

工程数学学报稿件编号：

(由编辑编写)

车道被占用对城市道路通行能力的影响

周晨阳¹, 周登岳¹, 孔垂烨², 金海³

(1.北京理工大学机械与车辆学院 2. 北京理工大学信息与电子学院 3.北京理工大学数学学院,
北京, 10081)

编者按: 论文中对事故发生后影响实际交通状况的情况进行了全面的分析, 对所给视频数据的应用和挖掘充分, 建模计算过程简练, 给出的结果合理。在分析车辆排队时, 先对视频中出现的几次排队过程中的指标进行了仔细的分析, 找到了影响排队长度变化的直接原因, 由此确定了建立模型的基本原则。对排队过程的仿真模拟思路清晰, 仿真过程的描述仔细。论文在处理实际通行能力方面的简练之处是统计到91.43%的时间内事故所处断面为饱和状态, 即最大通行量状态。所以他们利用单位时间内的车流量作为实际通行能力。论文的不足之处是对剩余的8.57%的时段也将车流量当做实际通行能力处理就不甚合理。

摘要: 本文针对车道占用对城市交通能力影响的评估与预测问题, 以题目所给视频为基础进行大量的数据挖掘, 利用排队论、多元回归、元胞自动机为理论基础进行了完整的建模工作。首先, 我们结合实际最大通行能力的本质, 灵活处理数据得到事故所处横断面实际最大通行能力的定量描述, 结合各方面因素分段描述了其变化情况; 在此基础上结合视频2, 借鉴单服务台多列的排队论模型, 从本质上分析并说明了占用不同车道对实际通行能力的影响差异; 在对视频中六次车辆排队事故的排队长度、上游车流量、事故持续时间、最大通行能力指标的统计数据基础上, 通过对视频中车流量变化及其分配、车辆种类、车速的建模, 我们以元胞自动机理论为基础, 为事故路段建立了全面完备的元胞自动机模型, 并利用SPSS软件对模型进行了验证。应用于问题四, 估算出了大约5.5~7.5min后车辆排队长度将达到上游路口。

关键词: 数据统计 排队论 多元回归 元胞自动机 模型验证

分类号: AMS(2000)90B20;

中图分类号: U491.1

文献标识码: A

1 问题提出与分析

交通对国民经济的发展具有重要的战略意义, 正确估算车道被占用对城市道路通行能力的影响程度, 将为交通管理部门正确疏导交通, 提升城市交通质量提供理论依据。本题目以两段视频的形式为我们展现了两次交通事故占用不同车道情况下, 路段实际通行能力的变化, 要求分析原因并建立模型和预测。

分析问题可以知道, 首先需要明确的是实际通行能力的定义与计算方法。通过对视频数据处理并计算得到实际通行能力的变化后即可对其进行描述。根据两个视频的不同, 我们可以得到影响通行能力的关键因素所在, 结合这些因素可以初步分析占用不同车道对实际通行能力影响的不同。随后利用元胞自动机模型对该问题进行仿真描述, 利用Matlab进行编程实现。可用SPSS软件验证所建立的模型与实际视频无显著性差异, 在此基础上即可应用到第四问进行仿真求解。

从适当合理简化问题的角度考虑, 我们做如下假设:

¹收稿日期: . 作者简介: 周晨阳(1994年10月生), 男, 学士. 研究方向: .
基金项目:

- (1) 交通事故导致的交通阻塞不会影响上游路口的车流量;
- (2) 不考虑该路段车辆路边临时停车对交通流的影响;
- (3) 只考虑四轮及以上机动车、电瓶车的交通流量;
- (4) 由于车本身具有宽度以及车道宽度限制, 停车时不存在车辆之间的相互穿插。

2 模型的建立与求解

2.1 问题一的建模与解答

2.1.1 实际通行能力的定义与理解

通过查阅相关资料, 可以得到实际通行能力是对基本通行能力或设计通行能力根据具体情况进行修正的结果, 换言之, 实际通行能力是在实际情况下所能通行的最大小时交通量, 它能够反映道路的真实通行能力。通过对视频的统计, 将视频的时间做如下分类:

- (1) 事故持续时间段: 从事故发生到事故车辆撤离的时间段;
- (2) 车辆饱和状态: 视频中大部分时间段内, 相邻的两辆车在保证一定安全距离的条件下都是接连缓慢通过事故所处横断面的, 符合实际通行能力中的“最大小时通行量”的定义, 可以利用该类时间内的横断面单位时间内的车流量来反映道路实际通行能力的大小;
- (3) 车辆短缺状态: 车辆的补充作用处于短缺状态, 无法反映“最大小时通行量”的关键本质;
- (4) 视频跳跃段: 实际视频中存在画面跳跃的情况, 需要加以剔除;

Table 1: 不同类别时间段的分配

时间段类别	对应时刻	总长度/s
事故持续时间段	16: 42: 33~17: 00: 09	1056
视频的跳跃	16:49:37~16:50:05 16:56:00~16:57:58	146
车辆短缺状态	16:42:33~16:42:40 16:44:16~16:44:32 16:44:51~16:45:46	78

由上表可知, 整个视频中画面除去跳跃部分, 一共有的正常时间, 其中车辆短缺状态时间为, 占正常时间的, 可以认为绝大部分时间内, 事故所处横断面一直处于车辆饱和状态, 即最大小时通行量状态, 利用单位时间内的车流量即可作为最大通行能力。

2.1.2 根据视频采集横断面的车流量数据并计算最大通行能力

通过视频我们可以发现, 事故路段的车流并不均匀, 而是在一定的周期内进行波动。结合题目附件4 与附件5 可以看到, 事故路段车流量受到上游路口处红绿灯的控制。经过上游十字路口到达事故路段的车流量分为三种: 直行车辆、右转车辆, 小区路口车辆。其中, 直行车辆占有绝大部分比重, 且受到红绿灯的控制, 按照的周期进行周期性的变化; 右转车辆占有小部分比重, 而且不受红绿灯的控制; 小区路口车辆比重较小, 且具有随机性。此外, 红绿灯在每

Table 2: 上游路口交通灯及路段车辆来源变化

-:00~ -:30	直行绿灯，路段三类车辆均有
-:30~ -:60	直行红灯，路段仅右转车辆和小区路口车辆

个整分和每个半分时切换：因此我们以单位时间，对事故横断面的车流量进行统计，统计时避开视频跳跃点和车辆短缺状态，记录到达事故横断面车辆的标准车当量数、到达时刻及车辆是否饱和。

另外，由于我们在下面问题中采用了元胞自动机模型，因此对标准车当量系数换算做如下规定，

小轿车，小型厢式货车标准车当量数为1；

大客车，公交车的标准车当量数为2。

该规定参考了国家标准规定，所造成的误差可以通过对元胞自动机模型的精确建模来消除。因此，最大通行能力计算公式如下：

$$\text{最大通行能力} = \frac{\text{标准车当量数}}{\text{时间段长短}/60}$$

经过统计，可以得到实际通行能力的变化如下图所示，其中，大车出现的时在图上用黑点标记出来。

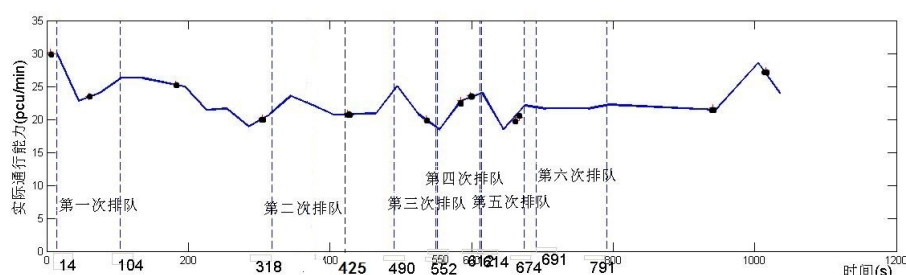


Figure 1: 实际通行能力变化

2.1.3 找出影响最大通行能力的因素

根据视频我们可以看出，影响最大通行能力的因素有：

- (1) 不同车道车流量不同，车辆类型分配不同，且车流量在不断变化；
- (2) 大客车、公交车由于尺寸较大，其换道所需条件及时间较长，对最大通行能力影响较大；
- (3) 事故横断面处的交通混乱程度很大程度上影响最大通行能力；

