

T 型交叉口多速混合交通流特性研究

朱昶胜, 李易泽, 冯文芳

(兰州理工大学, 甘肃 兰州 730050)

摘要: 为了解决 T 型交叉口系统中车辆拥堵的现象, 结合实际的 T 型交叉口交通情况, 提出了一种 T 型交叉口多种速度混合交通流的元胞自动机模型。模型中运行的车辆采用主干道车辆优先行驶的原则, 避免车辆之间发生碰撞和死锁现象。仿真研究在开放边界条件下, 将车辆以 3 种最大速度混合注入 T 型交叉口系统的车道, 研究支道注入概率分别对 T 型交叉口中四条车道速度、密度、流量的影响。结果表明: 在同等条件下, 不同速度混合比例系数对系统交通流影响不同。支道注入概率在一定范围内影响 T 型交叉口系统交通流。

关键词: 元胞自动机; 交叉口; 混合交通流; 入口概率

中图分类号: TP391.9 **文献标识码:** B

Study on Characteristics of Traffic Flow at T – Shaped Intersection with Mixed Different Maximum Speed Vehicles

ZHU Chang – sheng , LI Yi – ze , FENG Wen – fang

(Lanzhou University of Technology , Lanzhou Gansu 730050 , China)

ABSTRACT: In order to solve the problem of traffic congestion phenomena at T – shaped intersection the system , in this paper , combined actual city T – shaped intersection traffic conditions , we proposed a cellular automaton model of mixed traffic flow at T – shaped intersection. In order to avoid a collision between vehicles and phenomenon of grid-lock , running vehicle in the model adopted the principle of major street vehicles traveling priority. Under the open boundary conditions , three kinds of maximum speeds of vehicles were mixed and poured into T – shaped intersection lane. The impacts of pouring probability of branch streets on the average velocity and traffic flow of T – shaped intersection of four lanes were researched respectively. Under the same conditions , different mixing ratio coefficient of the speed has different effects on the traffic flow system. Branch street pouring probability affects T – shaped intersection traffic flow within a certain range.

KEYWORDS: Cellular automaton model; Shaped intersection; Mixed traffic flow; Injection probability

1 引言

近年来, 随着城市交通的快速发展, 随之而来的交通拥堵和交通安全问题日益严重。因此, 合理的交通规划和管理就成为关键因素, 各种研究交通流的方法相继被提出。其中, 采用元胞自动机理论来研究交通流问题, 使模型的演化规则简单、易于实现, 能有效模拟交通流中车辆微观运动^[1]状态, 了解车辆间的相互作用机理, 所以在交通流的研究中

得到了广泛的应用^[5, 6]。T 型交叉口将道路互相连接起来构成网络^[2], 由于车辆的转向而引起车流之间的冲突、交汇、分流等车流运行行为, 使 T 型交叉口的交通特性较为复杂。

因为交叉口在道路网络中的重要位置, 所以国内外的专家和学者采用元胞自动机模型对交叉口处的交通流特性进行研究^[6-12]。谭惠丽等在开放边界条件下, 利用改进的 NS 模型模拟城市干道中心十字交叉口处干道和支道的交通流特性^[7]。肖瑞杰等在周期边界条件下, 运用 NS 模型模拟研究了车辆的长度、最大速度和混合比例系数对混合交通的影响^[8]。张兴强等将右转机动车和直行自行车对象研究了交叉口混合交通流的机非干扰机理^[9]。李新刚等在主车道用两种不同的避免碰撞规则来模拟无信号 T 型交叉口主车道和支道的交通流流量^[10]。范洪强等研究了无信号 T 型交叉口主干道车辆流入率以及各车道的左转车流和右转车流对

基金项目: 甘肃省社科规划项目(14YB051), 兰州市社科规划项目(04-021E), 兰州市软科学项目(2013-3104)

