

基于光学多传感器场景信息的视觉辅助驾驶技术

张 芳, 寿少峻, 刘 冰, 张兰兰, 冯 颖, 高 珊

(西安应用光学研究所, 陕西 西安 710065)

摘要: 为满足坦克、装甲车辆等军用车辆的闭舱、无窗驾驶需求, 研制了一套新型辅助驾驶系统。系统将分布于车辆四周的多路光学传感器获取车辆近身场景, 通过全景拼接算法得到车辆近身 360° 的全景鸟瞰视频, 该视频显示于车载显示屏, 用于车辆通过窄道、有障碍物等特殊路段, 或倒车时, 驾驶员观看。同时, 在车辆通过常规路段时, 上述视频可根据驾驶员头部扭转角度, 裁选出符合人眼观察视角的车外场景视频, 传输至驾驶员显示头盔上, 供驾驶员观看。如遇特殊情况, 车载显示屏会报警, 驾驶员将回归车载显示屏的观看。其中, 驾驶员头部位置确定方法采用了红外 LED 光源图像定位技术和 MEMS 惯性器件定位技术。在实验室, 搭建模型小车, 验证全景鸟瞰视频生成技术和头盔自由视点观察技术。此外, 还使用真实车辆进行了跑车实验。实验结果表明, 上述系统可满足闭舱无窗车辆在常规路况下行驶, 速度可达 40 km/h, 同时可辅助车辆窄道行车、障碍物绕行和倒车等事项顺利进行。

关键词: 辅助驾驶; 显示头盔; 红外 LED 光源; 全景拼接

中图分类号: TB133 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3788/IRLA20210632

Vision assisted driving technology based on optical multi-sensor scene information

Zhang Fang, Shou Shaojun, Liu Bing, Zhang Lanlan, Feng Ying, Gao Shan

(Xi'an Institute of Applied Optics, Xi'an 710065, China)

Abstract: In order to meet the needs of closed cabin and windowless driving of military vehicles such as tanks and armored vehicles, a new assisted driving system was developed. The scene around the vehicle was obtained through a multi-path optical sensors and the 360° panoramic view video of the vehicle body was obtained through the panoramic splicing algorithm. The panoramic video was displayed on the on-board display screen to assist the driver to watch the vehicle when driving in a narrow roads, an obstacles and the other special sections, or when reversing. When the vehicle driving in a standard road, the video can also provide a scene video around the vehicle according to the driver's head torsion angle, and transmit it to the driver's display helmet for the driver to use. In case of a special circumstances, the on-board display will give an alarm to driver. The driver's head position determination method used the infrared LED light source image positioning technology and the MEMS inertial device positioning technology. The vehicle modeling in the laboratory can verify the panoramic view video generation technology and the helmet free-viewpoint-observation technology. In addition, the driving experiments were carried out with a real vehicle. The experimental results show that this system can meet the requirements of vehicles with closed cabin and windowless driving with a standard road conditions, a speed of 40 km/h. It can assist in driving with a special situations such as narrow roads, obstacle detour and reversing.

Key words: assisted driving; display helmet; infrared LED light source; panoramic stitching

收稿日期: 2021-09-01; 修订日期: 2022-01-02

作者简介: 张芳, 女, 高级工程师, 博士, 主要研究方向为光学工程。

0 引言

坦克、装甲车辆实际作战时,为避免人员伤亡,将进入闭舱、无窗驾驶状态。这就亟需研制一套辅助驾驶系统,能够获取车辆一定距离范围内的路况,并将车外场景合理地呈现给驾驶员。目前,闭舱操作有两种显控方式适用于驾驶员,一种是驾驶员显示头盔^[1-4],利用驾驶员头部方位控制,显示该方位场景视频,并将该视频直接显示在头盔目镜中;另一种是车载显示屏,显示在坦克、装甲车的驾驶员观察屏上,显示模式和显示内容由屏幕周边的按键控制。驾驶员显示头盔由于其视角受限,当车辆通过窄道、有障碍道路,及倒车、上下坡时,无法同时看到车身周围其他部位的环境,致使车辆无法正常行驶。而车载显示屏不能根据人眼观察习惯提供等比的观察视角,给驾驶员营造真实的外界环境。二者均无法单独满足军用车辆闭舱作战需求。

