

拖拉机耕深模糊自动控制方法与试验研究

鲁植雄^{1,2}, 郭兵^{1,2}, 高强^{1,2}

(1. 南京农业大学工学院, 南京 210031; 2. 江苏省智能化农业装备重点实验室, 南京 210031)

摘要: 研究了拖拉机电控液压悬挂系统耕深自动控制方法, 提出了一种基于模糊控制的电控液压悬挂系统耕深自动控制方法和综合度系数的概念, 设计了耕深模糊控制器, 并利用综合度系数将力位综合调节转化为对耕深的模糊控制。试验研究了阻力在不同综合度系数下对耕深的影响, 试验结果表明: 耕深从 0 到 20 cm 的响应时间低于 1.7 s, 当综合度系数分别为 0.7、0.5 和 0.3 时, 耕深受阻力的影响分别减少了 3.2、3.8 和 5.6 cm, 过渡时间分别为 0.79、0.93 和 1.21 s, 该控制方法能够满足耕深自动控制的要求。论文提出的基于模糊控制的力位综合调节方法, 利用综合度系数, 以耕深和阻力为控制参数, 可以实现耕深的双参数控制, 为拖拉机电控液压悬挂系统耕深进行力位综合控制提供理论依据。

关键词: 拖拉机, 模糊控制, 试验, 液压悬挂, 力位综合调节, 综合度系数

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2013.23.004

中图分类号: TP271

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2013)-23-0023-07

鲁植雄, 郭兵, 高强. 拖拉机耕深模糊自动控制方法与试验研究[J]. 农业工程学报, 2013, 29(23): 23—29.
Lu Zhixiong, Guo Bing, Gao Qiang. Study on auto-control method and experiment for tractor depth based on fuzzy control[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2013, 29(23): 23—29. (in Chinese with English abstract)

0 引言

由于拖拉机电控液压悬挂系统可以实现耕深的高度调节、力调节、位调节、力位综合调节、滑转率调节、油压调节等多种调节方式^[1-2], 因此, 传统的拖拉机液压悬挂系统逐渐被电控液压悬挂系统所代替。拖拉机耕深自动控制系统的控制参数主要包括工作阻力、耕深、驱动轮滑转率和液压油压力等多个参数^[3-4], 多参数控制不仅能精确控制耕深, 更可有效控制拖拉机的滑转率, 以提高拖拉机的作业效率, 减少土壤压实和燃油消耗^[5-7]。

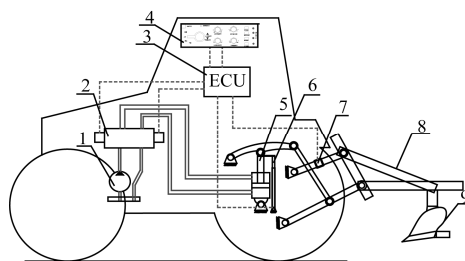
中国对拖拉机电控液压悬挂系统的研究起步较晚, 在耕深自动控制方面以单参数(工作阻力或耕深)控制为主, 对双参数或多参数控制研究较少^[8-15]。

本文探讨一种耕深双参数控制方法, 利用综合度系数将力位综合调节转化为对油缸位移的模糊控制, 并设计耕深模糊控制器。在拖拉机电控液压悬挂系统提升和加载试验台上测试模糊控制器的性能和力位综合调节方法的合理性。本文提出的基于模糊控制的力位综合调节方法, 可实现耕深的双参数优化控制, 能有效提高拖拉机作业深度的控制

精度, 并能减少拖拉机作业滑转率, 降低油耗, 提高作业效率。

1 系统结构和工作原理

电控液压悬挂系统结构如图 1 所示, 由液压部分、电控部分和机械部分 3 部分组成。液压部分包括液压泵、控制阀、液压缸和管路等一些辅助元件; 电控部分包括耕深传感器、阻力传感器、控制面板和控制器等; 机械部分包括三点悬挂机构和农具。



1. 液压泵 Pump 2. 控制阀 Control valve 3. 控制器 ECU 4. 控制面板 Control panel 5. 液压缸 Cylinder 6. 耕深传感器 Tillage depth sensor 7. 力传感器 Force sensor 8. 犁架 Plow frame 9. 犁 Plough

图 1 拖拉机电控液压悬挂系统图

Fig.1 Schematic diagram of electron-hydraulic hitch system

电控液压悬挂系统的工作原理是: 阻力传感器和耕深传感器的信号被送到控制器, 控制器计算后得到实际耕地阻力和实际耕地深度; 控制器同时采集控制面板上的设定信号作为耕深目标信号。控制器将目标信号与实际信号比较后, 按照一定的控制