下面针对上图对实际通行能力做如下描述：

事故发生后，占用内车道和中车道，两车道的车流量占全部车流量的90.7%，在车道被堵住的情况下，两个车道的车流全部转移至外车道，由于大型车辆的存在，其换道时对交

通的堵塞作用非常明显, 同时造成交通混乱程度增加, 以上共同引起了实际通行能力迅速由30pcu/min 迅速下降到22.76pcu/min, 同时第一次车辆排队事故出现(时间为16:42:46)。

在16:42:46~16:44:16(14s~104s)时间段内, 为第一次车辆排队事故。期间随着大型车辆的通过, 实际通行能力有所上升, 但是由于上游车流量的不断补充使事故横断面一直处于车辆排队状态, 因此实际通行能力没有显著提高;

在16:44:16~16:47:50(104s~318s)时间段内, 由于上游车流量明显减少, 事故横断面在部分时间并不是充分处于车辆饱和状态, 因此用横断面的车流量来反映实际通行能力会偏小; 实际情况下, 在车辆不饱和或者短缺状态, 车辆能够以更快的速度通过横断面, 换道没有旁边车辆的影响, 大型车辆的影响降低, 交通秩序混乱度很低, 因此实际通行能力会上升;

在16:47:50~16:49:37(318s~425s)开始发生第二次排队事故, 由于此次上游车流量并不是特别大, 而且没有大型车辆出现, 因此车辆排队长度较小, 疏散速度也较快, 所以实际通行能力会比上一时间段的统计结果要高;

在16:49:37~16:50:42(425s~490s)内, 和上一时间段类似, 车辆进行周期性补充, 能够较好的满足“最大小时车流量”的要求, 且无大车出现, 交通混乱度低, 实际通行能力较平稳且有上升;

16:50:42~16:51:42(490s~550s)时间段为第三次排队事故时间段, 在一开始事故横断面交通比较混乱, 同时总体车流量明显增加, 小区路口处的车流量也有增加, 这共同造成了实际通行能力的降低。

16:51:44~16:52:44(552s~612s)期间, 在前一个时间段内由于车流量得到了一部分缓解, 车辆混乱度降低, 因此实际通行能力有所上升。

在第五次排队事故(16:52:46~16:53:46, 614s~674s)中, 由于大型车辆到达路口, 对交通阻塞作用增加, 实际通行能力降低, 随后大型车辆通过, 小型车辆陆续通过, 实际通行能力维持不变。

在第六次排队事故中(16:54:03~16:55:43, 691s~791s)中, 和上一阶段一样, 虽然排队车辆较多, 但是事故横断面处交通秩序正常, 小型车辆有序通过, 因此实际通行能力保持稳定。

在随后的时间段内, 由于视频不断发生跳跃, 因此无法真实描述出实际统计能力的变化。

2.2 问题二模型的建立与解答

2.2.1 问题分析与模型建立

通过问题一中的分析, 我们可以得出结论: 之所以占用车道不同会导致实际通行能力的不同, 是因为“车道”作为一个车辆的承载体, 具有如下特征——车道上车流量的大小, 车速的大小, 该车道车辆的排队长度, 不同车种类在该车道的分配等。而上述特征, 均会影响横断面的实际通行能力。

