

Research on the Storage-Retrieval Strategy of Automatic 3D-Park with Car Carrier Plate Cache Device

Pingxi Yao, Yun Ling

College of Mechanical Engineering, Taiyuan University of Technology, Taiyuan Shanxi
Email: yaopx0782@163.com

Received: Sep. 3rd, 2016; accepted: Sep. 20th, 2016; published: Sep. 23rd, 2016

Copyright © 2016 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

There are two forms of stacking type 3D-park: with car carrier plate and without car carrier plate. Compared with no car carrier plate way, the kind of exchange car carrier plate is no contact between stacker and vehicles and no damage to the vehicles. In order to solve the problems of low access efficiency and strong influence by people, which is existing in the stacking type automatic 3D-park, a new automatic 3D-park with car carrier plate cache device is put forward. According to analysis and comparison of the new automatic 3D-park and the original system, a mathematical model is built with average accessing time as objective function. Comparing the average service rate under a variety of storage-retrieval strategies with the actual vehicle arrival rate respectively, it shows that the automatic 3D-park with car carrier plate cache device greatly improves the access efficiency. The vehicle average service rate increased from 40.92/h to 63.99/h above.

Keywords

Automatic 3D-Park, Car Carrier Plate Cache Device, Storage-Retrieval Strategy, Average Service Rate

带载车板缓存装置的全自动立体停车库存取策略的研究

姚平喜, 凌 赞

太原理工大学机械工程学院, 山西 太原

摘要

巷道堆垛式立体停车库有带载车板和不带载车板两种方式。与不使用载车板的存取形式相比,采用载车板的停车库在存取车操作时堆垛机与车辆无接触,对车体无任何损害。针对采用载车板的巷道堆垛式全自动立体停车库存储容量大,但存取效率较低的问题,提出了一种新型的带载车板缓存装置的全自动立体停车库。对该新型立体停车库与原系统进行了对比研究,以平均存取时间为目标函数建立了数学模型,分别对各种存取策略下的平均服务率,与实际的车辆到达率进行了比较,带载车板缓存装置的立体车库大大提高了存取效率。与不带载车板缓存装置的自动立体车库相比,平均服务率从40.92辆/h提高到63.99辆/h以上。

关键词

自动化立体车库, 载车板缓冲装置, 存取策略, 平均服务率

1. 引言

自动化立体停车库是涉及机械、电子、液压、光学等领域的技术密集型的机电一体化设备[1],主要有升降横移式、巷道堆垛式、垂直升降式、垂直循环式等形式[2]。巷道堆垛式立体车库由于其存储密度大,节省空间而成为立体车库主流发展方向[3]。

巷道堆垛式立体停车库有带载车板和不带载车板两种方式。与不用载车板方式相比,采用交换载车板式存取车操作时堆垛机与车辆无接触,对车体无任何损害。这种方式下,一个车位对应一个载车板,每次存车时都要先从选定车位上取出载车板才可以停入待存车辆,每次取车后要将载车板放回原车位,这样取送空载车板就增加了每次存取车的时间。并且人停取车的时间与堆垛机运行时间是串联的,所以每次存取车时必须等人完成停取车动作后才可以进行下一步操作,耗时大。在对自动化立体停车库存取时间的分析研究时,大多数研究者忽略人停取车的时间,这是极不合理的。

为解决以上的问题,我们设计了一种带载车板缓存装置的自动立体停车库。有了载车板缓存装置,无需每次存取车都取送空载车板。同时人停取车的时间与堆垛机运行时间是并行的,可同时进行,只有在连续存取并且堆垛机运行时间小于人停取操作的时间时,才需考虑人的因素。这样就省去了很多时间,从而达到提高车库的处理能力和提高车辆存取效率的目的。

