

现场总线网络的自适应 PID 控制器设计^①

闫金银, 王亚刚

(上海理工大学 光电信息与计算机工程学院, 上海 200093)

摘要: 提出一种在现场总线网络控制新环境下的自适应 PID 控制器研究与实现方法。通过对历史数据的分析和在线辨识被控对象在重要频率点的频率特性, 在 DeviceNet 网络环境下设计自适应 PID 控制器, 实现现场运行处于稳定、安全、最优的运行工况。

关键词: 现场总线网络; 自适应控制; 在线辨识; PID 控制器

Design of Adaptive PID Controller Based on FieldBus Network

YAN Jin-Yin, WANG Ya-Gang

(School of Optical-Electrical & Computer Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: This paper presents a method to study and realize the adaptive PID controller based on the new environment FieldBus networked control. The optimization response of important frequency is estimated by the history data analysis. Then, the adaptive PID controller is designed to realize stable, safe and optimization work in present situation at the circumstance of DeviceNet.

Key words: fieldBus; adaptive control; online identification; PID controller

现场总线技术的兴起, 改变了控制系统的结构, 它是以微处理器为基础的现场仪表和控制系统之间进行全数字化的、双向的、多站通讯的现场总线网络标准, 使其向着网络化的方向发展, 形成了控制网络。由于现场总线技术适应了控制系统向智能化、网络化、分散化发展的趋势, 因而显示出强大的生命力, 成为控制领域的热点技术。现场总线新环境的开放性、互可操作性、多点的数字通信给 PID 控制系统代替传统 4~20mA 标准开辟了新的道路。

现场总线系统 (FCS) 系统解决了 DCS 系统存在的问题, 如何在 FCS 系统中更好的发展 PID 控制策略成为了当下工业控制中迫切要解决的问题, 本文研究现场总线网络环境下的自适应 PID 控制问题, 把现场总线与控制策略很好集成起来, 根据持续地新的控制参数, 自动传送到控制器中, 实现网络化的要求。

1 自适应PID控制算法研究

1.1 模型辨识方法

设系统不同输入下的响应曲线为 $f(t)$, $f(t)$ 将函数进行 Laplace 变换

$$F(s) = \int_0^{\infty} f(t) * e^{-st} dt \quad (1)$$

其中 $f(t)$ 满足以下条件:

1) $f(t)$ 在 $t \geq 0$ 时是分段连续函数, 且在 $t < 0$ 时 $f(t)$ 为 0。

2) 式(1)的积分值为有限值。

按照文献^[2]中提到的辨识方法, 得到过程对象的传递函数是

$$G(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} \approx \frac{\int_0^{T_y} \Delta y(t) e^{-st} dt + y(\infty)}{\int_0^{T_u} \Delta u(t) e^{-st} dt + u(\infty)} \quad (2)$$

其中 $Y(s)$ 和 $U(s)$ 分别为系统输出与输入, 将 $s = j\omega$ 代入到式(2)中, 便得到:

① 基金项目:国家自然科学基金(61074087)

收稿时间:2011-05-24;收到修改稿时间:2011-06-19

$$G(j\omega) = \frac{j\omega \int_0^T \Delta y(t) e^{-j\omega t} dt + y(\infty)}{j\omega \int_0^T \Delta u(t) e^{-j\omega t} dt + u(\infty)} \quad (3)$$

这样，给定任意一个值就可以通过式 (3) 计算出过程对象在该频率点上的频率响应模型，这样在辨识出的模型基础上，通过自适应的方法便可以对其系统控制参数进行在线自整定。

1.2 自适应 PID 控制器的实现

自适应控制系统是一个具有一定适应能力的系统，它能自动地、适时地调节控制器参数，以适应外界环境变化、系统本身参数变化、外界干扰等的影响，使整个控制系统能按某一个性能指标运行在最佳状态，图 1 为现场总线网络下采取的自适应 PID 控制流程图。

