

高速公路收费站 ETC 车道通行能力分析*

杨 源 刘正东 戴连贵
(广州新软计算机技术有限公司 广州 510101)

摘 要 文章在深入分析实际调查数据的基础上,对高速公路收费站 ETC 车道交通流特性进行了深入分析,计算得出不同等级服务水平下的 ETC 车道最大服务交通量,并提出了一套分析 ETC 车道通行能力的计算方法。
关键词 高速公路; ETC 车道; 通行能力; 服务水平
中图分类号 U491.1

Analysis of Expressway ETC Tollgate Capacity

Yang Yuan Liu Zhengdong Dai Liangui
(Guangzhou Newsoft Technology Computer Limited, Guangzhou 510101)

Abstract Basing on analyzing the actual data and researching the character of traffic flow on ETC tollgate deeply, this paper presents the maximum service volume of different level of service through analyzing the field data in detail and a set of calculation method.
Key Words expressway, ETC toll-gate, capacity, service level
Class Number U491.1

1 引言

高速公路收费站 ETC 车道通行能力是指在一定的服务水平下单位时间内能够通过车道的最大车辆数,收费站作为公路交通流的瓶颈,ETC 车道的通行能力不仅直接影响着收费站和整个路段的通行能力,也影响着高速公路路网的交通运行状况。

目前,我国关于收费站通行能力方面的研究尚处于起步阶段,现有的设计指标基本上沿用国外的研究成果,采用估计值,并以收费站通行能力大于路段通行能力的原则进行设计。近几年,关于收费站通行能力的研究重点主要集中在 ETC 车道的交通特性和车辆延误研究,对于 ETC 车道的通行能力还缺乏深入研究,而交通运输部已明确提出争取在“十二五”末,全国高速公路 ETC 系统覆盖率达到 60%,ETC 用户量达到 500 万个,因此,在 ETC

车道建设规模逐步扩大、ETC 用户数量快速增长的情况下,研究高速公路收费站 ETC 车道通行能力,对于优化高速公路 ETC 车道布设方案、提高 ETC 用户满意度、做好收费站设计和运营管理工作具有重要的经济意义和社会意义。

2 ETC 车道交通特性分析

2.1 车辆到达、离散特性

ETC 车辆在进入收费广场前减速进入 ETC 车道,车辆的到达特性实际上与某一断面的车头时距有着密切关系,车头时距反映了车辆到达的时间间隔,正常情况下,主线收费广场车辆到达特性与上游路段的车辆到达特性是一致的。根据交通流理论,主线路段的车辆到达分布符合泊松分布(Poisson),这表明 ETC 车道的车辆到达也符合泊松分布。

2.2 收费时间的统计特性

为便于分析,首先将收费时间分为服务时间和

* 收稿日期:2011 年 1 月 7 日,修回日期:2011 年 2 月 15 日
基金项目:广东省交通厅科技项目(编号:2009-02-044)资助。
作者简介:杨源,男,硕士,研究方向:智能交通系统应用。刘正东,男,硕士,研究方向:智能交通系统应用。戴连贵,男,博士,教授,高级工程师,研究方向:智能交通系统相关理论及高新技术应用。

21994-2017 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

离开时间,服务时间是指 ETC 车辆到达触发线圈到完成交易离开落杆线圈的时间间隔,离开时间是指 ETC 车辆驶离落杆线圈到下一辆车到达触发线圈的时间间隔。

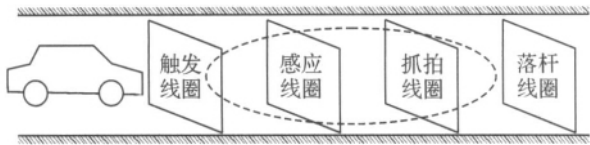


图 1 ETC 车道系统前端交易示意图

2.2.1 服务时间

根据服务时间的分布拟合检验发现:ETC 车辆到达触发线圈到完成交易离开落杆线圈的一段时间服从正态分布,广深福永收费站 ETC 车辆服务时间统计分布如图 2 所示,统计结果如表 1 所示。

