

doi: 10.3969/j.issn.1002-0268.2012.08.020

基于高速公路收费数据的路网运行状态评价

沈 强

(交通运输部公路科学研究院, 北京 100088)

摘要: 探讨利用高速公路收费数据作为数据资源进行路网运行状态评价的可行性, 并完整分析了相关算法。选取某实际运营的高速公路网 2008—2010 年间 7~10 月的收费数据作为基础, 重点介绍数据的分析处理过程, 包括进行数据准备, 执行各类数据质量控制规则、资料库配置及构建样本输出模型等, 深入挖掘高速公路网运行存在的出行时间分布及周期分布等潜在规律, 计算和提取了平均速度、出行延误、行驶时间指数、计划行驶时间指数、拥堵持续时间等几类路网运行状态评价的核心指标, 并指出了采用高速公路收费数据作为数据资源开展此类研究的优缺点。分析表明, 收费数据可应用于高速公路网运营绩效的评估, 并可为交通出行提供参考信息。

关键词: 交通工程; 路网运行状态评价; 收费数据; 评价指标; 数据质量控制; 拥堵指标; 行驶时间指数

中图分类号: U491.1⁺3

文献标识码: A

文章编号: 1002-0268(2012)08-0118-09

Road Network Mobility Performance Evaluation Based on Freeway Toll Data

SHEN Qiang

(Research Institute of Highway, Ministry of Transport, Beijing 100088, China)

Abstract: The feasibility of evaluating mobility performance of freeway network by the data of toll collection system as data resource was discussed, and the related algorithm was completely analysed. Based on the toll dataset of an operational freeway network from July to October during 2008-2010, the data analysis and processing procedure, including data preparation, data quality control rules, database configurations and modeling of sample outputs, was introduced. The potential regularities of the freeway network about travel time distribution and cycle distribution were found out. Some key indexes of performance measurement including average speed, travel delay, travel time index, planned travel time index, congestion duration were calculated and extracted. The advantages and disadvantages of the methodology were pointed out. The analysis shows that it is feasible to evaluate the mobility performance of freeway network by toll datasets, and the outputs could be the valuable travel information of the freeway network.

Key words: traffic engineering; road network mobility performance evaluation; toll data; evaluation index; data quality control; congestion index; travel time index

0 引言

随着我国国民经济的持续健康发展, 公众对路网出行服务需求不断提高, 及时准确地了解路网的平均速度、行驶时间及拥堵状况等重要参数, 全面掌握路网实际运营状况, 不仅可为行业管理者提供决策支持, 更可为公众提供交通信息服务, 使其合

理规划出行路线, 节省出行时间, 从而提高路网综合运行效率。

美国在路网运行状态评价方面的研究迄今已经持续了 20 多年, 特别是德克萨斯交通研究院 (Texas Transportation Institute), 每年都会对美国近 100 个城市的道路网运行情况做出评价, 形成年度《URBAN MOBILITY REPORT》, 即城市机动性报告^[1]。该报

收稿日期: 2012-04-17

作者简介: 沈强 (1963-), 男, 江苏如东人, 硕士, 高级工程师. (q.shen@rioh.cn)

告不仅帮助路网管理者做出道路运行判断及交通决策,而且成为社会公众很好的出行服务指南。国内也开展了类似的研究并逐渐形成路网运行状态评价体系,对路网运行评价进行了一定研究;交通运输部颁布的《公路网运行监测与服务暂行技术要求》初步建立了路网运行状态指标体系;北京首部《城市道路交通拥堵评价指标体系》地方标准日前也已出台,对城市交通发展决策、道路交通信息服务等具指导作用。

目前,国内绝大多数高速公路已配备建成车道、收费站、收费分中心、甚至联网收费结算中心的自下而上的一体化收费管理系统。收费管理系统已经从单条公路人工收费发展为半自动化、自动化的联网计重收费及联网不停车收费,由此产生了大量的收费交易数据^[2]。收费交易数据全天候记录了车辆进出高速公路收费站的 OD 信息,这些信息获取简便、内容完整、时效性强、格式统一、准确度高,并且基本实现了完整的集中式存储。然而,这些数据资源的拥有却远不能代表高速公路网智能化管理和出行信息服务能力的实质性提高^[2],大多数收费系统也只是对这些数据进行简单的汇总统计,形成一些较直观化的查询结果和统计报表,供高速公路运营单位参考使用。面对如此庞大的收费交易数据,只有对其从宏观、微观等多角度实现挖掘和分析,获取数据的内在联系和潜在的规律,准确计算和判断公路网运行状态,切实满足公众对公路出行服务的需求以及行业管理需求,才能真正体现现代高速公路管理与服务水平的提高^[3]。

本文通过选取某实际运营的高速公路网作为本研究的试验路网,以该路网内一定时期比较典型的收费数据为数据资源,开展综合分析,建立采用收费数据进行路网运行状态评价所需的基础数据模型,数据过滤机制与分析方法,关键参数的设置,深入挖掘出路网潜在交通运行规律,计算和提取路网运行状态评价的核心指标。

1 数据模型的建立

本文选取了试验路网内 2008—2010 年连续 3 a 中,每年 7~10 月间全部的出口车辆原始收费数据作为数据资源。试验路网为以北京为起点的某高速公路网,途径与北京相邻的多个省市,并连接著名的避暑旅游地。7 月、8 月为暑期,从北京去往避暑旅游地的客车急剧增多,9 月为正常时期,10 月含“十一”黄金周,因此选取这几个月的数据具有典型

