

Study on Vehicle Location in Road Traffic Accident Based on Surveillance Video and Vanishing Point

Aowen Duan¹, Hongchun Jia², Liangfei Fu², Maolin Wang², Zhiyong Yin^{1*}

¹Institute for Traffic Medicine, Department 4th, Institute of Surgery Research, Daping Hospital, Third Military Medical University, Chongqing, 400042, China

²College of Vehicle Engineering, Chongqing institute of technology, Chongqing, 400054, China
Email: duanaowen@foxmail.com

Abstract: To solve the problem that it is difficult to obtain the accurate locations of target objects directly by the surveillance video in Road Traffic Accident, this paper presents a method of measuring the relative position of vehicles on the road plane by using vanishing point principle to mesh the surveillance video frames. In two road traffic accidents with surveillance video, this method is applied to analyze the relationship between vehicle-vehicle dynamic location and pedestrian-vehicle location. The accurate locations of pedestrian and vehicle is obtained and the measurement accuracy of is verified. The results show that the measurement errors are less than 3%. This method has a guiding effect on obtaining the accurate locations of target objects in Road Traffic Accident. It can be applied to traffic accidents with surveillance video, thus providing necessary data for subsequent accident reconstruction and injury reconstruction.

Keywords: surveillance video; vanishing point; road traffic accident; distance measurement

基于监控视频与消失点的道路交通事故中车辆位置分析

段傲文¹, 贾宏椿², 傅良飞², 王茂林², 尹志勇^{1*}

¹第三军医大学大坪医院全军交通医学研究所, 车辆/生物碰撞安全重点实验室, 重庆, 中国, 400042

²重庆理工大学车辆工程学院, 重庆, 中国, 400054

Email: duanaowen@foxmail.com

摘要: 针对道路交通事故中存在难以通过监控视频直接得到目标物体的相对距离的问题, 提出了一种利用消失点原理对监控视频图像进行平面网格划分, 从而测量道路平面车辆相对位置关系的方法。应用该方法, 对两例道路交通事故中车-车动态位置、人-车位置关系进行了计算分析, 实现了对有监控视频的道路交通事故中人、车位置关系的准确确定, 并对该方法的测量精度进行了验证。最终结果显示, 事故中测量误差均小于 3%。该方法对道路交通事故中目标物体位置信息的准确采集具有指导性作用, 能较好地应用于有监控视频的案件, 并为事故重建和损伤重建提供数据支持。

关键词: 监控视频; 消失点; 道路交通事故; 距离测量

1 引言

随着我国城市化进程的进一步加深和人民交通安全意识的普遍提高, 政府投入了大量资金用于道路监控摄像头的安装, 同时行车记录仪等多种高清视频记录设备的广泛普及, 使得越来越多的道路交通事故具有质量较高的监控视频资料。根据重庆市八益交通事故司法鉴定中心统计, 在 2015-2017 这 3 年处理的案件中, 有监控视频的案例占总案例数量的比例呈现明显逐年递增的趋势, 并且均超过了 40%。因此, 通过各种类型监控视频材料分析交通事故过程也发展成了一种新的事故分析方法, 不仅可以帮助交通监管部门还原事故形态、了解事故原因, 还能为交通安全研究提供事故全局的位置信息等数据支持。

