

智能座舱车载光测试关键技术及系统研发

董轩^{1,2*} 刘梦雅^{1,2} 周晟^{1,2} 陈传阳³ 唐林³ 王昊峰³ 漆奇⁴

1.交通运输部公路研究所 北京; 2.交通运输部车辆运行安全技术重点实验室 北京;
3.中公高远(北京)汽车检测技术有限公司 北京; 4.重庆渝微电子技术研究院有限公司 重庆

【摘要】随着国内市场汽车座舱智能配置水平的不断增长,智能座舱内用户的视觉体验得到大幅度提升。为保障驾驶员及乘客的安全,智能座舱的安全类试验需要对驾驶员的视线能力进行量化试验。本文阐述了一种智能座舱用仿生头部视觉追踪方法,开发了视觉仿生机器人,通过调整仿生机器人的身高、姿态对驾驶员的眼点位置进行模拟,在视觉仿生机器人的眼部植入高帧相机,可用于对智能座舱内的光学图标、成像进行拍摄和分析。

【关键词】智能座舱; 视线能力; 视觉追踪; 智能仿生机器人

Research and Development of Key Technologies and Systems for On-board Optical Test of Intelligent Cabin
DONG Xuan^{1,2}, LIU Mengya^{1,2}, ZHOU Shen^{1,2}, CHEN ChuanYang³, TANG Lin³, WANG Haofeng³, Qi Qi⁴

(1. Research Institute of Highway Ministry of Transport, Ministry of Transport, Beijing; 2. Key Laboratory of Operation Safety Technology on Transport Vehicles, Ministry of Transport, Beijing; 3. Zhonggong Gaoyuan(Beijing)Automobile Testing Technology Co., Ltd; 4. Chongqing (Yu) Microelectronics Research Institute Co., Ltd, Chongqing)

【Abstract】With the continuous growth of the intelligent configuration level of the automobile cockpit in the domestic market, the visual experience of users in the intelligent cockpit has been greatly improved. In order to ensure the safety of the driver and passengers, the safety test of the intelligent cockpit requires a quantitative test of the driver's line of sight ability. In this paper, a bionic head vision tracking method for intelligent cockpit is described, and an intelligent bionic robot is developed to simulate the driver's eye point position by adjusting the height and posture of the bionic robot. The main test is to implant a high frame camera into the eye of the bionic robot to take and analyze the optical icon and imaging in the cockpit.

【Keywords】intelligent cockpit; line of sight capability; visual tracking; intelligent bionic robot

1 前言

实验心理学家赤瑞特拉(Treicher)通过大量的试验证明,人类获取的信息83%来自视觉。特别是在智能座舱领域,对驾驶员眼椭圆位置的模拟是座舱光学试验的基础[1]。同时,为了满足座舱内生物活体识别算法,还需要有驾驶员仿生机器人在驾驶位上。本文阐述了一种智能座舱用视觉仿生机器人,可用于对驾驶员的视线能力进行量化试验[2-3],利用视觉仿生机器人对驾驶员身高、姿态和眼点位置进行模拟,在仿生机器人的眼部植入双目高帧摄像头、或者成像式色度计等光学设备,对座舱内的光学图标、成像进行拍摄和分析[4]。

2 系统概述

视觉仿生机器人是评价智能座舱图像质量的系统设备。系统由机器人主体、双目高帧相机、内置云台、主机箱、软件等部分组成,如图1所示。视觉仿生机器人是具备六轴运动能力,可实现头部双目高帧摄像头的六轴姿态调整(X轴向、Y轴向、Z轴向、俯仰、横滚、航向),其自带稳定云

台能够为高帧相机拍摄出稳定清晰的图像提供条件。系统参考《GB/T 11563—1995 汽车H点确定程序》和《GB/T 36606—2018 人类工效学 车辆驾驶员眼睛位置》等标准。可应用于电子后视镜测试、HUD测试、中控屏及仪表盘测试、多媒体后视镜测试等测试[5-6]。

