

Video Analysis of Pedestrian Kinematics before/during/after Vehicle Collisions

Yong HAN^{1,2}, Quan LI¹, Shuozhen FU¹, Zhiyong YIN², Koji Mizuno³

¹ Xiamen University of Technology, Xiamen, China

² Third military medical university traffic institute for medical research, Chongqing, China

³ Nagoya University, Nagoya, Japan

E-mail: yonghan@xmut.edu.cn

Abstract: Based on the kinematics response analysis of pedestrians in the traffic accident from the accident videos, pedestrian athletic stance and collision point of pedestrians and vehicles as well as ground can be observed veritably. Extract dynamic information of pedestrians and vehicles from the 150 accident videos downloaded from the internet. Front structure and the collision speed of the vehicle are important factors affecting the dynamic response of pedestrian. Secondary damage caused by pedestrians landing is an important cause of pedestrian injury.

Keywords: pedestrian accident videos, Pedestrian Kinematics and Trajectory, Secondary damage

基于视频信息的汽车碰撞事故中行人运动学响应分析研究

韩勇^{1,2}, 李泉¹, 伏铎臻¹, 尹志勇², 水野幸治³

¹ 厦门理工学院, 厦门汽车设计研究中心, 厦门, 中国, 361024

² 第三军医大学交通医学研究所, 重庆, 中国, 400042

³ 名古屋大学, 名古屋, 日本,

E-mail: yonghan@xmut.edu.cn

摘 要: 基于行人交通事故视频对行人在交通事故中的运动学反应进行分析, 统计行人的运动姿态和行人与车辆及地面的碰撞点。搜索互联网上的行人交通事故视频下载, 共收集到 150 个视频案例, 提取事故视频中行人和车辆的动态信息。车辆前部结构和碰撞速度是影响行人动力学响应的重要因素; 行人落地时造成的二次伤害是行人损伤的重要原因。

关键词: 行人交通事故视频; 运动姿态; 二次伤害

1 引言

汽车的快速发展给人类生活带来便捷的同时也带来了一系列的安全问题, 交通事故已经成为威胁人类生命安全的重要因素。行人作为道路使用者中的弱势群体, 在交通事故发生时极易受到伤害。据统计, 欧盟每年约有 7000 行人死于交通事故, 美国每年约有 5000 行人死于交通事故。2000-2012 年间我国行人损伤数量虽然有所减少, 但每年依然有 2 万左右的行人在交通事故中死亡。据中国公安部交通管理局统计, 2012 年中国至少有 15221 名行人死于交通事故, 占该年度道路交通事故死亡人数的 25.37%^[1]。在我国, 道路使用者中行人的安全问题正面临着严峻的考验。

国外对行人交通事故损伤调查起步较早, 美国、日本、欧洲、澳大利亚等国家和地区都建立了完善的交通事故调查和研究机构。Anne Guillaume 等人^[2], 对法国某地区行人与汽车前部发生碰撞的案例进行了统计分析, 指出当车速是造成行人损伤的重要原因, 行人与路面的二次碰撞在行人严重损伤中占的比例最大。在我国, 事故数据的采集工作起步较晚, 缺乏完善的事后调查机构。2006 年北美通用汽车公司与湖南大学合作成立行人事故调查小组, 开展了针对长沙地区的行人交通事故的调查研究。2007 年, 孔春玉等人^[3]采用中国长沙市交警部门 and 医疗单位提供的行人事故案例进行了深入的统计分析并指出, 长沙市汽车交通事故中行人占到三分之一以上事故车辆以轿车为主, 交通伤以头部和下肢为主, 头部是造成行人死亡的主要原因。2011 年, 赵辉、尹志勇

等人^[4]进行的行人-汽车安全事故进行调查统计,指出头部损伤程度对行人事故损伤结果有重要影响,头部损伤是导致行人死亡的主要原因。

以往的交通事故调查都是在事故发生后,由各方面的事调查组成员赶往事故现场进行事故的勘察,通过技术手段推测事故车辆碰撞速度,行人和汽车的碰撞点,行人碰撞后的滑出距离等一系列的信息来进行事故描述,为后续的事故重建工作提供依据。但由于事故发生后的勘察推测无法真实的还原行人在碰撞前,碰撞中,碰撞后的运动学响应过程,特别是行人碰撞后落地时的身体姿态,即对行人落地时的二次碰撞形态还存在还多盲区。基于视频的行人交通事故调查统计,可以根据视频信息,将事故发生前行人的应急反应,事故发生时行人与汽车的碰撞过程,事故发生后行人落地时的姿态等信息进行完真实的描述,对视频信息进行统计并建立基于视频细信息的行人交通事故数据库,为事故重建工作提供更加直观有力的依据。