的代表意义,可以反映该试验路网的道路运营特征。

数据模型的建立主要完成源数据的加工处理,提取出对该研究有意义的数项和数据内容。合理的数据模型是对路网运行状态进行综合分析的基础,也是保证研究结果准确性的关键。本研究的源数据规模约 4 G,数据模型的建立经历了数据准备、数据质量控制、关注路段配置、样本输出模型等几个重要过程。

1.1 数据准备

数据准备作为开展研究的基础,包括以下几个步骤:

(1) 提取有意义的数项。收费系统出口车辆原始数据所采集和规定的数项非常繁多,但是并不是所有的数项对本研究都有意义,需筛选出有效的数项,以减少数据冗余及混淆。本研究在繁多的数项中提取了 12 个与路网运行状态评价相关的数项,详见表 1。

表 1 数项定义

Tab. 1 Definitions of data items

序号	数项定义	代表意义
1	ExitStation	出口收费站编号
2	ExitLane	出口车道号
3	ExitTime	出口时间
4	EntryStation	入口收费站编号
5	EntryLane	入口车道号
6	EntryTime	入口时间
7	VehType	车型 [0: 未知, 1~4: 客 1 到客 4, 11~15: 货 1 到货 5]
8	VClass	客货车标志 [0: 客, 1: 货, 2: 未知]
9	VehKind	车种 [0: 收费车, 1: 军警, 2: 公务, 3: 紧急, 4: 车队, 5: 其他]
10	ChangeType	改型操作类型
11	ProcessType	收费处理类型 [0: 正常, 1: 违章, 2: 闯关, 3: 换卡, 4: 合理 U 转, 5: 非合理 U 转, 6: 超时, 7: 超速, 8: 无卡, 9: 坏卡, 10: 入口未发卡]
12	RoadRoute	行驶路由 (匹配成功的路由), 即标识站信息

(2) 将筛选后的数据导入数据库。将上述筛选后的数据对象导入到本研究所设定的主题数据库中,数据库的选择不做限定。

(3) 数据标准化。即对上述数项的具体内容进行标准化处理。由于样本规模巨大,为了提高排序、查找等操作的运行速度,应尽可能采取数值类型作为数项的存储类型。另外,需将空值及其它

丢失的数据尽量使用同等长度的标识串进行代替。需要说明的是,由于“0”这个字符比较特别,所以在进行数据标准化时可尽量避免使用“0”,而更多的选用“9999”等这样的字符作为标识串更具突出意义。

(4) 计算机模型的建立。选取 SAS 统计分析软件作为计算机模型建立的软件平台,之所以选用 SAS 平台是因为其具有如下优点:

①运行速度快,可迅速读取大量的数据;

②其内置的函数具有强大的计算和统计分析能力;

③在统计分析的应用方面具有非常快的计算速度。

计算机模型的建立,囊括了原始数据导入、执行数据质量控制规则、关键参数设置、路网运行状态分析、路网运行状态评价核心指标的生成等所有过程,研究过程中编制了相应的程序软件实现各类过程操作。

1.2 数据质量控制

1.2.1 问题数据产生原因分析

为保证研究结果的准确性,需对采集到的原始信息进行必要的数据质量控制。数据质量控制主要是指删除原始数据中不合逻辑的数据、过滤非正态分布数据及删除格式不符合要求等问题数据。这些问题数据产生的原因是:

(1) 在收费系统中,因收费员操作失误、时钟校时不一致(即产生了错误的出入口时间)、司机换卡等原因而产生的问题数据。

(2) 因收费数据特有的属性而产生的不合理数据。由于在高速公路网中一般会设有服务区、停车区等,长途行驶的车辆很可能在服务区加油、用餐或休息等。对于这些车辆而言,其行驶时间不仅包括了在出入口之间的实际行驶时间,也包括了在服务区、停车区的逗留时间。然而,在封闭式收费系统中,车辆是否在半路停过我们无从而知,对于这类车辆所产生的收费数据在行驶时间的评估中可通过合适的方法将其过滤。

1.2.2 数据质量控制规则

针对问题数据的产生原因,为过滤掉不合逻辑的数据、分布呈偏斜、格式不符合要求等数据,本研究建立了下述数据质量控制规则:

(1) 车辆出入口位置相同

删除掉收费数据记录中入口站和出口站相同的记录,同时删除掉 U 转车的相关记录。

(2) 入口时间不合逻辑

在收费记录中,由于时钟校时错误等导致的入口时间晚于或等于出口时间,此类数据严重影响车辆速度的准确计算,应予删除。

(3) 车辆速度异常

速度过慢有可能出现过停车休息的情况,速度过快有可能是时钟校时存在问题,这都会影响行驶时间的分析。对于此类收费数据,最便捷有效的方法就是剪掉速度分布中最高和最低的部分,研究中采用了百分位线的方法。

由于国内客、货车性能及出行特点差异较大,因此需对客车和货车采取不同的过滤方法:对于客车,设置 95th 作为上限,5th 作为下限,对于货车,设置 99th 作为上限,10th 作为下限。需要说明的是,货车使用更高的边界是因为货车停留附属设施休息的可能性更大,并且货车速度在一般情况下会低于客车速度。

归纳为如下规则:

客车的判断条件

$$V_{\text{Class}} = 0 \text{ 和 } (5^{\text{th}} \leq \text{速度} \leq 95^{\text{th}}), \quad (1)$$

货车的判断条件

$$V_{\text{Class}} = 1 \text{ 和 } (10^{\text{th}} \leq \text{速度} \leq 99^{\text{th}}), \quad (2)$$

