

城市交通路口车辆排队系统仿真及优化^①

王付宇^{1,2}, 李卫宁¹, 叶春明²

¹(安徽工业大学 管理科学与工程学院, 马鞍山 243032)

²(上海理工大学 管理学院, 上海 200093)

摘要: 针对城市路口车辆排队系统数据不稳定、时效性差的缺点, 提出了利用 Flexsim 仿真技术模拟路口车辆排队系统的方法. 论文首先通过分析现场数据, 得出车辆排队系统排队规则、车辆排队系统服务时间; 然后, 利用 ExpertFit 拟合分布软件拟合排队系统车辆到达时间间隔函数, 并利用排队系统函数进行模型仿真; 最后, 根据模型仿真结果分析, 提出优化方案. 结果证明, Flexsim 仿真技术能有效地模拟路口交通的堵塞情况, 对改善路口交通状况有较好效果.

关键词: 系统仿真; 排队系统; Flexsim; 交通路口; 优化

引用格式: 王付宇, 李卫宁, 叶春明. 城市交通路口车辆排队系统仿真及优化. 计算机系统应用, 2017, 26(8): 121-126. <http://www.c-s-a.org.cn/1003-3254/5896.html>

Simulation and Optimization of Vehicle Queuing System in Urban Traffic Intersection

WANG Fu-Yu^{1,2}, LI Wei-Ning¹, YE Chun-Ming²

¹(School of management science and Engineering, Anhui University of Technology, Maanshan 243032, China)

²(School of management, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: In view of the instability and poor time effectiveness of data in the city intersection vehicles queuing system, this paper puts forward a method to simulate intersections vehicles queuing system by using Flexsim. Firstly, the rules and service time of vehicles queuing System are obtained based on the field data. Then, the vehicles arrival interval functions of the queuing system are fitted by the software of ExpertFit and a simulation through using the functions was carried out. Finally, the optimized solution is proposed according to the result of the simulation. In conclusion, this study proves that the Flexsim simulation can solve problems of intersection traffic jams effectively, which presents a applicable prospect of the system.

Key words: system simulation; queuing system; Flexsim; traffic intersection; optimization

1 引言

随着我国社会经济的快速发展, 城市化进程的不断推进, 城市人口不断增长, 城市机动车拥有数量成倍增长. 但是由于各种因素的影响, 交通拥挤问题日益突出. 城市道路交通问题正日益成为制约城市进一步发展的瓶颈^[1]. 计算机系统仿真是建立计算机仿真模型模拟现实的动态系统, 它是建立在系统理论、控制理论、数理统计、信息统计与采集和计算机仿真理论基

础上, 对客观世界实际过程短时间运行的模拟^[2]. 基于道路交通问题的复杂性, 大量学者利用计算机系统仿真针对这一问题开展了大量研究工作. 文献检索发现城市道路路口交通仿真是一种较为有效的研究路口排队系统的方法, 主要包括基于 CORSIM 的通行能力仿真模型^[3,4]、基于 VISSIM 的通行能力仿真模型^[5]、基于 SimTraffic 的通行能力仿真模型^[6]等. 仿真技术也在不断发展进步, Flexsim 仿真系统的出现为仿真技术的

① 基金项目: 国家自然科学基金(71271138); 教育部人文社会科学青年基金(14YJC630119); 安徽省高校人文社科研究重大项目(SK2014ZD016); 安徽省住建部软科学研究项目(2015-R2-057)

收稿时间: 2016-11-25; 采用时间: 2016-12-26

发展提供了现代技术上的支持,并逐渐成为仿真技术上的一个主要方法与手段^[7].本文研究的主要工作是利用 Flexsim 仿真软件搭建一个城市路口排队系统仿真系统.针对车流、人流、红绿灯的现场数据进行收集,并对数据的可适用性进行筛选和处理,对路口通行量进行计算和分析,从而找出整个系统的瓶颈问题,并提出优化方案.

2 车辆数据收集

2.1 城市交叉路口简况

论文以某发达城市交通堵塞十分严重的某一交叉口为研究对象,该交叉路口位于繁华商业圈,周边毗邻综合超市和一大型购物广场,路口交通流量大,具有典型的代表性.该路口路口布局如图 1.



