Proceeding of the 16<sup>th</sup> International Forum of Automotive Traffic Safety, 2019, pp 48-54 No.ATS.2019.202

# Study on Influencing Factor of Image Analysis in Crash Test

#### Yuyu ZHENG<sup>1</sup>, Lei LOU<sup>1</sup>, Qi FENG<sup>1</sup>

<sup>1</sup>China Automotive Technology and Research Center Co.,Ltd, CATARC, Tianjin, China Email: fengqi@catarc.ac.cn

**Abstract:** In automotive crash test, lots of complex motion parameters can only be performed by non-contact measurement methods such as image analysis. There are many factors that affect the measurement results in the image analysis technology, and the degree of influence varies. Among the various influencing factors, lens distortion and camera yaw angle are the most commonly encountered. This paper analyzes the effects of lens distortion and camera yaw angle in image analysis results by establishing theoretical models and actual verification studies. The method of evaluating the degree of influence of lens distortion on the measurement results is described. The degree of influence of the yaw angle below 2° on the results of camera analysis is analyzed.

Keywords: crash test; image analysis; lens distortion; yaw angle

# 碰撞试验中图像分析测量数据影响因素研究

**郑玉玉,娄 磊,冯琦** 中汽研汽车检验中心(天津)有限公司,天津,中国,300300 *Email: <u>zhengyuyu@catarc.ac.cn</u>, <u>loulei@catarc.ac.cn</u>, <u>fenggi@catarc.ac.cn</u>* 

**摘 要**:在汽车碰撞试验中,很多复杂的运动参数只能通过图像分析这种非接触式的测量方法进行。 图像分析技术中会对测量结果产生影响的因素很多,影响程度也各不相同。在各个影响因素中,镜头 畸变和相机偏向角是最常遇见的。本文通过建立理论模型及实际验证研究分析了镜头畸变及相机偏向 角对图像分析测量结果的影响。阐述了评估镜头畸变对测量结果影响程度的方法;重点分析偏向角 2 。以下,对摄像分析结果的影响程度。

关键词:碰撞试验;图像分析;镜头畸变;偏向角

## 1 引言

汽车碰撞试验中车辆的变形、假人的运动等等都在极其短暂的时间内完成,并且假人、气囊等的运动复杂,很 难用电测量方法对汽车碰撞过程进行全面的测量与记录。<sup>[1]</sup>借助高速摄像机并采用图像分析测量这种非接触式测量 方法可以较为全面的记录整个碰撞过程。高速摄像机拍摄记录下来的整个碰撞过程,再通过图像处理软件,对影像 中选定的标记进行运动轨迹追踪和测量。<sup>[2][3]</sup>

图像分析技术中,影响目标点的测量结果的因素主要有两个方面,镜头畸变以及摄像机拍摄姿态。<sup>(4)</sup>其中摄像 机拍摄姿态,包括俯仰角、侧倾角、偏向角(如图1所示),其中俯仰角和侧倾角可以借助水泡或角度仪调整达到 要求,而偏向角很难摆放精确。本文主要分析研究了,镜头畸变和偏向角对图像分析测量结果的影响程度。



# 2 图像分析测量数据影响因素

### 2.1 镜头畸变对测量数据的影响

图像分析测量时,如果使用的是不会产生畸变的镜头且无偏转角度影响的理想状态时,其分析测量的理想模型如图2所示:



图 2 图像分析的理想模型

根据相似原理,点的实际坐标应为(X,Y) =  $\frac{d}{f}(x,y)$ ,其中(X,Y)为实际点的坐标值,(x,y)为该点投影到摄像机 传感器上的点坐标,d为物平面至摄像机镜头景深,f为镜头焦距。这里(x,y)是通过摄像画面分析中像素数量 (xp,yp)和传感器单像素边长 a 计算而得,即(x,y) =  $a \cdot (xp,yp)$ 。本文所使用的摄像机单像素尺寸为 11µm×11µm。 因此,实际坐标为(X,Y) =  $\frac{d \cdot a}{f}(xp,yp)$ 。定义比例尺系数为:

$$k = \frac{d \cdot a}{f} \tag{1}$$

则(X,Y) = k(xp, yp)。但是,在实际试验中,如果使用变焦镜头,其f值往往难以获得精确数值,因此k的确定通常使用一固定标尺L。同样根据相似原理, $L \cdot f = d \cdot l$ 。其中L为标尺长度,l为标尺投影在传感器上的尺寸,可由该

