

自行车 CA 模型的元胞长度动态修正

邓建华

(苏州科技学院土木工程学院, 江苏 苏州 215011)

摘 要: 采用固定元胞单元尺寸建立自行车流元胞自动机(CA)模型会产生仿真偏差。为此, 提出一种基于现场视频检测数据的元胞尺寸标定方法。通过统计分析车头间距、横向间距与车速的关系, 设计一个动态修正元胞长度的函数。对比修正前后模型演化获得的宏观三参数值, 可以发现, 修正函数能较好地描述跟车距离与车速的动态关系, 克服模型因采用定长度元胞单元而造成的面积密度与流率偏差。

关键词: 自行车流; 宏观特性; 元胞自动机; K-means 聚类; 元胞尺寸标定; 动态修正函数

Cellular Length Dynamical Amending of Bicycle CA Model

DENG Jian-hua

(College of Civil Engineering, Suzhou University of Science and Technology, Suzhou 215011, China)

【Abstract】 Aiming at correcting the deviation by simulating a bicycle Cellular Automata(CA) model with fix cellular size, a calibration process of the cellular size based on field video detecting data is elaborated here. And by analyzing the relationship of headspace, horizontal space with speed, it puts forward a function of dynamical amending cellular length. Through the comparison of the three macro parameters obtained from the model by corrected or not, it shows that this method can effectively express the relationship following distance with speed, overcome the inappropriate area density and flow rates value with the fixed cellular length.

【Key words】 bicycle flow; macroscopic property; Cellular Automata(CA); K-means clustering; cellular size calibration; dynamical amending function

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3428.2012.03.083

1 概述

元胞自动机理论对描述非线性复杂系统具有算法实现简单、并行运算快速等特点。虽然对车流某些微观特征的物理含义表述得不是非常清晰, 但该理论已广泛地被用于对机动车流的仿真建模^[1-2], 并取得不少实用成果, 近年来, 自行车元胞自动机模型也得到一定的发展^[3-4]。由于从实地获取自行车流的微观特性数据比较困难, 国内外相关现有模型大多侧重于对模型更新规则的改进, 一般简单地采用车辆外形尺寸或估计一个安全距离来确定单位元胞长度, 通过现场自行车骑行轨迹数据进行模型参数标定自行车元胞尺寸的深入研究较少, 有个别机动车元胞模型采用修正更新规则来考虑跟车效应影响, 但因算法复杂而影响仿真速度^[5]。本文以现有自行车元胞自动机模型建模方法为基础, 重点阐述了单位元胞尺寸标定方法与过程, 提出单位元胞尺寸动态修正的方法, 能直接用来修正交通流的面积密度, 从而改变了自行车交通流率及理论通行能力值。

2 现场自行车流视频检测

2.1 视频检测方法简介

不考虑行人及机动车的干扰, 选取有机非分隔带的城市干路两侧非机动车道上的自行车流作为检测对象。具体方法是: 同一个检测点架设 2 台摄像机同时拍摄, 保证纵向视野要覆盖约 100 m 的范围; 2 台摄像机视野有部分重合, 保证在处理数据空间上能搭接, 并保证有一定架设高度, 一般应在 6 m 以上。另外, 为了检测到足够跟驰过程, 还应注意选择的路段流量不能太小; 最好选择光照充足、图像背景干净的地段进行检测, 以减少视频判读误差。

从现场获得视频, 首先需要分帧处理成连续序列图像,

因自行车速度比较慢, 在满足精度要求情况下把 1 s 的视频转换成 5 帧(0.2 s/帧); 其次还要将图片上自行车特征像素点坐标值转换为路面上或自行车测量参照点的坐标值, 建立坐标转换函数^[6]; 最后计算出相应自行车对象的瞬时速度、车头间距及超车并行时横向间距等实测数据。

2.2 视频图像序列数据筛选与分析

2.2.1 跟车车头间距

在自行车元胞自动机模型中, 元胞单元长度一般采用平均车身长度加上一定值的防撞安全距离构成, 而根据跟驰理论, 实际上该防撞安全距离是一个变值, 其大小一般与前后相邻车辆的车速有关^[7]。这里致力于从标定跟驰模型出发来获取跟车车头间距的变化规律。

为保证足够跟驰样本数, 本文选取了约 16 h 长的 2 段视频, 然后根据实际检测情况提出了样本初步筛选原则, 满足以下 6 种现象的样本初步定性为跟驰事件:

(1)多辆头车并排行驶, 无足够横向空间来完成超车的。

(2)后车并排行驶且距离较近、速度值相近, 横向没有条件超车的。

(3)头车行驶不规律, 或头车载人、载货等, 使后车不敢超车的。

(4)前后车速度差不多, 无法加速超车的。

(5)在前面不远处因要转弯或停车等事宜, 没有很强的超

基金项目: 住房城乡建设部科学技术计划基金资助项目“自行车交通流检测中的视频跟踪技术”(2010-K5-17)

作者简介: 邓建华(1972—), 男, 副教授, 主研方向: 智能交通, 交通仿真

收稿日期: 2011-08-18

E-mail: trafficedjh@mail.usts.edu.cn

车欲望，后车选择跟驰的。

(6)连续超车时，完成第一次超车后会短暂适应一下环境，判断是否继续超车。

根据以上筛选原则，初步选取 125 组跟驰过程样本，见图 1，然后根据这些样本数据进行聚类分析分析，最终定量筛选出处于跟驰状态的样本。聚类分析时把跟驰事件中的车头间距分为安全间距、跟驰间距及效应间距 3 个归类^[8]，利用 SPSS(Statistical Product and Service Solutions)中的 K-means 方法对初步确定的跟驰事件做聚类分析，得出 3 个相应的聚类中心，见表 1。

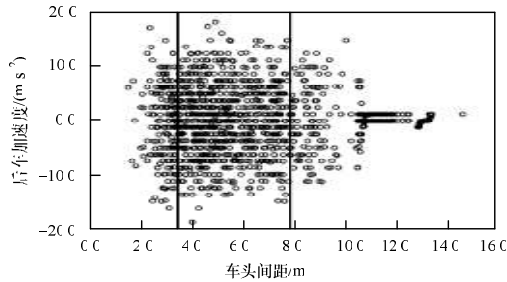


图 1 跟驰车头间距分布散点图

表 1 聚类及聚类中心值

聚类	间距/m
安全间距	3.49
跟驰间距	5.41
效应间距	7.81

根据聚类分析结果，采用归于“跟驰间距”类的样本所获取的交通流参数值，建立基于广义多元线性回归的自行车跟驰模型。后车速度、车头间距及头车与后车速度差作为协变量，建立线性的反应-刺激联结函数形式如下：

$$V_f(t+\Delta t)=0.88V_f(t)+0.09h(t)+0.43(V_l(t)-V_f(t)) \quad (1)$$

其中， $V_f(t+\Delta t)$ 为后车 $t+\Delta t$ 时刻的速度； $V_f(t)$ 为后车 t 时刻的速度； $h(t)$ 为后车 t 时刻的速度； $V_l(t)$ 为头车 t 时刻的速度。

2.2.2 车辆并行时相邻车辆间平均横向间距及平均车速

在自行车元胞自动机模型中，一般采用平均车身宽度作为元胞单元宽度，为了论述这种做法的合理性，从通过筛选的 90 组有效超车并行事件中，获取同一时刻两车辆瞬时速度与两车辆车把测点之间距离(横向间距)来进行研究，分析车辆在不同速度条件下的最小横向间距值的变化规律。通过对原始数据进行皮尔逊相关系数分析，结果见表 2：表明自行车并排行驶时的横向间距与超车速度相关性极显著。以并行两车速度为自变量、横向间距为因变量进行多元回归分析，结果见表 3。上标**表示相关性分析显著水平 $P<0.01$ ；*表示相关性分析显著水平 $P<0.05$ 。

表 2 相关性分析结果

变量	检验参数	横向距离	超车速度	被超车速度
横向距离	皮尔逊相关性	1	0.286**	0.220*
	显著性水平(P)	—	0.006	0.037
	有效样本量	90	90	90
超车速度	皮尔逊相关性	0.286**	1	0.817**
	显著性水平(P)	0.006	—	0.000
	有效样本量	90	90	90
被超车速度	皮尔逊相关性	0.220*	0.817**	1
	显著性水平(P)	0.037	0.000	—
	有效样本量	90	90	90

表 3 模型系数及检验结果

回归参数	系数	标准差	Beta 值	T 检验	显著水平
常量	0.676	0.088	—	7.678	0.000
超车速度	0.034	0.012	0.286	2.799	0.006

利用 SPSS 进行逐步回归，自变量“被超车辆速度”被排除掉，最终的回归模型为：

$$W=0.034v_{\text{超车}}+0.676 \quad (2)$$

上式说明当车辆速度为 $v_{\text{超车}}=0$ 时，横向距离为 $W=0.676\text{ m}$ ；当速度为 10 m/s 时(含电动自行车)，最大横向距离约为 1 m 。

