

基于 GPS 浮动车的城市主干道 交通服务水平实时评估模型

李梅红 孙棣华 涂 平

重庆大学, 自动化学院, 重庆 400044

摘 要: 提出城市主干道道路交通服务水平及其实时评估的概念, 建立了基于模糊综合评判的城市主干道交通服务水平实时评估模型。模型以实时的 GPS 浮动车检测数据为基础, 将获得的路段平均速度、速度变化系数和低速行程时间比等作为特性参数, 建立了特性参数和各级服务水平下交通状态模式之间的关系, 采用模糊综合评判方法, 实现了道路交通服务水平的实时评估。分析了评价周期对模型实时性和有效性的影响, 并运用实例进行了验证。

关键词: 道路交通服务水平; 实时评估; GPS 浮动车; 模糊综合评判; 城市主干道

中图分类号: U491

文献标识码: A

文章编号: 1672-4747(2008)01-0073-06

Real-time Road Traffic Service Level Model (SLM) for Urban Arteries Based on GPS Equipped Floating Vehicles

LI Mei-hong SUN Di-hua TU Ping

College of Automation, Chongqing University, Chongqing, 400044

Abstract: This paper presented a concept of real-time road traffic service level in urban arteries and built a real-time evaluation model for urban arteries based on fuzzy comprehensive evaluation. The model adopted the data of the equipped GPS floating vehicles, in which the average section speed, variation coefficient of speed, low travel time ratio are defined as characteristic parameters, and the relations between these parameters and traffic modes were proposed. By the model, the real-time service level could be automatically

收稿日期: 2006-12-27.

基金项目: 重庆市科技攻关项目资助(项目编号: CSTC, 2005AC6037)。

作者简介: 李梅红(1983-), 女, 汉族, 江西鹰潭人, 重庆大学硕士研究生, 主要研究方向为智能交通系统。

determine with fuzzy comprehensive evaluation. The influence of evaluation period on the real-time character and availability of the model was analyzed and tested with a case results.

Key words: Road traffic SL, real-time evaluation, equipped GPS floating vehicle, fuzzy comprehensive evaluation, urban arteries

0 服务水平实时评估概念的提出

在交通工程手册^[1]中,公路服务水平定义为交通流中车辆运行的以及驾驶员和乘客所感受的质量量度,亦即公路在某种交通条件下所提供运行服务的质量水平。它以通行能力评价为出发点,通过饱和度这个参数进行离线的运行质量分析和道路规划设计。随着城市的发展,道路建设日趋完善,从城市交通系统管理和交通信息服务的角度来研究道路服务水平实时评价体系的必要性已日益突出。

目前对城市主干道道路交通服务水平的概念尚无明确定义,本文认为,其内涵可以概括为:能够体现道路实时的交通状况,同时能够更加符合驾驶员对这种实时的交通状况的感受。基于城市主干道道路交通服务水平的概念,必须结合新型的实时交通检测手段,才能实现对道路的交通状况的连续实时在线评估。

研究城市主干道的道路交通服务水平及其实时评估方法和体系,一方面,从城市道路交通管理的角度,可以从总体上掌握道路交通状况及其变化规律,为及时采取有效的交通控制措施实现交通管理和诱导提供基础,有效发挥道路交通系统服务能力,防止和减轻城市交通拥堵;另一方面,可以为交通参与者提供丰富的实时动态交通信息,促进出行方式和路径的优化抉择,减少出行过程中的焦躁。同时,城市道路主干道实时交通服务水平结果,也将为城市规划、交通体系及道路设计等提供决策依据。

本文在给出城市主干道道路交通服务水平概念的基础上,提出一种实时评估方法。它建立在GPS浮动车数据采集方式基础上,以城市主干道基本路段为应用对象,基于三个主要的特征参数实现对城市主干道道路交通服务水平的实时评估。

1 相关研究工作

目前城市道路服务水平的研究主要以道路静态通行能力为出发点,应用于道路规划与设计,尚存在的问题主要表现在两方面:

一方面,从评估参数的角度,在许多研究^{[2][3][4][5]}中参数选取的合理性有待改进,参数的获取尚有困难。如李相勇、高晗等人所选的指标过于宏观,没有映射到具体道路的交通参数上来,如方便性、快捷性、准点性、通畅性、舒适性、经济性、安全性等参数;刘清等人的模糊综合评判中所选的交通参数通过现有的交通参数检测手段很难获取,如行车密度、交通混杂程度以及实际交通量与最大可能交通量等参数。

