

发动机冷却液温度模糊控制系统的研究

周翼翔¹, 黄大贵²

(1. 四川职业技术学院汽车工程系 四川 遂宁 629000; 2. 电子科技大学机械电子学院 成都 610054)

【摘要】提出了发动机冷却液温度的模糊控制方法, 将冷却液温度进行模糊化, 根据实验建立了相应的模糊控制规则库; 应用MATLAB软件的模糊逻辑工具, 计算分析得到了控制查询表, 建立了以Motorola单片机MC68HC908LJ12为核心的硬件系统, 并对软件进行了设计。试验表明, 该方法只需对现有的发动机冷却系统进行较少的改进, 便可较好地解决发动机的冷却液温度难于准确控制的问题。

关键词 温度控制; 冷却系统; 发动机; 模糊控制

中图分类号 TN223

文献标识码 A

doi:10.3969/j.issn.1001-0548.2009.03.037

Study of Fuzzy Control System for Engine Coolant Temperature

ZHOU Yi-xiang¹, and HUANG Da-gui²

(1. Department of Automobile Engineering, Sichuan Vocational and Technical College Suining Sichuan 629000;

2. School of Mechatronics Engineering, University of Electronic Science and Technology of China Chengdu 610054)

Abstract A fuzzy method for controlling the engine coolant temperature is proposed. The fuzzy rule base is correspondingly established based on the experimental data. The control query table is created through computing and analyzing via the fuzzy logic tools in MATLAB. The hardware system, centering on MC68HC908LJ12, is conducted. The software is designed as well. The test indicates that only a little improvement of the current engine cooling system can better solve the problem that it is difficult to accurately control the engine coolant temperature.

Key words temperature control; cooling system; engine; fuzzy control

发动机工作时, 冷却系统起到了维持其本身正常工作温度的作用。文献[1-7]表明, 发动机的冷却液温度高低对发动机的动力性、经济性、排放性能和使用寿命均有较大的影响。通常认为冷却液温度在80~90 ℃, 发动机具有较好的工作性能。然而, 文献[8]认为每个发动机都有一个最佳的冷却液温度, 在该温度下, 发动机动力性、经济性、排放性、寿命等均能显著地提高。因此, 国内外对冷却系统的控制进行了大量的研究, 在传统发动机冷却系统的基础上, 实现了对风扇^[9-10]、水泵^[11-13]转速控制, 开发研制了电动节温器^[11], 引入了计算机控制技术^[14-15], 其目的在于控制发动机冷却液的温度。但由于冷却系统的复杂性, 难于建立理想的数学模型和达到控制最佳冷却液温度的目的, 寻求对冷却系统的冷却机理、控制和研究开发手段的改进是冷却系统发展的必然趋势^[16-17]。本文设计一个模糊控制系统, 满足了发动机最佳冷却液温度控制的要求。

1 现有的温度控制系统及缺陷

目前冷却液温度控制系统有传统的冷却系统、

加硅油离合器的冷却系统和电动风扇冷却系统3种, 如图1所示。

1.1 传统的冷却系统

该系统结构如图1a所示。无论冷却液温度多高, 风扇始终都在工作。如果发动机没有达到正常的工作温度, 风扇起到恶化工作条件的作用, 不但造成能源浪费, 而且使发动机较长时间处于低温工作状态, 严重影响动力性、经济性、使用寿命和排放性能。发动机温度只能通过节温器控制冷却液是否经过散热器来调控发动机工作温度。由于节温器为机械式, 控制温度的波动较大, 使发动机不能在最佳的温度下工作。

1.2 加硅油离合器的冷却系统

该系统结构如图1b所示。该系统改变了传统冷却系统风扇不可控的缺点, 利用硅油离合器的温度特性实现对风扇的启动和转速调整, 因此通过风扇转速和节温器来调节发动机的工作温度。但这种调节温度的波动范围仍然较大, 不能满足发动机最佳工作温度的需要。

收稿日期: 2008-04-23; 修回日期: 2008-10-20

基金项目: 国家自然科学基金(60572007); 教育部博士点基金(20040614004); 四川省教育厅科研基金(2006C063)

