

智能交通灯对交叉路口交通流的影响^{*}

李盛春^{1)†} 孔令江¹⁾ 刘慕仁¹⁾ 郑容森²⁾

1) (广西师范大学物理与电子工程学院, 桂林 541004)

2) (玉林师范学院物理与信息科学系, 玉林 537000)

(2008 年 6 月 2 日收到, 2008 年 9 月 17 日收到修改稿)

以改进的 NaSch 模型为基础, 采用开放边界条件, 分别对普通交通灯和智能交通灯控制下的十字交叉路口交通流进行模拟. 结果表明, 主干道车辆较多时, 智能交通灯控制下的主干道车辆平均速度和流量都比普通交通灯控制下高, 并可减少车辆的无谓等待时间.

关键词: 元胞自动机, 交叉路口, 智能交通灯, NaSch 模型

PACC: 0550

1. 引 言

随着车辆的日益增多, 交通问题将日趋严重. 可通过多修建道路或限制车辆的办法来解决, 但道路的增加是有限的, 而限制车辆会使汽车及其相关产业受到压制. 目前, 发达国家的交通主要是向智能化交通方向发展. 如给汽车装上导航仪等办法, 充分利用电子设备提高现有道路交通系统的运输能力.

交通灯是管理城市交通的重要工具, 交通灯对道路交通流的影响近年来引起广大学者的广泛关注^[1-10]. 目前绝大部分交通灯其时间都是设定好的, 不管是车流高峰还是低谷, 红绿灯的时间都固定不变, 还有一些交通灯能根据简单划分的时间段来调整时间, 但控制起来都不是很灵活, 这使得城市车流的调节不能达到最优.

本文针对这一弊端, 根据车流量大小对各路口的红绿灯自动进行调节. 模拟是在开放边界条件下, 以改进的 NaSch 模型^[11]为基础进行. 经过分析, 得出一些有意义的结论, 为城市主干道车流的控制和管理提供参考.

2. 模 型

如图 1 所示, 系统由一条主干道和一条支道构

成的十字交叉道路, 交通灯设在交叉路口处. 主干道上的车辆由西向东行驶, 支道上的车辆由南向北行驶. 某时刻交叉点被一辆东向行驶的车辆或北向行驶的车辆占据或为空, 交叉点上的车辆可以转向行驶, 其他格点上的车辆或为空或被一辆车占据.

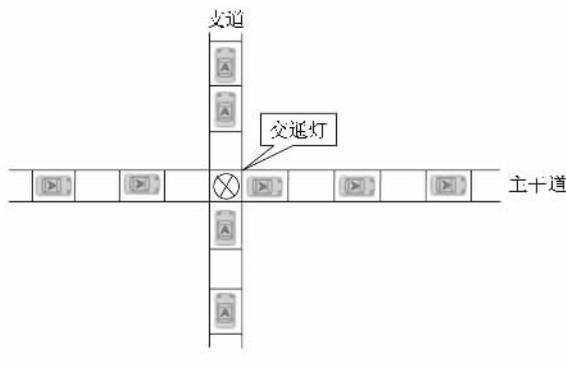


图 1 十字交叉路口示意图

由设在交通灯处的探测器同时探测西向和南向驶来的车辆, 探测 20 个格点上的车辆密度. 主干道密度大则开启绿灯, 绿灯时步为 T_g , 否则开启红灯, 红灯时步为 T_r , $T_g = T_r$. 如果绿灯(红灯)连续开启 3 次, 则下次不管密度如何, 必转为红灯(绿灯).

在开放边界条件下, 采用改进的 NaSch 模型. 改进的 NaSch 模型演化规则为:

1) 确定所有车辆 $t + 1$ 时刻的速度分布:

如果 $V_i(t) \geq \text{gap}_i(t) + \Delta X_{i-1}(t)$ 那么以概率 P

^{*} 国家自然科学基金(批准号:10362001, 10562001, 10762005) 广西壮族自治区自然科学基金(批准号:0007017)和广西壮族自治区研究生教育创新计划(批准号:2007106020711M68)资助的课题.

[†] E-mail: lishengchun2008@163.com

使得 $V_i(t+1) = gap_i(t) + \Delta X_{i-1}(t) - 1$;并以概率 $(1 - P)$ 使得 $V_i(t+1) = gap_i(t) + \Delta X_{i-1}(t)$.如果 $V_i(t) < V_{max}$ 那么以概率 P 使得 $V_i(t+1) = V_i(t)$;并以概率 $(1 - P)$ 使得 $V_i(t+1) = V_i(t) + 1$.如果 $V_i(t) = V_{max}$ 并且 $V_i(t) < gap_i(t) + \Delta X_{i-1}(t)$,那么以概率 P 使得 $V_i(t+1) = V_{max} - 1$,并以概率 $(1 - P)$ 使得 $V_i(t+1) = V_{max}$.

