

模拟驾驶行为的元胞自动机交通流模型

王裕青¹, 周美莲², 李 青¹

(1. 上海大学 计算机工程与科学学院, 上海 200072;

2. 上海大学 机电工程与自动化学院, 上海 200072)

摘 要:考虑到车辆的驾驶员具有其不同的驾驶特点,可以将他们分为谨慎型驾驶员和激进型驾驶员两类。分析他们的相同点和不同点后,建立了单车道元胞自动机混合交通流模型。通过计算机模拟,研究了混合比例与平均速度的关系,随机减速概率对平均速度及流量的影响。结果表明,谨慎型驾驶员的驾驶特点导致谨慎型车辆对道路上车辆平均速度和流量都有不小的负面影响,尤其是道路上车流密度较小的时候。

关键词:元胞自动机;减速概率;混合交通流

中图分类号:TP391.9;O242.1

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2008)09-0248-03

A Cellular Automaton Model for Traffic - Flow Based on Driving Behaviors

WANG Yu-qing¹, ZHOU Mei-lian², LI Qing¹

(1. School of Computer Engineering and Science, Shanghai University, Shanghai 200072, China;

2. School of Mechatronical Engineering and Automation, Shanghai University, Shanghai 200072, China)

Abstract: In this paper, focus on the effect of traffic - flow with different driving behaviors. Two kinds of drivers - aggressive driver and careful driver are considered. Construct a cellular automaton model for traffic - flow on a single - lane roadway to simulate those two kinds of drivers. By using numerical simulations, study the relationship of mixed proportion and average speed, the influence on average speed and flowrate affected by careful driver's random deceleration probability. The numerical results show careful driver's vehicle can make bad influence on average speed and flowrate of the traffic - flow, especially when the traffic density is very low.

Key words: cellular automata; deceleration probability; mixed traffic - flow

0 引 言

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。目前在元胞自动机交通流模型的研究中,主要研究由相同性能、类型和驾驶行为的车辆构成的交通流问题^[1~5]。这类研究中最有影响的模型是由 Nagel 和 Schreckenberg 提出的考虑了车辆逐步加速和随机减速的模型(简称 NS 模型)^[6~8], Fukui 和 Ishibashi 提出的车辆迅速加速的模型(简称 FI 模型)^[6,7]。此外还有慢启动模型、基于时间的 CA 模型等^[6]。

在道路交通中,驾驶员的特性对交通流的影响是一个不可忽视的问题。但是在以往的研究中,通常直

接使用不同的模型来对应模拟不同特性的车辆^[7,8],或者简单地将车辆按最大行驶速度进行分类,建立模型、进行数值模拟。文中从分析驾驶员的不同行为出发,讨论激进型和谨慎型驾驶员的特性,以经典的 NS 模型为基础,构造了一个新的元胞自动机模型,模拟了在单车道交通系统中的典型行为。数值实验结果表明该模型能刻画不同类型驾驶员对交通活动的影响。

1 模 型

1.1 模型分析

通常可以将驾驶员分为两类:一类为激进型(aggressive)驾驶员,他们倾向于以较高车速行驶,喜欢与前车保持较小的车间距,而且通常较少刹车;另一类为谨慎型(careful)驾驶员,他们倾向于以中等速度行驶,并保持较大的车间距且较多刹车等^[7,8]。根据驾驶规范要求,可以认为车辆都是逐步加速的。这也是参考逐步加速的 NS 模型的原因之一。而上述两类驾驶员

收稿日期:2007-12-06

基金项目:国家自然科学基金资助项目(60373071)

作者简介:王裕青(1983-),男,硕士研究生,研究方向为复杂系统的计算机模拟;李 青,教授,博士,研究方向为复杂系统建模、高性能计算。

所驾驶的车辆间的区别在于以下几点:

(1) 最大行驶速度不同。谨慎型车辆的最大行驶速度明显小于激进型车辆;

(2) 减速(或刹车)概率不同。谨慎型车辆一般不会持续地以最大速度行驶,一旦达到最大行驶速度,很有可能就开始减速运行了。而且为了保持与前车之间较大的车距,即使未达到最大速度也有可能随机减速(以趟车的方式向前运行)。而激进型车辆一般只要条件允许都会以较高的速度行驶,而且除非与前车的距离已经很近(小于安全距离),否则不会减速行驶。

