

基于 WEBOTS 的模糊 PID 控制的研究

尹梦舒^{1,2}, 冯常¹

(1.中科院光电技术研究所 四川 成都 610209; 2.中国科学院大学 北京 100190)

摘要:在基于 Webots 虚拟移动机器人仿真软件提供的环境下,以 Epuck 轮式机器人为实验平台,设计了模糊 PID 控制器并提出了一种模糊 PID 控制算法,在 Webots 软件的代码区写入模糊 PID 控制算法来控制机器人的运动,最后将实验结果与常规 PID 控制进行了比较分析,得出了模糊 PID 具有控制更准确,鲁棒性更强,和系统更稳定的优势。

关键词:模糊 PID 控制器;模糊 PID 控制算法;Webots 仿真软件;轮式机器人

中图分类号:TP242.6

文献标识码:A

文章编号:1674-6236(2016)13-0041-04

Research on fuzzy PID control algorithm based on WEBOTS

YIN Meng-shu^{1,2}, FENG Chang¹

(1.Institute of Optics and Electronics, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610209, China;

2.University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)

Abstract: It uses Epuck wheeled robot as the experiment platform in the environment provided by Webots virtual simulation software, designs a fuzzy PID controller and proposes a fuzzy PID control algorithm. Fuzzy PID control algorithm is written in the webots software code areas to control the robot movement and finally experimental result is compared with those of the conventional PID control, it is concluded that the fuzzy PID control is more accurate, robust, and the system is more stable in the advantages.

Key words: fuzzy PID controller;fuzzy PID control algorithm;webots simulation software;wheeled robot

PID 控制器作为最早实用化的控制器已有近百年的历史,随着它的应用越来越广泛,在很多特殊条件和场合下,单使用 PID 控制器并不能满足所有要求,这时就需要将 PID 与其它不同的方式相结合起来弥补自身的不足,形成新的更完善更符合要求的控制方式^[1]。

而基于模糊数学理论的模糊控制是近十几年来迅速发展起来的一项高级新型技术,有较强的容错能力和自适应控制能力,将传统 PID 控制器和模糊控制技术相结合起来,就形成了本文所要研究的模糊 PID 控制器。

1 模糊 PID 控制器的原理与设计

1.1 模糊 PID 控制器的原理

模糊 PID 控制器分为两部分:PID 控制和模糊化模块。而二者结合的方式不同,所形成的模糊 PID 控制也不同。本文所采用的方式是 PID 参数模糊自整定的方法,形成了自适应模糊 PID 控制器,该控制器以偏差 e 和偏差变化 ec 为输入,找出 PID 控制器的 3 个参数和偏差 e 及偏差变化 ec 之间的模糊关系,在运行过程中不断检测偏差 e 及偏差变化 ec ,利用模糊控制器对 PID 控制器的 3 个参数进行在线整定,对参数进行调节以使系统达到最佳响应性能^[2]。其结构框图如图 1 所示。

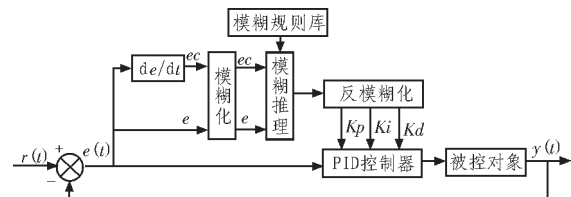


图 1 模糊 PID 控制结构图

1.2 确定模糊 PID 控制器的语言变量值

将输入量的论域实行离散化,即把输入的论域进行归一化处理,转变成论域上的对应语言变量值,即模糊化。采用 Mamdani 提出的标准化设计,将输入量 e 和 ec 及 PID 控制器的 3 个参数的论域范围设定为 $[-3,3]$,选取常用的三角函数为隶属函数形式,输入量模糊化后的语言变量可描述为“负大、负中、负小、零、正小、正中、正大”,分别定义为 $\{NB, NM, NS, ZO, PS, PM, PB\}$ ^[3],如图 2 所示。

