

基于模糊控制的双足步行机器人控制研究

Study of a Biped Robot Based on Fuzzy Control

(1.北京科技大学;2.内蒙古科技大学) 刘永泉^{1,2} 郝安民¹ 刘鸿飞¹

LIU Yong-quan XI An-min LIU Hong-fei

摘要: 本文研制了一台能够独立自主行走的新型的双足步行机器人。机器人的主体部分采用 6 台伺服舵机,由伺服舵机对机器人进行驱动,同时舵机本身又可作为躯干,使整个机器人的结构非常紧凑。这也是对现有大多数此类机器人进行研究之后所做的改进。对机器人的行走控制由 PIC 单片机及其相关电路组成。鉴于双足步行机器人是一个复杂系统,故采用模糊控制来提高其控制的精度。经过实际检验,使用模糊控制可以获得很好的控制效果。

关键词: 双足步行机器人;舵机;模糊控制

中图分类号: TP39

文献标识码: A

Abstract: In this design, there are six servomotors which construct the main part of the biped robot. The biped robot is driven by these servomotors which can act as the body of the biped robot as well. In this way, the biped robot can be better organized and improved in contrast to the other designs. The PIC microprocessor and the other circuits are used to control the robot. Since biped robot is a complex dynamic system, fuzzy control is used to control the robot. The tests show that better control results are achieved with fuzzy control.

Key words: Biped Robot; Servomotor; Fuzzy Control

1 引言

本文中制作了一个简单的双足步行机器人。此双足步行机器人的主体部分由六台伺服电机(舵机)构成,此六台舵机为机器人提供动力以此来驱动机器人,同时,由于伺服舵机特有的优点,这些舵机同时又可作为机器人的躯干,使结构非常紧凑,避免了以往需将直流电机或步进电机固定到铝合金架一侧使质量分布复杂难于控制的缺点;联结件尽量采用开模件,将因手工制作造成的对精度的影响降到最低。

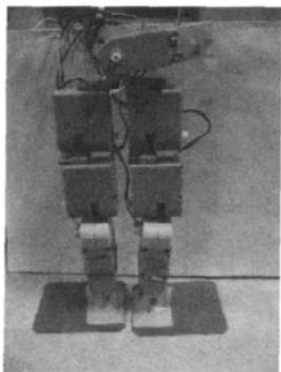


图 1 机器人的整体结构图

2 模糊控制方案

双足步行机器人是一个复杂系统,可以应用模糊控制来对其进行更加有效的控制。在这部分中使用的是离散论域的模糊控制器。在每个关节处加装编码器。以其中任一电机作为对象控制方案如下:

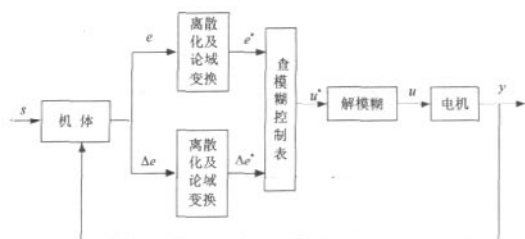


图 2 控制方案

预先给定的角度值设为 s , 最终电机产生的实际输出角度设为 y , 则有 $e = y - s$ 为角度误差, Δe 为误差的差分, 且 $\Delta e_i = e_i - e_{i-1}$, u 为控制量, 它对应着控制电机角度的电讯号。

2.1 输入和输出变量论域的离散化

e , Δe , u 都是实数域上的连续变量, 它们的变化范围分别为: $e \in [-10, 10]$, $\Delta e \in [-10, 10]$, $u \in [-10, 10]$ 。将 e 变换到离散论域 $X' = \{-6, -5, -4, -3, -2, -1, -0, +0, 1, 2, 3, 4, 5, 6\}$ 上, 将 Δe 变换到离散论域 $Y' = \{-6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6\}$ 上, 将 u 变换到离散论域 $Z' = \{-6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6\}$ 上, 得到离散论域上的输入输出变量 e^* , Δe^* 和 u^* 。

