

文章编号:1671-6833(2011)01-0064-04

冷铣刨机模型参考单神经元功率自适应控制研究

马鹏宇^{1,2}, 胡永彪¹, 张忠海³

(1. 长安大学 道路施工技术与装备教育部重点实验室, 陕西 西安 710064; 2. 徐工集团工程机械研究院, 江苏 徐州 221004 3. 徐州徐工基础工程机械有限公司, 江苏 徐州 221004)

摘要: 针对目前冷铣刨机功率控制算法的不足, 提出了应用模型参考单神经元功率自适应控制算法对冷铣刨机进行控制, 构建了冷铣刨机模型参考单神经元功率自适应控制的控制结构, 对该算法进行了理论分析, 证明了其稳定性, 并将该算法应用于铣刨机, 在铣刨深度为 8 cm 的工况下进行了作业试验研究. 试验结果表明: 未使用功率控制时, 机器的作业速度主要依靠机器自身进行调节, 发动机出现了过载, 机器平均作业速度为 8.419 m/min; 在使用控制器后, 发动机基本工作在额定工况下, 机器的载荷发生变化时, 控制器能对机器的作业速度及时做出调整, 机器的平均作业速度为 9.538 m/min, 比未使用功率控制提高了 13.3%.

关键词: 冷铣刨机; 模型参考; 单神经元; 功率自适应

中图分类号: U415.5 **文献标志码:** A

0 引言

目前国内关于冷铣刨机功率自适应控制算法的研究主要应用 PID 和模糊 PID 控制算法^[1-3], PID 算法由于其自身的局限, 只能对某些负荷工况的调节效果较好; 而模糊 PID 中的模糊控制规则主要依靠专家经验, 而铣刨机的载荷是千变万化的, 专家经验不一定能够覆盖所有工作情况, 这就会出现模糊规则的跳空现象, 影响了控制器的控制性能甚至控制系统的稳定性. 因此, 需要一种具有对 PID 参数连续可调的学习算法来弥补这一缺陷. 笔者所研究的控制系统将采用模型参考单神经元控制算法对冷铣刨机功率自适应控制进行相关的应用及试验研究. 该控制算法能够弥补现有控制算法的不足, 并且使用参考模型以后能够增加整个控制系统的鲁棒特性.

1 冷铣刨机模型参考神经元自适应控制

冷铣刨机神经元自适应控制系统的结构与模糊自适应控制系统的结构类似, 只是将模糊自适应控制系统中的模糊自适应机构换成了单神经元自适应机构, 由单神经元权重控制算法来对 PID 的参数进行整定, 即在线对控制对象的模型进行识别.

1.1 冷铣刨机神经元自适应控制系统组成

冷铣刨机在作业的过程中, 操作人员通常将其油门固定在最大位置, 在发动机设定工况下, 通过调节比例变量泵的排量, 改变机器的作业速度, 进而改变机器所消耗的功率, 最终调节发动机的输出功率. 为提高系统响应的快速性和鲁棒性以及控制系统对随机干扰的控制性能, 结合传统数字 PID 控制机理, 该单神经元自适应 PID 控制器如图 1 所示, 其核心算法依然是单神经元控制算法. 图中 n_0 为设定值, $y(t)$ 为整个控制系统输出, $y_m(t)$ 为参考模型输出, u 为控制器的输出, 各参数关系如图 1 所示. x_1, x_2, x_3 为输入量, $w_i(k)$ ($i = 1, 2, 3$) 为对应于 $x_i(k)$ 输入的加权系数. 单神经元自适应 PID 的控制算法为^[4-5]:

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

1.2 神经元自适应控制器的学习算法

神经元的学习功能是通过改变权系数 w_i 来实现的, 学习算法即是如何调整 w_i 的规则, 它是神经元控制器的核心, 反映了学习方式和学习能力. 如何调整 w_i 对整个控制系统抗干扰能力和自适应性能都有很大影响. 学习算法中借用最优控制中二次性能指标的思想来调整权系数, 实现对

收稿日期: 2010-06-20; 修订日期: 2010-11-01

基金项目: 中央高校基本科研业务专项资助(CHD2009JC113); 陕西省自然科学基金项目(2007E21)

作者简介: 马鹏宇(1980-), 男, 河南信阳人, 长安大学讲师, 博士, 博士后, 研究方向: 工程机械功率自适应控制.