另一方面,现有的评估都是离线的静态评估,不能够动态连续反映道路运行状况,上述例子无一例外。值得一提的是,这种静态评估和动态评估的差别决定了选取数据采集方式的差异。上述例子中,有不少都是通过人工交通抽样调查获取数据,这种传统的数据采集方式不能满足动态评估的要求。

在国外尤其是美国,大多关于道路服务水平的研究都是在HCM(Highway Capacity Manual)^[6]的基础上展开的,它们的共同点在于均将服务水平划分为六级。在动态评估方面,Cheol Oh等人提出实时评估高速公路的服务水平^[7],采用中值速度作为参数,通过聚类的方法,通过车辆识别技术采集数据。这种聚类方法建立在大量的采集数据基础上,目前我国的检测设施还不能满足这种条件。

2 基于GPS的道路交通服务水平实时评估模型

要实现城市主干道的道路交通服务水平的实时

评估,必须具备两方面的条件:一是实时交通信息的获取;二是在获取的实时交通数据的基础上,建立实时评估模型。不同数据采集途径所获得数据的类型是有差异的,这会导致实时评估模型的差异。

目前的交通信息采集基本上是通过固定检测装置,它检测的覆盖面小,仅采集其邻近地段的交通数据,适合于对固定点、某一交叉路口或特定路段进行交通控制,而要实现对整个道路路网的交通状态检测,意味着在路网各处都需要加装检测设备,安装和维护费用极高。

GPS 浮动车技术是一种新型道路交通检测技术,具有不受天气条件影响、采集的范围可达整个城市路网、投资少、环境破坏小、检测效率高等特点。带有 GPS 定位装置的浮动车可以获得其随车流行驶的动态信息,包括:经度、纬度、定位时刻的瞬时速度等,这些数据包含车辆位置分布和速度变化信息。根据美国 ADVANCE 系统研究表明,在对交通参数进行估计时,采用 GPS 浮动车技术可提供比环形线圈更精确的行程时间估计,在 50 000 个检测报告中,99.4% 是可靠的^[8]。

本文提出的模型建立在将城市道路主干道进行路段连续划分和时段连续划分的基础上。依据浮动车的运行规律,提取浮动车的运行特性参数,将这些特性参数与各级服务水平下交通状态的关系进行模糊化,进而获得各浮动车的不同运行特性参数对各级服务水平下交通状态的隶属度,然后建立反映因素重要性的权重集,并对所有 GPS 浮动车的运行状态进行模糊综合评判,确定服务水平等级。

2.1 特性参数的选取

服务水平通常由速度、交通密度、行驶自由度、交通中断状况、舒适和便利程度等来描述和衡量。由于以上诸因素相互间有不同程度的联系,以及有些参数的获取具有很大的难度,因此,不能同时用上述诸因素来衡量服务水平和划分服务水平等级,而改为选择具有代表性且最能反映真实路况的参数。本模型选取参数的原则有以下三点:

(1) 能正确反映道路的交通状况;

(2) 易获取 选取的参数应能够通过 GPS 浮动车来获取;

(3) 实时性 选取的参数应能够反映道路交通状况实时的变化情况。

在上述原则下,统计各辆浮动车的 \bar{V}_i 、 C_i 、 L_i 作为特性参数。

$$\bar{V}_i = \frac{L}{\Delta t} \quad (1)$$

式中: \bar{V}_i 为第 i 辆车的路段平均速度; L 为车辆在某路段上的行驶距离; Δt 为对应的时间长。

有研究表明^[9], \bar{V}_i 是反映交通拥挤的最敏感的参数,人们对交通状况的感知随速度变化,在速度持续不断的减小过程中,人们对交通状况的评价迅速下降。也就是说,该值越大,说明车辆在路段上的运行自由度越大,运行时间越短,道路的交通状况越好;相反则运行时间越长,交通状况越差。

$$C_i = \frac{S_i}{V_i} \quad (2)$$

$$S_i = \left[\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (V_{ij} - \bar{V}_i)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

式中: C_i 为某路段上第 i 辆车的速度变化系数; S_i 为其速度标准差; V_{ij} 为该辆车的瞬时速度序列; s_i 衡量车辆运行的稳定状态; C_i 综合反映速度和速度标准差之间的对比,该值越大,车辆受干扰越大,交通状况不好;否则,车辆在路段上的运行速度非常大,而受干扰相当小,说明交通状况好。

$$L_i = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} (d_{i+1} - d_i)}{\Delta t} \quad (4)$$