2. 车库模型及存取车工作过程

带载车板缓存装置的自动立体停车库结构如图1,有存车缓存装置和取车缓存装置各一套。存车时,车辆直接停放在存车间的载车板上,当车辆连同载车板被堆垛机运走后,载车板缓存装置便升起下一个载车板以便下一辆车停放;取车时,车主取走车后,载车板缓存装置便将载车板向下降一层,以便下一辆车取出。当存车间的载车板用完后,由堆垛机从车库取出一组(10个)载车板,或从取车间直接调载车板到存车间;当取车间的载车板达到上限(10个)时,堆垛机将一组载车板直接存入一个就近的车位,如存车间正好空余时,可直接调入存车间。

本文以库容量为200(十层,巷道两侧每层各有10个车位)的巷道堆垛式自动立体停车库为例进行分析,如图2,其缓存装置最多可存放十个载车板。由于巷道两侧的存取车过程是相同的,所以取巷道单

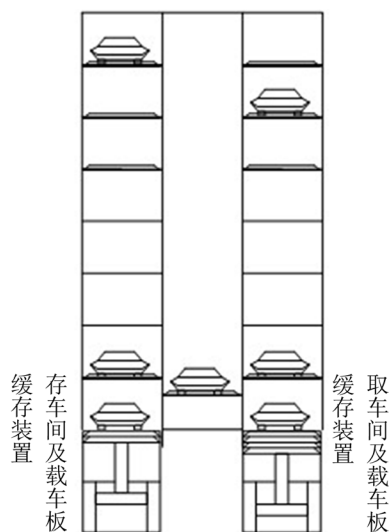


Figure 1. Physical model of automatic 3D-park with car carrier plate cache device

图 1. 带载车板缓存装置自动立体停车库实体模型

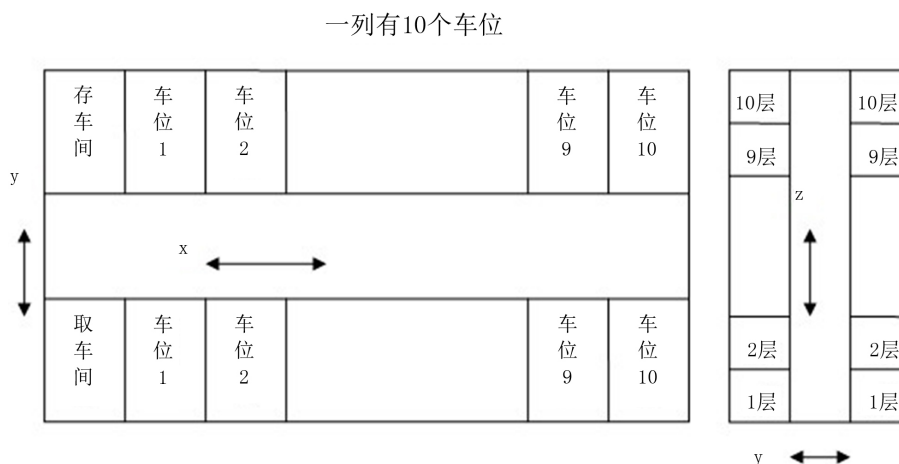


Figure 2. Schematic of ten-story stacking type automatic 3D-park

图 2. 十层巷道式立体车库示意图

侧来考虑[4]，即 100 个车位。巷道内进行一次存取车操作可分为三个基本动作，即三个方向上的运动——沿巷道方向上的水平运动 X ，用来选择所要存取的车在 X 向所处的车位；垂直升降运动 Z ，用来选择车位所处的层数；横向存取运动 Y ，实现存取操作。对于不同的车位， Y 向存取操作相同，因此可将模型简化为巷道内 (X,Z) 的二维运动[5]，如图 3 所示。图中： $i-Z$ 向的第 i 个车位， $i=1,2,\dots,10$ ； $j-X$ 向的第 j 个车位， $j=1,2,\dots,10$ ； a_i 对应于第 i 层车位的 Z 向坐标； a_j 对应于第 j 个车位的 X 向坐标； h 单个车库 Z 向的高度； l 单个车库 X 向的宽度。