1.2 模型设计

记第 i 辆车在 t 时刻的位置和速度分别为 $x_i(t)$ 和 $v_i(t)$ 。设 v_a, v_c 分别为激进型和谨慎型驾驶员所驾驶车辆的最大车速。设 p 为谨慎型驾驶员随机减速的概率。则 $g_i(t) = x_{i+1}(t) - x_i(t) - 1$ 表示第 i 辆车在时刻 t 与前方紧邻车辆的间距。

1) 谨慎型车辆的演化规则:

(1) 加速过程: $v_i(t+1) = \min(v_i(t) + 1, v_c)$;

(2) 确定性减速过程: $v_i(t+1) = \min(v_i(t), g_i(t) - 1)$;

(3) 随机(以概率 p) 减速过程: $v_i(t+1) = \min(v_i(t) - 1, 0)$;

(4) 位置更新: $x_i(t+1) = x_i(t) + v_i(t+1)$ 。

2) 激进型车辆的演化规则:

(1) 加速过程: $v_i(t+1) = \min(v_i(t) + 1, v_a)$;

(2) 确定性减速过程: $v_i(t+1) = \min(v_i(t), g_i(t))$;

(3) 位置更新: $x_i(t+1) = x_i(t) + v_i(t+1)$ 。

2 数值模拟

将道路视为长度为 15 km 的一维离散格点,格点间距长 7.5m,则道路被分为 2000 个格点,即 $L = 2000$ 。在任一时刻格点为空或被一辆车占据。初始条件下,两种车辆混合随机分布在道路上。谨慎型车辆的最大行驶速度 $v_c = 4$,相当于 108km/h 的真实车速。而激进型车辆的最大行驶速度 $v_a = 5$,相当于 135km/h 的真实车速。

记道路上的车辆总数为 N ,其中谨慎型车辆占总数的比例为 $\lambda (0 \leq \lambda \leq 1)$ 。则 $\rho = N/L, \rho_a = (1 - \lambda)\rho$ 和 $\rho_c = \lambda\rho$ 分别为道路上的总车辆及激进型和谨慎型驾驶员所驾驶车辆的密度。平均车速和平均车流量为:

$$\bar{v}_t = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N v_i(t), J_t = \rho \bar{v}_t$$

2.1 混合比例与平均速度的关系

初始时刻,按照给定的车辆总数 N 和一定的混合

比例系数 λ 随机混合分布在车道上,且其初速度均为 0。演化过程采用周期性边界条件。谨慎型车辆的随机减速概率取定为 $p = 0.5$ 。为了消除初始位形的随机性对结果的影响,模型每一次运行演化的时步为 10000 步,记录后面运行 1000 步中每一时步内的速度,然后将得到的 1000 个速度值再作时间平均,得到一次运行的平均速度,再对 20 个样本取平均。混合比例 λ 从初始比例 1% 开始,不断按 1% 递增,直到比例达到 99% (即几乎全是谨慎型车辆)。图 1 就是对应不同车流密度下的混合比例 λ 与平均速度 \bar{v} 的关系曲线。