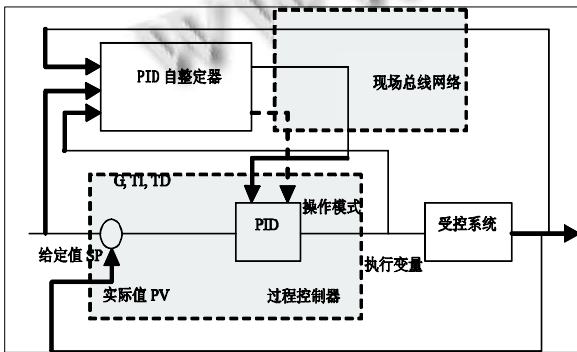


图 1 自适应 PID 控制流程图

为实现系统能自动辨识被控过程参数、自整定控制器参数以适应被控过程参数的变化对传统 PID 控制策略作如下修改，将控制变量的上一次输出值 $U(k-1)$ 作为自适应基础量，与系统变化或干扰对系统模型的 K_p, K_i, K_d 增益进行累加，得出本次控制变量输出。

$$U(k) = U(k-1) + \Delta K_p + \Delta K_i + \Delta K_d \quad (4)$$

根据回路更新时间，最终可以确定出本次控制变量的输出

$$U(k) = U(k-1) + K_p \Delta E + \frac{K_i}{60} E \Delta t + 60 K_d \frac{E(k) - 2E(k-1) + E(k-2)}{\Delta t} \quad (5)$$

其中 U 为控制变量、 Δt 为回路更新时间、 E 为系统偏差。

2 基于 DeviceNet 网络的自适应 PID 控制系统

DeviceNet 是一个开放式的协议，是一种用于连接工业设备与网络的现场总线，它基于 CAN (Controller Area Network) 的技术。作为一种串行通讯技术，CAN 是 20 世纪 80 年代中后期适应汽车控制网络化要求而产生并迅速发展起来的，并已成为开放的国际标准通讯协议 (ISO 11898)，在众多领域得到了广泛的应用。目前，有许多著名的大半导体制造商生产 CAN 芯片，并在工业中得到了很广泛的应用。

2.1 硬件设计

在构建基于 DeviceNet 网络自适应的自适应 PID 系统时，其硬件结构图如下图 2 所示，DeviceNet 总线连接上层自适应 PID 优化过程与下层现场模拟设备层。

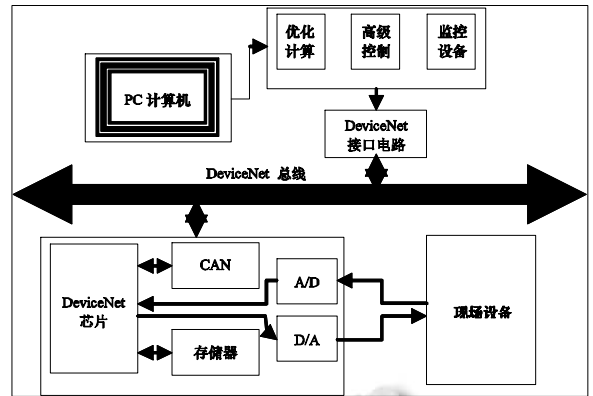


图 2 DeviceNet 自适应 PID 控制系统硬件设计图

1) 计算机综合自动化系统。其中包括在线优化计算机、高级控制计算机和现场监控计算机。优化、高级控制和监督层的主要任务是监督现场的工作状态，实现设备和装置的高级控制、参数自适应及在线优化。

2) DeviceNet 接口电路。由于 DeviceNet 的物理层和数据链路层沿用了 CAN 的模型，故而它们的底层是一样的，都是由 CAN 收发器，光电耦合电路和 CAN 控制器组成，用带 CAN 控制器的一般电路即可，由 PC 机对整个接口电路进行初始化并且进行数据读/写交换。

3) 智能节点。选用集成 DeviceNet 处理芯片、CAN 收发器、存储器、A/D 和 D/A 转换电路智能节点，与现场设备直接进行数据交换。它完成的主要功能包括：进行频率响应实验在线辨识模型，将辨识结果通

过 DeviceNet 总线送到上层的 PC 计算机；执行常规的 PID 控制，控制器的参数由上层的 PC 计算机确定。

2.2 软件设计

软件设计包括对自适应 PID 的控制器算法的设计和 DeviceNet 的软件设计。

1) DeviceNet 的软件设计，主要包括 DeviceNet 各种状态和模型对象的定义，处理器和 CAN 控制器的初始化，建立连接函数的实现，报文分段和不分段收发实现，最后将它们进行整合。