收稿日期: 2014-09-23

交叉口的影响^[11]。李小白等对无信号控制的 T 型交叉口中转向车辆对系统的作用和交通系统相图进行研究。

但是目前国内外在利用元胞自动机模型研究 T 型交叉口多速混合交通流特性考虑的较少。因此,本文建立了一种考虑所有方向车流方向的 T 型交叉口多速混合交通流模型。根据实际道路中存在不同性质和类型的车辆,模型中通过不同类型的车辆具有不同的最大行驶速度来表现。该模型模拟的无信号 T 型交叉口的运行情况更加接近实际。本文采用该模型对 T 型交叉口的交通流特性进行分析研究,主要研究在多种速度混合交通流条件下,支道注入概率对系统中四条车道的影响。

2 车流模型特点

无信号 T 型交叉口元胞自动机模型如图 1 所示:主干道包括车道 L4 和车道 L3,支道包括车道 L2 和车道 L1,主干道和支道上的车辆均不允许超车,在各自的车道独立运行。主干道的每条车道看成长为 L 个格点的一维离散格点链,支路的每条车道看成长为 L/2 个格点的一维离散格点链,每个格点代表实际长度为 7.5m,每个格点的状态为空(无车)或被一辆速度为 $V \in \{0, 1, 2, \dots, V_{\max}\}$ 的车辆占据, V_{\max} 为车辆可达到的最大限制速度,一个演化时步为 1s^[11]。交叉口由 C1、C2、C3 和 C4 四个元胞组成。当车辆进入交叉口时,存在左转方向、右转方向、直行方向车流。L4 车道上行驶至 C1 处的左转方向车辆和 L3 车道上行驶至 C3 处的右转方向车辆进入 L2 车道。L1 车道行驶至 C4 处的右转车辆和 L3 直行方向车辆进入 L3 车道。L1 车道上行驶至 C2 的左转方向车辆和 L4 车道的直行方向车辆进入 L4 车道车辆和 L3 车道上行驶至 C3 处的右转方向车辆进入 L2 车道。L1 车道行驶至 C4 处的右转车辆和 L3 直行方向车辆进入 L3 车道。L1 车道上行驶至 C2 的左转方向车辆和 L4 车道的直行方向车辆进入 L4 车道。

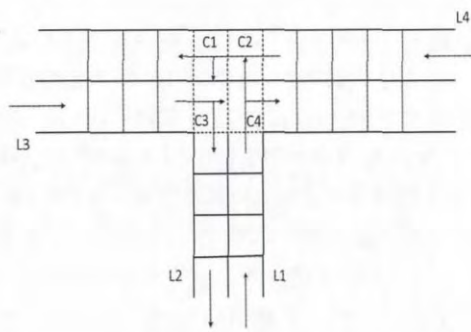


图 1 T 型交叉口元胞自动机示意图

2.1 演化规则

车辆在开放边界条件下^[13],主干道和支道的所有车辆按照 NS 规则^[14]进行更新。依照交通规则进行演化,在没有交通标志的交叉口,转弯的车辆让直行的车辆先行,相对方

向行驶的右转弯的车辆让左转弯的车辆先行。NS 模型实现了车辆的加减速、随机慢化等现象,在每个时间间隔 $t \rightarrow t + 1$ 的过程中,更新规则如下:

1) 加速: 如果 $V_n(t) < V_{\max}$, 则速度加 1, 但不超过 V_{\max} , 即 $V_n \rightarrow \min\{V_n + 1, V_{\max}\}$;

2) 减速(防止撞车): 如果 $d_n \leq V_n$, 则车辆 n 减速到 $d_n - 1$, 即 $V_n \rightarrow \min\{V_n, d_n - 1\}$;

3) 随机慢化: 如果车辆 n 速度大于 0, 则以概率 p 减 1, 即 $V_n \rightarrow \max\{V_n - 1, 0\}$, 否则不变;

4) 位置更新: 车辆以速度 V_n 向前行驶, 即 $X_n \rightarrow X_n + V_n$ 。

V_n 和 X_n 为 t 时刻第 n 辆车的速度和位置, d_n 为第 n 辆车 t 时刻与前方紧邻车辆之间的间距, V_{\max} 为车辆的最大速度并规定相反方向行驶的车辆不允许换道超车。当车辆驶入交叉口时要考虑 3 个不同方向的车辆: 右转车辆、左转车辆、直行车辆, 直行车道上的车辆具有优先行驶权。

