

无信号交叉口行人过街决策行为分析

韦艳芳^{1,2}, 时伟³, 邝华⁴, 宋涛¹, 董力耘¹

(1. 上海大学上海市应用数学和力学研究所, 上海 200072; 2. 玉林师范学院 物理科学与工程技术学院, 广西 玉林 537000;
3. 梧州学院 数理系, 广西 梧州 543002; 4. 广西师范大学 物理科学与技术学院, 广西 桂林 541004)

摘要: 通过分析拟合广西梧州市中心城区无信号交叉口的实测数据, 研究了行人的过街决策行为和过街速度, 并在此基础上, 引入了行人决策距离和临界安全距离两个概念. 实测数据表明, 交通平常期行人过街速度在平均速度附近变化: 如果考虑行人在路边的等待时间, 行人的平均过街速度为0.6 m/s; 如果不考虑行人在路边的等待时间, 行人的平均过街速度为0.8 m/s. 经统计学D'Agostino法检验发现, 交通平常期行人过街的平均速度分布不满足正态分布.

关键词: 交通流; 行人流; 决策行为; 过街速度

中图分类号: O 29

文献标志码: A

文章编号: 1007-2861(2013)03-0315-04

Decision-Making Behavior of Pedestrians at Intersection without Traffic Lights

WEI Yan-fang^{1,2}, SHI Wei³, KUANG Hua⁴, SONG Tao¹, DONG Li-yun¹

(1. Shanghai Institute of Applied Mathematics and Mechanics, Shanghai University, Shanghai 200072, China;
2. College of Physical Science and Technology, Yulin Normal University, Yulin 537000, Guangxi, China;
3. Department of Physics and Mathematics, Wuzhou University, Wuzhou 543002, Guangxi, China;
4. College of Physics and Technology, Guangxi Normal University, Guilin 541004, Guangxi, China)

Abstract: This paper conducts a set of field measurements to obtain data of decision-making behavior and crossing speed of pedestrians at an intersection without traffic lights in downtown Wuzhou, Guangxi. The concepts of decision-making distance and critical safety distance are introduced through analysis and fitting of statistical data. The observed data show that pedestrians' crossing speed at off-peak hour fluctuates around the mean speed and does not perfectly obey the normal distribution based on the D'Agostino test. The mean speed at off-peak hour is only 0.6 m/s when the waiting time is counted, whereas it is 0.8 m/s without considering the waiting time.

Key words: traffic flow; pedestrian flow; decision-making behavior; crossing speed

近年来, 交通流和行人动力学呈现出丰富的非线性现象, 许多学者从不同角度对此进行了研究^[1-10], 其中城市交通是研究的热点之一. 国内的城市交通与国外发达国家有很大不同, 机动车、非机动车和行人的混合交通是国内城市交通的重要特征之一. Yang等^[8]通过调查问卷和数值模拟, 分析了西安市某处有信号人行横道上遵守交通规则和违反交通规则的行人的过街特性. Lam等^[9]研究了在不同交通条件下,

有信号人行横道上的行人速度与流量之间的关系. Li等^[10]通过大量实测数据, 分析了西安市有信号交叉口的行人过街延误问题. 研究无信号交叉口的行人过街特性, 对交叉口信号配时、提高道路通行能力以及选用科学合理的行人过街设施均具有重要的现实意义和理论价值. 本工作通过交通实测, 对广西梧州市中心城区某处无信号交叉口行人的过街决策行为和过街速度进行了研究, 在数据分析和拟合的基础上, 引入了行人

收稿日期: 2013-01-27

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(11047003, 11162019, 11172164, 11262005, 10962002, 10902076)

通信作者: 董力耘(1971—), 男, 副教授, 博士, 研究方向为交通流理论. E-mail: dly@shu.edu.cn

决策距离和临界安全距离两个概念, 并采用统计学中的 D'Agostino 法, 对行人过街速度分布的正态性进行了分析.