以图 1 (客车速度分布图) 为例,方框内为合理区间外的问题数据,按上述规则删除。

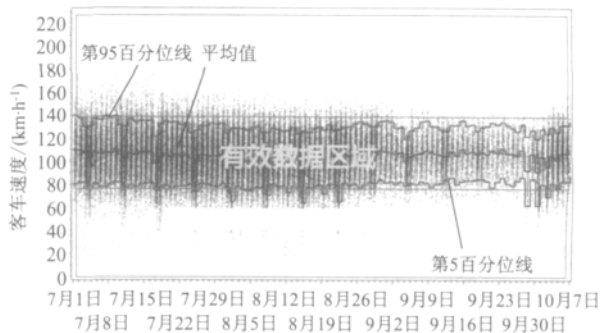


图1 2009年7~10月某高速公路A站至E站
客车速度分布图

Fig.1 Speeds of buses traveling from station A to station E on a freeway from July to October in 2009

执行此规则后,客车和货车均有约 10% 的数据因为速度不合理而被过滤掉。

(4) 日平均速度异常

收费数据中还存在许多不合理的高速度值,这些数据也需要通过技术手段进行过滤。以本文所研究试验路网为例,路网行驶客车限速为 120 km/h,货车为 100 km/h,超过限速的车辆虽然较为常见,但绝大多数车速都在限速之上还是很罕见的。基于

这个前提,使用以下规则过滤不合理的高速度:

如果在某 2 个站之间客车的日平均速度大于 120 km/h,或货车的日平均速度大于 100 km/h,则过滤掉当日全天的收费数据。

(5) 样本量控制

设定满足适合本研究所需的最小样本规模。在每个 OD 入出对中,若每小时的车辆数大于等于最小样本量,则认为其所代表的平均速度是可靠的,若每小时的车辆数小于最小样本,代表平均速度不可靠。

(6) 样本分布规则

样本分布规则主要是指删除掉收费数据中车辆速度存在不合理偏斜的数据。如果在 OD 入出对中存在足够的样本规模,车速数据应呈正态分布。对于非正态分布数据可通过偏度峰度检验法进行过滤:

$$s > \max(C_3 s_{es}), \text{abs}(K) > 2s_{eK}, \quad (3)$$

式中, s 为偏度,用于衡量样本分布的对称度; K 为峰度,用于衡量样本分布与正态分布的距离;

$$s_{es} = \sqrt{6/N},$$

$$s_{eK} = \sqrt{24/N};$$

N 为样本规模(本研究中, $N = 10$); C 为经验值, $C_{\text{客车}} = 0.8$, $C_{\text{货车}} = 1.5$ 。

采取此规则可通过数学方法来判定和消除非正态情形下的偏斜速度数据。图 2 为使用本条规则前后进行数据过滤的对比图。

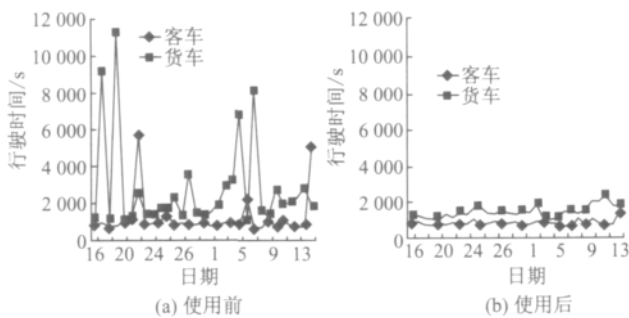


图 2 样本分布规则使用前后对比图

Fig. 2 Comparison before and after using sample distribution rules

执行上述数据质量控制规则,摒弃干扰本研究的问题数据,较好地保证了研究结果的准确性。

1.3 关注路段(OD 入出对)配置

选取路网管理者及社会公众更为关注的路段作为重要 OD (Origin-Destination) 入出对进行分析,可使研究结果更具有实际意义。例如,本文选取的试验路网,含 50 余个收费站,仅收费站作为出入口

而言存在的 OD 入出对就有几千对,如果选取所有的 OD 入出对都作为重点进行研究,其研究结果既不方便查看,也无代表意义。在本研究中,根据经验值并结合路网内所有 OD 入出对间的交通流量进行分析和排序,选取了 120 个有价值的 OD 入出对作为重点关注路段。

1.4 构建样本输出模型

数据资源模型建立的目标就是建立一套满足研究需要的样本输出模型。经过数据准备、执行各类数据质量控制规则,完成对收费原始数据的分析处理,计算出以小时为单位的样本输出模型。该模型主要包括表 2 中所列信息。

表 2 样本输出模型

Tab. 2 Model of sample output

数据项	代表意义
VCLASS	客货车标志 [0: 客车, 1: 货车]
PER	Period: 时间段 [1: 7、8 月 2: 9 月 3: 9 月 30 日—10 月 7 日]
WDAY	Day of week: 1: 星期日, 2: 星期一至星期四, 6: 星期五 7: 星期六,
HOUR	Hour of the day: 0: 0:00—1:00, ..., 23:00—0:00
Entrystation	入口收费站编号
Exitstation	出口收费站编号
SPEED	平均速度(km/h)
TRAVTIME	行驶时间(s)
N_s	车辆总数(该样本时间段: PER、WDAY、HOUR 的车辆总数)
VOLUME	平均车辆数(该样本时间段: PER、WDAY、HOUR 的平均样本数)
ROADROUTE	行驶路由(标识是否存在二义性路径)

根据收费数据的特点,结合对试验路网运行情况的经验值,样本输出模型的构成中,包括了如下所列关键参数。

(1) 车型分类设置 (VCLASS): 客车、货车。

(2) 月粒度时间段设置 (PER): 暑期为 7 月、8 月; 正常行驶为 9 月; 十一黄金周为 9 月 30 日—10 月 7 日。

(3) 周粒度时间段设置 (WDAY): 星期日; 星期一至星期四; 星期五; 星期六。

(4) 高峰时期设置: 客车为 5:00AM—10:00AM, 17:00PM—22:00PM;

