

一种仿生机器人面部控温系统

宋官臣 张胤 张鹏程 李超*

湖北省襄阳市高新技术产业开发区汽车试验场, 国家汽车质量检验检测中心(襄阳) 441004 中国

【摘要】在智能座舱的研究中,对驾驶员实时的生命状况进行检测,是考虑乘客安全的重要领域。体温感应可以揭示司机和乘客的生理状态。本文介绍了一种仿生机器人面部控温系统,通过在仿生机器人面部设置内凹沟道,用于固定带绝缘保护的Pt加热层,带绝缘保护的Pt层将电能转换为热能,用温度控制器输入目标温度,采用PID算法对温度控制器输入的温度进行调试控制,最后温度透过表面的硅胶皮肤,从而实现仿生机器人面部温度的恒定模拟。

【关键词】仿生机器人,智能座舱,温度控制器,PID算法,硅胶皮肤

【中图分类号】TP242.3 **【文献标识码】**A

A Biomimetic Robot Face Temperature Control System

Song Guan-Chen, Zhang Yin, Zhang Peng-Cheng, Li Chao*

National Automobile Quality Supervision and Test Center (Xiangyang), Xiangyang High tech Industrial Development Zone
Automobile Test Ground, Xiangyang, Hubei Province, 441004, PR China

【Abstract】In the study of intelligent cockpit, real-time detection of driver's life condition is an important field considering passenger safety. Thermosensing can reveal the physiological state of drivers and passengers. In this paper, a bionic robot facial temperature control system, through the facial concave channel setting, bionic robot used for fixed with Pt heat insulating protection layer, with the insulation protection of Pt layer converts electrical energy into heat energy, with the temperature controller input target temperature, using PID algorithm to control the temperature controller input temperature debugging. Finally, the temperature passes through the surface of the silicone skin, so as to realize the constant simulation of the facial temperature of the bionic robot.

【Keywords】Bio-robot; Intelligent Cockpit; Attemperator; PID Arithmetic; Silicone Skin

1 前言

2021年,以电动化、智能化为代表的汽车产业百年变革持续深化,电动化战役成果初现,且已成必然趋势;智能化承接电动化成为产业变革“风暴点”。汽车座舱也逐渐由电子化向智能化发展,成为整车智能化发展过程中的核心构成^[1]。

智能座舱仿生检测目标物的关键技术,包括活体识别、面部控温、面部特征点、视线标定、情绪姿态等。其中活体识别包含了人脸识别、温度、红眼效应。2022年10月14日,工信部发布了国家标准《驾驶员注意力监测系统性能要求及试验方法》,要求安装有驾驶员注意力监测系统的M类和N类车辆具备人机交互和驾驶员参与行为的监测功能^[2],其中仿生机器人作为驾驶员行为监测系统的测试标准工具。

采用真人进行面部温度模拟数据无法量化,且考虑到座舱内的复杂环境及测试的实时性,故通过仿生机器人作为面部温度模拟是检测座舱内目标物的重要途径。人体正常体温是以平均体温而界定的,健康状态下的体温范围在35℃至36.8℃之间^[3]。如何通过仿生机器人对面部温度进行模拟,本文采用PID算法对仿生机器人面部温度进行恒定控制。通过在仿生机器人面部设置内凹沟道,用于固定带绝缘保护的Pt加热层,带绝缘保护的Pt层将电能转换为热能,用温度控制器输入目标温度,采用PID算法对温度控制器输入的温度进行调试控制,最后温度透过表面的硅胶皮肤,从而实现仿生机器人面部温度的恒定模拟。

2 系统设计

2.1 面部控温结构

仿生机器人面部控温结构采用真人1:1比例制作,其头部中面部控温部分由带绝缘保护的Pt层、温度控制器、PID算法、硅胶面皮组成并模拟实现仿生机器人面部温度的恒定。仿生机器人头部设置有内凹沟道,用于放置并固定材料,具体实例如图1所示。



图1 仿生机器人面部控温系统实例图

2.2 绝缘保护Pt层

仿生机器人中的绝缘保护Pt层,具有厚度薄、重量轻、体积小、控温方便、升温快速等优点,以聚酰胺胺薄膜外绝缘体,以金属箔、金属丝为内导电发热体,经过高压热合而成^[4]。绝缘保护Pt层的制作方式为,将金属箔基片浸泡在聚酰胺胺溶液里,经过烘干,形成聚酰胺胺金属箔膜。把基材和金属箔膜放入高温箱中进行脱水,酰亚胺化热定型成膜,然后将其剥离、切割、卷取、酸洗、干燥等步骤,制得绝缘