图 1 路口布局图

2.2 路口数据

2.2.1 路口车流量数据

针对每个路口车辆的车流量,对研究路口数据进行统计,以每个路口的车流量(S_{mn})作为其数据.

2.2.2 车流流向车流量

因在利用 Flexsim 软件的时候需要确定每个车道车辆到达时间的分布函数,故现对车辆每个车流流向车流量 C_n (单位:辆)进行统计.为可以明确地确定每个车流流向的车流量,现将现实车流流向简化,举例:

若车辆从雨山东路东南右转至江东大道中段北面,符号表示为: A1-C2 右转,车流流向为 A1-C2.

通过比较,可以发现时间段 16:40-17:50 车流量最大,故针对该时间段数据进行研究可以最大限度解决

路口拥堵问题.

2.2.3 各车流流向等待车辆统计

为确定每个路口车流流向车辆到达时间间隔函数,仅利用各车流流量并不能得到其车流流向车辆到达时间间隔函数,必须需要各车流流向等待车辆的 D_n 数据.如下是车流流向车辆到达数 M_n 、车流流向车流量 C_n 和车流流向等待车辆的关系 D_n :

$$M_n + D_n - C_n = D_{n+1} \quad (1)$$

即该红绿灯周期内车流流向车辆的到达数 M_n 与该红绿灯周期内车流流向等待车辆 D_n 之和减去该红绿灯周期内车流流向车流量 C_n 等于下一红绿灯周期始车流流向等待车辆 D_n .

2.3 交通信号控制灯时间数据

基于工作抽样法和秒表测时技术,现利用秒表对路口交通信号控制灯变化规律和持续时间数据进行统计^[8,9],结果如表 1 所示.

表 1 交通信号控制灯持续时间数据(单位: s)

| 序号 | 直行绿灯,左 右转红灯 | 左右转绿灯、 直行红灯 | 左右转红灯、 直行红灯 | 右转绿灯、直行 左转红灯 |
|----------|----------------|----------------|----------------|-----------------|
| 1 | 36 | 24 | 36 | 24 |
| 2 | 36 | 24 | 36 | 24 |
| 3 | 36 | 24 | 36 | 24 |
| 4 | 36 | 24 | 36 | 24 |
| 5 | 36 | 24 | 36 | 24 |
| 6 | 36 | 24 | 36 | 24 |
| 7 | 36 | 24 | 36 | 24 |
| 8 | 36 | 24 | 36 | 24 |
| 9 | 36 | 24 | 36 | 24 |
| 10 | 36 | 24 | 36 | 24 |
| 11 | 36 | 24 | 36 | 24 |
| 12 | 36 | 24 | 36 | 24 |
| 13 | 36 | 24 | 36 | 24 |
| 14 | 36 | 24 | 36 | 24 |
| 15 | 36 | 24 | 36 | 24 |
| 16 | 36 | 24 | 36 | 24 |
| 17 | 36 | 24 | 36 | 24 |
| 18 | 36 | 24 | 36 | 24 |
| 19 | 36 | 24 | 36 | 24 |
| 平均 时间 | 36 | 24 | 36 | 24 |

由表 1 可知其交通信号控制灯平均时间分别为 36 s、24 s、36 s、24 s.

2.4 车辆通过交叉口时间数据

鉴于模型与现实之间的差距,以车辆通过路口时间为模型与现实情况、功能实现统一的其中一个桥梁.现对车辆通过路口时间数据进行统计.

3 数据处理

3.1 数据处理思路

道路路口车辆排队系统是顾客排队系统的一种,而路口排队系统的确定主要由车辆到达时间间隔函数,车辆服务时间函数,车辆服务规则等确定.所以需确定其三个要素,道路路口车辆排队系统可确定.数据处理思路如图2所示.

