

一种基于图像识别技术的驾驶员仿真机器人手部捕捉系统

杨赛 董庆齐 毛永志 朱桂昌*

中机科(北京)车辆检测工程研究院有限公司 中国北京 102100

【摘要】驾驶员仿真机器人用于模仿驾驶员的表情、行为举止,进行危险驾驶的动作,对智能座舱的安全性、交互性进行测试。仿真机器人手部需要对方向盘、手机、档把、按钮等进行把持与控制,对这些目标物的寻址通常是依靠空间位置进行输入确定。而车型的不同会导致机器人与方向盘等物体的相对位置改变,从而造成繁琐的标定工作。本文介绍了一种基于图像识别技术的驾驶员仿真机器人手部捕捉系统,通过视觉捕获定位,路径规划等方法,实现了机器人手部对目标的自动捕捉。以座舱内方向盘为目标物代表,通过深度学习的方式,进行自动识别,满足对驾驶员手部安全行为的测试要求。

【关键词】驾驶员仿真机器人、自动驾驶、高级辅助驾驶、深度学习、智能座舱

A driver simulation robot hand capture system based on image recognition technology

Yang Sai, Dong Qing Qi, Mao Yongzhi, Zhu Guichang*

Vehicle Testing Engineering Research Institute of China(Beijing), Beijing, 102100, China

[Abstract] The driver simulation robot is used to simulate the driver's expression and behavior, conduct dangerous driving actions, and test the safety and interaction of the intelligent cockpit. The hand of the simulation robot needs to control the steering wheel, mobile phone, handle, button, etc. The addressing of these objects usually depends on the input of spatial position. The different vehicle types will cause the relative position of the robot and the steering wheel to change, resulting in cumbersome calibration work. This paper introduces a driver simulation robot hand capture system based on image recognition technology. Through the methods of visual capture and positioning, path planning and so on, the robot hand can automatically capture the target. Taking the steering wheel in the cockpit as the representative of the target object, automatic recognition is carried out through in-depth learning to meet the test requirements for the driver's hand safety behavior.

[Keywords] driver simulation robot; automatic drive; advanced assisted driving; deep learning; intelligent cockpit

1 前言

自2000年以来,中国的交通事故发生率已经持续十多年高居世界第一,根据2001年中国交通部的统计,中国48%的车祸由驾驶员疲劳驾驶引起^[1]。随时智能座舱的发展,对驾

驶员的监控方式越来越丰富,通过图像、雷达、方向盘和油门等控制频次,对驾驶员的情绪、健康、疲劳等状态进行分析,这类设备统称为驾驶员行为监管系统(Driver Monitor System, DMS)。驾驶员仿真机器人应运而生,可以通过上万次的分心、疲劳、醉酒以及吸毒、死亡等模拟,对自动驾驶和高级辅助

驾驶系统进行测试分析^[2-4]。

当前驾驶员仿真机器人主要通过空间几何关系对座舱内的物品进行定位,当车型改变,驾驶员姿态改变,座椅调整,相对位置就会变化,从而需要繁琐的标定。特别是驾驶员与方向盘之间的相对位置,作为座舱测试的基础标定步骤重要性突出。本文介绍了一种视觉捕获定位与路径规划的方法,确保仿真机器人能够适应不同车型,完成真人手部的复杂动作,对座舱内的方向盘进行自动识别,满足对驾驶员手部安全行为的测试要求。该方法可以应用在仿真机器人座舱内的实物与虚拟按钮识别,在智能座舱安全和效率测试、驾驶员行为仿真、自动驾驶安全员模拟等方面应用广泛^[5-7]。

2. 系统设计方案

2.1 系统结构说明

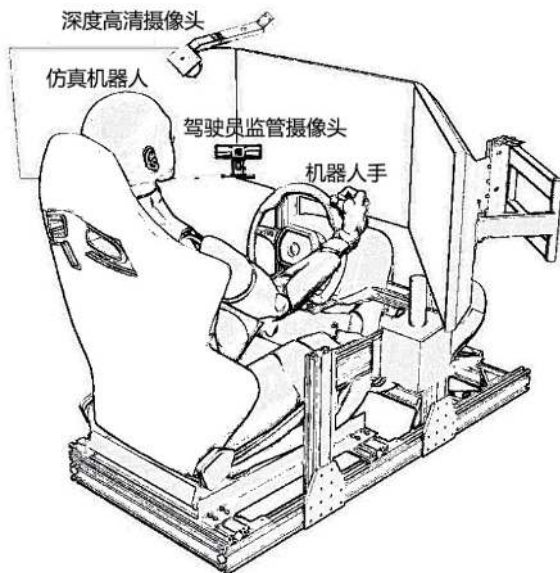


图1 系统结构图

系统结构如图1所示,主要包括仿真机器人,车载座椅支架,3D红外深度高清摄像头,摄像头支架等。将机器人安装放于主驾驶位,通过姿态调节使得机器人满足驾驶员的常规高度与角度,符合相关标准要求。3D红外深度高清摄像头安置于车辆主驾驶位车内顶棚,摄像头位置与角度可调,因考虑摄像头对手握方向盘有最佳的视角,图片采集区不被其他障碍物遮挡,避免干扰识别。在方向盘上装置六个触觉传感器,如图2所示,实现机器人手的压力进行反馈,从而模拟不同姿态的方向盘转向力度,进行座舱体验分析。

