

双摄像头环境下交叉口控制延误提取的误差统计

张惠玲^{1,2}, 李克平², 孙 剑²

(1. 重庆交通大学 交通运输学院, 重庆 400074 2 同济大学 交通运输工程学院, 上海 201804)

摘要: 对双摄像头环境下控制延误提取的过程进行了介绍, 主要对控制延误提取的误差指标进行了验证。以曹安路-绿苑路交叉口西进口道为参数提取的场景, 首先介绍了控制延误参数提取的原理; 然后对获取的单个车辆的行程时间值与真实的行程时间值进行对比, 使用平均误差指标得到系统提取的单车进行比较, 得到行程时间值的误差值接近 0, 使用塞尔指标验证了课题研究中所提取的行程时间与实际的行程时间, 结果表明可以认为检测得到的值与真实值相同。之后通过相关的处理, 获取按周期统计间隔得到的车均信控延误值, 考虑所获取的车均延误值的大小, 选用平均相对误差指标作为周期延误参数误差统计的指标, 使用 k-s 验证了延误参数的平均相对误差指标符合正态分布, 最后使用 t 检验验证了课题研究中所提取的周期控制延误平均相对误差指标的误差值小于 10%, 从而证明了参数提取方法的有效性。

关键词: 视频检测; 延误; 误差分析; 平均相对误差; 统计学

中图分类号: U491 **文献标识码:** A **文章编号:** 2095-0373(2010)04-0076-05

0 引言

延误是反映信号控制交叉口通行效率、评价交叉口服务水平的重要指标。通过延误观测可以直接得到车辆行驶过程中损失的时间^[1]。近年来, 随着视频检测设备的推广应用, 通过视频检测的方式直接提取得到车辆延误值的研究也逐步展开。其统计的精度指标在各研究中由于不同的应用目的统计方式也不相同。如果与传统的延误计算模型所提取的参数精度进行对比, 统计时长应该取传统模型的分析时长^[2,3]。Jianyang Zheng 等的研究^[4], 使用 HCM 2000 中的控制延误模型计算得到的值作为标准值, 使用视频检测得到的值与该标准值进行对比, 按照 15 min 的间隔对车辆延误的绝对误差进行统计, 最后将整个统计时段的标准值、视频检测值进行统计, 使用绝对误差值求取平均值, 之后对整个统计时段的平均相对误差的绝对值进行统计, 得到了延误参数的相对误差指标。Anuj Shama^[5]等对摄取的录像使用人工统计的方式获取延误和周期车辆的排队值, 将该值作为真实值, 也是按照 15 min 的间隔计算检测值与真实值的绝对误差值, 最后给出了整个统计时间内的平均绝对误差值。对于传统的模型推算延误而言, 由于模型推算中假设车辆到达符合一定的分布, 所以考虑到车辆到达的随机性和该假设条件, 一般可以使用整个统计时间内的平均百分比误差 (Mean Percentage Error, MPE) 进行统计, 由于平均百分比误差统计得到的误差值存在正负之分, 如果只是对误差的大小进行对比, 可以使用平均绝对百分比误差 (Mean Absolute Percentage Error, MAPE) 进行统计。

本课题研究中, 对于通过视频提取的延误值, 使用人工统计的方式获取每辆车在检测区间的行程时间值, 并与检测得到的单个车辆的行程时间值进行对比, 使用平均绝对误差统计整个时间段内的车辆检测值与真实值的差值, 从而可以得到系统是否存在检测误差, 以及系统检测误差的情况。之后, 按照周期间隔统计该周期的车辆延误值, 由于视频检测中, 所提取的是单个车辆的延误值, 不存在假设车辆符合一定分布到达的情况, 结合具体的车均延误值的大小, 论文中选取平均相对误差 (Mean Relative Error

