

# Multi-Agent Simulation of Urban Traffic System Based on Swarm and Machine Learning

Jiashun Zhang

Department of Transportation, Hebei University of Technology, Tianjin  
Email: jszhang@hebut.edu.cn

Received: Oct. 10<sup>th</sup>, 2019; accepted: Oct. 23<sup>rd</sup>, 2019; published: Oct. 30<sup>th</sup>, 2019

---

## Abstract

Urban road traffic system simulation is one of the important methods to analyze and optimize the existing urban traffic system. In this paper, a multi-agent simulation model based on Swarm and DQN machine learning algorithm is designed. Firstly, based on complex adaptive system theory, a multi-agent simulation model is established. Then the DQN machine learning algorithm is used to simulate the individual decision-making behavior of the agent in the system. The simulation model is implemented based on Swarm software package. Finally, the model is simulated and analyzed by using the data from the second ring line of Chengdu City in the Gaia Data Open Plan. The result illustrates the effectiveness of this method.

## Keywords

Complex Adaptive System, Multi-Agent Modeling, Machine Learning

---

# 基于Swarm和机器学习的城市道路交通系统多主体仿真研究

张家顺

河北工业大学交通运输系, 天津  
Email: jszhang@hebut.edu.cn

收稿日期: 2019年10月10日; 录用日期: 2019年10月23日; 发布日期: 2019年10月30日

---

## 摘要

城市道路交通系统仿真是分析和优化现有城市交通系统的重要方法之一。本文设计了基于Swarm和DQN

机器学习算法的多主体仿真模型。首先, 基于复杂适应系统理论, 建立了多主体仿真模型。对于系统中主体的个体决策行为采用机器学习中的DQN算法来模拟, 并基于Swarm软件包实现了所设计的仿真模型。最后, 使用滴滴出行盖亚数据开放计划中成都市二环线上的数据对所建立的模型进行了仿真和分析, 结果表明了方法的有效性。

## 关键词

复杂适应系统, 多主体建模, 机器学习

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

近年来, 随着经济的飞速发展, 城市规模急剧扩大, 城市道路的拥堵问题日益严重。除了加强交通基础设施建设外, 优化道路设施及交通组织也是缓解城市交通拥堵的重要途径。交通仿真是运用现代计算机技术再现实际交通系统的特性、分析交通系统在各种设定条件下的可能行为, 以寻求现实交通问题最优解的一种手段, 也是评价运输设施各类运用设计方案效果的有效方法[1], 高效率的交通仿真实验分析对于交通系统的设计和发展都是极其重要的[2]。

在道路交通仿真方面, 目前有很多学者基于微观仿真做了大量的研究工作。通过增强几何表达和拓扑表达能力的面向智能交通系统的仿真路网模型[3]来提高交通仿真基础路网建模的效率; 从满足微观交通仿真需求角度分析路网建模的要点, 设计面向微观交通仿真的车道级基础路网数据模型[4]; 秦天保等[5]通过建立集装箱码头堆场的整体仿真模型, 并结合交叉口道路通行能力计算, 对码头堆场的道路规划进行了研究。另外, 还有研究通过将微观动态交通模型与瞬时排放模型相结合, 来仿真在不同拥挤程度的城市道路上行驶的车辆油耗[6]。Claudio Feliciani 等[7]为了仿真车辆和行人之间的碰撞导致的每年行人死亡人数, 提出了一个无信号人行横道的模拟模型。Mubasher [8]则开发了一个集成车辆交通仿真环境用于以综合方式模拟道路基础设施和车辆交通。

城市道路交通系统, 作为一种典型的复杂巨系统, 目前的仿真模型对复杂的实际网络的适用性较差。随着复杂适应系统理论提出和发展, 基于多智能体的仿真技术为交通系统仿真提供了新的途径。2010年Macal 提出了基于智能体的建模与仿真的基本概念[9]。Itami 基于智能体的概念, 模拟了人类运动与户外休闲环境之间复杂的相互作用[10]。Lv [11]设计了一个不确定环境下综合客运交通系统的智能体仿真模型, 用于对区域客运公共交通系统进行仿真。唐俊[12]研究了基于多主体模型的兰州市城市空间演化过程及动态模拟。