式中: L_i 为第 i 辆车的低速行程时间比; d_i , d_{i+1} 为车辆在该路段上速度小于 10 km/h 的相邻的采样时间点; Δt 为车辆在该路段的行驶时间。

L_i 一方面可以反映交通流的状态是否稳定;另一方面可以反应车辆受车站、交通信号灯等的干扰程度。

通常服务水平越低, \bar{V}_i 越小, C_i 和 L_i 越大;相反,服务水平越低, \bar{V}_i 越大, C_i 和 L_i 越小。故定义

因素集 $U = \{u_1, u_2, u_3\} = \{\bar{V}_i, C_i, L_i\}$ 为 ID 号为 i 的浮动车的因素子集。

2.2 建立评价集

为与我国道路的服务水平等级划分相一致，本文将城市道路主干道基本路段的服务水平等级划分为 4 级。即 $V = \{I \text{ 级, II 级, III 级, IV 级}\}$ 。其各级状态描述见表 1。

2.3 确定隶属函数及交通状态模式

车辆处于不同服务水平等级状态下的车辆运行参数没有明显的界限，因此将这些特性参数与交通流状态的关系进行模糊处理。对于每一个特征，均采用包含三个语言变量的模糊子集来描述： $\{小, 中, 大\}$ 。

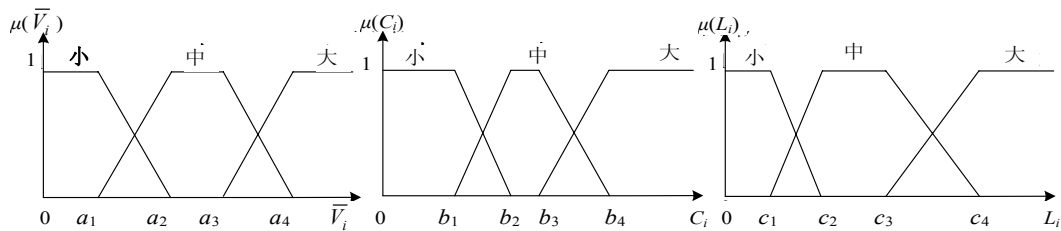


图 1 路段平均速度、速度变化系数、低速行程时间比的隶属函数曲线

Fig.1 Subjection function curves of \bar{V}_i, C_i, L_i

对应图 1，当道路类型不同、车辆类型不同时， $a_1 \sim a_4, b_1 \sim b_4, c_1 \sim c_4$ 需作相应调整。经过统计分析，得到如表 2 所示的交通状态模式。

表 2 各级服务水平下交通运行状态模式与特性参数的关系

Tab.2 Relation between the traffic modes and characteristic parameters

服务水平/级	\bar{V}_i	C_i	L_i
I	大	小	小
II	中	中	小
III	中	大	中
IV	小	大	大

2.4 建立因素权重矩阵

运用 AHP（层次分析法）及专家分析法相结合

表 1 城市主干道交通服务水平

Tab.1 Traffic SL in urban arteries

服务水平/级	状态描述
I	服务水平最佳。车辆能够自由顺畅的行驶，使用者不受或基本不受交通流中其他车辆的影响，驾驶自由度大；
II	服务水平次之。车辆行驶比较自由顺畅，开始易受其他车辆的影响，驾驶自由度有所下降；
III	车辆行驶不顺畅，速度受到其他车辆的影响；
IV	车辆不能自由行驶，常以低速行驶，经常发生堵车事件，车辆经常排成长队。

模糊化后的变量路段平均速度、速度变化系数、低速行程时间比的隶属函数见图 1。

对因素集中的各因素的重要程度进行分析计算，得权重集 $W_i = (\sigma_{\bar{V}_i} \ \sigma_{C_i} \ \sigma_{L_i}) = (0.45 \ 0.20 \ 0.35)$ ， $i = 0, 1, 2, \dots, m$ 。

2.5 模糊综合评判

根据图 1 和表 2，可以得各辆车的特性参数与交通状态模式之间的模糊隶属矩阵 R_i 。

$$R_i = \begin{pmatrix} r_{i13} & r_{i12} & r_{i11} & r_{i11} \\ r_{i21} & r_{i22} & r_{i23} & r_{i23} \\ r_{i31} & r_{i31} & r_{i32} & r_{i33} \end{pmatrix} \quad (5)$$