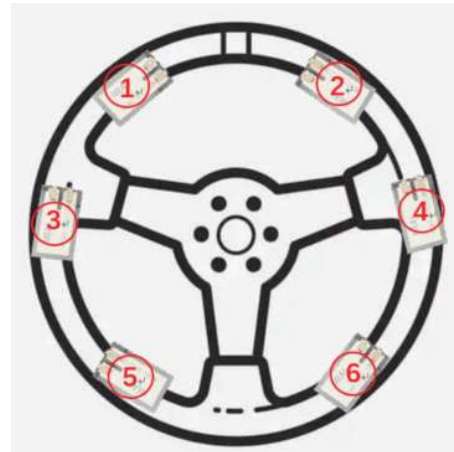


图2 方向盘上触觉传感器装载图

2.2 摄像头的识别与定位原理

2.2.1 图像识别系统概述

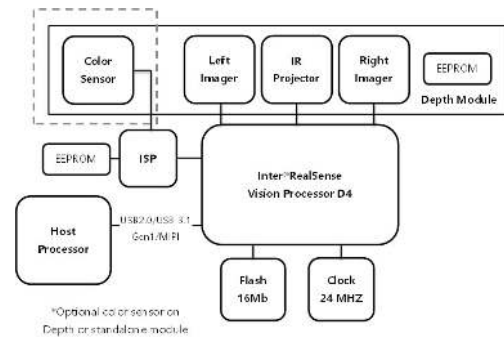


图3 3D 红外深度摄像头结构说明

3D 红外深度摄像头如图3所示,内置图像处理器,集成 inter RealSense D4 中央处理器,16MBflash,24MHZ Clock,ISP,以及其他外设 color Sensor,Left Imager, IR Projector, Right Imager 等。该摄像头成本低,可靠性高,低 EMC 干扰。

图像处理器处理图像过程如图4所示,主要包括:图像接收,第一存储,第二存储,数据读取,计算,数据输出等单元。摄像头感光元件将图像数据存储到第一存储单元,第二存储有学习到的数据模型数据,数据读取单元与第一,第二存储单元连接获取图像识别模型,采用设备识别模型对摄像头采集的图像数据进行计算分析,得到结果,系统根据图像数据计算目标空间位置坐标^[8],如图5所示。

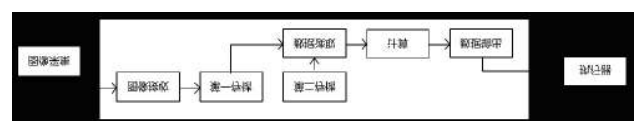


图4 图像处理过程示意图

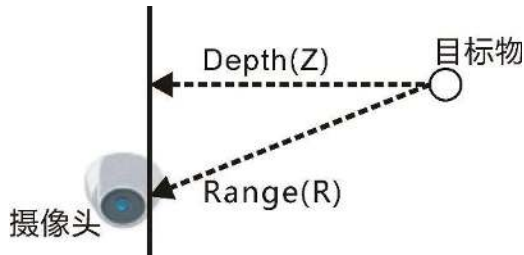


图 5 图像数据与空间位置关系结构图

2.2.2 图像识别模型创建说明

图像识别采用卷积神经网络模型，通过训练大量的标记点图片，创建图像识别模型，并不断优化模型的参数，提高识别率。训练主要包括，卷积，池化，Relu、Softmax 以及反馈机制，如图 6 所示。

