

## 考虑交通出行惯例的双向行人流模型研究\*

杨凌霄<sup>†</sup> 赵小梅<sup>‡</sup> 高自友 郑建凤

(北京交通大学交通运输学院, 北京 100044)

(北京交通大学城市交通复杂系统理论与技术教育部重点实验室, 北京 100044)

(2010年11月15日收到; 2011年1月24日收到修改稿)

推广了 Baek 等人最近提出的一个双向行人流模型, 提出了两种改进策略, 并从行人平均速度-密度关系、行人空间分布密度和位置分布等方面进行了数值分析. 研究发现, 引入的两个新策略不仅可以提高行人流的平均速度, 而且可以提高道路系统(尤其是道路中央区域)利用率, 减轻拥堵状况, 有效避免严重堵塞的发生. 改进的策略对行人的心理特点和行为特性等方面考虑更加全面, 而且可以较好地模拟高密度的双向行人流.

**关键词:** 元胞自动机模型, 双向行人流, 交通惯例

**PACS:** 05. 10. - a, 05. 70. Fh, 05. 70. Jk, 05. 90. + m

## 1. 引言

现代社会上存在着各种交通法规或约定俗成的交通惯例(如, 靠右行驶/行走导致的车辆或行人的右偏喜好), 时刻约束和制约着人们的驾驶行为或行走行为. 这些微观制约, 通常会导致具有一定规律的整体宏观交通行为. 在交通系统中, 并不是每一个交通个体都会遵循这些交通法规和惯例, 因此可以将这些个体分为两类: 交通规则遵守者(即, 始终遵守交通法规和交通惯例的车辆或行人)以及交通规则违反者(以下简称遵守者和违反者). 显然, 交通规则遵守者和违反者的混合行驶/行走, 交通规则违反者行为的多样性、选择的非确定性等, 均是分析实际交通问题时不可忽略的因素.

在研究交通问题时, 很多学者都考虑了各种各样的交通惯例和交通法规, 用非平衡统计物理的概念和方法模拟并分析实际交通问题, 这不仅提高了模拟的真实性、合理性和有效性, 而且在改善交通状况、提高道路利用率等方面取得了一定的研究成果. 其中, 行人流的研究是实际交通问题的一个重要分支, 研究人员将交通规则和惯例作为一个重要因素融入行人流特性的研究, 发现交通规则和惯例

对行人流的运行规律具有极为重要的影响. 例如, Baek 等人<sup>[1]</sup>基于非平衡统计物理的概念、方法和思想, 通过考虑行人的右偏喜好, 应用元胞自动机模型分析了一条道路上双向行人流的行为特征, 研究发现: 并不是道路上存在的交通规则遵守者越多, 道路系统流量和利用率越高, 相反, 如果道路上存在一定比例的交通规则违反者反而有助于提高道路系统的行人流量; 另外, Fang 等人<sup>[2]</sup>通过考虑行人的右偏喜好选择和后退选择, 确定了不同交通状况下行人可能的行为选择, 建立了一个元胞自动机模型来分析了双向行人流特征, 发现了双向行人流的相变现象, 并发现后退选择的考虑可以打破相对较低行人密度情况下的“死锁”现象; 随后, Yang 等人<sup>[3]</sup>在 Fang 等人模型的基础上集中研究了道路上行人具有右偏喜好时的情况, 对周期性边界和开放式边界分别进行了分析, 最终确定了一个较为真实可信而且合理的行人右偏喜好概率; Takimoto 等人<sup>[4]</sup>在道路中间引入了一条分界线, 并分析其对双向行人流的影响, 发现分界线可以有效地提高行人的流量; Yu 等人<sup>[5]</sup>在 Takimoto 模型的基础上提出了基于时间刻度和空间刻度的两个分割线模型, 分别分析了行人在穿过分割线一定时间间隔和一定空间距离以后不遵守交通规则可能产生的影响, 通

\* 国家自然科学基金(批准号: 70701004, 71071012)资助的课题.

