

十字交叉路口交通流的控制和管理研究*

Study of Control and Management at Intersection on Traffic Flow

刘海英¹, 谭惠丽², 孔令江², 刘慕仁^{2**}

LIU Hai-ying¹, TAN Hui-li², KONG Ling-jiang², LIU Mu-ren^{2**}

(1. 桂林师范高等专科学校物理与信息技术系, 广西桂林 541002; 2. 广西师范大学物理与信息工程学院, 广西桂林 541004)

(1. Department of Physics and Information Technology, Guilin Normal College, Guilin, Guangxi, 541002, China; 2. College of Physics and Information Engineering, Guangxi Normal University, Guilin, Guangxi, 541004, China)

摘要:采用开放边界条件, 利用改进的 Nagel-Schreckenberg 模型, 引入转向概率, 通过数值模拟, 研究车辆通过十字交叉路口的交通流特性。结果得到, 在开放边界条件下, 当车道的产生概率大于消失概率的情况下, 具有十字交叉路口的车道车辆密度在红绿灯信号周期较短时, 车道车辆密度较高, 此时车辆拥堵严重, 如果延长红绿灯信号周期或允许车辆在交叉路口转向行驶, 可降低车辆密度, 改善交通状况, 达到科学管理和有效控制车流的高效运行。

关键词:交通流 控制与管理 交叉路口

中图分类号: TB126; U121 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-9164(2006)04-0338-04

Abstract: The traffic flow of the crossroad in city with turning probability is simulated by using the improved Nagel-Schreckenberg model under open boundary condition. From the result, it can be found that when the input rate is greater than the output rate and the period of traffic light is short, the car density of the crossroad is high. And then the cars are in a serious jam. But when the period of traffic light increases or the cars at the intersection are allowed to turn, the car density will decrease. So it can improve the efficiency of the management and control of the traffic flow.

Key words: traffic flow, control and management, intersection

在城市交通中, 车道纵横交错形成道路网络。为实现对交通道路网络交通流的科学管理和有效控制, 可以通过在交叉路口处设置的红绿灯信号及对通过交叉路口车辆的转向来使车道车辆有序运行。对存在交叉路口的城市交通流, 已有多方面的研究。如 BML 模型^[1]研究二维交通网动态。D. Chowdhury 和 A. Schadschneide^[2]将一维元胞自动机(简称 CA)交

通流的 NaSch 模型^[3]和 BML 模型结合而形成 CA 模型, 给出了车辆分别在红灯和绿灯周期内在交叉路口间运动的平均速度关系式, 并研究车辆从自由运动到完全堵塞相的相变行为。在文献[2]的研究基础上, E. Brockfeld 等^[4]研究红绿灯周期对交通系统的影响, 提出几种红绿灯信号方案。文献[5~8]也曾对城市车道的交通及在交通灯控制下城市主干道交通流模型进行过研究, 得到一些有意义的结果。在上述的这些研究中, 均采用周期性边界条件, 且在交叉路口处车辆均无转向。本文采用开放边界条件^[9], 利用改进的 Nagel-Schreckenberg(简记为 NS)模型^[10,11], 引入转向概率, 通过数值模拟, 研究车辆通过交叉路口的交通流特性, 为控制和管理有交叉路口的交通流提供参考。

收稿日期: 2006-01-27

修回日期: 2006-09-15

作者简介: 刘海英(1962-), 女, 广西桂林人, 讲师, 主要从事物理教学工作。

* 国家自然科学基金课题(批准号: 10362001; 10562001)、广西自然科学基金课题(批准号: 0447030)和广西十百千人才工程项目(批准号: 2001204)联合资助。

** 通讯作者。

1 模型及演化规则

本文的十字交叉路口的交通模型由一条东西向车道和一条南北向车道组成,如图 1 所示。设两条车道长均为 L ,它们在中点交叉。除交叉点外,东西向车道上的格点或为空或被一辆由西向东行驶的车辆占据,南北向车道上的格点或为空或被一辆由南向北行驶的车辆占据,而交叉点上可以被一辆北向车或东向车占据或者为空,交叉点上的车辆可以转向行驶。所有车辆的速度为 $\{0, 1, 2, \dots, V_{\max}\}$ 中的一个值, V_{\max} 为允许的最大速度。交叉口设置有红绿灯信号交通灯。绿灯时,东向车通行,红灯时,北向车通行。各车均通过本身的速度与其前方可移动的距离进行比较后来调整速度和位置^[10]。



