

基于信息素优化蚁群算法下的停车场系统设计

孙霞, 胡小飞, 张昕, 黄新洁, 王成辰

(安徽理工大学 电气与信息工程学院, 安徽 淮南 232001)

摘要:针对传统停车场管理系统人工成本高、管理难度大的问题,提出了一种基于信息素优化蚁群算法(Ant Colony Algorithm)的停车场系统;该系统以 STM32 作为主控制器,终端节点负责数据收集,利用 NB-IoT 实现数据上传,采用手机 APP 和云平台对终端节点远程监控,采用粒子群算法为蚁群算法提供迭代初期值指导后,增强了蚁群算法全局搜索能力,改进蚁群算法明显缩短了停车的最短哈密顿回路距离;通过搭建停车场管理系统对该方法的有效性进行验证,该系统可以明显减少用户停车的时间,缩短用户停车距离,满足自动化智能化的生活需要。

关键词:信息素;蚁群算法;哈密顿回路;NB-IoT

中图分类号: TN92

文献标志码: A

文章编号: 1672-058X(2022)02-0001-07

0 引言

随着国内各大城市汽车保有量的急速增加,传统的停车场管理系统不能解决用户与停车场车位管理系统间的无线通信。国内外专家对车辆停车引导方面的研究很多,目前主流研究重点关注城市内的车辆引导,一般是帮助用户寻找最近的停车场,而当用户进入停车场内部,场内的路径引导相对缺少。在理论研究方面,郭展鸿等^[1]通过标识分类路网特征,以用户停车的路径最优作为基本的原则,采用改进 Dijkstra 算法进行路径搜索。Yacine Atif 等^[2]提出的 SmartPark 算法使用一个离散的马尔可夫链模型来最大限度地缩短到所选停车场的行程时间,同时提高在所寻停车场中找到可用位置的机会。Shuxin Ge 等^[3]提出了一种两阶段的 PVEC 网络服务迁移算法,将原问题分解为 SP 间的服务迁移和

停车场内的服务 PV 选择问题。

传统停车场内的有效车位信息不明确,尤其是大型立体停车场中,由于停车位分布复杂和数目繁多,用户不能及时了解空车位的位置信息,用户在停车场内容易迷失方向,反复寻找车位造成停车场内拥堵,故提出针对停车场网路的实际情况,将地下停车场进行区域划分,对传统蚁群算法进行改进,制定出最优的停车路径。

1 系统总体设计

基于信息素优化蚁群算法下的停车场系统主要包括终端检测模块、无线传输网络模块、远程监控模块三大部分。远程监控模块主要包括服务器和客户端组成。该系统的终端检测模块上搭载 STM32 主控芯片、红外传感模块、GPS 定位和 NB-IoT 通信等。红外测距传感器收集信息,通过 NB-IoT 通信

收稿日期:2021-01-10;修回日期:2021-03-24.

基金项目:安徽省教育厅项目(GXFXZD2016071);安徽省大学生创业创新项目(S202010361111).

作者简介:孙霞(1978—),女,辽宁宽甸人,硕士,副教授,从事物联网技术研究.

模块传至基站,进而传至云平台,云平台对采集到的数据进行监控,对检测到有空闲车位信息的节点下达指令以获取这些节点的 GPS 信息,然后将这些节点的 GPS 信息传给监控平台端。结合实际情况,对停车场内空闲车位的诱导策略进行选取。在选定合适的路径规划策略后,为需要停车的用户设计出最短路线。系统结构如图 1 所示。