2) 自适应 PID 控制器的设计，主要是对适应的算法进行离散化处理，变成计算机能够识别的语言。自适应控制器需要给定、实际值和控制值的执行变量，然后根据这些值来计算比例增益、Ti 和 Td 的参数，要测定新参数组，PID 自适应控制器需要从头到尾运行一下由几个阶段组成的系统的学习策略，这里以阶跃响应实验图方便说明自适应过程，如下图 3 所示

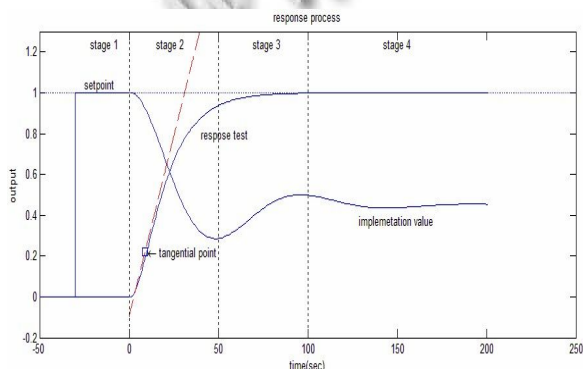


图 3 自适应参数调节流程

起点总是从静止状态开始的，即或者是固定执行变量的手动模式，或者是稳定状态的自动模式。第一次开始调试的时候，通常都在设备冷态的时候，将控制器设定为手动模式，同时令执行变量的输出为零。阶段 2，用户通过设定自适应位 ENABLE_ON，在正方向上输入一个给定的阶跃响应，然后自整定控制器与参数化执行变量输出反应。自整定控制器考察实际值并寻找拐点，即阶跃响应到达最大斜率的时间，拐点仅可以在 25%~70%的阶跃高度找到。检测到拐点以后阶段 2 告结束，阶段 3 自动启动。利用频率响应实验可直接在线辨识出系统模型，这样就比阶跃响应方便很多。

在阶段 3，自适应过程将控制器切换到自动模式随后，自适应过程等待控制器在给定处到稳态，当到达

该状态时就可以计算过程的比例。自整定计算出一个新的改进控制器的方案，并将计算所得的控制器的参数传送给控制器，并自动进入阶段 4，阶段 4 使用由自整定优化后的参数工作。

3 仿真实验

通过上面论述，模拟工业现场 PID 控制易受干扰的情形，对普通 PID 控制器输入信号加噪声，如图 4 所示，模拟信号传输表现出易受干扰性。

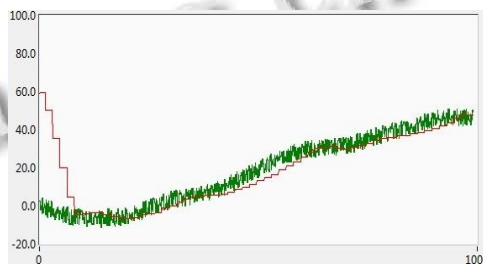


图 4 噪声对传统 PID 控制器影响

设计现场总线网络的自适应 PID 控制器由于利用采样信号传输，表现出对干扰较好的抗性，当出现大的改变时，如输入信号 30 时，其 PID 控制器的参数为，处于稳定运行状态；当系统的输入值变为 35 时，将自适应 PID 控制器从自动打到手动模式，自适应 PID 控制器会根据输入信号变化和历史数据，做频率响应实验，辨识当前 PID 参数，自动修改 PID 控制参数为，通过图 5 的仿真曲线，可以看出在系统出现变化后控制器能很好的跟踪变化，使系统稳定运行。

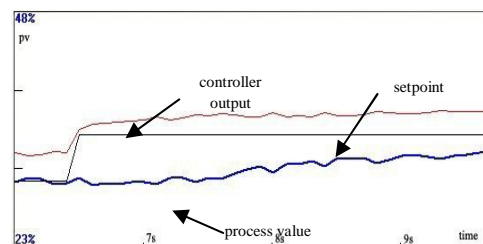


图 5 自适应 PID 控制参数整定曲线

4 结论

提出一种适应于当前现场总线的工业环境下广泛应用的自适应 PID 控制器，自适应的过程通过控制回路重要频率点的分析辨识出相应的控制器模型，然后

(下转第 244 页)

方式的脚本执行代价看作是相同的。

测试成本的计算单位用时间表示，以本人实际参与的传情酷秀业务的测试工作为例。传情酷秀业务涉及 SIP 协议，BICC 协议。现有测试方式需要的网络实体（主要指业务流程所经过的软件实体）包括 SIP 终端，SIP 前置，BICC 终端，BICC 前置，AS，MS(media server)媒体服务器，借助多协议模拟测试平台需要的网络实体包括多协议模拟测试平台，AS，MS。