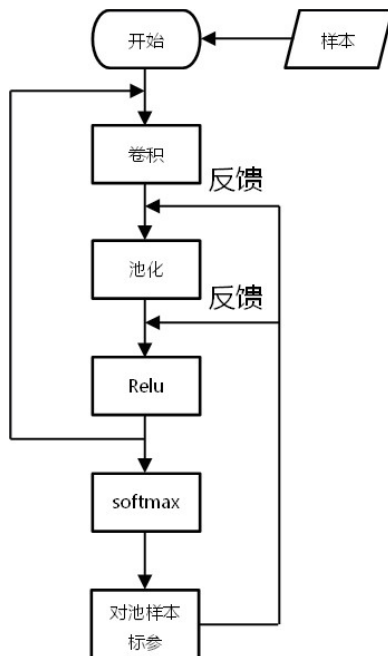


图 6 卷积神经网络模型图

卷积是用一个固定大小的矩形区去席卷原始数据，将原始数据分成一个个和卷积核大小相同的小块，而后将这些小块和卷积核相乘输出一个卷积值。卷积的本质就是用卷积核的参数来提取原始数据的特征，经过矩阵点乘的运算，提取出和卷积核特征一致的值，若是卷积层有多个卷积核，则神经网络会自动学习卷积核的参数值，使得每一个卷积核表明一个特征。卷积最主要的作用就是提取局部特征。池化也称为欠采样或下采样。主要用于特征降维，压缩数据和参数的数量，减少过拟合，同时提升模型的容错性。留下最相关的特征，或者是最明显的特征。增大感受野，及一个像素对应

回原图的区域大小。Relu 过程主要是留下相关特征，去掉不相关特征，卷积之后的正值越大，说明与卷积核相关性越强，负值越大，不相关性越大。

2.3 仿真机器人的系统控制原理

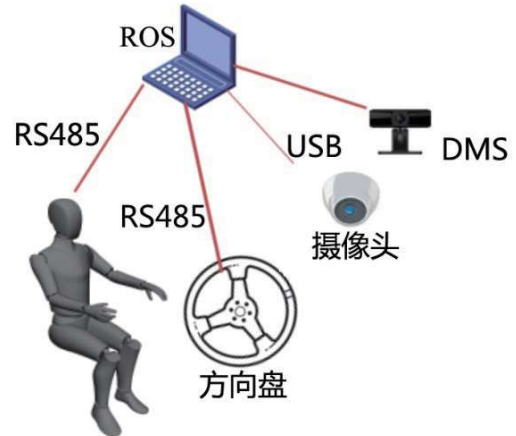


图 7 仿真机器人手部动作控制原理图

系统中控平台是使用了载有 ROS 的机器人控制系统。仿真机器人和方向盘位点传感器都是采用的 485 的通讯协议。深度摄像头与被测 DMS 设备均需要接入 ROS 平台。将每个设备设置 ROS 节点，独立采集各设备信息，并处理，分发。上位机软件对各设备的到位信息，进行统计与计算生成测试报告。ROS 指以 UNIX 环境为基础的用于机器人的操作系统，具有多重功能，主要包括硬件描述、底层驱动管理、程序发行包管理、消息传递、共用功能执行等。同时，该系统也提供了一些程序与库，从而编写程序、运行程序。与机器人通讯，获取机器人的双臂当前状态（例如：每个关节的位置），各个传感器的数据等。通过 TF5 库获取数据，包括机器人的位姿，其他物体位姿等局部信息。通过机器人控制器来控制机器人的每个关节做运动。ROS 作为机器人操作系统不仅可以和真实的机器人通信，也可以对机器人仿真模型（虚拟模型）进行相应的操作。ROS 当中有标准化机器人描述格式，可以识别机器人模型文件，可以描述机器人的结构、自由度以及关节等各个方面的情况，可以为机器人提供多种物理响应，例如运动学链、结构参数等，如图 7 所示。

需要通过 ROS 平台当中的 MoveIt，进行机械臂的运动规划。在进行机械臂的运动规划之前需要明确机械臂各个关节的初始位置以及目标位置的取值。之后需要利用 RRTconnect 规划算法生成机械臂的轨迹矩阵，在规划机械臂轨迹时需要

获取在关节空间中解算的关节角度插值，所以需要在笛卡尔空间当中进行轨迹规划。在笛卡尔空间中进行轨迹规划需要利用机器人逆运动学计算转化其表示方式。而在 ROS 平台当中，可以利用数值迭代算法进行机械臂运动学的求解，并转化工作空间。同时，利用 RRTconnect 算法获得的轨迹也可以避开自身干涉与障碍物等碰撞状态。

机器人的单臂旋转关节有 6 个，单臂包括：肩部两个，臂部两个，手腕两个。双臂系统运动与之相似，根据 D-H 参数法建立了该机器人的坐标系。在完成坐标系的建立后，需要根据相邻坐标系之间的约束关系明确 D-H 参数。根据参数并进行计算便可以得到机器人运动学正解如图 8 所示。

