江苏大学学报(自然科学版)
JOURNAL OF JIANGSU UNIVERSITY(Natural Science Edition)
2018 年 1 月 Jan. 2018
第 39 卷 第 1 期 Vol. 39 No. 1
doi:10.3969/j.issn.1671-7775.2018.01.004

立体车库车位分配建模与仿真

刘 日,李建国,王小农
(兰州交通大学 自动化与电气工程学院,甘肃 兰州 730070)

摘要:针对自动化立体车库车辆存取能耗高的问题,以保证车库运行效率为前提,以降低系统运行能耗为目标,利用 SVM 支持向量机对车辆停留时间范围进行预测.以多色集合作为理论依据,将车辆质量、车辆停留时间范围和车位能耗作为特征,对立体车库车位进行分区分配.在此基础上建立车库运行模型,并以人均等待时间、人均能耗等作为输出结果对该模型进行验证.采用 MATLAB 软件编写仿真程序,通过比较该车位分配和车位就近分配的程序运行结果,证明该车位分配在降低车库运行能耗上的有效性.仿真结果表明:该车位分区分配模型能够保证车库运行效率,使每天车库人均运行能耗比就近原则减少 5.10 kJ,降低了 9%.

关键词:立体车库;支持向量机;多色集合;车位分配;降低能耗
中图分类号:U491.7 **文献标志码**:A **文章编号**:1671-7775(2018)01-0019-07
引文格式:刘 日,李建国,王小农.立体车库车位分配建模与仿真[J].江苏大学学报(自然科学版),2018,39(1):19-25.

Modeling and simulation of parking space allocation in stereo garage

LIU Ri, LI Jianguo, WANG Xiaonong
(School of Automation and Electrical Engineering, Lanzhou Jiao Tong University, Lanzhou, Gansu 730070, China)

Abstract: To solve the low access efficiency problem of automatic parking garage with high operational energy consumption, the range of residence time was predicted using support vector machine (SVM) to ensure the operating efficiency of the garage. Based on the theory of poly-chromatic sets and with vehicle quality, vehicle residence time range and parking energy consumption as features, the space partition management was completed. On the basis, the garage operation model was established, and the model was verified with average waiting time and average energy consumption as output results. Using MATLAB to write simulation program, the validity of parking space management for reducing energy consumption of the garage was analyzed by comparing the results of the parking spaces with those of parking spaces nearby distribution. The simulation results show that the proposed partition management strategy can effectively reduce operating energy consumption by 9% of 5.10 kJ, and the operating efficiency of garage is ensured.

Key words: stereo garage; support vector machine; theory of poly-chromatic; parking space allocation; energy consumption reducing

收稿日期:2017-03-27
基金项目:甘肃省自然科学基金资助项目(1506RJZA073);甘肃省建设科技攻关项目(JK2016-10216095)
作者简介:刘 日(1991—),男,河北石家庄人,硕士研究生(1059851593@qq.com),主要从事交通信息工程及控制的研究.
李建国(1974—),男,甘肃平凉人,副教授(394504676@qq.com),主要从事交通信息工程及控制、智能交通的研究.

自动化立体车库在解决大中城市停车难问题的众多方案中受到认可和重视. 立体车库车位分配影响着立体车库存取车辆的运行能耗,关系着车库的运行成本和综合竞争力. 对该问题的研究具有理论价值和实际意义. 国内外学者对立体仓储系统研究较多. 文献[1]采用基于邻域的有界深度优先搜索算法实现立体车库多存取进程并行优化控制. 文献[2]分析了自动化立体仓库输送系统的若干调度问题并给出了启发式调度规则和优化算法,建立了该离散系统的仿真 Petri 网模型. 文献[3]针对自动化立体仓库固定货架系统中拣选作业优化问题的特点,分析并设计了一种新型高效混合遗传算法,满足了拣选作业的要求. 文献[4]对立体车库车位就近分配和随机分配进行了仿真,证明了车位就近分配比随机分配效率高,能耗少. 文献[5]提出了基于多色集合和粒子群算法相结合的货位分配模型,并通过实例证明了该模型的可行性和有效性. 文献[6]针对多货叉仓库调度优化问题,提出一种改进型细菌觅食算法,对多货叉仓库调度优化问题在解的质量及收敛速度上都取得较好效果. 文献[7]建立了控制自动化仓储系统的着色 Petri 网,简要说明了存储系统的实现方法和模型. 文献[8]对车位存储启发方法进行了研究. 文献[9]采用排队模型分析了自动化仓储系统中堆垛机驻留点在通道中的位置.

