

大学生园地

基于虚拟力的智能交通系统(ITS-VF)模型

吴雪兵

(清华大学自动化系自33班,北京 100084)

指导教师:李元杰,王怀玉

(收稿日期:2004-11-02)

摘要 本文定义了一种特殊的力学模型——虚拟力,并在此基础上提出了一种全新的智能交通系统模型——ITS-VF (ITS based on Virtual Force),以取代传统的信号灯控制系统,并且针对交叉路口的车流调控进行了分析讨论和数值模拟.该系统模拟带电粒子在电场力作用下的有序运动,通过引入各向虚拟力,实现交叉路口车流调控的完全自动化.最后与元胞自动机模型进行了比较.

关键词 虚拟力;智能交通系统;粒子有序运动;元胞自动机

1 引言

目前的交叉路口多采用信号灯控制,事先经过对车流量的调查,运用统计学的方法,将两个方向的红绿灯延时预先设置好.但实际车流量是不稳定的,即使通过各种模糊控制算法改进,仍会出现这样的现象:绿灯方向几乎没什么机动车,而红灯方向却排着长队,即“绿时浪费”.如安排交警,则增加了人力物力.另一方面,机动车在交叉路口的暂停或减速,某种程度上都是一种时间损失;信号灯控制有时难免发生交通事故.因此有必要发展其他的交叉路口车流调控模型.借鉴粒子运动中的情况,当多个带同种电荷的粒子在一定方向的力的作用下,能群体朝着该方向连续运动,而且不会相互碰撞.因此可以把交通工具视为一个个相互之间具有斥力的同种粒子,并引入多个虚拟力,使之向不同方向连续运动而不会相撞.ITS-VF就是基于此而设计的.

2 虚拟力

虚拟力是ITS-VF模型的一个核心概念,用来描述特定的空间相互作用.与牛顿力学中力的概念相似,遵守牛顿第一、第二定律,但不满足第三定律.除此之外,可以根据需要赋予其特定的规则.ITS-VF中虚拟力包含如下元素:

(1) 施力元;(2) 对象元;(3) 连续体.其中连

续体是由施力元构成的连续均匀体.

虚拟力具有如下3条性质:

- (1) 局域性:所有虚拟力均有作用范围,只在一定区域内起作用,该区域称为虚拟力力程;
- (2) 单向性:任何状态下,施力元只施力,不受力;
- (3) 特异性:仅在力程内,对象元受特定施力元的虚拟力.

虚拟力大小的计算:ITS-VF中采用库仑力公式计算,赋予各元素一定量的电荷,以库仑力作为虚拟力大小.

3 模型建立

如图1,在ITS-VF模型中,假定交叉路口东、西、南、北4个驶出通道靠近出口的某处各有一施力元;将每一机动车视作一带单位虚拟电荷 e 的对象元;将道路两侧边缘、中心线及转角边缘视作连续体.本文主要探讨机动车从进入交叉口到离开交叉口的过程.在此过程中,系统按照如下法则演化:

(1) 内部法则:任意两个对象元(机动车)仅当处于相互虚拟力力程内时,产生虚拟斥力的作用.通过调节单位电量 e 值及力程 d 可以保证两车不会相撞.该法则作用于所有时刻.

对于每一对象元Object i ,由内部法则决定的虚拟力大小为

$$F_{i1} = \sum_{j=1}^N \frac{k_1}{d_{oj}^2} T_{ij}$$

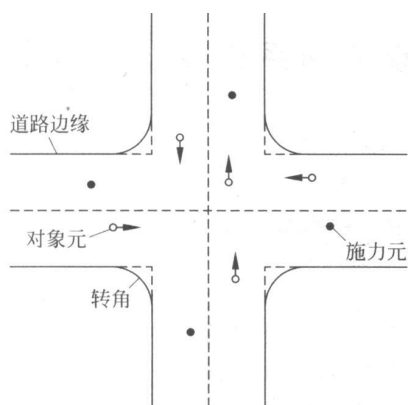


图1 模型建立

其中 N 为该时刻进入交叉口的机动车总数; 常系数 k_1 为库仑力中的静电常数与电量积的乘积(下文 k_2, k_3, k_4 均类此); d_{ji} 为 Object_j 与 Object_i 的距离; T_{ij} 为判定是否在对方力程内的参数: 在力程之内则为 1, 否则为 0(下文同此).