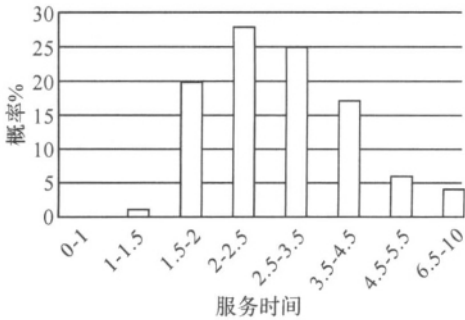


图 2 广深福永收费站 ETC 车辆服务时间统计分布示意图

表 1 服务时间统计参数

平均服务时间/s	服务时间方差 σ^2
2.56	1.67

2.2.2 离开时间

根据离开时间定义,不同车型由于性能差异较大,其离开时间存在明显差异,鉴于 ETC 车道交通流中特大型 ETC 车辆比例很小,调查中得到的样本数据也很少,无法说明一般情况,因此表 2 仅列出了小型车和大中型车两种车型的离开时间均值和方差。

表 2 不同车型离开时间统计参数

小型车		大中型车	
平均离开时间/s	离开时间方差 σ^2	平均离开时间/s	离开时间方差 σ^2
3.62	2.94	5.27	4.65

2.3 收费站车辆延误分析

ETC 车辆通过收费站的延误时间是进行 ETC 系统车辆折算系数研究和评价 ETC 车道系统服务水平研究的重要依据之一。当 ETC 车辆通过收费站时,其延误主要包括以下几个部分。

1) ETC 车辆进入收费站的减速时间

$$t_1 = \frac{V_0}{3.6a_1} \tag{1}$$

2) ETC 车辆在收费站的平均逗留时间

$$T_w = E[S] + T_q \tag{2}$$

3) ETC 车辆驶离收费站的加速时间

$$t_2 = \frac{V_0}{3.6a_2} \tag{3}$$

式中: V_0 为正常车流车速,km/h; a_1 为车辆的减速度,m/s²; a_2 为车辆的加速度,m/s²; T_q 为平均排队时间,s; $E[S]$ 为服务时期望值,s。

平均延误时间主要是通过调查 ETC 车辆通过收费站上下游两个观测断面的时间差获取。

3 ETC 车道通行能力计算

3.1 ETC 车道车辆折算系数

ETC 车道的通行能力分析需要度量不同车型对 ETC 车道通行能力的影响程度,通常以车辆折算系数度量其影响程度。根据广深高速福永收费站统计结果,收费站的车型构成情况与路段基本一致,小型车在交通流中的比例约为 80%左右,ETC 车道小型车的通行比例约为 87%。因此,ETC 车道的车辆折算系数标准车型选用小型车。

从前面的研究可知,不同车型对收费站通行能力的影响程度主要表现为离开时间的不同。根据统计分析结果,ETC 车道车辆折算系数如表 3 所示。

表 3 ETC 车道车辆折算系数

车型	车辆折算系数
小型车	1.0
大中型车	1.4
特大型车	1.8

3.2 ETC 车道通行能力

ETC 车道的基本通行能力是指在理想的道路、交通、控制和环境条件下,单条 ETC 车道在单位时间内能够通过标准车辆的最大辆数,考虑到 ETC 车辆经过收费站时通行速度是一个呈现下抛物线型的缓慢变化的过程,离开时间应乘以一个区间为 0~1 的调节系数,以便更准确的计算 ETC 车道通行能力,计算公式如下:

$$C_b = \frac{3600}{T_s + T_G \cdot k} \tag{4}$$

式中: C_b 为 ETC 车道的基本通行能力; T_s 为标准车服务时间; T_G 为标准车离开时间; k 为标准车离开时间调节系数。

ETC车道的理想道路条件是指收费车道宽度不小于3m,收费岛的宽度不小于2.2m,收费岛的长度不小于30m,收费广场具有开阔的视野,良好的平面线形和路面情况;理想的交通条件是指车辆组成为单一的标准车型,即小型车,车辆之间保持适当的车头时距,没有任何非ETC车辆误入ETC车道;理想的环境条件是指ETC系统性能稳定,微波天线和ETC车载电子标签没有任何不可靠因素干扰,车辆交易成功率100%。

