

# 平面环行交叉路口交通流的研究\*

白克钊<sup>1)†</sup> 陈瑞熊<sup>1)</sup> 刘慕仁<sup>1)</sup> 孔令江<sup>1)</sup> 郑容森<sup>2)</sup>

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 9 月 8 日收到 2008 年 12 月 5 日收到修改稿)

从道路结构出发,对具有内、外环道的平面环形交叉路口建立了具有多个道路瓶颈的元胞自动机模型,对平面环行交叉路口的交通流进行研究.计算机模拟结果表明,环形交叉路口的内环道中与入环车道接壤处是最容易发生阻塞的地方,内环道中车辆之间的非线性相互作用的效应随刹车概率的增大而增强,流量随之减小;而转向概率的增加有助于提高系统交通流量.

关键词:平面环形交叉路口,元胞自动机模型,瓶颈,自组织

PACC: 0550

## 1. 引 言

实际的道路交通都是二维(甚至三维)网络.在道路交叉之处交通流的控制有两种方法:其一是用交通灯进行控制;另一种则是无信号控制.环形交叉路口属于后者的范畴.它的优点是车辆可以连续行驶、安全、无需管理设施.元胞自动机(CA)已经应用于交通流的研究,并取得了大量有现实指导意义的结果<sup>[1-10]</sup>.文献[11]分别采用 CA 模型和跟车模型的方法,根据进入环道的车等待的规则,把环道分解为封闭的多边形进行计算,从而得到了环形交叉路口的通行能力,并与用交通灯控制的路口进行比较.文献[12,13]采用 CA 模型,根据英国的“远边先行”规则,分别讨论了单一的圆环车道和多个圆环车道的情况,发现对于相同几何结构的环形交叉,采用不同的通行规则可以产生不同的通过能力,文献[14]则采用确定性的 CA 交通流模型把整个环形交叉路口分解为若干个瓶颈模型的做法,结合内环优先规则研究平面环形交叉路口交通流的性质,据此讨论了环形交叉路口交通流的特性,并得到了环形交叉路口的平均车速与中心岛直径之间的关系与实际测量较为接近的结果.本文在文献[14]的基础上,采用随机 CA 交通流模型,进一步对环形交叉路口交通

流的性质进行研究.

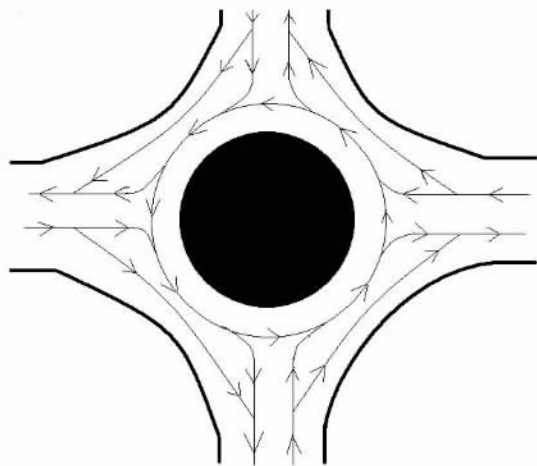


图 1 平面环行交叉路口示意图

## 2. 模型和运行规则

实际的平面环形交叉如图 1 所示,它一般有 3—4 条车道,并呈同心圆分布.根据我国车辆靠右行驶的交通规则分析图 1 可知:最靠中心岛的车道供车辆绕行,最外缘的车道供车辆右转弯之用.中心岛存在的作用在于消除或减少冲突点,并用分流点或合流点替代冲突点,进而提高交通的安全性.综观

\* 国家自然科学基金(批准号:10562001,10762005,10765002)资助的课题.

