

[文章编号] 1003-4684(2024)02-0034-04

基于最佳观感效果的电子后视镜图像处理方法

曾雨晴^{1,3}, 王珺琿², 姚思威², 王正家^{1,3}

(1 湖北工业大学机械工程学院, 湖北 武汉 430068; 2 湖北工业大学底特律绿色工业学院, 湖北 武汉 430068;

3 现代制造质量工程湖北省重点实验室, 湖北 武汉 430068)

[摘要] 传统玻璃后视镜风阻风噪大, 无法接入智能驾驶系统, 所以电子后视镜取代传统后视镜已成为趋势。但电子后视镜使用鱼眼摄像机, 所显示图像畸变大, 无法像玻璃后视镜一样在近距离放大驾驶员所关注的视野, 远距离缩小物体以此显示更多视野。通过对玻璃视镜放大系数和驾驶员视野角和物距的分析, 得出适用于电子后视镜图像放大系数变换的方法, 根据此方法对电子后视镜图像进行处理, 以此达到显示最佳观感。实验结果证明, 变换后的电子后视镜图像各处放大系数与玻璃视镜相差为 9.52%, 优于市面上仅经过鱼眼矫正的图像显示效果, 在司机主观观感上能很好地提供“近距离放大外部环境, 远距离更大视野”的功能, 提高了驾驶安全性。

[关键词] 鱼眼矫正; 电子后视镜; 放大系数; 商用车驾驶员视野

[中图分类号] TP391 **[文献标识码]** A

商用车玻璃后视镜存在风阻风噪大、无法接入智能驾驶系统等问题, 因此电子后视镜取代传统玻璃视镜已成为未来的趋势。为保证驾驶安全, 根据 ISO 标准, 电子后视镜的图像观感需在显示中央区域物体成像呈现较小变形以准确判断行驶环境, 显示四周区域则需要提取足够大的视野, 为驾驶预判提供条件。目前市面上电子后视镜大多使用鱼眼摄像机, 无法达到 ISO 标准规定的显示效果。

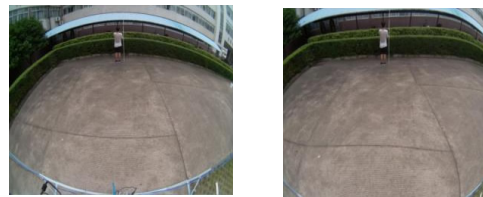
为获得电子后视镜最佳观感, 显示图像大多数处理算法为鱼眼畸变矫正算法。戴姆勒公司^[1]针对电子后视镜显示图像畸变, 以畸变图像中变弯曲直线变换成直线的思想, 使用霍夫变换进行图像变换。该方法虽然简单有效, 但是对图像噪声敏感, 对图像中直线的精度要求高, 在变换中很容易失真。对于电子后视镜系统而言, 图像处理速度和图像处理后的效果更为重要。戴姆勒公司的算法只对图像进行了鱼眼畸变矫正, 未考虑放大系数对图像显示效果的影响。也有公司在使用著名的 Inception^[2] 和 VGGNet^[3] 深度学习网络来对电子后视镜鱼眼畸变进行变换, 虽然提高了在鱼眼畸变校正中的网络准确率。但深度学习算法运算量大, 无法在算力受限的车载电子后视镜系统中使用。

电子后视镜的图像变换需符合 ISO 标准, 而 ISO 标准中电子后视镜的显示图像缩放一般以放大系数来评估。本文先对鱼眼畸变图像进行矫正, 保

证图像各处放大系数一致, 再通过研究影响玻璃视镜放大系数的相关因素, 确定以放大系数和驾驶员视野角的关系来对图像进行变换。

1 电子后视镜图像鱼眼畸变矫正

电子后视镜使用的是 140°鱼眼摄像机, 图像有严重鱼眼畸变, 图像上各处的放大系数未知。而对图像进行鱼眼畸变校正后可将其近似看作 $r \rightarrow \infty$ 的玻璃视镜。根据 ISO 标准^[4] 放大系数公式计算可知, 畸变矫正后的图像上各处放大系数均一致, 方便后续根据玻璃视镜放大系数对图像进行变换。采用张正友平面标定法和多项式模型变换算法对图像进行鱼眼畸变校正^[5], 校正效果如图 1 所示。



