

基于 CAN 总线的液压挖掘机分布式电子监控系统研究

程珂飞, 王向周, 王 渝

(北京理工大学信息科学技术学院自动控制系, 北京 100081)

摘要: 介绍了液压挖掘机电子监控系统的组成, 给出了基于 CANOpen 协议的数据通讯子系统的实现方法, 在发动机-变量泵的功率匹配策略中, 根据液压系统非线性、滞后性强、外部负载时变的特点, 提出了将基于 T-S 模型的模糊 PID 控制算法, 并将其应用到发动机-变量泵的复合控制中, 最后通过实验验证了整个系统的可靠性和有效性。

关键词: 液压挖掘机; 监控系统; CANOpen; T-S 模型; 模糊 PID

中图分类号: TU621; TP272.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3881 (2005) 8-154-3

Research of Hydraulic Excavators Distributed Monitoring - control System Based on CAN - bus

CHENG Ke-fei, WANG Xiang-zhou, WANG Yu

(Department of Automatic Control of Information Science and Technology, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

Abstract: The structure of hydraulic excavators electronic monitoring - control system was introduced, and the realization way of data communication sub - system was described. In the power matching strategy, a fuzzy PID control arithmetic based on T - S model was proposed according to the feature of hydraulic systems which is nonlinear, big long - time delay and various loads, finally, the reliability and validity of the control system was testified by experiment.

Keywords: Hydraulic excavators; Monitoring - control system; CANOpen; T - S model; Fuzzy PID

0 引言

液压挖掘机作为工程机械中的主要设备, 其液压系统已经发展到了非常成熟的地步, 在此基础上如何提高液压挖掘机的整体性能一直是人们关注的焦点^[1]。近些年来, 随着计算机技术、自动化技术和传感器技术等高新技术的不断发展, 使得开发机电一体化、数字化、智能化的液压挖掘机电子监控系统成为可能, 数字化、智能化是其发展的必然趋势, 它可以大幅度提高液压挖掘机的可靠性、生产效率, 节省燃油并降低驾驶员的劳动强度。因此开发液压挖掘机电子监控系统对于传统液压挖掘机整机性能的提高, 具有重要意义。

1 系统的组成

CAN (Control Area Network) 总线是德国 Bosch 公司从 20 世纪 80 年代初为解决现代汽车中众多的控制与测仪之间的数据交换而开发的一种串行数据通信协议, 它是一种有效支持分布式控制或实时控制的串行通信网络, 有着高速传输、抗干扰能力强等特点, 使其在车辆控制系统中得到了广泛的应用。在液压挖掘机中使用 CAN 总线技术, 可以构成分布式监控系统, 从而提高整个系统的数字化、智能化水平, 并增加了系统控制的灵活性。系统的组成如图 1 所示。其中, 发动机控制器、泵控制器和电子监控器构成分布式控制系统, 并通过 CAN 总线进行实时数据传输。发动机控制器通过执行机构控制发动机的油门开度, 泵控制器通过控制电磁比例减压阀的输出压力, 来控制变量泵的斜盘角度从而改变泵的排量, 系统通过发动机-泵的复合控制使发动机在每一种工作模式下都工作在最佳工作点处。

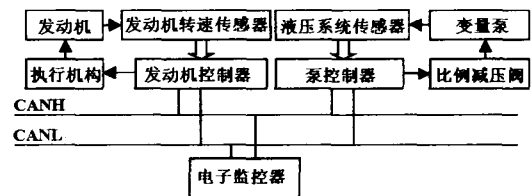


图 1 监控系统的组成

在系统中, 发动机采用 Cummins 公司生产的 6BTA5.9 系列发动机; 执行机构采用 STM 力矩电机; 比例减压阀、变量泵分别为川崎公司的 KDRDE5KR 系列电磁比例减压阀和 K3V 系列斜盘式柱塞泵变量泵; 发动机控制器、泵控制器的 MCU 采用 FUJITSU 公司的 MB90F549 芯片, 其内部具有两个独立的 CAN 控制器^[2], 可以很方便地挂接在总线上; 电子监控器采用 SAMSUNG 公司的 S3C2410 系列 ARM9 处理芯片, 构成嵌入式操作系统。

