

改进单神经元 PID 控制器 在自动送钻模拟加载中的应用*

王潜龙^{1,2} 冯全科² 刘维湘³ 周为¹

(1. 长庆石油勘探局钻井总公司 2. 西安交通大学能动学院 3. 西安交通大学电子与信息工程学院)

王潜龙等. 改进单神经元 PID 控制器在自动送钻模拟加载中的应用. 天然气工业, 2004; 24(5): 65~67

摘要 自动送钻是指钻机在正常钻进过程中, 不依靠司钻调节, 而是按钻井工艺要求, 让送钻装置在给定的条件下实现钻头的自动给进。自动送钻装置可以消除人工控制的缺点, 能提高钻井质量和经济效益。出于对安全性和可靠性的考虑, 必须在实际钻机上应用该装置前进行模型模拟实验, 为自动送钻控制技术的现场推广应用奠定基础。针对钻井过程中的非线性、不确定性和实时性要求, 采用改进的单神经元 PID 控制器实现自动送钻模拟加载。实验结果表明, 和传统的 PID 控制相比, 改进单神经元 PID 控制器的反应速度快, 振荡幅度小, 并且稳态误差小。采用改进单神经元 PID 控制结构简单, 易于实现, 在应用中效果明显。

关键词 钻井 自动送钻 模拟加载 PID 控制器 应用

实现钻机自动化, 早在 20 世纪 40 年代后期就有 Humble oil 和 Byron Jackson 公司作过认真的尝试。自动送钻是指钻机(采用旋转式钻井法)在正常钻进过程中, 不依靠司钻调节, 而是按钻井工艺要求, 让送钻装置在给定的条件下实现钻头的自动给进。自动送钻装置在近代的钻井实践中得到了广泛的应用^[1]。目前, 国外已完成了部分的钻井参数最优化自动控制钻井, 已在现场使用, 但未推广应用^[2]。国内近年有应用单片机、微型计算机进行自动送钻控制的实验研究^[3~5]。已有实验结果^[7]表明, 同传统 PID 控制器相比, 改进的单神经元 PID 控制器结构简单, 易于实现, 且有较好的动态响应和较小的稳态误差。本文针对钻井过程中井况的非线性、不确定性和实时性要求, 采用改进的单神经元 PID 控制器^[6]实现自动送钻模拟加载。

自动送钻实验系统结构及原理

自动送钻控制系统的整个实验装置包括加载和送钻两个子系统, 其中的加载子系统用于模拟井下的钻压变化, 送钻子系统模拟实现恒钻压条件下的自动送钻控制。该系统是在大庆 I-130 钻机井架模拟实验台的基础上改建而成的, 其系统结构如图 1 所示。在该加载子系统中, 钻压信号由计算机通过

控制液压缸产生。

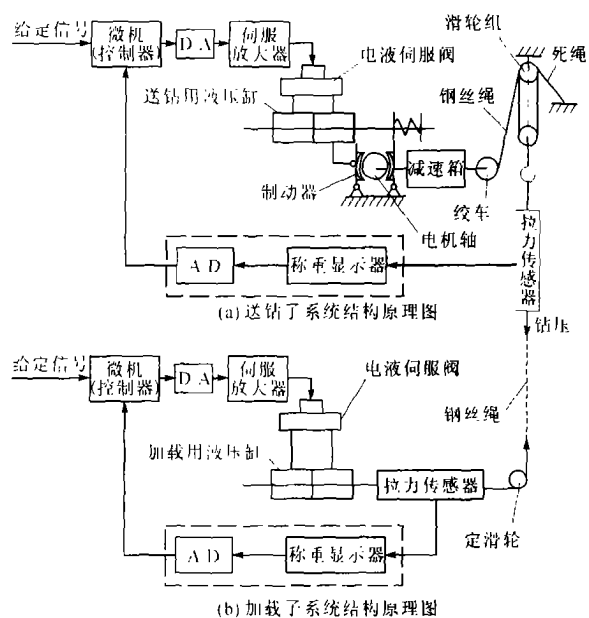


图 1 自动送钻实验系统的结构图

改进的单神经元 PID 控制器设计^[6]

1. PID 控制算法

PID 控制器是一种线性控制器, 它根据给定值输入与实际输出值输出构成控制偏差。

* 本文系国家自然科学基金项目(50074024): 远程钻井会战智能应用系统理论与方法的研究资助项目。

作者简介: 王潜龙, 1973 年生, 现在西安交通大学攻读博士学位。地址: (710021) 陕西省西安市未央区长庆石油勘探局钻井总公司。电话: 13186000872。E-mail: wangqianlong@163.net

