

分类号：

单位代码： 10140

密 级： 公开

学 号： 4031942195

遼寧大學

# 专 业 学 位 论 文

中文题目： 基于改进的 A\*算法和蚁群算法  
在停车位引导系统中的研究与应用

英文题目： Research and Application of Improved  
A\* Algorithm and Ant Colony Algorithm  
in Parking Space Guidance System

论文作者： 宋春丽

指导教师： 任秀丽 教授

专 业： 软件工程

完成时间： 二〇二二年五月

辽宁大学硕士专业学位论文

基于改进的 A\*算法和蚁群算法在停车位引导系统中的研究与应用

Research and Application of Improved  
A\* Algorithm and Ant Colony Algorithm  
in Parking Space Guidance System

作 者:	宋春丽
指导教师:	任秀丽 教授
专 业:	软件工程
专业方向:	路径规划
答辩日期:	2022 年 5 月 17 日

二〇二二年五月·中国辽宁



## 摘 要

近几年来,随着我国经济水平的迅猛提升,大中小城市的私家车数量变得越来越多。车位难寻、道路拥堵成为了当今社会的一个主要问题。虽然政府有关车辆管理部门已经在重视这个问题,在大型停车场规范和治理道路方面提出了很多实际方案,但是仍然存在停车信息获取不及时,空余车位短缺的问题,导致司机在寻找停车位时会浪费很多时间。将本文改进的路径优化算法应用在停车位引导系统中,可以有效缓解这一问题。主要研究内容如下:

首先,本文阐述了选用物联网技术建立停车位引导系统的深远意义,简单的介绍了物联网的基本知识和相关的路径规划算法。

其次,本文在多种智能优化算法中选择蚁群算法作为最优停车位的解决办法,关键在于该算法的灵巧性。针对系统中停车位引导模块的设计,本文提出了改进的 A\*算法和蚁群算法结合的方法求解最优停车位。由于蚁群算法在运行的前期收敛速度比较慢,本文采用改进的 A\*算法配置蚁群算法的初始信息素来提高收敛速度。考虑到在实际的最优停车位选择过程中会受到很多因素的影响。本文通过分析在停车距离一定的前提下影响停车时间的因素,把信息素更新的参考量由停车距离转换为停车时间,构建空余车位最短停车路径及最短时间矩阵。综合考虑了车型尺寸、停车路径距离、停车位的类型和停车位的方位等因素作为改进蚁群算法信息素的更新方式,使其不仅体现停车的距离关系,而且具有方向性的引导。该算法在收敛速度上有了一定的提升,同时也起到了避免局部最优的效果。

最后,将本文提出的改进的 A\*算法和蚁群算法应用于停车位引导系统中,按照系统的需求,设计了该系统所应用的关联数据表结构并实现了停车位引导系统。利用 Java 和 Matlab 程序语言开发了停车位引导系统,并测试了系统各项功能的实现,验证了本论文研究成果在系统中实施的可行性。

**关键词:** A\*算法, 停车位引导, 蚁群算法, 最优车位

## ABSTRACT

In recent years, with the rapid improvement of China's economic level, the number of private cars in large and medium-sized cities has become more and more. It is difficult to find parking space and road congestion has become a major problem in today's society. Although the relevant vehicle management departments of the government have attached importance to this problem and put forward many practical schemes in the standardization and road governance of large parking lots, there are still problems such as the lack of timely access to parking information and the shortage of free parking Spaces, which result in drivers wasting a lot of time looking for parking Spaces. This problem can be effectively alleviated by applying the improved path optimization algorithm in parking space guidance system. The main research contents are as follows:

First of all, this paper expounds the far-reaching significance of using Internet of Things technology to establish parking space guidance system, and briefly introduces the basic knowledge of Internet of Things and related path planning algorithm.

Secondly, ant colony algorithm is selected as the solution of optimal parking space among many intelligent optimization algorithms in this paper, the key lies in the dexterity of this algorithm. Aiming at the design of parking space guidance module in the system, this paper proposes A method combining improved A\* algorithm and ant colony algorithm to solve the optimal parking space. Because the convergence speed of ant colony algorithm is slow in the early stage of operation, this paper uses the improved A\* algorithm to configure the initial pheromone of ant colony algorithm to improve the convergence speed. In consideration of the actual optimal parking space selection process will be affected by many factors. In this paper, by analyzing the factors affecting the parking time under the premise of a certain parking distance, the reference value of pheromone update is converted from parking distance to parking time, and the matrix of the shortest parking path and the

## ABSTRACT

---

shortest time for the vacant parking space is constructed. The model size, parking path distance, type of parking space and orientation of parking space are considered comprehensively as the updated pheromone of the improved ANT colony algorithm, so that it not only reflects the distance relationship of parking space, but also has directional guidance. This algorithm can improve the convergence speed and avoid local optimum.

Finally, the improved A\* algorithm and Ant colony algorithm proposed in this paper are applied to the parking space guidance system. According to the requirements of the system, the associated data table structure applied by the system is designed and the parking space guidance system is implemented. The parking space guidance system is developed by using Java and Matlab programming language, and the realization of various functions of the system is tested, which verifies the feasibility of the research results of this paper in the system.

**Keywords:** A\* algorithm, parking space guidance, Ant colony algorithm, optimal parking space selection

## 目 录

第 1 章 绪论 .....	1
1.1 论文的研究背景.....	1
1.2 论文研究目的及意义.....	2
1.3 国内外研究现状.....	3
1.3.1 国外研究现状 .....	3
1.3.2 国内研究现状 .....	4
1.4 论文的主要工作.....	5
1.5 论文的组织结构.....	6
第 2 章 相关技术及理论 .....	8
2.1 物联网的概述.....	8
2.1.1 物联网的体系结构 .....	8
2.1.2 物联网的特点 .....	9
2.1.3 物联网的关键技术 .....	9
2.2 最优停车位引导系统概述.....	10
2.2.1 停车位引导系统的发展前景 .....	10
2.2.2 物联网环境下停车引导的基本原理 .....	11
2.3 路径规划的研究现状及典型算法.....	11
2.3.1 A*算法基本原理 .....	12
2.3.2 Dijkstra 算法基本原理 .....	12
2.3.3 蚁群算法基本原理 .....	14
2.4 本章小结.....	16
第 3 章 停车位引导系统方案分析与详细设计 .....	17
3.1 停车位引导系统需求分析.....	17
3.1.1 功能性需求 .....	17

3.1.2 应用需求 .....	18
3.2 停车位引导系统设计要求.....	18
3.3 系统总体架构.....	19
3.4 停车位引导系统功能模块设计.....	21
3.5 数据存储设计.....	27
3.5.1 系统 E-R 图设计 .....	27
3.5.2 数据库表设计 .....	27
3.6 本章小结.....	30
第 4 章 基于改进的 A*算法和蚁群算法最优停车位的路径规划 .....	31
4.1 改进的 A*与蚁群算法概述.....	31
4.1.1 改进 A*算法启发函数 .....	31
4.1.2 改进蚁群算法信息素更新方式 .....	32
4.1.3 节点方向性信息素的设置 .....	35
4.1.4 A*蚁群算法确定最优车位路径 .....	36
4.1.5 蚁群算法概率函数的改进 .....	38
4.2 停车位路径引导.....	39
4.2.1 场内停车流程 .....	39
4.2.2 最优停车位影响因素 .....	40
4.2.3 停车场内最优车位路径优化 .....	41
4.3 实验仿真与结果分析.....	43
4.4 本章小结.....	49
第 5 章 停车位引导系统实现与测试 .....	50
5.1 系统开发环境介绍.....	50
5.2 停车位引导系统功能实现.....	51
5.2.1 用户管理模块功能实现 .....	51
5.2.2 停车场管理功能实现 .....	51
5.2.3 停车引导管理功能实现 .....	53



## 目录

---

5.2.4 财务管理模块功能实现 .....	56
5.3 停车位引导系统功能测试.....	57
5.3.1 监测模块数据通信测试 .....	57
5.3.2 系统整体功能测试 .....	59
5.4 本章小结.....	62
第 6 章 总结与展望 .....	63
6.1 工作总结.....	63
6.2 工作展望.....	64
致谢 .....	65
参考文献 .....	66

## 图 表 目 录

## 图目录

图 2-1 IOT 网络结构图 .....	8
图 2-2 停车位引导系统数据信息处理关系图 .....	11
图 2-3 迪杰斯特拉算法流程图 .....	13
图 3-1 停车位引导系统方案图 .....	19
图 3-2 停车场车位引导系统总体工作流程图 .....	20
图 3-3 停车位引导系统功能模块图 .....	21
图 3-4 用户管理工作流程图 .....	22
图 3-5 信息发布流程图 .....	23
图 3-6 车位预定功能流程图 .....	24
图 3-7 车位取消预定功能流程图 .....	25
图 3-8 停车位引导功能流程图 .....	26
图 3-9 停车位引导系统 E-R 图 .....	27
图 4-1 A*算法当前节点状态示意图 .....	32
图 4-2 停车场车位平面 .....	33
图 4-3 停车场空余车位的权值图 .....	34
图 4-4 车位距离与方向角关系示意图 .....	35
图 4-5 泊位两侧车位占用情况 .....	40
图 4-6 车位类型 .....	41
图 4-7 算法流程图 .....	42
图 4-8 ACO 与 IAACO 路径对比图 .....	44
图 4-9 ACO 与 IAACO 收敛曲线对比图 .....	44
图 4-10 IACO 与 IAACO 路径对比图 .....	46
图 4-11 IACO 与 IAACO 收敛曲线对比图 .....	46
图 4-12 IACO-M 与 IAACO 路径对比图 .....	48
图 4-13 IACO-M 与 IAACO 收敛曲线对比图 .....	48

图 5-1 用户管理功能页面效果图 .....	51
图 5-2 车牌识别实现效果图 .....	52
图 5-3 用户车辆入库新增信息界面效果图 .....	52
图 5-4 监控场内控制台信息数据界面效果图 .....	53
图 5-5 停车记录界面效果图 .....	53
图 5-6 停车场车辆引导功能界面 .....	54
图 5-7 用户手机端停车路线界面图 .....	54
图 5-8 预定功能实现界面图 .....	55
图 5-9 手机小程序端预约取车图 .....	56
图 5-10 财务管理模块功能界面图 .....	56
图 5-11 RFID 车辆信息采集装置 .....	57
图 5-12 登录界面的测试效果图 .....	59
图 5-13 密码不一致测试效果图 .....	60
图 5-14 车牌识别功能测试图 .....	60
图 5-15 停车引导功能测试效果图 .....	61
图 5-16 缴费监控模块查询结果页面 .....	62

## 表目录

表 1-1 城市中停车位的比例表 .....	1
表 3-1 车辆的基本信息表 .....	28
表 3-2 管理员基本信息表 .....	28
表 3-3 停车场基本信息表 .....	28
表 3-4 停车引导信息表 .....	29
表 3-5 停车记录信息表 .....	29
表 3-6 订单信息表 .....	29
表 3-7 管理停车场信息表 .....	30
表 3-8 管理车辆信息表 .....	30
表 4-1 车辆 ID 信息表 .....	33
表 4-2 车辆停车难度赋值表 .....	41
表 4-3 ACO 与 IAACO 性能比较分析 .....	45
表 4-4 IACO 与 IAACO 性能比较分析 .....	47
表 4-5 IACO-M 与 IAACO 性能比较分析 .....	49
表 5-1 开发环境的配置表 .....	50
表 5-2 测试实验设备 .....	58
表 5-3 车辆实时监测结果 .....	58

## 第1章 绪论

多年来，我市很多城镇的占地不足、停车面积不够的难题已经凸显在住宅小区，泊车位越来越难以得到满足。最优停车位的选择，并不是距离最短的泊车位或收款最便宜的就是最优停车位。为了方便驾驶员能够快速有效停车，本文在设计停车位引导系统时，首先将车型尺寸、停车位的距离长短、以及停车位特点等因素进行综合判断，然后通过路径规划算法计算出一个最适宜驾驶员选择的停车位，最后设计并实现了基于改进的A\*算法和蚁群算法的停车位引导系统。该系统实现了用户管理功能、信息的采集与发布功能、停车场信息管理功能、停车位的预定、停车位引导功能以及账户管理功能等。

本章主要陈述了停车位引导系统的研究背景、研究的目的及意义、物联网的相关技术、论文的主要任务以及组织结构等。

### 1.1 论文的研究背景

随着人们生活水平的不断提高，国内大中型城市停车位的比例失衡很严重，在大型城市中停车位资源紧张的问题异常严峻<sup>[1]</sup>。国内有关车辆管理部门发表的数据表明，在很多大城市中实际可用停车位和汽车拥有辆的大概比例为4.9:5.0，稍微小型的城市比例约为2.5:3.0。近日，通过对某地下停车场驾驶员停车的观察统计，如表1-1所示。由于车位资源紧张，人们在寻找车位时会浪费了很多没有必要浪费的时间。因此，本文对停车位引导系统进行相关研究具有重要意义。

表1-1 城市中停车位的比例表

	北京	上海	深圳
汽车保有量（万辆）	548	322	324
泊车位（万个）	193	80	111
车位缺口（万个）	355	242	213
平均占用（辆/车位）	2.84	4.03	2.92

鉴于目前我国城市车辆停车情况相对比较复杂，可以结合实际情况进行以下两个方面的改进：

一方面可以增加停车场内车位数量，但目前停车场的面积及数量也相对有限。随着人民生活水平的提升，很多相关的调查数据表明，如今国内外私家车数量与日俱增，然而开发停车场需要耗费很大的成本。所以对于增加停车场面积及车位数量，在一定程度上还是不能很好的解决目前停车难的问题。

另一方面可以在大型停车场中实施最优停车位路径引导服务。大型停车场的车位数量较多，但是很多司机在停车的时候，并不能快速的找到车位。如果在大型停车场的入口处对进场车辆告知车位数量及其最优车位的路线图，这样就能够有效提升停车场内车位的利用效率。不仅可以有效提升司机停车的速度，还可以减少车辆拥堵现象的产生<sup>[2]</sup>。

本文的研究背景是在大型停车场中寻找最优空闲停车位及其路径规划。将物联网技术与系统的实际需求相结合，让进场车辆的司机可以充分了解停车场内车位的情况。

通过对传统的停车场内车辆停放服务考察得知，在对入场车辆进行最优车位的查找以及路径规划服务前，首先需要对停车场内车位的状态等信息进行实时的采集，然后将采集到的车位信息发布到停车位引导系统的数据处理中心。通过结合车辆特点、车位状态等信息计算出来的最优车位以及规划出的最优车位的停车路线图，确保司机在停车时，能够迅速知道最优停车位的路线图。最后，将计算出的停车路线图及时安全的发布给车辆用户，保证驾驶员安全迅速的完成停车过程。既可以满足驾驶员的停车需求，又可以快速有效停车。

## 1.2 论文研究目的及意义

机动车泊车管理是现在城市交通改革中不可或缺的组成要素。本文针对大型停车场内最优车位的引导进行研究，深入分析了停车场内车位的特点和入场车辆的特点，然后采用现代主流的路径规划算法进行最优车位的选择与引导<sup>[3]</sup>。主要预期实现以下几个目的：

(1) 当驾驶人泊车请求时，通过相关技术途径可以获取目标停车场以及停车场内的车位的实时状况。

(2) 车辆引导及路径规划系统能够及时地对信息进行精准检测、传递、处

理分析和有效发布。结合驾驶车辆的特点和停车位等属性信息为泊车者规划最优停车泊位路线图，能够有效预防停车场内外区域交通拥堵。

(3) 停车场管理方可以远程监测场内状况，降低了工作人员的任务强度。

(4) 经过对地下停车场车辆停车管理系统的了解与分析，增加停车位引导能够及时补充和完善传统停车场的瑕疵，增强停车场内外空余停车位的利用率。

(5) 对于目前的停车场管理系统存在的不足有必要实行个性化的调整，因此通过在停车场内实行最优停车位的路径引导，这样使驾驶员在抵达场内就能够明确自身的驾驶方向，缩减驾驶员在停车场内曲折地搜索车位所耗费的停车的时间，进而节省了车辆的耗油量。

(6) 避免在停车场外入口处出现车辆拥挤以及对主干道上正常驾驶的车子产生影响，进而有一定缓和城区道路交通负荷的作用；这样停车库管理人员就能清楚地知晓停车位的详细状况信息和场内车辆状况，大幅度降低了有关负责人的劳动强度，也大大降低了不必要的风险工作；

(7) 在车辆路径引导时，合理考虑影响停车位选取的诸多条件。实施的最优车位路径引导服务减少了场内高峰时段地域主干道的堵塞，益于整合商业区、单位、企业等车辆汇集性的大型停车场内部和外部的动、静态交通配置，减缓了停车场邻近不合理的运输流<sup>[4]</sup>。

本文依靠物联网技术自动识别驾驶车辆的 ID 信息，并及时获得场内的车辆和停车位实时状况。多方面衡量影响驾驶员停车入位时间的综合属性，将改进的路径规划算法应用于停车位的路径计算当中。有效的改善了驾驶员寻找停车位的效率，能够指导驾驶员第一时间进行停车，有助于进一步提升停车设施利用效率，能够为停车场周边的城市交通缓解压力。

## 1.3 国内外研究现状

### 1.3.1 国外研究现状

国外汽车产业的发展要比中国先进很多，最先遇到了停车难、车位不够用、道路拥堵的问题，随着现代科学技术的不断更新，智能交通系统(Intelligent Transportation System, ITS)在西方国家早就有人研究<sup>[5]</sup>。大型地下停车场，尤其是聚集人最多的商业中心型停车场，在治理城市交通体系环境中占据主要地

位<sup>[6]</sup>。因此关于停车引导方面的研究，尤其是针对大型停车场停车位的引导系统的研究，国外的发展比较于中国提前很多，并也收获了一些研究成果。

在 1996 年，美国圣保罗市曾开发了国家的第一个停车位引导系统，主要用于在城市拥挤道路上设计电子显示屏，来显示停车场内的停车位信息，司机既可以通过信息栏读取有关信息，又可以利用移动终端获取停车场的车位状态信息<sup>[7]</sup>。最近几年，国内外相继有很多研究者在停车场内车位路径的引导和车位定位导航方面展开了深入的研究。

在 2008 年，来自于瑞士的学者 Ferreira 等人提出基于 bluetooth Beacons 信号作为定位的信号，根据不同位置的信标节点发出的定位信号判断位置，实现对大型停车场室内的定位与空余停车位的停车导航<sup>[8]</sup>。

在 2016 年，欧洲的学者 Wilfinger 等人对室内定位和导航技术的研究以 Bluetooth signal 为基础，实现对信息的传输与处理<sup>[9]</sup>。如今是处于互联网迅猛发展的时代，在多处建筑物中都已经实现了 WIFI 无线网络的全覆盖，而且在城区中普及的也很到位，因此很多学者就提出了基于 wifi 的定位和导航引导方式。例如，Pachón-García, F.T 等人的“Assessment of Wi-Fi radiation in indoor environments characterizing the time & space-varying electromagnetic fields”WIFI 场内车位定位和路径规划的解决办法<sup>[10]</sup>；

同时还有很多学者提出了基于 Zigbee 信号的定位和导航规划。根据所接受到的信号强度值对车辆的信息进行计算实现定位及导航规划，在 Alhmiedat 的论文中就提出了一种自适应的 ZigBee 无线传感器室内定位算法<sup>[11]</sup>。

### 1.3.2 国内研究现状

在中国关于停车位引导系统的研究并没有西方发达国家先进。比如 2001 年时，我国才投入第一套正式运行的停车引导系统，在北京王府井地区首次进行试验且效果比较成功<sup>[12]</sup>。其主要是通过指路电子牌上显示最近街区的剩余车位信息的方式，王府井停车诱导系统仅仅是在车辆路过停车场的出口和入口时，通过门口的地磁感应系统感应进场车辆和出场车辆的数据信息，然后进行加减法分析，但是通过加减计算累计的方式进行车辆数据的统计，最终得到的数据和真实数据的误差很大，常常会引发系统的崩溃<sup>[13]</sup>。

2010 年投入使用的广州珠江的国际金融中心的停车场，该栋楼的停车场采



用车位集体监测的方式,利用当时比较先进的超声波车位监测装置在场内安置“空闲或忙碌”的车位指示灯,由于每个车位上都安装了一个超声探测装置,超声探测检验车底与地面的反射波,因此来判断停车位上是否具有车辆,从而有效的实现对空余车位的路径引导<sup>[14]</sup>。

近年来,随着视频图像识别技术的不断发展,人们也逐渐的将图像识别技术应用到车位监测当中,并将其应用到停车场内空余车位的引导系统中来。视频识别监测车位主要是通过停车场各个位置布置的摄像器,以视频采集图像的方式检测车位的状态,识别判断停车场内车位的停车状态<sup>[15]</sup>。

国内也有很多学者在停车位引导系统方面有着较深的研究,山东青岛的李宏佳等人针对停车场的收费管理系统提出了基于非接触式 IC 卡的方式<sup>[16]</sup>;

代阳等人提出了在室内停车场系统方面引用无线 Bluetooth technology 的方案<sup>[17]</sup>;云南的黄润飞针对停车位引导系统提出了基于 bluetooth 的室内定位技术,以及一种基于 bluetooth 室内定位为基础的 RSSI 多边形分解方法<sup>[18]</sup>;

王琦等人提出一种基于智能手机的停车导航系统设计引导方案<sup>[19]</sup>;2018 年时,西华大学的孙敬欢在室内停车场定位与导航方面,提出了基于 WiFi 的改进的指纹定位算法<sup>[20]</sup>。

## 1.4 论文的主要工作

本文通过分析物联网环境下停车位引导系统的实用性,结合停车位引导系统的实际需求,总结了借助物联网技术手段实现停车位引导系统的优点,并提出了一种改进的 A\*算法和蚁群算法的路径规划算法。利用物联网技术获取车辆以及车位的实时信息,然后依靠先进的路径规划算法,计算出更符合实际的最优停车位并对其规划最优路径,设计并实现了基于改进 A\*算法和蚁群算法的停车位引导系统。实现了大型停车场环境中空闲车位的查询与预定,车位数据的管理以及最优停车位引导等功能。本文的主要工作如下:

- 1、搜集了很多停车位引导系统的相关参考文献和有关路径规划算法的国内外文献,分析了最佳停车位引导系统对生态城市气候环境影响以及停车位引导系统的实际意义,吸取了新的技术理念,为后续的工作提供了理论支持。

- 2、在对一些国内外相关路径规划算法进行深入研究后,本文根据解决问题的需要提出了一种基于改进的 A\*算法和蚁群算法结合的路径规划方法。

针对系统中停车位引导模块的设计,本文提出改进的 A\*算法和蚁群算法结合的方法求解最优停车位。考虑到蚁群算法前期收敛速度慢的问题,改进的 A\*算法优化初始信息素设置以解决蚁群算法首次搜索的盲目性。通过分析在停车距离一定的前提下影响停车时间的因素,然后将信息素更新的参考量由停车距离转换为停车时间,构建空余车位最短停车路径及最短时间矩阵。综合考虑了车型尺寸、停车路径距离、停车位类型、停车位的方位等因素作为改进蚁群算法信息素更新方式,使其不仅体现停车的距离关系,而且具有方向性的引导,加快了算法收敛速度,有效避免局部最优。通过仿真实验与其他算法在最优路径、运行时间以及迭代次数三个方面做出对比,事实表明本文算法略占优势。

3、通过进一步明确停车位引导系统的需求,将本系统设计成由停车场用户管理模块、信息的发布模块、停车场管理模块、停车位引导模块、账户管理模块这五个系统模块组成。将物联网手段应用到停车位引导系统中后,会使停车位引导系统产生革命化的影响,使其实现精确的停车场内引导、建立驾驶者与车辆的关联且方便车主找车。

