

文章编号: 1002-0411(2001)01-072-04

基于速度矢量可行度的移动机器人多行为综合决策方法

赵忆文 谈大龙

(中国科学院沈阳自动化所机器人学开放研究实验室 沈阳 110015)

摘要: 为了提高机器人对真实环境的适应能力, 基于行为思想越来越多地被用于自主机器人的在线运动决策. 由此, 产生了多行为综合管理问题. 本文分析了常用的基于矢量合成的并行行为的综合方法. 在此基础上, 提出基于速度矢量可行度的自主移动机器人多行为综合决策方法. 该方法可较完整地保留子行为的决策意图, 得到更合理的行为综合结果.*

关键词: 基于行为; 行为综合; 自主移动机器人

中图分类号: TP24

文献标识码: B

MULTI-BEHAVIOR INTEGRATED-DECISION METHOD BASED ON FEASIBILITY OF VELOCITY VECTORS

ZHAO Yi-wen TAN Da-long

(Shenyang Institute of Automation, Robotics Laboratory, The Chinese Academy of Sciences 110015)

Abstract: The idea of behavior-based architecture is applied in autonomous robots more widely to make robots work in real world. This brings out a problem of organizing multiple behaviors. Vector-based methods are often used for integration of parallel behaviors. After analyzing vector-based methods, an integrated method based on feasibility of velocity vectors was provided. This method can keep more information of behavior decision and get better results of behavior integration.

Keywords: behavior-based, behavior integration, autonomous robot

1 引言 (Introduction)

移动机器人在不确定环境中的自主导航是一个难题. 此时, 机器人不能完全依照事先的规划运动, 而需要基于传感器的在线决策控制. 针对这个问题, 出现了基于行为的移动机器人自主导航的研究工作^[1,2]. 在基于行为的移动机器人自主导航系统中, 包含有许多行为模块. 每个行为都有其各自的目的, 根据环境的信息产生动作指令. 这个指令要与其它行为模块产生的指令交互作用, 最后生成一个有效的执行命令给运动驱动器. 这种体系结构需要深入研究的问题在于: 多个行为模块产生的指令如何交互作用才能生成合理的命令? 或者说, 多个行为如何综合决策才能求得最好的动作效果? 而要做到这一点是很困难的, 这是由这种系统结构本身的特点造成的: 多个为完成自己特定任务而设计的行为模块的输出并不考虑与其它模块协调, 相互冲突是不可避免的. 对此, 研究工作正在两个方面进行. 其一

是寻求建立基于行为和规划的新的集成系统结构^[9,10]; 另一方面则是寻求优越的行为综合方法^[3-8].

本文介绍基于速度矢量可行度的移动机器人多行为综合方法. 该方法可较充分地保留行为的决策意图信息, 利于实现合理的最终运动命令.

2 对多行为综合决策问题的分析 (Analysis of multi-behavior combination)

2.1 相关的工作

行为综合决策可采用不同的方式. 比较简单的方式是只选择一种行为输出起作用. 在 Brook 的包容体系结构^[11]中, 采用固定优先级的方式, 高优先级的行为输出可抑制低优先级的行为的输出. 文献[8]中同样只使一个行为起作用, 但不使用固定优先级, 而是由综合模块根据当前环境和任务, 利用特定的准则进行选择决策. 在另一些方法中, 采用对多个并行子行为的输出进行融合的方式进行行为综合. 在文献[6]中采用速度矢量合成方式: 即多个运动行为

产生出其各自的期望运动速度矢量, 合成矢量作为实际的运动矢量, 控制机器人的运动. 同时, 往往要根据当前的环境和任务, 对各行为的重要程度作出判断, 在矢量合成时, 对各行为进行加权处理. 基于势场的方法^[7]、虚拟阻抗法^[5]采用了加速度矢量合成方式, 即行为的输出是虚拟力矢量, 由该虚拟力作用于机器人产生运动加速度. 在 DAMN^[4]中, 采用了不同于矢量合成的行为综合方式, 而是采用类似模糊决策的方法: 首先由各子行为对命令候选集进行投票, 然后通过集中式仲裁选出合适的运动命令, 该方法被用于室外自主车的导航. 在 VFH 方法^[3]中采用了相似的思想, 很好地处理了超声这种非精确的环境感知器的信息, 将其用于快速移动机器人的局部避碰.

2.2 对基于矢量合成的方法的分析

现有的多行为综合方法中, 使用比较广泛的方式是矢量合成法. 基于矢量合成的综合方法, 不论是力矢量还是速度矢量, 都存在局部极小点的问题. 当各分量的作用相互平衡时, 其合成矢量就变为零, 机器人陷入极小点, 无法运动. 为了解决这一问题, 往往要通过高层的基于知识的决策来导引机器人离开平衡点; 或通过加入随机扰动矢量的方法打破原有的平衡, 使机器人跳出平衡区域. 存在局部平衡区域是当单纯使用局部信息进行在线规划时无法避免的问题, 而使用矢量法加重了这一问题.