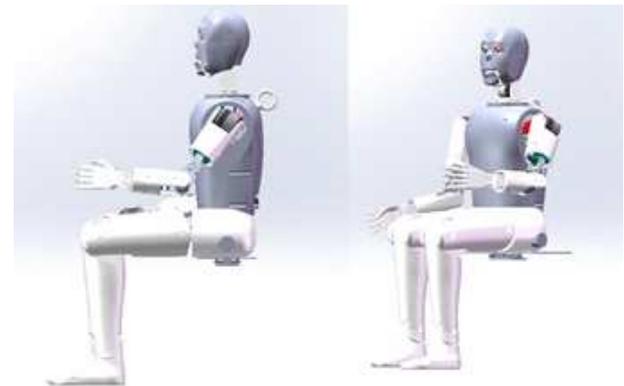


图1 仿生机器人系统模型图

2.1 视觉仿生机器人

视觉仿生机器人为本系统的核心部分,仿生机器人由X轴模组(X轴、X轴电机)、Y轴模组(Y轴、Y轴电机)、Z轴模组(Z轴、Z轴电机)、自稳定云台(云台俯仰轴、云台横滚轴、云台航向轴)、假臀底座、假腿组成,如图2所示。

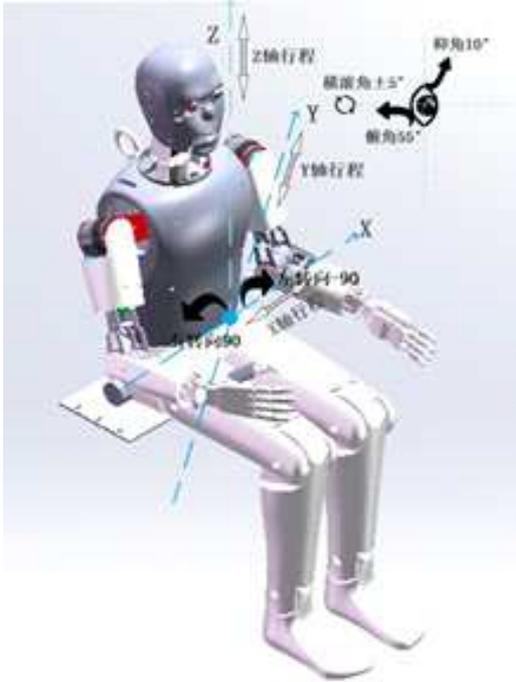


图2 仿生机器人组成

X轴模组实现X轴向运动范围；Y轴模组实现Y轴向运动范围；Z轴模组实现Z轴向运动范围；自稳云台实现云台的三轴自稳定，为成像式色度计拍摄稳定清晰的图像提供保证；假臀底座仿真人臀部外形，为系统提供稳定的底座。机器人可通过支架与座椅牢固结合。

2.2 仿生机器人主机箱

主机箱集成仿生机器人的电机驱动，用于仿生机器人支架供电和控制。主机箱共有6个接口，分别为：电源接口、电脑连接接口、编码器接口、电机线、刹车接口、限位接口、通信接口。

2.3 双目高帧摄像头

双目高帧摄像头为仿生机器人眼部位置的原点，双目摄像头采用双目视差立体成像技术，由两个摄像头和定位灯等模块组成，实现对成像式色度计姿态的校准重建，如图3所示。通讯方式可使用Modbus Tcp通讯协议、Tcp/Ip通讯协议或SD函数调用接口且可多机协调工作。

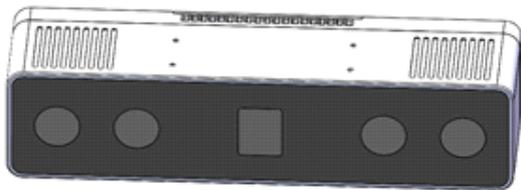


图3 双目摄像头模型图

2.4 软件

仿生机器人测试系统软件联合双目摄像头进行仿生机器人的眼部姿态调整，如图4所示。可设置仿生机器人自稳定云台的X轴、Y轴、Z轴的位置信息及姿态。当角度及姿态出现细微偏差时，可进行微调，使角度及姿态出现符合测

试的情况。



图4 仿生机器人测试系统软件

3 头部视觉追踪

3.1 云台自稳定功能

头部视觉追踪为云台自稳定功能。当云台在测试途中，出现X轴行程、Y轴行程、Z轴行程的角度偏差时，云台可自动调节为初始位置。自稳定系统设计方案，由高精度普通云台和稳定器改装而成，其中自稳定控制系统由高精度伺服电机、编码器和自稳定控制器组成。

3.2 高精度伺服电机

高精度伺服电机是云台自稳定功能中被用作执行元件的微特电机，其功能是将电信号转换成转轴的角速度。高精度伺服电机在自动控制系统中用作执行元件，把所收到的电信号转换成电动机轴上的角速度输出。本系统采用6025无刷电机是一款专门为云台设计的控制电机，具有精度高、响应快、转矩大等特点。

