

3 自由度移动机器人的模糊跟踪控制器设计

李 艳¹, 高 峰², 林廷圻¹

(1. 西安交通大学机械工程学院, 710049, 西安; 2. 西安理工大学机械与精密仪器工程学院, 710048, 西安)

摘要: 在平面目标跟踪过程中, 将移动机器人跟踪的目标期望位姿分解为 4 种位置和方位组合, 在分析总结了具有 2 个可操舵驱动轮的 3 自由度移动机器人运动特性的基础上, 根据自动驾驶控制的专家经验知识, 针对 4 种位姿的要求设计了 4 个子模糊跟踪控制器, 这样大大简化了模糊逻辑推理过程, 并减少了计算时间, 实现了位置和方位的独立跟踪控制, 同时满足了跟踪目标位姿要求。最后, 利用仿真实验验证了算法的可行性和有效性。

关键词: 3 自由度移动机器人; 模糊逻辑跟踪控制器; 目标跟踪

中图分类号: TP24 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253-987X(2004)05-0521-04

Design of Fuzzy Tracking Controller of Mobile Robots with 3 Degrees of Freedom

Li Yan¹, Gao Feng², Lin Tingqi¹

(1. School of Mechanical Engineering, Xi an Jiaotong University, Xi an 710049, China; 2. School of Mechanical and Instrumental Engineering, Xi an University of Technology, Xi an 710048, China)

Abstract: To track planar goal, the objective desire posture is divided into four compositions of position and orientation for the followed task of mobile robot. Based on the kinematic characteristics analysis of 3 degrees of freedom mobile robot with two drivable and steerable wheels and automatic driving experiences of experts, four sub-fuzzy tracking controllers are designed which realizes independent control of position between orientation of mobile robots to satisfy the desire posture requirements with the simplified fuzzy logic inference and shortened computing time simultaneously. The simulation experiment is given to verify the feasibility and efficiency of the algorithm.

Key words: mobile robot with 3 degrees of freedom; fuzzy logic tracking controller; goal tracking

目标跟踪一般可分为空间目标跟踪(如导弹攻击目标)和地面目标跟踪。其中,地面跟踪又可分为运动目标跟踪,如对行驶中的物体跟踪和静止目标跟踪,如泊车问题等。3 自由度移动机器人可以实现 3 种运动:切向运动、固定方向运动和复合运动^[1]。由于 2 自由度移动机器人的运动方向是其位置的函数,它只能实现切向运动,因此不能获得位置和方位的独立跟踪。当跟踪目标有位姿要求时,2 自由度移动机器人就不能同时满足目标跟踪位姿要求中的 3 个分量,目前研究较多的是 2 自由度移动机器人的目标跟踪控制^[2~4],3 自由度移动机器人的相关研

究涉及不多。较之于 2 自由度移动机器人,3 自由度移动机器人具有更高的灵活性和机动性,对于目标的跟踪可更为及时准确。本文针对平面目标跟踪问题,在分析了具有 2 个可操舵驱动轮的 3 自由度移动机器人的运动特性的基础上,利用模糊逻辑控制技术设计了跟踪控制器,实现了移动机器人对位置和方位的独立跟踪,同时满足了期望位姿的要求。

1 车体结构及跟踪问题描述

本文的可操舵驱动轮采用驱动轮和转向轮合一的结构,其转向和驱动分别由 2 台不同的直流伺服

电机带动,舵电机通过转向机构改变驱动轮的方向,从而对移动机器人进行操舵.同时,改变驱动轮的转速和操舵角来调节车体的前进速度和角速度,可实现位置和方位的独立控制(见图1).3自由度移动机器人的运动可以视为绕瞬时回转中心做转动的平面刚体运动,其回转角速度与坐标系无关.

