

基于路网容量约束的停车设施泊位规模优化

陈群¹, 晏克非²

(1. 中南大学 交通运输工程学院, 长沙 410075; 2. 同济大学 交通运输工程学院, 上海 200092)

摘要: 针对目前停车规划中很少考虑道路网络容量限制的情况, 建立了基于路网容量约束的停车设施泊位规模优化模型. 该模型考虑道路网络容量对停车需求的限制和约束, 通过各处停车设施规模的优化, 引导停车需求合理分布, 以充分利用道路网络资源, 实现效益与公平性最大化. 该模型优化目标为在满足道路网络容量约束下使得效益(即可满足的停车需求)最大, 并通过用户平衡模型计算流量在道路网络上的分配, 介绍了用遗传算法对模型求解的方法. 数值算例表明, 通过优化建模与求解, 可得到各处停车设施的最佳泊位规模, 并得到满足路网容量约束的合理停车需求分布.

关键词: 路网容量; 停车泊位; 停车需求

中图分类号: U 491; U 121

文献标志码: A

文章编号: 0254-0037(2012)04-0553-05

Parking Berth Scale Optimization Based on Road Network Capacity Restriction

CHEN Qun¹, YAN Ke-fei²

(1. School of Transportation Engineering, Central South University, Changsha 410075, China;

2. School of Transportation Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: Aiming at the fact of seldom considering the restriction of road network capacity in parking planning, a parking berth scale optimization model based on the road network capacity restriction is set up. This model takes into account the restriction of road network capacity on parking demands, can lead parking demands to a reasonable distribution through the berth scale optimization of all parking plots to fully utilize road resources and maximize benefits and equities. The target of the model is to maximize benefits (i. e., the total parking demands satisfied) under the constraint of road network capacity, and the user equilibrium traffic assignment model is used to calculate traffic flow assignment on road networks. The solution method of the model is introduced using genetic algorithms. A numerical example shows that the optimal berth scale of all parking plots can be obtained by solving the optimization model and the reasonable parking demand distribution can also be induced.

Key words: road network capacity; parking berth; parking demand

城市停车规划包括停车设施的选址及停车设施泊位规模的确定. 对于城市停车设施规模的确定, 常用的方法是先进行停车需求的预测, 然后再确定

与之匹配的停车泊位供应规模^[1]. 而停车需求的预测普遍采用停车生成率模型、相关分析模型、交通量-停车需求模型、概率分布模型以及静态交通发生

收稿日期: 2010-10-18.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50908235); 教育部博士点基金资助项目(20070533111); 中国博士后基金特别资助项目(201003520).

作者简介: 陈群(1977—), 男, 副教授, 主要从事城市交通规划等方面的研究, E-mail: chenqun631@mail.csu.edu.cn.

率模型等预测方法^[2-4],在预测中很少考虑道路容量的限制要求.实际上,停车需求的大小与分布应满足路网容量限制约束,否则会引起路网拥堵^[5-6].另一方面,静态交通对动态交通有反作用^[7-10],通过各处停车设施规模的调节,可引导停车需求合理分布,以充分利用现有道路网络资源,并做到效率与公平最大化.本文即是通过建立停车设施泊位规模优化模型,以调节停车需求的分布与大小,并在路网容量约束下使得效益最大并满足公平性要求.

1 路网容量约束下的停车设施泊位规模优化模型建立

交通分区可参照一般的城市交通规划方法^[11],停车分区的大小应较交通分区更小些,可将服务对象大致相同的多个位置在一起的停车场划为一个停车分区,半径大小基本在300~500m步行范围.

设交通网络 $N=(V,A)$,其中 V 为节点集, A 为路段集.设停车分区为 $P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$,共 n 个停车分区;交通分区为 $Z_1, Z_2, Z_3, \dots, Z_m$,共 m 个交通分区;并假设划分停车时段,主要研究停车高峰时段,此时主要为交通产生地向交通吸引地的车流,如上班高峰可属于一个停车高峰时段,对于不同的停车设施一天中可有多个不同的停车高峰时段.交通分区为交通产生地,而停车分区为交通吸引地,不研究返回的情况,因为一般自停车区返回的车流集中程度要小一些.

