

文章编号: 1006-4710(2005)04-0337-05

自主移动机器人的模糊智能导航

高峰, 黄玉美, 林义忠, 刘鸿雁, 史恩秀

(西安理工大学 机械与精密仪器工程学院, 陕西 西安 710048)

摘要: 移动机器人在运动过程中所获得的传感器信息是动态且不确定的。移动机器人的控制采用了基于行为的结构,它能够克服环境的不确定性,可靠地完成复杂任务,且效率高,鲁棒性好。为了实现机器人在未知、动态、复杂环境下具有一定智能的自我决策的能力,利用模糊控制器来完成移动机器人的各种自主行为,所有被激活的行为采用分划方法来融合,可以很好地处理不确定的情况。最后通过仿真验证了该方法对移动机器人导航的有效性和可行性。

关键词: 自主移动机器人; 智能导航; 模糊感知器

中图分类号: TP242.6

文献标识码: A

Fuzzy Intelligent Navigation of Autonomous Mobile Robot

GAO Feng, HUANG Yu-mei, LIN Yi-zhong, LIU Hong-yan, SHI En-xiu

(Faculty of Mechanical and Precision Instrument Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China)

Abstract: The mobile robot's information about environment acquired from sensors is dynamic and indefinite when it's working. The navigation architecture based on the behaviours adopted for the control of the mobile robot in this paper can overcome the environ uncertainty and complete the complicated tasks with high efficiency and better robustness reliably. In order to realize that the robot will have a certain intelligent self-decision-making ability in the case of unknown, dynamic and complicated environs, the fuzzy controllers are used to execute various kinds of self-independent behaviors of the mobile robot so that the partition solution or solvent can be used to fuse all the activated or fired behaviors. Whereby the uncertain situations can be well dealt with. Finally, the effectiveness and feasibility of navigation for mobile robot by this method are tested via the simulations.

Key words: autonomous mobile robot; intelligent navigation; fuzzy perception

移动机器人智能评价指标为自主性、适应性和交互性,其中自主性是机器人智能化的关键所在。自我定位和导航是移动机器人实现自主化必须具备的基本功能。自我定位是利用内部传感器或外部传感器获得自身在全局坐标系中的绝对位姿。导航是按照预先给出的任务命令,根据已知的环境信息作出全局路径规划,并在行进过程中,利用自身的传感器系统不断感知周围的局部环境信息,自主地作出各种决策,并随时调整自身位姿,引导自身安全行驶或跟踪已知路径达到目标位置。移动机器人要实现导航涉及到的基本行为:自身位姿和周围环境的感知与识别、路径规划、路径跟踪、障碍回避等。由于传感器自身的限制,感知信息存在不同程度的不确定性,直接使用感知信息很难得到准确的环境模型,控制作用并非完全可靠。在这种情况下,具有一定智能水平的自主移动机器人应该具有如下能力:当处于一个未知的、复杂的、动态变化的环境中时,通过对环境的感知,能够作出相应决策并予以执行,从而完成给定任务。模糊逻辑控制(FLC)由于不需要建立精确的数学模型,易于处理不确定信息以及将专家知识直接转换为控制输入等优点,已经得到了广泛地应用。移动机器人在运动过程中所获得的传感器信息是动态的且不确定的,本文利用模糊逻辑方法设计移动机器人的各种自主行为,用分划方法确定各个行为的融合,可很好地处理不确定的情况,实现了移动机器人的自主导航。