作者简介: 周翼翔 (1964-), 男, 副教授, 主要从事汽车检测、智能控制系统等方面的研究。

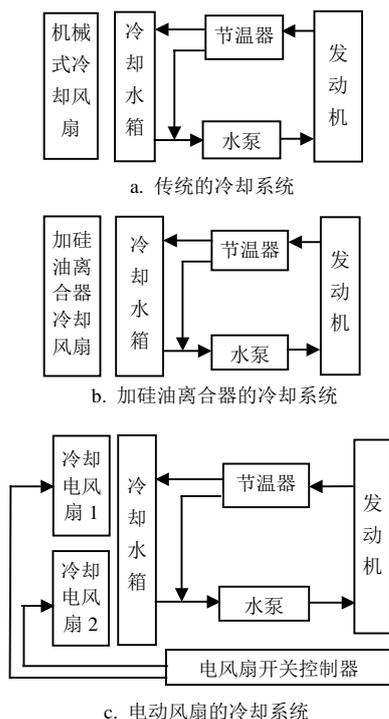


图1 常用的3种冷却系统

1.3 电动风扇的冷却系统

该系统结构如图1c所示，它是在传统的冷却系统基础上，将机械式风扇改为一个或一组电风扇来对温度进行控制，风扇常采用有级或无级转速调整。与上两种系统相比，它的可控性有所提高，但仍然克服不了冷却液温度调节波动太大的缺点，达不到最佳控制发动机工作温度的目的。

2 基于模糊控制的冷却液温度的控制系统

发动机冷却系统对冷却液温度影响的因素很多，有发动机工况、车辆行驶状态、地域、天气状态等，这些因素往往都是随机的，很难用准确的数学模型来描述。为了达到较准确地控制冷却液温度的目的，采用模糊控制能较好地满足控制系统的要求。基于模糊控制的发动机冷却液温度控制系统如图2所示。

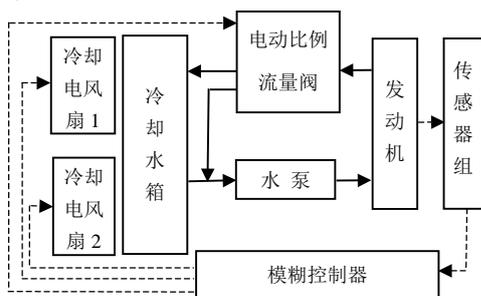


图2 基于模糊控制的冷却液温度控制系统

2.1 系统控制过程

当冷却液温度超过最佳冷却液温度 T 、且阀位置检测电阻小于最大值(位置电阻最大时，冷却液只进行大循环)时，电动比例阀模糊控制系统启动，实现最佳冷却液温度调节控制。当其冷却液温度超过 T 、且阀位置检测电阻等于最大电阻值时，电动比例阀模糊控制系统停止工作，此时电动比例阀处于关闭冷却系统小循环状态，冷却液经过冷却水箱，进行大循环，启动第一风扇模糊控制调速系统实现最佳冷却液温度的调节控制。当其冷却液温度超过 T 、阀位置检测电阻等于电阻最大值、且第一风扇调速器的位置电阻最大时，则电动比例阀、第一风扇调节控制停止，启动第二风扇进行冷却液最佳温度的模糊控制，此时冷却液进行大循环，第一风扇全速转动，第二风扇在控制系统的控制下工作。

