

doi: 10.3969/j.issn.1674-8425(z).2021.02.004

本文引用格式: 周必扬, 常玉林, 孙超. 基于大型停车场停车冲突的路径优化研究[J]. 重庆理工大学学报(自然科学), 2021, 35(2): 26-33, 59.

Citation format: ZHOU Biyang, CHANG Yulin, SUN Chao. Research on Path Optimization Based on Parking Conflict in Large Parking Lot[J]. Journal of Chongqing University of Technology(Natural Science), 2021, 35(2): 26-33, 59.

基于大型停车场停车冲突的路径优化研究

周必扬¹, 常玉林^{1, 2}, 孙超¹

(1. 江苏大学 汽车与交通工程学院, 江苏 镇江 212013;

2. 东南大学 城市智能交通江苏省重点实验室, 南京 211189)

摘 要: 针对大型停车场停车效率低、在停车高峰时期容易出现停车拥堵, 对大型停车场的结构特点以及动态车流量进行分析, 在改进 Dijkstra 算法的基础上, 提出了一种考虑停车拥堵的 Dijkstra 算法, 并且在 Matlab 环境下进行了单车仿真, 进一步加入多车跟车模型进行优化, 模拟仿真分析大型停车场内多车停车。结果表明: 考虑停车拥堵的 Dijkstra 算法能够帮助驾驶员减少停车等待的时间, 优化后的 Dijkstra 算法能够提高汽车在停车场高峰停车时间的通行效率, 当汽车数量超过停车路径所能承受的最大数量时, 可以使汽车的停车时间较传统的改进 Dijkstra 算法平均减少 17%, 当汽车数量小于停车路径上最大承受的数量时, 能够使汽车避免停车等待, 提高大型停车场高峰时期的停车效率。

关 键 词: 停车引导; Dijkstra 算法; 停车拥堵优化; Matlab 仿真

中图分类号: U491

文献标识码: A

文章编号: 1674-8425(2021)02-0026-08

Research on Path Optimization Based on Parking Conflict in Large Parking Lot

ZHOU Biyang¹, CHANG Yulin^{1, 2}, SUN Chao¹

(1. School of Automotive and Traffic Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China;

2. Jiangsu Province Key Laboratory for Urban Intelligent Traffic of Southeast University,
Nanjing 211189, China)

Abstract: In view of the low parking efficiency of large parking lots and the situation that parking congestion is easy to occur in the parking peak period, the structure characteristics and dynamic traffic flow of large parking lot are analyzed. Based on the traditional Dijkstra algorithm, this paper proposes a new Dijkstra algorithm considering parking congestion. With the simulation of Matlab, the parking condition of bicycle is analyzed. Besides, the multi-car following model is added to optimize the

收稿日期: 2019-09-30

基金项目: 国家自然科学基金项目(71801115); 江苏省高校自然科学基金项目(13KJB580003); 江苏大学高级专业人才培养启动基金项目(12JG056)

作者简介: 周必扬, 男, 硕士, 主要从事停车规划、停车诱导研究, E-mail: 974093962@qq.com; 通讯作者 常玉林, 男, 博士, 教授, 主要从事交通运输系统规划与优化技术研究, E-mail: ylchang@ujs.edu.cn。

simulation analysis of multi-car parking in large parking lots depending on the parking model of the single vehicle. The simulation results indicate that the Dijkstra algorithm considering parking congestion can help drivers reduce the waiting time of parking. The optimized Dijkstra algorithm can improve the traffic efficiency in parking peak time. Furthermore, when the number of car exceeds the maximum number in parking paths, it can make the parking time decrease 17 percentage, better than the parking time under traditional Dijkstra algorithm. When the number of car is less than the maximum number in parking paths, it can eliminate the waiting time of parking, which can improve the parking efficiency in the large parking lots.

Key words: parking guidance; Dijkstra algorithm; optimization of parking congestion; MATLAB simulation

随着我国经济水平的发展,人们在大型商场的消费能力日益增长,加剧了商场停车的压力^[1],因此,大型商场停车路径诱导优化问题越来越受到关注。目前,停车场路径诱导的研究主要集中在车位剩余提醒以及停车场外部的路径诱导^[2],而停车场内部的路径诱导仅局限在标志牌的指示。因此,当遇到停车高峰期时,驾驶员往往只能靠盲目寻找,才能找到空车位,这不仅会导致汽车能源消耗的增加,而且会增加驾驶员的停车搜索时间。