如图2所示, $P_1(x_1, y_1, \theta_1)$ 表示移动机器人 t_1 时刻在全局坐标系下的位姿,其在下一时刻 t_2 的目标点在全局坐标系中的位姿为 $P_2(x_2, y_2, \theta_2)$,目标点在当前机器人坐标系中的位姿为 (x_r, y_r, θ_r) ,并由下式求得

$$\begin{bmatrix} x_r \\ y_r \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta_1 & -\sin \theta_1 & x_1 \\ \sin \theta_1 & \cos \theta_1 & y_1 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} x_2 \\ y_2 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

通过式(1)的转换,移动机器人在跟踪过程中,目标点始终在车体前方,即 $y_r > 0$.当目标点处于车体后方时,可将车体坐标系旋转 180° ,且2个驱动电机同时反转,此时目标点仍然处于车体前方.将目标位姿进行分解,按所有可能的组合得到如图3所示的4种跟踪位姿要求.

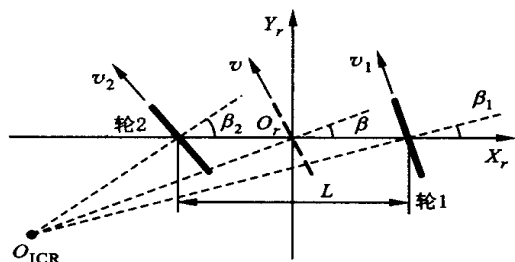


图1 车体结构示意图

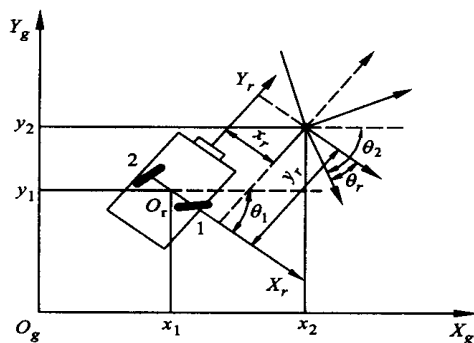


图2 目标跟踪问题的描述

这样,移动机器人的跟踪问题就是一系列时间函数的跟踪目标点的位置和方位所形成的位姿点的结合,它在不同的时刻对移动机器人有理想位姿 $(x_d(t), y_d(t), \theta_d(t))$ 的要求,当位姿要求恒不变时就成为对静止目标的跟踪.因此,3自由度移动机器人的运动跟踪,是通过调节两轮的驱动速度和操舵角来满足目标点的位姿要求.

2 运动特性分析及模糊控制器设计

3自由度移动机器人通过操舵可实现如图4所示的4种不同位姿的变化(假设移动机器人一直前行):当 $\theta_1, \theta_2 > 0$ 和 $\theta_1 > \theta_2$ 时,则车体位姿变化为 $x_r < 0, y_r > 0, \theta_r < 0$ (见图4a);当 $\theta_1, \theta_2 > 0$ 和 $\theta_1 < \theta_2$ 时,则车体位姿变化为 $x_r < 0, y_r > 0, \theta_r > 0$ (见图4b);当 $\theta_1, \theta_2 < 0$ 和 $|\theta_1| > |\theta_2|$ 时,则车体位姿变化为 $x_r > 0, y_r > 0, \theta_r < 0$ (见图4c);当 $\theta_1, \theta_2 < 0$ 和 $|\theta_1| < |\theta_2|$ 时,则车体位置及方位变化为 $x_r > 0, y_r > 0, \theta_r > 0$ (见图4d).

