

基于人工物理法的多智能体协同控制

张之瑶

北京航空航天大学自动化学院, 北京 100191

摘要 对多智能体的协同控制和队形重构技术进行研究,采用人工物理法完成多智能体的队形建立与队形保持。人工物理法是一种分布式的控制方法,对传感器信息和通信的依赖程度较低,并可以很好地移植到大规模系统中。人工物理法通过设定虚拟的物理力,完成机器人速度和方向信息的解算,并用这些信息进行实时控制。同时为保证在障碍物区域内的智能体避障,采用沿墙跟踪策略,设计双输入、单输出的模糊控制器实现智能体的避障。为克服多模态运动的转换瞬态,利用四点平滑抑制模态转换瞬态。通过传感器探测外界环境,获得相关环境信息并确定障碍物的位置,由此依据判决条件完成多智能体控制的模态转换,进行队形重构。通过复杂环境中的数学仿真及多智能体协同控制的实验验证,表明该系统具有良好的鲁棒性和适应性。

关键词 人工物理方法;多智能体;协同控制;模糊控制

中图分类号 TP242

文献标识码 A

文章编号 1000-7857(2010)10-0041-07

Cooperative Control of Multi-agent Based on Artificial Physics Method

ZHANG Zhiyao

Automation School, Beihang University, Beijing 100191, China

Abstract The synergic control and the formation reconstruction of multi-agents are studied in this paper. Artificial physics method is used for the formation establishment and holding of multi-agents. Artificial physics concerns a kind of distributed control strategy, which does not very much depend on the message of the sensor and communication. Multi-agents carry out the complex tasks by local cooperation. At the same time, artificial physics method is easy to be implemented in a giant system. By constructing the virtual physics force in the movement area of a robot, the speed and the direction of the robot are determined and used to drive the robot with time. In order to deal with the obstacle, a fuzzy controller with double inputs and single output is designed according to the wall-following strategy. One thus can make sure that mobile robot keeps a certain distance from the obstacle and goes along the obstacle. The orientation error can be reduced in this manner. The mode switching transient is restrained by the four point smoothing method. The information about the circumstance and the position of obstacle obtained by the sensor can be used to make the mode switch according to some conditions and to make the formation reconstruction. The results of the math simulation and the multi-agents cooperative control experiment in complex circumstances show that the method proposed in this paper enjoys good stability and adaptability.

Keywords artificial physics method; multi-agents; cooperative control; fuzzy control

0 引言

机器人技术是 20 世纪人类最伟大的发明之一。随着机器人的广泛应用以及其任务复杂度的提高,机器人系统也由单一机器人向多机器人发展。多机器人系统可以描述为一些机器人在同样的环境下协作完成任务的系统。多机器人系统主要特点有:① 多机器人可以完成复杂的任务;② 多机器人

之间可以通过通信来协作完成任务;③ 多机器人可以大大提高系统的效率,改善系统的性能和增加可靠性;④ 多机器人具有分布式的特点;⑤ 设计多个简单的机器人比设计一个复杂机器人成本低,而且更容易。

对于多机器人系统已有一些研究,加拿大 Alberta 大学开发的 Collective Robotics 实验系统^[1]和美国 USC 大学开发的

收稿日期: 2010-03-30

作者简介: 张之瑶,研究方向为控制理论与控制工程,电子信箱:398670807@qq.com

The Nerd Herd 系统^[2]均实现了人工模拟昆虫社会,有助于群智能机器人系统的研究。对于自重构机器人系统的研究,日本 Nagoya 大学的 T. Fukuda 教授领导的小组在生物细胞结构的启发下研究的 CEBOT 系统是一个典型的例子,针对分层式结构提出了一种“Master Cell”的方法^[3]。文献[4]中提出了一种计算机器人之间信息交换量的方法。美国 Oak Ridge 国家实验室的 Lynne E. Parker 及其研究小组在协作机器人学方面做了许多工作,并建立了实验平台进行理论验证^[5]。另外,机器人足球赛^[6]成为一个具有挑战性的课题,韩国和日本等多个国家均已展开研究。

