

# 城市快速路系统的元胞自动机模型与分析\*

梅超群<sup>1)2)</sup> 黄海军<sup>1)†</sup> 唐铁桥<sup>3)</sup>

1) 北京航空航天大学经济管理学院, 北京 100083)

2) 首都经济贸易大学统计学院, 北京 100070)

3) 北京航空航天大学交通科学与工程学院, 北京 100083)

(2008 年 7 月 8 日收到, 2008 年 9 月 23 日收到修改稿)

使用元胞自动机模型研究包含出入匝、主路和辅路的城市快速路系统的交通问题, 为不同类型的路段定义了三种不同的换道规则. 模拟结果表明, 高入匝流量容易导致主路、匝道及其上游出现拥堵, 高出匝流量容易使匝道出口车流与辅路内侧道车流发生冲突. 入匝流量比较高时, 主辅路为双车道的系统可以延缓交通拥堵和减少通行时间, 当入匝流量较低时, 双车道改善了单车道下辅路的通行状况.

关键词: 交通流, 元胞自动机, 换道规则, 匝道

PACC: 0565, 0250, 0520

## 1. 引 言

人们提出了多种交通流模型来刻画复杂的交通现象<sup>[1-3]</sup>. Lee 等人<sup>[4]</sup>和 Helbing 等人<sup>[5]</sup>采用宏观模型研究了入匝车流对主路的影响. Kerner<sup>[6,7]</sup>利用实测数据分析了含出入匝道高速公路的交通流特性, 并对阻塞类型进行了深入研究. 文献<sup>[8]</sup>采用流体力学模型研究了城市高架路的入匝控制. 现有研究表明, 元胞自动机 (cell automata, CA) 模型适用于再现和分析交通系统中各种复杂的非线性现象<sup>[9-17]</sup>. Jia 等人<sup>[15,16]</sup>利用 CA 模型刻画了入匝和出匝附近的交通行为. 雷丽等<sup>[17]</sup>讨论了出入匝间距对交通流的影响. Huang<sup>[18]</sup>分析了含出入匝的开放系统中的交通流相变机理.

城市快速路系统中, 当出入匝之间的距离较小时, 出入匝道之间存在一个交织区, 如图 1(a) 所示, 图中车道 1 和 2 是快速主路, 车道 3 和 4 是辅路, 交织区位于主道 2 右边. 当间距较大时, 出入匝道之间不存在交织区, 但有进入主路的并道区和离开主路的区域, 这两个区域都位于主道 2 右边, 如图 1(b) 所示. 本文利用 CA 模型研究如图 1 中所示的两种匝道系统, 根据模拟结果分析入匝、出匝车流及车辆

输入率对通行时间和流量的影响.

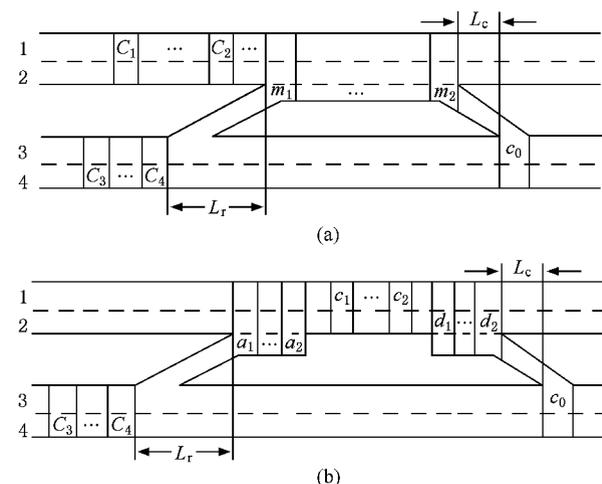


图 1 两种不同的城市快速路入匝、出匝系统示意图

## 2. 模 型

### 2.1. 迭代规则与初始条件

迭代规则 迭代时间步长为 1 s, 每个元胞或为空或被一辆车占据. 设  $v_{\max}$  为最大速度,  $v_n$  为第  $n$  辆车的速度,  $x_n(t)$  为第  $n$  辆车在  $t$  时刻的位置,  $d_n(t)$

\* 国家重点基础研究发展计划 (973 项目) (批准号: 2006CB705503) 和自然科学基金 (批准号: 70521001 和 70701002) 资助的课题.

† 通讯联系人. E-mail: haijunhuang@buaa.edu.cn

$= x_{n-1}(t) - x_n(t) - 1$  为  $t$  时刻第  $n$  辆车前方的空元胞数. 本文采用如下迭代规则: 1) 加速,  $\nu_n \rightarrow \min(\nu_{\max}, \nu_n + 1)$  2) 减速,  $\nu_n \rightarrow \min(\nu_{\max}, d_n)$  3) 以概率  $p$  随机慢化,  $\nu_n \rightarrow \max(\nu_n - 1, 0)$  4) 位置更新,  $x_n \rightarrow x_n + \nu_n$ . 此外, 主路 1 和 2 上的最大速度为  $\nu_{\max}$ , 辅路、匝道、交织区与并道区上的最大速度为  $\nu'_{\max}$ .

