

文章编号: 1002-0268 (2009) 05-0097-06

# 与路外停车场协调的城市路内 停车设施选址优化模型

王姝春, 陈 峻, 张 辉  
(东南大学 交通学院, 江苏 南京 210096)

**摘要:** 为了使路内外停车设施合理分布, 减小停车成本, 满足城市停车需求, 保证城市动、静态交通的整体效率, 从路内外停车设施的关系出发, 比较路内外停车设施的车辆停放特性及泊车者的停车行为特性, 得出路内停车行为发生的特点; 并且通过分析路内停车设施对动态交通的影响, 建立了离散和连续的延误评价分析模型。假设停车需求与路外停车场已知, 在综合考虑路内停车设施对动态交通的影响、绕行距离、步行距离及泊位供应量的基础上, 提出一种多层次、多目标优化模型。用遗传算法求解, 算例计算结果表明, 与路外停车场协调设置路内停车带, 不仅能满足停车需求, 而且能使平均绕行距离和平均步行距离分别减少 80% 和 65.5%。

**关键词:** 交通工程; 停车设施选址模型; 多层次多目标模型; 路内外停车设施; 优化; 协调设置

中图分类号: U491

文献标识码: A

## A Location Optimization Model for Curb Parking Facilities Coordinating with Off-street Parking Facilities

WANG Shuchun, CHEN Jun, ZHANG Hui  
(School of Transportation, Southeast University, Nanjing Jiangsu 210096, China)

**Abstract:** To meet the demand of urban vehicle parking, make the distribution of the curb and off-street parking facilities reasonable, decrease parking cost and improve the overall efficiency of urban dynamic and static traffic, based on the matching relationship between the curb parking facility and the off-street parking facility, the characteristics of the off-street parking and the curb parking as well as the characteristics of parking behaviors of drivers were compared to obtain the main characteristics of the curb parking. Then, by analyzing the impact of the curb parking facilities on the dynamic traffic, a model using the discrete and continuous values of delay as the evaluation indicators was built. According to the prior study, based on assuming that the parking demand and off-street parking facilities were already known, with consideration of the effect of curb parking facilities on dynamic traffic, circuitous distance, walking distance and supply of berths synthetically, an multilevel and multi-objective optimization model was put forward and the solution based on genetic algorithm was given. The result of calculation example shows that (1) the curb parking facilities which coordinated with off-street parking facilities is able to meet the demand of parking; (2) the average parking circuitous distance of traveling vehicle and the average walking distance of parker can be decreased by 80% and 65.5% respectively.

**Key words:** traffic engineering; parking facility location model; multi-level and multi-objective model; curb and off-street parking facilities; optimization; coordinated setting

收稿日期: 2008-04-22

基金项目: 国家高技术研究发展计划 (八六三计划) 资助项目 (2008AA11Z201); 教育部新世纪优秀人才支持计划项目 (NCET-07-0176)

作者简介: 王姝春 (1985-), 女, 江苏通州人, 博士研究生, 从事交通运输规划与管理研究. (hilda2005@163.com)

## 0 引言

路外停车场指在道路用地控制线以外,专门开辟兴建的停车场、停车库、停车楼和各类建筑附近的停车空间以及各类专业性停车场。路内停车设施指在道路红线宽度范围内的两侧或一侧,划出若干带状路面提供车辆停放的场所。路内外停车设施的合理布局能使城市停车资源得到有效利用,使停车者绕行距离和步行距离有效降低,减少诱发交通量和对道路交通流的影响。虽然两者有着不同的服务半径和服务对象,但两者之间存在一定的联系。现有城市不合理的停车布局,往往形成路内停车繁忙而路外停车冷清的局面,加剧了中心区停车矛盾。目前国内外对于停车问题的大部分研究只是针对某一类停车场的规划选址、设计和停车政策及管理<sup>[1-6]</sup>;少部分论文研究了路内外停车设施的关系<sup>[7-9]</sup>,也多为定性讨论,在理论上还没有系统的成果来指导实践。这使得路内外停车设施与城市停车需求布局不协调,影响路段交通流的同时又使停车设施得不到有效利用。

本文研究了路内外停车设施的内在联系和路内停车设施对动态交通的影响,通过建立多层次、多目标的规划模型,找出路内外停车设施协调选址的方法,为优化停车设施资源配置,提高停车设施可达性及为相关部门进行停车设施规划提供理论指导和决策支持。