INFATS Conference in Changsha, November 14-15, 2019

标尺在画面中的像素数量 lp 计算而得, 即 $l = a \cdot lp$ 。因此, 比例尺系数可变换为:

$$k = \frac{L}{lp} \tag{2}$$

从式(1)可知,比例尺系数对于一个试验录像而言,应为定值,因此式(2)中,可取录像中任一一帧确定比例尺系数 k。

使用 50mm 定焦镜头拍摄,跟踪如图 3 所示标尺,已知标尺长度 L 为定长,L=200mm。结果如图 4,其中横 轴为标尺中点在画面中的像素坐标,横坐标为 0,表示该点在画面的正中,横坐标为正值,表示该点在画面右半区,反之则在左半区。图中虚线为标尺 L 投影到画面的像素距离 lp,其最小值为 138.13 像素,最大值为 138.73 像素,极差 0.60 像素,相对偏差不足 0.5%。(注:像素值应为整数,但是因为目标点是采用四分宝马标拟合计算而得,因此存在不是整数的情况)图中实线为用已知定长 200mm 除以 lp 所得比例尺系数 k(如式(2)),其均值为 1.4299,极差为 0.0062,因此,按照任一帧画面所得的 k 计算其他点的坐标误差不会超过 0.5%。试验中 d=6480mm,f=50mm, a=11µm,利用式(1)计算可得 k=1.4256,可见实际结果与理论向吻合。



图 3 标尺示意图



图 4 标尺在画面不同部位的像素距离和比例尺系数 k

使用 24~85mm 变焦镜头拍摄,变焦环对准 50mm 刻度,同样使用如图 3 所示标尺,设置不同景深位置 3 个相同的标尺,结果见表 1 及图 5。从表 1 可见,在各种景深位置的标尺的画面像素距离 lp 的极差较大,相对极差都在 4%左右,相应的 k 的相对极差也约为 4%。实际试验结果的系数 k 的均值分别为 1.4721、1.5744、1.8102,由于 景

深越深,其投影到画面的长度越短,因此系数 k 越大。另外,利用式(1)计算可得 k 值如表 1 最右列,该计 算值比实际结果的均值 k 普遍偏小,这正是由于 f 无法精确获得导致的,尝试使用 f=48.5mm 计算,则该值与均值 k 非常接近。

从图 5 曲线形状可以看出,当标尺中点 X 坐标为 0 时,即标尺位于画面中间时,lp 像素距离最小,也即比例 尺系数 k 最大;而当标尺位于画面两侧时,lp 像素距离随之增大,k 值随之减小,且左右趋势对称。使用二次多项

式拟合,其相关系数 $R^2$ 均在 0.996 以上,可见其基本符合抛物线特征。这显然不是测量随机误差导致的,这是由于变焦镜头素质较定焦镜头更差,画面畸变导致画面不同区域的比例尺系数 k 并不恒定。不仅 X 向如此, Y 向同理,并且因为镜头结构为轴对称结构,其 Y 向畸变特征应与 X 向相同。因此,可以将系数 k 看成是与画面位置相关的一个场变量,如图 6 所示,以画面中心为圆心的圆上,其 k 值相等,k 值与圆的半径平方成正比,即 $k \propto r^2$ 。

由此可见,对于镜头素质高、畸变小的 50mm 定焦镜头,其畸变导致的比例尺系数 k 的变异很小,可以直接进行影像分析。而对于变焦镜头,其画面畸变较大,如果直接进行影像分析,误差会在 4% 左右,对于数据精度要求高的试验来说,结果偏离过大。