2 研究方法

2.1 数据样本

通过在网络上搜索行人交通事故视频,选择能够反映事故信息的视频进行下载。收集到的视频多来源于 Youku 和 YouTube 以及各电视台的新闻报道栏目。

2.2 车辆碰撞速度估算

以车辆尺寸为标准推测汽车在一定时间内行驶的距离 S 。通过视频判断事故车型,常见轿车车型为微型车(3.5m)、小型车(4.0m)、紧凑型车(4.5m)、中大型车(5.0m)。

$$S = L \times Z$$

S : 车辆行驶的距离, m; L : 车身长度, m; Z : 汽车行驶过的车位数

通过视频每秒 24 帧的慢放速度,判断车辆行驶过一定距离所需要的帧数。

$$V = \frac{S \times 24}{N} \times 3.6$$

V : 车辆碰撞时的速度, km/h; N : 车辆行驶一定距离所用的帧数;

由于部分视频的拍摄角度问题或视频本身即为慢放视频,无法通过该方法判断碰撞车速,则由实际经验进行估计。

2.3 定义事故发生的情形

根据行人发生交通事故前对道路的使用情形,对行人交通事故发生情形进行定义(图 1)。

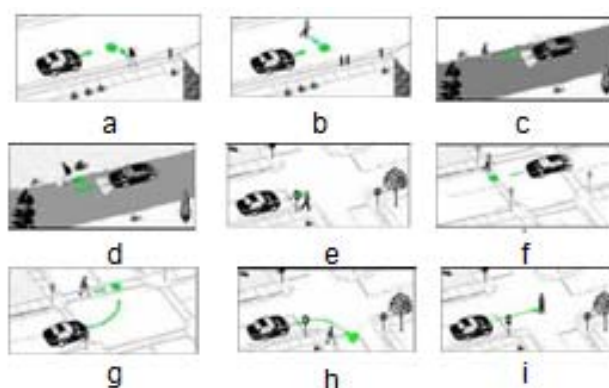


Figure1.Definition of the Pedestrian Accident Scenarios

图 1. 行人交通事故发生情形

F1: 行人横穿马路——车辆从行人的左侧驶来(图 1a);

F2: 行人横穿马路——车辆从行人的:右侧驶来(图 1b);

F3: 行人在道路的左侧行走(图 1c);

- F4: 行人在道路的右侧行走（图 1d）；
 F5: 行人在十字路口前横穿马路——车辆直行（图 1e）；
 F6: 行人在十字路口后横穿马路——车辆直行（图 1f）；
 F7: 行人在十字路口左侧横穿马路——车辆左转（图 1g）；
 F8: 行人在十字路口右侧横穿马路——车辆右转（图 1h）；
 F9: 行人站立不动——车辆行驶过来（图 1i）。

2.4 定义事故中行人的旋转角度

为便于描述事故中行人的运动学过程，对行人发生碰撞后的旋转角度进行定义。定义行人与车辆运动方向相反的旋转角度为正，与车辆运动方向相同的绕转角度为负（图 2）。

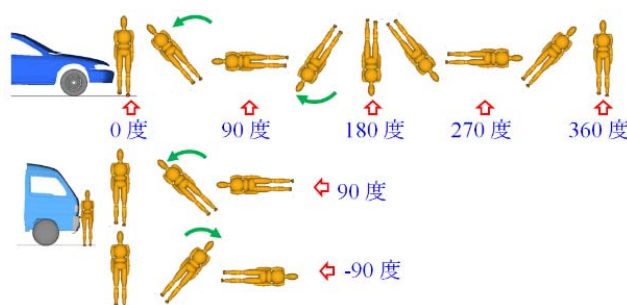


Figure.2 Definition of the Pedestrian Rotation Angle
 图 2.定义行人的旋转角度

3 结果与讨论

3.1 事故车型的统计分析

在 150 例视频案例中，有 71% 的事故车辆为轿车，14% 的事故车辆为 MPV 或 one-box 车型，另有 8% 和 7% 的车型为 SUV 和货车。使用道路的车型中，轿车的占有量最多，轿车的行驶车速最快，涉及轿车的事故也较为严重。轿车作为事故中的主要车型是我们研究的重点。