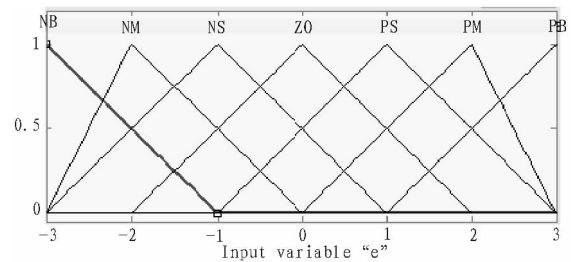


图 2 偏差 e 的模糊化

收稿日期:2015-08-10

稿件编号:201508044

作者简介:尹梦舒(1991—),女,湖北武汉人,硕士研究生。研究方向:机器人控制。

1.3 参数自整定的模糊控制规则

模糊控制器对PID 3个参数利用模糊规则进行模糊推理,通过查询模糊矩阵表来对参数进行调整。在调整3个参数的过程中分别要遵守以下3个原则^[4]:

1) K_p 整定原则:当偏差 e 正向偏大时, ΔK_p 为正向,即要增大 K_p ;而当 e 负向增加时,系统处于超调状态,此时应该降低 K_p 。而当偏差 e 处于零的位置时,若 ec 为负向,则系统超调越来越大,此时应该降低 K_p ;若 ec 为正向,为了降低偏差 ΔK_p 为正向。 K_p 整定的模糊规则表如表1所示。

表1 K_p 的模糊规则表

		Ec						
ΔK_p		NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
e	NB	NB	NB	NM	NM	NS	ZO	ZO
	NM	NB	NB	NM	NM	NS	ZO	ZO
	NS	NM	NM	NM	NS	ZO	PS	PM
	ZO	NM	NS	NS	ZO	PS	PM	PM
	PS	NS	NS	ZO	PS	PS	PM	PM
	PM	ZO	ZO	PS	PM	PM	PM	PB
	PB	ZO	ZO	PS	PM	PM	PB	PB

2) K_i 整定原则:采用积分分离原则, K_i 的调节和 K_p 相似,但为了防止积分饱和,系统出现超调, K_p 增大一点时, K_i 应该相应减少一点。 K_i 整定的模糊规则表如表2所示。

表2 K_i 的模糊规则表

		Ec						
ΔK_i		NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
e	NB	NM	NM	NS	NS	ZO	ZO	ZO
	NM	NM	NM	NS	NS	ZO	ZO	ZO
	NS	NS	NS	NS	ZO	ZO	ZO	PS
	ZO	NS	ZO	ZO	ZO	ZO	PS	PS
	PS	ZO	ZO	ZO	ZO	ZO	PS	PS
	PM	ZO	ZO	ZO	PS	PS	PS	PM
	PB	ZO	ZO	ZO	PS	PS	PM	PM

3) K_d 整定原则:当偏差 e 正向偏大时,增大 K_p 的同时可能会引起微分溢出,因此取较大 K_p 时应取较小 K_d 。 K_p 整定的模糊规则表如表3所示。

表3 K_d 的模糊规则表

		Ec						
ΔK_d		NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
e	NB	PB	PB	PM	PM	PS	PS	ZO
	NM	PB	PB	PM	PM	PS	ZO	ZO
	NS	PM	PM	PM	PS	ZO	NS	NM
	ZO	PM	PS	PS	ZO	NS	NM	NM
	PS	PS	PS	ZO	NS	NS	NM	NM
	PM	ZO	ZO	NS	NM	NM	NM	NB
	PB	ZO	NS	NS	NM	NM	NB	NB

1.4 PID 3个参数的计算

模糊推理的结果不能直接得到修正后的参数值,我们还

需将模糊推理的结果进行解模糊,本文采用重心法进行解模糊^[5],得到控制量的精确分布,即可得到各模糊子集的隶属度,根据其各参数的模糊控制模型和模糊矩阵表,查出修正参数代入下式进行计算,最后得到最终整定后的参数值。

$$k_p = k_{p0} + \Delta k_p, k_i = k_{i0} + \Delta k_i, k_d = k_{d0} + \Delta k_d \quad (1)$$

2 Webots 仿真

2.1 webots 简介

webots 是一款用于移动机器人建模、编程和仿真的开发环境软件。除了可以在软件中对每个机器人选择大量的虚拟传感器和驱动器,也可以在这种集成的环境或者是第三方的开发环境对机器人的控制器进行编程。机器人的行为完全可以通过现实环境中进行验证,同时控制器的代码也可以实现商业化机器人的移植。Webots 目前已经在全世界 1 067 所大学及科研院的中使用,为全世界的使用者节省了大量的开发时间。

