

基于道路检测器的交通信息空间特性分析

董宏辉^{1,2}, 李海舰^{1,2}, 贾利民^{1,2}, 徐东伟^{1,2}, 史元超², 秦 勇^{1,2}

(1. 北京交通大学 轨道交通控制与安全国家重点实验室, 北京 100044;

2. 北京交通大学 交通运输学院, 北京 100044)

摘 要: 在分析道路交通信息空间分布特性的基础上, 定义了一个描述交通信息空间关系特性的信息度函数. 并利用北京二环路上的交通数据进行相关性分析, 绘制散点分布图, 给出信息度函数的数学表达式. 基于标定的信息度函数可获得路段交通信息的空间分布, 并为交通检测器布局优化及其组网优化研究提供参考.

关键词: 交通工程; 道路传感器; 交通信息; 空间特性; 传感器网络; 信息度

中图分类号: U 491

文献标志码: A

文章编号: 0254 - 0037(2011)10 - 1500 - 05

智能交通系统(intelligent transportation system, ITS)要求能得到路网实时交通信息, 为了检测路网中的交通信息, 交通检测器发挥着很大的作用. 国内外很多学者基于视频^[1]、线圈^[2]、地磁等检测器做了很多研究, 通过这些检测器得到行程时间^[3]、车流量^[4]等信息, 并利用这些交通信息进行路段拥挤判别^[5]、事故检测等相关研究. 近几年来, 很多学者基于交通信息的相关性或相似性技术在检测器布局优化方面做了很多研究, 如2002年姜桂艳等^[6]利用城市路网中路段交通流量的相关性, 运用统计分析技术对城市主干路检测器空间分布问题进行了研究, 提出在城市主干路安装检测器的依据; 2004年, 徐亮^[7]利用路段交通量的相关性, 对城市小区用灰色聚类分析方法进行了研究, 研究成果解决了在哪些路段安装检测器的实际应用问题. 一些学者从信号采样或概率统计的角度对检测器反映的交通信息进行了分析, 并将其应用到检测器布局优化问题中, 如张汝华等^[8]、Leow等^[9]从信号采样的角度给出了问题的解决思路. 通过道路检测器得到的交通信息反映了检测器所在点、路段、区域的交通状况, 研究道路交通检测器的交通信息空间特性有利于掌握道路交通流特性和规律, 为基于不同应用的交通信息数据融合和管理部门的交通管理控制提供基础数据.

1 交通信息的信息度描述

1.1 交通流检测器反映空间交通信息的描述

宏观交通状态可由速度、流量、占有率等交通参数表示和描述, 通过检测和计算这些交通参数, 可以描述和刻画相应路段的宏观交通状态. 对于路段某个检测器, 通过检测交通参数会完全反映出检测器点处相应的交通信息. 在离检测器一定距离处, 由于交通参数变化的连续性和相关性, 则此处的检测器可以在一定的概率下反映出彼处的交通流参数, 即宏观交通状态. 所以检测器可以以一定的概率反映出一定距离范围内的交通参数. 某检测器能准确代表检测器处交通状态参数的概率为1, 准确代表距离此检测器 x 处的交通状态参数的概率为 $p = p(x)$. 这样在整个定义域内(整个研究路段), $p(x)$ 为检测器获取的交通信息能代表距离该检测器 x 处的交通状态的概率.

在一个路段上, 交通检测器反映空间交通信息可以用概率表示, 定义一个检测器的信息度函数为

收稿日期: 2010-02-03.

基金项目: 国家“八六三”计划资助项目(2006AA11Z231); 北京市科技计划重点项目资助(D07020601400707); 国家自然科学基金项目资助(61104164).

作者简介: 董宏辉(1978—), 男, 河南兰考县人, 讲师.

$g(x) = p(x)$, 其中, x 为距此检测器的距离; $g(x)$ 为某检测器的信息度函数.