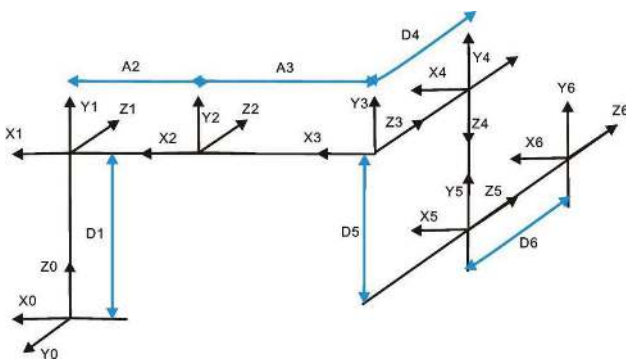


图 8 机器人手臂选择关节结构图

机械臂逆运动学可以实现机械臂位姿从工作空间到关节空间的映射，从本质上来看机械臂逆运动学是在已知末端执行器位置与姿态的条件下，对关节变量进行求解。可以通过三角函数与关节角的角度求出六个关节变量。

3 系统控制流程

首先将各设备安装按最佳测试视角安装。摄像头捕获方向盘图片，并检测是否有方向盘标定点模型。若之前没有模型，需要进行深度学习，创建模型。再进行三维空间坐标计算。将坐标信息在 ROS 系统内生成机器人手臂轨迹矩阵，将数据包发送至机器人，机器人开始执行手握方向盘动作。同时监听来自方向盘位点信号，机器人到位信号，以及被测设备 DMS 检测信号。将数据储存到上位机中并进行记录保存。循环执行数次，生成检测报告。

参考文献

- [1] Abe, T., Nonomura, T., Komada, Y., Asaoka, S., Sasai, T., Ueno, A., & Inoue, Y. Detecting deteriorated vigilance using percentage of eyelid closure time during behavioral maintenance of wakefulness tests. [J] International Journal of Psychophysiology, 2011 (82) 269–274.

软件系统包括两方面：一、基于 Ubuntu16.04 linux 操作系统对 ros 系统搭建。二、是使用 Python 制作上位机软件。ROS 实现多节点控制，数据采集与处理。上位机实现人机交互界面以及对数据的记录与保存，主界面如图 9 所示。



图 9 软件主界面图

4 试验与结果

测试机器人手握方向盘位置准确率与 DMS 检出率。测试时采用的方法如下：将各种测试工具按要求安装完毕，软件输入被测项目：01/02 点位手握方向盘，03/04 点位手握方向盘，05/06 点位手握方向盘。输入被测次数：每个项目 10 次。

表 1 测试结果统计表

序号	项目	测试次数	定位准确率	DMS 检出率
1	01/02 点位手握测试	10	100%	60%
2	03/04 点位手握测试	10	100%	100%
3	05/06 点位手握测试	10	90%	60%

从测试结果统计表 1 可以看出，机器人手握方向盘视觉定位，在 03 和 04 点位和 01/02 点位的准确率高达 100%，DMS 在 03/04 点位检出率也能达到 100%。05/06 点位定位准确率要稍微低一点 90%，而 DMS 检出率是 60%。

5 结论

基于图像识别技术的驾驶员仿真机器人手部捕捉系统，在方向盘捕获自己抓取准确率很高能够达到 96% 以上，可以适应不同环境，不同车型间迅速切换机器人状态，并且能够自由设定不同手部位姿，模拟器真人动作，取消了传统驾驶员仿真机器人的使用标定过程，提高了工作效率，有望用于驾驶员危险驾驶行为方面的法规标准与研发摸底方面的检测。

- [2] van Loon, R. J., Brouwer, R. F., & Martens, M. H. Drowsy drivers' under-performance in lateral control: How much is too much? Using an integrated measure of lateral control to quantify safe lateral driving. [J] *Accident analysis & prevention*, 2015 (84) 134–143.
- [3] 王迪. 基于人眼状态的疲劳检测算法研究与应用. [D] 电子科技大学, 2020
- [4] Jarosch, O., Bellem, H., & Bengler, K. Effects of task-induced fatigue in prolonged conditional automated driving. [J] *Human factors*, 2019 (61) 1186–1199.
- [5] Puspasari, M. A., Iridiastadi, H., Satalaksana, I. Z., & Sjafruddin, A. Fatigue classification of ocular indicators using support vector machine. [M] In *2018 International Conference on Intelligent Informatics and Biomedical Sciences (ICIIBMS)*, 2018 (3) 66–69.
- [6] 张堃. 船舶机舱值班人员眼部视觉识别及疲劳状态监测. [D] 大连海事大学 2019
- [7] 张博雅. 基于深度学习的驾驶安全评估方法研究. [D] 西安科技大学 2019
- [8] 黄玲, 洪佩鑫, 吴泽荣, 刘建荣, 黄子虚, 崔贇. 基于防疫常态化的驾驶员疲劳状态检测方法. [J] *交通信息与安全*, 2021 (39) 26–34.