2 基于 CANOpen 协议的数据通讯子系统

CANOpen 是基于 CAN 总线的应用层协议, 它最初由从事工业控制的 CiA (CAN in Automation) 会员开发。由于 CANOpen 是一种公共、开放、通用的协议, 而且精练透明、容易开发, 因此在发布后不久就获得了广泛的认同。如今已经被接受为 CAN 高层协议的标准之一。尤其在欧洲, CANOpen 协议被认为是在基于 CAN 的工业系统中占领导地位的标准, 已经应用于多种领域^[3]。开发符合 CANOpen 协议的监控系统有利于设备的标准化, 使得任何符合 CANOpen 协议的设备都可以很方便地挂接到监控系统中。关于 CANOpen 协议内容分析的文章很多^[3-5], 但是实际应用性的文章并不多, 本文在简单分析协议实质

及核心内容的基础上,着重给出开发基于 CANOpen 协议的数据通讯子系统的方法。

2.1 CANOpen 协议设计的实质——面向对象

CANOpen 协议在设计的时候,对总线上传输的数据进行了分类,即每一个传输数据都是某一特定类的对象,从而实现了面向对象的程序设计。在 CANOpen 中每一类传输对象都有其规范化的格式,从而实现了应用层结构上的统一。在 CANOpen 协议的数据传输中共定义了 4 类对象(通讯模式),分别为管理对象(NMT)、服务数据对象(SDO)、过程数据对象(PDO)和特殊功能对象。

2.2 CANOpen 协议中的核心内容——对象字典(Object Dictionary)

为了对各类对象进行规范化和方便的管理,在 CANOpen 协议中定义了对象字典的概念。它是一个有序的对象组,其中定义了一个设备的所有信息,在 CANOpen 网络系统中每一个设备都要有一个唯一的对象字典,每个设备的对象字典具有结构相同、内容不同的特点。通过对对象字典中的对象定义一个唯一的 16 位主索引和 8 位子索引,就可以方便地访问对象字典中的对象。CANOpen 协议中定义了通用的对象字典结构^[6],其中规定了各种数据在对象字典中的位置区域。在我们建立设备对象字典的时候,主要工作应集中在定义通讯子协议区域(1000~1FFF)和制造商特定子协议区域(2000~5FFF)部分。

2.3 监控系统中对象字典的建立

从前面的分析可知,对象字典的建立是 CANOpen 协议的核心内容。在监控系统中每一个设备都要有一个唯一的对象字典,其中定义了各种对象的属性(如 ID、发送方式等)。在我们的系统中共有 3 个节点,它们以主从方式工作(电子监控器对应主节点,发动机控制器、泵控制器对应 2 个从节点)。为了系统扩展的方便,我们设 2 个从节点的节点号分别为 10、11,在各个节点对象字典中的对象 ID 都采用预定义连接集中规定的 11 位 ID,它由 4 位功能代码和 7 位节点号组成。

下面以主节点对象字典的建立为例说明对象字典的建立方法。

首先要分析主节点在网络中的作用,从而确定对象字典中要包含哪一类对象及其个数,然后定义对象的属性。在我们的系统中主节点要支持从节点的访问,因此需要一个 SDO;主节点要向 2 个从节点发送位置信息,因此要有 2 个 Tx-PDO 和 2 个 Rx-PDO,其中每个 PDO 又由 Tx(Rx)PDO Parameter 和 Tx(Rx)PDO mapping 两部分组成;当系统中发生紧急情况的时候主节点要发送紧急信息,因此要有 1 个应急指示紧急对象(Emergency Object);向从节点发送

的位置信息保存在区域 2000~5FFF 中;另外主节点要完成各个从节点的管理工作,因此还要有 NMT 管理模块。SDO、PDO 的属性设置见表 1、2,由于 2 对 PDO 的属性除了映射值不同以外,其它属性基本相同,因此只给出了向(从)节点号为 10 的从节点发送(接收)PDO 的设置。

表 1 SDO 属性设置

对象	索引	接收 ID	发送 ID
SDO	1200H	580H	600H

表 2 PDO 属性设置

对象	索引	ID	传输类型	映射参数
Tx-PDO	1800H	0x18A	255	0x20000110
Rx-PDO	1400H	0x20A	255	0x20000208

在表 2 中传输类型 255 表示异步、事件触发传输,映射参数 0x20000110 按照从左至右的顺序分别表示将对象字典中主索引为 2000H、子索引为 01H 的 16 位数值(10)映射到 PDO 中去。也就是说将保存在 2000H 处的位置信息映射到 PDO 中发送。