3. 存取策略及对应的数学模型

3.1. 车库存取策略

对立体停车库的分析主要从入库和出库两方面着手分析。自动立体停车库常用存取车辆策略有：存

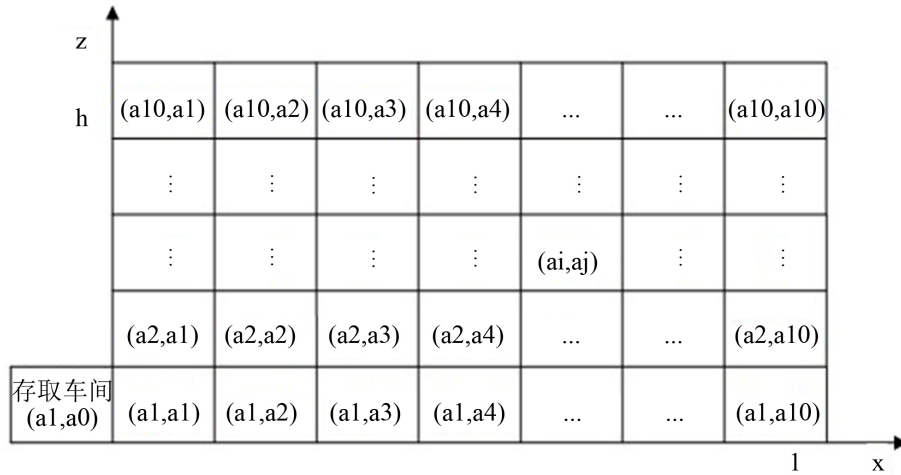


Figure 3. Schematic of arrangement of roadway unilateral parking spaces
图 3. 巷道单侧的车位排列示意图

车优先策略、取车优先策略、原地待命策略[6]-[8]。

为了分析比较不同存取策略的存取车服务时间，定义目标函数为在某一段时间内存取 k 次的平均时间 $\sum t/k = \bar{t}$ 。

设： t_x, t_z —堆垛机沿 X 向和 Z 向运动时加减速运动所需时间，设为常数； a_x, a_z —堆垛机沿 X 向和 Z 向匀加减速运动的加速度，设为常数； v_x, v_z —堆垛机沿 X 向和 Z 向匀速运动的速度，设为常数； t_i, t_j —堆垛机由车辆入口沿 X 向和 Z 向运动到指定车位 (i, j) 所需的时间； t_0 —沿 Y 向存取车动作所需时间； \bar{t}_p —人完成停车或者取车的平均时间； t_{ud} —载车板缓存装置升、降载车板的时间； k —存取车次数； (a_i, a_j) —车位 (i, j) 处坐标； (a_{i_1}, a_{j_1}) —车位 (a_i, a_j) 到 (a_{i_2}, a_{j_2}) 的距离差，初始位置为 $(1, 0)$ 。则，堆垛机从 (a_{i_1}, a_{j_1}) 处运动到 (a_{i_2}, a_{j_2}) 处所需时间为：

$$\begin{cases} t_{i_1-i_2} = 2 \times t_z + (a_{i_1-i_2} - a_z \times t_z^2) / v_z \\ t_{j_1-j_2} = 2 \times t_x + (a_{j_1-j_2} - a_x \times t_x^2) / v_x \end{cases} \quad (1)$$

由于 X 向和 Z 向的运动是同时进行的，所以取 $t_{i_1-i_2}$ 与 $t_{j_1-j_2}$ 中较大的一个作为 $t_{(i_1, j_1)-(i_2, j_2)}$ 。