对立体仓储系统货位分配的研究主要考虑货物属性和货位特征,立体车库车位分配与立体仓储系统货位分配的区别在于不仅要考虑车辆属性和车位特征,还需考虑车辆服务规则、车辆到达时间和车辆的库内停留时间.

笔者以先到先服务和出车优先为服务规则,考虑车辆到达时间和车辆的库内停留时间,并利用 SVM 支持向量机对车辆停留时间范围进行预测,以多色集合理论为依据对车库车位进行分区管理,建立车库运行模型. 给出能耗和效率评估的几种指标,对车库运行模型进行仿真. 通过仿真结果分析对比车位就近分配下的车库的运行效率和运行能耗,证明基于停留时间范围预测和多色集合理论的车位分区分配在保证车库运行效率和降低车库运行能耗上的有效性.

1 车辆停留时间范围预测

1.1 SVM 支持向量机简介

SVM 支持向量机以其高效的学习能力和广泛的适应能力,在非线性系统的分类预测方面得到广泛的应用. 其基本思想为利用非线性映射将数据映射到高维空间,从而使得低维空间的非线性问题转为高维空间的线性回归问题[10-11].

假设有训练样本(x_i, y_i), $i = 1, 2, \cdots, M$,则其 SVM 回归表达式为

$$y = f(x) = \langle \boldsymbol{w}, \varphi_1(x) \rangle + b, \tag{1}$$

式中: $\boldsymbol{w}$ 为权系数; $\varphi_1(x)$ 为非线性映射函数; b 为偏差.

则其结构风险为

$$J = \frac{1}{2}\boldsymbol{w}^{\mathrm{T}}\boldsymbol{w} + C\sum_{i=1}^{M}(\xi_i + \xi_i^*), \tag{2}$$

式中: ξ_i, ξ_i^* 为松弛变量; C 为惩罚系数.

结构风险最小化原则为

$$\begin{cases} \min J = \min\limits_{w,\xi_i,\xi_i^*} \dfrac{1}{2}\boldsymbol{w}^{\mathrm{T}}\boldsymbol{w} + C\sum\limits_{i=1}^{N}(\xi_i + \xi_i^*), \\ \text{s.t.} \begin{cases} y_i - \langle \boldsymbol{w}, \varphi_1(x_i) \rangle - b \leqslant \varepsilon + \xi_i, \\ \langle \boldsymbol{w}, \varphi_1(x_i) \rangle + b - y_i \leqslant \varepsilon + \xi_i^*, \\ \xi_i \geqslant 0, \xi_i^* \geqslant 0, \end{cases} \end{cases} \tag{3}$$

式中 ε 为允许拟合误差.

采用拉格朗日乘子法、对偶原理及核方法,则式(3)可转换为

$$\begin{cases} \max\limits_{\alpha,\eta} W(\alpha, \eta) = -\dfrac{1}{2}\sum\limits_{i,j=1}^{M}(\alpha_i - \eta_i)(\alpha_j - \eta_j) \times \\ \boldsymbol{K}(x_i, x_j) - \varepsilon\sum\limits_{i=1}^{M}(\alpha_i + \eta_i) + \sum\limits_{i=1}^{M} y_i(\alpha_i - \eta_i), \\ \text{s.t.} \begin{cases} \sum\limits_{i=1}^{M}(\eta_i - \alpha_i) = 0, \\ 0 \leqslant \alpha_i, \eta_i \leqslant C, i = 1, 2, \cdots, M, \end{cases} \end{cases} \tag{4}$$

式中: α, η 为拉格朗日乘子; $\boldsymbol{K}$ 为核矩阵.

SVM 输出为

$$y = f(x) = \sum_{i=1}^{M}(\alpha_i^* - \eta_i^*)\boldsymbol{K}(x_i, x) + b, \tag{5}$$

由式(5)可求得 α, η 最优解 α_i^*, η_i^*,其偏差 b 可由 KKT 条件求得.