设连接出匝与辅路的元胞位置为  $c_0$  (见图 1), 出匝车道上的头车为  $l_c$ , 车道 3 上  $c_0$  后的头车为  $l_3$ . 若  $l_c$  与  $l_3$  都在下一时步通过  $c_0$ , 设它们达到  $c_0$  所需时间分别为  $t_c$  和  $t_3$ , 则有

$$t_c = \frac{c_0 - x_{l_c}}{\min(\nu'_{\max}, c_0 - x_{l_c} - 1, \nu_{l_c} + 1)}, \quad (1)$$

$$t_3 = \frac{c_0 - x_{l_3}}{\min(\nu'_{\max}, c_0 - x_{l_3} - 1, \nu_{l_3} + 1)}, \quad (2)$$

其中  $x_{l_3}$  和  $x_{l_c}$  分别为车辆  $l_3$  和  $l_c$  的位置,  $\nu_{l_3}$  和  $\nu_{l_c}$  分别为车辆  $l_3$  和  $l_c$  的速度.

若  $t_c < t_3$ , 则  $l_c$  直接进入辅路, 而  $l_3$  将减速. 若  $t_c > t_3$ ,  $l_3$  继续前进, 而  $l_c$  将减速. 若  $t_c = t_3$ , 则当  $c_0 - x_{l_c} < c_0 - x_{l_3}$  时,  $l_c$  先通过, 否则  $l_3$  先通过, 但此时如果  $l_3$  换道, 则  $l_c$  也同时通过. 若  $c_0 - x_{l_c} = c_0 - x_{l_3}$  时, 则出匝车辆  $l_c$  优先通过.

**初始条件** 每一时步, 第  $i$  车道入口车辆到达率为  $\alpha_i$  ( $i = 1, 2, 3, 4$ ), 其初始速度为最大速度, 但如果入口元胞被占据, 则到达车辆被删除. 设主路第  $i$  车道入口处驶入的车流中, 出匝车所占比例为  $\beta_i$  ( $i = 1, 2$ ), 辅路第  $i$  车道入口处驶入的车流里, 通过匝道进入主路的车辆所占比例为  $\beta_i$  ( $i = 3, 4$ ). 模拟采用开放边界, 即各车道上的车到达末端后都离开系统. 如图 1 所示, 入匝的长度为  $L_r$ , 出匝的长度为  $L_c$ .

## 2.2. 换道规则

现实中的换道通常很复杂, 本文分别就进出交织区或并道区而产生的换道、为出入匝道做准备而换道、为获得理想速度而换道三种情形定义相应的换道规则, 具体规则如下.

1) 进出交织区或并道区而产生的换道. 当主路 2 上的车辆需要进入图 1(a) 中的交织区  $[m_1, m_2]$  时或交织区  $[m_1, m_2]$  内的车辆需要进入主路 2 时, 将发生换道行为; 当图 1(b) 中并道区  $[a_1, a_2]$  内的车辆需要进入主路 2 时或主路 2 上的车辆需要进入区

域  $[d_1, d_2]$  时, 也发生这类换道行为. 条件是, 如果

$$\begin{aligned} g_i^- + g_i^+ + 1 &\geq M', \\ g_i^- &\geq \min\{g_i^+, \max(0, M' - 1)\}, \\ g_i^+ &\geq g_i \text{ 或 } g_i^+ \geq 1, \end{aligned} \quad (3a)$$

或

$$\begin{aligned} g_i^- + g_i^+ + 1 &< M', \\ g_i^+ &\geq g_i \text{ 或 } g_i^+ \geq 1, \end{aligned} \quad (3b)$$

则车辆换道.

2) 为出入匝道做准备而换道. 位于图 1(a) 或图 1(b) 中  $[c_1, c_2]$  内的车辆, 若希望出匝, 必须首先从主路 1 换道至主路 2; 位于  $[c_3, c_4]$  内的车辆, 若希望入匝, 必须首先从辅路 4 换道至辅路 3. 条件是, 若

$$\begin{aligned} g_i^- &\geq \min\{\nu_i^-, 1, M'\}, \\ g_i &\leq g_i^+ \text{ 或 } g_i^+ \geq 1, \end{aligned} \quad (4)$$

则车辆换道.

3) 为获得理想速度而换道. 无论是主路还是辅路上的车辆, 虽然没有出入匝道的要求, 但为了获得自己期望的速度, 都可以通过换道来实现. 条件是, 若

$$\begin{aligned} g_i^- &\geq \min\{\nu_i^-, 1, M'\}, \\ g_i &< \min\{\nu_i, 1, M\} \text{ 且 } g_i^+ \geq \min\{\nu_i, 1, M\}, \end{aligned} \quad (5)$$

则车辆以一定概率  $p_1$  换道.

上面,  $g_i$  表示当前车辆与前车之间的空元胞数,  $g_i^-$  表示当前车辆与目标车道后方车辆之间的空元胞数,  $g_i^+$  表示当前车辆与目标车道前方车辆之间的空元胞数,  $\nu_i$  表示当前车辆的速度,  $\nu_i^-$  表示目标车道后方车辆的速度.  $M$  和  $M'$  是两个参数, 若当前换道车辆进入主路, 令  $M' = \nu_{\max}$ , 否则  $M' = \nu'_{\max}$ ; 若当前换道车辆位于主路上, 令  $M = \nu_{\max}$ , 否则  $M = \nu'_{\max}$ . 换道规则 3) 既要求目标车道的条件能保证换道车辆达到理想速度, 又要求换道之后不影响目标车道后方的车辆 (Tang 等人<sup>[19]</sup>采用的换道规则类似). 换道规则 1) 和 2) 属于强行换道, 并且规则 1) 根本不考虑换道行为对目标车道的影响. 1) 表明车辆必须马上换道才能达到目的地, 否则会在交织区的尽头停车等待. 其中 (3a) 与 (3b) 式中的条件  $g_i^+ \geq g_i$  或  $g_i^+ \geq 1$  说明换道车辆没有完全考虑换道后的速度 (3a) 式中的另外两个条件说明当换道车辆发现目标道上旁边的空隙较大 (即  $g_i^- + g_i^+ + 1 \geq M'$ ), 且  $g_i^+ > \max\{0, M' - 1\}$  和  $g_i^- \geq \max\{0, M' - 1\}$