表1变焦镜头拍摄不同景深标尺结果







### 2.2 摄像机偏转角度对测量数据的影响

在碰撞试验中,高速摄像机拍摄的标准姿态应该为:前后俯仰角为0度;左右侧倾角为0度;左右偏向角为0 度(即摄像机主光轴与样品运动方向垂直)。其中俯仰角及侧倾角通过水平泡或水平角度仪很容易精确测量并调 整,但是对于左右偏向角,比较难以达到高精度的垂直。我们通过一些非常规手段,对比了精确的摄像偏转角度与 人视觉感受的关系,发现当左右偏转角度超过2°时,视觉上已经明显感受到"没有对正";而当偏转角小于1° 时,视觉上无法判断是否偏转,感觉上是"对正的"。因此我们重点分析偏转角 2°以下,对摄像分析结果的影响程度。

建立理论模型,如图6所示。定义摄像机左右偏转角为θ,主光轴垂直于运动平面时,θ为0°;摄像机左偏 时θ为正,如图6所示,反之为负。由于摄像机偏转,产生一个景深为d的虚拟物平面。L为标尺长度,L'为标尺 投影到虚拟物平面的长度,1为标尺投影到摄像机传感器的长度。X 为标尺中点距离画面中心的实际距离,x 为摄 像画面中标尺中点距离画面中心的距离。f 为镜头焦距。



图6理论模型

根据几何关系,可推导出如下关系式:

$$l = \frac{d \cdot f \cdot L \cdot (1 + tan^2 \theta)}{[d \cdot (1 + tan^2 \theta) - X \cdot tan\theta]^2 - (\frac{L \cdot tan\theta}{2})^2}$$
(3)

因此比例尺系数 k 为:

$$k = \frac{L \cdot a}{l} = \frac{a \cdot d}{f} - \frac{2 \cdot a \cdot X}{f} tan\theta + \frac{a \cdot d}{f} tan^2 \theta + \frac{a \cdot (X^2 - \frac{L^2}{4})}{d \cdot f} sin^2 \theta$$
(4)

如上文所述,依靠人的视觉感受就可以控制 θ 小于 2°,因此 θ 较小,应用上可以忽略二阶小量,因此(4) 式可简化为:

$$k = \frac{a \cdot d}{f} - \frac{2 \cdot a \cdot X}{f} tan\theta \tag{5}$$

其中第二项为偏转角度带来的误差项,可见当摄像机左偏时,越靠画面右侧的比例尺系数 k 越小,越靠画面 左侧的 k 越大;反之,当摄像机右偏时,画面右侧的 k 更大,画面左侧的 k 更小。由(5)式可知相对偏差为— $\frac{2X}{d}tan\theta$ ,最大偏差出现在画面边缘,以 50mm 镜头为例,该镜头视角宽度为 46°,则画面边缘 $X = d \cdot tan 23$ °,因此其相对偏差为–0.8489 ·  $tan\theta$ ,如图 7,当 $\theta = \pm 2$ °时,相对偏差为±2.96%;当 $\theta = \pm 0.6$ °时,可将相对偏差压缩到 1%以下。



图 7 50mm 镜头的相对偏差与偏向角关系

使用 50mm 定焦镜头,预置摄像机偏向角度为-1°和-2°进行拍摄,追踪标尺 L 投影到画面的像素距离 lp,用已 知定长 200mm 除以 lp 所得比例尺系数 k,该实际试验结果如图 8 中实线。图中虚线为按照(5)式计算的系数 k 与标尺位置的关系函数图像。可见,可见实际试验结果与理论计算吻合度非常高。



## 3 结论

图像分析测量技术中,很多测量结果会产生影响。本文针对实际应用中最常碰见的两个影响因素——镜头畸变及摄像机偏转角度进行了深入的分析研究。分别建立了这两种情况的理论模型,并且都通过实际试验进行了验证。