本文基于复杂适应系统理论, 设计了一个对道路交通状态进行仿真和分析的多主体仿真模型。本文的结构如下, 第2节介绍了多主体仿真模型的构建和基于 Swarm 平台的仿真实现。第3节以成都市二环路为样本集进行了仿真和分析。第4节对研究的结果做了总结。

## 2. 城市道路交通系统多主体仿真

### 2.1. 多主体仿真模型

城市作为典型的复杂巨系统, 其交通子系统同样具有自适应性、复杂性和多主体性的特点, 其演化

是道路交通多主体相互作用的过程。为了道路上的通行状态进行仿真，系统中所有主体的行为都模拟真实实体的行为，模型中的每一个智能体是道路上的实际出行者。

在城市道路交通多主体仿真模型中，该系统内每一个出行者都被定义为系统中的一个主体，主体 = {属性、规则、学习算法}。其中，主体的属性包括出行者的空间位置、速度、加速度、出行目的地等。

主体的决策规则为：

- 1) 每一个主体自身都具有独立自主的决策能力。
- 2) 主体以一定的概率进入指定的道路成为该仿真系统的输入。
- 3) 主体离开所仿真的道路时视为离开该系统。
- 4) 系统内各个主体行为及属性，根据时间序列，模拟旅客的出行行为。

主体的学习算法用于决定每个主体的决策行为。这里通常以主体期望到达目的地的最短时间、最短路线或者最小费用为决策目标。对于主体的决策行为，本文使用了机器学习中的 DQN 算法来实现。Q-learning 是通过不停地探索和更新 Q 表中的 Q 值从而计算出智能体行动的最佳路径的，而 DQN 算法不用 Q 表记录 Q 值，而是用神经网络来预测 Q 值，并通过不断更新神经网络从而学习到最优的行动路径。DQN 中有两个神经网络，一个参数相对固定的网络，称为 target-net，用来获取 Q-目标(Q-target)的数值，另外一个叫做 eval\_net 用来获取 Q-评估(Q-eval)的数值。eval\_net 是反向传播的训练网络。target\_net 是只做正向传播得到 q\_target。其基本结构如下图 1 所示：

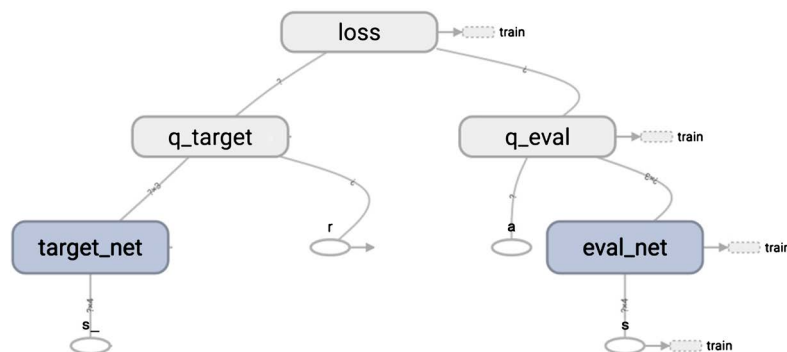


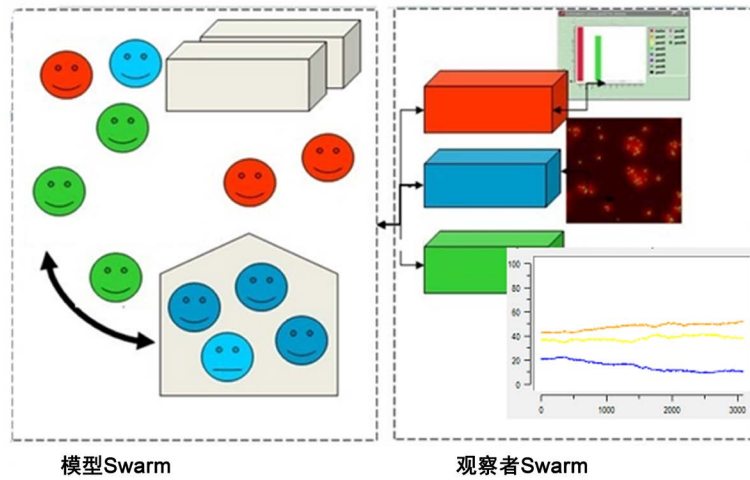
Figure 1. The basic structure of Deep Q-Learning  
图 1. Deep Q-Learning 的基本结构