1 实测地点

国内中小城市有许多无信号交叉口, 因而出现了行人、摩托车、电动车、自行车和人力车共用同一条人行横道的现象. 当行人通过人行横道时, 不仅行人相互之间有影响, 还会受到摩托车、电动车、自行车和人力车的影响, 同时主干道上的机动车对行人的过街行为也有很大的影响. 因此研究行人在人行横道上的运动规律具有重要的现实意义, 而且对行人运动特性的深入了解有助于设计相应的行人设施、减少城市交通拥堵. 本研究以广西梧州市中心城区最繁忙的某一个无信号交叉口作为实测地点, 探讨无信号人行横道上行人的运动规律. 图 1 为实测地点示意图, 其中人行横道的长度(南→北)为 12.8 m, 宽度为 4.0 m. 在主干道新兴一路上行驶的机动车主要是公交车和小型汽车(也有部分摩托车, 但暂不列入统计), 车速为 20~40 km/h.

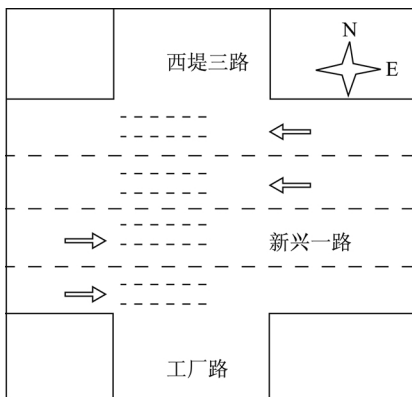


图 1 无信号交叉口人行横道示意图

Fig. 1 Layout of unsignalized crosswalk

2 实测数据分析

2.1 行人过街决策行为

行人在无信号交叉口的过街行为非常复杂, 主要是根据主干道上车辆的速度以及自身与主干道车辆之间的距离(以下简称“人车距离”)来决定是否过街. 本研究的交通实测日期为 2009 年 4 月 18—22 日和 5 月 9 日. 当行人到达新兴一路的路边时, 记录主干道上车辆与人行横道的垂直距离, 并观察行人是否过街. 如果行人决定过街, 记录行人的过街时间, 并由此计算出行人过街的平均速度. 对于中小城市而言, 通常上下班时间是交通高峰期, 其他时间是交通平常期. 本研究的实测时间为下午 3:30—4:30(交通平常期)和下

午 5:15—6:15(交通高峰期). 图 2 是交通平常期行人过街决策频率与人车距离的关系. 从图中可以看出, 行人停在路边的频率随着人车距离的增加而减小, 当人车距离大于 18.8 m 时, 行人停在路边的频率接近零. 当人车距离较小时, 行人的过街频率随着人车距离的减小而降低. 当人车距离大于 13.2 m 时, 行人的过街频率开始变化, 部分小心谨慎的行人在人车距离比较大的情况下, 因观察到主干道上车辆速度较快而选择停在路边, 等待车辆经过之后再考虑是否过街, 这是行人过街频率变化的原因之一. 当人车距离大于 75.0 m 时, 行人的过街频率突然从 0.05 增大到 0.20. 从图 2 还可以看到, 行人的过街频率曲线和停在路边的频率曲线有一个交点, 此交点对应的人车距离称为决策距离. 本研究中, 行人的决策距离 h_{DM} 约为 10.8 m, 当人车距离大于决策距离时, 大多数行人会选择过街, 只有少数行人会选择停在路边, 等待下次过街机会.

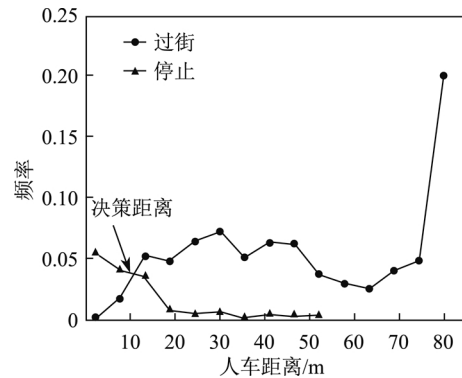


图 2 交通平常期行人过街决策频率随人车距离的变化曲线

Fig. 2 Plots of frequency against distance at off-peak hour

图 3 为交通平常期行人过街平均速度随人车距离变化的情况. 通过非线性拟合发现曲线有一峰值, 对应的最大速度约为 1.83 m/s, 对应的人车距离约为 15.3 m, 称此距离为临界安全距离 h_s . 在无信号交叉口, 行人过街是与车辆行驶动态博弈的过程. 当车辆距离人行横道比较远时, 车辆速度较快, 为安全着想, 行人只能以最快的速度穿过人行横道. 当车辆距离人行横道较近时, 驾驶员开始减速刹车, 行人的安全有了一定的保障, 行走速度相应降低. 因此, 当 $h_{DM} <$ 人车距离 $< h_s$ 时, 行人的过街速度随着人车距离的增加而增大. 当人车距离大于 h_s 时, 行人会觉得自身比较安全, 行走速度快速下降. 当人车距离大于 21.0 m 时, 行人过街速度在 0.88 m/s 附近扰动. 根据拟合结果, 可获得如下经验公式:

$$v = v_m + \kappa e^{-\lambda(x-h_s)^2},$$

式中, v_m 为行人在实测地点的最小过街速度, x 为主

干道车辆与人行横道之间的垂直距离, κ 和 λ 为待定参数, 需通过参数辨识来确定.

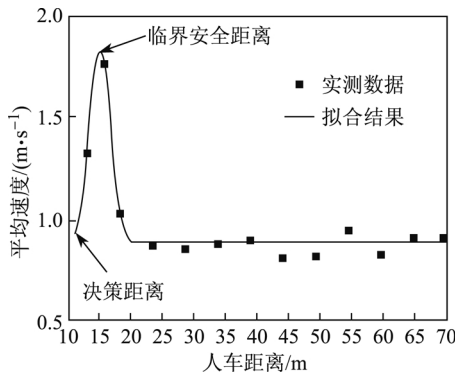


图 3 交通平常期行人过街平均速度与入车距离的关系
Fig. 3 Plots of mean crossing speed against distance at off-peak hour

图 4 是交通高峰期行人过街决策频率随入车距离变化的情况. 可以看到, 当入车距离较小时, 行人过街频率并不为零, 这是因为人行横道附近出现密集车流, 车辆时停时走, 部分性急的行人不顾自身安危, 抓住任何时机强行通过人行横道; 在高峰期, 未发现明显的行人过街规律.

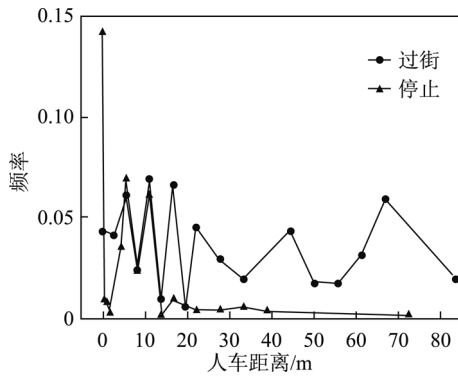
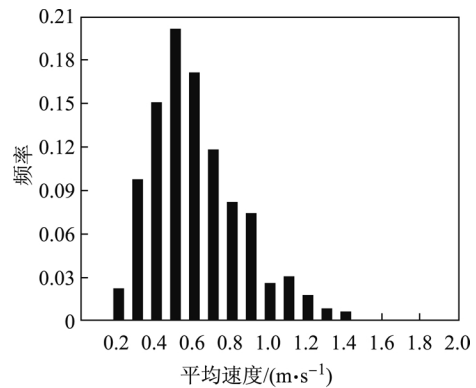


图 4 交通高峰期行人过街频率随入车距离的变化曲线
Fig. 4 Plots of frequency against distance at rush hour