收稿日期: 2013-05-20 修订日期: 2013-10-23

基金项目: 江苏省科技支撑计划资金项目(项目编号: BE2012384)

作者简介: 鲁植雄(1962—), 男, 博士, 教授, 博士生导师, 研究方向为车辆电子控制技术。南京 南京农业大学工学院, 210031。

Email: luzx@njau.edu.cn

算法得出控制量, 并输出控制信号控制液压系统控制阀, 控制阀动作后控制农机具升降。农机具动作以后, 阻力传感器和耕深传感器测到的信号发生变化, 作为反馈信号送入控制器实现闭环控制。

2 耕深自动控制方法

传统机械式液压悬挂系统耕深调节方法包括力调节和位调节, 电控液压悬挂系统可以实现力调节、位调节和力位综合调节等多种控制方式^[16]。电控液压悬挂系统力调节和位调节具有各自的优缺点, 力位综合调节是将力调节和位调节结合起来使用的方法。力位综合调节方法容易在电控液压悬挂系统中实现, 并具有很好的效果^[17-18]。

本文使用的力位综合调节包括两步, 第一步利用综合度系数将力位综合调节转化为对耕深的控制; 第二步是根据目标值与实际值的差经模糊运算输出控制信号。

将综合度系数 (a) 定义为位调节占力位综合

调节的比重, a 可以通过设定处于 $0 \sim 1$ 之间的任意位置, 代表了位调节在综合调节中分配的比例。

力位综合调节是将耕深目标值和测量得到的耕深实际值进行比较, 根据控制算法得出控制信号。目标值由驾驶员在控制面板上设定, 耕深实际值由传感器测到的信号计算得出。

耕深传感器测量得到耕深 H_1 , 阻力传感器测量得到作业阻力 F , 将 F 的值转化为耕深值 H_2

$$H_2 = F / (\beta \cdot b) \quad (1)$$

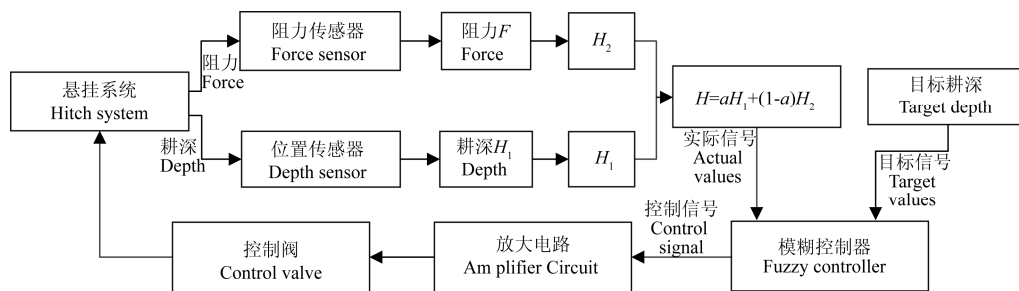
式中, β 为土壤比阻, N/mm^2 ; b 为耕宽, mm 。

实际值 H 由 H_1 和 H_2 经运算得出

$$H = aH_1 + (1-a)H_2 \quad (2)$$

式中, H_1 为耕深传感器测到的耕深值, mm ; H_2 为由 F 转化得出的耕深值, mm 。

将控制面板上设定的耕深目标值和实际值 H 进行比较, 得出控制量, 这就将力位综合调节转化为了对耕深的控制, 力位综合调节方法原理如图 2 所示。



注: H_1 为耕深传感器测到的耕深值, mm ; H_2 为由 H_1 转化得出的耕深值, mm ; a 为综合度系数。

Note: H_1 means calculated depth by depth sensor; H_2 means calculated depth by force sensor; a means integrated coefficient by force and depth control.

图 2 力位综合调节原理图

Fig.2 Schematic of force-position combined control

当 $a=1$ 时, 系统是完全的位调节。阻力传感器测量到的阻力不参与计算, 耕深传感器测量拖拉机的实时耕深, 与控制面板上的设定耕深比较, 输出控制信号使实际耕深与设定耕深的差值维持在很小的范围内。

位调节方式下, 悬挂系统靠液压力与拖拉机的相对位置保持固定。在地势起伏较大的地块, 耕深传感器测到的耕深值不随地势的起伏而变化, 测到的耕深与实际耕深有较大误差, 因此不适合地势起伏较大的土壤。土壤比阻变化大时, 拖拉机驱动轮可能过度打滑, 此时如果不减少耕深将导致作业效率下降。因此在地势起伏不大的地块可以保持稳定的耕深, 对于土壤比阻变化较大的地块也可以在牺牲发动机负荷稳定性和作业效率的前提下保持耕深的稳定, 而不适合地势起伏较大的地块。 $a=1$ 时的耕作情况如图 3 所示。