式中： r_{ijk} 表示 ID 号为 N_i ($i = 0, 1, 2, \dots, m$) 的车辆的第 j ($j = 1, 2, 3$) 个因素对第 k 个模糊语言子集的隶属度，其中， $k = 1, 2, 3$ ，分别表示语言变量“小”、“中”、“大”，即： $r_{ijk} = \mu_k(u_{ij})$ 。

运用模型 $M(\cdot, \oplus)$ ，得矩阵 B 。

$$B = \begin{pmatrix} B_0 \\ B_1 \\ \vdots \\ B_i \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} W_0 \circ R_0 \\ W_1 \circ R_1 \\ \vdots \\ W_i \circ R_i \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} b_{01} & b_{02} & b_{03} & b_{04} \\ b_{11} & b_{12} & b_{13} & b_{14} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ b_{i1} & b_{i2} & b_{i3} & b_{i4} \end{bmatrix} \quad (6)$$

式中： $i = 0, 1, 2, \dots, m$ ，“ \circ ”表示两个向量之间的内积。

$$P_L = \frac{1}{m+1} \sum_{i=0}^m b_{ii} \quad (7)$$

式中： b_{it} ($t = 1, 2, 3, 4$) 表示 ID 号为 N_i ($i = 0, 1, 2, \dots, m$) 的车辆对第 t 个状态模式的隶属度。 P_L 表示该路段对 L 级服务水平的隶属度，根据最大隶属度原则，选取评判中的较大者作为评判的最终结果。

3 评价周期的选择及实验结果分析

实时评估离不开评价周期的选择，评价周期的选

择主要以路段的平均行程时间为划分依据。若评价周期远小于路段平均行程时间，则每个评价过程所采用的数据只能涵盖部分路段，不能反映路段整体的交通状况变化，且数据采样频率、浮动车覆盖率等产生的随机误差较大，影响模型的有效性；相反，若评价周期远大于路段平均行程时间，路段上很多短期的交通状况变化将被过滤，不利于掌握实时的交通状况，从而影响模型的实时性。下面以具体的实验来阐述。

选择重庆市主干道部分路段（石桥铺至渝洲路，路段长 1 100 m）作为实验对象，数据来源于 2006 年 5 月 22 日上午 8:30~12:00 的 GPS 浮动车数据，数据的采样频率为 26 s，浮动车覆盖率为 1.22%。经过统计分析，分别取 $a_1 \sim a_4$ ， $b_1 \sim b_4$ ， $c_1 \sim c_4$ 的值为 10、15、20、30、0.2、0.5、0.7、0.9，0.1、0.4、0.6、0.8。当评价周期分别为 150 s、300 s、600 s 时，得到如图 2 所示的评价结果。