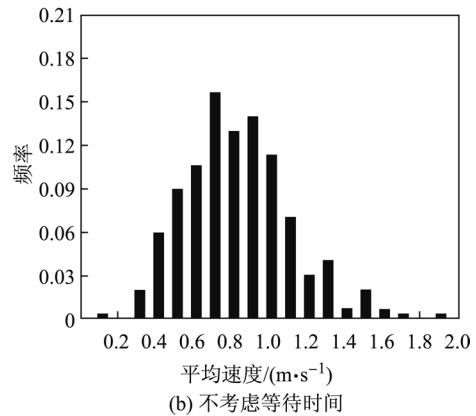
2.2 行人过街速度

行人过街速度是交通流理论和交叉口设计中的一个重要特征量, 对行人过街速度的深入研究有助于交通灯的设计和瓶颈处交通流量的提高. 本研究对行人过街速度的现场实测时间是 2009 年 5 月 9 日. 当行人到达新兴一路的路边时, 首先驻足观察主干道上的交通状况, 然后再决定是否通过人行横道. 从行人到达路边至行人决定进入人行横道的这段时间, 称为等待时间. 从行人进入人行横道到离开人行横道的这段时间, 称为过街时间. 图 5 是交通平常期行人过街平均速度的频率分布. 当考虑等待时间时, 行人过街的平均速度为 0.2~1.4 m/s, 其中以 0.3~0.7 m/s 所占比例较大, 最可几平均速度为 0.5 m/s, 行人的平均过街速度为 0.6 m/s. 如果不考虑等待时间, 行人过街的平均速度为 0.1~1.9 m/s, 其中以 0.5~1.0 m/s 所占比例较大, 最可几平均速度为 0.7 m/s, 行人平均过街速度为 0.8 m/s. 本研究实测获得的行人平均速度低于已有的观测结果^[9,11-14], 这是因为在实测地点, 行人、摩托车、电动车、自行车和人力车共用人行横道. 据观察, 几乎每一次行人过街都会有自行车、摩托车、电动车或者人力车掺杂其中, 多则数十辆, 少则一二辆. 行人和车辆之间的相互影响非常大, 例如, 行人为了避免与摩托车、电动车、自行车和人力车碰撞, 不得不迂回穿过人行横道.

均速度为 0.2~1.4 m/s, 其中以 0.3~0.7 m/s 所占比例较大, 最可几平均速度为 0.5 m/s, 行人的平均过街速度为 0.6 m/s. 如果不考虑等待时间, 行人过街的平均速度为 0.1~1.9 m/s, 其中以 0.5~1.0 m/s 所占比例较大, 最可几平均速度为 0.7 m/s, 行人平均过街速度为 0.8 m/s. 本研究实测获得的行人平均速度低于已有的观测结果^[9,11-14], 这是因为在实测地点, 行人、摩托车、电动车、自行车和人力车共用人行横道. 据观察, 几乎每一次行人过街都会有自行车、摩托车、电动车或者人力车掺杂其中, 多则数十辆, 少则一二辆. 行人和车辆之间的相互影响非常大, 例如, 行人为了避免与摩托车、电动车、自行车和人力车碰撞, 不得不迂回穿过人行横道.



(a) 考虑等待时间



(b) 不考虑等待时间

图 5 交通平常期行人过街平均速度的频率分布
Fig. 5 Plots of frequency against mean crossing speed

在统计学中, 偏离正态分布的检验根据备择假设的不同可分为两种: 当在备择假设中已指定对正态分布偏离的形式时, 检验称为有方向检验; 当在备择假设中未指定对正态分布偏离的形式时, 检验称为无方向检验. 在无方向检验中, 统计学中的 D'Agostino 法适用于样本容量为 $51 \leq n \leq 1000$ 的情况. 本研究采用 D'Agostino 法来检验行人过街平均速度的正态性, 将数据按照从小到大的顺序排列, 并根据如下定义^[15]计

算统计量 D 和 Y :

$$D = \frac{\sum_{i=1}^n (i - \frac{n+1}{2}) x_i}{(\sqrt{n})^3 \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}}$$

$$Y = \frac{\sqrt{n}(D - 0.28209479)}{0.02998598}$$

式中, n 为样本容量, x_i 为第 i 个样本观测值, \bar{x} 为样本均值. 要判断观测值是否正态分布, 需要将计算的 Y 值与文献 [15] 中表 4-1 的分位数 $Y_{\alpha/2}$ 和 $Y_{1-\alpha/2}$ 进行比较, 若 $Y < Y_{\alpha/2}$ 或 $Y < Y_{1-\alpha/2}$, 则不是正态分布, 本研究取显著性水平 $\alpha = 0.05$. 当考虑等待时间时, 本研究的样本容量 $n = 638$, 而表 4-1^[15] 中没有样本容量 638 的分位数, 只有邻近样本容量 600, 650 的分位数. 通过计算, 可得 $n = 638$ 时分位数 $Y = -5.34$, 与样本容量 600, 650 的分位数 $Y_{0.025}$, $Y_{0.975}$ 比较可发现, 两种情况下均有 $Y < Y_{0.025}$. 同理, 在不考虑等待时间的情况下, 计算样本容量 $n = 300$ 时的分位数, 可得 $Y = 10.16$, 有 $Y > Y_{0.975}$. 因此, 本研究中的交通平常期行人过街平均速度的分布不服从正态分布.