货车为 6:00AM—18:00PM, 18:00PM—6:00AM。

(5) 速度阈值设置 (SPEED) [4]:

客车设置 120 km/h 和 80 km/h, 以更全面地反映研究结果;

货车设置 80 km/h 和 40 km/h, 以更全面地反映研究结果。

(6) 样本规模设置 (N_s):

假设在一个已知的 OD 入出对间有正常的速度分布, 已知样本标准偏差 s , 对于最小的样本规模 N_s 的设置, 需要去估算车辆行驶速度在 95% 的错误边界内 M ,

$$N_s = 4s^2/M^2. \quad (4)$$

如果样本规模 N_s 足够大, 正常的速度变化将更接近于正态分布。在上文中, 对关注路段的入出对选取了 120 个, 在这些 OD 入出对中样本的标准偏差是不同的。当用于评估小时速度的时候, 最小的样本规模 N_s 可设置为 10。

2 路网运行规律分析

在研究过程中, 利用 SAS 统计分析软件, 开发了“基于收费数据的高速公路网宏观评价系统”^[4], 该系统根据样本输出模型, 循环生成了关注路段中不同的 OD 入出对间不同时间段的速度散点图。散点图是描述变量之间关系的一种直观方法。采用坐标的横轴代表自变量 X , 纵轴代表因变量 Y , 每辆车的速度数据 (x_i, y_i) 在坐标系中用一个点表示, 由这些点形成的速度散点图既描述了 2 个变量之间的大致关系, 可以直观地看出变量之间的关系形态及关系强度, 又宏观的显示了路网的整体运行状态, 是做路网运行规律分析的较好手段。由于不同 OD 入出对所对应的距离不同, 行驶时间存在较大差异, 因此研究中使用车辆速度而非行驶时间作为出行时间的评价标准。

2.1 客货模式

传统意义的观点认为, 客车的行驶速度普遍高于货车, 图 3 用速度数据直观地展示了这一规律。

图 3 显示了从 A 站到 B 站间 2008 年的全部样本数据, 从总的速度分布模式上可直观地看到, 客车的速度普遍高于货车。在试验路网上, 客车的行驶速度一般在 80 ~ 130 km/h 之间, 而货车的行驶速度一般在 60 ~ 80 km/h。研究表明, 所有其他的 OD 入出对也同样存在这种客货车速度分布的差异。

鉴于试验路网存在明显的客货车速度差异, 需对客货车运行情况分别进行分析。

2.2 出行时间分布规律^[3 5]

分析路网运行在出行时间上的分布规律和特点,

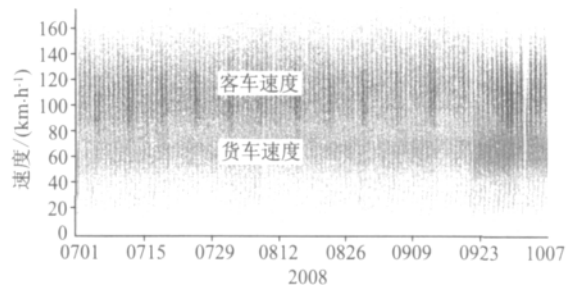


图 3 2008 年 A 站至 B 站客货速度对比图

Fig. 3 Comparison of speeds between buses and trucks traveling from station A to station B in 2008

选择合理的出发时间以规避高峰时期的交通拥堵。出行时间分布反映一天中各个时段的交通出行分布情况, 在城市交通中一般典型的分布形式为马鞍形, 即在早晚各有一个高峰期、夜间为最低谷^[6], 但在高速公路中往往呈现出不同的形态, 见图 4、图 5。

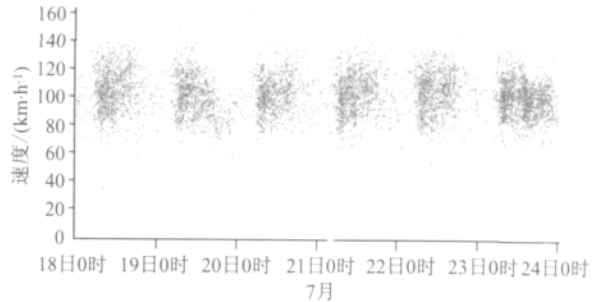


图 4 2010 年 7 月第 4 周 A 站至 B 站客车速度分布图

Fig. 4 Speed distribution of buses traveling from station A to station B during the 4th week of July in 2010

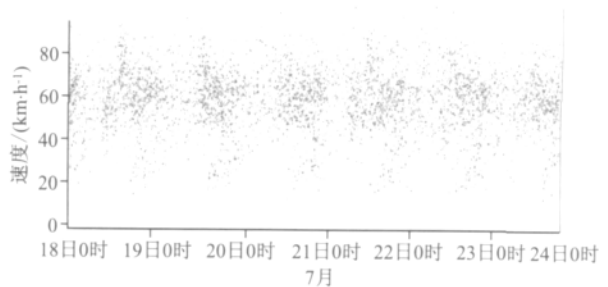


图 5 2010 年 7 月第 4 周 A 站至 B 站货车速度分布图

Fig. 5 Speed distribution of trucks traveling from station A to station B during the 4th week of July in 2010