本文认为, 上述问题产生的原因之一是: 对各独立行为的决策意图表达得不完整, 从而导致在对多个行为的输出进行综合时, 产生不理想的结果. 对于每个独立行为来说, 用一个确定的行为变量来表示它, 无论该变量是力矢量还是速度矢量, 这都不能充分地表达该行为的目的. 因为, 这些确定的值只能表示满足该行为目的的最优解, 除此之外的有关其它可能的运动的信息并没有给出. 例如, 障碍物避碰行为的完整意图是禁止机器人某些可能导致碰撞的速度, 而不是给出一个确定的速度矢量.

3 基于速度矢量可行度的多行为综合决策方法 (Multi-behavior combination method based on feasibility of velocity vectors)

3.1 方法的思想与分析

行为的输出应充分表达其决策意图, 尽可能地包含其决策的完整信息. 一个行为的决策输出不应仅仅是一个决策量, 而应该是根据本行为的目的, 对所有可能采取的决策的分析与判断. 这是因为, 由于

多个行为的存在, 最终综合得到的运动可能不会与任何一个行为的最佳决策相同, 而是对所有行为决策结果的权衡; 因此, 每个行为的输出不应仅是其最优决策结果, 而更重要的是应包含其次最优、禁止决策等其它信息, 使行为综合有更多的信息用于对多个行为的决策结果进行权衡.

3.2 方法描述

对于处于自主移动状态的移动机器人, 其运动可以用其在世界坐标中的运动速度矢量 $v = (|v|, \theta)$ 来表示. 考虑到机器人的动力学特性, 机器人在某时刻的允许速度矢量集合构成一个允许运动集合 V , 在下文中, 称之为可行域. 每个独立行为都有其确定的、且与其它行为不同的目的, 因此, 可行域中一个矢量, 对不同行为的目的要求可能有着不同的满足程度; 另一方面, 不同的速度矢量对于一确定行为为目的要求的满足程度也各不相同. 为此, 作如下定义.

可行度: 运动速度矢量对行为目的的满足程度称为可行度.

在本文算法中, 将可行度量化为一个实数, 对单个行为的速度矢量可行度取值范围是 $[-1, 1] \cup \{-\infty\}$, 1 表示速度矢量完全满足该行为目的要求, -1 表示满足程度最低, $-\infty$ 表示速度矢量被禁止.

本文的行为综合方法是建立在可行度分析的基础上的. 要求每个行为的输出是可行域上的每个速度矢量对该行为的可行度值. 因此, 每个行为的输出可被理解为一个函数, 该函数的自变量是速度矢量, 定义域是可行域 V , 函数值即为速度矢量对该行为的可行度值, 值域为 $[-1, 1] \cup \{-\infty\}$. 在下面的讨论中, 称这种函数为可行度函数, 用 $b_k(v)$ 表示第 k 个行为模块的可行度函数.

这样, 每个行为模块的输出不再是一个单一运动量, 而是对所有可能的运动的判断, 从而较完整地保留了每个行为的决策意图信息. 机器人的最终的运动通过对所有行为的输出进行综合后从 V 中选出. 下面给出综合算法的步骤.

(1) 计算全部行为的可行度函数的加权和 $h(v)$

$$h(v) = \sum_k w_k b_k(v) \quad v \in V, b_k \in B$$

式中, w_k 是行为 b_k 的加权系数, B 是全部行为的集合.

(2) 确定候选速度矢量集 \hat{V}

$$\hat{V} = \{v | h(v) = \max(h(u)), \quad \forall u \in V, v \in V\}$$

(3) 根据加速度最小原则, 选出最后的决策值 \hat{v}

$\in \hat{V}$, 即有

$$|\hat{v} - v_{cur}| < |v - v_{cur}| \quad \forall v \in \hat{V}$$

式中, v_{cur} 是当前的机器人速度矢量。

方法中步骤(3)可以解决可行性函数的加权和 $h(v)$ 极值点不唯一的问题, 还可使机器人的运动更为平滑。步骤(1)中的参数 w_k 表示了不同行为对机器人运动的重要程度, 可根据当前状态和环境进行调整, 取得更理想的综合效果。