在大型停车场的停车过程中,能够快速引导驾驶员找到合适的空余车位可以大大提高停车效率,缓解高峰时期停车场的拥堵程度^[3]。目前,停车诱导系统作为 ITS(智能交通系统)的重要组成部分,在欧美国家已经进行了大量的研究。Leep-hakpreeda^[4]提出了基于模糊策略的泊车引导策略,其可应用于室外大型停车场的泊车引导;Zonkoly 等^[5]对停车场诱导系统的开发进行了理论研究;Fabian^[6]对如何提升停车场内车位的利用率进行了研究。在国内,停车场诱导系统的研究和实现主要集中在停车信息的采集、停车信息的发布以及停车路径的规划这 3 个方面。在停车信息采集方面,都是考虑采用无线传输的方式,例如 wifi、蓝牙等传递车位信息^[7-9]。停车信息的发布,也就是告知驾驶员停车场内空余车位的情况,目前对于这方面的研究相对比较多,采用的是引导屏、广播、车载终端等。停车路径规划旨在引导驾驶员以较短的时间驶向空余车位,这已然成为当前的研究热点。张玉杰等^[10]研究了使用 Di-

jstra 优化算法,为驾驶员选择出最佳的停车车位,提高了停车场车位引导系统的智能化和人性化的程度^[10];郭海峰等^[11]在 Dijkstra 算法的基础上,研究了 A* 算法在停车场中的应用,以减少泊车用户盲目寻找车位所花费的时间,对大型停车场中的泊车路径规划有一定的参考价值。

上述研究虽然针对停车场内司机盲目寻找车位、停车耗时长等问题都有一定的优化,但都没有考虑到停车场停车冲突的问题,即前方车辆在停车时,可能会阻挡后车的通行。因此,针对上述问题,本文在 Dijkstra 算法的基础上,设计了一种考虑停车冲突的路径规划方法,以解决停车过程中后车因前车停车而产生冲突的问题,并通过 Matlab 进行仿真分析。

1 停车引导系统结构

人们在停车场的泊车过程可分为有引导过程的泊车和无引导过程的泊车。在无泊车引导的过程中,驾驶员通常会因盲目寻找车位或是找不到理想车位而耗费大量的时间,不仅会导致停车率低下,而且在高峰时段很有可能会导致停车拥堵。在有泊车引导的过程中,停车引导系统会通过算法,分配驾驶员目标车位所在的区域,通过车载语音提示指导驾驶员驶入目标车位^[12]。

由于传统的停车引导系统只是告知驾驶员目标区域有空车位,但是没有提示驾驶员该车位是否有其他车辆驶入,也不会告知驾驶员该区域是否有其他车辆正在停车^[13]。因此,当驾驶员根据停车引导的路线到达指定区域时,往往会出现以

下2种情况:①该区域有其他车辆在停车,驾驶员需等待其他车辆完成停车后再进行停车;②该区域的目标车位被其他车辆率先停入。遇到第1种情况,驾驶员需要等待前车完成停车后,再驶入目标车位;遇到第2种情况后,驾驶员只能重新寻找空闲车位。以上2种情况均会降低停车效率,影响驾驶员停车时的体验性。因此,本文在传统的停车诱导系统上,增加了停车冲突模型,具体的停车引导流程如图1所示。

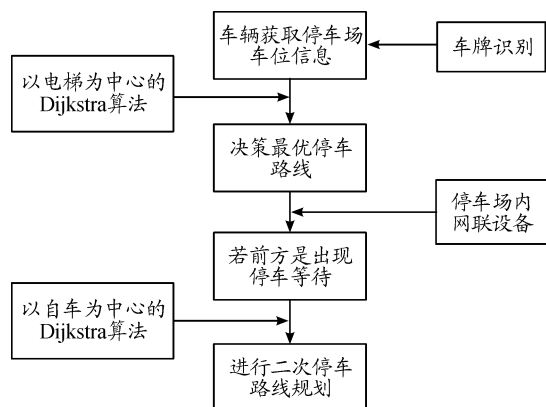


图1 路径规划诱导流程框图

当汽车进入停车场前,通常会进行车牌识别,这个过程是一个信息交互的过程。停车引导系统会根据停车场内空闲车位的情况,以距离电梯为最近的原则,采用Dijkstra算法,找到空闲车位,在进行车牌识别的过程中将车位信息以及停车场的布置信息传递到车上^[14],然后汽车根据接收到的信息,进行语音提示路线。由于停车场内只涉及车与车位,可以认为是车-路-车的协同方式,通过V2X的路载设备和汽车进行通信^[15]。假若出现跟车情况,后车因前车停车而等待时,且目标车位未被其他车辆占用时,后车上的停车引导系统会提前预测这个情况,以自车为中心,利用Dijkstra算法重新规划到目标车位的最短路线,并且同时计算等待时间和重新规划路程所需的时间,假若等待的时间大于行车的时间,则按照新路线至目标车位;若等待的时间小于行车时间,则等待前方车辆完成停车后再驶入目标车位。假若后车的目标车位被其他车辆领先占有时,停车场中的路端设备