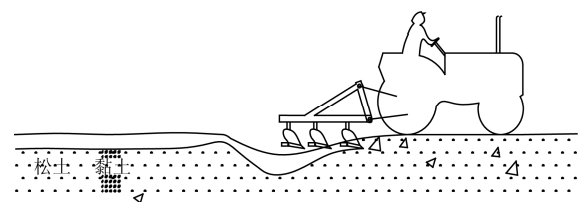


图 3 $a=1$ 时的耕作效果

Fig.3 Tillage effect with $a=1$

当 $a=0$ 时, 系统是完全的力调节。耕深传感器测到的耕深不参与计算, 阻力传感器测到的数值经计算后转化为耕深值, 与控制面板上设定的耕深值比较, 得出控制信号控制悬挂系统, 使耕地阻力维持在一定的范围内。

力调节方式下, 通过悬挂系统耕深的调整, 牵引阻力可以维持在一定的范围内, 从而保持发动机负荷的稳定。 $a=0$ 时, 悬挂系统耕深不受地势起伏

的影响, 但受土壤比阻的影响较大。同时, 对耕深要求较高的作业(如播种)或者耕地阻力较小的作业(如浅耕等)不适合这种调节方法。 $a=0$ 时的耕作情况如图 4 所示。

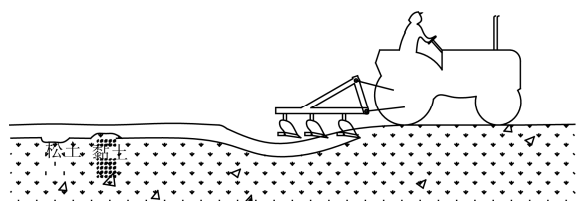


图 4 $a=0$ 时的耕作情况
Fig.4 Tillage effect with $a=0$

当 a 处于 $0\sim 1$ 之间时, 系统是一个力位综合调节系统, 系统同时进行力调节和位调节, 位调节占整个调节的比例通过 a 的大小决定。

拖拉机在耕地过程中, 如果土壤比阻增大导致力传感器测到的阻力增大, 按照力调节参与综合调节的原理, H_2 将增大, 此时耕深的实际值 H 将增大, 耕深的实际值将大于耕深设定值, 这时系统将向着耕深减小的方向进行调节, 直到耕深的目标值与耕深的综合值相同; 遇到地势起伏较大的地块, 如果拖拉机机身向前倾导致耕深变浅, 虽然此时耕

深传感器测到的耕深不变, 但力传感器测量到的力变小, H_1 不变, H_2 减小, H 减小, 目标值大于实际值, 系统将向着耕深增加的方向调节。由此可见, 这种方法对于比阻变化的土壤和地面起伏不平的土壤都具有调节作用。

3 耕深模糊控制器设计

3.1 模糊化和模糊子集

拖拉机液压悬挂系统是一个非线性系统, 精确数学模型难以建立, 传统基于数学模型的控制方法不适合该系统^[19-20]。而模糊控制不依赖控制系统的数学模型, 非常适合拖拉机液压悬挂系统这种被控对象, 是一种智能控制方法^[21-23]。模糊控制在液压悬挂系统上的应用, 也被证明是有效的^[24-26]。根据油缸位移与耕深的对应关系, 可以将对耕深的控制转化为对油缸位移的控制。本文设计的耕深模糊控制器实质上是油缸位移模糊控制器。

二维模糊控制器是模糊控制常用的形式, 本文使用二维模糊控制器, 输入量是误差 E 和误差变化率 DE , 输出量是控制信号^[27]。耕深模糊控制的基本过程如图 5 所示。