SVM 的核函数 k 可采用高斯核,其形式为

$$k(x_i, x_j) = \exp\frac{-\| x_i - x_j \|}{2\delta^2}, \tag{6}$$

式中 δ 为核函数半径.

1.2 立体车库停留时间范围预测

在建立立体车库运行模型时,车辆在库内的停留时间范围作为车位分区分配的重要特征,可根据车辆在库内的历史停留信息并通过 SVM 支持向量机进行预测和分类.

SVM 支持向量机对立体车库车辆停留时间分类预测要经过如下步骤：① 确定分类器的个数，即要对立体车库车辆停留时间范围进行划分（可分为 60 min 以内，60 ~ 180 min，180 min 以上）；② 特征向量的确定，由车辆是否在车库有过停留、车辆的历史到达时间、车辆的所属地（如车辆是否属于车库所在小区）3 个特征构成；③ 特征值量纲一化，先对相同的特征（每个特征向量分别量纲一化）进行排序，然后根据特征的最大值和最小值重新计算特征值；④ 核函数的选定可使用最常见的高斯核函数如式（6）；⑤ 利用样本数据对 SVM 支持向量机进行训练；⑥ 采集新到车辆的特征向量并利用对训练好的 SVM 模型预测其停留时间.

2　多色集合与车位分区分配

2.1　多色集合理论

多色集合理论建立在布尔矩阵上，具有易于描绘复杂系统各特征及其相互关系的优点. 多色集合理论中每个元素的指标、特征和属性等用围道或颜色来表示.

对于普通集合 $\boldsymbol{A}=\{a_1,a_2,\cdots,a_n\}$ 中元素 $a_i\in\boldsymbol{A}$，存在元素 a_i 的个人颜色，即

$$\boldsymbol{F}(a_i)=\{f_1(a_i),f_2(a_i),\cdots,f_m(a_i)\}=\{f_1,f_2,\cdots,f_j,\cdots f_m\}. \tag{7}$$

集合 $\cup\boldsymbol{F}(a_i)$ 称为元素个人颜色的集合. 集合 $\boldsymbol{A}$ 的统一颜色用 $\boldsymbol{F}(\boldsymbol{A})=\{F_1,F_2,\cdots,F_j,\cdots F_m\}$ 来表示，其中 $F_j=\cup F_j(a_i)$ 表示多色集合的第 j 个元素的统一颜色.

多色集合一般由以下成分确定：

$$\boldsymbol{PS}=\{\boldsymbol{A},\boldsymbol{F}(a),\boldsymbol{F}(\boldsymbol{A}),[\boldsymbol{A}\times\boldsymbol{F}(a)],[\boldsymbol{A}\times\boldsymbol{F}(\boldsymbol{A})],[\boldsymbol{A}\times\boldsymbol{A}(\boldsymbol{F})]\}, \tag{8}$$

式中：$\boldsymbol{F}(a)$ 为个人着色；$\boldsymbol{F}(\boldsymbol{A})$ 为统一着色；$[\boldsymbol{A}\times\boldsymbol{F}(\boldsymbol{A})]$ 为所有元素的个人着色，表示同一颜色与个人颜色的关系；$[\boldsymbol{A}\times\boldsymbol{A}(\boldsymbol{F})]$ 为保证多色集合所有同一颜色存在的元素的组成.

布尔矩阵 $[\boldsymbol{A}\times\boldsymbol{F}(\boldsymbol{A})]$ 所有元素个人着色表示为

$$\|\boldsymbol{C}_{ij}\|_{\boldsymbol{A},\boldsymbol{F}(a)}=[\boldsymbol{A}\times\boldsymbol{F}(\boldsymbol{A})]=\begin{bmatrix} c_{11}&\cdots&c_{1j}&\cdots&c_{1q}\\ \vdots&&\vdots&&\vdots\\ c_{i1}&\cdots&c_{ij}&\cdots&c_{iq}\\ \vdots&&\vdots&&\vdots\\ c_{n1}&\cdots&c_{nj}&\cdots&c_{nq}\end{bmatrix}, \tag{9}$$

式中：行布尔矢量表示元素的个人着色；列布尔矢量表示个人着色中含有个人颜色的所有元素.