时,目标道紧邻后车虽受到影响,但最多减速到  $M' - 1$  若  $g_i^+ \leq \max\{0, M' - 1\}$  和  $g_i^- \geq g_i^+$  时,目标道紧邻后车所受到的最大影响也仅是减速到  $g_i^-$ ,而结合条件  $g_i^+ \geq g_i$  或  $g_i^+ \geq 1$  易知,  $g_i^-$  的值不会很小.(3b)式的另一个条件表明当换道车辆发现目标道上旁边的空隙较小(即  $g_i^- + g_i^+ + 1 < M'$ )时,即使目标道上紧邻后车被影响了,其预期理想速度与下一时步实际速度之间的差距也小于  $M' / 2$  表明由于距离真正的出入匝道换道区域还有一定的路程,换道车辆的行进不如 1) 中突然或急躁,条件  $g_i^- \geq \min\{v_i^- + 1, M'\}$  考虑了不影响目标道上后方车辆的行驶,同时  $g_i^+ \geq g_i$  或  $g_i^+ \geq 1$  也说明对前方目的地的考虑使得换道车辆降低了速度变化的幅度. 本文假设  $c_2$  之前的出匝车或  $c_4$  之前的入匝车若未能在当前时步内完成换道,则须在  $c_2$  或  $c_4$  处等待直至在下一个时步里实现换道. 显然,若  $\alpha_1 = 0, \alpha_4 = 0$  和

$p_1 = 0$ , 则图 1 变成单车道情形. 此外,记  $L_a = a_2 - a_1 + 1, L_d = d_2 - d_1 + 1, L_m = m_2 - m_1 + 1$  和  $L_k = d_1 - a_2 + 1$ .

### 3. 模拟与分析

为简单起见,将车道  $i$  离散成 620 个元胞,其编号从左至右依次为  $1, 2, \dots, 620$ , 每个元胞的长度为 7.5 m. 设入匝的长度为  $L_r$  个元胞,出匝的长度为  $L_e$  个元胞. 图 1(a) 中,  $m_1$  为第 301 号元胞,交织区的终点为第  $m_2$  号元胞,交织区的长度是  $L_m$  个元胞. 图 1(b) 中,  $a_1$  为第 201 号元胞,并道区的终点为第  $a_2$  号元胞,并道区的长度是  $L_a$  个元胞;另一个并道区(为了出匝)的起点为第  $d_1$  号元胞,终点为第  $d_2$  号元胞,并道区的长度是  $L_d$  个元胞. 此外,图 1(b) 中第  $a_2$  号元胞与第  $d_1$  号元胞之间的距离为  $L_k$  个元