图 1 十字交叉路口交通模型
Fig. 1 Crossroad model

模型具体演化规则如下。

绿灯时步:南北向车道上欲进入交叉点的北向车在交叉点前停止,不能进入交叉点,而在交叉点上的北向车须尽快离开(前移或以概率 P_{in} 转入东西向车道行驶);东西向车道上东向车欲进入交叉点,先看交叉点上的车能否离开,如果可以的话,则该东向车可同时移进交叉点;交叉点上的东向车可以前移或以一定的概率 P_{out} 转到南北向车道上去;其余车辆按改进的 NS 模型^[10] 的规则运动。

红灯时步:东西向车道上欲进入交叉点的东向车在交叉点前停止,不能进入交叉点,而在交叉点上的东向车需尽快离开(前移或转向行驶);南北向车道上的北向车欲进入交叉点,先看交叉点上的车能否离开,如果可以的话,该车可同时进入交叉点;交叉点上的北向车可以前移或以一定的概率 P_{in} 转到东西向车道上;其余车辆按改进的 NS 模型的规则运动。

根据文献[11]定义的开放边界条件,设东西向车道的产生概率为 α_1 ,消失概率为 β_1 ,南北向车道的产生概率为 α_2 ,消失概率为 β_2 。

2 计算机模拟

为进行计算机模拟,先定义描述交通流有关性质的量如下:

t 时步东西向车道、南北向车道车辆密度:

$$\rho_{xt} = \frac{N_{xt}}{L}, \rho_{yt} = \frac{N_{yt}}{L}. \quad (1)$$

t 时步东西向车道、南北向车道车辆平均速度:

$$V_{xt} = \frac{1}{N_{xt}} \sum_{i=1}^{N_{xt}} V_x(i, t), V_{yt} = \frac{1}{N_{yt}} \sum_{i=1}^{N_{yt}} V_y(i, t). \quad (2)$$

t 时步东西向车道、南北向车道流量:

$$J_{xt} = \rho_{xt} V_{xt}, J_{yt} = \rho_{yt} V_{yt}, \quad (3)$$

其中 x 表示东西向车道, y 表示南北向车道; N_{xt}, N_{yt} 分别为 t 时步东西向车道、南北向车道上的车辆总数;相应的 $\rho_g, \rho_r, V_g, V_r, J_g, J_r$ 分别表示绿灯或红灯周期内车辆的平均密度、速度和流量。

在数值模拟中,设两条车道的长度 $L = 1000$,车道上车辆最大限速 $V_{\max} = 5$,刹车概率 $P_n = 0.1$ 。交叉口红绿灯周期 $T = T_g + T_r$,其中 T_g 为绿灯时间, T_r 为红灯时间,绿信比定义为 $G_s = T_g/T$ 。

在以下的模拟中,绿信比 $G_s = 1/2$,取总时步为 $N_{\text{step}} = 50000$ 步,从 $N_{\text{count}} = 40000$ 时步后开始取数据进行统计,即对后 $(N_{\text{step}} - N_{\text{count}}) = 10000$ 步的值作统计平均,则

$$\rho_x = \frac{1}{N_{\text{step}} - N_{\text{count}}} \sum \rho_{xt}, \rho_y = \frac{1}{N_{\text{step}} - N_{\text{count}}} \sum \rho_{yt}; \quad (4)$$

$$V_x = \frac{1}{N_{\text{step}} - N_{\text{count}}} \sum V_{xt}, V_y = \frac{1}{N_{\text{step}} - N_{\text{count}}} \sum V_{yt}; \quad (5)$$

$$J_x = \frac{1}{N_{\text{step}} - N_{\text{count}}} \sum J_{xt}, J_y = \frac{1}{N_{\text{step}} - N_{\text{count}}} \sum J_{yt}. \quad (6)$$