3.2. 各种存取策略的数学模型

3.2.1. 不带载车板缓存装置的存车优先策略

堆垛机完成存取作业后回到车库出入口处待命，其上有载车板，供下辆车到来时直接存入，堆垛机的动作和人停取车的动作串联。按该策略向车位 (i, j) 存取一次所需时间 $t'_{(i, j)}$ 为：

$$t'_{(i, j)} = t_{(1, 0)-(i, j_1)} + t_{(i, j_1)-(i_2, j_2)} + t_{(i_2, j_2)-(1, 0)} + 2 \times t_0 + \bar{t}_p \quad (2)$$

其中存车时 (i_1, j_1) 为要存入车辆的位置， (i_2, j_2) 为待下一辆车存入的位置，即所取空载车板的位置；取车时 (i_1, j_1) 为上次动作后的待存入车辆的位置，即要送回的空载车板的位置， (i_2, j_2) 为要取车辆所在的位置。

存取 k 次的总时间 $\sum t$ 为：

$$\sum t = \sum_{i=1}^{10} \sum_{j=1}^{10} k_{(i, j)} t'_{(i, j)} \quad (3)$$

平均存取时间为:

$$\bar{t} = \sum t/k \quad (4)$$

以下每种模型存取 k 次的总时间 $\sum t$ 和平均存取时间的计算与此相同。

3.2.2. 不带载车板缓存装置的取车优先策略

堆垛机完成存取作业后停于原处待命, 其上没有载车板, 以方便直接进行取车操作, 堆垛机的动作和人停取车的动作串联。按该策略向车位 (i,j) 内存取一次所需时间 $t'_{(i,j)}$ 为:

$$t'_{(i,j)} = t_{(i_1,j_1)-(i_2,j_2)} + 2 \times t_{(i_2,j_2)} + 2 \times t_0 + \bar{t}_p \quad (5)$$

其中 (i_1, j_1) 为上次存取操作的位置, (i_2, j_2) 为本次存取操作的位置。

3.2.3. 不带载车板缓存装置的原地待命策略

堆垛机完成存取作业后停在原地等待接受下次存取任务, 若上次作业为存车则堆垛机上无载车板, 若上次作业为取车则堆垛机上有载车板, 堆垛机的动作和人停取车的动作串联。假设前次作业车位为 (i_0, j_0) , 当次作业车位为 (i_1, j_1) , 按该策略向车位 (i, j) 内存取一次所需时间 $t'_{(i,j)}$ 可分为四种情况:

a) 前次操作为存车, 当次为存车, 所需存车时间 $t'_{(i,j)a}$ 为:

$$t'_{(i,j)a} = t_{(i_0,j_0)-(i_1,j_1)} + 2 \times t_{(i_1,j_1)} + 2 \times t_0 + \bar{t}_p \quad (6)$$

b) 前次操作为存车, 当次为取车, 所需取车时间 $t'_{(i,j)b}$ 为:

$$t'_{(i,j)b} = t_{(i_0,j_0)-(i_1,j_1)} + t_{(i_1,j_1)} + t_0 + \bar{t}_p \quad (7)$$

c) 前次操作为取车, 当次为存车, 所需存车时间 $t'_{(i,j)c}$ 为:

$$t'_{(i,j)c} = t_{(i_1,j_1)} + t_0 + \bar{t}_p \quad (8)$$

d) 前次操作为取车, 当次为取车, 所需取车时间 $t'_{(i,j)d}$ 为:

$$t'_{(i,j)d} = t_{(i_0,j_0)} + t_{(i_0,j_0)-(i_1,j_1)} + t_{(i_1,j_1)} + 2 \times t_0 + \bar{t}_p \quad (9)$$

3.2.4. 带载车板缓存装置的存车优先策略

带载车板装置的立体停车库的存车间和取车间分开设立, 接受命令后检测相应载车板缓存装置内有无板, 根据需求判断调取载车板否。堆垛机完成存取作业后回到车库出入口处待命, 下辆车到来时可直接存入, 堆垛机的动作和人停取车的动作可并行。

