

# 基于元胞自动机的中尺度交通模拟 ——以徐州市为例

杨奎奇<sup>1</sup>, 赵青<sup>1</sup>, 汪应宏<sup>2</sup>

(1. 徐州师范大学 城市与环境学院, 江苏 徐州 221116;

2. 中国矿业大学 环测学院, 江苏 徐州 221008)

**摘要:**元胞自动机应用于微观交通系统分析已经相对成熟, 但将元胞自动机与城市整体范围内交通系统结合进行分析还少有研究。从中尺度上利用元胞自动机思想在城市整体范围内对交通流模拟进行探讨, 从而希望为城市交通流的模拟分析提供一个新的研究思路。该研究通过分析对交通量产生影响的土地单元利用属性提出了车辆生成灭失模型, 并列举阐述了模型的相关属性。然后建立了车辆引力度模型确定车辆的行驶路线, 以及详细提出和建立了车辆行驶模型等。最后利用基于以上模型编制的程序系统模拟徐州市主要道路交通流状况, 在模拟城市交通流的同时对模型系统模拟的真实性进行了分析。

**关键词:**交通流模拟; 元胞自动机; 交通流模型; 城市交通流; 土地利用

**中图分类号:** TU984

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1673-629X(2011)02-0219-04

## Middle-Sized Dimension Traffic Flow Simulation Based on CA ——Taking Xuzhou City for Instance

YANG Kui-qi<sup>1</sup>, ZHAO Qing<sup>1</sup>, WANG Ying-hong<sup>2</sup>

(1. Urban and Environment College, Xuzhou Normal University, Xuzhou 221116, China;

2. School of Environment Science and Spatial Informatics,

China University of Mining and Technology, Xuzhou 221008, China)

**Abstract:** CA model adopted in traffic flow simulating research has rather mature, but in the middle-sized dimension traffic researching area is rarely found. Anticipate to put forward some useful ways in middle-sized dimensional traffic flow simulation. It established a traffic vehicle creating and eliminating model by land-use characters first, then established a traffic gravitation model and a vehicle movement model utilizing CA theory. At last, the computer software was programmed based on above models to simulate the traffic flow of Xuzhou city. Further more, this computer simulating system was analyzed.

**Key words:** traffic flow simulating; CA; traffic flow model; urban traffic flow; land utilizing

## 0 引言

传统的交通模拟多采用线性等数学模型进行分析, 早期为交通的模拟研究做出了有力推动。如流体力学模型<sup>[1]</sup>、气体动力学模型、跟驰模型<sup>[2,3]</sup>、Gipps Model<sup>[4]</sup>等。但交通系统中各个实体的简单行为规则和相互作用而体现出的一种整体上的、综合性的复杂行为, 是各种个体微观随机行为的宏观表现, 任何运用传统数学模型的方法来进行模拟是难以奏效的。因

此, 传统的数学建模的方法进行微观交通流模拟存在其固有的不足。然而元胞自动机却在交通模拟上具有许多特别的优点, 它是一种新型动力学系统, 具有时间和状态上的离散性, 并按照一定局部规则在离散的时间维上演化。

## 1 元胞自动机模型

元胞自动机(Cellular Automata, 简称 CA)最早在20世纪50年代由 Von Neumann 提出, 主要用于模拟生命系统所具有的自复制功能。CA是一个在时间和空间上都离散的动力系统, 散布在规则格网(Lattice Grid)中的每一个元胞(Cell)取有限的离散状态, 遵循同样的作用规则, 依据确定的局部规则作同步更新, 大量元胞通过简单的相互作用而构成动态系统的演化。

收稿日期: 2010-06-22; 修回日期: 2010-09-26

基金项目: 徐州师范大学科研基金项目(08XLB11)

作者简介: 杨奎奇(1975-), 男, 河南漯河人, 博士生, 讲师, 研究方向为地理信息系统、土地管理与评估; 汪应宏, 博士, 教授, 研究方向为资源评价与地理信息系统。