<sup>†</sup> E-mail: 09121255@bjtu.edu.cn

<sup>‡</sup> 通讯联系人. E-mail: xmzhao@bjtu.edu.cn

过模拟发现,行人的这种不遵守交通规则的行为对拥挤流的影响超过对自由流和停止流的影响; Nagatani<sup>[6]</sup>提出了一个基于元胞自动机的一维确定性双向行人流模型,并研究发现了四个交通状态:自由流、两种拥挤流和停止流;之后, Nagatani<sup>[7]</sup>还提出了基于平均近似场模型的双向行人流模型,发现当行人密度大于临界值时会发生自由流到停止流的相变;最近, Nagatani<sup>[8]</sup>在道路一侧加入一条避免行人拥挤的边界线,研究发现该边界线对动力学相变产生非常大的影响. 另外, Robin 等人<sup>[9]</sup>基于跟驰模型和避免碰撞模型,分别提出并校准了当行人行为受约束和不受约束情况下的行人行走离散选择模型; Ma 等人<sup>[10]</sup>通过考虑行人受周围相反方向行人影响的程度,提出了固定距离模型和  $k$  邻居模型( $k$ NN 模型),通过对比分析发现,  $k$ NN 模型可以更真实地模拟各种行人聚集现象,而且行人的平均速度随着  $k$  的增大而增大,但当  $k$  过大时,其影响的改变程度可以忽略; Wang 等人<sup>[11]</sup>利用 Moore 邻域的方法,研究了行人位置交换、侧向前进的影响,发现考虑其影响后的模型对高密度的双向行人流模拟更具适应性; Yu 等人<sup>[12]</sup>通过考虑周围环境对行人行为选择的影响,建立了一个双向行人流元胞自动机模型,并分析了不同的相互作用半径和道路系统大小的影响;岳昊等人<sup>[13]</sup>基于元胞自动机模型,利用动态参数模型对不同方向比例和不同系统规模的对向行人流进行了仿真研究,结果表明,系统存在相位转换,在临界密度点附近会发生自由流到阻塞流的相位转换;之后,岳昊等人<sup>[14]</sup>利用两个动态参数对行人疏散流进行了仿真,研究表明行人疏散时间随行人数量线性增加,随安全出口宽度负指数减少,多个安全出口布局的不平衡也会对行人疏散过程和时间产生一定的影响;基于同样的方法,岳昊等人<sup>[15]</sup>对视线受影响的行人疏散流进行了仿真研究,结果表明行人疏散时间不仅受行人视野半径的影响,还与安全出口的宽度和利用率有关. 当然,关于行人流方面的研究,还有其他的很多成果,例如,基于动力学连续模型模拟的有记忆影响的行人流<sup>[16]</sup>,基于修正的格子气模型模拟的双向行人流<sup>[17,18]</sup>,基于格子气模型研究的十字路口行人流的拥挤相变<sup>[19]</sup>,基于格子气模型模拟的分割线影响下的双向行人流<sup>[20]</sup>,基于元胞自动机模型模拟的多速双向行人流模型<sup>[21]</sup>,考虑成对行为对行人流疏散动力学的影响<sup>[22]</sup>,考虑次邻近作用影响的格子流体力

学模型<sup>[23]</sup>,考虑行人占据多个格子的双向行人流模型<sup>[24]</sup>. 另外,还有相关研究,例如文献[25—27]等.

在这些研究中,关于交通违反者和遵守者行为的假设过于理想化:1)违反者的向左或向右行走是随机选择的,2)行人都无法前进和左右移动时,在原地停止不动. 然而实际的情况却远非如此,违反者在进行左右移动的选择时会倾向于自己认为相对有利的一侧行走;并且当行人都无法前进和左右移动时,停留一段时间后会采取迂回策略,即考虑后退. 因此,本文基于 Baek 等人的双向行人流模型<sup>[1]</sup>(在本文中称为原模型),通过引入行人在一定条件下走向人少一侧和选择后退的思想,在原模型的基础上提出了两种改进策略,进行了数值研究,并与原模型进行了对比分析. 研究发现,引入这两种改进策略后均可以提高道路系统的行人平均速度,并对道路系统利用率有一定程度的改善.

## 2. 模 型

在这一节中,首先简单介绍了 Baek 等人<sup>[1]</sup>提出的关于双向行人流问题的元胞自动机模型,然后介绍了针对两种改进策略提出的改进模型.

### 2.1. 原模型

2009 年, Baek 等人<sup>[1]</sup>提出了一个研究一条道路上双向行人流行走行为的元胞自动机模型,以下简称原模型. 在该模型中, Baek 等人考虑了两种类型的行人个体,即遵守者和违反者. 他们在左右移动的方向选择上具有不同的偏向喜好,遵守者始终遵守交通规则,具有右偏喜好,即在无法前进时会选择自己的右侧方向行走;违反者不遵守交通规则,所以在左右方向上随机进行选择. 原模型基于这一规则,主要分析了具有不同偏向喜好的两类个体之间的相互作用对行人流的影响.