文中设计的辅助驾驶^[5-9]系统采用光学多传感器获取场景信息,同时,将车载显示屏和驾驶员显示头盔两种显示方式相结合,车载显示屏用于车辆在特殊路段通行和倒车时使用,可显示车辆近身 360°范围内场景的全景鸟瞰图^[10-16],同时,可根据驾驶员的需求对某个方位的视频进行凸显显示;驾驶员头盔显示系统通过感知头部方位,将头部方向视频以增强现实透视投影的方式显示在头盔目镜中,真实还原外界环境观察习惯和观察视角,该方式用于车辆高速行驶于常规路面时使用,当路面出现特殊情况时,整个辅助驾驶系统会报警,并在车载显示屏上进行标注。此外,驾驶员显示头盔采用惯性器件和红外 LED 光源图像

跟踪相结合的方法,很好地实现了驾驶员头部扭转角度准确、实时跟踪。

目前,国内外尚无资料显示将头盔显示终端用于辅助驾驶系统的案例,更无将其与驾驶员车载显示终端相结合的相关例子。

1 系统组成

辅助驾驶系统主要由光学传感器子系统、显示子系统和图像处理子系统组成。

光学传感器子系统由分布于车体四周的四个光学传感器构成。每个光学传感器选用视场角大于 180°,具备宽动态、强光抑制、透雾等功能的星光级相机,以满足系统视场拼接和全天候工作的需求。

显示子系统由车载显示屏和驾驶员显示头盔构成。车载显示屏用于显示车辆近身四周 360°全景拼接鸟瞰图,驾驶员显示头盔用于显示以驾驶员视角方向为中心左右 20°范围内的车辆近身拼接鸟瞰图。驾驶员显示头盔由一个显示模块、跟踪模块、两个定位传感器部件和一个信息处理部件组成,如图 1 所示。其中,头盔显示模块采用了光波导超轻技术,以减轻头盔的体积和质量。

图像处理子系统由图像处理硬件和相应软件算法构成。图像处理硬件的核心器件包括协处理器和核心处理器。硬件处理板将协处理器与核心处理器进行集成设计,除了应用的相机组件输入接口,还预留了一些控制接口,并进行了图像输入输出的冗余设计。图像处理软件算法包括车辆近身全景图像拼接程序和根据驾驶员头部运动角度进行重投影子程序两个部分。

