

· 电子机械工程 ·

天然气发动机空燃比控制策略的研究与仿真

陈林林, 孙仁云, 吴本成, 蔡建余, 张易红

(西华大学交通与汽车工程学院 成都 610039)

【摘要】介绍了天然气发动机空燃比的比例-积分-微分控制、模糊自适应整定比例-积分-微分控制以及神经网络等各种控制策略,并对其进行Matlab/simulink仿真,分别建立了仿真模型,给出了不同控制策略下的仿真结果图形曲线。通过仿真结果分析并对比了各种控制策略的控制特点,指出了在实际应用中需注意的问题。

关键词 空燃比; 压缩天然气发动机; 控制策略; 仿真
中图分类号 TK432 文献标识码 A

Control Strategy Simulation for CNG Engine Air-Fuel Ratio

CHEN Lin-lin, SUN Ren-yun, WU Ben-cheng, CAI Jian-yu, ZHANG Yi-hong

(School of Traffic & Automobile Engineering, Xihua University Chengdu 610039)

Abstract The control strategies for Compressed Natural Gas (CNG) engine air-fuel ratio of Proportional-Integral-Derivative (PID) control, fuzzy self-adapting setting PID control and neural network control are introduced systemically. The simulation model is established. The character of these different control strategies are analyzed according to the simulation results. Lastly, the problems which need to be attended in practical applications are pointed out.

Key words air-fuel ratio; compressed natural gas engine; control strategies; simulation

在能源危机和大气污染日益严峻的今天,压缩天然气作为一种清洁的代用燃料在发动机上得到广泛的应用。研究压缩天然气发动机具有重要的现实意义。我国已正式启动空气净化工程——清洁汽车行动,其中包括大力开展压缩天然气发动机的改装技术。既保证天然气发动机动力性能,又尽量降低发动机的有害排放和燃气消耗,以满足日益严格的排放法规是一个重要的课题。由于发动机的动力性、经济性和排放性能均与其瞬态空燃比密切相关,三元催化装置的转化效率受发动机空燃比的影响较大。此外,在排放和燃油经济性方面具有很大发展潜力的稀燃发动机,也需要对发动机的空燃比进行精确控制。因此研究发动机空燃比的控制策略显得尤为重要。

1 三种空燃比控制策略与Matlab/Simulink仿真模型

随着控制理论的不断发展和新型传感器的不断出现,发动机的电子控制技术从过去的查表法和比

例积分(Proportional-Integral-Derivative, PID)控制等基于经典理论的控制方法发展到现在的以状态空间、多变量最优控制和自适应控制理论为主,神经网络和模糊控制日趋活跃的局面^[1]。

1.1 PID闭环控制策略^[2]

PID控制以经典控制理论为基础,是连续系统中技术成熟、应用最为广泛的一种控制方法。将偏差的比例、积分和微分通过线性组合构成控制量,对被控对象进行控制,称为PID控制。由于发动机的空燃比受进入气缸的空气量的精确测量、转速、负荷、温度、气体燃料喷射器的响应速度和喷射精度等多种因素的影响,所以采用PID闭环控制,根据反馈实时调整喷气量,使之达到精确控制。

本文利用Simulink中的PID模块建立仿真模型。根据经验确定了PID的参数。通过反馈得到的空燃比不断与设定的理想空燃比16.7进行比较,偏差进入PID控制器,根据偏差由PID控制器调节喷气量,如此反复调整使发动机空燃比最终接近理想空燃比。图1为天然气发动机在稳定工况下的PID闭环控制策

收稿日期: 2005-03-22

基金项目: 四川省教育厅重点资助项目(0423106); 四川省重点学科建设资助项目(SZD0410-1)

作者简介: 陈林林, (1974-), 男, 博士生, 主要从事发动机电子控制、燃烧与排放等方面的研究。

略的Matlab仿真框图。

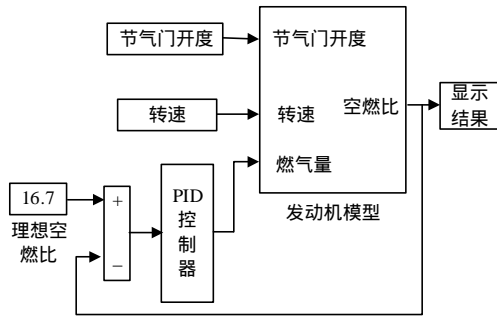


图1 天然气发动机空燃比PID控制Matlab仿真框图

1.2 模糊自适应整定PID控制策略^[3-4]