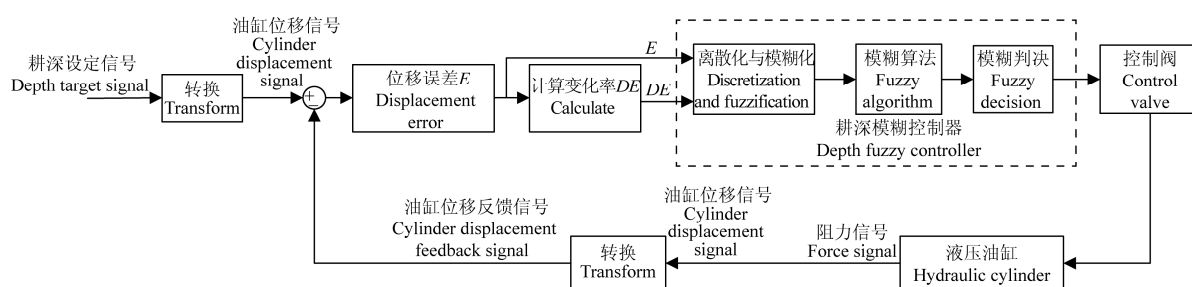


图 5 模糊控制系统原理图
Fig.5 Principle of fuzzy control system

在拖拉机液压悬挂系统中, 耕地时的油缸位移为 $0\sim 61\text{ mm}$, 因此油缸位移偏差 E 的基本论域为 $[-61, 61]$ 。油缸位移偏差 E 的离散论域定义为: $E=\{-6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6\}$ 。位移偏差 E 的语言变量取 7 个模糊子集: $NB, NM, NS, Z, PS, PM, PB$ 。

偏差变化率 DE 的基本论域是 $[-100, 100]$, 油缸位移的偏差变化率 DE 的离散论域定义为: $DE=\{-6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6\}$ 。油缸位移的偏差变化率 DE 的语言变化量取 7 个模糊子集: $NB, NM, NS, Z, PS, PM, PB$ 。

控制电流 I 是油缸位移模糊控制器的输出量, 耕深模糊控制器输出量控制电流 I 的基本论域是 $[-1500, 1500]$, 控制电流 I 的离散论域定义为: $I=\{-7, -6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6,$

$7\}$ 。控制电流 I 的语言变量取 7 个模糊子集: $NB, NM, NS, Z, PS, PM, PB$ 。

根据输入输出量的基本论域和量化等级可得量化因子和比例因子

$$k_E=6/61=0.098;$$

$$k_{DE}=6/100=0.06;$$

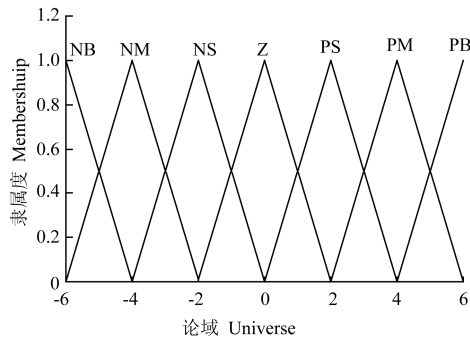
$$k_I=1500/7=214。$$

输入输出量的隶属度函数使用的三角形函数如图 6 和图 7 所示。

3.2 控制规则

模糊控制规则总结了拖拉机驾驶员的实践操作经验, 这些操作经验是通过模糊控制规则来表达的, 控制规则必须保证控制被控系统的动静态性能达到最佳^[28-29]。本课题使用的双输入单输出模糊控制器, 通常将控制规则表达为条件语句(即: if E and DE

then I), 这种表达方式也是常用的模糊控制规则^[30]。
表 1 所示为电控液压悬挂系统模糊控制规则表。



注: NB、NM、NS、Z、PS、PM、PB 分别为油缸位移偏差 E 和偏差变化率 DE 语句变量的 7 个模糊子集。下同。
Note: NB, NM, NS, Z, PS, PM, PB are 7 fuzzy subsets of statement variables for displacement error E and error change DE respectively. The same as blow.

图 6 位移偏差 E 和偏差变化率 DE 的隶属度函数

Fig.6 Degree of membership of displacement error E and error change DE

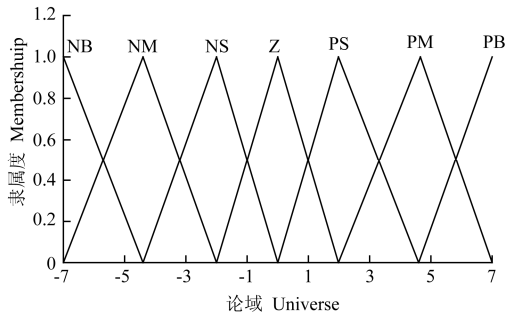


图 7 控制电流 I 的隶属度函数

Fig.7 Degree of membership of control current I

表 1 模糊控制规则表
Table 1 Fuzzy control rules

		位移偏差 E Displacement deviation						
		NB	NM	NS	Z	PS	PM	PB
偏差变化率 DE Deviation rate of change	NB	PB	PB	PM	PS	Z	NS	NS
	NM	PB	PM	PS	PS	Z	NS	NS
	NS	PM	PS	PS	Z	Z	NS	NS
	Z	PS	PS	PS	Z	NS	NM	NM
	PS	PS	PS	Z	Z	NS	NM	NB
	PM	PS	PS	Z	NS	NS	NM	NB
	PB	PS	PS	Z	NS	NM	NB	NB

