

基于元胞自动机的城市交通流仿真系统

周子力, 王新伟, 王艳娜

(华东师范大学计算机系, 上海 200062)

摘 要: 利用元胞自动机理论, 建立了单车道及交叉路口交通流模型。为了使用户直观的了解交通运行状况, 以便采取有效的优化措施对交通进行管理, 设计并实现了城市交通流仿真系统。该系统具有优化功能, 能够通过对数据的分析, 产生交通管理的优化策略, 对优化城市交通提出可供借鉴的措施。

关键词: 元胞自动机; 仿真; 交通流

Simulation System of City Traffic Flow Based on Cellular Automata

ZHOU Zili, WANG Xinwei, WANG Yanna

(Computer Department of East China Normal University, Shanghai 200062)

【Abstract】 This paper sets up the models of single lane and rotary of road junctions using the theory of cellular automata. In order to make users know the status of traffic intuitively, and control it using the effective measures, it puts forward the idea of designing simulation system for city traffic flow model and implements it. The system has the function of optimization, which can produce optimized strategy based on the analysis of traffic data and provide valuable measures in optimizing traffic flow.

【Key words】 Cellular automata; Simulation; Traffic flow

随着社会的发展和人民生活的需要, 汽车数量会不断增加, 城市交通需求也随之扩大。但是, 我们国家的交通状况并不乐观, 交通拥挤的情况在许多城市尤其是大中城市中经常出现。每年因交通堵塞造成的经济损失每年至少有 1 000 亿圆人民币。这是由于我们国家的交通基础设施十分薄弱, 道路用地占整个城市用地的比例相当低, 道路窄且道路网稀疏。与此同时, 高密度的城市用地使城市难以通过大幅度扩大道路通行能力来改善交通状况。在这样一种情形下, 城市智能交通系统(ITS)在我们国家的应用是十分迫切的。ITS 可以通过提高交通系统效率来降低交通拥挤, 同时又避免修建大量道路带来的征地、拆迁和其他严重环境影响。交通流的仿真就是 ITS 的一个重要组成部分。本文提供了一种基于元胞自动机的交通流微观仿真模型, 利用此模型可以对多个十字路口, 甚至整个城市的交通进行有效的协调和控制。通过此模型中提出的车辆密度和平均速度的关系, 能够很清楚地了解各十字路口的交通情况。以便采取有效的优化措施, 保障道路的畅通。

1 元胞自动机及交通流模型

1.1 元胞自动机基础知识

元胞自动机 (Cellular Automata, CA) 是定义在一个由有限状态的元胞 (cell) 组成的离散元胞空间上, 按照一定的局部规则, 在离散时间上演化的动力系统。它由元胞、元胞空间、状态集、邻居和规则五个基本的组成部分组成, 具有齐性、离散性、同步性、确定性等特点^[2]。

在元胞自动机中, 某一时刻的一个元胞的状态只与前一时刻此元胞的状态以及前一时刻相邻的元胞的状态有关。这些特性与交通流的特性有着极其相似之处, 因此我们考虑用元胞自动机建立交通流的模拟仿真模型。

1.2 单车道模型

此仿真模型中, 把道路看作由一系列元胞组成, 元胞状态表示道路上某个位置的状态, 每个元胞只有两种状态 (0 和 1), 0 代表此元胞上无车辆, 1 代表有一辆车占据该位置 (这里假定一个元胞内最多只能有一辆车), 定义邻居半径为 1, 即左右各有一个元胞作为中心元胞的邻居。对于行车规则的定义是假定汽车的速度为 1, 即车辆在每个时段都只能由所在元胞“跳”至其相邻元胞, 也就是说如果汽车行驶方向上的相邻元胞内没有汽车, 汽车将行驶到相邻元胞, 否则汽车原地不动。如图 1 所示。

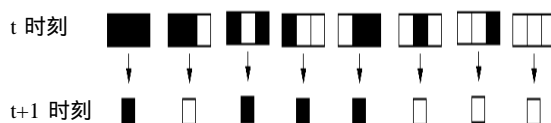


图 1 仿真模型

其中黑方块表示 1 (有车), 白方块表示 0 (无车), 车流方向为自左向右。(本文中默认车流方向均为自左向右), 则用 1、0 表示如下:

111 110 101 100 011 010 001 000

此元胞自动机模型是 Wolfram 初等元胞自动机的 184 (10111000) 号元胞自动机^[4]。

在单车道模型中, 定义了两个参数: (1) 车辆密度 ρ , 表示为车道上车辆的数目和车道上元胞的数目 (即车道的长

作者简介: 周子力 (1973), 男, 硕士, 主研方向: 元胞自动机, 交通流优化; 王新伟, 博士、副教授; 王艳娜, 硕士

定稿日期: 2004-05-24 E-mail: ys01242111@student.ecnu.edu.cn

度)的比值。(2)平均速度 $\langle v \rangle$,表示为车道上能移动的车辆和车道上所有的车辆的比值。用 J 表示平均车辆流,即能够移动的车辆与车道长度的比值。由此可以得出平均车辆流和车辆密度及平均速率的关系

$$J = \frac{N^{mov}}{L} = \frac{N^{mov}}{N_{car}} \frac{N_{car}}{L} = r \langle v \rangle$$

其中, N^{mov} 为系统中能移动的车辆的数量, N_{car} 为系统中车辆的数量, L 为车道长度。此关系对于以后的交叉口模型的分析以及优化模型的建立有着重要作用^[1]。

1.3 十字交叉路口模型

我们所要讨论的十字交叉路口如图2所示。

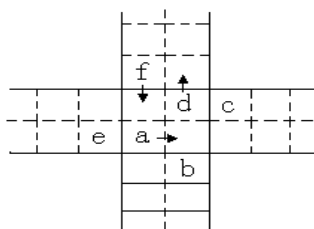


图2 十字交叉路口模型

由各包含两条单车道东西和南北走向的道路交汇而成,我们用元胞自动机理论对其进行建模,主要就是对处于交叉路口内的4个元胞及邻近交叉路口的元胞的状态变化制定规则。此规则的制定还要遵循交通规则,否则模型不能很好地反映现实中的交通状况。

对于远离交叉路口的车辆,服从第1部分中单车道模型中所述的规则。在交叉路口内的车辆都要按逆时针行驶,或者从交叉路口内驶出。处于交叉口外要驶入交叉路口内的车辆要看两个元胞的状态,才能决定其是否能够移动,因为在交叉路口内的车辆的移动比交叉路口外车辆的优先级高。

如图2,车辆b要进入交叉路口区,就要看一下它要驶入的交叉口内部元胞的状态以及交叉口内的车辆(如a)的移动方向。由图2可以看出车辆b不能驶入交叉口内部。因为车辆a要驶入车辆b要驶入的元胞,车辆a的优先级高于车辆b。对于车辆c,同样它也不能驶入交叉口区,因为车辆d还没有离开交叉路口区^[3]。

建好此模型后,我们从理论上分析了此模型中的车辆密度 ρ ,平均速度 $\langle v \rangle$ 的关系,二者关系如图3所示。

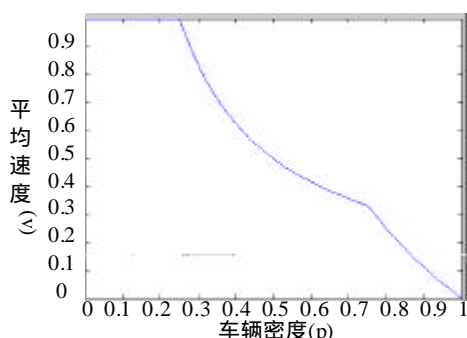


图3 车辆密度与平均速度关系曲线

由图3分析得到,当车辆密度 ρ 达到约0.25时,这时如果有车辆驶入车道,则会有车在排队区等待。随着车辆的陆续增多,当车辆密度 ρ 达到约0.75时,如果有车辆驶入车道,则会出现排队区的长度增大,慢慢达到车道长度 L ,这时车道处于严重阻塞状态;当车辆密度 ρ 为1时, $\langle v \rangle = 0$,没

