

高速公路车辆轨迹数据的分析应用

一、问题重述

经过对某一高速公路区间经过车辆轨迹的调研，公路含有 15 个 ETC 门架，收费站 13 为起点，收费站 1 为终点，共 15 个收费站，统计记录了由收费站和门架采集的自 2022 年 2 月 22 日至 2 月 27 日的六天时间内经过该高速路区间的全部车辆的轨迹信息。目的是分析这条高速公路区间的交通状况，并运用数学模型解决以下问题：

1、在该段时间内，运维部门对一些 ETC 门架进行了维修。请描述车流量的时空分布特征，并依据分布指出维修门架的编号和维修的时间。

2、门架是否会漏失对过路车辆的记录，如果会，请指出各门架的漏失记录率和容易漏失记录的车辆的特征。

3、说明收费站流量与路段流量的关系，并确定各站收费车道数以及应急收费系统（便携式收费机或移动电站收费车）的数量，使得在保证通行顺畅的前提下达到费用的最省。

4、预测各路段未来 24 小时的车流量，并利用交通流时空分布不均衡的特点，依据预测模块实时优化

未来 24 小时各个路段的限速值, 以达到最大限度提高路网安全畅通的目的。

二、 问题分析及

对于问题一, 它所要求的是在该时间段内, 车流量的时空分布特征以及维修门架的编号和维修的时间。对于车流量的时空分布特征, 我们可以根据所给的车量的轨迹数据, 运用数据统计的方法和理论, 计算出这段时间内车辆通过各个收费站以及门架的数量。车辆通过各个收费站以及门架的数量即为车流量的时空分布特征。再通过对比车流量的分布密度, 找出维修门架和维修的时间。

对于问题二, 它所要求的是在该时间段内, 门架对过路车辆漏失的记录, 并根据遗失的记录, 算出各门架的遗失记录率, 并找出容易漏失记录车辆的特征。对于车辆遗失的记录, 我们可以根据车流量的时空分布特征、维修的门站、正常的门站三者的数据, 进行前后对比做差计算, 筛选出可能遗失的车辆, 并进行记录。根据记录, 我们可以进一步算出各门架车辆遗失记录率, $\text{遗失记录率} = \text{遗失车辆数} / \text{总流经车辆数}$ 。而对于遗失车辆的特征, 我们可以根据遗失的车辆的总数中, 各种车辆类型所占总遗失车辆的百分比, 来推测出遗失车辆是哪种车型, 即遗失车辆的特征。

对于问题三，我们要探究收费站流量与路段流量的关系，对于关系的分析，我们要先找到两个独立变量的相关数据，从中进行对比，找到两个独立变量的某种数学联系。那么我们可以对各个收费站六天通过的车辆数进行分析，对统计数据进行分析，从而得到各个收费站的车流量。而对于路段流量，我们需要通过车辆轨迹数据，找出相邻收费站的车流量。通过假设一个此高速公路的限制速度，再计算各相邻收费站距离与假设速度的比值，与各个车辆的通过时间进行比较，从而得到相邻收费站间的路段流量。得到收费站流量和路段流量后，将两种数据进行结合，通过数学分析的方法，得到收费站流量与路段流量的关系。我们仍需确定各站收费车道数以及应急收费系统的数量，可以运用假设法，以收费站流量与路段流量的关系为依据进行假设，在保证通行顺畅的条件下，压低所需费用，进一步判断各站收费车道数以及应急收费系统的数量。

