

基于Petri网的扫地机器人路径设计分析

胡源, 王丽丽, 刘祥伟

(安徽理工大学 数学与大数据学院, 安徽淮南 232001)

摘要: 扫地机器人已成为目前较为热门的家政机器人之一, 但是对于扫地机器人完成清扫工作的效率探究仍然存在着不小的设计前景, 如机器人行动路径设置问题, 地面垃圾清扫不完善等问题。本文基于Petri网的思想与行为轮廓的概念, 从过程行为方面建立了扫地机器人对于陌生环境的路径设置模型, 从petri网的角度对其进行分析, 并用Java进行演示以验证其模型的有效性。

关键词: 扫地机器人; Petri网; 行为轮廓; 建模

中图分类号: TP391.9

文献标识码: A

文章编号: 1672-9870(2018)04-0104-04

Analysis on Path Setting Problem of Sweeping Robot Based on Petri Net

HU Yuan, WANG Lili, LIU Xiangwei

(Anhui University Of Science And Technology, Huainan 232001)

Abstract: Sweeping robot has become one of the most popular home-use robots in China at present. However, there are still many design prospects in the efficiency of sweeping robots in cleaning operations. Such as how to set the path of robots, sweep the garbage on the ground are not perfect and so on. Based on the concept of Petri nets and the outline of behavior profiles, in this paper, a model of path setting of sweeping robots for alienation environment from process behavior is established; the angle of Petri nets and demonstrates the validity of the model are analyzed by demonstrating with Java.

Key words: sweeping robot; Petri net; behavioral profiles; modeling

近年来,科学技术的不断进步与发展,扫地机器人的功能也日益完善,但是由于现代房间住房内部环境的复杂性,导致了扫地机器人难以完整记录室内环境,因此如何设计机器人的清扫路径是整个设计系统的重点。

Petri网的行为轮廓理论是以合理的自由选择petri网为基础,从过程行为角度建模,使得Petri网模型间的行为关系具体化、数字化,直观的刻画了行为间的内部关系^[1],对服务的交互和组合能从过程行为角度上得到解决。构建流程模型^[1]能够清晰地表现出业务行为的逻辑性和有序性,建模原则则给出了建模语言所需的形式化的程序。文献[3]给出了在扫地机器人工作时,如何寻找内层非障碍点的

方法建议。文献[4]提出了在满足室内环境全覆盖的情况下,如何规划扫地机器人的路径问题想法。文献[5]给出了在业务流程建模时,将一个建模目标的多个输入模型根据模型相关性合并成一个复杂的综合模型,以及子模型的实现。文献[6]介绍了一个利用组合性的方法检测Petri网可达性。文献[8]给出了在业务流程建模时,将一个建模目标的多个输入模型根据模型相关性合并成一个复杂的综合模型,建模者可以观察到输入模型间的共性和不同之处,以及子模型的实现,从而能更深一步的服务于建模目标。文献[9]给出了在业务流程建模时,将一个建模目标的多个输入模型根据模型相关性合并成一个复杂的综合模型,建模者可以观察到输入模型间

收稿日期: 2018-03-07

基金项目: 国家自然科学基金项目(61402011, 61572035); 安徽省自然科学基金(1508085MF111, 1608085QF149); 安徽省高校自然科学基金重点项目(KJ2016A208); 安徽理工大学研究生创新基金项目(2017CX2113)

作者简介: 胡源(1994-), 男, 硕士研究生, E-mail: 1451347847@qq.com

的共性和不同之处,以及子模型的实现,从而能更进一步的服务于建模目标。

本文基于Petri网和行为轮廓的思想,从过程行为角度进行建模,提出了扫地机器人路径系统模型的设计分析。为了使得机器人在清扫环境系统中更方便快捷的达到环境全覆盖,并且针对其在打扫过程中碰到路面障碍的情况,结合Petri网中的行为关系分析流程模型,使其达到适用性和一致性。

1 基本概念

下面仅介绍流程模型Petri网的定义及其可达性,阐述了行为轮廓的相关定义。

定义1^[1](流程模型Petri网)一个流程模型Petri网 $PM=(P, T, F, C, s, e)$ 是一个六元组,满足以下条件:

- (1) P 是有限库所集, T 是有限活动变迁集;
- (2) $P \neq \emptyset, T \neq \emptyset$ 且 $P \cap T = \emptyset$;
- (3) $F \subseteq (P \times T) \cup (T \times P)$ 表示PN的流关系且 $(P \cup T, F)$ 是强连通图;