收稿日期: 2010-06-17

作者简介: 张惠玲 女 1980 年出生 讲师

基金项目: 国家高科技发展计划项目 (863 计划) (2007AA11Z21); 国家自然科学基金 (50808021)。

MRE)对该周期的车辆误差进行统计,并使用统计的方法验证了参数提取的精度。

1 基于视频的延误参数的提取

在视频参数提取中,考虑到摄像头的实际架设高度,结合视频图像处理的相关要求,本论文中延误提取的摄像头架设使用双摄像头协作的方式实现。

双摄像头协助拍摄视频效果如图 1所示,两个摄像头的架设高度为 7.8 m 左右,架设位置为:一个摄像头拍摄交叉口的停车线附近的车辆行驶情况,如图图 1(b)所示;另一个摄像头拍车辆进入交叉口的情况,如图 1(a)所示,通过两个摄像头捕获的信息,综合同步分析两路视频,获得进口道单辆车的行程时间值。



(a) 后方摄像头



(b) 前方摄像头

图 1 上海市曹安路-绿苑路交叉口两路摄像头捕获视频

2 误差分析及验证

2.1 平均误差的计算

通过视频中的检测得到单辆车的行程时间值,与对应的人工统计得到的单辆车的真实行程时间值统计图如图 2所示。平均误差 (Mean Error ME)的计算公式为

$$ME = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (t_i - d_i) \tag{1}$$

式中, d_i 为检测值; t_i 为真实值; N 为样本个数。

由式 (1)可知,当该指标大于 0时,表明系统的检测值大于真实值,检测值偏大;反之,如果该值小于 0 则说明系统的检测值小于真实值,检测值偏小。

以上海市曹安路-绿苑路西进口道中所提取的数据为指标计算的数据源,对于直行车道的数据,共检测的样本量为 371辆车,计算获取的 ME 值为 0.175。将左转检测的数据加入后,总共 452个样本,得到的 ME 值为 0.325 2。通过上述数据说明目前曹安公路中的检测数据比真实数据小,但偏离的幅度不大。

2.2 有效性验证

为了验证单个车辆行程时间参数提取的效果,使用塞尔指标做假设检验,相关公式及说明如下^[6]:

$$U = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{N=1}^n (Y_{sinV} - Y_{obsV})^2}}{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{N=1}^n Y_{sinV}^2 + \frac{1}{n} \sum_{N=1}^n Y_{obsV}^2}} \tag{2}$$

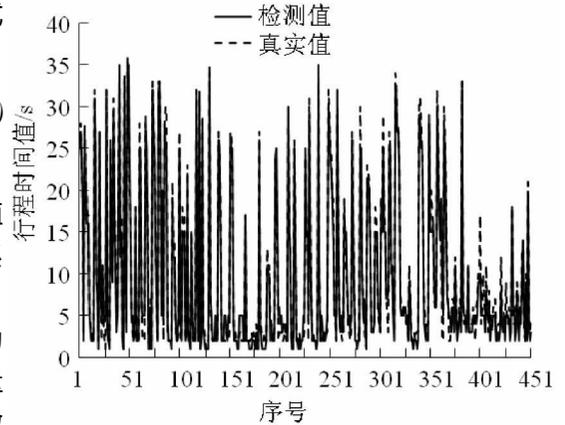


图 2 行程时间检测值与真实值对比

式中, Y_{sim} 为检测获取的指标值; Y_{obs} 为真实值; n 为数据样本量, 即检测的车辆数。 U 系数的值限定在 $[0, 1]$ 之间, 该值越小, 表明检测效果越好。对于塞尔指标的有效性验证过程如下:

首先给出有效性验证中使用的判断公式

$$\frac{|\bar{Y}_{\text{sim}} - \bar{Y}_{\text{obs}}|}{\sqrt{s_{\text{sim}}^2/n_{\text{sim}} + s_{\text{obs}}^2/n_{\text{obs}}}} \geq t_{\alpha/2, \tilde{f}} \quad (3)$$

