I/S 网系统,若 $\forall s \in S: s$ 是一级活的,则称 Σ 为一级活的.

一个 I/S 网系统是一级活的意味着该网系统没有死求解.

定义 6 设 $\Sigma = (V, S; F, M_0)$ 为 I/S 网系统,若 $M \in R(M_0)$ 使得 $\forall s \in S: \neg M[s >]$, 则称 M 为 Σ 的一个死标识.

定义 7 设 $N = (V, S; F)$ 为 I/S 网, $V_1 \subseteq V$, 若 $V_1 \subseteq V_i$ 则称 V_1 为 I/S 网 N 的一个死锁.

定义 8 设 $N = (V, S; F)$ 为 I/S 网, $\forall s_1, s_2 \in S (s_1 \neq s_2)$, 若 $s_1 \cap s_2 \neq \emptyset \rightarrow s_1 = s_2$, 则称 N 为自由选择 I/S 网.

3 可达图及其生成算法

定义 9 设 $\Sigma = (V, S; F, M_0)$ 为 I/S 网系统, Σ 的可达标识图定义为三元组 $RG(\Sigma) = (R(M_0), E, B)$, 其中:

- (1) $R(M_0)$ 为 Σ 的可达标识集,称为 $RG(\Sigma)$ 的顶点集;

- (2) $E = \{(M_i, M_j) \mid M_i, M_j \in R(M_0)\}$, $\exists s_k \in S: M_i[s_k > M_j]$, 称为 $RG(\Sigma)$ 的弧集;

- (3) $B: E \rightarrow P(S)$, $P(S)$ 为 S 的幂集, $B(M_i, M_j) = \{s_k \mid s_k \in S, M_i[s_k > M_j]\}$, $B(M_i, M_j)$ 称为弧 (M_i, M_j) 的旁标.

I/S 系统的可达标识图构造方法如下:

GB1 算法: I/S 系统可达标识图的构造算法

输入: $\Sigma = (V, S; F, M_0)$

输出: $RG(\Sigma) = (R(M_0), E, B)$

Step 1 建立一个 OPEN 表和 CLOSED 表,把 M_0 放到 OPEN 表中;

Step 2 对 OPEN 表中的某一个标识 M 进行如下步骤:

- 2.1 把 M 从 OPEN 表中移出,移入到 CLOSED 表中;
- 2.2 对每一个 $s_k \in S$, 判断是否有 $M[s_k >]$, 若是则进行以下步骤:

- 2.2.1 计算 $M': M[s_k > M']$;
- 2.2.2 若 M' 已在 OPEN 表或 CLOSED 表中, 且 E 中有弧 (M, M') , 则给 B 的旁标 $B(M, M')$ 中添加元素 s_k ;
- 2.2.3 若 M' 已在 OPEN 表或 CLOSED 表中, 且 E 中无弧 (M, M') , 则给 E 中添加弧 (M, M') , 同时给 B 中添加旁标 $B(M, M') = \{s_k\}$;
- 2.2.4 若 M' 不在 OPEN 表或 CLOSED 表中, 则把 M' 添加到 OPEN 表中, 同时给 E 中添加弧 (M, M') , 给 B 中添加旁标 $B(M, M') = \{s_k\}$.

Step 3 若 OPEN 表不为空则跳转至 STEP 2, 若 OPEN 表为空则把 CLOSED 表中的标识作为 $R(M_0)$ 的元素, $RG(\Sigma)$ 构造完成.

4 基于可达图的活性分析

定理 1 一个 I/S 系统 $\Sigma = (V, S; F, M_0)$ 是一级活的充要条件是该网系统可达标识图 $RG(\Sigma) = (R(M_0), E, B)$ 旁标的并集就是网系统的求解集, 即 $\bigcup_{(M_i, M_j) \in E} B(M_i, M_j) = S$.

定理 2 I/S 系统的可达标识图中不存在回路.

证明 由 I/S 系统可达标识集上的真覆盖关系为拟序关系可直接推得.

