

基于仿人智能控制的机器人动态目标跟踪^{*}

李铁军^{1a}, 陈虹宇^{1b}, 邵桂芳²

(1. 集美大学 a 信息工程学院; b 轮机学院, 厦门 361021; 2 厦门大学 自动化系, 厦门 361005)

摘 要: 基于仿人智能控制理论, 设计了轮式机器人动态目标跟踪控制方案. 通过特征提取与识别对机器人感知状态空间进行划分, 建立感知模态, 结合多种控制方法, 构成不同的控制模态, 并利用产生式规则使不同的感知驱动相应运动控制. 以中型机器人 Frontier-I 为例, 进行了仿真与实物控制实验, 并与传统 PD 进行对比. 结果表明该算法具有较好的轨迹优化和快速响应能力.

关 键 词: 仿人智能控制; PD 机器人; 动态目标跟踪

中图分类号: TP242.6 文献标识码: A 文章编号: 1671-0924(2009)11-0064-06

Moving Target Tracking of Robot Based on Human Simulated Intelligent Control

LITie-jun^a, CHEN Hong-yu^b, SHAO Gui-fang²

(1. a School of Information Engineering; b School of Marine Engineering, Jimei University, Xiamen 361021, China; 2 Dept. of Automation, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

Abstract A target tracking control system for wheeled robot is proposed based on human simulated intelligent control theory. Firstly, the perception space is divided into several modes through character extraction and recognition. Secondly, different control modes are built by combining different basic control methods. Finally, the corresponding motion control is driven by different perception according to production rule. Based on some middle sized robot, Frontier-I, many experiments have been done in simulation and actual environment respectively and are compared with the traditional PD control method. Experiment results show that the built controller has track optimizing capacity and fast responding ability.

Key words: human simulated intelligent control; PD; robot; moving target tracking

目标导航与跟踪路径规划特别是运动目标跟踪是机器人研究的热点问题之一. 目前的研究主要分为 2 类: 一类是在控制系统的上层, 通过对传

感器获取的动态系统状态序列进行估计的方式来预测目标的位置, 从而改变机器人的位姿, 实现目标跟踪, 如卡尔曼滤波和粒子滤波等方法^[1-3]; 一

* 收稿日期: 2009-07-12

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60443004); 重庆市教委科技项目(KJ060621).

作者简介: 李铁军(1976-), 男, 内蒙古人, 硕士, 讲师, 主要从事通信、机器人控制方面的研究.

类是不考虑感知信息的获取,设计底层控制算法来精确控制机器人,从而实现跟踪轨迹^[4],而本文中主要讨论后者.经典PD控制在目标导航与跟踪中运用得非常成功.由PD控制原理可知,在距离目标较远时,误差值较大,因此给出较大的控制量,从而使机器人迅速靠近目标;在距离目标较近时,给出的控制量相应减小,使机器人以比较平缓的运动姿态到达目标,但也存在运动轨迹不是最优等问题^[5].很多学者提出了相应的改进方法,如基于PD+型云模型的路径跟踪方法.(将PD控制和云模型相结合以提高控制效果)^[6]、基于模糊控制的跟踪算法^[7-8]、基于遗传算法^[9]等.这些方法都具有较好的性能,但算法复杂度较高,难以实现实时控制.

人在运动控制中表现出了极大的优越性,在遇到不同的状况时可以及时调整,采用不同的策略,如足球队员根据自己和对方的速度及速度的变化趋势进行预估,从而规划路径,在与对方队员近距离博弈时,甚至可以采用一些假的动作来迷惑对方,这些都值得借鉴与学习^[10].基于此,本文中提出采用仿人智能控制的多模态方法进行机器人路径规划,一种模态对应一种输入与输出之间的函数关系,使机器人在完成某一任务的过程中,可以根据环境变化情况采取不同策略,从而实现最优控制.本文中以上海交通大学的中型自主机器人Frontier-1为例^[11],进行了仿真和实物控制实验,验证了本文中方法的有效性.