4、对系统设计方案进行详细分析后,展开了开发环境的搭建,并实现了停车位引导系统的代码编写。系统采用 Matlab 语言和 Java 语言结合的方式,在目前主流的开发框架 SpringBoot 下,实现对软件的开发。在 Tomcat8.0 的服务器中,web 前端实现是采用 JSP 技术进行编写前端的界面,IntelliJ IDEA 作为系统后端的开发工具。将系统中的各个功能模块进行相应的测试,结果表明系统具有良好的性能。

## 1.5 论文的组织结构

本文主要分为六章,每个章节的具体内容如下:

第 1 章 为论文的绪论。首先论述了停车位引导系统的研究背景、研究目的以及国内外研究现状,然后对论文的主要工作及其组织结构进行介绍。

第 2 章 简单解释了物联网的基础理论知识并阐述了停车位引导的关键技术,重点介绍了当前主流的路径规划算法的研究现状以及算法的基本原理。

第 3 章 通过对停车位引导系统功能需求进行了分析,初步确定了总体方案,根据实际的系统功能需求进行系统的总体架构设计、相关运行流程设计以及系统数据库的设计等。

第 4 章 针对系统中停车位引导模块进行了相关算法设计, 提出改进 A\*算法和蚁群算法结合的方法求解最优停车位。为处理蚁群算法早期收敛速率慢的缺陷, 首先利用 A\*算法优化原始信息素配置以提升蚁群算法初次探索的盲目性。通过分析在停车距离一定的前提下影响停车时间的因素, 把信息素更新的参考量由停车距离转换为停车时间, 构建空余车位最短停车路径及最短时间矩阵。综合考虑了车型尺寸、停车路径距离、停车位类型和停车位的方位等因素作为改进蚁群算法信息素的更新方式, 使其不仅体现停车的距离关系, 而且具有方向性的引导。该算法在收敛速度上有了一定的提升, 同时也起到了避免局部最优的效果。通过仿真实验与其他算法在最优路径、运行时间以及迭代次数三个性能进行实验对比, 证明了本文算法的有效性。

第 5 章 根据停车位引导系统的实际需求, 实现并测试了停车位引导系统的主要功能模块。首先, 实现对系统开发环境的搭建, 在指定的程序语言环境中开发了停车场引导系统软件, 其次着重叙述了停车位引导系统中主要功能模块的具体实现; 最后进行信息监测模块以及系统整体性能的测试。结果表明, 系统具有不错的性能。

第 6 章 对本文提出的路径规划算法以及停车位引导系统的设计与实现步骤进行了总结。采用改进的 A\*算法和蚁群算法计算最优车位的停车路径, 并进行了算法性能的验证。对系统设计方案进行详细分析后, 展开了开发环境的搭建, 设计并实现了基于改进的 A\*算法和蚁群算法的停车位引导系统, 完成了停车位引导系统代码的编写。点明了论文存在的不足和后期的工作趋势, 并对停车位引导转向精准化、智慧化做了美好期望。

## 第2章 相关技术及理论

物联网科学是联系自然世界与信息世界的桥梁，扩建了整个人类用短信息技术辨识自然的手段。物联网的信息识别、智能感知、无线通信等技术，将物联网与各行各业的实际应用能够轻松联系起来，在网络互联时代中大显身手<sup>[21]</sup>。

本章简单解释了物联网的基础理论知识并阐述了停车位引导系统的关键技术，重点介绍了当前主流路径规划算法的研究现状以及算法的基本原理。

### 2.1 物联网的概述

#### 2.1.1 物联网的体系结构

在当今世界，物联网（The Internet of Things，简称 IOT），作为新信息时代的产物，在计算机和互联网流行之后被各行各业广为应用，物联网也在逐渐的带动世界信息产业的潮流。IOT 的体系结构可以分为感知层，网络层和应用层三个层次。其中网络层又称为传输层，包括接入层、汇聚层和核心交换层，应用层又分为管理服务层和行业应用层<sup>[22]</sup>。IOT 网络结构图，如图 2-1 所示。

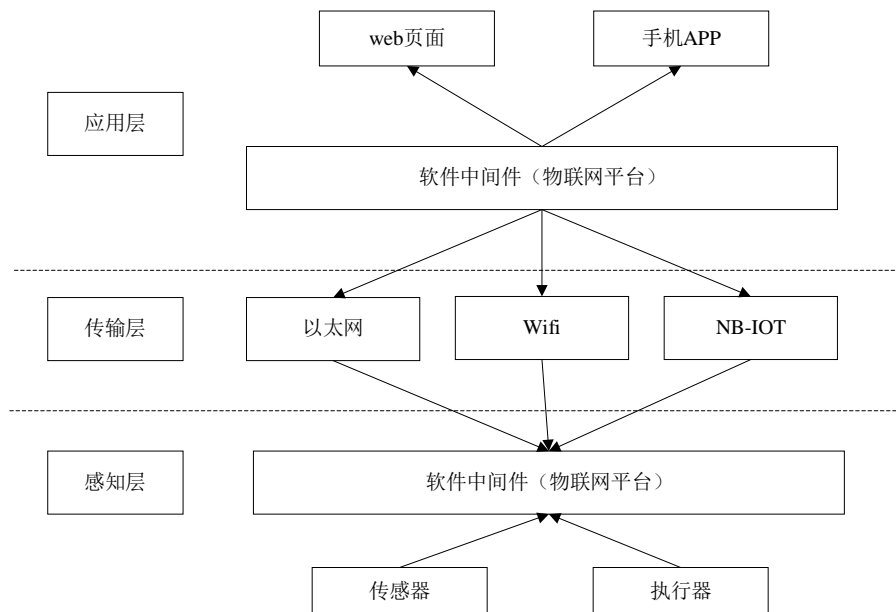


图 2-1 IOT 网络结构图

(1) 感知层：作为物联网的感知终端，比如气体浓度传感器、温湿度传感器、酸碱度传感器、RFID 射频识别器、GPS 等<sup>[23]</sup>。感知层的作用主要就是对底层信息的感知与识别，其类似于人体的感觉神经末梢，可以像皮肤一样感知外界的刺激，然后将信号传递给大脑神经系统。

(2) 网络层：它的层次就比感知层高一些，由各种网络而构成，形成一个可传输的层次。它的主要作用也就相当于人的大脑，可以接受感知层获取的信息并进行传递与处理<sup>[24]</sup>。

(3) 应用层：作为物联网和用户连接的桥梁，按照各个行业用户的现实需求，设计并实现物联网技术的相关应用<sup>[25]</sup>。

### 2.1.2 物联网的特点

IOT 技术应用比较广泛，利用局部网络或互联网等通信技术把传感器、控制器、机器、人员和物体等通过新的方式联在一起，形成人与物、物与物相联，实现信息化、远程管理控制和智能化的网络<sup>[26]</sup>。IOT 具有以下特点：

(1) 物联网感知终端应用的普遍性。在现实的监测环境中，传感器需要实时的收集数据信息，所以就需要在各个应用的物体上放置对应类型的传感器节点，进行采集所需要的数据信息，能够做到对数据及时的更新与处理<sup>[27]</sup>。

(2) 物联网对互联网的依赖性。依靠传感器节点采集与传递的数据具有一定的实时性，但是要确保采集的数据能够及时稳定的传输，物联网就需要依赖互联网这个载体来实现数据的实时更新与传播<sup>[28]</sup>。因为数据量庞大，会影响数据的准确性，所以有必要满足各种异构网络和协议。

(3) 物联网的智能性。有时常常为了迎合特殊部门的需要，物联网技术也会不断挖掘发展新的业务手段。它能够将智慧处理、云计算、智能识别等技术融合在一起，对各个传感器节点之间实施连接，更重要的是，它具备自我处理与自动控制的能力，便于信息网络组中数据的传输与处理<sup>[29]</sup>。

### 2.1.3 物联网的关键技术

IOT 中主要包括以下几个关键技术：

(1) RFID 技术：RFID 技术是物联网实现物质语言表达的关键技术。物联网中的 RFID 标签存储标准化的、可互操作的数据资源，它对物体进行识别后，

就将采集到的信息数据通过无线数据传递到信息处理中心<sup>[30]</sup>。

(2) 传感器技术：传感器技术在物联网中是作为监听数据的底层应用。传感器技术是一种混合多学科的现代性科学技术，对于传感器领域的设想、研发与制作都起着至关重要的作用。它具有对从自然世界中感知信息、编辑信息、处理与修改信息的能力，辅助一系列创新型活动的应用和发展<sup>[31]</sup>。

(3) 无线网络技术：在物联网中，无线网络是一个能传输海量数据的高速无线网络，它可以与用户建立无线连接的语音和数据网络，从而实现有效通信。其中的技术主要有 Short range Bluetooth 技术、红外线技术和 Zigbee 技术等<sup>[32]</sup>。

(4) 人工智能技术：人工智能技术可以实现对语音内容的分析与自动处理，也就是说，它实现了一种机器对人的思想活动进行模仿的功能，比如学习技术、运动行为、甚至是需要精准计算的复杂活动<sup>[33]</sup>。

(5) 云计算技术：云计算技术能够实现对海量数据的存储与计算。这样能有效弥补物联网的计算和存储能力有限的问题，它将作为物联网的支撑技术，辅助物联网进行数据的计算与存储<sup>[34]</sup>。

## 2.2 最优停车位引导系统概述

### 2.2.1 停车位引导系统的发展前景

车位引导系统主要适用于大、中型地下停车场，通常适用于办公楼、火车站和购物中心等公共停车场。这迫使停车场总量和需求不断扩大，商场利用率持续增加，车位引导系统逐渐成为停车管理系统的一个子系统朝着产业化发展，国内已经开始涌现专供制作车位引导系统装备的供应商。尤其是在北京、上海、广州等大型综合性通都大邑的发展筹划中，都对停车换乘公共交通形式实施了筹备。以上海为例，依据“十一五”交通枢纽计划，大范围的停车换乘场所均坐落于中环线之外，停车换乘诉求量加起来达到 2.4 万个<sup>[35]</sup>。然而，目前还存在暂时没有装置车位引导系统的停车场，所以车位引导系统板块的发展潜力很大，车位引导系统很可能变得越来越被普遍的应用。

中国内地市场上，产品的市场价较低，性能价格比更高。同时国家在售后保障等方面十分有优势，服务更加主动。在使用上，我国成品不仅适用于中国的现实情况，也适用于海外成品的档次需求。很多能建立停车场管理系统、出

入口控制系统的厂商，都在他们的项目列表里增添了停车位引导系统装置，这说明行业内的公司确实非常认同它的市场潜力<sup>[36]</sup>。

因此根据大型停车场内车位的引导现状以及发展前景，本论文将着重介绍一种创新的停车位引导技术，提出了基于改进的 A\*算法和蚁群算法结合的停车引导应用技术，给最优停车位引导系统提供了新的设计理念。

### 2.2.2 物联网环境下停车引导的基本原理

因为物联网具有所有的信号源，都是可以唯一标识的，所以本文的停车位引导系统信息的采集也就是基于物联网这一特点。因为在实际的停车过程中，需要停车场和车辆互通，所以就借助物联网技术获取并传输场内的海量数据。停车位引导系统中每个车辆都具有唯一的 ID 标识，该标识属于车辆的独有标签，通过物联网识别技术就可以轻松获取车辆以及停车位的信息。

首先，需要对进场的车辆和停车场内车位的信息进行采集。然后，将其统一传输到信息处理中心进行处理。当车辆进入停车场后，想要快速完成停车入位，就需要计算机根据车辆信息、停车场内车位状态等信息。最后，计算出最优车位及其路径反馈给驾驶者。停车位引导系统数据采集、传输以及处理之间相互的关系图，如图 2-2 所示。

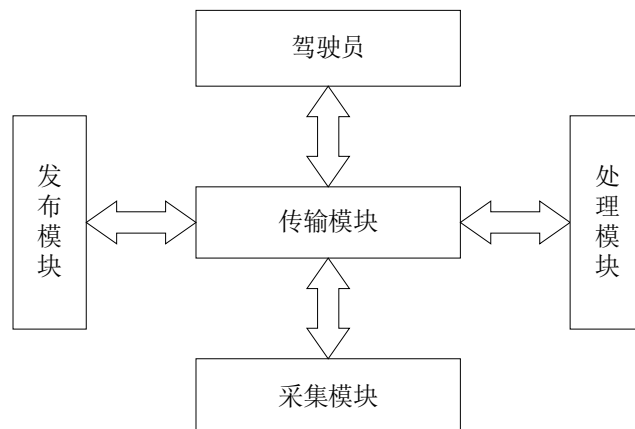


图 2-2 停车位引导系统数据信息处理关系图

## 2.3 路径规划的研究现状及典型算法

随着互联网应用的普及，很多高新技术产业也被广泛应用在车辆路径规划

上, 车辆路径规划不断受到很多研究人员的关注, 以下是国内外学者目前对路径规划算法的研究现状。

黄辰等人提出一种基于动态反馈的 A\*蚁群路径优化算法, 它以 A\*算法的评价函数为标准得到一条评价值最小的路径, 进而优化信息素的初始值<sup>[37]</sup>。但随着路径变得复杂时, 算法的搜索时间会变久。

殷绍伟等人提出一种改进 A\*蚁群算法与滚动窗口法结合的路径规划方法。该算法采取不平等机制的原则更新蚁群的信息素, 防止陷入局部最优的情况, 进而加快收敛速度。尽管在一定程度上解决了算法容易陷入局部最优的问题, 但其收敛速度仍然较慢<sup>[38]</sup>。

万逸飞等人提出一种简化算子的 A\*蚁群算法, 通过闭环反馈的理念自适应调节参数的动态, 有效的提升了算法的寻优能力<sup>[39]</sup>。但是当遇到数据存储量大时, 其性能就会有所降低。

J. Chen 等人提出一种改进的 RRT 优化算法, 在一定范围上弥补了因随机性误差而造成路径曲折的问题, 在一定程度上增强了算法的收敛性, 但也面临着容易陷入局部最优的情况<sup>[40]</sup>。

### 2.3.1 A\*算法基本原理

A\*路径规划算法是由 P.E.Halt 等研究者在 1968 年提出来的。它主要适用于单个目标点之间的路径规划, 整体计算方式简单, 算法相对灵活。A\*路径规划算法属于启发式搜索的一种, 在算法的路径搜索中引入代价函数, 计算每一个行进节点的已走代价值和预估代价值。利用代价函数对当前节点和目标节点之间相应的距离进行提前估计<sup>[41]</sup>。A\*路径规划算法的代价函数, 如公式(2.1)所示。

$$f(n) = g(n) + h(n) \quad (2.1)$$

其中,  $f(n)$  表示节点的总代价值;  $h(n)$  代表当前节点  $n$  距离目标终点的预估代价值,  $g(n)$  代表开始节点与当前节点  $n$  的实际代价值; 又称为启发函数。若  $h(n) < 0$  时, A\*算法对节点的预估代价就毫无意义, 这样就与 Dijkstra 算法一样, 对于 A\*算法启发函数的确定非常重要。

### 2.3.2 Dijkstra 算法基本原理

Dijkstra 算法是非常经典的最短路径算法, 该算法由荷兰的科学家 Edsger



Wybe Dijkstra 在 1959 年提出的，主要是应用在解决路径最短和时间最少的情况中<sup>[42]</sup>。Dijkstra 在应用时应先其转化为一个数学模型，通过以初始点为中心由内向外逐层扩展，最终扩展到目标点为止，进而得出路径距离的最优解。主要是建立一个节点与弧和边组成的路径网络模型，构成一个图的集合  $G=(N, E)$ ，其中  $N$  代表路径图中的每一个节点， $E$  代表每一条边的权值， $d$  代表边对应段（边）的距离长度的权值，路网中每一个节点标号为  $(dt, pt)$ ， $dt$  为源点  $s$  和目标点  $t$  的最短路径距离， $pt$  为源点  $s$  到目标点  $t$  最短路径中的前一个点， $w(k, j)$  为从  $k$  到  $j$  的路径距离。Dijkstra 算法求解源点  $s$  到目标点  $t$  之间的最短路径的具体步骤流程图，如图 2-3 所示。

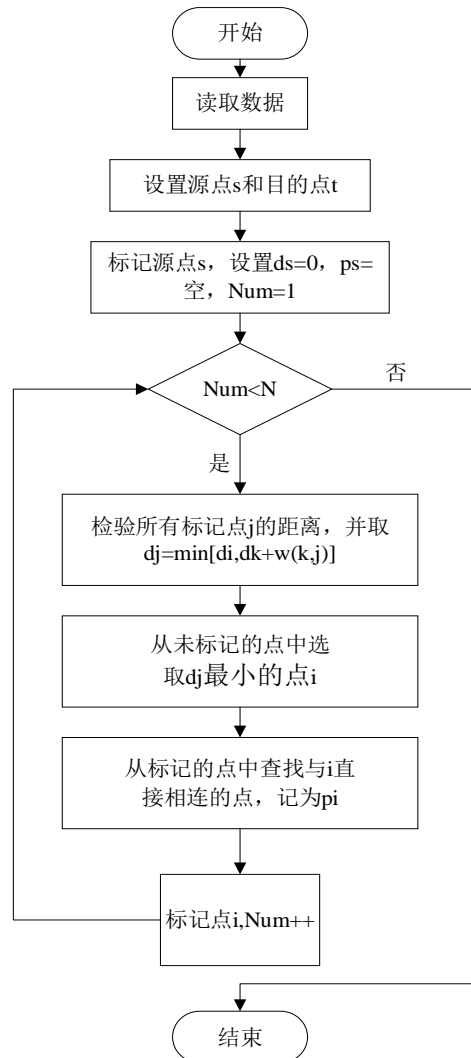


图 2-3 迪杰斯特拉算法流程图

### 2.3.3 蚁群算法基本原理

蚁群算法 (Ant colony optimization, 称为 ACO), 其基本原理是根据原生蚂蚁搜索路径的方式分析而来, 主要是通过不断的进行重复测试, 在海量的信息中, 经过多次分析, 筛选, 再分析, 最终得到一个最优的方案。蚁群算法属于智能优化算法的一种, 所以该算法具有不断调整和自主学习的特征。现代手段一般采用的是人工设置的蚂蚁, 但和自然存在的蚂蚁也有相同的特征, 即都是找出信息素浓度最大的路径。

也就是说, 如果发现了某条更短的新路线, 那么这条新路径的信息素浓度积累得多了, 被选中的概率就越大, 因此就会得出最优的一条路径。首先, 在这里的人工蚂蚁自主评估抵达到当前节点的路径优化的程度并将其储存。然后人工设置的蚂蚁会以节点信息来判断节点信息素的增加或减少的程度, 随即重新更新其余节点后路径的信息素。因为自然界中蚂蚁的信息素会随着时间而挥发掉一部分, 所以为了模仿自然界中蚂蚁的行为, 也会设置信息素挥发因子<sup>[43]</sup>。然而人工蚂蚁和自然蚂蚁的区别是, 人工蚂蚁具有自主选择意识, 因为自然界的蚂蚁经常会根据当前节点信息随机选择接下来节点的路径。而人工蚂蚁是由人去设定相应的规则与定义去搜索最优路径。最后都需要经过多次探索实践后, 才能寻找到最优解。

针对蚁群算法最常用的案例就是关于旅行商的问题 (Traveling Salesman Problem, 又称 TSP)。旅行商问题是设定一组城市, 一个人环绕这些城市一圈, 需要经过每一个城市, 找到路径的最短距离。所以为了方便后续计算时使用, 根据数学模型对部分参数进行以下定义。

$m$ : 蚂蚁总数;

$b_i(t)$ : 在  $t$  时刻位于城市  $i$  的蚂蚁数量之和,  $m = \sum b_i(t)$ ;

$d_{ij}$ : 城市  $i$  和城市  $j$  之间的距离;

$\eta_{ij}$ : 城市  $i$  和城市  $j$  之间的可行性因子, 在系统求解的过程中为不变量;

$\tau_{ij}$ : 城市  $i$  和城市  $j$  之间的信息总量;

$\Delta\tau_{ij}$ : 城市  $i$  和城市  $j$  之间蚂蚁  $k$  在路径上留下的单位距离上的信息素浓度;

$P_{ij}$ : 蚂蚁  $k$  的选择概率,  $j$  为未旅行城市的数量集合。

每只蚂蚁具有的特征如下: 当蚂蚁在城市  $i$  行进到城市  $j$  时, 它会将信息素释放在  $(i, j)$  的路径上, 进而其他蚂蚁也会根据信息素来决定是否选择该条路

径。蚂蚁根据状态转移概率  $P_{ij}$  进行选择下一个城市,且  $P_{ij}$  是各有关于  $d_{ij}$  和  $\Delta\tau_{ij}$  的目标函数,即选择概率取决于两城市  $i$  和  $j$  之间的距离以及该路径上的信息素浓度。在没完成一个巡回路径时,不可以重复访问走过的城市。

每个蚂蚁可以表示为  $k(k=1, 2, 3, \dots, m)$ ,  $k$  主要是以每条路径上的信息素量的值来决定下个节点的移动方向<sup>[44]</sup>。整体过程可以理解成,当  $t=0$  时,每条路径上的初始信息素相同,故可设  $\tau_{ij}(0)=C$  ( $C$  为常数)。当蚂蚁在  $t$  时刻,蚂蚁在城市  $i$  去选择下一站点城市  $j$  的状态转移概率为,如公式(2.2)所示。

$$p_{ij}^k(t) = \begin{cases} \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha [\eta_{ij}(t)]^\beta}{\sum_{m \in i, allowed_k} [\tau_{im}(t)]^\alpha [\eta_{im}(t)]^\beta}, & j \in i.allowed_k \\ 0, & \text{else} \end{cases} \quad (2.2)$$

其中,  $allowed_k$  为没有访问过的城市,代表着蚂蚁能够选择的下一站点城市的总集合,  $\alpha$  代表信息素的启发因数,即蚂蚁在行进过程中所累积信息素的作用大小。 $\alpha$  的值越高,代表蚂蚁之间的合作能力越强,每一只蚂蚁都更趋向于选择之前大部分蚂蚁所选择过的路径。 $\beta$  代表信息素的期望启发因子,是  $\eta_{ij}$  的指数,即代表  $\eta_{ij}$  的相对权值。 $\beta$  的值越高,代表蚂蚁在路径选择过程中受到对城市  $i$  选择到城市  $j$  的可行性影响就越大。

如果某一只蚂蚁完成周游,那么此条路径上的信息素就会增加一次,所以信息将会被挽留,其他蚂蚁的运动也不会被影响。所以能够得出在  $(t+n)$  时刻,路径  $(i, j)$  上信息量  $\tau_{ij}$  的更新公式为,如公式(2.3)和(2.4)所示。

$$\tau_{ij}(t+n) = (1-\rho)\tau_{ij}(n) + \Delta\tau_{ij}(t) \quad (2.3)$$

$$\Delta\tau_{ij}(t) = \sum_{k=1}^m \Delta\tau_{ij}^k(t) \quad (2.4)$$

其中,  $(1-\rho)$  代表残留的信息素,  $\rho$  的取值范围为  $[0, 1)$ , 这样可以有效防止信息素不断的累加。初始时刻是  $\Delta\tau_{ij}(t)$ , 那么  $\Delta\tau_{ij}^k(t)$  代表第  $k$  只蚂蚁在  $t$  时刻存留在路径上的信息素的值。对所有蚂蚁在该路径上留下的信息素的量求和,就是此时刻路径  $(i, j)$  上的信息素的总量。

传统的蚁群算法中，常见的信息素更新模型主要由三种组成，分别为蚁密模型、蚁量模型和蚁周模型。

(1) 蚁密模型

$$\Delta\tau_{ij}^k(t) = \begin{cases} Q, & \text{if } k \in (i, j), t \in (t, t+1) \\ 0, & \text{else} \end{cases} \quad (2.5)$$