但是目前多机器人协同控制还处于仿真研究阶段,大多采用人工势场、A* 等算法,多机器人运动体编队控制没有可行的建立、保持队形算法。本文所提出的人工物理法的创新性贡献在于通过多个智能体机器人内聚扩展建立队形,基于人工物理法保持队形,采用模糊控制沿墙避障,实现了多智能体机器人的协同控制。数学仿真与 Pioneer3-AT 机器人实物实验均对算法研究进行了有效验证。

1 问题描述

假设有一个存在若干障碍物的有限区域,有 3 个移动机器人摆放在任意固定的初始位置。并给它们定义各自的目标点,首先经过一片无障碍物的区域,移动机器人此时排列为三角形。然后便会通过障碍物区域,此刻机器人团队变换为“一”字形队形通过障碍区。在所有机器人均驶出障碍区后,恢复三角形编队。场景如图 1 所示。

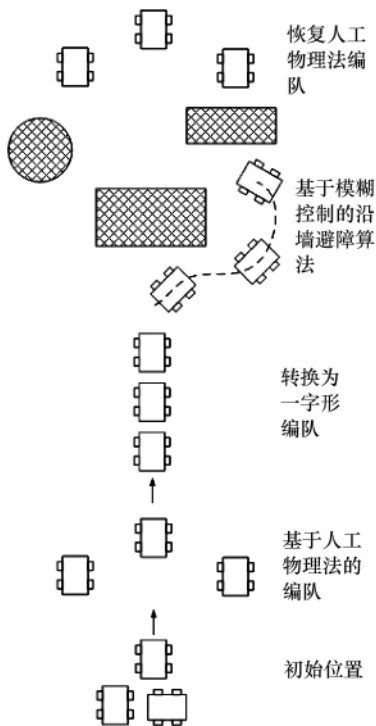


图 1 设定的机器人协同运动场景

Fig. 1 Given scene of synergic movement

为实现上述内容,本文从以下 3 个方面研究:① 机器人由初始位置开始建立,并在无障碍区域保持正三角形编队;② 避开障碍物且保证机器人之间不碰撞;③ 为达到目标点所发生的运动模态转换。

2 多智能体协同控制算法

2.1 人工物理法

人工物理^[7](Artificial Physics, AP)方法为传感器网络中的分布式多机器人系统提供了一种编队、避障的分布式解决方案。机器人探测环境,并根据 AP 方法中的规则改变运动速度及方向。AP 方法实现简单,实时性好,它是一种分布式方法,通过简单的局部配合完成复杂的控制任务。互相协作的机器人只需配备简单的传感器,获取有限的局部信息,系统对于全局信息的要求微乎其微。

AP 方法通过虚拟物理力使得机器人系统达到要求的状态。而这种状态是一种势能最小的状态。此处将每个机器人视为一个物理实体,每个实体在坐标系中都有自己的位置 p 和 v 速度矢量。将连续时间离散化,设时间间隔为 Δt 。在每个时间步长,每个实体都会因为运动产生一个位置增量 Δp 。而这个增量是依赖于当前速度的,即 $\Delta p = v \Delta t$ 。每个实体在时间步长中速度的改变量为 Δv 。速度的改变是由实体上的力决定的, $\Delta v = F \Delta t / m$ (此处 m 为实体的质量, F 为其所受的力)。 Δt 的大小反映了传感器获取数据并进行处理的时间间隔。此处需要设置 $F_{\max}$ 限定实体上作用力的最大值,设定 $v_{\max}$ 限制实体的最大运动速度 ($F_{\max}$ 为机器人上的最大作用力, $v_{\max}$ 为机器人的最大运动速度)。

对于如图 2 所示的正六边形队形而言,半径为 R 的 6 个圆形的交点构成了队形的 6 个点,各物理实体的虚拟力遵循牛顿第二定律: $F = G m_i m_j / r^p$ ^[8]。其中, $F \leq F_{\max}$ 为物理实体 i 和 j 之间的物理力大小, r 为它们之间的距离,参数 p 的范围为 $[-5, 5]$,一般情况下取 $p=2$, $F_{\max}=1$, $m_i=m_j=1$ 。 G 的选取会影响到队形的聚集性,是一个可以进行优化调节的参数。当 $r < R$ 时 F 为斥力, $r > R$ 时 F 为引力。每个点均可以探测到邻近自己的点并具有可以向其移动的能力,为体现物理世界的现实性,规定 $v \leq v_{\max}$ 。图 3 给出了在 $G=1200$, $m=1$, $R=50$, $p=2$, $F_{\max}=1$ 时物理力的变化规律。