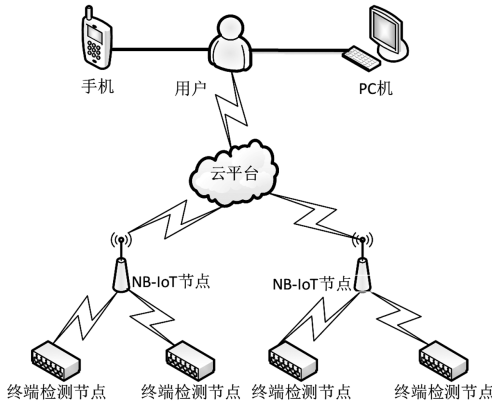


图 1 停车场管理系统结构图

Fig. 1 Structure diagram of parking lot management system

2 系统优化路径算法设计

2.1 系统路径规划算法

系统中使用蚁群算法来解决哈密顿回路路径规划问题。1992年,Marco Dorigo 在研究中提出了蚁群算法的概念,该算法属于自适应算法,它的动态更新特性可以很好地解决路径规划问题,以下为该算法和本系统结合的实现过程,首先将 m 个蚂蚁任意分布在 n 个节点处,根据式(1)、式(2)可计算出状态转移函数 $p_{ij}^k(t)$ 从而确定 $i \rightarrow j$ 行驶路线,把每条路线的起始信息素定为 $\tau_{ij}(0)$ 。并且将遍历过的节点装入禁忌表 $tabu_k$ 中,将所有需要遍历的节点放在一个集合 C 中,蚂蚁 k 在一次周游节点的过程中,待访问的节点存放在集合 $allowed$ 中。

$$p_{ij}^k(t) = \begin{cases} \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha [\eta_{ij}(t)]^\beta}{\sum_{s \in allowed} [\tau_{is}(t)]^\alpha [\eta_{is}(t)]^\beta}, & j \in allowed \\ 0, & j \in tabu_k \end{cases} \quad (1)$$

$$\eta_{ij} = \frac{1}{d_{ij}} \quad (2)$$

其中, $p_{ij}^k(t)$ 表示蚂蚁 k 在 t 时刻时路径选择的概率, $\tau_{ij}(t)$ 表示 t 时刻时节点之间上信息素增加量, d_{ij} 表示路径 $i \rightarrow j$ 的距离, η_{ij} 表示 $1/d_{ij}$, 而信息素和路径距离对 $p_{ij}^k(t)$ 的影响分别由 α, β 表示。蚂蚁在移动过程中随时都会产生信息素,其也会不断蒸发而减少,即节点 $i \rightarrow j$ 路径上的信息素将会如下更新:

$$\begin{cases} \tau_{ij}(t+1) = (1-v)\tau_{ij}(t) + \Delta\tau_{ij}(t) \\ \Delta\tau_{ij}(t) = \sum \Delta\tau_{ij}^k(t) \end{cases} \quad (3)$$

其中, v 表示挥发因子, $\Delta\tau_{ij}^k(t)$ 的含义如下:

$$\Delta\tau_{ij}^k(t) = \begin{cases} \frac{Q}{L_k}, & \text{第 } k \text{ 只蚂蚁在本次循环经过 } i, j \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (4)$$

Q 表示信息素的总量, L_k 为第 k 只蚂蚁循环的路径周长,随着信息素矩阵迭代更新,逐渐收敛于最短路径。根据上述蚁群算法设计的算法如图 2 所示。根据算法首先将测试的 M 个蚂蚁任意放置在场景中的 N 个节点上,然后根据概率计算选择合适的移动方向,最后在得到合适节点后更新状态,输出最优路径。

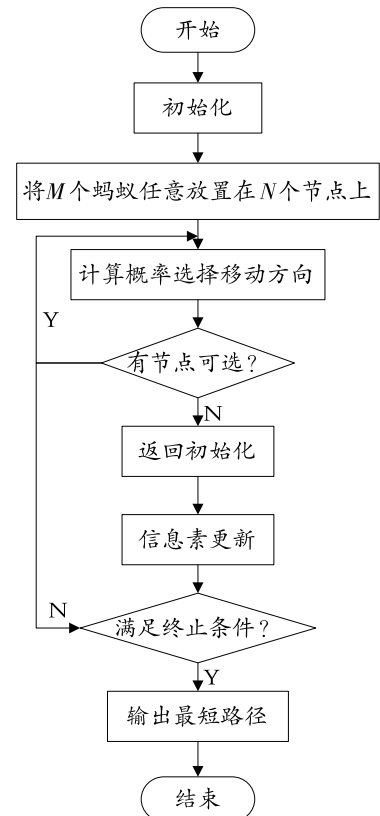


图 2 终端节点结构图

Fig. 2 Structure diagram of terminal node

2.2 系统路径优化算法

信息素在蚁群算法路径寻优过程中起到了非常重要的作用,但是在算法迭代的初期路线所含信息素的很少,这样信息素对蚂蚁寻路的指导意义不大,蚂蚁在很大程度上还是在随机摸索。为此可以在算法初始值给定足够的信息素,优化初始值病态的问题。考虑粒子群算法虽然在迭代后期会产生查巡力不足的问题,易陷入局部最优的劣势,但是从整体上看,它具有很强的查巡力,收敛速度也很快,因而可以先利用粒子群算法为蚁群算法的迭代初期提供信息素指导,这样也不会影响整体的迭代速度,使改进后的蚁群算法快速达到最优方案。优化思想如下:

Step 1 现取一个粒子数为 N 的粒子群,用上文介绍的粒子群算法求解遍历电量不足节点的最短路径问题。

Step 2 随机生成粒子 i 的位置矢量 $\mathbf{X}_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{iN})$ 和速度矢量 $\mathbf{V}_i = (v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{iN})$,初始化粒子的最优位置 p_{best} 和群体最优位置 g_{best} 。

Step 3 合适的适应度值作为路径优劣的评价标准,其评价函数标准为 $f = L_d$ 。其中, L_d 表示粒子群算法迭代一次后的最优距离,最终的结果是让这一适应度的值最小。

Step 4 算出当前粒子的适应度值 $f(x_i)$,将其和粒子最优适应度值 $f(p_{\text{best}})$ 比较,若 $f(x_i) < f(p_{\text{best}})$,则更新适应度值为 $f(x_i)$,同理若 $f(x_i) < f(g_{\text{best}})$,则将总群最佳适应度定为 $f(x_i)$ 。

Step 5 根据式(1)对粒子的 v, t 信息更新,再重复 Step 4 的过程。在循环至所设阈值后结束粒子群算法。

Step 6 将式(3)的信息素更新公式中加入粒子群算法迭代后得到的如下所示:

$$\begin{cases} \tau_{ij}(t+1) = (1-v)\tau_{ij}(t) + \sum \Delta_{ij}^k(t) + \Delta\tau_{ij}'(t) \\ \Delta\tau_{ij}'(t) = \sum_{i=1}^{k_1} [(a_k/L_{\gamma_i} + b_k/L_{\eta}) * Q/(a_k + b_k)] \end{cases} \quad (5)$$

Step 7 L_{γ_i} 为当粒子最优路径经过路径 $i \rightarrow j$ 时

的粒子最短运动路径, L_{η} 为当总群最优路径经过路径 $i \rightarrow j$ 时的总群最短运动路径, k_1 表示最优路径经过 $i \rightarrow j$ 的粒子数, a_k 和 b_k 分别为粒子和总群最优信息素所占的权重。

