



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104020663 A

(43) 申请公布日 2014. 09. 03

(21) 申请号 201410251070. 4

(51) Int. Cl.

(22) 申请日 2014. 06. 06

G05B 11/42(2006. 01)

(71) 申请人 白银有色集团股份有限公司

地址 730900 甘肃省白银市白银区友好路  
96 号

(72) 发明人 张建斌 侯福祖 张龙军

(74) 专利代理机构 甘肃省知识产权事务中心  
62100

代理人 赵立权

权利要求书1页 说明书4页 附图1页

(54) 发明名称

一种基于统计学原理的数字 PID 参数自整定方法

(57) 摘要

本发明提供了一种基于统计学原理的 PID 参数自整定方法, 主要包括如下步骤: (1) 初始化程序, 读取传感器初始化参数; (2) 参数整定:

对数学模型  $u(t) = K(e(t) + \frac{1}{K_i} \int_0^t e(t') dt' + K_d \frac{de(t)}{dt}) + b$

, 令  $(u(t))'$  为矩阵 Y,  $(K, 1/K_i, K_d)$  为矩阵 B,

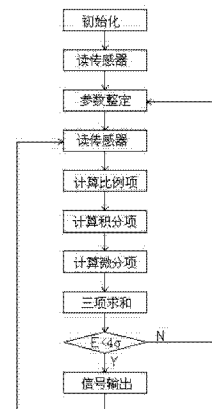
$(e, \int_0^t e(t') dt', \frac{de(t)}{dt})'$  为矩阵 X, 则有方程式

$Y = BX + b$  成立, 利用如下矩阵计算式计算待估计参数:  $B = (Y - b) / X = (Y - b) * \text{inv}(X)$ ; (3) 分别计算

比例相  $K_e(t)$ 、积分相  $\frac{1}{K_i} \int_0^t e(t') dt'$  和微分相

$K_d \frac{de(t)}{dt}$ ; (4) 比例相、积分相和微分相求和;

(5) 控制器运行一定时间后, 对整定后的参数进行适宜性判断。本发明参数自整定方法可以在 PID 算法内部实现, 占有计算资源少, 准确性好; 参数整定完全自动化, 不需要人工干预; 输出信号收敛时间理论上比 Ziegler-Nichols 法少一半, 性能明显优于 Cohen-Coon 法。



1. 一种基于统计学原理的数字 PID 参数自整定方法,其特征在于,包括如下步骤:

- (1) 初始化程序,读取传感器初始化参数;
- (2) 参数整定:对数学模型

$$u(t) = K(e(t) + \frac{1}{K_i} \int_0^t e(t') dt' + K_d \frac{de(t)}{dt}) + b \quad (1),$$

式中,  $u$ :控制输出信号,  $e$ :当前值与设定值差,  $K$ :比例增益控制参数,  $K_i$ :积分增益控制参数,  $K_d$ :微分增益控制参数,  $t$ :输入采样时间,  $b$ :输出偏移;

令  $(u(t))'$  为矩阵  $Y$ ,  $(K, 1/K_i, K_d)$  为矩阵  $B$ ,  $(e, \int_0^t e(t') dt', \frac{de(t)}{dt})'$  为矩阵  $X$ , 则有方程式

$Y = BX + b$  成立,其中,矩阵  $X$ 、 $Y$  均为实验采集数据,矩阵  $B$  是待估计的 PID 参数;

利用如下矩阵计算式计算待估计参数:

$$B = (Y - b) / X = (Y - b) * \text{inv}(X) \quad (2)$$

整定过程开始时,设定三个不同的控制器输出值  $y_1$ 、 $y_2$ 、 $y_3$ ,分别计算相应的输入值  $x_1$ 、 $x_2$ 、 $x_3$ ;把控制器输出值  $Y = (y_1, y_2, y_3)$  和输入值  $X = (x_1, x_2, x_3)$  分别代入式②中,即可计算得到待估计参数  $K$ 、 $K_i$ 、 $K_d$ ;

(3) 分别计算比例相  $Ke(t)$ 、积分相  $\frac{1}{K_i} \int_0^t e(t') dt'$  和微分相  $K_d \frac{de(t)}{dt}$ ;

(4) 比例相、积分相和微分相求和;

(5) 控制器运行一定时间后,对整定后的参数进行适宜性判断,设判断函数

$$E = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(e-\mu)^2}{2\sigma^2}\right),$$

式中,  $u$ :控制器输出信号,  $e$ :当前值与设定值差,  $\sigma$ : $e$  值正态分布的标准差;