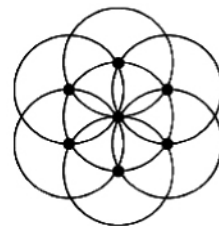


图 2 正六边形队形

Fig. 2 Right hexagon formation

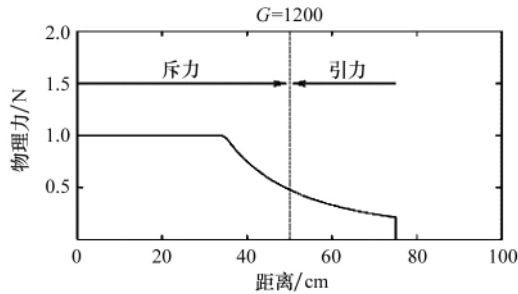


图3 物理力大小的分布

Fig. 3 Distribution of virtual physics force magnitude

以上算法可以完成机器人的队形展开与保持。完成多机器人的协同编队运动,需要在所有机器人上附加某个方向的力^[9]。编队的结合力与作用在机器人上的附加力相反,过大的附加力将把编队拉开。此处需要分析得到一个附加力的上界。

图4显示了由7个机器人构成的编队朝着右边的目标运动的情形。假设除最右边的2个机器人 R_5 和 R_6 外的其他机器人暂时停止,并期望 R_5 和 R_6 保持在编队中的位置。那么,要使 R_5 和 R_6 保持在编队中的位置,其所受编队的结合力必须超过目标力 F_{goal} 。

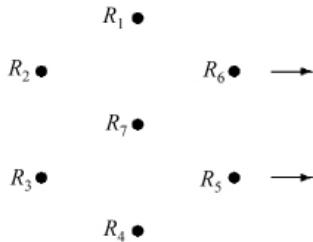


图4 编队正在移动

Fig. 4 Moving formation

对最右边的2个机器人 R_5 和 R_6 进行受力分析。对 R_6 来说,机器人 R_1 使 R_6 保持在编队中的位置所贡献的结合力幅值为 $\sqrt{3} G/2R^p$ (沿运动方向投影),机器人 R_7 对 R_6 保持在编队中的位置所贡献的结合力的幅值也为 $\sqrt{3} G/2R^p$ (沿运动方向投影),即 R_6 上所受编队的总结合力的幅值为 $\sqrt{3} G/R^p$ 。对于 R_5 的分析与此相同。如果除了 R_2 和 R_3 ,所有的机器人都停止,并防止编队分裂,其分析方法是相同的。可见,在所有要保持编队不变的情况下,必须要求目标力小于编队对某个机器人的结合力^[10],即