式中, \bar{Y}_{sim} 为检测获得数据的均值; \bar{Y}_{obs} 为真实数据的均值; s_{sim} 为检测获取参数的标准差; s_{obs} 为真实参数的标准差; n_{sim} , n_{obs} 分别为检测和真实数据样本量; \tilde{f} 为自由度

$$\tilde{f} = \frac{\left(\frac{s_{\text{sim}}^2/n_{\text{sim}} + s_{\text{obs}}^2/n_{\text{obs}}}{4} \right)^2}{\frac{s_{\text{sim}}^2}{n_{\text{sim}}(n_{\text{sim}} - 1)} + \frac{s_{\text{obs}}^2}{n_{\text{obs}}(n_{\text{obs}} - 1)}} \quad (4)$$

式中各参数的含义同式 (3)。假设检测得到的某一参数值和观测的得到的真实值相等, 即 $H_0: \bar{Y}_{\text{sim}} = \bar{Y}_{\text{obs}}$, 如果式 (3) 成立, 则拒绝 H_0 反之, 则说明假设成立, 即检测值与真实值相等。

在延误检测中, 对通过视频提取得到的 452 个样本的车辆行程时间进行对比, 真实的数据为人工统计值, 依据 u 检验的验证过程, 假设每辆车的行程时间检测值与真实相等, 计算得到的 u 值为 0.064 99 所计算得到的自由度为 10, 取置信度为 95%, 则 $t_{0.05/2, 10} = 1.812 5$, 由 (3) 式计算得到的结果值为 0.517。根据上述分析, 其结果为接受假设, 即可以认为检测的单个车辆的行程时间值与真实的行程时间值相等。

2.3 误差指标的检验及分析

在研究中, 结合交叉口的限速值, 取 230 辆车的自由行驶时间, 在从行程时间到延误参数的提取中, 取交叉口的限速值与所提取的车辆自由行驶的时间值的最小值, 即

$$V = \min(v_b, v_l) \quad (5)$$

式中, v_l 为交叉口的限速值; v_b 为检测到的自由行驶速度。得到车辆的自由行驶速度后, 可以由行程时间得到每辆车在交叉口的延误值。在计算中, 由于有些车辆行驶的速度比所取的自由行使速度小, 故得到的延误值为负值, 该情况下, 将该车辆的延误值设置为 0。

在曹安路-绿苑路交叉口西进口道的参数提取中, 对于所获得的各个周期的误差值, 以延误参数提取的参数为验证对象进行详细陈述。由于该进口道中所提取的单个周期的车均延误值小于 8 s, 一个周期的延误值小于 20 s, 服务于信号控制而言, 参数的指标统计时长以一个周期为时段进行统计, 延误参数误差指标统计使用 MRE 指标值该指标的定义如下

$$MRE = \sum_{i=1}^N |b_i - t_i| \left/ \sum_{i=1}^N t_i \right. \quad (6)$$

式中参数的含义同 (1) 式, N 为统计间隔内的样本数。

对于分析的时段, 取 1 个周期时长, 该交叉口中的周期为 71 s, 分别统计直行方向和左转方向的延误参数提取 MRE 指标, 得到的样本数为 59 个, 使用直方图的形式画出频率分布图, 并于正态分布图进行对比, 得到结果如图 3 所示, 图中的 mean, std dev, N 分别指样本的均值, 方差, 样本数。对该数据进行标准化处理^[7], 处理后按照误差符合正态分布进行验证, 得到延误参数误差的 p-p 图如图 4 所示。由图 4 中的拟合线和散点可以看出, 该图拟合效果较好。也即将样本认为正态分布所得到的理论值与目前得到的现实值拟合较好。

为了更加具体的说明延误参数的误差服从正态分布, 使用 spss 软件中的非参数检验方法对样本服从的分布进行检验。由于前期的分析结果表明, 延误参数的误差服从正态分布, 所以选择单样本 k-s 检验进行验证。单样本 k-s 检验的原假设是: 样本来自的总体与指定的理论分布无显著差异。k-s 检验的过程如下:

首先, 在假设成立的前提下, 计算各样本观测值在理论分布中出现的累计概率值 $f(x)$; 其次, 计算各样本观测值的实际累计概率值 $s(x)$; 计算实际累计概率值与理论累计概率值的差值 $d(x)$; 最后计算差值序列中的最大绝对差值, 即

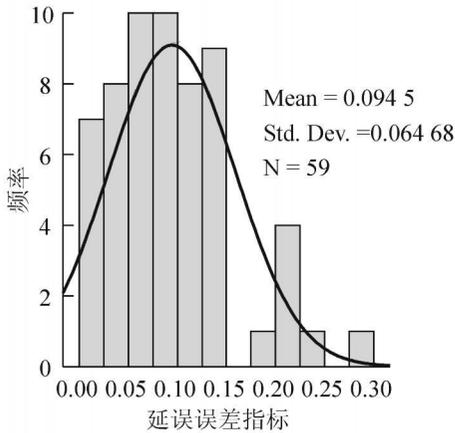


图 3 延误误差的累计频率

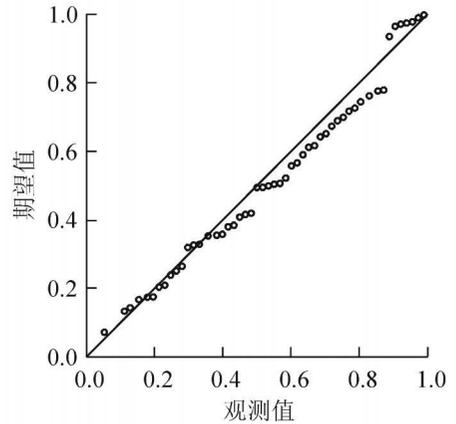


图 4 正态分布的观测值与理论值

$$d(x) = \max(|s(x_i) - f(x_i)|) \quad (7)$$

D 统计量也称为 k-s 统计量。在大样本下,原假设成立时, \sqrt{nd} 近似服从 kolmogorov 分布。

容易理解,如果样本总体的分布与理论分布差异不明显,那么 d 不应较大。如果 d 统计量的概率 p 值小于显著性水平,则应拒绝原假设,认为样本来自的总体与假设的分布有显著差异;否则,不能拒绝原假设,即可以认为样本来自的总体与假设的分布无显著差异。

对于曹安公路示范工程中的延误参数的提取,使用 k-s 检验方法,假设样本服从正态分布,共统计样本数为 59 个,进行标准化后,得到的延误参数的误差样本的均值为 -0.087 8 样本标准差为 0.739,最大绝对差值为 0.103,最大正值为 0.103,最小负值为 -0.072, \sqrt{nd} 的值为 0.790, p 值为 0.561。如果显著性水平为 0.05 则 p 值大于 0.05,故不能拒绝原假设。即可以认为曹安路中的延误参数提取的误差服从正态分布。

使用单样本的 t 检验,对延误的误差进行统计。由上述的分析得到,延误参数的误差服从正态分布。 t 统计量的数学定义为

$$t = \frac{\bar{x} - u}{\sqrt{s^2/n}} \quad (8)$$

式中, t 服从自由度为 $n - 1$ 的 t 分布。

假设总体的延误参数误差均值为 0.102 2 经验证,59 个样本中的均值为 0.094 5 标准差为 0.064 7,均值标准误差为 0.008 4 得到的 t 统计量为 -0.917,自由度为 58, p 值为 0.363 样本均值与检验值得差为 -0.007 7(该值为 t 统计量的分子部分,该部分除以标准误差后得 t 统计量的观测值),总体均值与原假设差的置信区间为 (-0.024 6, 0.009 1),所以总体均值的 95% 置信区间为 (0.077 6, 0.111 3)。

由于该问题采用双尾检验,因此比较 $\alpha/2$ 和 $p/2$,也就是比较 α 和 p 值的大小。可知 p 值大于 0.05,所以,应该接受原假设,即有 95% 的可能性认为总体的均值为 0.102 2 即在双摄像头环境下所使用的参数提取方法是有效的。

