

机器人PID控制算法研究与实现

王志勃^{1,2}, 毕艳茹¹

(1. 淮安信息职业技术学院, 江苏 淮安 223003;

2. 江苏省电子产品装备与制造中心, 江苏 淮安 223003)

摘要:文中描述了如何使用PID控制器实现对巡线机器人的行走控制。针对依靠双轮直流电机驱动的机器人平台,依靠引导线进行行走的特点,设计了基于PID控制器的行走驱动算法,实现对机器人行走的控制。在算法中对比、整合PID控制器中三个参数,使其在控制过程中协调发挥作用,实现在离散状态下机器人行走巡线的精确控制。该算法多次应用在全国职业技能大赛机器人应用项目中,通过实践表明该算法具有适应性强、控制精度高、调整误差小的优点。

关键词:机器人;巡线;PID控制器

中图分类号:TP242.3

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2014)10-0127-04

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2014.10.030

Research and Implementation of Robot PID Control Algorithm

WANG Zhi-bo^{1,2}, BI Yan-ru¹

(1. Huaian College of Information and Vocational Technology, Huaian 223003, China;

2. Jiangsu Province Electronic Products and Manufacturing Center, Huaian 223003, China)

Abstract: Describe how to create a PID controller for robot to do line following in this paper. Aiming at the platform of double DC motor driven robot, relying on the characteristics that the robot works on to do line following, design the walk driving algorithm based on PID controller for the robot, realizing the walking control for robot. Comparing and integrating the three parameters in the PID controller for the control process, make its coordination in the process of control, it can precisely drive for robot walking in the discrete state. The algorithm has been applied many times in the national vocational skills competition of robot application project, the practice shows that the algorithm has the advantage of strong adaptability, high precision and low error.

Key words: robot; line following; PID controller

0 引言

PID控制技术广泛应用于工业控制各个领域,其控制结构简单,参数定义明确,易于实现,其中P(Proportional)是比例项,I(Integral)是积分项,D(Derivative)是微分项^[1]。当被控对象变化随机性较大,不能精确建立控制模型时,PID控制器能够很好地发挥控制作用。在实际应用中可以采用P、PI、PD或PID等控制形式,也可以加入人工智能模糊控制手段^[2-4],具体要根据被控制对象系统响应变化特点进行选择与调整。PID调节器是在系统运行过程中将设定值 $r(t)$ 与输出值 $c(t)$ 进行比较构成控制偏差 $e(t)=r(t)-c(t)$,通过线性组合将其按比例、积分、微分运算后生成控制量,实现实时自适应控制。PID系统典型控制结构如

图1所示,PID调节器的数学模型如公式(1)所示。

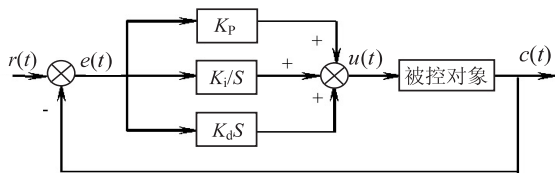


图1 PID系统典型控制结构图

$$u(t) = K_p [e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt}] + u_0 \quad (1)$$

其中, $u(t)$ 为输出项; K_p 为比例放大系数; T_i 为积分时间; T_d 为微分时间; $e(t)$ 为误差值; u_0 为控制量基准值。

比例放大系数 K_p 能加快系统响应速度,但容易产生超调现象,在机器人巡线行走过程中会出现左右摆动现象;积分时间参数 T_i 主要作用是消除系统的稳态误差;微分时间参数 T_d 作用是改善系统的动态性能,对误差趋势能够进行提前干预。