3.2 道路环境的统计分析

根据统计结果有 75% 的事故发生在视野良好的晴朗天气环境下，夜间事故占了 15%，而在视野和道路环境较差的雨雪天气的事故只占到 7% 和 3%。天气良好的情况下，出行的车辆较多，一般车速会较快，驾驶员和行人在视野良好情况下都会放松警惕，故事故率会较高。而在夜间，出行的车辆较白天会减少，多为受视野影响发生交通事故。而在雨雪天气，人们的出行量会减少，同时车速会减慢，驾驶员和行人在环境较差的情况下都会提高警惕，所以事故率反而会降低。

3.3 行人性别、年龄阶段的统计分析

事故中，男性行人明显多于女性行人，男性约为女性的 1.6 倍，可能是由于男性女性之间行为方式的差异引起的。88% 的事故行人为成年人，儿童和老人各占 10% 和 2%，成年人为道路使用者的主体，事故率最高；儿童发生交通事故多为儿童缺乏安全意识，随意横穿马路，车辆无法紧急避让造成的；老年人多由于行动缓慢，不能快速横穿马路或不能紧急避让车辆造成。

3.4 车辆碰撞速度和驾驶员应急反应统计分析

根据统计结果，车辆碰撞车速多集中在 30~50km/h（图 3）。在事故发生前，有 9.4% 的驾驶员采取制动并伴随转向的措施，20.1% 的驾驶员只采取了转向措施，59.1% 的驾驶员只采取了制动措施，另有 11.4% 的驾驶员

事故发生前无应急反应。可以得出有 68.5%的驾驶员在事故发生时会采取制动措施，从而降低了车速，使碰撞车速基本维持在 30~50km/h 的范围内。

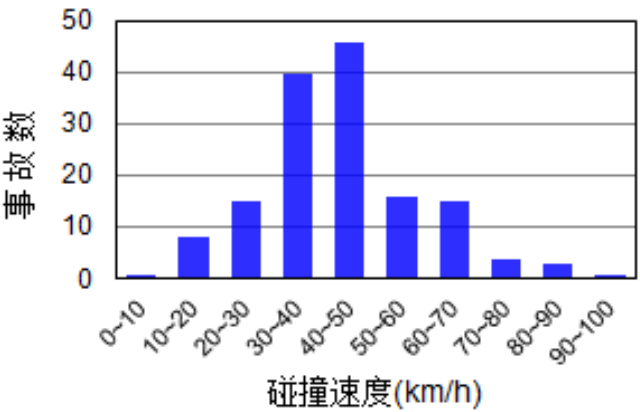


Figure3. Vehicle Impact Velocity Distribution (Estimate)
图 3. 汽车碰撞速度分布图(估算)

3.5 行人与汽车碰撞位置的统计分析

根据冲击方向的顺时针方向系统（CDC Direction）对事故中行人与车辆的碰撞方向进行定位，有 48%的碰撞位置位于汽车的正前方，41%的碰撞位置为汽车的两侧前大灯的位置，其中右侧碰撞次数明显多于左侧（图 4、5、6）。

对行人与汽车的第一碰撞点和行人头部与汽车的第一碰撞点进行描点定位，通过统计结果可以看出，行人与车辆的第一碰撞点多发生在车辆的前保险杠处，车辆右侧碰撞点明显多于左侧，事故发生时，行人的腿部先与车辆的前保险杠发生碰撞，随后行人身体沿车辆前部发生绕转，行人头部碰撞点多集中在发动机罩和前挡风玻璃处，其中前挡风玻璃边缘区域的碰撞率最高为 41.2%，发动机罩的碰撞率为 25%，前挡风玻璃中间区域的碰撞率为 22.1%，右侧 A 柱碰撞率为 11.7%，左侧 A 柱碰撞率为 1.5%，右侧碰撞点明显多于左侧（图 7）。