调度载车板分两种情况:

a) 当存车间缓存装置内的载车板用完但是取车间缓存装置内有载车板或取车间缓存装置内载车板放满但是存车间缓存装置内的载车板没放满, 存车间和取车间可以互相调用载车板时, 调度载车板的时间为:

$$t_k = t_{ud} + 2 \times t_0 \quad (10)$$

其中 t_{ud} 为升降载车板所需的时间

b) 当存车间缓存装置内的载车板用完并且取车间缓存装置内也没有载车板或取车间缓存装置内载车板放满并且存车间缓存装置内的载车板也放满时, 存车间和取车间不可以互相调用载车板, 要从车库内调度, 调度载车板的时间为:

$$t_k = t_{(i_1,j_1)} + \sum_{a=2}^{10} t_{(i_{a-1},j_{a-1})-(i_a,j_a)} + t_{(i_0,j_{10})} + t_{ud} + 11 \times t_0 \quad (11)$$

按该策略向车位 (i, j) 内存取一次所需时间 $t'_{(i,j)}$ 为(不考虑调板时间):

$$t'_{(i,j)} = 2 \times t_{(i,j)} + 2 \times t_0 \quad (12)$$

当 $t'_{(i,j)} < \bar{t}_p$ 时, 取 $t'_{(i,j)} = \bar{t}_p$ 。

3.2.5. 带载车板缓存装置的原地待命策略

接受命令后先检测相应载车板缓存装置内有无载车板, 根据需求判断调取载车板否。堆垛机完成存取作业后停在原地等待接受下次存取任务。该策略与不带载车板缓存装置车库原地待命数学模型相同也分为四种情况, 向车位 (i, j) 存取一次所需时间 $t'_{(i,j)}$ 分别为:

$$t'_{(i,j)a} = t_{(i_0, j_0)} + t_{(i_1, j_1)} + 2 \times t_0 \quad (13)$$

$$t'_{(i,j)b} = t_{(i_0, j_0) - (i_1, j_1)} + t_{(i_1, j_1)} + 2 \times t_0 \quad (14)$$

$$t'_{(i,j)c} = t_{(i_1, j_1)} + 2 \times t_0 \quad (15)$$

$$t'_{(i,j)d} = 2 \times t_{(i_1, j_1)} + 2 \times t_0 \quad (16)$$

3.2.6. 带载车板缓存装置的取车优先策略

车库有载车板缓存装置, 无需每次都调板, 所以此时取车优先模型与原地待命模型相同。

4. 仿真及其结果比较

4.1. 不同存取策略下平均存取时间计算[9]

自动化立体车库是一个典型的随机离散排队服务系统, 是等待制、先来先服务系统。单位时间内车辆的平均到达强度用到达率 λ 表示, 按照排队论有关理论分析得知停车库车辆到达强度符合泊松分布 [10], 车位分配采用就近分配原则。本文采用 Visual Basic 语言, 根据各种策略下的调度原则, 编写不同存取策略下平均存取时间的计算程序采用同样参数对采用不同存取策略时运行情况进行数值分析。根据工程中的实践经验给出该自动化立体车库的基本参数, 见表 1。分别计算在不同存取分配采取不同的存取策略和相同的存取序列的平均存取时间, 同时比较在不考虑人的停取车时间和考虑人的停取车时间两种情况下存取平均时间的变化。

在实际生活中, 不同地方不同时间的车辆到达率是不同的, 比如说在居民小区和工作单位上下班时间车辆基本上是集中的并且单一的存取, 所以高峰时期的到达率 λ 就比平峰时期的到达率 λ 高的多; 而在医院、商场等一些地方在白天则是车辆到达率较高且比较平均, 存取车大多情况下交替进行 [11]。我们所考虑的是建在某处居民小区的自动立体停车库。以下表 2 为在某处居民小区该车库在某工作日 AM 7:00 到 AM 8:00 上班高峰期的存取车时刻。由表 2 中数据计算得到车辆到达的平均速率 $\lambda_1 = 52$ 辆/h, 而从 7:15~7:45 平均速率更到达了 $\lambda_2 = 70$ 辆/h。根据统计, 该车库在平峰时期车辆到达的平均速率 $\lambda_3 = 14.75$ 辆/h。