1 双轮巡线机器人行走结构设计

文中控制的机器人依靠平台上两个直流电机(图 2 中 A、B 所示)驱动轮子行走,在机器人平台前后安装有两根巡线传感器(图 2 中 C、D 所示),每根传感器由 16 路采集点组成,为保证机器人平台的稳定,在机器人前后安装有万向轮(图 2 中 E 所示)。机器人在行走过程中通过巡线传感器读取场地中的引导白线完成行走动作^[5]。驱动机器人的两个直流电机特性存在差异,给两个轮子电机加上相同的 PWM 也不能保证沿着直线行走,必须引入一定控制算法,保证机器人在不偏离引导线的前提下快速行进^[6]。文中采用 PID 控制算法,通过反复实验整合调优 PID 算法中的参数,使之能够顺畅自如地以直线或曲线巡线行走。机器人平台结构如图 2 所示。

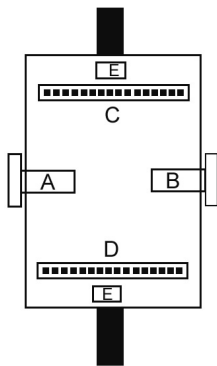


图 2 机器人平台结构图

2 数字化 PID 控制算法设计

文中机器人行走控制处理芯片为 80C51 单片机,在实现算法设计过程中首先要将理论上的 PID 算法进行数字化处理,其次要根据机器人行走特性做好 PID 算法中比例、积分、微分因子的选取和采样处理^[7]。下面首先从影响 PID 算法最大的比例项设计入手开始进行 PID 方程构建分析。

(1) 比例项的设计。

在 PID 控制算法中,比例因子是关键所在。首先要确定控制模型中的比例采样方法,构建比例方程。在机器人运行过程中,前后两根 16 路传感器不断将扫描信号传递给 CUP,通过前后两根 16 路传感器信息能实时判定车身的位置状态,根据传感器位置与中心线的偏差 $e(t)$,再找出适当的比例因子就可以构建 PID

控制系统中的比例控制项。图 3 列出了机器人在行进过程中的四种状态类型,在图中将 16 路巡线传感器中心定位为刻度零,前排 16 路传感器在 X 轴方向规定为左+右-,后排 16 路传感器在 X 轴方向规定为左-右+,通过程序扫描可以得到瞬时机器人前后两根 16 路传感器的采集位置 b_1, b_2 值(取值范围 1~16), z_1, z_2 代表前后巡线传感器同时扫描到白线的采集点个数。通过公式(2)能够准确计算出引导白线中心点在前后 16 路传感器上对应点的位置信息。

$$\begin{cases} N_1 = b_1 + z_1/2 - 8 \\ N_2 = b_2 + z_2/2 - 8 \end{cases} \quad (2)$$

其中, N_1 为前 16 路传感器在引导白线中心位置信息; N_2 为后 16 路传感器在引导白线中心位置信息。当 N_1, N_2 结果都为零时,表示引导白线刚好位于机器人中心线上。

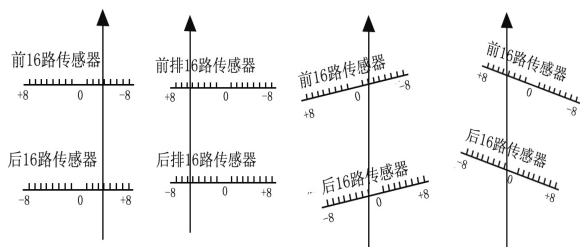


图 3 机器人状态分类

根据 N_1, N_2 的位置信息,可以构建出 PID 算法中的比例方程,方程中选用了不同的比例因子,前排传感器在巡线过程中起到关键作用,因此前排的比例系数 x_1 略大于后排传感器的比例系数 x_2 。比例因子选取要根据机器人现场具体调试决定,构建的方程如公式(3)所示。式中,根据机器人的偏差信息,能够生成控制驱动机器人电机的 PWM 值,根据机器人车身的状态将这个值分别影响到机器人的左右电机上^[8]。