路段上某检测器的信息度函数 $g(x)$ 可以进行如下描述:

1) $g(x)$ 是对某检测器检测的交通信息而言, 不同的交通信息有不同的信息度函数, 其物理意义为距该交通检测器一定距离处的交通信息, 能被该检测器获取的交通信息所代表的概率或程度; 也可理解为某检测器能代表的空间单位距离上交通信息的程度.

2) $g(x)$ 是关于定义域 (一般为研究路段或研究区域) 上的连续函数, 且 $g(0) = 1$.

3) 根据不同的路面特征、道路环境及道路等级等道路条件, $g(x)$ 可有不同的曲线特征, 如三角形 (斜坡)、正态曲线、指数曲线或其他曲线特征. 实际情况中, 大多为非对称的, 因为路段上游和路段下游的交通特性是不同的.

1.2 交通信息度函数的空间运算

对于同一交通状态参数, 在不同检测器处都有自己的表现形式, 当 2 个检测器相邻时, 此交通状态参数 (可以是检测器获取的表征交通状态的速度、流量、占有率等参数, 用 a 表示) 的信息度函数有部分公共的定义域 (图 1), 则在公共定义域部分就需要研究同一交通状态参数的信息度函数的叠加.

图 1 中 $p_a^A(x)$ 和 $p_a^B(x)$ 分别为交通状态参数 a 在 A 、 B 两处的信息度函数, 在 A 、 B 处交通状态参数 a 的信息度函数的叠加函数 $pp_a^{AB}(x)$ 可定义为

$$pp_a^{AB}(x) = \begin{cases} p_a^A(x) & x \in D_A - D_A \cap D_B \\ p_a^B(x) & x \in D_B - D_A \cap D_B \\ pp_a^{AB}(x) & x \in D_A \cap D_B \end{cases}$$

其中, D_A 、 D_B 分别为函数 $p_a^A(x)$ 和 $p_a^B(x)$ 的定义域. 函数 $pp_a^{AB}(x)$ 为函数 $p_a^A(x)$ 和 $p_a^B(x)$ 公共定义域下的叠加函数, 对不同交通参数有不同表现形式. 2 个检测器检测到同一区域的交通状态时会增加此区域的交通信息, 但由于交通状态参数的相关性, 一般不直接相加. 若不考虑交通状态的信息融合, 为得到公共区域处的信息, 应选取较大的概率, 这样能以相邻的检测器信息尽可能多地反映出公共区域处的交通信息, 则函数 $pp_a^{AB}(x)$ 定义为

$$pp_a^{AB}(x) = \max(p_a^A(x), p_a^B(x)) \quad x \in D_A \cap D_B$$

叠加后的信息度函数如图 2(a). 若考虑交通状态的信息融合, 则 $pp_a^{AB}(x)$ 应根据相应的融合技术得到, 一般情况下

$$pp_a^{AB}(x) > \max(p_a^A(x), p_a^B(x)) \quad x \in D_A \cap D_B$$

叠加后的信息度函数如图 2(b). 由上述分析相邻公共区域的叠加函数满足

$$pp_a^{AB}(x) \geq \max(p_a^A(x), p_a^B(x)) \quad x \in D_A \cap D_B$$

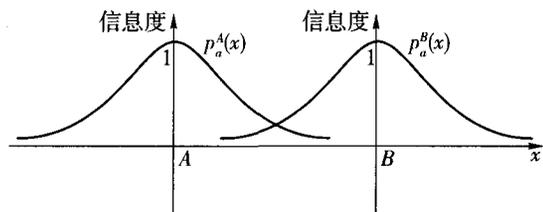


图 1 相邻 2 检测器针对同一交通状态参数的信息度函数 (A 、 B 为两检测器的空间位置)

Fig. 1 The information function on the same parameter of traffic state of two sensors (A 、 B is the position of two sensors)