† E-mail: baikeshao@tom.com



西、北各方向的车道格点数均取 200 ;每一个方位的外环车道格点数取 5 ,外环车道共有 20 个格点 ;每一个方位的内环车道格点数取 4 ,间距  $\overline{P_{so} P_{si}} = \overline{P_{eo} P_{ei}} = \overline{P_{no} P_{ni}} = \overline{P_{wo} P_{wi}} = 7.5 \text{ m}$  ,所以共有 16 个格点 .我们规定入环车辆对三个出口的选择概率均为三分之一 ,最高车速  $V_{\max} = 3$  ;每个样本运行 65000 时步 ,对后 10000 时步的数值模拟结果作时间平均 ,再取 25 个样本 ,做系综平均 ,以消除随机性的影响 .

虽然整个系统采用周期性边界条件 ,然而对内环道这个子系统而言 ,它是一个具有开放边界条件的系统 .其中 ,下标中含有 i 的四个车道合流处 ,车辆以一定的数量注入 ;而下标中含有 o 的四个车道分流处 ,车辆以一定的数量驶出 .根据瓶颈的定义 ,整个内环道中有八个瓶颈 .在那里 ,车辆之间的非线性相互作用的效应要比其他类型的道路结构强得多 ( 整个平面环形交叉路口就更强了 ) .对每个瓶颈而言它既是上一个瓶颈的下游 ,然而又是下一个瓶颈的上流 ,上一个瓶颈与下一个瓶颈之间的距离较短 ,车辆之间的非线性相互的自组织行为将随车辆密度的增加以及刹车概率的增加而越来越强烈 ,交通流的特点也将随之发生变化 .

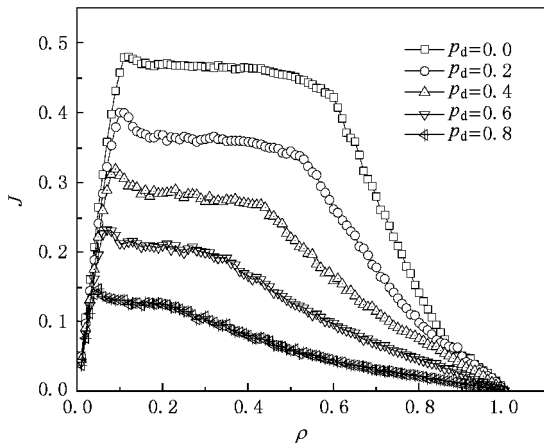


图 3 内环道中流量与系统密度、刹车概率关系图

由上面的分析 ,我们不难看出内环道的合流点处既需要接受从上游内环道的来车又需要接受从入环车道驶入的车 ,因而那里是整个环形交叉口最可能出现阻塞的地方 ,该处的交通流是否畅通是环形交叉口交通流畅通的关键 .图 3、图 4 分别为内环道中平均流量、平均速度与系统密度的关系图 ,其中横坐标为系统平均密度  $\rho$  ,纵坐标分别表示内环道交通流的平均流量和平均速度 ,转向概率  $p_c$  均取 0.2 ,而刹车概率  $p_d$  分别取 0.0 0.2 0.4 0.6 0.8 .从图 3