Step 8 按照所述蚁群算法路径寻优规则。根据上述的算法优化改进的蚁群算法如图 3 所示。

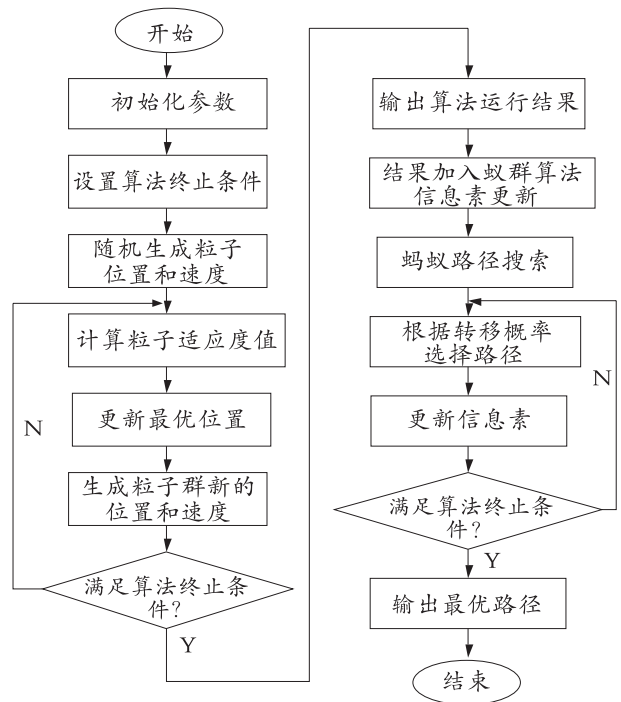


图 3 改进蚁群算法流程图

Fig. 3 Flow chart of improved ant colony algorithm

3 系统软件设计

3.1 通信软件设计

为了简化其开发过程,将 STM32L476RGT6 的 Baud rate 设置为和 NB-IoT 通信模块的串口通信速率一致的 9 600 bps,通信方式选择异步通信模式,并且将此设计的 2 个 ADC 管脚都选择 10 位分辨率。NB-IoT 通信主要是采用发送 AT 指令的方式和 STM32 进行通信。需要用 AT 指令完成 NB-IoT 设备注册入网、传感器数据传输等操作。通信模块是通过 USART2 串口和 STM32 通信,通过 USART1 串口将数据转发到 PC 机上的串口调试助手上,方便本监控系统的设计与调试。图 4 为设计的 AT 指令动作程序的示意图。

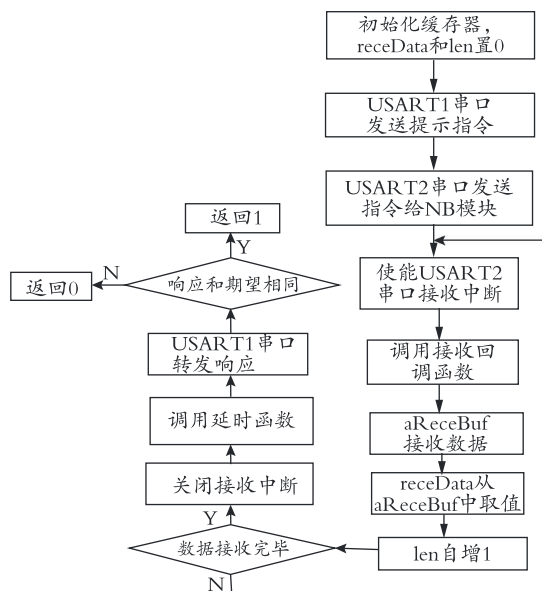


图 4 AT 指令发送程序的软件流程图

Fig. 4 Software flow chart of AT instruction sending program

首先初始化缓存器,将 `receData`(接收数据缓存器)和 `len`(缓存索引)均置 0。通过 USART1 串口将指令转发到 PC 机上,便于开发与调试。利用 USART2 串口向 NB-IoT 通信模块发送 AT 指令使能 USART2 串口与接收数据有关的中断,接收从通信模块端发送过来的数据。当收到数据后,程序就会运行至回调函数。`receData`(接收数据缓存器)从 `aReceBuf`(单字节缓存器)里取单个数据值后 `len`(缓存索引)自增 1,以便下次 `aReceBuf`(单字节缓存器)的数据。当成功判断数据接收完毕后,就可将接收中断关闭,然后进入下一步;若未成功判断则返回继续接收数据。加入延时函数保证 USART2 串口可以接收到全部的数据。PC 机上接收来自 USART1 串口的响应数据,并且在串口调试助手上将数据信息都显示出来。若判断出期望值包含在接收到的响应中,则返回 1,若不包含则返回 0。

3.2 系统云平台软件设计

在本系统中,系统内部接口指的是传感器节点和华为开发者平台的接口,是利用 NB-IoT 技术建立起的通信接口,是连接传感器和华为开发者平台的纽带。开发者通过二进制码流在 NB-IoT 终端里进行信息的发送和接收,在华为开发者平台中需设计编解

码插件将二进制数与 JSON 格式的数据信息进行相互转换。监控模块就需要通过这一接口和传感器连接。由传感器收集的数据上传至物联网云平台,这样就可以实现监控节点的目的。本系统中使用的物联网云是华为公司开发的 OceanConnect 平台。图 5 是 OceanConnect 平台开发流程图。

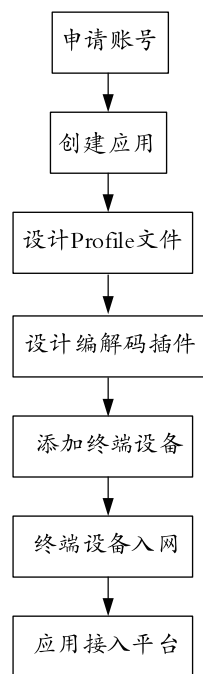


图 5 OceanConnect 平台开发流程图

Fig. 5 OceanConnect platform development flow chart

OceanConnect 平台上传使用过程分为以下几个步骤,即终端节点设备接入:

(1) 申请账号。获取将终端设备接入 OceanConnect 平台的资格。

(2) 创建应用。根据自身项目开发需求选择创建自定义应用。

(3) 设计 Profile 文件。表示项目的具体性质,创建的每个服务和命令都要进行具体的设置,比如数据类型和步长等,服务表示信息采集断点传送数据,而命令则是 OceanConnect 平台下发的指令。

(4) 设计编解码插件。OceanConnect 平台需要用编解码插件,对上行到 OceanConnect 平台的数据进行格式转换。

(5) 在 OceanConnect 平台中添加设备。选择添加真实 NB 终端,输入设备名称和 NB 终端的

IMEI 号。

(6) 设备终端加入网络。设备终端和 Ocean Connect 平台实现对接后,OceanConnect 即可传感器节点终端进行监管。

(7) 应用接入 OceanConnect 平台。在 Ocean Connect 平台中提供北向开发对接接口,供其他应用和 OceanConnect 平台对接。

4 系统测试

4.1 系统平台实验测试

通过实验测试分析该监测系统,系统是在 OceanConnect 平台中完成相关数据的获取,具体表现为在 OceanConnect 平台中显示车位空闲节点的信息,平台端下达指令获取该节点位置。并在 OceanConnect 平台中显示节点信息。然后利用实验验证改进后的蚁群算法是否在普通蚁群算法的基础上更优。

如图 6 所示,当 OceanConnect 平台向终端节点发送 GPSON 为 1 的指令时,终端节点向 OceanConnect 平台上发送 GPS 位置信息,同时 OceanConnect 平台通过 IoT Platform 完成命令下发,停止向上传输车位相关信息,实现 OceanConnect 平台与真实物理设备数据传输。

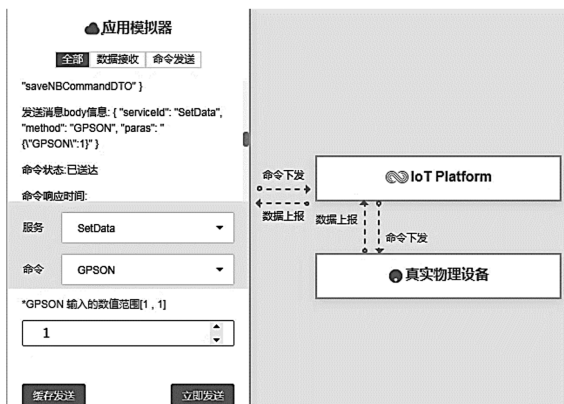


图 6 OceanConnect 平台下达指令图

Fig. 6 Instruction diagram issued by OceanConnect platform

4.2 系统路径优化仿真测试

本实验是将上述平台监测到的节点信息转化成坐

标之后对其使用改进蚁群算法进行路线图设计。分析基本蚁群算法最优路径,用基本蚁群算法得出最短路径是 922.016 9 m,根据优化后的蚁群算法仿真得知,约在 251 次迭代可寻到系统最佳解,如图 7 所示。

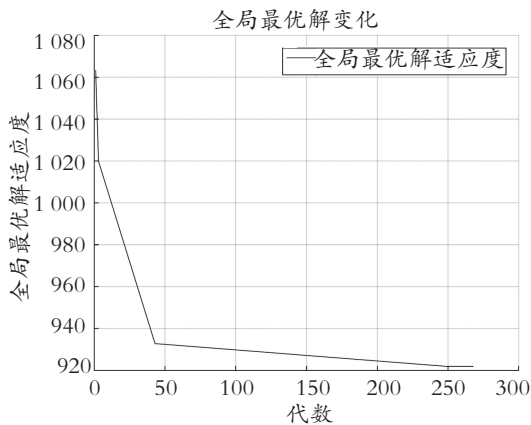


图 7 基本蚁群算法全局最优解随代数变化

Fig. 7 The global optimal solution of basic ant colony algorithm varies with algebra

