

文章编号: 1002-0268 (2006) 05-0084-04

基于行程时间估计的快速路检测器 布设密度优化方法研究

储 浩, 杨晓光, 李克平, 吴志周

(同济大学 交通工程系, 上海 200092)

摘要: 随着智能交通运输系统对道路实时交通信息的迫切需求, 布设高密度、全方位的交通检测器已成为共识, 但是高密度的检测器布设带来的是硬件投资的急剧增加, 因此有必要进行检测器布设密度的优化。利用快速路行程时间估计方法分析了检测器布设密度优化问题, 认为从行程时间估计误差和合理投资的角度出发, 检测器布设并不是密度越大效果越好, 而是存在一个合理范围, 该范围可以指导工程中实际检测器数目的选择。

关键词: 检测器布设; 布设密度; 行程时间; 优化; 快速路

中图分类号: U491

文献标识码: A

Optimum Method for Loop Detector Layout Density for Expressway Based on Travel Time Estimation

CHU Hao, YANG Xiao-guang, LI Ke-ping, WU Zhi-zhou

(Department of Transportation Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: With the urgent demand for real-time traffic information in Intelligent Transportation System, the high-density layout of detectors has been adopted, while the amount of investment has been sharply increased. So optimum detector layout density is necessary. The optimum method based on travel time estimation has been expounded. The major conclusions could be summarized as follows: considering the appropriate estimation error for travel time and reasonable investment, the space between detectors should have a suitable range and the high-density layout of detectors is not always good for ITS system. The method for selecting suitable range could be introduced to determine detector density and detector amount in practical applications, then according to this range the optimum detector layout density can be achieved.

Key words: Loop detector layout; Layout density; Travel time; Optimization; Expressway

0 概述

交通检测器采集到的交通数据是否能够正确反应当时的交通流运行状态, 与检测器的空间密度和具体位置有很大的关系。由于目前国内外普遍采用的交通检测器如环线线圈、微波雷达和视频检测器等采集的是固定地点的交通流参数数据, 只有当道路网络中有

足够多的检测器时, 才能够实现对道路网络交通运行状态的获取。

国外道路在进行交通检测器布设时主要是在保证效益的条件下, 以尽可能准确的采集路段动态信息为目的, 按固定间距进行布设, 例如日本阪神高速设有车辆检测器 2 030 处, 主线平均 500m 一处, 美国芝加哥 355km 高速设有自动检测设施 1 700 处, 平均

收稿日期: 2005-02-28

基金项目: 国家自然科学基金——城市道路信号控制交叉口群交通阻塞机理 (50578123)

作者简介: 储浩 (1979—), 男, 安徽潜山人, 博士研究生, 研究方向为智能交通系统. (chyxj1205@163.com)

200m 一处,加拿大多伦多市高速平均 600~700m 布设一处检测器^[1]。密集的自动采集设施可以实时获取各路段交通流信息,便于动态分析各路段运行状况,及时采取控制管理措施。

然而对于国内的检测器布设来说,如果单纯按照固定间距布设则需要新增大量的检测设备,投资大、工期长,对交通影响大,短期内难以实现。据统计,国内快速路考虑双向 6 车道的情况下,一个检测断面所有投资在 15 万元人民币左右,过密的检测器布设会带来投资的急剧增加,所以需要进行优化布设。

合理的交通检测器布设方案和检测器布设目的密切相关,在实际的道路网络中,路段的行程时间参数能够最真实、最直观地反映交通流的运行特征,因此本文结合行程时间参数的估计来进行检测器布设的优化调整。

1 优化布设方法研究

1.1 优化布设基本思路

基于路段固定检测器数据的行程时间估计和检测器布设间距存在一定关系,从理论上讲,检测器布置的密度越大,所检测到的数据越能准确地反映路网交通流运行特征,同样行程时间的估计误差也会随着检测器布设密度的增加而降低,如图 1 所示。同时随着检测器密度的增加相应的投资也会线性上升,所以综合考虑合理投资和误差的情况下,该直线与误差曲线和投资曲线分别交于 A、B 两点,两点对应的检测器密度为对应的合理检测器密度区间 (a, b),在该区间上无论选取什么检测器密度所对应的行程时间误差和投资均在可以接收的范围内。在实际应用过程中,如果可允许估计误差确定,则检测器布设密度选择应尽量靠近上述区间的边界 a,从而降低投资。

因此在已经确定图 1 中行程时间估计误差与检测器密度关系曲线的前提下,根据投资即可确定相关路段合理检测器布设区间,从而指导实际道路交通检测器的优化布设。下面通过理论和仿真分析的方法来讨论行程时间估计误差与检测器密度的关系。

1.2 行程时间估计方法和检测器布设间距的关系

固定型交通检测器采集的车速为道路某个截面的地点车速,目前基于地点交通参数数据估计行程时间的研究还很有限,尚无公认的有效方法。下面根据交通工程方面的基本理论进行估计^[1~3],估计的基本思路是根据检测器采集到的地点交通参数估计路段的区间平均车速,进而估计出该路段的平均行程时间,估计算法描述如下:

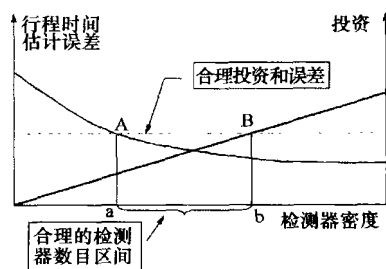


图 1 检测器密度、投资 and 误差三者关系示意图

Fig 1 The relationship of traffic time estimate error, investment and detector density

区间平均车速为在某一特定时间段内,行驶于道路某一特定长度内的全部车辆的车速分布的平均值,当观测长度一定时,其数值为地点车速观测值的调和平均值,其计算公式为

$$\bar{V}_s = \frac{1}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{V_i}} = \frac{ns}{\sum_{i=1}^n t_i} \quad (1)$$

式中, $\bar{V}_s$ 为区间平均车速, km/h; s 为路段长度, km; t_i 为第 i 辆车的行驶时间, h; n 为车辆行驶于路段长度 s 的次数; V_i 为第 i 辆车行驶速度, km/h; 而检测器得到的速度值为时间平均车速(即地点平均车速),计算公式为

$$\bar{V}_t = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_i \quad (2)$$

式中, $\bar{V}_t$ 为时间平均车速, km/h; V_i 为第 i 辆车行驶速度, km/h; n 为单位时间内观测到的车辆总数。行程时间的估计需要得到区间平均车速,而直接从检测器得到的为时间平均车速(地点平均车速),则根据区间平均车速与时间平均车速的关系

$$\bar{V}_s = \bar{V}_t - \frac{\sigma_t^2}{\bar{V}_t} \quad (3)$$

式中, σ_t 为时间平均车速观测值的均方差,可以计算区间平均车速。

根据检测器数据计算得到的区间平均车速为该检测器某个邻域区间内的平均速度(如图 2 所示),定义这个邻域长度为 l ,相邻检测器的区间长度为 L ,可以利用检测器 a、b 的区间平均车速 $\bar{V}_a$ 、 $\bar{V}_b$ 分别近似代替 $L/2$ 上的区间平均速度(这种近似带来行程时间估计误差),计算相邻检测器路段上的

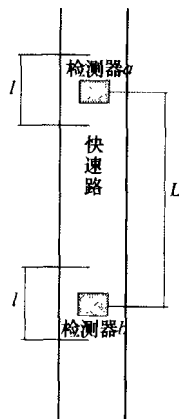


图 2 行程时间估计方法示意图

Fig 2 Sketch map of travel time estimate method

行程时间, 计算公式为

$$t_{ab}=\frac{L/2}{\bar{V}_a}+\frac{L/2}{\bar{V}_b}=\frac{L}{2}\left(\frac{1}{\bar{V}_a}+\frac{1}{\bar{V}_b}\right)$$
 (4)

不考虑检测器检测误差和车型影响误差, 可以分析行程时间估计对检测器布设间距的影响:

当 $l < L$ 时, 根据 (4) 式计算的行程时间存在误差, 随着 l 和 L 长度差距的增加, 误差越大, 因为路段中间部分的区间平均速度不能利用检测器 a 、 b 的区间平均车速 $\bar{V}_a$ 、 $\bar{V}_b$ 确定。

当 $l \geq L$ 时, 根据 (4) 式计算的行程时间与实际行程时间接近, 但 L 在此基础上继续减小, 估计精度并不能明显提高, 因为路段中间部分的区间平均速度利用检测器 a 、 b 的区间平均车速 $\bar{V}_a$ 、 $\bar{V}_b$ 已经确定。

根据上述分析结论可知:

- (1) 检测器间距越大, 行程时间计算精度越差。
- (2) 检测器布设密度存在一个合理值, 但超过这个值后, 计算精度并不随布设密度线性增加, 却导致检测器成本大幅增加。

1.3 仿真分析

由于检测器布设间距的实地实验实现起来比较困难, 因此需要采用仿真的方法, 德国 PTV 公司开发的 Vissim 3.70 版微观交通仿真软件可以比较真实地反应道路交通运行状态, 可以在道路网络中设置检测器, 采集交通量、速度、行程时间等交通参数, 是目前比较理想的微观模拟软件之一。因此本文采用 Vissim 3.70 版仿真软件进行行程时间估计和检测器布设密度关系的仿真分析。仿真分析步骤如下:

(1) 建立路段模型

仿真时采用上海市外环线实际道路作为底图, 路段长度和车道数同外环线一致, 利用软件中的 Data collection point 工具进行交通参数的采集, 这种数据采集点对应于实际道路中的环形线圈或者其他数据实时采集设备^[4], 然后按照主线 300、500、800、1 000、1 200、1 500、1 800、2 000m 以及 2 200m 的布设间距进行布设, 模拟实际道路不同的检测器间距对行程时间估计的影响。