同一般的动力学模型不一样,元胞自动机不是由严格定义的物理方程或函数确定,而是由一系列模型构造的规则构成,是一类模型的总称。它的数学模型特点是:时间、空间、状态都离散,每个变量只取有限多个状态,且其状态改变的规则在时间和空间上都是局部的。因此能十分方便地复制出复杂的现象或动态演化过程中的吸引力、自组织和混沌现象。

元胞自动机模型作为非线性复杂系统的一种有效工具,在交通流的研究中得到了广泛的应用<sup>[5]</sup>。元胞自动机应用到交通领域最早由 Cremer 进行研究<sup>[6]</sup>。CA 模型虽然在微观上规则简单、不太真实,然而从统计物理学的角度看,可以更好地再现系统的宏观特性,用来揭示系统的本质规律。另外,CA 时间、空间、状态变量均离散,元胞状态并行局部更新,适合计算机实现,能够实现大规模路网的快速计算<sup>[7]</sup>。当前元胞自动机应用到交通流的模拟的主要模型有:确定性 CA (Deterministic Traffic CA) 交通模型<sup>[8]</sup>、NaSch 模型<sup>[9]</sup>、BML 网络模型<sup>[10]</sup>、CS 网络模型等。但从城市整体范围内的中尺度来看,以上元胞自动机模型应用到交通流的模拟分析上还有一定的局限性,因为它们多侧重模拟表现局部道路和某个瞬间状态。

## 2 中尺度交通模拟相关模型的建立

现在普遍研究的模型还多集中在微观尺度,因此中尺度交通模拟必须有相应的数学模型作为基础。在中尺度范围内,需建立车辆的生成灭失模型、车辆行使路线的引力度模型和车辆运动模型。

### 2.1 行驶车辆的生成与灭失模型

对交通流进行模拟与分析,首先第一步即要有车辆的生成与灭失模型。在采用元胞自动机模型的思想下,以离散的元胞表示车辆。这类车辆类似生物的细胞,它具有一定的判断能力,这里以填充为黑色的正方形方块表示。车辆生成后,通过计算知道驶往的目的地,通过最优运算选择合理的行驶路径,并且不停地检测路况做出行进判断,直到终点消亡。

行驶车辆的生成与灭失需要有相应的模型-车辆生成器。车辆生成器的建立可以有很多种方法。其中,有两种方法常被采用。第一种,根据居住区或工作区人口的人均发生的交通量推算;第二种,用土地区块的不同土地类型和大小发生的交通量推算。第一种方法数据获取具有一定的困难性,此外,又由于居住、产业与学校的空间布局,在很大程度上决定了交通需求的总量特性、空间分布特性,在此采用第二种方法<sup>[11]</sup>。在这里以具有一定面积和土地类型的土地单元作为车辆生成器。车辆生成器所产生的交通流量由两部分构成:一是内部产生的交通流量,二是外部产生的流量。

由于是考虑中尺度范围,所以只考虑第二种情况。在土地类型划分上,国标《城市用地分类与规划建设标准》将城市土地类型分为十大类。出于简化系统,提高程序运行效率的需要,将土地类型简化抽象为四种:商业、公用事业、住宅、工业。在分类的基础上再分为若干等级来表示车辆生成的多少。商业依据繁华程度分为三个等级,公用事业分为三个等级,住宅分为四个等级,工业不分级,见表 1。

表 1 车辆产生等级表

分类等级	商业	公用事业	住宅	工业
一级	中心繁华地段	火车站、长途车站等	中心区高档社区	
二级	繁华地段	医院、学校、影剧院等	中高档小区	
三级	次级中心	政府机构	一般小区	
四级			城中村	

每一个车辆生成器有多种属性,比如:

1) 面积属性。面积的大小一定程度上决定产生车辆的多少。

2) 车辆生成密度属性。一定的单位时间内车辆生成器产生的车辆数量。

3) 时间属性。车辆生成器产生或吸引车辆的多少并不是一成不变的,很多车辆生成器产生或吸引车辆的多少会随着时间的产生明显变化。例如中小学校在早晨入学时会体现出大量的车辆吸引能力,下午下课时体现出强大的车辆生成能力,其它时间段很少。