2.2 控制系统的模糊控制器设计

冷却液温度的模糊控制系统^[18-19]如图3所示。

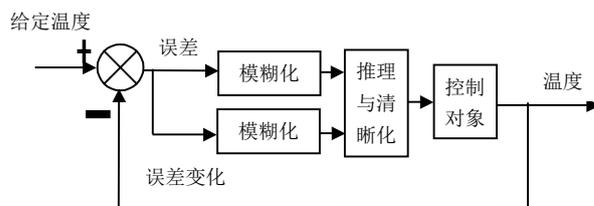


图3 冷却液温度的模糊控制系统框图

2.2.1 输入输出论域

整个温度控制采用温度和温度变化率为输入，以电动比例流量阀的位置和电风扇调速器位置为输出，实现双输入单输出的模糊控制。

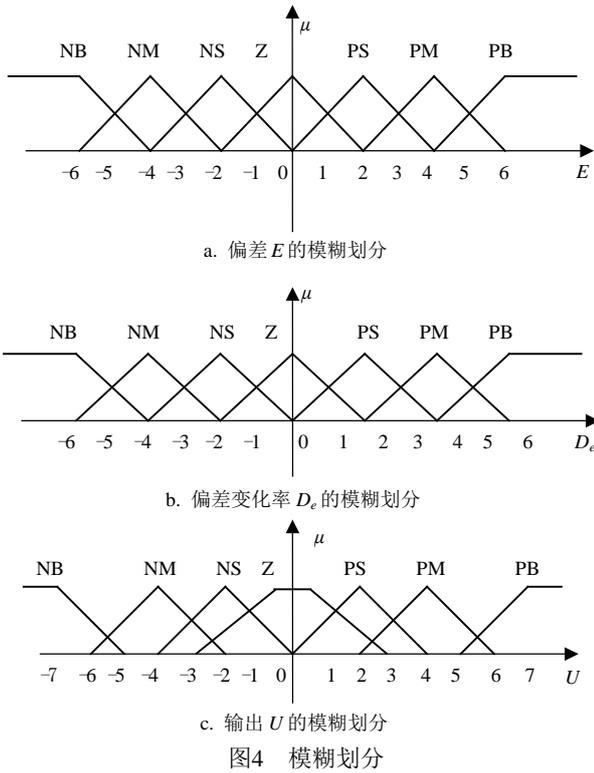
温度偏差 E ：将其离散为13个点，即论域为 $\{-6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, +1, +2, +3, +4, +5, +6\}$ ；偏差语言变量取7个，用符号表示为 $\{NB, NM, NS, Z, PS, PM, PB\}$ 。

温度偏差变化率 D_e ：将其离散为13个点，即论域为 $\{-6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, +1, +2, +3, +4, +5, +6\}$ ；偏差语言变量取7个，用符号表示为 $\{NB, NM, NS, Z, PS, PM, PB\}$ 。

输出 U ：将其离散为15个点，即论域为 $\{-7, -6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, +1, +2, +3, +4, +5, +6, +7\}$ ，输出语言变量取7个，用符号表示为 $\{NB, NM, NS, Z, PS, PM, PB\}$ 。

2.2.2 隶属度的确定

偏差 E 、偏差变化率 D_e 、输出 U 的语言变量模糊划分如图4所示。



模糊变量的隶属度函数形状越瘦, 相邻模糊变量交点的隶属度值越低, 控制作用越强, 灵敏度越高。对于冷却液温度的控制, 希望在误差较大时灵敏度提高, 而在给定值附近控制应较平缓温和, 因

此, 偏差 E 、偏差变化率 D_e 按均匀模糊划分, 而控制变量 U 按非均匀模糊划分。

2.2.3 模糊控制规则库的建立

根据温度控制的特点, 如果偏差大、且偏差变化率大, 则控制作用应强, 因此, E 、 D_e 、 U 之间是一种蕴涵关系 R , 且 $R=ED_eU$, 此为双输入单输出系统。通过对冷却液温度调节的初步试验, 确定其控制规则如表1所示。

表1 冷却液温度模糊控制的控制规则

E	D_e						
	PB	PM	PS	Z	NS	NM	NB
PB	PB	PB	PB	PB	PM	PS	Z
PM	PB	PB	PM	PM	PS	PS	Z
PS	PM	PM	PM	PS	PS	Z	Z
Z	PM	PS	PS	Z	NS	NS	NM
NS	Z	Z	NS	NS	NM	NM	NM
NM	Z	NS	NS	NM	NM	NB	NB
NB	Z	NS	NM	NB	NB	NB	NB

