

巷道堆垛式自动化立体车库库位布局方案的优化

张海飞, 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: 为了提高立体车库的服务效率, 以排队论研究了巷道堆垛式自动化立体车库. 在顾客的平均等待时间和平均等待队长的参考标准下, 分析了单服务台系统的车库在随机分配和就近分配两种库位分配情况下的布局方案. 结果表明: 1) $M/M/1$ 排队模型时, 4 层 6 列的库位布局的效果最佳, 而且就近库位分配策略下顾客平均等待时间和平均等待队长比随机库位分配策略分别减少了约 0.33 min 和 0.07 辆; 2) $M/M/1/N/\infty$ 排队模型时, 排队系统容量分别为 5, 10, 25, 50 辆时, 7 层 10 列的库位布局的效果最佳, 而且就近库位分配策略下顾客平均等待时间、平均等待队长和堆垛机空闲概率比随机库位分配策略分别缩短了约 0.2~0.4 min、0.006~0.149 辆和 0.534~0.587 个百分点.

关键词: 智能交通; 库位布局; 排队论; 立体车库; 平均等待时间; 平均等待队长

中图分类号: U 491.7; TP 27

文献标志码: A

文章编号: 0438-0479(2019)03-0436-06

随着社会的发展、城市人口日益增多, 停车问题逐渐成为城市的一大难题. 由于停车位需求的不断增加, 而立体车库具有存储量大、自动化程度高等优点, 使得立体车库的需求逐渐提高. 为保证立体车库具有较高的运行效率, 提高顾客满意度, 在对立体车库进行设计时需考虑整体库位布局情况.

张伟中等^[1]应用排队论的思想, 构造了立体车库设计方案的优化数学模型, 主要从建造成本计算、不同库容量下存取车次数与作业总时间之间的关系进行分析. 刘日等^[2-3]以排队论为理论依据, 给出了立体车库运行效率评估的指标, 并分析了单车厅平面移动式立体车库的运行效率; 后续又以多色集为理论依据, 针对立体车库存取能耗高的问题, 对立体车库进行库位分区, 与就近库位分配方式下顾客等待时间和等待能耗进行了对比, 并用支持向量机(SVM)对车辆停留时间范围进行了预测. 徐格宁等^[4]以排队论为理论基础, 分析了立体车库排队模型下不同调度原则对平均存取时间等指标的影响, 并在一段时间内对比得到了最优的调度原则. 王丽杰等^[5]针对巷道堆垛式立体车库的传送策略和智能测控方法进行了研究. 李建国等^[6]针对巷道堆垛式自动化立体车库, 提出了一种

基于遗传算法的堆垛机路径优化方案. Carlo 等^[7]、Ekren 等^[8]对自动存取系统(automated storage/retrieval system, AS/RS)进行了分析研究, 分析了多搬运器与升降机下的动态存储, 并就不同数量堆垛机和搬运器组合情况下的平均周转时间和搬运器的平均效率进行了分析.

目前, 针对车库的研究主要停留在对路径优化、运行效率、运行参数优化等方面, 而对车库整体库位布局的研究较少. 在不同排队系统模型下, 不同层列布局的立体车库运行效率存在较大差异, 且大多数研究未考虑不同层列布局对整体运行效率的影响. 本研究根据前人思想, 采用排队论原理, 以顾客的平均等待时间以及平均等待队长为标准, 考虑不同层列配置对顾客平均等待时间和平均等待队长的影响, 给出合理化的层列构造方案.

1 立体车库的实体模型

巷道堆垛式自动化立体车库的设计框架为多巷道、多层列布设, 每个巷道均为双排多层结构, 堆垛机通过计算机指令, 对车辆进行调度存取^[9]. 采用多巷

收稿日期: 2018-06-05 录用日期: 2018-11-26

基金项目: 甘肃省自然科学基金(1506RJZA073); 甘肃省建设科技攻关项目(JK2016-10)

* 通信作者: 394504676@qq.com

引文格式: 张海飞, 李建国, 王小农. 巷道堆垛式自动化立体车库库位布局方案的优化[J]. 厦门大学学报(自然科学版), 2019, 58(3): 436-441.