在对象字典建立完成之后要生成 EDS(Electronic Data Sheet)来描述这个设备的对象字典,主节点的 EDS 如图 2 所示。

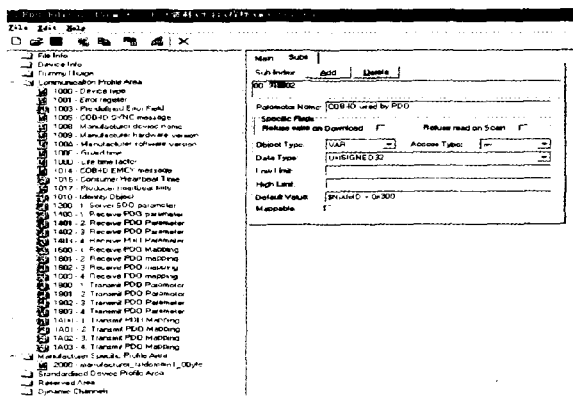


图 2 主节点的 EDS

2.4 DLL 模块的实现

DLL 模块是对象字典和 CAN 控制器之间的通讯接口,它要完成的主要工作是:

(1) 对 CAN 控制器进行初始化,其中包括波特率设置和 CAN 寄存器初始化等;

(2) 对 CAN 引发的中断的处理,其中包括:

①在发送时通过访问对象字典将各种对象按照规定的帧格式发送到总线上;

②在接收的时候把接收到的对象信息写到对象字典的相应位置中去。

我们用两个函数——DLL_InitCAN() 和 DLL_Interrupt() 来实现 CAN 控制器的初始化和中断处理功能。由于篇幅的限制这里没有给出具体的源程

序, 如有需要可与作者联系。

3 基于 T-S 模型的模糊 PID 控制子系统

发动机-变量泵的复合控制子系统框图如图 3 所示。发动机控制器和泵控制器首先接收监控器发出的工作模式命令, 同时根据泵的出口压力对挖掘机当前的工况进行识别, 当工作模式命令和当前的工况不相符的时候, 系统对发动机转速和变量泵的排量进行自动设置, 使发动机在每一种工况下都能工作在最佳点处。

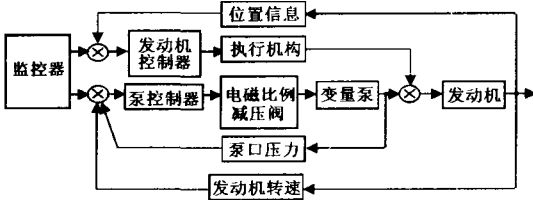


图 3 发动机-泵复合控制子系统框图

在实际中, 首先由于液压系统中存在着严重的非线性和大滞后性, 所以要建立发动机-变量泵的数学模型是十分困难的; 其次挖掘机在实际工作中外部负载是在时刻变化的, 因此系统检测到的泵出口压力也是不断变化的, 这就要求控制系统不断对变量泵的排量进行调整, 以保证发动机的转速时刻都保持在最佳工作点处。这样一来就要求我们的控制算法在运行时所占用的时间要很短, 以满足系统动态控制要求, 采用传统的模糊 PID 控制难以满足上述要求。

基于以上的分析, 我们提出了基于 T-S 模型的模糊 PID 控制算法, T-S 模型的特点在于, 其规则的前件采用模糊量形式 A_i , 后件却采用精确量线性集结的形式, 同一般模糊模型相比, 更有利于信息的系统化表示和运算。后件和常规 PID 控制相似。这样既解决了系统建模困难的问题, 又可缩短算法的运行时间, 可以满足系统的动态控制要求。在前件的选择中, 本文选择了 $|e|$ 和 $e_n \cdot \Delta e_n$ 作为系统的前件, 系统的模糊控制规则如下:

$$R_1: |e| \in [0.9, 1] \& e_n \cdot \Delta e_n < 0$$

$$u_1 = 4K_{ZN-P} \times e;$$

$$R_2: |e| \in [0.5, 0.9] \& e_n \cdot \Delta e_n < 0$$

$$u_2 = (2.2e + 1.85)K_{ZN-P} \times e;$$

$$R_3: |e| \in [0.2, 0.5] \& e_n \cdot \Delta e_n < 0$$

$$u_3 = (6.5|e| - 3.1)K_{ZN-P} \times e;$$

$$R_4: |e| \in [0.1, 0.2] \& e_n \cdot \Delta e_n < 0$$

$$u_4 = 5|e|K_{ZN-P} \times e + (-5|e| + 1)K_{ZN-I} \sum e;$$

$$R_5: |e| \in [0, 0.1] \& e_n \cdot \Delta e_n < 0$$

$$u_5 = 0.5 \times K_{ZN-I} \times e + (-5|e| + 1)K_{ZN-I} \sum e +$$

$$(-100|e| + 10)K_{ZN-D} \dot{e};$$

$$R_6: e_n \cdot \Delta e_n > 0$$

$$u_6 = 2K_{ZN-P} \times e + 4K_{ZN-I} \sum e + 10K_{ZN-D} \dot{e}.$$

式中: $|e|$ 为发动机转速误差绝对值的归一化结果, 其取值范围为 $[0, 1]$; Δe 为误差的变化; u 为变量泵的控制输出; $\sum e$ 和 \dot{e} 分别为误差的累计和与误差的变化率; K_{ZN-P} , K_{ZN-I} , K_{ZN-D} 为基于 Z-N 算法的 PID 整定值, 其值可由临界增益 K_c 和 T_c 进行预整定^[7]。

4 实验结果

监控系统在某挖掘机厂生产的 PC230 系列液压挖掘机做了整机实验, 实验中对数据通讯系统进行了跟踪监测, 在发动机转速控制中将基于 T-S 模型的模糊 PID 控制算法和传统的 PID 控制算法进行了对比实验。

4.1 数据通讯系统的实验

上位机通过 USB-to-CAN 设备挂接到总线上, USB-to-CAN 设备为德国 IXXAT 公司生产的 USB-to-CAN compact, 其中 SAJ-1000 BCAN 控制器可完成消息的收发, 并可以将 CAN 信号转换成 USB 信号传递给上位机, 上位机通过运行 IXXAT 公司的监视软件 (Minimon 32) 可以在线观察总线上传输的数据。如图 4 所示。

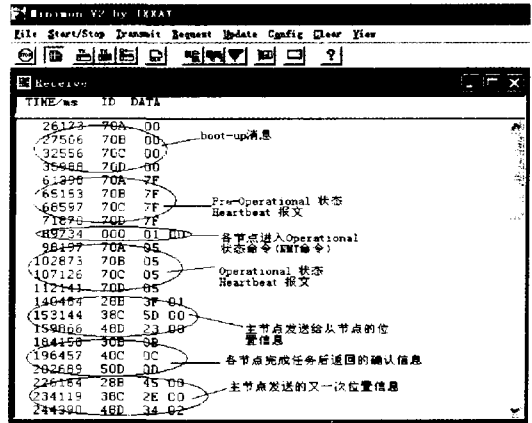


图 4 系统数据传输过程

4.2 控制算法的对比实验

图 5 是采用经典 PID 算法, 经仔细整定后的发动机在 100% 突加载和突甩载时的转速响应曲线。图 6 是采用 TS-PID 算法时, 发动机在 100% 突加载和突甩载时的转速响应曲线。

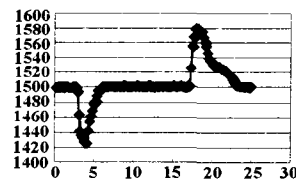


图 5 采用经典 PID 算法时发动机的转速响应曲线

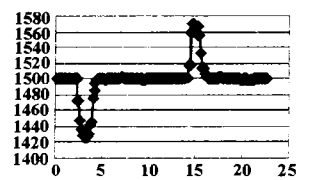


图 6 采用 TS-PID 算法时发动机的转速响应曲线

(下转第 189 页)

跟踪, 反映出所设计控制器的有效性, 极大方便了 PID 的参数调整。

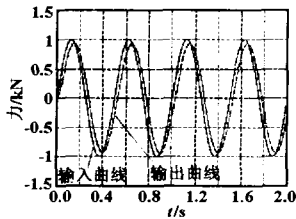


图5 PID控制跟踪的仿真曲线

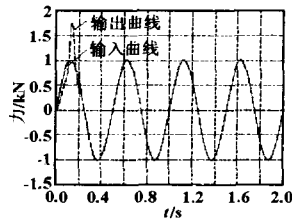


图6 并行控制跟踪的仿真曲线

5 实验研究

为了进一步检验本文算法的有效性, 搭建了具体的实验平台进行测试, 并且编写了计算机上的系统监控程序和基于 KMD 设备驱动^[6]的控制程序, 在控制程序中取定时中断间隔时间为 1ms。

