

基于灰关联分析和启发式搜索的停车引导模型

李 伟¹ 李 鸥² 金 梁¹

(1.河南工业职业技术学院 ,河南 南阳 473000; 2.信息工程大学 ,郑州 450001)

摘 要: 针对停车引导过程中存在的信息不对称问题 ,重点考虑用户实际期望 ,将引导过程抽象为最短路径网络 ,以步行出场距离、停车难度、停车安全度 3 项指标衡量路径权重 ,提出一种使用灰关联分析判断最佳停车位、启发式 A* 算法搜索最优路径的方法。理论分析和仿真实验证明 ,该方法推荐的最优车位和线路符合用户偏好 ,节省了时间和效率。

关键词: 灰关联分析; 停车引导; 启发式 A* 搜索; 多属性决策

中图分类号: TP391.9

文献标识码: A

文章编号: 1001-7119(2021) 03-0050-05

DOI: 10.13774/j.cnki.kjtb.2021.03.009

Parking Guidance Model Based on Grey Relational Analysis and Heuristic Search

Li Wei¹ , Li Ou² , Jin Liang¹

(1. Henan Polytechnic Institute , Nanyang 473000 , China;

2. Information Engineering University , Zhengzhou 450001 , China)

Abstract: Aiming at the information asymmetry issue existing in parking space system , focused on the actual expectation of users , abstracted the guiding process as the shortest path network , the best parking space is chosen according to the shortest walking depart distance , parking difficulty and the degree of parking safety , proposed an algorithm based on grey relational analysis and heuristic A* search to find the best parking space and the shortest path route. Theories and experiments show that the best parking space selected by the algorithm could meet the users' preferences , saves system efficiency and time consumption.

Keywords: grey relational analysis; parking guidance; heuristic A* search; multiple attribute decision

城市“停车难”问题凸显 ,大多数停车场缺乏行之有效的停车引导机制 ,机动车进场后需要人工引导或自行盲目寻找车位 ,既增加了停车场管理人员的工作负担 ,也给用户停车带来不便 ,降低了停车位的周转效率。

国内外学者对停车引导算法的研究主要关注于停车场外的“宏观引导” ,即以城市道路交通为背

景 ,着眼于将车辆引导至停车场入口的过程 ,而忽视了对停车场内部交通的“微观引导”。随着停车场规模的不断扩大 ,场内停车引导的有效性亟待提升^[1-2]。目前应用于停车位引导的算法主要有 Dijkstra 算法^[3]、启发式搜索算法^[4]、蚁群算法^[5]、遗传算法^[6]、神经网络算法^[7]和粒子群算法^[8]等。张玉杰^[9]针对现有的 Dijkstra 算法计算量大、耗时

收稿日期: 2020-06-24

基金项目: 河南省科技厅科技发展计划项目(182102210036) 、南阳市科技局科技攻关计划项目(KJGG2018009)

作者简介: 李伟(1982-) ,男 ,河南省南阳市人 ,硕士 ,讲师 ,研究方向为智能交通系统、物联网技术。

E-mail: zaisi@163.com。

长的缺点,对算法进行优化,节点数大大减少,运算效率大大提高。文献[10]通过划分场内小区保证车辆在空间均衡分布,使用改进的启发式 A^* 搜索算法计算最佳车位。

然而大多数研究者通常是从停车场的角度出发,重点考虑停车效率,以停车最短行驶距离为指标,忽略了用户偏好以及停车体验,使得用户并不满意系统引导的目标车位,达不到预期的效果。本文分析了停车引导系统中存在的问题,从用户的角度考虑了影响停车位选择的各种因素,进而使用灰关联分析法评价最佳停车位,使用启发式 A^* 搜索算法进行路线规划,以找到真正使用户满意的停车位,缩短寻位时间,提高停车效率。

1 停车位引导系统存在的问题

随着机动车数量的剧增,许多城市在购物中心、机场、会展中心等配套建设了大型停车场,车位数多达千个以上,在使用过程中逐步暴露出一些管理和技术上的问题例如:

(1) 停车场管理人员很难实时掌握空闲车位的具体位置,需人工查看。对于引导车辆停放,也需专门人员指挥,浪费财力人力、增加管理成本。

(2) 车位引导技术研究主要是基于停车场内静态路网的属性,而停车场内道路路况是时变的,高峰时段停车场内车辆滞留会影响目标车位选取。

(3) 机动车进场后,用户并不知道空余车位具体在哪,在寻找空闲车位的过程中,会产生低效的巡游操作,造成交通拥堵,影响其他车辆停放。

(4) 用户在取车时由于停车场空间封闭、布局类似等原因,在停车场内不易找到自己的车辆。

2 影响车位选取的因素

经调查研究发现,影响车位选取的因素主要包括步行出场距离、停车难度、停车安全度、场内行驶距离、停车费用等^[11]。选取这些影响因素构成停车位决策评价体系。

步行出场距离 I_1 : 停车后离开停车场所需要行走的距离,用户一般会选择在距离步行出口较近的电梯口、安全出口周围停放车辆,以缩短步行距离和时间,方便快速出入。

停车难度 I_2 : 对于某停车位,其两侧车位占用情况的不同会造成停车难度不同。为避免停车过程

中出现刮蹭,用户偏爱两侧均无车辆停放的车位,其次是一侧有车辆停放的车位,最后才会选取两侧均被占用的车位。本文采用一级、二级、三级来标示停车难度,级别越小,停车难度越小。

停车安全度 I_3 : 停车安全主要考虑防止车辆被盗以及刮蹭等引起损伤。停车场会安装监控设备以保证车辆安全,车位在监控器视野内距离越近越安全。另外车辆停放在出入口及拐角处等高密度车流位置均易受损伤,用户倾向于将车辆停放在停车场内部。为便于度量,可用数值表示,数值越小停车安全度越高。

场内行驶距离 I_4 : 从停车场入口到目标车位的机动车行驶距离。停车场希望用户能以最短的路径和时间到达目标车位。

停车费用 I_5 : 停车费收取方式大多是按停车时间长短收取。一个停车场通常收费标准一致,对于停车者来说,收费越少,期望值越大。

3 抽象停车引导拓扑网络

停车场内静态路网情况较简单,多由环道构成,图1是一个典型的地下停车场车位分布图。其中 S 、 E 分别为停车场出入口, $P_1 \sim P_{15}$ 为某时刻空闲的目标车位,其他车位均已被占用, $C_1 \sim C_9$ 为监控摄像机位, L_1 、 L_2 为电梯口,表示步行离开停车场的终点,对路网进行拓扑数字化之后,建立网络数据集,得到有向带权图。网络图中3要素定义如下:

关键节点 $N_i(i=1, 2, 3, \dots, n)$: 停车场入口 s ,空闲车位 p_i ,监控摄像机位 c_i 的集合。

弧 $L(n_i, n_j)(i, j=1, 2, 3, \dots, n)$: 关键节点 n_i 和 n_j 之间的有向路径。

弧的权重 $W(n_i, n_j)(i, j=1, 2, 3, \dots, n)$: 弧的某特征属性的量化表示,本文综合考虑用户关心的步行出场距离、停车难度、停车安全度3个因素做为弧的权重。

经过分析,可以将停车场路网抽象为拓扑结构图,将实际问题转换为带权有向图最优解问题。停车场空闲车位网络有向图可以用如下三元组来表示:

$$G = (N, L, W) \quad \left\{ \begin{array}{l} N = \{s, p_1, p_2, \dots, p_n, c_1, c_2, \dots, c_m\} \\ L(n_i, n_j) = \{l_1, l_2, \dots, l_k\} \\ W(n_i, n_j) = \{w_1, w_2, \dots, w_k\} \end{array} \right. \quad (1)$$

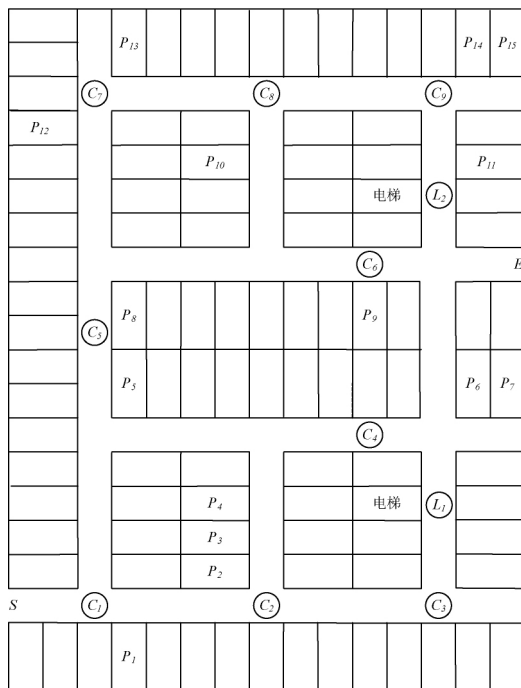


图1 停车场泊车位布局示意图

Fig.1 Distribution of parking spaces in a park

4 引导逻辑研究

4.1 灰关联分析最优车位

灰关联是指事物之间不确定性联系,对于停车位选择这种影响因素众多、信息参数不全的“非完全信息”问题^[12,13],能够给出最优解。运用灰色关联分析法的步骤如图2所示。