4) 车辆生成与吸引能力属性。车辆生成器仅仅具有车辆的生成与灭失能力还不够,必须为这种能力加上一个度,并且要便于用数学方式表示。因为交通流的产生并不是随意性的,很多车辆生成器之间都很少会有交通需求,例如医院之间、影剧院之间和中小学之间等。因此需要有体现生成与吸引能力大小的属性来解决。车辆的产生能力,用一个正整数表示,数越大表示生成车辆的能力越强;吸引能力表示吸收车辆的能力的大小,用一个负整数表示,数越小表示吸引车辆的能力越强。很多车辆生成器生成与吸引车辆的能力随时间变化的特性体现的较为显著,例如中小学校在早晨入学时会体现出大量的车辆吸引能力,应赋予绝对值较大的负数,下午下课时体现出强大的车辆生成能力,应赋予值较大的正数,其它时间段属性值应较小。火车站任何时间段生成与吸引能力都比较显著,应赋予较大的属性值。

### 2.2 车辆引力度模型

城市内部交通流的产生具有一定的空间分布特性,车辆在车辆生成器产生后的去向客观上是受另一车辆生成器的吸引能力强弱的影响。若希望从数学的

角度来衡量,必须建立相应的模型。常采用的方法有概率模型法和重力模型法。由于后者更简单成熟,所以此处选用。公式如下:

$$P = \frac{GM_1M_2}{D^2} \quad (1)$$

$P$ :引力度;

$G$ :与引力相关的常量,主要体现环境阻抗的大小;

$M_1$ :体现车辆生成器1的车辆生成多少;

$M_2$ :体现车辆生成器2的车辆吸引能力;

$D$ :车辆生成器1与车辆生成器2之间的距离。

在求出任意两个车辆生成器间引力度的基础上,需要对其中的产生车辆的车辆生成器生成的总车辆数进行分配,从而计算任意两个车辆生成器间的交通流量。而此时两个车辆生成器之间的交通流量可以被看作其中产生车辆的车辆生成器生成的总车辆数的一部分。若将此数求出,公式如下:

$$V_{12} = V_s * \frac{F_{12}}{T} \quad (2)$$

$$T = \sum_{j=1}^n F_{ij}$$

$V_{12}$ :车辆生成器1与2之间的车流量;

$V_s$ :车辆生成器1产生的总的车流量;

$F_{12}$ :车辆生成器1与2之间的引力度;

$T$ :是一个和,反映车辆生成器1产生车辆的总数。

### 2.3 车辆元胞运动模型与道路路口的模拟

模拟交通流除了车辆元胞模型还应有元胞运动模型与道路模型,用计算机模拟的话这两个模型即两个图层和一定的规则,车辆元胞运行规则图层和道路边界图层。

#### 2.3.1 车辆元胞运动模型

车辆元胞在车辆生成器生成后依据以上的引力度模型确定目的地,之后还要依据一定的算法确定从出发点到目的地的最优路线,此系统采用弗洛伊德算法求解带有权重的道路图。然后沿此道路行进。在行驶途中,车辆元胞具有有限判断能力,行驶区域不会逾越道路边界,会自行避让前面车辆。方法实现时要求车辆元胞每隔若干秒的时钟脉冲即检测周围的元胞,前方若为空,则前进,否则停止。

通过矢量化地图建立车辆行驶的道路边界。由于实际路况比较复杂,有不同的等级路面、车道数、不同车辆的隔离程度等,为使模型简化、使整个程序的运行较为流畅,车辆行驶道路统一采用双车道。通过赋予道路的行驶权重来表示道路的行驶通过能力。通过矢量化建立基础道路路线数据后,再将道路栅格化,变为