Citation: ZHANG H F, LI J G, WANG X N. Optimization on layout plan of automated stereoscopic garage space for stacking[J]. J Xiamen Univ Nat Sci, 2019, 58(3): 436-441. (in Chinese)



道多层列存放结构及方式,最大限度地节约了用地面积. 巷道堆垛式立体车库立体示意图如图 1 所示.

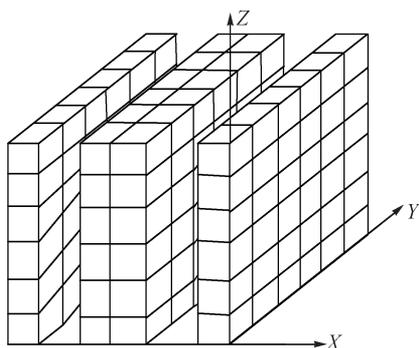


图 1 巷道堆垛式车库示意图

Fig.1 Roadway stacking garage schematic

在巷道内所进行的一次存取车操作可分解为 3 个分方向上的运动^[10]:横向存取运动 X , 实现存取操作;巷道方向上的水平运动 Y , 即存取车位点所在的列 i ;垂直升降运动 Z , 即存取车位点所在的层 j . 对于不同的车位而言, X 方向上的操作相同, 因此可将模型简化为单巷道内的二维运动(Y, Z), 即寻找存取车位点(i, j).

2 立体车库仿真模型

本文以北京市某自动化立体车库实际运行数据为基础数据, 截取一天 24 h 即 1 440 min 内车辆到达时间, 进行车辆到达时间间隔统计, 如图 2 所示.

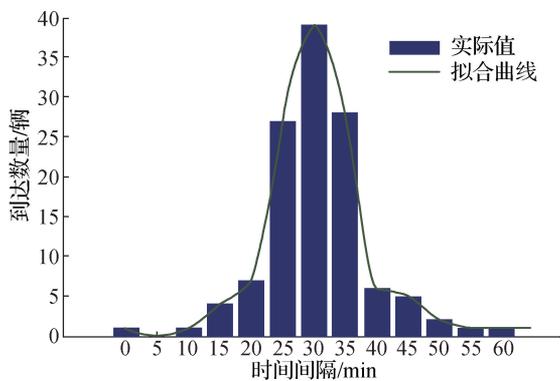


图 2 车辆到达时间间隔统计

Fig.2 Vehicle arrival time interval statistics

根据图 2 所示的不同时间间隔内车辆到达数量进行概率统计, 并采用 MATLAB 进行数据拟合, 得出该立体车库车辆到达率服从参数为 18.2 辆/h, 即 0.3 辆/min 的泊松分布. 再对立体车库实际运行系统进行分析, 顾客排队等待系统服从单服务台服务模型, 因

此, 本研究考虑在单服务排队模型下对立体车库不同排队系统进行库位布局分析.

2.1 立体车库排队模型

将存取的车辆作为顾客, 整体车库作为服务机构, 则车辆的到达时间和服务时间都是随机的^[11]. 根据排队论的思想可知, 立体车库对车辆的存取过程可以看作一个排队系统, 如图 3 所示.

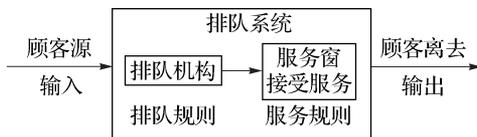


图 3 立体车库车辆排队系统

Fig.3 Stereoscopic garage vehicle queuing system

排队系统的输入过程服从参数为 λ 的泊松分布, 服务时间服从参数为 μ 的负指数分布, 且相互独立, 则系统的服务强度为 $\rho = \lambda/\mu$. 顾客服从先到先服务 (first come first served, FCFS) 的服务规则.

