

# 基于元胞自动机的行人和机动车相互干扰机理研究\*

孙泽 贾斌<sup>†</sup> 李新刚

(北京交通大学交通运输学院城市交通复杂系统科学与技术教育部重点实验室, 北京 100044)

(2011年9月6日收到; 2011年10月4日收到修改稿)

在行人流量大的人行横道处, 机动车和行人之间存在较为严重的干扰. 通过引入行人和机动车的冲突干扰规则, 构建了能够刻画人行横道处机动车和行人相互干扰行为的元胞自动机模型. 通过数值模拟研究了行人到达率、机动车到达率、行人冒险穿越机动车道的阈值以及行人对机动车敏感系数等因素对机动车和行人流量的影响. 模拟结果显示, 所提出的模型很好地反映了行人与机动车之间的干扰特性; 随着行人冒险穿越机动车道的阈值的增加, 机动车流量增大, 行人流量减小; 随着行人对机动车敏感系数的增加, 行人避让概率减小, 机动车流量减小, 行人流量增大. 所得结果对混合交通的控制和管理具有一定的指导意义.

**关键词:** 元胞自动机, 混合交通流, 行人, 机动车

**PACS:** 05.50.+q, 89.40.-a, 05.40.-a

## 1 引言

我国城市交通的典型特点是机非混合, 一般路段上自行车和机动车混合行驶, 交叉口处行人、自行车和机动车混合. 在行人流量很大的路段, 如商业街、地铁口, 机动车和行人之间的干扰比较严重. 人行横道是供行人横穿机动车道的交通设施, 其与机动车道平面交叉. 机动车与行人之间的冲突主要发生在人行横道处. 对于路段上设置的人行横道, 如果行人流量小, 基本不会对机动车流造成显著影响; 如果行人流量较大, 经常会有行人不遵守交通规则, 会对机动车流产生较大影响. 在交叉口处, 由于右转机动车不受信号控制, 在行人绿灯相位, 行人和右转机动车会出现冲突干扰(如图1所示). 可以说人行横道处行人和机动车之间的干扰是普遍存在的, 这不仅造成流量的下降, 而且导致交通事故多发.

当前对混合交通流的研究主要有多车种混合

交通流的研究, 机非混合交通流的研究, 机动车和行人混合交通流的研究. 在对多车种混合交通流研究的方法中主要有微观模型和宏观模型. 在微观模型方面, 孔令江等<sup>[1-4]</sup>采用元胞自动机模型, 分别研究了单车道和双车道条件下多车种混合的交通流特性. 在宏观模型方面, Wong等<sup>[5-8]</sup>考虑不同车辆类型速度的差异, 对LWR模型进行扩展, 并深入分析了模型的性质. 在机非混合交通流的研究中, 在微观模型方面, Faghri和Egyházióvá<sup>[9]</sup>提出了适用于机动车和自行车混合系统的跟驰模型; Oketch<sup>[10]</sup>综合车辆跟驰规则和侧向运动, 建立了刻画非机动车的跟驰模型; Meng等<sup>[11]</sup>提出了小汽车和摩托车混合行驶的单车道元胞自动机模型; Zhao等<sup>[12,13]</sup>将描述机动车流的NaSch模型与描述非机动车流的多值元胞自动机模型有机地耦合起来, 建立了耦合元胞自动机模型对公交停靠站附近机动车和自行车的相互影响进行了研究. 在机动车和行人混合交通流的研究方面, 主要是关注行人

\* 国家自然科学基金(批准号: 71071013, 71001004, 71131001)、国家高技术研究发展计划(批准号: 2011AA110303)和国家重点基础研究发展计划(批准号: 2012CB725401)资助的课题.

<sup>†</sup> E-mail: bjia@bjtu.edu.cn

过街对机动车流的影响<sup>[14-16]</sup>和人行横道处过街行人的行为特征和行人流特性<sup>[17-19]</sup>.