$$F_{\text{goal}} < \frac{\sqrt{3} G}{R^p}$$

人工物理法的算法流程见图5。

2.2 基于模糊控制的沿墙避障

2.2.1 模糊控制器设计

根据机器人的实际工作情况,文中做如下约定^[11-13]。

1) 机器人的传感器系统如图6所示。任意时刻机器人只

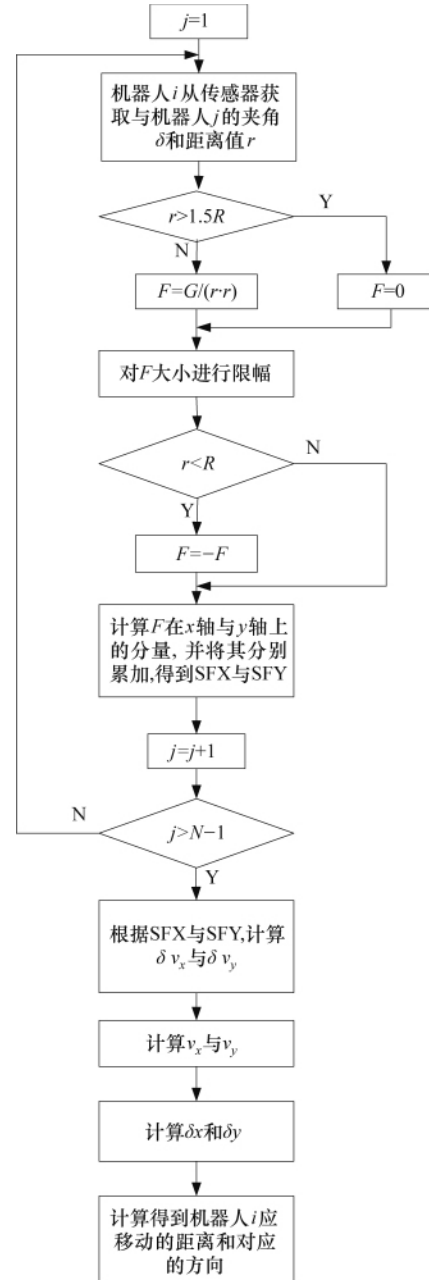


图5 人工物理法算法流程图

Fig. 5 Flowchart of AP method

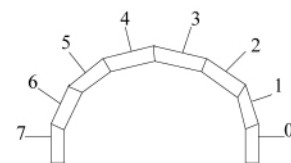


图6 传感器排布示意图

Fig. 6 Schematic diagram of sensor collocation

能探测到以自己当前位置为中心, r 为半径,区域 W 内的环境信息,其探测边界为 δW ,如图7所示,机器人当前方向为图中箭头方向,并以 $\varphi(P_R(t))$ 表示。

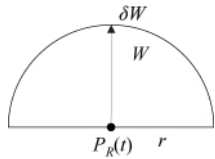


图 7 机器人探测范围示意图

Fig. 7 Schematic diagram of detection range

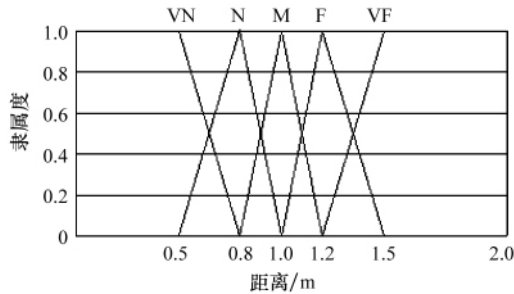
2) 机器人对环境没有先验知识,但通过定位系统,机器人知道自己当前位置在工作区域 WS 内的坐标 $P_R(x_R, y_R)$ 和全局目标点坐标 $G(x_g, y_g)$ 。

3) t 时刻, $\forall p \in W(t), p \notin O_i (i=1, 2, \dots, m)$, 则称 p 为 t 时刻可行点,所有 t 时刻可行点的集合称为 t 时刻可行域,记为 $FD(t)$; $\forall p \in W(t), p \in O_i (i=1, 2, \dots, m)$, 则称 p 为 t 时刻障碍点, t 时刻所有障碍点的集合称为 t 时刻障碍域,记为 $NFD(t)$ 。

4) $\forall p_i, p_j \in W_s$, 定义 $d(p_i, p_j)$ 为点 $p_i(x_i, y_i)$ 到点 $p_j(x_j, y_j)$ 的距离,由下式确定:

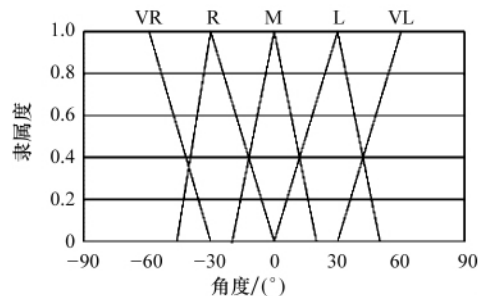
$$d(p_i, p_j) = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}$$

本文采用双输入、单输出的模糊控制器。两个输入分别是机器人与墙壁的距离和机器人与墙壁的相对角度。设机器人与墙壁距离的模糊变量语言集合为{很近, 近, 中, 远, 很远}, 其相应的语言变量分别记作: VN, N, M, F, VF。设机器人与墙壁相对角度的模糊变量语言集合为{很右, 右, 中, 左, 很左}, 其相应的语言变量分别记为: VR, R, M, L, VL。距离参数



