

文章编号: 1005-0523(2012)06-0065-05

基于博弈论的无控制路段人行横道处人车抢行分析

周雪峰, 郑长江

(河海大学土木与交通学院, 江苏 南京 210098)

摘要: 博弈论是研究理性决策主体的决策行为的理论。在城市道路无信号控制路段人行横道中, 行人与机动车发生着利益的冲突, 运用博弈论可以对其进行深入的分析。它建立了行人与机动车之间抢行的完全信息静态和动态博弈模型, 并对两个模型进行了分析, 提出了一些方法与建议, 为交管部门管理道路交通提供了决策的依据, 为解决道路无信号控制路段人行横道处的利益冲突提供了新的思路。

关键词: 路段人行横道; 博弈论; 行人; 机动车; 抢行

中图分类号: U491.5; F224.32

文献标志码: A

混合交通是我国城市道路交通运行的显著特征^[1], 其中行人与机动车混行是其主要的表现形式, 路段人行横道是为了方便行人过街而设计的, 在这一路段上存在着大量的人车混行。在国内城市的次干道以及支路上, 路段人行横道一般都是无信号控制的, 所以行人和机动车在通过人行横道时会引发冲突, 导致行人或机动车辆的抢行。王迎华等^[2]通过实际交通调查, 发现在无信号控制的人行横道上, 行人和机动车的礼让情况与双方的数量及所占比重有关。从理论上分析了人、车的通行能力与延误情况, 并分别建立了无信号人行横道处机动车数量占优及行人数量占优时的人、车延误模型。王俊骅等^[3]通过运用交通冲突技术理论, 对上海市9个路段的无信号人行横道上的行人与机动车冲突过程进行了全程录像。通过获得冲突过程中的车速变化过程、车辆运行轨迹变化过程以及行人的避险行为, 建立了行人与机动车冲突严重程度的辨别指标, 对行人与机动车冲突过程中行人以及机动车的避险特性进行了定量的总结与分析。国外在此方面的研究, 主要有两种, 一种是假定人行横道处的机动车具有先行权, 另一种是假定行人具有先行权^[4]。而以上两种假设, 都与国内无信号控制人行横道处行人与机动车的实际运行情况及有关规定不符。本文从博弈论的角度以行人与机动车为例, 对城市道路无信号控制路段人行横道上的先行权进行分析。

博弈论(game theory), 是研究决策主体的行为发生直接相互作用时候的决策以及这种决策的均衡问题的。从参与人行动的先后顺序角度看, 博弈可以划分为静态博弈和动态博弈。从参与人对有关其他参与人的特征、战略空间及支付函数的认识角度看, 博弈可以划分为完全信息博弈和不完全信息博弈。本文主要用到的是完全信息博弈^[5]。

道路交通的参与人主要是行人和机动车驾驶员, 当他们参与交通活动时, 相互之间会有联系同时也会存在利益的冲突。在城市道路无信号控制路段人行横道处, 同时到达人行横道处的机动车与行人都希望自己先行通过人行横道, 而在实际生活中先行通过者只可以有一方, 另一方则必须处于等待的位置, 这样就会存在利益冲突。再有, 当参与者其中一方先行抢行时, 相互都可以观察到对方的行动, 则此时当另一方

收稿日期: 2012-09-04

基金项目: 江苏省自然科学基金(BK2011745)

作者简介: 周雪峰(1987-), 男, 硕士研究生, 交通运输规划与管理。

对自己的利益受到损害,会做出如何行动。实质上这些都是利益冲突的主体之间所进行的博弈结果,即博弈一方的决策必然影响到其他博弈方的利益,并促使对方做出相应反应,从而影响到博弈结局^[6]。所以可以从博弈论的角度对这些现象进行分析。

1 无控制路段人行横道处人车运行特性分析^[7]

城市道路两侧存在着商店等吸引源,行人为了方便到对面会选择横穿马路,从而与道路上行驶的机动车产生冲突。在我国城市次干道以及支路中,一般是设置无控制的人行横道来达到行人过街的目的,在一定程度上可以减少人机冲突发生的可能性。

从行人角度来看,本文是以单个行人为研究对象的,行人最突出的特点是行动灵活,可以在极短的时间和距离内改变自己的行动,所以在穿越过程中占据优势。当行人到达判断点后,会观察交通环境,包括当前的道路条件(人行横道长短等)及交通条件(车速、车辆间隙等),并根据以上信息来决定是否穿越。在穿越决策确定后,若行人判断可以穿越,则会加速通过人行横道;若行人判断不可以穿越,则会减速慢行或是礼让机动车。