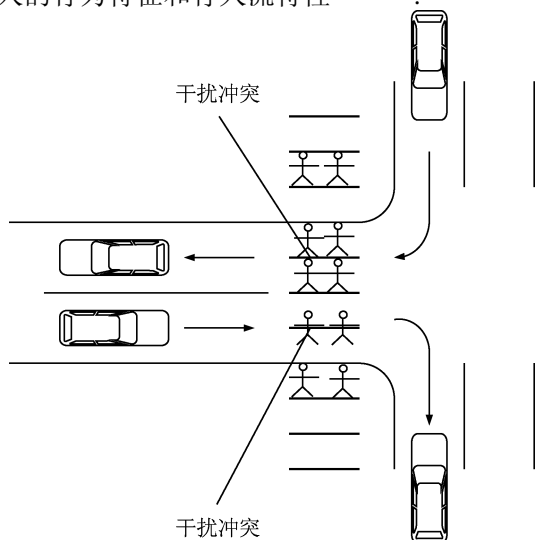


图1 交叉口处右转机动车和行人干扰冲突示意图

目前元胞自动机模型广泛应用于交通系统的建模,在机动车建模的研究方面,有单车道和双车道建模,把道路分成离散的格子采用一维元胞自动机模型<sup>[20-23]</sup>.行人建模研究方面,采用二维元胞自动机模型,把人行横道分成二维的格子研究行人过街的特性<sup>[24-30]</sup>.非机动车建模研究方面, Jia 等<sup>[31,32]</sup>采用多值元胞自动机模型对自行车流进行建模.在机非相互干扰的研究方面, Zhao 等<sup>[12,13]</sup>采用描述自行车流的多值元胞自动机模型和描述机动车流的 NaSch 模型的耦合模型模拟机动车和非机动车之间的干扰特性.在行人和机动车之间的干扰影响研究方面,主要针对有信号交叉口的行人横道处,研究行人过街的一些特性,而没有考虑机动车和行人的相互影响关系.建立的机动车和行人模型被分离开,没有针对机动车和行人整个系统进行建模<sup>[17-19]</sup>,原因在于对机动车和行人进行统一建模比较困难.本文采用元胞自动机模型把机动车和行人联系起来对整个系统进行建模,把机动车道元胞长度与人行横道元胞的边长设定为相同的值.本文模型由三个部分组成,机动车采用经典的 NaSch 模型,行人采用 Blue 等提出的单方向行人元胞自动机模型,最后引入了人行横道处行人和机动车的干扰冲突规则,由此建立了机动车和行人干扰冲突模型.通过数值模拟研究了行人到达率、机动车到达率、行人冒险穿越机动车道的阈值以及行人对机动车敏感系数等因素对机动车和行人

流量的影响.

## 2 模型

元胞自动机模型由于其自身独特的优点而被广泛用于交通领域,一方面它能够描述城市交通的一些复杂性特点,其次由于其简单的规则很容易在计算机上实现.因而本文采用元胞自动机模型.

对机动车采用经典的 NaSch 模型<sup>[20]</sup>,对行人采用 Blue 模型<sup>[24]</sup>,同时制定机动车和行人的冲突干扰规则,对行人流和机动车流平面交叉系统进行建模,以刻画路段上人行横道处机动车与行人之间的干扰、交叉口处右转机动车与行人之间的干扰.在元胞划分时,人行横道划分为正方形的格子,每个元胞只能容纳一个行人,机动车道元胞长度等于人行横道上的元胞边长.假定人行横道上元胞的边长  $l = 0.4 \text{ m}$ ,每个行人占地面积为  $0.16 \text{ m}^2$ ,人行横道的宽为  $w$  个元胞,长为  $m$  个元胞;机动车道长度为  $L$  个元胞,宽度  $W$  为  $2.8 \text{ m}$ ,也就是说机动车道宽度对应人行横道上 7 个元胞,机动车道与人行横道中间 7 行元胞重合;每辆机动车的长度  $l_c$  为 15 个元胞即  $6 \text{ m}$ ,人行横道左侧第一列元胞对应机动车道上第  $(L-w)/2$  个元胞,机动车道与人行横道重合的区域为冲突区域(如图 2 阴影部分区域).

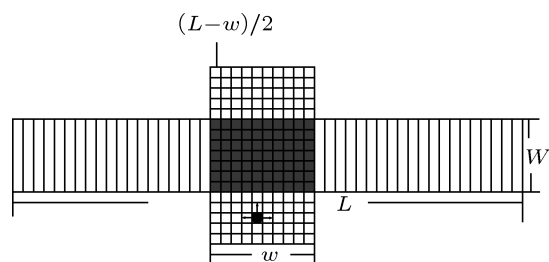


图2 机动车和行人元胞自动机模型图

### 2.1 机动车模型

1992 年 Nagel 和 Schreckenberg 提出了著名的 NaSch 模型,在这一模型中,时间、空间以及速度都被整数离散化.道路被划分成离散的格子,每个元胞要么被机动车占据,要么为空,车辆速度可以取  $0, 1, 2, \dots, v_{\max}$ ,  $v_{\max}$  为机动车的最大速度.

为了人行横道上行人的安全,机动车会减速通过人行横道,而且此时驾驶员都比较谨慎.

假定机动车最大速度  $v_{\max} = 40$ , 距离人行横道小于 32 m (80 个元胞) 时, 车辆的最大速度为  $v_{\max} = 20$ , 机动车在人行道上行驶时最大速度  $v_{\max} = 10$ . 机动车的加速度  $a = 5$ , 距离人行横道小于 6 m (15 个元胞) 或在人行横道上时, 即  $(L-w)/2 - 15 < x_n < (L-w)/2 + w$ , 机动车加速度  $a = 1$ . 演化规则为:

1) 加速,  $v_{n+1} \rightarrow \min(v_n + a, v_{\max})$ , 根据现实中司机期望以最大速度行驶的特性, 每个时间步加速度为  $a$  个元胞;

2) 减速,  $v_n \rightarrow \min(v_n, d_n)$ , 驾驶员为了避免和前车发生碰撞而采取减速措施;

3) 随机慢化, 以概率  $p$ ,  $v_n \rightarrow \max(v_n - a, 0)$ , 由于各种不确定因素造成车辆减速;

4) 位置更新,  $x_n \rightarrow x_n + v_n$ , 车辆按照调整后的速度向前行驶;

其中  $x_n, v_n$  分别表示  $n$  车的位置和速度,  $d_n = x_{n+1} - x_n - l_c$  表示  $n$  车和前车  $n+1$  辆车之间空的元胞数,  $l_c$  为车辆的长度.

