

基于 Motor Schema 的移动机器人反应式导航

杨立苹,洪炳镕,周浦城

(哈尔滨工业大学 计算机科学与技术学院,黑龙江 哈尔滨 150001)

摘要:针对移动机器人的导航问题,采用基于 Motor Schema 的结构,设计了三种基本行为:趋向目标行为,避障行为和随机扰动行为.通过调整机器人几种行为的控制参数,实现了不同条件下的机器人安全导航.仿真实验结果验证了所提方法的可行性与有效性.

关键词:移动机器人;Motor Schema;反应式导航

中图分类号:TP242

文献标识码:A

文章编号:1672-0946(2005)05-0612-03

Study on mobile robot reactive navigation based on Motor Schema

YANG Li-ping, HONG Bing-rong, ZHOU Pu-cheng

(School of Computer Science & Technology, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China)

Abstract: Motor Schema-based architecture is adopted by individual robot and three primitive behaviors called move-to-goal, avoid-obstacles and random-disturbance are designed for the navigation task for the mobile robot. The safe navigation under different situations is implemented by adjusting the control parameters. The simulation results verify the feasibility and efficiency of the proposed approach.

Key words: mobile robot; motor schema; reactive navigation

移动机器人导航问题是当前机器人研究领域的一个热点和难点问题.导航是指在没有人的干预下使机器人有目的地移动并完成特定任务,进行特定的操作.移动机器人反应式导航的思想最早是由 Brooks^[1]引入的,他提出了一种基于行为分解的包容式体系结构.随着计算智能方法的发展,用于移动机器人反应式导航的智能控制方法也取得了一系列成果,如基于模糊逻辑的反应式导航方法^[2]、基于强化学习的移动机器人反应式导航方法^[3]以及基于神经网络的反应式导航方法^[4]等.

在机器人研究中,基于行为的方法按照任务要求将机器人运动分解为一系列基本行为的集合,根据传感器信息和有关通讯信息对环境做出快速反应,以利于任务的完成.作为基于行为的机器人控制的一种样式,Motor Schema 结构是直接对环境感

知信息和机器人行为控制命令之间建立一种映射关系,而无需建立环境模型,因此它比一般的反应式方法具有更多的灵活性,目前已经成为实现移动机器人导航问题的一种重要方法.

本文采用基于 Motor Schema 结构研究了移动机器人反应式导航问题,通过设置不同行为的控制参数来实现机器人的行为选择.

1 行为设计

基于 Motor Schema 的机器人结构首先是由 Arkin^[5]提出来的,它是一种基于行为的分解模式,是反应式结构的一种形式.在 Motor Schema 结构中,每个 Motor Schema 对应于一个基本行为,其执行的动作是多个激活行为的加权之和的结果,而不是由其中的某个行为决定的,如图 1 所示.

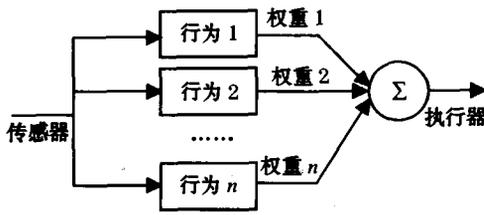


图 1 基于 Motor Schema 的反应式结构

基于 Motor Schema 的结构设计主要包括行为集和对应的控制参数集两部分,其中行为集是由机器人要执行的任务决定的,它是一系列基本行为的集合,而控制参数集则体现了对应行为的相对权重.本文研究的是单个移动机器人在有障碍物的未知环境下的导航,根据环境情况以及任务要求,选取和构造了 3 种基本行为,即趋向目标行为、避障行为和随机扰动行为.

本文提出的反应式导航行为采用势场法来描述,用向量来表示机器人的行为,并用向量的合成来表示不同行为共同作用后产生的特定行为.

1.1 避障行为

当机器人检测到环境中的障碍物有可能阻碍其运动时,机器人应当绕过障碍物以避免与其发生碰撞,这种行为称之为“避障行为”,用排斥势场表示.这里只考虑机器人感知范围内出现的障碍物对机器人的排斥作用,而不考虑感知范围外的障碍物对机器人的影响.如图 2 所示,只有障碍物 O_1 和 O_2 对机器人产生排斥力,分别记为 F_{r1} 和 F_{r2} ,其共同作用生成排斥力合力 F_r .