$$PWM = N_1 * x_1 + N_2 * x_2 \quad (3)$$

针对 P 控制算法,程序算法设计如下所示。在程序中 PWM 电机驱动占空比最大值定义为 200, motor 为驱动电机转动函数,参数 l, r 代表驱动左右侧电机; f, b 代表向前向后,其中的 S_B 代表电机驱动的基础值,根据算出的 PWM 程序自动调节机器人的行走方向。

```
for(p=0;p<16;p++) { //循环 16 次读取前后 16 路传感器信息
```

```
    a1=xin_xi&0x8000;//xin_xi 代表前排传感器数据信息
```

```
    a2=xin_xi2&0x8000;//xin_xi2 代表后排传感器数据信息
```

```
    if((a1>0)&&(b1<0)) b1=p;//提取前排在白线的传感器起始位置
```

```
    if(a1>0)z1++; //累计前排传感器在白线上个数
```

```
    if((a2>0)&&(b2<0)) b2=p;//提取后排在白线的传感器起始位置
```

```
if( a2>0)z2++; // 累计后排传感器在白线上个数
xin_xi=xin_xi<<1; // 左移前排 16 位传感器信息
xin_xi2=xin_xi2<<1; // 左移后排 16 位传感器信息
}
N1=b1+z1/2-8; // 计算出前排传感器在白线中心位置
N2=b2+z2/2-8; // 计算出后排传感器在白线中心位置
PWM=N1*5+N2*3; // 构建比例方程,计算出控制 PWM 值
if((SB-PWM)>=200) { // 机器人整体偏右
motor(r,f,200);
motor(l,f,200+PWM*2);
} else if((SB+PWM)>=200) { // 机器人整体偏左
motor(r,f,200-PWM*2);
motor(l,f,200);
} else { // 自动调整
motor(r,f,SB-PWM);
motor(l,f,SB+PWM);
}
```

PID 中比例项 P 的作用是提高系统响应速度,随着比例控制项系数的增大,系统响应时间缩短,系统调节精度提高。但是也存在一定问题,系统易产生超调现象,在机器人行走的具体过程中表现出沿着引导白线走"S"型巡线轨迹。为了解决巡线过程中的"S"问题^[9-10],引进了 PID 算法中的 D,即微分项,对可能出现的偏差进行预先干预。

(2) 微分项的设计。

能否对系统的偏差有预先判断并处理呢?答案是肯定的。PID 算法中比例项(P)是对系统当前偏差的调整,而微分项(D)是对系统偏差的预先处理。在数字化近似处理中将一定时间内的本次偏差 $e(k)$ 与上一次偏差 $e(k-1)$ 相减,得出的结果能够反映出偏差变化趋势,一阶导数采用公式(4)进行表达。在实际程序控制过程中 $dt(T)$ 选择程序循环一次时间为最短时间单位,根据系统调整状况选择最短时间的整数倍数作为积分时间。

$$\frac{de(t)}{dt} \approx \frac{[e(k) - e(k - 1)]}{T}$$

(4)

(3) 积分项的设计。

要保证机器人巡线过程中走得非常直,偏差摆动很小,积分项也是另一个重要控制因素。积分项是将一段时间内机器人行走的误差累计作为调控依据,在数字化离散处理中使用公式(5)表达积分项。

$$\int_0^t e(t) dt = T \sum_{i=0}^k e(i)$$

(5)

将公式(4)、(5)带入到公式(1)中,得到离散状态下的 PID 控制近似值公式。

$$u(k) = K_p \{ e(k) + \frac{T}{T_1} \sum_{i=0}^k e(i) + \frac{T_D}{T} [e(k) - e(k - 1)] \} + u_0$$

(6)

在编程控制过程中可以将 T/T_1 用 K_I 代替,将 T_D/T 用 K_D 代替^[11-12],进一步简化为公式(7)。

$$u(k) = K_p * \text{偏差} + K_I * \text{积分项} + K_D * \text{微分项}$$

(7)

3 算法调试与验证

文中算法调试过程采用 Z-N(Ziegler-Nichols)实验方法进行调试,首先将积分项、微分项增益设为零,单独调试比例项,将比例增益从零开始逐渐增加,直到达到最佳效果为止,具体调试过程如下:

- (1) 设定 K_I 、 K_D 为零,屏蔽积分项、微分项;
- (2) 逐渐增大 K_p 的值,达到一个比较合理的范围,使机器人能够沿着白线行走,同时左右摆动比较小。在调整过程中如果机器人不能巡线,可增大 K_p 值;若能巡线,但左右摆动比较大可减小 K_p 的值。当机器人在最稳定状态时,记录下这个 K_p 值,命名为 K_s ;

(3) 当确定完 K_c 值后,机器人基本处于稳定震荡状态,在这个状态下记录其震荡周期,记为 P_s ;

(4) 控制系统中 dt 的值以机器人完成一次程序循环的时间为基本单位,在该系统机器人行走过程中,机器人需要扫描前后 16 路传感器,执行处理语句与循环语句,时间近似于 0.01 到 0.02 s 之间;

(5) 通过反复实践,将非线性变化使用线性公式代替^[13],归纳总结出了表 1 中相关控制项的计算公式,可以根据不同需要,选用 P、PI 或完全选用经典的 PID 全部控制参数实现系统控制。

表 1 Z-N 调试参数表

Control	K_p	$K_I(T_1)$	$K_D(T_D)$
P	$K_s/2$	0	0
PI	$2K_s/5$	$1.3K_p * dt/P_c$	0
PID	$3K_s/5$	$1.3K_p * dt/P_c$	$K_p * P_s/8.5dt$

文中算法多次应用在全国职业技能大赛机器人应用技术赛项中,其巡线稳定性与抗干扰性都比较强,图 4 为应用此算法参赛机器人在场地中的实物。

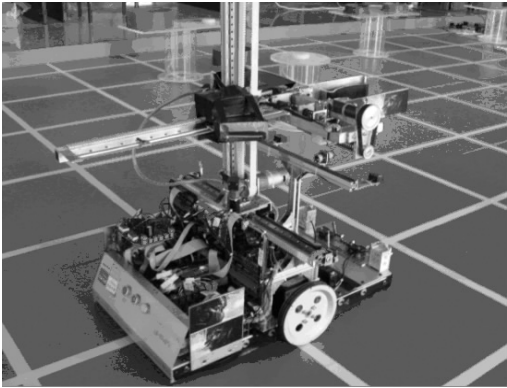


图 4 机器人实物

4 结束语

(1)文中的控制算法是基于机器人的位置信息,采用数字化处理逼近 PID 算法理论公式,在很短的时间内,使用一阶差分代替一阶微分,使用累加和代替积分。

(2)一般而言,PID 算法中比例是必须的,决定了控制的精度与结果。积分项能使系统偏差震荡趋于平缓;微分部分控制提前量,影响控制的反应速度。在实际应用中 PID 的比例、积分、微分并非总是同时使用,PI 调节和 PD 调节使用较多。

(3)在调试步骤上,一般先确定比例增益 P,调试中先令积分、微分项增益系数为零,单纯调试比例控制项。比例增益 P 确定后,再对积分、微分系统进行调试,直至满足要求。

(4)调试过程也有一定规律可循,但要根据具体系统特性,逐渐在实践中摸索总结,记录各个阶段的特征参数,最后综合平衡比例、积分和微分的权重。

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] 杨 宏,胡琛琛,周井泉. 单神经元自适应 PID 主动队列控制算法的改进[J]. 计算机技术与发展,2013,23(5):93-96.
- [3] 黄正午,孔 峰,杨 琴. 基于神经网络 PID 电子负载控制

(上接第 126 页)

等不足。因此,该方法需要进一步改进以减少算法的计算复杂度。

参考文献:

- [1] 赵 兵,鲁 敏,匡纲要,等. 基于混合特征的车牌定位算法[J]. 计算机工程与设计,2007,28(23):5668-5670.
- [2] 尚赵伟,国 庆,马尚君,等. 基于二进小波变换的多车牌定位算法[J]. 计算机工程,2011,37(3):16-18.
- [3] 李 刚,黄席樾,刘 政,等. 基于字符边缘颜色多分量信息的车牌定位方法[J]. 计算机工程,2009,35(18):176-178.
- [4] 张 引,潘云鹤. 彩色汽车图象牌照定位新方法[J]. 中国图象图形学报,2001,6(4):374-377.
- [5] 李 辉. 基于形态学的车牌定位方法研究[J]. 梧州学院学报,2010,20(3):29-35.
- [6] 王润民,钱盛友. 一种基于能量滤波和小波的车牌定位方法[J]. 光电子·激光,2006,17(9):1109-1113.

