

文章编号: 1001-0920(2002) 02-0230-03

时序 Petri 网在智能控制中的应用

丁志军^{1,2}, 蒋昌俊^{1,2}

(1. 同济大学 计算机科学与工程系, 上海 200092; 2. 山东科技大学 计算机科学与工程系, 山东 泰安 271019)

摘 要: 利用时序 Petri 网对实际问题进行建模, 通过 Petri 网反映系统的物理结构, 并利用时序逻辑公式描述系统需求及其相关约束条件, 从而通过时序 Petri 网的运行, 得到施加控制后的变迁发生序列, 即对应问题的实现方案, 达到智能控制的目的。

关键词: 时序 Petri 网; 智能控制; 系统需求; 约束条件; 建模

中图分类号: TP 301

文献标识码: A

Application of temporal Petri nets in intelligent control

DING Zhi-jun^{1,2}, JIANG Chang-jun^{1,2}

(1. Department of Computer Science and Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China; 2. Department of Computer Science and Engineering, Shandong University of Science and Technology, Taian 271019, China)

Abstract: The modelling of practical problems based on temporal Petri net is studied. The physical structure of system is described by Petri net. The requirements and restrictives of system are described by temporal Petri net. The firing sequences of system controlled are obtained by running temporal Petri net. The implementation schemes are obtained to reach the aims of intelligent control.

Key words: temporal Petri net; intelligent control; system requirement; restrictive condition; modelling

1 引 言

智能控制作为一门新兴学科, 无论在理论上还是在实践上, 都有待于进一步研究和发展^[1]。Petri 网作为一种有效的图形和数学工具, 已广泛应用于计算机科学的各个领域。文献[2]将 Petri 网引入逻辑推理, 构造了逻辑推理问题的 Petri 网模型, 并给出了相关算法。文献[3, 4]则利用 Petri 网模型进行知识表示, 提出几种基于谓词/变迁系统(Pr/T 网)的知识表示的网模型, 并应用于知识库的维护等方面。然而由于 Petri 网、Pr/T 网缺乏对系统约束条

件和控制规则的描述, 以及控制机构的实现, 无法直接应用于智能控制领域。为此, 文献[5]提出一种基于受控 Petri 网-Moore 自动机的 DEDS 反馈监控模型, 用受控 Petri 网对系统建模, 用 Moore 自动机作为系统的监控器, 实现了动态、实时和最优反馈控制, 并成功地应用于智能控制。然而在此模型中, Moore 自动机的构造需要设计者了解网模型的每一步变化, 并给出相应的控制规则, 才能达到智能控制的目的。显然, 这样的构造对于实际大系统而言是极为困难的。

文献[6]通过构造有限状态自动机, 解决了智能

收稿日期: 2000-11-20; 修回日期: 2001-04-05

基金项目: 国家自然科学基金项目(69973029, 69933020); 全国优秀博士论文作者专项项目(199934); 教育部优秀青年教师教学科研奖励计划项目

作者简介: 丁志军(1974—), 男, 江苏泰兴人, 助教, 硕士, 从事 Petri 网和程序验证的研究; 蒋昌俊(1962—), 男, 安徽安庆人, 教授, 博士生导师, 从事软件形式化技术、Petri 网、程序验证和离散事件动态系统的研究。

控制中的人、羊、狼和菜过河的问题。有限状态自动机的构造和动态变化过程, 是基于问题的约束条件而动态遍历、搜索和匹配的过程, 不需要人为地控制有限状态自动机的动态变化过程, 很容易实现智能控制。然而, 自动机更多的是表现系统的动态行为机理, 无法描述系统的物理结构, 缺乏对系统需求规范形式化的描述, 因而无法从总体上反映和把握系统及其相关性质, 限制了它在实际系统智能控制方面的应用。

本文利用时序 Petri 网^[7] 对实际问题进行建模, 通过 Petri 网反映系统的物理结构^[8~15], 并利用时序逻辑公式描述系统需求及其相关约束条件, 从而通过时序 Petri 网的运行, 得到施加控制后的变迁发生序列, 即对应问题的实现方案, 达到智能控制的目的。

2 一个实际智能控制问题的时序 Petri 网模型

在研究和设计智能控制系统时, 对于任务和世界模型的描述, 设计开发知识库和推理机是至关重要的。而在这方面, 时序 Petri 网作为智能控制系统模型, 具有不可比拟的优势。Petri 网有效地描述了任务的组织结构, 时序逻辑公式表示了知识库和推理机的知识和规则, 因此时序 Petri 网模型本身既可作为系统物理模型, 也可作为控制系统模型。而这种形式上的统一, 使得问题的讨论和分析变得较为简单。作为设计者, 一方面, 可以更有效地挖掘知识, 应用于推理; 另一方面, 不需要探究系统的内部运行细节, 而通过模型的动态运行模拟智能机器的运行, 从而实现智能控制。下面以智能控制中经典的人、羊、狼和菜过河问题为例, 阐述时序 Petri 网建模、分析和求解的全过程。