图 4 和图 5 给出了试验路网 2010 年 7 月第 4 周、OD 入出对为 A 站至 B 站的车辆行驶速度分布情况。其中, X 轴上将 24 h 划分为 6 个时间段, 每一个刻度代表 4 h, 时间标注在零点的位置; Y 轴代表车辆行驶速度。从图中除了可以发现上文阐述的规律——客车与货车之间的速度差异明显, 客车速度普

遍高于货车速度之外,还可以分析出,客车的出行时间分布在 6:00—18:00 之间,而货车出行时间分布在中午 12:00—00:00 之间。之所以产生这样的差异,与北京等地对货车管制政策有关,如北京禁止货车在晚 24:00 前驶入五环路,因此很多货车选择在夜间出发进入北京,白天则在服务区等候。

然而,对本研究所选的 120 个入出对而言,并非所有的 OD 入出对都具有上述规律。研究表明,这种客车、货车在出行时间的差异更容易发生在距离较长的 OD 入出对上。对于短途运输或邻近城区的高速公路,客、货出行时间的分布又呈现典型的、具有早晚高峰特征的城市交通特点,其中,大部分客车和货车的出行时间是重叠的,主要出行时间集中在白天,夜间则极少。

2.3 周期分布规律

通过对收费样本数据的梳理,分析出“年一月一周—日”等不同时间粒度的交通分布情况,掌握路网运行的周期分布规律,完成对该时间点出发车辆在 OD 入出对间行驶所需时间的准确预测,为出行提供最佳出发时间选择,或提供不同出发时间所对应行驶时间差异化的信息,以便制定合理的出行规划。图 6 及图 7 分别为从 A 站至 E 站(E 站可连接著名避暑旅游地)间 2009 年 7~10 月客车、货车的速度分布图。

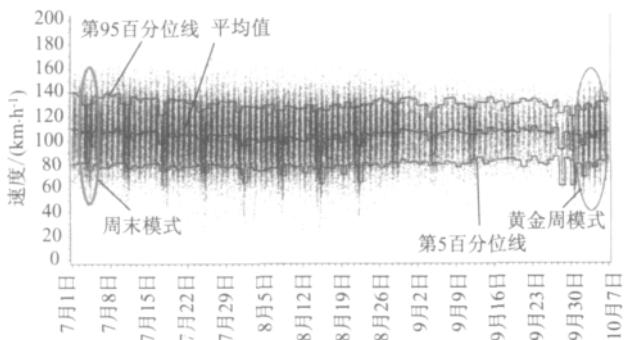


图 6 2009 年 7~10 月 A 站至 E 站客车速度分布图

Fig. 6 Speed distribution of buses traveling from station A to station E from July to October in 2009

从图 6、图 7 可清晰的分析出该路网存在 3 种明显的周期分布规律:

(1) 7 月、8 月在交通流量和车辆速度上具有相似的模式。因为目的地 E 站可连接著名避暑旅游地,客车的交通分布呈现了很强的周末模式(图中可看出,每周末客车流量明显上升);

(2) 对于类似有连接旅游目的地的 OD 入出对中,9 月以后比 7、8 月出现了客车少,货车多的情

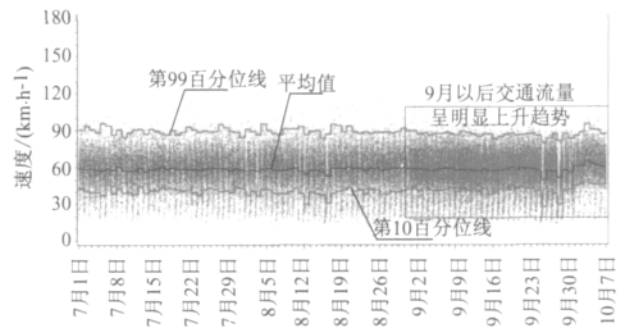


图 7 2009 年 7~10 月 A 站至 E 站货车速度分布图

Fig. 7 Speed distribution of trucks traveling from station A to station E from July to October in 2009

况。但是货车不存在像客车一样周末交通流量上升的周期模式,交通分布呈平稳趋势(在 7、8 月,周末交通流量上升模式仅存在于一些有旅游目的地的 OD 入出对中)。

(3) 在 9 月末 10 月初,存在明显的黄金周假期模式。

2.4 交通趋势分析

由于我国经济目前还处于较快增长阶段,汽车保有量逐年增加,交通出行预测中还应考虑年度增长规律。图 8 是 2008—2010 年间 OD 入出对为 B 站至 A 站间的客车速度分布图。

从图中可以看出,各年间车辆的行驶速度均存在一定的变化。但由于研究仅使用了 3 a 的收费数据,这个特征趋势在这 3 a 间并不十分明显。因此,若要对交通趋势进行更加合理准确的预测,需采用更多年份(5 a 以上)的历史数据来进行此类宏观趋势的分析和预测。

3 路网运行状态评价核心指标

研究过程中,对已有国内外路网运行相关技术评价指标进行了综合分析,结合公路网各评价体系的内涵和相互关系,充分考虑路网管理者和社会公众对交通运行状态评价的总体需求,针对高速公路收费数据的典型特点,从客车、货车分开的角度进行路网运行状态评价。本文初步构建了平均速度(Average speed)、出行延误(Delay time)、行驶时间指数(Travel time index,简称 TTI)、计划行驶时间指数(Planning time index,简称 PTI)、拥堵持续时间(Congestion duration,简称 CONGHR)等几类路网运行状态评价的核心指标^[1]。这些指标的研究,可对交通运输决策提供数据支持,也可更准确地指导社会公众出行^[7]。