对停车分区 $P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$,调查其现状停车需求(OD)的组成比例,并假设该比例在较长时间是基本稳定不变的.如对于停车分区 P_j 而言,来自交通分区 Z_i 的车流比例为 γ_{ij} 满足

$$\sum_i \gamma_{ij} = 1, j=1, 2, \dots, n \quad (1)$$

从而可得到停车需求分布(OD)的比例结构.假设 D_j 为停车分区 P_j 总的停车吸引量,则可得到

$$q_{ij} = D_j \gamma_{ij}, i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n \quad (2)$$

而停车吸引量 D_j 又可表示为

$$D_j = V_j X_j, j=1, 2, \dots, n \quad (3)$$

式中, V_j 为停车分区 P_j 的停车周转率; X_j 为停车分区 P_j 的规划泊位数量(决策变量).模型的优化目标为在路网容量约束条件下使得效益最大并满足公平性要求.效益最大指在满足道路网络最大容量约束条件下使得可以满足的停车需求量最大,这样可做到充分利用现有道路网络资源并能最大程度地满足停车需要.公平性指区分每个OD的重要性,不

同的OD其出行目的不同,出行的重要程度也不同,如工作出行比娱乐购物出行重要,而就医看病的重要性更大,等等.因此对于每个OD都应乘上其平均重要性系数 η_{ij} .实际应用中 η_{ij} 可通过调查表格进行问询调查确定.

因此,模型的目标函数为

$$Y = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \eta_{ij} q_{ij} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \eta_{ij} D_j \gamma_{ij} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \eta_{ij} V_j X_j \gamma_{ij} \quad (4)$$

式中 Y 为考虑了不同出行目的相对重要性系数的总的停车需求.

优化目标为

$$\max Y = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \eta_{ij} V_j X_j \gamma_{ij} \quad (5)$$

应满足的约束主要为道路容量的限制约束,即

$$x(a) + x_0(a) \leq C(a), a \in A \quad (6)$$

式中, $x(a)$ 为路段 a 新增交通流量,为停车需求分布OD在路网上的交通分配,该流量值可通过用户均衡交通分配模型(UE)求解得到; $x_0(a)$ 为背景交通流量; $C(a)$ 为路段 a 的最大通行能力.

还需满足一个约束,为各停车分区最小泊位约束,即各停车分区应满足基本泊位数要求,此基本泊位数假设为各停车分区现状的泊位数量,优化后的结果不能小于此数量,即

$$X_j \geq X'_j, j=1, 2, \dots, n \quad (7)$$

式中 $X'_j(j=1, 2, \dots, n)$ 为各停车分区现状泊位数量.

因此,通过上面的分析,可得到路网容量约束下的停车设施泊位规模优化模型

$$\max Y = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \eta_{ij} V_j X_j \gamma_{ij}$$

s. t.

$$X_j \geq X'_j, j=1, 2, \dots, n$$

$$x(a) + x_0(a) \leq C(a), a \in A$$

其中 $x(a)$ 和 $a \in A$ 由用户均衡交通分配模型(UE)计算得到

$$\min \sum_{a \in A} \int_0^{x(a)} t_a(w, x_0(a)) dw \quad (8)$$

s. t.

$$\sum_{k=1}^{L(i,j)} f_k^{ij} = q_{ij}, i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n \quad (9)$$

$$x(a) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^{L(i,j)} f_k^{ij} \delta_{ak}^j, a \in A \quad (10)$$

$$f_k^{ij} \geq 0, i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n; k=1, 2, \dots, L(i,j) \quad (11)$$

在上述规划中 $L(i, j)$ 为 OD 对 (i, j) 间的路径, f_k^i 为 OD 对 (i, j) 间的第 k 条路径的交通流量. 如果路段 a 在点对 (i, j) 的第 k 条路径上, 则 δ_{ak}^i 为 1, 否则为 0. $t_a(x(a), x_0(a))$ 为路阻函数.

2 模型求解算法

本文的规划模型是一个较复杂的非线性规划问题, 可以通过一些近似求解算法进行求解^[12]. 由于遗传算法原理简单、技术相对成熟且具有较好的求解准确性, 所以作者拟采用遗传算法^[13-14]对模型进行求解. 下面是遗传算法求解的步骤.