通过上面的统计可以得出，车辆的右前部最易与行人发生碰撞，可能是由于驾驶员位于车辆的左边，右侧的视野会有受到一定的影响，同时，紧急情况出现时，驾驶员的本能反应是使自己躲避危险，从而使车辆的右侧暴露在危险环境下，与行人发生碰撞。

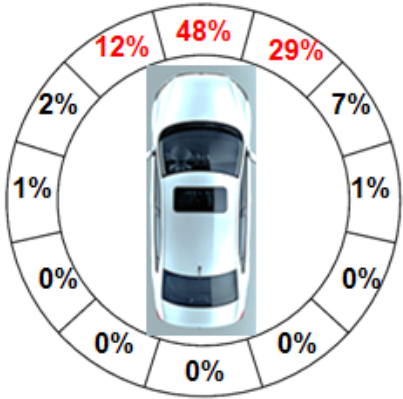


Figure4. Pedestrian Impact Location (CDC Direction)
图 4. 行人与车辆碰撞角度分布

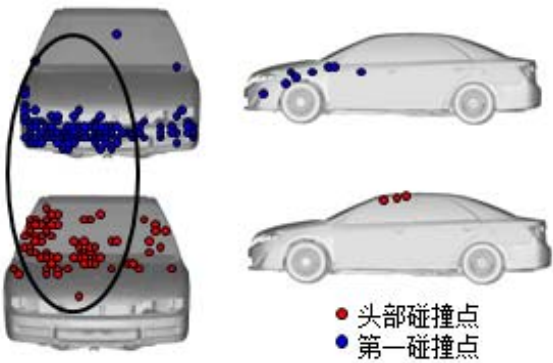


Figure5. Pedestrian impact locations (Sedan)
图 5. 行人与轿车的撞点描点图

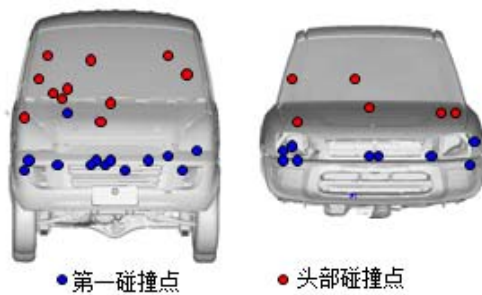


Figure6. Pedestrian impact locations (MPV/One-Box/SUV)
图 6. 行人与 MPV、One-box 车型碰撞点描点图

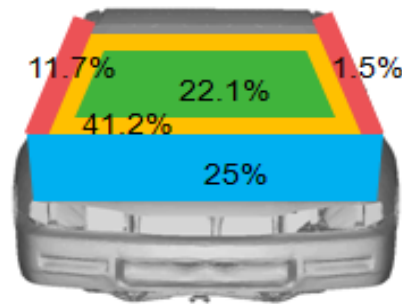


Figure7. Head contact Location with Vehicle
图 7. 行人头部与车辆前部碰撞位置分布图

3.6 事故发生情形的统计分析

统计结果可以看出，F1、F2、F5、F9 四种情形发生的事故次数最多，分别占事故总数的 34.2%、18.8%、21.5%、10.1%。可以看出在收集到的事故案例中横穿马路（F1、F2）的情形最为危险，事故率为 53%，其次是在十字路口处（F5、F6、F7、F8）的事故率为 33.6%，站立在马路中间或两侧（F9）生危险事故，事故率为 10.1%（图 8）。

行人横穿马路时，周围车辆或建筑物会使驾驶员和行人的视野受到影响，行人突然出现时驾驶员无法及时刹车或避让，是行人交通事故的多发情形。十字路口处一般设有红绿灯，但由于行人较多，个别行人存在闯红灯行为，个别驾驶员会在绿灯转为红灯时加速

通过，这些都是造成十字路口处行人事故频发的原因。而行人在道路边缘或中间双黄线处站立等待时，由于站立不动，驾驶员在精力不够集中的情况下容易忽视站立的行人，同样易造成事故的发生。