可行性函数 $b_k(v)$ 的具体实现由特定行为的具体设计决定。下面以近距离减速行为为例说明。当机器人接近其它物体时, 为保证安全, 减速是一个基本的反应, 其可行性函数 $b_{near}(v)$ 可设计为

$$b_{near}(v) = \begin{cases} h_{for} & \text{if } \theta \in [\theta_{start}, \theta_{end}] \text{ and } |v| \\ & > 2a_{max}d_{obs} \\ h_{ind} & \text{else} \end{cases}$$

其中, θ_{start} , θ_{end} 分别是用极坐标表示的障碍物在机器人车体坐标系中的边缘角度; d_{obs} 是障碍物距离; a_{max} 是机器人最大加速度; $h_{for} = -\infty$ 表示该速度矢量被禁止; $h_{ind} = 0$ 表示该速度矢量可行。从上面的可行性函数可以看出, 该行为没有指出机器人该如何运动, 只是禁止了那些将导致与物体发生碰撞的速度矢量, 这恰好表达了其真实意图, 从而有利于最后的行为综合。

4 仿真试验 (Simulations)

下面给出典型的仿真试验结果。在仿真中, 机器人为圆形全方位移动机器人, 其半径 0.3m。障碍物半径 0.4m。机器人感知半径 2m, 距障碍物的最短安全距离 0.1m, 决策周期 100ms, 最大速度 0.5m/s, 最大加速度 1m/s^2 。

4.1 拥挤环境下的机器人导航

在本文仿真中, 设计机器人同时具有四种独立子行为。

- 近距离减速行为: 机器人在接近其它物体时的紧急减速处理。
- 目标行为: 机器人向自己的目标以期速度作直线运动。
- 避开行为: 当有物体挡住机器人的目标时, 避开对方。
- 保持方向行为: 由于机器人只使用局部信息, 容易导致决策的犹豫不定, 表现为机器人在某一位置附近的震荡。该行为用于减少震荡的发生。

在仿真中, 各行为的加权系数 w_k 均设为固定

常数 1。最后的决策选择是根据加速度最小的原则。

在本文的仿真试验中, 设计了一个拥挤环境, 见图 1。其中, 颜色较深者为障碍物。要求机器人从 A 点运动到 B 点, 期望速度 0.3m/s。机器人没有先前的有关障碍物的分布的信息, 仅采用局部的在线规划方法。这是一个较苛刻环境, 由于某些区域障碍物均衡分布, 在矢量法中会引起局部极小点问题。

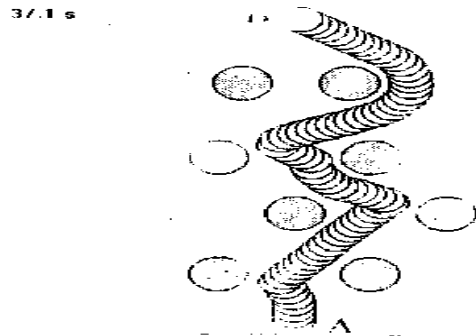


图 1 拥挤环境下的机器人导航

Fig. 1 Robot navigation in crowded environment

仿真结果表明: 机器人顺利通过障碍物均衡分布区域, 没有出现不必要的减速, 基本保持匀速。从 A 点运动到 B 点的时间为 37.1s。

4.2 多机器人编队行进

编队行进是要求在队长的带领下, 通过障碍物区并尽量保持队形。首先, 将队长机器人的车体坐标系设定为虚拟的编队坐标系, 预先设定的编队形状决定了编队中其它成员在编队坐标系中的坐标。当队长移动时, 编队坐标系随之运动。在仿真中, 机器人具有与 4.1 中仿真试验相同的子行为。不同之处在于, 队员机器人的目标点是运动的。