步骤 1 初始化. 以 X_j 为优化变量进行实数编码, 染色体长度为 n . 设定遗传算法的交叉概率 p_c 、变异概率 p_m 、种群数目 N 、最大进化代数 g_m . 令 $g = 0$.

步骤 2 根据模型优化目标确定合理的适应度函数, 可取 $F(r) = O(r)$, $F(r)$ 为第 r 个个体的适应度, $O(r)$ 为第 r 个个体的目标函数值. 随机产生初始种群, 置 $g = 1$.

步骤 3 给出 X_j 值, 可利用公式(1)~(3)得到相应的停车需求分布, 代入 UE 模型, 利用 Frank-Wolf 算法^[15]计算路段流量, 然后计算个体适应度及约束满足情况. 如果 $g = g_m$, 满足约束条件的适应度最大的染色体即为问题最优解, 否则转步骤 4.

步骤 4 采用基于排名的轮盘式选择算子复制选择下一代种群. 对所有待选个体首先将可行解按适应值由高到低排在前面, 然后不可行解按超出约束程度由小到大继续往后排, 排名第 r 个个体生存概率为

$$S(r) = p(1 - p)^{r-1}, \quad (12)$$

式中 $p \in (0, 1)$ 为选择压力. 求出 $S(r)$ 后, 即可计算个体选择概率 $S'(r) = \frac{S(r)}{\sum S(r)}$, 然后再按轮盘赌方式进行选择产生后代.

步骤 5 根据交叉概率 p_c 执行交叉操作. 对种群中所有个体随机配对, 在 $[0, 1]$ 中产生随机数 e_1 , 若 $e_1 < p_c$, 则该配对进行交叉操作. 对需要进行交叉操作的配对, 在 $[0, 1]$ 中产生随机数 c , 交叉操作公式为

$$R'_1 = cR_1 + (1 - c)R_2 \quad (13)$$

$$R'_2 = (1 - c)R_1 + cR_2 \quad (14)$$

式中, R_1 和 R_2 为当前染色体个体向量; R'_1 和 R'_2 为新产生的染色体个体向量.

步骤 6 根据变异概率 p_m 执行变异操作, 令

$g = g + 1$, 转步骤 3. 对染色体个体向量 R , 在 $[0, 1]$ 中产生随机数 e_2 , 若 $e_2 < p_m$, 则该个体发生变异操作

$$R' = R + hd \quad (15)$$

式中, R' 为变异后的新产生的染色体个体向量; d 为随机产生的 1 个方向矢量, $d = [d_1 \ d_2 \ \dots \ d_n]$, 其中每个元素在 $[-1, 1]$ 取值; $h \in \max_j [0, f_{U,j} - f_{L,j}]$, j 为染色体中每个基因变量序号, $f_{U,j}$ 为第 j 个变量取值上限, $f_{L,j}$ 为第 j 个变量取值下限.

3 数值算例

如图 1 所示, 节点 1、2、3 处为 3 个交通源, 节点 11、12、13 处为 3 个停车区, 线段上的数字为路段自由流行驶时间, 假设所有路段包含 2 个相向方向, 且每个方向通行能力均为 1 000 辆/h. 对于停车区 11, 从交通源 1、2、3 来的车流比例分别为 0.20、0.30、0.50, 其重要性系数分别为 1、2、1; 对于停车区 12, 从交通源 1、2、3 来的车流比例分别为 0.33、0.33、0.34, 其重要性系数分别为 2、1、1; 对于停车区 13, 从交通源 1、2、3 来的车流比例分别为 0.50、0.30、0.20, 其重要性系数分别为 1、1、2. 停车区 11、12、13 处的现状泊位数分别为 400、500、300 个, 假设停车周转率均为 1, 假设背景交通量为 0.