### 1 路内外停车设施的比较、分析

研究路内外停车设施的停放特性对停车设施的规划来说是非常重要的和必要的。本文从已有资料和现有文献中,选取杭州市、苏州市、南京市、东莞市和铜陵市<sup>[9-12]</sup>的数据作比较。数据涵盖了大、中、小3类城市,又偏重于大城市的研究,分析的结果应用时有一定的普遍性。分别比较路内外停车设施利用特性,停车意向性和停车行为。

通过对上述3个方面的调查结果分析可得:

(1) 路内外停车目的和停车时间反映路内外停车设施的服务对象有很大不同,停车场选址时应针对不同的用地性质设置。

(2) 停车最关注因素、周转率和费用表明停车管理措施的重要性。

(3) 路内外停车可忍受步行距离则得出两类停车设施的服务半径。

(4) 由首选停车场的比较,可以得出停车者的选择顺序为先选路内停车场,再选路外停车场。

可见,路内外停车设施虽有很大差异,但两者之间也存在联系。可以恰当利用这些联系设置停车场,优化停车系统;同时,调查结果也为建立路内停车优化模型提供了理论基础。

表1 路内外停车设施特性比较

Tab 1 Comparison of characteristics of the off-street parking and the curb parking

	路内停车	路外停车
停车目的	主要有办公业务(51%),餐饮娱乐(19%),接送(14%)	主要有工作(29%),购物(51%)
停车决策	依次关注安全(43%),步行距离(31%),收费(18%)	依次关注步行距离(51%),安全(23%),收费(12%)
停车可忍受的步行距离	60%的人可忍受<100m的步行距离,其中40%对步行距离的要求为<50m	80%的人可忍受<150m的步行距离,其中62%对步行距离的要求为<100m
停车时间	停车时间为0~2h的概率分布为92%	停车时间为0.5~4h的概率分布为65%
平均周转率/(次·日 <sup>-1</sup> )	3.6	1.6
停车费用	40%的路内停车者对停车费用较敏感	路外停车者对停车费用不敏感
停车首选停车场	92%路内停车者首选路内停车场	85%路外停车者首选路内停车场

### 2 路内停车车辆的驶入驶出对动态交通的影响

路内停车对交通流的影响是合理设置路内停车设施的一项重要指标。路内停车带设置前后交通流影响分析参数<sup>[14]</sup>,要既能反映路内停车设置前后的交通流变化情况,又能定量分析设置路内停车对交通流的影响。在评价堵塞程度、服务质量、路阻分析、前后对比和效益分析方面,相较于速度、交通负荷、服务水平,只有延误作为参数可以全面分析交通流影响的各个方面。因此,选择延误作为交通流影响分析参数。

本文将交通流分为离散状态与连续状态分别讨论路内停车对动态交通的影响。

(1) 当道路交通流中前后车辆的到达相互独立时,一定时间间隔内到达的车辆数是随机变量,可以用离散型分布描述。一般对于车流密度不大,车辆间相互影响微弱的情况,泊松分布能比较好地描述车辆的到达。

对于双向两车道道路的某一个方向,当路段交通流服从泊松分布,如果1h内发生 $n_1$ 次停车到达, $n_2$ 次停车出发,一次停车到达中断交通流 $\Delta t_1$ 秒,一次停车出发中断交通流 $\Delta t_2$ 秒,则对于路段交通流的一个方向,1h内车流发生总延误<sup>[13]</sup>为:

$$D = n_1 \times \lambda \times \Delta t_1^2 + n_2 \times \lambda \times \Delta t_2^2 = \lambda (n_1 \times \Delta t_1^2 + n_2 \times \Delta t_2^2), \quad (1)$$

在实际情况下, 受阻车辆发生停车-启动过程产生一定的延误, 因此车流总延误<sup>[14]</sup>为:

$$D = n_1 \times \lambda \times \Delta t_1 \times (\Delta t_1 + d) + n_2 \times \lambda \times \Delta t_2 \times (\lambda + \Delta t_2), \quad (2)$$

式中,  $\lambda$  为到达率;  $n_1$  为停车到达次数;  $n_2$  为停车出发次数;  $\Delta t_1$  为 1 次停车到达中断交通流的时间, 按照无障碍条件,  $\Delta t_1 = 3.0 \text{ s}$ ;  $\Delta t_2$  为 1 次停车出发中断交通流的时间, 按照无障碍条件,  $\Delta t_2 = 3.0 \text{ s}$ ;  $d$  为停车和启动延误, 启动和停车时间各取  $3.0 \text{ s}$ , 取  $d = 6.0 \text{ s}$ 。若前后车辆间距  $\geq 2$  辆车时, 采用离散流延误计算式。