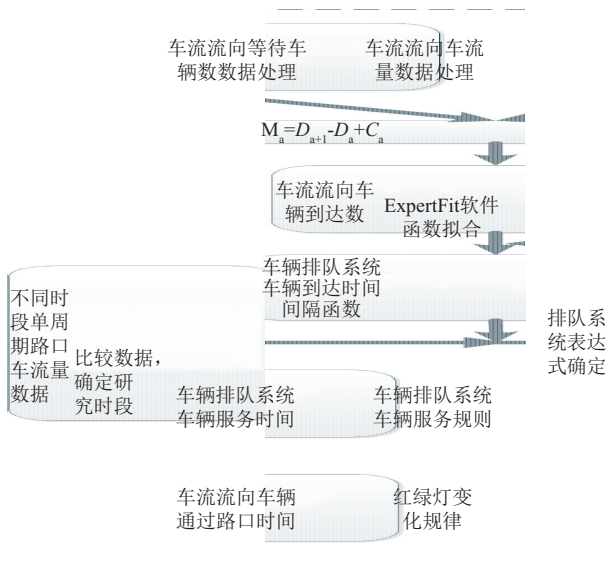


图2 数据处理思路

3.2 车流流向车辆到达时间间隔函数

由公式(1)可知,其单周期内车流流向车辆到达数 M_n 、车流流向车流量 C_n 和车流流向等待车辆 D_n 三者之间的关系,现在以 A1-B1 直行数据为例,计算单周期内车流流向车辆到达数 M_n 的计算方法,例如第一周期内 A1-B1 流量车辆到达:

$$M_1 = D_2 - D_1 + C_1 = 15$$

A1-B1 直行流向车辆到达数 M_n 计算表如表2.

以此类推,分别得到单周期内各车流流向车辆到达数 M_n .

单周期内车流流向车辆达到数 M_n 已经确定,那么单周期内车流平均到达时间间隔:

$$S_n = \frac{T}{M_n} \quad (T = 120 s)$$

以车流流向 A1-B1 为例,其第一周期内车辆达到数为 15 辆,该周期内车辆平均间隔达到时间:

$$S_n = \frac{T}{M_n} = \frac{120s}{15辆} = 8s/辆$$

根据车流流向车辆到达时间间隔数据,利用

ExpertFit 软件进行拟合,其方法思路是建立项目和输入原始数据;数据适用性检验;执行拟合;拟合优度检验及函数选择;获得仿真软件表达式;得到各车流流向车辆到达时间间隔函数.对误差进行分析可知数据适用性检验包括独立性检验、同质性检验和平稳性检验.其中独立性检验以散点图表现形式最为直观,散点图中数据若没有出现明显的相关性,这组数据满足其独立性;同质性检验以直方图表现形式最为直观,若数据中没有出现多峰现象,这组数据排除其同质性,同质性检验过关;该模型中研究时段位于高峰期,故不存在平稳性检验.各车流流向车辆到达时间间隔函数如表3所示.

表2 A1-B1 直行流向车辆到达数 M_n 计算表(单位:辆)

| 周期 | A1-B1流向车流量/ C_n | A1-B1流向等待车辆 D_n | 其单周期内A1-B1流向车辆到达数 M_n : |
|----|-------------------|-------------------|---------------------------|
| 1 | 20③ | 21② | 15(①-②+③) |
| 2 | 15 | 16① | 22 |
| 3 | 26 | 23 | 28 |
| 4 | 22 | 25 | 24 |
| 5 | 21 | 27 | 24 |
| 6 | 31 | 30 | 25 |
| 7 | 25 | 24 | 37 |
| 8 | 31 | 36 | 23 |
| 9 | 29 | 28 | 26 |
| 10 | 29 | 25 | 24 |
| 11 | 23 | 20 | 27 |
| 12 | 29 | 24 | 39 |
| 13 | 36 | 34 | 33 |
| 14 | 32 | 31 | 25 |
| 15 | 27 | 24 | 34 |
| 16 | 33 | 31 | 32 |
| 17 | 31 | 30 | 25 |
| 18 | 25 | 24 | 12 |
| 19 | 18 | 11 | 42 |
| 20 | 29 | 35 | 18 |
| 21 | 28 | 24 | 25 |
| 22 | 26 | 21 | 36 |
| 23 | 35 | 31 | 35 |
| 24 | 34 | 31 | 34 |
| 25 | 35 | 31 | 36 |
| 26 | 39 | 32 | 40 |
| 27 | 34 | 33 | 40 |
| 28 | 38 | 39 | 37 |
| 29 | 31 | 38 | 24 |
| 30 | 32 | 31 | 32 |
| 31 | 34 | 31 | 35 |
| 32 | 35 | 32 | 34 |
| 33 | | 31 | |

3.3 路口车流流向车辆通过路口时间计算

由于在交通信号控制灯由红灯转变成绿灯时,其

驾驶员反应程度相似、路口影响因素众多,使得其各车流车辆通过路口时间在一个平均值附近.故只需要计算各车流流向,车辆通过路口时间的平均值,根据附录五,分别计算其车辆通过路口的平均时间,各车流流向车辆通过路口时间如表4所示.