在无信号灯控制条件下,为避免发生死锁现象,各车道在驶入交叉口时有不同的优先权。当主干道直行车辆将要进入交叉口需要满足 L3 车道与 L1 车道交叉点元胞 C4 没有被支道 L1 左转向的车辆占据;主干道 L3 右转向车辆将要进入交叉口需要满足元胞 C4、C2 和 C1 没有被 L4 和 L1 车道上的左转向车辆占据;主干道 L4 上左转向车辆将要进入交叉口需要满足元胞 C3 和 C4 没有被车辆占据;支道 L1 右转向车辆将要进入交叉口需要满足元胞 C2 没有被车辆占据和元胞 C3 没有被 L3 车道上的直行车辆占据;支道 L1 左转向车辆将要进入交叉口需要满足元胞 C3、C2 和 C1 没有被车辆占据。如果将要进入交叉口的车辆不满足以上条件,则需要等在交叉口前直到满足元胞状态才能驶入。

3 数值仿真分析

T 型交叉口模型仿真中,主干道 L4 和 L3 长度为 1024cells,支道 L2 和 L1 长度为 512cells,交叉口元胞 C1、C3 位于第 511 和 512 个元胞处,每个元胞对应的实际道路长为 7.5m,一个演化时步为 1s,结合实际城市公路上车辆的真实速度,设置车辆最大限制速度取三种速度类型 $V_{\max} = \{2, 3, 5\}$,引入速度比例系数 f_2, f_3, f_5 。宏观定义如下:第 i 个车道由 L 个离散的格点组成, t 时刻车道上的车辆总数为 $N_i(t)$, 车辆平均速度为 $\bar{V}(t) = \frac{1}{N(t)} \sum_{i=1}^{N(t)} V_i(t)$ 在交通流理论模型中,密度是衡量道路交通拥堵程度一个基本指标。车辆密度为 $\rho(t) = \frac{N(t)}{L}$, 平均车流量为 $J_i = \bar{V}^* \rho$ 。

系统含有东西向两条主干道,南北向两条支道,采用开放性边界条件,主干道车道注入概率为,消失概率为,支道 L1 车辆注入概率为,支道 L2 消失概率为;主干道车辆右转向概率为、左转向概率为,支道车辆右转向概率为、左转向概率为。在 t 时步,按照注入概率和混合比例把不同类型的车辆从 $L = 0$ 处分别注入主干道、支道,并即刻按演化规则进行运

行,如果注入的车辆不能前移,则移除这辆车,后面相邻的车辆成为新的头车。连续运行 50000 时步,每一时步干道车辆优先运行,然后支道两车道车辆独立运行;统计最后 10000 时步的值,以消除非稳态的影响,取 20 个样本作系统平均。

3.1 支道不同对混合交通流中各车道平均速度的影响

在模型中,主干道 $L4$ 和 $L3$ 上车辆平均速度标记为 V_4 、 V_3 ;密度标记为 ρ_4 、 ρ_3 ;流量标记为 J_4 、 J_3 ,支道 $L2$ 和 $L1$ 上车辆平均速度标记为 V_2 、 V_1 ;密度标记为 ρ_2 、 ρ_1 ;流量标记为 J_2 、 J_1 。主干道 $L4$ 和 $L3$ 注入概率记为 α_4 、 α_3 ,干道 $L1$ 注入概率记为 α_1 ,车辆随机慢化概率记为 p 。

考虑支道注入概率 α_1 变化对各个车道的平均速度、密度、流量的影响。设置主干道注入概率 $\alpha_4 = \alpha_3 = 0.7$,消失概率 $\beta_3 = \beta_4 = 1$,主干道转向概率 $P_1 = P_2 = 0.3$,支道转向概率 $P_3 = P_4 = 0.5$,消失概率 $\beta_2 = 1$,随机慢化概率 $p = 0.2$ 。