在 Webots 中可以使用 6 种编程语言(C,C++,Java,Python, Matlab,URBI)和 200API 函数对机器人进行编程,也可以使用我们 20 个类(C++,Java 或 Python)的 APIs 连接外部库文件(如 OpenCV)。在 Webots 的代码编辑器中对机器人的控制代码进行编程,以达到控制机器人来执行任务的目的^[6]。

2.2 模糊 PID 算法设计思想

常规 PID 控制的算法差分模型如下公式:

$$u(k) = k_p \left\{ e(k) + \frac{T_s}{T_i} \sum_{j=0}^k e(j) + \frac{T_d}{T_s} [e(k) - e(k-1)] \right\} \\ = k_p e(k) + k_i T \sum_{j=0}^k e(j) + k_d \frac{e(k) - e(k-1)}{T} \quad (2)$$

其中 k_p 是比例系数; k_i 是积分时间常数; k_d 是微分时间常数。

而模糊 PID 控制器则是通过模糊控制器找出使系统处于最佳状态的 PID 控制器的比例积分微分系数这 3 个参数值。在系统运行过程中,通过对模糊推理结果进行处理、查表和运算,完成了对 PID 控制器 3 个参数的在线自校正,最终得到合适的参数值,使系统达到最佳响应。其算法程序流程如图 3 所

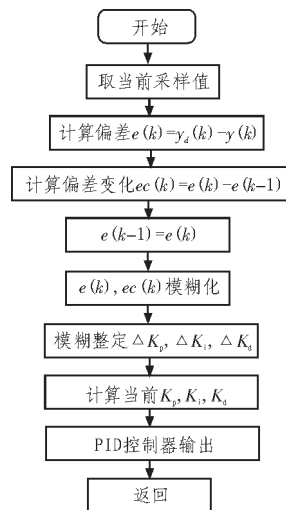


图3 自适应模糊 PID 算法流程图

示。

```
/* 主函数 */
```

```
int main(int argc, char **argv)
```

```
{
```

```
float vetor;
```

```
float templ;
```

```
float error;
```

```
WbDeviceTag ds=wb_robot_get_device("ds");
```

```
wb_distance_sensor_enable(ds,TIME_STEP);
```

```
PID sPID;
```

```
wb_robot_init();
```

```
PIDInit();
```

```
wb_differential_wheels_set_speed(100.0,100.0);
```

```
WbDeviceTag my_sensor = wb_robot_get_device("my_sensor");
```

```
float fuzzy_Kp(float e,float ec);
```

```
float fuzzy_Ki(float e,float ec);
```

```
float fuzzy_Kd(float e,float ec);
```

```
do {
```

```
sPID.setpoint=100.0;
```

```
vetor = wb_distance_sensor_get_value (my_sensor)/
```

```
TIME_STEP;
```

```
error=sPID.setpoint-vetor;
```

```
templ=PIDcal(&sPID,error);
```

```
} 
```

```
while (wb_robot_step(TIME_STEP) != -1);
```

```
wb_robot_cleanup();
```

```
return 0;
```

```
} 
```