2) 确定所有车辆的位置 : $X_i(t+1) = X_i(t) + V_i(t+1)$,其中 $\Delta X_{i-1}(t)$ 为相对位置 . $\Delta X_{i-1}(t) = X_{i-1}(t+1) - X_{i-1}(t) = V_{i-1}(t+1)$,这样比较符合真实的车辆(车队)行驶的情况 .通过相对位置来计算 $gap_i(t) + \Delta X_{i-1}(t)$,再通过上述车辆运动的演化步骤调整车辆的运动速度 ,最后确定车辆的位置 ,同时进行位置更新 .

道路系统具体演化规则为^[12]

1) 绿灯时步 :支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} 转入干道行驶) ;干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} 转到支道上去 ;其余车辆按改进的 NaSch 模型的规则运动 .

2) 红灯时步 :干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须尽快离开(前移或转向行驶) ;支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} 转到干道上 ;其余车辆按改进的 NaSch 模型规则运动 .

3. 计算机模拟与讨论

系统由一条主干道和一条支道构成的十字交叉道路 ,主干道长 $L_m = 300$ 格 ,支道长度 $L_b = 300$ 格 .车辆最大行驶速度 $V_{max} = 3$,随机刹车概率 $P = 0.1$,转入主干道概率 $P_{in} = 0.2$ 转出概率 $P_{out} = 0.2$.普通交通灯周期 $T = T_g + T_r$,且 $T_g = T_r$,红绿灯交替出现 .智能交通灯变化则根据前方车辆密度确定 .演化时步为 50000 ,取最后 $T = 10000$ 时步作时间平均 .

则 : $\rho_x = \frac{1}{T} \sum \rho_{xt}$, $\rho_y = \frac{1}{T} \sum \rho_{yt}$, $V_x = \frac{1}{T} \sum V_{xt}$, $V_y = \frac{1}{T} \sum V_{yt}$, $J_x = \frac{1}{T} \sum J_{xt}$, $J_y = \frac{1}{T} \sum J_{yt}$. 下标为 x 的量均为主干道上的量 ,为 y 则均为支道上的量 .

为消除随机性对结果的影响 ,再取 30 个样本作系综平均 .

3.1. 主干道车辆产生概率对交通流的影响

图 2 a) (b) 和 (c) 分别为主干道(用 X 标志)和支道(用 Y 标志)车辆的密度-主道产生概率、速度-主道产生概率和流量-主道产生概率图像 .其中的参数为 随机减速概率 $P = 0.1$,转入概率 $P_{in} = 0.2$,转出