式（9）中，满足

$$\boldsymbol{C}_{ij}=\begin{cases}1, & F_j\in\boldsymbol{F}(a_i),\\ 0, & F_j\notin\boldsymbol{F}(a_i).\end{cases} \tag{10}$$

2.2　多色集合理论在车位分区中的应用

基于多色集合理论，将车位编号作为多色集合的统一颜色，将车位能耗、车辆质量和由 SVM 支持向量机分类预测的车辆停留时间范围作为该多色集合的元素.

车位编号集合 $\boldsymbol{X}$ 由 n 个车位组成并构成多色集合的元素，即 $\boldsymbol{X}=(X_1,X_2,\cdots,X_n)$. 车位号表示车位所在的列、层，其中车位 X_1 对应车位号 1，1.

统一颜色集合 $\boldsymbol{F}(\boldsymbol{X})$ 综合考虑影响车位分区的因素（车位能耗、车辆质量、车辆库内停留时间），即 $\boldsymbol{F}(\boldsymbol{X})=(F_1,F_2,\cdots,F_7)$. 其中，$F_1$，$F_2$ 分别为车辆质量轻和重，F_3，F_4 分别为车辆在车库内停留时间短和长，F_5，F_6，F_7 分别为车位能耗低、中和高.

建立该理论下的车位分区模型 $[\boldsymbol{X}\times\boldsymbol{F}(\boldsymbol{X})]$ 的布尔矩阵表，如表 1 所示，其中 X_i 表示车位，例如车位 X_1 对应车位号 1，1，即第 1 行第 1 列的车位.

表 1　多色集合下的车位分区布尔矩阵表

车位	车位号	车辆质量		车辆停留时间		车位能耗		
		F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	F_6	F_7
X_1	1，1		●	●		●		
X_2	1，2		●	●		●		
X_3	1，3	●		●			●	
…	…	…	…	…	…	…	…	…
X_{10}	1，10	●			●			●
X_{15}	2，5	●		●			●	
…	…	…	…	…	…	…	…	…

2.3　车库分区内的车位分配

立体车库车位的分配是在对车库车位分区基础上进行的，在每个分区内，车位的分配依据运送车辆到达车位时车库能耗的高低，由低到高排布.

3　立体车库运行模型的建立

3.1　立体车库运行模型建立规则

立体车库运行规则如下：

1）车辆到达时服从先到先服务的服务规则，离去时服从出车优先原则.

2）每天运行时间内车辆到达时间和停留时间

以及车辆的质量等从保存有车辆进出信息的数据库中获得.

3）车辆在库内的停留时间范围根据 SVM 支持向量机进行预测.

4）车辆到达时依据基于多色集合的车辆分区分配原则分配车位.

5）车辆接受服务时的服务时间依据分配的车位所在位置、堆垛机水平移动速度、垂直移动速度来确定.

6）车辆运行能耗依据车辆的质量和分配的车位所在位置、牵引电动机功率来确定.

请求出库和入库车辆的排队等待时间（*Waittime*）、车辆存取能耗（*Energy Consumption*）的计算流程如图 1 所示.