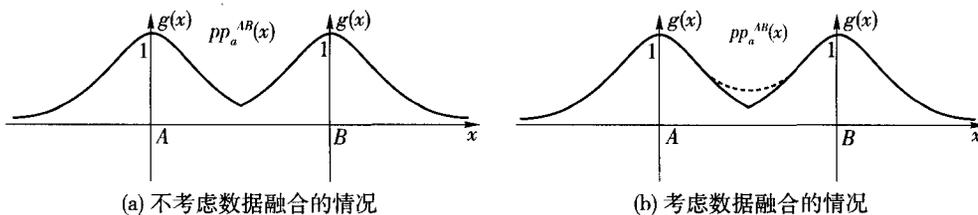


图 2 同一交通状态参数信息度函数叠加

Fig. 2 Overlay information function on the same parameter of traffic state

2 交通信息的空间相关性分析

2.1 数据选取

为了比较准确地得到路段上不同点的交通信息的性质,选取北京市二环路上现有的52个微波检测器检测的数据作为研究对象,时间为2008年4月14—18日(5个工作日),并对每个现有微波检测器进行编号,见图3,剔除3个无效检测器数据,共49个有效检测器数据.数据采样间隔为2 min,由于夜间车流较少,数据不具有代表性,选取时段为6:00—21:00,编号以积水潭桥开始,沿顺时针方向,到新街口豁口结束,分别为1—49号,研究内环方向各检测器交通信息的空间相关性.

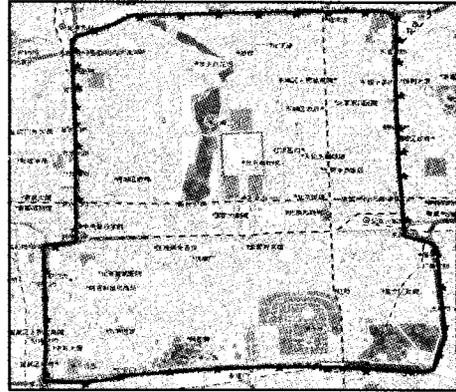


图3 北京市二环路现有微波检测器布局示意图
Fig.3 The layout of the existing microwave sensors about the Second Ring Road in Beijing

2.2 路段各检测点交通信息相关性

首先以1号检测器为基准点,计算1号检测器与1—25号检测器的数据序列(包括流量、速度)的相关系数(注:相关系数有负,这里取其绝对值,以下同),依次计算2号检测器与2—26号检测器的数据序列相关系数,直至25号检测器与25—49号检测器.

通过计算,得到基于不同距离的交通信息(包括流量、速度)的相关性变化情况,利用各检测器点的距离(见表1),得到各检测器信息相关系数与距离的散点图(见图4).

表1 相邻两检测器之间距离表

Table 1 The distance of two contiguous sensors

检测器编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
距离/km	—	0.722	1.019	0.602	1.474	0.542	0.698	0.188	0.256	1.328
检测器编号	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
距离/km	0.62	0.227	0.573	0.298	0.36	0.404	0.438	0.334	0.515	0.583
检测器编号	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
距离/km	0.202	0.333	0.431	0.867	0.667	0.525	0.5	1.458	0.982	0.688
检测器编号	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
距离/km	0.981	0.879	0.67	0.293	0.741	0.296	0.509	0.368	0.6	0.962
检测器编号	41	42	43	44	45	46	47	48	49	
距离/km	0.681	0.394	0.273	0.588	0.498	0.44	0.825	0.436	0.625	