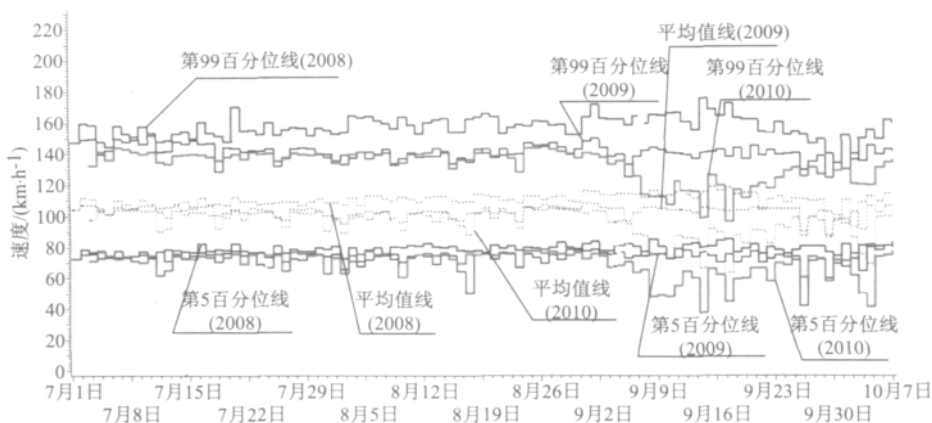


图8 2008—2010年B站至A站客车速度分布图 (km/h)

Fig. 8 Speed distribution of trucks traveling from station B to station A during 2008–2010 (km/h)

(1) 平均速度 (Average speed)

此指标是反映局部路段运行状况最直接的评价指标之一,包括实际路段平均运行速度和自由流速度两部分。平均速度采用收费样本数据的距离和时间参数进行计算,自由流速度一般采用收费样本数据中小交通量条件下(一般取1:00—5:00时段)计算出的平均速度或道路限速。

(2) 出行延误 (Delay time)

出行延误是指由于交通拥堵造成的额外出行时间的总和。利用收费样本数据中所有车辆行驶时间减去每个OD自由流速度下的行驶时间。根据不同的应用,延误的计算可以按工作日高峰期的延误、周末的延误和工作日非高峰期的延误等归类合计,也可按照年度统计全年延误总量或者每辆车的平均每年延误时间等。

(3) 行驶时间指数 (Travel time index, 简称TTI)

行驶时间指数TTI用来评估路网的拥堵程度,采用高峰时期路网的平均出行时间与自由流时期路网的出行时间之比进行计算。行驶时间指数TTI的计算公式如下:

$$TTI = \frac{\text{平均出行时间}}{\text{自由流时期参考出行时间}}, \quad (5)$$

式中,例如自由流时期的参考出行时间为15 min,路网行驶时间指数TTI评估为1.2,则路网的平均出行时间为18 min (15 × 1.2 = 18 min),也就是比自由流时期需多花费20%的出行时间。

(4) 计划行驶时间指数 (Planning time index, 简称PTI)

此指标用来评估路网拥堵时期的可靠性^[8],代表了包含为了准时到达目的地而所需预留的缓冲时间在内的计划总出行时间。该指标采用接近于最差

路网交通运行状况下的出行时间与自由流时期路网的出行时间之比进行计算^[9-11]。计划行驶时间指数PTI的计算公式如下:

$$PTI = \frac{\text{第95百分位的出行时间}}{\text{自由流时期参考出行时间}}. \quad (6)$$

例如自由流时期的出行时间为15 min,计划行驶时间指数评估为1.6,则路网的总出行时间为24 min (15 × 1.6 = 24 min)。

行驶时间指数(TTI)与计划行驶时间指数(PTI)的关系见图9^[1]。

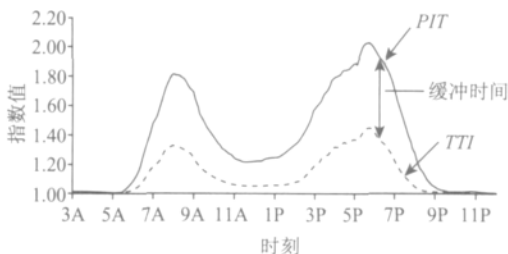


图9 TTI与PTI关系图

Fig. 9 Relations between TTI and PTI

(5) 拥堵持续时间 (Congestion duration, 简称CONGHR)^[4]

此指标用来评估路网拥堵的持续时间,表示了一个参考的速度阈值下的路网拥堵时间的累计值。在本研究中,采用每5 min为时间间隔,当存在速度低于阈值的车辆时,将研究评估周期内的拥堵时间进行累加。对于短距离的OD入出对间,速度的变化不大,但长距离的OD入出对间的速度变化较大。因此,对于长距离的OD入出对间而言,此指标并不非常精确。然而,从总体上来看,对拥堵持续时间指标的评估,能较好的反应OD入出对间的路网交通运行状况。此指标在本课题的后续研究中,有待于采用更多的补充算法以提高其精确性。

表 3 选取了多个 OD 入出对间（具体名称被替代），比较 2008 年和 2009 年同一时期内早晚高峰期间路网运行状态评价核心指标的计算结果（速度阈值设置为 120 km/h）。