移动机器人通过操舵来实现位置和方位变化要

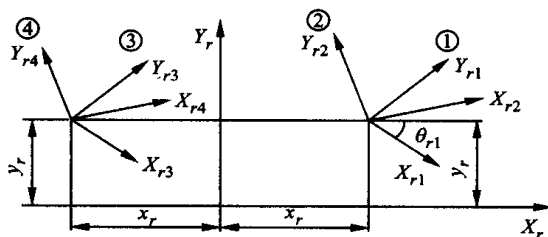


图3 目标跟踪位姿的分析

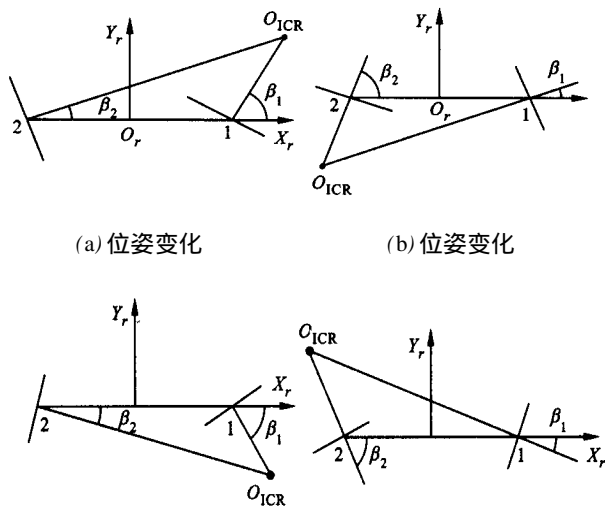


图4 机器人不同位姿变化的跟踪策略

求,通过改变行驶速度来控制位置和方位变化的大小.3 自由度移动机器人的控制输入量为轮 1、轮 2 的驱动速度 v_1 、 v_2 ,以及操舵角 δ_1 和 δ_2 ,目标位姿要求达到 x_d 、 y_d 、 θ_d .为了不使移动机器人产生横滑,移动机器人受到如下运动约束

$$v_1 \sin \delta_1 = v_2 \sin \delta_2 \quad (2)$$

即在具有 2 个可操舵驱动轮的移动机器人的 4 个控制输入中,只有 3 个控制量是独立的.本文选择 v_1 以及 δ_1 、 δ_2 为移动机器人的输入控制量, v_2 由式 (2) 来确定.

本文的模糊控制器有 3 个输入 x_r 、 y_r 、 θ_r 和 3 个输出 δ_1 、 δ_2 、 v_1 ,针对 4 种位姿变化的要求,可以设计出 4 个子模糊控制器,即模糊控制器 1、模糊控制器 2、模糊控制器 3 和模糊控制器 4.

(1) 当 $x_r > 0$, $y_r > 0$, $\theta_r < 0$ 时,采用模糊控制器 1,其相应的各模糊子集分别为

x_r {正零(PZ),正小(PS),正中(PM),正大(PB)}

y_r {正零(PZ),正小(PS),正中(PM),正大(PB)}

θ_r {负零(NZ),负小(NS),负中(NM),负大(NB)}

δ_1 , δ_2 {负零(NZ),负小(NS),负中(NM),负大(NB)}

(NB)}

v_1 {正零(PZ),正小(PS),正中(PM),正大(PB)}

且输出要求 $|\delta_1| > |\delta_2|$.

(2) 当 $x_r > 0$, $y_r > 0$, $\theta_r > 0$ 时,采用模糊控制器 2,其输出的各模糊子集与模糊控制器 1 相同,输出需满足 $|\delta_1| = |\delta_2|$,其输入的各模糊子集为

x_r {正零(PZ),正小(PS),正中(PM),正大(PB)}

y_r {正零(PZ),正小(PS),正中(PM),正大(PB)}

θ_r {正零(PZ),正小(PS),正中(PM),正大(PB)}

(3) 当 $x_r < 0$, $y_r < 0$, $\theta_r < 0$ 时,采用模糊控制器 3,其相应的各模糊子集分别为

x_r {负零(NZ),负小(NS),负中(NM),负大(NB)}

(NB)}

y_r {正零(PZ),正小(PS),正中(PM),正大(PB)}

θ_r {负零(NZ),负小(NS),负中(NM),负大(NB)}

δ_1 , δ_2 {正零(PZ),正小(PS),正中(PM),正大(PB)}

(PB)}

v_1 {正零(PZ),正小(PS),正中(PM),正大(PB)}

且输出要求 $\delta_1 = \delta_2$

(4) 当 $x_r < 0$, $y_r < 0$, $\theta_r > 0$ 时,采用模糊控制器 4,其输出的各模糊子集与模糊控制器 3 相同,输出需满足 $\delta_1 = \delta_2$,其输入的各模糊子集为