会将信息传递到后车上,后车仍然以自车为中心,采用Dijkstra算法寻找距离最短的空闲车位。

2 停车场模型构造

大型停车场内进行停车引导,必须包含3个部分,即用户层、应用层以及感知层,如图2所示。感知层是停车场内用于感知汽车停车状况的,例如是否在停车,主要包含有红外传感器和WiFi模块等。应用层用于接收感知层的停车信息,分析停车场内的停车状况,判断有多少空闲车位,并将这些信息反馈给车辆,同时在车辆通过停车场入口时,利用Dijkstra算法决策出最短停车路径,传递给车辆。用户层就是车载应用,通过蓝牙、车载WiFi^[16]接收应用层的车位信息,根据停车引导系统进行停车,同时将自身的停车情况提供给感知层的设备。



图2 停车场功能示意图

为了方便研究本文所提出的考虑停车冲突的Dijkstra优化算法,将停车场的内部结构简化为图3所示。图中 $P_i(i=1,2,\dots,15)$ 表示空闲车位,①至⑨是用于安装路载设备的地方,位于停车场内的岔路口,检测不同区域内的停车状况。根据通车场内的交通流线,A、B、C、D、E、F表示停车的6个区域。按照停车场的一般设计,定义场内车位的宽为2.5 m,长5 m,道路的宽为5 m^[17]。为了便于具体分析考虑停车冲突模型在路径引导中的应用,将图3中的入口、出口、电梯以及停车位简化为节点,图3所示的停车场结构示意图可转化为有向带权图,如图4所示。

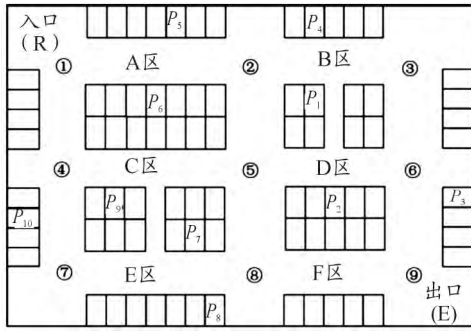


图3 停车场结构模型示意图

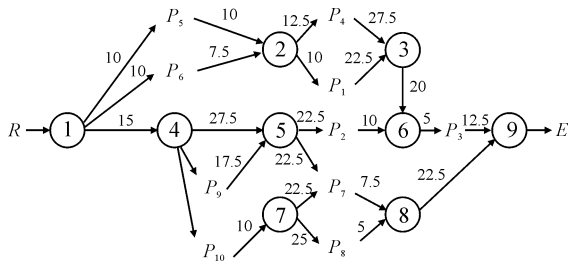


图4 有向带权图

①至⑨在带权图中可以看作是到达空闲车位所需经过的节点,在带权图中只记录车位与车位之间的距离,通过带权图可以直观地体现各个空闲车位之间的距离以及停车路线。在运用 Dijkstra 算法进行停车路径搜索时,通常会将会车到人行出口的距离、入口到车位的行驶距离以及车位的安全性作为算法的主要依据,即道路权重因素^[18]。本文的停车引导优化目标是减少停车时的等待时间,因此可以将路程段的平均时间作为辅助道路权重,以路程的距离作为算法的主运算道路权重。

3 基于冲突模型的 Dijkstra 算法

3.1 Dijkstra 算法介绍

Dijkstra 算法是目前停车路径优化中常用的算法之一,其工作原理是,从起始节点开始,依次搜寻其他最靠近的节点,并采用迭代检查的方式找到至目标节点最优的路径^[19]。同时 Dijkstra 算法无法在考虑“车流量”的情况下,确定最优的停车位置,也就是在动态情况下,当汽车经过停车场入口后,仅凭 Dijkstra 算法无法确定是否有其他车

辆停入了目标车位,因此需要配合停车场的路权设备,定点更新停车场的停车信息,并且使 Dijkstra 算法具有实时性,能够弥补其缺乏动态搜索的功能,给驾驶员提供更加合理的停车路径。

3.2 考虑停车冲突的 Dijkstra 算法模型优化和实现

根据图4所示的带权图,采用 Dijkstra 算法时,其搜索范围内空闲车位 P_i 距电梯的距离为 $Dis(R, i_r)$, R 车辆从入口至目标车位最短距离的集合 $d_R(i)$ 表示其权值; $Dis(s, i_s)$ 表示行人从目标车位走至电梯的距离, s 为行人从车位走至电梯的最短距离的集合 $d_s(i)$ 表示权值^[20]; η_i 表示目标停车区域产生停车冲突的权重。考虑到驾驶员在停车时,通常希望能够选择靠近电梯的车位。因此,基于距离电梯最近原则,定义最终权值 γ 为最佳车位的最佳选择:

$$\gamma = \max [\eta_i * (\alpha * d_R(i) + (1 - \alpha) * d_s(i))] \quad (1)$$

式中: α 表示目标车位的地理位置权重,为固定值。若目标车位在电梯附近,则 α 为 0.75,若不在电梯附近,则 α 为 0.25, γ 值越大表示车位的匹配程度就越高。定义矩阵 $d_R(i, j)$ 表示计算 R 时,以空闲车位为节点的邻接矩阵, d_R 中的元素 i, j 分别表示各相邻节点 (P_i, P_j) 间的权重值; 矩阵 $d_s(i, j)$ 表示计算 S 时,以空闲车位为节点的邻接矩阵, d_s 中的元素 i, j 分别表示各相邻节点 (P_i, P_j) 间的权重值,若 P_i, P_j 不相邻,则矩阵中的元素置为 ∞ 。定义搜索区域为图5所示的①②④⑤、②③⑤⑥、④⑤⑦⑧以及⑤⑥⑧⑨这4个矩形区域,为了确保第一次搜索能够覆盖相对应的矩形区域,定义首次搜索以搜索中心所在的矩形区域的对角线的 $1/2$ 所搜半径进行,具体的算法步骤如下^[21]:

步骤1 以电梯为中心、电梯所在矩形区域的对角线的 $1/2$ 为半径进行搜索,若无空闲车位,则搜索半径每次增加 20 m,直至找到为止。将所有搜索到的空闲车位集合记为 P ,每个空车位记为 P_i ,其中 $i \in [0, n-1]$, n 为搜索到的空闲车位的

节点数;

步骤2 初始化最短路径集合 R 以及对应的最短路径权值 $d_R(i)$, 即 $R = \{R\}$ 、 $d_R(i) = d_R(0, i)$, 其中 $i \in [0, n-1]$;

步骤3 选取 P_k , 使 $P_k = \{\min d_R(i) | P - R\}$, 所得的 P_k 就是当前求得的一条从 R 出发的最短路径终点, 将 P_k 加入到集合 R 中, 即 $R = \{R, P_k\}$;

步骤4 更新从 R 到 P_k 的最短路径权值, 令 $d_R(i) = \min\{d(k), d_S(i, k)\}$;

步骤5 重复步骤3和步骤4, 直至空闲车位集合 P 的节点全部包含在集合 R 中。

步骤6 初始化最短路径集合 S 以及对应的最短路径权值 $d_S(i)$, 即 $S = \{S\}$ 、 $d_S(i) = d_S(0, i)$, 其中 $i \in [0, n-1]$;

步骤7 以步骤2至步骤5的方法, 将空闲车位集合 P 的节点全部包含在集合 S 中;

步骤8 根据式(1), 计算筛选出集合 P 中的所有空闲车位的最终权值, 数值最大的则为最优泊位 P_{best} , 相应的 $d_{\text{best}}(i)$ 所对应的路径即为从入口到最优泊位 P_{best} 的最短路径。

步骤1至步骤8解决的是单车情况下的停车工况, 在节假日等停车高峰时段, 上述 Dijkstra 算法已经不能够满足停车场内的动态路径引导。因此, 本文在 Dijkstra 算法的基础上, 提出了考虑停车冲突的动态停车路径引导算法。

当考虑停车场内的动态交通流, 同一停车区域有2个空闲车位时, 规定停车场内汽车平均以 $V_j = 15 \text{ km/h}$ 的车速行进, 停车时的平均车速为 5 km/h , 车辆到达目标车位停车所需的时间平均为 20 s , 当停车完成至 $3/4$ 时, 后车便可通过^[22], 后车在给定的泊位 P_{best} 的最短路径上行驶, 相应的算法如下所示:

步骤1 计算前车从停车区域的分岔口到目标车位的时间 $T_f = L_{\text{best}}/V_f$, 其中 L_{best} 为最优泊位 P_{best} 到区域分岔口的距离;

步骤2 计算后车到达区域分岔口的时间 $T_b = S_{\text{best}}/V_f$, 其中 S_{best} 为后车根据上述步骤1至步骤8得到的最优泊位至入口的距离;

步骤3 计算后车经过前车目标车位所需的

停车等待时间 $\Delta T = \frac{S_{\text{best}} - H_{\text{best}}}{V_f}$, 其中 H_{best} 为前车未到达目标停车区域前的行驶距离, 且 $H_{\text{best}} = V_j^* t_f$, t_f 为前车进入停车场的时间;

步骤4 判断时间差 ΔT 是否大于 20; 若大于 20, 则以自车作为起始节点, 代替步骤1中的入口节点, 以 20 m 为起始半径, 逐次增加 20 m, 按照步骤1至步骤8搜索出最优泊位 P_{sec} 和 $d_{\text{sec}}(i)$ 对应的最短路径;

步骤5 计算步骤4中到达目标车位所花的时间 $T_a = \frac{d_{\text{sec}}(i)}{V_f}$;