3 仿真结果及分析

在 WEBOTS 软件的代码编辑区分别写入模糊 PID 控制

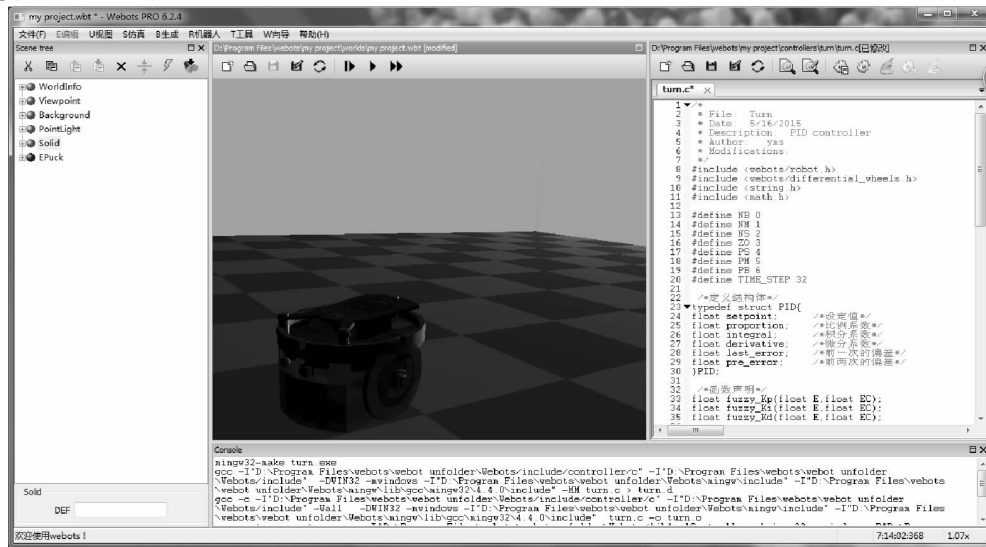


图 4 WEBOTS 软件 3D 窗口轮式机器人运动图

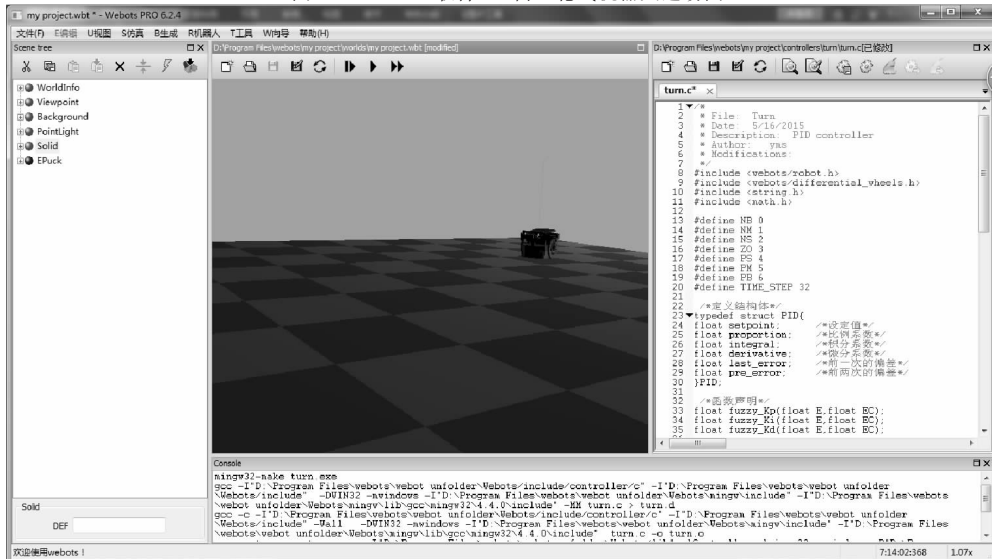


图 5 WEBOTS 软件 3D 窗口轮式机器人运动图

算法和常规 PID 控制算法,进行编译后生成可执行文件,即可成功创建仿真环境。最后将 Epuck 轮式机器人导入仿真环境中,运行程序进行仿真。通过软件的 3D 窗口可显示轮式机器人的运动情况,如图 4、图 5 所示。

通过观察 3D 窗口中轮式机器人在模糊 PID 和常规 PID 控制下的运动状态,和在控制区对机器人的控制情况比较得出,模糊 PID 控制更为精准,且鲁棒性更高。

最后将轮式机器人运动过程中模糊 PID 控制下和常规 PID 控制下的速度响应图进行比较,如图 6 和图 7 所示。通过

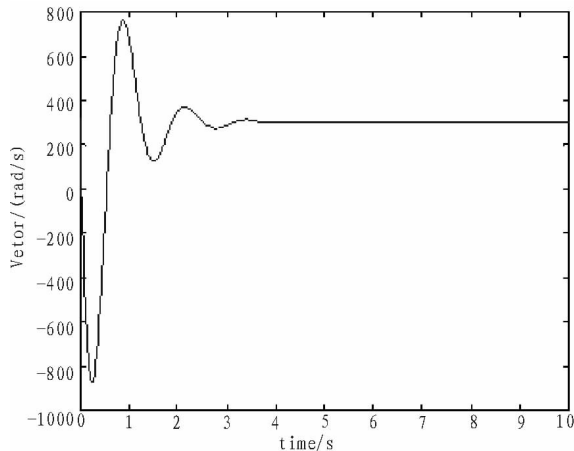


图 6 模糊 PID 控制下机器人速度响应图

两图的对比,明显可看出,在模糊 PID 算法控制下的速度响应图中,速度的最终趋于一个定值,系统逐渐稳定,最后达到平衡状态。而在常规 PID 控制下^[7-8]的速度响应图中并没看出系统最后能否稳定下来,速度显然还在不断变化,因此模糊 PID 算法控制下的系统具有更稳定的优势。