(a) 距离隶属函数

(a) Distance subject function



(b) 角度隶属函数

(b) Angle subject function

图 8 距离和角度隶属函数图

Fig. 8 Schematic diagram of distance subject function and angle subject function

和角度参数的隶属函数分别如图 8(a) 和 8(b) 所示。

模糊控制器的输出是机器人的动作,即机器人旋转或者前进,输出的模糊语言集合为{右转, 稍微右转, 前进, 稍微左转, 左转}, 其相应的语言变量记作: TR, TRL, GA, TLL, TL, 输

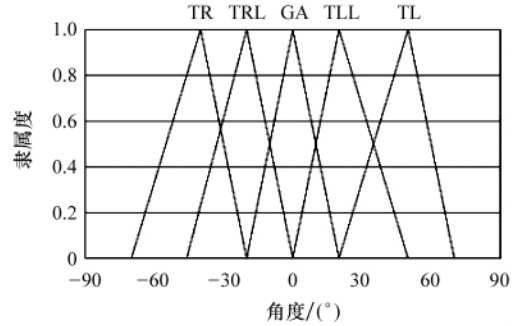


图 9 输出隶属函数

Fig. 9 Output subject function

出参数的隶属函数如图 9 所示。

下面给出机器人跟踪左侧墙壁时的控制规则表, 如表 1 所示。同理可推出跟踪右侧墙壁的控制规则。 S_r 为机器人与墙

表 1 模糊控制规则表(墙壁在左侧)

Table 1 Fuzzy control rules (the wall is on robot's left)

	VN	N	M	F	VF
VR	GA	TLL	TL	TL	TL
R	GA	GA	TLL	TL	TL
M	TRL	TRL	GA	TLL	TL
L	TRL	TRL	TRL	GA	GA
VL	TR	TR	TR	TRL	GA

壁的距离, W_r 为机器人与墙壁的相对角度, U 为输出。

由控制规则表得到的输出,经非模糊化转换成精确量便可用于控制被控对象。本文采用最大隶属度法。

2.2.2 局部路径规划算法

局部路径规划算法^[14]的具体步骤如下。

步骤 1: 朝子目标点笔直行走,直至以下任一情况发生:

- 1) 子目标点达到,当前规划结束;
- 2) 遇到障碍物,距离障碍物边界 1m 时,转步骤 2。

步骤 2: 沿到达子目标点距离较小的障碍物一侧边界行走,直至以下任一情况发生:

- 1) 达到当前规划边界,当前规划结束;
- 2) 绕过障碍物,并朝着子目标点笔直行走而不会碰到该障碍物,转步骤 1。

2.3 模态转换设计

模态转换^[15]是多机器人协同控制的重要组成部分,转换条件的选择直接影响程序的执行状况和系统的鲁棒性。本系

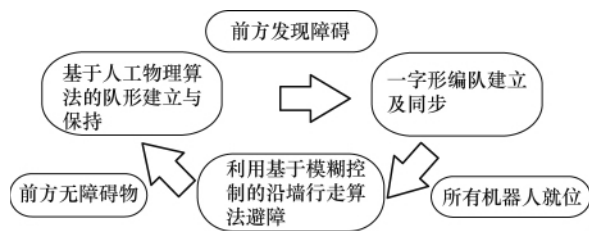


图 10 模态转换示意图

Fig. 10 Schematic diagram of mode switching

统分为 3 个模式,如图 10 所示。

1) 基于人工物理法的多机器人编队协同控制:3 个机器人从初始位置出发,根据人工物理法形成一定的编队,并在前进过程中保持编队。机器人通过传感器感知自身位置。机器人间通过无线局域网进行通信,得到其他机器人的位置信息。由此找到与本机器人最近的机器人,并通过人工物理法解算其所受的虚拟力,从而确定机器人下个时间步长的期望速度和方向。位置最靠前的机器人通过传感器探测前方障碍物,如果障碍物距离小于阈值 R_c ,则转换到模式 2)。

2) 该模式所有机器人根据编号转换为一字形编队。位置最靠前的机器人静止,等待其他机器人完成队形重构工作。依据编号各个机器人排列在相距 1.5m 的一条直线上。当所有机器人达到预定位置后,则转换为模式 3)。