步骤6 判断 T_a 与 ΔT 的大小, 若 T_a 大, 则后车不改变原有的停车路径, 等待前车停车, 然后再驶向目标车位; 若 T_a 小, 则按照步骤4, 后车重新规划停车路径, 以避免停车等待的时间。

4 仿真结果与优化

4.1 单车仿真结果

按照上述优化算法的思路, 以 Matlab 为工具, 对本文中提出的基于停车冲突的引导系统的最佳泊位进行选取。以图3作为某一时刻停车场空闲泊位的分布图。系统对剩余的10个空闲车位信息进行存储, 对它们之间的路径关系进行存储, 结合本文提出的优化算法, 在停车场后车对前车进行跟车的情况进行仿真, 假定从后车经过入口算起, 当前车经过分岔口④时, 后车与前车距离为 10 m, 其仿真结果示意图如图5所示。

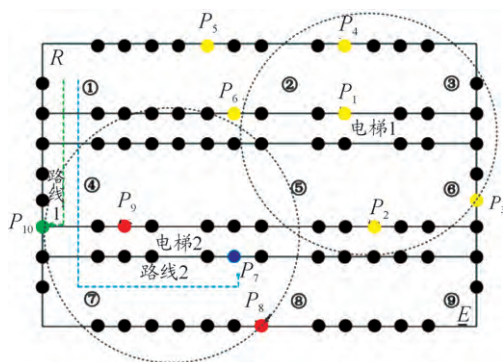


图5 仿真结果示意图

对2个电梯进行随机选择,以电梯2作为前车的搜索中心。根据改进的Dijkstra算法,将前车的目标车位限定在圆形内,并且计算出的最优路径为路线1,目标车位为 $P_8P_1P_2P_3$;当后车经过入口 R 时,计算出 P_6 的最优路径为路线2,目标车位为 P_7 。Dijkstra算法搜索范围内的目标车位及停车信息如表1所示,前车与后车的停车路线信息为:前车目标车位 P_{10} ,前车停车时间23.4 s;后车目标车位 P_7 ,后车等待时间17.6 s,后车停车时间41 s。

表1 停车时间及路径信息

目标车位	停车路径	停车路径长度/m	行进时间/s	停车时间/s
P_{10}	①→④→ P_{10}	35	8.4	23.4
P_9	①→④→ P_9	35	8.4	23.4
P_7	①→④→⑦→ P_7	60.5	16.2	31.2
P_8	①→④→ P_{10} → ⑦→ P_8	70	16.8	31.8
P_4	①→②→ P_4	32.5	7.8	22.8
P_1	①→②→ P_1	30	7.2	22.2
P_2	①→④→⑤→ P_2	65	15.6	30.6
P_3	①→②→③→ ⑥→ P_3	105	25.2	40.2

从表1中可以看出,目标车位为 P_{10} 和 P_7 ,停车时间相同。而考虑跟车情况下的停车工况,后车等待前车停车的时间,占了停车总时间的38%,停车耗费的时间过多,并且在节假日还会造成停车拥堵。因此,当遇到前车停车导致后车等待时,通过本文中提出的算法,得到后车路径的优化,如图6所示,优化后后车的停车数据如表2所示。

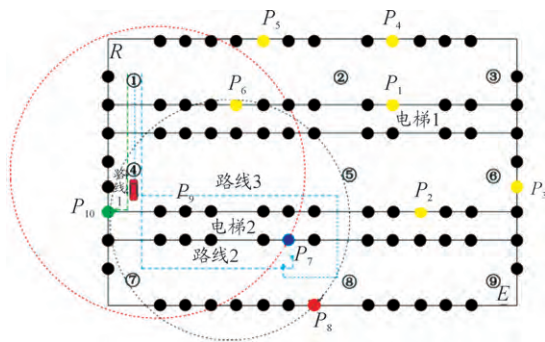


图6 优化后停车路线示意图

表2 优化后后车停车数据

目标车位	停车路径	停车路径长度/m	停车时间/s
P_7	①→④→⑤→⑧→ P_7	62.5	26.4
P_6	①→④→⑤→②→ P_6	67.5	27.6

从图6中可以看出,以后车为中心的Dijkstra算法能够准确地找出目标车位,在其搜索范围内,找到2条路径能够避免停车等待,并且仍旧遵循靠近电梯的原则选择车位。从表2中可以看出,优化后的停车时间缩短,就目标车位 P_7 来说,优化后的停车路径为线路3,算上后车经过入口的距离,虽然行驶的路径要比原先路线2长,但是停车时间要远比原先路线2的时间短,能够大大减少驾驶员的停车时间,从而提高停车效率。