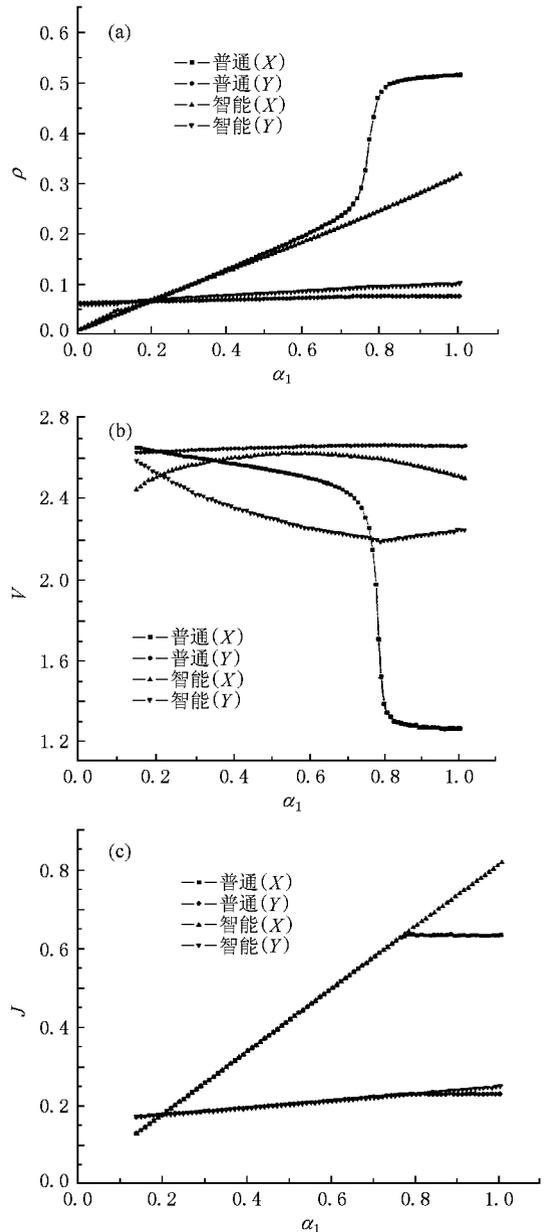


图 2 主干道(支道)密度(a) 速度(b)和流量(c)随主干道产生概率变化关系图

概率 $P_{out} = 0.2$ 绿灯周期 $T_g = 30$ 主道消失概率 $\beta_1 = 1$ 支道产生概率 $\alpha_2 = 0.2$ 支道消失概率 $\beta_1 = 1$.

从图 3(a) 中可以看出, 对于主干道上的车辆, 产生概率 α_1 较低时, 车辆密度随产生概率几乎成正比关系. 此时交叉路口用智能交通灯和普通交通灯控制的效果差别不大. 当 α_1 增大到 0.5 左右时, 用智能交通灯控制就开始比普通交通灯的密度小, 说明通行能力强. 而当 α_1 增大到 0.7 左右时, 用普通交通灯控制的主道就会发生相的突变, 车辆发生堵塞现象. 用普通交通灯控制, 红绿灯的周期不变, 主道上的车辆很多时候就会因为遇上红灯而发生堵塞, 而此时支道上车辆很少甚至可能没有车辆, 因此增加了主道上车辆无谓的等待时间; 而用智能交通灯控制, 可以根据车流量来调整红绿灯, 当主道上车辆很多时, 绿灯开启的次数就多, 车辆就可以自由通行, 增加了主道的通行能力.

对于支道上的车辆, 产生概率 α_1 较大时, 用智能交通灯控制比用普通交通灯控制时的密度要大. 因为对智能交通灯来说, 主道上车辆密度大, 绿灯开启的次数就多, 车辆优先通行, 此时支道上车辆的通行就会受到抑制, 因此密度就变大, 通行能力稍微减弱.

从图 3(b) 可看出, 用智能交通灯控制, 主干道上车辆的速度是先增大后减小. 因为随着产生概率 α_1 的增大, 主道上车辆就会增多, 绿灯开启的机会就多, 所以速度增大, 而当 α_1 增大到一定程度, 由于车辆间的相互作用, 速度就会降下来. 普通灯控制时的速度随 α_1 减小, 减到一定程度时发生相变进入堵塞状态. 对于支道, 普通交通灯控制时速度没有太大的变化, 而智能交通灯控制时速度会下降.

从图 3(c) 可以看出, α_1 不是太大时, 用两种方法控制, 道路的车流量是一样的. 当 α_1 比较大时, 用智能灯控制的流量比用普通灯时的流量要大.

3.2. 绿灯周期对主车道交通流的影响

图 3(a)(b) 和 (c) 分别为主道车辆的密度-绿灯周期、速度-绿灯周期和流量-绿灯周期图像. 其中的参数为: 随机减速概率 $P = 0.1$ 转入概率 $P_{in} = 0.2$, 转出概率 $P_{out} = 0.2$ 主干道产生概率 $\alpha_1 = 0.5$ 主干道消失概率 $\beta_1 = 1$ 支道产生概率 $\alpha_2 = 0.1, 0.3$ 和 0.5 , 消失概率 $\beta_2 = 1$.

我们这里只考虑主干道的密度、速度和流量. 从图 3(a) 中可以看出, 当支道产生概率 $\alpha_2 = 0.5$ 时, 主干道用普通灯控制的密度比用智能灯控制稍微小, 说明此时用普通灯控制的通行能力强一些; 当支道产生概率 $\alpha_2 = 0.3$, 主干道产生概率 $\alpha_1 = 0.5$ 比支道产生概率大, 用智能灯控制时绿灯开启的机会就大, 此时用智能灯控制比普通灯控制通行能力强; 当支道产生概率 $\alpha_1 = 0.1$ 时, 主道上的车辆大大多于