3) 所有机器人按照一定的时间间隔依次通过障碍区(本试验中时间间隔取为 15s),避障算法采用基于模糊控制的沿墙跟踪算法。第一个进入障碍区的机器人如果跳出沿墙跟踪程序的循环,并且探测得到前方 3m 内没有障碍物,则所有机器人编队将转换为基于人工物理法的协同控制的队形。在所有机器人到达预定位置后,则回到模式 1)。

2.4 模态转换瞬态抑制

由于本系统中使用里程计完成机器人的实时定位,在机器人运动过程中会产生随时间积累的误差。所以抑制机器人的速度和方向过大的瞬态,可以很好地减少侧滑的出现,从而减少系统定位误差。本系统采用四点平滑方法对系统控制的瞬态进行抑制。

$$V=(V_{N-1}+V_{N-2}+V_{N-3}+V_N)/4$$

$$\theta=(\theta_{N-1}+\theta_{N-2}+\theta_{N-3}+\theta_N)/4$$

式中, V_N 和 θ_N 分别为利用人工物理法得出的速度和方向角, V 和 θ 为瞬态抑制后的速度和方向角, V_{N-1} 、 V_{N-2} 、 V_{N-3} 为 1、2、3 个时间步长前的速度, θ_{N-1} 、 θ_{N-2} 、 θ_{N-3} 为 1、2、3 个时间步长前的方向角。

3 数学仿真结果与分析

3.1 人工物理法算法仿真

根据第 2.1 节所述方法,建立队形仿真。本实验模拟了 7 个机器人组成的系统,从聚集状态,通过人工物理方法驱动机器人运动,形成稳定编队的过程。同时通过设定向右侧的

引力,实现机器人系统的编队运动。仿真中机器人将被视为质点,不考虑其形状、转弯方式等特性。

此处设无量纲量 $G=308$, F 的最大值 $F_{\max}=2$, 阈值距离 $R=50$, 右侧向引力 $F_{\text{goal}}=1$, 时间步长 0.2s。仿真结果见图 11。可以看到,机器人初始为聚集状态,之后很快分散开并向右运动。图 11 中的点为各个机器人的运动路径,不同颜色、不同形状的点代表不同的机器人。右侧形成的队形为六边形。本仿真进行了 1000 步,而图中的点为每 40 步采集一次的结果。圆圈内为最后一步各个机器人的位置。图 12 为显示的最终结果。

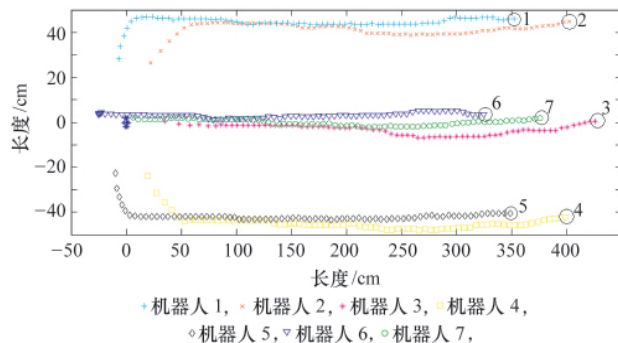


图 11 人工物理法仿真结果

Fig. 11 Simulation of AP method

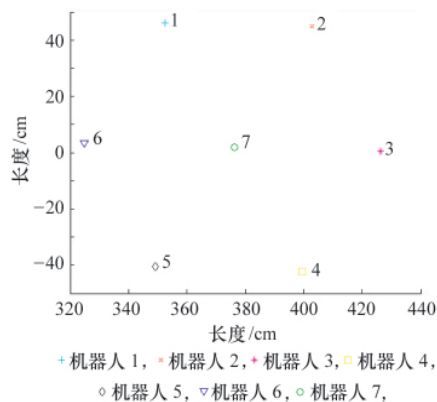


图 12 人工物理法仿真机器人队形终点

Fig. 12 End of formation with AP method

3.2 避障算法仿真

根据第 2.2 节所述方法,采用 MobileSim 软件进行仿真。仿真地图通过 Mapper3 软件绘制。其中, S 为机器人的运动起点, G 为机器人的运动目标点。设定沿墙行走进入阈值为 0.5m。