1 仿人智能控制

仿人智能控制器(human simulated intelligent control, HSC)的基本思想是:模拟人的启发式和直觉推理逻辑,通过特征辨识与特征记忆,识别系统当前处于什么特征状态,然后采取适当的控制模态,从而实现针对不同目标采取不同策略的控制^[11].简单来讲, HSC控制器的设计主要包括3个部分:感知输入、运动输出和感知-运动关联.

1.1 感知输入

感知输入的作用在于:在智能体与环境的交

互过程中,感知所有输入的动态信息(包括视觉、听觉等刺激信息、自身内部特征信息、反馈信息等),通过特征提取与识别将其结构化为特征基元,多个特征基元再通过“与”“或”等运算,形成特征模态,多个特征模态又通过协调与冲突调解组合为特征模型.感知输入可以由一个五重序元关系来表示:

$$S_p = [R \quad Q \quad K \quad \otimes \quad \Phi] \quad (1)$$

其中: $R \in \sum^n$ 是输入信息集; $Q \in \sum^m$ 为特征基元集; $K \in \sum^{k \times m}$ 为 $k \times m$ 阶的关系矩阵,其元素值 k_i 可取 -1, 0, 1 三个值,分别表示取反、取零和取正,或 k_i 取 \cap , \cup , 0 以表示“与”“或”和“无关”; \otimes 为运算符; $\Phi = K \otimes Q \in \sum^r$ 为特征模型集.

1.2 运动输出

运动输出是指对智能体的底层行为进行控制(如对机器人的轮速进行控制),通过多种控制的组合,可以产生复杂的控制行为.自然界中的生物,无论其行为有多复杂,都可以最终抽象出最基本的行为,由这些基本行为组合,可以产生复杂的行为.基于此,也可以将运动输出由一个五重序元关系来描述:

$$S_M = [R \quad P \quad L \quad \Psi \quad U] \quad (2)$$

其中: R 为输入变量集; P 为系统的控制模态基元向量; L 取值与 K 类似; Ψ ; $U = L \circ P$ 为控制模态集,确定控制输入与控制输出之间的定性定量关系; U 为控制输出.

1.3 感知-运动关联

关联表示感知输入与运动输出之间的一种函数关系或映射关系,即一种作为先验知识而存在的控制律. HSC 主要通过对人类决策过程模仿,建立输入与输出之间的一种关联,这种关联可以用产生式规则形式来描述,即“IF... THEN...”.

2 动态目标跟踪设计

2.1 设计思想

在PID控制中,当机器人与目标接近时,由于

距离误差比较小,输出的速度控制量也相应变小,而目标却在一直向前运动,因而会导致在末端时靠近目标的过程延长.如果只提高末端速度又会引起靠近目标的动作不平滑,在实际比赛中追踪球的时候可能会把球撞跑.如果能在靠近动作的最末端,靠近速度减小时,就加大靠近速度,否则以递减的速度靠近,这样就可以既避免靠近过程延长又使靠近动作变得平滑.

HSC控制的思想就是让机器人对自身不同的运动状态形成感知,从而将整个运动过程划分为不同的模态,针对每个模态采用不同的控制器.初始状态时机器人快速调整姿态,朝目标运动,针对不同的角度和距离采用不同参数的偏差控制,最后靠近时对目标的运行状态进行预测,既保证平滑地靠近物体,又不至于延长跟随时间.

2.2 设计过程

依据 HSC控制器,具体介绍其在动态目标跟踪中的应用设计.

1)感知输入.面对众多的外界环境信息,人类表现出了高度的注意性,即只关心与当前目标和任务有关的信息.同理,在不同的环境状态下,机器人所关心的信息也是不同的,如在离目标比较远的时候,机器人主要关心自己离目标的距离;而在离目标比较近时,机器人比较关心目标的运动方向.在动态目标跟踪过程中,机器人与目标的距离和夹角是比较关键的参数,因此,可以定义感知输入信息集为

$$R = \{ \varrho_d, \varrho_a, \varphi, \varphi' \} \quad (3)$$

其中: ϱ_d 表示机器人与目标物之间的距离; ϱ_a 可描述机器人在距离上究竟是处于远离或者靠近目标物的过程; φ 表示机器人的正方向与目标物之间的夹角; φ' 可描述机器人在角度上究竟是处于远离或者靠近目标物的过程.