(2) 当交通流中前车与后车的到达不是离散的、独立的, 而是相互影响、前后相随的, 此时交通流可以比拟为液体流, 用流体力学的理论来描述车流的特征。将延误的过程分为停车出入完成前后两部分, 即运动-停止, 停止-运动 2 个部分。对车辆停车到达, 车流波是集结波。对车辆停车出发, 车流波是疏散波。延误的计算结果是两种状态受阻车辆数  $m_i$  和平均受阻时间  $t_i$  的乘积的和。总延误<sup>[13]</sup>:

$$d = d_1 + d_2 = m_1 \times t_1 + m_2 \times t_2, \quad (3)$$

进一步计算可得:

$$d = -k_2 \times \left[ T_E \times \frac{q_2 - q_1}{k_2 - k_1} \times T_R + (T_R - T_E)^2 \times \frac{q_3 - q_2}{k_3 - k_2} \right] / 2, \quad (4)$$

式中,  $k_1$ 、 $k_2$ 、 $k_3$  分别为停车到达、停车等待、停车出发过程中的路段交通流密度和;  $q_1$ 、 $q_2$ 、 $q_3$  分别为停车到达、停车等待、停车出发过程中的路段交通流量, 在排队延误过程中流量为  $0 \text{ km/h}$ , 即  $q_2 = 0 \text{ km/h}$ ;  $T_E$  为执行停靠和排队车辆的车辆启动和制动时间, 取  $T_E = 9.0 \text{ s}$ ;  $T_R$  为被阻塞的车辆的延误, 根据实际采集数据的情况得到  $T_R = 12.0 \text{ s}$ 。若前后车辆间距  $< 2$  辆车时, 采用连续流延误计算式。

在选址模型的建立中, 最小延误作为模型优化求解的目标之一。将不同交通流情况下的延误计算式代入模型时, 根据实际条件采用不同的计算模型。

### 3 路内停车设施选址优化模型的建立

#### 3.1 模型的简化和目标的提出

城市停车设施布局规划是建立在停车设施需求分布的基础上, 为了反映规划区域的停车需求特征, 有必要将其细分为若干个功能小区, 划分的原则参见以往文献<sup>[9]</sup>, 并且假定每小区只有一个路外停车场。划

分后, 每一小区确定了停车生成点的坐标及需求量, 路外停车场位置及泊位数。这样路内停车设施与路外停车场协调选址规划问题就简化为在给定平面区域内进行位置协调与数量分配的优化。

在停车场布设方案的优选问题上, 停车场布局规划优化的目标是使停车场的社会效益最高。主要目标表现在: 最大限度地满足服务范围内的停车需求; 泊车者步行和绕行距离最小; 停车场的服务能力最强, 利用率高, 对动态交通的影响最小。

#### 3.2 模型的建立

通过上文对路内外停车特性的比较, 得出现有一般情况下泊车者的停车行为规律, 即首选路内停车带, 在路内停车泊位接近饱和的情况下, 再选路外停车场。据此, 假设路外停车场位置和规模已知, 建立模型。本规划模型分为 2 个层次: (1) 根据对步行距离和绕行距离条件的限制确定停车场的位置解集; (2) 对每一可行的位置方案进行多目标规划, 达到总体上的优化。具体形式如下。

##### (1) 模型 A

模型 A 将求解规划区域内满足约束的所有路内停车位置分布方案的解集。在建立约束条件时考虑如下因素: 1. 规划区域内任一停车生成点均应有相应的停车场服务, 而每一待规划停车场又必须有停车生成点作为服务对象; 2. 在确定布局时, 对每一停车场应存在至少一个停车场与前者距离不超过一定数值, 否则区域内可能会有较大空间无法被服务; 3. 基于分散布局的原则, 各停车场的间距不宜过小, 通常在  $50 \text{ m}$  以上, 否则将造成资源的浪费。