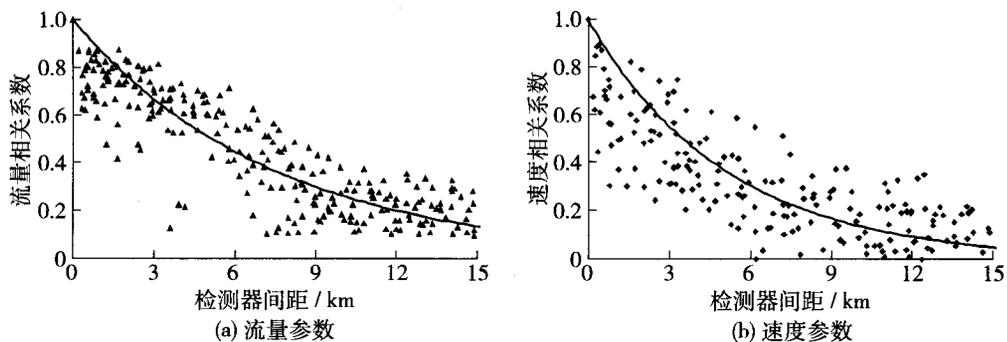


图4 交通状态参数相关系数与检测器间距散点图

Fig.4 The scatter plot of the correlation coefficient and the distance of road sensors about traffic state parameters

3 基于空间相关性的信息度函数表示

3.1 交通信息的空间相关性函数反映其空间信息度

相关性是反映 2 组数据(同一变量不同点处的时间序列)的线性关联程度,若不考虑进一步的数据融合,相关性反映了 2 组数据的线性关系,相关性越大(相关系数数值越大),越能互相线性表示. 从交通信息的空间相关性和空间概率的分析可知,当两点的相关性为 1 时,若不考虑其他数据融合方法,则认为此处的时间序列可以完全由彼处的时间序列线性表示的概率为 1. 同样,当相关系数为 $r(x)$ 时,则线性表示的概率 $p(x) = |r(x)|$,这样信息度函数可以用相关性函数表示.

3.2 信息度函数的数学表达

通过分析可知,可以利用路段各检测器点交通信息相关性函数来描述和表达信息度函数,通过求各距离段内相关系数的均值,对交通信息的平均相关系数与检测器间距散点图进行拟合(见图 5),得到相关性函数的数学表达. 由图 5 可知,对于北京市快速路,基于流量和速度的微波检测器相关性函数可分别表示为

$$y = e^{-0.1592x} \text{ 和 } y = e^{-0.2043x}$$

其中, x 为距检测器的距离; y 为检测器检测的交通信息的相关系数.

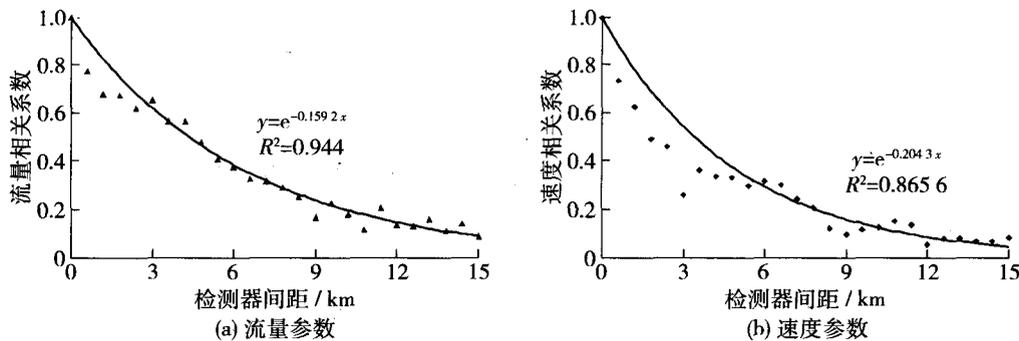


图 5 交通状态参数相关系数与检测器间距散点图及拟合曲线

Fig. 5 The scatter plot of the average correlation coefficient and the distance of road sensors about traffic state parameters and its fitting curve

两者的检验数 R^2 均大于 0.8,符合拟合要求. 由相关性函数及定义的叠加规则可得到相应检测器的信息度函数的数学表达.

利用交通信息的空间相关性函数,找到了一种信息度函数的表示方法. 对于布设检测器的路段,通过叠加后的信息度函数可以得出检测器所代表的路段交通信息的空间分布特征:检测器点及其附近比离检测器较远处所代表的路段交通信息丰富,且随着距离的增加,交通信息量呈指数趋势下降;通过信息度函数的叠加,即多检测器点的布设,可以增加叠加点的交通信息量. 这为检测器的合理布设及优化、区域检测器组网及优化提供了理论依据.