本文中所提出的基于停车冲突模型的Dijkstra算法是建立在停车场内的跟车工况下的,因此跟车距离的大小,能够很大程度上影响后车停车效率。根据第三部分提出的算法,可知后车的等待时间为:

$$\Delta T_h = 20 - \frac{x}{4.17} \quad (2)$$

式(2)表示的是后车等待前车停车的时间,其中 x 为前车到达分岔口时,后车与前车的车距。从式(2)可以看出,后车的等待时间与车距成反比,当前后两车相距62.6 m时,后车不需要等待。因此当上述算法中 $S_{\text{best}} - H_{\text{best}} < 62.6$ 时,需要进行步骤1至步骤7,为后车重新制定停车路径。在实际的停车场内,通常是多车跟车的停车工况,因此还需要将仿真做进一步优化。

4.2 多车仿真结构

在考虑多车跟车的停车工况时,在步骤1至步骤7中导入跟车距离^[23]:

$$S_i = \int_0^{T_i} \frac{t_n}{t_i^* v_j} \left(\frac{x_n(t)}{t_n} - \frac{x_{n-1}(t)}{t_{(n-1)}} \right) \quad (3)$$

式中: S_i 表示前车和后车之间的跟车距离; t_i 为后车遇到停车干扰时所用时间; t_n 表示后车在无前车停车的干扰下,停入目标车位所需的时间; $t_{(n-1)}$ 表示前车在无其他车辆的干扰下,停入目标

车位所需的时间; $x_n(t)$ 表示后车到目标车位的路径长度; $x_{n-1}(t)$ 表示前车到目标车位的路径长度。

假定图 5 所示的停车场在区域①②④⑤⑦⑧内有 15 个空闲车位,且含有多辆车进行停车。多车仿真是为了检验本文提出的模型在提高停车效率中的合理性,考虑到在停车场的实际交通流中,车与车之间存在的交互情况会对停车时间造成影响,本文在加入跟车模型之后,需要计算前方有车正在停车而造成仿真过程中后车等待的时间。因此,加入跟车模型之后的停车时间由等待时间以及停车行驶时间两部分组成。在上述的算法中加入跟车模型后,在 Matlab 中将采用本优化算法和采用优化算法这 2 种情况下的停车时间、停车数量以及停车等待时间进行比较,设置 5 条停车路径,停车区域内包含 10 辆车,在进行停车或是正在行驶中,基于上述的步骤 1 至步骤 6,具体仿真结果如图 7 和图 8 所示。

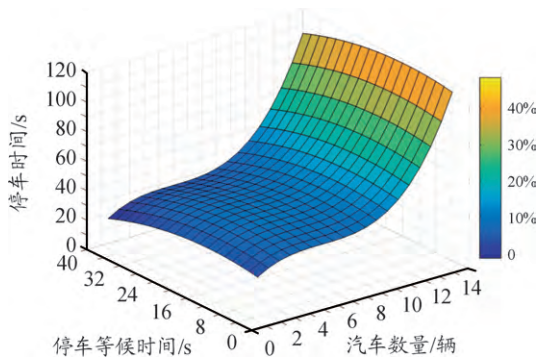


图 7 优化前停车时间、停车数量以及
停车等待时间关系

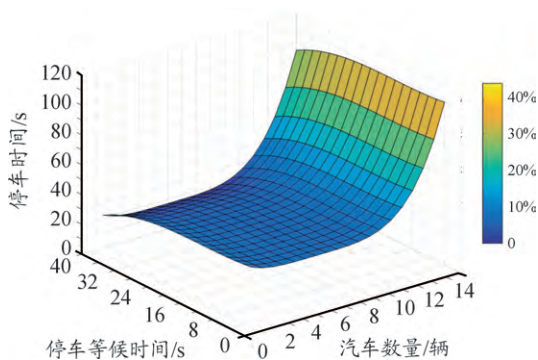


图 8 优化后停车时间、停车数量以及
停车等待时间关系

从图 7 中可以看出,当本车的目标停车路径上有其他车辆正在进行停车,本车选择等待,花费的停车时间最高可达 118 s,其停车等待的时间为 46 s,占总时间的 39%,其停车通畅率最高只有 61%。而从图 8 中可以看出,加入本文提出的算法之后,本车停车时间最高为 108 s,对应的停车等待时间为 18 s,占总时间的 16%,显然采用优化算法后的总的停车时间减少了 8%。

根据图 7 及图 8,结合 Matlab 仿真,将优化前与优化后的停车路径长度进行比较,如表 3 所示。

表 3 停车路径及时间

	前车数量/辆	停车路径长度/m	停车时间/s	等待时间/s	行车通畅率/%
优化前	15	375.24	112	32	71
	14	308.58	98	28	71
	13	225.18	79	25	68
	12	170.97	65	24	63
	11	168.78	55	15	73
	10	154.29	48	11	77
	9	150.12	45	9	80
	8	145.95	35	0	100
	7	145.95	35	0	100
	6	145.95	35	0	100
优化后	15	358.62	104	18	83
	14	300.24	86	14	84
	13	250.20	72	12	84
	12	216.84	60	8	87
	11	162.63	45	6	87
	10	158.46	40	2	95
	9	145.95	35	0	100
	8	145.95	35	0	100
	7	145.95	35	0	100
	6	145.95	35	0	100