##### 目标函数 1

$$\begin{cases} \{(\bar{x}_i, \bar{y}_j)\} | j \leq m, m \in (S_{\min}, S_{\max}), & (5) \\ S_{\min} \leq m \leq S_{\max}, \\ \bar{x}_j \leq a, \\ \bar{y}_j \leq b, \\ t_{ij} = \beta \sqrt{(x_i - \bar{x}_j)^2 + (y_i - \bar{y}_j)^2}, \\ a_{ij} = \begin{cases} 1, t_{ij} \leq R, \\ 0, t_{ij} > R, \end{cases} \quad \downarrow \downarrow \uparrow \uparrow \\ \text{s. t. } \sum_i a_{ij} \geq 1, j = 1, 2, \dots, m, \\ \sum_j a_{ij} \geq 1, i = 1, 2, \dots, n, \\ t'_{ij} = \beta' \sqrt{(x'_i - \bar{x}_j)^2 + (y'_i - \bar{y}_j)^2} \\ a'_{ij} = \begin{cases} 1, t'_{ij} \leq R', \\ 0, t'_{ij} > R', \end{cases} \end{cases}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_i a'_{ij} \geq 1, j = 1, 2, \dots, m, \\ \sum_j a'_{ij} \geq 1, i = 1, 2, \dots, n, \\ \bar{t}_{ij} = \sqrt{(\bar{x}_i - \bar{x}_j)^2 + (\bar{y}_i - \bar{y}_j)^2} \\ i \neq j, i, j = 1, 2, \dots, m \\ a_{ij} = \begin{cases} 1, \bar{t}_{ij} \leq B_{\max}, \\ 0, \bar{t}_{ij} > B_{\max}, \end{cases} \\ \sum_j a_{ij} \geq 1, i \neq j, i, j = 1, 2, \dots, m, \\ \bar{t}_{ij} \geq B_{\min}, i \neq j, i, j = 1, 2, \dots, m, \\ \bar{x}_j, \bar{y}_j \geq 0, j = 1, 2, \dots, m, \end{array} \right. \quad (6)$$

式中,  $n$  为规划区域功能小区个数;  $a, b$  为规划区域横坐标、竖坐标最大值;  $(x_i, y_i)$  为各小区停车需求点的已知坐标,  $i = 1, 2, \dots, n$ ;  $m$  为路内停车场拟规划个数, 其位置坐标  $(x_j, y_j), j = 1, 2, \dots, m$ ;  $R$  为停车者步行至目的地的步行距离上限;  $t_{ij} = \beta \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}$  为第  $i$  个停车需求点到第  $j$  个路内停车场的距离;  $\beta$  为停车吸引发生源强度修正系数, 与停车发生源的规模、性质有关,  $0 < \beta < 1$ ;  $(x'_i, y'_i)$  为各小区路外停车设施点的已知坐标,  $i = 1, 2, \dots, n$ ;  $t'_{ij} = \beta' \sqrt{(x'_i - x_j)^2 + (y'_i - y_j)^2}$  为第  $i$  个路外停车设施到第  $j$  个路内停车场的距离,  $0 < \beta' < 1$ ;  $\beta'$  为路外停车设施强度修正系数, 与路外停车场的收费、规模及位置有关;  $R'$  为停车者开车绕行至路外停车场的距离上限;  $\bar{t}_{ij} = \sqrt{(\bar{x}_i - \bar{x}_j)^2 + (\bar{y}_i - \bar{y}_j)^2}, i \neq j, i, j \in m$ , 为第  $i$  个路内停车场到第  $j$  个路内停车场的距离;  $B_{\min}, B_{\max}$  为各路内停车场间的距离上、下限;  $S_{\min}, S_{\max}$  为规划区域内建设停车场数的下限和上限,  $m \in (S_{\min}, S_{\max})$ ;  $a_{ij}$  为第  $j$  个停车需求点可由第  $i$  个规划路内停车场服务的测度;  $a'_{ij}$  为第  $i$  个路外停车场可由第  $j$  个规划路内停车场服务的测度;  $\bar{a}_{ij}$  为第  $i$  个规划路内停车场可由第  $j$  个规划路内停车场服务的测度。

## (2) 模型 B

本模型建立在模型 A 的位置解集基础上, 考虑多个目标对停车场泊位及建造型式等的影响, 在约束条件下实现整体的优化, 即“总步行距离  $T$  最短, 总绕行距离  $T'$  最短, 总泊位供应  $H$  最大, 对设置路段的影响  $D$  最小”。模型的目标向量为  $G_2 = (T, T', H, D)$ , 决策变量为  $A_{ij}, i \in n, j \in m$ , 旨在找出目标向量  $G_2 = (T, T', H, D)$  的非劣解集, 以达到停车系统整体最优化。