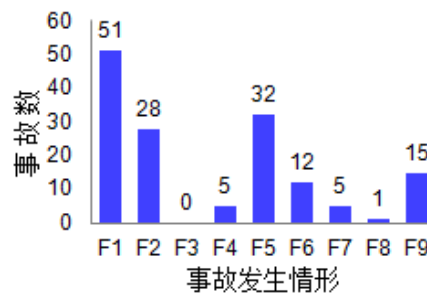


Figure8. Pedestrian Accident Scenarios
图 8. 行人交通事故发生情形分布图

3.7 行人在事故发生前的行为统计分析

根据统计结果可以得出，在事故发生前 47% 的行人为步行状态，44% 的行人为跑步状态，9% 的行人为站立状态。

在碰撞发生前多数行人会做出不同的应急反应，有的行人会跳起来，有的会伸出双手保护自己，有的会转身用背部保护自己。行人在碰撞前的这些应急反应表现出来的不同姿势会直接影响到碰撞过程中行人的动力学响应，以及行人与汽车的碰撞位置和行人落地时的姿态，从而影响到行人的损伤程度。借助视频的优势，我们可以真实的看到行人所表现出来的应急反应。

3.8 行人翻转角度和碰撞车速的关系统计分析

根据统计结果得出，随着碰撞车速的增大，行人的翻转角度也呈明显的增大趋势。对轿车而言，由于其前部发动机罩较低，前挡风玻璃位置相对靠后，行人碰撞后易沿发动机罩发生绕转，轿车车速一般较快，事故发生时行人翻转角度的范围较大，碰撞车速较高时甚至出现行人翻转 900 度后落地的现象，图表中红色描点代表

头部为第一落地点所对应的车速和行人的翻转角度(图9)。对于 MPV/One-Box 车型, 由于车辆前部较为扁平, 行人碰撞后身体上部多为直接碰撞到车辆前挡风玻璃, 所以一般不会出现连续翻转的情况, 翻转角度多为+90; 图表中红色描点代表头部为第一落地点所对应的车速和行人的翻转角度(图10)。对于 SUV 的车型, 由于其前部较高, 同时前挡风玻璃类似轿车较为靠后, 所以碰撞发生时行人的绕转角度多存在-90 和+90; 图表中红色描点代表头部为第二落地点时的车速和行人绕转角度(图11)。对于货车而言, 其底盘较高, 前部几乎与地面垂直, 碰撞时行人的身体直接与货车的前部发生接触, 车辆前部会直接将行人撞倒, 不会发生翻转, 所以翻转角度多为-90; 图表中的红色描点代表发生头部与地面碰撞的车速和行人绕转角度图(图12)。

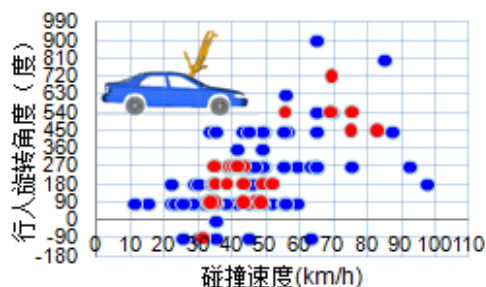


Figure9. Pedestrian Rotation Angle (Sedan)
图 9. 轿车-行人事故中行人旋转角度分布图

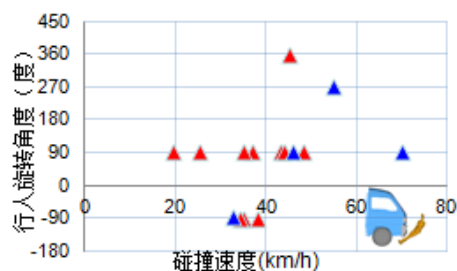


Figure10. Pedestrian Rotation Angle (MPV/One-Box)
图 10. MPV\One-box 车型-行人事故中行人旋转角度分布图