元胞可以识别判断的元胞单元格,即以一个车宽的黑色车辆元胞单元格在车道两侧连续罗列形成道路,中间以一个元胞的宽度作为隔离带(见图1)。

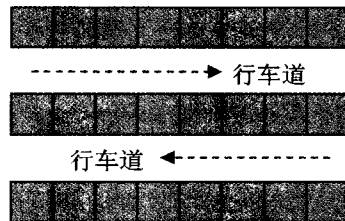


图1 交通道路模型

#### 2.3.2 道路路口的模拟

完全真实的道路路口的模拟,是相当复杂的,相关学者已经就此进行了深入研究,先后提出BML模型、环岛模型、红绿灯模型等。其中,BML模型对路口设定奇偶时间来放行不同方向来的车辆,环岛模型把道路路口看作一环行交叉路口,红绿灯模型利用时间分配器允许或阻止某一方向的车辆通行,具体是在路口设置虚拟车辆<sup>[12]</sup>。然而各类具体的模型成熟度差别较大,有很大的差异性,红绿灯模型和BML模型容易出现死锁。环岛模型换道频率与密度的关系、换道微观规则不够坚实等,并且在中尺度交通模拟中采用的话,将使整个程序运行十分缓慢。

以上所列均为微观路口模型,而本系统立足中观,因此不应考虑复杂的路口模型。对于车辆行驶至路口时的解决方法是使车辆直接跳过,避免陷入繁杂的路口模型,只是对于不同的路口赋予不同的阻抗值来体现。

## 3 徐州市区交通流的模拟

### 3.1 数据处理

首先,对徐州市域内相关数据用ArcGis软件进行矢量化,分层存储,包括:主干道、次干道、政府部门、学校、医院、铁路、水域、重要商业点、影剧院、火车站、长途汽车站、居民区、工业区、商业基准地价区、工业基准地价区、住宅基准地价区等。

其次,进行地块划分。划分的过程是,以徐州市土地利用现状图为底图提炼出建设用地、划分土地单元。划分的原则是,城镇中心区单元面积较小些,具体以200米为基本单位,边缘较大些以400米为单位;商业服务中心、文化体育设施、交通枢纽等整体起作用的区域不做分割。单元边界选用,以铁路、交通道路为界。

最后,将商业基准地价区、工业基准地价区、住宅基准地价区分别与商业区、工业区、居民区进行空间叠置分析,给不同地类单元赋予不同的车辆产生量权重。最后再与重要点状地物像火车站、百货大楼、医院等进行叠加赋予更高权重。

### 3.2 系统技术路线

应用 VB 语言进行编程,整合以上所定义的三种模型,将不同道路限制条件和数据存入不同文件,读取运行,模拟徐州市区主要路段交通流情况。具体流程见图 2。

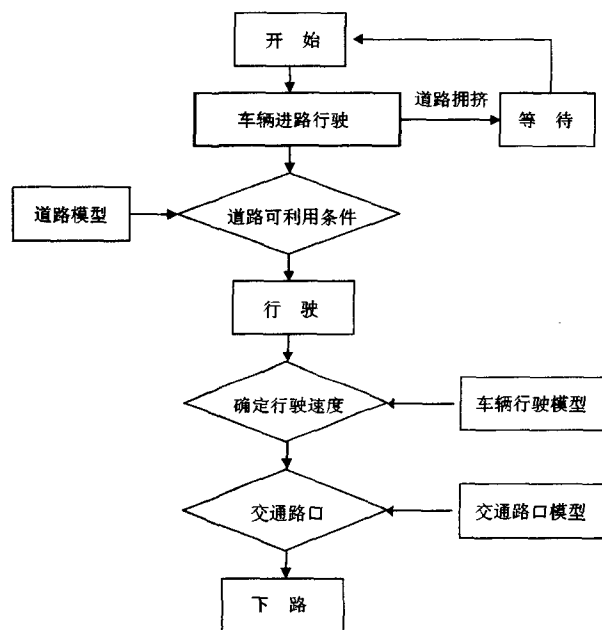


图 2 技术路线图

## 4 结束语

系统运行后通过调整基础数据权重和相关参数使模拟效果基本上与实际交通道路情况相符。但由于真实的交通状况是复杂的,比如路网的丰富复杂性及驾驶员和车辆的多重差异性,在局部路况上模拟效果与实际还是有一些差别。