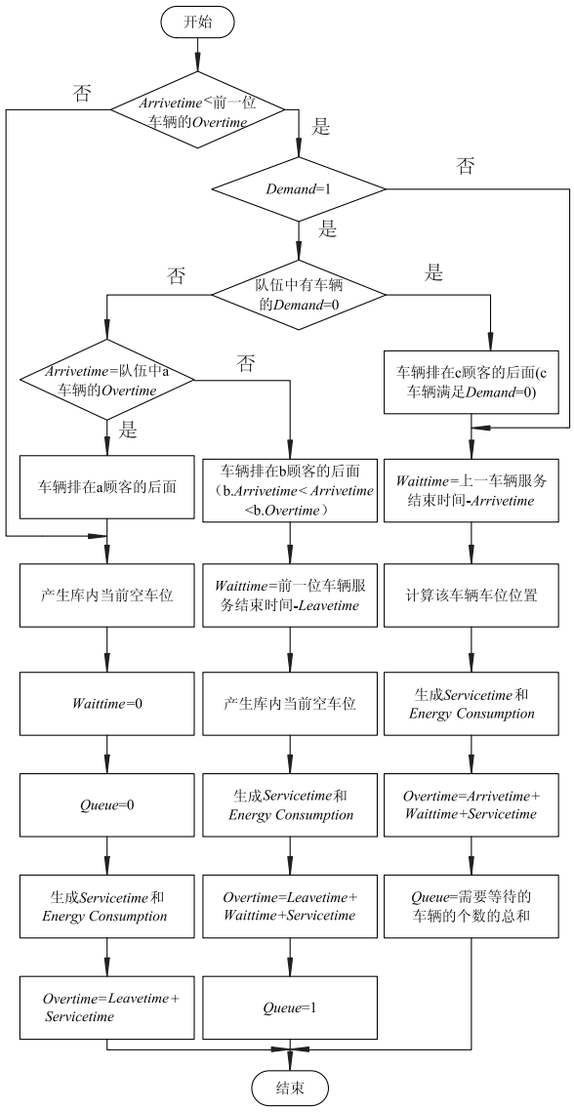


图 1　车辆排队等待时间和存取能耗的计算流程

图 1 中，*Demand* 为车辆出入库，出库为 0，入库为 1；到达时间（*Arrivetime*）为车辆到达 I/O 口的时刻；离开时间（*Leavetime*）为车辆将要从车库出车的时刻；服务结束时间（*Overtime*）为车辆从 I/O 口到达车库内车位或从车库内接受完出库服务到达 I/O 口的时刻；服务时间（*Servicetime*）为立体车库内设备运送车辆到达车位或从车位到达 I/O 口的时间.

3.2　车库运行模型的数学描述

以立体车库的单侧为例，立体车库该侧共 Q 列，H 层，出入口在车库的最底层最左侧，出入口所在层记做第 1 层第 1 列. 车库每层高度为 h，每列宽度为 q，垂直移动平均速度为 v_y，水平移动平均速度为 v_x，设备装载每 1 000 kg 车辆在运行时垂直移动 1 层的耗能为

$$W_h = 1\ 000gh. \tag{11}$$

立体车库电动机水平牵引功率为 P，水平移动一列耗能为

$$W_q = P\frac{q}{v_x}. \tag{12}$$

第 i 辆车质量为 m_i，在车库内的车位位置为 h_i 层 q_i 列，则立体车库内 n 辆车进出库的平均能耗为

$$\overline{W} = \sum_{i=0}^{n}\frac{m_i[W_h(h_i-1)+W_q(q_i-1)]}{n}. \tag{13}$$

车辆平均等待时间由运行时间内车辆总数和车辆等待时间的总和来决定，平均等待时间越短车库运行效率越高，车辆平均等待时间为

$$\bar{t} = \frac{\sum_{1}^{n} t_i}{n}. \tag{14}$$

4　仿真与分析

4.1　仿真参数设置

仿真中以车库单侧 4 层 10 列，共 40 个车位容量为例. 车库每天的运行时间为 720 min，车辆的质量以及 SVM 支持向量机所需的 300 d 的训练样本数据和 100 d 的测试样本数据从存有某小区车辆进出信息的数据库中获取，部分数据如表 2 所示.

车库每层高度 h 取 2.0 m，每列宽度 q 取 2.5 m，垂直平均移动速度为 0.3 m·s^{-1}，水平平均移动速度为 0.5 m·s^{-1}，车辆每吨对应水平牵引功率 P 为 2.2 kW. 根据式(11)，(12)计算可得，W_h 为 14.7 kJ，W_q 为 4.4 kJ.

表 2　车辆的历史停留特征

车辆是否有过存留	车辆历史到达时间	车辆所属地	停留时间范围/min
是	7:00－7:30	本小区	>180
是	7:00－7:30	本小区	>180
…	…	…	…
是	7:30－11:30	非本小区	<180
否	7:30－11:30	非本小区	<180
否	7:30－11:30	非本小区	<180
是	7:30－11:30	非本小区	>180
…	…	…	…

车位分区管理中，根据车辆质量分为 2 类，即 F_1 为车辆质量小于等于 2 000 kg，F_2 为车辆质量大于2 000 kg. 根据车辆在车库内停留时间分为 2 类，即 F_3 为停留时间大于 180 min，F_4 为停留时间小于 180 min. 根据车库内车位能耗（单位吨质量的车辆从出入口到达车位时的能耗）分为 3 类，即 F_5 为车位能耗小于 25 kJ，F_6 为车位能耗在25～40 kJ，F_7 为车位能耗大于 40 kJ，如表 3 所示.