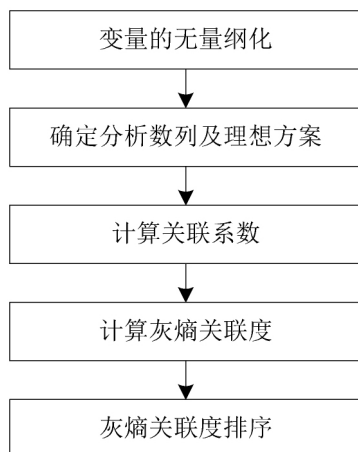


图2 灰关联分析流程

Fig.2 Flow chart of grey relational analysis

步骤1: 多个评价指标构成的参考序列具有不同的计量单位和数量级,当各指标间的水平相差很大时,如果直接用原始指标值进行分析,就会突出数

值较高的指标在综合分析中的作用,相对削弱数值水平较低指标的作用。因此,为了保证结果的可靠性,需要对原始指标数据进行归一化处理,将其转化为无量纲的纯数值,便于不同单位或量级的指标能够进行比较。本文采用离差标准化方法处理数据,即变量最大值与每一个变量之差除以该变量取值的全距,标准化后将数据统一映射到[0,1]区间上。

$$x_i(k) = \frac{MAX(X) - X_i(k)}{MAX(X) - MIN(X)} \quad k = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

$$x_i(k) = \frac{X_i(k) - MIN(X)}{MAX(X) - MIN(X)} \quad k = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

公式(2)、(3)为离差标准化方法的2种形式,式中 $MAX(X)$ 为序列 $x_i(k)$ 的最大值, $MIN(X)$ 为 $x_i(k)$ 的最小值。本文选用公式(2),而没有采用更常用的公式(3),是因为3个指标都是成本型指标,数值越小越理想,而计算灰关联系数时,通常是取最大的值做为理想值,为统一起见,用公式(2)调整成本型指标为收益型指标。

步骤2: 确定参考序列 $X_{i0} = \{x_{i0} | 1 \leq i \leq n\}$ 和比较序列 $X_{ij} = \{x_{ij} | 1 \leq i \leq n, 1 \leq j \leq m\}$ 。

步骤3: 计算 X_{i0} 与 X_{ij} 的灰关联系数,灰关联系数是反映参考序列和比较序列之间的接近程度的度量,即待选方案集与理想方案之间的接近度:

$$\gamma(x_{i0}, x_{ij}) = \frac{\min_i \min_j |x_{i0} - x_{ij}| + \rho \max_i \max_j |x_{i0} - x_{ij}|}{|x_{i0} - x_{ij}| + \rho \max_i \max_j |x_{i0} - x_{ij}|} \quad (4)$$

$$\gamma(X_0, X_i) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \gamma(x_{i0}, x_{ij}) \quad (5)$$

公式(4)中分辨系数,通常取0.5; x_{i0} 是参考序列的第*i*个值; x_{ij} 是第*j*个比较序列的第*i*个值。

步骤4: 关联系数是离散的多个数值,不便于比较,对其求灰熵关联度,公式如下:

$$H(X_0, X_i) = - \sum \gamma(X_0, X_i) \ln \gamma(X_0, X_i) \quad (6)$$

步骤5: 根据熵增原理,灰熵关联度越大,比较序列与参考序列之间的关联度越大。对关联度按大小进行排序,最大的为决策最优。

4.2 A* 算法求解最短距离

最优目标车位确定后,使用A*算法来求解最短距离^[4],A*算法在搜索过程中加入状态空间本身已知的启发信息,通过定义合适的代价函数评估代价大小,以此动态调整搜索策略计算最佳解,其代价函数表示为:

$$f^*(V_d) = g(V_d) + h^*(V_d) \quad (7)$$

其中 V_d 表示待求解的目标节点, $g(V_d)$ 是从起点沿着已生成的路径到目标节点 V_d 的实际开销, 其值根据有向图中各弦选定的度量来决定, 本文基于步行出场距离、停车难度、停车安全度 3 个指标, $h^*(V_d)$ 是从起点到终点 V_d 的开销的估算值, 使用当前节点到 V_d 之间的曼哈顿距离表示, A^* 算法具体流程如图 3 所示。