从表 3 中可以看出,优化前在给定的车辆数中,停车路径上的行车通畅率平均在 71.8% 左右,驾驶员在停车的过程中,将近有 30% 的时间花费在停车等待中。而优化后在给定的车辆数中,平均通畅率为 88.6% 左右,相比于优化前,停车等待的时间减少了 17%,优化率幅度 60.7%。从表 3 中还可以得知,当停车路径上的车辆数少于 9 辆时,经优化后的汽车可以完全避免停车等待,当停车路径上的汽车大于 9 辆时,超过了停车路径所能承受的最大车辆数,即便经过优化后也不能完全避免停车等待,但是能够减少停车等待的时间,

这对于停车场来说,能够缓解高峰时间的停车拥堵。因此,当停车路径上的车辆数小于最大车辆负荷数时,本文提出的动态 Dijkstra 算法能够避免停车等待的时间。

5 结论

通过分析大型停车场结构特点以及场内跟车状况,把大型停车场简化为有方向的带权图,在考虑后车进行跟车的基础上会出现等待前车停车的状况,在改进 Dijkstra 算法的基础上,考虑了动态的停车工况,当后车出现停车冲突,需要进行停车等待时,以后车自身为中心进行车位搜索,从而达到实时改变停车路径,以便驾驶员绕过停车拥堵的路段,避免停车等待。通过在 Matlab 中的仿真结果分析,考虑停车拥堵的 Dijkstra 算法实现了“空间换时间的功能”,增加停车路径的长度以避免停车等待的状况;当停车场内停车路径上的汽车数量未达到最大限制时,能够完全避免停车等待;当汽车数量超过最大限制时,可以减少停车等待的时间。这对提高大型停车场的车辆通行效率有参考价值,尤其是节假日时期,可减少因停车数量多导致停车等待产生的停车拥堵的问题,对提高大型停车场内的行车通畅率有重要意义。

本文中提出的停车冲突模型只是考虑了停车场一个入口和一个出口的情况,在实际的停车场中,往往包含有多个入口及出口。因此,未来的研究内容可以在多个出入口的基础上,对动态停车模型做进一步的研究。

参考文献:

- [1] 汪卓然,石伟华,殷月园,等. 中国汽车保有量增长大环境下停车场的现状与创新[J]. 产业与科技论坛, 2017, 16(11): 94-95.
- [2] WU X, BALKUMAR K, QI L, et al. An evaluation of information sharing parking guidance policies using a bayesian approach[J]. Social Science Electronic Publishing 2017. DOI: 10.2139/ssrn.2869942.
- [3] KOTB A O, SHEN Y C, ZHU X, et al. IParker-A new

- smart car-parking system based on dynamic resource allocation and pricing[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems 2016, 17(9): 1-11.
- [4] LEEPHAKPREEDA T. Car-parking guidance with fuzzy knowledge-based decision making[J]. Building and Environment 2007, 42(2): 803-809.
- [5] EL-ZONKOLY A, LEANDRO D S C. Optimal allocation, sizing of PHEV parking lots in distribution system[J]. International Journal of Electrical Power & Energy Systems 2015, 67: 472-477.
- [6] FABIAN T. A vision-based algorithm for parking lot utilization evaluation using conditional random fields[M]. Lecture Notes in Computer Science 2013.
- [7] 韩淑芳,于宏彪,王佳美. 基于车联网技术停车场管理系统的应用[J]. 交通科技 2013(2): 158-161.
- [8] 孙昊,陈永锐,许旭柱,等. 基于无线传感器网络的地下停车场诱导信息系统[J]. 中国科学院大学学报, 2013, 30(5): 664-670.
- [9] 齐保良,赵飞,孙敏. 基于蓝牙通信的停车场诱导泊车系统[J]. 计算机工程与设计 2017, 38(2): 557-561.
- [10] 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(1): 191-193.
- [11] 郭海锋,晁会勇,徐东伟. 基于 A* 优化算法的停车场动态泊车研究[J]. 计算机测量与控制 2018, 26(7): 234-237, 314.
- [12] 钟慧玲,徐建闽,屠宇. 基于专用短程通信的停车引导和信息系统[J]. 长安大学学报(自然科学版) 2004, 24(2): 66-69.
- [13] 杨祥宇,张二四,陈邴,等. 智能停车位引导系统研究[J]. 南方农机 2019, 50(12): 151.
- [14] SHIN J H, JUN H B, KIM J G. Dynamic control of intelligent parking guidance using neural network predictive control[J]. Computers & Industrial Engineering 2018, 120: 15-30.
- [15] NARANJO J E, JIMÉNEZ F, ANAYA J J, et al. Application of vehicle to another entity (V2X) Communications for motorcycle crash avoidance[Z]. Journal of Intelligent Transportation Systems 2016.
- [16] 高玉玲,刘诗涵. 基于无线通信的停车场引导系统设计[J]. 中国科技信息 2018, 586(14): 66-67, 69.