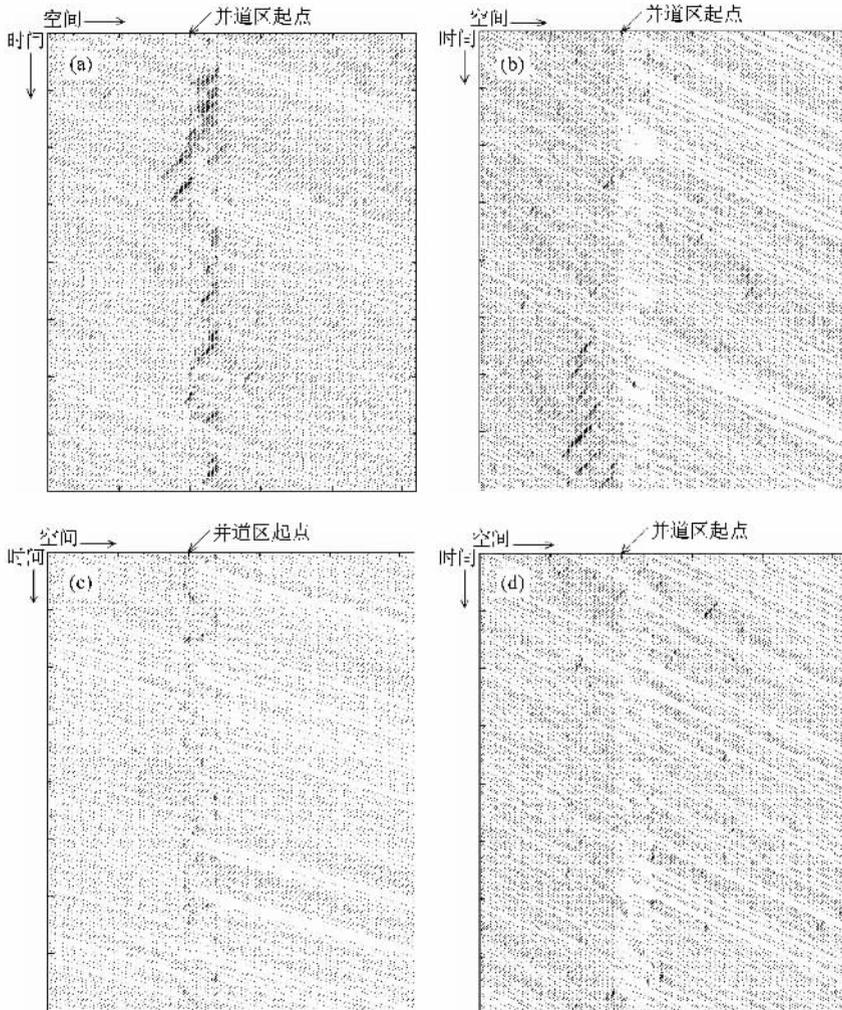


图 2 不同区域车辆运动的时空斑图 (a)和(b)为单车道条件 (c)和(d)为双车道条件

胞.模拟中取  $L_r = 3$ ,  $L_c = 3$ ,  $L_m = 20$ ,  $L_k = 200$ ,  $L_a = 10$  和  $L_d = 10$ .

考虑到入匝车辆对主路交通的影响,我们假设车道 1 上的车辆若希望出匝,必须在区域  $c_1, c_2$  内按照换道规则 2 换到车道 2. 图 1(a)中,取  $c_1 = m_1 - 40$ ,  $c_2 = m_1 - \nu_{\max}$ ; 图 1(b)中,取  $c_1 = d_1 - 40$ ,  $c_2 = d_1 - \nu_{\max}$ . 这里  $c_2$  的设置原则是必须为车道 2 上受到入匝和出匝车辆影响的车辆留下足够的换道空间. 同理,在图 1(a)中取  $c_3 = 300 - L_r - 40$  和  $c_4 = 300 - L_r - \nu'_{\max}$ ; 图 1(b)中取  $c_3 = 200 - L_r - 40$  和  $c_4 = 200 - L_r - \nu'_{\max}$ ,  $c_4$  的设置原则是必须为车道 3 上受到入匝和直行车辆影响的车辆留下足够的换道空间. 图 1(a)中主路车辆与匝道车辆之间容易产生冲突,即当第  $m_2$  号元胞处有等待换到主路 2 的车辆,同时主路 2 的第  $m_2$  号元胞处有等待出匝的车辆时,就出现冲突. 为此,我们假设不出匝的车辆必须在第  $m_2$  号元胞之前换道至主路 2.

为了降低入匝车辆对主路交通的影响,设区域  $[m_1, m_2]$  内主路 1 上的换道概率为  $p_1 = 0$ , 而主路 2 上的换道概率为  $p_1 = 1$ ; 区域  $[a_1 - 20, a_2]$  内主路 1 的换道概率为  $p_1 = 0$ , 而主路 2 的换道概率为  $p_1 = 1$ . 同样,为了降低出匝车辆对辅路交通的影响,设区域  $[c_0 - \nu'_{\max}, c_0 - 1]$  内车道 3 上的换道概率  $p_1 = 1$ , 车道 4 上的换道概率为  $p_1 = 0$ . 为简单起见,假设其他区域满足换道规则 3) 时的换道概率均为  $p_1 = 0.3$ . 此外,假设车辆在各车道入口处就决定了是否选择匝道实现入匝或出匝.

设  $\nu_{\max} = 3$  和  $\nu'_{\max} = 2$ , 我们先研究图 1(a)系统中主、辅路为双车道和单车道时的车辆运动时空斑图,见图 2,其中参数  $\alpha_1 = 0.2$ ,  $\alpha_2 = 0.65$ ,  $\alpha_3 = 0.6$ ,  $\alpha_4 = 0.2$ ,  $\beta_1 = 0.1$ ,  $\beta_2 = 0.5$ ,  $\beta_3 = 0.6$  和  $\beta_4 = 0.1$ , 截取的模拟时步为  $[9601, 10000]$ . 图 2(a)是单车道条件下车道 2 上  $m_1$  位置前 100 个元胞、与  $[m_1, m_2]$  平行的 20 个元胞和  $m_2$  位置后 140 个元胞(总计 260 个元胞)内的时空斑图,图 2(b)是单车道条件下车道 3 入匝点前 97 个元胞、入匝段 3 个元胞、交织段 20 个元胞、出匝段 3 个元胞和车道 3 出匝点后 137 个元胞(总计 260 个元胞)内的时空斑图. 图 2(c)和图 2(d)是分别对应双车道条件下的时空斑图. 由于存在换道因素,不同区域尤其是车道 2 的  $[m_1, m_2]$  区域和它右边的交织区域里出现了车辆运动轨迹中断现象,这是合理的.

图 2 表明,当车道 2 和车道 3 具有相同的初始条件时,主、辅路为单车道时的密度大于主辅路为双车道时的密度,车道 2 上  $m_1$  位置前和  $[m_1, m_2]$  区域内都出现了明显的堵塞(图 2(a)),车道 3 上入匝点附近出现了轻微向后传播的拥挤波(图 2(b)),说明本文建立的模型可以模拟出入匝车流对主、辅路交通的影响. 车道 2 上  $[m_1, m_2]$  区域内的车辆比较多,而连接入匝和出匝的交织段内的车辆比较少(图 2(b)),这与实测结果是相符的.