保护 Pt 层。绝缘保护 Pt 层的发热芯为合金片，控温方式为热电阻控温，绝缘强度可达 500V ≥ 200MNB 抗电。仿生机器人的面部共放置了 4 个绝缘保护 Pt 层，分别在脸颊两侧以及头部两侧，以此使热量及时的传送到硅胶面表皮层。

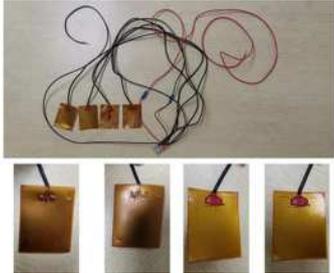


图 2 仿生机器人面部控温绝缘保护 Pt 层

2.3 温度控制器

从“测量温度→温度控制器比较温度→温度控制器计算输出目标温度与当前温度的偏差→控制加热或冷却操作量”，这一整个不断循环的过程叫做温度控制系统。仿生机器人面部控温系统采用一个温度控制器控制绝缘保护 Pt 层的温度，再与 PID 算法进行调试。

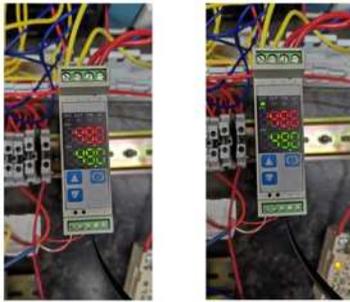


图 3 仿生机器人面部温度控制器

2.4 仿生机器人 PID 算法应用

2.4.1 PID 算法原理

PID 控制是现当下技术成熟、易熟悉和掌握、不需要建立数学模型、控制效果好、鲁棒性的模拟量闭环控制系统，其结构简单及调节方便成为工业控制的主流技术之一^{[5][6][7]}。其控制原理图如下：

PID 控制由三个控制部分组成分别为比例调节部分、积分调节部分、微分调节部分。其控制原理为：输入通过比例、积分、微分的运算后输出到执行机构，通过一个负反馈的测量元件传输运算形成一个闭环系统。电机的控制系统为输入信号通过 PID 控制技术输出到电机，然后再由反馈元件将反馈的信息进行新的运算，再输入到电机，形成一个闭环系统。

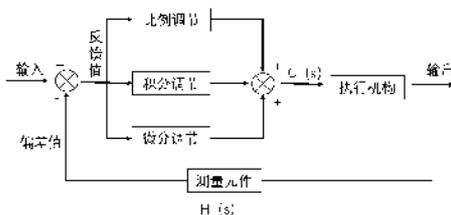


图 4 仿生机器人控温原理模型图

PID 模拟公式为：

$$u(t) = K_p [e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt}]$$

将 PID 公式离散化，推导出增量式 PID 公式：

$$\Delta u(k) = u(k) - u(k-1) = k_p [e(k) - e(k-1)] + K_i e(k) + K_d [e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)]$$

其中,偏差=目标值-反馈值 $e(k)=r(t)-y(t)$

K_p : 比例增益, 调适参数;

K_i : 积分增益, 调适参数;

K_d : 微分增益, 调适参数;

e : 偏差=目标温度值-当前温度值;

t : 目前时间。

2.4.2 PID 控制温度调整

PID 参数的调节是仿生机器人面部温度调节的核心部分，其根据环境及仿生机器人实际温度情况进行细致调节。比例调节是 PID 控制中最基本的部分，比例调节就是把被控制量的偏差乘以一个系数作为调节器的输出。其可以快速减小当前值与目标值之间的差距，但由于温度有热惯性的影响，即使调节的温度已经达到理想温度值的状态，温度的输出也不能立即停止，结果会导致温度超调，于是需要反过来调节温度，再次温度超调，从而形成振荡，产生温度偏差。在偏差温度=目标温度-当前温度，所以通过控制偏差趋近于 0，最终将使得当前温度趋近于目标温度。增益 K_p 越大，其调节的灵敏度就越高，调节作用越激进，反之比例增益 K_p 越小，调节作用越保守。

积分调节会不断累积误差的值，使得控制量增加，温度的值增大（或减小），使其控制精度得到提高，但是若所加积分时间太长，温度的动态响应就会变慢，被控温度就难以在短时间内恢复。这时温度的值继续增大（或减小）到目标温度后，温度趋于稳定，积分值将不会再变动，积分调节的作用就体现了，成功消除了温度偏差，温度稳稳的停留在理想温度。

由于系统会存在内在的和外在的一些因素，导致控制量发生小范围的波动，这时就需要进行微分调节去计算了误差的变化率。微分控制量将随着误差的变化率的增大而增大，使得温度产生更高的温度以快速回到目标位置，进而使得其温度更稳定。当温度在比例、积分控制作用下快速向目标温度靠近时，偏差快速降低，此时偏差的导数为负，微分控制项就将减小控制量，使得温度的上升速率减小，以防止其的温度过冲，相当于微分调节提供了一定的阻尼。