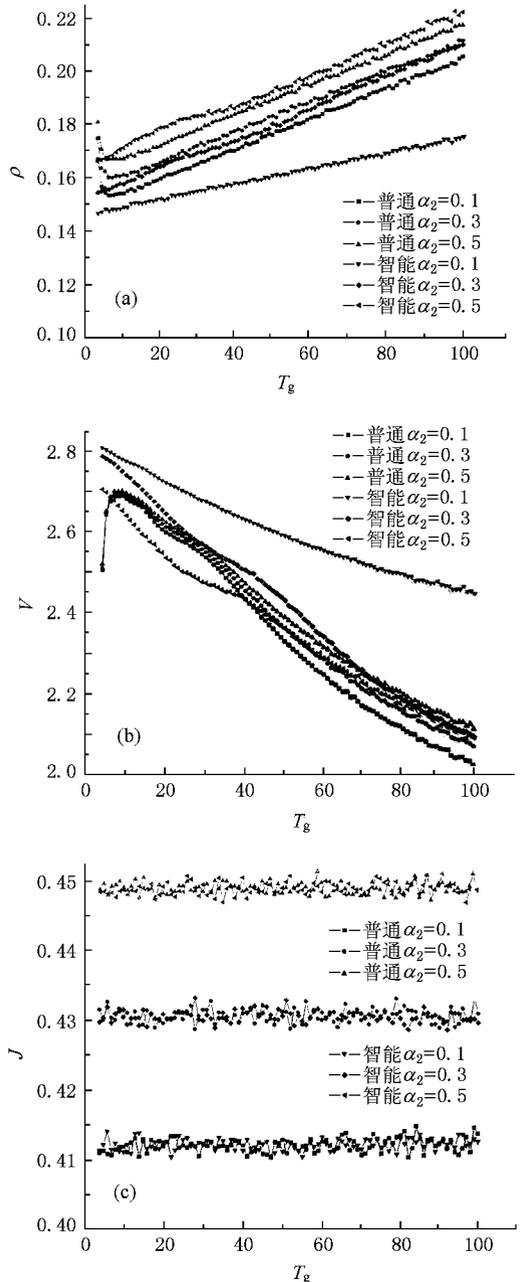


图 3 主干道密度(a) 速度(b) 和流量(c) 随绿灯周期变化关系图

支道,此时两者的差距就相当明显了,用智能灯控制的通行能力远远高于用普通灯控制。

从图 3(b)中可以看出,当主干道和支道车辆产生概率相差不大时,用智能交通灯控制和用普通交通灯控制下的车辆速度也相差不大,但主干道产生概率远大于支道产生概率时,用智能灯控制下的速度比用普通灯控制要大得多。

从图 3(c)中可以看出,当主道产生概率不是很大的情况下,用智能交通灯和普通交通灯控制下的流量是相同的,跟绿灯时间长度没有关系。图 3 中支道产生概率增大,转进主道的车辆增多,使主车道流量有所增大。

3.3. 车流演化状态分析

为了具体描述智能交通灯和普通交通灯控制下的车辆运动,本文模拟了主干道车辆运动过程中位置与运动时间的演化斑图。

图 4(a)和(b)为主车道产生概率 $\alpha_1 = 0.85$,随机减速概率 $P = 0.1$,转入概率 $P_{in} = 0.2$,转出概率 $P_{out} = 0.2$,主干道消失概率 $\beta_1 = 1$,支道产生概率 $\alpha_2 = 0.2$,支道消失概率 $\beta_2 = 1$,绿灯时间为 30 s 时的时空演化斑图。空间位置为 1—300,时间为 40000—40400。图 4(a)为智能交通灯控制的主干道图像,图 4(b)为普通交通灯控制的主干道图像。黑点表示车辆,白点表示空白区域。

从图中可以很明显的看出,在此条件下,普通交通灯控制下堵塞现象相当明显,而且堵塞向后传播。而用智能交通灯控制堵塞区域较小。主要原因就是智能交通灯可以根据车流量来调整红绿灯,主道车辆大时,开启绿灯的机会就多,车辆能比较自由地通行。用智能交通灯控制后可有效的减缓交通堵塞现象,提高主干道的运行能力。