根据模糊推理理论, 通过MATLAB软件, 本文采用重心法计算得到清晰量, 如表2所示, 系统采用查表法进行实际过程控制。

表2 冷却液温度模糊控制(决策)清晰量

E	D_e												
	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	+4	+5	+6
-6	-6.3	-6.3	-6.3	-6.3	-6.3	-6.3	-6.3	-4.7	-3.8	-2.9	-2.1	-0.9	0
-5	-6.2	-6.2	-6.1	-4.7	-4.7	-4.7	-4.7	-3.7	-2.9	-2.9	-2.0	-0.9	0
-4	-6.3	-6.2	-6.2	-4.7	-3.8	-3.9	-3.8	-2.9	-2.1	-2.0	-2.1	-0.9	0
-3	-4.7	-4.7	-4.7	-4.7	-3.9	-2.9	-2.9	-2.9	-2.0	-0.9	-0.9	-0.9	0
-2	-3.8	-3.8	-3.8	-3.8	-3.8	-2.9	-2.1	2.0	-2.0	-0.9	0	0	0
-1	-3.9	-2.9	-2.9	-2.9	-2.9	-1.8	-0.9	0	0	0	0.9	1.8	1.8
0	-3.8	-2.9	-2.1	-2.0	-2.0	-0.9	0	0.9	2.1	2.1	2.1	3.0	4.1
+1	-1.8	-1.8	-0.9	0	0	0	0.9	1.9	3.0	3.0	3.0	3.0	4.1
+2	0	0	0	0.9	2.1	2.1	2.1	3.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.1
+3	0	0.9	0.9	0.9	2.0	3.0	3.0	3.0	4.0	4.8	4.8	4.8	4.8
+4	0	0.9	2.1	2.1	2.1	3.0	4.0	4.0	4.1	4.8	6.3	6.3	6.4
+5	0	0.9	2.1	3.0	3.0	3.7	4.7	4.8	4.8	4.8	6.2	6.2	6.2
+6	0	0.9	2.1	3.0	4.1	4.7	6.2	6.2	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3

2.3 控制系统硬件设计

硬件系统如图5所示。传感器主要有冷却液温度传感器、电动比例流量阀位置传感器、风扇1调速器位置传感器、风扇2调速器位置传感器和发动机转速

传感器。除发动机转速采用磁电式传感器外, 其余均采用电阻型。执行器主要有电动比例流量阀、风扇启动执行器、风扇调速执行器。除风扇调速执行器采用电动机外, 其余为继电器。系统控制器采用

抗干扰能力较强的Motorola单片机MC68HC908 LJ 12,它具有4个8位输入输出端口、且含有6个10位的A/D转换端口,资源足够,便于试验和改进使用。

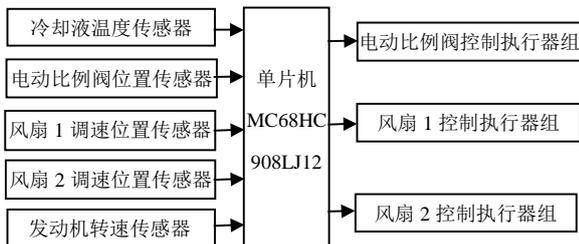


图5 冷却液温度模糊控制硬件系统

2.4 控制系统软件设计

根据冷却液控制系统工作的要求,控制系统要在不同的温度条件下进行调节,或启动不同的冷却装置,以维持最佳的冷却液温度。设最佳温度为 T ,电动比例流量阀最大位置为 S ,风扇1调速器最大位置 S_1 ,风扇2调速器最大位置 S_2 ,发动机转速 N ,则控制软件的控制流程如图6所示。