针对本题中车道被占用导致车辆排队而形成的交通阻塞的情况, 我们决定使用排队论模型来进行问题二的初步探索。

问题二属于单服务台多列排队模型, 我们将各车道上的车辆看作“顾客”, 事故横截面未被占用的车道看作“服务台”, 视频1 中内车道与中车道被占用, 服务台为外车道, 视频2中外车道与中车道被占用, 服务台为内车道。排队规则为“等待制”, 即当顾客到达时, 所有的服务台均被占用, 顾客就排队等待, 直到接受完服务才离去。来自于外、中、内三个车道的车辆分别形成队列1、队列2、队列3, 记为 r_i ($i=1,2,3$)



Figure 2: 服务时间示意图

- (1) 服务时间由于汽车换道的影响，如图2所示，在视频1中，队列2和队列3的车辆分别需要通过一次或两次换道才能换到外车道上，才能通过事故横断面，换言之，在无需等待的情况下，不同队列的车辆通过事故横断面所用的时间是不同的。由此我们可以给出视频1的服务时间的定义公式：

$$t_{service} = t_{pass} + (i - 1)t_{change}$$

式中， $t_{service}$ 表示服务时间， t_{pass} 表示车辆通过事故横断面所用的时间， t_{change} 表示车辆换道所用时间， i 表示队列编号。类比上式，我们可以给出视频2的服务时间的定义公式：

$$t_{service} = t_{pass} + (3 - i)t_{change}$$

- (2) 服务规则首先我们结合最高响应比优先（HRRN）调度策略，给出了动态优先级计算公式：

$$\text{优先级} = \frac{\text{等待时间} + \text{服务时间}}{\text{服务时间}}$$

由于服务时间做分母，所以较短的进程将被优先照顾；又由于等待时间在分子中出现，所以等待时间较长的进程也会得到合理的对待，从而防止了无限延期的情况出现。

应用于城市交通阻塞排队模型中，每辆车谁先能通过事故横断面，不仅取决于该车所处的车道（车道不同服务时间不同）有关系，还取决于该车的等待时间。根据统计，从事故发生到撤离时间段内，90%的时间都有排队现象（没有排队现象的时间在问题一中已得到了修正），所以我们可以认为，大多数情况下，同一时刻排队的所有车辆中，某车辆的等待时间越长，它就越靠近事故横断面。最终的优先级计算公式为

$$R = 1 + \frac{t_w^{i,j}}{t_{service}^i}$$

式中， R 为某车辆的优先级， $t_{service}^i$ 为队列 i 对应的服务时间， $t_w^{i,j}$ 为队列 i 的第 j 辆车在某时刻的等待时间。

我们以视频1、视频2中统计出的实际上游车流量为基础数据，通过MATLAB编程求解，得到了事故横断面车流量、各车道排队长度等数据。后根据问题一中对实际通行能力的定义，以30s为一个时间段，求出了两视频从事故开始到结束的实际通行能力随时间的变化。

2.2.2 数据分析与说明

首先我们运用SPSS软件对两起事故中横断面的实际通行能力进行了显著性检验。由于前后两次事故的样本是没有关联的，我们选择了独立样本T检验来进行数据的显著性检验。

我们假设“视频1与2中事故横断面处的实际通行能力不存在显著性差异。”运用SPSS进行显著性检验后得到Sig.(2-tailed)<0.05, 拒绝原假设, 即二者存在着显著差异。并且视频2中实际通行能力均值明显高于视频1。

之后我们将两视频的实际通行能力结合模型求解得到的其它几个数据进行了对比分析, 得出了以下结论。

- (1) 视频2中事故横断面实际通行能力显著高于视频1中的事故横断面实际通行能力;
- (2) 视频1中的车辆排队长度明显长于视频2中的车辆排队长度。

原因分析如下:

- (1) 根据问题一所得结论, 中车道与内车道的车流量占到全部车流量的90%, 视频1中的中车道与内车道被占用导致90%的车辆都要通过一次或两次换道才能通过事故横断面, 其中需要两次换道的车辆占到总数的35%, 除去换道所用的时间外, 由此造成的车辆减速和换道的等待也增加了车辆通过所需要的总时间。