该模型采用开口边界条件,  $t$  到  $t+1$  时, 当道路上的车辆更新完成后, 监测道路上的头车和尾车的位置  $x_{\text{lead}}$  和  $x_{\text{last}}$ . 如果  $x_{\text{last}} > v_{\max}$ , 则一辆速度为  $v_{\max}$  的车将以概率  $\alpha_c$  进入元胞  $\min(x_{\text{last}} - v_{\max}, v_{\max})$ . 在道路的出口处, 如果  $x_{\text{lead}} > L_{\text{road}}$ , 则车辆驶出道路.

## 2.2 行人模型

实际中人行横道允许行人双向通过, 本文作为初步研究先考虑单方向行人流. 采用 Blue 等提出的单方向行人元胞自动机模型对行人进行模拟. 该模型分为两个步骤: 1) 向前运动; 2) 换道. 这两个步骤都采用并行规则来处理. 如图 2 中纵向图, 行人可以向前、向左、向右运动, 行人的期望速度为  $v_{\max}^p = 4$ . 若此时行人所处的位置为  $(i, j)$ ,  $i$  表示元胞所在行,  $j$  表示元胞所在列, 行人的速度记为  $v_{i,j}$ .  $t \rightarrow t+1$  更新规则如下.

### 2.2.1 换道

当行人的邻近元胞为空时, 行人考虑换道, 考虑本道、左道、右道前方  $v_{\max}^p$  个元胞, 计算  $\max(d_{i,j}, d_{i,j}^{j-1}, d_{i,j}^{j+1})$ , 选择条件最好的路径.  $d_{i,j}$  为第  $(i, j)$  个元胞前方空的元胞数,  $d_{i,j}^{j-1}$  为第  $(i, j)$  个元胞邻近左元胞前方空的元胞数,  $d_{i,j}^{j+1}$  为第  $(i,$

$j)$  个元胞邻近右元胞前方空的元胞数. 换道时按以下规则进行:

1) 避免碰撞, 如果两个行人期望占据同一个元胞, 那么这两个行人占据的机会是平等的, 概率各为 50%;

2) 如果本道、左道、右道的条件都最佳, 即  $d_{i,j} = d_{i,j}^{j-1} = d_{i,j}^{j+1}$ , 那么在本道、左道、右道行走的概率分别为 80%, 10%, 10%; 如果本道和邻道之一的条件都最佳, 即  $\max(d_{i,j}, d_{i,j}^{j-1}, d_{i,j}^{j+1}) = d_{i,j} = d_{i,j}^{j-1}$  或  $\max(d_{i,j}, d_{i,j}^{j-1}, d_{i,j}^{j+1}) = d_{i,j} = d_{i,j}^{j+1}$ , 那么在本道、左道或右道行走的概率分别为 80%, 20%; 如果两个邻道即左道和右车道条件都为最佳, 即  $\max(d_{i,j}, d_{i,j}^{j-1}, d_{i,j}^{j+1}) = d_{i,j}^{j-1} = d_{i,j}^{j+1}$ , 那么在两个邻道行走的概率分别为 50%, 50%.

### 2.2.2 向前运动

行人尽可能以较大速度向前运动, 向前行走速度  $v_{i,j} = \min(v_{\max}^p, d_{i,j})$ .

行人以 Poisson 分布达到, 到达率为  $\alpha_p$ . 采用开口边界条件即当向前运动位置更新完成后, 如果行人位置已越过边界, 那么行人离开人行道.

## 2.3 机动车和行人干扰冲突规则

现实中, 机动车和行人会产生干扰冲突. 如图 3(a) 所示,  $t$  时刻的行人和机动车都准备进入到冲突区域, 如果  $t+1$  时刻行人优先进入到冲突区域, 那么机动车就需要避让.

根据《道路交通安全法》, 对机动车通过无信号控制人行横道规定为: 通过没有信号控制的人行横道时, 须避让来往行人. 因此, 在机动车和行人发生冲突干扰时, 行人具有优先权. 机动车穿过人行横道之前, 如果前方人行横道上有行人或者预料到在下一时刻行人会进入冲突区域, 那么此时为了避免和行人的碰撞, 机动车就避让行人, 停止在  $(L-w)/2 - 1$  位置上. 这时  $n$  车和前车  $n+1$  辆车之间空的元胞数就转换为机动车和人行横道之间空的元胞数即  $d_n = (L-w)/2 - x_n - 1$ , 如图 3(a) 所示.

行人  $t+1$  时刻可以到达冲突区域, 且人行横道上有机动车占据, 或左侧第一辆机动车在行人通过冲突区域所需时间内能够到达  $(L-w)/2$  位置时才会受到机动车的影响. 如果人行横道上有机动车占据, 那么等待机动车通过; 如果人行横道上没有

机动车占据, 则有可能受到其左侧第一辆机动车的影响, 行人下一时刻到达冲突区域时会看左侧第一辆车的状况; 行人左侧第一辆机动车在行人穿过人行横道所需时间内不能到达  $(L-w)/2$  位置时, 即机动车对行人穿过人行横道没有影响, 行人可以自由通过, 否则行人将要选择是通过人行横道还是等待机动车的通过.

$t \rightarrow t+1$  时刻机动车和行人干扰冲突具体更新规则如下.