其中， $Q$ 表示信息素浓度常量，主要是对信息素浓度有影响。

(2) 蚁量模型

$$\Delta\tau_{ij}^k(t) = \begin{cases} \rho/\Delta d_{ij}(t), & \text{if } k \in (i, j), t \in (t, t+1) \\ 0, & \text{else} \end{cases} \quad (2.6)$$

其中， $\Delta d_{ij}(t)$ 表示的是第  $k$  只蚂蚁在路径  $(i, j)$  上的目标函数值。

(3) 蚁周模型

$$\Delta\tau_{ij}^k(t) = \begin{cases} \rho/L_k, & \text{if } k \in (i, j), t \in (t, t+1) \\ 0, & \text{else} \end{cases} \quad (2.7)$$

其中， $L_k$ 代表本条路径中第  $k$  只蚂蚁行进的路径总距离。

从公式(2.5)中、公式(2.6)中以及公式(2.7)中可知，本文之所以选择蚁群算法的蚁量模型来解决最优停车位的问题，主要是由于只有蚁量模型中涉及到与距离有关的因素，它会影响到信息素的浓度变化，而距离因素又是查找最优停车位时需要衡量的一个重要因素。

## 2.4 本章小结

本章首先介绍了物联网的体系结构及其特点，然后阐述了借助物联网手段开发停车位引导系统的工作原理。最后对现有路径规划研究现状及典型路径规划算法原理进行描述，为接下来研究停车位引导以及路径规划技术做出了铺垫。

## 第3章 停车位引导系统方案分析与详细设计

本章首先对停车位引导系统的需求进行分析，主要包括功能性需求和应用需求。然后对停车位引导系统的设计要求、系统的总体架构以及对停车位引导系统内各项功能模块的设计进行详细介绍。最后描述了数据库的存储设计，包括系统 E-R 图设计以及相关数据表的设计。

### 3.1 停车位引导系统需求分析

#### 3.1.1 功能性需求

##### （1）车辆与车位信息采集功能

车辆及车位的信息采集主要指在车辆入场后，对车辆信息的采集和对场内车位状态信息的实时采集。首先通过物联网终端信息采集系统进行采集，然后将信息交由信息处理中心进行处理，最后将所需的信息进行发布<sup>[45]</sup>。

##### （2）信息传输功能

场内采集到的数据首先需要交给信息处理中心进行处理，主要借助无线传感器节点监测车位的状态信息，然后汇总到信息采集中心，最后由信息传输中心将数据信息发布给停车位引导系统，使其能够做到及时更新信息<sup>[46]</sup>。

##### （3）车辆路径规划分析功能

通过物联网终端采集信息后，停车位引导系统的服务中心将收集到的信息进行分析与处理。综合场内车辆以及车位的特点，判断影响最优停车位的因素，利用路径优化算法选取停车场内的最优停车位并为期规划最优路径<sup>[47]</sup>。

##### （4）车位引导发布功能

通过信息发布终端将其信息处理中心计算的结果发布出去。停车位的引导发布结果主要显示在停车位引导系统的管理员界面和用户的手机终端上，这样既方便了停车场管理人员，也方便了驾驶员可以及时的收到停车位的路线图<sup>[48]</sup>。

### 3.1.2 应用需求

(1) 科技性。当今世界的科学技术已经进入到了很前沿的阶段，停车位引导系统的应用也逐渐采用高端的技术手段，加以融合物联网技术的停车位引导系统更具有高科技性。

(2) 安全性。车辆在大型停车场中的安全性能也是司机一直关注的一个问题。物联网技术可以实现将任何物体轻松的互联起来，这样就可以及时获取车辆及场内车位的状态，有效避免车辆损坏的事件发生。

(3) 实用性。由于停车场主要以收获停车费为盈利目标，但在建造停车场的前期投入比较大，收益却很慢。所以在设计停车位引导系统时需要考虑系统的经济实用性。

(4) 统一性。停车位引导系统的服务流程是比较复杂的，所以需要考虑整体数据的采集、传输以及处理等工作细节，使系统便于统一管理的同时又能够确保系统整体顺利运行。

(5) 以人为本的特性。停车位引导系统主要是为驾驶员服务的，所以在系统设计时必须将驾驶员的需求特点等考虑进去，从而实现不仅满足了有效停车的需求，又满足了司机的实际心理需求。

## 3.2 停车位引导系统设计要求

通过进一步分析了停车位引导系统的具体要求，在解决司机在大型停车场寻找车位浪费时间的问题上，提出了一个切实可行且有效的方案。满足司机的停车需求，节省停车时间，减少车辆油耗，为人民的生活提供便利。系统的设计要求主要包括：

(1) 高效性。停车位引导系统实现的主要目标是，在满足用户需求的同时有效的提升驾驶员的停车效率，让驾驶员能够轻松快速的停到对自身情况来说最优的停车位上。

(2) 实时性。车辆入场和离场后其停车场的空余车位信息都会发生一定的变化，这就需要依靠物联网终端实时的采集车位的信息，掌握停车场内车位的状态，以使用户进行车位的预定和系统对车辆的路径引导。

(3) 方便性。停车位引导系统的设计应该是具备简洁的客户端和系统端。

因为系统面向的用户可能是多种类型的人群，所以在操作流程及界面上必须保有界面简单直观、流程方便的特征，否则会降低用户的使用效果。

（4）稳定性。保证传输的数据能够实时稳定的传输到各级网关并清楚直观的展示给使用者。系统界面简洁大方，操作起来不复杂。

### 3.3 系统总体架构

物联网技术的特点是入场车辆都配有唯一的 ID 标识<sup>[49]</sup>。本文对系统功能需求进行分析后，将以物联网技术为基础，然后结合当前主流的路径规划算法实现系统的路径规划服务。同时为了能够让停车场内的管理人员掌握停车场内的相关实时数据信息，驾驶员能够在入场时及时找到符合自己需求的最优停车位及其路径，快速实现车辆的引导服务流程，无需驾驶员在停车场内盲目寻找车位。在终端技术上引入手机小程序，这样就便于实现空闲停车位的预定、取消预定、查询、管理、停车引导以及停车缴费等功能。本文在停车位引导的总体设计流程中，首先需要实现对车辆入库信息和停车位的信息进行采集，然后对采集到的信息进行处理与传输，最后实现停车路线图的发布。本文的停车位引导系统方案图，如图 3-1 所示。

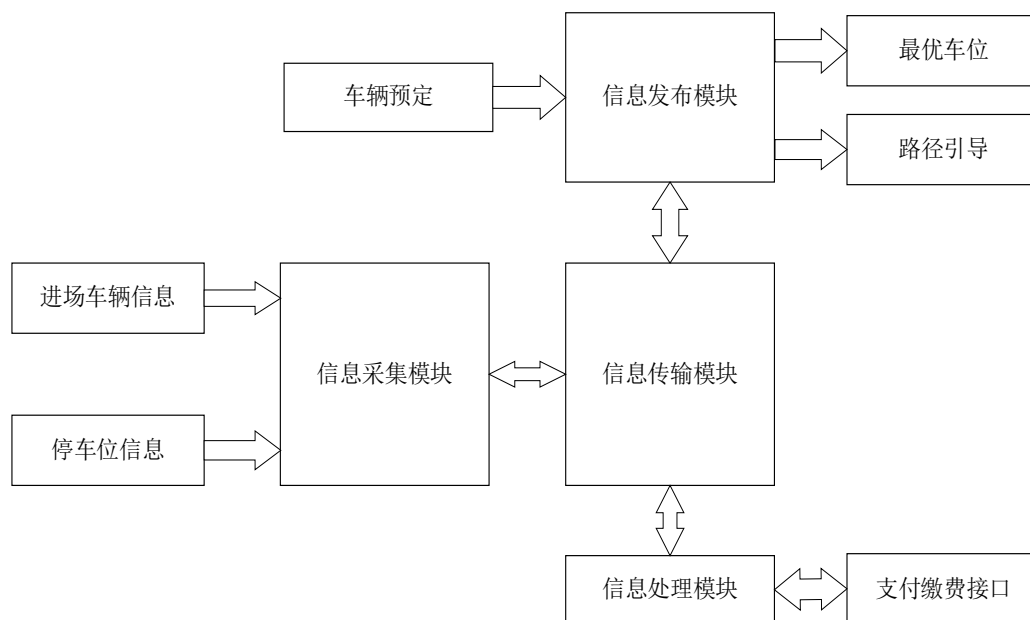


图 3-1 停车位引导系统方案图

根据停车位引导系统的各项需求，设计停车位引导系统的各部分工作流程。停车场车位引导系统总体工作流程图，如图 3-2 所示。

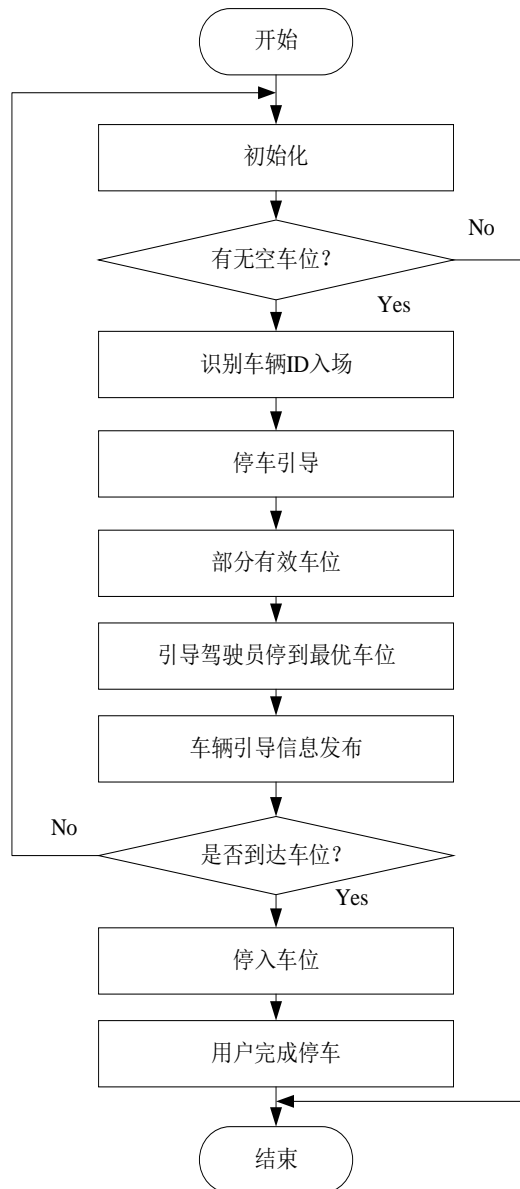


图 3-2 停车场车位引导系统总体工作流程图

第一步：在停车位引导前，对场内信息采集到的信息进行初始化处理。首先搜索一下场内是否有空余车位，如有空余车位，那么车辆可以进入停车场。在此停车位引导系统中，车辆入场处设置车牌识别装置以及物联网识别系统装置。目的是获取车辆入场记录以及收集车辆的信息，然后将收集到的信息上传到信息处理模块，否则就停止引导服务；



第二步：通过分析在停车距离一定的前提下影响停车时间的因素，然后将信息素更新的参考量由停车距离转换为停车时间，构建空余车位最短停车路径及最短时间矩阵。综合考虑了车型尺寸、停车路径距离、停车位类型、停车位的方位等因素，启动路径规划算法计算最优停车位并规划出最优停车位路径图，从而进行停车位的引导，否则就停止引导服务；

第三步：系统信息处理中心也应将计算出的最优停车位的路线图，反馈到用户手机端，帮助用户能够第一时间就完成停车操作。司机通过手机移动终端获取停车位引导的路线图，场内车位的指示灯情况（空余或者有车）对车辆放行，司机通过指示灯完成停车过程；

第四步：如果车位上有车辆驶入时，由信息采集模块判断车车位上的信息是否是预定车位的信息。如果两者的信息达成了一致，那么就允许驾驶员完成停车过程。如果两者的信息不一致，根据当前停车场车位情况，判断是否为其重新匹配一个新的车位。

### 3.4 停车位引导系统功能模块设计

本文的停车位引导系统由五个模块组成，主要由用户系统管理、信息发布模块、停车场信息管理、停车位引导管理以及财务管理等。在不同功能模块的设计上分别采用不同的存储表结构，后台实现统一的数据库。本系统的总体功能模块结构图，如图 3-3 所示。

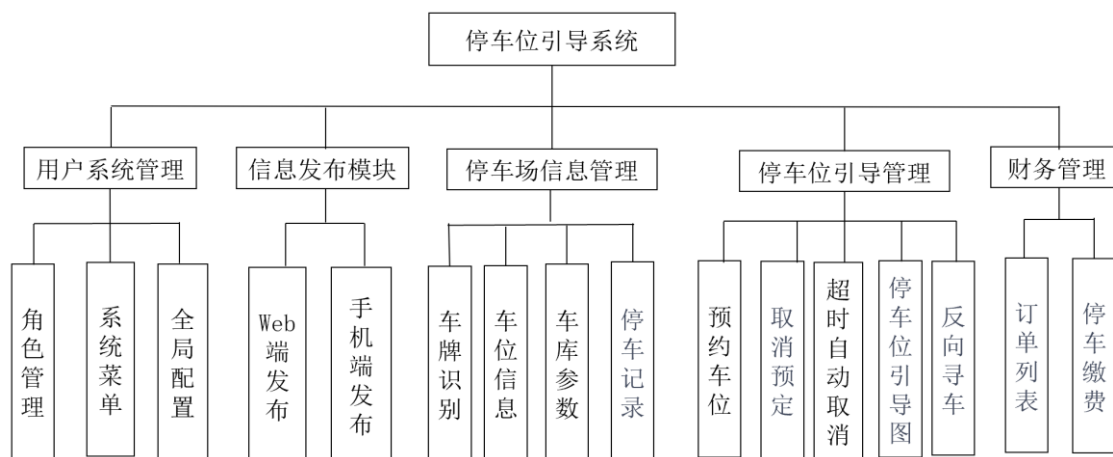


图 3-3 停车位引导系统功能模块图

### （一）用户系统管理模块

系统设有管理员用户登录权限。在登录时采用验证码登录，必须同时输入正确的密码和验证码，才能进入系统界面；否则系统不会跳转，拒绝请求登录。这样系统就可满足一定的安全性。系统的管理员用户登录流程图，如图 3-4 所示。

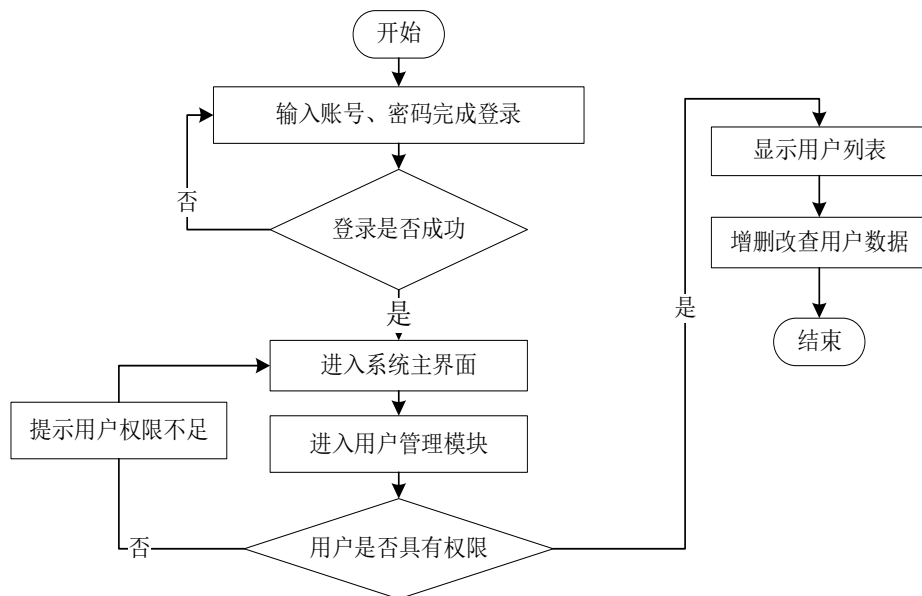


图 3-4 用户管理工作流程图

### （二）信息发布模块

本文开发的停车位引导系统主要是采用互联网发布和移动终端发布结合的方式。车辆引导服务平台能够将路径信息显示在管理系统中和手机用户小程序端，从而确保管理系统和移动终端上的路径信息都能得到准确发布，驾驶员就可以按照系统计算出的路线快速停车。用户既可以在 Web 网页上查询，也可以通过手机小程序终端查询、预定停车位等操作。

#### （1）Web 发布方式

Web 发布方式主要是司机浏览器网页页面，登录查询停车信息并做出具体操作的过程。

#### （2）用户手机小程序发布方式

移动终端的发布方式主要是通过移动网络向用户手机小程序发布停车位的信息，便于司机及时掌握车辆的状态信息。首先需要服务器的终端获取车位信息的查询结果，然后由服务器发布给移动网络停车位的信息，最后移动端也可

以同时向服务器发布车位预定信息等。具体的发布流程，如图 3-5 所示。

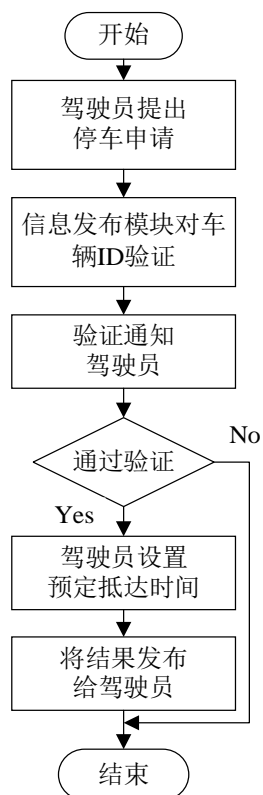


图 3-5 信息发布流程图

### （三）停车场信息管理模块

停车场信息管理模块的内容主要由车辆入场参数数据管理、停车记录管理、车牌识别、停车库的参数管理、停车位数量的记录等多方面的信息。入场时，首先进行车牌识别，报告并传送车辆入场信息。为后续车辆进场后的停车记录提供数据信息。

### （四）停车位引导管理模块

#### （1）车位预定功能

司机在停车前可以对系统提出预定车位，然而停车场内车位数量是个实时变化的参数。为了防止发生司机进行车位查询时是有车位，却在抵达车库后发现没有车位的情况，司机可以向系统提出预定请求，系统为其推荐出最优停车位并锁定车位。在车辆到达之前，将被预定的车位保留一定的时间。车位预定功能的流程图，如图 3-6 所示。

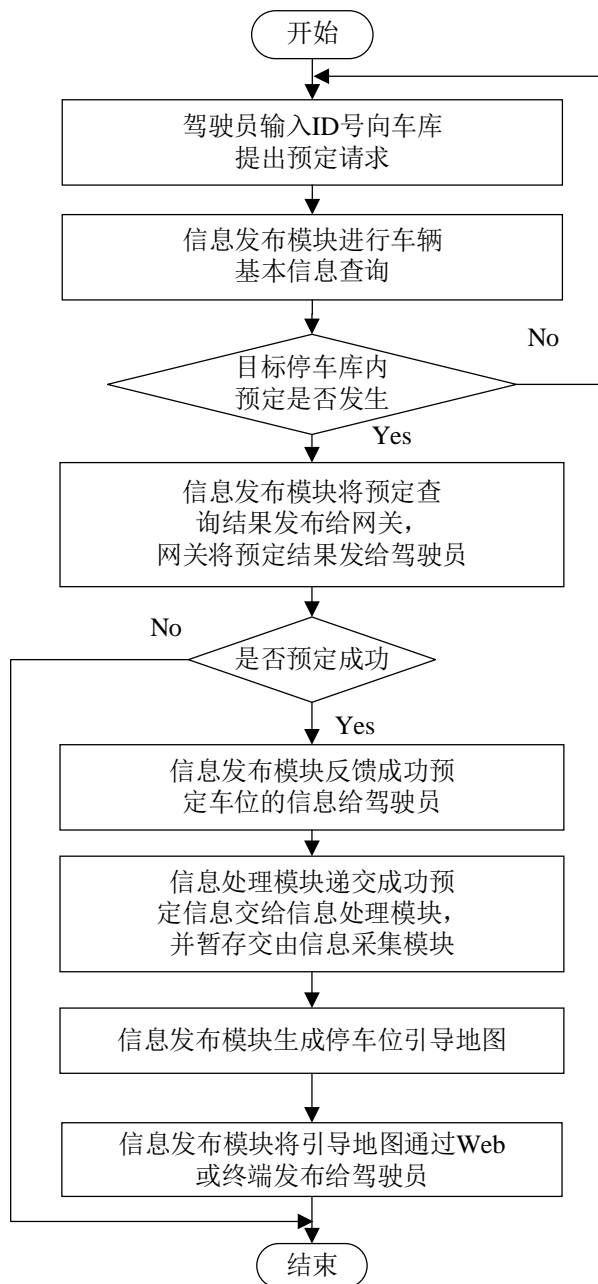


图 3-6 车位预定功能流程图

### (2) 取消预定功能

司机在停车过程中不免会遇到因为某些情况选择离开或者改变行程的情况。此时司机可以取消预定车位，车位的保留信息就会被撤销。取消预定功能的流程图，如图 3-7 所示。

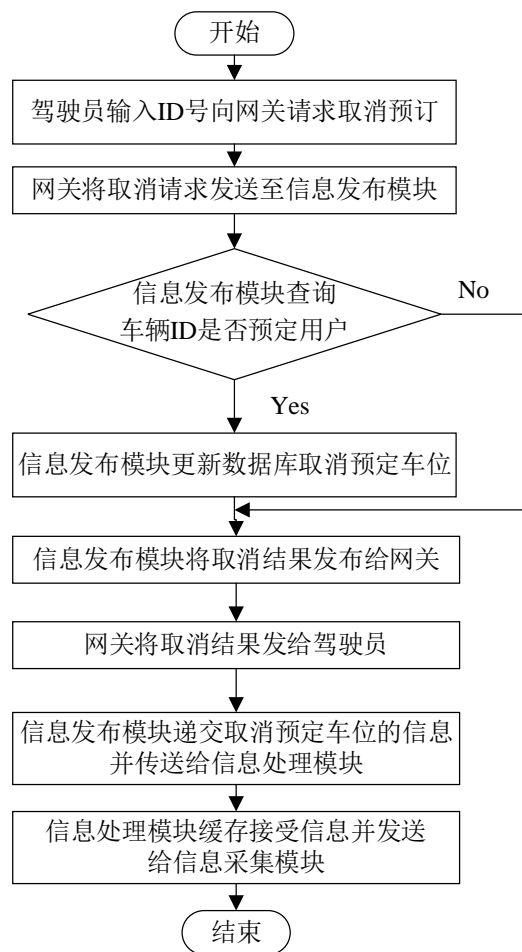


图 3-7 车位取消预定功能流程图

### (3) 超时自动取消预定功能

超时自动取消预定主要是因为车辆之前进行预定车位后，并未按时到达停车位的情况。此时系统进行判别之后，就会自动取消该车辆的车位预定。在停车位引导系统中，信息发布中心会定期的查询车位的数据，同时将结果定期发布给信息处理中心，处理中心收到请求并处理后取消预定。

### (4) 停车位引导图功能

停车场车位引导功能是当车辆进入停车场时，结合物联网技术采集车辆的信息、车位的信息，分析车位及车辆的特点，综合影响停车的多种因素利用路径规划算法进行最优车位的寻找及停车路径的规划。当用户预定停车位时，系统将计算好的最优停车位路线图发布给驾驶员的终端设备，促使车辆有效停车入位，停车位引导的工作流程图，如图 3-8 所示。