图 1(b)系统的时空斑图与图 2 类似(但  $[a_2, d_1]$  段内不存在交通),为节省篇幅,本文不再给出图 1(b)系统的时空斑图.

下面分析路径的通行时间、车道流量和系统流量与入匝车流之间的关系,记车道  $i$  入口至车道  $k$  出口的路径为  $R_{ik}$  ( $i, k = 1, 2, 3, 4$ ). 图 3 是单车道条件下路径通行时间、车道流量与系统流量同参数  $\beta_3$  (车道 3 入口所产生的车辆总数中,  $\beta_3$  比例将通过入匝进入主路)的关系,从此图可以得到如下结论:

对于图 1(a)系统,图 3(a)和图 3(c)表明,在给定的主辅路参数条件下,当入匝车辆流入率  $\beta_3 \leq 0.7$  时,对主路的影响不大,路径  $R_{22}$  与  $R_{23}$  的通行时间稳定在较低水平,车道 2 和系统的流量基本呈上升趋势;当  $0 \leq \beta_3 \leq 0.25$  时,路径  $R_{33}$  与  $R_{32}$  的通行时间随  $\beta_3$  上升而下降,车道 3 上的流量也随之上升,直到  $\beta_3 = 0.7$ ,主路与系统的流量达到最大值;当  $0.25 \leq \beta_3 \leq 0.7$  时,车道 3 上的流量开始下降;当  $\beta_3 \geq 0.9$  时,车道 3 上的流量下降明显,而当  $\beta_3$  接近 1 时,  $R_{23}$  的通行时间突然下降. 上述数值模拟结果是合理的,因为当  $\beta_3$  小于某值时,入匝车辆对原本不拥挤的主路影响不大,车辆可以顺利进入主路,而辅路也变得易于通行. 主路上区域  $[m_1, m_2]$  内的拥挤程度是随  $\beta_3$  增加而上升的,当  $\beta_3$  超过某值以后,入匝车辆难以顺利换道进入主路,主路上的车也难以前行,或者换道出来,造成路径  $R_{22}$ ,  $R_{23}$  和  $R_{32}$  的时间明显上升.

图 1(b)系统的情况与图 1(a)系统类似,见图 3(b)和图 3(d),区别在于:当  $0 \leq \beta_3 \leq 0.4$  时,路径  $R_{33}$ ,  $R_{32}$  的通行时间随  $\beta_3$  上升而下降,但是同比高于图 1(a)系统,这种差异在路径  $R_{33}$  上表现更明显,  $\beta_3 = 0.4$  后稳定下来,而路径  $R_{22}$ ,  $R_{23}$  的时间在  $\beta_3 = 0.2$  时就开始上升,车道 2 的流量也在此时达到最大值,然后呈下降趋势;车道 3 与系统的流量在  $\beta_3 = 0.4$

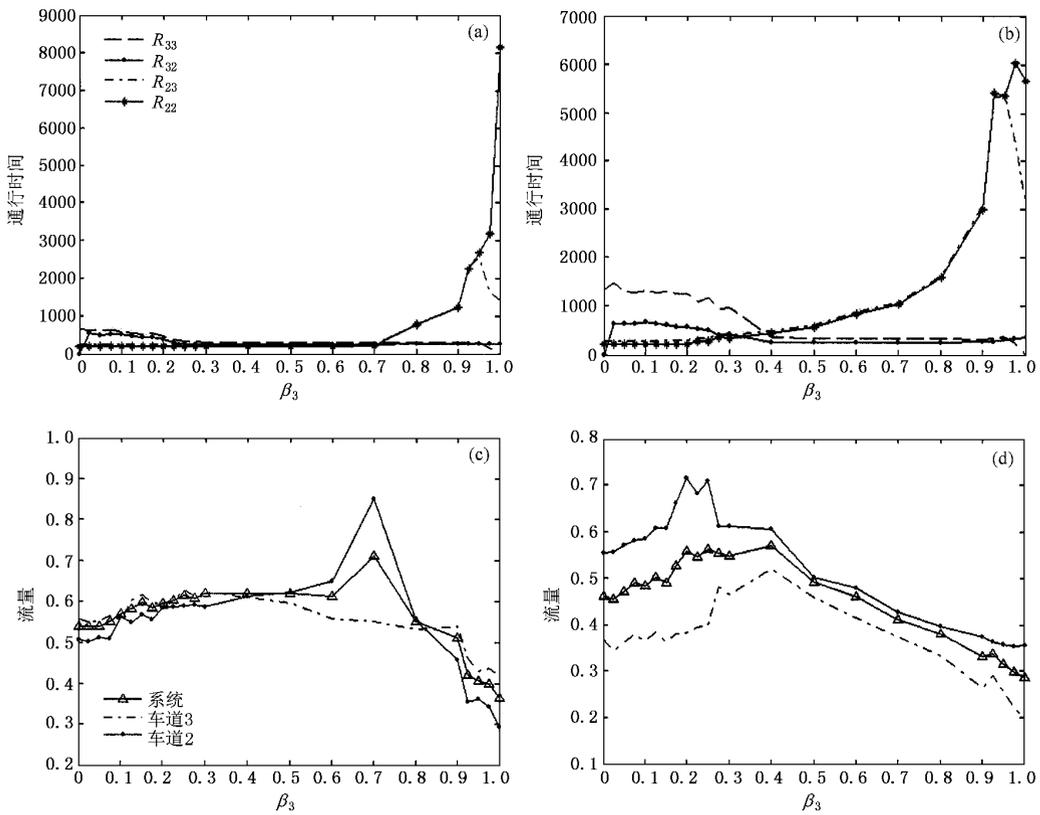


图3 路径的通行时间、车道流量及系统的流量与参数  $\beta_3$  的关系,其中(a)与(c)和(b)与(d)分别对应于图1(a)和图1(b)的系统.主辅路均为单车道.  $\alpha_2 = 0.65$ ,  $\alpha_3 = 0.6$ ,  $\beta_2 = 0.5$