从机动车角度来看,机动车在穿越前驾驶员要观察当前的道路条件(车道等)和交通条件(行人间隙、行人速度等)。驾驶员会根据以上信息来决定是否穿越。之后驾驶员会根据自己的决策对机动车进行控制,执行是穿越通过或是不穿越减速停车等待。

即把穿越活动分为两个阶段:穿越决策阶段和穿越执行阶段。在穿越决策阶段后,接下来是穿越执行行为:若判断穿越,则驾驶员执行穿越行为;若判断不穿越,则驾驶员执行减速停车行为,一般情况下不停车,但也有部分驾驶员会采取换道改变行驶路径绕行^[8]。

行人和机动车在通过无控制路段人行横道时,实际上是一个相互礼让、相互阻挠的过程。图1为南京市某路段人行横道示意图。

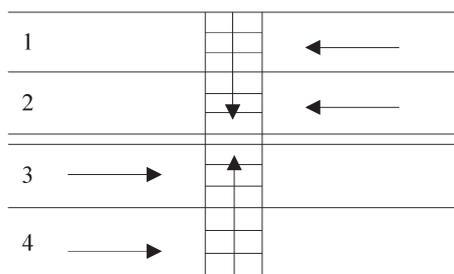


图1 南京市某路段人行横道
Fig.1 A crosswalk of a certain road in Nanjing

2 行人与机动车完全信息静态博弈模型及其分析

假定在道路无信号控制路段人行横道上,有一行人欲通过人行横道到马路对面,同时在道路上有一机动车也正准备驶过人行横道。此时如果行人与机动车都抢行,两者必然会相互碰撞引发交通事故;如果行人与机动车中至少有一方愿意让行,则双方都可以通过人行横道。从双方抢行的行为中可以看出,双方一致认为通过人行横道的时间越短,自身所得的效用值就会越大。根据以上假设,当双方都抢行时,通过人行横道的时间最长,但由于双方心理上都没有理亏,所以令双方所得效用值都为5;当一方礼让而另一方选择抢行时,礼让方虽然此时通过人行横道的时间比双方都抢行时的时间要短,但由于礼让方心理上产生不舒服的感觉^[9],因此对于礼让方,他所获效用值比双方都抢行时所取得的效用值小,令其为4,抢行方此时的时间最短,所获得的效用最大则令其为8;当双方都礼让时双方都会停下来,此时产生等待时间,但他们通过人行横道的时间应介于双方都抢行与仅有一方抢行之间,效用值也应该介于上述两种情况之间,假定双方的效用值均为6。根据以上分析,可以建立表1的博弈矩阵模型。

行人和机动车驾驶员都是理性的参与者,他们都会追求最大的效用值。对于行人来说,当机动车抢行

表1 行人-机动车抢行静态博弈模型I

Tab.1 A complete information static game model I for grabbing the road between the pedestrians and the vehicles

行为	机动车抢行	机动车礼让
行人抢行	5,5	8,4
行人礼让	4,8	6,6

时,他根据效用值的对比也会选择抢行,行人的效用对比式为 $5 > 4$;当机动车礼让时,他根据效用值的对比还是会选择抢行,此时行人的效用对比式为 $8 > 6$ 。综上所述,不管机动车驾驶员是选择抢行还是礼让,行人的最优策略都是抢行。同理可以分析出抢行也是机动车驾驶员的最优策略。

因此策略{抢行,抢行}的组合就成为了唯一的纳什均衡。而对于策略{礼让,礼让},虽然可以使他们的效用值都变大,但不可以构成纳什均衡。根据以上分析,当个体都是理性的参与者的时,抢行就成为他们最好的策略选择。此时就会陷入“囚徒困境”的悖论,这种结果对双方都是不利的。

现在对民众进行交通安全宣传教育,使民众认识到遵守交通法规的必要性,当发生交通事故时,此时所引起的危害会使两者的效用损失得更大,所以在交通运行过程中,礼让是值得双方选择的策略。因此他们都会修改自己的效用值。假设修改表1中的效用值如表2。

现在对表2进行分析,对于行人来说,不管机动车驾驶员是选择抢行还是礼让,根据行人的效用对比 $8 > 5$ 和 $10 > 7$ 可知,礼让总是行人的最优策略;同理对机动车来说,礼让也是他的最优策略。这样策略{礼让,礼让}的组合就成为了唯一的纳什均衡。这样可以减少交通事故的发生,提高民众的素质文明出行,这也是交管部门期望看到的结果。