本研究考虑单服务台下不同排队模型对库位布局的影响, 故根据不同排队模型对立体车库的库位布局进行分析, 给出合理化的层列构造方案.

2.2 立体车库运行指标

根据《车库建筑设计规范(2015)》(简称规范)^[12] 规定, 1 个 I/O 口对应约 50 个停车位, I/O 口处应设置不少于 2 个的候车位, 当 I/O 口分开设置时, 候车位不应少于 1 个. 考虑立体车库整体的造价, 立体车库建造的最低层数为 3 层. 堆垛机水平速度 $v_1 = 80$ m/min, 垂直速度 $v_2 = 20$ m/min. 车库车位的长 $L_0 = 5$ m, 宽 $W_0 = 2$ m, 高 $H_0 = 1.8$ m. 但是规范中明显缺少对车位如何进行布局的规定.

针对单服务台系统下不同的排队模型^[13-15], 顾客的到达率服从参数为 λ 的泊松分布, 顾客的服务时间服从参数为 μ 的负指数分布, 并且互相独立, 即 λ 表示单位时间内平均到达顾客数(车辆到达率), μ 表示单位时间内服务完成的顾客数(服务率), 则系统的服务强度为 $\rho = \lambda/\mu$, 即停车排队系统空闲概率 P_0 为

$$P_0 = \left[\sum_{k=0}^m \frac{\rho^k}{k!} \right]^{-1}, \tag{1}$$

其中, k 表示停放车辆数, m 表示车库停车位总数.

系统内有 n 个服务窗口, 服务窗口的服务时间服从负指数分布, 服务率为 μ . 如果车库内车辆已满, 新来的车辆将直接离去, 则系统内必定有 $m - n$ 个可供车辆排队的位置, 即车库容量为 $m - n$ ^[16-17]. 为满足车辆对服务窗口的使用需求, 选取车辆到达率为 λ , 则系

统的服务强度为 $\rho = \lambda/\mu$, 当 n 个服务窗口都处于忙碌状态时, 系统的总服务强度为 $\rho' = \lambda/(n\mu)$.

服务窗口排队系统主要指标的计算公式为:

$$P_k = \begin{cases} \frac{n^k \rho^k}{k!} P_0, (0 \leq k \leq n); \\ \frac{n^n \rho^k}{n!} P_0, (n \leq k \leq m). \end{cases} \quad (2)$$

车辆在系统内平均等待时间 W'_q 为:

$$W'_q = \begin{cases} \frac{n^n \rho^{n+1} P_0 [1 - (m-n+1)\rho^{M-n} + (m-n)\rho']}{n!(1-\rho)^2 \mu [n - \sum_{k=0}^{n-1} (n-k)P_k]}, (\rho \neq 1); \\ \frac{n^n (m-n)(m-n+1)P_0}{2n! \mu [n - \sum_{k=0}^{n-1} (n-k)P_k]}, (\rho = 1). \end{cases} \quad (3)$$

堆垛机空闲概率 p_s 为:

$$p_s = \sum_{i=0}^{s-1} P_i, \quad (4)$$

其中 s 为堆垛机的台数.

1) M/M/1 排队模型

M/M/1 排队模型是指顾客数无限, 且顾客的到达相互独立且平稳, 顾客的到达率服从参数为 λ 的泊松分布, 服务时间服从参数为 μ 的负指数分布, 服务台数为 1. 该模型下堆垛机数量为 1 台, 每次执行操作只对 1 辆车进行存取, 顾客服务规则为 FCFS, 堆垛机在对车辆进行存取之后返回 I/O 口.

根据排队系统空闲概率 P_0 . 可得服务窗口排队系统主要指标可表示为:

$$P_k = \begin{cases} P_0, (k = 1); \\ \rho^k P_0, (1 \leq k \leq m). \end{cases} \quad (5)$$

2) M/M/1/N/∞ 排队模型

M/M/1/N/∞ 排队模型是指在单服务台下, 排队系统的容量为 N , 即排队等待的顾客数最多为 $N-1$. 在某时刻顾客到达时, 若系统中已有 N 个顾客, 那么该顾客被拒绝进入系统.

