文章编号: 1002-0268 (2006) 03-0131-04

城市道路网饱和度模型及其应用

杜进有, 杨远祥, 李宗平

(西南交通大学 交通运输学院, 四川 成都 610031)

摘要: 饱和度是反映道路交通状况的一个重要指标, 也是评判道路服务水平的一个重要基准。目前所涉及的饱和度仅指某一路段或交叉口的饱和度, 且关于它的模型方法已比较成熟, 但它仅是反映城市道路局部交通状况的量。文章从城市道路网整体出发, 通过饱和度影响因素分析, 探讨了道路网交通空间容量与路段通过能力、交通需求与路段交通量之间的相互关系, 建立了城市道路网饱和度模型。算例分析表明, 该模型简单、合理、实用。

关键词: 饱和度; 交通空间容量; 通过能力; 交通需求; 交通量

中图分类号: U491

文献标识码: A

Saturation Model and Its Application of Urban Road Network

DU Jin-you, YANG Yuan-xiang, LI Zong-ping

(Traffic and Transportation College of Southwest Jiaotong University, Sichuan Chengdu 610031, China)

Abstract: Saturation is an important index reflecting the traffic condition, and also an indicator related to service level. Based on the analysis of influencing factors and the whole urban road network, the paper analyzes the relationship between road network capacity and road section capacity, traffic demand and traffic volume, and establishes the model of saturation of urban road network, verified by the case studies of some cities. All the process and results have shown that the ways given in the paper are simple, rational and efficient.

Key words: Saturation; Space capacity of traffic; Traffic capacity; Traffic demand; Traffic volume

为了宏观地反映整个道路网的饱和情况, 一般采用折中的平均值法^[1]。但这种方法需要计算出所有路段或交叉口的饱和度, 计算量大而繁琐。因此, 本文从另外一个角度分析探讨了求解城市道路网饱和度的方法——基于道路空间容量和交通需求的饱和度模型。

1 饱和度定义

对于路段或交叉口饱和度, 其定义为路段或交叉口的交通量 V_i 与通过能力 C_i 之比。而对于城市道路网饱和度, 除采用平均值法计算外, 曾有学者通过计算机动车出行总量与机动车道路网实际容量的比值来求得。这种方法从机动车和非机动车拥有量出发分析

出行总量, 计算结果能大致反映城市道路网服务水平^[2]。而本文基于路段或交叉口饱和度的定义, 给出了计算城市道路网饱和度的计算式。

交通量和通过能力都是指在单位时间内, 通过某一断面的车辆数。显然, 这给研究提出了这样的问题: 若反映城市道路网交通的宏观量与反映路段交通的微观量间存在一定的关系, 则可由宏观量得到整个道路网的平均交通量 V 和通过能力 C , 而 V 与 C 的比值就是道路网饱和度。

通过对描述城市道路网交通的两个宏观量——交通容量和交通需求的分析可以看出, 交通容量 Cap 与通过能力 C 、交通需求 D 与交通量 V 存在这样的函数关系。 $C = f_1(Cap)$; $V = f_2(D)$, 因此, 就可

收稿日期: 2005-07-21

基金项目: 四川省应用基础项目资助 (04JY029-056-1)

作者简介: 杜进有 (1970-), 男, 甘肃人, 博士研究生, 研究方向为城市交通规划与管理。(djayalex@sina.com)

得到城市道路网的饱和度

$$S = \frac{V}{C} = \frac{f_2(D)}{f_1(Cap)}$$

根据文献 [3], 路段或交叉口饱和度不应大于 0.8, 否则将会出现交通阻塞现象, 此时需要提高城市道路通过能力或减少交通量; 而当饱和度小于 0.5 时, 道路效益将会受到影响。而对于如何界定城市道路网饱和度的范围, 可参照路段或交叉口饱和度的界定范围。

2 饱和度影响因素分析

饱和度分析是交通控制理论的重要组成部分, 它是评价道路网服务水平的重要指标。众所周知, 饱和度反映了交通供给与交通需求的匹配状况。因此, 分析交通供给和交通需求是分析研究饱和度的关键。

2.1 交通供给

在城市道路网中, 道路网交通容量宏观地反映了交通供给, 而路段通过能力则微观地反映交通供给。下面将分析这两者之间的关系。

2.1.1 道路网交通容量

对于道路使用者而言, 城市道路网向其提供了道路资源。通常地, 用道路网交通容量来反映这个宏观指标。它是指道路设施在理想状况下, 整个道路网在单位服务时间内所能容纳的最多车辆数。而目前对道路网交通容量的研究也基本上局限于此, 并出现了几种用来确定其值的表达式。本文将从空间角度来研究这个宏观量, 称其为交通空间容量, 它是指道路设施在理想状况下, 单位距离内所能容纳的最多车辆数。