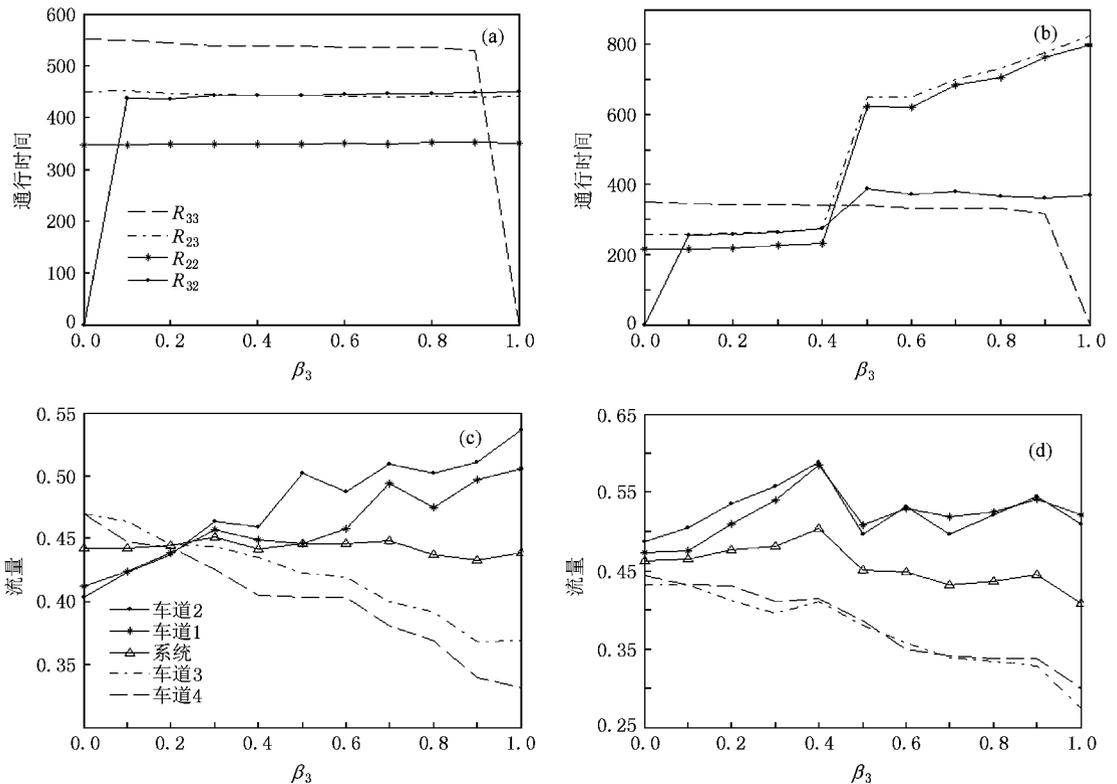


图4 路径的通行时间、车道流量及系统的流量与参数  $\beta_3$  的关系,其中(a)与(c)和(b)与(d)分别对应图1(a)和图1(b)的系统.主辅路均为双车道.  $\alpha_1 = 0.2$ ,  $\alpha_2 = 0.65$ ,  $\alpha_3 = 0.6$ ,  $\alpha_4 = 0.2$ ,  $\beta_1 = 0.1$ ,  $\beta_2 = 0.5$ ,  $\beta_4 = 0.1$

时达到最大值,之后一直下降.原因是:当入匝车辆比较少时,图 1(b)系统的入匝与出匝距离较远,出匝车辆不会过早换道,从而大大增加了主路对入匝的阻碍作用,而且这种阻碍很快传到辅路,从而使得辅路也堵塞起来.通行过程中,入匝并通区对主路的影响比图 1(a)系统还大,因为图 1(a)系统中的出匝车辆在交织区可以换道,减轻了主路的交通压力,而图 1(b)系统却在入匝并道区和出匝并道区发生两次冲突,当主路密度达到一定程度后,出匝处的阻塞波可能传播到入匝口上游.

图 4 是主辅路为双车道时路径的通行时间、车道流量和系统流量同参数  $\beta_3$  的关系图.从中可以得到如下结论.

图 4(a)和图 4(c)表明,对于图 1(a)系统,路径  $R_{22}$ 和  $R_{23}$ 的通行时间比较稳定,而且与单车道条件下  $\beta_3$  值比较小时所得结果类似,但是当  $0 \leq \beta_3 \leq 0.25$  时,由于可以换道使得路径  $R_{32}$ 和路径  $R_{33}$ 的通行时间较单车道时低,车道 3 的流量随着入匝车辆增加而下降,换到车道 4 的车辆也减少,使得车道 4 的流量也随着  $\beta_3$  的增加而下降.尽管车道 1 和车道 2 的车辆不断增加,但由于其速度未受到明显影响,

所以主路的流量增加,使得整个系统的流量比较大.当  $\beta_3 \geq 0.7$  时,系统流量略有下降,这是因为主路的流量上升幅度低于辅路的流量下降幅度.