根据排队系统空闲概率 P_0 . 可得服务窗口排队系统主要指标计算公式为:

$$P_k = \begin{cases} P_0, (k = 1); \\ \frac{1-\rho}{1-\rho^N} \rho^k, (1 \leq k \leq N). \end{cases} \quad (6)$$

车辆在系统内平均等待时间 W'_q 为:

$$W'_q =$$

$$\begin{cases} \frac{\rho^2 P_0 [1 - m\rho^{m-1} + (m-1)\rho]}{(1-\rho)^2 \mu}, (\rho \neq 1); \\ \frac{(m-1)mP_0}{2\mu}, (\rho = 1). \end{cases} \quad (7)$$

平均等待队长 L_q 为:

$$L_q = \begin{cases} \frac{\rho^2 P_0}{(1-\rho)^2} [1 - m\rho^{m-1} + (m-1)\rho^m], (\rho \neq 1); \\ \frac{1}{2} m(m-1)P_0, (\rho = 1). \end{cases} \quad (8)$$

综合上述两种情况, 车辆在从服务台运送到存放位置所需时间 T 均为:

$$T = \max\left(\frac{jW_0}{v_1}, \frac{iH_0}{v_2}\right) + \frac{L_0}{v_1} = \max(0.0250j, 0.0900i) + 0.0625. \quad (9)$$

则系统运行时顾客的平均等待时间为:

$$W_q = W'_q + \frac{\sum_{i \times j=1}^{i \times j=m} 2T}{k}. \quad (10)$$

综上, 对整体模型进行模拟建模, 以顾客的平均等待时间和平均等待队长为衡量标准, 分析随机库位分配和就近库位分配 2 种方式. 对车库车位布局进行探索, 从而给出合理化的层列构造方案.

3 系统仿真

根据上述立体车库实际运行数据的分析, 车辆到达服从参数为 $\lambda=0.3$ 辆/min 的泊松分布, 车库服务率 $\mu=0.9$ 辆/min, 考虑 24 h(1 440 min) 内车库运行情况. 针对立体车库不同排队系统, 对比不同库位布局下立体车库运行效率指标, 得出运行效率较高的层列布局.

1) M/M/1 排队模型仿真

根据某自动化立体车库的实际运行设计, 本研究考虑停车位为 50 个, 车库整体构造为双排对列布设, 则每排车库的停车位为 25 个, 再考虑整个立体的车库的造价等问题, 立体车库的最低层数为 3 层. 针对可能的 7 种层和列不同情况的组合, 根据式(8)和(10)计算得出 L_q 和 W_q , 对比结果数据如表 1 所示.

从表 1 的仿真模拟数据可以看出, 无论在随机库位分配还是在就近库位分配, 4×6 的库位布局的 W_q 和 L_q 均小于其他情况, 而且就近库位分配的 W_q 比随机库位分配缩短了约 20%, L_q 缩短了约 34.8%. 原因

表 1 M/M/1 排队模型的 L_q 与 W_q 仿真结果

Tab. 1 L_q and W_q simulation results of M/M/1 queuing model

车库 布局	就近库位分配		随机库位分配	
	L_q /辆	W_q /min	L_q /辆	W_q /min
3×8	0.278	1.759	0.386	2.185
4×7	0.292	1.417	0.354	1.740
4×6	0.131	1.274	0.201	1.599
5×5	0.218	1.860	0.273	2.197
6×4	0.231	1.957	0.272	2.326
7×4	0.297	1.990	0.368	2.337
8×3	0.390	2.256	0.443	2.728

注:车库布局中前一个数值表示层数,后一个数值表示列数,下同。

在于:当堆垛机对车辆进行随机库位分配时,系统随机产生目前没有车辆停放的位置,具有无规则性;而

就近库位分配原则在对车辆进行存放时则考虑距离 I/O 口近的无占用的位置,具有一定的规则性. 而 L_q 比 W_q 的变化幅度大的原因在于在该立体车库构造下车库外部并无排队容量限制.