表 3　车辆和车位特征分类

车辆质量/kg	停留时间/min	车位能耗/kJ
≤2 000	≤180	<25
>2 000	>180	25～40
		>40

4.2　仿真结果与分析

通过对多色集合[$\boldsymbol{X}\times\boldsymbol{F}(\boldsymbol{X})$]进行合取和析取，可得到由 $A_1(F_1,F_4,F_7)$，$A_2(F_1,F_3,F_6)$，$A_3(F_2,F_4,F_7)$，$A_4(F_2,F_3,F_5)$ 组成的多色集合[$\boldsymbol{A}\times\boldsymbol{A}(\boldsymbol{F})$]，分别对应立体车库车位分成的 3 个区域，仿真结果如图 2 所示.

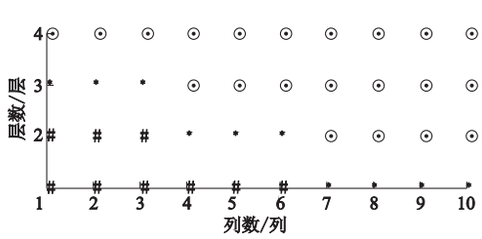


图 2　多色集合理论下的车位分区图

车库运行模型利用 100 d 的测试数据进行仿真，车位分区管理分配下，每天车辆的人均能耗分布和每天车辆的人均等待时间分布如图 3，4 所示.

车位就近分配时，每天车辆的人均能耗分布和每天的人均等待时间分布分别如图 5，6 所示.

图 3，4 中，车位分区管理分配下，每天车辆的人均能耗以 52.29 kJ 为平均值分布在该平均值附近；每天车辆的人均等待时间分布在平均值 0.158 min 附近. 图 5，6 中，车位就近存取策略下每天车辆的人均能耗以 57.39 kJ 为平均值，分布在该平均值附近；每天车辆的人均等待时间分布在平均值 0.153 min 附近.

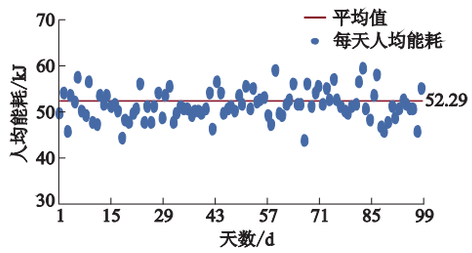


图 3　分区管理下每天车辆的人均能耗

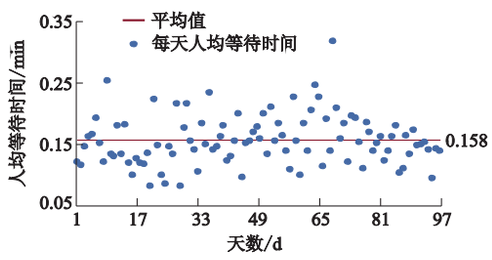


图 4　分区管理下每天车辆的人均等待时间

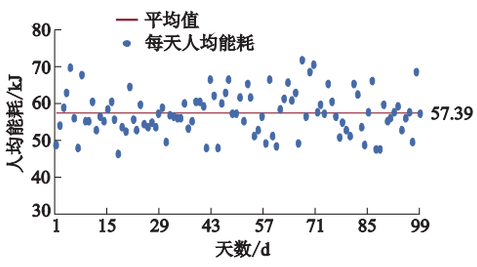


图 5　就近分配下每天车辆的人均能耗

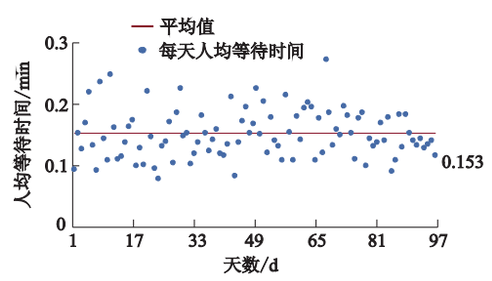


图 6　就近分配下每天车辆的人均等待时间

以上对比显示，基于车辆停留时间预测和多色集合的车位分区管理分配能够使得车辆的平均等待时间基本保持不变，每天车库人均运行能耗比就近原则下减少 5.10 kJ，降低了 9%.