图 4(b)和图 4(d)表明,对于图 1(b)系统,双车道的交通情况明显好于单车道.  $\beta_3 = 0.4$  时才出现路径  $R_{22}$ 和  $R_{23}$ 的通行时间明显上升,比单车道的  $\beta_3 = 0.2$  延迟一些.当  $\beta_3 \geq 0.4$  时,路径  $R_{32}$ 的通行时间先是比较平稳,再增加一点,然后又稳定下来.当  $\beta_3 \geq 0.5$  时,路径  $R_{22}$ 和  $R_{23}$ 的时间上升幅度明显减小.当  $0.5 \leq \beta_3 \leq 0.9$  时,各条车道的流量和系统流量都比较稳定.当  $\beta_3 \geq 0.9$  时,主路流量下降,导致系统流量下降,这是入匝车流过多导致的.

接下来,我们分析出匝车流对通行时间的影响.为简单见,假设辅路车辆不进入主路,即  $\beta_3 = 0, \beta_4 = 0$ .数值模拟结果如图 5 所示.从图 5 可以发现,当  $\alpha_4 = 0$  时,路径  $R_{33}$ 的通行时间没有变化,这是因为车道 3 的车很容易换到车道 4.随着出匝比例  $\beta_2$  的增加,路径  $R_{23}$ 的通行时间先平稳后上升,  $\alpha_4$  越大,转折点越靠前.对于相同的  $\alpha_4$ ,路径  $R_{23}$ 时间在图 1(a)系统中的转折点明显比图 1(b)系统靠前.图 5(b)显示,路径  $R_{33}$ 的通行时间在图 1(b)系统中是  $\beta_2$

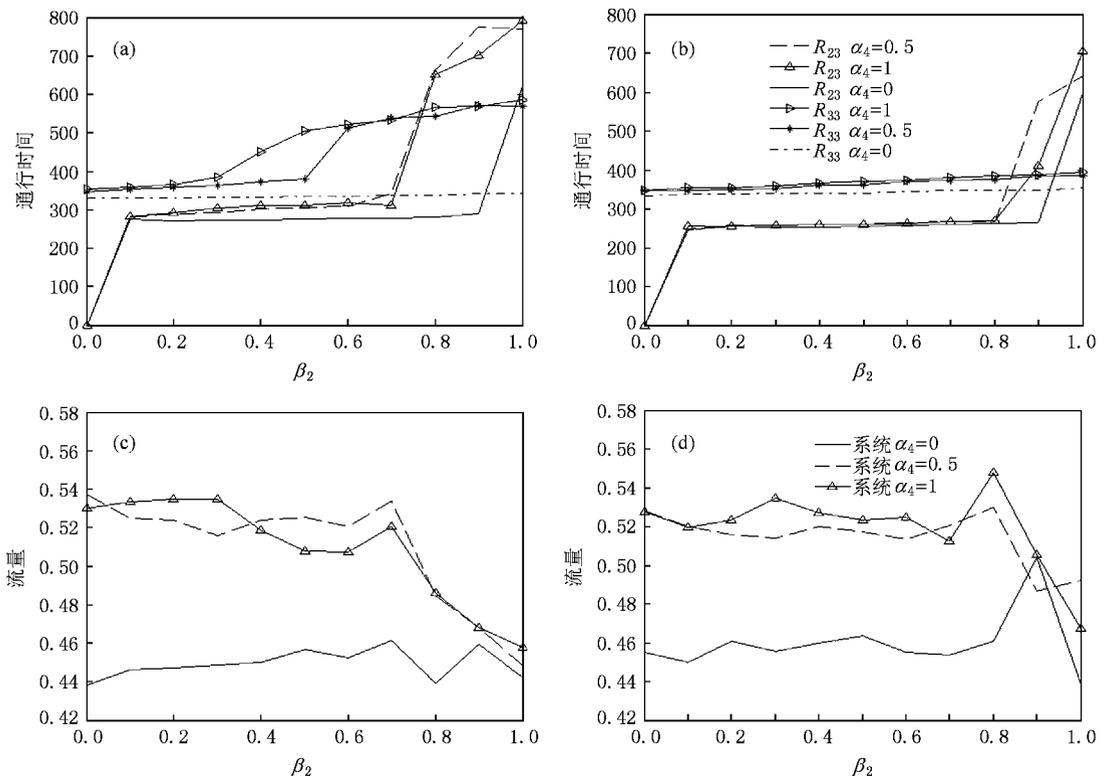


图 5 路径的通行时间、系统流量与参数  $\beta_2$  的关系,其中(a)与(c)和(b)与(d)分别对应图 1(a)和图 1(b)的系统.主辅路均为双车道,  $\alpha_1 = 0.6, \alpha_2 = 0.4, \alpha_3 = 0.6, \beta_1 = 0.2$

的增函数,但增长速度非常慢.系统流量先是微小上升,接着大幅度下降.参数  $\alpha_4 = 0.5$  和  $\alpha_4 = 1$  对通行时间与流量的影响非常小.