通过分析可知, 交通空间容量与道路有效长度、道路设施时空资源和机动车时空消耗直接相关。

(1) 道路有效长度 ($L_{\text{有效}}$)

交通空间容量是一个与距离有关的量, 因此与道路有效长度有关。道路有效长度越接近道路实际长度, 则道路利用率越大。为此, 在交通管理和控制中, 可通过增大交叉口利用系数和减小机、非行人干扰系数来增加道路有效长度。

(2) 道路设施时空资源 (R_s)

车辆在行驶中占有一定的道路净长度, 并在一次出行时间内以动态的方式只占有一次, 每辆车出行使用的长度又可提供给其他车辆重复使用, 则

$$\begin{cases} L_{\text{有效}} = \lambda L \\ R_s = L_{\text{有效}} \cdot T \end{cases}$$

$$\text{s.t.} \quad L = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m l_{ij} N_j$$

式中, λ 为道路有效长系数; n 为道路类别数; m 为某类道路的总数; T 为城市道路有效服务时间, s (一般取高峰小时, 3 600s); L 为道路网车道总长, m ; l_{ij} 表示第 i 类道路的第 j 条路的长度, m ; N_j 表示第 i 类道路的第 j 条路的车道数。

(3) 机动车时空消耗 (C_{ts})

$$C_{ts} = h \cdot t = h \cdot \frac{l_p}{v}$$

式中, h 为机动车行驶过程中的车头间距, m ; l_p 为机动车平均出行距离, m ; v 为车速, m/s 。由计算式可知, 机动车时空消耗与车头间距 h 和车速 v 的比值 h/v 成正比, 则交通空间容量与 h/v 存在一定的函数关系。

车头间距从微观角度看只与交通流中独立的一对车有关, 既是与车辆长度、制动性能、地面附着系数以及前后安全距离和司机反应时间等有关。同时, 车头间距的分布又受车流密度和速度的影响。

2.1.2 路段通过能力

为了较准确地反映道路交通状况, 本文采用设计通过能力, 它是指道路的运行状态保持在某一设计的服务水平时, 道路上某一路段的通过能力, 其计算式为

$$C = \alpha \cdot \frac{3\ 600}{h_t} \quad (1)$$

式中, α 为道路网综合折减系数; h_t 为车头时距, s 。

(1) 道路网综合折减系数 (α)

在城市道路上, 车辆行驶受到其他车辆的干扰和交叉口的影响。因此, 在计算设计通过能力时需要考虑相关的影响系数。目前, 大多数专家学者主要考虑了道路分类系数 α_c 、车道干扰系数 α_m 和交叉口折减系数 $\alpha_a^{[4]}$ 。而本文提出的道路网综合折减系数 α 则是与这 3 个系数有关的系数, 即

$$\alpha = f_3(\alpha_c, \alpha_m, \alpha_a)$$

(2) 车头时距 (h_t)

通过对交通流 3 大参数的分析可知, 车头时距与车头间距和速度存在如下的关系

$$h_t = \frac{h}{v} \quad (2)$$

即是与交通空间容量一样, 设计通过能力与 h/v 也存在一定的函数关系。因此, 可通过 h/v 建立道路网交通空间容量与路段通过能力的函数关系式。

2.2 交通需求

交通需求是反映城市道路网中交通需要的宏观量, 其微观表现是路段交通量。城市交通需求分析是

交通规划的重要组成部分, 目前主要采用四阶段法对交通需求进行预测, 并生成路段交通量。而本文则基于市内居民及流动人口出行量和对外或过境车辆 OD 量来计算城市道路网交通需求, 然后折算成路段交通量。

城市交通需求包括市内交通需求和对外与过境交通需求。由于高峰时段的交通量是饱和度研究的重点, 因此本文研究的是高峰小时交通需求。根据文献[5], 得出城市交通需求模型

$$D = \sum_{i=1}^n \frac{E f_i l_i u_i k}{r_i} + \sum_{i=1}^n W_i l_i u_i k \quad (\text{pcu} \cdot \text{m}/\text{h}) \quad (3)$$