模型假设初始时刻每个行人都有自己的固有方向,或者向上或者向下. 在每个时间步,行人只能移动到邻近的元胞,而且每一个元胞最多只允许被一个行人占据. 原模型在分析道路上行人(遵守者和违反者)的行走规则时加入了博弈的思想,从而确定出行人可能的最佳行走路线. 具体的行走规则如下:

1)当行人前面的元胞为空时,该行人就以  $1 - s$  的概率选择前进( $s$  表示自发停止概率,在原模型中

$s = 0.01$ );

2) 若该行人由于前面行人的阻挡无法前进时, 将以概率  $q$  右移或  $1 - q$  的概率左移 ( $q$  为该行人的右偏喜好, 在原模型中假设遵守者为 1, 违反者为 0.5);

3) 若右侧 (或左侧) 的元胞已被占据, 则其向相反方向的元胞移动;

4) 若均无法移动, 就停留在原位.

该模型采用随机顺序更新元胞状态的规则和单侧周期性边界条件, 而这些会导致死锁的发生<sup>[1]</sup>. 假设道路上长度方向的某一整列元胞被具有同一固有方向的个体全部占据, 而且停止概率为零, 这时就是发生了死锁. 该列中的行人都想向同一个方向移动, 但由于没有行人能在自己前面找到空元胞, 使得他们都无法移动. 针对这样的情况, 原模型对其行走规则提出了如下的修正: 如果 A 是当前需要进行更新的行人, 并且正根据移动规则寻找新位置; 假设在 A 的固有方向上的元胞被具有相同固有方向的行人 B 占据, 但在这个时间步 B 还没有更新位置 (不排除两个行人同时移动的可能性), 就考虑先让 B 移动; 如果由于第三个行人 C 使得 B 处于与 A 同样的情况, 而且这个过程可以不断被递归重复. 当递归遍及了该列所有的元胞时, 这一列行人就同时整体向前一个元胞移动. 当所有行人都完成了更新, 一个时间步就结束了.

## 2.2. 改进模型

基于原模型和行人的实际行走情况, 本文认为原模型没有考虑具体的实际情况, 只是笼统地确定了遵守者和违反者的行走规则, 这样对行人流的模拟和分析会存在一定程度的不准确. 本文基于这样的问题, 通过考虑实际行人的行走规则情况, 在原模型的基础上对其行人的行走规则提出了如下两种改进策略: 策略一、违反者选择相对人少的一侧 (模型一); 策略二、遵守者选择等一步然后后退, 违反者选择立刻后退 (模型二).

### 2.2.1. 模型 1

一般来说, 并不是所有的行人都会遵守交通规则或习惯偏好行走 (即违反交通规则), 也不会随机选择向左或向右走, 而是会观察自己左右两边的行人分布情况, 朝着自己认为有利的一侧行走. 因此, 我们对原模型中违反者始终随机选择左右方向行走这一规则进行了改进. 即, 行走规则的第 2 步修

改为: 当行人因为前面行人的阻挡无法前进时, 如果他是遵守者, 就会向右移动; 如果他是违反者, 他会选择自己周围相对人少的一侧移动.

考虑行人实际可能的视野范围, 本文对行人周围区域划分为左右两侧, 每侧 8 个元胞, 即该行人左 (右) 前侧四个元胞、左 (右) 侧两个元胞和左 (右) 后侧两个元胞, 如图 1 所示. 在数值模拟过程中, 分别统计两侧行人的数量, 如果左 (右) 侧行人总数少, 则认为该侧为相对人少的一侧.