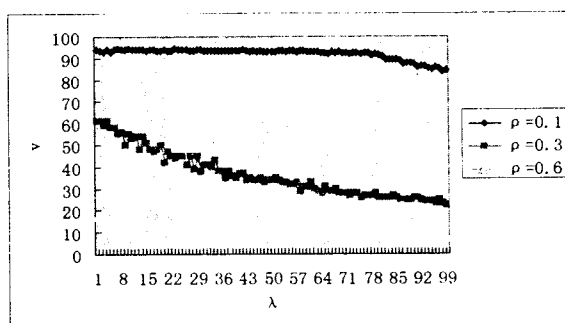


图 1 混合比例与平均速度的关系

从图 1 可以看出,在车流密度仅为 10% 时,谨慎型车辆所占比例的多少对整个车流平均速度影响不大。当混合比例 λ 小于 80% 时,车辆平均速度呈一条水平线,这是由于道路上车辆非常少,车辆都能以较大速度流畅地运行,而激进型车辆的速度大,很快便会赶上谨慎型车辆,但由于不能超越谨慎型车辆,于是为了避免与前车发生碰撞,不得不减速行驶,此后快车的速度也就不能超过慢车的最大速度,因此快车相当于变成了慢车。此时平均车速为 94 低于谨慎型车辆能达到的最大车速 108km/h,这是由于谨慎型车辆的随机减速概率较大的缘故。而随着谨慎型车辆比例的增加,对整个道路的限制效果会越来越明显,特别是当混合比例 λ 大于 80% 后,此时道路上绝大部分都是谨慎型车流了。平均速度以一个较小的幅度线性下降。当混合比例 λ 为 99% 时,道路上车辆的平均速度已经下降到 84.5km/h。这也说明在道路上车流量较小的时候,谨慎型车辆的出现严重限制了道路上车辆以较大速度运行。

当车流密度达到 30% 时,可以从图上看到平均车速随着谨慎型车辆比例的增加而呈非线性递减状态。这说明车辆间的粘着力增加,车流不再流畅,在车流中已经明显出现自由相和堵塞相。而且随着谨慎型车辆所占比例的增加,车流的拥挤堵塞现象愈加严重。当谨慎型车辆的比例达到 99% 时,车流平均速度仅为 22km/h。

车流密度达到 60% 时,车辆间的粘着力进一步加剧,车流更加不流畅,整体平均速度又大幅度下降。当车辆比例为 99% 时,车流平均速度仅为 6km/h。几乎停止运行了。但可以看到随着谨慎型车辆比例的增加,对车流平均速度的影响已经不如车流密度为 30% 时明显,这是因为道路上车流本身已经十分拥挤。车辆无法流畅地运行,所以即使是激进型车辆,也由于道路拥挤被迫以非常低的速度运行,因此,谨慎型车辆的影响虽然仍然存在,但从平均速度上来看,影响已经不是很明显了。

2.2 随机减速概率对平均速度及流量的影响

仍然采用随机的初始条件和周期性边界条件进行模拟,考察随机减速概率的大小及车流密度对平均车速及流量的影响。取定车辆混合比例系数 $\lambda = 0.5$ 。对于不同的车流密度,随机减速概率从初始 $p = 0.1$ 开始,不断按 0.1 递增,直到 $p = 0.9$ 。图 2,图 3 分别是对应不同车流密度下的随机减速概率与平均速度及流量的关系曲线图。

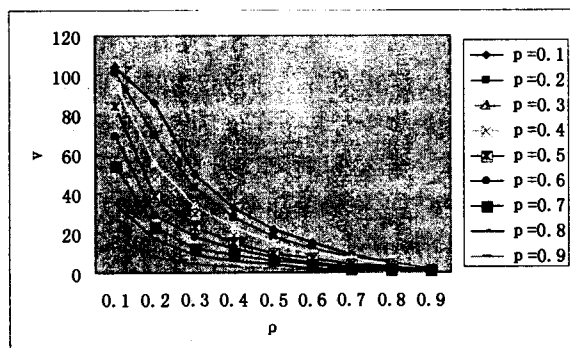


图 2 随机减速概率对平均速度的影响

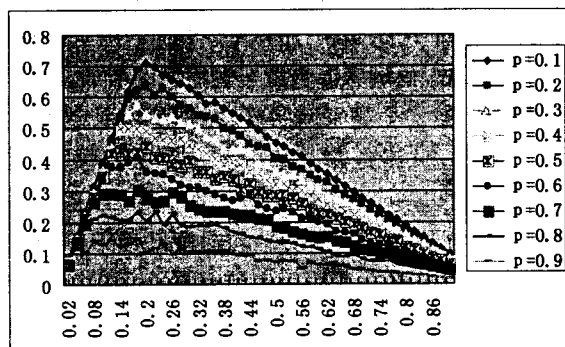


图 3 随机减速概率对流量的影响

从图 2 可以看到,在一定车流密度下,平均车速随着随机减速概率的增加而减小。特别是当车流密度较小时,效果更加明显。因为此时道路上车流较少,车辆都能以较大速度流畅地运行,而激进型车辆的速度大,很快便会赶上谨慎型车辆,但由于不能超车,速度完全被谨慎型车辆所压制。随着谨慎型车辆的随机减速的