2 种车位分配策略下，库内停留时间不同，质量不同的车辆在车库内占据车位的位置不同，使得车

位分区管理分配下车库运行时人均能耗比就近分配下降低了9%. 就近分配下和分区管理下车辆运行100 d内随机抽取1 d的个人能耗分布分别如图7,8所示.

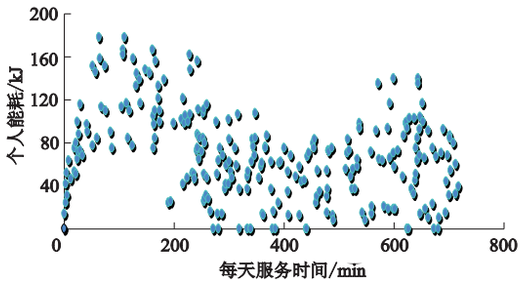


图7 就近分配下的车辆运行个人能耗分布

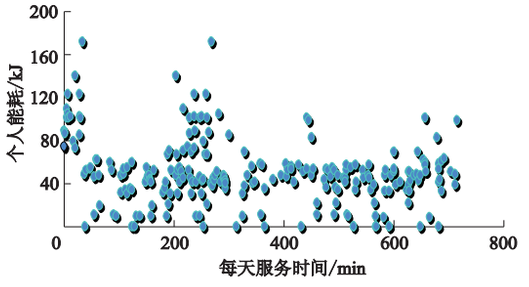


图8 分区管理下的车辆运行个人能耗分布

从图7可以看出:就近原则下车辆的运行能耗在7:00－12:00和12:00－19:00分别呈倒V形分布. 在车库运行时间内到达的停留时间较长,出入库频率较低且质量较重的车辆占据离出入口较近车位,导致在其他时间段停留时间较短,出入库频率较高的车辆占据离出入口较远车位.

从图8可以看出:车位分区管理下的车辆运行能耗在7:00－12:00和12:00－19:00分别呈正V形分布. 在车库内停留时间较长,出入库频率较低且质量较重的车辆分布在离出入口较远车位;在车库内停留时间较短,出入库频率较高的车辆分布在离出库口较近车位,使得离出入口近的车位得到较多次利用.

5 结 论

采用了实际中立体车库的层高列宽、移动速度等具体参数,考虑车辆到达时间和车辆的库内停留时间,并利用SVM支持向量机对车辆停留时间范围进行预测,以多色集合为理论基础对车库车位进行分区管理,建立了车库运行模型进行仿真,得到仿真结果并对仿真结果出现的原因作出阐述. 仿真结果表明:基于车辆停留时间预测和多色集合理论的车位分区管理能够保证车库运行效率且使每天车库人均运行能耗比就近原则减少5.10 kJ,降低了9%. 为实际车库车位的分配提供参考,具有理论价值和现实意义.

参考文献(References)

[1] 王丽杰,褚鸿锐,杨羽翼,等. 巷道堆垛式立体车库车辆存取测控方法[J]. 江苏大学学报(自然科学版),2017,38(2):179－185.
WANG L J, ZHU H R, YANG Y Y, et al. Control strategy of saving or taking parking vehicles for stacker type stereo garage[J]. Journal of Jiangsu University (Natural Science Edition), 2017, 38 (2): 179－185. (in Chinese)

[2] 常发亮,刘长有. 自动化立体仓库输送系统调度的优化仿真及其应用研究[J]. 系统仿真学报,1998,10(5):17－22.
CHANG F L, LIU C Y. The study of optimal simulation and its application in vehicle scheduling for automatic space warehouse [J]. Journal of System Simulation, 1998, 10(5): 17－22. (in Chinese)

[3] 田国会,张攀,李晓磊,等. 一类仓库作业优化问题的混合遗传算法研究[J]. 系统仿真学报,2004,16(6):1198－1201.
TIAN G H, ZHANG P, LI X L, et al. Research on one class of optimization problem of the automated warehouse using a new kind of hybrid genetic algorithm[J]. Journal of System Simulation, 2004, 16(6): 1198－1201. (in Chinese)