## 2.2. Swarm 仿真软件

Swarm 最初是在 20 世纪 90 年代由美国圣塔菲研究所在复杂适应系统理论上开发的多主体仿真软件工具集。该平台采用多智能体仿真的方法，使主体和元素通过事件进行交互，以实现系统的模拟。Swarm 主要包括两个部分：模型 Swarm 和观察员 Swarm。模型 Swarm 处于核心位置，封装了整个仿真模型，其中的每一个对象都对应于现实世界中的一个主体。模型 Swarm 主要包括以下三部分：对象、时间表、输入/输出。模型 Swarm 定义了被仿真的世界，而观察者 Swarm 是观测结果的工具。观察者 Swarm 也包括三部分：对象集、行为时间表、输入/输出。观察者 Swarm 对象的观测集包括模型 Swarm 和观察仪器等；行为时间表是指模型读取数据以及画出图形的顺序；输入一般是指观测模型的配置，输出则是观测到的结果。其基本结构如下图 2 所示：

## 3. 仿真实例与分析

仿真实例的交通数据来自滴滴盖亚数据开放计划。盖亚数据开放计划是滴滴依托于滴滴出行大数据



**Figure 2.** The basic structure of Swarm  
**图 2.** Swarm 基本结构

平台，向学术界提供的真实的脱敏数据资源。本仿真实例以成都市 2016 年 10 月~11 月在二环路上的交通数据作为样本集，该样本集中的数据格式如下表 1 和表 2 所示。

**Table 1.** The fields of order data of Didi Chuxing GAIA Open Dataset

**表 1.** 盖亚数据集车辆订单信息数据数据格式

字段	类型	示例	备注
订单 ID	String	mjiwdgkqmonDFvCk3ntBpron5mwfrqvI	已经脱敏处理
开始计费时间	String	1501581031	unix 时间戳，单位为秒
结束计费时间	String	1501582195	unix 时间戳，单位为秒
上车位置经度	String	104.11225	G CJ-02 坐标系
上车位置纬度	String	30.66703	G CJ-02 坐标系
下车位置经度	String	104.07403	G CJ-02 坐标系
下车位置维度	String	30.6863	G CJ-02 坐标系

**Table 2.** The fields of GPS trajectory data of Didi Chuxing GAIA Open Dataset

**表 2.** 盖亚数据集车辆轨迹信息数据数据格式

字段	类型	示例	备注
司机 ID	String	glox.jrrlltBMvCh8nxqktdr2dtopmlH	已经脱敏处理
订单 ID	String	jkkt8kxniovIFuns9qrrlvst@iqnpkwz	已经脱敏处理
时间戳	String	1501584540	unix 时间戳，单位为秒
经度	String	104.04392	G CJ-02 坐标系
纬度	String	104.04392	G CJ-02 坐标系

表 1 中的数据每出现一个新的订单即在系统中对应一个出行主体，订单开始时间为主体进入系统时间，下车位置为出行目的地。表 2 中的数据为该主体实际运行轨迹，对于连续的两个数据点之间的距离  $l_i$  可以定义如下：

$$l_i = 12756274 \times \arcsin \left( \sqrt{\sin^2 \left( \frac{\pi \times (lat_i - lat_{i-1})}{360} \right) + \cos \left( \frac{\pi \times lat_i}{180} \right) \times \cos \left( \frac{\pi \times lat_{i-1}}{180} \right) \times \sin^2 \left( \frac{\pi \times (long_i - long_{i-1})}{360} \right)} \right) \quad (1)$$