表3 各车流流向车辆达到时间间隔函数表达式汇总

| 车流流向 | 拟合函数 F |
|---------|--|
| A1-B1直行 | Erlang(2.848267, 1.575483, 1.000000, <stream>) |
| B2-A2直行 | Gamma(2.484652, 1.278977, 1.601162, <stream>) |
| C1-D1直行 | Gamma(2.580544, 1.173118, 1.539769, <stream>) |
| D2-C2直行 | Gamma(0.380775, 0.051449, 58.793349, <stream>) |
| A1-C2右转 | Erlang(3.481551, 1.278287, 2.000000, <stream>) |
| D2-A2右转 | Erlang(2.588558, 2.232252, 3.000000, <stream>) |
| B2-D1右转 | Exponential(11.660650, 18.212475, <stream>) |
| C1-B1右转 | Gamma(6.626372, 33.822153, 0.732782, <stream>) |
| A1-D1左转 | Exponential(4.658566, 10.730184, <stream>) |
| D2-B1左转 | Gamma(3.620662, 3.142748, 1.289664, <stream>) |
| B2-C2左转 | Erlang(4.047823, 1.222338, 2.000000, <stream>) |
| C1-A2左转 | Gamma(7.990111, 32.569347, 0.648929, <stream>) |

表4 各车流流向车辆通过路口时间(单位: s)

| 转向 | 通过路口时间(单位: s) |
|--------------|---------------|
| 直行 $F_{T直行}$ | 9.87 |
| 左转 $F_{T左转}$ | 8.09 |
| 右转 $F_{T右转}$ | 6.84 |

3.4 路口车辆排队系统排队函数表达式确定

各车流流向各自组成一个排队系统,其车辆到达时间间隔函数为 F (表3),车辆服务规则为 W (由表1确定),而车辆服务时间是由车流流向车辆通过路口时间函数(表4) F_{TN} 确定.

例如 A1-B1 车流流向排队函数表达式为: $F/W/F_{T直行}$, 表达的意思为:

车流流向 A1-B1 排队系统车辆到达时间间隔函数服从于 Erlang(2.848267, 1.575483, 1.000000, <stream>); 车辆通过路口时间为 9.87 s; 车辆服务规则为在单周期 120 s 内, 前 36 s 运动, 后 84 s 均停止.

4 路口排队系统仿真与优化

4.1 Flexsim 仿真软件

Flexsim 是美国 Flexsim 公司的产品,它采用 C++ 语言开发,采用面向对象编程和 OpenGL 技术,提供三维图形化建模环境,可以直接建立三维仿真模型,支持离散系统和连续流体系统建模. Flexsim 面向对象的建模方式使得建模过程更为快捷,只需通过图形的拖

动和必要的附加程序就可以快速地建立起系统的模型,软件提供了原始数据拟合、输入建模、图形化的模型构建、虚拟现实显示、运行模型进行仿真试验^[10].

利用 Flexsim 软件构造仿真模型,主要需要对实体、对象端口、连接关系和逻辑关系进行设置和调整,通过编写程序语言可实现复杂逻辑关系.

4.2 建立城市路口车辆排队系统

4.2.1 建立系统仿真实体模型

按照 Flexsim 软件的建模要求,建立道路路口设施在 Flexsim 软件中的对象控件映射.例如:基本传送带实体,它可以模拟车流流向段实现交通信号控制灯周期变化规律.排队系统仿真模型实体与道路路口设施对应关系如表5.