3 元胞单元定义及长度动态修正方法

自行车元胞模型邻域一般采用修正的扩展型 Moore 方式定义，采用四方网格划分，见图 2，其元胞单元尺寸只需要确定长度与宽度。

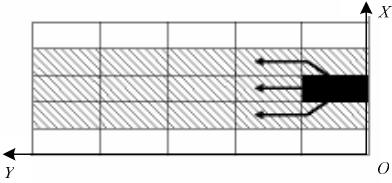


图 2 自行车元胞邻域定义

根据 Navin 等人对不同地点共用设施上的 443 个自行车样本统计研究，表明自行车速度为 $4.47\text{ m/s}\sim 6.7\text{ m/s}$ ，物理宽度为 $0.6\text{ m/s}\sim 0.75\text{ m/s}$ 、长度为 $0.75\text{ m}\sim 1.9\text{ m}$ ；经过对苏州市典型慢车道上自行车调查分析，获得自行车(含电动自行车)在无干扰情况下平均纵向最大速度为 7.6 m/s ；车把平均宽为 0.6 m ，车身长约为 $1.4\text{ m}\sim 1.9\text{ m}$ 。

理论上自行车骑行速度可以为零(不考虑车辆到达交叉口等候绿灯的情况)，但据现场调查，路段上骑行速度小于 1.2 m/s ，骑车人就需下车推行。按式(2)，骑行状态最小车辆间横向距离为 0.72 m ，略大于车把平均宽度；最大车速为 7.6 m/s ，所对应计算宽度为 0.93 m ，所以车辆骑行过程中需要最小的横向间距范围确定为 $[0.72\sim 0.93]$ 。因该值变化范围不大，为减少计算量，即取平均元胞单元宽度为定值 0.8 m ；根据前述跟车事件聚类分析所得跟车车头间距范围为 $[3.49\sim 7.81]$ ，说明当车头间距小于 7.81 m ，模型中后车更新位置会受到安全防撞距离限制。根据式(1)中车头间距与跟车车速呈线性关系，即随着车流平均车速增大或降低，元胞单元动态长度会变大和缩小。

自行车元胞自动机模型的元胞单元长度不能简单地采用固定值，不然就会导致宏观参数值产生一定偏差。为了能正确表达微观跟车间距变化对车流宏观参数值的影响，这里提出一动态元胞单元长度的线性修正公式，如下：

$$L=\left[\frac{7.81-3.49}{8-1.2}(v_k-0.017)+2\right] \quad (3)$$

其中， L 为动态元胞单元长度； v_k 为系统内车辆数为 k 时的平均车速。

4 模型演化及结论

4.1 模型演化规则及条件

多车道元胞自动机模型更新规则主要包含前进更新规则和换道规则。在元胞空间结构及状态值重定义基础上，为了准确地表达自行车运动不遵循车道随机蛇行、穿插的特性，模型中引入了随机偏移概率^[3]。因建模不是本文重点，演化的模型是基于文献[3]的方法建立的，其基本初始条件如下：

元胞单元: 事先按照平均的车辆物理尺寸设定长为 2 m、宽为 0.8 m 固定单元, 这样代表自行车在无干扰情况下纵向最大理论速度约等于 4 个元胞长。每个元胞有 $v_{\max} + 2$ 个可能状态: 如果某元胞速度属性值为 -1, 表示无车, 速度属性值为 v , 表示以一定速度运动的车, 这时 $v \in \{0, 1, 2, 3, 4\}$ 。

元胞空间: 模型不考虑机动车及行人的干扰, 元胞空间定义为横向有明确边界, 相当于有侧分带的慢车道; 不失一般性, 假定单侧非机动车道有效宽度为 3 个元胞 $\times 0.8 = 2.4$ m, 长度取 2 000 个元胞 $\times 2.0 = 4$ 000 m, 单向行驶。

为了测得不同密度下稳定的流率、平均车速, 模型采用周期性边界; 单位仿真时钟为 1 s, 总运算 10 000 s, 并获得最后 1 000 s 平均的交通流参数值, 见图 3 和图 4 的修正前曲线。