$e(t)$ = 输入 - 输出

PID 控制器以结构简单、控制稳态精度高、鲁棒

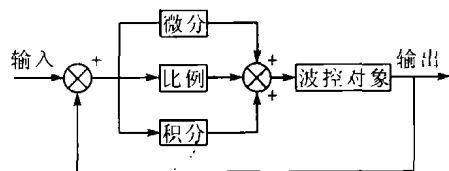


图2 PID控制系统结构图

性好广泛应用到控制领域,其基本控制算法^[7]为:

$$U = k_p \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int e(t) dt + T_D \frac{de(t)}{dt} \right] \quad (1)$$

式中: U 为 PID 控制系统的输出; $e(t)$ 为测量值与给定值之间的偏差; T_D 为微分调节常数; T_i 为积分调节常数; K_p 为比例调节常数。

若用矩形法数值积分代替积分项,对导数项用向后差分逼近,可得到数字 PID 调节算法,便于计算机实现:

$$u_k = K_p \left[e_k + \frac{T}{T_i} \sum_{i=1}^k e_i + \frac{T_D}{T} (e_k - e_{k-1}) \right] + u_0 \quad (2)$$

式中: T 为采样周期。

$$u_{k-1} = K_p \left[e_{k-1} + \frac{T}{T_i} \sum_{i=1}^k e_i + \frac{T_D}{T} (e_{k-1} - e_{k-2}) \right] + u_0 \quad (3)$$

式(2)和式(3)相减可得:

$$\Delta u = K_p \left[\begin{matrix} e_k - e_{k-1} + \frac{T}{T_i} \sum_{i=1}^k e_i + \\ \frac{T_D}{T} (e_{k-1} - 2e_{k-2} + e_{k-3}) \end{matrix} \right] \quad (4)$$

在自动送钻试验中,保持钻压恒定尤其重要,但是 PID 控制算法中,参数的确定需要一定的技巧,它对系统内部参数变化有一定的适应能力,设计简单,所以使用范围比较广泛。但是由于钻井系统的非线性随时变问题突出。随着钻压、转速、扭矩运行参数的变化,其内部参数发生较大的变化,造成系统的性能降低,导致系统的不稳定运行。因此本文采用具有自学习和自适应能力的单神经元构成单神经元自适应智能 PID 控制器,其结构简单,适应环境的变化,具有较强的鲁棒性。

2. 改进的单神经元 PID 控制算法

改进的单神经元 PID 的控制系统如图 3 所示。改进单神经元自适应控制器是通过调整加权系数的调整来实现自适应、自组织功能。权系数的调整是按照有监督的 Hebb 学习规则实现。由于学习系统输

入信号的控制对象的信号存在不规范性,为保证学习算法的收敛性和控制的鲁棒性,采用规范化学习算法:

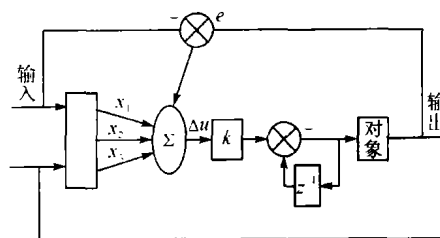


图3 改进单神经元PID控制系统

$$\Delta u(k) = K \sum_{i=1}^3 w_i'(k) x_i(k) \quad (5)$$

$$w_i'(k) = w_i(k) / \sum_{i=1}^3 |w_i(k)|$$

$$w_1(k) = w_1(k-1) + \eta_I z(k) u(k) [e(k) + \Delta e(k)]$$

$$w_2(k) = w_2(k-1) + \eta_P z(k) u(k) [e(k) + \Delta e(k)]$$

$$w_3(k) = w_3(k-1) + \eta_D z(k) u(k) [e(k) + \Delta e(k)] \quad (6)$$

式中, $\Delta e(k) = e(k) - e(k-1)$, $z(k) = e(k)$, $x_1(k) = e(k)$, $x_2(k) = \Delta e(k) = e(k) - e(k-1)$, $x_3(k) = \Delta^2 e(k) = e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)$;

η_I, η_P, η_D 分别为积分、比例、微分的学习速率, K 为神经元的比例系数, $K > 0$, 对积分 I 、比例 P 和微分 D 分别采用不同的学习速率 $\eta_I = 0.4$, $\eta_P = 0.35$, $\eta_D = 0.40$, I, P, D 的初始数值定义为 0.1, 在学习过程中对不同的权系数分别进行调整。 K 值选择非常重要。 K 值越大, 则快速性越快, 但超调量大, 甚至可能使系统不稳定。当被控对象时延增大时, K 值必须减小, 以保证系统稳定。 K 值选择过小, 便会使得系统的快速性能变差。实验中取 $K = 0.15$ 。

实验结果

控制器的设计是否可行, 得通过实验进行验证。我们采用一组实际的数据来进行模拟加载, 采用恒钻压钻进。采样时间为 1 ms, 采用的改进单神经元 PID 控应, 如图 4 所示。