表5 道路路口设施与 Flexsim 实体对应表

| 道路路口设施 | Flexsim映射实体 |
|-----------|----------------|
| 车道 | Basic Conveyor |
| 车流流向车辆发生 | Source |
| 车流流向车辆吸收 | Sink |
| 人行横道 | Conveyor |
| 欧尚超市等其他环境 | Plan |
| 车道线及车道指向 | Background |

将对象实体拖入到比例布局中并定义好各种流后,接下来根据实体之间的逻辑关系依次 A 连接各个实体,否则车流、人流不能按照要求在公路货运站移动.根据流定义连接所有实体后,建立了道路路口模型连接图.道路路口系统仿真实体模型如图3所示.



图3 道路路口系统仿真实体模型图

4.2.2 相关参数设置

实体连接后就要对所有的实体的运行参数进行设置.比如 A1-B1 车流流向车道来说,参数设置包括发生器车辆到达时间间隔函数、车辆起止规律设定、路口直行长度、路口直行段运行速度等等参数.由于本文参数设置数量较复杂,所以现列出一部分实体参数数据设置.

(1) 道路路口模型运行时间

由于该模型研究的是路口晚高峰下班时间车辆现状,为表现数据的真实性,研究一个星期7天时间,每天两个小时的仿真时间.

$$T = 7 \times 2 \times 3600 = 50400(\text{s})$$

(2) 各车流流向车辆路口长度

$$L_{\text{直行}} = 2350 \text{ cm}, L_{\text{左转}} = 2000 \text{ cm}, L_{\text{右转}} = 900 \text{ cm}$$

(3) 行人通过路口速度

$$V_{\text{行人}} = \frac{\text{人行横道长度}}{\text{行人通过路口时间}} \\ = \frac{9 \times 250}{25} = 90 \text{ cm/s} = 0.9 \text{ m/s}$$

(4) 直行路段车辆通过速度

$$V_{\text{直行}} = \frac{\text{直行路段长度 } L_{\text{直行}}}{\text{车辆通过直行路段时间 } T_{\text{直行}}} \\ = \frac{2350 \text{ cm}}{9.87 \text{ s}} = 238 \text{ cm/s} = 2.38 \text{ m/s}$$

(5) 左转路段车辆通过速度

$$V_{\text{左转}} = \frac{\text{左转路段长度 } L_{\text{左转}}}{\text{车辆通过左转路段时间 } T_{\text{左转}}} \\ = \frac{2000 \text{ cm}}{8.09 \text{ s}} = 247 \text{ cm/s} = 2.47 \text{ m/s}$$

(6) 右转路段车辆通过速度

$$V_{\text{右转}} = \frac{\text{右转路段长度 } L_{\text{右转}}}{\text{车辆通过右转路段时间 } T_{\text{右转}}} \\ = \frac{900 \text{ cm}}{6.84 \text{ s}} = 132 \text{ cm/s} = 1.32 \text{ m/s}$$

车辆排队系统模型主要由车辆到达时间间隔函数、车辆服务时间、车辆服务规则构成,在此模型中车辆到达时间间隔函数在车辆发生器的到达时间间隔函数设置栏中选择函数类型,并按照车流流向输入函数参数.

车辆服务时间主要由路口长度与车辆通过路口速度设置实现.车辆服务规则则需要通过利用红绿灯变化规律及对应车流流向数据,编辑程序语言实现.

实现 A1-B1 流向车辆服从单周期 120 s 内 0 s 开始服务、36 s 停止服务的服务规则.

4.3 模型运行结果分析与方案比较.

根据比较不同的排队系统,其系统排队队长、排队队列长、顾客平均逗留时间、顾客平均等待时间都是分析排队系统问题的重要指标,由此得出城市道路路口排队系统找出问题的方法,主要由比较各车流

向通过路口前平均车辆数 L_s 、各车流流向进入路口前平均车辆数 L_q 、各车流流向通过路口前车辆平均停留时间 W_s 、各车流流向进入路口前车辆平均停留时间 W_q 数据得出.车辆排队系统各指标如表 6 所示.