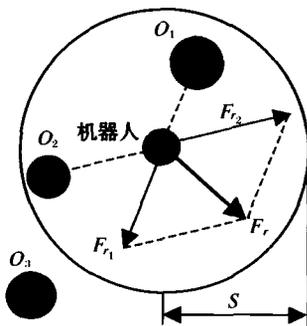


图 2 排斥势场作用示意图

对于机器人感知范围内的障碍物,其对机器人产生的排斥力 F_{ri} 由下式确定:

$$F_{ri} = \begin{cases} 0 & d_i > S \\ G_i \frac{(S - d_i)}{d_i - R} \left(\frac{(x_i - x_0)}{d_i} x + \frac{(y_i - y_0)}{d_i} y \right) & R < d_i \leq S \\ \infty & d_i \leq R \end{cases} \quad (1)$$

其中: G_i 是障碍物 i 的排斥力常数; d_i 是障碍物 i 与机器人间的距离; R 是机器人最小安全半径; S 是机器人的感知半径; (x_0, y_0) 是机器人的当前坐标; (x_i, y_i) 是障碍物 i 的中心点坐标; x 和 y 分别是 X 坐标轴与 Y 坐标轴对应的单位向量.

感知范围内的所有障碍物的虚拟斥力叠加产生合斥力 F_r , 即

$$F_r = \sum_i F_{ri} \quad (2)$$

1.2 趋向目标行为

趋向目标行为用于引导机器人朝向指定的目标运动,该行为用吸引势场表示.

目标对机器人的吸引力记为 F_i , 它由下式确定:

$$F_i = G_i \left(\frac{(x_i - x_0)}{d_i} x + \frac{(y_i - y_0)}{d_i} y \right) \quad (3)$$

其中: G_i 表示吸引力常数; d_i 表示机器人与目标之间的距离; (x_i, y_i) 表示目标的中心点坐标.

在很多文献中,经常将趋向目标行为与避障行为结合使用,利用排斥势场和吸引势场共同作用产生指引机器人走向目标的合力 F , 如图 3 所示.

$$F = aF_r + bF_i \quad (4)$$

其中: a, b 分别是排斥力系数和吸引力系数.

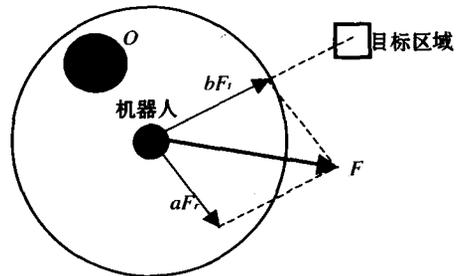


图 3 排斥势场和吸引势场共同作用示意图

1.3 随机扰动行为

采用势场法经常出现的问题是,多个不同的势场相互叠加可能会产生一个大小为 0 的向量,这被称为局部极小问题,例如遇到多个障碍物形成的箱形峡谷,或者面对一些诸如通道太窄的情况,此时机器人不能继续运动,导致任务无法完成.为了使

机器人能够从这种死锁状态中摆脱出来,本文引入随机扰动行为.具体策略如下:当检测到连续若干步后没有运动时,机器人此时应当在自身运动方向上叠加一随机扰动行为,通过在运动方向上进行随机偏转来摆脱停滞,从而脱离死锁状态.

当检测到死锁状态后,机器人自身产生一个虚拟力 F_n ,其方向为偏转随机角度 θ 方向.即

$$F_n = \cos \theta x + \sin \theta y. \quad (5)$$

1.4 行为合成

机器人在运动过程中,决定机器人最终行为输出的是通过将每种基本行为的输出向量和控制参数相乘,然后求和得到的,控制参数反映了行为的相对权重.由此,指导机器人运动的最终行为合成向量为

$$V = w_1 F_r + w_2 F_l + w_3 F_n. \quad (6)$$

其中: $w_i (i = 1, 2, 3)$ 是三种基本行为的控制参数.