行人的位置为  $(i, j)$ , 定义机动车道上距离  $(L-w)/2$  左侧第一辆车为  $l$ , 右侧第一辆车为  $r$ ,  $d_l$  为车辆  $l$  在行人通过人行横道时间内可以行驶的距离即  $d_l = \frac{W}{v_{\max}^p} \times \min(v_l + a, v_{\max})$ .

$$(1) (L-w)/2 \leq x_r \leq (L-w)/2 + l_c - 1$$

$t+1$  时刻进入到冲突区域的行人受到车辆  $r$  的影响, 此时行人停止在  $i=i'$  ( $i'$  为人行横道上紧邻机动车道下方的元胞的横坐标 (如图 3(c))) 处等待机动车通过. 如图 3(d) 所示, 机动车在人行横道上, 行人等待机动车通过.

$$(2) x_r > (L-w)/2 + l_c - 1$$

如果  $x_r - l_c - 1 \leq (L-w)/2 + w - 1$ , 位置在  $x_r - l_c - 1 - (L-w)/2 \leq j < w$  且  $t+1$  时刻进入到冲突区域的行人受到车辆  $r$  的影响, 停止在  $i=i'$  处等待机动车通过. 如图 3(b)、(c) 所示, 车辆  $r$  没有完全离开人行横道,  $x_r - l_c - 1 - (L-w)/2 \leq j < w$  且  $t+1$  时刻进入到冲突区域的行人受到车辆  $r$  的影响, 等待车辆  $r$  通过.

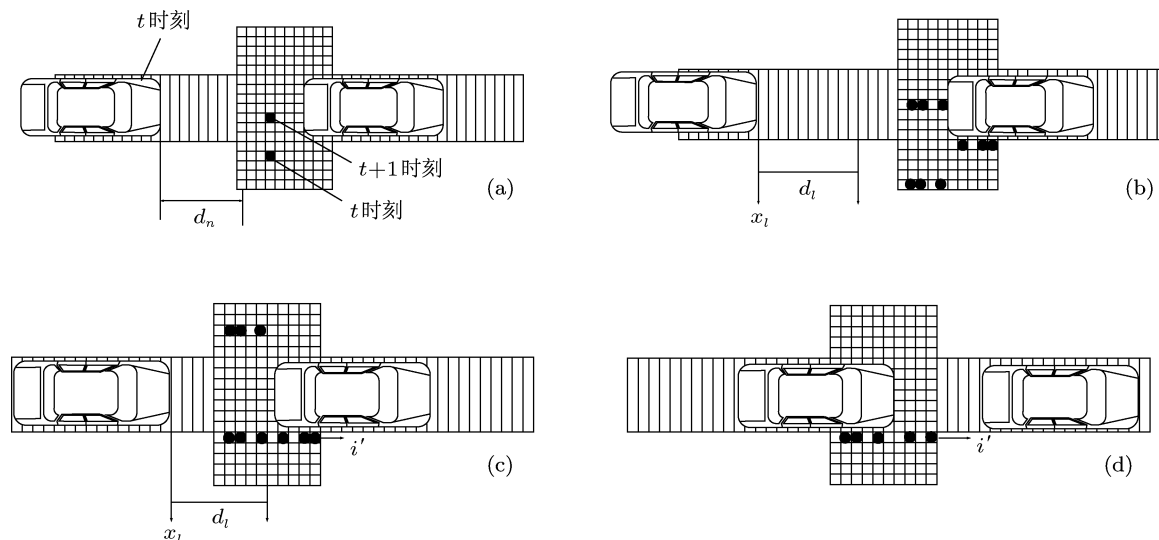


图3 机动车和行人干扰冲突示意图 (b)–(d) 可以看成机动车和行人在冲突区域顺序示意图; (b) 为  $x_r > (L-w)/2 + l_c - 1$ ,  $x_l + d_l < (L-w)/2$  的情况; (c) 为  $x_r > (L-w)/2 + l_c - 1$ ,  $x_l + d_l \geq (L-w)/2$  的情况; (d) 为  $(L-w)/2 \leq x_r \leq (L-w)/2 + l_c - 1$  的情况

位置在  $0 \leq j \leq \min(x_r - l_c - 1, (L-w)/2 + w - 1) - (L-w)/2$  且  $t+1$  时刻进入到冲突区域的行人更新规则如下.

$$1) x_l + d_l \geq (L-w)/2$$

$t+1$  时刻进入到冲突区域的行人受到车辆  $l$  的影响. 假设  $t$  时刻进入到冲突区域的行人数量为  $N_p$ , 当位于  $i=i'$  处的行人等待时间超过一定的时间, 行人会采取冒险行为穿越人行横道, 对机动车会产生一定的影响, 行人冒险穿越机动车道的阈值为  $T_p$ .

①如果在  $i=i'$  处行人等待机动车通过的时间超过  $T_p$ , 那么将以避让概率  $p_1$  继续等待机动车通过; 否则以概率  $1-p_1$  进入冲突区域. 由于行人等待机动车时间比较长, 不愿意继续等待机动车通过, 因而  $p_1$  取值应较小.

②如果  $t$  时刻行人处于等待机动车通过状态且  $t$  时刻没有行人进入到冲突区域, 那么行人继续等待机动车通过.