4.2. 不同存取策略下平均存取时间结果分析

根据平均时间计算各种策略下车库的平均服务率 μ , $\mu = 3600/\bar{T}$, 见表 3。

表 3 中 μ_1 为在不考虑人停取车时间的情况下求得的车库平均服务率, μ_2 为在考虑人停取车时间的情况下求得的车库平均服务率。在不考虑人的停取车时间时不带载车板缓存装置的平均服务率 μ_1 还能勉强满足高峰时期的车辆到达率 λ_2 ; 但是当考虑人停取车时间时, 其平均服务率 μ_2 就只能满足平峰期的车辆到达率 λ_1 , 不能满足高峰时的车辆到达率 λ_2 。这说明当结合实际情况考虑人停取时间时, 无论是在那种

Table 1. Basic parameters**表 1.** 基本参数设置

h/m	l/m	a_x/ms^{-2}	a_z/ms^{-2}	v_x/ms^{-1}	v_z/ms^{-1}
2	5	0.5	0.5	0.7	0.7
t_x/s	t_z/s	t_0/s	\bar{t}_p/s	t_{ud}/s	
1.4	1.4	8	50	8	

Table 2. Access and Retrieval Schedules**表 2.** 车库存取时刻明细

取车时刻明细			
时刻	时间间隔	时刻	时间间隔
7:00:01	—	7:30:28	27
7:01:50	109	7:30:57	29
7:04:10	140	7:31:29	32
7:06:30	140	7:32:04	35
7:08:40	130	7:32:42	38
7:10:40	120	7:33:19	37
7:12:41	121	7:33:59	40
7:14:41	120	7:34:39	40
7:16:21	100	7:35:27	48
7:18:01	100	7:36:22	55
7:19:31	90	7:37:22	60
7:20:52	81	7:38:32	70
7:22:13	81	7:39:52	80
7:23:22	69	7:41:14	82
7:24:22	60	7:42:49	95
7:25:12	50	7:44:39	110
7:25:57	45	7:46:29	110
7:26:37	40	7:48:31	122
7:27:16	39	7:50:34	123
7:27:53	37	7:52:34	120
7:28:27	34	7:54:41	127
7:29:00	33	7:56:51	130
7:29:31	31	7:59:01	130
7:30:01	30	8:00:00	—
存车时刻表明细			
时刻	时间间隔	时刻	时间间隔
7:05:20	—	7:42:37	745
7:17:11	711	7:55:48	90
7:30:12	781	8:00:00	—

Table 3. Average access time in centralized access under different storage-retrieval strategy
表 3. 集中存取情况下不同存取策略的平均存取时间

		不带缓存装置的立体车库			带缓存装置的立体车库	
		存车优先	取车优先	原地待命	存车优先	取车优先原地待命
连续取	平均存取时间 \bar{t}_1 (不考虑人的因素)	58.63	55.355	47.889	54.886	44.526
	平均服务率 $\mu_1 = 3600/\bar{t}_1$	61.40	65.03	75.17	65.59	80.85
	平均存取时间 \bar{t}_2 (考虑人的因素)	108.7	105.36	97.889	54.886	51.251
	平均服务率 $\mu_2 = 3600/\bar{t}_2$	33.14	34.17	36.78	65.59	70.24
连续存	平均存取时间 \bar{t}_1 (不考虑人的因素)	55.64	58.843	48.403	56.257	45.231
	平均服务率 $\mu_1 = 3600/\bar{t}_1$	64.71	61.18	74.38	63.99	79.59
	平均存取时间 \bar{t}_2 (考虑人的因素)	105.6	108.84	98.403	56.257	51.012
	平均服务率 $\mu_2 = 3600/\bar{t}_2$	34.08	33.08	36.58	63.99	70.57
有存存取	平均存取时间 \bar{t}_1 (不考虑人的因素)	57.95	58.104	37.981	42.547	38.809
	平均服务率 $\mu_1 = 3600/\bar{t}_1$	62.12	61.96	94.78	84.61	92.76
	平均存取时间 \bar{t}_2 (考虑人的因素)	107.952	108.104	87.981	51.012	49.332
	平均服务率 $\mu_2 = 3600/\bar{t}_2$	33.35	33.30	40.92	70.57	72.97