(2) 外边缘法则: 赋予道路边缘和中心线一定量的电荷, 使得当对象元(机动车)靠近道路边缘或中心线时, 将受到一个使之趋向单行道中心的斥力, 于是可以保证机动车尽量行驶在单行道中间而不会驶出, 避免交通事故发生. 该法则仅作用于交叉路口外部的(将要进入或已经驶出)机动车.

对于每一对象元 Object_i , 由外边缘法则决定的虚拟力为

$$F_{i2} = \left(\frac{k_2}{L - L_a} \right)^\pi \times \left(\frac{k_2}{L_a} \right)^{1-\pi}$$

其中 L 为单行道的宽度; L_a 为 Object_i 与公路中心线的距离; T_i 为判定偏向哪一侧的参数; 偏向公路边缘则为 1, 偏向中心线则为 0.

(3) 内边缘法则: 赋予转角圆弧连续体以一定量的电荷, 使得当对象元(机动车)靠近转角边缘时, 将受到一个使之远离圆弧(趋向交叉口中心)的斥力, 这个力使机动车避免由于目标法则受力而撞向转角圆弧. 该法则仅作用于交叉路口内部的(已经进入且尚未驶出)机动车.

对于每一对象元 Object_i , 由内边缘法则决定的虚拟力为

$$F_{i3} = \sum_{j=1}^4 \frac{k_3}{d_{ji}^2} T_{ij}$$

其中 d_{ji} 为 Object_i 到转角连续体 j 中心的距离.

(4) 目标法则: 当机动车驶入交叉路口时, 受到出口方向施力元的虚拟力的作用, 如对于一辆

由南进入交叉路口开往正东方向的机动车, 可以认为交叉路口正东方向存在一个物体, 此物体只对开往该方向的机动车具有吸引力作用, 从而不断改变该车的方向(车速大小不变), 直至驶出交叉路口. 该法则仅作用于交叉路口内部的(已经进入且尚未驶出)机动车.

对于每一对象元 Object_i , 由目标法则决定的虚拟力为

$$F_{i4} = \frac{k_4}{d_{ji}^2} T_{ij}$$

其中 d_{ji} 为 Object_i 到相对应的目标施力元 j 的距离.

考虑特殊情况, 为避免由于正面对峙而产生的长时间相持, 提高系统整体运行速度, 对内部法则做如下补充.

(5) 避让法则: 对处于相互虚拟力程中的两辆车, 不转弯机动车不遵守内部法则但遵守其余法则, 转弯机动车遵循所有法则. 体现为转弯机动车避让不转弯机动车. 该法则仅作用于交叉路口内部的(已经进入且尚未驶出)机动车.

说明: 转弯是指整个过程而言.

由于避让法则的影响, 内部法则决定的方程修改为

$$F'_{i1} = \sum_{j=1}^N \frac{k_1}{d_{aj}^2} T_{ij} P_{ij}$$

参数 P_{ij} 用于判断 Object_i 转弯情况. 若转弯, 则 $P_{ij} = 1$; 否则为 0.

综合上述法则考虑, 进入交叉口每一对象元(机动车) Object_i , 其所受的虚拟力为上述 4 个力的矢量合成, 即

$$F_{ia} = F'_{i1} + F_{i2} + F_{i3} + F_{i4}$$

Object_i 运动方程为

$$F_{ia} = m_i \frac{d^2 S_i}{dt^2}$$

4 算法实现

本程序采用 C++ 语言编写, 在 Visual C++ 6.0 环境下开发, 结合了 OpenGL 三维效果. 模拟中设置 24 辆机动车(小球), 每个入口 6 辆, 各两个向左、中、右方向驶去.

对于进入交叉口的每一对象元, 依次检验是否进入其他对象元、相应施力元和转角连续体的力程之内, 再根据相应法则确定是否以及如何受

力及改变速度,遍历所有对象元之后,同时改变位移,再进入下一步序,如此循环,直至所有对象元均离开交叉口.

5 计算机模拟结果

以下为计算机模拟结果,通过调整各项参数,可以得到较好的效果.各个方向的机动车保持在各自单行道内,而且整个过程非常流畅,实现了预定的全自主、无停滞、零碰撞等目的.