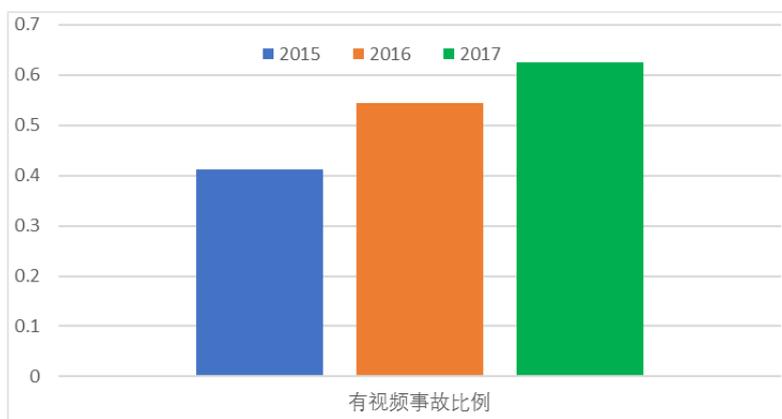


图1 有视频事故案例统计结果

在实际工作中，监控摄像头由于拍摄角度、距离、光线等多种因素的影响，事故中车辆/行人与路面之间的定量位置关系很难直接通过观察得到，而这对于交通安全研究工作中准确的事故重建及损伤重建来说至关重要。随着视觉测量技术的发展，针对单幅图像的摄影测量技术已经可以实现视频画面中物体距离的测量^[2-6]，因此通过该技术对监控视频中的多帧图像进行处理与分析，可以从全时长多角度解决数据测量的问题，明确在事故过程中车辆/行人位置关系。

2 摄像机成像原理

2.1 针孔模型

摄像机的成像模型通常可以用针孔模型来表示（图2）， $(X_w, Y_w, Z_w)^T$ 表示空间点 P 的三维世界坐标， (X_c, Y_c, Z_c) 是同一点 P 在摄像机坐标系中的坐标。摄像机坐标系定义为：中心在 O_c 点（光学中心）， z_c 轴与光轴重合， x_c 轴、 y_c 轴分别平行于 X 轴、 Y 轴。定义 OXY 平面为图像平面，则空间点与图像平面间构成理想的透视对应。 F 为理想成像系统的焦距， (u, v) 是计算机帧存图像坐标系中的坐标，单位是像素， (u_0, v_0) 为计算机图像中心坐标。^[1]

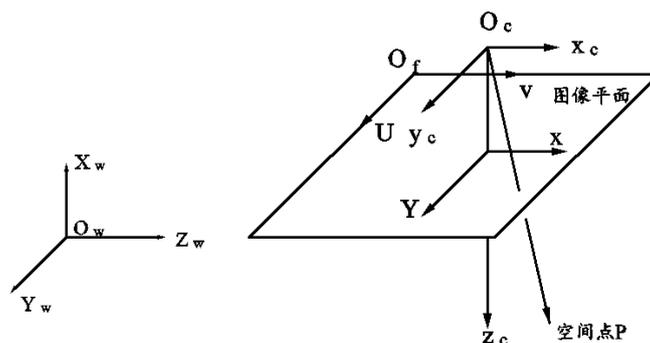


图2 摄像机针孔模型

空间点 P 的三维坐标 $(X_w, Y_w, Z_w)^T$ 和其图像平面的像素点坐标 $(u, v)^T$ 之间的投影关系可表示为

$$\alpha \begin{pmatrix} u \\ v \\ 1 \end{pmatrix}^T = M \begin{pmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \\ 1 \end{pmatrix}^T = K [R \ T] \begin{pmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \\ 1 \end{pmatrix}^T \quad (1)$$

式中 α 是任意常数， $(u, v, 1)^T$ 和 $(X_w, Y_w, Z_w, 1)^T$ 是相应的齐次坐标， M 是 3×4 的投影矩阵， K 是摄像机的内参数矩阵， R 和 T 分别表示摄像机坐标系在世界坐标系中的旋转矩阵和平移矩阵， (u_0, v_0) 是主点坐标， f_u, f_v 分别表示 u 和 v 方向上的焦距，单位为像素， s 是描述图像平面两个轴之间的偏斜系数。

2.2 消失点

欧式空间中平行直线永不相交，但在射影几何中两平行直线却交于无穷远处一点，该点在图像平面的投影点称为消失点^[2]。消失点有一个重要性质：连接消失点和摄像机光心 O 的连线与形成该消失点的空间平行线平行（图 3）。在道路交通事故中有用信息往往仅存在于路面上，通常路面可见明显的地面平行标线，利用消失点的这个性质可将地面不存在的参考线以网格的形式标记出来，从而建立出路面的坐标系以便准确定位事故中的目标的位置关系。此外，在路面无标线的情况下，还可以通过后期对同一摄像头进行标定实验的方法获取该网格，下面将通过两例交通事故的监控视频分析过程来具体说明。