存取策略下, 不带载车板缓存装置的停车库根本就无法满足高峰时段的车流量要求, 人们在存取车排队时的等待时间已经超出了人们所能等待的极限, 例如在早高峰的时候很可能有人到了上班时间还没有取出车。带载车板缓存装置的立体车库则很好的回避了这一问题, 由表中可以看出这种情况下的 μ_1 与 μ_2 几乎相同, 得其平均服务率受人停取车影响极小, 无论在什么情况任何存取策略下, 其平均服务率 μ_2 均能满足高峰时的车辆到达率 λ_2 , 足以满足高峰时期的车流量。

5. 结论

自动化立体车库能有效地节约土地资源和充分利用空间, 是解决城市停车难问题的很好的途径。不带载车板缓存装置的自动立体车库平均服务率最多只能达到 40.92 辆/h, 根本无法满足高峰时期的车辆到达率。与不带载车板缓存装置的自动立体车库相比, 带载车板缓存装置的自动立体车库无需每次存取车都取送空载车板, 同时人停取车的时间与堆垛机运行时间是并行的, 减少了人存取时间对平均服务率的影响, 省去了很多时间, 无论在哪种存取策略下, 其平均服务率都可达到至少 63.99 辆/h 以上, 足以满足高峰时期的车辆到达率, 大大减少了人等待存取车的时间, 提高了车库的处理能力和车辆存取效率。

基金项目

山西省自然科学基金项目(No. 2011011025-3)。

参考文献 (References)

- [1] 徐格宁, 程红玫. 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.
- [2] 黄树波. 城市建设应发展立体停车库[J]. 辽宁建材, 2004(3): 68.
- [3] 李建国, 蒋兆远. 立体车库随机车位分配与就近车位分配仿真及分析[J]. 物流科技, 2010(10): 13-15.
- [4] 杨晓芬, 肖华. 自动化立体车库存取策略的比较分析[J]. 电气技术与自动化, 2004, 33(5): 47-53.
- [5] 周雪松, 田密. 智能化立体车库存取车优化控制策略的研究[J]. 制造业自动化, 2008(10): 29-34.
- [6] Meng, J.J., Yang, Z.Q., Yang, C.H. and Li, P.J. (2006) Simulation System of Automate Three-Dimensional Garage

Based on Configuration Software. *Proceedings of the 6th World Congress on Intelligent Control and Automation*, Dalian, 21-23 June 2006, 278-281.

- [7] 朱德桥, 李建国, 郭佑民, 张志. 基于排队论的立体车库堆垛机效率分析[J]. 兰州交通大学学报, 2009, 6(28): 62-64.
- [8] 程红玫. 垂直升降式立体车库作业调度与仿真研究[D]: [硕士学位论文]. 太原科技大学, 2008.
- [9] Jin, S.-M. and Zhang, R.-S. (2009) Research on Software Design of A New Garage Control System. *International Conference on Signal Processing Systems*, Washington, May 2009, 379-382.
- [10] 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, 4(3): 161-164.
- [11] 周奇才, 熊肖磊, 任建强, 楼卫民. 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, 1(3): 41-45.

期刊投稿者将享受如下服务:

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: iae@hanspub.org