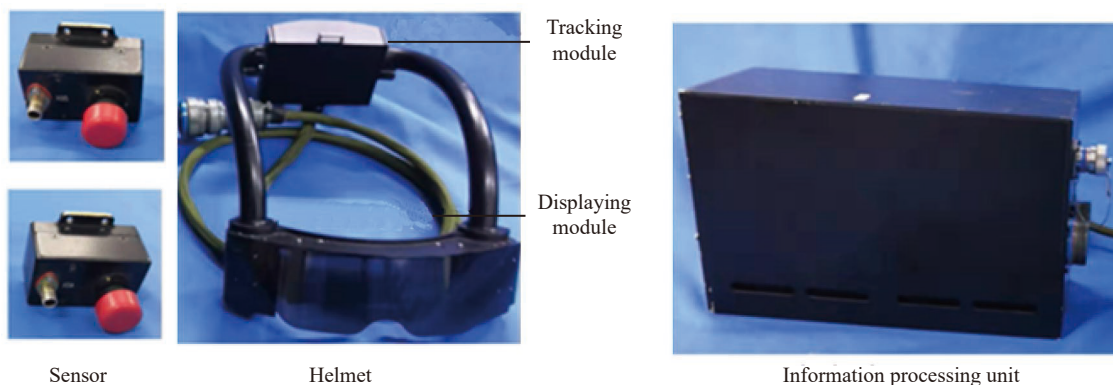


图 1 驾驶员显示头盔组成图

Fig.1 Structure of driver helmet display

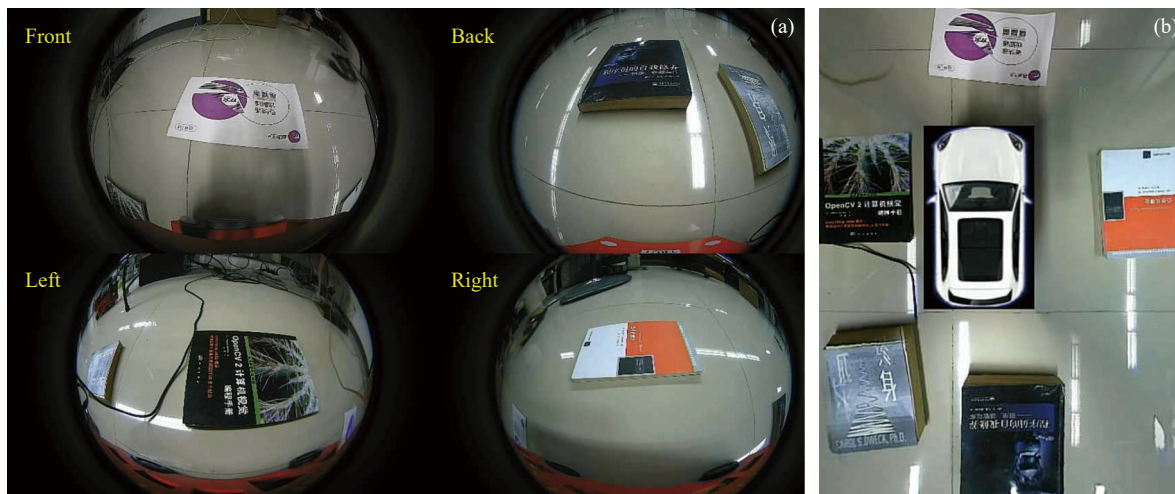


图 4 全景鸟瞰图拼接算法测试结果

Fig.4 Test result of panoramic aeroview stitching algorithm

3 驾驶员头部定位方法

驾驶员显示头盔将惯性器件和图像跟踪方法相结合,实现高精度、大范围、高实时性驾驶员头部跟踪,实时控制并获取驾驶员头部方位视频。目前,图像式头盔跟踪技术成熟且精度较高,但活动范围的提升与精度提升相互制约。MEMS 惯性传感器体积小、质量轻、易集成的特点可使其应用于头盔跟踪,最大优点是活动范围无限制,但存在累计误差,目前精度较低。文中结合 MEMS 惯性头盔定位和图像定位的性能优势,将二者进行组合,以适应车辆内部空间狭小、图像式头盔跟踪范围受限的问题,同时,惯性跟踪通过图像跟踪进行动态对准,解决惯性跟踪累计误差问题。

驾驶员头部定位子系统由两个定位传感器和一个跟踪模块组成。定位传感器部件装配实物见图 1 中的传感器组件,车载跟踪模块佩戴于驾驶员头盔后侧,见图 1 中的跟踪模块。图 5 为跟踪模块正面示意图,可以看到四个图像定位红外 LED 光源,壳体内部包含有 MEMS 惯性传感器。定位传感器分别安装在车辆驾驶员头部上方略后位置的机体框架上,左右两侧各一个,主要功能是作为图像传感器采集镜头视场内的头盔运动视频图像,解算车载跟踪部件红外发光点的实时位置。工作时, MEMS 惯性头盔定位和图像定位相互修正,通过信息处理组件(如图 1 所示)处理,最终给出驾驶员头部扭转的准确角度。