表 3 路网运行状态评价核心指标

Tab. 3 Key evaluation indexes of mobility performance of freeway network

出发地	目的地	OD 间长度/km	TTI									拥堵持续时间/h									PTI								
			(5am—10am)			(5pm—10pm)			(5am—10am)			(5pm—10pm)			(5am—10am)			(5pm—10pm)											
			2008	2009	变化	2008	2009	变化	2008	2009	变化	2008	2009	变化	2008	2009	变化	2008	2009	变化									
A 站	B 站	30.38	n. a.	1.06	n. a.	n. a.	1.08	n. a.	0.00	1.31	n. a.	0.00	2.05	n. a.	n. a.	1.17	n. a.	n. a.	1.20	n. a.									
A 站	C 站	67.15	1.09	1.13	4%	1.09	1.13	4%	0.61	1.09	78%	0.53	2.05	289%	1.17	1.27	8%	1.14	1.28	12%									
A 站	D 站	80.55	1.14	1.22	7%	1.13	1.17	3%	1.03	1.10	6%	1.05	1.50	43%	1.25	1.41	13%	1.23	1.28	4%									
A 站	D 站	105.79	1.07	1.17	9%	1.06	1.13	7%	2.20	3.15	43%	2.36	3.97	68%	1.19	1.33	11%	1.17	1.28	9%									
A 站	E 站	155.52	1.08	1.12	4%	1.06	1.08	2%	1.82	2.70	49%	1.00	2.38	138%	1.20	1.27	6%	1.16	1.24	6%									
A 站	F 站	204.13	1.15	1.24	7%	1.09	1.11	3%	2.14	2.89	35%	0.63	0.68	9%	1.30	1.38	6%	1.11	1.21	9%									
A 站	G 站	225.44	1.14	1.22	7%	1.09	1.13	3%	4.08	4.40	8%	2.47	3.91	59%	1.24	1.30	%	1.24	1.27	3%									
A 站	H 站	232.42	1.10	1.14	4%	1.09	1.11	1%	1.82	2.81	55%	1.94	3.45	78%	1.24	1.28	3%	1.22	1.24	2%									
A 站	I 站	263.67	1.06	1.10	4%	1.13	1.06	−6%	0.63	1.74	174%	0.33	0.31	−6%	1.09	1.22	12%	1.14	1.11	−3%									
A 站	J 站	247.81	1.11	1.20	9%	1.15	1.19	4%	3.94	4.45	13%	3.33	4.39	32%	1.24	1.31	5%	1.33	1.36	3%									
A 站	K 站	120.31	1.05	1.08	3%	1.08	1.04	−3%	2.18	1.70	−22%	3.24	2.13	−34%	1.12	1.18	6%	1.23	1.14	−7%									
A 站	L 站	139.70	1.14	1.25	9%	1.09	1.13	3%	2.78	2.85	3%	0.67	0.71	6%	1.30	1.42	9%	1.19	1.22	2%									
A 站	M 站	110.31	n. a.	1.08	n. a.	n. a.	1.05	n. a.	0.00	2.46	n. a.	0.00	3.23	n. a.	n. a.	1.18	n. a.	n. a.	1.16	n. a.									
A 站	N 站	226.12	n. a.	n. a.	n. a.	n. a.	n. a.	n. a.	n. a.	n. a.	n. a.	n. a.	n. a.	n. a.	n. a.	n. a.	n. a.	n. a.	n. a.	n. a.									
B 站	A 站	30.38	1.33	1.09	−18%	1.36	1.10	−19%	2.55	2.86	12%	1.49	2.07	19%	1.64	1.22	−25%	1.57	1.25	−20%									
C 站	D 站	3.17	3.34	4.05	21%	3.34	4.26	28%	2.19	1.62	−26%	0.85	0.78	−8%	4.39	5.01	14%	4.12	5.26	28%									
C 站	E 站	29.35	n. a.	1.80	n. a.	n. a.	1.61	n. a.	0.00	0.55	n. a.	0.00	0.48	na.	n. a.	1.86	n. a.	n. a.	1.74	n. a.									
C 站	F 站	26.18	1.33	1.59	19%	1.67	1.52	−9%	0.83	0.70	−16%	0.67	0.74	11%	1.33	1.69	27%	1.74	1.62	−7%									
C 站	G 站	231.06	1.07	1.13	5%	1.13	1.15	2%	1.17	1.88	61%	0.59	0.92	57%	1.22	1.32	8%	1.18	1.22	3%									
C 站	H 站	67.15	1.13	1.07	−5%	1.18	1.11	−6%	1.13	1.99	78%	0.63	1.06	69%	1.25	1.19	−4%	1.22	1.22	0%									

注：n. a. 表示样本量不足。

4 利用收费数据进行路网运行状态评价的特点

高速公路收费数据的基本特征决定了其作为路网运行状态分析的数据源时，具有不同于浮动车或车辆检测器采集数据实时性较强的特点，更基于高速公路收费系统自有的运行规律，采用收费数据做路网运行状态的评价更偏重于宏观性。

（1）可较好地体现路段及路网的宏观状态，不能体现具体点位的微观状态

基于高速公路收费数据分析得出的车辆速度、行驶时间等数据与固定点位采集设备或浮动车采集的某一时刻的瞬时速度不同，利用收费数据计算出的结果反映了 OD 间综合的宏观交通运行状态，而不能反映具体点位的交通情况，因此收费数据可以做区段交通运行状况的描述，但无法对微观的交通运行状况作出判断。

（2）实时性差

由于数据分析只能在车辆到达这个 OD 入出对的终点后才能产生，所以实时性较差。并且，用于路网运行状态分析的 OD 路段距离不宜过长，否则产生的出行服务信息将不够及时。特别是对交通状态复

杂的路段，应尽量缩减 OD 路段选取的长度。

（3）足够的样本量

收费数据包括 OD 入出对间多类数据资源的集合，但在数据采集位置上仅包括了起点和终点的信息，考虑到其间各种影响因素或个体差异因素的作用，当样本量不足时，所用数据仅能反映个体出行的特点，只有当样本量足够时才能真实反映整个路网的交通运行状态^[12-14]。