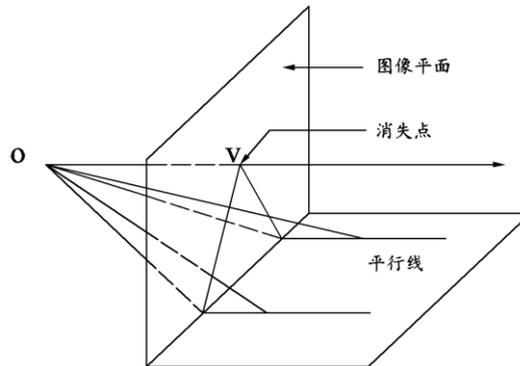


图 3 消失点性质

3 视频案例分析

3.1 人-车位置分析

3.1.1 事故简要过程

2015 年某日，一行驶的公交车在经过一倒地行人时疑似与其接触，致行人受伤的道路交通事故。公交车内安装有四个摄像头，其中三个摄像头拍到了事发时的情况，如图 4。监控视频大致可见路面行人躺卧姿态及位置，即：行人白色身影下有一个伞状物体；行人平躺地面，头朝左侧车道，脚靠近导流岛第一根白色 V 型导流线的左侧边缘，身体几乎与导流岛左侧边缘线垂直，与事发后现场行人倒地状态相符。但由于车身遮挡，监控视频视野受限，未见公交车车身与行人的接触形态，需通过图像学方法进行测定。



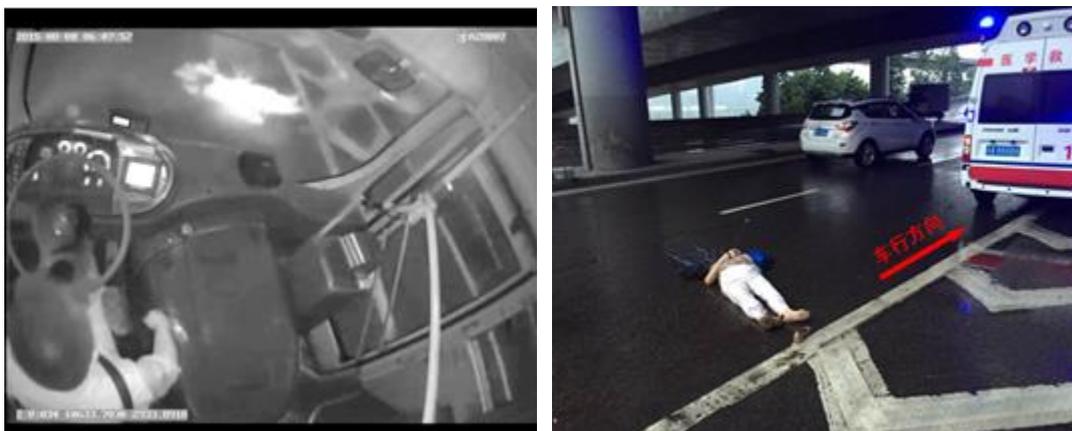


图4 监控视野与现场行人位置

3.1.2 实验方法

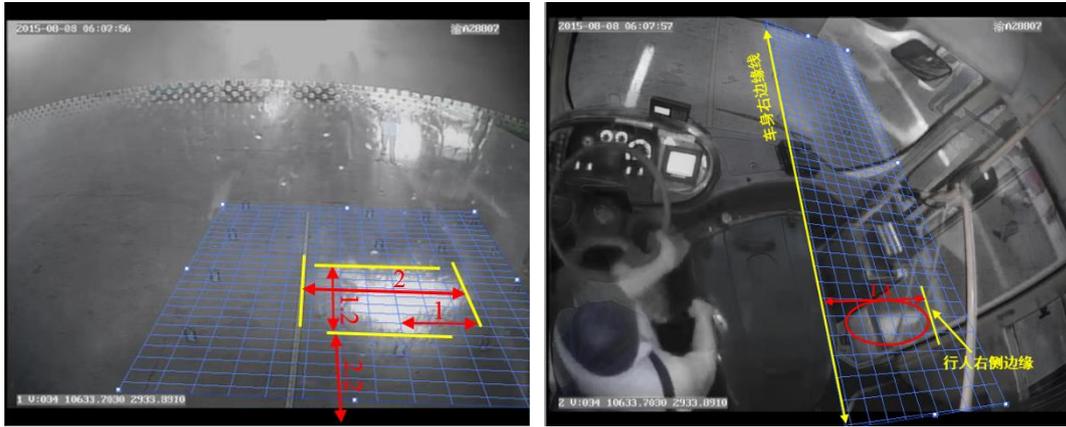
由于车内摄像头安装位置偏高，监控视野范围有限，且事发后摄像头位置未变动，为了明确行人与车身位置关系，设计并在停车场对公交车监控视频画面进行坐标标定实验：以公交车车头右侧端点在地平面的投影点为平面坐标原点，车头水平边缘线为x轴，车身右侧边缘线为y轴，在地面以一米为间隔共摆放了5×5个标记点，以此为基础建立平面网格，坐标系位置见图5。在摆放好各地面标记点的位置后打开事故公交车摄像头进行拍摄，拍摄监控视频作为实验数据保存等待处理。