在表1的基础上假设交管部门要对抢行行为进行一定的处罚,因为行人是弱势群体,所以机动车的处罚力度相应的要比行人高,我们假设行人的处罚力度为 C ,机动车的处罚力度为 $2C$,可以构建新的博弈矩阵模型表3。

表2 行人-机动车抢行静态博弈模型II

Tab.2 A complete information static game model II for grabbing the road between the pedestrians and the vehicles

行为	机动车抢行	机动车礼让
行人抢行	5,5	7,8
行人礼让	8,7	10,10

表3 行人-机动车抢行静态博弈模型III

Tab.3 A complete information static game model III for grabbing the road between the pedestrians and the vehicles

行为	机动车抢行	机动车礼让
行人抢行	$5-C, 5-2C$	$8-C, 4$
行人礼让	$4, 8-2C$	$6, 6$

假设行人抢行的概率为 P_1 ,礼让的概率为 $1-P_1$;机动车抢行的概率为 P_2 ,礼让的概率为 $1-P_2$ 。

给定 P_1 ,行人抢行时的期望收益 E_{g_1} 函数为

$$E_{g_1} = (5 - C)P_1 + (8 - C)P_1$$

行人礼让时的期望收益 E_{g_2} 函数为

$$E_{g_2} = 4(1 - P_1) + 6(1 - P_1)$$

令 $E_{g_1} = E_{g_2}$ [10],得到 $P_1 = \frac{10}{23 - 2C}$,我们不希望行人抢行,希望它的概率尽量的小,所以令 $0 < P_1 < 0.5$,

经计算得 $0 < C < \frac{3}{2}$ 。同理,通过机动车期望收益的计算得到相同的结果。

要使策略{礼让,礼让}的组合构成唯一的纳什均衡,同样必须满足下面的条件

$$4 > 5 - 2C \tag{1}$$

$$6 > 8 - 2C \tag{2}$$

解不等式(1),(2)可得 $C > \frac{1}{2}$,结合上面结果可得 $\frac{1}{2} < C < \frac{3}{2}$,通过对抢行行为的交通处罚,迫使抢行者的效用值下降在 $1/2$ 到 $3/2$ 个单位之间时,策略{礼让,礼让}的组合就会变成纳什均衡,双方的最优策略都是礼让。

根据以上两个博弈模型的分析,得到两个观点:一是通过道路交通安全的宣传教育来提高民众的素质,让他们主动选择礼让,文明出行;二是当民众的交通安全意识不强时,可以通过交管部门制定处罚条例迫使他们选择礼让行为。

3 行人与机动车完全信息动态博弈模型及其分析

在道路无信号控制路段人行横道上,有一个行人欲通过人行横道到马路对面,同时在道路上一辆机动车也正准备驶过人行横道,此时他们之间的距离要比静态博弈时更近一些,双方都可以觉察到对方的行动,此时转化为完全信息动态博弈。以行人为例,若他将机动车定位为先行者,那他自己就是后行者;若他把自己定位为先行者,那机动车就是后行者。同理在机动车驾驶员心里自己与行人也有一个定位。双方在交叉过程中都不希望发生交通事故,所以只要一方选择抢行,则另一方的最优策略为礼让,这样双方才可以安全通过人行横道。从双方抢行的行为中可以看出,双方一致认为通过人行横道的时间越短,自身所得的效用值就会越大。建立与静态博弈相似的假设,当双方都抢行时,通过人行横道的时间最长,但由于双方心理上都没有理亏,所以令双方所得效用值都为5;先行者抢行而后行者礼让时,后行者虽然此时通过人行横道的时间比双方都抢行时的时间要短,但是由于后行者心理上产生不舒服的感觉,因此对于后行者,他所获效用值比双方都抢行时所取得的效用值小,令其为6,先行者此时的时间最短,所获得的效用最大则令其为8;先行者礼让而后行者抢行时,由于先行者抢行被视为“理所当然”,而他却选择礼让,则其所得效用值最小,令其为0,此时后行者抢行所得效用最大为8,若后行者也选择礼让,则其效用会小一些,令其所得效用为4。根据以上分析,可以建立如表4的博弈矩阵模型。

我们对表4进行分析,对于后行者来说,当先行者抢行时,后行者的最优策略是礼让,因为后行者的效用对比式为 $6 > 5$;当先行者礼让时,后行者的最优策略是抢行,因为后行者的效用对比式为 $8 > 4$ 。但行人和机动车驾驶员都是理性的参与者,他们都会追求最大的效用值,所以对于先行者来说,无论后行者选择什么策略,他的最优策略都是抢行。此时,先行者礼让这一策略就变成一个不可置信的战略,应该从均衡中剔除。这一模型就变成了子博弈精炼纳什均衡模型,其最优策略为先行者抢行,后行者礼让, {抢行, 礼让} 构成了唯一的子博弈精炼纳什均衡。根据表4可以得到图2的博弈树。