如果  $E < 4\sigma$ , 则说明整定后的参数是适宜的,可进行控制器控制信号输出使用;如果  $E > 4\sigma$ , 则表示控制对象的特性发生了变化,当前 PID 参数已经不适用,并按前述步骤对参数进行重新整定。

## 一种基于统计学原理的数字 PID 参数自整定方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于自动化控制领域,具体涉及一种基于统计学原理的数字 PID 控制器参数自整定方法。

### 技术背景

[0002] PID 自动控制器自发明以来得到了广泛的应用。当前新安装的自动控制设备中,有一半以上采用了 PID 控制器或算法。PID 控制器从最初的模拟信号控制发展至今,大部分已经被数字控制方式代替。数字 PID 控制器的设计中,开发参数整定的新算法,成为改善其性能的重要手段。被控制目标的度量特性稳定时,自动控制器的参数是也是确定的,但当被控制目标的度量特性不断发生变化时,控制器参数只能通过实验数据来得到。PID 控制器的参数整定算法是一种自动获取控制过程经验参数的方法。常用于获得 PID 参数的方法有试差法和曲线周期法。当前应用最广泛的有 Ziegler-Nichols 和 Cohen-Coon 两种方法,Ziegler-Nichols 法可以用于闭路和开路的控制,Cohen-Coon 法通常只用于开路控制。PID 参数整定算法的优劣可以通过一段时间内输出值与设定值差的标准差来衡量。方程式 (1) 是 PID 控制器的一种通用数学模型。从数学模型可以看出,应用该方法控制工业过程时,具有跨度量衡(如,通过流量控制液位;通过电流大小控制温度等),自动回归适应物理模型(不需要事先获得被控制对象的准确数学模型)等优良特征。

$$[0003] \quad u(t) = K(e(t) + \frac{1}{K_i} \int_0^t e(t') dt' + K_d \frac{de(t)}{dt}) + b \quad \text{----- (1)}$$

[0004] 式中,  $u$ : 控制输出信号;

[0005]  $e$ : 当前值与设定值差;

[0006]  $K$ : 比例增益控制参数;

[0007]  $K_i$ : 积分增益控制参数;

[0008]  $K_d$ : 微分增益控制参数;

[0009]  $t$ : 输入采样时间;

[0010]  $b$ : 输出偏移。

[0011] 实际应用中还需要额外加入一些参数。超出执行机构处理能力的控制信号可能造成信号失真或设备损坏。例如:设置一个噪音带宽参数  $N_b$ ,当输入值与设置值差小于  $N_b$  的时候,参数  $e$  置零,这会有效防止输出信号抖动,增加控制器稳定性;设置一个死区参数  $D_z$ ,防止过大或过小的输出信号。

[0012] 实际应用中最大的问题是  $K$ 、 $K_i$ 、 $K_d$  三个参数的确定。工业生产中,岗位操作人员往往无法合理的调整 PID 控制器的参数。由于控制对象的特性多种多样,经验丰富的技术人员也要费大量时间调整控制器参数。而且随着控制对象特性的变化,PID 控制器参数很可能需要重新调整。而采用人工调整参数的 PID 整定方法通常不能及时发现工控条件的迁移,导致控制器长期运行在不准确的状态下。

[0013] Ziegler-Nichols PID 整定法首先将积分和微分增益设置为 0,然后比例增益从零

开始逐渐增加,直到到达极限增益  $K_0$ ,此时控制器输出值以恒定值振荡。根据不同的类型,给出了 P、PI、PID 三种控制方式中参数  $K$ 、 $K_i$ 、 $K_d$  与  $K_0$  的关系。这种整定方法需要较长时间确定  $K_0$ 。人工调节时大部分控制器不能画出控制信号曲线,难以准确判断  $K_0$  值,在自整定参数的算法实现中,控制信号曲线的拟合过程对计算资源的要求较高,微处理器通常难以满足需要。Cohen-Coon 法只需要输出信号升高(或降低)然后稳定,即可计算得到整定参数,速度较快。理论上只有 Ziegler-Nichols 法整定时间的 1/4。但这种方法只适合于开路控制,准确性不高。

## 发明内容

[0014] 本发明的目的在于针对 PID 控制器参数难以整定的难题,提供一种基于统计学原理的 PID 参数自整定方法。

[0015] 为此,本发明采用如下技术方案:

[0016] 一种基于统计学原理的数字 PID 参数自整定方法,包括如下步骤:

[0017] (1) 初始化程序,读取传感器初始化参数;

[0018] (2) 参数整定:对数学模型  $u(t) = K(e(t) + \frac{1}{K_i} \int_0^t e(t') dt' + K_d \frac{de(t)}{dt}) + b$  ①,