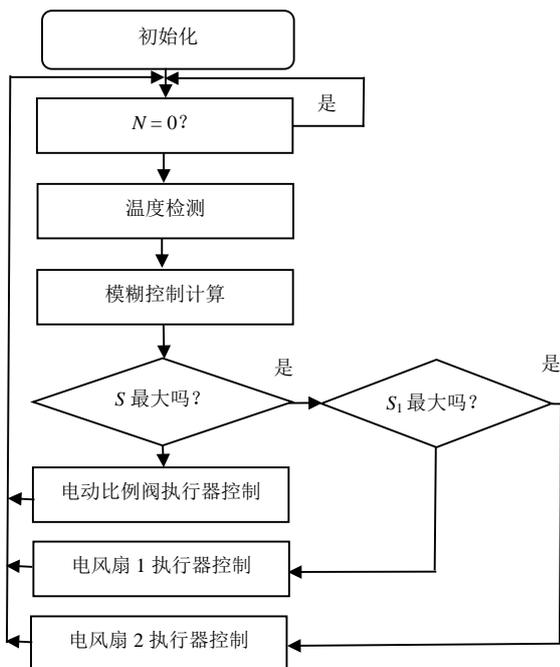


图6 冷却液温度模糊控制的流程软件

3 试验结果

本文将该系统装在轿车上试验,设定控制温度为 $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ 环境温度 $15\text{ }^{\circ}\text{C}$,测得的温度情况如表3所示。冷却液温度可控制在 $90\pm 4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 范围内。

表3 控制系统装车试验冷却液温度测试结果

时间/m	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
温度/ $^{\circ}\text{C}$	18	87	94	88	93	90	91	93	91	89	90

4 结束语

控制规则应通过大量的试验进行修正,以提高控制精度。执行器应进行改进或优选,以利于提高精度,降低成本。

冷却液温度对发动机性能有较大的影响,通过试验均可确定发动机的最佳冷却液温度,利用该控制系统可控制发动机的最佳冷却液温度,提高其动力性、经济性、排放性和使用寿命,具有一定的应用价值。

参考文献

- [1] 张铁柱, 张洪信. 水冷柴油机冷却液最佳工作温度的试验研究[J]. 内燃机学报, 2002, 20(4): 377-380. ZHANG Tie-zhu, ZHANG Hong-xin. Test research on water cooled diesel engines optimum work temperature[J]. Transactions of Csize, 2002, 20(4): 377-380.
- [2] CHALGREN R D, PARKER G G, ONER A, et al. A controlled EGR cooling system for heavy-duty diesel applications using the vehicle engine cooling system simulation[C/OL]. [2002-03-04]. <http://www.sae.org/technical/papers/2002-01-0076>.
- [3] MATTEO L D I. New and advanced cooling system concept for small cars[C]//Vehicle Thermal Management Systems, VTMS 6. Edmunds, Suffolk: Professional Engineering Pub Ltd, 2003: 685-694.
- [4] CORLONA E, ONDER C H, GUZZILLA L. Engine thermomanagement with electrical components for fuel consumption reduction[J]. International Journal of Engine Research, 2002, 3(3): 157-170.
- [5] 杨学云, 杨洪. 冷却水温度对发动机的影响. 农机化研究[J]. 2004, 4: 236-236. YANG Xue-yun, YANG Hong. Effect of cooling water temperature on engine[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2004, 4: 236-236.
- [6] PRADEEP S. An advanced engine thermal management system: nonlinear control and test[J]. IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, 2005, 10(2): 210-220.
- [7] PANG H H, BRANCE C J, AKEHURST S. Potential of a controllable engine cooling system to reduce NO_x emissions in diesel engines[C/OL]. [2004-03-08]. <http://www.sae.org/technical/papers/2004-01-0054>.
- [8] 王宏志, 张冬梅, 盛进路. 船舶柴油机冷却水温度控制系统的设计[J]. 青岛远洋船员学院学报, 2006, 27(4): 17-19. WANG Hong-zhi, ZHANG Dong-mei, SHENG Jin-lu. The microcontroller-based main engine cooling water temperature control system[J]. Journal of Qingdao Ocean Shipping Mariners College, 2006, 27(4): 17-19.
- [9] Roger, Clement Electric. Fan Assembly for Over-the-Road Trucks[P]. US4875521, 1989-10-24.
- [10] PERSET D, JOUANNET B. Simulation of a cooling loop for a variable speed fan system[C/OL]. [1999-03-01]. <http://www.sae.org/technical/papers/1999-01-0576>.