结合我们在问题二中构建的排队论模型, 这种现象大幅度地增加了车辆的服务时间和等待时间, 从而导致了实际通行能力的低下。在视频2中, 外车道与中车道被占用, 这两个车道的车流量共占全部车流量的65%, 远小于视频1的90%, 其中需要两次换道的车辆仅占总数的9.34%。

综上, 不同车道车流量的差别是导致视频1事故横断面实际通行能力远低于视频2的主要原因。

- (2) 除去车流量外, 不同车道车辆的类型也是导致两视频实际通行能力显著差异的原因之一。根据问题一中的统计结果, 81.25%的大型车来自于中车道, 18.75%的大型车来自于内车道, 当仅外车道可以通行(视频1)的时候, 几乎所有的大型车都需要一或两次的换道, 而由于大型车的庞大的体积, 当其换道时会大大增加其后小型车的等待时间。而内车道可以通行(视频2)时, 位于内车道的大型车可以以较高的速度通过事故横断面, 对小型车的影响相对较小。
- (3) 不同车道行车速度的不同也存在较大的影响。通过对两个视频进行观察分析可以发现, 由于行人、非机动车辆等影响, 外车道的行车速度远远小于中车道与内车道, 内车道又快于中车道。因此, 视频1中的情况, 中车道与内车道高速行驶的车辆接近事故横断面时不得不大幅度减速来换道和通行, 而视频2中内车道的车辆则不存在这个问题, 由于内车道整体行车速度的影响, 中车道车辆的减速幅度也小于视频1中车辆的减速幅度。

2.3 问题三模型的建立与求解

在问题二对城市交通阻塞问题的初步探索中, 我们从单服务台多列的排队论模型出发来分析真实的情况, 并取得了良好的效果。但该模型仍然存在比较多的漏洞和局限性, 主要表现在以下几个方面:

- (1) 排队论模型中车辆的速度无法定义, 只能认为所有车辆的速度是相同的, 因此, 也无法定义车辆的加减速机制。
- (2) 排队论模型对现实中复杂的换道、等待机制无法进行完备的仿真与模拟。

(3) 排队论无法考虑路段下游的方向需求。

基于上述原因，我们需要寻找一种能够对复杂的现实状况进行仿真的离散化的模型来对问题进行更细致更深入的探索。而元胞自动机正是这种用简单的规则控制相互作用的元胞来模拟复杂世界的离散动力学系统。

2.3.1 模型综述

模型的核心在于，将车流的运动看成离散的现象。虽然稳定的车流可以较好地由已知的公式来描述，但是在车道被占用的情况下，交通状况并不能被简单地计算出来。车距、车速、转向、四轮及以上机动车的类型和司机的反应时间等都应该应用到模型中，才能使模型对真实情况有较好的还原度。而我们将每辆车看成是独立的元胞来模拟便可以较好地解决事故现场的随机性，而这也是其优于传统公式计算模型之处。

2.3.2 模型的准备

(1) 事故路段平面的矩阵化

在这个元胞自动机模型中，我们设置了一个 $m \times n (120 \times 5)$ 的主矩阵 M 代表事故发生路段，其中：

$m=120$ 表示路段长所包含的元胞个数：每个元胞的长代表实际的4米，路段总长480m，故需要120个元胞；

$n=5$ 表示路段宽所包含的元胞个数：三条车道+两条车道边界；

矩阵中每点就是一个元胞，每点的数值代表当前元胞的状态。事故路段中有三种元胞：我们用1表示被车辆占用的元胞；用0表示空元胞；-1表示不可进入的元胞，包括道路边界、事故汽车堵住的路段。初始化的矩阵如下图所示：

$$M = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 & -1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ -1 & 0 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & 0 & -1 & -1 & -1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ -1 & 0 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix}$$