3 结果与分析

数值模拟结果如图 2~5 所示。

图 2 是在产生概率 α_1 大于消失概率 β_1 的条件下东西向车道上车辆密度 ρ ,速度 V ,流量 J 随红绿灯信号周期 T 的变化情况。从数值模拟结果可以看出,在 $T < 15$ 时, $\rho > 0.4$,车道上车辆拥堵严重,因而速度 V ,流量 J 较小。当红绿灯信号周期 $T > 16$ 时,车道车辆密度 ρ 下降,车辆拥堵状况得以缓解,因而车辆行驶速度和流量得到了提高,当继续增大 T 时,车辆密度略有增加,速度稍减,但车道流量保持稳定。可见,在车道车辆密度较高的情况下,通过延长交叉路口处红绿灯信号周期,可使车道车辆流通情况得以改善。由于东西向车道与南北向车辆运行条件一样,因此,南北向车流状况与上面的结果一致。

图 3 是在红绿灯信号周期 $T = 14$ 和 $T = 20$ 时东西向车道车辆在 55000~55500 时步间的时空斑

图,其中 x 轴表示车辆从西向东运动过程中某时刻的空间位置坐标(坐标范围 1~1000), t 轴表示时间演化(由上而下),车辆用黑点表示,深黑色区域表示车辆拥堵聚集区域,浅色区域表示车辆自由运动区域。图 3(a)中交叉路口前聚集了高密度排长队的车辆,而图 3(b)交叉路口前聚集车辆排队长度短,说明延长交叉口处的红绿灯信号周期使交通拥堵状况得到了改善。

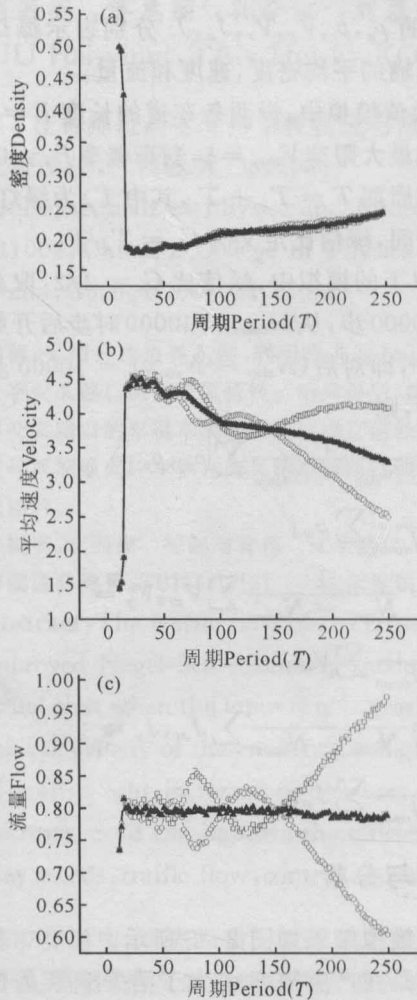


图 2 $P_{out} = P_{in} = 0.0, \alpha_1 = \alpha_2 = 0.8, \beta_1 = \beta_2 = 0.4$ 时密度 ρ , 速度 V , 流量 J 随 T 的变化情况

Fig. 2 Plots of density, velocity and flow against the cycle time of traffic light when $P_{out} = P_{in} = 0.0, \alpha_1 = \alpha_2 = 0.8, \beta_1 = \beta_2 = 0.4$

(a) \square : ρ_g, \circ : ρ_r, \blacktriangle : ρ ; (b) \square : V_g, \circ : V_r, \blacktriangle : V ; (c) \square : J_g, \circ : J_r, \blacktriangle : J 。

图 4 是车辆在交叉口处具有转向概率的 ρ 随 T 的变化关系。与图 2(a)对比可以看出,当 $P_{out} = 0, T = 14$ 时, ρ 约为 0.425,而在 $P_{out} = 0.2, T = 14$ 时的密度 $\rho = 0.188$ 。说明允许在交叉口的车辆转向行驶可降低车道车辆在交叉口前的排队长度,从而使车道车辆的平均密度大幅降低,改善了流通性,提高了车