HSC在模仿人类智能的基础上,通过提取不同的特征,得到代表不同状态的感知输入信息,即感知特征基元集 Q根据机器人与运动目标的状态,可以得到如下所示的感知输入模态集 Φ .

$$Q = \left\{ \begin{array}{ll} \varrho_1 | \varrho_d > d & \varrho_2 | \varrho_d \leq d \\ \varrho_3 | \varrho_d > d & \varrho_4 | \varrho_d \leq d \\ \varrho_5 | \varrho_d > -c & \varrho_6 | \varrho_d \leq -c \\ \varrho_7 | |\varphi| > \theta_1 & \varrho_8 | |\varphi| \leq \theta_1 \\ \varrho_9 | |\varphi| > \theta_2 & \varrho_{10} | |\varphi| \leq \theta_2 \end{array} \right\}$$

$$\Phi = \left\{ \begin{array}{l} \varphi_1: \varrho_d > d \cap |\varphi| > \theta_1 \\ \varphi_2: \varrho_d \leq d \cap |\varphi| > \theta_1 \\ \varphi_3: \theta_2 < |\varphi| \leq \theta_1 \\ \varphi_4: \varrho_d > -c \cap |\varphi| \leq \theta_2 \\ \varphi_5: \varrho_d \geq d \cap \varrho_d \leq -c \cap |\varphi| \leq \theta_2 \\ \varphi_6: \varrho_d < d \cap \varrho_d \leq -c \cap |\varphi| \leq \theta_2 \end{array} \right\}$$

其中: c 为正实数, $d > d_0$, $\theta_1 > \theta_2$; φ_1 表示机器人距离目标比较远,并且背对目标; φ_2 表示机器人距离目标比较近,背对目标; φ_3 表示机器人面对目标,但角度误差比较大; φ_4 表示机器人已对准目标并正在靠近目标,但靠近的速度降慢; φ_5 表示机器人对准目标快速靠近,但距离目标比较远; φ_6 表示机器人对准目标快速靠近,已经距离目标很近.

2)运动输出.机器人的底层运动控制方法主要有磅一磅、PD和 PD等,机器人控制量主要是线速度和角速度,由此,可以得到运动控制基元集 P通过不同控制方法的组合,可得式(5)所示的运动模态集 Ψ .

$$P = \left\{ \begin{array}{l} p_1 | u = k U \\ p_2 | u_w = k_s \cdot \varphi \\ p_3 | u_w = k_s \cdot \varphi \\ p_4 | u_w = k_s \int \varphi dt \\ p_5 | u = k_s \varrho_d \\ p_6 | u_w = k_s \cdot \text{sign}(\varphi) \end{array} \right\} \quad (4)$$

$$\Psi = \left\{ \begin{array}{l} \psi_1: p_1, p_6 \\ \psi_2: p_1, p_2 \\ \psi_3: p_1, p_2 + p_3 \\ \psi_4: p_1, p_2 + p_3 + p_4 \\ \psi_5: p_1, p_2 \\ \psi_6: p_1, p_2 + p_3 + p_4 \end{array} \right\} \quad (5)$$

其中 k 仅代表系数,具体取值依据实际应用情况

而定。

3) 感知—运动关联. 将感知输入与运动输出之间建立某种映射关系, 可构成一个任务下, 针对不同的输入状态采取不同的控制方法, 使机器人能根据环境的改变而改变控制方法, 提高效率. 依据前面给出的感知输入与运动输出设计, 可以得到如下的关联关系.