基于模糊控制的沿墙跟踪仿真结果见图 13。可以看出,机器人从初始点开始运动,经过两次沿墙跟踪,最后到达目标点。

4 实验验证

4.1 实验硬件平台

本实验所需硬件包括移动机器人、无线路由器和工作

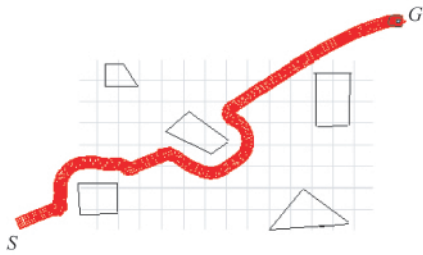


图 13 基于模糊控制的沿墙跟踪仿真

Fig. 13 Simulation of wall-following based on the fuzzy control

站。移动机器人采用 MobileRobots 公司的 Pioneer 3-AT 共 3 个,无线路由器采用思科公司的 Aironet 1000,工作站采用配备无线网卡的 IBM 笔记本电脑。

Pioneer 3-AT 机器人安装有 2 个声纳环,每个环有 8 个换能器,声纳阵列可以为机器人提供 360°无缝探测,并提供障碍物的位置信息。Pioneer3-AT 载有基于 PC104 扩展总线支持的工控机。该工控机将为无人车的数据采集、处理、指令执行提供支持。机器人通过里程计测量车轮转动,间接计算

机器人当前位置。罗盘可修正里程计的定位误差。通过无线网卡,机器人可以完成基于 TCP/IP 的多机器人通信。

4.2 实验软件结构

先锋系列移动机器人的软件系统包括移动机器人控制器软件系统和移动机器人客户端软件系统。移动机器人控制器软件是 ARCOS (ActivMedia Robotics Control and Operating System),移动机器人客户端软件主要包括:ARIA、MobileSim、MobileEyes、Mapper3、AriaDemo、GuiSever、SavClient 和 ACTS。

ARIA (ActivMedia Robotics Interface for Application) 是 MobileRobots 公司开发的面向对象的用于移动机器人控制的应用程序接口系统。该系统基于 C++ 语言编制,是一个可以简单、方便地用于先锋系列移动机器人的运动控制及传感器操作的客户端软件。该软件具有较强的功能和适应性,先锋移动机器人的基本软件系统都是以 ARIA 为基础。ARIA 为客户端/服务器系统处理了底层的细节,包括串口通信、命令和服务命令包处理、时钟周期、多线程及多种附件控制。

4.3 实验结果分析

图 14 为利用该硬件平台得到的硬件试验结果,分别给出了机器人的不同运动模式。



(a) 队形建立与保持

(a) Formation establishment and holding



(b) 转换为一字形编队

(b) Switch to the '—' formation



(c) 依次完成基于模糊控制的沿墙跟踪

(c) Wall-following based on the fuzzy control in turn



(d) 恢复基于人工物理法的协同

(d) Restoration of the synergic movement based on AP method

图 14 基于人工物理方法的机器人协同控制

Fig. 14 Synergic movement based on AP method

在图 14 可以看到,在初始阶段,采用基于人工物理法,机器人可由任意位置排列成三角队形并保持该队形运动,如图 14(a)所示。当最前方的机器人发现障碍物时,机器人便转换为一字形编队,如图 14(b)所示。采用模糊控制的沿墙跟踪策略使机器人绕过当前障碍物而不发生碰撞,从图 14(c)中可以看出,3 个机器人依次通过障碍物。当全部机器人都绕过障碍物后,恢复到最初的三角形编队,仍然采用人工物理法保持队形并运动,如图 14(d)所示。

这一试验结果达到了图 1 中设想场景的要求,充分说明本文中提出的算法是有效的,具备良好的鲁棒性和实时性。

5 结论

未知环境下的多智能体队形建立、保持与避障是多智能体协同控制研究领域的重要内容。由于缺乏先验的全局环境信息,智能体无法进行有效的离线规划,并且在实际使用中智能体也会受到传感器范围有限的制约。因此,队形的建立与避障只能依靠实时探测的局部环境信息。本文提出了人工物理法用于队形的建立与保持,利用模糊控制的沿墙行走进行避障,通过仿真与实际机器人实验验证了方法的有效性。