收稿日期: 2005-05-18

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50075069)。

作者简介: 高峰(1969-),男,宁夏中卫人,副教授,博士,研究方向为机器人建模与控制。

E-mail: gf2713@xaut.edu.cn。

1 移动机器人导航控制结构

目前自主式移动机器人导航控制的体系结构主要有三种^[1]:基于规划的控制结构^[2]、基于行为的控制结构^[3]和混合控制结构^[4]。在基于规划的控制结构中,系统根据机器人的任务要求,规划机器人各时刻的动作。虽然对于动态的、无结构的环境,将花费大量的重新规划的时间,但是这种控制结构却可以用于规划的正确性和优化等理论分析和证明。针对基于规划的结构所存在的不足,Brooks 提出了一种基于反应式控制方法的包容结构。反应式控制是一种从感知到动作的直接映射,机器人能够对外界环境变化作出快速响应。基于行为的控制结构是反应方法的扩展,它把复杂的任务分解成很多简单的可以并发执行的单元,每个单元有自己的感知器和执行器,两者紧耦合在一起,构成感知动作行为,多个行为相互松耦合构成层次模型。机器人的最终指令由控制器根据行为的优先级和本身的任务作出综合来确定。这种结构的主要优点在于每个行为的功能比较简单,可以通过简单的传感器及其快速信息处理过程取得比较好的实时效果。采用该控制结构所设计的机器人在复杂和动态环境中具有良好的鲁棒性。但由于这种控制结构只解决局部感知任务而没有对任务作出全局规划,不能保证目标的实现是最优的。考虑到上述两种控制结构都各有其优点和不足之处,有人提出了混合控制结构,即将基于规划控制结构和基于行为控制结构整合在一起。但是这种结合实现非常困难,因为规划系统常常采用一些抽象的标志来描述真实的物体,而基于行为控制结构则常常直接根据传感器的信号来选择自己的动作。

2 移动机器人自主行为分析

考虑到移动机器人的实用性,本文采用基于行为的控制结构。在分析人的工作经验及移动机器人已有的运动功能的基础上,定义以下几种移动机器人的自主行为:

(1) 应急行为:移动机器人在运行过程中,当防撞传感器接收到碰撞信号后,机器人立即切断电源,紧急刹车。

(2) 避障行为:在执行任务过程中,由机器人的局部环境感知器(声纳环或视觉系统)对周围环境进行探测,当传感器获得障碍信息时,采取相应动作策略进行避障,例如向左转、向右转、原地回转等。

(3) 任务行为(包括漫游、墙壁跟踪和目标跟踪):漫游是指移动机器人在工作空间做任意移动的行为;在结构化的环境中,长墙是普遍存在的环境特征,因此在机器人的任务设定中要考虑墙壁跟踪;目标跟踪是移动机器人的最基本的任务。

由于篇幅关系,本文只介绍避障行为,它是通过模糊感知器来实现的。

3 移动机器人的传感器系统构成

移动机器人为了能在未知的、动态的、非结构化环境中顺利完成任务,它必须具备像人一样的感觉器官,这就是机器人的传感器系统。在本研究中,针对机器人的基本自主行为,由不同的传感器构成相应的感知器官。图 1a 所示移动机器人采用三个传感器系统:① 防撞传感器;② 由数个超声波传感器组成的声纳环构成避障传感器;③ 激光全局定位系统及编码器、陀螺仪构成定位系统。其结构参数为(见图 1b):整体轮廓尺寸 $L \times W \times H = 2000 \text{ mm} \times 1200 \text{ mm} \times 360 \text{ mm}$;轮距 $T = 652 \text{ mm}$;驱动轮直径 $d = 240 \text{ mm}$ 。

4 模糊感知器

考虑到移动机器人实现自主导航过程中的几个问题:① 真实运行环境的数学模型难以获得;② 传感器数据的不完整、不确定及含有噪声;③ 便于实现实时控制。本文利用模糊逻辑控制技术来建立移动机器人的独立行为单元,即感知器,它包括感知、动作两个功能。在基于行为的控制结构中,参与控制的是各异的、并有可能不兼容的多个行为,每个行为负责机器人某一特定目标的实现,如跟踪目标或避障等。本文用模糊感知器来实现移动机器人的避障行为、漫游行为、墙壁跟踪行为,采用模糊逻辑控制技术来实现目标跟踪行为。多个行为往往可能产生互相冲突的控制输出命令。因而系统需要解决一个多行为的协作问题,即通过构造有效的多行为活动协调机制,完成合理一致的整体行为。本文采用分划方法实现多个冲突行为间的折衷。