3 结束语

本研究通过现场实测及数据分析, 探讨了无信号交叉口行人过街决策行为和过街速度的分布特性. 研究发现, 交通平常期行人过街的决策距离 $h_{DM} = 10.8$ m, 临界安全距离 $h_s = 15.3$ m, 并通过数据拟合, 获得了交通平常期行人过街速度的经验公式. 统计结果表明, 交通平常期的行人过街速度在平均速度附近扰动. 当考虑路边等待时间时, 行人平均过街速度为 0.6 m/s; 当不考虑等待时间时, 行人平均过街速度为 0.8 m/s. 此外, 使用 D'Agostino 法检验, 发现交通平常期行人过街平均速度的分布不服从正态分布.

本研究立足于以广西梧州市为代表的中小城市交通. 中小城市交通的车辆构成复杂, 以公交车、小型汽车、摩托车、机动三轮车为主, 甚至还有自行车、人力三轮车、畜力车在机动车道行驶. 不同类型的交通混合或者速度相差悬殊的机动车混合行驶, 必然导致互相牵制、互相干扰, 致使道路通行能力低下. 同时, 中小城市交通参与者遵守交通规则的意识 and 守法观念淡薄, 侵犯他人路权、影响他人交通便利和安全的交通违法及不文明驾驶行为较多. 例如, 机动车随意停靠、随意变道、急停猛拐、争道抢行以及遇人行横道不减速让行人、在人行横道内停车等. 因此, 本研究所得结果具有一定的局限性, 仅适用于混合交通突出的中小城市无信号交叉口. 对于信号交叉口、机非分离交叉路口的行人过街特性则需要作进一步分析.

参考文献:

- [1] SCHADSCHNEINER A, KLINGSCH W, KLÜPFEL H, et al. Evacuation dynamics: empirical results, modeling and applications [C]// Encyclopedia of Complexity and Systems Science. 2009: 3142-3176.
- [2] HELBING D, MOLNÁR P. Social force model for pedestrian dynamics [J]. Phys Rev E, 1995, 51(5): 4282-4286.
- [3] HUGHES R L. The flow of large crowds of pedestrians [J]. Mathematics and Computers in Simulation, 2000, 53: 367-370.
- [4] BLUE V, ADLER J. Cellular automata micro simulation of bidirectional pedestrian flows [J]. Transportation Research Record, 1999, 1678: 135-141.
- [5] CHOWDHURY D, SANTEN L, SCHADSCHNEIDER A. Statistical physics of vehicular traffic and some related systems [J]. Physics Reports, 2000, 329 (4/5/6):199-329.
- [6] SCHADSCHNEIDER A. Traffic flow: a statistical physics point of view [J]. Physica A, 2002, 313: 153-187.
- [7] HENDERSON L F. The statistics of crowd fluids [J]. Nature, 1971, 229: 381-383.
- [8] YANG J G, DENG W, WANG J M, et al. Modeling pedestrians' road crossing behavior in traffic system micro-simulation in China [J]. Transportation Research Part A, 2006, 40: 280-290.
- [9] LAM W H K, LEE J Y S, CHEUNG C Y. A study of the bi-directional pedestrian flow characteristics at Hong Kong signalized crosswalk facilities [J]. Transportation, 2002, 29: 169-192.
- [10] LI Q F, WANG Z A, YANG J G, et al. Pedestrian delay estimation at signalized intersections in developing cities [J]. Transportation Research Part A, 2005, 39: 61-73.
- [11] 陈然, 董力耘. 中国大都市行人交通特征的实测和初步分析 [J]. 上海大学学报: 自然科学版, 2005, 11(1): 93-97.
- [12] Transportation Research Board. Highway capacity manual 2000 [M]. Washington DC: National Research Council, 2000.
- [13] LEE J Y S, LAM W H K. Simulating pedestrian movements at signalized crosswalks in Hong Kong [J]. Transportation Research Part A, 2008, 42: 1314-1325.
- [14] 梁春岩, 杨文学, 倪铁山, 等. 行人交通流模型研究 [J]. 吉林建筑工程学院学报, 2009, 26(3): 15-19.
- [15] 梁小筠. 正态性检验 [M]. 北京: 中国统计出版社, 1997: 105-106.