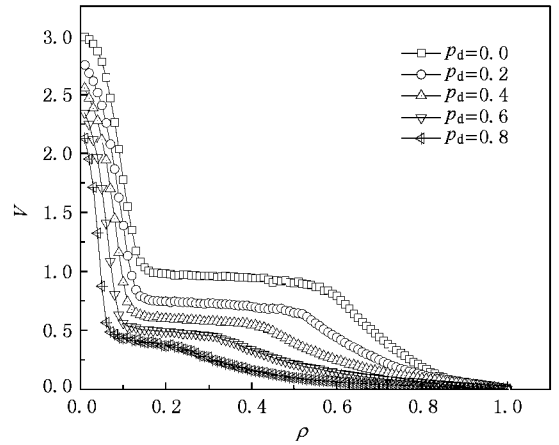


图 4 内环道中速度与系统密度、刹车概率关系图

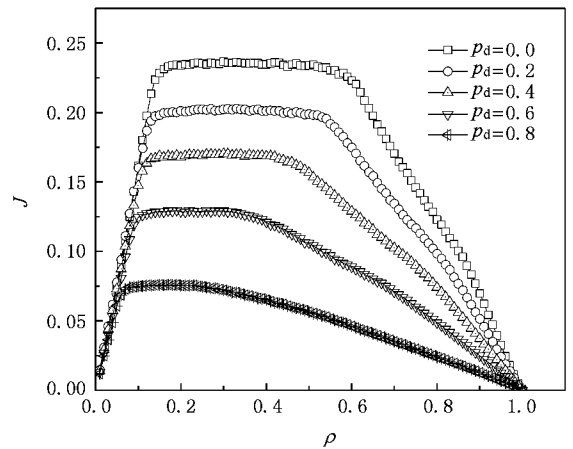


图 5 外环道中流量与系统密度、刹车概率关系图

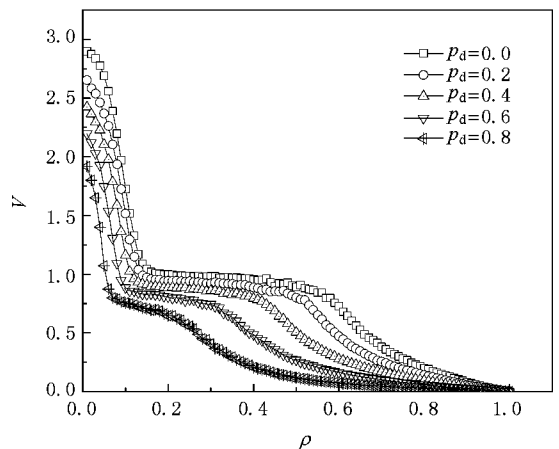


图 6 外环道中速度与系统密度、刹车概率关系图

可知 ,对相应的刹车概率 ,低密度时内环道流量随着系统密度的增加而迅速增加 ,到达最大值后密度增

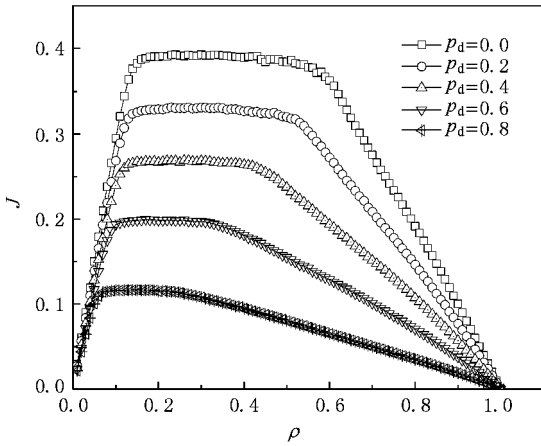


图 7 入环车道流量与系统密度、刹车概率关系图

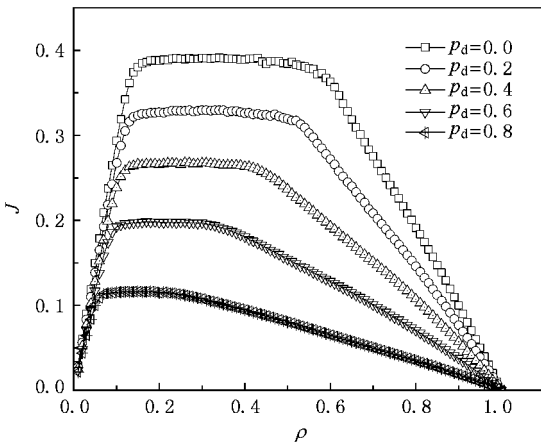


图 8 出环车道流量与系统密度、刹车概率关系图

加流量略微下降,然后在一定的系统密度范围内流量基本保持不变,出现平台(或略有向下倾斜的平台),当系统密度增加到一定数值后流量迅速减小.由图 4 可知,内环道的速度随着系统密度的增加而减小,在非线性和相互作用激发而引起的自组织作用下此后在一定的系统密度范围内速度基本保持不变,而呈现平台(或略有向下倾斜的平台)经过拐点后速度迅速减小.