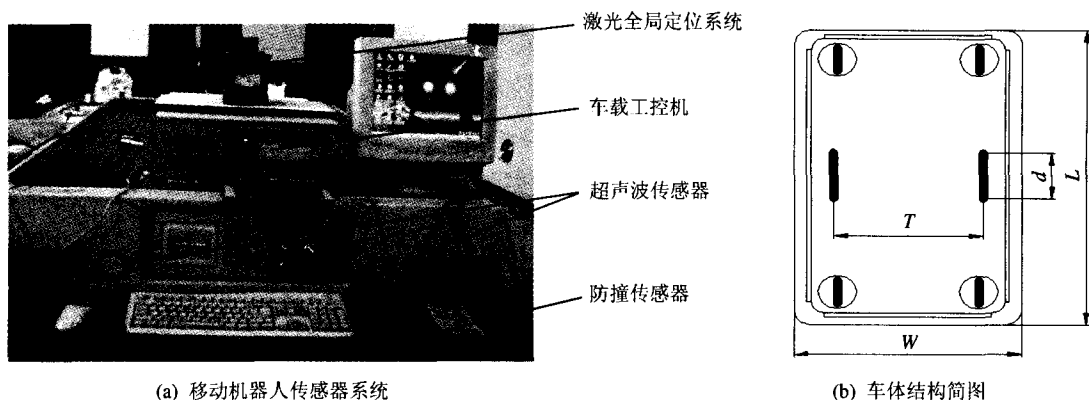


图1 移动机器人传感器系统及车体结构简图
Fig. 1 Sensor system and structure schema of MR

4.1 感知器概念^[4]

采用如图2所示的超声波传感器布置方式,可将其分为正前方、左上方、左方、右上方、右方五个感知域,考虑到超声波传感器之间的干扰,每个感知域中一般布置2~3个传感器。图中, d_i 为超声波传感器所测得障碍物距离; p_i 为相应的超声波的感知器矢量,它的方向与超声波轴的安装方位一致,长度是测量距离的函数,由下式确定:

$$p_i = (d_i - d_{\min}) / (d_{\max} - d_{\min}) \quad (1)$$

式中, d_{\min} 、 d_{\max} 分别为传感器能可靠地检测到障碍物的最近和最远距离, p_i 有如下的取值范围限制:

$$p_i = \begin{cases} 1 & \text{if } d_i > d_{\max} \\ 0 & \text{if } d_i < d_{\min} \end{cases} \quad (2)$$

则每个感知域中总感知器矢量 p_o ($o \in \{\text{forward, left, left forward, right, right forward}\}$) 由多个独立感知器矢量 p_i 组成。它的长度等于最小的感知器矢量,由下式确定:

$$p_o = p_{i,\min} \left(\sum p_i / \left| \sum p_i \right| \right) \quad (3)$$

当同一障碍物位于机器人不同方位时,它对于机器人的影响是不同的,因此对于机器人的不同感知域所测得的距离相同的障碍物赋以一权重值,则可将式(1)修改为:

$$p_i = \frac{d_i(1 - \epsilon \sin \varphi_i) - d_m(1 - \epsilon)}{(n-1)d_m(1 - \epsilon)} \quad (4)$$

式中, $d_{\min} = d_m(1 - \epsilon) / (1 - \epsilon \sin \varphi_i)$; $d_{\max} = nd_{\min}$ ($n > 1$); φ_i 为传感器轴的方位角, $\varphi_i \in [-90^\circ, 90^\circ]$; ϵ 为偏心距, $0 < \epsilon < 1$ 。

对于每个传感域的总感知器矢量 p_o 的方向等于该域中最大的传感器轴方位角 $\varphi_{i,\max}$ (参见图3)。

4.2 避障行为的实现

对于应急行为的实现可以根据防撞传感器的信号输入作出响应,也可设置一表示危险距离的阈值 d_c 。当声纳环所检测到的离障碍物距离小于该阈值时,激活应急行为,弥补声纳系统在近距离测距时的死区,防止死锁现象发生。

以机器人纵轴为分界将障碍物相对机器人的方位定为左、右两侧,则超声波传感器检测到的障碍物方位由 φ 确定,距离由 p 确定。本文利用模糊控制器来实现机器人的避障行为,其控制器输入为感知器的输出矢量 p 的大小,输出为机器人的控制量(包括转向和速度)。模糊控制器各模糊子集如图4所示。