[4] 李建国,蒋兆远. 巷道堆垛式立体车库就近车位分配策略仿真与分析[J]. 物流工程与管理,2010,32(9):86－87,59.
LI J G, JIANG Z Y. Simulation and analysis on lane way stowed parking system handy access[J]. Logistics Engineering and Management, 2010, 32(9): 86－87, 59. (in Chinese)

[5] 杨玮,傅卫平,王雯,等. 基于多色集合和粒子群算法的立体仓库货位分配优化[J]. 机械科学与技术,2012,31(4):648－651,655.
YANG W, FU W P, WANG W, et al. Optimizing space allocation for articles based on theory of poly-chromatic sets and particle swarm algorithm[J]. Mechanical Science and Technology for Aerospace Engineering, 2012, 31(4): 648－651, 655. (in Chinese)

[6] 杨文强,邓丽,牛群,等. 改进型细菌觅食算法及多货叉仓库调度应用[J]. 控制与决策,2015,30(2):321－327.

YANG W Q, DENG L, NIU Q, et al. Improved bacterial foraging algorithm and application of warehousing scheduling with multi-shuttles[J]. Control and Decision, 2015,30(2):321 – 327. (in Chinese)

[7] DOTOLI M, FANTI M P. A coloured Petri net model for automated storage and retrieval systems serviced by rail-guided vehicles: a control perspective[J]. International Journal of Computer Integrated Manufacturing,2005,18: 122 – 136.

[8] PAN J C A, SHIH P H, WU M H,et al. A storage assignment heuristic method based on genetic algorithm for a pick-and-pass warehousing system[J]. Computers & Industrial Engineering,2015,81:1 – 13.

[9] ROY D, KRISHNAMURTHY A, HERAGU S, et al. Queuing models to analyze dwell-point and cross-aisle location in autonomous vehicle-based warehouse systems [J]. Europe Journal of Operational Research, 2015, 242:72 – 87.

[10] CHEN P, YUAN L F, HE Y G, et al. An improved SVM classifier based on double chains quantum genetic algorithm and its application in analogue circuit diagnosis[J]. Neurocomputing,2016,211:202 – 211.

[11] LIU Y, BI J W, FAN Z P. A method for multi-class sentiment classification based on an improved one-vs-one (OVO) strategy and the support vector machine (SVM) algorithm[J]. Information Sciences, 2017, 394/395: 38 – 52.

(责任编辑　贾国方)

(上接第 18 页)

SU K F, DENG Z D, HUANG Z. A novel localization approach for autonomous vehicles based on map matching with curvature features[J]. Robot, 2012,34(4): 440 – 446. (in Chinese)

[7] YANG H Q, CENG S W, JANG H F, et al. An enhanced weight-based topological map matching algorithm for intricate urban road network[J]. Procedia-Social and Behavioral Sciences, 2013, 96(6): 1670 – 1678.

[8] SALAMAT N, ZAHZAH E H. On the improvement of combined fuzzy topological and directional relations information[J]. Pattern Recognition, 2012, 45(4): 1559 – 1568.

[9] 李洋,张晓冬,鲍远律. 多权值概率论实时地图匹配[J]. 电子测量与仪器学报, 2012, 26(2): 166 – 170.
LI Y, ZHANG X D, BAO Y L. Algorithm on real-time map-matching of multi-weight probability[J]. Journal of Electronic Measurement and Instrument,2012,26(2): 166 – 170. (in Chinese)

[10] DEKA L,QUDDUS M. Network-level accident-mapping: distance based pattern matching using artificial neural network[J]. Accident Analysis & Preventin, 2014, 65 (4): 105 – 113.

[11] 方凌,赖际舟,张小山,等. 基于故障状态监测的惯性/卫星信息融合技术[J]. 江苏大学学报(自然科学版),2011,32(1):94 – 98.
FANG L, LAI J Z, ZHANG X S,et al. Information fusion technology of INS/GNSS based on fault state detection[J]. Journal of Jiangsu University (Natural Science Edition),2011,32(1):94 – 98. (in Chinese)

[12] 杨英杰, 钦鹏明. 一种改进的 GPS 微弱信号捕获算法[J]. 东北电力大学学报, 2013, 33(5): 57 – 60.
YANG Y J, QIN P M. An improved GPS weak signal capture algorithm[J]. Journal of Northeast Dianli University,2013,33(5):57 – 60. (in Chinese)

(责任编辑　贾国方)