2.2 定义模糊集合及隶属函数表

对 e^* 定义八个模糊集合 E_1, E_2, \dots, E_8 , 分别代表 PL(正大)、PM(正中)、PS(正小)、PZ(正零)、NZ(负零)、NS(负小)、NM(负中)、NL(负大)。对 Δe^* 定义七个模糊集合 $\Delta E_1, \Delta E_2, \dots, \Delta E_7$, 分别代表 PL, PM, PS, Z, NS, NM, NL。对 u^* 定义七个模糊子集 U_1, U_2, \dots, U_7 , 分别代表 PL, PM, PS, Z, NS, NM, NL。

对 e^* , Δe^* 和 u^* 的模糊集合分别定义隶属函数表, 如表 1。 ΔE_i 和 U_i 也有类似隶属函数表。

2.3 设计模糊控制规则集

根据实际情况给出 52 条控制规则。控制规则的一般式是 if $e^* = E_i$ and $\Delta e^* = \Delta E_j$, then $u^* = U_k$

刘永泉: 博士研究生

$i=1,2,\dots,8;j=1,2,\dots,7;k=1,2,\dots,7$

表1 E_i 的隶属函数表

隶属度		e^* 的论域												
		-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6
模糊集合	$E_1(PL)$										0.2	0.7	1.0	
	$E_2(PM)$								0.2	0.8	1.0	0.8	0.2	
	$E_3(PS)$						0.1	0.8	1.0	0.8	0.1			
	$E_4(PZ)$						1.0	0.8	0.1					
	$E_5(NZ)$				0.1	0.8	1.0							
	$E_6(NS)$		0.1	0.8	1.0	0.8	0.1							
	$E_7(NM)$	0.2	0.8	1.0	0.8	0.2								
	$E_8(NL)$	1.0	0.7	0.2										

2.4 求模糊关系矩阵 R 和模糊控制表

由于论域是离散的, 模糊控制规则集可以表示为一个模糊关系矩阵 R:

$$R = \bigcup_{\forall i,j,k} (E_i \times \Delta E_j) \times U_k$$

其中, R 是一个 $(14 \times 13) \times 13$ 的大矩阵, 占 2366 个内存单元。

算出 R 以后, 可以对 e^* , Δe^* 设不同的值, 如 $e^* = -6$, $\Delta e^* = -6$, 将它们看成模糊单点, 这时的输入是模糊矢量 $E' = [1, 0, \dots, 0]^T$, $\Delta E' = [1, 0, \dots, 0]^T$, 可求出输出模糊矢量 U' :

$$U' = (E' \times \Delta E') \circ R$$

这里 $(E' \times \Delta E')$ 是一个 14×13 的矩阵, 将其按行排成矢量, 再去与 R 合成。由于 $(E' \times \Delta E')$ 此时只有第一个元素为 1, 其它元素皆为 0, U' 即是 R 的第一行。 U' 中隶属度最大对应的 u^* 即为此时的输出。用同样的方法, 对每对输入 e_i^* , Δe_j^* , 都可求出相应的输出 u_{ij}^* , 将它们整理成模糊控制表, 如下表所示。

表2 模糊控制查询表

u^*		e^*												
		-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6
Δe^*	-6	6	5	6	5	4	4	3	3	2	1	0	0	0
	-5	5	5	5	5	3	3	3	3	2	1	0	0	0
	-4	6	5	6	5	3	3	3	3	2	1	0	0	0
	-3	5	5	5	4	4	4	4	2	-1	-1	-1	-1	-1
	-2	6	5	6	5	3	3	1	1	0	0	-2	-3	-3
	-1	6	5	6	5	3	3	1	0	0	-2	-2	-3	-3
	0	6	5	6	5	3	1	0	0	-1	-3	-5	-6	-6
	1	3	3	3	2	0	0	0	-1	-3	-3	-5	-6	-6
	2	3	3	3	1	0	0	-1	-1	-3	-3	-5	-6	-6
	3	1	1	1	0	0	0	-1	-1	-2	-2	-5	-5	-5
	4	0	0	0	-1	-1	-2	-3	-3	-3	-3	-5	-6	-6
	5	0	0	0	-1	-1	-2	-3	-3	-3	-3	-5	-5	-5
	6	0	0	0	-1	-1	-1	-3	-3	-4	-4	-5	-5	-6