由图 4、5 可以看出, 和传统的 PID 控制相比, 改进的单神经元 PID 控制的反应速度快, 振荡幅度小, 并且稳态误差小, 具有较好的控制品质。

结论

针对钻井过程中井况的非线性、不确定性和实时性要求, 采用改进单神经元 PID 控制器实现自动

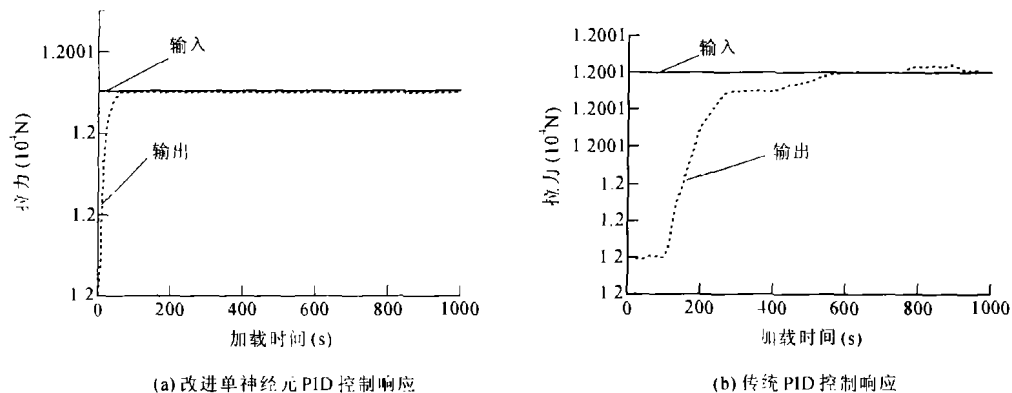


图 4 模拟加载响应曲线

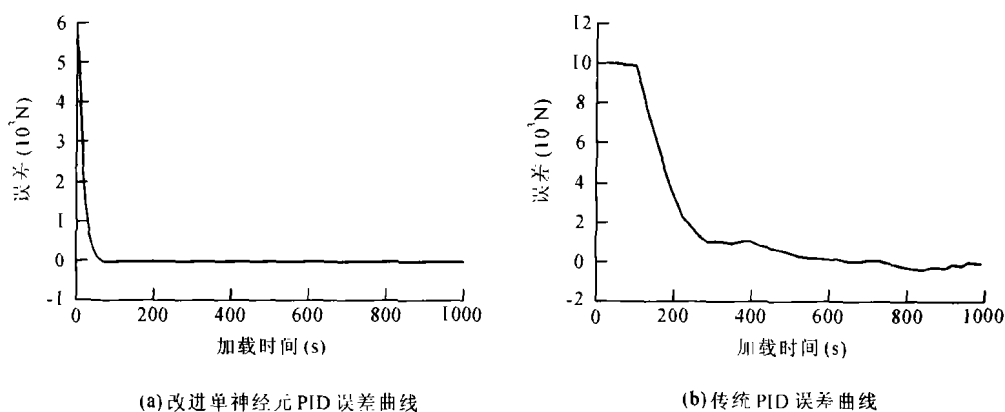


图 5 模拟加载误差曲线

送钻模拟加载。实验结果表明,改进单神经元 PID 控制器结构简单,易于实现。和传统的 PID 控制相比,改进单神经元 PID 控制的反应速度快,振荡幅度小,并且稳态误差小,效果明显,值得推广。我们的进一步工作是将该方法也用在送钻控制中;另外还可以应用其他的智能控制方法来进行整个自动送钻控制系统的模拟研究,通过对比研究以获得较好的控制性能,为进一步的推广应用打下良好的基础。

参 考 文 献

- 1 张连山. 国外自动送钻装置的现状与发展. 国外石油机械, 1996; 7(1): 1~8
- 2 Reinhold W B, Close D A. Drilling optimization-the driller's role. SPE drilling & completion, 1997; 12(1): 5~12

- 3 史玉升, 张嗣伟, 樊启蕴等. 盘式刹车钻压优化自动送钻微机控制系统的设计与研制. 石油矿场机械, 1999; 28(2): 4~8
- 4 向伟. 单板机在钻机自动送钻控制中的应用. 石油机械, 1996; 24(4): 55~57
- 5 王克雄, 翟应虎, 李砚藻. 微机自控钻进系统的一些技术问题. 石油矿场机械, 1995; 24(1): 18~21
- 6 李士勇. 模糊控制. 见: 神经控制和智能控制论. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 1996: 416~418
- 7 何玉彬, 徐立勤, 阎桂荣等. 电液伺服协调加载系统的神经网络自学习 PSD 控制. 机床与液压, 1998; (3): 3~4
- 8 陶永华, 尹怡欣, 葛芦生编著. 新型 PID 控制系统及其应用. 北京: 机械工业出版社, 1998

(收稿日期 2003-09-16 编辑 钟水清)