

个驱动后轮由各自独立的电机驱动,其电机转速协调控制系统结构^[2-4]如图2所示.移动机器人的电机转速协调控制系统由运动关系设定模块、模糊推理器和比例积分(PI)控制器组成.运动关系设定模块设定电机1与电机2的转速关系,模糊推理器根据偏差及其变化率的大小来调整PI控制器的控制参数(比例系数 K_p 、积分系数 K_i),PI控制器则根据偏差 e 来调整用以调节电机1转速的脉冲宽度调制(PWM)波的占空比.

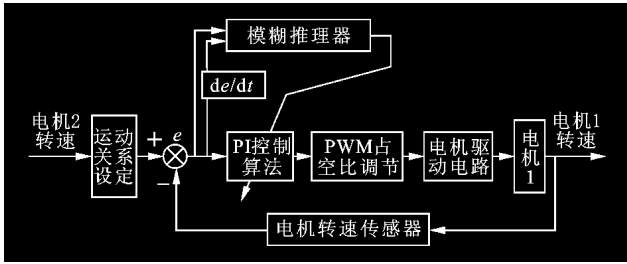


图2 移动机器人的电机转速协调控制系统

模糊PI控制器的工作原理为:控制器根据反馈的电机1转速及运动关系模块输出的参考值计算出 e ,模糊推理器根据 e 及其变化率来进行PI控制器的 K_p 、 K_i 的整定.参数经模糊整定后的PI控制器对输入 e 进行PI控制律的运算,其输出用以调节电机1的直流电机脉冲宽度调制(PWM)占空比的大小,从而最终实现电机1与电机2的转速满足相应的协调关系.PI控制器的参数可通过基于经验的模糊推理器进行实时、在线调整,由此实现移动机器人行走行为的不协调性的及时纠正.

2.2 模糊推理器的设计

模糊推理器的输入为两电机的转速差,其变化范围为控制器输入变量的基本论域,记为 $[S_L, S_H]$.本文中模糊控制器的控制算法以微处理器芯片C8051F040为核心来实现,因此模糊推理器的输入、输出论域都为离散的数字.

2.2.1 模糊化 移动机器人选用的无刷直流电动机的额定转速为3 000 r/min,其控制器的输出反馈通过1 000个/r脉冲的增量式光电编码盘实现,采样周期为25 ms.由于 e 的基本论域为 $[-200, 200]$,本文将确切的 e 通过相应的尺度变换和模糊处理,映射为包含8个元素的模糊集合,即 $\tilde{E}\{\text{正大, 正中, 正小, 正零, 负零, 负小, 负中, 负大}\}$.尺度变换公式为

$$E = \frac{12}{400}e \quad (7)$$

E 的论域为 $\{-6, -5, -4, -3, -2, -1, -0, +0,$

$1, 2, 3, 4, 5, 6\}$.本文采用三角形隶属度函数来实现 E 到 $\tilde{E}$ 的映射.

模糊PI控制器通过获取的固定采样次数的上限偏差和下限偏差,来挖掘相应的偏差变化率及偏差信息,即每当移动机器人的控制器对2个电机的采样次数达到10次后,控制器便对保存的2个电机的转速差数组元素进行排序,根据数组中最大元素 $S_{\max}$ 和最小元素 $S_{\min}$ 的数值,来发现包含在其中的转速差及其变化率的规律.

2.2.2 模糊推理^[5] 模糊推理是根据 $S_{\max}$ 、 $S_{\min}$ 的模糊集合元素的对应关系来确定适当的PI控制器参数的整定模式.制定的模糊控制规则如表1所示.因此,本文设计的模糊PI控制器可根据移动机器人的行走环境及自身参数的不同,利用模糊控制规则选用不同的PI控制器参数类别,从而实现特定环境下的行走要求.

表1 模糊控制规则

$S_{\min}$	$S_{\max}$							
	负大	负中	负小	负零	正零	正小	正中	正大
正大	I	I	II	II	III	III	IV	V
正中	I	II	II	III	III	VI	O	O
正小	II	II	VII	VIII	O	O	O	O
正零	II	III	VII	O	O	O	O	O
负零	IX	IX	O	O	O	O	O	O
负小	IX	X	O	O	O	O	O	O
负中	XI	O	O	O	O	O	O	O
负大	XII	O	O	O	O	O	O	O

2.2.3 反模糊化 当控制器输入的2个模糊参数完成了模糊化后,使用最大隶属度法来实现PI控制器参数的设定.由于PI控制器参数的模糊化整定方法的效果与现场的实际调试、试凑有很大关系,所以相关的模糊化参数整定是通过现场不断调试来确定的.