定理 3 设 $\Sigma = (V, S; F, M_0)$ 为 I/S 网系统, 以下任一条件成立时求解 $s \in S$ 是死的:

- (1) 对于 $\forall M \in R(M_0)$, 总 $\exists v \in \cdot s: M(v) = 0$;
- (2) 对于 $\forall M \in R(M_0)$, 总 $\exists v \in s': M(v) = 1$;
- (3) $\exists v \in \cdot s$, 使 $v \in V_1$, 其中 $V_1 \subseteq V$ 为 Σ 的一个死锁且 $\sum_{v_i \in V_1} M_0(v_i) = 0$;
- (4) $\exists v_1 \in \cdot s, v_2 \in s'$ 对于 $\forall M \in R(M_0)$, $M(v_1) = 1 \rightarrow M(v_2) = 1$ 或 $M(v_2) = 0 \rightarrow M(v_1) = 0$;
- (5) Σ 的可达标识图 $RG(\Sigma) = (R(M_0), E, B)$ 的任一旁标中没有元素 s .

定理 4 设 $N = (V, S; F)$ 为 I/S 网, $V_1 \subseteq V$ 为 N 的一个死锁, 对任意的初始标识 M_0 , 在 I/S 网系统 $\Sigma = (N, M_0)$ 中若有 $\sum_{v \in V_1} M_0(v) = 0$, 则 $\forall M \in R(M_0): \sum_{v \in V_1} M(v) = 0$.

定理 4 表明, 死锁中的信息如果在开始时是未知的, 将永远为未知.

定理 5 设 $N = (V, S; F)$ 为 I/S 网, $V_1 \subseteq V$, $N_1 = (V_1, S_1; F_1)$ 是网 N 关于信息子集 V_1 的外延子网, 则 V_1 是网 N 的一个死锁当且仅当 N_1 中不存在 $s_1 \in S_1: \cdot s_1 = \emptyset$.

5 举例

I/S 系统 Σ_1 如图 1 所示, 该网是一个非自由选择 I/S 网, 按 GB1 算法得到 Σ_1 的可达图如图 2 所示. 与 Σ_1 同结构基本 Petri 网的可达图如图 3 所示.

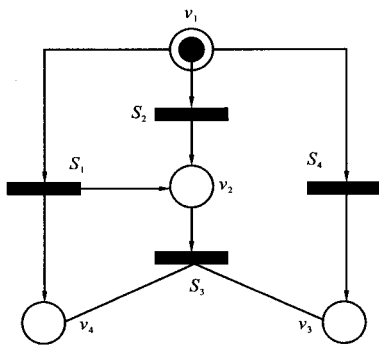


图 1 I/S 系统 Σ_1

从图 2 与图 3 的比较中可以看出, I/S 系统具有拟序行为关系, 而基本 Petri 网没有, 这恰与求解和计算过程中, 已知信息越来越多的情况相对应.

6 结束语

本文研究了 I/S 系统的一个重要分析工具——

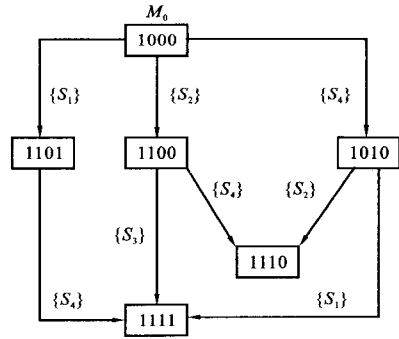


图 2 Σ_1 的可达图

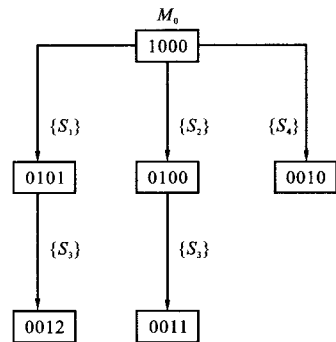


图 3 与 Σ_1 同结构基本 Petri 网的可达图

可达图的生成算法, 并利用这一工具得到了关于 I/S 系统活性的几个重要结论. 文中给出的例子验证了算法的有效性, 并通过可达图显示了 I/S 系统不同于基本 Petri 网系统的运行规则. 文中给出的算法和结论, 为 I/S 系统进一步研究的展开提供了基础.