(a) 矫正前

(b) 矫正后

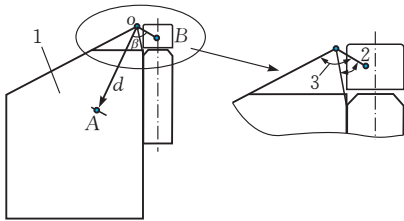
图 1 畸变矫正图像对比

2 玻璃视镜放大系数分析

传统玻璃视镜的显示效果更加接近“近距离放大物体提高驾驶员分辨准确性, 远距离缩小物体以提供更大视野”, 因此可通过对玻璃视镜放大系数的

分析得出电子后视镜图像的变换函数。玻璃视镜放大系数为通过视镜观察到的物体正确尺寸与驾驶员观察到物体尺寸之间的关系。不同车系对眼点的规定不一样。本文选用的眼点为固定眼,为驾驶员座椅中心垂直向上高度为 635 mm 的点。

以乘客侧广角外视镜(图 2)为例,图 2 中 O 为玻璃视镜所在位置, A 为物体所在位置, B 为驾驶员眼点。根据 ISO 标准,玻璃视镜的放大系数主要与物体到视镜的距离 d (即 OA 的长度,以下简称物距 d)以及眼点到广角外视镜连线 OB 之间的夹角 β (以下简称驾驶员视野角)有关。市面上产品制定 β 值的研究是在 2D 俯视图中完成的,即设定一条线,让其从眼点开始,通过玻璃视镜的中心点,然后到达最小显示视野的任一侧。



1—法规规定显示视野;2—驾驶员最小视野角;
3—驾驶员最大视野角

图 2 乘客侧广角外视镜视野俯视图

ISO 标准中放大系数的计算如下所示。

1)当 $d_{\text{object}} \rightarrow \infty$ (即物距 d 无限远时)和 $\beta=0$ (即直立在视镜前面时)时,对应的放大系数

$$M_0 = [(1 + 2 a_{\text{mirror}}) / r_{\text{mirror}}]^{-1} \tag{1}$$

2)当 $d_{\text{object}} \rightarrow \infty$,改变 β 值时,对应的放大系数

$$M(\beta, d_{\text{object}} = \infty) = \lim_{\Delta a \rightarrow 0} \frac{\Delta a}{\Delta \beta - \Delta a} = \lim_{\Delta \beta \rightarrow 0} \frac{\Delta a}{\Delta \beta - \Delta a} = \lim_{\beta_1 \rightarrow \beta_2} \frac{\arcsin\left(\frac{r}{a+r} * \sin \frac{\beta_2}{2}\right) - \arcsin\left(\frac{r}{a+r} * \sin \frac{\beta_1}{2}\right)}{\beta_2 - \beta_1 - \arcsin\left(\frac{r}{a+r} * \sin \frac{\beta_2}{2}\right) + \arcsin\left(\frac{r}{a+r} * \sin \frac{\beta_1}{2}\right)} \tag{2}$$

其中: $\beta_2 > \beta_1, a = a_{\text{mirror}}, r = r_{\text{mirror}}$ 。

3)当 $\beta=0$,改变 d_{object} 值时,对应的放大系数

$$M(\beta = 0, d_{\text{object}}) = \frac{1}{1 + \frac{2a_{\text{mirror}} * d_{\text{object}}}{r_{\text{mirror}} (a_{\text{mirror}} + d_{\text{object}})}} \tag{3}$$

综合式(1)、(2)、(3)可知改变 β 和 d_{object} 的放大系数

$$M(\beta, d_{\text{object}}) \approx \frac{M(\beta, d_{\text{object}} = \infty) * M(\beta = 0, d_{\text{object}})}{M_0} \tag{4}$$

根据式(4)可得到如图 3 所示的玻璃视镜放大系数与 d 值和 β 值的函数关系。实际驾驶中,驾驶员在主后视镜上一般重点观察距离商用车 30 m 内的环境信息,所需观察的视野角为 $55^\circ \sim 75^\circ$ 。