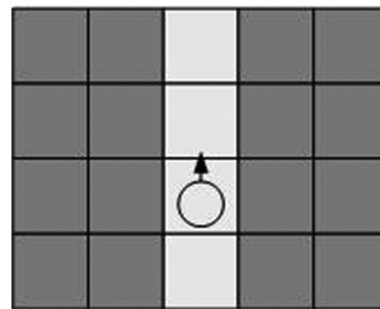


图 1 行人所考虑的周围区域 圆形代表某行人, 箭头表示其前进方向, 灰色方格表示其考虑的周围区域大小

### 2.2.2. 模型 2

在行人的行走过程中, 如果因为其他行人的阻挡导致该行人无法前进、向左以及向右移动时, 一般来说部分行人不会始终停留在原地, 而是会选择以退为进. 因此, 我们提出了后退策略. 行走规则的第 4 步修改为: 当遵守者由于前面行人的阻挡无法前进, 同时又由于左右行人或者边界的影响无法左右移动时, 遵守者将选择在原位置等一步. 若下一步该遵守者依然无法前进或者左右移动, 则其选择后退一步. 当违反者处于同样的情况时, 他会选择立刻后退一步, 以寻找其他的位置可以继续保持移动.

根据上面的说明可以知道, 针对后退的策略, 我们假定了遵守者和违反者有不同的反应. 遵守者一般比较保守, 即使其前面、左边或右边的元胞都被占据时, 也不会马上做出后退的选择, 而是会选择等一个时间步来观察下一时间步的情况是否改善, 如果情况仍然没改变, 才会考虑选择后退一步改变当前的现状. 然而, 对于违反者, 如果遇到相同的情况, 并且其后面的元胞为空时, 就会马上选择后退, 这说明违反者是非常激进的.

### 3. 数值分析

在数值模拟中,选取一条具有一定长度和宽度的道路. 本文用  $L$  和  $W$  分别表示道路长度和宽度,并选取  $L = 200, W = 50$  的道路进行分析. 根据右偏喜好概率设定每个行人的类型(遵守者或违反者). 不失一般性,假设初始时刻每种类型的行人都随机均匀分布于道路上,并事先设定了每个行人的行走方向(即固有方向,向上或向下). 令  $\rho$  表示整个道路上的行人密度,  $N$  为行人总数 ( $N = \rho \times L \times W$ ), 其中  $N/2$  行人的行走方向设定为向上走(向下走),并且  $p$  是遵守者的比例,  $1 - p$  是违反者的比例. 本文中  $p = 0.2, p = 0.9$ .

为了便于与原模型比较,本文同样采用随机顺序更新规则. 道路的长度方向采用周期性边界条件. 宽度方向两侧均存在一堵墙,不允许行人溢出. 每个时间步每个行人只能按照各自的行走规则移动到邻近的一个元胞内. 模拟的时间步设定为 30000 步.

下面主要从行人平均速度-密度关系、空间密度分布和位置分布等方面来研究两个改进模型与原模型之间的异同点.

#### 3.1. 平均速度-密度关系

在本节中,给出最后 1000 个时间步中统计得到的向上走的行人平均速度,向下走的情况类似. 每个时间步行人的平均速度  $V(t) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N V_i(t)$ , 其中  $V_i(t)$  为  $t$  时刻行人  $i$  的速度.

基于原模型,我们研究两种改进策略对平均速度-密度关系图的影响,如图 2 所示,其中方形点线、下三角点线、菱形点线分别代表的是原模型、模型 1、模型 2 的平均速度-密度关系.

可以发现,原模型与改进模型的平均速度-密度关系的变化趋势类似. 即,当密度较小时,平均速度稳定地保持在一个较大的值,该值几乎接近于 1; 随着密度的持续增加,平均速度值迅速减小;最后趋近于零. 这样的情况表示出现了相变现象,其对应的密度称为临界密度  $\rho_c$ . 从图 2 中可以发现,原模型与两个改进模型中密度临界值  $\rho_c$  的大小不同. 在原模型中  $\rho_c$  为 0.29, 而引入改进策略后,模型 1 和模型 2 的  $\rho_c$  分别为 0.36 和 0.41. 由此说明,引入改进策略后,系统的临界密度增加,也就是说平均速

度得到了一定程度的提高.