4 结束语

文中基于 WEBOTS 虚拟移动机器人仿真平台,进行了模糊 PID 控制器的设计和模糊 PID 算法的研究与实现。机器人大多数都比较昂贵,一个好的仿真平台可以起到检测自己算法而又不会损坏机器人的作用,因此本文选择 WEBOTS 这一具有和真实机器人接口,可实现控制代码对商业化机器人移植,进行真实环境下的测试的软件作为仿真平台。

通过在 WEBOTS 平台上的验证,发现所提出的模糊 PID 控制算法可行,且经实验结果对比,得出了模糊 PID 控制比常规 PID 控制具有控制更准确,鲁棒性更强,和系统更稳定的优势。

参考文献:

- [1] 陶永华,尹怡欣,葛芦生.新型PID控制及其应用[M].北京:机械工业出版社,1998.
- [2] 朱颖合.自适应模糊PID控制器的研究与应用[D].杭州:杭州电子科技大学,2011.
- [3] 席爱氏.模糊控制技术[M].西安:西安电子科技大学出版社,2008:6-15,68-77.

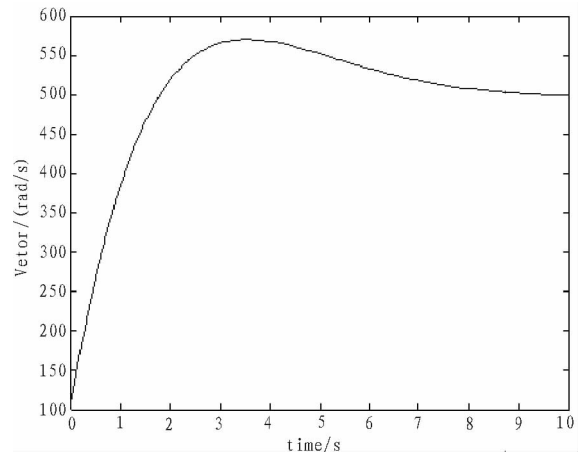


图 7 常规 PID 控制下机器人速度响应图

- [4] 刘金琨.先进PID控制MATLAB仿真[M].3版.北京:电子工业出版社,2014:288-291.
- [5] 王灏,毛宗源.机器人的智能控制方法[M].北京:国防工业出版社,2002:36-40.
- [6] Admin .Webots机器人仿真软件[EB/OL].[2015-7-15].http://www.sensorobots.net/931.html
- [7] 周阳,周美娇,殷戈.直流电机调速系统设计与PID参数整定[J].电子科技,2016(5):153-157.
- [8] 李娟.一种基于前馈补偿的PID轨压控制设计方法[J].电子科技,2014(6):146-149.

【相关参考文献链接】

- 黄军友.基于PID控制的X模式四旋翼飞行器研究[J].2014,22(2):127-129.
- 杨艺,虎恩典.基于S函数的BP神经网络PID控制器及Simulink仿真[J].2014,22(4):29-31.
- 褚新胜,吴耀,庞科旺.智能PID控制器在仪表中的应用[J].2014,22(6):27-29.
- 张守旭,严卫生,谢兰,等.非线性PID控制在飞艇上的应用[J].2014,22(7):64-66.
- 刘婉慈,王小明,肖雯娟.基于模糊-PID控制沥青骨料称量系统算法的仿真研究[J].2014,22(13):109-111.
- 张莹,肖军,李天.基于遗传优化的模糊PID控制器在水加药中的应用[J].2014,22(17):9-12.
- 曹诗林,王安.吹塑机壁厚控制系统的模糊PID控制器的设计[J].2014,22(21):84-87.
- 王志刚,虎恩典,王宁.基于PLC的双容水箱液位串级PID控制的实现[J].2014,22(22):131-133.
- 刘念,程磊,张东,等.基于PID控制算法的气味循迹车设计[J].2015,23(9):175-177.
- 王攀藻,张华.变风量中央空调智能PID控制系统设计研究