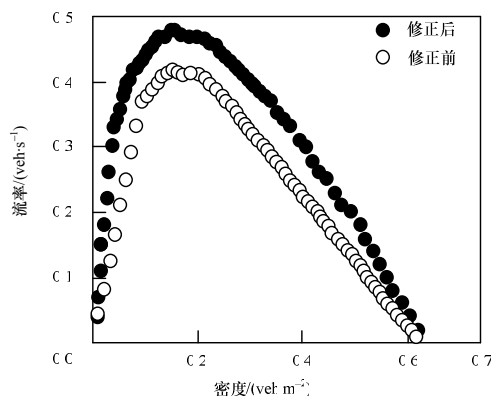


图 3 密度-流率曲线

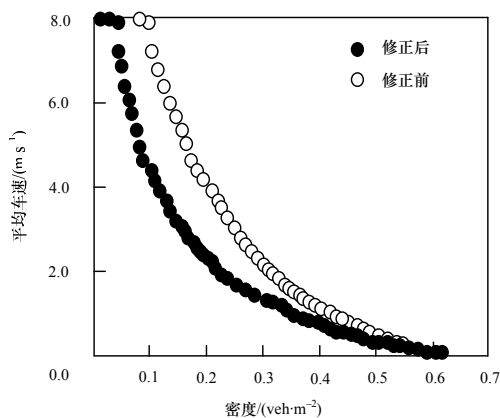


图 4 密度-平均车速曲线

4.2 动态修正

把系统内某时刻平均车速代入式(3), 可以获得相应的修正元胞长度值, 并用该值来修正面积密度和流率, 见图 3 和图 4 的修正后曲线。

从图 3 和图 4 中可以看出, 当密度较小时, 车速接近最大车速处于突变点之前, 修正值很小; 当密度接近最大值时, 速度接近零这时修正值也慢慢趋向 0, 这种规律反应车辆处于跟驰间距范围内, 车速较大时修正值会比较大, 与前述分析基本吻合。

5 结束语

以分析自行车视频检测所得数据为依据, 本文针对自行车跟驰安全距离是一个与骑行速度有关的不断变化的值, 提出了在自行车 CA 模型中使用动态可变单元长度代替固定元胞长度的方法, 并把它用于修正宏观参数。该方法能很好地反映车流微观跟驰效应对宏观特性的影响, 有一定的推广价值。

参考文献

- [1] Nagel K, Schreckenberg M. A Cellular Automata Model for Traffic Flow[J]. Journal De Physique, 1992, 2(12): 2221-2229.
- [2] 周子力, 王新伟, 王艳娜. 基于元胞自动机的城市交通仿真系统[J]. 计算机工程, 2005, 31(13): 183-185.
- [3] 张晋, 王慧, 李平. 基于元胞自动机(CA)的自行车流建模及仿真[J]. 公路交通科技, 2006, 23(1): 125-129.
- [4] 邓建华, 朱从坤. 基于元胞自动机的自行车流模型[J]. 计算机仿真, 2010, 27(12): 316-319.
- [5] Jia Bin, Li Xingang, Jiang Rui, et al. Multi-value Cellular Automata Model for Mixed Bicycle Flow[J]. The European Physical Journal B, 2007, 56(3): 247-252.
- [6] 赵熠, 邵春福, 岳昊, 等. 基于视频图像处理的行人和非机动车数据采集技术[J]. 北京交通大学学报, 2007, 31(6): 10-14.
- [7] Raksuntorn W, Khan S. Behavior of Bicyclists in Following[C]// Proc. of the 85th Annual Meeting on Transportation Research Board. Washington D. C., USA: [s. n.], 2006: 1-18.
- [8] 邓建华, 常高杰. 基于视频检测的自行车流跟驰特性研究[J]. 交通科技与经济, 2010, 12(5): 43-45.

编辑 任吉慧

(上接第 242 页)

参考文献

- [1] 黎洪生, 刘苏敏, 胡冰, 等. 基于无线通信网络的智能路灯节能系统[J]. 计算机工程, 2009, 35(14): 190-191, 214.
- [2] 胡开明, 李跃忠, 卢伟华. 智能路灯节能控制器的设计与实现[J]. 现代电子技术, 2009, 32(9): 143-145.
- [3] 王宜怀, 陈建明, 蒋银珍, 等. 基于 32 位 ColdFire 构建嵌入式系统[M]. 北京: 电子工业出版社, 2009.
- [4] Freescale Semiconductor, Inc.. MCF52223RMRev.3[EB/OL]. (2001-04-22). http://cache.freescale.com/files/32bit/doc/ref_manual/MCF52223RM.pdf?fsrch=1&sr=4.
- [5] Freescale Semiconductor, Inc.. MC1321xRMRev.1.3[EB/OL].

(2008-03-01). http://cache.freescale.com/files/rf_if/doc/ref_manual/MC1321xRM.pdf?fsrch=1&sr=12.

- [6] 王皓, 杨建旭, 何鸣, 等. 基于 Web 的继电保护故障信息实时发布软件的设计及实现[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(11): 95-98.
- [7] 谭力, 杨宗源, 谢瑾奎. Ajax 技术的数据响应优化[J]. 计算机工程, 2010, 36(7): 52-54.
- [8] Robert H, Jared S. Web Anatomy: Interaction Design Frameworks that Work[M]. [S. l.]: Pearson Education, Inc., 2010.

编辑 陆燕菲