2.3 PI控制器的设计

为使PI控制器的调节作用相对平和,本文采用下式进行电机转速的控制

$$\Delta U_n = U_n - U_{n-1} = K_P(e_n - e_{n-1}) + K_i e_n \quad (8)$$

式中: ΔU_n 为第 n 次控制作用的增量; U_n 为第 n 次采样时刻的控制器电压输出; U_{n-1} 为第 $n-1$ 次采样

时刻的控制器电压输出。

在增量式 PI 控制器的控制算法中,由于本次的控制输出是上次控制量的增量,所以控制器的输出动作较小,动作失误时对移动机器人的影响也较小,因此对电机的性能不会造成过度的损伤。采用增量式 PI 控制器的控制算法进行的积分项运算仅与偏差有关,而不易产生积分饱和。

3 实验研究

在西安交通大学机械工程学院智能测控研究室自主开发的 XJTUMR-I 型移动机器人上,对本文提出的模糊 PI 控制器进行了实验,图 3 为该移动机器人的外观图,相应的实验数据曲线如图 4 所示。



图 3 XJTUMR-I 型机器人 ×100

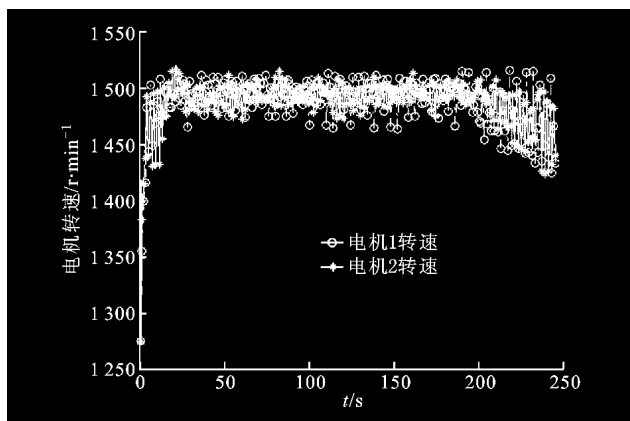


图 4 模糊 PI 电机转速跟随控制效果图

由于移动机器人在直行时要求 2 个驱动电机的转速具备良好的一致性,因此本文实验通过电机 1 对电机 2 的转速跟随来实现。实验过程中,通过对驱

动轮 2 进行干涉,使电机 2 的转速产生相应的波动,最终通过实验结果中电机 1 的转速与电机 2 的转速差来评价模糊 PI 控制器的适应能力。实验过程的采样次数选为 246 次。从图 4 中可以看出,对于变化幅度大、变化速度快的电机 2 的转速,利用模糊 PI 控制器可以实现电机 1 对电机 2 转速的快速、小偏差跟随。

4 结 论

本文将模糊技术与 PI 控制器结合起来,使得基于人为经验的“智能”推理在机器人的行走控制中得以实现,提高了机器人行走行为的适应性和稳定性。

在 XJTUMR-I 型移动机器人上进行的实验取得了良好的效果,进一步证明了本文提出的基于模糊技术的 PI 控制器参数自整定控制算法具有较好的自适应性和鲁棒性。

参考文献:

- [1] 李军伟. 基于模糊自整定 PID 的电动汽车驱动控制系统研究 [J]. 制造业自动化, 2005, 27(11): 8-11.
LI Junwei. The research of the drive system in electric vehicle based on fuzzy self-tuning PID [J]. Manufacturing Automation, 2005, 27(11): 8-11.
- [2] 李啸, 张洪钺, 李骥. 基于模糊 PID 的轮式移动机器人轨迹控制 [J]. 机器人技术与应用, 2002(5): 30-33.
LI Xiao, ZHANG Hongyue, LI Ji. Wheeled mobile robot trajectory control based on fuzzy PID [J]. Robot Technique and Application, 2002(5): 30-33.
- [3] 李琳, 曾孟雄. 模糊 PID 控制在运动控制中的应用 [J]. 机械与电子, 2006(2): 65-67.
LI Lin, ZENG Mengxiong. Fuzzy PID Controller's application in motion control system [J]. Machinery & Electronics, 2006(2): 65-67.
- [4] 韩峻峰, 李玉惠. 模糊控制技术 [M]. 重庆: 重庆大学出版社, 2003: 1-3.
- [5] 张曾科. 模糊数学基础 [M]. 北京: 清华大学出版社, 1997: 169-174.

(编辑 管咏梅)