在 φ_1 模式下, 由于机器人处于背对目标物并且距离目标物比较远的状态, 因此可用较小的线速度和较大的角速度先转过身来, 即采用 ψ_1 运动控制模式。

在 φ_2 模式下, 由于机器人处于背对目标物但距离非常接近的状态, 这时候如果稍稍加速, 则由于运动机制和轮速跟随的缘故, 反而离目标越来越远, 因此只能用很小的线速度和较大的角速度, 即采用 ψ_2 运动控制模式。

在 φ_3 模式下, 由于目标物处于机器人前方, 角度偏差还较大, 因此, 可以适当加大线速度, 对角度误差采取 PID 控制, 即采用 ψ_3 运动控制模式。

在 φ_4 模式下, 机器人已经瞄准目标物, 但靠近的速度却减慢了, 此时说明机器人已经处于尾随目标的状态, 因此, 应该立刻加速追踪, 故可采用 ψ_4 运动控制模式。

在 φ_5 模式下, 机器人已经瞄准目标物, 并且靠近的速度也比较快, 但距离目标物比较远, 因此, 需要全速前进, 故可采用 ψ_5 运动控制模式。

在 φ_6 模式下, 机器人已经瞄准目标物, 靠近的速度较快, 距离目标物的距离已经比较近, 这时候就需要降低比例系数, 使靠近动作变得平滑, 因此, 可采用 ψ_6 运动控制模式。

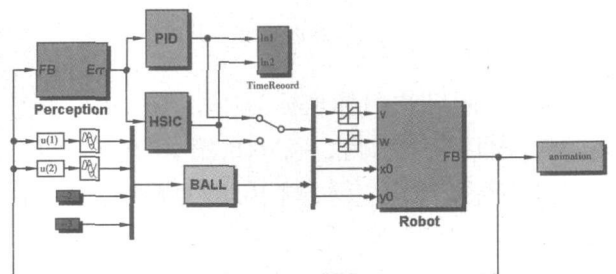
3 实验分析

以 Matlab 6.5 为实验平台, 利用 Simulink 模块进行系统建模, 机器人处于 12×8 的场地中, 中心点为坐标原点. 由于动态目标导航的主要任务是快速跟踪运动目标, 因此采用运动时间和运动轨迹来评价算法的优劣. HSC 控制器涉及到的参

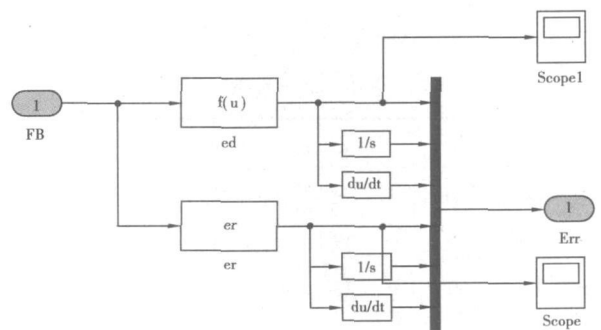
数 ($c, d, d_0, \theta_0, \theta_2, k (\in [1, 6])$) 通过遗传算法进行辨识。

3.1 仿真实验设计

动态目标导航仿真框架如图 1 所示, 主要由感知反馈、控制器 (包括 HSC 控制和 PID 控制)、运动目标、机器人车体、动画显示等几部分组成. 机器人运动学方程采用通用的双轮移动机器人动力学模型^[12]. 感知模块如图 1 b) 所示, 主要完成系统当前状态的获取, 并将其与目标状态进行对比, 给出误差信息, 感知输入信息由前景摄像头和全景摄像头获取。



a) 整体框架



b) 感知模块

图 1 动态目标跟踪仿真模型

3.2 实验分析

实验中, 目标作向右的单方向运动, 机器人从场地中心点开始运行, 向右为正方向. 目标位置坐标为 $(+, +)$ 表示尾随追踪; 坐标为 $(-, +)$ 表示反方向迎面追踪; $(+, -)$ 表示正方向迎面追踪; $(-, -)$ 表示反方向迎面追踪。

将目标放置在场地的不同位置, 进行了 100 次实验. 观察在 PID 控制和 HSC 控制下机器人的运动情况, 并记录每次运行所用的时间, 得到如图

2所示的对比情况.