有车可以移动^[1]。

通过对此模型的分析,可以看出,车道上的拥塞程度可由车辆密度这个参数来表示。反过来想一下,如果能够很好地对 ρ 进行控制,就可以有效的对道路交通流进行优化和控制。这也是建立此模型的一个重要意义所在。

我们依据该模型来设计交通流的仿真系统,以使用户直观了解道路的交通状况,采取有效的优化控制策略对交通进行管理,通过系统可以直观地看到控制的仿真效果。

2 系统设计

因为VC++的开发环境具有简捷、快速、实用的特点,利用VC++语言来实现交通流仿真系统。通过此系统,可以直观地看到车辆的运行状况、各种交通流参数关系曲线以及道路拥塞状况,还可以人为改变控制变量,并能观察到施加控制后的车辆运行状况。同是仿真系统还具有优化功能,能根据车辆数及其O-D矩阵等优化控制参数,使城市交通运行在最佳状态^[5]。

2.1 仿真系统的设计思想

用户界面的设计具有界面友好,用户易于操作的特点。

(1)直观性。能够直观地看到车辆的运行,以及交通流各参数关系的曲线。使用户能清楚直观地了解城市路网中相关道路的交通拥挤程度,以便采取有效措施处理交通阻塞的问题。

(2)适用性。在仿真系统运行时,可以利用随机数模拟车流数据;也可以采用现实中的交通流数据,这样更能反应现实中的交通状况。此外,此系统还留有优化接口,能够根据当前情况优化交通灯信号、路口通行能力等参数,使道路通畅。

(3)可控制性。对于车流的运行方式,可以人为地加以控制。如改变某一交叉路口的信号周期、绿信比等。

2.2 仿真系统各组成部分功能及实现

仿真系统的结构如图4所示,框图表示了组成模型之间的关系。接下来简要阐述模块功能及实现方法。

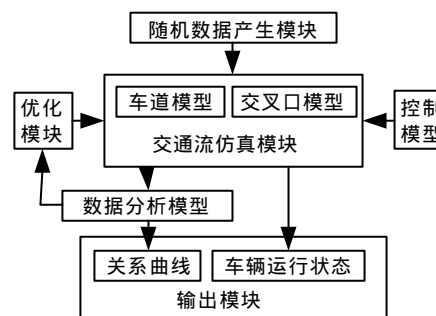


图4 仿真系统结构框图

(1)随机数据产生模块。是仿真系统的输入模块,用来随机产生系统中车辆数及车辆的O-D矩阵,加载到交通流模型上。在实现上我们构造了用于车辆数目的产生和O-D矩阵的函数,如RandomCar()、RandomOD()等函数。

(2)交通流仿真模块。是此系统的核心部分,内部封装了第2部分描述的车道模型和交叉口模型。在实现上我们建立了元胞自动机车道模型类Clane和交叉口模型类CRoadCross。

(3)优化模块。从仿真模块中读取车辆数及交通参数值,利用模块中的优化模型进行运算,得出使目标函数达到最优解的各控制参数的值。加载到交通流模型中。为了实现这个模块功能我们建立了优化算法类(COptimize)。内含遗传算法函数GeneArithmetic()及其它优化算法函数。

(4)控制模块。是用户和系统的接口,用户可以人为改变交通参数。还可以模拟交通事故等交通现象,用户可以看到改变后的交通运行状态。

(5)数据分析模块。对系统运行过程中的数据进行记录、分析和处理,将分析后的数据一路送到优化模块,提供此模块所需参数,以便形成优化方案。另一路送到输出模块中,通过相关的显示模块,使用户直观看到各参数之间的关系。在实现上,我们建立了 CDataProcess 类,内含大量用以对数据进行分析的函数。

(6)输出模块。用来显示车辆运行状态及参数关系曲线,使用户直观地观察到整个交通的运行情况。

2.3 仿真系统功能演示

仿真系统用户界面如图 5 所示,图中每辆车用一个小黑点来表示。系统的默认设置是 3 个交叉口,4 条车道,其中东西方向上车道长度为 50 个元胞,南北方向上车道长度为 20 个元胞。上述参数值都可以通过参数设置窗口进行设置。