3 结语

延误参数的提取在交叉口信号优化及服务水平评估等方面具有重要的意义,而延误参数提取的误差指标选取在延误参数的提取中也是重要的研究方面之一,合理的误差指标选取可以使得研究工作达到事半功倍的效果。对比与一般假设车辆的到达在一个时段服从某种分布,论文针对按照实时的提取单个车辆的延误误差的情况,以服务于信号配时为目标,按照单个周期时长为统计间隔,选用 MRE 指标为延误参数提取的误差指标,并从统计学的角度验证了参数提取的误差值。论文的研究成果为延误参数误差指标的合理选取提供了一定的借鉴意义。

参 考 文 献

- [1] 严宝杰. 道路交通调查[M]. 北京: 人民交通出版社, 1994.
- [2] Ahmed AbdelRahim, Michael Dikon, LiWei Tung. Automated Measurement of Approach Delay at Signalized Intersections: A Vehicle Event-Based Method[C] // Transportation Research Board 2009 Washington TRB, 2009 Paper# 09-1287.
- [3] Wassim Kebab, Michael P. Dikon, Ahmed AbdelRahim, Field Measurement of Approach Delay at Signalized Intersections Using Point Data[C] // Transportation Research Board 2007. Washington TRB, 2007: 34-77.
- [4] Jianyang Zheng, Xiaolei Ma, Yin Hai Wang et al. Measuring Signalized Intersection Performances in Real Time with Traffic Sensors[C] // Transportation Research Board 2009. Washington TRB, 2009: Paper# 09-3119.
- [5] Anuj Sharma, Darcy Bulbeck, James A. Bonneson. Input-Output and Hybrid Techniques for the Real Time Prediction of Delay and Maximum Queue Length at a Signalized Intersection[C] // Transportation Research Board 2007. Washington TRB, 2007: 68-80.
- [6] Tomer Toledo. Statistical validation of traffic simulation models[C] // In Preprints of the 83rd Transportation Research Board Annual Meeting Washington TRB, 2004: 142-150.
- [7] 朱建平, 殷瑞飞. SPSS在统计分析中的应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2007.

Error Statistics of Signalized Intersection Control Delay Detect Using Two Cameras

Zhang Huiling^{1, 2}, Li Keping², Sun Jian²

(1. School of Transport, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China)

(2. School of Transportation Engineering, Tongji University, Shanghai 201804, China)

Abstract This paper describes the procedure of the signalized intersection control delay detect using two cameras and analyses the parameter's error index in detail. Using the Caoan-Lvyan intersection's west approach scene, the theory of control delay collecting is introduced firstly. Secondly, the mean error index is used to compare each vehicle's detected travel time and the real travel time. For the mean error is nearly 0, the Theil's inequality coefficient is used to test the hypothesis that the detect travel time is equal to the real travel time. Through some processing, the average vehicle control delay is obtained for 1 cycle. Considering the delay's value, the mean relative error is used for the error's index. The statistics method is used to test that the control delay's mean relative error is no more than 10%, which proves the method's effectiveness.

Key words video detector; delay; error index; mean relative error; statistics

(上接第 75 页)

Mechanics Analysis of Typical Asphalt Pavement Structures

Sun Yuhua¹, Chen Zhiguo¹, Li Yongli²

(1. Jilin Traffic Science Institute, Changchun 130012, China)

(2. Jilin Traffic Construction Group, Changchun 130022, China)

Abstract In this paper, according to asphalt pavement condition of northeast freeway based on the traffic level and subgrade strength grade on northeast cold areas, the author analyses the indicators of pavement structure stress, deformation and deflection, proposes the design method and the recommended value of frost cushion thickness in different cold areas, different dry and wet zones, different frozen depth and soil conditions, and finally proposes the typical northeast asphalt pavement structure of northeast freeway.

Key words freeway; asphalt pavement; typical structure; mechanical analysis