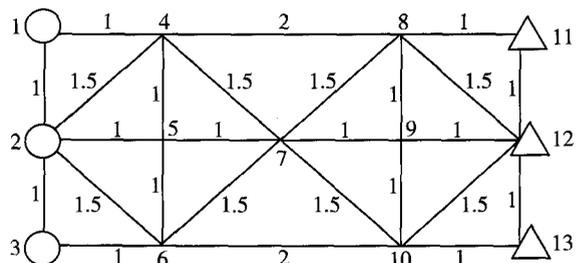


图 1 交通网络结构

Fig. 1 Traffic network structure

根据公式(1)~(11)建立规划模型, 并将具体参数代入模型, 路阻函数采用美国道路局 BPR 函数^[11]. 按文中所述求解算法求解模型, 编写遗传算法程序, 种群数取 100, 交叉率 0.7, 变异率 0.1, 程序运行 50 代得到优化结果: 停车区 11、12、13 处的最佳泊位数分别为 627、1 621、675 个, 目标函数 Y 的最大值为 3 779.

得到相应的停车需求 OD 分布为: 对于停车区 11, 从交通源 1、2、3 来的车流分别为 125、188、314 辆/h; 对于停车区 12, 从交通源 1、2、3 来的车流分别为 540、540、541 辆/h; 对于停车区 13, 从交通源 1、2、3 来的车流分别为 338、203、135 辆/h.

路段上的流量及饱和度结果见表1.

表1 路段流量及饱和度

Table 1 Link flows and saturation

路段	流量(辆/h)	饱和度(%)
1→4	997	99.7
4→8	702	70.2
8→11	627	62.7
2→5	673	67.3
5→7	673	67.3
7→9	722	72.2
9→12	722	72.2
3→6	999	99.9
6→10	709	70.9
10→13	675	67.5
2→4	55	5.5
2→6	198	19.8
4→7	350	35.0
6→7	487	48.7
7→8	446	44.6
7→10	342	34.2
8→12	522	52.2
10→12	377	37.7

注:其他未列路段流量为0.

由结果可知,路段流量均小于其最大通行能力,且各停车区泊位数都大于现状泊位数.计算得到了各停车区的最佳泊位数及合理的停车需求分布,并满足了路网容量的限制要求.

4 结论

1) 目前停车规划中很少考虑道路容量的限制要求,而实际上,停车需求的大小与分布是必须满足路网容量限制的,否则就会引起路网的拥堵.因此,作者尝试建立考虑路网容量约束的停车设施泊位规模优化模型.

2) 模型考虑了道路网络容量对停车需求的限制和约束,通过各处停车设施规模的优化,引导停车需求合理分布,以充分利用现有道路网络资源,并使得可满足的停车需求与公平性最大化.

3) 该模型优化目标为在满足道路网络容量约束下使得效益(可满足的停车需求)最大,并通过用户平衡模型计算流量在道路网络上的分配,介绍了用遗传算法对模型进行求解的方法.

4) 数值算例表明,通过该模型的优化可得到满

足路网容量约束的停车设施最佳泊位规模,并可得到合理的停车需求分布.

参考文献:

- [1] 关宏志,王鑫,王雪. 停车需求预测方法研究[J]. 北京工业大学学报, 2006, 32(7): 600-604.
GUANG Hong-zhi, WANG Xin, WANG Xue. Research on forecasting method for parking demands [J]. Journal of Beijing University of Technology, 2006, 32(7): 600-604. (in Chinese)
- [2] 陈峻,王炜,晏克非. 城市停车设施需求预测研究[J]. 东南大学学报, 1999, 29(增刊): 121-126.
CHEN Jun, WANG Wei, YAN Ke-fei. Forecasting research of urban parking facilities' demand [J]. Journal of Southeast University, 1999, 29(Sup): 121-126. (in Chinese)
- [3] 杨中良,裴玉龙. 哈尔滨中心城区停车现状分析及需求预测[J]. 哈尔滨建筑大学学报, 2002, 35(3): 125-128.
YANG Zhong-liang, PEI Yu-long. Analysis of present status of and prediction of future demand on parking lots within Harbin No. 2 circular road [J]. Journal of Harbin University of Civil Engineering and Architecture, 2002, 35(3): 125-128. (in Chinese)
- [4] 张慧芳,李文权. 城市停车需求预测方法研究[J]. 交通运输工程与信息学报, 2007, 5(3): 100-105.
ZHANG Hui-fang, LI Wen-quan. Study on the method of urban parking demand forecasting [J]. Journal of Transportation Engineering and Information, 2007, 5(3): 100-105. (in Chinese)
- [5] 白玉,薛昆,杨晓光. 基于路网容量的停车需求预测方法[J]. 交通运输工程学报, 2004, 4(4): 49-62.
BAI Yu, XUE Kun, YANG Xiao-guang. Forecasting method of parking-demand based on capacity-of-network [J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2004, 4(4): 49-62. (in Chinese)
- [6] 杨忠振,夏天成. 基于路网容量的城市中心商业区停车设施供给研究[J]. 交通运输工程与信息学报, 2006, 4(2): 2-6.
YANG Zhong-zhen, XIA Tian-cheng. Study on the supply of parking facility in central commercial district based on the capacity of road network [J]. Journal of Transportation Engineering and Information, 2006, 4(2): 2-6. (in Chinese)
- [7] 冷杰,晏克非. 停车设施容量限制下的路网容量计算模型[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2007, 35(2): 204-207.
LENG Jie, YAN Ke-fei. Calculating model of road network