图 1 和图 2 是支道注入概率与主干道的速度关系图。图 3 和图 4 是支道注入概率与速度关系图。由于主干道上的车辆不允许超车,在不同速度混合比例系数下的干道车辆平均速度以慢车为主, $L4$ 车道上的左转车辆经过 $L3$ 车道。因此,在同等条件下 $L4$ 车道上车辆的平均速度大于 $L3$ 车道上车辆的平均速度。当 $L1$ 车道注入概率 α_1 近似于 0 时,四条车道速度都达到最大值。支道上的车辆不允许超车, $L1$ 车道的注入概率变化不影响 $L2$ 车道上车辆的平均速度。主干道速度随着注入概率 ($\alpha_1 < 0.25$) 的增加而逐渐变小。当注入概率继续增大 ($\alpha_1 > 0.25$) 时,将不再对主干道速度产生影响。 $L1$ 车道的速度随着注入概率 ($\alpha_1 < 0.25$) 的增加而逐渐变小,当注入概率 ($\alpha_1 > 0.25$) 继续增大时,将不再对主干道速度产生影响, $L1$ 道呈现拥挤流。如图所示:随着速度比例系数的减小,平均速度逐渐变小。当速度比例系数 $f_5:f_3:f_2$ 为 $1:0:0$ 时,各个车道速度变化最明显。

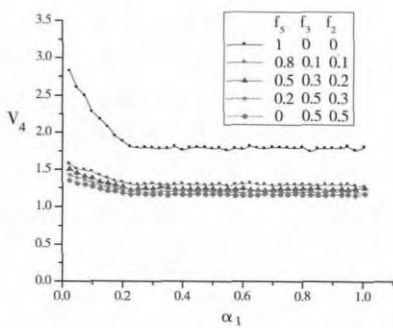


图 1 不同混合速度条件下, V_4 随 α_1 变化情况

3.2 支道不同对混合交通流中各车道密度的影响

图 5 和图 6 是支道注入概率与主道的密度关系图。支道 $L2$ 上车辆密度整体上受 $L1$ 车道注入概率影响较小。当 ($\alpha_1 < 0.25$) 时,主干道 $L4$ 和 $L3$ 道上车辆密度随着的增大而增加,当 ($\alpha_1 > 0.25$) 时随着注入概率的增大,干道车辆密度趋于稳定。在主干道在同等条件下, $L3$ 车道上密度略大于

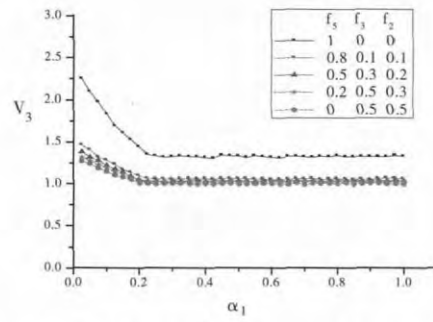


图 2 不同混合速度条件下, V_3 随 α_1 变化情况

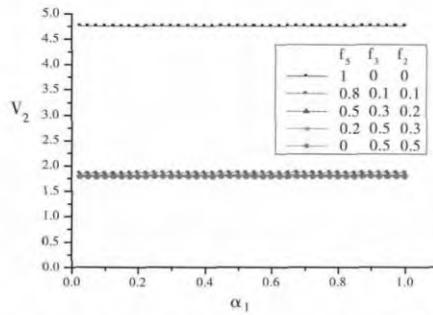


图 3 不同混合速度条件下, V_2 随 α_1 变化情况

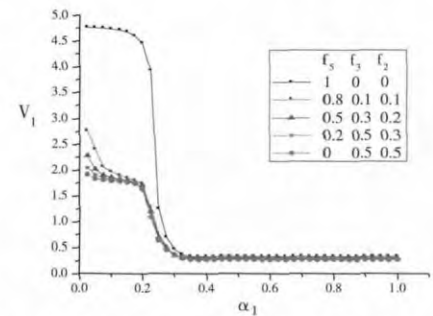


图 4 不同混合速度条件下, V_1 随 α_1 变化情况

$L4$ 车道上的密度。图 7 和图 8 是支道注入概率与支道的密度关系。在 ($\alpha_1 < 0.25$) 注入概率下, $L1$ 车道密度逐渐增大,当注入概率进一步增大后, $L1$ 道上车辆密度趋于稳定。各个车道上车辆速度混合比例系数越大,车辆密度反而越小。