不断增大,车流的整体平均速度也不断减小。

图 3 反映的是随机减速概率和车流密度对流量的影响。可以看到,在一定车流密度下,随着随机减速概率的增大,流量逐渐减小。这是因为随着随机减速概率的增大,车流平均速度逐渐减小。

而车流密度对流量的影响则和随机减速概率不同。从图 3 中可以看到,当随机减速概率一定时,随着车流密度的增大,流量并不是线形递增或是线性递减。而是大致呈先逐渐增大,当达到一个临界值时再逐渐减小的趋势。这是因为,当随机减速概率一定时,车流密度还对车流平均速度有影响。从图 2 中可以看出,当随机减速概率一定时,车流平均速度随着车流密度的增大而减小。因此,流量必然会有一个临界值。当随机减速概率为 0.1~0.4 之间时,流量的临界密度出现在车流密度为 0.2 左右。而当随机减速概率为 0.5~0.9 时,流量的临界密度出现在车流密度为 0.18 左右。而且流量的临界密度随着随机减速概率的增大而减小,反映出随机减速概率对整体车流有明显的抑制作用。这是因为在单车道上不存在超车现象,谨慎型车辆会迫使激进型车辆降低速度行驶。随着随机减速概率的增大,谨慎驾驶的车辆速度相应减小,从而导致了系统流量的下降。

3 结束语

通过对谨慎型驾驶员和激进型驾驶员不同驾驶特性分析,并参考经典的 NS 模型,得到了混合车流的元胞自动机交通流模型。

数值模拟表明,车流中谨慎型车辆的存在对整个车流的速度影响比较大,即使谨慎型车辆所占比例很低,如 1%,但只要存在,就会使平均速度下降很大。这也说明了,在实际交通中,特别是道路上车流较少时,行车过于谨慎反而会给交通带来不利的影响。此外,通过分析随机减速概率对流量的影响,发现随着随机减速概率的增加,流量也逐渐减小,并且流量峰值出现提前。同样说明了,行车如果过于谨慎,总是倾向于以趋车的方式运行,会对道路交通造成不利的影响。文中的道路为单车道,没有涉及超车问题,但可以将文中的模型推广到多车道的情况。

参考文献:

- [1] 董力耘,薛郁,戴世强. 基于跟车思想的一维元胞自动机交通流模型[J]. 应用数学和力学, 2002, 43(4): 331 - 337.
- [2] 牟勇,钟诚文,李芸,等. 一种改进的 Nagel - Schreck- (下转封三)

二者夹角的余弦值来表示:

$$\text{Sim}(T, T_j') = \frac{\sum_{m=1}^k t_m \times t_{jm}'}{\sqrt{\sum_{m=1}^k t_m^2 \times \sum_{m=1}^k t_{jm}'^2}} \quad (6)$$

其中, T 为问题语义向量; T_j' 为第 j 个句子向量; k 为语义空间的维数; t_m 和 t_{jm}' 分别是 T 和 T_j' 向量中第 m 维权值。 $\text{Sim}(T, T_j')$ 值越大, 则二者越相近。

3 实验结果及分析

实验数据来自《编译原理》课程中 300 多个常见问题。根据上面介绍的理论与方法, 生成 2526x1500 的词-句子矩阵, 使用 MATLAB 软件工具包进行 SVD 分解生成语义空间, 根据实验效果选取 k 值为 120。同时, 将准确率定义为:

$$\text{准确率} = \frac{\text{答对的测试题数}}{\text{测试题总数}}$$

测试中, 如果句子之间相似度值大于某个阈值(阈值可以根据实验结果设定, 文中选取阈值为 0.65), 且正确答案位于前 3 位, 则认为匹配成功。

用 2 组实验分别对 VSM 方法和加权 LSA 方法进行比较。测试结果如表 1 所示。

表 1 用户问题与答案库中问题间相似度测试结果

计算模型	测试题总数	答对题数	答错题数	准确率/%
VSM	326	263	63	80.67
加权 LSA	326	306	20	93.87

从实验结果来看, 加权 LSA 方法比 VSM 方法的准确率有很大提高。主要是由于加权 LSA 方法对 VSM 方法进行了变换处理, 经过变换得到的潜在语义空间对 VSM 空间进行了降维处理。另外, 针对特定教育领域智能答疑系统, 文中对反映词与词之间相关性的权值计算进行了改进, 经过变换得到的加权潜在语义空间更精确地反映词与词之间的相关性, 所以准确率得到了较大幅度的提高。