图5 平面坐标标定

3.1.3 实验结果及讨论

处理公交车摄像头在实验中所拍摄视频，利用地面坐标系对公交车监控画面进行标记，截取公交车监控画面，画面中包含地面标记坐标系，因此可明确监控画面中各物体的位置关系。进一步将标记过的视频画面与事发时的视频画面进行图像融合，此时实验中的平面网格能在事发时的视频画面中显示，即可计算事发时行人与车辆的相对位置关系。从标定后的前向和侧向摄像头监控视频截取两帧图像进行分析可知：在 06:07:56 时刻，人体/伞位于车头前 2.2 米处，人体/伞所占范围约为 2 米×1.2 米，车身与人体/伞横向重叠距离约为 1 米，如图 6；在 06:07:57 时刻，人体/伞位于车身右侧车门位置，人体/伞右侧边缘距离车身右边缘线约 1.4 米，此时车身与人体/伞的横向重叠距离约为 0.6 米。



(a) 前侧摄像头监控画面坐标标定 (b) 右侧摄像头监控画面坐标标定

图 6 平面坐标标定

因此综合分析，由于行人身高为 1.6 米，因此在公交车行驶中人体未改变位置前提下，车辆右侧与倒地的人体有 0.2 米的横向重叠距离，也就证明了在本起事故中公交车在行驶过程中与倒地行人发生了接触。

3.2 事故车辆动态位置分析

3.2.1 事故简要过程

2016 年某日，无牌两轮摩托车行驶某城市路段与一辆货车发生交通事故，事故现场为一右转支路口，事故地点一段监控视频可见事发经过，事发时摩托车处于直行、货车处于右转弯状态，现需要分析事故中两车的行驶状态，事故现场及监控视频画面如图 7。



(a) 现场环境

(b) 监控视频画面

图 7 事故现场

3.2.2 事故现场重建

采集事发路口路段的地面标线及道路尺寸数据，皮尺测量值将作为视频图像测量值的测量精度评价标准。同时，利用无人机航拍事故路段，可见事发路段路面平直，道路宽度基本保持不变。经测量，路灯杆到停止线的距离为 96 米，路沿延长线到左侧标线的距离为 15.5 米，左侧车道到左侧标线的距离范围为 7.8 米到 11.4 米，右侧车道到左侧标线的距离范围为 11.4 米到 15.2 米。事发路口宽 9.2 米，事发路口到路灯杆的距离为 7.2 米到 16.4 米，如图 8 所示。