以后需要在以下两方面加强研究:一是对数学模

型更进一步细化;二是加强基础数据精度。

### 参考文献:

- [1] Pipes L A. Topics in the hydrodynamic theory of traffic flow [J]. Transph. Res, 1968, 2(2): 143-149.
- [2] 冯蔚东,贾国光,刘 豹. 交通流理论评述[J]. 系统工程学报, 1998, 13(3): 71-82.
- [3] Pipes L A. Proposed dynamic analogy of traffic [J]. J. AP. Phys, 1953, 24: 274-282.
- [4] Eissfeldt N, Wagner P. Effects of anticipatory driving in a traffic flow model [J]. European Physical Journal B, 2003, 33: 121-129.
- [5] 王裕青,周美莲,李 青. 模拟驾驶行为的元胞自动机交通流模型[J]. 计算机技术与发展, 2008, 18(9): 248-250.
- [6] Cremer M, Ludwig J. A fast simulation model for traffic flow on the basis of Boolean operations [J]. Mathematics and Computers in Simulation, 1986, 28: 297-303.
- [7] 张 发,宣慧玉. 基于元胞自动机的交通模型综述[J]. 系统工程, 2004(12): 77-81.
- [8] Nagel K, Hermann H J. Deterministic models for traffic jams [J]. Physica A, 1993, 199: 254-263.
- [9] Biham O, Middleton A A, Levine D. Self-organization and a dynamical transition in traffic flow models [J]. Physical Review A, 1992, 46: 6124-6127.
- [10] Chowdhury D, Schadschneider A. Self-organization of traffic jams in cities: effects of stochastic dynamics and signal periods [J]. Physical Review E, 1999, 59: 1311-1314.
- [11] 陆化普. 城市土地利用与交通系统的一体化规划[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2006, 46(9): 1499-1504.
- [12] 周成虎. 地理元胞自动机研究[M]. 北京: 科学出版社, 1999.

(上接第 218 页)

### 参考文献:

- [1] 顾洪祥,李建忠,林燕芬,等. 基于 ArcObjects 的环境规划与管理信息支持系统[J]. 计算机系统应用, 2005(7): 49-52.
- [2] ArcGIS——完善的 GIS 平台[J]. 地理信息世界, 2004, 2(3): 1-1.
- [3] 邓 勇. 浅谈 GIS 在房产管理中的应用[J]. 人力资源管理: 学术版, 2010(5): 38-38.
- [4] 李 佼,吴健平,胡英杰. 基于 TerraExplorer Pro 的三维城市浏览系统开发[J]. 计算机技术与发展, 2009, 19(6): 240-242.
- [5] 程 亮,张友静,龚健雅,等. Web 环境下房产测绘信息三维可视化技术研究[J]. 测绘科学, 2008, 33(1): 119-121.
- [6] Fletcher R G. Geographic Information Systems in Real Estate [M]//Encyclopedia of Information Systems. New York: Elsevier, 2003.
- [7] 刘 南,刘仁义. 地理信息系统[M]. 北京: 高等教育出版社, 2002.
- [8] 郝 平,李瑞麟,应时彦,等. 组件式地理信息系统技术[J]. 浙江工业大学学报, 2001, 29(3): 301-304.
- [9] Breunig M. Integration of spatial information for geo-information systems[M]. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 1996.
- [10] 范力铭. 基于 ArcGIS Engine 的三维 GIS 系统开发与应用[D]. 上海: 华东师范大学, 2007.
- [11] 洪德法,杨国东,王志恒. 基于 ArcScene 和 SketchUp 的虚拟校园的建立[J]. 计算机技术与发展, 2008, 18(12): 41-43.
- [12] 江 早. OpenGL VCPVB 图形编程[M]. 北京: 科学出版社, 2001.