2.1 人、羊、狼和菜过河问题描述

问题如下^[6]: 一个人带着一只羊、一头狼和一棵白菜在河的左岸, 岸边有一只渡船, 它可以同时承载一个人和其它 3 种生物中的任何一种, 只有人会划船。现在要求找出一个调度方案, 使得人、羊、狼和菜都能够安全地渡过河去。这里有如下两个问题必须考虑:

- 1) 在河的任一岸, 如果人离开, 而狼和羊同处时, 狼会吃掉羊;
- 2) 在河的任一岸, 如果人离开, 而羊和菜同处时, 羊会吃掉白菜。

2.2 问题的时序 Petri 网描述

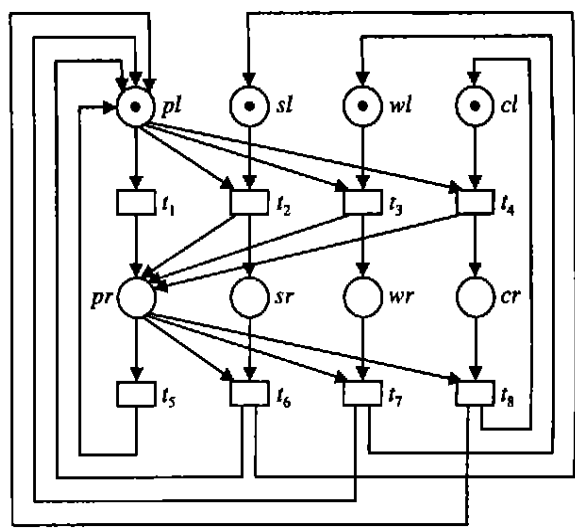


图 1 人、羊、狼和菜过河问题的 Petri 网模型

图 1 是该问题的 Petri 网模型, 其中, $N = (P, T; F)$ 是 Petri 网; pl, sl, wl 和 cl 分别表示在左岸的人、羊、狼和白菜; pr, sr, wr 和 cr 表示右岸的人、羊、狼和白菜。模型中省略了对渡船的描述, 因为渡船与人是不可拆分的, 只要表示了人的状态, 即可表示渡船的状态。初始标识 M_0 的配置, 表示初始时刻人、羊、狼和菜以及渡船都在河的左岸等待渡河。问题的约束条件和目标可整理为如下控制规则:

- R1: 在河的任一岸, 如果人离开, 而狼和羊同处时, 狼会吃掉羊;
- R2: 在河的任一岸, 如果人离开, 而羊和菜同处时, 羊会吃掉菜。
- R3: 人、羊、狼和菜最终安全抵达河的右岸。
- 根据对问题的理解并结合网结构, 可得到如下知识:

K1: 渡船往返渡河时应避免乘载相同的个体。例如: 若船载着人和羊从左岸渡到右岸, 接着又将人和羊从右岸渡回左岸, 这样的动作对系统的控制或演化无任何意义。

K2: 当人、羊、狼和菜最终安全抵达河的右岸后, 控制已经结束, 系统不应再有动作。

将以上 3 条规则形式化地表示为时序逻辑公式, 即

$$f_1 = \square(\emptyset pl = \emptyset (sl \wedge cl))$$
$$f_2 = \square(\emptyset pl = \emptyset (sl \wedge wl))$$
$$f_3 = \square(\emptyset pr = \emptyset (sr \wedge cr))$$
$$f_4 = \square(\emptyset pr = \emptyset (sr \wedge wr))$$
$$f_5 = \diamond(pr \wedge sr \wedge wr \wedge cr)$$

(1)(2)(3)(4)(5)

$$f_6 = \square(t_i = \bigcirc \emptyset t_{i+4}), \quad i = 1, \dots, 4 \quad (6)$$

$$f_7 = \square(t_i = \bigcirc \emptyset t_{i-4}), \quad i = 5, \dots, 8 \quad (7)$$

$$f_8 = \square(pr \wedge sr \wedge wr \wedge cr = \emptyset t), \quad t \in T \quad (8)$$