2 仿真试验

为了验证本文提出的方法,我们进行了多次仿真.仿真任务设置是:单个机器人在未知环境中,从起始点运动到目标点,并在运动过程中不能碰撞环境中的静态障碍物.

基本的仿真条件如下:

- 机器人时刻知道自己的位置信息以及目标的位置;
- 环境对机器人而言是未知的,但机器人能够通过携带的传感器识别各种障碍物,并能够得到感知区域内障碍物的信息;
- 障碍物静止,且不能和目标点重叠.

仿真环境是以左下角为原点、尺寸为 20×15 的矩形区域,机器人是半径为 0.25 的黑色实心圆,其最小安全半径为 0.3,机器人的感知区域是半径为 2.5 的圆,起始点 S 的坐标是 (1, 9), 目标点 G 的坐标是 (15, 5). 环境中存在多个半径不同的黑色实心圆形障碍物.初始仿真界面如图 4 中(a)所示,图中带有圆圈的黑色实心圆是机器人,圆圈表示其感知区域边界,其余黑色实心圆表示障碍物,灰色实心矩形区域是机器人要到达的目标区域.图 4 中的(b)、(c)分别表示在稀疏障碍物环境以及密集障碍物环境下的机器人导航仿真结果,从图中可以看出,利用本文所提出的方法机器人能够无碰撞的从起始点到达目标区域.

为了比较不同控制参数下的导航性能,本文在相同仿真条件下通过调整不同控制参数进行了比较实验,图 4 中(d)、(e)和(f)表示机器人在控制参

数分别为 $w_1 = 1.0, w_2 = 0.8, w_3 = 0.2$; $w_1 = 1.0, w_2 = 1.54, w_3 = 0.2$ 和 $w_1 = 2.25, w_2 = 0.8, w_3 = 0.2$ 时的运动轨迹.从实验结果可以看出,不同的控制参数对导航性能影响很大,例如相对于(d),如果增加避障行为权重(对应图 4(e)),则机器人避开障碍物的趋势增加,虽然能够更加安全的躲避障碍物,但同时机器人走过的路径也加长了,而且不能从相邻很近的障碍物间穿过;如果在(d)的基础上增加趋向目标行为权重(对应图 4(f)),此时机器人将趋向于直接朝向目标方向运动,从图中可以看出,机器人走过的路径缩短了,而且能够从相邻很近的障碍物间穿过.

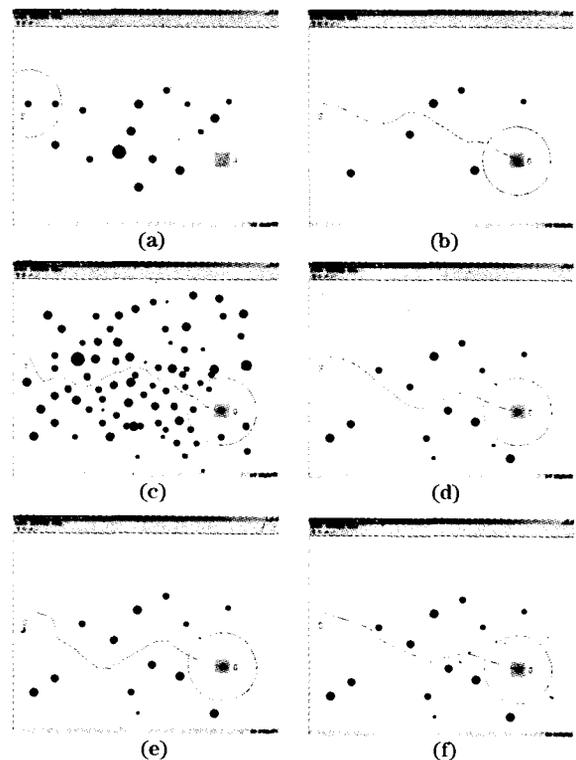


图4 不同环境以及不同参数设置下的机器人运动轨迹

3 结语

本文研究了基于 Motor Schema 的机器人反应式导航问题.为了在一个散布障碍物的环境中完成机器人的导航任务,实现无碰撞运动,本文采用基于 Motor Schema 结构,提出了 3 种基本行为,即避障行为,趋向目标行为以及随机扰动行为.通过不同参数设置下的仿真实验结果表明,本文提出的方法可行、有效.由于本文的基本行为控制参数是人为设定的,如何让机器人通过学习来优化控制参数是今后需要进一步研究的课题.