3.3 伺服编码器

伺服编码器的作用是进行高精度伺服电机的运动偏差修正，让运动电机严格按照PLC的指示进行工作。因为伺服编码器的存在，伺服电机才可以实现闭环控制，伺服系统才拥有了远超其他电机的控制精度。其原理是利用磁钢磁场的变化来获取马达转动角度的数据，通过控制器让马达迅速回到初始位置。使用编码器的优点有：①调试更简单快捷，无需大量繁重的调试和校准工作；②更省电，续航能力比没有编码器的普通无刷云台长五倍；③只需要一个IMU，不再需要FRAME IMU；④响应快，马达瞬时扭力增大，云台更稳定，各种角度无压力。

3.4 云台自稳定PID算法

云台自稳定功能采用PID算法实现，PID控制是当下技术成熟、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。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。

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。

3.5 云台自稳定功能精度试验

校准自稳定云台，在无编码器条件下云台稳定，不抖动。调试编码器过程中电机始终保持开启状态。云台自稳定功能，精度高达 $50 \mu m$ ，具体数值如下表所示。试验采用上述的方式进行数据记录，共记录 5 次试验，移动精度的计算方式为：移动精度 = (编码器反馈数值 - 移动数值) / 10^5 。

序号	移动数值 (mm)	编码器反馈数值 (mm)	移动精度 (μm)
1	45	45.01	22.217
2	20	19.99	50.025
3	50	50.01	19.996
4	30	29.99	33.344
5	80	80.01	12.498

4 系统效果

将视觉仿生机器人放置在驾驶座，仿生机器人主机箱放置在副驾驶座，双目摄像头支架夹着双目摄像头吸附在右侧玻璃窗上。首先结合水平仪和直尺刻度测量校准仿生机器人的相对坐标点。



图 5 调整仿生机器人的角度

在仿生机器人测试系统软件上将 X 轴、Y 轴、Z 轴的位置角度及姿态设备在软件中。使仿生机器人眼点位置对准中控屏，获取中控屏上的字符、色彩、亮度等数据进行分析评价，如图 5 所示。

5 总结

本系统的视觉仿生机器人系统应用于智能座舱中电子后视镜测试、HUD 测试、中控屏及仪表盘测试、多媒体后视镜测试等测试。后续可根据相应发布的国标和行标进行标准化测试验证其设备功能及性能情况。望本系统的研发能为检测行业的标准化测试贡献一份力量。

参考文献

- [1] Hengyu LI, Jun LUO, Jinbo CHEN, Zhixiang LIU, Shaorong XIE "Development of Robot Bionic Eye with Spherical Parallel Manipulator Based on Oculomotor Control Model", *Przełąd Elektrotechniczny*, 2012 | R. 88, nr 1b | 1-7.
- [2] X. Y. Wang, Y. Zhang, X. J. Fu, G. S. Xiang, "Design and Kinematic Analysis of a Novel Humanoid Robot Eye Using Pneumatic Artificial Muscles", *Journal of Bionic Engineering*, Vol.5, No.3, pp264-270, 2008.
- [3] T. Villgrattner, H. Ulbrich, "Design and Control of a Compact High-Dynamic Camera-Orientatation System", *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, vol.16, No.2, pp221-231, 2011.
- [4] J. Gu, M. Meng, A. Cook, M. G. Faulkner, "A study on natural movement of artificial eye implant", *Robotics and Autonomous Systems*, vol.32, No.2, pp153-161 (9), August 2000.
- [5] Xuan-yin Wang, Yang Zhang, Xiao-jie Fu, Gui-shan Xiang, Design and Kinematic Analysis of a Novel Humanoid Robot Eye Using Pneumatic Artificial Muscles, *Journal of Bionic Engineering*, Volume 5, Issue 3, 2008, Pages 264-270, ISSN 1672-6529, [https://doi.org/10.1016/S1672-6529\(08\)60034-7](https://doi.org/10.1016/S1672-6529(08)60034-7).
- [6] Bertozzi M, Broggi A, Fasciol A, Nichele S (2000) Stereo Vision-based Vehicle Detection. *IEEE Intelligent Vehicles Symposium*. Dearborn, MI, pp 39 - 44

项目支持：中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目《汽车智能座舱量化评测关键技术研究》(2022-9026)，北京市通州区科技计划项目《驾驶员注意力监测测试评价平台》KJ2022CX090。

*通讯作者：董轩。