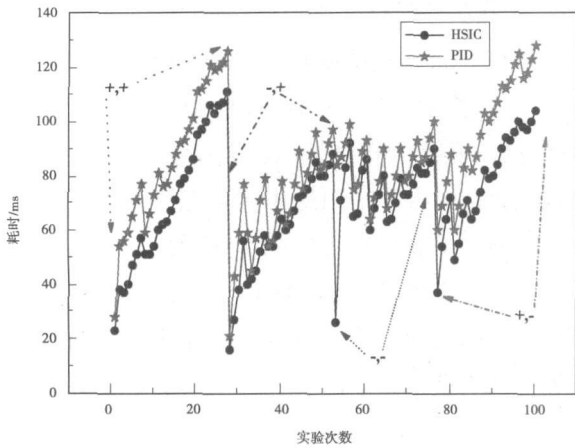


图 2 耗时对比

其中,前 27 次目标坐标为 (+ , +), 第 28 次至第 52 次目标坐标为 (- , +), 第 53 次至第 76 次目标坐标为 (- , -), 剩下 24 次目标坐标为 (+ , -) .

表 1 给出了 8 组对比数据, 即目标处于不同的位置, 机器人追踪到目标 HSC 控制和 PID 控制所用的时间.

表 1 实验数据

	1	2	3	4
坐标 /m	1.5 1.5	1.5 - 1.5	- 1.5 1.5	- 1.5 - 1.5
HSC/ms	55	59	43	65
PID/ms	69	72	48	77
	5	6	7	8
坐标 /m	2.3 2.8	2.3 - 2.8	- 2.3 2.8	- 2.3 - 2.8
HSC/ms	72	76	60	81
PID/ms	88	96	72	97

从图 2 和表 1 中可以看出, 要追踪到不同位置的目标, PID 控制所用的时间比 HSC 长. 在目标与机器人绝对距离相同的情况下, 目标所处方向不同, HSC 和 PID 所用时间也不同, 其中: 反方向正面截击所用时间比较短, 即目标位置为 (- , +); 反方向迎面截击所用时间最长, 即目标位置为 (- , -), 原因是机器人需要先转身, 再拦截

目标.

图 3 给出了目标处于 4 种不同位置情况下, HSC 控制与 PID 控制的运动轨迹情况. 其中, 上面的 4 幅为 HSC 控制运动轨迹, 下面的 4 幅为 PID 控制运动轨迹.

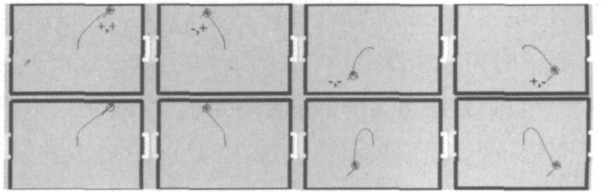
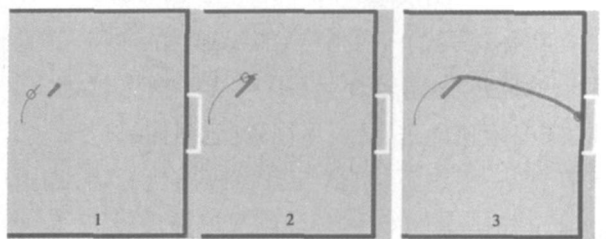


图 3 HSC 控制与 PID 控制运动轨迹对比

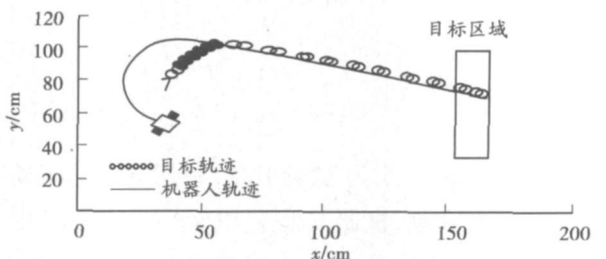
由图 3 可知, HSC 控制由于采用了多模态方法, 即处于不同的状态下采取不同的控制方法, 其运动轨迹明显优于 PID 控制.