针对不同区域的感知器,可以设定相应的模糊控制规则。例如,当只有车体正前方的超声波传感器探

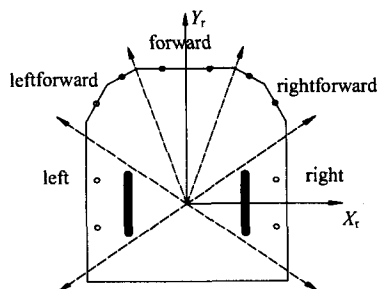


图2 超声波传感器的布置
Fig. 2 The superwave sensors arrangement for MR

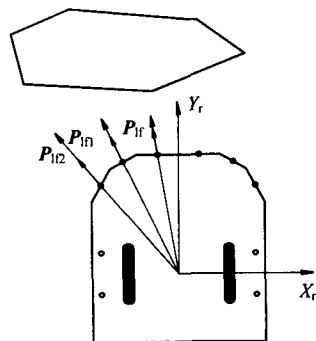


图3 感知器说明图
Fig. 3 Description of perception

测到障碍物时,此时机器人可以向右或向左转,其转向程度由感知器矢量的大小决定。其控制规则如下:

- ① if p_i is ZERO, then robot's speed is ZERO, turn LTB or RTB;
- ② if p_i is PS, then robot's speed is PS, turn LTM or RTM;
- ③ if p_i is PM, then robot's speed is PM, turn LTM or RTM;
- ④ if p_i is PB, then robot's speed is PB, turn LTS or RTS;
-

当车体右(左)前方的超声波传感器探测到障碍时,此时机器人需向左(右)转,其转向程度由感知器矢量的大小决定。其控制规则如下:

- ① if $p_r(p_l)$ is ZERO, then robot's speed is PS, turn LTB (RTB);
- ② if $p_r(p_l)$ is PS, then robot's speed is PS, turn LTM (RTM);
- ③ if $p_r(p_l)$ is PM, then robot's speed is PM, turn LTS (RTS);
- ④ if $p_r(p_l)$ is PB, then robot's speed is PM, turn ZERO (ZERO);
-

4.3 复杂行为的实现

当要求机器人同时实现不同的基本自主行为时,就构成了复杂行为,它往往包含几个或多个可能产生互相冲突的控制输出命令的行为。因而系统必须构造有效的多行为活动协调机制,实现合理一致的整体行为。对于复杂行为的合成一般有两个解决方案:整合方式和分划方式。无论复杂行为的实现采用整合模糊规则集或分划模糊规则集都是一件较为困难的事情。整合方式更多地考虑基本自主行为间的交互,特别是这种交互较为重要时,该方法就显示出其优越性。可是当输入空间的划分增加时,模糊规则数呈指数增长,从而使模糊控制器的设计变得复杂,而分划方式就易于实现。本文采用分划方式来实现复杂行为,它分为两个步骤:首先,启动仲裁模块,由它决定哪种基本自主行为可以激活;第二,根据加权平均法将所有被激活的自主行为的控制量进行合成,从而得到最终的机器人的控制指令。

4.3.1 仲裁模块

针对机器人在不同的形势下每个自主行为由专家知识库来确定是否被激活,其规则描述如下:

- (1) 如果正前方有障碍物,且目标在左(右)方,则禁止正前方感知器,激活目标跟踪行为;
- (2) 如果正前方有障碍物,且目标在正前方,则激活正前方感知器,禁止目标跟踪行为;
- (3) 如果右前方有障碍物,且目标在左方,则禁止右前方感知器,激活目标跟踪行为;
- (4) 如果左前方有障碍物,且目标在右方,则禁止左前方感知器,激活目标跟踪行为;
-

4.3.2 合成模块

被激活的每个自主行为都有一个命令矢量 c_i (速度和转向), 给每一自主行为赋予一个权重 W_i , 如被激活的自由行为有 n 个, 采用加权平均法对所有被激活的自主行为进行融合, 从而获得移动机器人的最终控制量:

$$c = \left(\sum_{i=1}^n W_i c_i \right) / \left(\sum_{i=1}^n W_i \right) \quad (5)$$