- (4) $\text{dom}(F) \cup \text{cod}(F) = P \cup T$,

其中

$$\text{dom}(F) = \{x \in P \cup T \mid \exists y \in P \cup T, (x, y) \in F\};$$

$$\text{cod}(F) = \{x \in P \cup T \mid \exists y \in P \cup T, (y, x) \in F\}.$$

- (5) $C = \{\text{and}, \text{xor}, \text{or}\}$ 是流程网的结构类型;

- (6) M_0 是网的初始标识, M_f 是网的终止标识, 且 M_f 是死标识;

- (7) $s \in T$ 是开始活动变迁, $e \in T$ 是终止活动变迁。

则称该网为流程模型Petri网。

在此定义上,定义了网的前集和网的后集。

定义2^[2](变迁发生规则)一个四元组 $PN=(P, T; F, M_0)$ 称为Petri网,并具有下面的变迁发生规则

- (1) 变迁 $t \in T$ 具有发生权,当且仅当对 $\forall p \in {}^t: M(p) \geq 1$, 记作 $M[t >]$;

- (2) 在标识 M 下能发生的变迁 t 经发生后,得到一个新的标识 M' , 记作 $M[t > M']$, 则有

$$M'(p) = \begin{cases} M(p) - 1 & \text{if } p \in {}^t - t' \\ M(p) & \text{otherwise} \end{cases}$$

定义3^[6](可达性)已知Petri网 $PN=(P, T; F, M)$, 如果存在 $t \in T$, 使 $M[t > M']$, 则称 M' 为从 M 直接可达的。如果存在变迁序列 t_1, t_2, \dots, t_k 和标识序列 M_1, M_2, \dots, M_k 使得

$$M[t_1 > M_1][t_2 > M_2] \dots [t_k > M_k]$$

则称 M_k 为从 M 可达的。从 M 可达的一切标识的集合记为 $R(M)$ 。

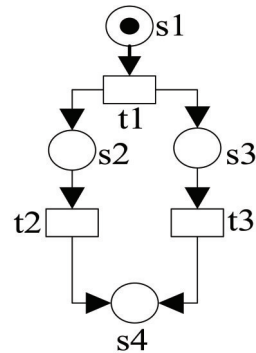


图1 可达性模型

如图1基于Petri网可达性建立模型,记 $M_0[1, 0, 0, 0], M_1[0, 1, 1, 0], M_2[0, 0, 0, 1]$ 在初始状态 M_0 下, 变迁 t_1, t_2, t_3 都是使能的, 即 $M_0[t_1 > M_1][t_2 > M_2]$ 。

定义4^[9](行为轮廓)设 (N, M_0) 是一个网, 初始标识为 M_0 。对任给的变迁对 $(t_1, t_2) \in (T \times T)$ 满足下面关系:

- (1) 若 $t_1 > t_2$ 且 $t_2 \not> t_1$, 则称严格序关系, 记作 $t_1 \rightarrow t_2$;

- (2) 若 $t_1 \not> t_2$ 且 $t_2 > t_1$, 则称严格逆序关系, 记作 $t_1 \rightarrow^{-1} t_2$;

- (3) 若 $t_1 \not> t_2$ 且 $t_2 \not> t_1$, 则称排他关系, 记作 $t_1 // t_2$;

- (4) 若 $t_1 > t_2$ 且 $t_2 > t_1$, 则称交叉序关系, 记作 $t_1 \times t_2$;

- (5) 将所有关系的集合叫做网系统的行为轮廓, 记作 $BP = \{\rightarrow, \leftarrow^{-1}, //, \times\}$

2 基于Petri网的扫地机器人路径系统的模型建立

本部分首先基于Petri网建立扫地机器人路径设置模型,其次分析该模型中活动间的相互关系并分析该模型的结构,完善机器人的路径系统,使得其能够更好地完成清洁室内的工作。目前来说,扫地机器人以螺旋式行动来进行清扫的方式是效率最高的,它在避免了重复行走路径的同时,也能够有效的遍历所有的区域达到完成各个区域的清扫目的。但是机器人在以螺旋模式行动的途中,若是在途中碰到了较大形状的障碍物,如桌椅,抑或是宠物等物体时,便会中断它的行动路线^[7]。所以,在螺旋行动中,加入避开障碍物的算法,如绕开障碍物后再返回原