两侧路段的-1表示道路边界，中间路段中的-1表示事故汽车堵塞位置。用matlab可视化后如下图：白色表示空车道，黑色表示不可通行的区域。

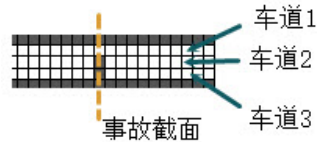


Figure 3: 元胞自动机道路设置示意图

(2) 车辆类别车辆类别分为小轿车和公交车。小轿车占一个元胞，公交车纵向占两个元胞。

(3) 车流量的分配模型1) 汽车的到达情况从视频中取得

对于问题三，我们从视频一中搜集数据，包括上游路段出现车辆的时间、类型及车道，部分数据如下所示： 车辆出现时，矩阵变化公式设定为：

Table 3: 不同车型到来情况

时间(hh:mm:ss)	车辆类型type	车道L
16:42:34	小轿车	3
16:42:36	公交车	2
16:42:37	小轿车	3
16:42:37	公交车	2
16:42:46	小轿车	3

小汽车: $M_{t=arrival}(1, L) = 1$

公交车: $\begin{cases} M_{t=arrival}(1, L) = 1 \\ M_{t=arrival}(2, L) = 1 \end{cases}$

在T=16:42:46时，可视化矩阵为：

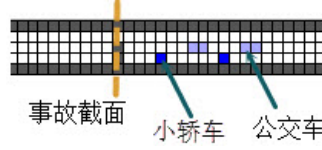


Figure 4: 元胞自动机的车辆模型

2)预测车流量变化后汽车的到达

a. 运用傅里叶变换估计视频1中的车流量：

从视频中我们统计出事故发生后信号灯第一次变绿后每10秒通过的汽车数量 $count_{10s}$ ，由于视频中时间会有跳变，为保证数据的准确性，我们采用 $tt < 400$ 时的数据，并将其平均化得到每秒车流量：

部分数据如下： 为了得到1小时的车流量，我们用傅里叶变换拟合车流量(pcu/s)-时间变化，这样便可以预测到 $tt > 400s$ 的数据：

运用傅里叶变换：

$$F(t) = a_0 + \sum_{i=1}^8 a_i \cos(it\omega) + b_i \sin(it\omega)$$

其中 $\omega = \frac{2\pi}{24} = 0.2513$

傅里叶拟合结果如下： 可见，拟合效果很好。

Table 4: 每秒车流量

tt(s)	通过汽车数量	每秒车流量(pcu/s)
1-10	2	0.2
10-20	4	0.4
20-30	5	0.5
30-40	3	0.3
40-50	0	0
50-60	0	0
60-70	1	0.1

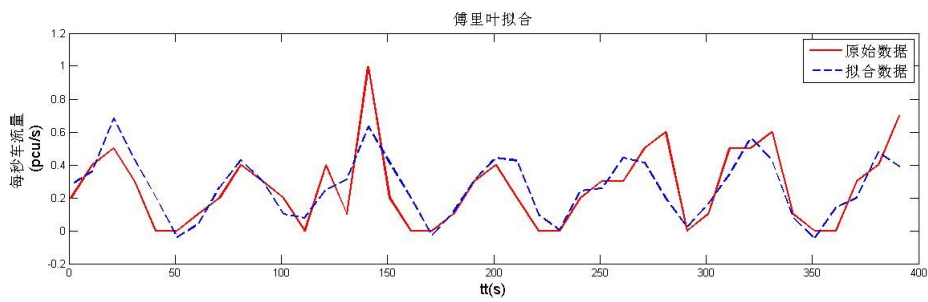


Figure 5: 傅里叶拟合效果

运用傅里叶拟合出的函数得到视频一中路段上游车流量(pcu/h):

$$flux = \int_0^{3600} F(tt)dt$$

计算得 $flux = 1014pcu/h$

b. 分析车流量已知时车辆到达时间及车道

问题给出车流量 $flux' = 1014pcu/h$ 与视频一车流量相比较, 计算出相对车流量比率

$$rate = \frac{flux}{flux'} = 0.6761$$

由视频一傅里叶变换得到的函数生成新的车流量(pcu/s)-时间变化函数:

$$F'(t) = rate \times F(t)$$

由该函数即可得到每十秒内上游路段通过的车辆数 $count_{10s}$, 通过随机数产生这些车辆在这十秒内到达的时间, 再由附件三中的流量比例得到 $p_1 = 21\%, p_2 = 44\%, p_3 = 35\%$, 由此概率分配车流量。