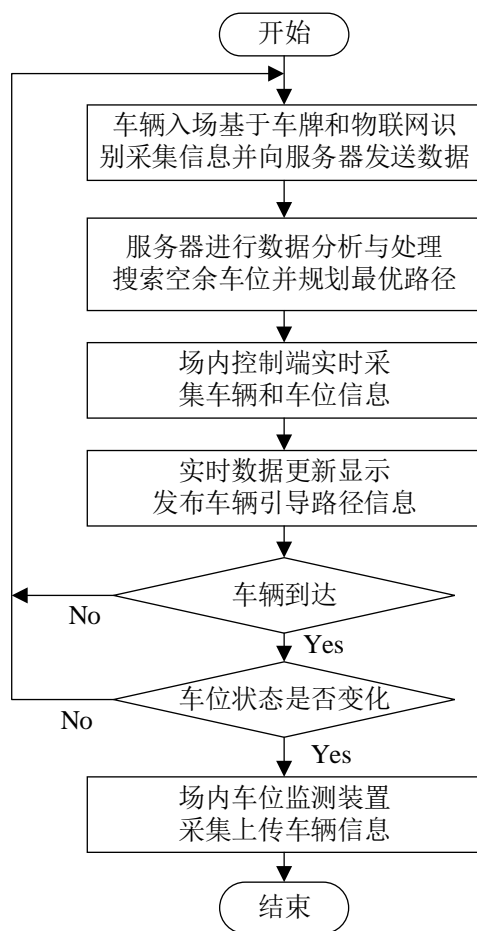


图 3-8 停车位引导功能流程图

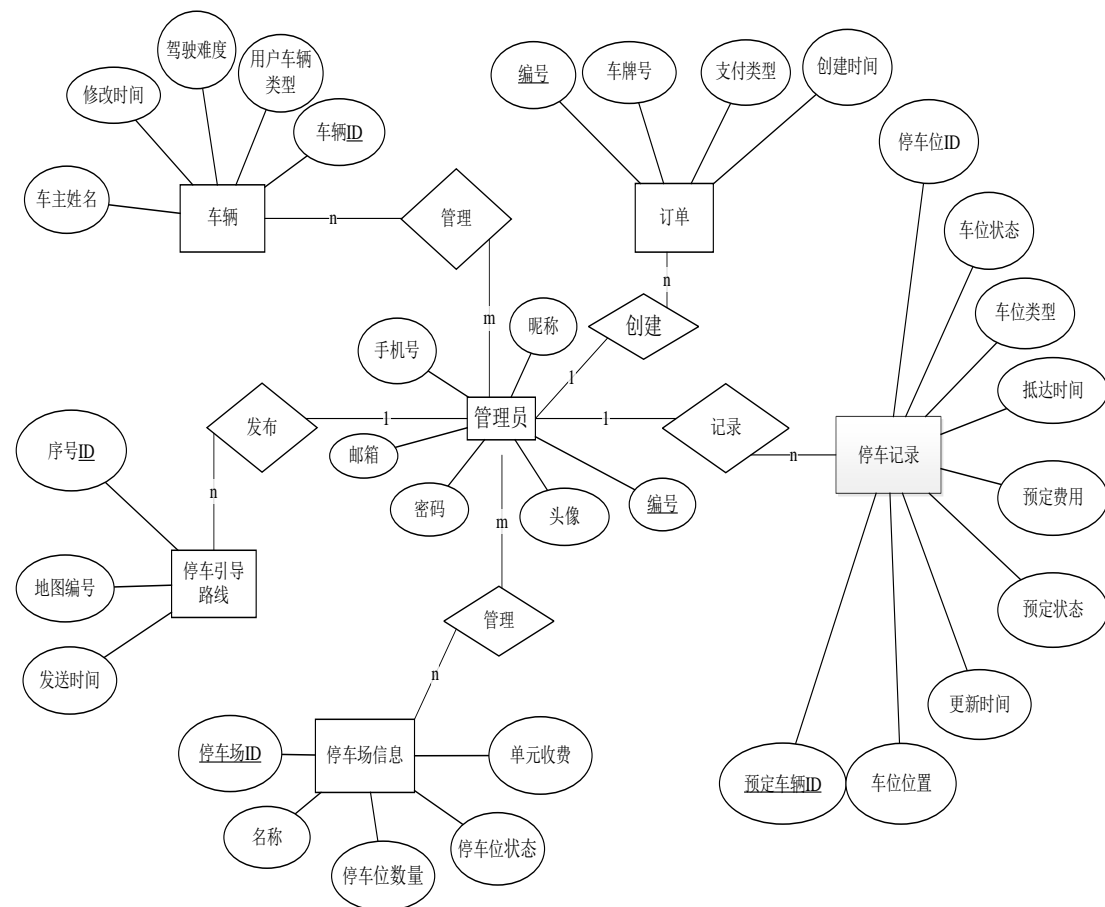
#### (5) 反向寻车功能

用户停车完成后,可能也会需要取车的路线。用户可通过向服务器提出反向寻车的请求,以输入车牌号的方式进行查找。停车位引导系统的处理中心接受请求反向寻车的信息后,通过车牌号进行查询,同样也采用路径规划算法将车辆离场的路线图发布给驾驶员。

#### (五) 财务管理模块

当车辆要离开停车场时,停车场出入口的信息监测模块记录车辆进场时间以及出场时间。信息发布模块首先查询出入场车辆的 ID 信息,然后信息处理模块根据数据信息计算司机所需支付的停车费。计算出的停车费将由信息处理模块传输给信息发布模块,信息发布模块将所需支付的停车费返回到底层各接入网关。最后由网关将结果发布给用户终端。

### 3.5.1 系统 E-R 图设计



### 3.5.2 数据库表设计

车场信息表(park-management)、管理车辆信息表(car-management)以及订单支付的信息表(park-pay)。本文的数据表具体设计如下:

车辆的信息表(park-order)由作为主键的车辆 ID, 车辆类型, 车主姓名, 车辆驾驶难度以及更改时间组成, 如表 3-1 所示。

表 3-1 车辆的基本信息表

字段名	字段类型	约束	描述
Car_ID	Int	主键、非空	车辆 ID
Car_type	Varchar(20)	非空、唯一	车辆类型
Car_name	Varchar(20)	非空	车主姓名
Car_difficulty	Varchar(20)	非空	驾驶难度
last_dataupdate	Varchar(20)	非空	更改时间

管理员基本信息表(user-info)由作为主键的用户 ID, 以及用户昵称、手机号、头像和密码等字段组成, 如表 3-2 所示。

表 3-2 管理员基本信息表

字段名	字段类型	约束	描述
USER_ID	Int	主键、非空	用户 ID
User_name	Varchar(20)	非空、唯一	昵称
User_exp	Int	非空	手机号
User_Image	Numeric(2, 1)	非空	头像
User_secret	Varchar(20)	非空	密码

停车场的信息表, 主要包含了停车场的基本信息, 包括停车场 ID、名称、停车位数量、停车位的状态、单元收费等相关信息。如表 3-3 所示。

表 3-3 停车场基本信息表

字段名	字段类型	约束	描述
Park_id	Int	主键、非空	停车场 ID
Park_name	Varchar(20)	非空、唯一	名称
Park_status	Int	非空	停车数量
Park_loc	Varchar(20)	非空	车位状态
Park_pay	Varchar(20)	非空	单元收费



表 3-4 为 park-map 表详细设计,建立车辆 ID 与引导地图的对应关系,为了使提供的数据具有实时性,也应记录数据的写入时间。

表 3-4 停车引导信息表

字段名	字段类型	约束	描述
map_id	Int	主键、非空	序号
map_sol_id	Int	非空	地图编号
Send_time	Varchar(20)	非空	发送时间

表 3-5 为停车记录信息表(park-order)表,建立用户进入停车场后,在停车场内入场、出场的记录,同时记录用户预定停车位的相关信息,实时提供给停车场和用户,以便随时掌握车位的状态。

表 3-5 停车记录信息表

字段名	字段类型	约束	描述
ord_id	Int	主键、非空	预定 ID
Park_ID	Int	非空、唯一	停车场 ID
USER_ID	Int	非空	预定车 ID
Park_type	Int	非空	车位类型
ord_arrive_time	datetime	非空	车抵达时间
ord_leave_time	datetime	非空	车离开时间
ord_price_prepai	Numeric(10, 2)	非空	预定费用
ord_price	Numeric(10, 2)	非空	预定状态
last_dataupdate	timestamp	非空	更新时间

表 3-6 为订单信息表(park-order)表,建立车辆离开车场后,车辆与车位之间订单支付金额的对应关系。

表 3-6 订单信息表

字段名	字段类型	约束	描述
pay_id	Int	主键、非空	编号
car_id	Int	非空	车牌号
pay_type	Varchar(20)	非空	支付类型
Send_time	Varchar(20)	非空	发送时间

表 3-7 为管理停车场信息表的详细设计，建立管理员用户 ID 与停车场信息表的对应关系，以保证管理员能够对停车场的信息进行操作与处理。

表 3-7 管理停车场信息表

字段名	字段类型	约束	描述
Parkmanagement_id	Int	主键、唯一	停车场管理编号
Park_id	Int	外键、非空	停车场编号
USER_ID	Int	外键、非空	管理员用户 ID

表 3-8 为管理车辆信息表的详细设计，建立管理员用户 ID 与车辆信息表的对应关系，以保证管理员能够对车辆信息的记录。

表 3-8 管理车辆信息表

字段名	字段类型	约束	描述
Carmanagement_id	Int	主键、唯一	车辆管理编号
Car_ID	Int	外键、非空	车辆 ID
USER_ID	Int	外键、非空	管理员用户 ID

### 3.6 本章小结

本章首先对停车位引导系统的需求进行分析，主要包括功能性需求和应用需求。然后对停车位引导系统的设计要求、系统的总体架构以及对停车位引导系统内各项功能模块的设计进行详细介绍。最后描述了数据库的存储设计，包括系统 E-R 图设计以及相关数据表的设计。

## 第4章 基于改进的A\*算法和蚁群算法最优停车位的路径规划

### 划

针对系统中停车位引导模块的设计,本文提出改进的A\*算法和蚁群算法结合的方法求解最优停车位。由于蚁群算法在运行的前期收敛速度比较慢,采用改进的A\*算法来配置蚁群算法的初始信息素。通过分析在停车距离一定的前提下影响停车时间的因素,把信息素更新的参考量由停车距离转换为停车时间,构建空余车位最短停车路径及最短时间矩阵。综合考虑了车型尺寸、停车路径距离、停车位的类型和停车位的方位等因素作为改进蚁群算法信息素的更新方式,使其不仅体现停车的距离关系,而且具有方向性的引导。该算法在收敛速度上有了一定的提升,同时也起到了避免局部最优的效果。本章与其他类似算法分别在相同的栅格地图环境中进行仿真实验对比,证实了本文改进的A\*蚁群算法的有效性。

#### 4.1 改进的A\*与蚁群算法概述

首先通过动态加权因子来调节A\*算法的搜索速度,并利用改进的A\*算法求解各空余车位之间最短可行路径,作为原有路径长度上的初始信息素,以解决蚁群算法初始信息素均匀分布的问题。然后综合考虑了车型尺寸、停车路径距离、停车位的类型和停车位的方位等因素作为改进蚁群算法信息素的更新方式。结合实际停车条件,确保在全局最优路径基础之上,实时规划最优停车位的引导路径,使用户顺利到达目标空余车位点。

##### 4.1.1 改进A\*算法启发函数

A\*算法是由Hart等人研究的最短路径规划问题的启发式算法。通过改进Dijkstra算法的搜索区域,然后对当前行进节点和终点之间的启发因子进行设定,有效提升了算法搜索的效率<sup>[51]</sup>。在A\*算法中设计一种动态加权因子来增加收敛速度,根据待移动节点与目标点的距离动态调整权重,在算法初期,搜索节点少,远离目标,通过设置加权因子调整 $g(n)$ 和 $h(n)$ 的比例,使得 $g(n)$ 起主导作

用,但随着算法继续搜索,搜索层的数量变大,评估函数中的 $h(n)$ 比例增大,如图4-1所示。

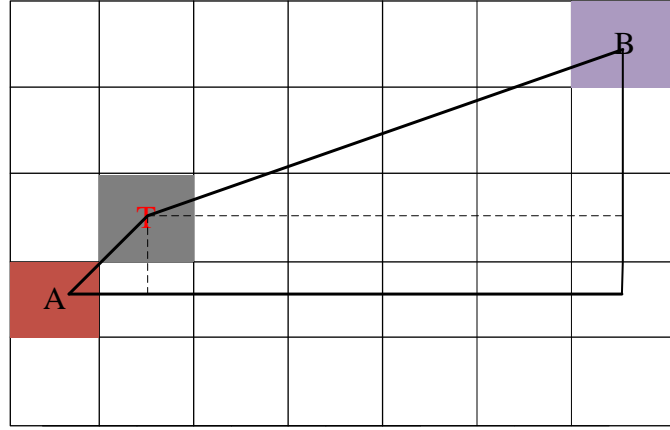


图4-1 A\*算法当前节点状态示意图

当节点距离目标点远时, $w$ 的值越大;当距离目标点很近时,则 $w$ 的值越小。改进的A\*算法的评价函数公式,如公式(4.1)所示。

$$f(n) = (1-w)g(n) + wh(n) \quad (4.1)$$

$$w = \frac{d_{AT}}{d_{AB}} = \frac{|x_t - x_b| + |y_t - y_b|}{|x_a - x_b| + |y_a - y_b|}, w \in (0,1) \quad (4.2)$$

其中, $w$ 为加权因子; $A(x_a, y_a)$ 为起点坐标; $B(x_b, y_b)$ 为终点坐标; $T(x_t, y_t)$ 为待移动节点坐标; $d$ 表示节点之间的曼哈顿距离, $g(n)$ 表示已走栅格的代价值; $h(n)$ 表示预估代价值。

#### 4.1.2 改进蚁群算法信息素更新方式

通过分析原始蚁群算法中所包含信息素更新模型的特点,本文在停车位引导系统中,路径规划算法选择的是与距离有关的蚁量模型。原始的蚁量模型中只是简单的将距离因素作为信息素更新的标准,然而本文在最优停车位的选择过程中,并没有将距离作为唯一的参考因素。因为停车距离最短的停车位,对于有些驾驶员而言不一定是最优的停车位,所以本文针对蚁群算法在信息素更新过程时做出了部分的改进。

本文通过分析在停车位的距离一定的前提下影响停车时间的因素，把信息素更新的参考量由停车距离转换为停车时间，构建空余车位最短停车路径及最短时间矩阵。综合考虑了车型尺寸、停车路径距离、停车位类型和停车位的方位等因素作为改进蚁群算法信息素的更新方式，使其不仅体现停车的距离关系，而且具有方向性的引导。同时借助物联网技术获取这些参考信息是相对比较容易的，比如，以下有甲、乙、丙三位驾驶员，想要进行停车位的预定，那么在车辆进场之后，识别车辆ID信息得到的相关信息表，如表4-1所示。

表4-1 车辆ID信息表

	预定 时间	预定 次序	车辆 ID	车辆 型号	车型 尺寸	空闲车 位数量	车型 比例	驾驶 难度
甲	13:45	1	D189	本田	4696*1909*1585	24	1.4	1.0
乙	13:55	2	C345	奥迪	3540*1695*1685	23	1.1	2.0
丙	14:00	3	B436	宝马	4425*1765*1470	22	1.0	3.0

利用改进的A\*算法求解各空余车位之间最短可行路径，作为原有路径长度上的初始信息素，即两个行车路段之间的最短距离作为初始信息素。构建行驶到空余车位的路径网络矩阵 $S_A$ ，进而规划出停车时间矩阵 $T_A$ 。假设当前时刻的停车场内车位信息的平面图，如图4-2所示。然后将其生成一个带有权值的有向节点图，如图4-3所示。通过对图中信息进行分析，可以得出一个路径边矩阵 $S_A$ 和一个路径的权值矩阵 $S$ 。

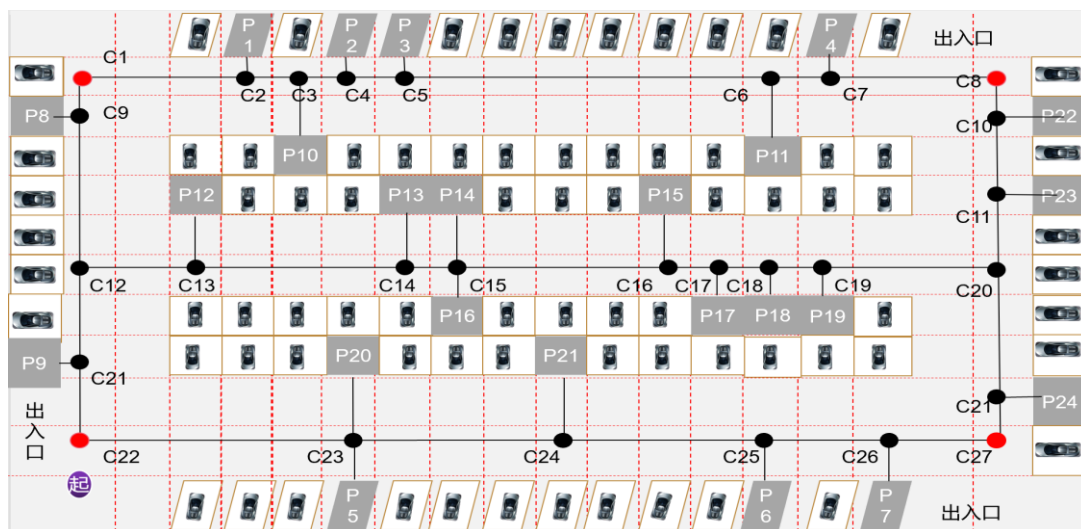


图4-2 停车场车位平面

如果有司机想要进行停车时,都会想尽快找到一个最优的停车位,那么 $P_A$ 被作为路径的终点(即空闲停车位的位置)时,就需要规划出一条最优的路径到达点 $P_A$ ,  $L_{best} \{r_{i2} = p_A\}$ ,可得如公式(4.3)所示。

$$L_{best} = \text{Min}\{l_1 \{r_{i2} = p_1\}, l_2 \{r_{i2} = p_1\}, l_m \{r_{i2} = p_m\}\} \quad (4.3)$$

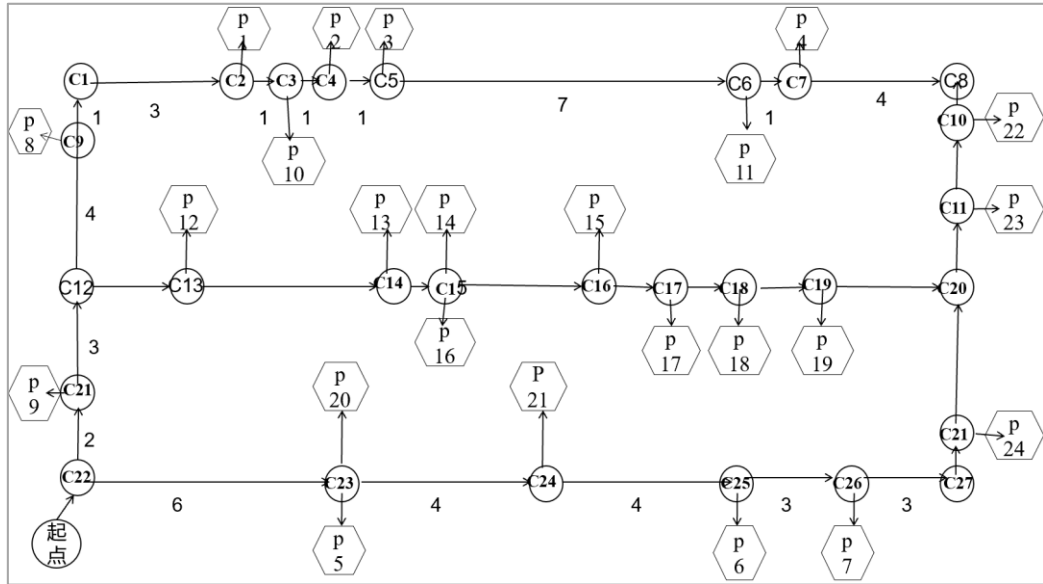


图 4-3 停车场空余车位的权值图

大型停车场中存在多个空余车位,如公式(4.3)中所示,最优空余停车位一定是在选择的路径中权值最小的一个,那么就是每个元素都代表一个停车位的最优路径。规划出的该条最优路径所对应的车位也就是最优停车位。

因为最优停车位的最短路径距离矩阵网络的构建,类似于经典的旅行商问题。所以设定空余车位的数量此时为 $\delta$ ,  $X = (X_1, X_2, \dots, X_\delta)$ 为车位的编号顺序,进行遍历,路径距离为 $L(x)$ 。然后对这组停车位编号顺序为 $X$ 的一组数据进行求最优解,得到的路径距离函数 $L(x)$ 为 $\min L(x) = \sum_{i=1}^{\delta} S(x_i, x_{i+1})$ ,构建路径边矩阵 $S_A$ ,如公式(4.4)所示。

$$S_A = \begin{bmatrix} S_{1,1} & S_{1,2} & \cdots & S_{1,\delta-1} & S_{1,\delta} \\ S_{2,1} & S_{2,2} & \cdots & S_{2,\delta-1} & S_{2,\delta} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots & \vdots \\ S_{\delta-1,1} & S_{\delta-1,2} & \cdots & S_{\delta-1,\delta-1} & S_{\delta-1,\delta} \\ S_{\delta,1} & S_{\delta,2} & \cdots & S_{\delta,\delta-1} & S_{\delta,\delta} \end{bmatrix} \quad (4.4)$$

矩阵中所包含有是第  $i$  条路径的起点  $r_{i1}$ ，是第  $i$  条路径的终点  $r_{i2}$ ，路径的权值矩阵，如公式(4.5)所示。

$$S = \begin{bmatrix} 0 & S_{1,2} & \cdots & S_{(1,\delta-1)} & S_{(1,\delta)} \\ S_{2,1} & 0 & \cdots & S_{(2,\delta-1)} & S_{(2,\delta)} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots & \vdots \\ S_{(\delta-1,1)} & S_{(\delta-1,2)} & \cdots & 0 & S_{(\delta-1,\delta)} \\ S_{(\delta,1)} & S_{(\delta,2)} & \cdots & S_{(\delta,\delta-1)} & 0 \end{bmatrix} \quad (4.5)$$

其中， $S(x_i, x_j)$  以停车编号  $x_i$  为起点， $x_j$  为终点的路径距离  $S_{x_i x_j}$ ， $S_{ij}$  为从  $S_i$  到  $S_j$  路径矩阵距离，满足  $S = S^T, S_{ij} = S_{ji}, i, j \in [1, \delta]$ ， $S_{ij}$  以  $i$  为起点， $j$  为终点的可行路径距离，可通过路径网络  $S_A$  中的  $S_{ij}$  路径矩阵的距离加和求得。

#### 4.1.3 节点方向性信息素的设置

当停车场车位固定且只允许一门进入一门出的时候，司机在入口处会出现“盲区”，要想顺利完成停车过程且从出口出去，此时利用算法计算达到最佳。因为方向角偏差不大，会对司机的判断产生更大的影响。在蚁群算法中对这样的节点增加相对每个空余车位与停车入口的“方向角因子”作为信息素更新部分的方向性信息素，以此来协调蚁群算法中信息素更新部分的权重比例，使算法的理论计算更趋近于实际情况的需求。

由于停车位的位置是固定不变的，且在水平和竖直方向上都是整齐对称排列的，每一个车位都有相对于入口的方向角，故停车位与入口点的欧氏距离和方向角都可求，如图 4-4 所示。