输出偏差的约束控制. 设性能指标为:

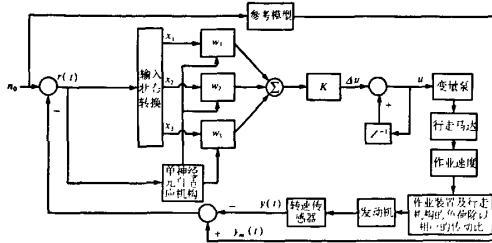


图1 冷铣刨机功率自适应模型参考单神经元自适应控制系统结构

Fig.1 Structure of single Neuron adaptive power control of a cold milling machine

$$J(k) = \frac{1}{2} [y(k+1) - y_m(k)]^2 = \frac{1}{2} e^2(k) \quad (2)$$

令权系数的调整沿着 J 对 w_i 的负梯度方向进行搜索, 可求得

$$\begin{aligned} \Delta w_i(k+1) &= w_i(k+1) - w_i(k) \\ &= \eta_i e(k+1) \frac{\partial y(k+1)}{\partial u(k)} \cdot \frac{\partial u(k)}{\partial w_i(k)} \end{aligned} \quad (3)$$

式中: η_i 为学习步长 ($i = 1, 2, 3$).

将(1)代入(3)有

$$\begin{cases} \Delta w_1 = \eta_1 K \cdot e(k+1) e(k) \frac{\partial y(k+1)}{\partial u(k)} \\ \Delta w_2 = \eta_p K \cdot e(k+1) \cdot \Delta e(k) \frac{\partial y(k+1)}{\partial u(k)} \\ \Delta w_3 = \eta_p K \cdot e(k+1) \cdot \Delta^2 e(k) \frac{\partial y(k+1)}{\partial u(k)} \end{cases} \quad (4)$$

由于在PID控制算法中, $\frac{\partial y(k+1)}{\partial u(k)}$ 通常是未知的, 可以近似用符号函数 $\text{sign} \frac{\partial y(k+1)}{\partial u(k)}$ 取代, 即^[3-6]

$$\text{sign}(x) = \begin{cases} 1 & x \geq 0 \\ -1 & x < 0 \end{cases} \quad (5)$$

这种替代既不影响收敛方向, 又可以简化和规范计算方法, 其所产生的误差可以通过调整学习步长 η_i 加以补偿.

为保证上述单神经元自适应PID控制学习算法, 将上述学习算法进行规范化处理并根据应用经验改进后可得^[6-9]

$$\begin{aligned} u(k) &= u(k-1) + K \sum_{i=1}^3 \bar{w}_i(k) x_i(k) \\ \bar{w}_i(k) &= \frac{w_i(k)}{\sum_{i=1}^3 |w_i(k)|} \\ w_i(k+1) &= w_i(k) + \eta_i e(k) \text{sign} \left[\frac{\partial y(k+1)}{\partial u(k)} \right] \end{aligned}$$

$$(e(k) + \Delta e(k))$$

$$x_1(k) = y_m(k) - y(k) = e(k)$$

$$x_2(k) = e(k) - e(k-1) = \Delta e(k)$$

$$x_3(k) = e(k) - 2e(k-1) + e(k-2) = \Delta^2 e(k) \quad (6)$$

式中: η_i 分别对应为比例、积分、微分的学习速率.

1.3 单神经元自适应PID算法稳定性分析

单神经元自适应控制器的权重是以整个系统的误差函数 e 相应于权值 w 的负梯度方向进行自动调整的. 笔者将运用 Lyapunov 直接法对控制系统的稳定性进行分析, 设 Lyapunov 函数为

$$v(k) = \frac{1}{2} e^2(k) \quad (7)$$

随着单神经元自学习的过程中导致 v 变化为

$$\begin{aligned} \Delta v(k) &= \frac{1}{2} \sum [e^2(k+1) - e^2(k)] \\ &= \frac{1}{2} \sum [2e(k) \Delta e(k) - e^2(k)] \end{aligned} \quad (8)$$

同时系统的误差 e 也随之变化为

$$e(k+1) = e(k) + \left[\frac{\partial e(k)}{\partial w(k)} \right]^T \Delta w(k) \quad (9)$$

$$\text{即 } \Delta e(k) = \left[\frac{\partial e(k)}{\partial w(k)} \right]^T \Delta w(k) \quad (10)$$