该仿真是在堆垛机数量 $s=1$ 下进行的,在根据式 (4) 计算堆垛机空闲概率时,只有在初始状态下才会出现堆垛机空闲,因此,在此处不做考虑.

2) M/M/1/N/∞ 排队模型仿真

根据某自动化立体车库实际运行数据,立体车库容量为 150 个,车库整体构造为双排队列布设,巷道数为 1,则每排库位数为 75 个,堆垛机数量为 3 台. 综合考虑整体布局规范,现给出如表 2 所示的不同层、列组合. 针对 8 种可能的组合情况,计算排队系统容量 N 分别为 5, 10, 25, 50 辆时,车辆按照随机库位分配方式和就近库位分配方式进行存储的 W_q 和 L_q , 结果如表 2 所示.

表 2 M/M/1/N/∞ 排队模型的 W_q 和 L_q 仿真结果

Tab. 2 W_q and L_q simulation results of M/M/1/N/∞ queuing model

分配 方式	车库 布局	N=5		N=10		N=25		N=50	
		W_q /min	L_q /辆						
随机 库位 分配	6×12	0.925	0.441	1.042	0.517	0.927	0.461	0.885	0.450
	7×10	0.884	0.426	0.919	0.444	0.877	0.423	0.803	0.447
	7×11	0.953	0.426	1.053	0.523	0.945	0.490	0.967	0.503
	8×9	1.011	0.445	1.097	0.528	1.060	0.504	1.038	0.543
	9×8	1.062	0.486	1.153	0.527	1.120	0.518	1.143	0.576
	10×7	1.114	0.509	1.251	0.576	1.238	0.542	1.191	0.563
	11×7	1.165	0.524	1.308	0.600	1.244	0.520	1.257	0.574
	12×6	1.263	0.566	1.369	0.608	1.474	0.669	1.334	0.638
就近 库位 分配	6×12	0.576	0.417	0.558	0.419	0.610	0.418	0.617	0.419
	7×10	0.505	0.373	0.517	0.378	0.566	0.417	0.594	0.298
	7×11	0.579	0.424	0.582	0.425	0.610	0.463	0.658	0.447
	8×9	0.593	0.401	0.632	0.484	0.612	0.427	0.711	0.464
	9×8	0.613	0.459	0.635	0.494	0.635	0.499	0.727	0.487
	10×7	0.647	0.471	0.665	0.523	0.657	0.508	0.736	0.525
	11×7	0.665	0.468	0.677	0.520	0.663	0.511	0.765	0.542
	12×6	0.707	0.527	0.740	0.570	0.737	0.543	0.798	0.593

从表 2 仿真结果可以看出,无论在随机库位分配还是在就近库位分配下,7×10 库位布局的 W_q 和 L_q 均小于其他情况,而且就近库位分配下的 W_q 比随机库位分配平均缩短了约 37%, L_q 平均缩短了约 16%.

为了进一步验证 7×10 库位布局的合理性,本研究对随机库位分配和就近库位分配两种方式下,对不同容量 N ,不同库位布局的堆垛机空闲概率进行了对比,如表 3 所示.

表 3 不同情况下堆垛机空闲概率
Tab. 3 Stacker' idle probability under different conditions

%

车库 布局	随机库位分配				就近库位分配			
	N=5	N=10	N=25	N=50	N=5	N=10	N=25	N=50
6×12	1.851	1.858	1.763	1.743	1.334	1.355	1.279	1.268
7×10	1.762	1.747	1.721	1.696	1.217	1.213	1.134	1.127
7×11	1.801	1.786	1.775	1.734	1.249	1.269	1.196	1.186
8×9	1.824	1.796	1.754	1.731	1.308	1.314	1.225	1.207
9×8	1.847	1.810	1.783	1.747	1.372	1.387	1.278	1.254
10×7	1.858	1.827	1.796	1.760	1.411	1.418	1.309	1.212
11×7	1.871	1.842	1.810	1.775	1.434	1.441	1.334	1.277
12×6	1.882	1.861	1.826	1.796	1.480	1.491	1.390	1.313

分析表 3 的数据可知,7 层 10 列时堆垛机运行空闲概率最低,即车库运行效率最高,再综合表 2 的仿真数据,可以得出 7 层 10 列库位布局的立体车库运行效率最高.