图 5 仿真系统用户界面

(1)参数设置

1) 交叉口参数的设置:可以改变交叉口、东西(EW)方向和南北(NS)方向上车道的车道数目以及车道长度。此仿真软件中,交叉口数目的最大值可达到 100 个,车道数目最大值为 12 条,车道长度最大值为 200 个元胞。

2) 配时方案设置:可对每一个交叉口设置信号周期内的相位数,系统默认是 2 相位,这是日常交通中经常采用的相位信号配时方案。

在交叉路口处左转车相当多的地方,交叉口进口道上设有左转车道时,可采用三相位配时方案。甚至采用更多相位。此仿真系统的相位数目最大为一个交叉路口有 10 个相位。每一相位的配时时间可以手动设置。

为了用户的方便,在设置相位信号配时方案时,用户可以很容易地从配时方案示意图中看到所设置相位各方向上车辆的行驶方向。位置为(1,1)的交叉路口内相位数为 2 个,信号周期为 100s,第一相位内,东西方向上 1 号和 2 号

车道上的车辆为直行,3 号和 4 号车道上的车辆右转。此相位时间为 40s。

(2) 数据处理

选中系统中的数据记录选项,系统会把运行过程中的数据全部记录下来,供用户分析。由于 Microsoft excel 具有强大的数据处理功能,因此系统将所记录的数据存为 excel 文件,用户就可以在 excel 里面进行数据分析。如图 6 所示为车辆密度与平均速度的关系。

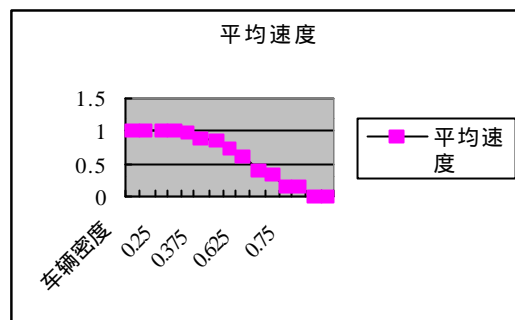


图 6 车辆密度与平均速度关系

(3) 数据显示

仿真软件运行时,我们能够实时直观地看到交叉口及车道的参数。

3 结束语

本文利用元胞自动机理论建立了城市交通流的仿真模型,并且分析了此模型中的车辆密度和车辆平均速度之间的关系。使我们能够很清楚地了解各十字路口的交通情况,什么地方空闲,什么地方拥塞,以便采取有效的优化措施。基于该模型,我们设计和实现了城市交通流的仿真系统。在系统设计上,充分考虑到系统的直观性、适用性、可控性以及自动性。目的是能够有效地对道路交通流进行优化管理,保障道路的畅通。在系统的实现上,我们采用了 VC++ 语言,因为 VC++ 的开发环境具有简捷、快速、实用的特点。并且该语言还包含了 Microsoft 的代码优化技术,使用该语言编制的程序运行速度更快。

参考文献

- 1 周子力,王新伟,王成道.一种交通流的元胞自动机模型及分析.计算机工程,2004,30(9):177
- 2 复杂系统分析导论.清华大学复杂工程系统实验室
- 3 Chopard B, Dupuis A. A Cellular Automata Model for Urban Traffic and its Application to the City of Geneva. <http://cui.unige.ch/~chopard/Traffic/ca-models.html>,1996
- 4 周成虎,孙战利.地理元胞自动机研究.北京:科学出版社,1999-12
- 5 Petzold C. Windows 程序设计.北京:北京大学出版社,2001-9

(上接第 123 页)

压缩或加密的协议而仅仅只是携带 IP 信息,则 LNS 可以停止顺序号,因为 IP 协议可以忍受包丢失和重新排序的。

参考文献

- 1 RFC2661 .Layer Two tunneling Protocol L2TP[s]. 1999

- 2 张颖江,罗 婷,陈 雯.虚拟专用网中的安全隧道技术研究.湖北工学院学报,2001,(4):29-34
- 3 龚丽君,张颖江.增强型隧道协议 eL2TP 的加密机制.湖北工学院学报,2003,(3) 33-37