模糊自适应整定PID是在PID算法的基础上,通过当前系统误差 e 和误差变化率 e_c ,利用模糊规则进行模糊推理,查询模糊矩阵表进行参数调整。利用模糊控制规则在线对PID参数进行修改,便构成了自适应模糊PID控制器。自适应模糊PID控制器以误差 e 和误差变化率 e_c 作为输入,可以满足不同时刻的误差 e 和误差变化率 e_c 对PID参数自整定的要求。图2所示为本文设计的模糊整定PID控制的Simulink封装框图。模糊控制设计的核心是总结工程设计人员的技术知识和实际操作经验,建立合适的模糊规则表,得到针对 K_p 、 K_i 、 K_d 三个参数分别整定的模糊控制表,如表1~3所示。图3所示为天然气发动机在稳定工况下的模糊自适应整定PID闭环控制策略的Matlab仿真框图,其中 u 代表输出量。设误差 e 、误差变化率 e_c 和 K_p 、 K_i 、 K_d 均服从正态分布,可求出各模糊子集的隶属度,根据各模糊子集的隶属度表和各参数控制模型,应用模糊合成推理设计PID参数的模糊矩阵表,查出修正参数带入下式计算:

$$k_p = k_{p0} + \{e_i, e_{c_i}\}_p$$

$$k_i = k_{i0} + \{e_i, e_{c_i}\}_i$$

$$k_d = k_{d0} + \{e_i, e_{c_i}\}_d$$

式中 K_{D_0} 、 K_{i_0} 、 K_{d_0} 分别为PID参数的初始值。

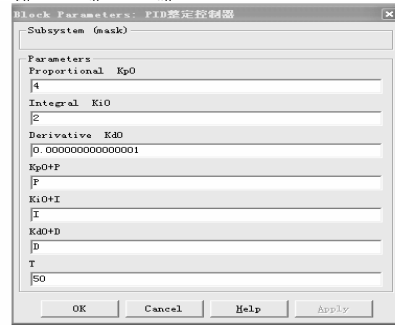


图2 模糊整定PID控制的Simulink封装框图

表1 K_p 模糊控制规则表

e	e_c					
	NB	NM	NS	ZO	PS	PB
NB	PB	PB	PM	PM	PS	ZO
NM	PB	PB	PM	PS	PS	ZO
NS	PM	PM	PM	PS	ZO	NS
ZO	PM	PM	PS	ZO	NS	NM
PS	PS	PS	ZO	NS	NS	NM
PM	PS	ZO	NS	NM	NM	NB
PB	ZO	ZO	NM	NM	NM	NB

表2 K_i 模糊控制规则表

e	e_c					
	NB	NM	NS	ZO	PS	PB
NB	PS	NS	NB	NB	NB	PS
NM	PS	NS	NB	NM	NM	NS
NS	ZO	NS	NM	NM	NS	ZO
ZO	ZO	NS	NS	NS	NS	ZO
PS	ZO	ZO	ZO	ZO	ZO	ZO
PM	PB	NS	PS	PS	PS	PB
PB	PB	PM	PM	PM	PS	PB

表3 K_d 模糊控制规则表

e	e_c					
	NB	NM	NS	ZO	PS	PB
NB	NB	NB	NM	NM	NS	PS
NM	NB	NB	NM	NS	NS	ZO
NS	NB	NM	NS	NS	ZO	ZO
ZO	NM	NM	NS	ZO	PS	ZO
PS	NM	NS	ZO	PS	PS	ZO
PM	ZO	ZO	PS	PS	PM	PB
PB	ZO	ZO	PS	PM	PM	PB

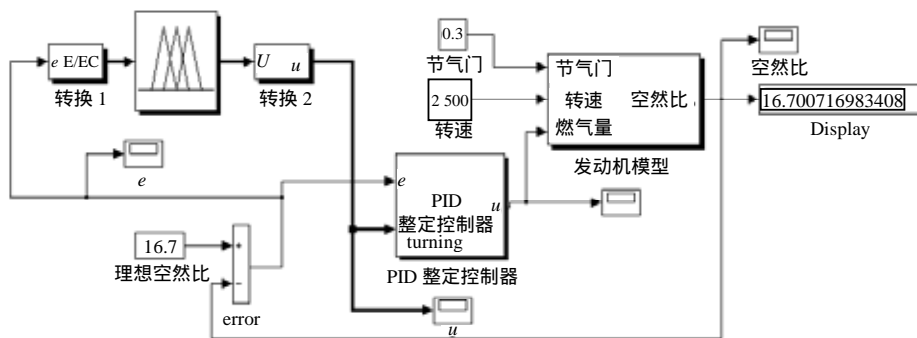


图3 模糊自适应整定PID闭环控制策略Matlab仿真框图

1.3 天然气发动机空燃比神经网络控制策略^[5]