4 力位综合调节试验

力位综合调节试验在拖拉机电控液压悬挂系统提升和加载试验台上进行。拖拉机电控液压悬挂系统试验台使用液压加载系统直接对犁加载。使用 STC12C5A60S2 单片机为核心的控制器采集耕深信号和阻力信号,并输出控制信号,控制信号经放大后控制液压悬挂系统。

试验模拟拖拉机耕地作业时悬挂犁遇到土壤阻力突然变大的情况,测量不同阻力综合度系数下

的耕深响应。

试验参数设置:将耕深目标值设定为 20 cm,耕深稳定在 20 cm 后,增大阻力至 4 kN 后耕深发生变化,耕深再次达到稳定后减小阻力,阻力曲线如图 8 所示。

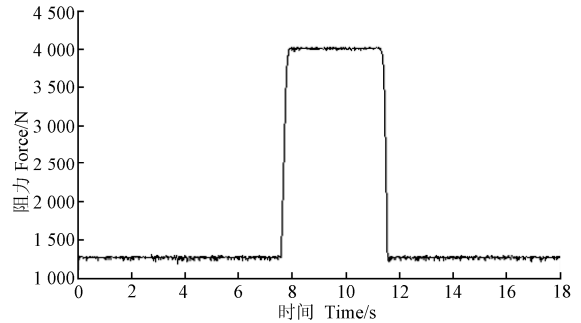
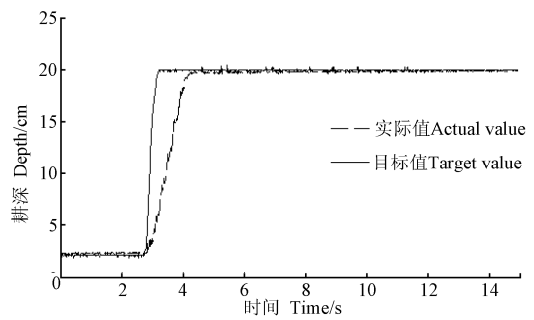


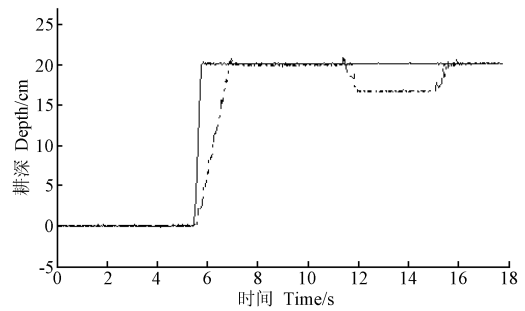
图 8 阻力曲线

Fig.8 Curve of resistance

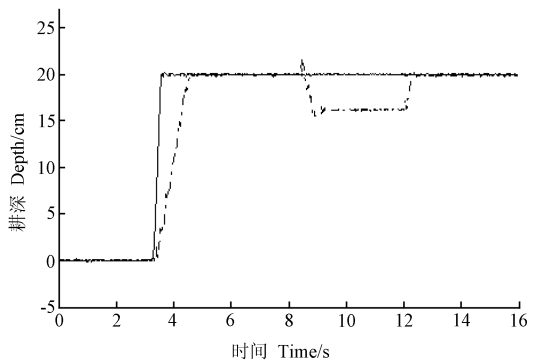
分别将综合度系数分别设置为 1、0.7、0.5 和 0.3,得出不同综合度系统下的力位综合调节试验结果如图 9 所示。



a. $a=1$



b. $a=0.7$



c. $a=0.5$

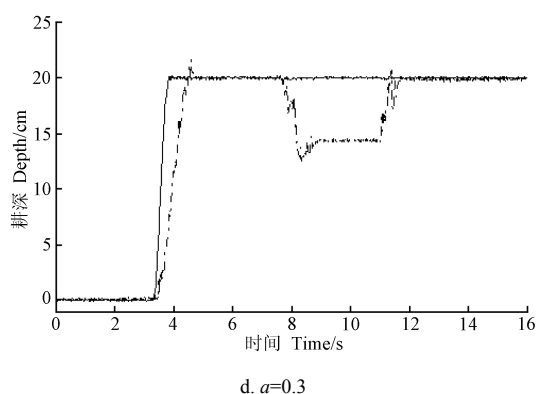


图 9 力位综合调节试验结果

Fig.9 Results of force-position combined control

根据试验结果可知, 耕深从 0 达到 20 cm 的时间低于 1.7 s, 可以满足拖拉机耕地作业快速响应的要求, 耕深稳定后误差在 ± 1 cm 以内。

综合度系数为 1 时, 耕深不受阻力变化的影响, 此时拖拉机的牵引力变大与阻力相适应, 发动机负荷稳定性会受到影响。综合度系数 $a < 1$ 时, 耕深受阻力的影响, 当阻力增加后耕深随之减小, 阻力减小后耕深又返回原来的 20 cm。综合度系数分别为 0.7、0.5 和 0.3 时, 耕深受阻力影响分别减少了 3.2、3.8 和 5.6 cm, 综合调节过渡时间分别为 0.79、0.93 和 1.21 s。由此可见, 力位综合调节时, 在相同的阻力影响下, 耕深的变化大小是由综合度系数决定的, 综合度系数越大, 耕深变化越小; 综合度系数越小, 耕深变化越大。