辆流量。图 5 的时空斑图与图 3(a)的时空斑图的对比结果也说明了这一问题。

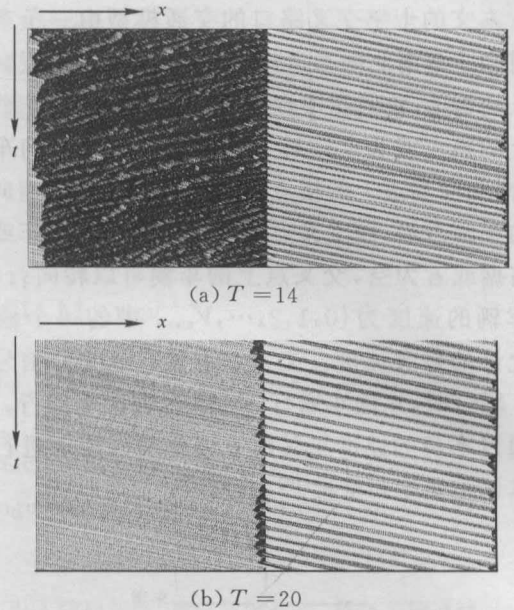


图 3 $P_{out} = P_{in} = 0.0, \alpha_1 = \alpha_2 = 0.8, \beta_1 = \beta_2 = 0.4$ 时不同周期(14 和 20)下车辆分布的情况(500 时步)

Fig. 3 Space-time plots when $P_{out} = P_{in} = 0.0, \alpha_1 = \alpha_2 = 0.8, \beta_1 = \beta_2 = 0.4$, (a) $T = 14$ and (b) for $T = 20$

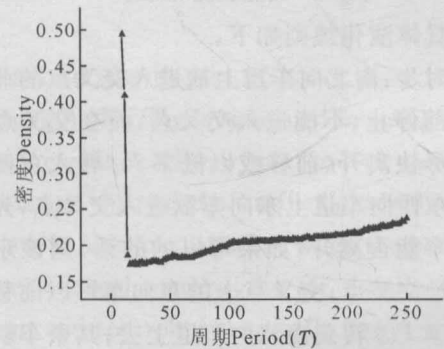


图 4 $P_{out} = P_{in} = 0.2, \alpha_1 = \alpha_2 = 0.8, \beta_1 = \beta_2 = 0.4$ 时 ρ 随 T 的变化

Fig. 4 Density against the cycle time of traffic light when $P_{out} = P_{in} = 0.2, \alpha_1 = \alpha_2 = 0.8, \beta_1 = \beta_2 = 0.4$

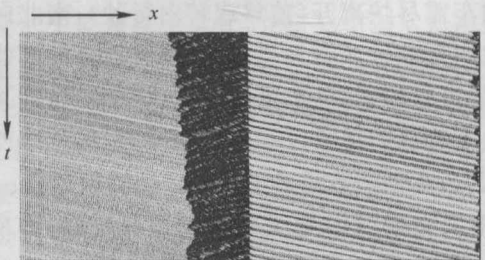


图 5 $T = 14, P_{out} = 0.2, \alpha_1 = \alpha_2 = 0.8, \beta_1 = \beta_2 = 0.4$ 时车辆分布的情况(500 时步)

Fig. 5 Space-time plots when $T = 14, P_{out} = 0.2, \alpha_1 = \alpha_2 = 0.8, \beta_1 = \beta_2 = 0.4$

4 结论

在开放边界条件下,当车道的产生概率大于消失

概率的情况下,具有十字交叉路口的车道车辆密度在红绿灯信号周期较短时,车道车辆密度较高,此时车辆拥堵严重,如延长红绿灯信号周期或允许车辆在交叉路口转向行驶,可降低车辆密度,改善交通状况,达到科学管理和有效控制车流的高效运行。

参考文献:

- [1] BIHAM O, MIDDLETON A, LEVINE D. Self-organization and a dynamic transition in traffic-flow models[J]. *Phys Rev A*, 1992, 46: R6124-R6127.
- [2] CHOWDHURY D, SCHADSCHNEIDER A. Self-organization of traffic jams in cities: effects of stochastic dynamics and signal periods[J]. *Phys Rev E*, 1999, 59: R1311-R1314.
- [3] NAGEL K, SCHRECKENBERG M. A cellular automaton model for freeway traffic [J]. *J Phys I (France)*, 1992, 2: 2221-2229.
- [4] BROCKFELD E, BARLOVIC R, SCHADSCHNEIDER A, et al. Optimizing traffic lights in a cellular automaton model for city traffic[J]. *Phys Rev E*, 2001, 64: 056132
- [5] TAN H L, ZHANG C Y, KONG L J, et al. Traffic flow influenced by traffic light and turning probability for a

crossroad[J]. *Int J Mod Phys B*, 2004, 18(17-19): 2658-2662.