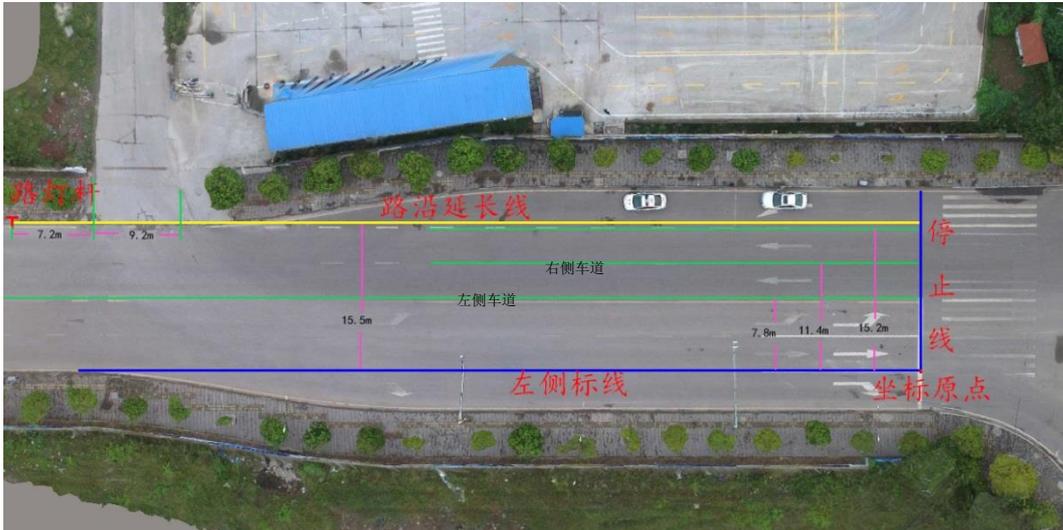


图8 事发路面俯视图

3.2.3 路面网格坐标系

(1) 建立道路平面网格坐标

截取监控视频画面中的一帧图像，根据消失点原理在 Photoshop CC 软件中建立道路平面网格坐标系。道路网格坐标系中蓝色平面代表道路平面，在该平面上，x、y 方向上相邻平行线之间的距离相等。



图9 道路平面网格划分

(2) 道路平面测量校准

以道路标线实测值对网格坐标系进行纵向和横向的绝对测量值定标，得到道路平面的可测量网格平面，用于后续的车辆定位。



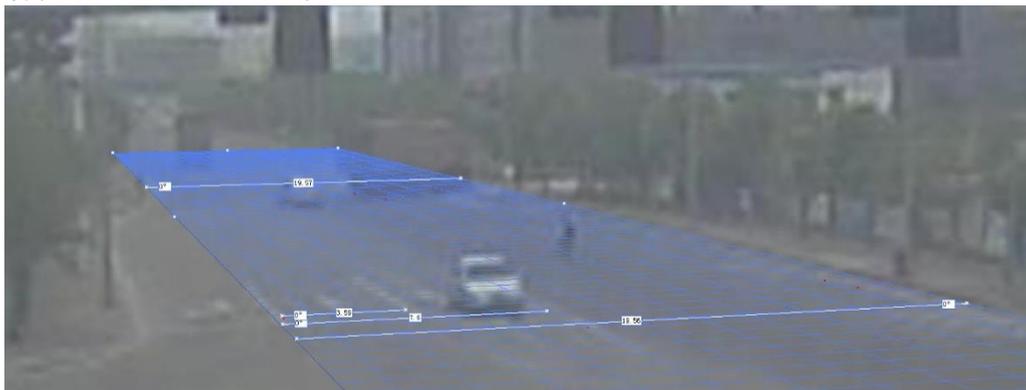
(a) 纵向定标

(b) 横向定标

图 10 道路平面可测量网格

(3) 道路平面测量精度验证

在事故路段实测三组地面标线的长度，利用道路平面网格测量对应长度，将道路标线的实际测量值与视频画面网格计算值进行比对，比对结果见表 1。



(a) 横向测量



(b) 纵向测量

图 11 地面标线测量

由于视频图像分辨率较低，事发地点离监控点较远且道路标线不清，造成网格横向和纵向测量均存在一定的误差。根据计算结果，道路平面网格横向测量的最大相对误差为 0.31%，纵向测量的最大相对误差为 2.63%，两方向测量误差均小于 3%，在可接受范围内，因此该平面网格可用于分析两车相对位置。

表 1 平面网格测量误差

	纵向测量误差			横向测量误差		
测量值	5.84	16.65	16.61	19.57	19.56	3.59
真实值	5.94	17.10	17.05	19.62	19.62	3.60
相对误差	1.68%	2.63%	2.58%	0.25%	0.31%	0.28%
平均误差	2.30%			0.28%		