## 目标函数 2

$$\left\{ \begin{array}{l} T = \min(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m t_{ij} \cdot A_{ij} + t \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n A'_{ij}), \\ H = \max(\sum_{j=1}^m p_j), \\ T' = \min(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m t'_{ij} \cdot A'_{ij}), \\ D = \min(\sum_{j=1}^m d_h), \\ \sum_{i=1}^n A_{ij} = p_j, \\ \sum_{j=1}^m A_{ij} + \sum_{j=1}^m A'_{ij} = r_i, \\ \sum_{j=1}^m p_j \geq H_{\min}, \\ p_{\min} \leq p_j \leq p_{\max}, \\ \sum_{i=1}^n A'_{ij} \leq p_{\text{路外}}, \\ 0 \leq d_h \leq d_{\max}, \\ A_{ij} \geq 0, i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m, \\ A'_{ij} \geq 0, i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m, \end{array} \right. \quad (7)$$

式中,  $T$  为区域内停车者步行至目的地的总步行距离;  $T'$  为区域内停车者绕行至路外停车场的总绕行距离;  $H$  为规划路内停车场泊位总量;  $D$  为设置路内停车场的路段交通流因此产生的延误;  $r_i$  为第  $i$  个功能小区的停车需求量;  $p_j$  为第  $j$  个路内停车场的泊位供应量;  $A_{ij}$  为第  $i$  个需求点到第  $j$  个路内停车场的停车数量;  $A'_{ij}$  为第  $j$  个停车场绕行到第  $i$  个路内路外停车场的车辆数;  $(p_{\min}, p_{\max})$  为每一路内停车场建造泊位数的下、上限;  $t_{ij}$  为第  $i$  个停车需求点到第  $j$  个路内停车场的距离;  $t'_{ij}$  为第  $i$  个路外停车设施到第  $j$  个路内停车场的距离;  $H_{\min}$  为规划部门给出泊位总量的最低满意值,  $H \geq H_{\min}$ ;  $d_{hi}$  为设置路内停车场后路段交通流的总延误, 若前后车辆间距  $\geq 2$  辆车时, 采用离散流延误计算式; 若前后车辆间距  $< 2$  辆车时, 采用连续流延误计算式;  $d_{\max}$  为不引起路段堵塞的最大延误值;  $p_{\text{路外}}$  为路外停车场的泊位数。

## 3.3 模型的算法及求解

遗传算法作为一种随机规划算法, 以其特有的隐含并行性和全局信息的有效利用特点, 能够通过保持对解空间不同区域中多个点的搜索, 以很大概率找到全局的最优解。它不但可以用来求解单目标函数的最优化问题, 而且可以用来求解多目标函数的优化问

题。通常, 在遗传算法中, 求解多目标优化问题的具体方法有权重系数变化法、并列选择法、排列选择法、共享函数法和混合法 5 种。为了编程方便, 同时又能表现出多目标遗传算法的特性, 采用并列选择法编程进行多目标遗传算法的求解。

而 MATLAB 具有强大的处理矩阵运算的能力, 利用它的遗传算法工具箱来编写多目标遗传算法程序很有优势。本文以英国谢菲尔德大学<sup>[15]</sup>开发的遗传算法工具箱为基础进行 MATLAB 编程。

根据公式 (7), 利用并列选择遗传算法进行 MATLAB 编程, 并分别将停车需求点坐标、路外停车场坐标、停车设施备选点坐标及其对所在路段车流运营产生的延误和停车需求量矩阵  $d$  以及停车服务判别矩阵  $\alpha$  内的数值代入。根据实际情况假设  $\beta$  和  $\beta'$ 。

最后, 运用遗传算法工具箱编程, 对该城市公共停车场选址的多目标优化模型进行求解。

### 3.4 模型的应用

模型求解程序如图 1 所示。

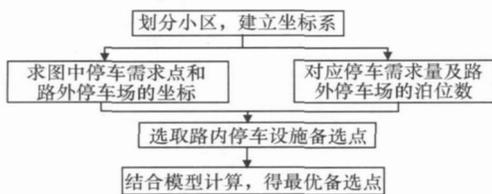


图 1 模型求解流程图

Fig 1 Flow chart of model solution

假设某城市中心区部分区域路网见图 2。该区域停车需求为 100 标准泊位, 均匀分布于 10 个停车需求点。已有路外停车设施位置及容量如图 2 中所示。假定  $R$  为 200 m,  $R'$  为 450 m,  $B_{min}$ 、 $B_{max}$  为 50 m、600 m; 路网数据如表 2。