表 6 车辆排队系统各指标

| 车流流向 | L_s | L_q | W_s | W_q |
|---------|-------|-------|-------|-------|
| A1-C2 1 | 3.72 | 3.13 | 42.89 | 36.05 |
| A1-C2 2 | 3.23 | 2.69 | 41.13 | 34.23 |
| D2-C2 1 | 2.34 | 1.95 | 63.63 | 53.24 |
| D2-C2 2 | 1.86 | 1.54 | 60.49 | 50.19 |
| D2-A2 | 4.58 | 3.97 | 42.41 | 36.73 |
| A1-D1 | 5.10 | 4.60 | 76.43 | 69.03 |
| B2-D1 | 1.31 | 1.12 | 39.62 | 33.94 |
| C1-B1 | 1.30 | 1.11 | 40.22 | 34.54 |
| B2-A2 1 | 7.42 | 6.32 | 69.14 | 58.85 |
| B2-A2 2 | 7.95 | 6.80 | 71.19 | 60.90 |
| B2-C2 1 | 5.53 | 4.99 | 73.36 | 66.19 |
| B2-C2 2 | 6.09 | 5.46 | 77.05 | 69.15 |
| C1-D1 2 | 8.34 | 7.19 | 71.61 | 61.71 |
| C1-D1 1 | 7.86 | 6.70 | 69.97 | 59.67 |
| C1-A2 1 | 0.88 | 0.78 | 60.26 | 53.10 |
| C1-A2 2 | 1.33 | 1.18 | 73.35 | 65.44 |
| A1-B1 2 | 8.20 | 7.02 | 71.57 | 61.26 |
| A1-B1 1 | 7.68 | 6.54 | 69.55 | 59.24 |
| D2-B1 2 | 3.25 | 2.93 | 75.60 | 68.19 |
| D2-B1 1 | 2.75 | 2.45 | 70.95 | 63.26 |

对于一个城市道路路口排队系统,路口的拥堵状况、车辆的等待时间、车辆排队长度等都是直观表现其系统的状态指标,而道路通行能力是评价该系统优劣的根本指标.基于 Flexsim 的城市道路路口仿真,模型运行规定之后,输出统计数据,并适当处理可得其道路路口的通行量.本文模型中各车流流向直行段输出量(Stats output)作为其运行时间内的通行量,单周期内各车流流向通行量计算方法如下:

$$C_{\text{车流流向}} = \frac{\text{直行段运行时间内通行量}}{\text{周期数}}$$

$$\text{周期数 } N = \frac{50400}{120} = 420$$

通过计算,模型运行结果通行量统计表如表 7.

由表 6 可见,其 C1-D1 第二条车道的平均队长 L_s 和平均队列长 L_q 最大、B2-C2 流向第二条车道的平均逗留时间 W_s 和平均等待时间 W_q 最大,排队系统较差.而相比较而言,其 C1-A2 第二条车道车流流向和 B2-D1 车流流向各数据都最小,即该流向排队系统较优.由此将 C1-A2 第二条车道转为 C1-D1 直行车道作为优化方案.

表7 模型运行结果通行量统计表(单位: 辆)

| 流向 | 运行时间内通行量 Q | 单周期通行量 $C_{\text{车流向}}$ |
|-------|--------------|-------------------------|
| A1-C2 | 8322 | 19.81 |
| D2-C2 | 3398 | 8.09 |
| D2-A2 | 5446 | 12.97 |
| A1-D1 | 3358 | 8.00 |
| B2-D1 | 1668 | 3.97 |
| C1-B1 | 1622 | 3.86 |
| B2-A2 | 11023 | 26.25 |
| B2-C2 | 7770 | 18.50 |
| C1-D1 | 11528 | 27.45 |
| C1-A2 | 1650 | 3.93 |
| A1-B1 | 11320 | 26.95 |
| D2-B1 | 4117 | 9.80 |
| 路口 | 71222 | 169.58 |

模型运行与调试之后输出数据, 优化模型运行结果通行量优化前后统计表如表8所示。

表8 优化模型运行结果通行量优化前后统计表(单位: 辆)