LED

图 5 跟踪模块正面示意图

Fig.5 Schematic diagram of the front of the tracking module

4 图像重投影算法及其测试

随动头盔的自由视点观察技术主要利用头盔的定位功能,在头盔显示器上显示以驾驶员视角方向为中心左右 20°范围内的车辆近身场景拼接鸟瞰图,实现驾驶员在常规路面的正常行驶功能。

如图 2 所示,在 OpenGL 中,将曲面模型放置在世界坐标系中,同时虚拟一个摄像机观察世界坐标中的曲面模型。在坦克、装甲车辆中,将驾驶员眼睛当作虚拟相机,观测整个三维模型。在全景鸟瞰图图像拼接算法的基础上,根据驾驶员头部定位子系统中信息处理组件输出的驾驶员头部转角信号,更改虚拟相机的观测方向,进行相应模型投影变换,将驾驶员视角方向为中心左右 20°范围内的拼接鸟瞰图筛选出来,输出至驾驶员头盔显示屏。图 6 为在小车模型实

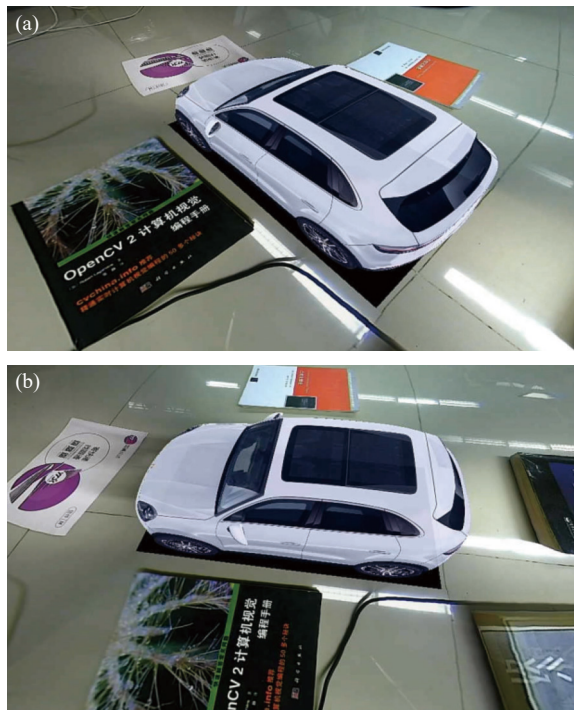


图 6 不同视点下场景显示效果

Fig.6 Scene display effect from the different angle of view

验中两个模拟视点下观测到的全景拼接图像。

5 外场实验

将摄像组件加装在图 7 所示的车辆四周, 每个方向各一个, 并改装驾驶员显示屏供车辆周围全景图像显示, 行驶过程中, 将驾驶员前方挡风玻璃和两个后视镜遮蔽, 驾驶员戴上头盔显示装置。图 7(a) 为常规水泥路面, 图中白线可用于测试测量侧方停车能力; 图 7(b) 为常规路面放置两个障碍物, 用于测试车辆避障行驶, 也可将两个障碍物之间距离缩小, 用于测试车辆倒车功能; 图 7(c) 划定了一条宽 3 m 的窄道, 用于测试车辆窄道行车。具体测试项目及结果如表 1 所示, 表中路况如上描述, 用图 7(a)、(b)、(c) 表示, 不再赘述。

实验结果表明, 车辆在常规路况下行驶, 速度可达 40 km/h, 同时该辅助驾驶系统可辅助车辆窄道行车、侧方停车、障碍物绕行和倒车等事项顺利进行。



图 7 外场实验

Fig.7 Outfield experiment

表 1 辅助驾驶系统外场实验结果

Tab.1 Outfield experiment results of driving assistant system

Test item	Road condition	Test result
Vehicle speed	Fig.7 (a)	At the highest speed of 40 km/h, run normally
Side parking	Fig.7 (a)	Well done
Obstacle avoidance	Fig.7 (b)	Well done
Backing into the garage (3 m wide)	Fig.7 (b)	Well done
Narrow track (3 m)	Fig.7 (c)	Well done