随着刹车概率从 0.0 增加到 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 相应的流量、速度下降,流量平台由 0.46 下降为 0.36, 0.28, 0.20, 0.125, 速度平台也由 0.96 下降为 0.72, 0.57, 0.48, 0.39. 特别是当刹车概率为 0.80 时平台几乎不存在了,而呈现缓慢下降的趋势.这表明,在低密度时内环道的车流处于畅通状态,当达到一定密度(临界密度)<sup>[18]</sup>后,车流处于走走停停的拥堵状态,流量不再随密度的增加而增加.而刹车概率增大时,临界密度是减小的.

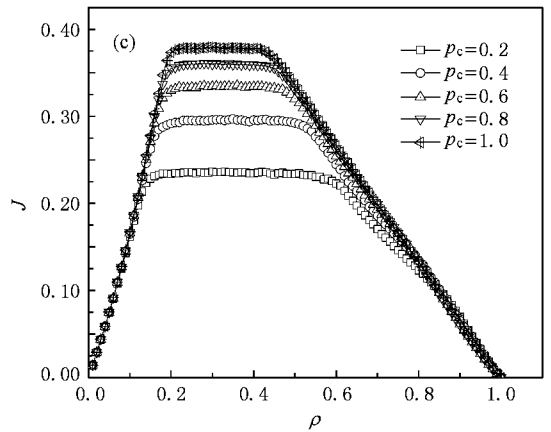
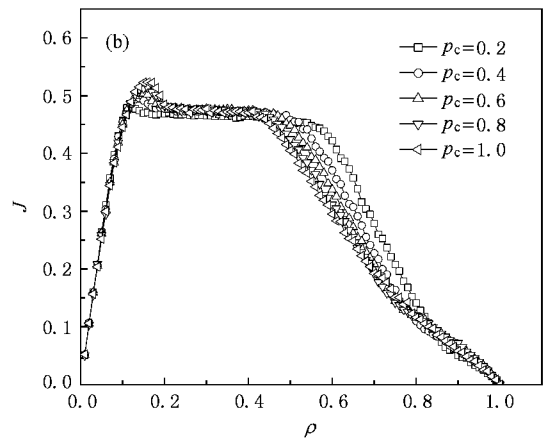
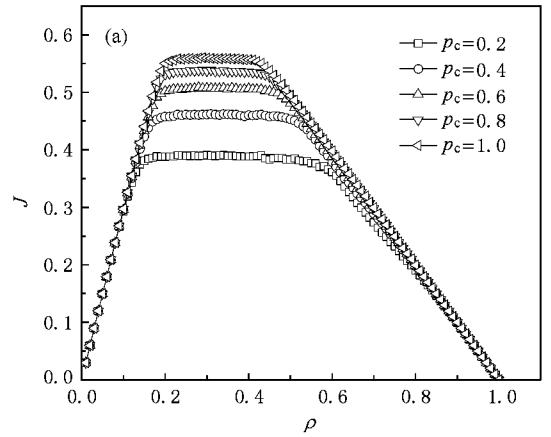


图 9 系统、内环车道和外环车道的流量与系统密度、转向概率关系图 (a)系统流量与系统密度、转向概率关系图 (b)内环车道流量与系统密度、转向概率关系图 (c)外环车道流量与系统密度、转向概率关系图

图 5、图 6 分别为外环道中平均流量、平均速度与系统密度、刹车概率关系图,其中横坐标为系统平均密度  $\rho$ , 纵坐标分别表示外环道交通流的平均流量和平均速度.转向概率  $p_c$  均取 0.2. 由于模型规定入环车辆中只有 1/3 的车辆驶入外环车道,驶入外