在现有的技术水平和交通状况下,由于微波天线和ETC车载电子标签不稳定、非ETC车辆误入ETC车道等现象时有发生,实际观测的ETC车道一般都不能满足理想条件。但是,根据标准车的服务时间和离开时间,可以计算出单条ETC车道的基本通行能力。

4 ETC系统服务水平分级

4.1 服务水平的分级指标

ETC系统的服务水平是描述ETC车道系统的运行情况对司机与乘客感受的一种质量量度。综合分析,评价ETC系统服务水平的标准主要有交易时间、ETC车辆在ETC车道的延误时间和ETC车道排队长度。

研究结果表明:交易时间受微波天线和ETC车载电子标签一致性、可靠性以及环境因素影响较大,但在理想状态下可作为评估ETC服务水平的重要指标;车辆在ETC车道延误时间的长短虽然能较好的反映ETC系统交易成功率,但存在不易统计等问题;ETC车道的排队长度是指ETC车道等待接受服务的平均标准车辆数,排队长度的长短直接反映ETC用户对ETC系统的感受,统计测算较为容易,可操作性强,可作为评价ETC车道服务水平的主要参数。本文采用ETC车道的交易时间和平均排队长度作为评价ETC车道系统服务水平的主要参数。

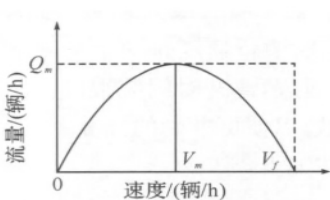


图3 交通流量-车速关系示意图

两側收費島仍然存在、ETC系統並不為所有車輛用戶所熟悉的情況下、ETC只能代表高效不能代表高速,這在日本、韓國等國家ETC產業的發展過程中已經得到

了實際論證,而且從圖3交通流量和車速關係示意圖也可以看出,在達到基本通行能力之前,交通量越大,則交通密度越大,而車速將越低,運行質量也將越低,即服務水平也隨之下降。達到基本通行能力之後,交通量不可能再增加,而是運行質量越來越低,交通量越來越低,但交通密度卻越來越大,直至車速及交通量將下降到0為止。

4.2 分級標準

研究表明,ETC车道系统交易时间和排队车辆数的不同导致ETC车道能处理的车辆数也不同,其中交易时间的长短和ETC车道通行能力成反比例关系,但排队车辆数却不是和ETC车道通行能力成反比例关系,这和交易时间以及收费广场的情况均有关系。综合分析,可以把收费站的服务水平划分为4级,各级服务水平描述如下。

一级服务水平:ETC车道没有形成排队,所有ETC车辆进入ETC车道后无需等待可直接进行交易,ETC用户感觉非常舒适和方便。

二级服务水平:ETC车道已经形成排队,但排队长度较短,大部分ETC车辆需等2~3个收费周期才可进行交易,ETC用户感觉较为舒适和方便。

三级服务水平:ETC车道排队长度较长,排队车辆较多,几乎所有车辆都需要等待较长的时间才能通过ETC车道,ETC用户抱怨ETC系统不快速、不方便。

四级服务水平:ETC车道排队长度很长,排队车辆很多,所有车辆都需要等待很长的时间才能通过ETC车道,ETC用户感觉无法忍受。

根据上述服务水平的描述以及广东多条ETC车道的实测数据统计分析,理想状态下,单条ETC车道各级服务水平下的基本通行能力如表4所示。

表4 单条ETC车道各级服务水平下的最大服务小时交通量

服务水平(辆/h)			
一级	二级	三级	四级
712	583	433	285

5 结语

本文通过广东省高速公路ETC车道的大量实测数据统计分析,给出了ETC系统服务水平划分的建议标准和通行能力的计算方法,根据ETC实测交通量的变化可确定是否需要增加ETC车道,为高速公路收费站设计、运营、评价提供了一套计量方法。

(下转第139页)

设置相同的参数。将各个模型导入到同一场景中进行拼接,由于原始 DEM 数据有着相同的精度和格式,并且在 Creator 中参数设置相同,所以结合处没有出现裂缝,地形纹理也可实现无缝对接,最后调整数据库的层级结构,使之只有一个 Group 节点。导入 Vega Prime 中进行渲染,观察场景运行的实时性和逼真度是否符合要求。