(4) 车辆行进规则1)基本前进规则和换道规则

以速度cell/s 时为例,

前进规则：如果 t 时刻第 i 位置状态是车，且 $i+1$ 位置为空，则 $t+1$ 时刻 i 位置变为空， $i+1$ 位置变为车。

换道规则：如果 t 时刻第 i 位置和 $i+1$ 位置状态都为车，则 i 位置的车尝试换道，向左和向右换的几率相等。

2)速度设定

根据视频1中可得，道路通畅状态下，车辆行驶过240m平均需要大约22s，因此

$$v_{init} = 2\text{cell}/s = 8\text{m}/s, v_{\max} = 3\text{cell}/s = 12\text{m}/s$$

进阶前进规则

找到当前汽车元胞 i 与它之前最近障碍物中间相隔的元胞个数 gap_i

a.加速规则

当前时刻任一车辆，即对于 $M(x, y)=1$ 这一元胞，当 $gap_i > v_{now} \cdot t_p$ 时，也即前方道路非常通畅，根据实际经验，司机此时倾向于加速，于是生成0-1间的随机数如果小于 $p_{ac}=0.8$ ，则

$$v_{next} = \min(v_{now} + 1, v_{\max})$$

b.防止碰撞减速

当前时刻任一车辆，即对于 $M(x, y)=1$ 这一元胞，当 $gap_i < v_{now} \cdot t_p$ 时，为避免碰撞，令，而减速度也不应过大，则

$$v_{next} = gap_i - 1$$

c.随机减速

司机常常有可能因为非交通因素减速，这也会对交通状况产生一定影响，但相对防止碰撞而言，随机减速的可能性较小，令 $p_{rd} = 0.3$

$$v_{next} = v_{next} - 1$$

3)进阶换道规则

根据视频，拥挤时车辆换道往往需要一定的时间延迟，所以我们规定在拥挤状态下车辆换道的时间延长。

2.3.3 模型仿真

(a) 行驶过程

对于每辆车而言，其行驶过程可分为上游段行驶、穿过事故横截面、下游段行驶。每段由路况不同，有不同的速度变化。

(b) 视频1的仿真我们利用视频1的车流量，运行仿真程序，得到最拥堵时的交通状况如图6所示。队伍长31个元胞，即 $31\text{cell} \times 4\text{m}/\text{cell} = 124\text{m}$ 时间在16: 52: 52，其余类似即可推导出排队长度。

(c) 仿真结果与视频1结果的比较：

我们统计出视频1中队伍最长的七个时间点由表5给出 将这些时间点带入到元胞自动机模型中，得到如下结果，如表6

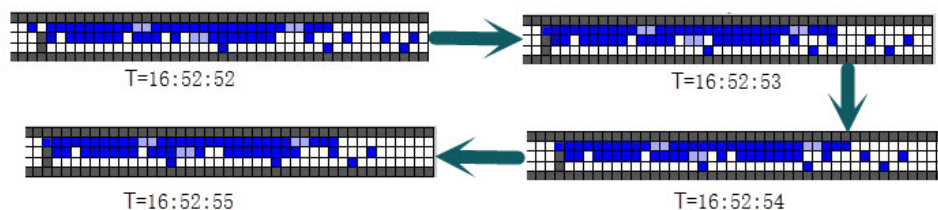


Figure 6: 最拥堵时交通情况

Table 5: 7个时间点

T	16:42:46	16:48:42	16:50:42	16:51:42	16:52:34	16:53:46	16:54:23
tt	14	370	490	550	602	674	711