(下转 619 页)

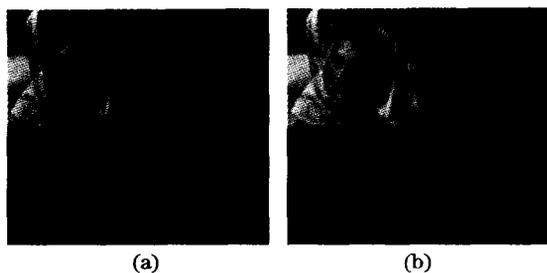


图 5 Woman 图像自适应小波分解
(a)需辅助信息(b)无需辅助信息

5 结 语

本文提出了一种基于 Lifting Scheme 的有效的双通道小波滤波器组的构造方法,这种结构引入了通过开关实现的动态控制模块,极大地增强了 Lifting 分解结构的灵活性,可以动态地构建不同属性的小波.自适应小波分解的准则采用最小绝对误差和与最大能量分析方法.针对应用领域的不同,在滤波器重建过程中可以有不同的重建方法.当用传递辅助信息的方法时,图像分解达到最优;而用无需辅助信息的方法时,在图像压缩领域中有着很好的应用.实验证明,这种小波滤波器组能够实现自适应分解,而且它的分解效果要明显优于固定小波滤波器的分解效果.

参考文献:

- [1] DAUBECHIES I. Ten lectures on wavelet[C]. Philadelphia, Pennsylvania: SIAM. CBMS series, 1992.
- [2] MALLAT S. A wavelet tour of signal processing[C]. San Diego: Academic Press, 1998.
- [3] DAUBECHIES I. Ten Lectures on Wavelets[C]. Society for Industrial and Appl. Math., Capital City Press, Vermont 1992.
- [4] SWELDENS W. The lifting scheme: A custom - design construction of biorthogonal wavelets[J]. Appl. Comp. Harm. Anal., 1996, 3(2): 186 - 200.
- [5] SWELDENS W. The lifting scheme: A construction of second generation wavelets[J]. SIAM Journal on Mathematical Analysis, 1997, 29(2): 511 - 546.
- [6] SER I D. Wavelet filter banks with adaptive number of zero moments [A]. Proc. of WCC - ICSP 2000(IEEE)[C]. Beijing[s. n.], 2000, 325 - 328.
- [7] DAUBECHIES I, SWELDENS W. Factoring Wavelet Transforms into Lifting Steps[J]. J. Fourier Anal. And Appl., 1998, 4(3): 247 - 269.
- [8] SER I D. A realization of wavelet filter bank with Adaptive filter parameters[A]. Proc. Of EUSIPCO[C]. [s. l.][s. n.], 2000, 3: 1733 - 1736.
- [9] PIELLA G, HEIJMANS H J A M. Adaptive lifting schemes with perfect reconstruction [J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2002, 50(7): 1620 - 1630.
- [10] 唐良瑞,马全明,景晓军. 图像处理实用技术[M].北京:化学工业出版社. 2001. 134 - 164.

(上接 614 页)

参考文献:

- [1] BROOKS R. A Robust Layered Control System for a Mobile Robot [J]. IEEE Transaction on Robotics and Automation, 1986, 2: 14 - 23.
- [2] PRATHIAR D K, DEB K, GHOSH A. A Genetic - fuzzy Approach for Mobile Robot Navigation Among Moving Obstacles[J]. International Journal of Approximate Reasoning, 1999, 20: 145 - 172.
- [3] 陆军,徐莉,周小平. 强化学习方法在移动机器人导航中的应用[J]. 哈尔滨工程大学学报, 2004, 25(2): 176 - 179.
- [4] NA Y K, OH S Y. Hybrid Control Autonomous Mobile Robot Navigation Using Neural Network Based Behavior Modules and Environment Classification[J]. Autonomous Robots, 2003, 15: 193 - 206.
- [5] ARKIN R C. Motor Schema - Based Mobile Robot Navigation[J]. International Journal of Robotics Research, 1989, 8(4): 92 - 112.