又因为权系数的调整沿着 J 对 w 的负梯度方向进行搜索, 规则已知:

$$\Delta w(k) = -\eta_i \frac{\partial J(k)}{\partial w(k)} = -\eta e(k) \frac{\partial e(k)}{\Delta u(k)} \cdot \frac{\Delta u(k)}{\partial w(k)} \quad (11)$$

$$\text{令 } P = \left[\frac{\partial e(k)}{\partial w(k)} \right]^T, \text{ 则}$$

$$\Delta e(k) = -\eta P P^T e(k) \quad (12)$$

由式(8)、(10)、(11)及式(12)可得:

$$\begin{aligned} \Delta v(k) &= \frac{1}{2} \sum \{-2e(k) \eta P P^T e(k)^T + \\ &\eta^2 P P^T [P^T e(k)]^T P^T e(k)\} = -\frac{1}{2} \sum [P^T e(k)]^T \cdot \\ &[2\eta - \eta^2 P P^T] [P^T e(k)] \end{aligned} \quad (13)$$

由 Lyapunov 直接法易知:

(1) $v(k)$ 是负定的;

(2) 当且仅当 $2\eta - \eta^2 P P^T > 0$ 时条件(1)得到满足, 即满足条件

$$0 < \gamma < 2 \quad (14)$$

$\Delta v(k)$ 就是负定的, 也就是说该控制算法的稳定性取决于学习步长, 因此在参数调整的过程中选择合适的步长非常重要.

(3) 当 k 趋于 ∞ 则 $v(k) \rightarrow 0$,

通过分析可知, 若学习速率满足式(11)时,

易使 $\Delta v(k) < 0$, 即存在:

$$\frac{1}{2}e^2(k+1) < \frac{1}{2}e^2(k) \quad (15)$$

这表明随着 k 值增大, $e(k)$ 将趋于零, 即系统稳定。

2 控制算法试验研究

在试验过程中, 将铣深为 8 cm 作为一种典型工况进行研究, 试验过程中发动机油门均处于最大开度。所采集的数据如图 2~4 所示。在图 2 发动机转速的比较中可以看出, 发动机转速的波动均很大。在图 2(a) 中, 发动机一直工作在过载状态, 转速波动为 735 r/min, 这样发动机的输出功率同样没有被充分利用, 这个过程主要依靠发动机自身的适应以及外界载荷的变化来调节; 图 2 所示, 在机器起步后即遇到较为坚硬的铣削料, 使发动机载荷瞬间增加, 发动机转速下降到 1 700 r/min, 控制器做出了响应, 对机器的作业速度进行了调节减小了机器的作业速度(如图 2(b) 所示), 使机器的载荷减小, 并使发动机转速回到设定值附近, 但是机器作业过程中发动机转速的波动也有 510 r/min, 证明控制器对突变载荷的变化还不能很好地跟踪, 造成了调节的滞后。比较图 2(a)、(b) 可以看出, 虽然载荷的波动较大, 但是使用功率控制后, 在作业的过程中发动机转速大部分时间在 2 200 r/min 附近, 这也证明使用功率控制能够提高发动机输出功率。比较图 3(a)、(b) 可以看出, 未使用功率控制时机器的作业速度主要依靠机器自身进行调节, 其作业速度波动并不频繁, 此时机器作业速度的平均值为 8.419 m/min; 在使用控制器后, 机器的载荷发生变化时, 控制器对机器的作业速度及时做出调整, 变化比较频繁, 但是机器的平均作业速度为 9.538 m/min, 比未使用功率控制增加了 13.3%, 这就意味着机器的生产率增加了 13.3%; 图 4 可以看出系统压力的变化均与速度的变化趋势相反, 这也证明了我们选择速度作为主控参数能够有效调节机器的载荷。