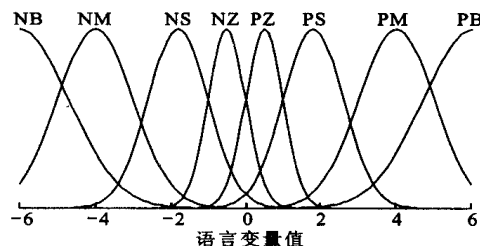
x_r {负零(NZ),负小(NS),负中(NM),负大

(NB)}

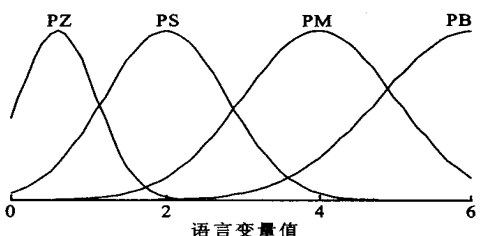
y_r {正零(PZ),正小(PS),正中(PM),正大(PB)}

θ_r {正零(PZ),正小(PS),正中(PM),正大(PB)}

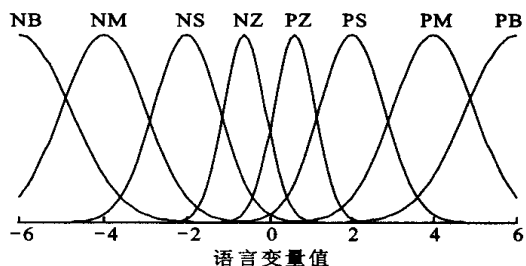
上述各模糊子集的隶属度函数如图 5a~5f 所示.



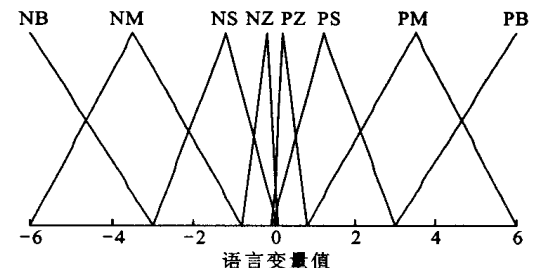
(a) x_r 模糊子集的隶属度函数



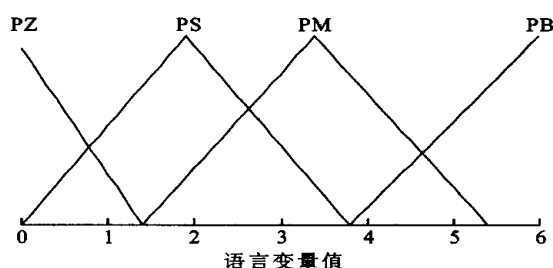
(b) y_r 模糊子集的隶属度函数



(c) θ_r 模糊子集的隶属度函数



(d) δ_1 、 δ_2 模糊子集的隶属度函数



(e) v_1 模糊子集的隶属度函数

图 5 模糊控制器各模糊子集的隶属度函数

根据3自由度移动机器人的运动特性分析及自动驾驶专家经验,每一个子模糊控制器可以归纳出30条模糊控制规则.

如果 x_r 是 x_{ri} , y_r 是 y_{rj} , r 是 r_k , 则 1 是 1_m , 2 是 2_n , v_1 是 v_{1p} , $i = j = k = 1, 2, 3, 4$, $m = n = p = 1, 2, 3, 4$.

第 l 条模糊规则可表示为

$$R_{33}^l: (x_{ri} \times y_{rj} \times r_k) \quad (1_m + 2_n + v_{1p})$$

式中: R_{33}^l 表示有3个输入和3个输出的模糊规则; $l = 1, 2, \dots, 30$.