在镜头畸变对图像分析测量的影响程度研究中,可以从影像画面中获得已知定长的标尺的像素距离,并计算 画面中各位置的比例尺系数。对实际拍摄的影像分析后可知,对于 50mm 定焦镜头,其系数 k 基本恒定,直接计 算误差小于 0.5%;而对于 24~85mm 变焦镜头,其镜头畸变导致画面中心系数 k 较大,而边缘 k 较小,如果不进 行画面修正,计算误差约为 4%。其他镜头可使用类似方法进行分析确认其误差级别。

在对偏向角的影响分析的研究中,通过建立模型进行理论分析,获得摄像机偏向角导致的画面中比例尺系数 k 不均匀的影响关系式。并以 50mm 定焦镜头为例,通过试验验证。当偏转 2°时,其造成的系数 k 最大偏差约为 3%;如果期望将该偏差控制在 1%以内,则应保证摄像机偏向角度在±0.6°以内。

从这两个因素对最后的测量结果的影响来看,镜头的畸变在实际使用中更容易被低估,需要引起重视。实际工作中应该对使用的镜头做畸变评估,并且有针对性的对使用的设备进行镜头畸变修正以控制分析结果的偏差。

## 参考文献 (References)

- [1] 郁呈祥,张晓龙,梅一丹.儿童座椅碰撞测试中头部位移分析方法研究[J].汽车实用技术,2019(11):110-113.
- [2] 李苗伟. 高速运动目标跟踪图像处理及三维测试方法研究[D].哈尔滨工业大学,2015.
- [3] 孙祥一,胡建,王鲲鹏,朱肇昆,张小虎.高速摄像三维图像分析技术与应用[J].字航计测技术,2010,30(06):30-34+44.
- [4] 李世成,娄磊,顾海明,刘志新.高速图像运动分析中视差矫正方法研究[J].机械研究与应用,2014,27(01):79-81+84.
- [5] 张献中,高炳哲,李桂芝,王亚中.高速摄像实现高精度矢量脱靶量测量方法研究[J].光子学报,2005(03):445-447.

- [6] 杜文嫚,闫佳麟,张朋波,高永强.高速摄像测量系统误差分析与研究[J].中国仪器仪表,2016(01):43-46.
- [7] 张绪淦,陈斌,安子阳,梧顺青.高速摄像系统用于陶瓷复合靶板的动态参数测量研究[J].湖南工业大学学报,2012,26(05):87-89.
- [8] 邓子兵,徐兆坤,刘翔.汽车碰撞试验序列图像运动分析方法[J].工程图学学报,2008(04):102-106.
- [9] 谢少荣,周焱,邢兰兴,罗均.高速摄像技术在微型旋翼机性能测量中的应用[J].光学精密工程,2007(03):378-383.
- [10] 李新民,巫景燕,黄建萍.高速摄像系统在直升机部件抗坠毁试验中的应用[J].直升机技术,2005(03):38-41.
- [11] Wenjie Qian, Jian Li, Jianguo Zhu, Wenfeng Hao, Lei Chen. Distortion correction of a microscopy lens system for deformation measurements based on speckle pattern and grating[J]. Optics and Lasers in Engineering, 2020, 124.
- [12] Jun Zhang, Weixian Qian, Guohua Gu, Chen Mao, Kan Ren, Guixia Cai, Zewei Liu, Jinqing Yang, Qian Chen. The effect of lens distortion in angle measurement based on four-quadrant detector[J]. Infrared Physics and Technology, 2019.
- [13] Rolf Hoffmann, Gunther Notni. Production of a favorable calibration target for the determination of distortions of lenses in image processing[P]. Other Conferences, 2019.
- [14] 王福荣,刘武发,李攀,阮永超.视觉圆要素检测图像校正技术的研究[J].机床与液压,2019,47(16):65-69.
- [15]何子清,葛超,王春阳.基于最小二乘配置的光学镜头畸变校正方法[J].液晶与显示,2019,34(03):302-309.