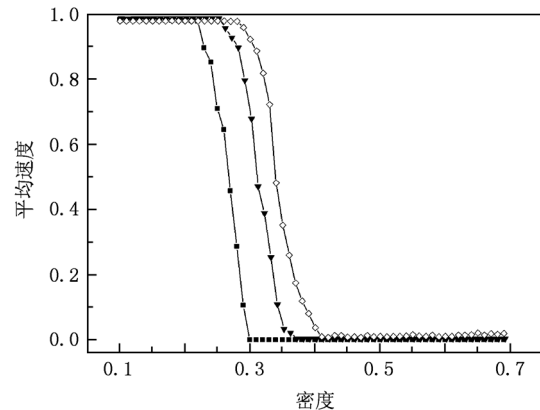


图 2 不同情况下的平均速度-密度关系图 方形点线代表原模型;下三角点线代表模型 1;菱形点线代表模型 2

究其原因,当引入策略一时,违反者在无法前进的情况下,会选择走向自己左右两侧相对人少的一侧,这样不仅有利于该违反者尽快找到继续前进的机会,而且有利于使行人尤其是违反者分布更加均匀,从而有利于改善道路整体的拥挤程度. 这样,相对均匀的行人分布减少了各类行人彼此之间的相互干扰,不仅使得违反者相互之间的干扰减小,而且减少了其对遵守者的影响.

当引入策略二时,遵守者在无法前进的情况下会选择在当前时间步等待,如果下一个时间步仍然无法前进,则会选择后退一步的行走规则,而违反者在这种情况下会选择在当前时间步立刻后退的行走规则. 选择这样的行走规则虽然暂时来看是该行人选择了后退而不是前进,与行人前进的愿望有所违背. 但是实际上,后退一步可以使该行人进入到一个不同的周围环境,可能会使其拥有更多前进的机会. 这样有助于改变该行人的停滞境况,不仅有利于该行人的继续前进,而且可以缓解道路系统中的局部拥挤,可以使更多的行人选择保持前进或左右移动的行走规则,从而有效地提高道路系统中行人的平均速度.

这些结果表明,通过模型 1 和模型 2 引入策略后,新模型可以在行人密度较高的情况下稳定运行而一定程度上可以缓解道路的拥挤,从而可以更好地模拟高密度时的道路双向行人流演化过程.

#### 3.2. 空间密度分布和位置分布

为了可以更加直观地反映两种改进模型与原

模型之间的差异,本节进一步模拟了在  $\rho = 0.2$ ,  $W = 50$ ,  $L = 200$  的情况下,行人的空间密度分布和位置分布情况. 空间密度分布  $d(x)$  表示在宽度方向上的第  $x$  ( $0 \leq x \leq W$ ) 处,一整列长度方向上的各类行人(向上走和向下走的遵守者和违反者)所占的比例(即实际某列分布的各类行人总数与该类行人总数的比例);位置分布表示在某一固定时刻,长度为  $L$  和宽度为  $W$  的道路上各类行人所处的实际位置.

图 3 为在总体演化时间步  $t = 30000$  的情况下,对最后 1000 个时间步平均 20 次得到的行人空间密度分布情况. 图 4 为  $t = 10000$  时不同模型(原模型、模型 1 和模型 2)的行人位置分布情况.

从图 3 中可以看到,经过一定的时间步演化之后,遵守者大部分位于道路宽度方向上的两侧,体现出明显的右偏喜好. 为了较好地描述这种现象,引入两个变量  $x_1$  和  $x_2$ , 分别表示遵守者分布范围的左右边界. 也就是说,经过一定的时间步演化后,向下走和向上走的遵守者主要分布范围分别为  $[0, x_1]$  和  $[x_2, 49]$ . 从图 3 中可以发现,经过近 30000 个时间步演化之后,原模型、模型 1 和模型 2 对应得到的遵守者分布范围分别为:  $[0, 12]$  和  $[36, 49]$ ,  $[0, 24]$  和  $[25, 49]$ ,  $[0, 17]$  和  $[32, 49]$ . 这说明,引入策略一和策略二后遵守者的分布范围得到了一定程度的扩展,并且分布相对更加均匀,从而有效地改善了遵守者在道路左右边界的拥挤程度,提高了道路利用率.

通过图 3 还可以发现,原模型中违反者的空间密度分布曲线波动较大,且向下走和向上走的违反者分布的主要峰值分别位于  $x = 11$  和  $37$  的位置. 这说明,在原模型中,违反者主要分布于道路宽度方向的两侧边界附近,而道路宽度方向的中间区域分布数量相对较少. 在模型 1 和模型 2 中,违反者的空间密度分布曲线相对较平滑,波动较小. 在图 3(b)和(c)中我们可以看到,模型 1 中向下走和向上走的违反者分布的主要峰值分别为  $x = 22$  和  $27$ , 模型二中向下走和向上走的违反者分布的主要峰值分别为  $x = 26$  和  $28$ , 且分布非常均匀. 这说明,引入策略一和策略二后,违反者的分布相对均匀,且主要分布于道路宽度方向的中间区域,而不是像原模型一样,集中于道路宽度方向的两侧附近. 这