表4 行人-机动车抢行动态博弈模型IV
Tab.4 A complete information dynamic game model IV for grabbing the road between the pedestrians and the vehicles

		后行者	
		抢行	礼让
先行者	抢行	5,5	8,6
	礼让	0,8	0,4

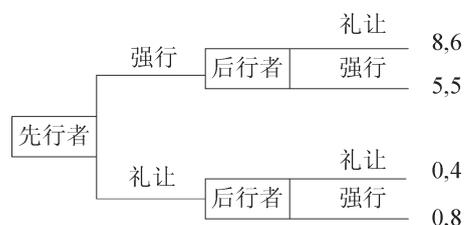


图2 行人-机动车抢行动态博弈树
Fig.2 A game tree for grabbing the road between the pedestrians and the vehicles

当处于第一阶段(完全信息静态博弈)时,通过一定的措施使它的最优策略为{礼让, 礼让}。在这一阶段,如果冲突得以解决则就此结束,但如果冲突没有解决,则将进入第二个阶段(完全信息动态博弈)。在第二个阶段中,一方变为先行者,另一方变为后行者,此时的最优策略为{抢行, 礼让},双方得以通过路口。这样通过静动态的博弈,行人与机动车的利益冲突最终会得到解决,减少了交通事故的发生。

4 结语

在道路无信号控制路段人行横道上,行人与机动车发生着利益的冲突,作为理性的个体,各方都会从自身的角度出发来选择何种交通行为。本文通过建立完全信息静态博弈和动态博弈两个模型对两者的交通行为进行了分析,得出为了减少交通事故的发生,交管部门必须采取相应的措施。

博弈论是研究决策主体的行为发生直接相互作用时候的决策以及这种决策的均衡问题的,是用来解决一些交通问题的新方法。运用博弈论分析无信号控制路段人行横道处行人与机动车利益冲突的问题,有利于深入了解双方的交通行为选择,为交管部门调节交通参与人的交通行为提供可靠的依据,为解决无信号控制路段人行横道处的利益冲突提供了新的思路。

参考文献:

- [1] 黄文忠,杨佩昆. 无控制人行横道处的行人和机动车延误分析[J]. 同济大学学报,1995,23(1):31-36.
- [2] 王迎华,李凤超. 无信号人行横道人、车干扰分析[J]. 交通科技,2007(6):85-87.
- [3] 王俊弊,方守恩. 路段行人—机动车冲突观测方法及冲突特性[J]. 同济大学学报,2008,36(4):503-507.
- [4] GRIFFITHS J D. A mathematical model of a nonsignalized pedestrian crossing [J]. Trans Science, 1981, 15(3):212-216.
- [5] 张维迎. 博弈论与信息经济学[M]. 上海:上海人民出版社,2001:6-7
- [6] 易欣. 房地产企业战略联盟行为的博弈分析[J]. 华东交通大学学报,2012,29(4):96-101.
- [7] 郑长江,刘峰,黄晓迪. 无信号控制路段人行横道行人过街时间研究[J]. 武汉理工大学学报,2012,36(3):475-476.
- [8] 唐勃勃. 基于合作博弈的平面信号交叉口行人和机动车干扰研究[D]. 北京:北京交通大学,2010:34-36.
- [9] 邵祖峰. 博弈论在道路交通管理中的应用[J]. 道路交通与安全,2006,6(3):8-10.
- [10] 董甜甜,谭建春. 博弈原理在解决交通拥挤中的分析[J]. 重庆师范大学学报,2012,29(2):99-102.

An Analysis of Road-grabbing at Non-intersection Crosswalks without Signal Control Based on Game Theory

Zhou Xuefeng, Zheng Changjiang

(College of Civil Engineering and Architecture, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: In light of the Game theory which mainly studies the rational decision behaviors of decision-makers, this paper probes into the road-grabbing behavior at the Non-intersection crosswalks with no signal control when the interest of pedestrians and vehicles conflicts. Firstly, a complete information static game model and a complete information dynamic game model for grabbing the road are established. Then the two models are analyzed and some methods and suggestions are put forward. The findings may provide a new way for solving the conflicts of interest at non-intersection crosswalks without signal control, which also lays the decision-making basis for the scientific management of road traffic.

Key words: non-intersection crosswalks; game theory; pedestrian; vehicle; road-grabbing