参考文献:

- [1] 刘歌群, 刘卫国. 信息/求解 Petri 网系统[J]. 海军工程大学学报, 2008, 20(4): 33—38.
- [2] Thomas Marill. R63-32 computational chains and the simplification of computer programs[J]. Ire Transactions on Electronic Computers, 1962, EC—11: 173—180.
- [3] Saifuddin A B, Maciejowski J M, Szymkat M. Computational chains for CACSD using matlab containers[C]// Proceedings of the 1996 IEEE International Symposium on Computer-Aided Control System Design. Dearborn: IEEE, 1996: 392—397.
- [4] 刘歌群. 控制策略概念设计方案生成技术研究[D]. 西安: 西北工业大学, 2008.
- [5] Takahide K, Tatsuya S, Akio I, et al. On algebraic and graph structural properties of assembly petri nets—searching by linear programming [C]// Proceedings of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. Yokohama: IEEE, 1993: 2286—2293.

(下转第 9 页)

三个探测器共同作用的可信探测区,本文的算法精度较好地满足了对入侵主机的房间级定位需求,为无线局域网的安全防护提供了可借鉴的思路。

参考文献:

- [1] Rappaport T S. Wireless communications: principles and practice[M]. New Jersey: Prentice Hall Publications, 2002.
- [2] Youssef M, Agrawala A, Shankar A U. WLAN location determination via clustering and probability distributions[C]// IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications, PerCom 2003. Fort Worth, Texas: IEEE, 2003.
- [3] Roos T, Myllymaki P, Tirri H, et al. A probabilistic approach to WLAN user location estimation[J]. International Journal of Wireless Information Networks, 2002, 9(3): 155—164.
- [4] Chen G, Kotz D. A survey of context-aware mobile computing research [R]. Hanover: College Dartmouth, 2000.
- [5] Moeglein M, Krasner N. An introduction to SnapTrack server-aided GPS technology[C]// Proceedings of the International Technical Meeting of the Satellite Division of the Insitute of Navigation, ION GPS 98. Nash-

ville: the Insitute of Navigation, 1998: 333—342.

- [6] Tekinay S, Chao E, Richton B. Performance benchmarking for wireless location systems[J]. IEEE Communications Magazine, 1998, 36(4): 72—76
- [7] Kaemarungsi K, Krishnamurthy P. Properties of indoor received signal strength for WLAN location fingerprinting[C]// Proceedings of the 1st Annual International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems: Networking and Services, MobiQuitous'04. Boston, Mass: IEEE, 2004: 14—23.
- [8] Bahl P, Padmanabhan V N. RADAR: An in-building RF-based user location and tracking system[C]// Proceeding of the IEEE Infocom 2000. Los Alamitos, California: IEEE Computer Society, 2000, 2: 775—784.
- [9] Patwari N, O'Dea R J, Wang Y W. Relative location in wireless networks[C]// Vehicular Technology Conference, VTC 2001. Washington D C: IEEE, 2001, 2: 1149—1153.

作者简介:

付 雄 男,(1968—),工学博士,博士后.研究方向为信息安全和计算机犯罪.

彭 冰 男,(1972—),副教授.研究方向为无线局域网安全检测、网络攻击原理与防御技术.

(上接第3页)

- [6] Chen Jyhhorng, Fu Lichen, Lin Minghung. Petrinet and GA based approach to modeling, scheduling, and performance evaluation for wafer fabrication[C]// Proceedings of the 2000 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA'00). San Francisco: IEEE, 2000: 3403—3408.
- [7] 侯俊,齐震.基于 Petri 网的作业网络模型的正确性研究[J].微电子学与计算机,2006,23(7): 215—217.

- [8] 岳昊.三划分问题可多项式归约为唯一可达向量 Petri 网可达性问题[J].微电子学与计算机,2008,25(10): 144—146.

作者简介:

刘歌群 男,(1974—),博士,博士后,研究方向为系统科学、控制工程.