台湾地区为南北走向,选择 UTM 地图投影方式,能较好的保持地形轮廓形状,同时采用 WGS-84 地球椭圆模型。地形转换算法选用 Polymesh 算法,高程采样率为 8,Z Scale Multiplier 为 2.5,同时选择 Irregular Mesh 算法对多边形进行优化,提高了精度。LOD 数目为 3,将地形纹理调整为 1024×512 、 512×256 、 128×64 三种分辨率,分别映射到不同的 LOD 分辨率模型。最后生成了 .flt 文件约为 378M,图 5 为映射纹理后的效果图。

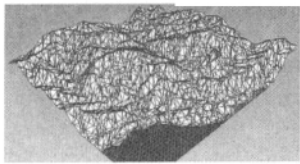


图 4 生成的测试地形



图 5 台湾地区
三维地形效果图

4 结语

本文采用网上免费地形数据和卫星图片为数据,实现了我国台湾地区三维大面积地形的可视

化,探索了一条基于 Creator 生成陌生地域三维地形的的方法。该地形建模方法可以高质量、快速的建立敏感地区的三维地形,为制定合理的行动方案提供了依据。所建模型的精度和分辨率高低由数据来源决定,适用于军事仿真和救灾、旅游等民用领域。在此基础上,如何构建包含文化特征数据的逼真地形和提高渲染速度是需要进一步研究的问题。

参考文献

[1] 王乘,周均清,李利军. Creator 可视化仿真建模技术[M]. 武汉:华中科技大学出版社,2005

[2] 舒娱琴,唐丽玉,彭国均. 采用 Creator 生成三维地形[J]. 测绘信息与工程,2003,28(5):9~11

[3] 刘云龙,王帅,孔德金,等. 基于 Creator 的战场地形仿真研究[J]. 科技广场,2010(6):15~19

[4] 殷学永,付杰. 基于 Creator 创建大规模场景的 LOD 技术研究[J]. 计算机与数字工程,2009,37(11):145~148

[5] 刘小江. 超大地形三维模型设计与制作[J]. 计算机仿真,2010,27(1):24~26

[6] 姚本君,赵欢,李传良,等. 飞行视景仿真中三维大地形的生成[J]. 系统仿真学报,2009,21(6):1633~1636

[7] 陈琼. 基于 Creator 的四种地形转换算法研究[J]. 系统仿真技术及其应用,2009(10):147~150

[8] 杜莹,武玉国. 全球虚拟地形环境中 Mipmap 纹理技术研究[J]. 测绘科学技术学报,2006,23(5):355~358

[9] 王丽君. 大规模战场地形多分辨率建模及实现可视化的研究[D]. 燕山大学硕士论文,2009

[10] 田振显. 利用虚拟现实技术对战场进行三维建模与仿真研究[D]. 重庆大学硕士学位论文,2008



(上接第 56 页)

参考文献

[1] 饭田恭敬. 交通工程学[M]. 邵春福,等译. 北京:人民交通出版社,1994

[2] 陈宽民. 道路通行能力分析[M]. 北京:人民交通出版社,2003

[3] 任福田,等译. 道路通行能力手册[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1991

[4] 张起森,张亚平. 道路通行能力分析[M]. 北京:人民交通出版社,2002

[5] 周刚,常成利. 高速公路收费站通行能力研究[J]. 公路

交通科技,2001(6):56~59

[6] 谢军. 高速公路通行能力分析与服务评价研究[D]. 西安:长安大学,2007

[7] 邓卫,吴海翔. 公路收费口通行能力研究[J]. 中国公路学报,2000,13(2):87~90

[8] 周荣贵,等. 公路路段车辆折算系数的分析计算[C]//公路科研中心学术交流会议论文集,1998,6

[9] 张智勇,曲峰. M/G/K 排队模型的北京地区高速公路收费站通行能力研究[J]. 公路,2001(7):128~133

[10] Highway Capacity and Level of Service. Proceedings of the international Symposium on Highway Capacity Karlsruhe,1991,7