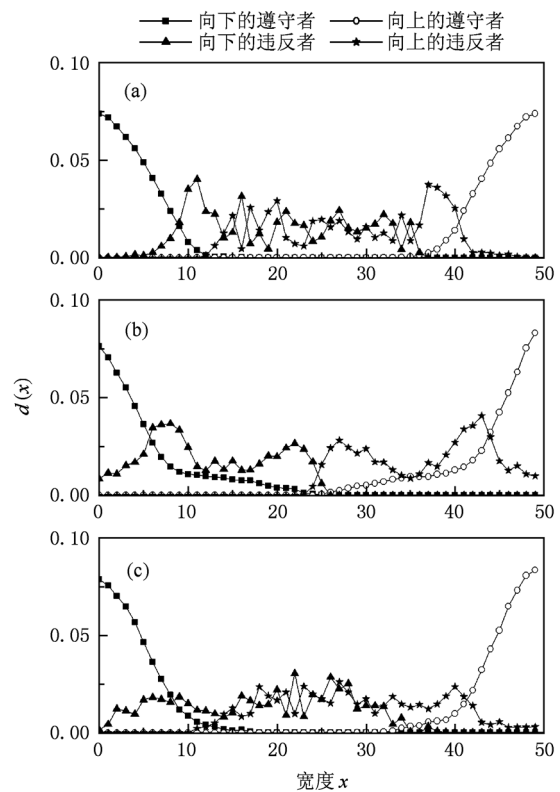


图 3 不同情况下的空间密度分布图 (a) 原模型; (b) 模型 1; (c) 模型 2

样不仅提高了道路中间区域的利用率,而且可以减少违反者与遵守者的相互干扰,有利于大部分行人的前进.

接下来,为了更直观地呈现行人经过一定时间步后的演化情况,我们给出了不同模型在  $t = 10000$  时的行人位置分布图,如图 4 所示. 从图中可以明显地发现,引入策略一和二后,道路系统特别是道路中间区域的利用率得到了很大程度的改善. 具体来说,当  $t = 10000$  时,在原模型的行走规则下,遵守者大量聚集在道路宽度方向的两侧边界,大部分的违反者主要集中于道路宽度方向的两侧边界附近,而在道路中间区域只是部分集中于某些列元胞,其他相邻列元胞的利用率很低(在本文中,我们称这种现象为列队现象);在模型 1 和模型 2 中,不仅遵守者的分布较为均匀,不会大量聚集于道路宽度方向的左右边界,而且违反者也没有出现列队现象,而是以相对均匀的趋势分布于整个道路系统,在道路中间区域中轴线附近分布的数量相对较多.