式中, 等式右边的前一个式子是市内交通需求, 后一个式子是对外与过境交通需求。其中 E 为城市居民及流动人口出行总量, 人次/日; W_i 为第 i 种车型的对外或过境 OD 量, 辆/日; f_i 为采用第 i 种交通方式的出行量占出行总量的比例; l_i 为采用第 i 种交通方式(车型)在城市内部的平均出行距离, m; u_i 为第 i 种交通方式(车型)的典型车型的换算系数, pcu/veh; r_i 为第 i 种交通方式的典型车型的平均实载, 人/veh; k 为高峰小时系数。

3 饱和度模型

通过上面的分析, 可建立相应的函数关系和饱和度模型。

3.1 道路网交通空间容量与路段通过能力之间的函数关系

经分析, 道路空间容量 C_{ap} 与 R_{ts} 和 C_{ts} 存在如下关系

$$C_{ap} = \frac{R_{ts}}{C_{ts} \cdot \lambda} = \frac{T}{h \cdot t} = \frac{Tv}{hl_p} \quad (\text{pcu}/\text{m}) \quad (4)$$

将(2)式代入(1)式中, 得到路段通过能力 C 的表达式为

$$C = 3\,600 \cdot \frac{v}{h} \cdot \alpha \quad (5)$$

最后, 由(4)式和(5)式推导出道路网交通空间容量 C_{ap} 与路段通过能力 C 的函数关系

$$C = 3\,600 \frac{C_{ap} \cdot l_p}{T} \cdot \alpha \quad (6)$$

3.2 道路网交通需求与路段交通量之间的函数关系

路段交通量是指单位时间内, 通过某一断面或点的车辆数。因此, 折算到道路断面上的交通需求就是整个道路网的路段交通量, 即

$$V = \frac{D}{L_{\text{有效}}} \quad (7)$$

3.3 城市道路网饱和度模型

根据饱和度定义, 将(6)、(7)式代入饱和度计算式中, 则

$$S = \frac{V}{C} = \frac{\frac{D}{L_{\text{有效}}}}{3\,600 \frac{C_{ap} \cdot l_p}{T} \cdot \alpha} = \frac{D \cdot T}{3\,600 C_{ap} \cdot l_p \cdot \alpha} \quad (8)$$

由此可知, 要使城市道路饱和度在某一令人满意的范围内, 需要协调道路网容量和交通需求之间的关系。在既有道路设施的情况下, 通过加强交通管理和控制来提高道路网容量, 比如增加车道有效长度, 减少车道干扰和交叉口延误等等。而对于交通需求, 也要通过管理使之既达到出行要求, 又与道路容量相匹配。

另外, 城市道路饱和度还与机动车平均出行距离存在反比关系。这说明对于等量的运输周转量, 出行距离越长, 则需要的车辆就越少, 城市道路网的饱和度就相对降低。

4 交通空间容量 C_{ap} 的计算

在城市道路网饱和度计算式中, 道路网交通需求 D 可通过(3)式求得, 下面将给出道路网交通空间容量的计算方法。

从道路网空间容量公式可看出, 速度 v 是关于时间的自变量, 而车头间距 h 是关于空间的自变量, 而且这两者之间存在一定的关系, 所以可将速度 v 用关于车头间距 h 的函数关系式来表示。

在跟车理论中, 跟驰模型揭示了速度与车头间距之间的关系。本文采用了其中的非线性跟驰模型, 即

$$\dot{X}_n(t+T) = \frac{\beta}{X_{n-1}(t) - X_n(t)} [X_{n-1}(t) - X_n(t)] \quad (9)$$

根据文献[6]得

$$v = \max[9.362 \ln(h/h_0)] \quad (10)$$

代入(4)式中得出道路网交通空间容量的计算式为

$$C_{ap} = \max \left[\frac{T}{hl_p} \times 9.362 \ln(h/h_0) \right] \quad (11)$$

式中, h_0 为停车时的车头间距, 一般取 5.9m。

5 实例与结论

某市机动车道总长度为 2 400km, 机动车一次出行的平均距离为 11.75km, 有效长度系数为 0.95, 综合影响系数为 0.72, 高峰小时系数为 0.27。已求得此市内交通需求为 1 248 912 (pcu·km/h), 对外及过境交通需求为 1 522 640 (pcu·km/h)。另外, 通过抽样采集得到 5