- [6] 谭惠丽, 黄兵花, 李华兵, 等. 交通灯控制下主干道的交通流研究[J]. *物理学报*, 2003, 52(5): 1127-1131.
- [7] 杨青勇, 谭惠丽, 孔令江, 等. 元胞自动机双车道模型耦合效应研究[J]. *广西科学*, 2003, 10(1): 18-20.
- [8] 彭麟, 吴大艳, 刘贵泉, 等. 一维交通流元胞自动机 NS 模型的统计解耦处理[J]. *广西科学*, 2005, 12(1): 35-38.
- [9] CHEYBANI S, KERTÉSZ J, SCHRECKENBERG M. Nondeterministic Nagel-Schreckenberg traffic model with open boundary condition [J]. *Phys Rev E*, 2000, 63: 016108.
- [10] 薛郁, 董力耘, 戴世强. 一种改进的一维元胞自动机交通流模型及减速概率的影响[J]. *物理学报*, 2001, 50: 445-449.
- [11] 谭惠丽, 刘慕仁, 孔令江. 开放边界条件下改进的 Nagel-Schreckenberg 交通流模型的研究[J]. *物理学报*, 2002, 51(12): 2713-2718.

(责任编辑: 韦廷宗 邓大玉)

(上接第 337 页 Continue from page 337)

- [22] 蔡燕, 宫丽崑, 任进. 肝脏体外模型及其在毒理学方面的应用[J]. *中国药理学与毒理学杂志*, 2004, 18(5): 390-395.
- [23] JUSTINE L LAM, LESLIE Z BENET. Hepatic microsome studies are insufficient to characterize in vivo hepatic metabolic clearance and metabolic drug-drug interactions: studies of digoxin metabolism in primary rat hepatocytes versus microsomes[J]. *Drug Metabolism and Disposition*, 2004, 32(11): 1311-1316.
- [24] BORN S L, HU J K, LEHMAN-MCKEEMAN L D, et al. *O*-Hydroxyphenylacetaldehyde is a hepatotoxic metabolite of coumarin [J]. *Drug Metabolism and Disposition*, 2000, 28(2): 218-223.
- [25] YOSHIHIRO S, HIROYUKI T. A convenient in vitro screening method for predicting in vivo drug metabolic clearance using isolated hepatocytes suspended in serum [J]. *Drug Metabolism and Disposition*, 2000, 28(12): 1518-1523.
- [26] 赵冬梅, 李燕, 卢业斌. 药物代谢研究在新药开发中的作用[J]. *药学学报*, 2000, 35(2): 156-160.
- [27] GOMEZ-LECHON M J, DONATO M T, CASTELL J V, et al. Human Hepatocytes in primary culture: the choice to investigate drug metabolism in man [J].

Current Drug Metabolism, 2004, 5(5): 443-462.

- [28] KOSTRUBSKY S E, SINCLAIR J F, STORM S C, et al. Phenobarbital and phenytoin increased acetaminophen hepatotoxicity due to inhibition of UDP-Glucuronosyltransferases in cultured human hepatocytes [J]. *Toxicological Sciences*, 2005, 87(1): 146-155.
- [29] STAIANO N, ERICKSON L C, SMITH C L, et al. Mutagenicity and DNA damage induced by arylamines in the Salmonella/hepatocyte system[J]. *Carcinogenesis*, 1983, 4(2): 161-167.
- [30] REYES-LOPEZ M, VILLA-TREVINO S, ARRIAGA-ALBA M, et al. The amoebicidal aqueous extract from *Castela texana* possesses antigenotoxic and antimutagenic properties [J]. *Toxicology in Vitro*, 2005, 19(1): 91-97.
- [31] BEEKMAN J M, BOESS F, HILDEBRAND HEINRICH, et al. Gene expression analysis of the hepatotoxicant methapyrilene in primary rat hepatocytes: an interlaboratory study [J]. *Environmental Health Perspectives*, 2006, 114(1): 92-99.

(责任编辑: 韦廷宗)