6 结 论

文中将头盔显示终端与车载显示终端进行结合,二者优势互补,解决了坦克、装甲车辆无窗、闭舱驾驶的问题,实验室内、外实验结果表明,所设计的辅助驾驶系统可以解决车辆在正常道路、特殊道路上的行驶问题,及车辆倒车、绕过障碍物等相关行驶问题。

参考文献:

- [1] Bai Yu, Xing Tingwen, Jiang Yadong, et al. Design of head-mounted display optical system with DOE [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2012, 41(10): 2753-2757. (in Chinese)
- [2] Zhang Shuhui, Huang Minghe, Cheng Qiluan, et al. Alignment automation of observation point in automatic measurement on parallax of helmet mounted display [J]. *Journal of Applied Optics*, 2019, 40(1): 39-44. (in Chinese)
- [3] Zeng Fei, Zhang Xin. Waveguide holographic head-mounted display technology [J]. *Chinese Optics*, 2014, 7(5): 731-738. (in Chinese)
- [4] Zhang Bo, Wang Ling, Chang Weijun, et al. Optimal design of free-form-surface optical component in helmet mounted display [J]. *Journal of Applied Optics*, 2014, 7(5): 731-738. (in Chinese)
- [5] You Anqing, Pan Xudong, Zhao Ping, et al. Research on road parameters calculation for auxiliary driving with LIDAR [J]. *Journal of Applied Optics*, 2020, 41(1): 209-213.
- [6] Wang Tonghao, Liu Bingqi. Feasibility study on infrared stereo assisted driving system [J]. *Optical Instruments*, 2018, 40(3): 60-65. (in Chinese)
- [7] Li Hongpeng. Research on panorama assistant driving system based on fish eye lens [J]. *Electro-optic Technology Application*, 2018, 33(3): 10-16. (in Chinese)
- [8] Wang Shifu, Luo Huiduo, Huang Ting, et al. Research on the design of automobile assistant driving system [J]. *Modern Information Technology*, 2020, 4(18): 13-16. (in Chinese)
- [9] Wang Tonghao, Liu Bingqi, Huang Fuyu, et al. Reasonable benefit value of the parameters of the parallel infrared binocular stereo system [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2017, 46(9): 0904004. (in Chinese)
- [10] Liu Jinliang, Bu Fanliang. Design and implementation of fisheye panoramic stitching system [J]. *Electro-optic Technology Application*, 2019, 18(1): 112-115. (in Chinese)
- [11] Lan Hong, Hong Yuhuan, Gao Xiaolin. Optimized SIFT and application in panoramic stitching image registration [J]. *Journal of Chinese Computer Systems*, 2016, 37(5): 1052-1056. (in Chinese)
- [12] Ma Xuesong, Zhang Haiyang, Han Lei, et al. Research on panoramic stitching in laser active imaging [J]. *Laser & Infrared*, 2015, 45(8): 977-981. (in Chinese)
- [13] Ren Jing, Yao Jian, Dong Yingqing, et al. Improved algorithm of creating street-view panorama [J]. *Computer Engineering and Applications*, 2017, 53(6): 193-199. (in Chinese)
- [14] Li Jia, Duan Ping, Zhang Chi. Video panoramic stitching based on image block matching [J]. *Journal of Basic Science and Engineering*, 2018, 26(4): 697-708. (in Chinese)
- [15] Li Jiguo, Wang Yue, Zhang Xinfeng, et al. A luminance compensation method for fisheye video panorama stitching [J]. *SCIENTIA SINICA Informationis*, 2018, 48(3): 261-273. (in Chinese)
- [16] Zhou Hui, Luo Fei, Li Huijuan, et al. Study on fisheye im age correction based on cylinder model [J]. *Computer Applications*, 2008, 28(10): 2664-2666. (in Chinese)