环车道的车辆要比驶入内环车道的车辆少,外环车道合流点附近的畅通性也比内环车道要好,故外环车道的畅通性比内环车道要好.对比图 4、图 6,我们可以看到:相同的刹车概率时,外环道中速度平台值均要高于对应的内环环道中速度平台值.对照图 3、图 5,我们可以看到:内环道流量存在略有向下倾斜的平台而外环道对应的变量在相应的区段却较为平坦或呈略有向上倾斜的平台,这一现象是转向概率引起的.由于横坐标为系统密度而非环道密度,对于相同的刹车概率,系统密度越大越易出现拥堵,非优先车辆进入合流点的可能性就越小,于是只能改变原来设定的方向不进入内环道而提前从外环道驶出,或提前从内环道驶出,以确保整个环行交叉口的畅通,客观上导致了内环道中车辆(流量)减少、外环道车辆(流量)增加.

图 7、图 8 分别为入环车道和出环车道流量与系统密度、刹车概率的关系图,其横坐标为系统密度,纵坐标表示对应车道的平均流量.虽然它们的形状类似,都出现了流量平台,出、入环道的流量平台值均随着刹车概率的增大而减小.但是出、入环道其出现流量平台的物理内涵是不同的.从道路结构来看,平面环形交叉路口有 16 个瓶颈,内、外环道较易形成堵塞.入环车道是内、外环道的上游,由于下游(内、外环道)的瓶颈和拥堵,车辆在入口附近聚积,在入环车道的车辆非线性相互作用下,一方面将使得入环车道的密度增大,另一方面使得车辆在路口减速,入环车道车辆的平均速度减小,从而出现了入环车道的流量平台.出环车道是内、外环道的下游,由于上游(内、外环道)的阻塞和瓶颈作用,使得驶入出环车道的车辆数目和速度维持在一定的数值,从而出现了出环车道的流量平台.

图 9 分别为系统、内环环车道和外环车道的流量与系统密度、转向概率关系图(刹车概率  $P_d$  均取

0.0).由图可以看出在系统密度较低( $\rho < 0.12$ )时,交通流较为畅通,转向概率几乎不起作用.随着系统密度的增加,入环路口的拥堵出现,并越来越明显,转向概率的作用开始显现,在流量平台区域,随转向概率的增大,系统和外环车道的流量均增大,而内环车道的流量却变化不大.这主要是由于在本文的模型中内环车道由于道路瓶颈的限制,内环车道流量已接近饱和变化不明显,而入环车道中的车辆有 2/3 要驶入内环车道,这将导致内环车道比外环较易出现拥堵,外环的畅通性要好于内环,一部分原本将驶入内环的车辆在转向概率的作用下改由外环行驶,将使得进入外环的车辆增多,转向概率越大这种现象越明显,这一方面有利于充分利用外环车道,提高了外环车道的流量,另一方面将改善入环路口的拥堵,从而提高了系统流量.当系统密度较高时( $\rho > 0.8$ ),内外环道都有较为严重的拥堵,转向概率对车辆运行的改善作用大为降低,各车道流量与转向概率的关系也就不明显了.

## 4. 结 论

根据车辆在平面环形交叉路口行驶的具体情况,本文重点讨论了刹车概率和转向概率对平面环行交叉路口交通流的影响.计算机模拟结果表明:随着刹车概率的增大,环形交叉口的通行能力将随之减小;而转向概率的增大,有利于环形交叉口的通行能力提高.因而在设计环形交叉口时就需要给予裕量,尽可能使交通流处于自由状态或较轻的拥堵状态,避免车辆在环道内过度地刹车和在路口停车,导致通行能力的下降.内、外环道与入环车道接壤处是最容易发生阻塞之地,由于道路瓶颈的存在,使得车辆间非线性相互作用强烈.