Table 6: 仿真结果对比

时刻	374	497	559	604	669
模型中排队长度(m)	88	102	114	122	150
视频中排队长度(m)	93	120	120	126	124

运用SPSS软件进行显著性分析，得 $p=0.20$ ，接受原假设，两组数据不存在显著性差异，证明元胞自动机模型可行。

2.4 问题三模型的建立与求解

我们主要运用问题三构建的元胞自动机的模型对问题四的情形进行模拟和预测。

我们将横断面与上游路口间的元胞个数设为35，从而把横断面至上游路口距离更改为140m，汽车到达时间及车道如前文所述。

下图为第一次仿真过程中，车辆排队长度将到达上游路口时的情况：此时， $tt=400s$ ，既



Figure 7: 排队队伍到达上游路口

经过6min36s后，车辆排队长度到达上游路口。由于仿真过程具有一定的随机性，为保证结果的准确，我们多次测量取平均值，得到如下数据：

$$\overline{tt_{\text{到达上游路口}}} = 391s = 6 \text{ min } 30s$$

$$5.5 \text{ min} < tt_{\text{到达上游路口}} < 7.5 \text{ min}$$

Table 7: 模型运行结果

仿真次数	1	2	3	4	5	6	7
时间	400	376	409	401	348	394	410

综上，车辆排队长度将到达上游路口的时间范围在5.5min到7.5min之间。

3 模型的科学性分析

本文针对题目，做出了对于实际通行能力的定义，避免了单纯从视频中测量所带来的误差；通过对实际路段的各种车辆运行情况进行贴切和较为精确地建模，能够较好地模拟事故发生路段的元胞自动机模型，并巧妙利用SPSS软件，通过与视频统计数据的反复检验保证了各模型的准确性和科学性。

参考文献：

- [1] 赵寿根. 事故地点对交通波的影响研究. 物理学报, 2009, 58 (11) : 7497-05.
Zhao S G. Effect of the position of accident on traffic waves. ACTA PHYSICA SINICA, 2009, 58 (11) : 7497-05.
- [2] 卓金武. MATLAB在数学建模中的应用. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2011.
- [3] 田乃硕等. 离散时间排队论. 北京: 科学出版社, 2008.
- [4] 雷功炎. 数学模型讲义. 北京: 北京大学出版社, 2004.
- [5] 姜启源, 谢金星, 叶俊. 数学模型. 第三版. 北京: 高等教育出版社, 2003.
- [6] 苏金明, 阮沈勇. MATLAB实用教程. 北京: 电子工业出版社, 2008.
- [7] 李雪, 胡丁晟, 徐铎. 眼科病床安排模型的评价及改进. 数学建模竞赛一等奖, 2009.

Effect of Lane Occupation on Urban Road Capacity

Zhou Chen-Yang¹ Zhou Deng-Yue¹ Kong Chui-Ye² Jin Hai³

1.School of Mechanical Engineering

2.School of School Information and Electronics

3.School of School of Mathematics

Beijing Institute of Technology, Beijing, China, 100081

Abstract: A method of analyzing and predicting the effect of lane occupation on urban road capacity is presented. Based on data collected from the two provided videos, we propose a complete model concerning with queuing theory, multiple regression and cellular automaton. In view of maximum road capacity, a quantitative description of accident cross-section traffic condition considering various factors and flexible data handling is set up. Then, according to video 2, using the theory of single server multi-column queuing model, the different impact of different lane occupation is specified. In accord with statistics of the queue length, upstream traffic flow, accident duration, maximum road capacity extracted from the six accidents in videos, we use a cellular automation model of traffic flow, in which the rate of distribution of traffic flow, as well as the type and velocity of vehicles are exactly set based on the video data. SPSS software is used to check the validity of the model. Applying the model on problem 4, the queue would reach the upstream intersection in an estimated time of 5.5~7.5min.

Keywords: Statisticis Queuing theory Celluar Automation Model Validation