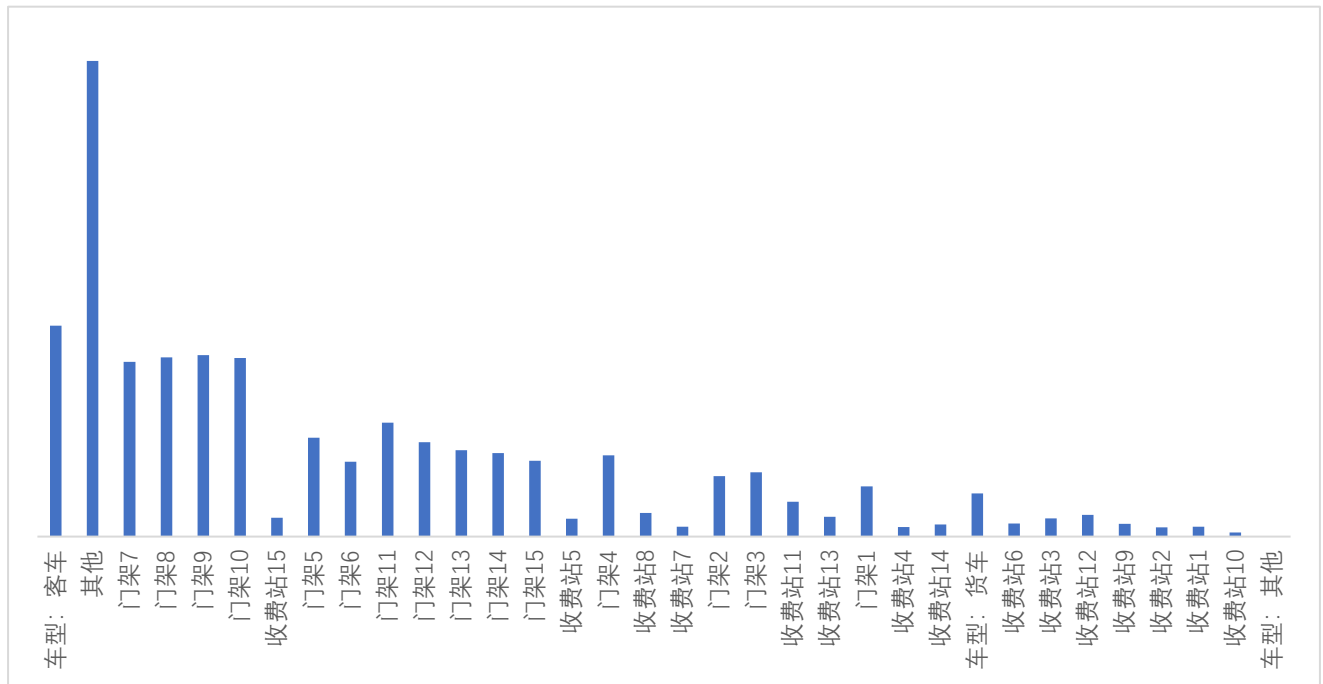
对于问题四，要我们求的是预测各路段未来 24 小时的车流量，并利用交通流时空分布不均衡的特点和依据预测模块实时优化未来 24 小时各个路段的限速值，来达到最大限度提高路网安全畅通。对于各路段 24 小时的车流量，我们可以运用数学归纳法，结合各

路段过去 6 天的车流量数，再运用取平均值的方法，计算出过去 6 天各路段车流量的平均值，这些平均值，即为未来 24 小时各路段车流量的预测值。

三、模型的建立与求解

问题一：根据所给的车量的轨迹数据，运用数据统计的方法和理论，计算出这段时间内车辆通过各个收费站以及门架的数量。

收费站/ 门架编号	计数	列 1	列 2
车型客车	168637	门架 15	60626
其他	380047	收费站 5	14236
门架 7	139622	门架 4	64846
门架 8	143233	收费站 8	18850
门架 9	144938	收费站 7	7900
门架 10	142797	门架 2	48244
收费 15	14972	门架 3	51312
门架 5	78974	收费 11	27753
门架 6	59879	收费 13	15762
门架 11	90989	门架 1	40143
门架 12	75333	收费站 4	7709
门架 13	68959	收费 14	9665
门架 14	66607	车型货车	34581
门架 15	60626	收费站 6	10400
收费站 5	14236	收费站 3	14445
门架 4	64846	收费 12	17230
收费站 8	18850	收费站 9	10247
收费站 7	7900	收费站 2	7487
门架 2	48244	收费站 1	7865
门架 3	51312	收费 10	3156
收费 11	27753	车型其他	249