综上所述,人、羊、狼和菜过河问题的时序 Petri 网模型形式化表示如下: $TN = (N, f)$ 是时序 Petri 网, 其中, $N = (P, T; F)$ 是问题的 Petri 网模型, 时序逻辑公式为

$$f = f_1 \wedge f_2 \wedge \dots \wedge f_8 \quad (9)$$

时序 Petri 网 TN 的初始标识 M_0 为

$$\begin{cases} M_0(p) = 1, & P \text{ } p, p \in P_1 \\ M_0(p) = 0, & P \text{ } p, p \notin P_1 \end{cases} \quad (10)$$

其中 $P_1 = \{p1, sl, wl, cl\}$ 。

3 模型的形式化分析

根据时序 Petri 网的概念, 时序 Petri 网的每一步发生都需要进行判断和分析, 以保证最终生成的变迁发生序列满足时序逻辑公式。而反映在智能控制系统中, 则表现为智能机器(网模型) 根据控制规则和知识(时序逻辑公式) 进行遍历、推理和判断, 以满足控制规则的自动控制过程, 即问题得以实现和解决的过程, 从而最终达到智能控制。时序 Petri 网 TN 在初始标识 M_0 下所产生的可达图如图 2 所示。

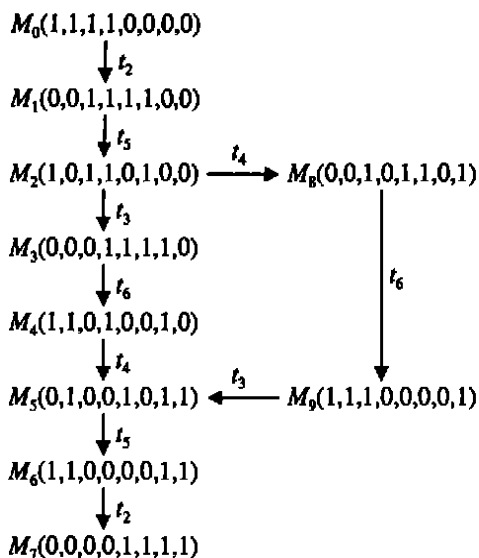


图 2 TN 的标识可达图

显然, 可达图是一个有向图, 时序 Petri 网 TN 的每一个变迁发生序列, 都是在该有向图上从 M_0 状态开始的符合时序逻辑公式的一条路径。根据时序 Petri 网 TN 的逻辑公式 f , 有如下结论:

定理 1 $TN = (N, f)$ 是时序 Petri 网, 其中, $N = (P, T; F)$ 是问题的 Petri 网模型, 如图 1 所示。时序逻辑公式为式(9), 时序 Petri 网 TN 的初始标识为式(10), 则 $P A \in L(TN, M_0)$, A 为有限序列。

证明 显然, 根据时序逻辑公式(5) 的语义, 知 $P A \in L(TN, M_0)$, 则有

$$M_0, A \models \diamond(pr \wedge sr \wedge wr \wedge cr) \quad (11)$$

设 $A = BC, M_0[B > M']$, 则有 $M', C \models (pr \wedge sr \wedge wr \wedge cr)$ 。又根据式(8), 有

$$M', C \models (pr \wedge sr \wedge wr \wedge cr = \emptyset t) \quad (12)$$

即 $M', C \models \emptyset t$ 。表示在可达状态 M' 下, 任何变迁都不会发生, 因此变迁发生序列到此终止。显然, A 为有限序列。 $\square$

现在借用自动机产生语言的方法, 形式化地利用可达图产生网语言, 则有

$$\begin{cases} M_0 = t_2 t_5 M_2 \\ M_2 = (t_3 t_6 t_4 + t_4 t_6 t_3) M_5 \\ M_5 = t_5 t_2 M_7 \end{cases} \quad (13)$$

由式(12) 得

$$M_0 = t_2 t_5 (t_3 t_6 t_4 + t_4 t_6 t_3) t_5 t_2 M_7 \quad (14)$$

因此, 如有下结论:

定理 2 $TN = (N, f)$ 是时序 Petri 网, 其中, $N = (P, T; F)$ 是问题的 Petri 网模型, 如图 1 所示。时序逻辑公式为式(9), 时序 Petri 网 TN 的初始标识为式(10), 则

$$L(TN, M_0) = t_2 t_5 (t_3 t_6 t_4 + t_4 t_6 t_3) t_5 t_2 \quad (15)$$

事实上, 网语言所包含的变迁引发序列, 对应着人、羊、狼和菜过河问题的实现方案, 其中实现方案有两个, 分别为:

方案 1 $t_2 t_5 t_3 t_6 t_4 t_5 t_2$

方案 2 $t_2 t_5 t_4 t_6 t_3 t_5 t_2$

由此, 问题已得到解决, 达到了智能控制的目的。

4 结 语

本文通过引入时序 Petri 网, 并结合剖析人、羊、狼和菜过河问题的智能控制实现过程, 阐述了利用时序 Petri 网为智能控制系统建模的思想, 从而提出一种新的智能控制系统的理论工具。由于 Petri 网能直观有效地刻画物理系统, 而时序逻辑适于描述系统的需求规范和约束条件, 因此时序 Petri 网作为二者有机的结合, 使其在模拟智能控制系统时非常简洁而有效, 值得进一步深入研究和探索。

(下转第 235 页)

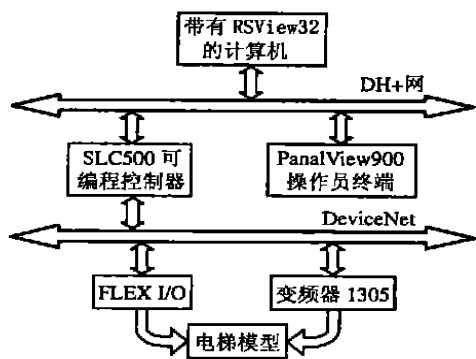


图2 电梯系统网络结构

与DH+网相连接的带有RSView32组态软件的计算机。由计算机中的数据库对采集到的数据进行统计,通过计算机对召唤信号进行计算,以决定对召唤信号的分配。PanalView900操作员终端负责模拟呼梯信号。对呼梯信号完成分配后,由可编程控制器对变频器进行操作,完成对电梯运行的控制。

4 结 语

本文对最小等待时间的调度算法进行了应用上的研究,结合具体电梯模型的运行,提出了在优化条件破坏时的最优控制算法,根据本算法可实现电梯协调运行。由于实验室还未实现对乘客载重的仿真,因此当出现最小等待时间两者以上相等时,设定的是按A→B→C→D的优先顺序调派轿厢。关于乘客载重的仿真还有待于进一步研究和实现。

参考文献(References):

- [1] Kenji Sasaki, Sandor Markon, Masami Makagawa. Elevator group supervisory control system using neural networks[J]. Elevator World, 1996, (2): 81.
- [2] 梁延东. 电梯控制技术[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1997.

(上接第232页)

参考文献(References):

- [1] 蔡自兴, 徐光佑. 人工智能及其应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 1997.
- [2] 林闯, 吴建平. 利用不动点求解子句逻辑推演的Petri网模型[J]. 软件学报(Journal of Software), 1999, 10(4): 359-365.
- [3] 刘晓霞. 基于Petri网的知识库维护方法的研究[J]. 小型微型计算机系统(Min-Micro Systems), 1997, 18(7): 74-77.
- [4] 蔡之华. 用Petri网表示产生式知识[J]. 微型计算机(Micro Systems), 1995, 15(5): 49-52.
- [5] 赵不贿, 王四平, 蔡兰. 基于受控Petri网-Moore自动机的DEDS反馈监控理论及其应用研究[J]. 计算机科学(Computer Science), 1999, 26(6): 48-52.
- [6] J E Hopcroft. Introduction to automata theory, languages and computation[M]. New York: Addison-Wesley Publishing Company, 1979.
- [7] I Suzuki. Fundamental properties and application of temporal Petri nets[A]. Proc 9th Annu Conf Inform Sci and Syst[C]. Baltimore: Johns Hopking Univ, 1985. 641-646.
- [8] I Suzuki, H Lu. Temporal Petri nets and their application to modelling and analysis of a handshake daisy chain arbiter[J]. IEEE Trans on Comput, 1989, 38(5): 696-704.
- [9] I Suzuki. Formal analysis of the alternating bit protocol by temporal Petri nets[J]. IEEE Trans on Software Eng, 1990, 16(11): 1273-1281.
- [10] R Zurawski. Verifying correctness of interfaces of design models on manufacturing systems using functional abstractions[J]. IEEE Trans on Ind Electr, 1997, 44(3): 307-320.
- [11] J L Peterson. Petri net theory and the modeling of systems[M]. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1981.
- [12] T Murata. Petri nets: Properties, analysis and applications[J]. Proc IEEE, 1989, 77(1): 541-580.
- [13] H Q Wang, C J Jiang, S Y Liao. Behaviour relations in synthesis process of Petri net models[J]. IEEE Trans on Rob and Autom, 2000, 16(4): 400-407.
- [14] C J Jiang. Nets operations ($\hat{E}$)[J]. J of Comp Sci & Tech, 1995, 10(6): 509-517.
- [15] 蒋昌俊. 离散事件动态系统的PN机理论[M]. 北京: 科学出版社, 2000.