3.2.4 摩托车行驶轨迹分析

监控视频显示时间 16:48:53 时摩托车出现，逐帧截取监控视频的图像，以摩托车尾部在地面的投影点作为标记点，分析摩托车进入事故路段后，视频时间 16:48:53 到 16:49:03 时间段的 15 帧图像内的行驶轨迹，利用路面网格坐标系测量摩托车轨迹点在道路中的位置，如图 12。

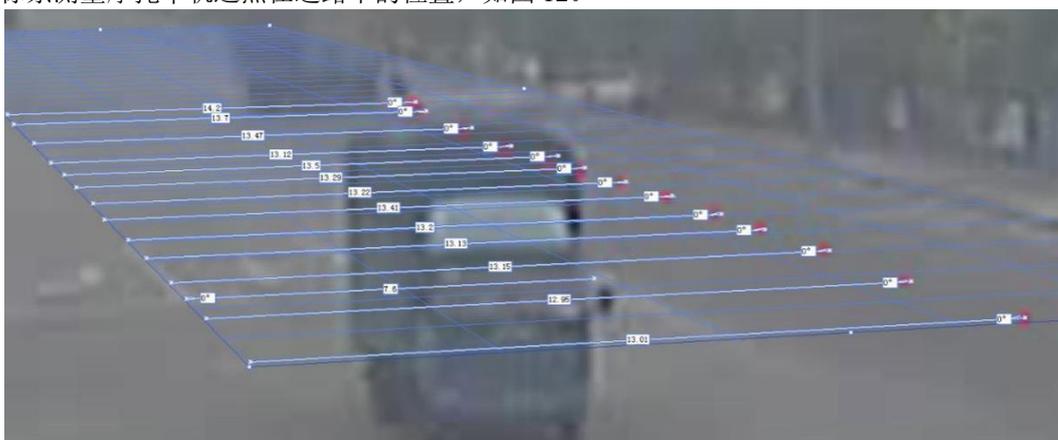


图 12 摩托车轨迹点位置

以左侧标线作为标准测量摩托车各行驶轨迹点横向距离，统计各轨迹点可得到表 2 的信息，根据表 2 中摩托车轨迹点距左侧标线距离值作出摩托车移动的散点图分布及变化趋势，据此分析摩托车行驶轨迹变化。

表 2 摩托车轨迹横向距离测量

轨迹点	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
距离	13.01	12.95	13.15	13.13	13.2	13.41	13.22	13.29	13.5	13.12	13.47	13.7	14.2

由表 2、图 13 可知，摩托车距离左侧边线的距离范围为 12.95 米到 14.2 米。图 13 可见摩托车行车方向右侧车道在距左侧标线 11.4 米到 15.2 米位置。综合表 2 中摩托车轨迹点距离左侧标线的距离范围为 12.95 米到 14.2 米，可知摩托车行驶轨迹点在右侧车道范围内且整体呈上升趋势。因此，摩托车在事发前行驶于车行方向右侧车道，存在向右偏移的趋势。

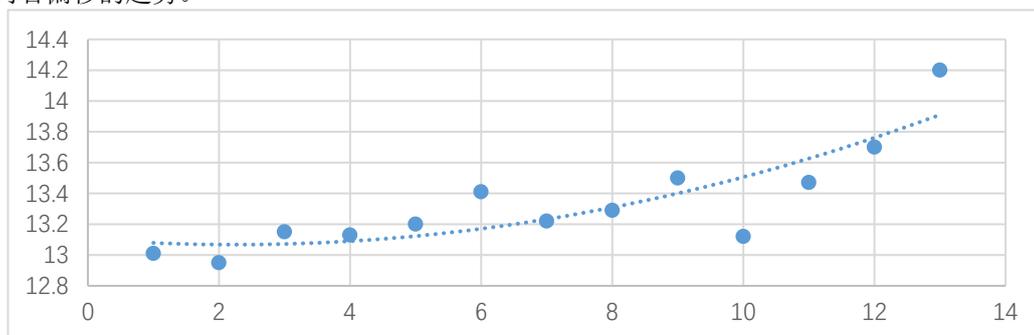
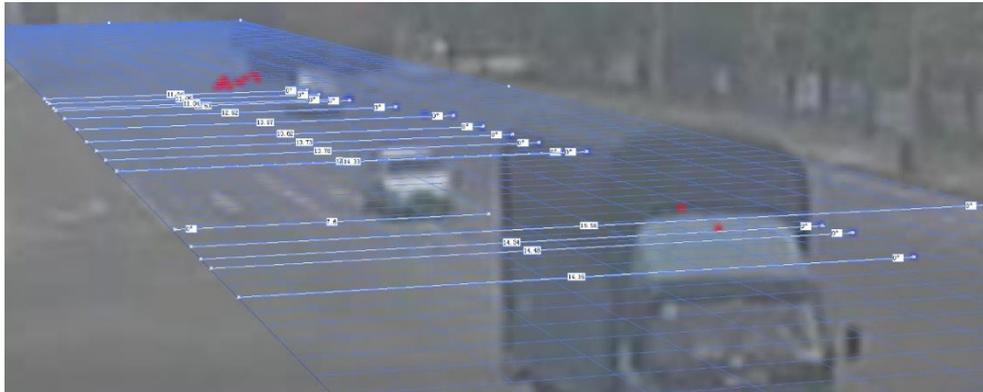