时空分布特征: 在六天内, 经过门架 9 的车流量最大, 经过门架 1 的车流量最小; 经过收费站 12 的车流量最大, 经过收费站 10 的车流量最小。由此, 可以推测出门架 1 处于维修状态。

问题二: 通过数据分析, 我们认为门架会遗失对过路车辆的记录。

遗失记录率=遗失车辆数/总流经车辆数。

门架 1 遗失记录率: 2.38%

门架 2 遗失记录率: 2.86%

门架 3 遗失记录率: 3.04%

门架 4 遗失记录率: 3.84%

门架 5 遗失记录率: 4.68%

门架 6 遗失记录率: 3.55%

门架 7 遗失记录率： 8.27%

门架 8 遗失记录率： 8.49%

门架 9 遗失记录率： 8.59%

门架 10 遗失记录率： 8.46%

门架 11 遗失记录率： 5.39%

门架 12 遗失记录率： 4.46%

门架 13 遗失记录率： 4.08%

门架 14 遗失记录率： 3.94%

门架 15 遗失记录率： 3.59%

根据遗失的车辆总数中，各种车辆类型所占总遗失车辆的百分比，来推测出遗失车辆是哪款车型。经过数据分析，我们推测遗失的车辆大部分是货车，还有少量小客车。

问题三：

步骤 1:在不考虑车辆时延性及离散性的理想条件下，假设车辆间距服从均匀分布，得到高速公路收费站间流量转移系数

步骤 2：预估车辆通过各高速公路收费站的行程时间；

步骤 3：拟合各高速公路收费站间的车辆行程时间的分布；

步骤 4:在考虑车辆时延性的基础上修正收费站间

的流量转移系数步骤 5 基于步骤 4,在考虑车辆离散性的基础上进一步修正收费站间的流量转移系数;

步骤 6: 结合步骤 3~步骤 5 建立各收费站间的流量转移矩阵, 算法可消除不考虑车辆时延性和离散性理想条件下收费站间流量关系的误差, 更加符合车辆在高速公路收费站间行驶的实际情况。

通过分析表明: 高速公路收费站车流量与路段流量成正比。随着路段流量的增大高速公路收费站车流量也增大。(不考虑环境因素)

问题四:

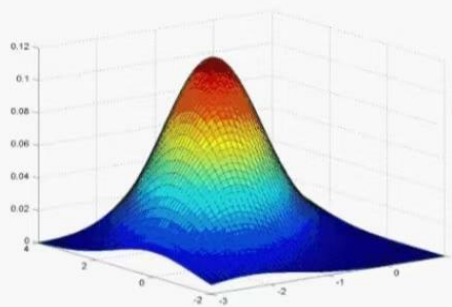


图 4.1 二维正态分布空间示意图

Fig. 4.1 Schematic diagram of two-dimensional normal distribution

利用交通流时空分布不均衡的特点和依据预测模块实时优化未来 24 小时各个路段的限速值, 来达到最大限度提高路网安全畅通。对于各路段 24 小时的车流量, 运用数学归纳法, 结合各路段过去 6 天的车流量数, 再运用取平均值的方法, 计算出过去 6 天各路段