表 2 某市部分区域路网数据

Tab. 2 Data of partial road network in a certain city

序号	道路名称	道路等级	车道数 (单向)	宽度 /m	机非是否 有分隔带	高峰小时交 通量/( $\text{pcu} \cdot \text{h}^{-1}$ )
1	金山东路	主干道	3	35	是	800
2	铜都大道	主干道	4	40	是	1 236
3	淮河大道	次干道	4	43	是	1 922
4	焦化路	次干道	3	30	否	550
5	宝山路	次干道	2	15	否	100
6	金口岭路	支路	2	15	否	60
7	新村路	支路	1	8	否	30

按上述过程求解, 首先划分 5 个小区, 并按照设置路内停车带的一般道路条件和交通条件, 在图中选取设置路内停车设施的备选点。



图 2 验证算例

Fig 2 Computation example for model verification

表 3 简化分区后路外停车场、停车需求点坐标和路内停车设施备选点坐标值

Tab. 3 Coordinate values of alternative points standing for off-street parking, parking demand, and reserved curb parking after division of zones

路外停车场 平面坐标值	小区内停车需求 点坐标值/需求量	路内停车备选点 所在道路及坐标值
	1 (684, 1134)/ 10	金山路 (716, 1416) —
A (614, 1256)	3 (619, 1135)/ 10	金山路 (716, 1416) 金口岭 (524, 946)
	4 (900, 797)/ 10	新村路 (925, 763) —
B (1253, 1303)	2 (1298, 1229)/ 10	金山路 (1315, 1324) 宝山路 (1213, 1152)
	9 (853, 164)/ 10	铜都大道 (879, 136) 焦化路 (801, 102)
C (1087, 411)	10 (1 135, 501)/ 10	铜都大道 (1174, 465) —
	5 (248, 722)/ 10	焦化路 (151, 548) —
D (300, 808)	6 (123, 630)/ 10	焦化路 (97, 577) —
	7 (550, 343)/ 10	焦化路 (508, 298) 新村路 (602, 290)
E (707, 474)	8 (714, 527)/ 10	金口岭 (768, 566) 新村路 (602, 290)

将表 3 中备选点、需求点和路外停车设施点各坐标代入选址模型, 比较步行距离、绕行距离、泊位供应量和延误各指标, 从最后得到的非劣解集中选取的最优备选点和泊位数见表 4。

表 4 最优备选点

Tab. 4 The optimal coordinate values of alternative points

路外停车场编号	需求点	相应备选点坐标值	泊位数
A	1	金山路 (716, 1 416)	10
	4	新村路 (925, 763)	10
B	2	金山路 (1 315, 1 324)	5
	9	铜都大道 (879, 136)	5
C	10	铜都大道 (1 174, 465)	5
	6	焦化路 (97, 577)	10
D	7	焦化路 (508, 298)	5
	8	金口岭 (768, 566)	5

### 3.5 模型的检验

求解后, 共得到 8 个路内停车场, 整个小区基本上都在停车设施的覆盖范围之内。设置路内停车场后, 不仅满足了现有的停车需求, 停车供给还有相对较大的富余。利用泊松分布计算得到的延误时间远远

小于人的期望承受, 可以忍受。与未合理设置路内停车带的情况相比, 平均绕行距离和平均步行距离分别减少了 80% 和 65.5%。道路  $v/c$  比增大幅度很小, 没有造成交通拥堵。可见, 模型应用方便, 具有较高的实用性和有效性。

表 5 计算结果

Tab 5 Computation result

参数	路内停车泊位量	泊位供需比	泊位利用率 / %	平均步行距离 / m	平均绕行距离 / m	平均每车延误 / s	各道路平均 $v/c$ 比
结果	55	1.45	68.9	47	221	12	0.300 < 0.75
优化前	0	0.9	100	136.3	1105	—	0.274

#### 4 结语

城市路内停车设施规模及选址如何与路外停车场协调设置, 是停车规划时必须考虑的问题。在研究了路内外停车设施的联系和路内停车对动态交通的影响后, 提出了一个多层次、多目标的路内停车带规划模型, 依据该模型, 可以确定小区内与路外停车设施协调的路内停车带的最优位置和规模。算例表明: 与路外停车场协调设置路内停车带, 不仅能满足停车需求, 而且能使小区内停车服务水平有较大提高。

该模型只考虑了路外停车场已知的情况。实际规划停车场时, 若需要设置路外停车场, 可先设计路外停车场, 再应用本文建立的模型规划路内停车设施。在实际应用中简单易行, 能取得良好的效果。