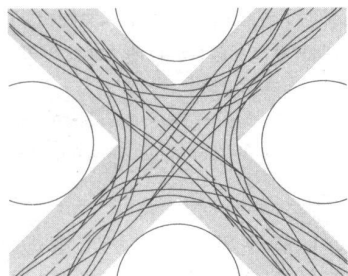


图2 全过程轨迹图(轨迹交叉不代表相撞)

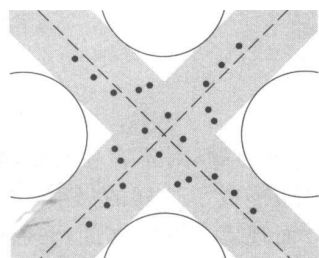


图3 各向同速进入时直观视图,每一小球代表一对象元(机动车)

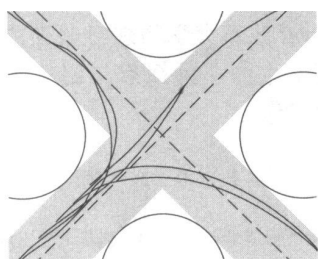


图4 红色机动车轨迹

6 模型实现

ITS-VF 本质是“虚拟物理系统(VPS)→真实信息系统(RIS)→真实物理系统(RPS)”.即将虚拟力作用过程中产生的信息(位置、速度等)输入真实交通系统并依据这些信息对其进行调控.

ITS-VF 模型的实际实现,只需在每个路口配备一个中央控制系统,每辆机动车配备一个接收系统和执行系统.进入交叉口后,机动车完全由中央系统操纵,中央系统获得所有进入路口的机动车的初始状态信息,作为ITS-VF 模型的输入,通过模拟得出最佳规则,然后将按照最佳规则模型的每一时步的输出发送到相应的机动车,机动车接收之后,通过执行系统来实现这些输出.

7 与元胞自动机模型比较

元胞自动机是一种空间、时间和状态都离散的动力学模型,适合于复杂系统时空演化过程的动态模拟研究.

目前较多研究者以二维元胞自动机模型研究平面交叉路口车流控制,可以取得较好的效果.其做法是:将平面路口视作二维网格平面,每一元胞代表一辆机动车,每条道路上拥有有限的元胞(机动车).通过使用简单的规则集将元胞移到另一元胞处,即实现了机动车运行状态的变化,因此可以从整体上模拟出平面交叉路口的交通流的变化特性,进而可以对该平面交叉路口的路口进行分析,从而实现对该平面交叉路口的有效智能控制.

ITS-VF 模型具有元胞自动机模型的某些特点,其对象元类似于元胞自动机模型中的元胞,同样具有时间上的离散性,所有对象元保持同步更新,每一对象元按照同一法则演化,原状态及邻近单元状态决定下一步序状态.

但ITS-VF 与元胞自动机存在本质上的区别:ITS-VF 的对象元具有空间上的连续性以及无限的状态.具体而言,元胞自动机模型在平面内是以离散的网格确定单元位置,而ITS-VF 的对象元并不局限于规则的网格,一定程度上可以认为是连续的(32位);元胞自动机模型单元状态是有限的,而ITS-VF 对象元的速度等参数的连续性决定了它有无穷多种状态(32位).另外,元胞自动机模型为使动力学保持最简单化,难以考虑大范围变化的速度,而ITS-VF 则没有这个限制.

考虑到上述差别,若要完成类似于ITS-VF 的功能,元胞自动机模型将面临巨大的数值计算,是普通PC机上难以实现的.ITS-VF 之所以没有这样的问题,是因为它并不研究整个平面,而只是研究有限个对象元的演化.当然元胞自动机模型

在其他很多方面具有无可比拟的优势.

ITS-VF 的优势并不在于此. 其优势在于虚拟力的运用. 虚拟力是以所需的效果为研究的切入点, 对于实现手段、算法不存在任何限制, 可以根据需要自由引入各种规则, 自由更改力的作用范围及其大小的计算公式, 将原本与相互作用无关的现象用力来量化、计算和模拟, 提供了广阔的研究空间.

8 结束语

通过模型仿真, 可以看到ITS-VF 已经具有良好的效果, 包括全自主、无停滞、零碰撞等目标都可以实现. 但仍然存在一些细节问题需要解决. 比如对参数的敏感性, 实际机动车灵活性较差等.