图 3 中,横坐标为驾驶员视野角 β ,纵坐标为放

大系数 M ,从下到上依次代表物距 d 的增加。依此类推,可根据式(4)计算出驾驶员侧和乘客侧不同视镜的放大系数与物距 d 和驾驶员视野角 β 的关系,由此可分析得出驾驶员视野角 β 恒定物距 d 变化时,与物距 d 恒定视野角 β 变化时所引起的放大系数 M 变化率及其比值(表 1)。

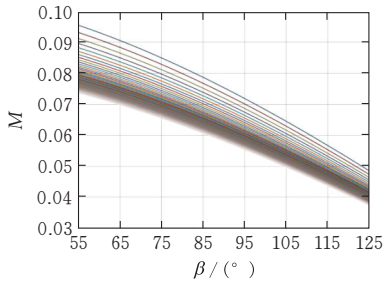


图 3 驾驶员侧主后视镜放大系数

表 1 不同变量引起放大系数变化率

		M/%		
		$a(\beta \text{ 恒定, } b(d \text{ 恒定, } d \text{ 变化})$	$b(\beta \text{ 变化})$	b/a
驾驶员侧	主后视镜	10.71	43.97	4.11
	广角外视镜	20.43	128.25	6.28
乘客侧	主后视镜	12.53	56.67	4.5
	广角外视镜	25.84	189.26	7.32

由表 1 可知,以驾驶员侧广角外视镜为例,驾驶员视野角 β 变化对放大系数的影响是物距 d 的变化对放大系数影响的 6.28 倍。因此以驾驶员的视野角 β 变化对放大系数的影响为主要研究对象,根据最小二乘法对不同物距下多条曲线进行拟合,获得驾驶员视野角 β 与放大系数 M 的关系式,这既考虑到物距 d 的影响,又能得到放大系数 M 随驾驶员视野角 β 变化的关系式(以下简称为变换函数)。

3 图像放大系数变换

对玻璃视镜放大系数的分析是在俯视图下求得的变换函数,并不能适用于电子后视镜的图像放大系数变换上,还需进行投影变换将俯视图的放大系数 M 与驾驶员视野角 β 之间的关系转化为显示图像上像素点之间的关系。根据变换函数的分析可知,图像放大系数变换实际上是在俯视图极坐标下图像保持极角不变,在极径方向根据放大系数的变化进行缩放。在汽车俯视图上构建一个以玻璃视镜与地面垂点 O 为原点的极坐标(图 4),极径为 r ,极角为 θ 。以平行车身为 y 轴,垂直车身为 x 轴。

设驾驶员眼点与原点 O 连线和 y 轴的夹角为 β_0 ,则可求得放大系数 M 与极角 θ 的关系:

$$M(\theta) = -0.6\left(\frac{\pi}{2} + \beta_0 - \theta\right)^2 + 0.001\left(\frac{\pi}{2} + \beta_0 - \theta\right) + 0.1 \tag{5}$$

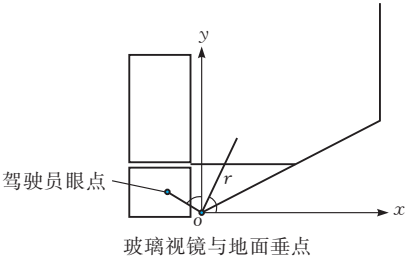


图 4 汽车俯视图

极坐标中放大系数的变化可看作物体与原点相对位置的变化,即极径 r 的长度变换。设变化后的极径

$$r' = kM(\theta)r \tag{6}$$

其中 k 为常数系数。令 $\theta = 0$ 时, $kM(\theta) = 1$ 。联合式 6 可知, r 与 r' 之间的关系式为

$$r' = k \left[-0.6 \left(\frac{\pi}{2} + \beta_0 - \theta \right)^2 + 0.001 \left(\frac{\pi}{2} + \beta_0 - \theta \right) + 0.1 \right] r \tag{7}$$

又在极坐标中

$$\begin{cases} x = r \cos \theta \\ y = r \sin \theta \end{cases} \tag{8}$$

将极坐标系转化为笛卡尔坐标系,设图像上点变换后坐标为 (x', y') , 则有:

$$\begin{cases} x' = A \cos \theta \\ y' = A \sin \theta \end{cases} \tag{9}$$

$$A = kr \left[-0.6 \left(\frac{\pi}{2} + \beta_0 - \theta \right)^2 + 0.001 \left(\frac{\pi}{2} + \beta_0 - \theta \right) + 0.1 \right]$$