③如果以上两种情况都不存在, 行人将以避让概率  $p_2$  进入等待机动车通过状态, 停止在  $i=i'$  处等待机动车通过, 以概率  $1-p_2$  进入冲突区域. 这里  $p_2 = \max(p_0 - \beta \times N_p/w, p_{\min})$ , 随着  $N_p$  的增大, 行人由于跟随现象,  $p_2$  减小,  $p_2$  最大值为  $p_0$ , 最小值为  $p_{\min}$ ,  $\beta$  表示行人避让机动车的敏感系数.

如图 3(c) 所示, 位置在  $0 \leq j \leq \min(x_r - l_c - 1, (L-w)/2 + w - 1) - (L-w)/2$  且  $t+1$  时刻进入到冲突区域的行人等待着车辆  $l$  通过.

$$2) x_l + d_l < (L - w)/2$$

行人不受车辆的影响, 行人采用 Blue 规则行走. 如图 3(b) 所示, 位置在  $0 \leq j \leq \min(x_r - l_c - 1, (L - w)/2 + w - 1) - (L - w)/2$  且  $t + 1$  时刻进入到冲突区域的行人采用 Blue 规则行走.

以上通过引入人行横道处行人和机动车的相互干扰冲突规则, 将描述机动车流的 NaSch 模型与描述行人流的 Blue 模型耦合起来, 由此构建出可以刻画行人和机动车的相互干扰行为的新的元胞自动机模型.

### 3 数值模拟

#### 3.1 行人到达率、机动车到达率对机动车流量、行人流量的影响

行人流量为单位时间、单位人行横道宽度下行人通过人行横道的数量, 用符号  $f_p$  表示. 机动车流量为单位时间通过道路的机动车数量, 用符号  $f_c$  表示. 假设人行横道宽度  $w = 10$ ,  $p_1 = 0.2$ ,  $p_0 = 0.8$ ,  $p_{\min} = 0.2$ ,  $T_p = 60$  s,  $\beta = 0.5$ .

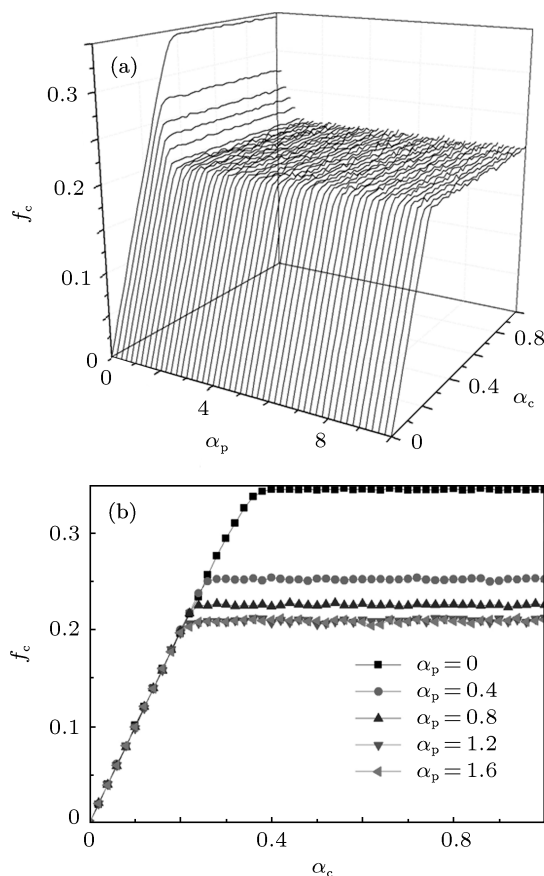


图4 (a) 机动车流量  $f_c$  随  $\alpha_p$  和  $\alpha_c$  的变化关系; (b) 在一些  $\alpha_p$  下, 机动车流量  $f_c$  与  $\alpha_c$  之间的变化关系

图 4 显示了到达率对机动车流量的影响. 从图 4(a) 中可以看出存在一个临界值  $\alpha_c^c$ , 它把机动车流分为自由流和拥堵流两个部分. 当  $\alpha_c < \alpha_c^c$  时,  $f_c$  随着  $\alpha_c$  的增长呈线性增长, 当  $\alpha_c > \alpha_c^c$  时, 达到饱和流量并保持不变. 随着  $\alpha_p$  的增长, 机动车饱和流量和临界值  $\alpha_c^c$  逐渐减小, 但减小的幅度逐渐下降, 最终达到稳定值. 图 4(b) 可以看出  $\alpha_p = 0$  和  $\alpha_p = 0.4$  时的机动车饱和流量下降很大, 可以看出行人的干扰对机动车的影响很大.

从图 5(a) 中可以看出行人到达率对行人流量的影响与机动车到达率对机动车流量的影响相同.