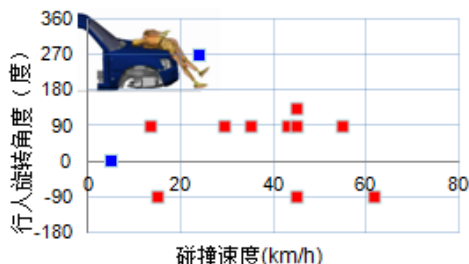


Figure11. Pedestrian Rotation Angle (SUV)
图 11. SUV 车型-行人事故中行人旋转角度分布图

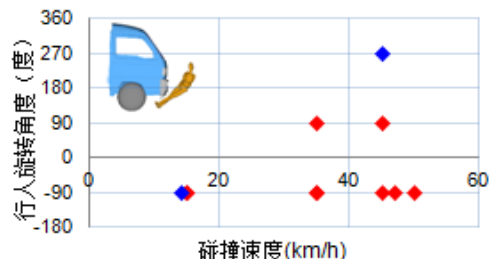


Figure12. Pedestrian Rotation Angle (Truck)
图 12. 货车-行人事故中行人旋转角度分布图

3.9 行人与地面碰撞的统计分析

根据统计结果可以看出, 头部为第一碰撞点的概率为 23.3%, 头部为第二碰撞点的概率为 28.2%, 头部为第三碰撞点的概率为 44.4%, 所有可以统计的案例中共有 115 例案例发生了头部与地面的碰撞, 占样本总数的 89.1%。其次背部和腿部与地面碰撞的概率也较高图(13)。

通过对比分析, 在事故发生时, 绝大多数案例都会发生行人头部与地面的二次碰撞, 随着行人安全保护技术的进步, 不断有新的技术应用到车辆上以达到在事故发生时保护行人的目的, 但是事故发生后行人与地面碰撞所受到的二次伤害的保护依然是空白, 根据视频信息, 分析行人落地时的姿态及二次碰撞发生的规律, 有利于我们对行人落地所受二次伤害的研究。

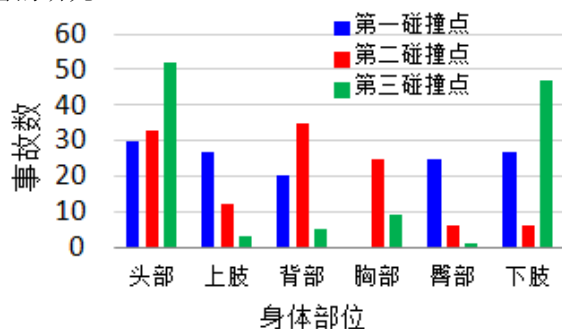


Figure13. Pedestrian Body Region against Ground
图 13. 行人交通事故中行人跌落部位分布图

3 结论

本文对 150 例行人交通事故视频案例进行了统计分析,定义了事故发生时行人动力学响应的统计方法,对视频信息进行提取,建立了基于视频信息的行人交通事故调查数据库。结果表明,部分行人的事故发生前会表现出不同的应急反应;根据真实视频可以验证,车辆的前部结构特征和碰撞车速对行人的动力学响应有重要影响;行人头部与地面的碰撞很大程度上取决于行人的旋转角度。行人旋转 180 度后头部落地的情形可能会对行人头部造成严重损伤。行人交通事故视频反应出来的真实信息,对行人与地面的二次碰撞损伤的研究及对车辆前部结构改进具有重要的理论依据。

致谢

本研究获得了国家自然科学基金(项目编号:31300784)和福建省杰出青年科学研究项目的资助。对在项目中付出努力的研究人员和单位表示感谢。

参考文献

- [1] Ministry of Public Security Traffic Management Bureau, The People's Republic of China Traffic Accident Statistical Yearbook (2012),1, Wuxi: Ministry of Public Security Traffic Management Research Institute,2013,58
- [2] 公安部交通管理局.中华人民共和国道路交通事故统计年报 (2012).1.无锡:公安部交通管理科学研究所, 2013, 58.
- [3] Anne Guillaume, Thierry Hermitte, Car or ground:Which causes more pedestrian injuries?, Laboratory of Accidentology Biomechanics and human behavior, PSA Peugeot-Citroën / RENAULT, France,
- [4] Chunyu KONG, Changsha City Automobile Accident Investigation and traffic injury epidemiology study[D].Changsha: Hunan University,2007
- [5] Hui ZHAO, Zhi-yong YIN, Rong CHEN, Survey and analysis of pedestrian head injury caused by passenger car,[J] Trauma Surg,2011 ,Vol. 13,No.3
- [6] 赵辉, 尹志勇, 陈蓉. 乘用车致行人头部损伤程度调查及分析[J].创伤外科杂志, 2011, 13 (3) : 197-201.