规则库 R 可看成是由3个子规则库所组成,每一个子规则库由30个3输入单输出的规则所组成.每个子规则库是相互独立的,其对应的模糊关系可表示为

$$RB_{31}^n = \bigcup_{i,j,k,m} (x_{ri} \times y_{rj} \times r_k \times o_n)$$

式中: o_n ($n = 1, 2, 3$) 为模糊控制器的输出,分别为 $o_1 = 1$, $o_2 = 2$, $o_3 = v_1$. 其对应的隶属度函数为

$$\mu_R^n(x_{ri}, y_{rj}, r_k, o_n) = \bigcup_{i,j,k,m} (\mu_{x_{ri}} \mu_{y_{rj}} \mu_{r_k} \mu_{o_{nm}})$$

去模糊化采用重心法,则

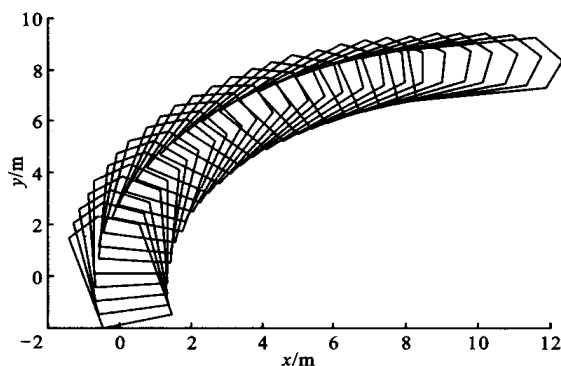
$$o_n = \frac{\sum_{m=1}^4 o_{nm} \times \mu_{o_n} / \sum_{m=1}^4 \mu_{o_n}}$$

3 仿真实验

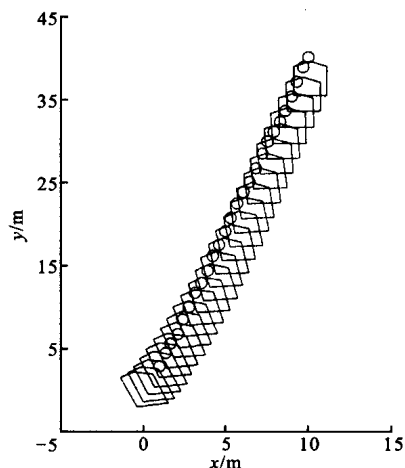
为了验证文中所提出算法的可行性和有效性,以移动机器人分别跟踪一个静止目标和一个运动目标为例进行了仿真实验.仿真条件:轮1、2的驱动速度为 $v_i \in [0, 1.5 \text{ m/s}]$, 操舵角范围为 $\delta_1, \delta_2 \in [-60^\circ, 60^\circ]$, $L = 1 \text{ m}$. 当 $t = 0$ 时, $[x_0, y_0, \theta_0]^T = [0, 0, 10^\circ]^T$, 静止目标的位姿要求为 $[x_d, y_d, \theta_d]^T = [10 \text{ m}, 8 \text{ m}, -90^\circ]$. 其仿真结果分别如图6a、6b所示.

4 结论

本文针对3自由度移动机器人的目标跟踪问题,利用模糊逻辑控制技术设计了跟踪控制器,实现了目标位置和方位的独立跟踪,满足了目标位姿的要求.仿真实验表明,该算法具有良好的可行性,为下一步进行实验研究提供了有利的依据.



(a) 静止目标跟踪的仿真结果



(b) 运动目标跟踪的仿真结果

图6 2种目标跟踪的仿真结果

参考文献:

- [1] Yutaka J. Rotary vehicle that moves with three degrees of freedom[A]. 97 ICAR, Monterey, 1997.
- [2] Dimitar Driandov, Alessandro Saffiotti. Fuzzy logic techniques for autonomous vehicle navigation [M]. New York: Physic-Verlag, 2001. 183~193.
- [3] Th Fraichard, Ph Garnier. Fuzzy control to drive car-like vehicles[J]. Robotics and Automation Systems, 2001, 34(1): 1~22.
- [4] Hitoshi Miyata. Control of the autonomous mobile robot DREAM-1 for a parallel parking[J]. Mathematics and Computers in Simulation, 1996, 41(1/2): 129~138.

(编辑 管咏梅)