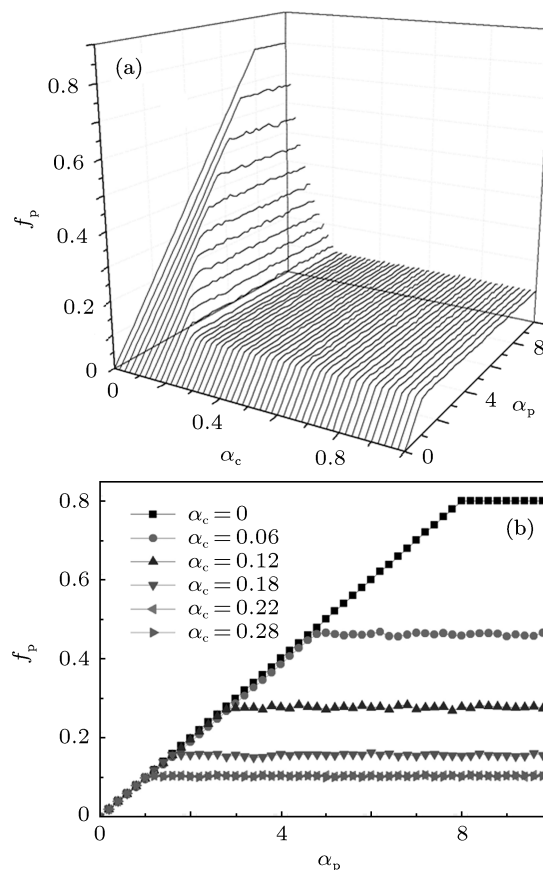


图5 (a) 行人流量  $f_p$  随  $\alpha_p$  和  $\alpha_c$  的变化关系; (b) 在一些  $\alpha_c$  下, 行人流量  $f_p$  与  $\alpha_p$  之间的变化关系

机动车和行人都存在从自由流到拥堵流的相变. 根据临界值  $\alpha_c^c$ ,  $\alpha_p^c$  的值可以绘制系统在空间  $(\alpha_c, \alpha_p)$  上的相图, 如图 6 所示. 相图分为 4 个区域: 区域 I 为机动车和行人流量都处于自由流的状态; 区域 II 为机动车处于自由流状态, 行人流处于拥堵流的状态; 区域 III 为行人流处于自由流状态而机动车流量处于拥堵状态; 区域 IV 为两者都处于拥堵流的状态. 可以发现行人自由流区域的面积比机动车自由流区域的面积大. 由以上结果可以看出,

该模型可以体现机动车和行人之间的相互影响. 行人受到机动车的影响较大, 行人的自由流区域较小.

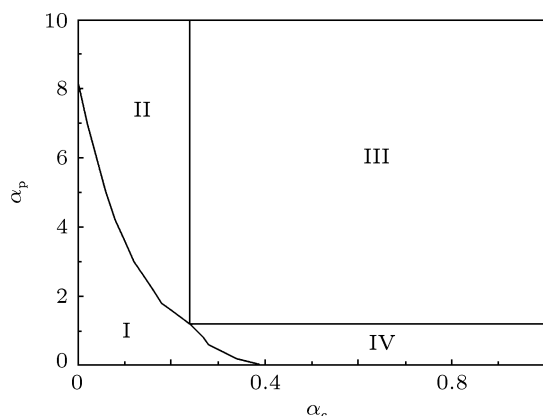


图6 空间  $(\alpha_c, \alpha_p)$  的相图 ( $T_p = 60 \text{ s}, \beta = 0.5$ )

### 3.2 $T_p$ 对机动车流量、行人流量的影响

为研究行人冒险穿越机动车道的阈值  $T_p$  对机动车流量、行人流量的影响, 我们给出了不同  $T_p$  下机动车和行人流量图 (图 7), 从图中可以看到, 随着  $T_p$  的增加, 机动车饱和流量逐渐增大, 这是因为

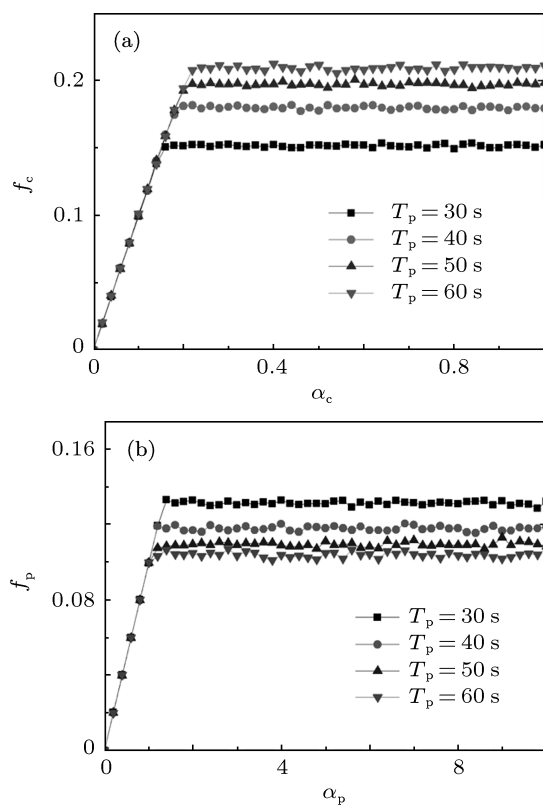


图7 不同  $T_p$  下 (a) 机动车流量  $f_c$  随机动车到达率  $\alpha_c$  变化关系,  $\alpha_p = 2$ ; (b) 行人流量  $f_p$  随行人到达率  $\alpha_p$  变化关系,  $\alpha_c = 0.2$

随着  $T_p$  的增加, 行人避让机动车的数量增加, 对机动车干扰减小, 机动车流量增加. 相反, 行人饱和流量随着  $T_p$  的增加逐渐减小.