路径。下面就此方法提基于Petri网的模型建立,使得机器人可以在陌生的环境中完成自身的清扫任务。然后根据建立的模型,用Java进行仿真演示以验证模型。

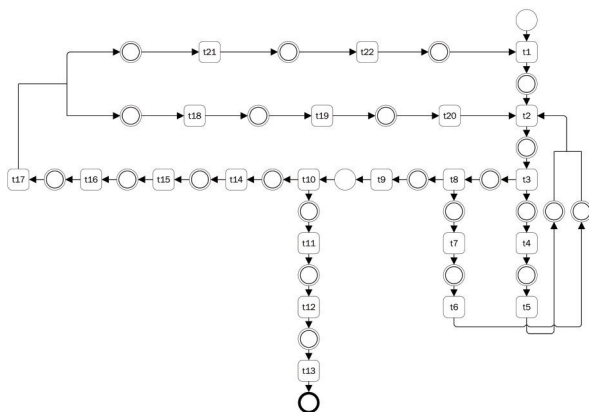


图2 扫地机器人路径的Petri网模型

对房间进行模块化分层,清洁机器人按右螺旋方式对房间进行清扫,假定房间分为51*51矩阵,最外层200个点记为1(起始点记为0),第二层196个点记为2,以此类推,最中间点记为26。若房间大小改变,按此方法类似进行标记分层。

$$\sigma_1 = t_1 t_2 t_3 [t_4 t_5 t_2 (t_8 t_7 t_6 t_2)]$$

$$\sigma_2 = t_9 t_{10} t_{11} t_{12} t_{13}$$

$$\sigma_3 = t_{17} (t_{21} t_{22} t_1 + t_{18} t_{19} t_{20} t_2)$$

通过模型的运行可以直观的看出活动之间的关系。在机器人行进至障碍物时,首先会判断该障碍物为墙壁或一般阻碍物,然后返回判断信息并根据返回的信息决定下一步行动方式。若为墙壁则转变方向继续前行执行清扫,若为一般阻碍物则寻找内层紧邻点,通过移动至内层紧邻点再返回到外层阻碍物后一点继续之前的路径执行清扫,直至这一层

清扫完毕再运行至内一层重复上述工作。下面以迹的方式给出分析:给出如下变迁序列:

当机器人以螺旋方式行动清扫时,会对已清扫后的位置进行标记,当外层清扫完毕后,会移动至内层重复进行螺旋式清扫,即为路径 $\sigma = \sigma_1$ 。

若机器人判断无内层且所经过区域全部已标记,则机器人便完成清扫^[4],其路径为 $\sigma = \sigma_1 \sigma_2 \sigma_3$ 。

下面用Java来进行模拟实验,以验证其有效性。部分核心代码如下:

```
public class MyTest {
    // -9 障碍物 -8 已清扫过的障碍物 -99 垃圾
    // 1-26 空地;机器扫过 1-26 ->0 -99->-8
    public static void main(String[] args) {
        int[][] datas = new int[cleaner.MAX-X+1]
[cleaner.MAX-Y+1];

        /*for(int a = 0;a<=100;a++){
            for(int b = 0;b<=100;b++){
                datas[a][b]=101;
            }
        }*/
        for(int i=1;i<=cleaner.MAX-VALUE;i++){
            for(int m = 0;m<=cleaner.MAX-X;m++){
                for(int n = 0;n<=cleaner.MAX-Y;n++){
                    if((m==(i-1)||n==(i-1)||m==(cleaner.MAX-X+1-i)
||n==(cleaner.MAX-X+1-i))&&.(datas[m][n] <1)){
                        datas[m][n] = i;
                    }
                }
            }
        }
        Random r = new Random();
        for(int i=1;i<=cleaner.DIRTY-NUM;i++){
            int x =r.nextInt(cleaner.MAX-X);
```