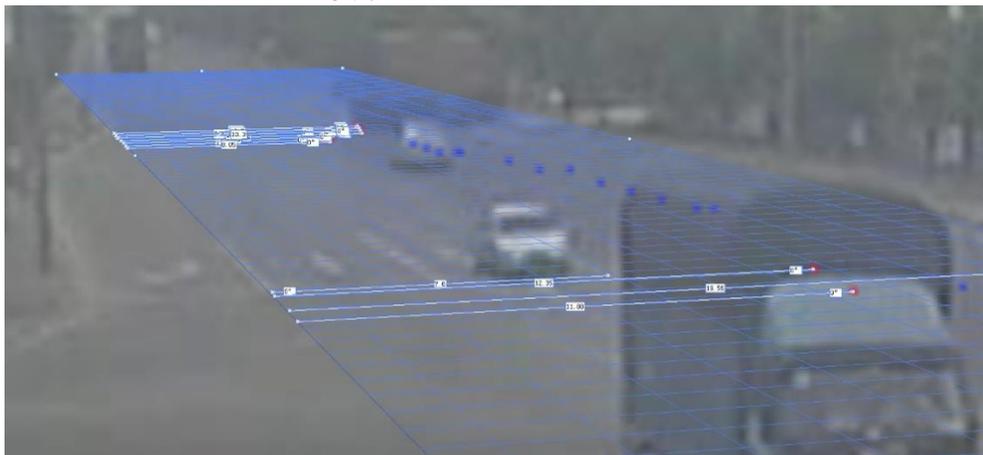
图 13 摩托车轨迹点与左侧标线的距离变化趋势图

3.2.5 货车行驶轨迹分析

监控视频显示时间 16:48:34 时货车进入视频画面，在视频时间 16:48:47 进入停止线道路，在视频时间 16:49:05 货车停止，根据该段时间的视频图像，以货车的左后轮以及右后轮为参考目标，对货车进入停止线路段后的行驶轨迹进行分析。如图 14 所示，红色点表示货车左后轮在地面的投影点，蓝色点表示货车右后轮在地面的投影点，利用建立的网格测量轨迹点在地面的位置。



(a) 货车右后轮轨迹点位置 (蓝色点)



(b) 货车左后轮轨迹点位置 (红色点)

图 14 货车行驶轨迹

以左侧标线作为标准测量货车的右后轮行驶轨迹点位置且已知货车车宽 2.496 米，因此可计算此时货车的左后轮到左侧标线的距离，再结合图 14 (b) 中测量数据，可统计得到轨迹点 D1 到 D26 货车左后轮到左侧标线的距离表 3，并根据该表作出散点图。

表 3 货车左后轮轨迹横向距离测量

轨迹点	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
距离	11.66	11.98	11.84	11.88	12.35	11.83	11.38	11.28	11.23	11.12	11.17	10.12	9.13
轨迹点	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
距离	8.54	8.55	8.05	7.84	8.35	8.55	8.81	8.98	9.09	10.3	10.4	10.5	10.6