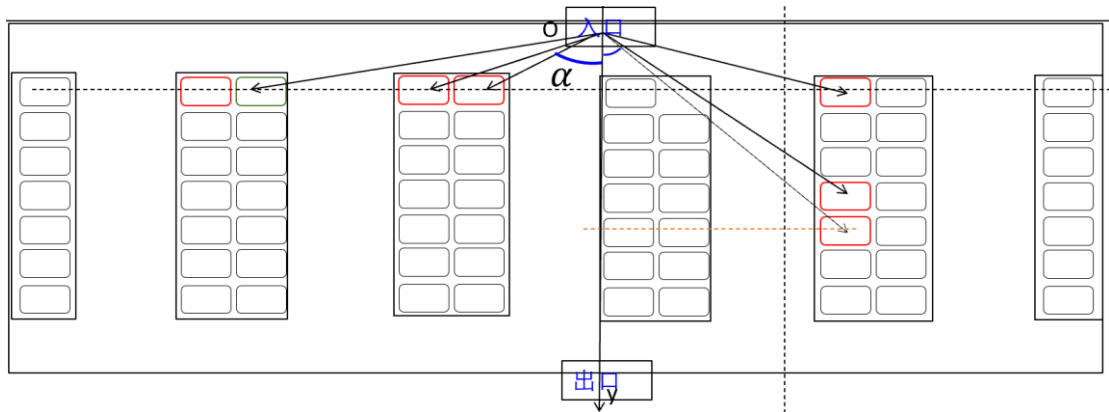


图 4-4 车位距离与方向角关系示意图

在每个车位节点上增加独立不挥发的，不叠加的全局信息素。以停车场入口位置的节点和各个空余停车位的节点为目标，在整个停车场的平面图上构造矢量方向性函数为  $y_\delta = kx_\delta$ ，其中斜率为  $b = \tan\alpha = y_\delta / x_\delta$ 。所以在每个车位节点上设置一定的方向性信息素，形成的方向性信息素矩阵为，如公式(4.6)所示。

$$\tau_{\alpha(t)}^k = \begin{bmatrix} b_{1,1} & b_{1,2} & \cdots & b_{(1,\delta-1)} & b_{(1,\delta)} \\ b_{2,1} & b_{2,2} & \cdots & b_{(2,\delta-1)} & b_{(2,\delta)} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots \\ b_{(\delta-1,1)} & b_{(\delta-1,2)} & \cdots & b_{(\delta-1,\delta-1)} & b_{(\delta-1,\delta)} \\ b_{(\delta,1)} & b_{(\delta,2)} & \cdots & b_{(\delta,\delta-1)} & b_{(\delta,\delta)} \end{bmatrix} \quad (4.6)$$

其中， $(x_\delta, y_\delta)$  空余车位节点横纵坐标值， $\tau_{\alpha(t)}^k$  表示  $t$  时刻第  $k$  只蚂蚁停留在某停车位节点的方向性信息素。

#### 4.1.4 A\*蚁群算法确定最优车位路径

停车位引导系统获取的关于车辆以及停车位的信息都是由物联网终端进行自动采集完成。然后将获取的各项参数放入改进的路径规划算法中进行路径规划。所以本文在对最优停车位进行路径引导的过程中，将通过分析与停车时间成正反比例关系的因素，也就是对原来的蚁群算法中的路径距离函数部分进行改进，如公式(4.7)所示。

$$\Delta\tau_{ij}^k(t) = \begin{cases} \frac{Q}{\Delta d_{ij}(t)}, & \text{if } k \in (i, j), t \in (t, t+1) \\ 0, & \text{else} \end{cases} \quad (4.7)$$

其中， $\Delta\tau_{ij}^k(t)$  为第  $k$  只蚂蚁在  $t$  时间内经过  $i, j$  的信息素浓度;  $Q$  表示信息素的浓度;  $\Delta d_{ij}(t)$  是第  $k$  只蚂蚁在路径  $i, j$  上的目标函数值;

一般情况下，停车场入口到达每个具体停车位的距离是一定的，那么就会存在，在停车位的距离不变的情况下，影响驾驶员完成停车入位的时间的因素就相对应的变成了驾驶车辆的大小、驾驶难度和停车位的入位难度等。

可以分析得出，若是停车位距离入口比较远时，那么司机花费的停车时间就相对更久；若是车辆的车型尺寸较大，则停车入位的时间可能也就更久；若



是停车位的入位难度越高（即停车位的类型，垂直型、斜线型、一字型），对于有的技能不熟的驾驶员就会停车时间需要更久。所以针对上文分析的情况，根据层次分析法综合衡量其司机对于车辆的驾驶难度系数以及对空余停车位的使用状态进行模糊化赋值。综上所述，分析得出关于各个因素影响停车时间的比例关系式，如公式(4.8)所示。

$$T_{ij} = \begin{cases} \frac{S * DE * d_{ij}}{E} * \theta, & \text{if } k \in (i, j), t \in (t, t+1) \\ 0, & \text{else} \end{cases} \quad (4.8)$$

其中， $T_{ij}$ 为停车入位时间， $S$ 为车型尺寸， $DE$ 为停车入位的难度， $d_{ij}$ 为路段( $i, j$ )路径距离的权值， $E$ 为车辆的驾驶难度系数。

根据公式(4.4)中空余车位最短路径网络路径矩阵，以及影响停车时间因素比例关系，进而得出停车时间与车位距离的时间成本函数  $\min T(x) = \sum_{i=1}^{\delta} T(x_i, x_{i+1})$ ，路径时间矩阵  $T_A$ ，如公式(4.9)所示。

$$T_A = \begin{bmatrix} 0 & T_{1,2} & \cdots & T_{(1,\delta-1)} & T_{(1,\delta)} \\ T_{2,1} & 0 & \cdots & T_{(2,\delta-1)} & T_{(2,\delta)} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots & \vdots \\ T_{(\delta-1,1)} & T_{(\delta-1,2)} & \cdots & 0 & T_{(\delta-1,\delta)} \\ T_{(\delta,1)} & T_{(\delta,2)} & \cdots & T_{(\delta,\delta-1)} & 0 \end{bmatrix} \quad (4.9)$$

其中， $T_A$ 为从 $T_i$ 到 $T_j$ 的最短时间矩阵， $\delta$ 为空余车位的数量， $\theta$ 为比例参数。对以上总体进行分析后，本文将对信息素更新方程的  $\Delta \tau_{ij}^k(t)$  做出改进。

由前文介绍与路径参考量有关的只有蚁量模型中的公式，本文选用蚁量模型来计算最优停车位。将原来的路段长度变成不同类型的车辆在路段( $i, j$ )上的停车总时间，所以停车时间作为一个新的参考量代入到蚁群的信息素更新公式中，如公式(4.10)所示。

$$\Delta \tau_{ij}^k(t) = \begin{cases} \frac{Q}{\Delta T_{ij}(t)}, & \text{if } k \in (i, j), t \in (t, t+1) \\ 0, & \text{else} \end{cases} \quad (4.10)$$

将公式（4.9）的路径时间矩阵  $T_A$  代入到公式（4.10）蚁量模型的信息素更

新方程中,并结合公式(4.6)所示停车位的方向信息素,那么就能够得出新的改进信息素更新公式为,如公式(4.11)所示。

$$\Delta\tau_{ij}^k(t) = \begin{cases} \frac{Q * \tau_{\alpha t}^k * E}{d_{ij} * S * DE} * \theta, & \text{if } k \in (i, j), t \in (t, t+1) \\ 0, & \text{else} \end{cases} \quad (4.11)$$

其中,  $\Delta\tau_{ij}^k(t)$  为第  $k$  只蚂蚁从  $t$  到  $t+1$  时间内经过  $i, j$  的信息素浓度;  $Q$  为信息素常量;  $d_{ij}$  为路段  $(i, j)$  路径距离的权值;  $S$  为车辆的车型尺寸;  $E$  为车辆的驾驶难度系数,  $DE$  为停车位的入位难度;  $\tau_{\alpha t}^k$  为每个停车位的方向性信息素。

#### 4.1.5 蚁群算法概率函数的改进

在蚁群进行路径搜索时,蚂蚁可依据下一节点的信息和信息素等来计算下一动作的运动概率。蚂蚁  $k$  在  $t$  时,由当前节点  $i$  选择其邻接节点  $j$  的概率计算公式为,如公式(4.12)所示。

$$p_{ij}^k(t) = \begin{cases} \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha [\eta_{ij}(t)]^\beta}{\sum_{m \in i, allowed_k} [\tau_{im}(t)]^\alpha [\eta_{im}(t)]^\beta}, & j \in i.allowed_k \\ 0, & \text{else} \end{cases} \quad (4.12)$$

虽然蚁群算法中蚂蚁行进节点的普通信息素与方向性信息素都是对最优路径的信息起到正反馈作用,但两者蚂蚁的路径选择概率中应该有不同的启发因子。故新的概率转移计算公式为,如公式(4.13)所示。

$$p_{ij}^k(t) = \begin{cases} \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha [\eta_{ij}(t)]^\beta \left[ \tau_{\varepsilon ij}^k(t) \right]^\gamma}{\sum_{m \in i, allowed_k} [\tau_{im}(t)]^\alpha [\eta_{im}(t)]^\beta \left[ \tau_{\varepsilon im}^k(t) \right]^\gamma}, & j \in i.allowed_k \\ 0, & \text{else} \end{cases} \quad (4.13)$$

其中,  $\eta_{ij}=1/d_{ij}$  为启发函数;  $\tau_{ij}^k(t)$  表示  $t$  时刻第  $k$  只蚂蚁停留在某停车位节点的方向性信息素;  $\alpha$  为信息素启发因子;  $\beta$  为期望启发因子;  $\gamma$  为方向性信息素对蚂蚁在路径选择中的影响程度;  $i$  为起点,  $j$  为终点;  $allowed_k$  为未曾访问的节点集合;  $\tau_{ij}(t)$  为  $t$  时间内  $i$  到  $j$  的信息素强度。

## 4.2 停车位路径引导

### 4.2.1 场内停车流程

一般大多传统的停车场内的车位选择方式更倾向于个人主观的判断, 没有客观确切的停车位目标, 因此导致了一定盲目行驶的过程。盲目的行驶过程不仅延长了场内的停车时间。此外, 若在上下班时间段内, 停车场中车辆的进出达到了高峰期, 盲目的行驶过程更造成了停车场的拥堵状态。车辆驾驶者在停车场的入口处受视线的影响, 只能大概看到停车场内部分的剩余车位, 无法获取停车场内全部空闲停车位的具体位置。

大部分的车辆驾驶者借助在入口处获取的部分信息做出较为主观的判断, 容易对空闲停车位进行盲目的寻找。然而车辆驾驶者在寻找可用车位的过程中, 还会因停车位的周围情况, 考虑是否能够停车。如果停车位不能达到车辆驾驶者的需求, 驾驶者会继续在停车场内寻找满足条件的空闲车位。

由于以上等因素, 若是想要简化停车场内车辆的停车过程, 则应该设有车辆的停车路径规划服务。也就是说, 当车辆驾驶者行进到停车场入口处的时候, 系统会依据车辆信息、停车场的空闲车位的状态信息, 进一步综合停车时间和停车距离等因素, 提供给一个符合驾驶员需求的最优停车位及其规划的路径。

驾驶员在系统的帮助下获取了准确的停车位置, 避免了上文提及的一些停车问题, 不仅提高了停车效率, 而且降低汽车油耗和缩短停车时长。在车辆引导服务中除了需要考虑车辆信息和空闲车位信息等客观因素外, 还需要考虑驾驶员的主观因素, 例如驾驶员的停车习惯。

在进行路径规划的过程中分析各个空闲停车位的属性信息, 并依据实际情况比较各个空闲停车位后, 得到符合驾驶员需求的最佳车位。通过改进后的混合优化算法建立相关最优停车位计算模型, 这样就可以直接找到经过系统综合决策判断计算后的车位, 以此能够获得最佳的停车位引导路线图。最终将最优

停车位及其路线图发布给停车位引导系统和用户手机小程序端呈现给客户，进而实现最优停车位的引导过程。

#### 4.2.2 最优停车位影响因素

在大型停车场中，如果靠着用户自己去寻找停车位，在停车入口处就会存在一定的盲区，结合具体需求推荐出适合驾驶员的最优停车位并进行路径规划的服务就可以有效避免这一问题，使得驾驶员在停车场入口处就可以轻松获取最优车位及其路线图。节省了司机的停车时间，就节省了车辆的耗油量。故综合为用户考虑的停车位引导系统具有极强的现实意义和经济意义。

经过阅读了大量关于停车位引导系统的国内外的相关参考文献后，本文针对影响最优停车位选择的因素进行了总结，即确保了停车时间最短的因素。

主要有以下几种情况：停车入口至停车位的距离、车辆的尺寸、停车位类型、以及停车位两侧的占用状态等。

其中空余停车位的占用状态，主要分为四种：停车位的两侧都有车、停车位的一侧有车、停车位两侧都没车以及停车位位于墙角端处，具体的停车位状态图，如图4-5所示。

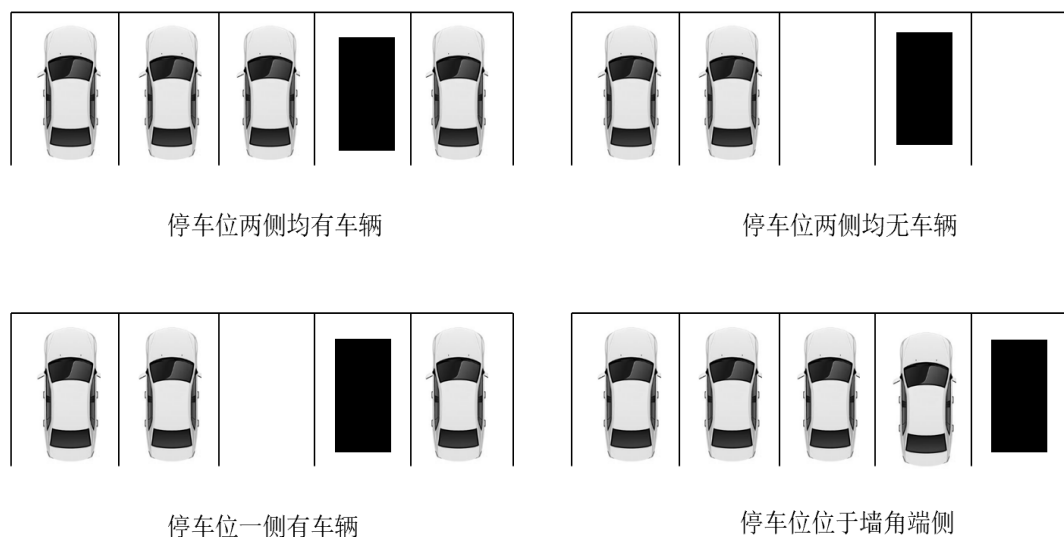


图4-5 泊位两侧车位占用情况

停车位的类型可以分为三种情形，有的为“一字型”状态、有的为“非字型”状态，还有的为“斜线型”状态，具体如图4-6所示。

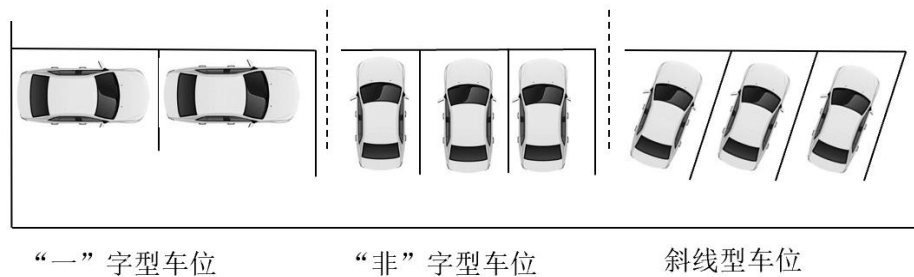


图 4-6 车位类型

在经过阅读了文献[52]和文献[53]后，分别对以下几种车辆类型的状态进行分析后，考虑到经济学的效益型和成长型指标，所以对这几种停车位的类型和停车位使用状态进行模糊化赋值。使用数字计数方式 1-9 进行赋值，进而明确不同停车位的类型入位难度，值越大入位程度越难，如表 4-2 所示。

表 4-2 车辆停车难度赋值表

车位 \ 车位类型	“一”字型车位	“非”字型车位	斜线型车位
两侧情况			
泊位两侧有车	7-9	5-7	5-7
泊位两侧无车	3-5	1-3	1-3
泊位一侧有车	5-7	3-5	3-5

#### 4.2.3 停车场内最优车位路径优化

进行停车场内最优车位路径优化时，必须将接收到的停车场的平面节点的状态图描述成一个带有权值的有向图。通过分析在停车距离一定的前提下影响停车时间的因素，把信息素更新的参考量由停车距离转换为停车时间，构建空余车位最短停车路径及最短时间矩阵。综合考虑了车型尺寸、停车路径距离、停车位的类型和停车位的方位等因素作为改进蚁群算法信息素的更新方式。对其最优停车位进行路径规划，引导司机最短时间内完成停车过程，在一定程度上节省了车辆的油耗。

系统借助物联网技术可以获取入场车辆和空闲停车位的基础信息。然后将获取到的信息作为整个系统算法中的计算因素，车辆的车型尺寸由上文表 4-1 的车辆 ID 信息表中可以得知。停车位的入位难度的评判比例由上文表 4-2 的车辆停车难度赋值表中可以得知。本文在对最优停车位进行路径引导的过程中，将

通过分析车辆的车型尺寸、停车路径距离、车辆的驾驶难度与停车时间成正反比例关系的因素，得出关于各个因素影响停车时间的比例关系及其转换方式，可以由公式(4.8)得知。在蚁群算法中增加相对每个空余车位与停车入口的“方向角因子”作为信息素更新部分的方向性信息素，空余车位的方向性信息素，由上文中公式(4.6)可以得知。算法的实现流程图，如图4-7所示。

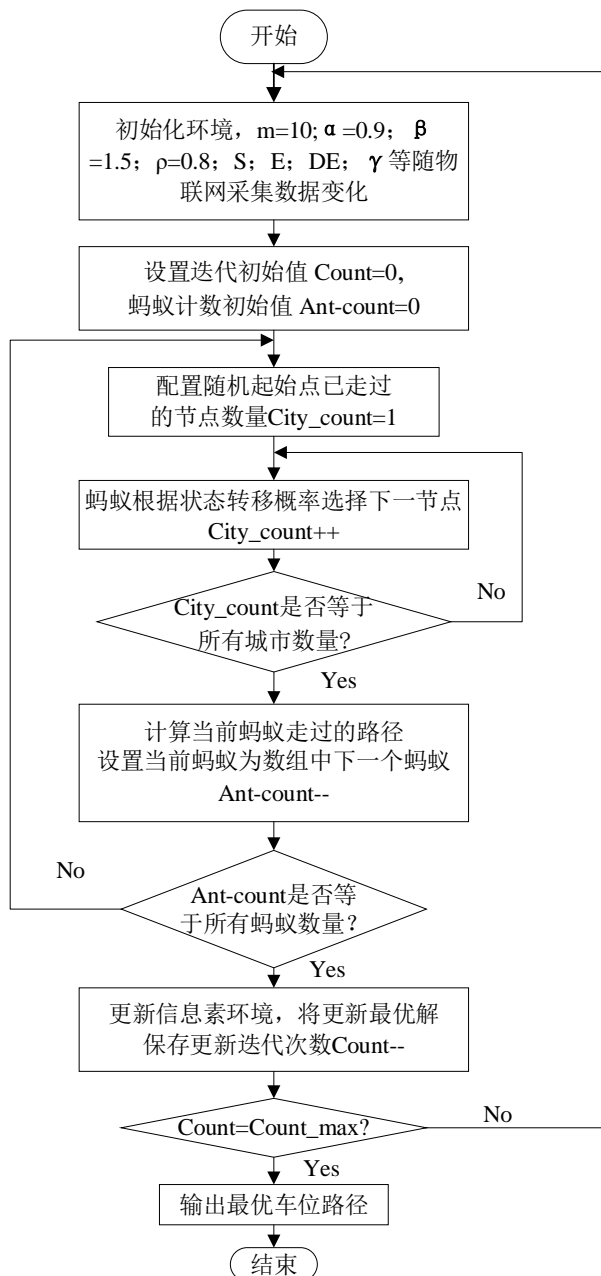


图4-7 算法流程图

改进的A\*算法和蚁群算法优化步骤如下：

Step1：初始化停车库的环境模型，设置蚂蚁的数量为  $m$ （ $m$  的取值范围应在  $\sqrt{n} \sim \frac{n}{2}$ ， $n$  代表数据规模，即停车场内空闲停车位数量）、信息素的启发因数为  $\alpha$ 、期望启发因数为  $\beta$ 、信息素残留因数为  $\rho$ 。

其他参数信息  $S$ （车型尺寸）、 $E$ （车辆的驾驶难度系数）、 $DE$ （停车入位的难度等级）、 $\gamma$ （空余车位的方向信息素）等随着物联网数据库中采集到的信息而变化，结合将停车场平面图转换的权值图，计算路径的权值；

Step2：根据初始化中的各个节点和路段的位置，建立停车场栅格地图；

Step3：求解各空余车位之间最短可行路径，提取改进的A\*算法搜索路径距离矩阵中的值，进而生成最短停车时间的矩阵，将其作为每个空余车位节点连接成的路段上的信息素的初值；

Step4：独立行进的蚂蚁在选择下一步要走的节点时，采用公式 (4.13) 计算下一个待行进节点的状态转移概率，这里选用轮盘赌法做出最后的决定。算法会经过多次的循环，直到蚂蚁无路可走；

Step5：根据本文结合多方面因素改进后的信息素更新公式，如图 (4.11) 所示，对每一代蚂蚁的信息素进行更新；

Step6：循环步骤 Step4 与步骤 Step5，直至蚁群算法中蚂蚁搜索代数到达最大迭代次数，此时获得最优路径。

### 4.3 实验仿真与结果分析

为了验证本文改进的A\*算法和蚁群算法路径规划算法的性能和可行性，选用软件 Matlab 2019b 进行3组仿真验证。每组实验将本文算法与其他算法分别在相同的地图环境中进行路径规划对比。

(1) 将传统蚁群算法 (Ant colony optimization, ACO) 与本文算法 (improve A\* ant colony optimization, IAACO) 在地图比例为  $20 \times 20$  的大小下进行路径规划对比，地图的障碍物覆盖率为 42.5%。设置蚂蚁的数量  $m=40$ ；最大迭代次数  $K=100$ ； $\alpha=3$ ； $\beta=7$ ；信息素蒸发系数  $\rho=0.4$ ； $Q=1$ 。图 4-8 中(a)为原始蚁群算法(ACO)的路径规划图；图 4-8 中(b)是应用本文改进的A\*与蚁群算法(IAACO)的路径规划图。