4 结束语

相似度计算是实现智能答疑系统的关键技术, 文

中采用基于加权 LSA 的相似度计算方法, 对词的同义和多义现象有较好的处理效果。但是在计算反映词与词之间的相关性的权值时, $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ 这三个参数的确定是采用专家确定的, 具有一定的主观性和局限性, 进一步的研究将采用通过数据全集的统计度来计算 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ 这三个参数的值。

参考文献:

- [1] 徐易. 智能答疑系统的研究与实现[D]. 南京: 东南大学, 2002.
- [2] Landauer T K, Foltz P W, Laham D. Introduction to latent semantic analysis[J]. Discourse Processes, 1998, 27(25): 259 - 284.
- [3] Deerwester S, Dumais S T A. Indexing by latent semantic analysis[J]. Journal of the Society for Information Science, 1990, 41(6): 391 - 407.
- [4] 余正涛, 樊孝忠, 郭剑毅, 等. 基于潜在语义分析的汉语问答系统答案提取[J]. 计算机学报, 2006, 29(10): 1889 - 1893.
- [5] Nakov P, Popova A, Mateev P. Weight Functions Impact on LSA Performance [C]//In: Proceeding of EuroConference RANLP' 2001. Tzigov Chark, Bulgaria: [s. n.], 2001: 187 - 193.
- [6] Hu X, Cai Z, Louwerse M, et al. A Revised Algorithm for Latent Semantic Analysis[C]//In: Proceedings of the 2003 International Joint Conference on Artificial Intelligence. [s. l.]: [s. n.], 2003: 1489 - 1491.
- [7] Salton G, Buckley B. Term-weighting approaches in automatic text retrieval[J]. Information Processing and Management, 1998, 24(5): 513 - 523.
- [8] 鲁松, 李晓黎, 白硕. 文档中词语权重计算方法的改进[J]. 中文信息学报, 2000, 14(6): 8 - 13.
- [9] 吴科, 石冰, 卢军. 基于文本集密度的特征选择与权重计算方案[J]. 中文信息学报, 2004, 18(1): 42 - 47.
- [10] 刘云峰, 齐欢. 潜在语义分析权重计算的改进[J]. 中文信息学报, 2005, 19(16): 64 - 69.
- [11] 刘亚军, 徐易. 一种基于加权语义相似度模型的自动问答系统[J]. 东南大学学报: 自然科学版, 2004, 34(5): 609 - 612.

(上接第 250 页)

- enberg 模型及速度-流量关系研究[J]. 系统工程, 2006, 24(8): 12324(8): 123 - 126.
- [3] Nagel K, Schreckenberg M. A Cellular Automaton Model for Freeway Traffic[J]. Physique France, 1992, 2: 2221 - 2229.
- [4] 熊桂林, 黄悦. 元胞自动机在混合交通仿真中的应用[J]. 系统工程, 2006, 24(6): 24 - 27.
- [5] 牟勇, 钟诚文, 李芸. 元胞自动机交通流模型中减速概率的影响[J]. 交通与计算机, 2006, 24(1): 18 - 20.
- [6] 郑英力, 翟润平, 马社强. 交通流元胞自动机模型综述[J]. 公路交通科技, 2006, 23(1): 110 - 115.
- [7] 吴可非, 邝华, 孔令江, 等. 元胞自动机 FI 和 NS 交通流混合模型的研究[J]. 广西师范大学学报: 自然科学版, 2005, 23(4): 8 - 11.
- [8] 吴可非, 孔令江, 刘慕仁. 双车道元胞自动机 NS 和 WWH 交通流混合模型的研究[J]. 物理学报, 2006, 55(12): 6275 - 6280.