在拖拉机耕地作业时, 遇到土壤比阻变化较大的土壤, 使用力调节会使耕深极不均匀, 而使用位调节又会使发动机负荷波动较大。论文提出的基于模糊控制的力位综合调节方法, 当土壤比阻变大时耕深变浅以维持发动机负荷的稳定, 而耕深变浅的程度由综合度系数决定。因此, 这种调节方式可以减缓由力调节带来的耕作深度的变化和位调节带来的发动机负荷的波动, 具有一定的优越性。此外, 电控液压悬挂系统还可以通过软件设定耕地作业的极限位置进一步提高耕深的均匀性。综上, 使用综合度系数的力位综合调节方法具有很强的适应性。

5 结果与讨论

提出了综合度系数的概念, 利用综合度系数将力位综合调节方法转化为对油缸位移的模糊控制, 实现耕深的双参数控制, 通过台架试验得到以下结论:

1) 设计的模糊控制器能满足拖拉机电控液压悬挂系统要求, 耕深从 0 到 20 cm 的响应时间低于 1.7 s, 耕深为 20 cm 的最大误差在 ± 1 cm 内。

2) 综合度系数 a 分别为 0.7、0.5 和 0.3 时, 耕

深受阻力影响分别减少了 3.2、3.8 和 5.6 cm, 综合调节过渡时间分别为 0.79、0.93 和 1.21 s。

论文提出的基于模糊控制的力位综合调节方法可以减缓由力调节带来的耕作深度的变化和位调节带来的发动机负荷的波动, 具有一定的优越性。

[参 考 文 献]

- [1] Weatherly E T, Bowers Jr C G. Automatic depth control of a seed planter based on soil drying front sensing[J]. Transactions of the ASAE, 1997, 40(2): 295—305.
- [2] Ayers P D, Vanna K V, Karim M N. Design and analysis of electro-hydraulic draft control system[J]. Transactions of the ASAE, 1989, 32(6): 1853—1855.
- [3] Gebresenet Girma. Dynamic Effects of Speed, Depth and soil Strength upon Forces on Plough Components[J]. Journal of Agriculture Engineering Research, 1992, 51: 47—66.
- [4] Kovačev Igor, Košutić Silvio, Jejčič Viktor, et al. Impact of electronic-hydraulic hitch control on rational exploitation of tractor in ploughing[J]. Strojarstvo, 2008, 50(5): 287—294.
- [5] 庞昌华, 谭戡, 鄂卓茂. 拖拉机作业机组智能化技术的研究现状及发展趋势[J]. 中国农业大学学报, 2001, 6(4): 71—75.
Pang Changhua, Tan Yu, E Zhuomao. Recent situation and developing tendency of operation intelligence of tractor implement combination[J]. Journal of China Agricultural University, 2001, 6(4): 71—75. (in Chinese with English abstract)
- [6] 李金辉. 大马力拖拉机电液提升系统设计研究[D]. 杭州: 浙江工业大学, 2010.
Li Jinhui. The Research of Battery Solution Promotion System Design in High Powered Tractor[D]. Hangzhou: Zhejiang University of Technology, 2010. (in Chinese with English abstract)
- [7] 谭戡. 拖拉机液压悬挂和加载系统性能研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2004.
Tan Yu. The Study of Characteristics for Hydraulic Hitch and Loading System in Tractor[D]. Beijing: China Agriculture University, 2004. (in Chinese with English abstract)
- [8] 王会明, 侯加林, 赵耀华, 等. 拖拉机液压悬挂机构自动控制系统[J]. 农业机械学报, 2006, 37(10): 42—45.
Wang Huiming, Hou Jialin, Zhao Yaohua, et al. Study on automatic control system for hydraulic hitch equipment of tractor[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2006, 37(10): 42—45. (in Chinese with English abstract)
- [9] 谢斌, 毛恩荣, 谭戡. 基于 CAN 总线的拖拉机电液悬挂系统控制器研制[J]. 机床与液压, 2006(8): 185—187.
Xie Bin, Mao Enrong, Tan Yu. Development of electronic hydraulic hitch controller based on CAN bus[J]. Machine Tool and Hydraulics, 2006(8): 185—187. (in Chinese with English abstract)