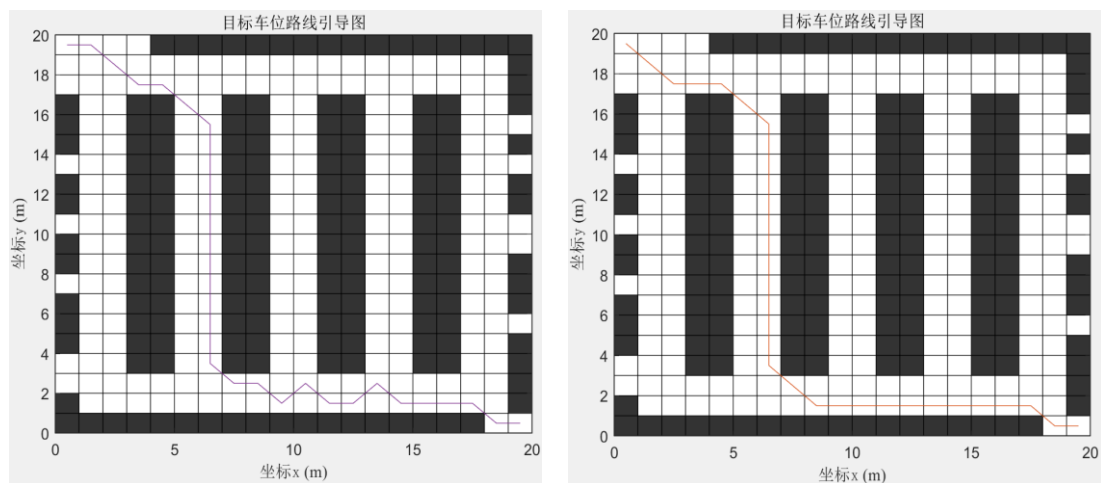


图 4-8 ACO 与 IAACO 路径对比图

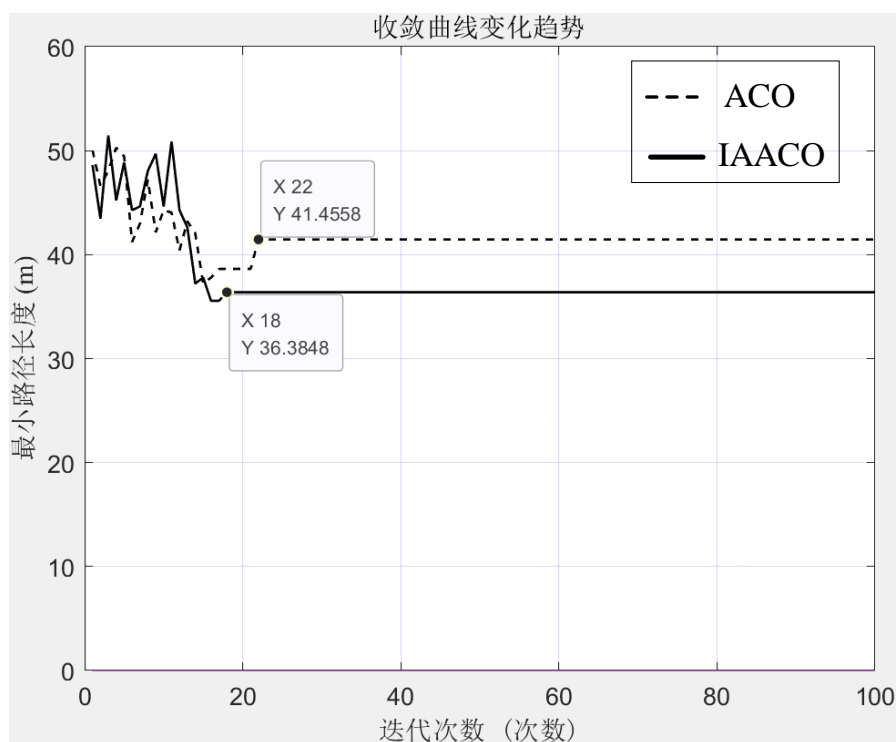


图 4-9 ACO 与 IAACO 收敛曲线对比图

如图 4-9 所示,通过分析两种算法的收敛曲线趋势,因为原始的蚁群算法在搜索的前期,设置的是固定的信息素为参考量,那么就会导致蚂蚁一开始会进行盲目的搜索,会随机寻找自己所走路段中的下一个节点。如果蚂蚁为了探索



出一次巡回过程后的相对最优的路径，就需要多次进行探索，因此就会增加一次迭代内的所寻找到最优路径的时间，所以就会导致迭代次数相对较大。而本文改进的A\*蚁群算法，由于前期采用改进的A\*进行优化蚁群算法的初始信息素，使得每条路径上分布的信息素并不是完全相同，而是每条路径上都有自己所对应路段的相对重要程度，这样蚂蚁在首次搜索行进的过程中，就会有自己选择下一节点的倾向程度，所以就便于前期能够相对快一点的找到一次迭代内的最优路径，使其算法的收敛速度更快，更小的迭代次数内就可以找到最优的路径。从图中就可以看出原始蚁群算法迭代次数达到22的时候呈现收敛的趋势，而本文改进算法在迭代次数为18代时，就已经开始收敛。而且最优路径的长度也略比原始的蚁群算法短了5.071m。

表4-3 ACO与IAACO性能比较分析

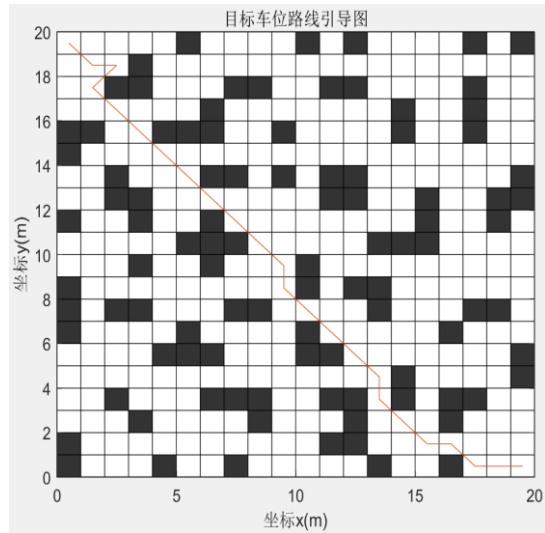
算法类型	平均最优路径长度/m	程序平均耗时/s
ACO	42.4558	10.0488
IAACO	35.6063	3.0243

为进一步分析，将每个地图对应的算法运行20次取平均值。如表4-3所示，本文改进的蚁群算法在其蚂蚁的搜索时间上呈现比原始蚁群算法耗时更少，路径距离更短的状态。两种算法在同一环境下的仿真结果对比，本文改进的A\*算法融合蚁群算法，主要是由于前期不再像原始蚁群算法一样进行盲目搜索，蚂蚁在搜索路径的过程中进行选择下一步待走节点时，具有了不同路段上信息素的重要程度，所以不论在最优路径长度或是平均路径长度以及算法的平均耗时上都明显优于ACO算法。

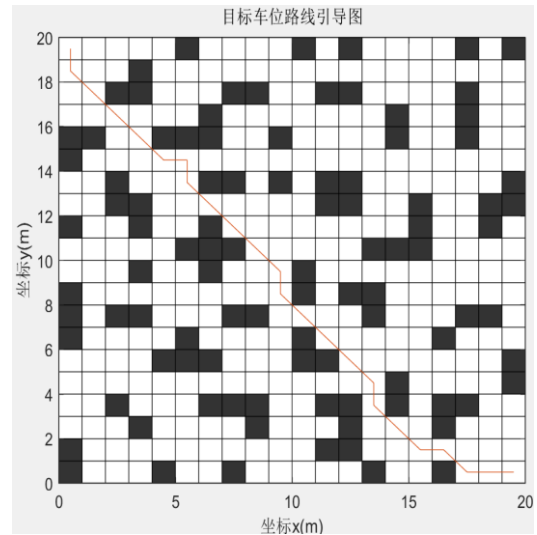
从数据中可以具体看出相对复杂的环境下，本文算法与原始蚁群算法在同一个栅格地图环境下进行路径规划，原始蚁群算法在多个路段中的折点数量很多，而本文优化后的算法规划的路径却平滑了许多。本文算法的最优路径长度为35.6063m，并且寻找的最优路径长度也比ACO缩短了6.8495m；并且程序的耗时较蚁群算法减少了7.0245s。

(2) 将本文算法与文献[37]中A\*与蚁群结合改进算法(简称IAACO)进行路径规划。在地图比例为20\*20的大小下进行对比，地图的障碍物覆盖率为23.5%。初始化时，蚂蚁数量 $m=50$ ，最大迭代次数 $K=200$ ； $\text{Alpha}=3$ ； $\text{Beta}=7$ ；信息素蒸发系数 $\text{Rho}=0.3$ ； $Q=1$ 。图4-10中(c)为文献[37]A\*与蚁群结合改进算法(IAACO)

的路径规划图；图4-10中(d)是应用本文改进的A\*与蚁群算法(improve A\* ant colony optimization, IAACO)的路径规划图。



图(c) 文献[37]蚁群算法(IACO)



图(d) 本文改进的蚁群算法(IAACO)

图4-10 IACO 与 IAACO 路径对比图

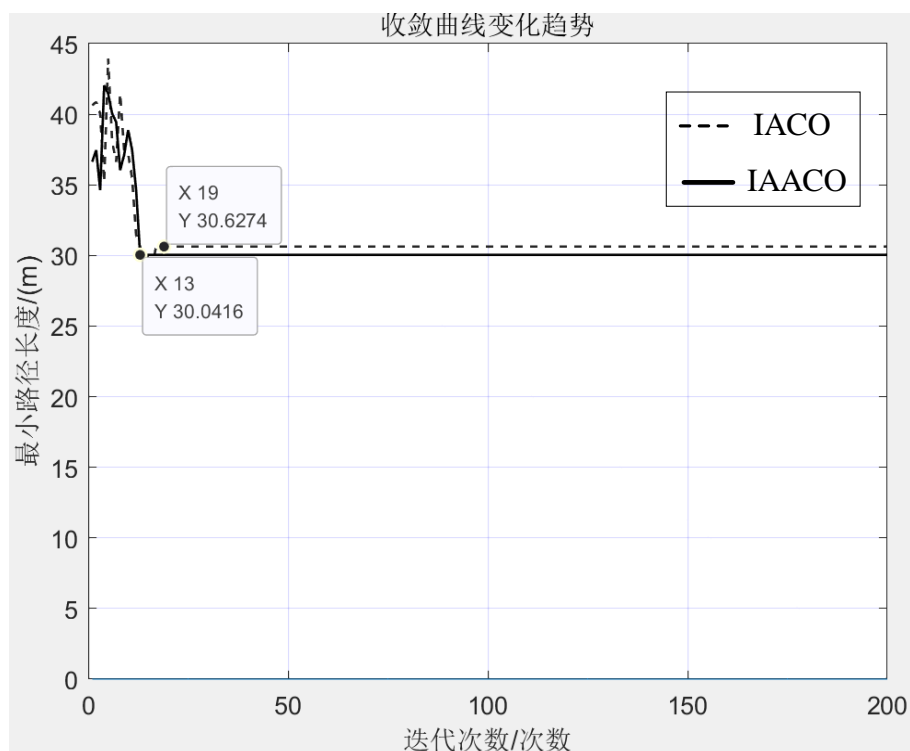


图4-11 IACO 与 IAACO 收敛曲线对比图

从图中可以看出,本文算法与IACO算法在同一个栅格地图中进行规划,虽然文献IACO算法与本文算法都在前期的信息素初始化上进行了一定的优化,IACO提出了简化A\*算法优化蚁群算法的初始信息素,但IACO算法采用动态反馈的参数去调节蚁群算法的信息素,这在一定程度上会影响算法的整体性能,所以导致在多个路段中出现的折点数量较多,而本文算法由于在整个搜索过程中都具有相对搜索方向的倾向性,所以不容易陷入局部最优的状态,进而得出本文优化后的IAACO算法,规划出的路径相较平滑。

从图4-11中两种算法的收敛曲线变化趋势可以看出,本文算法在第13代的时候就达到收敛的状态,由于IAACO算法跳出局部最优的能力比较强,能够更快的停止算法的迭代过程,而文献[37]中IACO算法则在第19代时才有收敛的趋势,并且本文算法IAACO算法寻找的最优路径长度也比IACO短了0.5858m。

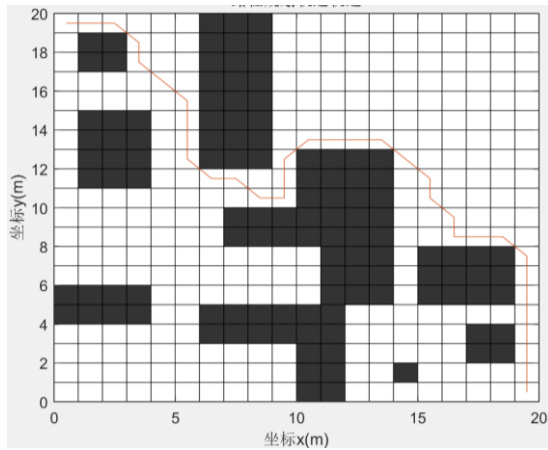
为进一步分析,将每个地图对应的算法运行20次取平均值,实验的结果,如表4-4所示。

表4-4 IACO与IAACO性能比较分析

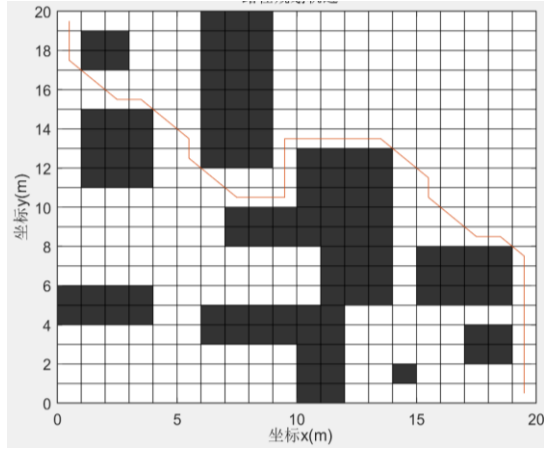
算法类型	平均最优路径长度/m	程序平均耗时/s
IACO	30.5939	5.1474
IAACO	30.0016	2.9780

由于本文算法相比IACO更容易跳出局部最优,所以即使在相对复杂的环境下,本文的算法能够较快的规划出一条相对的最优路径。从数据中可以具体看出,两种算法在同一环境下的仿真结果对比,本文改进的A\*算法融合蚁群算法,不论在最优路径长度或是平均路径长度以及算法的平均耗时上都明显优于IACO算法。本文的算法最优路径长度为30.5939m,并且寻找到的最优路径长度也比IACO缩短了0.5923m;并且程序的耗时较蚁群算法减少了2.1694s。

(3)将本文算法与文献[44]中A\*与蚁群结合改进的算法(IACO-M)进行路径规划对比。选取20\*20的地图,其障碍物覆盖率为28.75%。初始化时,蚂蚁数量 $m=30$ ,最大迭代次数 $K=100$ ;  $\text{Alpha}=3$ ;  $\text{Beta}=7$ ; 信息素蒸发系数 $\text{Rho}=0.3$ ;  $Q=1$ 。图4-12中(e)为IACO-M的路径规划图;图4-12中(f)是应用本文改进的A\*与蚁群算法(improve A\* ant colony optimization, IAACO)的路径规划图。



图(e) IACO-M 算法路径规划图



图(f) IAACO 算法路径规划图

图 4-12 IACO-M 与 IAACO 路径对比图

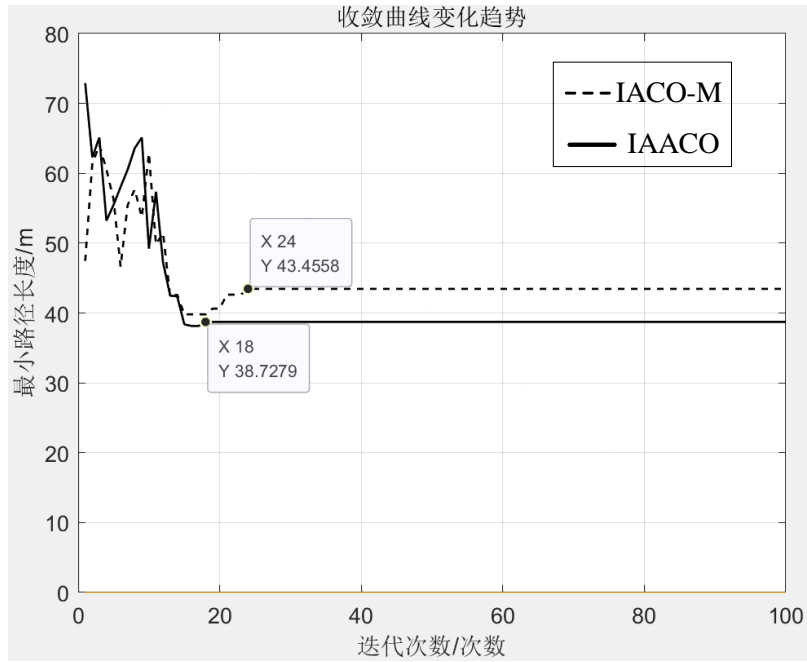


图 4-13 IACO-M 与 IAACO 收敛曲线对比图

从图 4-13 中两种算法的收敛曲线变化趋势可以看出，两种算法在同一个栅格环境下进行路径规划，由于 IACO-M 算法也采取 A\*算法对蚁群算法的启发函数和信息素更新方式进行改进调整，所以本文的 IAACO 算法与 IACO-M 算法在前期的收敛速度相差并不多。在图中可以看出，本文的 IAACO 算法在后期先于 IACO-M 算法达到收敛的状态，主要是由于 IACO-M 算法为了达到降低自锁的目标，导致后期算法的收敛结果的准确性受到了一定的影响。然而本文的 IAACO

算法在后期也保持一定的搜索的准确性,因此即便收敛速度相差不多,本文算法规划的最优路径相对准确与平滑。

表 4-5 IACO-M 与 IAACO 性能比较分析

算法类型	平均最优路径长度/m	程序平均耗时/s
IACO-M	43.4558	5.0352
IAACO	38.7187	2.3243

表 4-5 是两种算法在同一环境下的仿真结果对比,本文改进的 A\*算法融合蚁群算法,在平均路径长度和算法的平均耗时都明显优于 IACO-M 算法。从数据中可以具体看出在相对复杂的地图环境下,本文的算法平均最优路径长度为 38.7187m,并且寻找的平均最优路径长度也比 IACO-M 缩短了 4.7371m,程序的平均耗时也较蚁群算法减少了 2.7109s。

#### 4.4 本章小结

本章首先提出了一种基于改进的 A\*算法和蚁群算法结合求解最优停车位的方法。为解决蚁群算法前期收敛速度慢的问题,改进 A\*算法优化初始信息素设置以解决蚁群算法初次搜索的盲目性。然后通过分析在停车距离一定的前提下影响停车时间的因素,把信息素更新的参考量由停车距离转换为停车时间,构建空余车位最短停车路径及最短时间矩阵。最后综合考虑了车型尺寸、停车路径距离、停车位类型、停车位的方位等因素作为改进蚁群算法信息素的更新方式,使其不仅体现停车的距离关系,而且具有方向性的引导。仿真实验表明,本文提出的基于改进的 A\*和蚁群算法结合的方法分别与原始蚁群算法、改进的 IACO 算法以及 IACO-M 算法相比,在收敛速度上有了一定的提升,同时也起到了避免局部最优的效果。

## 第 5 章 停车位引导系统实现与测试

本章根据停车位引导系统的实际需求，实现并测试了停车位引导系统的主要功能模块。首先，完成对系统开发环境的搭建；其次，着重叙述了停车位引导系统中主要功能模块的具体实现；最后，进行信息监测模块以及系统整体性能的测试。结果表明，系统具有不错的性能。

### 5.1 系统开发环境介绍

系统采用 Matlab 语言和 Java 语言结合的方式，在目前主流的开发框架 SpringBoot 下，实现对软件的开发。停车位引导系统的软件开发主要利用 B/S 模型。在 Tomcat8.0 的服务器中，web 前端实现是采用 JSP 技术进行编写前端的界面，IntelliJ IDEA 作为系统后端的开发工具。

为了保证停车位引导系统数据库的安全性和完整性，同时能够让用户通过数据库管理系统顺利访问数据库中表内的数据。所以本系统选择目前流行的关系型数据库 MySQL，进行数据的存储和管理，将数据保存到相应的数据表中，MySQL 数据库能够实现快速查询，而且具有很强的稳定性。开发环境的配置信息表，如表 5-1 所示。

表 5-1 开发环境的配置表

	名称	版本/规格
开发环境	JDK	1.8
	JSP	2.2
	IntelliJ IDEA	18.3
	SpringBoot	4.2.4
	Spring	4.2.4
	MyBatis	3.2.2
服务器	Tomcat8.0	7.0.85
数据库	MySQL	5.1.60

5.2 停车位引导系统功能实现

根据系统各部分的设计要求以及用户的实际需求，利用系统相关技术开发符合用户的停车位引导系统，以能够给用户最好的体验感为目标，实现停车位引导系统的各部分功能。

5.2.1 用户管理模块功能实现

系统设有管理员用户登录权限，在登录时采用验证码登录，必须同时输入正确的密码和验证码，才能进入系统界面；否则系统不会跳转，就会拒绝请求登录，出现登录失败的提示框。如果登陆成功，系统会自动跳到首页的展示界面，用户管理界面中的系统管理可以实现对全局信息的配置和管理员的角色转变。用户管理功能页面效果图，如图 5-1 所示。

你好! admin, 欢迎登录	序号	角色标识	角色名称	备注	创建时间	操作
控制台	1	1003	停车场管理员		2022-03-22 16:29:29	<a href="#">修改</a> <a href="#">删除</a>
停车场管理	2	1002	停车记录管理员		2022-03-22 16:29:13	<a href="#">修改</a> <a href="#">删除</a>
车牌识别	3	1001	财务管理员		2022-03-22 16:28:59	<a href="#">修改</a> <a href="#">删除</a>
停车引导	4	admin	超级管理员	【系统内置】	2017-08-12 00:43:52	<a href="#">修改</a> <a href="#">删除</a>
车场管理	共 4 条 < 1 > 10 条/页					
停车记录						
系统管理						
角色管理						
系统菜单						
全局配置						

图 5-1 用户管理功能页面效果图

5.2.2 停车场管理功能实现

(1) 车牌识别

目前车牌识别技术发展比较成熟，很多停车场入口为了计算停车的费用都会在停车场内设置车牌识别装置。首先将车牌识别摄像机配置到停车场入口处，当车辆进入场内时，自动以视频监控的方式对车辆进行车牌识别，然后将识别的车牌信息传给停车位引导系统的信息处理中心。最后实现记录后续车辆进场后的停车记录数据信息，车牌识别实现效果，如图 5-2 所示。

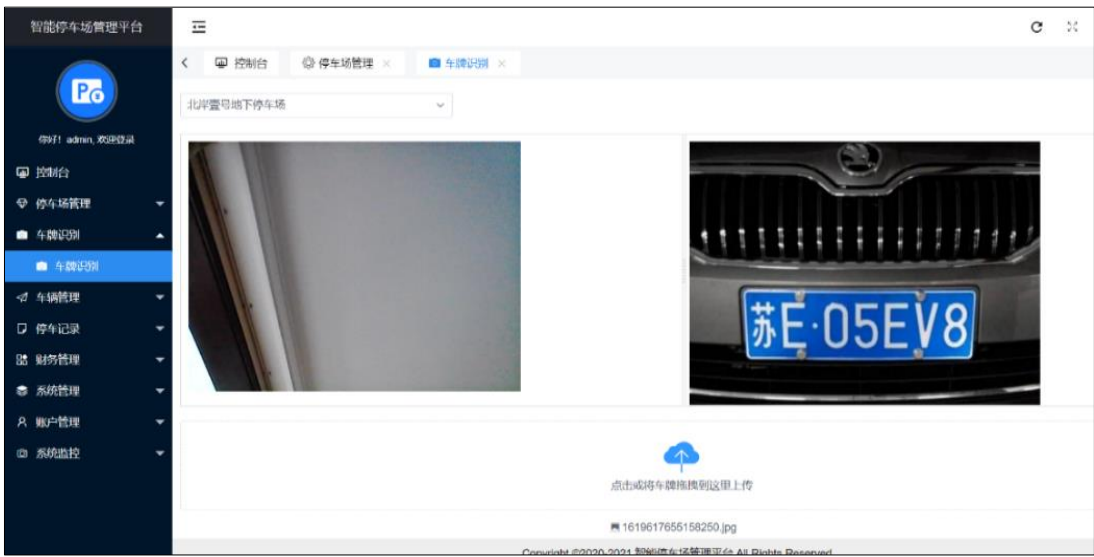


图 5-2 车牌识别实现效果图

(2) 车辆管理功能实现

车辆入场后以及出场产生的参数数据管理，方便管理员用户查看与处理，保证了系统的稳定性。新增或删除用户功能的实现效果，如图 5-3 所示。

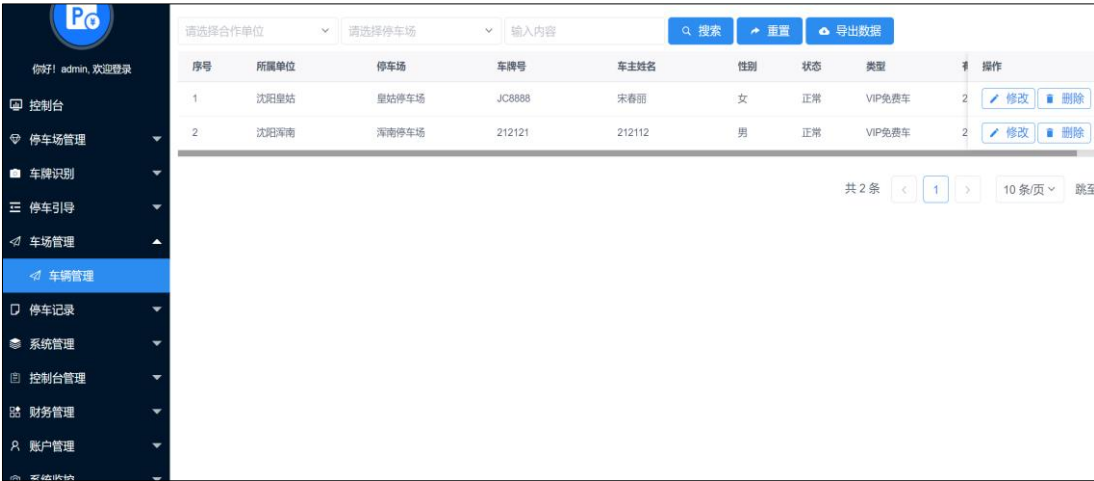


图 5-3 用户车辆入库新增信息界面效果图

(3) 车库参数管理

控制台监控场内车位信息数据，包括合作单位数量、停车场数量、车位数量、收益总额等。还有与停车场数据有关信息的折线图和柱状图的显示，使得数据清晰明了，便于管理。其实现效果界面，如图 5-4 所示。