表1 图2变迁符号的含义

t1:选定初始点,清洁机器人按右螺旋清扫方式开始运行	t2:清洁机器人沿运行方向直行清扫垃圾,并对运行过的位置进行标记,记为0
t3:判断前方是否有障碍	t4:返回信息为无障碍
t5:沿当先方向继续直行清扫	t6:清洁机器人改变方向,左转作为新的运行方向
t7:返回信息有障碍,障碍物为墙壁	t8:返回信息有障碍,对障碍物进行判断
t9:返回信息有障碍,为一般障碍物,记为-9	t10:判断房间是否有剩余清扫区域
t11:返回信息无剩余	t12:完成清扫
t13:结束运行	t14:返回信息有剩余
t15:在最近内层寻找距该障碍点最近位置	t16:从当前点运行至该点,同时将当前障碍物标记为-8,不对该点进行0标记
t17:判断外层除了障碍标记-8以外是否全记为0	t18:返回信息,不全为0
t19:外层距该点最近位置,运行至这一点	t20:返回信息,全为0
t21:设定该点为新的初始点	t22:机器人沿遇到障碍物前的方向继续直行

```

        int y = r.nextInt(cleaner.MAX-Y);
        datas[x][y]=cleaner.DIRTY;
    }

    for (int i=1; i<=cleaner.OBSTRICT-NUM;
i++){

        int x = r.nextInt(cleaner.MAX-X);
        int y = r.nextInt(cleaner.MAX-Y);
        datas[x][y]=cleaner.OBSTRICT;
    }

    datas[0][0]=cleaner.CLEAN;
    for(int a = 0;a<=cleaner.MAX-X;a++){
        for(int b = 0;b<=cleaner.MAX-Y;b++){
            System.out.print (datas [a
[b]+",");

        }
        System.out.println();
    }

19,20,21,21,21,21,21,21,21,21,21,21,20,19,:
19,20,21,22,22,22,22,22,22,22,22,21,20,19,:
19,20,21,22,23,23,23,23,23,23,22,21,20,19,:
19,20,21,22,23,24,24,24,24,24,23,22,21,20,19,:
19,20,21,22,23,24,25,25,24,23,22,21,20,19,:
19,20,21,22,23,24,25,25,24,23,22,21,20,19,:
19,20,21,22,23,24,25,25,24,23,22,21,20,-9,:
19,20,21,22,23,24,24,24,24,24,23,22,21,20,19,:
19,20,21,22,23,23,23,23,23,23,22,21,20,19,:
19,20,21,22,22,22,22,22,-9,22,22,22,-9,20,19,:
19,20,21,21,21,21,21,21,21,21,21,21,20,19,

```

图3 房间内部环境设置

图3所显示的为未清扫之前房间内部环境图部分,房间障碍物及垃圾随机产生。清扫结果如图4所示。

显示当前清理过的房间内的情况【-8 :代表已清扫过的障碍物 0 :代表干净的地方】=

```

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 -8 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 -8
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

```

图4 清扫完成后室内环境部分

运行结果显示完成清扫后,地面已无垃圾,且机器人避开了所有的障碍物。

3 结束语

本文基于Petri网构建了扫地机器人的一种路径设置模型,其中包含了并发关系、排他关系及顺序关系的流程,根据Petri网的变迁发生规则及其可达性和行为轮廓等基本性质,通过增加相应的结构变迁对其进行设计。构建的模型包括顺序关系的流程图及具有排他关系的变迁发生序列,使模型应用更加全面,也体现了该模型在实际应用中的适用性。

未来关于路径设计建模优化还有许多问题去研究,需要基于Petri网及其行为轮廓的相关性质分析其模型优化的一致性和合理性。

参考文献

- [1] 吴哲辉.Petri网理论[M].北京:机械工业出版社,2006:6-22
- [2] Smirnov S, Weidlich M, Mendling J. Business Process Model Abstraction based on Behavioral Profiles [C]. In 8th International Conference, San Francisco, December 7-10, 2010. Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2010, 6470: 1-16.
- [3] 杨忠, 刘华春. 基于BP神经网络的扫地机器人寻路算法[J]. 电脑知识与技术, 2017, 13(10): 156-158.
- [4] 王新武, 任浩, 雷珊, 等. 改进的清洁机器人全覆盖路径规划算法[J]. 电子技术与软件工程, 2013(21): 154-155.
- [5] 赵娟. 基于Petri网配置的合并模型变化域分析方法研究[D]. 安徽理工大学, 2015.
- [6] Sobociński P, Stephens O. Penrose: Putting Compositionality to Work for Petri Net Reachability[M]// Algebra and Coalgebra in Computer Science. Springer Berlin Heidelberg, 2013: 346-352
- [7] 徐胜华, 宋树祥, 余果. 一种扫地机器人路径规划的改进算法[J]. 控技术, 2017, 36(2): 120-123.
- [8] Armas-Cervantes A, Baldan P, Dumas M, et al. Diagnosing behavioral differences between business process models[J]. Information Systems, 2016, 56(C): 304-325.
- [9] Jensen M T. Improving robustness and flexibility of tardiness and total flow-time job shops using robustness measures[J]. Applied Soft Computing, 2001, 1(1): 35-52.