5 仿真实验结果

仿真条件:车体结构尺寸如图 1b 所示,超声波测距范围为:0.05~2 m。

5.1 漫步行为仿真

根据上述方法,可得到在简单结构环境和复杂结构环境中漫步的仿真结果,如图 5 所示。

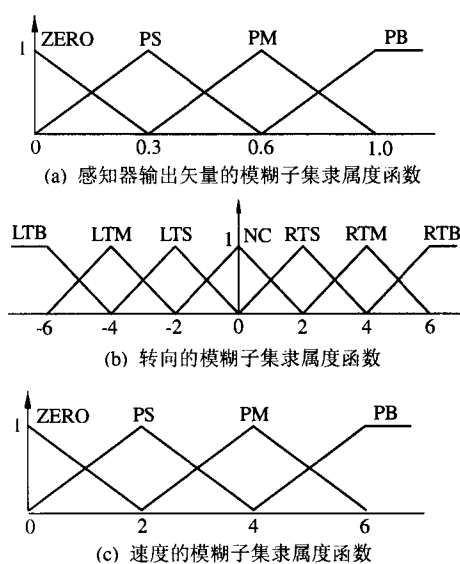
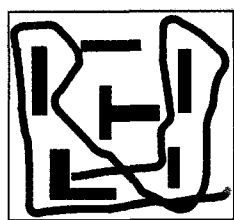
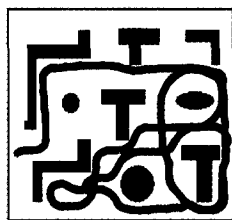


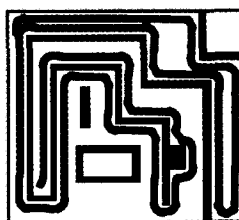
图 4 避障模糊控制器的模糊子集隶属度函数
Fig. 4 Membership functions of fuzzy controller for obstacle avoidance



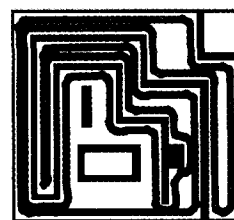
(a) 简单结构环境中漫步仿真



(b) 复杂结构环境中漫步仿真



(a) 沿右墙跟踪仿真



(b) 沿左墙跟踪仿真

图 5 漫步仿真结果

Fig. 5 Simulation results of wandering behavior

图 6 墙壁跟踪仿真结果

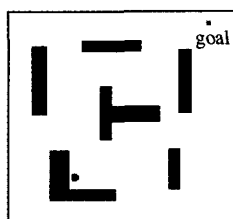
Fig. 6 Simulation results of wall-following behavior

5.2 墙壁跟踪行为仿真

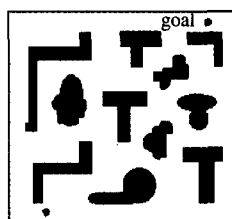
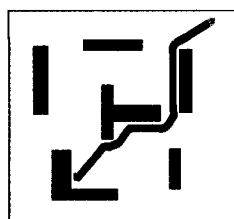
根据本文所提出的导航控制方法,可得到墙壁跟踪仿真结果,如图 6 所示。

5.3 复杂行为仿真

根据本文所提出的利用仲裁方式和命令合成方法,对在不同结构化环境中的目标跟踪行为进行了仿真,如图 7 所示。



(a) 简单结构化环境中的位置目标跟踪仿真



(d) 复杂结构化环境中的位置目标跟踪仿真

图 7 复杂行为仿真结果

Fig. 7 Simulation results of complex behavior

6 结 语

为了实现移动机器人对外界动态环境具有智能级的反应能力,在考虑移动机器人非完整约束的前提下,本文利用超声波传感器数据作为感知信息,设计了基于移动机器人行为的模糊感知器系统。仿真结果显示,该方法能有效地进行路径跟踪(或墙壁跟踪)、及时避障和目标跟踪,使移动机器人在一定程度上具有了自我判断和自我决策的能力。

参考文献

- [1] Saffiotti A. The uses of fuzzy logic in autonomous robot navigation[J]. Soft Computing, 1997(1):180-197.
- [2] Arkin R C. Motor schema based navigation and automation[A]. IEEE Int Conf on Robotics and Automation, 1987: 264-271.
- [3] Brooks R. A robust layered control system for a mobile robot[J]. IEEE Trans Robotics and Automation, 1986(2):14-23.
- [4] Cuesta F. Intelligent control of nonholonomic mobile robots with fuzzy perception[J]. Fuzzy Sets and Systems, 2003 (134):47-64.
- [5] 史恩秀, 黄玉美, 史文浩, 等 (Shi En-xiu, Huang Yu-mei, Shi Wen-hao, et al). 全方位 AGV 复合转向方法的运动分析与仿真 (Kinematics analysis and simulation of composite turning method for omni-direction AGV)[J]. 西安理工大学学报 (Journal of Xi'an University of Technology), 2004, 20(2):126-130.