5 结论

本文提出了采用高速公路收费数据实现路网运行状态的分析与评价，并以某个比较典型的高速公路网作为试验路网，利用其 2008—2010 年间 7~10 月的收费数据作为数据源，介绍了数据资源样本模型的建立过程，从客车、货车分开的角度挖掘各类路网运行规律，初步构建了平均速度、出行延误、行驶时间指数、计划行驶时间指数、拥堵持续时间等几类路网运行状态评价核心指标。本研究在路网运行状态评价方面提出了一套崭新的思路和方法，分析方法和结果具有一定的适用性，可应用于典型的高速公路网运营绩效的评估并制定相应的出行信

息服务系统^[15]。评价结论可应用于路网管理、新建及改扩建道路设施及道路规划,为交通运输管理部门提供决策技术支持,同时给社会公众提供交通出行信息服务。

由于高速公路收费数据自身的性质和特点,若能结合各个OD入出对间检测器采集到的实时监控类数据,将可使分析结果得到适当的修正以达到更高的准确性。

参考文献:

References:

- [1] SCHRANK D, LOMAX T, TURNER S. 2010 Urban Mobility Report [R]. Texas: Texas Transportation Institute, 2010.
- [2] 姬建岗. 基于联网收费数据挖掘的决策支持系统[J]. 中国交通信息产业, 2008 (8): 102-103.
JI Jiangang. Decision-making Support System Based on Data Mining of Networking Toll Collection [J]. China ITS Journal, 2008 (8): 102-103.
- [3] 李艳红, 袁振洲, 谢海红, 等. 基于出租车OD数据的出租车出行特征分析[J]. 交通运输系统工程与信息, 2007, 7 (5): 86-87.
LI Yanhong, YUAN Zhenzhou, XIE Haihong, et al. Analysis on Trips Characteristics of Taxi in Suzhou Based on OD Data [J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2007, 7 (5): 86-87.
- [4] 邹文杰, 翁剑成, 周翔, 等. 基于浮动车数据的宏观路网运行状态评价研究[J]. 公路交通科技, 2009, 26 (S1): 36-38.
ZOU Wenjie, WENG Jiancheng, ZHOU Xiang, et al. Floating Car Data Based Macroscopic Traffic Running Status Evaluation [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2009, 26 (S1): 36-38.
- [5] 芦方强, 陈学武, 胡晓健. 基于公交OD数据的居民公交出行特征研究[J]. 交通运输工程与信息学报, 2010, 8 (2): 34-35.
LU Fangqiang, CHEN Xuewu, HU Xiaojian. Characteristic Research of Resident's Bus Trip Based on Bus OD Data [J]. Journal of Transportation Engineering and Information, 2010, 8 (2): 33-35.
- [6] ROBIN T H, ANTONINI G, BIERLAIRE M, et al. Specification, Estimation and Validation of a Pedestrian Walking Behavior Model [J]. Transportation Research Part B: Methodological, 2009, 43 (1): 36-56.
- [7] NICHOLSON A. Assessing Transport Reliability: Malevolence and User Knowledge [C] // The Network Reliability of Transport: Proceedings of the 1st International Symposium on Transportation Network Reliability (INSTR). Kyoto: Pergamon Press, 2003.
- [8] 熊志华, 姚智胜, 邵春福. 基于路段相关的路网行程时间可靠性[J]. 中国安全科学学报, 2004, 14 (10): 81-84.
XIONG Zhihua, YAO Zhisheng, SHAO Chunfu. Travel Time Reliability in Road Network Associated with Road Section [J]. China Safety Science Journal, 2004, 14 (10): 81-84.
- [9] 周翔. 城市路网交通状态宏观评价方法研究[D]. 北京: 北京工业大学, 2008.
ZHOU Xiang. Study on Methodology of Macroscopic Performance Evaluation on Urban Transportation Network [D]. Beijing: Beijing University of Technology, 2008.
- [10] 徐婷, 陈志建, 程琳. 高速公路交通运行状态分类方法研究[J]. 中国科技论文在线, 2010, 5 (10): 744-746.
XU Ting, CHEN Zhijian, CHENG Lin. Research on Methods of Highway Traffic State Classification [J]. Sciencepaper Online, 2010, 5 (10): 744-746.
- [11] 陈艳艳, 高爱霞, 刘小明, 等. 道路交通运行状态可靠性评价方法综述及展望[J]. 公路, 2003 (10): 127-130.
CHEN Yanyan, GAO Aixia, LIU Xiaoming, et al. Summarization and Expectation of Reliability Assessment of Road Traffic Performance [J]. Highway, 2003 (10): 127-130.
- [12] 郭寒英, 石红国. 突发事件下路网运行时间可靠性研究[J]. 公路交通科技, 2005, 22 (8): 102-103.
GUO Hanying, SHI Hongguo. Study on Network Travel Time Reliability under Contingent Events [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2005, 22 (8): 102-103.
- [13] CHEN Kun, YU Lei, GUO Jifu, et al. Characteristics Analysis of Road Network Reliability in Beijing Based on the Data Logs from Taxis [C/CD] // Transportation Research Board 86th Annual Meeting. Washington, D. C.: TRB, 2006.
- [14] PRAHLAD K, EVAN R, AJAY J J, et al. Estimating Pedestrian Counts in Groups [J]. Computer Vision and Image Understanding, 2008, 110 (1): 43-59.
- [15] 李志纯, 朱道立. 随机动态交通网络可靠度分析与评价[J]. 交通运输工程学报, 2008, 8 (1): 123-126.
LI Zhichun, ZHU Daoli. Analysis and Evaluation of Reliability for Stochastic and Dynamic Transport Network [J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2008, 8 (1): 123-126.