| 流向 | 运行时间内通行量 Q | | 单周期通行量 $C_{\text{车流向}}$ | |
|-------|--------------|-------|-------------------------|--------|
| | 优化前 | 优化后 | 优化前 | 优化后 |
| A1-C2 | 8322 | 8322 | 19.81 | 19.81 |
| D2-C2 | 3398 | 3398 | 8.09 | 8.09 |
| D2-A2 | 5446 | 5400 | 12.97 | 12.86 |
| A1-D1 | 3358 | 3188 | 8.00 | 7.59 |
| B2-D1 | 1668 | 1680 | 3.97 | 4.00 |
| C1-B1 | 1622 | 1554 | 3.86 | 3.70 |
| B2-A2 | 11023 | 11081 | 26.25 | 26.38 |
| B2-C2 | 7770 | 7759 | 18.50 | 18.47 |
| C1-D1 | 11528 | 15836 | 27.45 | 37.70 |
| C1-A2 | 1650 | 1746 | 3.93 | 4.16 |
| A1-B1 | 11320 | 11361 | 26.95 | 27.05 |
| D2-B1 | 4117 | 4105 | 9.80 | 9.77 |
| 合计 | 71222 | 75430 | 169.58 | 179.60 |

比较表7和表8, 优化后的系统, 系统单周期内通行量提高了约5.91%。系统得到了优化。

5 结论

在综合分析当前城市道路路口的现状和总结目前国内外仿真技术在城市道路路口研究的基础上, 利用基础工业工程采集数据的方法与理论, 借鉴排队论思想, 使用 Flexsim 仿真软件对城市道路路口进行仿真, 并对模型数据进行分析, 最终发现问题, 找到解决问题的方案, 重新模拟排队系统并与原方案进行比较, 从而得到优化方案。由于本文涉及数据规模比较大, 建模实体数量较多。在对数据处理上进行了简单的取舍, 建模实体数量进行了分类处理。主要成果有:

(1) 再次利用 Flexsim 仿真软件对城市道路路口排

队系统进行研究, 为排队系统和 Flexsim 仿真软件的应用提供案例和思路。

(2) 提出利用基础工业工程的秒表测试法与工作抽样法对城市道路路口排队系统数据收集和前期处理。

(3) 提供了在城市道路路口排队系统中数据处理方法, 利用各车流流向流量和各车流流向车辆等待数确定各车流流向车辆到达数, 同时使用 Expertfit 分布拟合软件确定各车流流向车辆到达时间间隔函数。再通过其他数据确定路口车辆排队系统的服务时间和服务规则, 最终确定排队系统的排队函数表达式。

(4) 提供了一个典型的十字路口车辆排队系统的模型, 在实际应用中修改排队系统的到达时间间隔函数、服务时间和服务规则(先到先服务)可以拓展研究任何一个常规十字路口模型, 便于后期利用。

(5) 提出了一个针对于马鞍山市雨山东路与江东大道中段道路路口的优化方案, 提高其道路路口的通行量, 减少其堵塞。

参考文献

- 四兵锋, 杨小宝, 高亮. 基于系统最优的城市公交专用道网络设计模型及算法. 中国管理科学, 2016, 24(6): 106-114.
- 罗杭, 张毅, 孟庆国. 基于多智能体的城市群政策协调建模与仿真. 中国管理科学, 2015, 23(1): 89-98.
- Rouphail N, Eads B. Pedestrian impedance of turning-movement saturation flow rates: Comparison of simulation, analytical, and field observations. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 1997, 1578: 56-63. [doi: 10.3141/1578-08]
- 张之勇, 郭孜政, 姚磊. 基于云模型的非机动车交通流速度仿真. 公路交通科技, 2015, 32(11): 126-131.
- Chen XM, Shao CF, Hao Y. Influence of pedestrian traffic on capacity of right-turning movements at signalized intersections. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2008, 2073: 114-124. [doi: 10.3141/2073-13]
- Shaaban K, Kim I. Comparison of SimTraffic and VISSIM microscopic traffic simulation tools in modeling roundabouts. Procedia Computer Science, 2015, 52: 43-50. [doi: 10.1016/j.procs.2015.05.016]
- 胡大伟, 郗建国. 基于 Flexsim 的公路客运站仿真系统. 长安大学学报(自然科学版), 2010, 30(2): 89-95.
- 许伦辉, 刘邦明. 城市交通信号控制与仿真. 公路交通科技, 2013, 30(9): 108-115.
- 范荣华. 样本轮换在供应链管理抽样调查中的应用. 统计与决策, 2015, (22): 25-29.
- 孟巧凤, 张林鎰, 董杰涛, 等. 基于 Flexsim 仿真的装配线平衡方法研究. 计算机仿真, 2016, 33(6): 176-179.