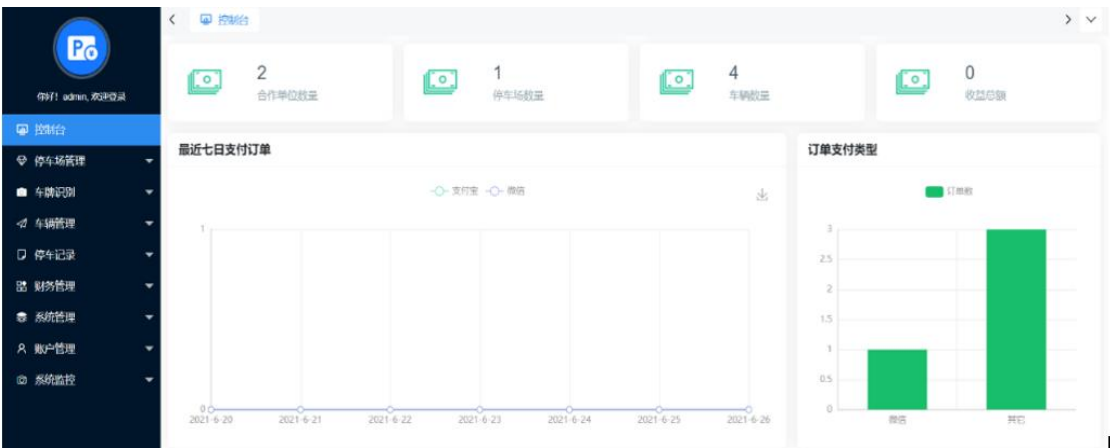


图 5-4 监控场内控制台信息数据界面效果图

(4) 停车记录功能

停车记录功能主要包括车辆所停的停车场的名称、场内车辆的车牌号、停车位的类型、车辆的入场时间、车辆的出场时间以及车辆入场期间具体的收费金额等。形成了完善的停车支付体系，停车记录功能实现效果为，如图 5-5 所示。

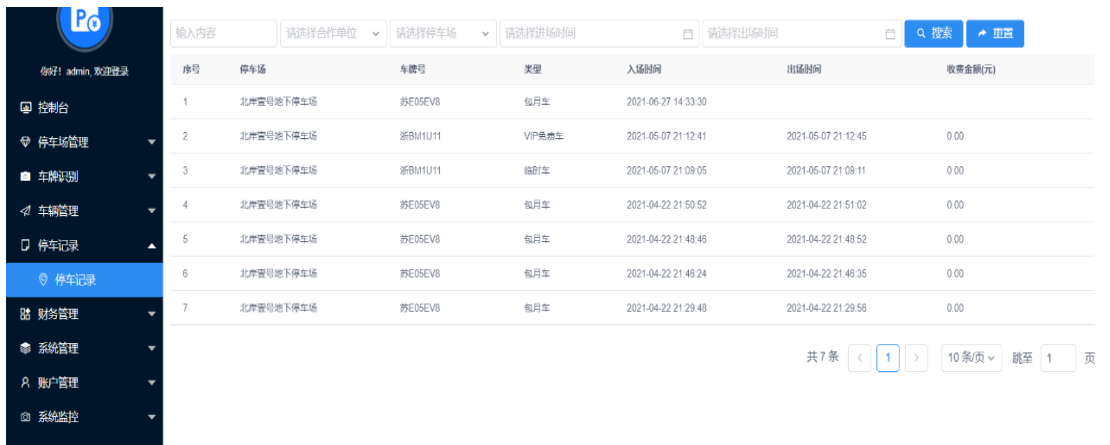


图 5-5 停车记录界面效果图

5.2.3 停车引导管理功能实现

(1) 停车位引导模块

根据先前利用物联网采集到的车辆以及车位信息，结合路径规划算法将规划出的最优车位及其路线图进行可视化显示，然后利用信息传输模块将相应的信息通过网络上传至服务器，并将停车路线反馈到系统界面，保证了数据能够

实时稳定的传输到停车位引导系统以及用户手机端。其中停车位引导功能实现界面，如图 5-6 所示。

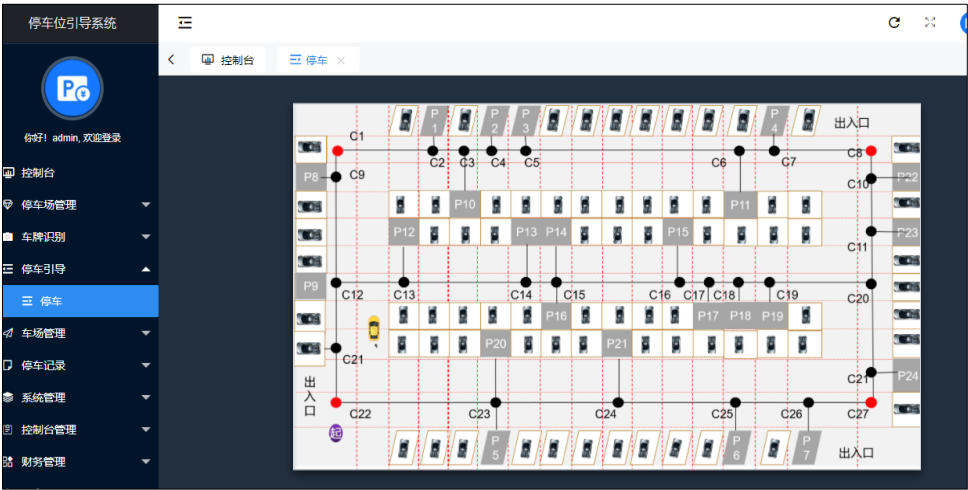


图 5-6 停车场车辆引导功能界面

与此同时，系统信息处理中心也应将计算出的最优停车位的路线图反馈到用户手机端，帮助用户能够第一时间就完成停车操作，节约停车时间，减少耗油量。用户手机端停车路线界面图，如图 5-7 所示。

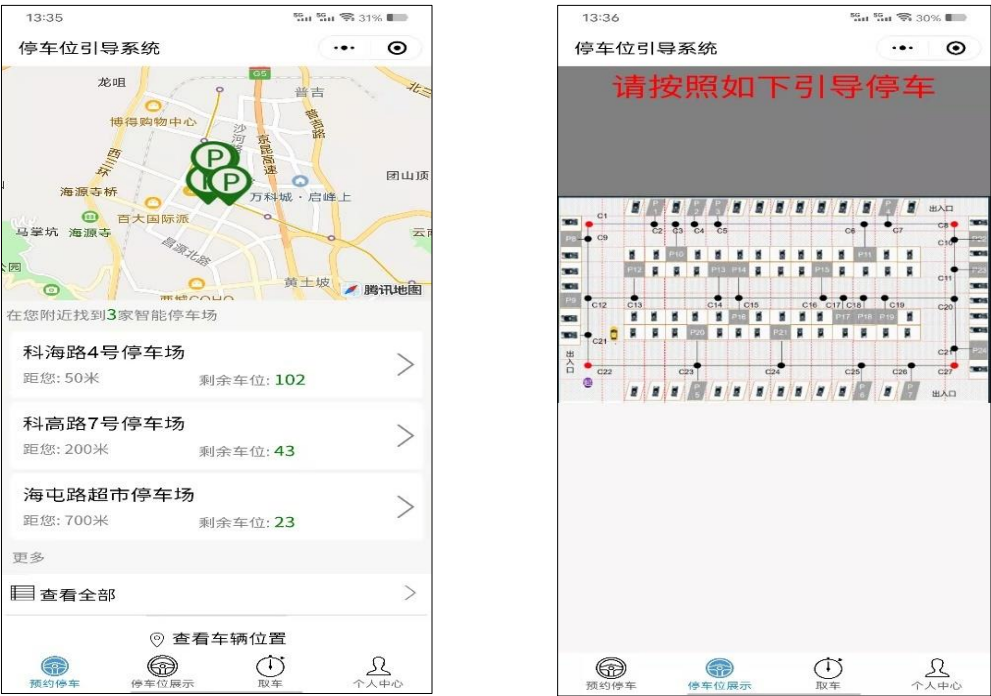


图 5-7 用户手机端停车路线界面图

(2) 车位预定模块

司机可以向系统提出预定请求，系统为其推荐出最优停车位并锁定车位，在车辆到达之前，将被预定的车位保留一定的时间，否则超时自动取消预定。车位预定功能实现界面图，如图 5-8 所示。

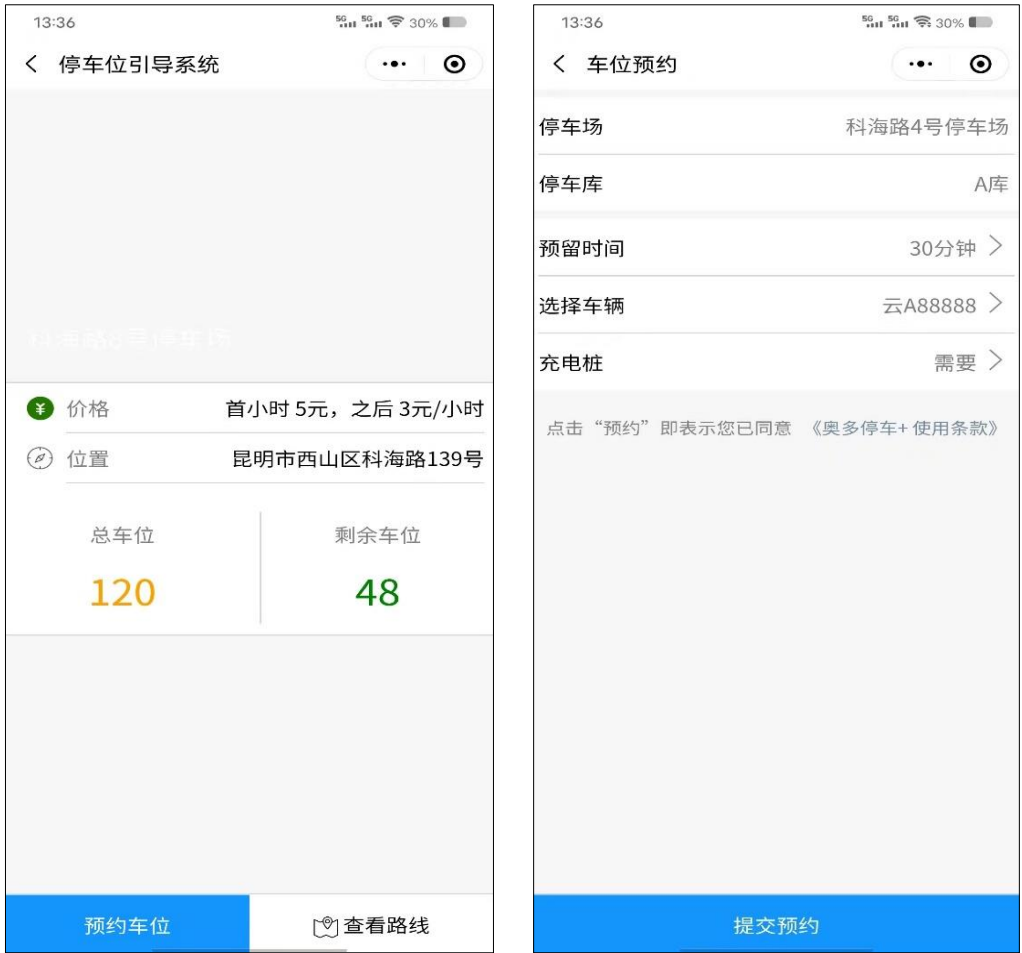


图 5-8 预定功能实现界面图

(3) 反向寻车模块

车辆在系统信号的覆盖面积内，可以采用用户手机小程序应用等设备，给停车位引导系统的信息处理中心发送查询车位命令。然后等待系统对司机车辆信息识别后，系统会将停车位信息反馈给驾驶员。通过手机小程序预约取车的测试效果，如图 5-9 所示。

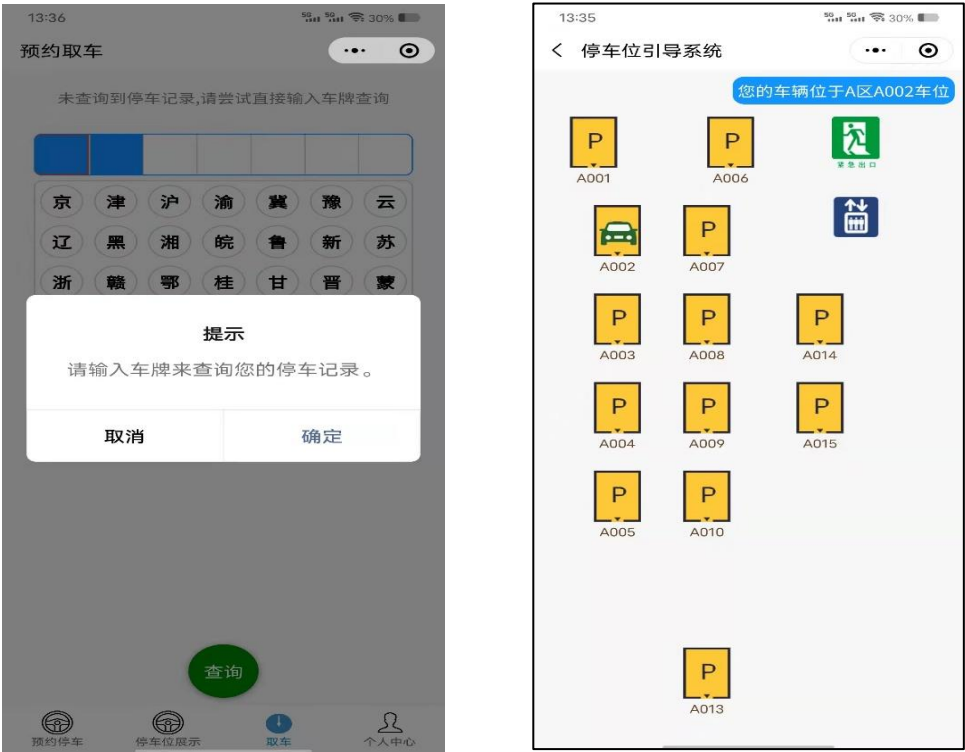


图 5-9 手机小程序端预约取车图

5.2.4 财务管理模块功能实现

财务管理模块主要分为订单列表和停车缴费功能。通过监测车辆入场与离场的时间，从数据处理中心信息处理模块的数据得出车辆所需支付的费用，车辆离开时发布到信息发布模块，如图 5-10 所示。

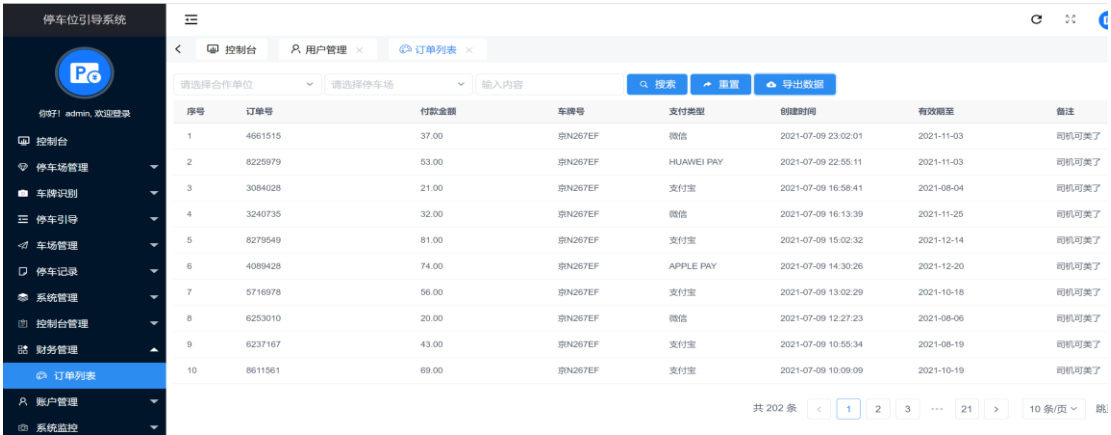


图 5-10 财务管理模块功能界面图

### 5.3 停车位引导系统功能测试

针对本文所研究的停车位引导系统，其主要任务是通过对场内车辆及车位信息的采集，然后以此解决驾驶员在大型停车场内查找最优停车位且进行路径引导的问题。本节主要是对实验搭建平台进行模拟以及部分功能的测试与分析。

#### 5.3.1 监测模块数据通信测试

##### （1）车辆监测信息测试

物联网中的 RFID 标签存储标准化的、可互操作的信息。其主要是依靠无线数据通信网络将数据自动采集并传输到中心信息系统中，从而实现对物品进行有效识别。基于 RFID 的车辆信息识别具有快速、无障碍的特点<sup>[54]</sup>。由于车辆在入场时需要对车辆的信息进行采集，本文借助物联网的 RFID 的技术实现信息的采集。车辆的信息采集装置，如图 5-11 所示。

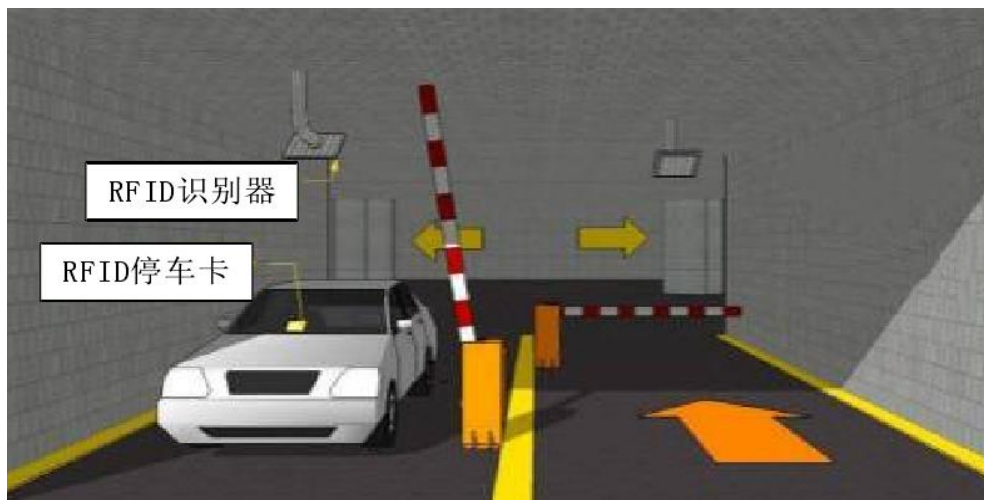


图 5-11 RFID 车辆信息采集装置

##### （2）车位监测信息测试

因为停车场内车位应该是动态变化的，所以需要及时的对每个车位上的信息进行采集。信息采集测试主要针对停车场内的车位使用情况的监测，车位信息的监测准确性影响着路径规划平面图的准确性。首先选择相应的场地进行测试，然后选取一定数量的节点，最后在停车位引导系统界面上显示测试结果。具体测试实验设备，如表 5-2 所示。

表 5-2 测试实验设备

实验器材名称	数量
车位探测器	10
网关	1
电源	10
计算机	1
USB 转串口线	1
SMARTRF04ER 仿真器	1

实验的主要测试步骤为：

（1）首先利用 USB 转串口通信的数据线与电脑和网关节点连接，并将车位的探测器接通。

（2）然后进行安装探测器工作，主要是将 IAR Embedded Workbench 环境下编写的程序，利用仿真器把它下载到每个车位的测试节点中并把探测器安装在车位的上方。

（3）最后将探测器进行通电后，打开引导服务系统车位状态测试界面观察每个车位探测器节点显示的车辆进出车位对次数。

在十个车位探测节点上，检测到车辆在每个车位上一共出入位 25 次。将实验采集到的多组数据进行记录，查看车位检测测试的界面如图，如表 5-3 所示。

表 5-3 车辆实时监测结果

车位探测器编号	车辆入库观察结果	车辆出库观察结果	数量
S-01	25	25	50
S-02	25	25	45
S-03	25	25	50
S-04	25	25	50
S-05	25	25	46
S-06	25	25	45
S-07	25	25	50
S-08	25	25	45
S-09	25	25	43
S-10	25	25	45

从表中测试的观察结果可以得知，停车场车位信息采集测试时车位探测器的节点出现了一定的误差，可能是受到了周边停车的影响，所以本系统同时设置了视频装置辅助采集车位的信息。通过在区域控制的终端连接视频监控，为了保证检测结果更精准，对每三个车位就匹配一个视频检测。

### 5.3.2 系统整体功能测试

#### （1）用户模块功能测试

为了保证系统的安全性，系统设有管理员用户登录权限，在登录时采用验证码登录，必须同时输入正确的密码和验证码，才能进入系统界面；否则系统不会跳转，就会拒绝请求登录，出现登录失败的提示框。所以在后台运行系统后开始登录系统，应该先进行账号、密码以及验证码的输入。若是输入的用户名、密码和验证码等全部无误，就正式获取了登录权限并能够进入系统，系统登录界面测试效果图，如图 5-12 所示。