从基本蚁群算法全局最优解变化图中可以看出从 0~46 代折线图呈现急剧下降的趋势,说明此时算法在快速寻找最优解,从 47~250 代折线图下降的较为平缓,说明此时算法迭代速度放缓,251 代以后算法结果收敛,说明此时已经找到了全局最佳解。如图 8 所示,用此种算法得出的最优路线为 912.037 3 m,相较于运行基本蚁群算法得出的 922.016 9 m,在距离方面缩短了 1.08%,如图 8 所示。该算法能够有效进行最短路径规划,实现停车场智能停车导航。

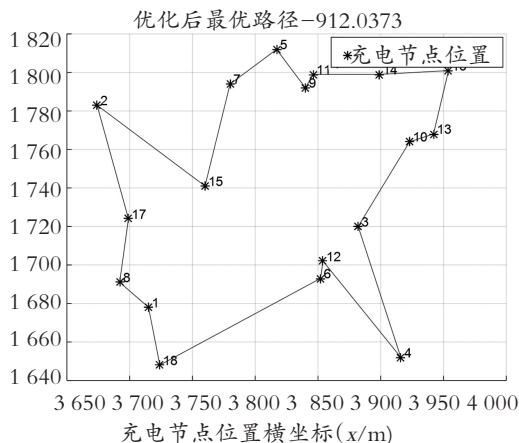


图 8 改进后的蚁群算法图

Fig. 8 The diagram of improved ant colony algorithm

从图 9 可以看出 0~9 代这一算法迭代过程中折线图急剧下降,说明此时算法寻找最优解的速度非常快,而 10~95 代全局最优解适应度的值下降得比较平稳,说明算法此时已逼近真实最优解,96 代之后图像与坐标轴保持平行,说明已经找到了该算法的真实最优解。与基本蚁群算法相比改进后的蚁群算法在收敛时的迭代次数减少了 61.8%。根据仿真实验得知,利用改进蚁群算法对停车场进行全局路径规划,使其在实现车位到车位的运动中可以成功寻到最佳路径,实现高效停车。

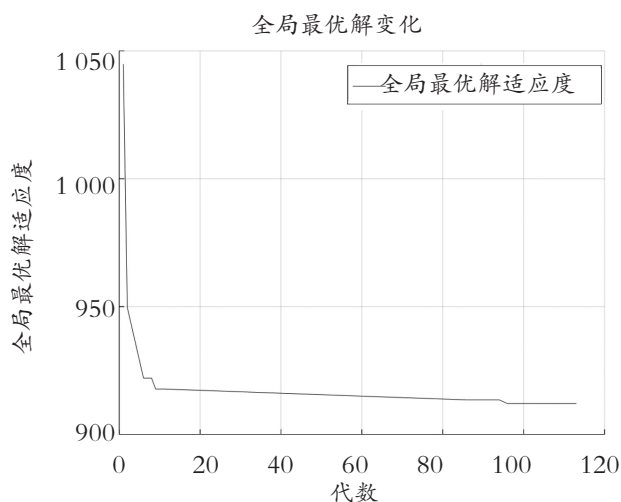


图 9 改进后的蚁群算法全局最优解代数变化图

Fig. 9 Algebraic variation diagram of global optimal solution of improved ant colony algorithm

5 结束语

提出基于信息素优化蚁群算法下的停车场系统。该系统采用粒子群优化算法为蚁群算法提供迭代初期信息素指导后,增强了蚁群算法全局搜索能力。用改进蚁群算法为停车的最短哈密顿回路在距离方面相较基本蚁群算法有明显的缩短。在该系统中,以 STM32 作为主芯片,传感器节点负责收集数据,利用 NB-IoT 实现上传,采用手机 APP 和云平台可以实现对终端节点的远程监控,达到停车位管理系统的智能化。

参考文献 (References):