1.3.1 BP神经网络

目前在人工神经网络的实际应用中绝大部分的神经网络模型是采用BP网络和它的变化形式,在BP神经网络中经常使用对数S形函数、正切S形函数和线性函数作为神经元的传递函数。对于BP神经网络的仿真,可使用Matlab中的Trainlm函数进行训练。该算法避免了直接计算赫赛矩阵,从而减少了训练中的计算量和内存需求量。根据发动机空燃比脉谱图,利用Trainlm函数很容易训练两层BP神经网络。

1.3.2 RBF神经网络

因BP神经网络用于函数逼近时权值的调节采用的是负梯度下降法,存在着收敛速度慢和局部极小等缺点。而RBF神经网络在逼近能力、分类能力和学习速度等方面均优于BP网络。RBF网络由输入层、隐含层和输出层构成,当输入信号靠近基函数的中央范围时,隐层节点将产生较大的输出,因此这种网络具有局部逼近能力。最常用的基函数是高斯函数。对于RBF神经网络的仿真,可以使用Matlab中的newrbe函数进行训练仿真。进行仿真时要选择尽量大的 S_{PREAD} 值,以保证径向基函数的输入范围足够大,从而使它的输出尽量具有较大的值。 S_{PREAD} 值越大,网络的输出就越平滑,网络的泛化能力也越强。

2 仿真结果和三种控制策略对比分析

各种空燃比控制策略的Matlab仿真结果如图4、5所示。图4a、4b分别是BP和RBF神经网络控制Matlab仿真泛化误差结果。图5a、5b、5c分别为天然气发动机二维线性插值开环控制、PID闭环控制、模糊自适应整定PID闭环控制在稳定工况下的Matlab仿真结果。