系统设计[J]. 计算机技术与发展,2011,21(4):183-186.

- [4] 刘 璟,梁昔明. 一种结合数值优化的 PID 控制器的设计与仿真[J]. 计算机技术与发展,2007,17(4):24-26.
- [5] 乔俊福,温泽源. 模糊控制算法在移动机器人中的应用[J]. 兵工自动化,2012,31(3):79-82.
- [6] Thomas N, Poongodi P. Position control of DC motor using genetic algorithm based PID controller[C]//Proceedings of the world congress on engineering. London:[s. n.],2009.
- [7] Piltan F, Sulaiman N, Gavahian A, et al. Design mathematical tunable gain PID-like sliding mode fuzzy controller with minimum rule base[J]. International Journal of Robotic and Automation,2011,2(3):146-156.
- [8] 李田甜,陈 鸿,李景涛. 用 PID 算法反馈控制直流电机[J]. 光电技术应用,2009,24(6):55-57.
- [9] Piltan F. Design sliding mode controller for robot manipulator with artificial tunable gain[J]. Canadian Journal of Pure and Applied Science,2011,5(2):1573-1579.
- [10] Zamani M, Sadati N, Ghartemani M K. Design of an H_{∞} PID controller using particle swarm optimization[J]. International Journal of Control, Automation, and Systems,2009,7(2):273-280.
- [11] 鲍 金,胡 明,谷晓玉. 基于 PID 算法的双轮差动式移动机器人导航研究[J]. 机械与电子,2008(2):66-68.
- [12] 方 斌. PID 控制器增益的稳定范围研究[J]. 计算机技术与发展,2010,20(3):203-206.
- [13] 魏 华,李 群,陈得宝. 一种新型参数非线性模糊 PID 控制方法[J]. 计算机技术与发展,2008,18(2):237-239.
- [7] 唐远炎,王 玲. 小波分析与文文中字识别[M]. 北京:科学出版社,2004.
- [8] Mallat S, Zhong Sifen. Characterization of signals from multi-scale edges[J]. IEEE Trans on PAMI,1992,14(7):710-732.
- [9] 方万元,梁久祯. 复杂背景下快速车牌定位算法[J]. 计算机工程与应用,2012,48(2):160-163.
- [10] Anagnostopoulos C N E, Anagnostopoulos I E, Lourmos V, et al. A license plate-recognition algorithm for intelligent transportation system applications[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems,2006,7(3):377-392.
- [11] Zheng Danian, Zhao Yannan, Wang Jiaxin. An efficient method of license plate location[J]. Pattern Recognition Letters,2005,26:2431-2438.
- [12] Zunino R, Rovetta S. Vector quantization for license plate location and image coding[J]. IEEE Trans on Industrial Electronics,2000,47(1):159-167.

机器人PID控制算法研究与实现


作者:

王志勃, 毕艳茹, [WANG Zhi-bo](#), [BI Yan-ru](#)

作者单位:

[王志勃, WANG Zhi-bo\(淮安信息职业技术学院, 江苏 淮安 223003; 江苏省电子产品装备与制造中心, 江苏 淮安 223003\)](#), [毕艳茹, BI Yan-ru\(淮安信息职业技术学院, 江苏 淮安, 223003\)](#)

刊名:

[计算机技术与发展](#)

英文刊名:

[Computer Technology and Development](#)

年, 卷(期):

2014(10)

本文链接: http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_wjz201410031.aspx