但俯视图下求得的图像关系不可直接用于摄像机拍摄的图像上,还需经过投影变换,将俯视图的关系转化为电子后视镜拍摄图像上像素点的关系。根据鱼眼摄像机图像成像过程可知:

$$\begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_x/d_x & 0 & u_0 & 0 \\ 0 & f_x/d_y & v_0 & 0 \\ 0 & 10 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R & t \\ 0^T & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix} \tag{10}$$

写成矩阵形式为:

$$\begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \mathbf{A}_R \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}$$

其中 \mathbf{A}_R 为变换矩阵。设 $\mathbf{M} = \mathbf{A}_R$ 可得

$$\begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_{00} & m_{01} & m_{02} \\ m_{10} & m_{11} & m_{12} \\ m_{20} & m_{21} & m_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} \tag{11}$$

在图像标定及鱼眼畸变校正中已求得矩阵 \mathbf{M} 。设变化后的图像点为 (u', v') , 则变化后的像素点坐标:

$$\begin{cases} u' = \frac{m_{00}kr\mathbf{M}(\theta)\cos\theta + m_{01}kr\mathbf{M}(\theta)\sin\theta}{m_{20}kr\mathbf{M}(\theta)\cos\theta + m_{21}kr\mathbf{M}(\theta)\sin\theta} \\ v' = \frac{m_{10}kr\mathbf{M}(\theta)\cos\theta + m_{11}kr\mathbf{M}(\theta)\sin\theta}{m_{20}kr\mathbf{M}(\theta)\cos\theta + m_{21}kr\mathbf{M}(\theta)\sin\theta} \end{cases} \tag{12}$$

4 实验结果

本文以东风商用车驾驶员侧主后视镜为例,主后视镜的曲率半径 $r=1.2\text{ m}$,驾驶员侧眼点到视镜的距离 $a=1.7\text{ m}$,驾驶员侧眼点到视镜的距离 $a=1.7\text{ m}$,取 $\pi=3.1416$ 。以驾驶员视野角相差 1° 和物距 d 相差 0.5 m 进行取样。

再通过最小二乘法多项式对数据进行拟合,拟合出放大系数 M 与驾驶员视野角 β 之间的函数曲线(图 5)。拟合出的放大系数 M 与驾驶员视野角 β 之间函数关系式(以下简称变换函数)为 $M(\beta) = -0.6\beta^2 + 0.001\beta + 0.1$ 。

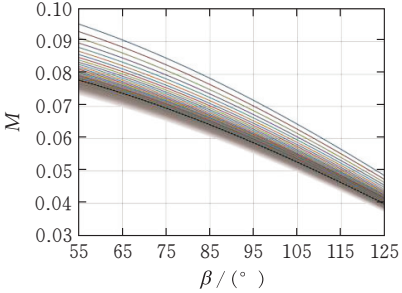
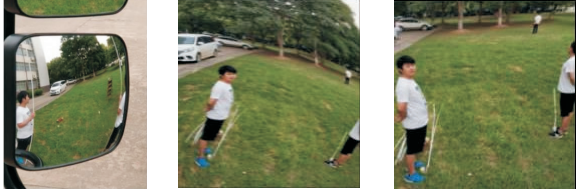


图 5 变换函数拟合图像

根据玻璃视镜放大系数求得的变换函数对图像进行变换,最终实验结果如图 6、7 所示。



(a)玻璃视镜显示效果 (b)鱼眼矫正 (c)放大系数变换

图 6 电子后视镜图像变换效果对比



(a)鱼眼矫正 (b)放大系数变换

图 7 电子后视镜图像变换效果对比

从图 6 中可知,图 6b 为只经过鱼眼畸变矫正的图像,各处图像显示效果无明显区别,对近距离物体放大不足,且远距离视野涵盖范围小。图 6c 中经过玻璃视镜放大系数变换后的图像能放大近距离物体给驾驶员更加清晰准确的显示,在远距离上能涵盖更多的视野范围。