4 结束语

通过北京市二环路现有各检测器检测到的交通数据信息,利用各检测器点之间交通信息的相关性,得到路段信息的空间分布特征;信息度函数能直观地反映出交通信息的空间分布关系,通过实际的数据拟合,得到了北京市二环路交通信息的相关性在空间上呈负指数分布特征;为深入理解道路检测器特性和交通流特性提供基础,为检测器布局优化和检测器组网优化研究提供参考.

参考文献:

- [1] ZHANG C C, CHEN S C, SHYU M L, et al. Adaptive background learning for vehicle detection and spatio-temporal tracking [C] // Fourth International Conference on Information, Communications & Signal Processing-Pacific-Rim Conference On Multimedia (ICICS-PCM). USA: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc, 2003, 2(12): 797-801.
- [2] OHA C, PARK S, RITCHIE S G. A Method for identifying rear-end collision risks using inductive loop detectors [J]. Accident Analysis and Prevention, 2006, 38: 295-301.
- [3] CHAN K S, LAM W H K. Optimal speed detector density for the network with travel time information[J]. Transportation Research Part A, 2002, 36(1): 203-223.
- [4] SHI X H, XING J P, ZHANG J, et al. Application of dynamic traffic flow map by using real time GPS date equipped vehicles [C] // International Conference on ITS Telecommunications Proceedings. USA: Institute of Electrical and Electronics Engineering Inc, 2006: 1191-1194.
- [5] BENJAMIN C. Identifying the onset of congestion rapidly with existing traffic detectors[J]. Transportation Research Part A, 2003, 37: 277-291.
- [6] 姜桂艳, 张若旗, 周志强. 城市主干道检测器分布与交通流量预测研究[J]. ITS 通讯, 2002, 4(1): 22-26.
JIANG Gui-yan, ZHANG Ruo-qi, ZHOU Zhi-qiang. The study on optimal space distribution of loop detectors on urban arterial road and prediction of traffic flow[J]. ITS Communication, 2002, 4(1): 22-26. (in Chinese)
- [7] 徐亮. 灰色聚类分析方法在检测器空间优化研究中的应用[J]. 长春工程学院学报: 自然科学版, 2004, 5(3): 5-6.
XU Liang. The using of gray cluster analysis method in the space optimize of the detectors[J]. J Changchun Inst Tech: Nat Sci Edi, 2004, 5(3): 5-6. (in Chinese)
- [8] 张汝华, 杨晓光, 储浩. 信号采样理论在交通流检测点布设中的应用[J]. 中国公路学报, 2007, 20(6): 105-110.
ZHANG Ru-hua, YANG Xiao-guang, CHU Hao. Application of signal sampling theory on traffic flow detector layout[J]. China Journal of Highway and Transport, 2007, 20(6): 105-110. (in Chinese)
- [9] LEOW W L, NI D H, HOSSEIN P N. A sampling theorem approach to traffic sensor optimization [J]. Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2008, 9(2): 369-374.

Spatial Characteristics Analysis of Traffic Information Based on Road Sensors

DONG Hong-hui^{1,2}, LI Hai-jian^{1,2}, JIA Li-min^{1,2}, XU Dong-wei^{1,2}, SHI Yuan-chao², QIN Yong^{1,2}

(1. State Key Laboratory of Rail Traffic Control and Safety, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China;

2. School of Traffic and Transportation, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

Abstract: Based on the analysis of the spatial characteristics of traffic information, the paper defines the information degree function which is used to express spatial characteristics of traffic information. The correlation analysis of traffic data is done using the real world data of Second Ring Road in Beijing, then the scattered plots and the mathematical expression of the information degree function are obtained. According to the calibration of information degree function, the spatial distribution of traffic information on the road can be collected, and it can provide references for allocation optimization and networking optimization of road traffic sensors.

Key words: traffic engineering; road sensors; traffic information; spatial characteristics; sensor networks; information degree

(责任编辑 郑筱梅)