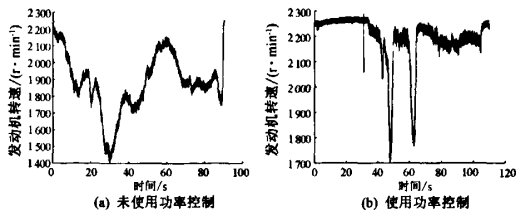


图 2 铣削深度 8 cm 时发动机转速的变化

Fig. 2 The engine speed curves of the 8 cm milling depth

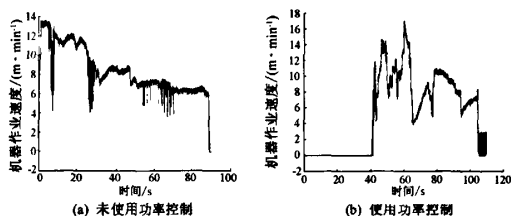


图 3 铣削深度 8 cm 时器作业速度的变化

Fig. 3 The work speed curves of the 8 cm milling depth

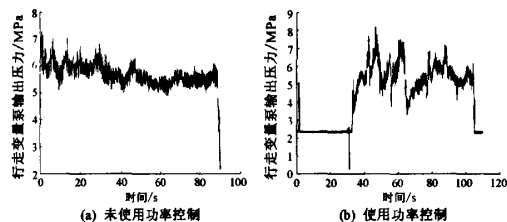


图 4 铣削深度 8 cm 时行走机构压力变化

Fig. 4 The drive system hydraulic pressure curves of the 8 cm milling depth

3 结论

分析了一种冷铣刨机模型参考单神经元功率自适应控制器的结构, 并对其核心算法进行了理论研究, 并对铣刨机发动机油门开度最大并且作业深度为 8 cm 的作业工况进行了应用研究。研究的结果表明:

(1) 使用控制器后机器大部分时间均在额定载荷下工作, 发动机的输出功率被较充分的利用; 在未使用控制器时多变的载荷使机器出现了过载情况, 发动机转速波动为 735 r/min, 并且转速的均值为 1 700 r/min, 这会使发动机的功率没有被充分利用。使用该控制算法的功率自适应控制器的作业速度比未使用该控制系统的作业速度增加了 13.3%。

(2) 研究表明该控制算法能够较好的满足冷铣刨机功率自适应控制的要求, 使用该控制算法的冷铣刨机功率自适应控制系统能够增加冷铣刨机发动机输出功率利用率, 提升机器作业速度。

参考文献:

- [1] 陆青平, 魏春景, 胡永彪. 铣刨机功率自适应控制器的设计[J]. 建筑机械, 2005(9): 82-85.
- [2] 马鹏宇, 胡永彪, 张新荣. 冷铣刨机功率自适应控制参数研究[J]. 郑州大学学报: 工学版, 2007, 28(2): 88-92.
- [3] 马鹏宇, 孟五洲, 胡永彪. 基于模型参考的冷铣刨机

- 模糊自适应PID控制器设计[J]. 筑路机械与施工机械化, 2009(1): 50-52.
- [4] 赵锡龄, 焦云婷. 单神经元自适应控制PSD在再热汽温控制中的应用[J]. 中国电机工程学报, 2001, 21(2): 94-96.
- [5] 程启明, 万得钧, 黄林. 船舶自动舵的单神经元自适应PID/PSD控制[J]. 东南大学学报, 1997, 27(6): 133-137.
- [6] 薛定宇. 控制系统计算机辅助设计[M]. 2版, 北京: 清华大学出版社, 2006.
- [7] 蔡自兴. 智能控制[M]. 2版. 北京: 电子工业出版社, 2004.
- [8] BROWN A M, HARRIS C J, LAWRENCE A J, et al. Associative memory neural net-works: adaptive modeling theory, software implementations and graphical user . Eng. Applied[J]. Artificial Intelligence. 1994, 7(1): 1-21.
- [9] BUCKLEY J, HAYASHI Y. Fuzzy neural network[J]. A survey. Fuzzy Sets and Systems, 1994(66): 1-13.

Research on Reference Model Single Neuron Adaptive Power Control System of a Cold Milling Machine

MA Peng-yu^{1,2}, HU Yong-biao¹, ZHANG Zhong-hai³

(1. Key Laboratory for Highway Construction Technology and Equipment of Ministry of Education, Chang'an University, Xi'an 710064, China; 2. XCMG, Jiangsu Xuzhou Construction Machinery Institute, Xuzhou 221004, China; 3. Xuzhou XuGong Foundation Construction Machinery Co. Ltd, Xuzhou 221004, China)

Abstract: According to the insufficiency of the adaptive power control algorithmic of the cold milling machine, the model reference model single neuron adaptive power control algorithmic is selected to control the cold milling machine. The structure of the model reference model single neuron adaptive power control system is built up. The control algorithmic and its stability are studied theoretically. The control algorithm is tested in the work condition that the machine mills at the depth of 8 cm. The results show that the machine speed is adjusted by the machine itself when the adaptive power control system is not used on the machine, the machine is overload and the machine average work speed is 8.419 m/min. When the machine works with the adaptive control system, the machine basically works at its rate work condition during its work process. The machine work speed is adjusted by the control system in time when the machine load is changed and the machine average work speed can reach to 9.538 m/min which is 13.3% higher than the machine that is without an adaptive power control system.

Key words: cold milling machine; model reference; single neuron; adaptive power