个样本车头间距值: 10.34, 13.65, 21.72, 23.61, 12.58m。则此市的城市道路网饱和度情况分析如下。

由空间容量计算公式(11)得

$$Cap = 0.176(\text{pcu/m})$$

则通过能力

$$C = 3600 \cdot \frac{Cap \cdot l_p}{T} \cdot \alpha = 3600 \times 0.176 \times 11750 \times 0.72 / 3600 = 1489 \text{ 辆/h}$$

城市交通需求

$$D = 1248912 + 1522640 = 2771552 \text{ pcu} \cdot \text{km/h}$$

交通量

$$V = \frac{D}{L_{\text{有效}}} = 2771552 / 0.95 \times 2400 = 1216 \text{ pcu} \cdot \text{km/h}$$

最后求得城市道路网饱和度为

$$S = \frac{V}{C} = 1216 / 1489 = 0.82$$

由计算结果可知, 该市的城市道路饱和度较高, 城市交通出现了轻微的阻塞现象。这说明该市需要采取相应的措施提高道路网交通容量, 并加强交通需求管理, 引导道路使用者合理使用道路资源^[7]。

(上接第127页)

估计逐渐走向嘈杂和无规则变化。

4 结语

功率谱和功率谱估计的分析方法在交通流理论的应用, 可以揭示车辆运行的内在规律, 摒除噪音因素的影响, 定量的体现各因素所起的作用。同时, 功率谱和功率谱估计的分析方法为研究交通流的混沌问题提供了一个有力的工具。通过对功率谱的研究可以证明交通流中混沌现象的存在, 使交通流混沌现象变得更加形象, 进而讨论导致混沌产生的原因, 并分析其

(上接第130页)

参考文献:

- [1] Dorigo M, Maniezzo V, Colnari A. Ant System: Optimization by a Colony of Cooperating Agent [J]. IEEE Transaction on Systems, Man, and Cybernetics, 1996, 26 (1): 29-41.
- [2] Dorigo M, Gambardella L M. A Cooperative Learning Approach to the Traveling Salesman Problem [J]. IEEE Transactions on Evolutionary

本文依据饱和度概念, 从另一个角度宏观地探讨了城市道路网饱和度。通过分析研究, 建立了城市道路网饱和度模型。将模型应用于实例中, 计算的结果与实际情况一致, 说明模型是正确的, 并可应用于实际中。

参考文献:

- [1] 李旭宏, 等著. 道路交通规划 [M]. 南京: 东南大学出版社, 1997.
- [2] 王伟, 过秀成, 著. 交通工程学 [M]. 南京: 东南大学出版社, 2000.
- [3] 徐家钰, 程家驹, 著. 道路工程 [M]. 上海: 同济大学出版社, 1995.
- [4] 黄海军, 著. 城市交通网络平衡分析理论与实践 [M]. 北京: 人民交通出版社, 1994.
- [5] 李旭宏, 等. 城市道路网供求分析技术 [J]. 交通运输工程学报, 2002, 2 (2): 88-90.
- [6] 周溪召, 杨佩昆. 高峰时段城市道路网时空资源和交通空间容量 [J]. 同济大学学报, 1996, 24 (4): 392-397.
- [7] 周鹤龙, 徐吉谦. 大城市交通需求管理研究 [J]. 城市规划, 2003, 27 (1): 57-60.

特征, 为进一步揭示跟驰中的混沌现象打下基础。

参考文献:

- [1] 丹尼尔 L 鸠洛夫, 马休 J 休伯. 交通流理论 [M]. 北京: 人民交通出版社, 1983.
- [2] 黄晓生. 掌握 MATLAB6.0 及其工程应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2002.
- [3] 贺国光, 万兴义, 王东山. 基于跟驰模型的交通流混沌研究 [J]. 系统工程, 2003, 21 (2): 50-55.
- [4] 李浙生. 混沌与认识 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 2002.
- [5] 王兴元. 复杂非线性系统中的混沌 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2003.

Computation. 1997, 1 (1): 53-66.

- [3] 陈明杰. 车载定位导航系统的设计与实现 [D]. 哈尔滨工程大学, 2002, 12.
- [4] 叶志伟, 郑肇葆. 蚁群算法中参数 α 、 β 、 ρ 设置的研究——以 TSP 问题为例 [J]. 武汉大学信息科学版, 2004, 29 (7): 597-601.
- [5] 赵伟华, 章复嘉, 梁红兵. 车辆导航系统中最短路径的规划与实现 [J]. 杭州电子工业学院学报, 2003, 23 (1): 16-19.