$i=1,2,\dots,n$ ，其中  $lat_i$  和  $long_i$  分别是点  $i$  在 GCJ-02 坐标系下的经度和纬度坐标， $t_i$  车辆在  $i$  时的时间，其数据为 unix 时间戳格式。进一步就可以计算主体的速度和加速度属性。根据(1)，我们可以得到车辆在点  $i$  和点  $i-1$  之间的平均速度  $v_i$ 。

$$v_i = \frac{l_i - l_{i-1}}{t_i - t_{i-1}} \quad (2)$$

以及加速度  $a_i$ ：

$$a_i = \frac{v_i - v_{i-1}}{t_i - t_{i-1}} \quad (3)$$

$$i=1,2,\dots,n.$$

为了检验本仿真方法的有效性，以数据集中 2016 年 10 月的数据作为训练的记忆库，完成 Deep Q-Learning 网络的初始化；以 2016 年 11 月的实际数据作为测试集与通过仿真得到的道路通行速度进行对比，所得到仿真数据与实际数据的比较如下面图 3 所示，其中折线为真实数据，黑点为预测数据。

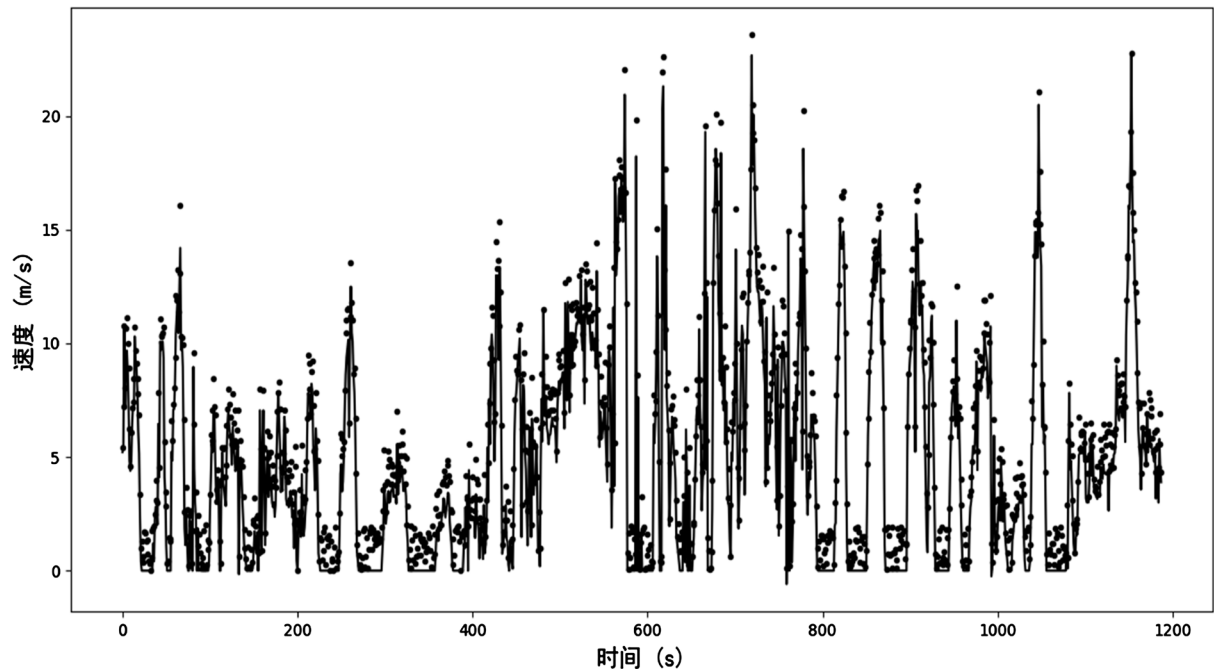


Figure 3. The comparison between simulated data and actual data

图 3. 预测数据与实际数据比较

从图中可以看出预测数据与实际数据的整体趋势基本吻合，在车辆速度较低的区间误差相对较大，在车辆速度超过 3 km/h 时仿真的预测值与实际值基本接近。结果表明，所设计的基于 Swarm 和 DQN 机器学习算法的城市道路交通多主体仿真系统可以有效的对城市道路的通行状态进行仿真。对于 3 km/h 以下的车辆运行状况的误差预测，一般是由于拥堵和红绿灯时，对车辆的状态判断产生的误差，需要在进一步的机器学习训练中，加强对于车辆运行状态的判段。