两种方式下进行 1 次业务功能测试（测试人员为 1 人）成本比较如表 1 所示：

表 1

测试方式	部署学习成本 T(天)			维护成本 M(天)			脚本执行成本 R(天)	总成本 C(天)
	终端	SIP 终端	0.25	终端	SIP 终端	0.25		
现有测试方式 M1	终端	BICC 终端	0.25	终端	BICC 终端	0.25	0.25	0.25*4+0.5*2+0.25*2+0.5*4+0.25=4.75
		SIP 前置	0.5		SIP 前置	0.5		
	前置	BICC 前置	0.5	前置	BICC 前置	0.5		
		MS	0.25		MS	0.5		
	AS	0.25	AS	0.5				
借助多协议模拟测试平台测试方式 M2	多协议模拟测试平台	0.5	多协议模拟测试平台	0.5	0.25	0.5+0.25+0.5*2+0.25=2		
	AS	0.25	AS	0.5				

分析测试成本，测试效率能够提高 $(M1-M2)/M2=(4.75-2)/4.75=57.89\%$

通过两种方式的测试成本比较看到多协议模拟测试平台方案能有效的提高测试效率，并且目标测试业务涉及的协议种类越多，效率提高的越多。

(上接第 206 页)

根据自适应的算法对历史数据分析与计算得出当前运行最优的 PID 控制参数。利用 DeviceNet 总线网络设计网络意义下控制器自适应参数系统，仿真实验证明本系统设计思路的可行性。

参考文献

- 1 王亚刚,许晓鸣.自适应鲁棒最优 PI 控制器.自动化学报, 2009,35(10):1352-1356.
- 2 徐进.自适应 PID 在柴油机电子调速中的应用研究[硕士学位论文].哈尔滨:哈尔滨工程大学,2009.
- 3 Muller J. Controlling with SIMATIC-Practice books for

5 结语

为解决基于 EBAS 业务测试过程中出现的各种问题，对当前的业务测试方式进行了分析研究，提出了多协议模拟测试平台的概念，分析了多协议模拟测试平台的整体结构及关键功能模块，同时对测试成本进行了比较说明。多协议测试平台作为一个综合实现方案，不仅解决了原有测试方式中出现的问题，还提供了多种呈现方式和开放的接口，便于集成新的协议模拟测试功能，方便了多协议业务的测试。

同时本平台也存在一些缺点和不足，作为一个系统级的测试工具，该平台只实现上层业务实际使用的功能，不提供对承载应用层的下层协议的异常测试。但通过实现承载协议部分功能可以为上层协议提供服务，目前的实现方案已基本满足增值业务测试的需要。

参考文献

- 1 韩爽.移动网络中增值业务性能的研究.北京:北京邮电大学,2006.
- 2 朱晓民,温瑜,廖建新,等.SCE 研究进展及其在移动智能网中的实现.计算机工程,2005,31(6):1-3.
- 3 符志宏.移动通讯系统自动测试工具技术研究.南京:南京理工大学,2004.
- 4 ISO/IEC9646-1 Interconnection. Conformance Information technology-Open Systems testing methodology and framework-Part 1: General concepts.
- 5 郭盛兴,王晶,廖建新.基于通用消息的持久化消息队列设计.北京工商大学学报,2010,28(1):69-72.
- 6 王军弟,赵恺.JNI 技术在软件开发中的应用研究.兰州工业高等专科学校学报,2009,(10):1-3.
- 7 唐洁.curses 库的 I/O 接口.嵌入式系统编程,2007,(11):4-11.

SIMATIC S7 and SIMATIC PCS7 control systems. POSTS & TELECOM PRESS, 2007.

4 Automation R. RSTune PID Loop Tuner User's Guide.ID TUNE-UM001C-EN-P, American, 2003.

5 Astrom KJ, Hagglund T. Advanced PID control. Research Triangle Park, NC: Instrument Society of American, 2005.

6 黄友锐,曲立国.PID 控制器参数整定与实现.北京:科学出版社,2010.

7 赵国山,仇性启.自适应 PID 的发展概况.化工自动化及仪表,2006,33(5):1-5.