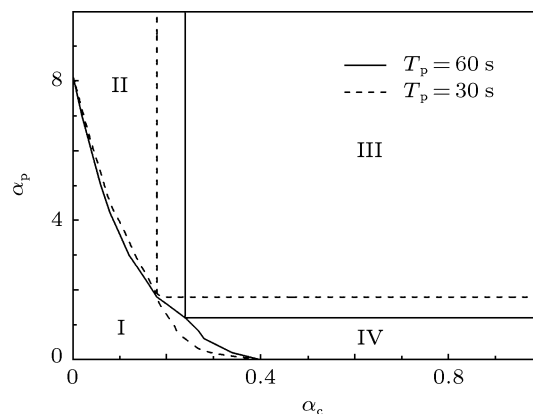


图8 不同  $T_p$  下的空间  $(\alpha_c, \alpha_p)$  的相图 ( $\beta = 0.5$ )

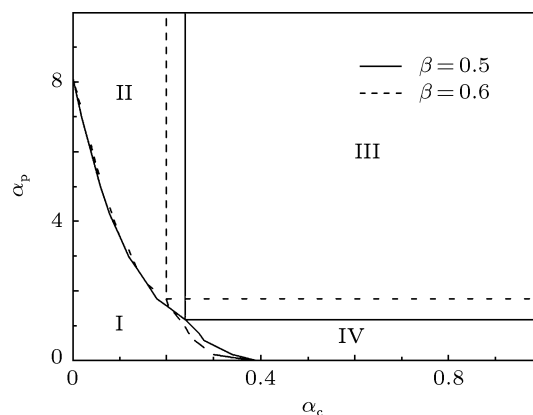


图9 不同  $\beta$  下的空间  $(\alpha_c, \alpha_p)$  的相图 ( $T_p = 60 \text{ s}$ )

为了更好地描绘出  $T_p$  对机动车和行人流量的影响, 图 8 给出了不同  $T_p$  下  $(\alpha_c, \alpha_p)$  的相图. 从图 8 中可以看到  $T_p$  取值不同, 机动车流量和行人流量也会不同. 随着  $T_p$  减小, 区域 II 与区域 IV 的边界向左移动; 区域 III 与区域 IV 的边界向上移动; 区域 II 变小, 区域 IV 变大. 区域 II 的范围为机动车为自由流而行人流为拥堵流的区域, 区域 II 随着  $T_p$  的增加而减小, 这是因为随着  $T_p$  的增加, 行人等待机动车的时间减小, 采取冒险行为穿越人行横道, 对机动车造成的干扰冲突增大, 使得机动车的流量减小. 区域 IV 为行人流为自由流而机动车流为拥堵流的区域, 从图中可以看到随着  $T_p$  的增加, 区域 IV 随着减小, 这是因为  $T_p$  的增加, 冒险的行人增加, 行人流量随着增大.

### 3.3 $\beta$ 对机动车流量、行人流量的影响

根据  $p_2 = \max(p_0 - \beta \times N_p/w, p_{\min})$  可知,  $\beta$  表示行人避让机动车的敏感系数, 能在一定程度上反映行人和机动车之间相互干扰作用的程度. 图 9 给出了不同  $\beta$  值下空间 ( $\alpha_c, \alpha_p$ ) 的相图. 随着  $\beta$  的增加, 行人避让机动车概率减小, 机动车受到行人的干扰程度逐渐增强, 因此机动车自由流区域 (区域 I, II) 有所减小, 拥堵流区域 (区域 III, IV) 有所增大. 相反, 行人自由流区域增大, 拥堵流区域减小.

## 4 结论

混合交通流是我国城市交通典型的交通特性,

机动车和行人之间的干扰是降低道路通行能力的因素之一. 因此, 对混合交通流机制的研究有着非常重要的意义. 本文通过引入人行横道处行人和机动车的相互干扰冲突规则, 将描述机动车流的 NaSch 模型与描述行人流的 Blue 模型耦合起来, 由此构建出可以刻画行人和机动车相互干扰行为的新的元胞自动机模型. 进一步通过数值模拟得出结论: 1) 随着机动车 (行人) 到达率的增加, 机动车 (行人) 流量线性增加直到达到饱和流量, 当行人 (机动车) 到达率增加时, 机动车 (行人) 流量下降, 直到达到饱和; 2) 随着行人冒险穿越机动车的阈值的增加, 机动车流量增大, 行人流量减小; 3) 随着行人对机动车敏感系数的增加, 行人避让概率减小, 机动车流量减小, 行人流量增大.