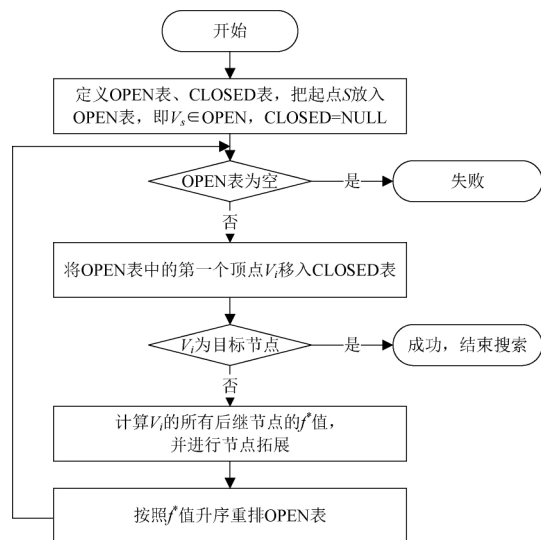


图 3 A^* 算法搜索过程
Fig.3 Search process of A^* algorithm

5 计算实例

为验证算法的正确性和有效性, 在 Visual C++ 6.0 环境下使用标准 C 语言进行仿真验证。以图 2 所示的停车场为例, 某时刻停车场内剩余 15 个空闲车位, 其余车位均已被占。车辆到达停车场的时间服从泊松分布, 共有 5 辆机动车待分配车位。

在建立最优路线规划模型之前, 应首先明确用户对目标车位进行取舍时的主要考虑因素。虽然在选取停车位时, 用户会因个人喜好而选择不同的车位, 但是通过大量的问卷调查发现, 从用户的角度出发, 更为关心的是步行出场距离 I_1 、停车难度 I_2 、停车安全度 I_3 这 3 个因素, 对于研究者普遍关注的场内行驶距离 I_4 , 用户并不特别在意。停车费用 I_5 在场内是统一的, 可不予考虑。

I_1 、 I_2 、 I_3 均为成本型指标, 其值越小, 越符合用户的期望, 越有利于用户。在一般情况下, I_1 、 I_3 性质是固定的, 在短时间内不会随时间而改变, 因此均可定量表示。由于停车场内不断有车辆驶入驶出, 某车位两侧的车辆占用情况也不断变换, 因此 I_2 是

时变的, 且为模糊的定性指标, 需要量化赋值确定。停车场内空闲车位属性如表 1 所示。

表 1 停车场内空闲车位属性

目标车位	步行出场距离	停车难度	停车安全度
P1	12	三级	8(入口)
P2	9	一级	8(拐角)
P3	10	一级	11(支路)
P4	9	二级	16(支路)
P5	11	二级	23(拐角)
P6	3	一级	17(支路)
P7	4	二级	22(支路)
P8	11	二级	8(拐角)
P9	4	三级	8(出口)
P10	10	三级	11(支路)
P11	1	三级	11(支路)
P12	14	三级	7(主路)
P13	12	二级	8(拐角)
P14	4	二级	6(支路)
P15	5	二级	11(支路)

对 I_1 、 I_2 、 I_3 3 个车位评价因素, 套用公式 (2) 进行归一化, 构造比较序列 X_{ij} 如下。

$$X_{ij} = \begin{cases} a = 0.15 & 0.38 & 0.30 & 0.38 & 0.23 & 0.85 & 0.77 \\ & 0.23 & 0.77 & 0.31 & 1.00 & 0.00 & 0.15 & 0.77 & 0.69 \\ b = 0.00 & 1.00 & 1.00 & 0.50 & 0.50 & 1.00 & 0.50 \\ & 0.50 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.50 & 0.50 & 0.50 \\ c = 0.88 & 0.88 & 0.71 & 0.41 & 0.00 & 0.35 & 0.06 \\ & 0.88 & 0.88 & 0.71 & 0.71 & 0.94 & 0.88 & 1.00 & 0.71 \end{cases}$$

确定各因素指标的理想值, 本文 3 项指标均为成本型指标, 理想值应越小越好。考虑到在数据归一化时进行了差值处理, 故代表理想方案的参考序列 X_{i0} 应为比较序列 X_{ij} 中各项的最大值:

$$X_{i0} = \begin{Bmatrix} x_{10} \\ x_{20} \\ x_{30} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \text{MAX}(x_{1j}) \\ \text{MAX}(x_{2j}) \\ \text{MAX}(x_{3j}) \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 1.00 \\ 1.00 \\ 1.00 \end{Bmatrix}$$