[0019] 式中,  $u$ :控制输出信号,  $e$ :当前值与设定值差,  $K$ :比例增益控制参数,  $K_i$ :积分增益控制参数,  $K_d$ :微分增益控制参数,  $t$ :输入采样时间,  $b$ :输出偏移;

[0020] 令  $(u(t))'$  为矩阵  $Y$ ,  $(K, 1/K_i, K_d)$  为矩阵  $B$ ,  $(e, \int_0^t e(t') dt', \frac{de(t)}{dt})'$  为矩阵  $X$ ,则有方

程式  $Y = BX + b$  成立,其中,矩阵  $X$ 、 $Y$  均为实验采集数据,矩阵  $B$  是待估计的 PID 参数;

[0021] 利用如下矩阵计算式计算待估计参数:

[0022]  $B = (Y - b) / X = (Y - b) * \text{inv}(X)$  ②

[0023] 整定过程开始时,设定三个不同的控制器输出值  $y_1$ 、 $y_2$ 、 $y_3$ ,分别计算相应的输入值  $x_1$ 、 $x_2$ 、 $x_3$ ;把控制器输出值  $Y = (y_1, y_2, y_3)$  和输入值  $X = (x_1, x_2, x_3)$  分别代入式②中,即可计算得到待估计参数  $K$ 、 $K_i$ 、 $K_d$ ;

[0024] (3) 分别计算比例相  $Ke(t)$ 、积分相  $\frac{1}{K_i} \int_0^t e(t') dt'$  和微分相  $K_d \frac{de(t)}{dt}$ ;

[0025] (4) 比例相、积分相和微分相求和;

[0026] (5) 控制器运行一定时间后,对整定后的参数进行适宜性判断,设判断函数

$E = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp(-\frac{(e-\mu)^2}{2\sigma^2})$ , 式中,  $u$ :控制器输出信号,  $e$ :当前值与设定值差,  $\sigma$ : $e$  值正态分布的标准差;

[0027] 如果  $E < 4\sigma$ ,则说明整定后的参数是适宜的,可进行控制器控制信号输出使用;如果  $E > 4\sigma$ ,则表示控制对象的特性发生了变化,当前 PID 参数已经不适用,并按前述步骤对参数进行重新整定。

[0028] 由于控制器参数完成整定后,运行一段时期,被控制对象的特性可能发生变化,当前的参数将不能适应控制要求。这就需要在控制器运行一段时期后通过一种方法随时判断

参数的适应性。由于PID控制器完成自整定后,步骤1数学模型中的 $e$ 符合正态分布,且分布的数学期望是PID设定值,分布的标准差 $\sigma$ 则是衡量PID参数适应性的重要指标。依据正态分布的概率密度函数, $e$ 值超出平均数左右四个标准差 $4\sigma$ 的时候,可以认为小概率事件发生,这表示被控制对象的特性发生了变化,当前PID参数已经不适用,需要使用上述参数自整定方法重新整定。

[0029] 采用本发明方法整定PID参数,最少只需要在3个稳定输入信号附近的采样,采样值越多PID整定性能越好。在传感器采样频率较高的情况下,可以增加采用数量以提高参数整定的性能。多组输入值求平均值,然后计算输入矩阵 $X$ 。这种方法能有效抑制输入信号噪音。

[0030] 本发明的有益效果在于:本发明参数自整定方法有别于现有插件式的参数整定工具,可以在PID算法内部实现,占有计算资源少,准确性好。整定方法的实质是应用实验统计法,通过统计数据的线性运算即可计算出待估计的参数;此外,本发明方法整定PID参数完全自动化,不需要人工干预;输出信号收敛时间理论上比Ziegler-Nichols法少一半,性能明显优于Cohen-Coon法;本发明方法还有很好的硬件适应性,可以稳定运行于嵌入式系统中。

#### 附图说明

[0031] 图1为本发明PID参数自整定方法的流程图。

#### 具体实施方式

[0032] 如图1所示,一种基于统计学原理的PID参数自整定方法,包括如下步骤:

[0033] (1) 初始化程序,读取传感器初始化参数;

[0034] (2) 参数整定:对数学模型 $u(t) = K(e(t) + \frac{1}{K_i} \int_0^t e(t') dt' + K_d \frac{de(t)}{dt}) + b$  ①,

[0035] 式中, $u$ :控制输出信号, $e$ :当前值与设定值差, $K$ :比例增益控制参数, $K_i$ :积分增益控制参数, $K_d$ :微分增益控制参数, $t$ :输入采样时间, $b$ :输出偏移;