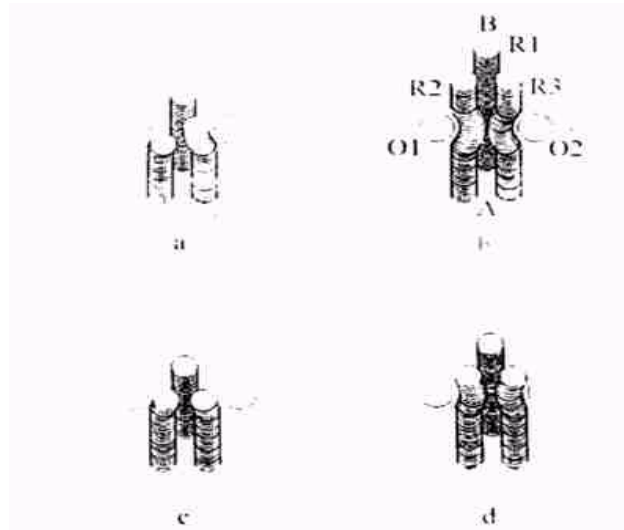


图 2 多机器人编队行进

Fig. 2 Multiple robots moving in formation

仿真结果见图 2. 其中, 机器人 R1 为队长, 队员 R2, R3. 队长由点 A 运动到点 B, 期望速度 0.1m/s. 在行进过程中遇到障碍物 O1、O2, 障碍物间距较小, 编队无法在保持队形的情况下通过. 在多行为综合作用下, 编队队形发生变化, 通过障碍物后, 恢复编队. 在图 2 中展示了两种情况. 图 2(a)、(b) 中, O1、O2 的间距不允许队员同时通过, 因此, R3 在 R2 前面首先通过. 图 2(c)、(d) 中, O1、O2 的间距允许队员同时通过, R3 和 R2 之间间距缩短, 并排通过障碍区. 仿真结果表明本文的方法适用于多机器人编队行进.

5 结论 (Conclusion)

本文分析了常用的基于矢量合成的移动机器人行为综合方法. 为更完整地表达子行为的目的和意图的问题, 本文提出了基于速度矢量可行度的多行为综合决策方法. 通过仿真试验, 表明该方法的有效性.

参 考 文 献 (References)

- 1 R A Brooks. A Robust Layered Control System for a Mobile Robot. IEEE Journal of Robotics and Automation, 1986, RA-2, (1)
- 2 R A Brooks. Intelligence Without Representation. Artificial Intelligence, 1991, 47: 139~ 159
- 3 Schechtm an, G. M. Manipulating the OODA Loop: The Overlooked Role of Information Resource Management in Information Warfare. Air Force Inst. Of Tech., Wright- Patterson AFB, OH. 1996
- 4 Elam, D. E. Attacking the Infrastructure: Exploring Potential Uses of Offensive Information Warfare. Naval Postgraduate School, Monterey, CA. 1996
- 5 Dishong, D. J. Studying the Effect of Information Warfare on C2 Decision Making. Naval Postgraduate School, Monterey, CA. 1994
- 6 Wood R J. Information Engineering the Foundation of

- 3 Johann Borenstein, Yoram Koren. The Vector Field Histogram - fast Obstacle Avoidance for Mobile Robots. IEEE Transaction on Robotics and Automation, 1991, 73
- 4 J K Rosenblatt, C E Thorpe. Combining Multiple Goals in a Behavior-Based Architecture. IROS' 95: 136~ 141
- 5 Jun Ota, etc. Motion Skills in Multiple Mobile Robot System. Robotics and Autonomous System, 1996, 19: 57~ 65
- 6 R C Ark in. Motor Schema-based Mobile Robot Navigation. The International Journal of Robotics Research. 1989, 8(4): 92~ 112
- 7 O Khatib. Real-time Obstacle Avoidance for Manipulators and Mobile Robots. International Journal on Robotics Research, 1986, 5(1): 90~ 98
- 8 I S Kweon, Y Kuno, M Watanave, K Onoguchi Behavior-Based Intelligent Robot in Dynamic Indoor Environments. IROS'92: 1339~ 1346
- 9 J Chung, B S Ryu, H S Yang. Integrated Control Architecture Based on Behavior and Plan for Mobile Robot Navigation. Robotica, 1998, 16: 387~ 399
- 10 R G Sim mons. Structured Control for Autonomous Robots. IEEE Transaction on Robotics and Automation, 1994, 10(1): 35~ 43

作者简介

赵忆文(1972-), 男, 博士生. 研究领域为移动机器人控制及运动规划.

谈大龙(1942-), 男, 研究员, 博士生导师. 研究领域为机器人学.

(上接第 71 页)

- 3 Schechtm an, G. M. Manipulating the OODA Loop: The Overlooked Role of Information Resource Management in Information Warfare. Air Force Inst. Of Tech., Wright- Patterson AFB, OH. 1996
- 4 Elam, D. E. Attacking the Infrastructure: Exploring Potential Uses of Offensive Information Warfare. Naval Postgraduate School, Monterey, CA. 1996
- 5 Dishong, D. J. Studying the Effect of Information Warfare on C2 Decision Making. Naval Postgraduate School, Monterey, CA. 1994
- 6 Wood R J. Information Engineering the Foundation of

Information Warfare. Air War Coll., Maxwell AFB, AL. 1995

作者简介

刘先省(1965-), 男, 博士生. 研究领域为信息融合, 智能控制等.

潘 泉(1962-), 男, 教授, 博士生导师. 研究领域为随机最优估计与控制, 信息融合, 多目标跟踪, 智能信息处理, 智能控制等.

张洪才(1939-), 男, 教授, 博士生导师. 研究领域为估计理论, 多目标跟踪, 系统辨识, 随机控制等.