根据玻璃视镜放大系数变换后的图像更加符合人眼的观察习惯。图 7 为驾驶员侧主后视镜图像变

换效果。在图 7a 中,道路前后宽度变化不明显,驾驶员在观察图像时不便于直观地感知出物体离自己的远近。而图 7b 中图像显示效果更加贴近物体显示规律,遵循近大远小的物理现象,能让驾驶员更加直观地感觉出物体离自己的距离,方便驾驶员进行外部环境观察判断。

实验测试玻璃视镜显示图各处放大系数和电子后视镜鱼眼畸变矫正后图像,与放大系数变换后图像的放大系数相差均值如表 2 所示。

表 2 放大系数对比			%
	玻璃视镜	鱼眼矫正	放大系数变换
与玻璃视镜放大系数相差均值	0	9.52	35.41

根据表 2 可知,放大系数变换后的图像,各处放大系数与玻璃视镜相差均值为 9.52%,而市面上仅经过鱼眼畸变矫正后的图像各处放大系数与玻璃视镜相差均值为 35.41%。图像的放大系数与玻璃视镜放大系数越接近,说明图像观感效果越好。因此,经过本文放大系数变换的方法,能让电子后视镜的观感效果达到最佳。

5 结论

本文通过对玻璃视镜放大系数的研究,使用玻璃视镜放大系数与驾驶员视野角的关系来进行电子后视镜显示图像变换,即先将鱼眼畸变图像矫正为

各处放大系数一致的图像,再通过变换函数对图像进行变换。

实验结果证明,变换后的电子后视镜系统显示效果优于市面上仅进行鱼眼畸变矫正的电子后视镜显示效果,且变换后各处的放大系数和玻璃视镜放大系数接近,能很好地实现近“距离放大外部环境,远距离提供更大视野”的功能,且遵循图像显示近大远小的物理规律,大大提高了驾驶安全性。

[参 考 文 献]

[1] BUKHARI F,DAILEY M N. Automatic radial distortion estimation from a single image[J]. MATH IMAGING VIS,2019,45(01):31-45.

[2] SZEGEDY C,IOFFE S,VANHOUCKE V, et al. Inception-resnet and the impact of residual connections on learning[J]. CoRR,2017,26(05):62-66.

[3] IMONYAN K, ZISSERMAN A. Very deep convolutional networks for large-scale image recognition[J]. In ICLR,2015,16(11):23-25.

[4] Road vehicles-Ergonomic and performance aspects of Camera Monitor Systems -Requirements and test procedures; ISO 16505; 2019[S/OL].[2021-03-24]. <https://www.iso.org/obp/ui/en/#iso:std:iso:16505:ed-2:v1:en>.

[5] 钱峰,李勇,文淑容.全景泊车辅助系统的关键技术[J].湖北工业大学报,2020,35(05):13-16.

Research and Application of Electronic Rearview Mirror Image Method Based on Optimal Visual Effect

ZENG Yuqing^{1,3}, WANG Junhui², YAO Siwei², WANG Zhengjia^{1,3}

(1 School of Mechanical Engineering, Hubei Univ. of Tech., Wuhan 430068, China;

2 Detroit Green Technology Institute, Hubei Univ. of Tech., Wuhan 430068, China;

3 Hubei Key Lab of Manufacture Quality Engineering, Wuhan 430068, China)

Abstract: Because the traditional glass rearview mirror has high wind resistance and noise, it cannot be connected to the intelligent driving system. Therefore, electronic rearview mirror has become a trend to replace the traditional rearview mirror. However, the electronic rearview mirror uses a fisheye camera, which shows large image distortion. It cannot enlarge the driver's attention field in close distance and narrow the object in long distance to display more field of vision like the glass rearview mirror. Therefore, in this paper, the fisheye distorted image is corrected first, and then the electronic rearview mirror image is transformed by analyzing the magnification coefficient of the glass mirror and the driver's field Angle, so as to achieve the best view and feeling of the electronic rearview mirror image display. Experimental results show that the display effect of the electronic rearview mirror system can well provide the function of enlarging the external environment at close distance and providing a wider field of vision at long distance, which improves driving safety.

Keywords: fisheye correction; electronic rearview mirror; amplification factor; visual field of commercial vehicle driver

[责任编辑:张 众]