(上接第 58 页)

层次 3: 质点模型, 空气阻力与速率平方成正比, 需借助计算机进行数值计算. (图 2(a), (b), (c) 分别是 $x(t)$, $y(t)$, $y(x)$ 曲线. 其中抛射体初始速率 $v_0 = 100\text{m/s}$, 抛射角 $\alpha = \pi/3$, 阻尼系数 $\beta = 0.005$). (对层次 2 中空气阻力与速率函数关系的修改, 通常导致得不到解析解, 借助计算机数值方法, 可得到数值解.)

层次 4: 启发学生思考空气阻力 $f = f(v)$ 的情况, 以及炮弹的旋转等因数的影响. (提示: 足球的“香蕉球”运动问题等, 给学生留下自由探索的余地.)

[例二] 物体沿圆弧滑落问题 (分 4 个层次)

层次 1: 质点模型, 忽略摩擦阻力, 求 $v = v(\theta)$. 用代数方法求解. (对高中物理的复习, 质点下滑过程, 机械能守恒, 可以用代数方法求解下滑过程质点速度随位置的变化.)

层次 2: 质点模型, 忽略摩擦阻力, 求 $v = v(t)$, 或求 $\theta = \theta(t)$. 需要用数值积分方法求解. (层次 2 与层次 1 比较改变了问题求解的目标, 质点下滑过程, 虽然机械能守恒, 但用代数方法得不到质点速度及位置随时间变化关系的解析解.)

层次 3: 质点模型, 考虑摩擦阻力, 设摩擦系数为常数 μ , 求 $v = v(\theta)$. 也需要用数值方法求解微分方程组. (比层次 1 及层次 2 更接近实际情况, 这是用代数方法无法求解的问题, 让学生在层次 1 与层次 3 的比较中, 体会运用微积分的必要性, 以及数值计算在解决物理问题中的潜力.)

层次 4: 质点模型, 考虑摩擦阻力, 求 $v =$

另外, 本文只对较为有序的等速进入进行了讨论和模拟, 对于其他情形仍需进一步验证. 但是ITS-VF 毕竟为交通问题的解决提供了一种全新的思路.

另外, 虚拟力的概念及方法, 也可以推广到其他领域. 比如未来飞行器立体交通控制.

华中科技大学李元杰教授对本文给予了热心的指导和建设, 并提供了编程模拟平台, 对此表示感谢.

参 考 文 献

- [1] 诸昌铃. 智能交通系统[J]. 自动化信息, 2003, (4)
- [2] 吴忠, 汪明艳. 基于元胞自动机的交通流模拟控制[J]. 计算机工程与应用, 2004, (5)
- [3] Bastien Chopard, Michel Dros. Cellular Automata Modeling of Physical Systems. Cambridge University Press, 1998

$v(t)$, $\theta = \theta(t)$. 需要用数值方法求解微分方程组. (改变了问题求解的目标; 质点下滑过程, 机械能守恒不成立.) 图 3 是 $\mu=0$ 与 $\mu=0.5$ 情况数值解的对比.

3 结束语

传统的物理习题, 对不存在解析解的问题采取回避的态度, 形成了这样的局面: 凡习题必有解(解析解). 而现实中有太多的物理问题并非如此. 作者认为这不利于培养探索型、创新型人才, 创新能力的培养需要加强学生运用所学知识处理实际问题的训练. 寓探索、创新于教学实践之中, 是教改的方向. 改革大学物理习题模式, 使解习题的过程成为学生的一种探索与创新实践过程, 是一项有益的工作.

参 考 文 献

- [1] 张三慧. 大学物理学[M]. 北京: 清华大学出版社, 1999
- [2] 东南大学等七所工科院校编. 物理学[M] 第四版. 北京: 高等教育出版社, 1999
- [3] 李元杰. 大学物理CCBP 教程[M]. 武汉: 湖北科学技术出版社, 2000
- [4] 纪哲锐. 数字化经典力学[M]. 北京: 清华大学出版社, 2001
- [5] 陈锤贤. 计算物理学[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2001
- [6] Frederick J. Eugene Hecht. Schaum's Outline of Theory and Problems of College Physics [M], McGraw-Hill Inc. Higher Education Press, 2000