- [ 1 ] Kerner B S 2004 *The Physics of Traffic* 1st ed ( Berlin : Springer ) p1  
 [ 2 ] Helbing D 2001 *Rev. Mod. Phys.* **73** 1067  
 [ 3 ] Chowdhury D, Santen L, Schadschneider A 2000 *Phys. Rep.* **329** 199  
 [ 4 ] Li K P, Gao Z Y 2005 *Chin. Phys.* **14** 930  
 [ 5 ] Tan H L, Huang P H, Li H B, Liu M R, Kong L J 2003 *Acta Phys. Sin.* **52** 1127 ( in Chinese ) [ 谭惠丽、李华兵、刘慕仁、孔令江 2003 物理学报 **52** 1127 ]  
 [ 6 ] Huang P H, Kong L J, Liu M R 2002 *Chin. Phys.* **11** 678

- [ 7 ] Xue Y 2002 *Chin. Phys.* **11** 1128  
 [ 8 ] Mei C Q, Huang H J, Tang T Q 2008 *Acta Phys. Sin.* **57** 4786 ( in Chinese ) [ 梅超群、黄海军、唐铁桥 2008 物理学报 **57** 4786 ]  
 [ 9 ] Li X G, Gao Z Y, Zhao X M, Jia B 2008 *Acta Phys. Sin.* **57** 4777 ( in Chinese ) [ 李新刚、高自友、赵小梅、贾 斌 2008 物理学报 **57** 4777 ]  
 [ 10 ] Li X L, Kuang H, Song T, Dai S Q, Li Z P 2008 *Chin. Phys.* **B 17** 2366

- [ 11 ] Fouladv M E ,Sadjadi Z ,Shaebani M R 2004 *Phys. Rev. E* **70** 046132
- [ 12 ] Wang R ,Ruskin H J 2002 *Comp. Phys. Comm.* **147** 570
- [ 13 ] Wang R ,Ruskin H J 2006 *International Journal of Modern Physics C* **17** 693
- [ 14 ] Chen R X ,Bai K Z ,Liu M R 2006 *Chin. Phys.* **15** 1471
- [ 15 ] Kerner B S 2004 *Physica A* **333** 379
- [ 16 ] Nagel K ,Schrenckenberg M 1992 *J. Phys. I* **2** 2221 ( in France )
- [ 17 ] Jang R ,Wu Q S ,Wang B H 2002 *Phys. Rev. E* **66** 036104
- [ 18 ] Kerner B S ,Rehborn H 1996 *Phys. Rev. E* **53** R4275

## Study of the grade roundabout crossing<sup>\*</sup>

Bai Ke-Zhao<sup>1)†</sup> Chen Rui-Xiong<sup>1)</sup> Liu Mu-Ren<sup>1)</sup> Kong Ling-Jiang<sup>1)</sup> Zheng Rong-Sen<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> College of Physics and Electronic Engineering ,Guangxi Normal University ,Guilin 541004 ,China )

<sup>2)</sup> Department of Physics and Information Science ,Yulin Normal College ,Yulin 537000 ,China )

( Received 8 September 2008 ; revised manuscript received 5 December 2008 )

### Abstract

In this paper a cellular automaton model is proposed to describe the traffic flow at the grade roundabout crossing with the inner roundabout lane and the outer roundabout lane. Simulation results show that the traffic jam appears evidently at the intersection of the inner roundabout lane and the entering lane. The effect of the nonlinear reciprocity of the vehicle in the inner roundabout lane increases and the flux decreases with the increase of the deceleration probability. The flux of the system is improved by the increase of the turning probability.

**Keywords** : grade roundabout crossing , cellular automaton model , bottleneck , self-organization

**PACC** : 0550

<sup>\*</sup> Project supported by the National Natural Science Foundation of China ( Grant Nos. 10562001 ,10762005 ,10765002 ).

<sup>†</sup> E-mail : baikzhao@tom.com