[0036] 令 $(u(t))'$ 为矩阵 $Y$ , $(K, 1/K_i, K_d)$ 为矩阵 $B$ , $(e, \int_0^t e(t') dt', \frac{de(t)}{dt})'$ 为矩阵 $X$ ,则有方

程式 $Y = BX + b$ 成立,其中,矩阵 $X$ 、 $Y$ 均为实验采集数据,矩阵 $B$ 是待估计的PID参数;

[0037] 利用如下矩阵计算式计算待估计参数:

[0038]  $B = (Y - b) / X = (Y - b) * \text{inv}(X)$  ②

[0039] 整定过程开始时,将控制器输出值分别置为50%、10%、90%,分别计算相应的输入值 $x_1$ 、 $x_2$ 、 $x_3$ ;然后把控制器输出值和输入值 $X = (x_1, x_2, x_3)$ 分别代入式②中,即可计算得到待估计参数 $K$ 、 $K_i$ 、 $K_d$ ;

[0040] (3) 分别计算比例相 $Ke(t)$ 、积分相 $\frac{1}{K_i} \int_0^t e(t') dt'$ 和微分相 $K_d \frac{de(t)}{dt}$ ;

[0041] (4) 比例相、积分相和微分相求和;

[0042] (5) 控制器运行一定时间后,对整定后的参数进行适宜性判断,设判断函数

$$E = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(e-\mu)^2}{2\sigma^2}\right)$$
, 式中,  $u$ : 控制器输出信号,  $e$ : 当前值与设定值差,  $\sigma$ :  $e$  值正态分布的标准差;

[0043] 如果  $E < 4\sigma$ , 则说明整定后的参数是适宜的, 可进行控制器控制信号输出使用; 如果  $E > 4\sigma$ , 则表示控制对象的特性发生了变化, 当前 PID 参数已经不适用, 并按前述步骤对参数进行重新整定。

[0044] 为了验证本发明的控制效果, 采用 Matlab 分别实现 Ziegler-Nichols 法、Cohen-Coon 法和上文所述的 PID 自整定方法效果。三种控制参数整定方法采用相同的 PID 算法以及  $D_z$ 、 $N_b$  等参数。在输入值上分别叠加正弦、方波、随机数干扰信号, 以模拟工业生产中控制对象特性的变化。考察自整定算法对于干扰信号的适应性。所用整定时间以  $|e| < N_b$  为准。测试结果如下表 1 所示:

[0045] 表 1 三种 PID 控制器参数自整定算法的模拟测试

[0046]

	P1		P2		P3		P4		平均标准差
	T1	$\sigma$	T2	$\sigma$	T3	$\sigma$	T4	$\sigma$	
Ziegler-Nichols 法	27s	0.6	35s	1.3	37s	1.4	45s	1.7	1.3
Cohen-Coon 法	6s	4	9s	6	8s	2.3	8s	2	3.6
实施例整定法	12s	1.1	11s	1.1	10s	1	10s	0.8	1.0

[0047] 表 1 中, P1 段为无干扰段, P2 段引入正弦波干扰, P3 段引入方波干扰, P4 段引入随机数干扰。T1、T2、T3、T4 分别为 P1、P2、P3、P4 时间段所使用的整定时间,  $\sigma$  为相应标准差。从数据可以看出基于统计学原理的 PID 参数自整定法算法适应性优于前两种方法。

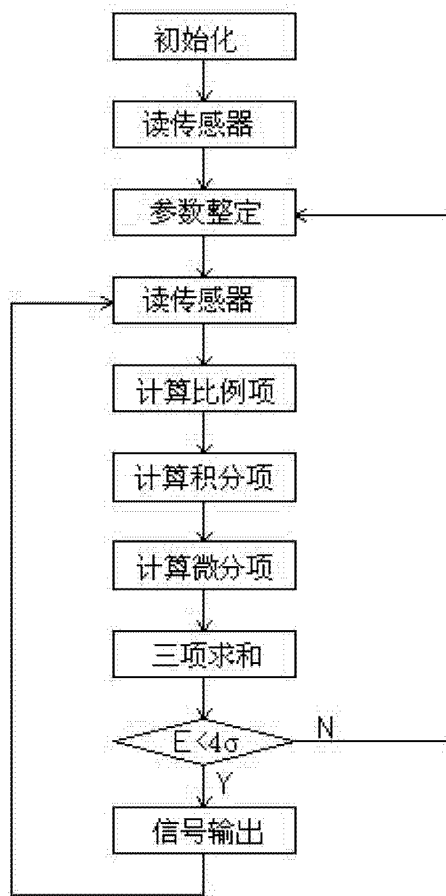


图 1