4 仿真结果分析

本研究主要针对单服务台排队系统下的两种排队模型进行仿真,对仿真结果进行分析可知:

1) M/M/1 排队模型

(i) 车库布局为 4 层 6 列双排对列时, W_q 最小;随着层数变大,列数变小, W_q 和 L_q 均变大.

(ii) 4×6 布局下就近库位分配方式的 W_q 比随机库位分配方式均约缩短 0.33 min, L_q 均缩短约 0.07 辆.

2) M/M/1/N/∞ 排队模型

(i) 当排队系统容量为 5, 10, 25, 50 辆时, 7 层 10 列布局的 W_q 和 L_q 最短;随着层数变大,列数变小, W_q 逐渐变大, L_q 变长.

(ii) 在两种不同库位分配方式下,就近库位分配的存储方式明显优于随机库位分配,而且在 7 层 10 列的库位布局下最优.

(iii) 每种布局下就近库位分配方式的 W_q 比随机库位分配方式的 W_q 缩短大约 0.2~0.4 min, L_q 缩短约 0.006~0.149 辆左右,堆垛机空闲概率缩短约 0.534~0.587 个百分点,立体车库整体运行效率明显提高.

发生该现象的主要原因在于堆垛机将车辆从服务台运送到库位所需时间 T 由式(9)决定的,从该式可以看出 T 的取值是 $0.09 i$ 和 $0.025 j$ 中的最大值.以 M/M/1 排队模型为例,在对车辆进行存储时:4 层

6 列库位布局下 i, j 的取值范围为 $1 \leq i \leq 4, 1 \leq j \leq 6$, 而 6 层 4 列库位布局下 i, j 的取值范围为 $1 \leq i \leq 6, 1 \leq j \leq 4$;在计算时间时层数 i 的系数为 0.09,列数 j 的系数为 0.025,则在相同库位下,堆垛机对库位的访问 4 层 6 列库位布局比 6 层 4 列库位布局所需访问的层数要小得多.同理可分析库位容量相同的不同构造.

W_q 和 L_q 有着必然的联系,堆垛机在对车辆进行存取时,堆垛机在库内运行时间越长, W_q 也就越长, L_q 也就越长.堆垛机在库内运行时间则与库位层、列布局息息相关.因此,库位布局越合理, W_q 与 L_q 也就越短.

5 结 论

针对巷道堆垛式自动化立体车库库位布局对 W_q 和 L_q 的影响,模拟分析了不同排队系统、不同库位布局下,对比了随机库位分配和就近库位分配下 W_q, L_q 和 ρ_s .

1) 通过简化立体车库垂直升降部分,将立体车库的三维立体图简化为二维平面图,建立了立体车库的简化模型;主要针对单巷道双排对列布置的立体车库进行探讨分析,仿真具有一定的针对性.

2) 在 M/M/1 排队模型下,分析了 7 种不同库位布局,得出在 4 层 6 列双排队列布局最佳,就近库位分配方式下 W_q 和 L_q 均最短,约为 1.274 min 和 0.131 辆;在 M/M/1/N/∞ 排队模型下,分析了 8 种不同库位布局,得出在 7 层 10 列双排对列布局最佳,就近库位分配方式下 W_q 和 L_q 均最短,对于不同的排队系统容量其均值约分别为 0.55 min 和 0.37 辆,采用大量数据进行仿真,使得结果具有一定的可靠性.

从仿真结果来看,针对不同排队模型下的立体车库布局,得到了比较理想的结果.通过对比分析不同排队系统、不同库位分配方式下自动化立体车库库位布局的研究,得出了不同排队系统下最优库位布局,提高了立体车库的运行效率.同时,为实际立体车库库位的布局方案提供了参考,使立体车库更大限度地服务于现代社会生活,具有理论价值和现实意义.