3.3 支道不同对混合交通流中各个车道流量的影响

图 9 和图 10 是支道注入概率与主干道的流量关系图。由图中可以看出,在 $L1$ 道注入率比较小时 ($\alpha_1 < 0.25$),支道车辆对主干道的交通流起到阻碍作用。在同等条件下, $L4$ 道上车流量略大于 $L3$ 车道的车流量。图 11 和图 12 是支道注入概率与流量关系。图 $L2$ 车道的车辆由 $L4$ 道的左转向车辆和 $L3$ 道的右转向车辆组成。从图 11 可以看出,当注入概率比较小 ($\alpha_1 < 0.25$) 时 $L2$ 道的车流量逐渐减小,随着注入概率的增加 $L2$ 车道的流量趋于稳定。

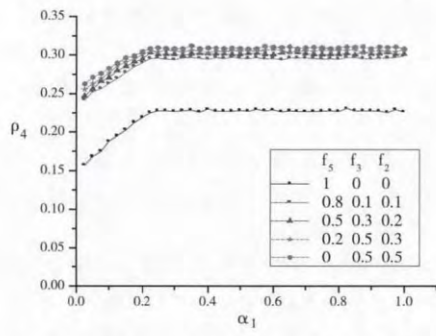


图5 不同混合速度条件下, p_4 随 a_1 变化情况

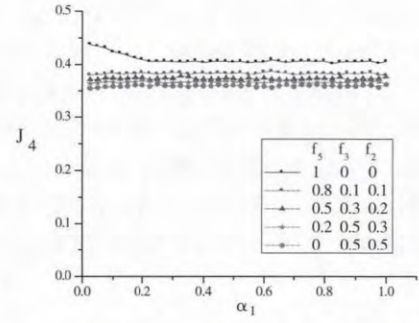


图9 不同混合速度条件下, J_4 随 a_1 变化情况

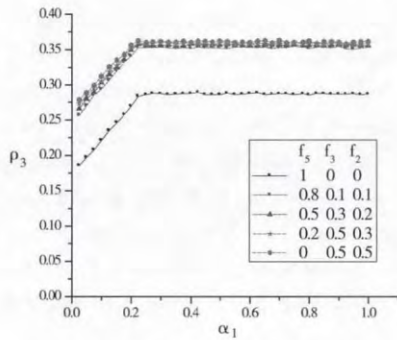


图6 不同混合速度条件下, p_3 随 a_1 变化情况

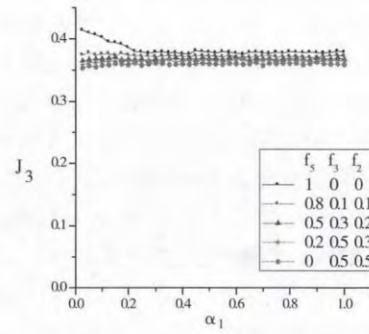


图10 不同混合速度条件下, J_3 随 a_1 变化情况

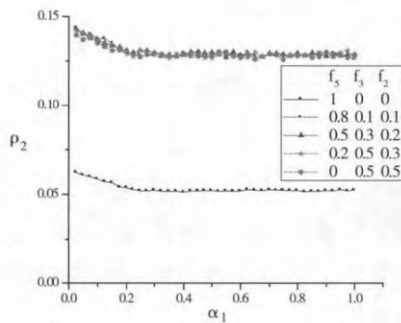


图7 不同混合速度条件下, p_2 随 a_1 变化情况

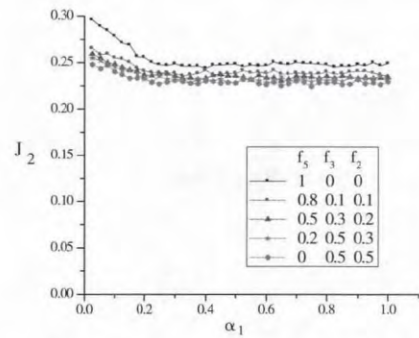


图11 不同混合速度条件下, J_2 随 a_1 变化情况

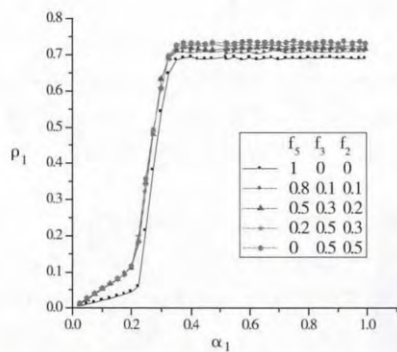


图8 不同混合速度条件下, p_3 随 a_1 变化情况

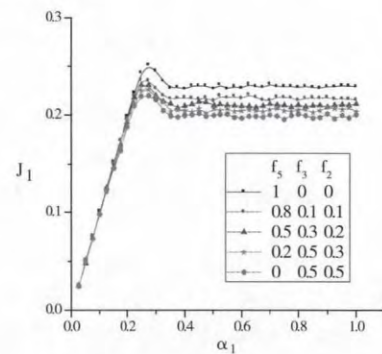


图12 不同混合速度条件下, J_1 随 a_1 变化情况

当干道车流量比较大时,支道只有在注入概率比较小的范围内保持畅通相。支道 $L1$ 随着注入概率 ($\alpha_1 < 0.25$) 的增

加 在不同混合速度比例对 $L1$ 道上的车流量影响不大。四条车道上的车流量 随着混合比例系数的增加而略微增加。