以下为实验测试结果图, 图中纵轴坐标单位为 kN, 横轴坐标单位为 s, 指令信号振幅为 350N, 频率为 5Hz。图 7 是选定一组使系统稳定的 PID 初始值时的跟踪曲线, 图 8 是引入了 BP 神经网络后的跟踪曲线。

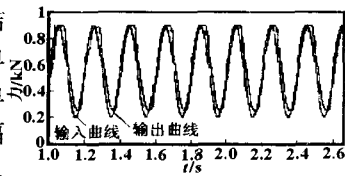


图7 PID控制跟踪的实验曲线

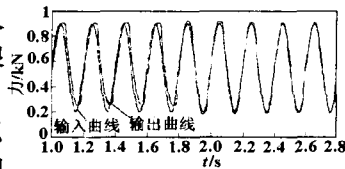


图8 并行控制跟踪的实验曲线

从图 7 和图 8 可以看出, 采用 BP 神经网络和 PID 并行控制时, 系统能自行学习并调整

使误差减小, 因此具有较好的鲁棒性。在不需要精确整定 PID 参数的情况下, 只需引入神经网络控制器, 就能使偏差减小, 提高控制系统跟踪性能。

6 结束语

本文将 BP 与 PID 并行控制策略应用于疲劳试验机的控制系统中, 通过 PID 的简单调节实现控制系统的稳定, 再通过神经网络的学习能力, 逐渐取代 PID 实现对被控对象的控制, 通过仿真和实验研究表明: 本文所设计的控制系统不需要繁琐的 PID 参数调整, 通过神经网络的学习实现了对输入信号的良好跟踪, 因此就能够对系统结构参数变化表现出良好的鲁棒性。同时仿真和实验也证明了所设计控制器的合理性和有效性。

参考文献

- [1] 徐丽娜. 神经网络控制. 哈尔滨工业大学出版社, 1999.
 - [2] 裴忠才. 电液负载仿真台的理论分析及其多余力消除方法的研究 [D]. 哈尔滨工业大学, 1997.
 - [3] 王占林. 液压伺服控制. 北京航空航天大学出版社, 1987.
 - [4] 刘金琨. 先进 PID 控制及其 MATLAB 仿真. 电子工业出版社, 2003.
 - [5] 李士勇. 模糊控制、神经控制和智能控制论. 哈尔滨工业大学出版社, 2002.
 - [6] 张惠娟, 周利华, 翟鸿鸣. Windows 环境下的设备驱动程序设计. 西安电子科技大学出版社, 2002.
- 作者简介: 裴忠才, 男, 1968 年 11 月生, 山东滕州人, 副教授, 主要从事液压和机器人技术的科研和教学工作。

收稿时间: 2005-06-13

(上接第 156 页)

从上图可以看出, 采用 TS-PID 算法后发动机转速响应明显快于经典 PID 算法。

5 结论

通过 CAN 总线构成了液压挖掘机分布式控制系统, 开发了基于 CANOpen 协议的数据通讯系统, 提高了整个监控系统的数字化、智能化程度。将基于 T-S 模型的模糊 PID 算法应用到发动机转速控制中, 提高了控制效果, 其算法还可以应用到其它工程机械中去。

参考文献

- [1] 金立生. 液压挖掘机电子节能控制系统研究 [D]. 长春: 吉林大学机械电子工程学院, 2004.
- [2] F2MC-16LX FAMILY 16-BIT MICROCONTROLLER MB90540/545 SERIES HARDWARE MANUAL. FUJITSU [Z].
- [3] 王桂荣, 钱剑敏. CAN 总线和基于 CAN 总线的高层协

议 [J]. 计算机测量与控制, 2003, 11 (5): 391-394.

- [4] 吴爱国, 刘莉. CAN 总线控制系统的应用层 CANOpen 剖析 [J]. 微计算机信息, 2003, 19 (3): 83-85.
- [5] 郁极, 杨斌, 魏继光. 一种开放式的现场总线协议 CANOpen [J]. 制造业自动化, 2002, 24 (10): 33-38.
- [6] Farsi M, Barbosa M. CANOpen implementation applications to industrial networks [M]. England. Research Studies Press Ltd., 2000: 8-16.
- [7] 陶永华. 新型 PID 控制及其应用. 北京: 机械工业出版社, 2003. 7.

作者简介: 程珂飞 (1979~), 男, 汉族, 博士生。主要研究方向: 检测技术与自动化装置、现场总线应用技术研究等。电话: 13120082333, (010) 68912469, E-mail: chengkfeifei@bit.edu.cn。

收稿时间: 2005-06-27