参考文献:

- [1] 张伟中,姜晓强,张伟社.基于排队论的立体车库设计方案参数优化[J].起重运输机械,2011(7):38-41.
- [2] 刘日,李建国,梁英.基于排队论的单车厅立体车库运行效率分析[J].物流科技,2016(10):15-19.
- [3] 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.
- [4] 徐格宁,程红玫,陈延伟.基于排队论的立体车库车辆存取调度原则优化[J].起重运输机械,2008(5):50-55.
- [5] 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.
- [6] 李建国,梁英,刘日.基于遗传算法的巷道堆垛式立体车库路径优化[J].起重运输机械,2016(12):59-63.
- [7] CARLO H J, VIS I F A. Sequencing dynamic storage systems with multiple lifts and shuttles[J]. International Journal of Production Economics, 2012,140(1):844-853.
- [8] EKREN B Y, HERAGU S S. Simulation based performance

analysis of an autonomous vehicle storage and retrieval system[J]. Simulation Modelling Practice and Theory, 2011,19(7):1640-1650.

- [9] ROODBERGEN K J, VIS I F A. A survey of literature on automated storage and retrieval systems[J]. European Journal of Operational Research,2009,194(2):343-362.
- [10] 陈月婷,何芳.基于遗传算法的自动化立体仓库的货位优化分配[J].物流科技,2008,31(1):38-41.
- [11] 马永杰,蒋兆远,杨志民.基于遗传算法的自动化仓库的动态货位分配[J].西南交通大学学报,2008,43(3):415-421.
- [12] 北京建筑大学.车库建筑设计规范:JGJ 100-2015[S].北京:中国建筑工业出版社,2015.
- [13] 邢丽娟,李建国.立体车库车位分配仿真与分析[J].铁路计算机应用,2011(9):32-34.
- [14] 周奇才,熊肖磊,任建强,等.立体停车系统特征分析及流畅性计算[J].中国工程机械学报,2005,3(1):41-45.
- [15] 周奇才,缪宁,熊肖磊.基于排队论的停车库服务模型与效能探讨[J].中国工程机械学报,2005,3(2):161-164.
- [16] EKREN B Y, HERAGU S S, KRISHNAMURTHY A, et al. Simulation based experimental design to identify factors affecting performance of AVS/RS[J]. Computers & Industrial Engineering,2010(1):175-185.
- [17] POTRČ I, LERHER T, KRAMBERGER J, et al. Simulation model of multi-shuttle automated storage and retrieval systems [J]. Journal of Materials Processing Technology,2004,157:236-244.

Optimization on layout plan of automated stereoscopic garage space for stacking

ZHANG Haifei, LI Jianguo*, WANG Xiaonong

(School of Automation & Electrical Engineering, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou 730070, China)

Abstract: To improve the service efficiency of the stereo garage, the roadway stacking automatic stereo garage, we have studied by queuing theory. Take the customer's average waiting time and the average waiting captain's as the standard, the garage layout with single service desk system is analyzed under the strategy of random and nearest allocation. Results show that: 1) When the queueing model is $M/M/1$, the 4-storey and 6-column storage location layout has achieved the best result, and the nearest allocation is better than the random allocation strategy. For the nearest allocation strategy, the average waiting time of customers and the average queue length is reduced by about 0.33 minutes and 0.07 (by car number) separately. 2) When the queueing model is $M/M/1/N/\infty$ and the queueing system capacity is 5, 10, 25, and 50 (by car number) respectively, the 7-storey and 10-column storage location layout has achieved the best result. And compare with the random allocation, the average customer waiting time, the average queue length and stacker idle probability of nearest allocation is reduced by about 0.2-0.4 minutes, 0.06-0.149 (by car number) and 0.534-0.587 percent separately.

Keywords: intelligent transportation; storage location layout; queuing theory; stereo garage; average waiting time; average queue length