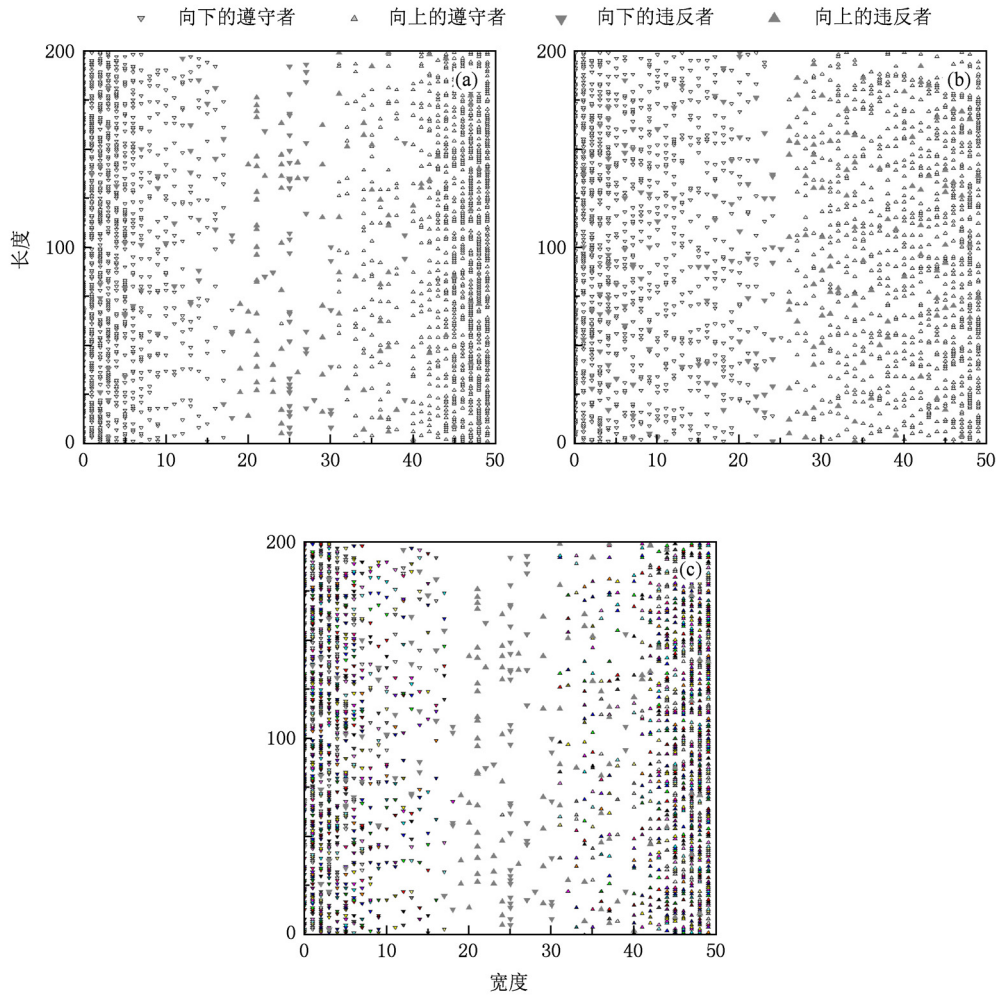


图4  $t = 10000$  时各模型的位置分布图 (a) 原模型; (b) 模型1; (c) 模型2

#### 4. 结 论

Baek 等人通过建立道路上的双向行人流模型, 研究发现了在交通规则遵守者中加入一定比例的交通规则违反者反而可以提高整个道路系统的行人平均速度. 本文在这个结论及其模型中行人行走规则的基础上, 通过考虑行人可能的心理特点和行为特征, 引入了两种策略: 当违反者无法前进时, 他不会随机决定选择左移或右移, 而是会倾向于选择自己左右两侧中相对人少的一侧行走 (模型 1); 当行人无法前进和左右移动时, 不会一味地停止在当前位置等待继续移动的机会, 而是会尝试选择迂回策略, 先后退, 以寻找更多可以前进的机会 (模型 2). 基于 Baek 等人的模型 (原模型) 和本文提出的两个模型, 通过数值模拟, 我们比较分析了相应的行人平均速度-密度关系图、行人空间密度分布图和

行人位置分布图, 得出以下结论.

1) 通过行人平均速度-密度关系图对比分析, 我们发现, 引入策略一和策略二 (即模型 1 和模型 2) 后, 密度临界值从原模型的 0.29 分别变为 0.36 和 0.41. 可以看出, 在同等密度情况下, 道路中行人的平均速度得到了很大程度的提高.

2) 通过行人空间密度分布图和行人位置分布图分析得出: 引入两种策略后均提高了整个道路尤其是道路中间区域的利用率; 遵守者或违反者的分布相对更加均匀, 有效避免了行人过度聚集于道路左右两侧边界的情况, 也进一步避免了严重拥堵的发生.

总而言之, 本文的模拟结果表明, 改进策略的引入不仅可以提高同等密度情况下的行人流平均速度, 改善原模型中道路上行人的聚集现象, 同时还可以提高整个道路尤其是道路中央区域的利用率, 避免严重拥堵的发生. 另外, 本文提出的两个改

进模型对于了解双向行人流的微观心理特点和宏观特性也有一定的帮助.

虽然本文提出的两个模型中较全面地考虑了行人可能的心理特点和行为特征,但仍然需要在实际应用过程中不断研究和分析,进行修正和改进.

而且,本论文只是研究了道路上双向行人流的基本情况,在现实生活中,四向行人流的情况也非常普遍,例如广场上的行人移动等,这个将是我们以后研究的问题.