2.5 仿生机器人面部材质

聚甲基丙烯酸甲酯具有高透明度，易于机械加工等优点^{[8][9][10]}，适用于仿生机器人面部皮肤材质的选取。通过掺杂、硫化、倒模、高湿老化等操作，在仿生机器人皮肤表面形成类似人的皮肤颜色与反射率，并能模仿自然皮肤的弹性和灵活性。采用模具印压、上色、毛发植入等过程，制造出具有真人皮肤纹理、色斑、毛发的机器人皮肤，如图 5 所示。仿生机器人的皮肤的纯度为 29.7%，反射率为 23.6%，导热率为 0.2 且仿生机器人正常工作至温度稳定后，持续测量并记录 30 分钟，期间机器人头部最高温度为 36.8℃，最低温度为 36.1℃，满足了试验的需求。



图5 仿生机器人皮肤纹理

3 系统试验设计

本试验采用人体红外温度计测试仿生机器人面部控温系统。待温度恒定后，持续测量并记录30分钟，间隔5分钟采集一次数据。



图6 仿生机器人左右脸颊体温



图7 仿生机器人左右额头体温

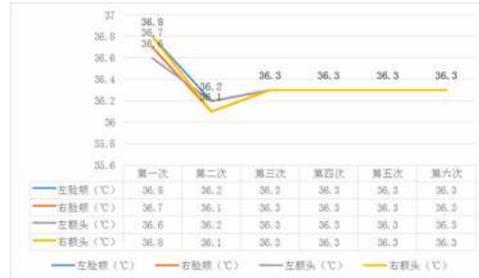


图8 仿生机器人面部温度试验数据图

由图所示，仿生机器人面部温度波动较小，温度控制较稳定，期间仿生机器人面部最高温度为36.8°C，最低温度为36.1°C。

4 系统结论

本文实现了仿生机器人面部控温系统的模拟，且将面部温度恒定在36.3°C。本系统的设计之初是为了在智能座舱的测试途中，通过本系统进行有效且快速的活体目标测试。

参考文献

- [1]晏江华,刘铁山,郑苗苗,陈苏洋.智能座舱系统测评技术研究[J].中国汽车,2022(08):51-57.
- [2]GB/T 41797-2022,驾驶员注意力监测系统性能要求及试验方法[s].
- [3]罗明智.室内空气流速对人体生理指标及热舒适性影响的研究[D].重庆大学,2005.
- [4]陈艳,王新宇,高宗明,朱晓光,漆宗能,蔡忠龙.聚酰亚胺/二氧化硅纳米尺度复合材料的研究[J].高分子学报,1997(01):75-80.
- [5]黄峰,汪岳峰,顾军,周冰.模糊参数自整定PID控制器的设计与仿真研究[J].光学精密工程,2004(02):235-239.
- [6]渠长威,朱性福,蒋海洋.PID温度控制系统设计应用研究[J].数字技术与应用,2017(02):21.DOI:10.19695.
- [7]何芝强.PID控制器参数整定方法及其应用研究[D].浙江大学,2005.
- [8]王丽,朱忠猛,蒋哈.聚甲基丙烯酸甲酯材料(PMMA)纳米压/划痕变形热恢复的实验研究.实验力学,2022,37(02):161-174.
- [9]黄明利,黄凯珠.三维表面裂纹相互作用扩展贯通机制试验研究[J].岩石力学与工程学报,2007(09):1794-1799.
- [10]王泓.材料疲劳裂纹扩展和断裂定量规律的研究[D].西北工业大学,2002.

致谢：本项目获得国家汽车质量检验检测中心（襄阳）课题20-KY-20《自动驾驶测试评价体系建设》。

作者简介：宋官臣，songguanchen@nast.com.cn,2011年毕业于吉林大学车辆工程专业，工程师，现就职于国家汽车质量检验检测中心（襄阳），主要从事智能网联整车性能测试研究。

张胤，zhangyin@nast.com.cn,毕业于哈尔滨工业大学，工程师，现就职于国家汽车质量检验检测中心（襄阳），主要从事智能网联整车性能测试研究。

张鹏程，zpc@nast.com.cn,毕业于吉林大学，硕士研究生，高级工程师,现就职于国家汽车质量检验检测中心（襄阳），主要从事智能网联整车性能测试研究。

李超，lichao@nast.com.cn,毕业于大连理工大学，高级工程师,现就职于国家汽车质量检验检测中心（襄阳），主要从事智能网联整车性能测试研究。