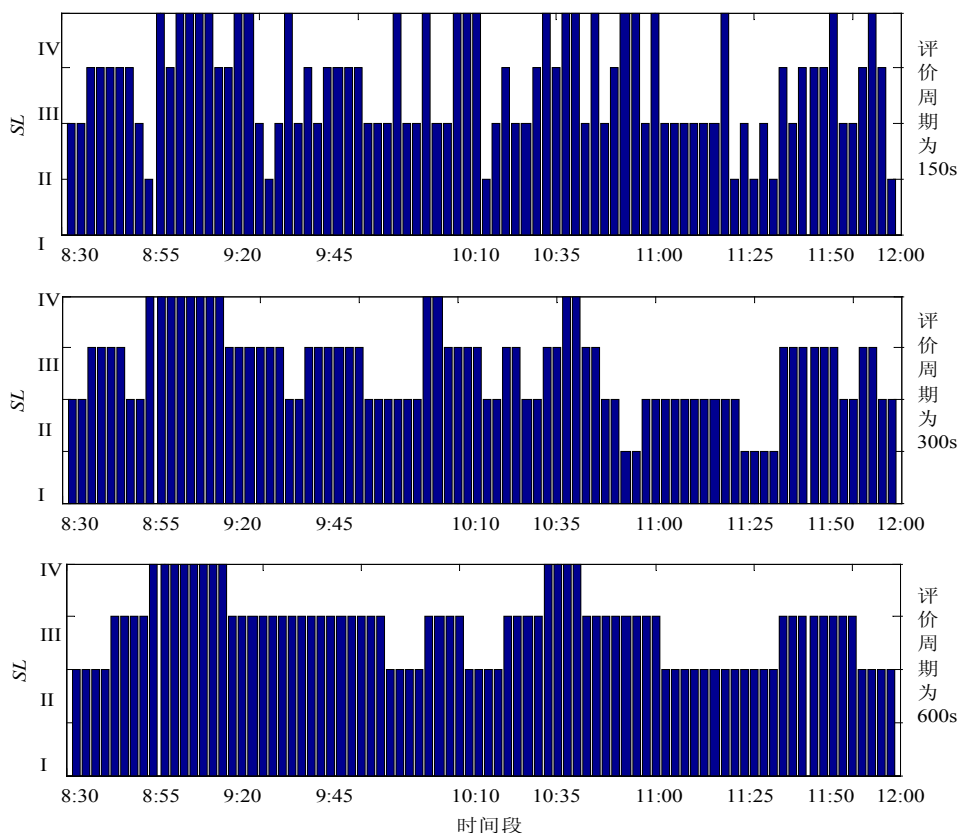


图 2 不同评价周期下的服务水平分布

Fig. 2 SL distributions in different estimated intervals

该路段的平均行程时间为 243 s, 150 s、300 s、和 600 s, 分别接近 1/2、1、2 倍平均行程时间。借鉴文献[7], 可以采用不同评价周期下的服务水平跳变率变化情况作为评价周期选择的参考, 见表 3。

表 3 不同评价周期下跳变率的变化

Tab.3 Percentage of SL jumps in different estimated intervals

跳变率/(%)	评价周期/s		
	150	300	600
一级跳变率	23.0	10.5	4.7
二级跳变率	8.3	1.4	0.0

对于同一个路段, 不同时段交通状况是有差异的, 也即服务水平是有差异的, 但如果路段的服务水平在短时间内剧烈波动, 不管是道路使用者还是交通管理者, 都将会认为实时的服务水平信息是无效的, 因此, 一级跳变率不能过大。

从表 3 可以看出, 150 s 评价周期下的一级跳变率达到了 23.0%, 较 300 秒评价周期下的一级跳变率大了一倍多。同时, 由于道路的交通状况变化是连续的过程, 服务水平不会在很短的时间内连续跳跃 2 级, 因此, 二级跳变率可以反映由于数据采样频率以

及浮动车覆盖率等因素导致的随机性误差。由表 3 可以看出 150 s 评价周期下的随机误差较 300 秒评价周期的随机误差大得多, 影响模型的有效性。

而当评价周期为 600 s 时, 模型对路段实时状况的变化并不敏感, 从图 2 可以看出, 此时对于路段上 IV 级服务水平的状况没有反映出来, 影响模型的实时性。

因此, 当所选评价周期略大于平均行程时间时, 该实时评估模型能够更好的满足实时性和有效性要求, 在本实验中选择为 300 s, 评估结果与该路段的实际交通状况变化基本吻合。

4 结束语

实验表明利用 GPS 浮动车数据进行城市主干道基本路段服务水平的实时评估是可行的, 只要设置好相关参数, 即可获得实时可靠的服务水平。随着 GPS 浮动车数量的增加和 GPS 抗干扰能力的增强, 模型将会获得更好的效果。此外, 本文根据我国交通发展的现状将服务水平划分为四级, 随着道路检测技术的进一步发展和交通管理需求的增加, 可以对服务水平分级更为细致。

参考文献

- [1] 中国公路学会《交通工程手册》编委会.《交通工程手册》.北京:人民交通出版社,1998,464-469.
- [2] 李相勇,蒋葛夫.城市道路服务水平的模糊综合评判.交通运输系统工程与信息,2002,2(3):48-55.
- [3] 刘清.城市道路交通状况的F-评价及其实例研究[J].武汉交通科技大学学报,2000,24(5):473-475.
- [4] 王华荣,裴玉龙,邢世玲.灰色聚类法在快速路基本路段服务水平评价中的应用.公路,2005,5(5):75-80.
- [5] 高晗,裴玉龙.道路服务水平的灰色评价方法[J].哈尔滨建筑大学学报,1999,32(5):106-108.
- [6] TRB, National Research Council. Highway capacity manual. Washington, D.C: TRB, National Research Council. 2000.
- [7] Oh Cheol, Tok Andre, Ritchie Stephen G. Real-time freeway level of service using inductive signature-based vehicle[C]. Proc: Intelligent Transportation Systems, 2005, IEEE: 138-146.
- [8] Boyce D, Kirson A, Schofer J. Design and implementation of ADVANCE [C]. Proc: Third International Conference on Vehicle Navigation and Information Systems, 1993, IEEE: 415-426.
- [9] 路加. 交通拥挤的度量方法与基于浮动车的交通拥挤检测[D]. 清华大学硕士论文, 2003, 38-39.