- [1] Zheng R S, Tan H L, Kong L J, Liu M R 2005 *Acta Phys. Sin.* **54** 3516 (in Chinese) [郑容森, 谭惠丽, 孔令江, 刘慕仁 2005 物理学报 **54** 3516]
- [2] Kuang H, Kong L J, Liu M R 2004 *Acta Phys. Sin.* **53** 2894 (in Chinese) [邝华, 孔令江, 刘慕仁 2004 物理学报 **53** 2894]
- [3] Wu K F, Kong L J, Liu M R 2004 *Acta Phys. Sin.* **53** 6275 (in Chinese) [吴可非, 孔令江, 刘慕仁 2004 物理学报 **53** 6275]
- [4] Xiao R J, Kong L J, Liu M R 2007 *Acta Phys. Sin.* **56** 740 (in Chinese) [肖瑞杰, 孔令江, 刘慕仁 2007 物理学报 **56** 740]
- [5] Wong G C K, Wong S C 2002 *Trans. Res. A* **36** 827
- [6] Zhang M P, Shu C W, Wong G C K, Wong S C 2003 *J. Comput. Phys.* **191** 639
- [7] Zhang P, Wong S C, Shu C W 2006 *J. Comput. Phys.* **12** 739
- [8] Zhang P, Wong S C, Xu Z L 2008 *Compu. Met. Appl. Mec. Eng.* **197** 3816
- [9] Faghri A, Egyházióvá E 1999 *Trans. Res. Rec.* **1674** 86
- [10] Oketch T G 2000 *Trans. Res. Rec.* **1705** 61
- [11] Meng J P, Dai S Q, Dong L Y, Zhang J F 2007 *Physica A* **380** 470
- [12] Zhao X M, Jia B, Gao Z Y 2009 *J. Tran. En.* **135** 894
- [13] Zhao X M, Jia B, Gao Z Y 2008 *Fourth International Conference on Natural Computation* 425
- [14] Jiang R, Wu Q S, Li X G 2002 *Phys. Rev. E* **65** 036120
- [15] Helbing D, Jiang R, Treiber M 2005 *Phys. Rev. E* **72** 046130
- [16] Jiang R, Helbing D, Shukla P K, Wu Q S 2006 *Physica A* **368** 567
- [17] Zhang Y, Duan H L 2007 *Tsinghua Sci. Technol.* **12** 214
- [18] Yang J G, Deng W, Wang J M, Li Q F, Wang Z A 2006 *Trans. Res. A* **40** 280
- [19] Lee J Y S, Lam W H K 2008 *Trans. Res. A* **42** 1314
- [20] Jia B, Gao Z Y, Li K P, Li X G 2007 *Models and Simulations of Traffic System Based on the Theory of Cellular Automaton (Vol.1)* (Beijing: Science Press) p70 (in Chinese) [贾斌, 高自友, 李克平, 李新刚 2007 基于元胞自动机的交通系统建模与模拟 (第一卷)(北京: 科学出版社) 第 70 页]
- [21] Larraga M E, del Rio J A 2005 *Trans. Res. C* **13** 63
- [22] Esser J, Schreckenberg M 1997 *Int. J. Mod. Phys. C* **8** 1025
- [23] Simon P M, Gutowitz H A 1998 *Phys. Rev. E* **57** 2441
- [24] Blue V J, Adler J L 1999 *Trans. Res. B* **35** 293
- [25] Zhou J W, Chen X L, Zhou J H, Tan H L, Kong L J, Liu M R 2009 *Acta Phys. Sin.* **58** 2281 (in Chinese) [周金旺, 陈秀丽, 周建槐, 谭惠丽, 孔令江, 刘慕仁 2009 物理学报 **58** 2281]
- [26] Yue H, Shao C F, Chen X M, Hao H R 2008 *Acta Phys. Sin.* **57** 6901 (in Chinese) [岳昊, 邵春福, 陈晓明, 郝合瑞 2008 物理学报 **57** 6901]
- [27] Yue H, Guan H Z, Zhang J, Shao C F 2010 *Physica A* **389** 527
- [28] Eleonora P, George Y, John G 2009 *Trans. Res. F* **12** 242
- [29] Burstedde C, Klauck K, Schadschneider A, Zittartz J 2001 *Physica A* **295** 507
- [30] Fang W F, Yang L Z, Fan W C 2001 *Physica A* **321** 633
- [31] Jia B, Li X G, Jiang R, Gao Z Y 2007 *Eur. Phys. B* **56** 247
- [32] Jiang R, Jia B, Wu Q S 2004 *J. Phys. A* **37** 2063

# The study of the interference between pedestrians and vehicles based on cellular automaton model\*

Sun Ze Jia Bin<sup>†</sup> Li Xin-Gang

(Key Laboratory for Urban Complex Transportation Systems Theory and Technology of Ministry of Education, School of Traffic and Transportation, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

(Received 6 September 2011; revised manuscript received 4 October 2011)

## Abstract

Serious interference between motor vehicles and pedestrians happens at crosswalk when pedestrian flow is large. In this paper, cellular automata models are used to model the behavior of mutual interferences between pedestrians and vehicles at crosswalk by introducing conflict interference rules between pedestrians and vehicles. Numerical simulations are carried out to study the fluxes of vehicle and pedestrian, influenced by the parameters, such as the arrival rates, pedestrian waiting time and the pedestrian's sensitivity coefficient to vehicle. Simulation results show that the model can reflect the interference characteristics between pedestrians and vehicles well. With the increase of threshold that pedestrians cross the traffic lane riskily, motor vehicle flow increases but pedestrian flow decreases. With the increase of pedestrian's sensitivity coefficient, pedestrian avoiding probability decreases, motor vehicle flow decreases, pedestrian flow increases. The results have certain significance for the control and management of mixed traffic.

**Keywords:** cellular automaton model, mixed traffic, pedestrian, vehicle

**PACS:** 05.50.+q, 89.40.-a, 05.40.-a

---

\* Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant Nos. 71071013, 71001004, 71131001), the National High Technology Research and Development Program of China (Grant No. 2011AA110303), and the National Basic Research Program of China (Grant No. 2012CB725401).

<sup>†</sup> E-mail: [bjia@bjtu.edu.cn](mailto:bjia@bjtu.edu.cn)