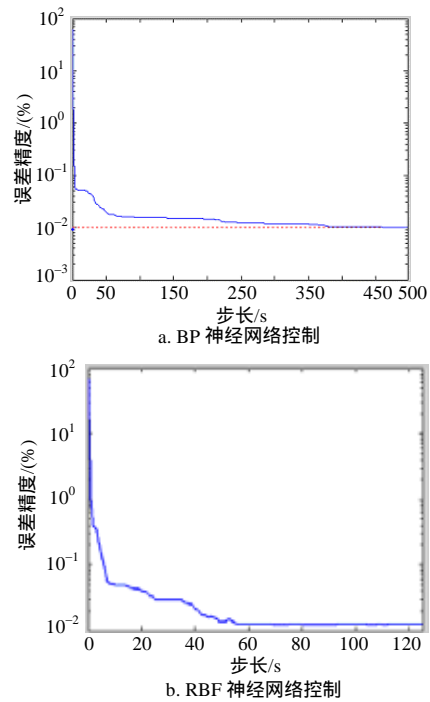


图4 天然气发动机神经网络控制Matlab仿真泛化结果

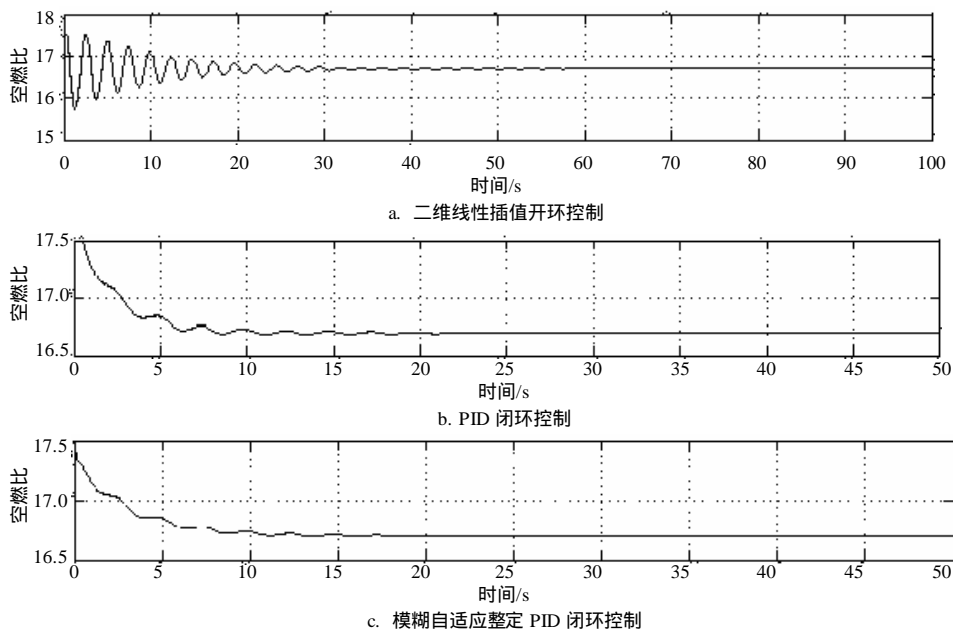


图5 发动机空燃比控制Matlab仿真结果

从上述天然气发动机空燃比的各种控制策略仿真结果可以对比分析它们各自的优缺点:(1) PID控制器和模糊自适应整定PID控制器控制策略: PID控制器最大的优点在于不需要了解被控制对象的控制模型, 只要根据经验调节控制器参数, 便可获得满意的结果。其不足之处是对被控参数的变化比较敏感。由于用软件编程实现PID控制, 参数的变化十分灵活, 因此得到了广泛的应用。模糊自适应整定PID控制器由于可以实时在线调整PID参数, 因此控制效果更好, 但实现过程中对硬件和软件的要求更高。

(2) 天然气发动机空燃比神经网络控制策略: 神经网络的控制方法不需要了解控制对象的模型, 可以很好的应用于非线性复杂控制系统。但由于其黑匣子的特性使得系统的稳定性分析十分困难, 而且基于复杂神经网络的控制器计算量也比较大, 对硬件系统的运算速度要求很高。

3 结束语

本文通过对上述三种控制策略仿真结果的对比分析, 基本上展现了三种控制策略的特点。经典控制策略易于实现, 但控制精确度不高。模糊自适应

PID控制由于是在线实时控制PID的三个参数, 无论是在控制效果上还是在实际实现上都具有很好的优势, 在实际控制中可以加以采用。神经网络控制策略由于只能适用于特定脉谱图下的特定的发动机, 改变环境后需要重新训练, 而且控制模型中计算公式所需的权值和域值的算法使得计算量非常大, 对硬件的要求限制了其实用价值。总之, 应用中要根据实际情况加以选择应用, 不能一概而论。相信随着大规模集成芯片的发展, 高性能微控制器的出现, 必将解决这些问题。

参 考 文 献

- [1] 赵 玲, 孙仁云. 虚拟仪器技术在汽车测试技术实验中的应用[J]. 实验科学与技术, 2006, 4(2): 20-21.
- [2] 夏 渊, 刘建华, 张 欣, 等. 发动机空燃比控制策略的研究[J]. 汽车工程, 2002, (1): 32-36.
- [3] 刘金琨. 先进PID控制Matlab仿真[M]. 第2版. 北京: 电子工业出版社, 2004.
- [4] 闻 新, 周 露, 李东江, 等. Matlab模糊逻辑工具箱的分析与应用[M]. 北京: 科学出版社, 2001.
- [5] 闻 新, 周 露, 李 翔, 等. Matlab神经网络仿真与应用[M]. 北京: 科学出版社, 2003.

编 辑 孙晓丹

(上接第222页)

3 结束语

本文设计的1-40的大型功分网络采用泡沫填充板线形式的Wilkinson功分器结构, 利用有关功分器的现有理论公式进行初步设计, 并在此基础上利用HFSS和DESIGNER软件进行仿真设计、加工、安装及测试。测试结果表明输入驻波系数小于1.30, 相位误差在 9° 以内, 幅度基本满足泰勒分布, 与仿真结果比较一致, 已经在实际工程中得到应用。

参 考 文 献

- [1] SAWICKI A, SACHSE K, JAWORSKI G, et al. Comparison

of planar antenna feed networks with Wilkinson and coupled-line power dividers[C]//Microwaves and Radar, MIKON '98, 12th International Conference. Telecom-Krakow Poland: munications Research Institute, 1998.

- [2] 吴健田. 宽带C波段功率分配器. 无线电工程[J]. 1997, 27(1): 58-62.
- [3] COLLIN R E. Foundations for microwave engineering [M]. second edition New York: IEEE Press, 2001: 194-198.
- [4] 顾其谔, 项家桢, 袁孝康. 微波集成电路设计[M]. 北京: 人民邮电出版社, 1978: 309-321.
- [5] GU Peng-da, JIAO Yong-mei, GENG Zhe-qiao. Microwave power divider with arbitrary distribution ratio[J]. High Energy Physics and Nuclear Physics, 2004, 28(11): 1219-1222.

编 辑 黄 莘