- [10] 袁越阳, 鲁植雄, 鞠卫平, 等. 基于控制局域网的拖拉机液压悬挂电控系统[J]. 农业机械学报, 2009, 40(1): 9—14.
Yuan Yueyang, Lu Zhixiong, Ju Weiping, et al. Electro-hydraulic hitch system of tractors based on control area network[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(1): 9—14. (in Chinese with English abstract)
- [11] 谢斌, 毛恩荣. 拖拉机电液悬挂系统中 CAN 总线智能节点研究[J]. 农业机械学报, 2006, 37(12): 1—4.
Xie Bin, Mao Enrong. Development of CAN intelligent nodes of tractor electronic hydraulic hitch system[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2006, 37(12): 1—4. (in Chinese with English abstract)
- [12] 杜巧连, 熊熙程, 魏建华. 拖拉机液压悬挂耕深电液控制系统设计与试验[J]. 农业机械学报, 2008, 39(8): 62—65.
Du Qiaolian, Xiong Xicheng, Wei Jianhua. Design and experiment on the control system of electro-hydraulic plow depth of tractor hydraulic hitch mechanism[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(8): 62—65. (in Chinese with English abstract)
- [13] 谢斌, 李皓, 朱忠祥, 等. 基于倾角传感器的拖拉机悬挂机组耕深自动测量方法[J]. 农业工程学报, 2013, 29(4): 15—21.
Xie Bin, Li Hao, Zhu Zhongxiang, et al. Measuring tillage depth for tractor implement automatic using inclinometer[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2013, 29(4): 15—21. (in Chinese with English abstract)
- [14] 基于 CAN 总线的拖拉机电液悬挂控制系统研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2008.
Zhang Chao. Research on the Tractor Electric-Hydraulic Hitch Control System Based on CAN Bus[D]. Nanjing: Nanjing Agriculture University, 2008. (in Chinese with English abstract)
- [15] 谢斌. 拖拉机农具仿真作业机组悬挂系统电液控制技术的研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2000.
Xie Bin. Study on Electrohydraulic Control Technology of Hitch System for the Tractor-Implement Combination[D]. Beijing: China Agriculture University, 2008. (in Chinese with English abstract)
- [16] 李文哲, 许绮川. 汽车拖拉机学(第二册)[M]. 北京: 中国农业出版社, 2006.
- [17] 刘义, 高翔, 王寅晓, 等. 拖拉机电-液悬挂系统耕深自动控制的研究[J]. 机床与液压, 2011, 4(1): 51—53.
Liu Yi, Gao Xiang, Wang Yanxiao, et al. Research on plowing depth automatic control for tractor electric-hydraulic hitch system[J]. Machine Tool and Hydraulics, 2011, 4(1): 51—53. (in Chinese with English abstract)
- [18] 吴维雄, 马荣朝. 悬挂犁耕机组耕深自动控制的研究[J]. 农机化研究, 2007(9): 77—79.
Wu Weixiong, Ma Rongchao. Design of the automatic control of the plowing depth of the integrated plowing set[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2009(9): 77—79. (in Chinese with English abstract)
- [19] 朱思洪, 张超. 拖拉机电-液悬挂系统 PID 控制仿真研究[J]. 中国制造业信息化, 2008, 37(21): 49—53.
Zhu Sihong, Zhang Chao. The simulation research on PID controller of tractor electric-hydraulic hitch system[J]. Manufacture Information Engineering of China, 2008, 37(21): 49—53. (in Chinese with English abstract)
- [20] 王沁敏. 拖拉机电子液压悬挂控制器设计与控制技术研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2008.
Wang Qinmin. The Research and Design of the Electrohydraulic Control Technology of Hitch Control Unit for the Tractor[D]. Nanjing: Nanjing Agriculture University, 2008. (in Chinese with English abstract)
- [21] 赵建军. 拖拉机仿真作业机组悬挂系统控制技术研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2001.
Zhao Jianjun. Research on Control Technology for Hitch of the Tractor Implement Combination[D]. Beijing: China Agriculture University, 2001. (in Chinese with English abstract)
- [22] 陈明江. 基于模糊算法的拖拉机电液悬挂系统力调节控制技术研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2009.
Chen Mingjiang. Research of Resistance-Adjustment for Tractor Electrohydraulic Hitch System Based on the Fuzzy Algorithm[D]. Nanjing: Nanjing Agriculture University, 2009. (in Chinese with English abstract)
- [23] 林荣川, 林河通, 林清娇. 采用交叉补偿解耦的乌龙茶自动烘焙机温湿度模糊控制[J]. 农业工程学报, 2012, 28(20): 80—87.
Lin Rongchuan, Lin Hetong, Lin Qingjiao. Fuzzy control of temperature and humidity of wulong-tea automatic roaster based on cross-compensation decoupling[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2012, 28(20): 80—87. (in Chinese with English abstract)
- [24] 庞昌乐. 拖拉机作业机组仿真系统控制策略和模糊综合控制的研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2002.
Pang Changle. Study on Control Strategy and Fuzzy Integrated Control for the Tractor-Implement Combination Simulated System[D]. Beijing: China Agriculture University, 2002. (in Chinese with English abstract)
- [25] 庞昌乐, 宗伯华, 鄂卓茂. 拖拉机作业机组模糊综合控制模型及仿真试验[J]. 农业工程学报, 2003, 19(4): 111—113.
Pang Changhua, Zong Bohua, E Zhuomao. Simulated test for fuzzy integrated control model of tractor-implement combination[J]. Transactions of The Chinese Society of Agricultural Engineering, 2003, 19(4): 111—113. (in Chinese with English abstract)
- [26] 高翔, 孙昌旺, 史金钟. 拖拉机电控液压悬挂系统的耕深模糊控制策略[J]. 拖拉机与农用运输车, 2008,