本方法可用于军事、航天航空、工业生产等多个领域。多移动机器人可采取合理的队形结构代替士兵执行恶劣、危险环境下的军事任务。该系统可用于多无人机的协同编队控制及队形重构。随着多机器人技术的发展,人工物理法将会有更加广泛的应用。

参考文献 (References)

- [1] Ayres R U, Miller S M. Robotics and flexible manufacturing technologies: Assessment, impact and forecast[M]. Park Ridge: Noyes publications, 1985.
- [2] Cai Anhui, Fukuda T, Arai F, et al. Hierarchical control architecture for cellular robotics system—simulations and experiments[C]//IEEE International Conference on Robotics and Automation. Nagoya, Japan, 1995: 1191–1196.
- [3] Ueyama T, Fukuda T. Self-organization of cellular robots using random walk with simple rules[J]. *Proceedings of IEEE ICRA*, 1993, 3: 595–600.
- [4] Fukuda T, Kawauchi Y, Asama H. Analysis and evaluation of cellular robotics (CEBOT) as a distributed intelligent system by communication information amount [J]. *Proceedings of IEEE/RSJ IROS*, 1990, 2: 827–834.
- [5] Cao Y U, Fukunaga A S, Kahng A B. Cooperative mobile robotics: Antecedents and directions[J]. *Autonomous Robots*, 1997, 4(1): 7–27.
- [6] 李实, 徐旭明, 叶榛, 等. 国际机器人足球比赛及其相关技术 [J]. 机器人, 2000, 22(5): 420–426.
Li Shi, Xu Xuming, Ye Zhen, et al. *Robot*, 2000, 22(5): 420–426.
- [7] Spears W M, Heil R, Spears D F, et al. Physicommimetics for mobile robot formations [C]//Proceedings of the Third International Joint Conference on Autonomous Agents and Multi Agent Systems (AAMAS-04). New York, 2004(3): 1528–1529.
- [8] Spears W M, Gordon D F. Using artificial physics to control agents[C]//

Proceedings of IEEE International Conference on Information, Intelligence and Systems (ICIIS'99). Bethesda, MD, IEEE Computer Society Publishers, 1999: 281–288.

- [9] Hettiarachchi S, Spears W. Moving swarm formations through obstacle field [C]//International Conference on Artificial Intelligence. Las Vegas, Nevada: CSREA Press, 2005(1): 97–103.
- [10] Spears D F, Kerr W, Spear W M. Physics-based robot swarms for coverage problems [J]. *International Journal on Intelligent Control and Systems*, 2006, 11(3): 124–140.
- [11] 丛岩峰. 基于滚动优化原理的路径规划方法研究[D]. 长春: 吉林大学通信工程学院, 2007.
Cong Yanfeng. The path planning method based on rolling optimization and predictive control [D]. Changchun: School of Communication Engineering, Jilin University, 2007.
- [12] 席裕庚. 预测控制[M]. 北京: 国防工业出版社, 1993.
Xi Yugeng. Predictive control [M]. Beijing: National Defense Industry Press, 1993.
- [13] 席裕庚. 动态不确定环境下广义控制问题的预测控制 [J]. 控制理论与应用, 2000, 17(5): 665–670.
Xi Yugeng. *Control Theory & Application*, 2000, 17(5): 665–670.
- [14] Leon J L. Automatic path planning for a mobile robot among obstacles of arbitrary shape[J]. *IEEE Transactions on SMC*, 1993, 28(3): 467–471.
- [15] 曾国强, 张育林. 编队飞行队形设计一般化方法[J]. 中国空间科学技术, 2003(1): 21–25.
Zeng Guoqiang, Zhang Yulin. *Chinese Space Science and Technology*, 2003(1): 21–25.

(责任编辑 朱宇)

第九届全国分析力学 学术研讨会

时间: 2010年7月
地点: 广东·韶关

主办单位: 中国力学学会

会议议题:

分析力学的经典专题研究
分析力学的全局分析方法
分析力学的数值积分方法
分析力学的工程科学应用

联系电话: 0751-8210179
电子信箱: clzheng@yahoo.cn
会议网站: <http://www.cstam.org.cn/hyj2.asp?unid=2006053855>