本文运用元胞自动机模型模拟了在开放边界条件下,城市 T 型交叉口多种速度混合交通流的车辆运行状态。此模型分别考虑了主道 $L4$ 和 $L3$ 上的直行方向车辆 $L4$ 道的左转方向车辆 $L3$ 道上的右转方向车辆 $L1$ 车道上左转和右转方向车辆。通过对支道上不同混合比例系数速度车辆的注入率与各个车道速度、密度、流量的影响进行深入分析和研究。

4 结论

计算机模拟结果表明: 每条车道在同等条件下, 平均速度、流量随着混合比例系数的减小而减小。当 $L1$ 道注入概率($\alpha_1 < 0.25$) 时 $L4$ 、 $L3$ 和 $L1$ 车道的平均速度随着 α_1 的增大而减小。当注入概率($\alpha_1 > 0.25$) 继续增大时, 将不再对 3 条车道平均速度产生影响, $L1$ 道呈现明显的拥挤流。当注入概率($\alpha_1 < 0.25$) 时, 主干道和 $L2$ 车道上车辆密度随着的增大而增加, 当时随着注入概率的增大, 主干道和 $L2$ 车道上车辆密度趋于稳定。当($\alpha_1 > 0.25$) 注入概率时, $L1$ 车道上车辆密度变化明显。当速度比例系数 $f_3:f_2 = 1:0:0$ 时, 在同等条件下各个车道车辆密度系数最小, 然而车辆密度随着混合比例系数的增加而减小。在 $L1$ 道车辆注入率比较小时($\alpha_1 < 0.25$) 支道车辆对主干道的交通流起到阻碍作用。在同等条件下 $L4$ 道上车流量略大于 $L3$ 车道的车流量。当 $L1$ 道车辆注入概率($\alpha_1 < 0.25$) 时, $L1$ 车道流量随着注入概率增加明显变化, 当注入概率逐渐增加($\alpha_1 > 0.25$) $L1$ 车道上车流量变化趋于稳定。这些研究结果对管理和控制 T 型交叉口的多速混合交通流具有一定的实际意义, 同时可以避免在 T 型交叉口处发生交通拥堵和事故。

参考文献:

[1] 贾斌, 等. 基于元胞自动机的交通系统建模与模拟[M]. 北京: 科学出版社, 2007

[2] 李新刚. 基于元胞自动机模型的交通系统微观建模与特性研究[D]. 北京交通大学, 2009: 99 - 110

[3] 王守宝, 钱勇生, 亢红霞. 周期边界条件下多速混合车流的双车道元胞自动机模型[J]. 计算机应用, 2008, 10(28): 2658 - 2660.