车流量的平均值, 这些平均值, 即为未来 24 小时各路段车流量的预测值。

门架 1~门架 2: 44193 辆

门架 2~门架 3: 49778 辆

门架 3~门架 4: 58079 辆

门架 4~门架 5: 77910 辆

门架 5~门架 6: 69426 辆

门架 6~门架 7: 99750 辆

门架 7~门架 8: 141427 辆

门架 8~门架 9: 144085 辆

门架 9~门架 10: 143867 辆

门架 10~门架 11: 116893 辆

门架 11~门架 12: 83161 辆

门架 12~门架 13: 72146 辆

门架 13~门架 14: 67783 辆

门架 14~门架 15: 63616 辆

四、模型的评价

本次是以高速公路收费系统中详实的交通流数据为依据, 以概率分析、统计方法为手段, 对交通流空间、时间分布分配规律进行深入分析, 结合交通运行规律得出相关结论, 并以高速公路为例进行分析应用。文中, 交通空间特性研究是指对高速公路车辆行驶里

程、各路段交通分配规律的研究;交通时间特性是指对交通时变规律和车辆行驶时间规律的研究。交通的时空规律是受车型因素影响的,高速公路中大车的交通运行规律和小车的交通运行规律有所不同。这是一个值得考虑的因素。

对高速公路交通时空规律进行分析研究有以下几方面的意义:

(1)有利于全面掌握网络交通运行状况,为高速公路管理提供分析方法。

车辆出行、分布和分配规律是交通规划管理的主要研究内容。交通时空数据是交通规律中的基础数据。通过分析交通时空特征,有利于全面掌握网络交通运行状况,从而为高速公路网络评价,收费清分等管理运营工作提供依据。

(2)研究车辆出行、行驶规律,为高速公路网络交通动态分析打下基础。

动态交通分配是研究随时间变化的交通运行规律,是在静态交通分析的基础上加入交通需求随时间变化的因素而形成的,因而更符合实际。但是,由于动态交通分析涉及

因素的不确定性较大,目前的动态交通分析与实际交通情况相差较远。本文基于统计的方法对交通运

行规律进行分析，可靠性较高，为动态交通分析打下基础。

(3)为网络拥挤判别，交通流仿真研究提供依据和新的思路。

本文研究了高速公路交通时空运行规律，提出车辆行驶里程概率分布模型、交通量分配模型、车辆出行时间规律，车辆行驶时间概率分布模型，可作为高速公路交通仿真的规则进行输入，可靠性较高。另外，本文基于时空相关性提出时空网络判别法，作为网络运行状况的宏观判别法，为网络拥挤判别分析提供新的思路。

五、结论与展望

1.结论

随着我国大规模的基础设施建设，我国高速公路路网已基本形成。随着交通量的增加，联网收费的实施，路网的交通状态变得难以明晰。本文从时间、空间的角度对车流量的时空分布特征、收费站流量与路段流量的关系、对未来 24 小时车流量的预测、各个路段的限速值进行分析，从宏观上把握整个网络的交通运行时空规律。充分的利用六天的轨迹数据，提出处理问题的相关模型，并结合统计的相关方法进行类比推理。

1. 展望

本文的研究不仅是高速公路管理、交通流控制、等方面的基础性研究,而且在高速公路收费清分管理,交通状态判别等方面的应用,都具有一定的理论和实际意义。本文的研究还需要进一步的深化和扩展,其主要发展方向为:

(1)本文的分析还仅限于交通静态方面,实际中,交通流是随时间而不断发生变化的。因此,对于交通时空规律的研究应扩展为交通动态分析,包括交通量动态分配,车辆行驶里程、时间的动态分析等,这样可使交通时空规律研究更符合现实,并具有一定的预测功能。

(2)交通的时空关系并不仅限于本文研究的内容,交通量的空间、时间分布与公路网所覆盖的区域经济发展状况有很大的联系,根据交通的时空分析,可间接的预测各区域经济发展状况以及空间聚集效应和都市圈的发展趋势。

(3)本文提出的交通时空相关性评价参数不仅可以用于高速公路交通状态的判别中,而且在评价城市交通模式方面也可以得到广泛的应用。这将是本文今后研究的重要内容。

(4)车型分布也是影响交通时间、空间分布的重要

因素，对于车型分布的研究也将是今后本方向研究所应注意的问题。