#### 参考文献:

- References:**
- [1] OPPENLANDER J C. Optimal Location and Sizing of Parking Facilities [J]. ITE Compendium of Technical Papers, 1988 (1): 205–207.
  - [2] MASSOUD J. Optimal Supply of Parking at Airports [C] // Proceedings of the 23rd Air Transport Conference USA, 1994, 6: 346–388.
  - [3] LAMBE T A. Driver Choice of Parking in the City [J]. Socio-Economics Planning, 1996, 30 (3): 207–219.
  - [4] 陈峻. 城市停车设施规划方法与信息诱导技术 [M]. 南京: 东南大学出版社, 2007.  
CHEN Jun. Urban Parking Facilities' Planning Methods and Information Guidance Technique [M]. Nanjing: Southeast University Press, 2007.
  - [5] 张伟. 城市路外公共停车设施选址研究 [D]. 长沙: 长沙理工大学, 2004.  
ZHANG Wei. Research on Urban Road outside Public Parking Facility Location [D]. Changsha: Changsha University of Science & Technology, 2004.
  - [6] 梅振宇, 陈峻, 王伟. 城市路内停车设置规模非线性优化模型及其算法 [J]. 交通运输工程学报, 2007, 7 (2): 89–93.  
MEI Zhenyu, CHEN Jun, WANG wei. Nonlinear Optimization Model and Algorithm of Urban Curb Parking Setting Scale [J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2007, 7 (2): 89–93.
  - [7] 陈峻, 王伟, 胡克定. 城市社会停车场选址规划模型研究 [J]. 公路交通科技, 2000, 17 (1): 59–62.  
CHEN Jun, WANG Wei, HU Keding. Study on Location Planning Model for Urban Public Parking Area [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2000, 17 (1): 59–62.
  - [8] 裴玉龙, 杨中良. 基于广义费用最小的城市路边停车规划模型 [J]. 哈尔滨工业大学学报, 2003, 35 (7): 879–882.  
PEI Yulong, YANG Zhongliang. Urban Road-side Parking Planning Model Based on Minimum Generalized Cost [J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2003, 35 (7): 879–882.
  - [9] 梅振宇. 城市路内停车设施设置优化方法研究 [D]. 南京: 东南大学, 2006.  
MEI Zhenyu. Research on Optimization Method of Setting Urban Curb Parking Facilities [D]. Nanjing: Southeast University, 2006.
  - [10] 何政军. 停车需求分布及供应理论研究 [D]. 上海: 同济大学, 1994.  
HE Zhenjun. Research on Theory of Parking Demand Distribution and Supply [D]. Shanghai: Tongji University, 1994.
  - [11] 邵正刚. 杭州市中心区路边停车规划与管理研究 [D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2005.  
SHAO Zhenggang. Study on Curb Parking Plan and Manage of Hangzhou City Central Area [D]. Xi'an: Xi'an University of Architecture & Technology, 2005.
  - [12] 刘兰辉. 大城市商业区停车行为研究 [D]. 北京: 北京工业大学, 2002.  
LIU Lanhui. Study on Parking Behavior in Big City's Shopping Center [D]. Beijing: Beijing Polytechnic University, 2002.
  - [13] 张露. 路面停车对交通流影响的研究 [D]. 北京: 中国农业大学, 2005.  
ZHANG Lu. Study the Influence of Curb Parking on Traffic Flow [D]. Beijing: China Agricultural University, 2005.
  - [14] 陈峻, 梅振宇, 王伟. 混合交通流条件下基于路内停车设置的路段车速阻滞模型 [J]. 土木工程学报, 2007, 40 (9): 95–100.  
CHEN Jun, MEI Zhenyu, WANG Wei. Road Resistance Model under Mixed Traffic Flow Conditions with Curb Parking [J].