(上接第 153 页)

超兴趣点特征表述及识别[J]. 中国图象图形学报, 2013, 18(7): 805 - 812.

[7] 陈金水. 基于视频图像识别的水位数据获取方法[J]. 水利信息化, 2013 (1): 48 - 51.

[8] 汪峥嵘. 基于数字图像识别技术的车牌定位技术浅论[J]. 无线互联科技, 2012 (12): 165 - 165.

[9] 李志农, 聂鹏, 鄢冠华. 基于 Bandel 变换的金属断口图像识别方法[J]. 无损检测, 2013 (1): 1 - 4.

[4] 邝华, 孔令江, 刘慕仁. 多速混合车辆单车道元胞自动机模型的研究[J]. 物理学报, 2004, 53(9): 2894 - 2897.

[5] 郑荣森, 谭惠丽, 孔令江, 刘慕仁. 双车道多速车辆混合交通流元胞自动机模型研究[J]. 物理学报, 2005, 54(8): 3516 - 3521.

[6] Q L Li, B H Wang, M R Liu. Phase diagrams properties of the mixed traffic on a crossroad [J]. Physical A, 2010, 389(21): 5045 - 5052.

[7] 谭惠丽, 张英超, 刘慕仁, 孔令江. 主干道十字交叉路口交通流研究[J]. 广西师范大学学报, 2003, 4(21): 5 - 8.

[8] 肖瑞杰, 等. 十字路口对混合交通流的影响[J]. 广西物理, 2008, 29(1): 25 - 28.

[9] 张兴强, 汪滢, 胡庆华. 交叉口混合交通流元胞自动机模型及仿真研究[J]. 物理学报, 2014, 63(1): 010508. 1 - 010508. 5.

[10] X G Li, Z Y Gao, B Jia and X M Zhao. Cellular Automata Model for Unsignalized T - Shaped Intersection [J]. International Journal of Modern Physics C, 2009, 20(4): 501 - 512.

[11] Fan Hongqiang et. Characteristics of Traffic Flow at Nonsignalized T - Shaped Intersection with U - Turn Movements [J]. The Scientific World Journal, 2013, 2013: 856416. 1 - 856416. 7.

[12] Li Xiaobai, Jiang Rui, Wu Qingsong. Cellular Automata Model Simulating Traffic Flow at Uncontrolled T - Shaped Intersection [J]. International Journal of Modern Physics B, 2004, 18(17n19): 2703 - 2708.

[13] Jia Ning, Ma Shoufeng. Analytical investigation of the open boundary condition in the Nagel - Schreckenber model [J]. Physical Review E 79, 2009: 031115 - 1.

[14] 谭惠丽, 刘慕仁, 孔令江. 边界部分开放条件下改进 NS 交通流模型的研究[J]. 广西师范大学学报(自然科学版), 2003, 21(2): 16.



[作者简介]

朱昶胜(1970 -), 男(汉族), 甘肃天水人, 教授, 博士, 主要研究领域: 智能交通系统, 网络信息安全。

李易泽(1988 -), 女(汉族), 黑龙江哈尔滨人, 硕士研究生, 主要研究领域: 智能交通系统。

冯文芳(1976 -), 女(汉族), 甘肃天水人, 讲师, 硕士, 主要研究领域: 信息管理与信息系统。

[10] 江帆, 陈德为. 基于图像识别技术的船舶水尺刻度线检测算法的研究[J]. 数字技术与应用, 2013 (1): 114 - 114.



[作者简介]

许丽娟(1979 -), 女(汉族), 青海都兰县人, 硕士研究生, 讲师, 主要研究方向: 人工智能, 自动控制。

刘大龙(1976 -), 男(汉族), 广东河源人, 在读硕士生, 实验师, 主要研究领域: 电工电子技术、自动控制。