2.5 实时控制

控制表可离线算出, 在实时控制时得到 e_i 和 Δe_i 后, 先变换成离散量 e_i^* 和 Δe_i^* , 查表得到 u_i^* , 再求出真正的连续控制量 u_i 。

3 模糊控制效果

以上面得到的模糊控制表为基础, 可进行模糊控制的效果检验。模糊控制查询表可以植入 PIC 单片机中。为检验效果, 以踝关节为例, 采用和不采用模糊控制两种情形下进行测试对比。给定踝关节的转动角度为 30 度, 检验 Δe 位于 $(2.5^\circ, 4.1^\circ)$ 区间内, 也即 $\Delta e^* = 2$ 时的误差情况, 通过检验对比, 测试其控制效果。

经过有针对性的筛选记录的误差值及误差变化量(选取符合 Δe 及 Δe^* 要求的对应值), 其控制前后的对比曲线如图 3 所示。

控制后的曲线明显向 0 度附近靠拢, 查看每一点的控制前后数值均有控制后的误差的绝对值明显小于控制前的误差绝

对值。例如在 38 度时, 其本来误差为 8 度, 模糊控制后误差为 2.67 度, 由原来的 27% 下降到了 8.9%, 控制效果非常显著。

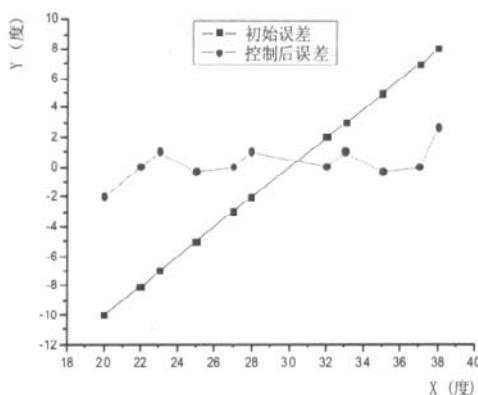


图3 控制效果图

4 结论

所得到的每组数据中, 控制后误差的绝对值均远小于控制前的误差的绝对值, 控制精度大大提高, 控制效果非常显著。这表明, 使用模糊控制来提高电机的控制效果是切实可行的。

本文创新点: 采用舵机作为驱动电机, 既作为动力源又可作为躯干。采用模糊控制改进控制效果, 更适合机器人的控制要求。

参考文献

- [1]Takanishi A, Ishida M, Yamazaki Y, Katao I. The Realization of Dynamic Walking by the Biped Walking Robot WL-10RD. In Proc 1985 Int Conf On Advance Robotics (Tokyo, Japan, Sept.9-10,1985). 466-495
 - [2]吴介一. 提高模糊控制精度的研究[J]. 控制理论及应用, 1996, 13(2)
 - [3]刘和平, 黄长开等. PIC16F87X 数据手册. 北京: 北京航空航天大学出版社. 2001
 - [4]张玉等. 基于单片机的模糊控制系统[J]. 微计算机信息, 2008, 24(3-2):137-139
- 作者简介: 刘永泉(1979-), 男, 汉族, 内蒙古包头人。北京科技大学博士研究生。研究方向: 双足步行机器人; 郝安民(1958-), 男, 北京科技大学教授。研究方向: 机械电子工程; 刘鸿飞(1968-), 男, 北京科技大学副教授。

Biography: LIU Yong-quan (1979-), male, Han, PH.D candidate in University of Science and Technology Beijing. Research Fields: Biped Robot.

(100083 北京 北京科技大学机械工程学院) 刘永泉 郝安民 刘鸿飞

(014010 内蒙古包头 内蒙古科技大学建筑与土木工程学院) 刘永泉

(School of Mechanical Engineering, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083 China) LIU Yong-quan XI An-min LIU Hong-fei

(The School of Architecture & Civil Engineering, Inner Mongolia University of Science and Technology, Baotou 014010 China) LIU Yong-quan

通讯地址: (100083 北京市海淀区学院路 30 号北京科技大学 653 信箱) 刘永泉

(收稿日期: 2009.06.17)(修稿日期: 2009.09.17)