参照文中描述的算法及公式 (4) ~ (6), 可计算各目标车位与理想方案的灰熵关联度, 对结果数据进行降序排列如表 2 所示。

表 2 目标车位与理想方案的灰熵关联度

Table 2 Correlation of target parking space with the ideal scheme					
车位	关联度	车位	关联度	车位	关联度
P2	4.94	P9	4.00	P12	3.38
P6	4.87	P15	3.84	P1	3.29
P14	4.77	P8	3.71	P4	3.10
P3	4.49	P13	3.66	P10	3.02
P11	4.35	P7	3.38	P5	2.71

选取灰熵关联度高的前五个车位,使用 A* 算法规划停车、取车路径;并为验证本文方法的科学性,同文献[10]中介绍的方案进行对比,结果如表 3 所示。

表 3 停车引导路径

Table 3 Parking guidance route

	停车位	取车路径	步行出场距离	停车难度	停车安全度
本文方法	P2	L1-C3-C2-P2	9	一级	8(拐角)
	P6	L1-P6	3	一级	17(支路)
	P14	L2-C9-P14	4	二级	6(支路)
	P3	L1-C3-C2-P3	10	一级	11(支路)
	P11	L2-P11	1	三级	11(支路)
对比方法	P6	L1-P6	3	一级	17(支路)
	P11	L2-P11	1	三级	11(支路)
	P13	L2-C9-C8-P13	12	二级	8(拐角)
	P1	L1-C3-C2-P1	12	三级	8(入口)
	P5	L1-C4-P5	11	二级	23(拐角)

由表 3 可知,本文方法中五个推荐车位的平均出场距离为 5.4,远低于对比方案中的平均出场距离 7.8,说明用户在停车场内需要步行的距离较短;另外,本方案中的推荐车位多为一级停车难度,易于停车,停车安全度高,符合用户的期望。

6 结语

基于灰关联分析和启发式搜索的车位引导算法应用于停车引导系统中,在研究分析停车场内影响车位选择的因素基础上,充分考虑了用户的实际需求,结合步行出场距离、停车难度、停车安全度 3 项指标提出了最优泊位选择模型,对行车路线带权图进行最优车位寻找和路径引导。相比较于其他引导算法,减少发生车辆刮蹭事故,有助于停车引导系统为用户选择实时的最优车位。

参考文献:

- [1] 许志海,魏峰远.交通网络中最短路径算法分析与探讨[J].河南理工大学学报,2005,24(1):74-78.
- [2] CHEN M K, CHANG T H. A parking guidance and information system based on wireless sensor network [C]//International Conference on Information and Automation, 2011: 601-605.
- [3] 彭红星,解凤玲.改进 Dijkstra 算法在停车诱导系统中的应用与仿真[J].计算机应用,2011,31(2):63-66.
- [4] 张婷娟.基于 A* 算法的最短路径寻优数学方法研究[J].科技通报,2015,31(6):244-247.
- [5] 王辉,朱龙彪,王景良,等.基于 Dijkstra-蚁群算法的泊车系统路径规划研究[J].工程设计学报,2016,23(5):489-496.
- [6] 顾键萍,张明敏,王梅亮.基于改进遗传算法的路径选择算法及仿真实现[J].系统仿真学报,2016,28(8):1805-1811.
- [7] 赵戊辰.智能停车场泊位预测及诱导停车方法研究[D].哈尔滨:哈尔滨商业大学,2015.
- [8] 刘子文.改进的粒子群算法在停车场中的应用[D].湘潭:湘潭大学,2010.
- [9] 张玉杰,田硕.Dijkstra 优化算法在停车场车位引导系统中的应用[J].计算机测量与控制,2014,22(1):191-193.
- [10] 李伟,门佳,王伟.带约束条件的停车场启发式停车诱导算法[J].计算机测量与控制,2015,23(6):2064-2066.
- [11] 季彦婕,王炜,邓卫.停车场内部泊车行为特性分析及最优泊位选择模型[J].东南大学学报:自然科学版,2009,39(2):399-403.
- [12] 钱丽丽,刘思峰,谢乃明.基于熵权和区间灰数信息的灰色聚类模型[J].系统工程与电子技术,2016,38(2):352-356.
- [13] ZHANG Y R, ZHAO W C, LI H, et al. Parking lot optimal routing based on grey entropy relation grade multi-attribute decision making[J].International Journal of Smart Home, 2015, 9(2): 123-132.