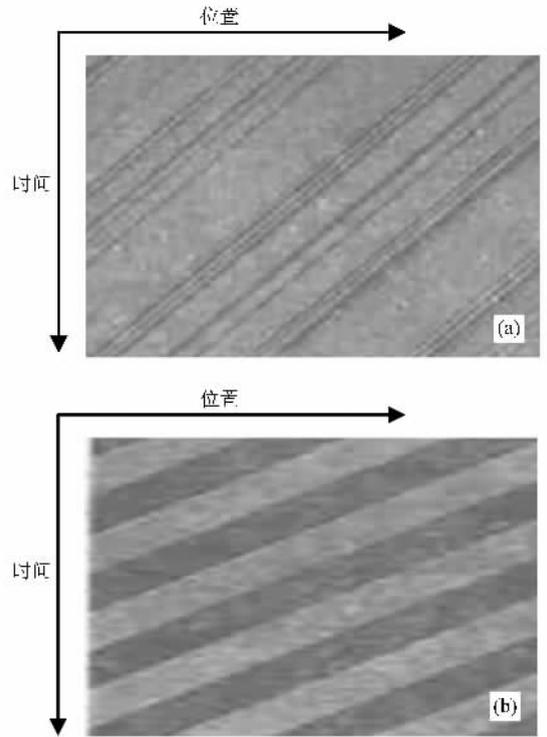


图 4 主干道产生概率 $\alpha_1 = 0.85$ 时的时空演化斑图 (a)智能交通灯控制 (b)普通交通灯控制

4. 小 结

本文在改进的 NaSch 模型基础上,采用开放边界条件,模拟了普通交通灯和智能交通灯分别控制下的十字路口交通流。结果表明,主干道车辆较多时,智能交通灯控制下的主干道车辆平均速度和流量都比普通交通灯控制下高,并可减少车辆的无谓等待时间。

因此,在进行城市道路交通控制和管理时,应根据道路的车流情况,选择合适的交通灯,以增强道路交通系统的运行能力。

- [1] Nagatani T 1993 *J. Phys.* A **26** 6625
- [2] Ishibashi Y, Fukui M 1996 *J. Phys. Soc. Jpn.* **65** 2345
- [3] Ishibashi Y, Fukui M 2001 *J. Phys. Soc. Jpn.* **70** 2793
- [4] Ishibashi Y, Fukui M 2001 *J. Phys. Soc. Jpn.* **70** 3747
- [5] Chowdhury D, Schadschneider A 1999 *Phys. Rev. E* **59** R1311
- [6] Biham O, Middleton A, Levine D 1992 *Phys. Rev. E* **48** R6124
- [7] Brockfeld E, Barlovic R, Schadschneider A, Schreckenberg M 2001 *Phys. Rev. E* **64** 056132
- [8] Cheybani S, Kertész J, Schreckenberg M 2001 *Phys. Rev. E* **63** 0161078
- [9] Liang Z C, Tan H L, Liu M R, Kong L J 2002 *J. Guangxi Norm. Univ. (Nature Sci.)* **20** 11 (in Chinese) [梁志超、谭惠丽、刘慕仁、孔令江 2002 广西师范大学学报(自然科学版) **20** 11]
- [10] Zheng R Y, Peng L, Tan H L, Kong L J, Liu M R 2003 *J. Guangxi Norm. Univ. (Nature Sci.)* **21** 17 (in Chinese) [曾荣耀、彭麟、谭惠丽、孔令江、刘慕仁 2003 广西师范大学学报(自

- 然科学版)21 17]
- [11] Xue Y , Dong L Y , Dai S Q 2001 *Acta Phys. Sin.* **50** 445 (in Chinese) [薛 郁、董力耘、戴世强 2001 物理学报 **50** 445]
- [12] Tan H L , Zhang C Y , Liu M R , Kong L J 2003 *J. Guangxi Norm. Univ. (Nature Sci.)* **21** 5(in Chinese) [谭惠丽、张超英、刘慕仁、孔令江 2003 广西师范大学学报(自然科学版) **21** 5]

The effects of intelligent traffic light on the crossing traffic flow^{*}

Li Sheng-Chun^{1)†} Kong Ling-Jiang¹⁾ Liu Mu-Ren¹⁾ Zheng Rong-Sen²⁾

1) (College of Physics and Electronic Engineering , Guangxi Normal University , Guilin 541004 , China)

2) (Department of Physics and Information , Yulin Normal College , Yulin 537000 , China)

(Received 2 June 2008 ; revised manuscript received 17 September 2008)

Abstract

Using the improved NaSch traffic model , we simulate the traffic flow on the crossroad under open boundary condition . The simulations are controlled by ordinary traffic light and intelligent traffic light respectively . The results show that the average speed and the traffic flux under control of the later are greater than that controlled by the former . Moreover , the vehicles controlled by intelligent traffic light can cut down the unnecessary waiting time .

Keywords : cellular automaton , crossing road , intelligent traffic light , NaSch model

PACC : 0550

^{*} Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant Nos. 10362001 , 10562001 , 10762005) , the Natural Science Foundation of Guangxi Zhuang Autonomous Region , China (Grant No. 0007017) and the Innovation Program of Graduate Education of Guangxi Zhuang Autonomous Region , China (Grant No. 2007106020711M68) .

[†] E-mail : lishengchun2008@163.com