## 4. 结论

本文对城市道路交通系统的微观仿真进行了研究。由于交通系统主体行为固有的复杂性,首先基于复杂适应系统理论,建立了对系统主体行为进行描述的多主体仿真模型。然后,对系统中主体的行为规则采用机器学习中的 DQN 算法来实现。接下来,基于 Swarm 软件包实现了所设计的仿真模型。最后,使用滴滴出行盖亚数据开放计划中成都市二环线上 2016 年 10 月和 11 月的数据对所建立的模型进行了仿真和验证分析,结果表明了所设计的基于 Swarm 和 DQN 机器学习算法的多主体仿真模型可以有效地对城市道路的通行状态进行仿真。

## 致谢

数据来自滴滴出行,数据出处: <https://gaia.didichuxing.com>。

## 基金项目

河北省科技计划项目 No.15456135。

## 参考文献

- [1] 毛保华, 杨肇夏, 陈海波. 道路交通仿真技术与系统研究[J]. 北方交通大学学报, 2002(5): 37-46.
- [2] 邹智军. 新一代交通仿真技术综述[J]. 系统仿真学报, 2010, 22(9): 2037-2042.
- [3] 石敏, 孙科, 毛天露, 郑玲. 面向智能交通系统的仿真路网快速建模方法[J]. 图学学报, 2019, 40(3): 489-496.
- [4] 黄敏, 饶明雷, 李敏. 面向仿真的车道级基础路网模型及其应用[J]. 系统仿真学报, 2014, 26(3): 657-661.
- [5] 秦天保, 刘兰辉, 沙梅. 集装箱码头堆场道路交叉口车流仿真研究[J]. 系统仿真学报, 2014, 26(2): 430-434.
- [6] Samaras, C., Tsokolis, D., Toffolo, S., Magra, G., Ntziachristos, L. and Samaras, Z. (2019) Enhancing Average Speed Emission Models to Account for Congestion Impacts in Traffic Network Link-Based Simulations. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, **75**, 197-210. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2019.08.029>
- [7] Feliciani, C., Gorrini, A., Crociani, L., Vizzari, G., Nishinari, K. and Bandini, S. (2019) Calibration and Validation of a Simulation Model for Predicting Pedestrian Fatalities at Unsignalized Crosswalks by Means of Statistical Traffic Data. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*. <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2019.01.004>
- [8] Mubasher, M.M., Jaffry, S.W., Yousaf, M.M., Bajwa, I.S., Sarwar, S. and Aslam, L. (2019) A Smart Integrated Environment for Vehicular Traffic Simulation. *International Journal of Communication Systems*, **32**, e4029. <https://doi.org/10.1002/dac.4029>
- [9] Macal, C. and North, M. (2010) Tutorial on Agent-Based Modelling and Simulation. *Journal of Simulation*, **4**, 151-162. <https://doi.org/10.1057/jos.2010.3>
- [10] Itami, R., Raulings, R., MacLaren, G., Hirst, K., Gimblett, R. and Zanon, D. (2003) Simulating the Complex Interactions between Human Movement and the Outdoor Recreation Environment. *Journal for Nature Conservation*, **11**, 278-286. <https://doi.org/10.1078/1617-1381-00059>
- [11] Lv, R.J. and Zhang, J.S. (2012) Multi-Agent Simulation in Integrated Passenger Transportation System under Uncertain Environment. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, **49**, 651-655.
- [12] 唐俊. 基于多主体模型的兰州市城市空间演化过程及动态模拟[D]: [硕士学位论文]. 西安: 西北大学, 2016.