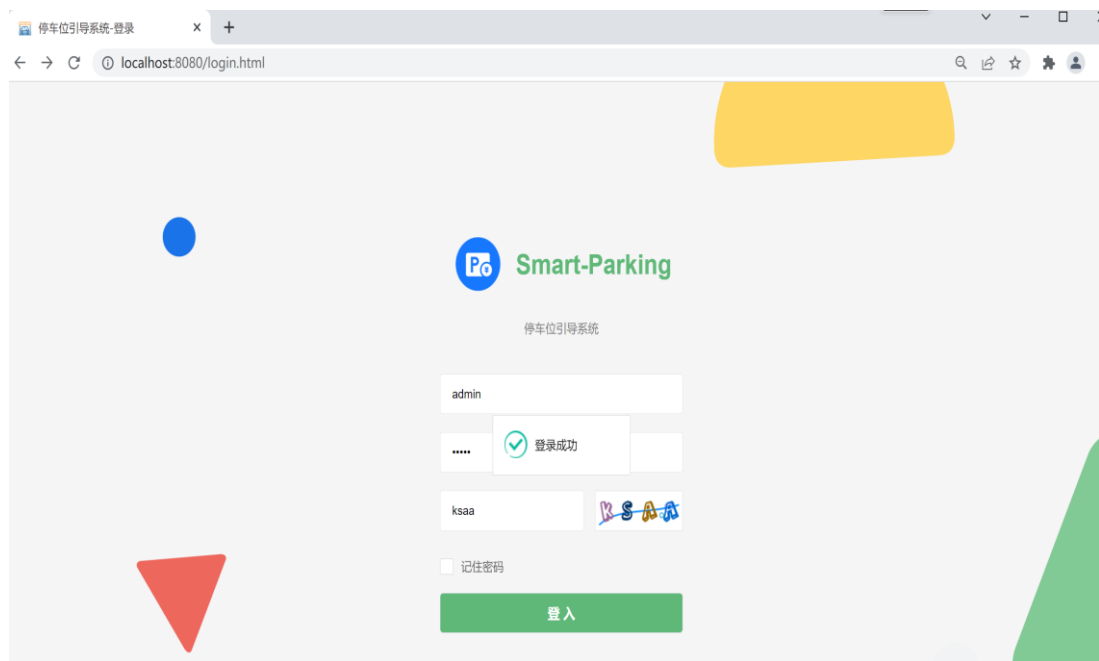


图 5-12 登录界面的测试效果图

如果用户输入错误的密码或者验证码，则停车位引导系统登录界面就会给出相应的提示语“验证码错误”。否则系统提示登录成功，并且保存数据至数据库中。测试效果，如图 5-13 所示。





图 5-13 密码不一致测试效果图

(2) 车牌识别功能测试

车牌识别主要是应用在车辆进入停车场的时候，实现对出入场车辆的信息的记录，由于车牌号是车辆信息的唯一标识，以便之后识别车位与车辆的匹配信息。车牌识别录入系统的具体应用场景，如图 5-14 所示。

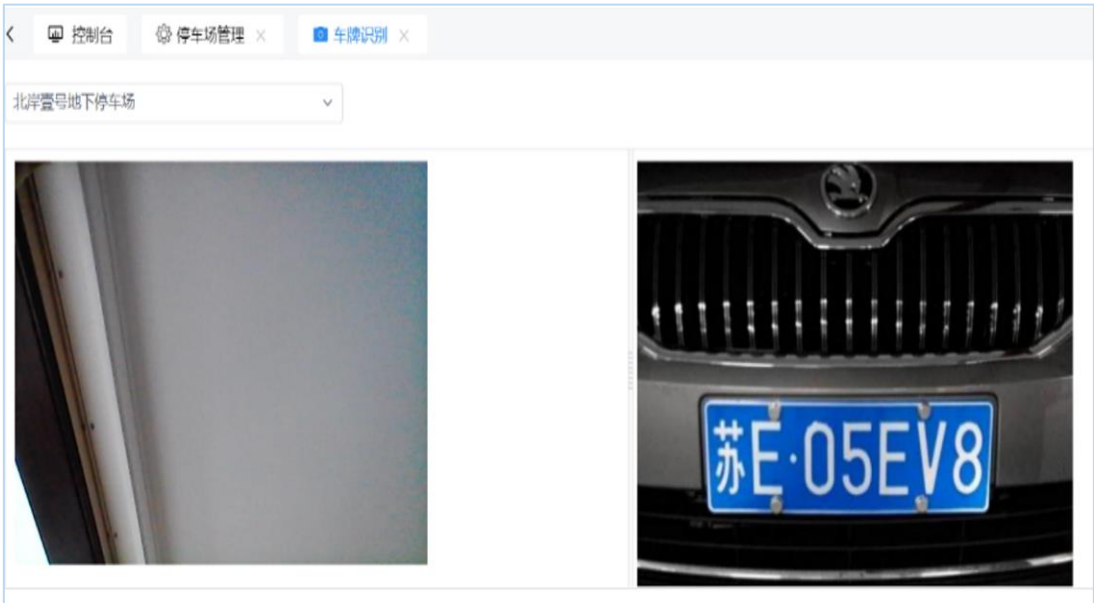


图 5-14 车牌识别功能测试图



### (3) 停车引导功能测试

当用户成功登录停车位引导系统后,在停车引导页面点击停车引导按钮。则与车辆、车位的相关信息传输至数据库中,然后执行改进的A\*蚁群路径规划算法。由于Matlab工具的可视化性能相对较好,故本系统在实现此部分功能时将改进的A\*蚁群算法在Matlab中打包成jarbuilder包,然后将其导入到java项目工程中生成最优停车位引导的路线图。

利用信息传输模块将相应的信息通过网络上传至服务器,并将停车路线反馈到系统界面,保证了数据能够实时稳定的传输到停车位引导系统以及用户手机端,最终在系统前端界面动态显示系统计算出的最优车位的路径引导图。停车引导功能测试效果,如图5-15所示。

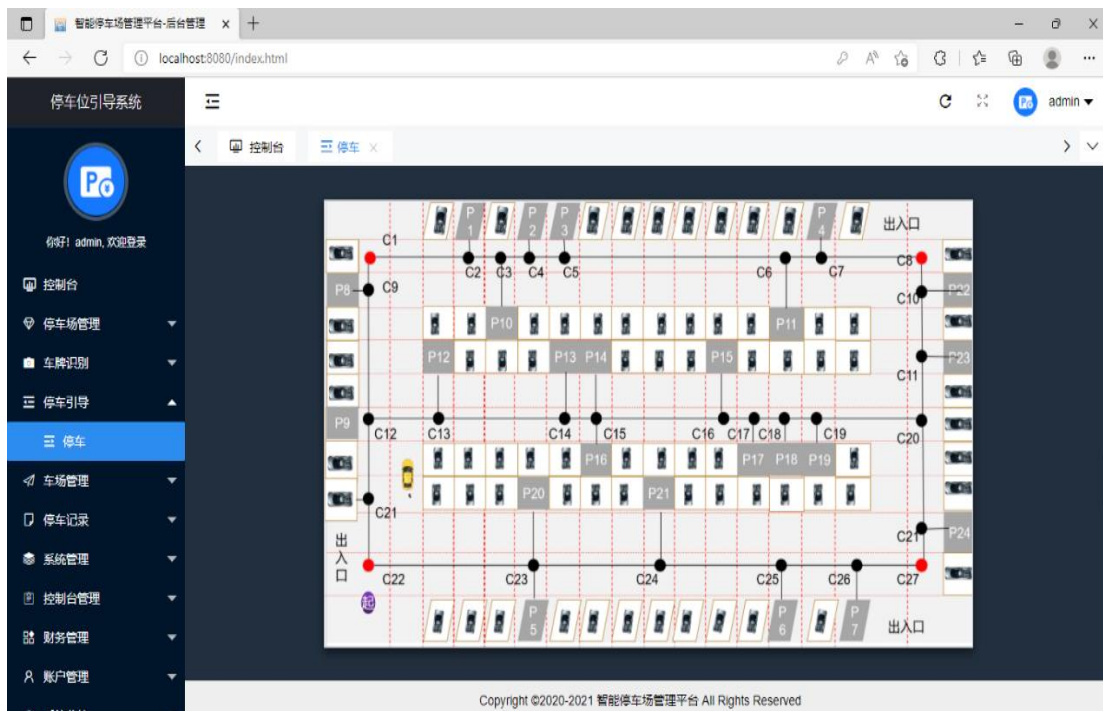


图 5-15 停车引导功能测试效果图

### (4) 账户管理功能测试

停车场主要来源为车辆缴费。因此为避免逃缴、漏缴、停人情车等情况出现,所以本文采取模拟车辆进入场内和离开场内的情况,通过手握可以被识别的装置,对停车收费的整体流程进行测试。然后通过观察系统的停车缴费模块是否可以显示刚刚完成的停车缴费界面。缴费模块查询界面图,如图5-16所示。

请选择合作单位

▼

请选择停车场

▼

输入内容

Q 搜索

重置

导出数据

序号	订单号	付款金额	车牌号	支付类型	创建时间	有效期至	备注
1	22021050721124521037188830	0.00	浙BM1U11	支付宝	2021-05-07 21:12:45		
2	22021050721091093672986752	0.00	浙BM1U11	支付宝	2021-05-07 21:09:11		
3	22021042221510192031482185	0.00	苏E05EV8	支付宝	2021-04-22 21:51:02		
4	22021042221285192630760002	100.00	苏E05EV8	微信	2021-04-22 21:28:52	2022-04-28	可以

共4条

<

1

>

10条/页

跳至

1

图 5-16 缴费监控模块查询结果页面

5.4 本章小结

本章根据停车位引导系统的实际需求，采用 Matlab 语言和 Java 语言结合的方式。在目前主流的开发框架 SpringBoot 下，实现对软件的开发。在 Tomcat8.0 的服务器中，web 前端是采用 JSP 技术进行编写前端的界面，IntelliJ IDEA 作为系统后端的开发工具。首先，实现对系统开发环境的搭建，完成了停车位引导系统的代码编写，并测试了停车位引导系统的主要功能模块；然后，介绍了停车位引导系统中主要功能模块的具体实现结果；最后，进行信息监测模块以及系统整体性能的测试。结果表明，系统具有不错的性能。

## 第6章 总结与展望

### 6.1 工作总结

本文的研究背景是在大型停车场中寻找最优空闲停车位及其路径规划。因为物联网具有所有的信号源，都是可以唯一标识的，所以设计系统时将物联网技术与系统的实际需求相结合，使得进场车辆的司机可以充分了解停车场内车位的情况。采用改进的 A\*算法和蚁群算法计算最优车位的停车路径，并进行了算法性能的验证。对系统设计方案进行详细分析后，展开了开发环境的搭建，设计并实现了基于改进的 A\*算法和蚁群算法的停车位引导系统，完成了停车位引导系统代码的编写。论文的主要工作如下：

（1）通过查找和翻阅了大量有关停车位引导系统以及物联网技术相关的书籍和国内外文献，阐述了借助物联网手段开发停车位引导系统的工作原理，重点介绍了我国停车位引导系统机制的发展现状及相关路径规划算法的基本原理。

（2）针对停车场内车位精确引导问题，本文提出了一种改进的 A\*算法和蚁群算法实现最优停车位的路径规划。在计算选取最优停车位时，综合考虑了车型尺寸、停车路径距离、停车位的类型和停车位的方位等因素作为改进蚁群算法信息素的更新方式，使其不仅体现停车的距离关系，而且具有方向性的引导。该算法在收敛速度上有了一定的提升，同时也起到了避免局部最优的效果。本章与其他类似算法分别在相同的栅格地图环境中进行仿真实验对比，证实了本文改进的 A\*蚁群算法的有效性。

（3）首先对停车位引导系统的需求进行分析。然后对停车位引导系统的设计要求、系统的总体架构以及对停车位引导系统内各项功能模块的设计进行详细介绍。将本文提出的改进的 A\*算法和蚁群算法应用于停车位引导系统中，按照系统的需求，设计了该系统所应用的关联数据表结构并实现了停车位引导系统。最后描述了数据库的存储设计，包括系统 E-R 图设计以及相关数据表的设计。利用 Java 和 Matlab 程序语言开发了停车位引导系统，并测试了系统各项功能的实现。验证了本论文研究成果在系统中实施的可行性。

## 6.2 工作展望

尽管本文针对大型停车场最优停车位路径引导方面有了一定的研究，但是因本人能力有限，在结合具体应用方面还有很多缺陷。研究过程中难免会出现缺失的地方，而且目前本文只考虑了单层简单的停车库，实际的生活中还有一部分复杂的、多层的、立体的以及机械停车库，所以本系统还有很多需要更新的地方。而且本文介绍的改进的A\*和蚁群的混合算法也只是混合算法中的一种，还有比如遗传算法、粒子群算法、神经网络等诸多算法，也可能适用于停车场最优停车位的选择与路径规划。因此在今后的研究中，可以向以下几方面改进：

（1）现实的停车过程中可能更加复杂多变，然而本文只是在理论研究的基础上结合实际场景进行了部分应用的测试，未来可以在实时性上做出更多的考虑，因此该系统有待做出更符合用户需求的改进。

（2）本文在系统实现测试方面只选择了具有代表性的场景环境。因为在实际的停车场环境中还会存在比较复杂的多层的、立体的车库。本文的实验场景的测试较为单一，并没有在复杂的场景中进行测试，日后尝试将多个环境下一起进行测试，从而进一步验证系统的实用性。

（3）针对停车路径规划算法部分，本文只是采用了智能优化算法中的一种混合优化算法，然而智能优化算法的种类有很多。日后可以做更多的尝试，能够进一步提升算法的实时性和智能性，以达到更符合用户偏好需求的目标。

## 致谢

道阻且长，行则将至，行而不辍，未来可期。书写至今，顿然停笔。恍然三年的读研生涯即将结束。故事开始于 2019 年初秋，结束在 2022 年盛夏，经历了难过与欢笑，经历了心酸与成就，好的坏的都值得我去回忆。

桃李不言，下自成蹊。在撰写本文之初，任秀丽老师从开题、中期、到最后准备答辩检查论文，每一个部分都付出了任秀丽老师大量的时间和精力。任秀丽老师以身作则，认真严谨的人格潜移默化的影响着我。从入学的第一刻，也许我们师生就注定结下了缘分，记得第一次见您，和您短暂的会面谈后，就感觉您是一位正直认真的好老师，遇见您是学生的幸运。我对您说的印象最深刻的一句话就是“所有的事情都一定是靠自己才可以真正的解决”，这也是我非常相信的一点，也将一直会谨遵老师教诲，贯穿于之后的人生中。最后再次深深感谢老师三年来对我们同学不辞劳苦的付出！

鱼知水恩，乃幸福之源也。人生的成长路上永远离不开家里的支持，妈妈为我付出了太多太多，深深的感谢妈妈从小到大给予我的一切，感谢继父二十多年的培养，感谢在妈妈生病时，老姨、大姨的帮助，使我能够安心的去学习并考上了研究生。感谢与我相差两岁多的妹妹“霸道二姐”，她就是我的另一个影子，互相陪伴彼此长大。特别感谢姥姥从小学陪读到我高中，在您的期待下我也终于考上了研究生，没有什么特别的祝愿，只希望你们平安健康就好。

希君生羽翼，一化北溟鱼。感恩老天派来支援我 621 公司的股东们，可爱又善解人意的百宝箱学妹、一起陪我各种活动的魏老板、我的专属全能潘老师、有趣的叶子同学、学霸型真如姐姐。还有 205 实验室的小伙伴们，尤其是詹松学弟，在系统开发上给予了我非常多的帮助，也特别感谢上届的学长学姐们，尤其是杨艳超师姐在我什么都不懂时给了我很多引路的想法。我们来自不同城市，但相聚在此，皆是缘分。天下无不散的筵席，愿我们保持热爱，奔赴山海。

慢慢亦漫漫，常常即长长。感谢一直陪在我身边的王超同学，经常督促我学习，让我在面对生活中的问题时有新的成长。特别感谢大一时就认识的陈晓冬同学，在很多时候，可以说她是最了解我也会无条件支持我的“大哥！”，必须一辈子好哥们！那就让我们各自努力，然后顶峰相见。

深山的鹿不知归途，世间皆苦唯有自渡。一路走来，念书多年，也很感谢那个一直坚持的自己，未来希望你更加自信勇敢，踏实前进。论文能够顺利完成，身边的同学及老师给予我太多的帮助，再次对你们表示深深的感谢！

宋春丽

二〇二二年五月

## 参考文献

- [1] 孙康康, 王花兰. 地下大型停车场泊车引导系统设计[J]. 农业装备与车辆工程, 2021, 59(08): 144-147.
- [2] 宋媚琳. 智能停车库车位引导系统的最优路径模型研究[D]. 上海交通大学, 2014.
- [3] Felix Caicedo, Hector Lopez-Ospina. Environmental repercussions of parking demand management strategies using a constrained logit model, Transportation Research Part D: Transport and Environment, Vol 48, pp. 125-140, 2016.
- [4] 晏勇, 雷航, 梁潘. 基于改进型蚁群算法自适应停车引导系统的设计[J]. 实验技术与管理, 2020, 37(03): 80-82+138.
- [5] F Barrero, Guevara JA, Vargas E, et al. Networked transducers in intelligent transportation systems based on the IEEE 1451 standard[J]. Computer Standards & Interfaces, 2014, 36(2): 300-311.
- [6] 宋健. 自重构智能泊车引导系统设计与实现[D]. 重庆大学, 2020.
- [7] 袁翠艳. 面向新型建筑智能化平台的车辆引导系统研究[D]. 安徽建筑大学, 2021.
- [8] Ferreira Joao C, Resende Ricardo, Martinho Stuart. Beacons and BIM models for indoor guidance and location. [J]. Sensors (Basel, Switzerland), 2018, 18(12).
- [9] Roman Wilfinger, Thomas Moder, Manfred Wieser, et al. Indoor position determination using location fingerprinting and vehicle sensor data [R]. Helsinki (FI): European Navigation Conference, 2016.
- [10] Pachón-García, F.T, Fernández-Ortiz, K, Paniagua-Sánchez, J.M. Assessment of Wi-Fi radiation in indoor environments characterizing the time & space-varying electromagnetic fields[J]. Measurement, 2018, 63: 309-321.
- [11] Alhmiedat T. An Adaptive Indoor Positioning Algorithm for ZigBee WSN[C]. Fifth international conference on Innovative Computing Technology (INTECH 2015). IEEE, 2015: 51-55.
- [12] 韩浩然, 杨曙光, 靳世松, 等. 停车场智能泊车引导系统[J]. 电子世界, 2022(01): 113-114.
- [13] 张楠楠, 张晓. 基于物联网技术的智能停车场系统设计与实现[J]. 现代电子技术, 2020, 43(12): 4.
- [14] 肖玮, 张磊, 邱泽华, 等. 基于多目标点 A\*算法的停车场车位路径引导系统设计[J]. 计算机与现代化, 2020(06): 40-45.
- [15] 张育华, 李健坤, 李翔. 一种通过视频采集图像检测车位的方法及系统[P]. 中国: CN201711260406.3. 2018-05-11.
- [16] 李宏佳, 魏权利, 徐晓晓, 等. 基于非接触 IC 卡自动计时停车收费系统设计开发[J]. 微计算机信息, 2007(29): 28-29+37.
- [17] 代阳. 基于低功耗蓝牙 5.0 技术的物联网室内定位算法研究[D]. 东华理工大学, 2021.
- [18] 黄润飞. 基于低功耗蓝牙的地下停车场室内导航模型研究与实现[D]. 云南师范大学,

- 2017.
- [19] 王琪, 王娇, 刘奎. 基于智能手机的停车导航系统设计[J]. 物联网技术, 2020, 10(4):3.
- [20] 孙敬欢. 基于 WiFi 的室内停车场定位技术研究[D]. 西华大学, 2018.
- [21] Zhao Z, Zhao B. Research on the enterprise knowledge management in dynamic and complex environment[C]// International conference on management & Service Science. IEEE, 2009.
- [22] 范秋秋. 基于物联网技术的城市停车诱导系统研究[D]. 安徽理工大学, 2017.
- [23] 赵鹏, 蒲天骄, 王新迎, 等. 面向能源互联网数字孪生的电力物联网关键技术及展望[J]. 中国电机工程学报, 2022, 42(02):447-458.
- [24] 车春鹏, 高汝熹. 工业物联网产业发展战略研究[M]. 上海社会科学院出版社, 2013.
- [25] Filho T, Fernando L, Rabelo M, et al. A Standard-Based Internet of Things Platform and Data Flow Modeling for Smart Environmental Monitoring[J]. Sensors, 2021, 21(12):4228.
- [26] 夏妍娜, 赵胜. 中国制造 2025: 产业互联网开启新工业革命[M]. 机械工业出版社, 2016.
- [27] Bao B W. The Internet of things technology and its application in the construction of smart city[J]. Technological Development of Enterprise, 2014.
- [28] 付明川, 袁宏. 城市环境集成监控系统设计[J]. 中国科技信息, 2013(09):35-36.
- [29] 向岚, 王金容, 杜微. 大数据、物联网技术在智慧城市中的应用[J]. 黑龙江科学, 2021, 12(18):140-141.
- [30] Wang H, Zheng BG. Research and implementation of the smart home system based on internet of things environment[J]. Applied Mechanics and Materials, 2014, 513-517:1915-1918.
- [31] Miller D. Introduction to the Internet of Things[J]. Springer International Publishing, 2016.
- [32] 杨晓丹. 物联网的体系结构与相关技术[J]. 电脑编程技巧与维护, 2020(01):169-170+173.
- [33] 马建. 物联网技术概论[M]. 机械工业出版社, 2015.
- [34] 吴红英. 物联网技术应用实践及其体系结构[J]. 数字技术与应用, 2020, 38(04):44+46.
- [35] 钟方伟, 周平, 马斌. 浅谈物联网关键技术的发展与应用[J]. 电脑知识与技术, 2017, 13(30):279-280+282.
- [36] 黄日明. 停车场智能停车引导方法及系统研究[D]. 广东: 华南理工大学, 2020.
- [37] 黄辰, 费继友, 刘洋, 等. 基于动态反馈 A\*蚁群算法的平滑路径规划方法[J]. 农业机械学报, 2017, 48(04):34-40+102.
- [38] 殷绍伟, 彭力, 戴菲菲. 融合改进 A\*蚁群和滚动窗口法的平滑路径规划[J]. 计算机科学与探索, 2021, 15(10):1969-1979.
- [39] 万逸飞, 彭力. 改进 A\*蚁群算法求解机器人路径规划问题[J]. 传感器与微系统, 2019, 38(12):153-156+160.
- [40] Chen J, Yu J. An improved path planning algorithm for UAV based on RRT[C]// 2021 4th International Conference on Advanced Electronic Materials, Computers and Software Engineering (AEMCSE). 2021.
- [41] Cui Jia, Pan Jiang, Wang Shunjiang, et al. Improved normal-boundary intersection

- algorithm: A method for energy optimization strategy in smart buildings[J]. Building and Environment, 2022, 212.
- [42] 杜文文, 杨扬. 基于改进 Dijkstra 算法的进路搜索研究[J]. 铁路计算机应用, 2020, 29(09):62-67+76.
- [43] Carrera V JL, Zhao Z, Braun T, et al. A real-time robust indoor tracking system in smartphones[J]. Computer Communications, 2018;117:104-15.
- [44] 马军, 宋栓军, 韩军政. 融合蚁群 A\*算法的移动机器人路径规划[J]. 西安工程大学学报, 2020, 34(01):72-77.
- [45] 孙康康. 基于物联网的大型停车场内泊车引导系统设计[D]. 兰州交通大学, 2021.
- [46] Ya'Acob N, Azize A M. Parking system using geographic information system (GIS)[C]// IEEE Conference on systems, Melaka, Malaysia, 2016:16-18.
- [47] 张丹红, 陈文文, 张华军, 等. A\*算法与蚁群算法相结合的无人艇巡逻路径规划[J]. 华中科技大学学报(自然科学版), 2020, 48(06):13-18.
- [48] S. Li, W. Su, R. Huang, et al. "Mobile robot navigation algorithm based on ant colony algorithm with A\* heuristic method," 2020 4th International Conference on Robotics and Automation Sciences (ICRAS), 2020, pp. 28-33.
- [49] Jianhua L, Jianguo Y, Huaping L, et al. Robot global path planning based on ant colony optimization with artificial potential field [J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(9): 18—27.
- [50] 王珊, 萨师煊. 数据库系统概论(第5版)[J]. 中国大学教学, 2014(09):98.
- [51] 孙霞, 胡小飞, 张昕, 等. 基于信息素优化蚁群算法下的停车场系统设计[J]. 重庆工商大学学报(自然科学版), 2022, 39(02):1-7.
- [52] 郭展宏. 地下停车场车辆引导及路径规划研究[D]. 兰州交通大学, 2020.
- [53] 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(07):225-228+305.
- [54] Ibrahim S, Nirnay J, Pradeep B, et al. Smart parking system based on embedded system and sensor network[J]. International Journal of Computer Applications, 2016, 140(12):45-51.