- capacity under limit of parking establishment capacity [J]. *Journal of Tongji University: Natural Science*, 2007, 35(2): 204-207. (in Chinese)
- [8] COOMBE D, GUEST P, BATES J, et al. Study of parking and traffic demand: the research program [J]. *Traffic Engineering & Control*, 1997, 38(2): 62-67.
- [9] SCHOLEFIELD G, BRADLEY R, SKINNER A, et al. Study of parking and traffic demand: a traffic restraint analysis model (TRAM) [J]. *Traffic Engineering & Control*, 1997, 38(3): 135-141.
- [10] COOMBE D, GUEST P, SCHOLEFIELD G, et al. Study of parking and traffic demand: the effects of parking control strategies in Bristol [J]. *Traffic Engineering & Control*, 1997, 38(4): 204-209.
- [11] 陆化普. 交通规划理论与方法[M]. 北京: 清华大学出版社, 1998.
- [12] 高自友, 宋一凡, 四兵峰. 城市交通连续平衡网络设计—理论与方法[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2000.
- [13] 王小平, 曹立明. 遗传算法——理论、应用与软件实现[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 2002.
- [14] 米凯利维茨 Z. 演化程序——遗传算法和数据编码的结合[M]. 周家驹, 何险峰, 译. 北京: 科学出版社, 2000.
- [15] FRANK M, WOLFE P. An algorithm for quadratic programming [J]. *Naval Research Logistics Quarterly*, 1956, 3(2): 95-110.

(责任编辑 郑筱梅)

(上接第546页)

参考文献:

- [1] 杨兴邦. XB高精度火箭橇试验滑轨[J]. *中国工程科学*, 2000, 10: 33-38.
YANG Xing-bang. XB high accuracy rocket sled test track [J]. *Engineering Science*, 2000, 10: 33-38. (in Chinese)
- [2] 王健, 吴军基, 陶钢. 火箭橇轨道不平顺功率谱密度分析[J]. *弹道学报*, 2008, 20(4): 81-84.
WANG Jian, WU Jun-ji, TAO Gang. Analysis on power spectrum density of rocket sled rail irregularity [J]. *Journal of Ballistics*, 2008, 20(4): 81-84. (in Chinese)
- [3] 王健, 吴军基, 陶钢. 高精度火箭橇试验轨道随机不平顺分析[J]. *航空精密制造技术*, 2009, 45(5): 31-35.
WANG Jian, WU Jun-ji, TAO Gang. Stochastic irregularity analysis on high accuracy rocket sled test track [J]. *Aviation Precision Manufacturing Technology*, 2009, 45(5): 31-35. (in Chinese)
- [4] CAMERO G, PALAZOTTO A. An evaluation of high velocity wears [J]. *Wear*, 2008, 265(): 1066-1075.
- [5] JOHN D C, ANTHONY N. PALAZOTTO A. Analysis and simulation of hypervelocity gouging impacts for a high speed sled test [J]. *International Journal of Impact Engineering*, 2009(36): 254-262.
- [6] 翟婉明. 车辆-轨道耦合动力学[M]. 3版. 北京: 科学出版社, 2007.
- [7] 夏禾. 车辆与结构动力相互作用[M]. 北京: 科学出版社, 2003.

(责任编辑 张苏苹)