实验结果表明, 当目标处于机器人的前方时, HSC 控制和 PID 控制的效果相差不多. 但如果目标物在机器人的后方, 其运动轨迹和所花去的仿真时间差异变得比较明显. 完成同一任务, HSC 所花费的时间要比 PID 小, 运动轨迹优于 PID 控制.

图 4 给出了 HSC 控制与模糊进化控制的跟踪轨迹对比, 可以看出在机器人转弯时 HSC 控制的轨迹更平滑.



a) HSC 控制



b) 模糊进化控制

图 4 HSC 与模糊进化算法目标跟踪估计对比

图 5 为参加 RoboCup 中型自主机器人 3 vs 3 比赛的视频截图,其中标号 1 为我方机器人,应用了 HSC 控制方法,标号 2 为动态目标。

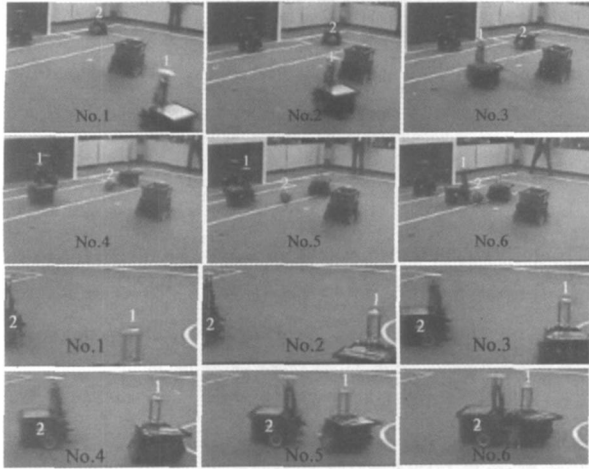


图 5 实物控制实例

4 结束语

本文中充分模拟人类智能,提出利用 HSC 控制方法,针对不同的状态采取不同的控制方法用于机器人路径规划,并以动态目标路径规划为例,在仿真环境下,与传统的 PD 控制方法进行了大量实验对比.实验结果表明,本文中提出的方法能快速响应,并具有较优的运动轨迹。

参考文献:

- [1] 赵璇,何波,吉德志,等.基于粒子滤波的机器人定位及动态目标跟踪[J].系统仿真学报, 2008 20(23): 6090—6093
- [2] Schulz D, Burgard W, Fox D, et al. Tracking multiple moving targets with a mobile robot using particle filters and statistical data association[C] // Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation[S. l.]: [S. n.], 2001: 1665—1670
- [3] 李庆瀛,褚金奎,李荣华,等.基于卡尔曼滤波的移动机器人运动目标跟踪[J].传感器与微系统, 2008 27(11): 66—71.
- [4] 李保国,张春熹.双轮移动机器人安全目标跟踪与自动避障算法[J].控制理论与应用, 2007 24(4): 535—540
- [5] 于芳.基于动觉图式的仿人智能控制在移动机器人路径规划中的研究[D].重庆:重庆大学, 2007: 1—6
- [6] 孙明平,汪晓斌.基于 PD+I 型云模型的移动机器人路径跟踪控制研究[J].中国科技信息, 2006(23): 2006 56—60
- [7] Oscar Castillo, Luis T. Aguirre, et al. Fuzzy logic tracking control for unicycle mobile robots[J]. Engineering Letters, 2007, 208: 243—253
- [8] 谭永宏,陈爱武.轮式移动机器人的模糊轨迹跟踪控制[J].制造业自动化, 2009 31(2): 55—58
- [9] Chris M. Genetic algorithms for auto-tuning mobile robot motion control[J]. Res Lett Inf Math Sci, 2002(3): 129—134
- [10] 李祖枢.仿人智能控制[M].北京:国防工业出版社, 2003: 90—94
- [11] 上海交通大学. Frontier-1 全自主移动机器人使用说明[Z].上海:上海交通大学, 2004: 18—30
- [12] Jean-Paul Laumond. Robot motion planning and control[M]. Heidelberg: Springer Berlin, 1998: 178—180

(责任编辑 陈松)