- 35(4): 12—14.
Gao Xiang, Sun Changwang, Shi Jinzhong. Research of fuzzy control method for electronic hydraulic hitch of tractor[J]. Tractor and Farm Transporter, 2008, 35(4): 12—14. (in Chinese with English abstract)
- [27] 谭戔, 谢斌, 赵建军, 等. 拖拉机液压悬挂系统模糊控制的研究[J]. 机床与液压, 2004(10): 75—77.
Tan Yu, Xie Bin, Zhao Jianjun, et al. The rresearch of fuzzy control for hydraulic hitch in tractor[J]. Machine Tool and Hydraulics, 2004(10): 75—77. (in Chinese with English abstract)
- [28] 诸静. 模糊控制理论与系统原理[M]. 北京: 机械工业出版社, 2005, 8.
- [29] 李士勇. 模糊控制、神经控制和智能控制论[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2004.
- [30] 王立新. 模糊系统与模糊控制教程[M]. 北京: 清华大学出版社, 2003.

Study on auto-control method and experiment for tractor depth based on fuzzy control

Lu Zhixiong^{1,2}, Guo Bing^{1,2}, Gao Qiang^{1,2}

(1. College of Engineering, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210031 China; 2. Jiangsu Key Laboratory of Intelligent Agricultural Equipment, Nanjing 210031, China)

Abstract: There are many ways to control depth of tractor's electro-hydraulic lift hitch at home, however, force control or position control takes the main place and force-position combined control was studied less. The force-position combined control based on fuzzy control was brought forward in this article, and it can achieve the goal of depth's multi parameters control. Firstly, the structure of tractor's electro-hydraulic lift hitch and principle of the system are introduced. Then, the introduction of force-position combined control based on fuzzy control was proposed, the comprehensive coefficient was defined as the proportion of position control in force-position combined control. Actual value was calculated in advantage of depth value and resistance. The actual value was compared with the target value and then fuzzy control algorithm works. The essence of this control was that system transforms force-position combined control to depth fuzzy control in use of comprehensive coefficient. Besides, the depth fuzzy controller was designed. At last, the effect of resistance on depth in different comprehensive coefficient was studied through experiments. The results showed that the response of depth from 0 to 20 cm was less than 1.7 s. When comprehensive coefficients were 0.7, 0.5, 0.3, the depth's decrease showed as 3.2, 3.8 and 5.6 cm respectively. Meanwhile, the adjusting time showed as 0.79, 0.93 and 1.21 s respectively. It met the requirement of quick response of hydraulic lift hitch. When the comprehensive coefficient gets bigger, the effect of resistance to depth is less conversely. When the comprehensive coefficient is not zero, the system can keep depth and engine load stable at the same time. Driver can set the value of comprehensive coefficient to make electro-hydraulic lift hitch system adjust to many kinds of soils. Compared with the force control or position control, force-position combined control has more advantages. In the article, force-position combined control based on fuzzy control was presented and studied. The results reflect the dynamic characteristics of the electronically controlled hydraulic hitch system for ploughing depths control; and provide a theoretical basis for the controller design of the tractor's electro-hydraulic lift hitch system according to force-position combined control.

Key words: tractor, fuzzy control, experiment, hydraulic hitch, force-position combined control, comprehensive coefficient

(责任编辑: 刘丽英)