(2) 仿真参数选择

仿真时参考上海市外环线实际道路特点, 选择主线交通量为 5 000pcu/h, 车辆类型主要考虑小车、货车和大型客车, 所占比例分别为 60%、30% 和 10%, 平均速度为 80km/h。

(3) 仿真结果分析

仿真后的数据经过处理, 按照 1.2 节行程时间估

计方法进行不同检测器间距情况下行程时间的计算, 计算结果如表 1 所示。然后根据仿真时利用 Travel Time Measurement 得到的行程时间实际值分析不同检测器间距时的行程时间估计误差, 结果如图 3 所示。

表 1 不同检测器间距估计的行程时间

Tab 1 The value of travel time according to different detector space

检测器间距/m	行程时间/min
300	33.6
500	33.5
800	34.2
1000	34.7
1200	35.5
1500	36.2
1800	38.2
2000	39.8
2200	43.0

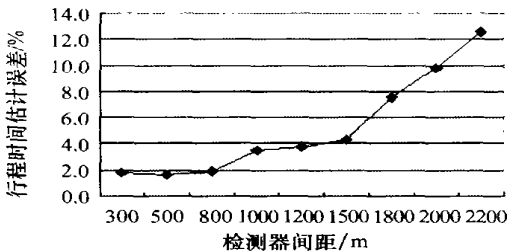


图 3 检测器间距和行程时间估计误差的关系

Fig 3 The relationship of travel time estimate error and detector space

分析表 1 和图 3 可知, 仿真结果和 1.2 节理论分析基本一致, 即:

- (1) 检测器布设间距越小, 行程时间估计误差越小。
- (2) 估计误差随检测器间距的减小而变化趋势变缓, 在一定的检测器间距范围上行程时间估计误差接近。

2 实例分析

本文在上述优化布设理论分析和仿真的基础上, 利用行程时间估计方法和道路实测的检测器数据, 计算上海市外环线浦西段的行程时间和检测器布设密度的关系。

上海市外环线浦西段全长 44km, 已布设 32 组检测器, 32 组检测线圈的位置以及上海市外环线如图 4 所示。由于已经布设好一定密度的检测线圈, 因此只能在已有检测线圈数据的基础上来分析, 并且在分析过程中, 采用的是历史检测数据。

在分析过程中, 分别选择路段上 32 组 ~ 4 组检



图 4 上海外环线及检测器布情况

Fig 4 Detector location of waihuan road in Shanghai
测器的检测数据进行行程时间的计算, 不同检测器组
表 2 不同检测器组数计算的行程时间

Tab. 2 The value of travel time according to different detector groups

线圈组数	行程时间/ min
4	31
8	31.5
12	32.1
16	35.5
20	38.2
24	38.8
28	38.6
32	38.7

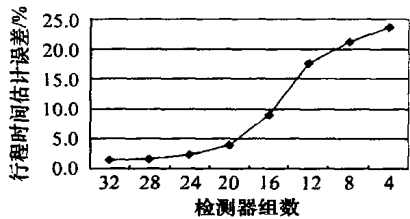


图 5 行程时间估计误差和检测器组数间关系

Fig 5 The relationship of travel time estimate
error and detector groups

数计算的行程时间结果如表 2 所示。通过不同组检测器数据估计的行程时间和实际行程时间的误差曲线如图 5 所示, 图中检测器组数的变化对应检测器间距的变化和检测器布设密度的变化, 从图中可以看出利用 24 组检测器数据和 32 组检测器数据估计的行程时间误差接近。

3 结论

(1) 检测器布设越密, 计算的行程时间越接近实际行程时间, 但是检测器布设密度存在一个合理值。从合理投资和行程时间估计误差的角度出发, 并不是检测器布设密度越大效果越好, 文中的仿真和实际算例均证明了在估计误差允许时, 布设距离存在一个范围, 该范围可以指导合理检测器数目的选择。

(2) 分析结果可以用来指导用于行程时间估计的检测器布设优化, 同时根据相同的方法也可以获得用于其他交通监控目的的检测器布设优化方法, 这有待于进一步研究。

(3) 随着交通信息移动采集方法 (如浮动车检测) 的兴起和完善, 如何结合移动信息采集进行固定交通检测器布设的优化是本文进一步需要研究的问题。

参考文献:

[1] 姜桂艳. 道路交通状态判别技术与应用 [M] . 北京: 人民交通出版社, 2004.
[2] Keechoo Choi, etc Travel Time Estimation Algorithm Using GPS Probe and Loop Detector Data Fusion [C] . Washington D. C : 80th Annual Meeting of the Transportation Research Board. January 7 to 11, 2001.
[3] 徐吉谦. 交通工程总论 [M] . 北京: 人民交通出版社, 1999.
[4] PTV company. VISSIM User Manual - Version 3.70 [R] . January, 2000