过多出匝车辆容易引起匝道出口车流与辅路内侧车道上的车流发生冲突,导致二者的通行时间增加.图 1(a)系统中的高密度路段比较长,其路径时间比图 1(b)系统的大,且上升的转折点比较靠前.在  $\beta_2$  达到某临界值之前,系统流量没有单调上升或单调下降的特征,随着  $\beta_2$  继续增加,出匝口附近和辅路上的拥堵加剧,系统流量下降.

## 4. 结 论

本文使用元胞自动机模型研究了包含出入匝

道、主路和辅路的城市快速路系统的交通问题.根据车道和出入匝附近的具体情况,定义了三种换道规则并通过元胞自动机模型给以实现.模拟结果表明,当入匝车辆数比较少时,双车道明显改善了单车道下辅路的通行状况.当入匝车流增加到一定程度时,主路、匝道及其上游出现拥堵,通行时间迅速增加,流量急剧下降,而双车道对这种局面能够起到缓解作用.高出匝流量容易使匝道出口车流与辅路内侧道车流发生冲突,增加车道通行时间.需要说明的是,这些结论是依据模拟结果的平均趋势得出的,当分析入匝车流的影响时,假设出匝车流保持不变,反之亦然.对主要参数的灵敏度分析结果说明,本文所定义的换道规则和提出的元胞自动机模型可以用来研究城市快速路系统中的交通问题.

- 
- [ 1 ] Chowdhury D , Santen L , Schadschneider A 2000 *Phys. Rep.* **329** 199
- [ 2 ] Kerner B S 2004 *The Physics of Traffic*( Berlin Heidelberg : Springer-Verlag )
- [ 3 ] Helbing D 2001 *Rev. Mod. Phys.* **73** 1067
- [ 4 ] Lee H Y , Lee H W , Kim D 1998 *Phys. Rev. Lett.* **81** 1130
- [ 5 ] Helbing D , Treiber M 1998 *Phys. Rev. Lett.* **81** 3042
- [ 6 ] Kerner B S 2002 *Phys. Rev. E* **65** 046138
- [ 7 ] Kerner B S , Klenov S L 2003 *Phys. Rev. E* **68** 036130
- [ 8 ] Lei L , Dong L Y , Ge H X , Dai S Q 2007 *Proceedings of the 5th Conference on Nonlinear Mechanics*( Shanghai University Press. ) pp. 985—989
- [ 9 ] Nagel K , Schreckenberg M 1992 *J. Phys.* **12** 2221
- [ 10 ] Nagatani T 2002 *Rep. Prog. Phys.* **65** 1331
- [ 11 ] Nagatani T 2007 *Physica A* **377** 651
- [ 12 ] 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 ]
- [ 13 ] Kuang H , Kong L J , Liu M R 2004 *Acta Phys. Sin.* **53** 4138 ( in Chinese ) [ 邝 华、孔令江、刘慕仁 2004 物理学报 **53** 4138 ]
- [ 14 ] Wang W X , Wang B H , Zheng W C , Yin C Y , Zhou T 2005 *Phys. Rev. E* **72** 066702
- [ 15 ] Jia B , Jiang R , Wu Q S 2005 *Physica A* **345** 218
- [ 16 ] Jia B , Jiang R , Wu Q S 2004 *Phys. Rev. E* **69** 056105
- [ 17 ] Lei L , Dong L Y , Song T , Dai S Q 2006 *Acta Phys. Sin.* **55** 1711 ( in Chinese ) [ 雷 丽、董力耘、宋 涛、戴世强 2006 物理学报 **55** 1711 ]
- [ 18 ] Huang D W 2006 *Phys. Rev. E* **73** 016123
- [ 19 ] Tang T Q , Huang H J , Wong S C , Jiang R 2007 *Acta Mech. Sin.* **23** 49

# Modeling urban expressway systems with ramps and accessory roads by cellular automaton model<sup>\*</sup>

Mei Chao-Qun<sup>1,2)</sup> Huang Hai-Jun<sup>1)†</sup> Tang Tie-Qiao<sup>3)</sup>

1) ( School of Economics and Management , Beijing University of Aeronautics and Astronautics , Beijing 100083 , China )

2) ( School of Statistics , Capital University of Economics and Business , Beijing 100070 , China )

3) ( School of Transportation Science and Engineering , Beijing University of Aeronautics and Astronautics , Beijing 100083 , China )

( Received 8 July 2008 ; revised manuscript received 23 September 2008 )

## Abstract

In this paper , a cellular automaton model is proposed to study the traffic of urban expressway systems with on-off-ramps and accessory roads . Three lane changing rules are defined for different road sections . Simulation results show that higher on-ramp rate easily produces traffic jams on main roads , on-ramps and their upstream sections . Higher off-ramp rate easily leads to conflict with the inflow of accessory road . The system having two lanes on main and accessory roads can alleviate the jam degree and decrease the vehicles ' running time when on-ramp rates are high .

**Keywords :** traffic flow , cellular automaton , lane changing rule , ramp

**PACC :** 0565 , 0250 , 0520

<sup>\*</sup> Projects supported by the National " 973 " Basic Research Program of China ( Grant No. 2006CB705503 ) and the National Natural Science Foundation of China ( Grant Nos. 70521001 , 70701002 ) .

<sup>†</sup> Corresponding author . E-mail : haijunhuang@buaa.edu.cn