(下转第 59 页)

- [7] GIERAS J F, WANG R, KAMPER M J et al. Principles of AFPM Machines [M]. Netherlands: Springer 2008.
- [8] 唐任远. 现代永磁电机理论与设计 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1997.
- [9] 肖开鑫. 轮毂多盘式无铁心永磁同步电动机的设计与分析 [D]. 天津: 天津大学 2009.
- [10] 陈益广. 永磁同步电机分数槽集中绕组的槽极数配合及磁动势 [C]//第十一届全国永磁电机学术交流会论文集. 沈阳: 中国电工技术学会 2011.
- [11] 谭建成. 三相无刷直流电动机分数槽集中绕组槽极数组合规律研究(连载之一) [J]. 微电机 2007(12): 72-77.
- [12] KAMPER M J, WANG R, ROSSOUW F G. Analysis and performance of axial flux permanent-magnet machine with air-cored nonoverlapping concentrated stator windings [J]. IEEE Transactions on Industry Applications 2008, 44(5): 1495-1504.
- [13] KAMPER M J, WANG R J, ROSSOUW F G. Analysis and performance evaluation of axial flux air-cored stator permanent magnet machine with concentrated coils [C]//IEEE International Electric Machines & Drives Conference. USA: IEEE 2007: 13-20.
- [14] BUMBY J R, MARTIN R. Axial-flux permanent-magnet air-cored generator for small-scale wind turbines [J]. IEEE Proceedings-Electric Power Applications 2005, 152(5): 1065.
- [15] PARVIAINEN A, PYRHONEN J, KONTKANEN P. Axial flux permanent magnet generator with concentrated winding for small wind power applications [C]//IEEE International Conference on Electric Machines & Drives. USA: IEEE 2005: 1187-1191.
- [16] 王芳媛. 无铁心盘式永磁同步发电机建模与有限元仿真 [J]. 海峡科技与产业 2018(21): 60-62.
- [17] GIERAS J F, GIERAS I A. Performance analysis of a coreless permanent magnet brushless motor [C]//2002 IEEE Industry Applications Conference. USA: IEEE 2002.
- [18] 曹永娟, 黄允凯, 金龙. 轴向磁场无铁心永磁无刷直流电动机设计 [J]. 东南大学学报(自然科学版) 2013, 43(2): 317-321.
- [19] GIERAS J F, KAMPER M J, WANG R. Axial flux permanent magnet brushless machines [M]. Dordrecht: Springer Netherlands 2008.
- [20] 上官璇峰, 王亚辰. 两种类型盘式永磁同步发电机设计与比较分析 [J]. 电子测量技术 2017, 40(10): 80-85.
- [21] 夏冰. 小型垂直轴风力发电盘式永磁电机的研究 [D]. 杭州: 浙江大学 2011.
- [22] 刘福贵, 张建宇, 赵志刚, 等. 盘式永磁同步电机永磁体涡流损耗研究 [J]. 电机与控制应用 2017, 44(7): 13-19.

(责任编辑 杨黎丽)

(上接第 33 页)

- [17] 公伟涛, 赵飞. 基于最优路径的诱导泊车系统 [J]. 智能建筑 2017(3): 61-64.
- [18] CIESIELSKI K C, FALCÃO A X, MIRANDA P A V. Path-value functions for which dijkstra's algorithm returns optimal mapping [J]. Journal of Mathematical Imaging & Vision 2018(1): 1-12.
- [19] JIANG Y, HONGWEI Y E, ZHANG Q et al. Implementation of distributed power routing strategy based on dijkstra algorithm in energy internet [J]. Power System Technology 2017.
- [20] 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.
- [21] 程小凤. Dijkstra 改进算法在停车场内部路径引导中的应用 [J]. 交通科技与经济 2016, 38(5): 26-29.
- [22] CHEN J, WANG W, MEI Z Y. The analysis on speed of mixed traffic flow with the curb parking lots [J]. Communication & Transportation Systems Engineering & Information 2005, 5(5): 34-36.
- [23] DING D D, SUN L, CHEN S. A car-following model coupling machine learning and dynamic [J]. Journal of Transportation Systems Engineering & Information Technology 2017. DOI: 10.16097/j.cnki.1009-6744.2017.06.006.

(责任编辑 林 芳)