由图 15 可见，货车左后轮到左侧标线的距离变化趋势为先稳定在 11.9 米左右，然后变小，最小值为 7.84 米，最后再增加，整体变化范围为 7.84 米到 12.35 米。车行方向右侧车道距离左侧标线 11.4 米到 15.2 米、车行方向左侧车道距离左侧标线 7.6 米到 11.4 米；由表 3 数据可见，货车在 D14、D15 时车尾右侧已完全进入左侧车道。货车行驶轨迹变化：先在车行方向右侧车道行驶，然后货车向左侧车道变道且完全进入左侧车道，再向右转弯，直到最后停止。

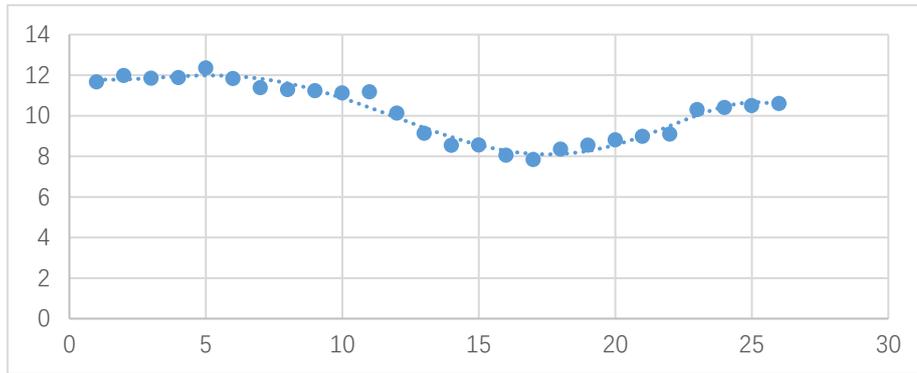


图 15 货车左后轮到左侧标线距离变化趋势图

4 结论

准确的事故再现对于交通管理部门判定事故责任、车辆安全性能及人体损伤的研究至关重要，而一般情况下交通事故发生过程中车辆及行人的位置无法被准确记录。因此前期通常是利用 pc-crash, madymo 等计算机软件，根据事故发生后车、人最终位置通过动力学原理进行仿真反向重建事故过程，有时其结果的准确性是无法保证的，只是无法观测到事故过程而采取的折衷处理方法。而随着城市道路监控系统及行车记录仪的普及，大量交通事故的发生过程被记录保存下来，通过一定的视觉测量技术及图像学算法，可以实现对有监控视频的道路交通事故中人、车位置关系的准确计算，并保证较高的测量精度，为后续的事故重建和损伤重建等研究提供数据支持。本文引用的监控视频画面中分道线比较平直，但是有些摄像头为广角镜头，其所拍摄的视频会出现畸变，因此必须首先进行图像校畸，下一步可对监控摄像头的标定、视频图像的校畸进行研究。

致谢 (Acknowledgement)

特此感谢重庆市八益交通事故司法鉴定中心为本文提供事故案例的数据信息。

参考文献 (References)

- [1] 马颂德, 张正友. 计算机视觉——计算理论与算法基础[M]. 北京: 科学出版社, 1998:52-56.
- [2] 胡培成. 三维信息提取中的摄像机标定技术研究[D]. 南京: 南京航空航天大学. 2007.
- [3] 蒋中强, 胡栋. 一种有效的基于消失点的摄像机自标定方法[J]. 计算机技术与发展, 2014, 24: 54-58.
- [4] 田峥, 徐成, 米超, 李仁发, 王晓栋. 基于消失点和主方向估计的道路分割算法[J]. 计算机研究与发展, 2014, 51(4): 762-772.
- [5] Xinlan Jiang, Xiaoyue Luo, Siwei Luo, Guohao Lyu, Shengchun Wang. A straight-line-based vanishing point detection method for railway environmental images. IEEE International Conference on Signal Processing, 2017: 737-741.
- [6] Hui Kong, Jean-Yves Audibert, Jean Ponce. Vanishing point detection for road detection. IEEE Conference on Computer Vision & Pattern Recognition, 2009: 96-103