- [11] CORTONA E, ONDER C H. Engine thermal management with electric cooling pump[C/OL]. [2000-03-06]. <http://www.sae.org/technical/papers/2000-01-0965>.
- [12] CHO H, JUNG D, FILIPI Z S, et al. Application of controllable electric coolant pump for fuel economy and cooling performance improvement[C/OL]. [2004-05-27]. <http://store.asme.org>.
- [13] 权 龙, 李凤兰. 电液比例技术控制发动机冷却风扇的原理及特征[J]. 汽车技术, 1995, 7: 10-13.
QUAN Long, LI Fen-lan. Principle and characteristics of engine cooling fan control with proportioning technology of electricity and hydraulics[J]. Automobile Technology, 1995, 7: 10-13.
- [14] 苏 忆. 汽车发动机冷却系统智能控制的研究[D]. 南京理工大学, 2007, 11: 39-57.
SU Yi. Research on intelligent controlling technology of vehicle engine cooling system[D]. Nanjing: Nanjing University of Science & Technology, 2007.
- [15] 徐继涛. 发动机冷却智能控制系统的研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2007.
XU Ji-tao. Research of intelligent controlling system of engine cooling system[D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2007.
- [16] 卢广峰, 郭新民, 孙运柱, 等. 汽车发动机冷却系统的发展与现状[J]. 农机化研究, 2002, 2: 129-131.
LU Guang-feng, GUO Xin-min, SUN Yun-zhu, et al. Actuality and development of automotive engine-cooling system[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2002, 2: 129-131.
- [17] 张金柱. 现代发动机冷却系统的发展趋势[J]. 内燃机, 2005, (4): 7-9.
ZHANG Jin-zhu. Development trend of modern engines cooling system[J]. Internal Combustion Engines, 2005, (4): 7-9.
- [18] 刘曙光, 魏俊民, 竺志超, 等. 模糊控制技术[M]. 北京: 中国纺织出版社, 2001: 28-84.
LIU Shu-guang, WEI Jun-min, ZHU Zhi-chao, et al. Fuzzy control technology[M]. Beijing: China Textile & Apparel Press, 2001: 28-84.
- [19] 涂承宇, 涂承媛, 杨晓莱, 等. 模糊控制理论与实践[M]. 北京: 地震出版社, 1998: 6-30.
TU Cheng-yu, TU Cheng-yuan, Yang Xiao-lai, et al. Fuzzy control theory and practice[M]. Beijing: Seismological Press, 1998: 6-30.

编辑 黄 莘

(上接第418页)

- [8] JIN H, SUN J H. A fuzzy data mining based intrusion detection model[C]//10th IEEE International Workshop on Future Trends of Distributed Computing Systems (FTDCS04). [S. l.]: IEEE Computer Society, 2004.
- [9] JULISCH K. Clustering intrusion detection alarms to support root cause analysis[J]. ACM Transactions on Information and System Security, 2003, 6(4): 443-471.
- [10] MIKA K. A knowledge discovery methodology for telecommunication network alarm databases[D]. Helsinki: University of Helsinki, 1999.

编辑 熊思亮

· 我校科研成果介绍 ·

无线路由技术

无线路由技术具有以下特点:

(1) 建立战术互联网路由仿真系统。利用该系统, 研究了多种路由和分组调度算法。突破了快速响应网络拓扑变化的OLSR改进路由协议、提高路由发现和路由维护速度的AODV改进路由协议、新型核心树自组织动态路由算法、基于负载均衡的自组网并行多径路由方法和双重选举的WF2Q+改进分组调度策略等多项技术。

(2) 研制了具有自主知识产权的无线路由器实验模型。无线路由器集成了无线移动路由算法、用户管理算法、邻居检测算法等组网软件。

(3) 无线自组网实验演示系统, 由无线路由器和无线主机组成的两级网络结构, 具有多跳自组织组网和动中通移动切换能力, 能与Internet互联互通。