- [1] Baek S K, Minnhagen P, Bernhardsson S, Choi K, Kim B J 2009 *Phys. Rev. E* **80** 016111
- [2] Fang W F, Yang L Z, Fan W C 2003 *Physica A* **321** 633
- [3] Yang L Z, Li J, Liu S B 2008 *Physica A* **387** 3281
- [4] Takimoto K, Tajima Y, Nagatani T 2002 *Physica A* **308** 460
- [5] Yu Y F, Song W G 2007 *Phys. Rev. E* **76** 026102
- [6] Nagatani T 2009 *Physics Letters A* **373** 2917
- [7] Nagatani T 2009 *Physica A* **388** 4973
- [8] Nagatani T 2010 *Physics Letters A* **374** 1686
- [9] Robin Th, Antonini G, Bierlaire M, Cruz J 2009 *Trans. Res. B* **43** 36
- [10] Ma J, Song W G, Zhang J, Lo S M, Liao G X 2010 *Physica A* **389** 2101
- [11] Wang T, Chen J, Wu J 2010 *Modern Trans. Technology* **7** 67
- [12] Yu Y F, Song W G 2007 *Phys. Rev. E* **75** 046112
- [13] 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]
- [14] Yue H, Shao C F, Guan H Z, Duan L M 2008 *Acta Phys. Sin.* **57** 4499 (in Chinese) [岳昊、邵春福、关宏志、段龙梅 2008 物理学报 **57** 4499]
- [15] Yue H, Shao C F, Yao Z S 2008 *Acta Phys. Sin.* **57** 4523 (in Chinese) [岳昊、邵春福、姚智胜 2008 物理学报 **57** 4523]
- [16] Xia Y H, Wong S C, Shu C W 2009 *Phys. Rev. E* **79** 066113
- [17] Kuang H, Li X L, Song T, Dai S Q 2008 *Phys. Rev. E* **78** 066117
- [18] Kuang H, Li X L, Wei Y F, Song T, Dai S Q 2010 *Chin. Phys. B* **19** 070517
- [19] Muramatsu M, Nagatani T 2000 *Physica A* **275** 281
- [20] Takimoto K, Tajima Y, Nagatani T 2002 *Physica A* **308** 460
- [21] 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、谭惠利、孔令江、刘慕仁 2009 物理学报 **58** 2281]
- [22] Zhou J W, Kuang H, Liu M R, Kong L J 2009 *Acta Phys. Sin.* **58** 3001 (in Chinese) [周金旺、邝华、刘慕仁、孔令江 2009 物理学报 **58** 3001]
- [23] Wen J, Tian H H, Xue Y 2010 *Acta Phys. Sin.* **59** 3817 (in Chinese) [温坚、田欢欢、薛郁 2010 物理学报 **59** 3817]
- [24] Ma J, Song W G, Liao G X 2010 *Chin. Phys. B* **19** 128901
- [25] Biham O, Middleton A A, Levine D 1992 *Phys. Rev. A* **46** R6124
- [26] Fukui M, Ishibashi Y 1999 *J. Phys. Soc. Jpn* **68** 3738
- [27] Muramatsu M, Irie T, Nagatani T 1999 *Physica A* **267** 487

## Bi-directional pedestrian flow model with traffic convention \*

Yang Ling-Xiao<sup>†</sup> Zhao Xiao-Mei<sup>‡</sup> Gao Zi-You Zheng Jian-Feng

(School of Traffic and Transportation, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

(Key Laboratory for Urban Transportation Complex Systems Theory and Technology of Ministry of Education,

Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

(Received 15 November 2010; revised manuscript received 24 January 2011)

### Abstract

In this paper, we extend a cellular-automata model recently proposed by Baek et al. to simulate traffic dynamics of the bi-direction pedestrians. And we present two improved strategies for the moving rules of the pedestrians. Numerical studies of average velocity-density diagram, spatial density distribution and position distribution of the pedestrians are given. We find that the two improved strategies can not only increase the average velocity of pedestrian flow, but also improve the utilization of the road, especially for the central region, reduce the degree of congestion, and avoid the occurrence of serious congestion. The two improved strategies have more comprehensive considerations of psychological and behavioral characteristics of pedestrians, which are also proper to simulate bi-directional pedestrian dynamics under a high traffic density.

**Keywords:** cellular-automata model, bi-direction pedestrian, traffic convention

**PACS:** 05. 10. - a, 05. 70. Fh, 05. 70. Jk, 05. 90. + m

---

\* Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant Nos. 70701004, 71071012).

<sup>†</sup> E-mail: 09121255@bjtu.edu.cn

<sup>‡</sup> Corresponding author. E-mail: xmzhao@bjtu.edu.cn