- [1] 郭展宏,马殷元,杨志雄,等.改进 Dijkstra 算法在停车场车辆泊车路径搜索中的应用[J].传感器与微系统,2020,39(6):158—160.
GUO Zhan-hong, MA Yin-yuan, YANG Zhi-xiong, et al. Application of improved Dijkstra algorithm in parking path search[J]. Sensors and Microsystems, 2020, 39(6): 158—160.
- [2] 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(3):80—82+138.
YAN Yong, LEI Hang, LIANG Pan. Design of adaptive parking guidance system based on improved ant colony algorithm[J]. Experimental Technology and Management, 2020, 37(3): 80—82+138.
- [3] 王辉,王景良,朱龙彪,等.基于改进蚁群算法的泊车系统路径规划[J].控制工程,2018,25(2):253—258.
WANG Hui, WANG Jing-liang, ZHU Long-biao, et al. Path planning of parking system based on improved ant colony algorithm [J]. Control Engineering, 2018, 25(2): 253—258.
- [4] 黄旭,范婧,吴茂念,等.基于 Wi-Fi 指纹定位技术的智能停车场系统的设计与实现[J].计算机科学,2016,43(S1):512—515.
HUANG Xu, FAN Jing, WU Mao-nian, et al. Design and implementation of intelligent parking system based on Wi-Fi fingerprint location technology[J]. Computer Science, 2016, 43(S1): 512—515.
- [5] 于鹏,宋树祥,余果.基于磁场传感器和 ARM 的智能停车场管理系统[J].测控技术,2016,35(2):16—19.
YU Peng, SONG Shu-xiang, SHE Guo. Intelligent parking lot management system based on magnetic field sensor and ARM[J]. Measurement and Control Technology, 2016, 35(2): 16—19.
- [6] 徐玉琼,娄柯,李婷婷,等.改进自适应蚁群算法的移动机器人路径规划[J].电子测量与仪器学报,2019,33(10):89—95.
XU Yu-qiong, LOU Ke, LI Ting-ting, et al. Path planning of mobile robot based on improved adaptive ant colony

- algorithm[J]. *Journal of Electronic Measurement and Instruments*, 2019, 33(10):89—95.
- [7] 柴获,何瑞春,苏江省,等. 求解双目标带时间窗车辆路径问题的蚁群算法[J]. *交通运输系统工程与信息*, 2018, 18(4):156—162.
- CHAI Huo, HE Rui-chun, SU Jiang-sheng, et al. Ant colony algorithm for solving double-objective vehicle routing problem with time window [J]. *Transportation System Engineering and Information*, 2018, 18(4):156—162.
- [8] 于树科,瞿国庆,祁宏宇,等. 蚁群遗传融合算法在移动机器人路径规划中的应用[J]. *火力与指挥控制*, 2017, 42(12):88—91.
- YU Shu-ke, ZHAI Guo-qing, QI Hong-yu, et al. Application of ant colony genetic fusion algorithm in path planning of mobile robot[J]. *Firepower and Command and Control*, 2017, 42(12):88—91.
- [9] YANG Y, QU X, ZHU H, et al. Design and implementation of path planning algorithm for vehicle parking[J]. *Journal of Beijing Institute of Technology*, 2016(4):502—511.

Design of Parking Lot System Based on Pheromone Optimization Ant Colony Algorithm

SUN Xia, HU Xiao-fei, ZHANG Xin, HUANG Xin-jie, WANG Cheng-chen

(School of Electrical and Information Engineering, Anhui University of Science and Technology, Anhui Huainan 232001, China)

Abstract: As the traditional parking space management system has problems of high labor cost and great difficulty in management, a parking system based on pheromone optimization ant colony algorithm is proposed. The system uses STM32 as the main controller, the terminal sensor node is responsible for collecting data, and NB-IoT is used to upload data. Mobile phone APP and cloud platform can be used to realize remote monitoring of the terminal node. Particle swarm optimization algorithm is used to provide pheromone guidance for the ant colony algorithm at the beginning of iteration, which enhances the global search ability of the ant colony algorithm, and the improved ant colony algorithm obviously shortens the shortest Hamilton loop distance of parking. The effectiveness of the method is verified by building a parking lot management system, and the experimental results show that the system can significantly reduce the parking time of users, shorten the parking distance of users, and meet the needs of automatic and intelligent life.

Key words: pheromone; ant colony algorithm; Hamilton loop; NB-IoT

责任编辑:罗姗姗

引用本文/Cite this paper:

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(2):1—7.

SUN Xia, HU Xiao-fei, ZHANG Xin, et al. Design of parking lot system based on pheromone optimization ant colony algorithm [J]. *Journal of Chongqing Technology and Business University (Natural Science Edition)*, 2022, 39(2):1—7.