表2 全枚举法和启发式算法的计算结果

Tab 2 Results of enumeration and heuristic algorithms

p	α	全枚举法		启发式算法		Z <sub>opt</sub> /Z <sub>opt</sub>
		需求量	地点	需求量	地点	
1	0.001	37.573 1	1, 8, 16	37.573 1	8, 16, 1	1
	0.01	46.510 9	1, 8, 16	46.510 9	8, 16, 1	1
	0.1	140.442 8	6, 8, 16	140.442 8	8, 16, 6	1
	0.5	575.531 6	6, 8, 16	575.531 6	8, 16, 12	1
	1	1 120.5	6, 8, 16	1 120.5	8, 16, 12	1
	10	10 929	6, 8, 16	10 929	8, 16, 12	1
2.5	0.001	46.865 5	5, 11, 16	46.865 5	5, 16, 11	1
	0.01	53.845 2	5, 11, 16	53.845 2	5, 16, 11	1
	0.1	139.872 9	8, 12, 16	139.872 9	8, 16, 12	1
	0.5	538.195 6	6, 8, 16	538.195 6	8, 16, 6	1
	1	1 038.3	6, 8, 16	1 038.3	8, 16, 6	1
	10	10 039	6, 8, 16	10 039	8, 16, 6	1
5	0.001	84.662 8	2, 11, 12	82.269 7	4, 14, 6	0.971 7
	0.01	88.735	2, 11, 12	88.535 4	8, 15, 2	0.997 8
	0.1	142.812 3	4, 12, 16	141.716 8	8, 16, 12	0.992 3
	0.5	402.503 9	8, 12, 16	402.503 9	8, 16, 12	1
	1	728.487 8	8, 12, 16	728.487 8	8, 16, 12	1
	10	6 596.2	8, 12, 16	6 596.2	8, 16, 12	1

路径上产生的用户流相对与固定点需求对设施选址的影响程度, 并给出了启发式算法, 及其解的下界。通过实例发现, 该算法计算的结果较好。在以后的工作中, 可以研究在随机情况下的截流选址问题, 如在流量大小不确定, 用户路径选择随机等情况下, 如何选择设施最佳位置。

参考文献:

References:

[1] BERMAN O, FOUSKA N, LAARSON R C. Optimal Location of Discretionary Service Facilities [J]. Transportation Science, 1992, 26 (3): 201- 211.

[2] HODGSON J A. Flow-capturing Location Allocation Model [J]. Geographical Analysis, 1990, 22 (3): 270- 279.

[3] YANG H, YANG C, GAN L. Models and Algorithms for the Screen Line-based Traffic-counting Location Problems [J].

Computers and Operations Research, 2006, 33 (5): 836- 858.

[4] 杨, 张敏, 陈新. 一类带服务半径的服务站截流选址-分配问题 [J]. 系统工程理论与实践, 2006 (1): 117- 122.  
YANG Jun, ZHANG Min, CHEN Xin. A Class of the Flow Capturing Location-Allocation Model [J]. System Engineering -Theory & Practice, 2006 (1): 117- 122.

[5] BERMAN O, KRASS D. Flow Intercepting Spatial Interaction Model: a New Approach to Optimal Location of Competitive Facilities [J]. Location Science, 1998, 6: 41- 65.

[6] GENDREAU M, LAPORTE G, PARENT I. Heuristics for the Location of Inspection Stations on a Network [J]. Naval Research Logistics, 2000, 47: 287- 303.

[7] REILLY W J. The Law of Retail Gravitation [M]. New York: Knickerbocker Press, 1929.

[8] FOTHERINGHAM A S, KELLY M E. Spatial Interaction Models: Formulations and Applications [M]. Dordrecht: Kluwer, 1989.

[9] 许庆斌, 荣朝和, 马运筹. 运输经济学导论 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 2003.  
XU Qingbin, RONG Zhaohe, MA Yunchou. Transportation Economics [M]. Beijing: China Railway Publishing House, 2003.

[10] 王维, 罗守贵. 上海都市圈城市间引力研究及基于人流量的实证分析 [J]. 软科学, 2006, 20 (3): 19- 22.  
WANG Wei, LUO Shougui. On the Gravity among Cities of Shanghai Metropolitan Coordinating Area with an Empirical Study Based on Population Flow [J]. Soft Science, 2006, 20 (3): 19- 22.

[11] 杨. 网络服务设施的截流-选址问题研究 [D]. 武汉: 华中科技大学, 2005.  
YANG Jun. Facility Location Problems about Flow Interception in Network [D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2005.

(上接第102页)

China Civil Engineering Journal, 2007, 40 (9): 95- 100

[15] 么卫良, 李杰, 李宏, 等. 利用遗传算法求解公共停车场多目标选址模型 [J]. 华中科技大学学报, 2006, 40 (23): 67- 69.

YAO Weiliang, LI Jie, LI Hong, et al. Genetic Algorithm for Multi-objective Optimization in the Locating of Urban Public Parking Lots [J]. Journal of Huazhong University of Science and Technology, 2006, 40 (23): 97- 69.