

物流需求变化下自动化立库储位分配策略分析

李斌¹, 黄锥良²

(1. 福建船政交通职业学院, 福建 福州 350007; 2. 福州大学 经济与管理学院, 福建 福州 350116)

摘要: 针对企业仓储运作过程中自动化立体仓库储位分配策略的优化问题, 建立自动化立体仓库运作 Flexsim 仿真模型, 通过设计仓储运作中货品周转率、安全库存水平、最大货位分配结构 3 个物流需求变量的不同实验参数组合方案, 模拟仓储物流需求的变化, 并定义 3 种储位策略进行仿真运行比较分析, 得出物流需求变化下 3 种策略的适用规律, 为企业决策提供依据。

关键词: 自动化立体仓库; 储位分配策略; Flexsim 软件; 物流仿真

中图分类号: F253.4

文献标志码: A

文章编号: 1672-4348(2014)06-0581-05

A simulation study on AS/RS storage allocation strategy under logistics demand changes

Li Bin¹, Huang Zhuiliang²

(1. Fujian Chuanzheng Communication College, Fuzhou 350007, China;

2. College of Economics and Management, Fuzhou University, Fuzhou 350116, China)

Abstract: A Flexsim operation simulation model for enterprise AS/RS storage allocation was established based on the strategy optimization of AS/RS storage allocation. The model can simulate warehouse logistics demand changes by different experimental combinations of the variables of inventory turnover, safe inventory level and the maximum inventory amounts assignment structure. Three AS/RS storage allocation strategies were defined and compared via simulation with the model. The application laws of the three strategies under logistic demand changes were obtained to provide relevant strategy for enterprises warehouse decision-making.

Keywords: AS/RS; storage allocation strategy; Flexsim software; logistic simulation

自动化立体仓库(automatic storage & retrieval system, AS/RS)是现代物流系统中迅速发展的重要组成部分,已成为企业物流和生产管理不可缺少的仓储技术,越来越受到企业的重视。目前如何提高自动化立体仓库的作业效率成为当今研究立体仓库的热点问题之一,而其库位的储存分配策略是影响自动化立体仓库的出入库运行效率的关键因素。最早有关储位分配策略的研究是 Heskett^[1-2]提出的单位订单体积索引原则 COI (cube-per-order index)。Malmberg^[3-4]研究了应用定位存储策略的仓储系统的最优化储位分配方

法,并提出在货位分配原则的基础上,折衷分析空间需求和取货效率,通过比较分析不同原则下所发生的平均取货费用来判断货位分配原则优劣的方法。Thonemann 和 Brandeau^[5]提出了在随机环境中应用周转率和分类进行库位分配。Hsieh 和 Tsai^[6]提出基于 BOM 的分类存储方法。柳赛男等^[7]在一般库区分配策略的基础上,提出基于货品—货位耦合库区分配策略。

自动化立体仓库作业具有复杂性、不确定性、多目标和多约束等特点,因此,现有研究多是基于自动化立体仓库的某一应用背景或是特定作业阶

段,建立对应的数学模型,求解得到理论上的最优或者次优解的储位分配策略,然而企业仓储作业的物流需求总是在动态变化的,这些研究成果往往难以在工程实际操作中得到充分应用。企业在实际动态仓储作业过程中更加关注如何有效选择利用不同策略,最大程度提高自动化立体仓库的作业能力。因此,本文基于 Flexsim 建立自动化立体仓库运作仿真模型,引入货品的周转率、最大货位量分配和安全库存水平 3 个因素模拟仓储物流需求,通过仿真比较分析,得出物流需求变化下多种储位分配策略优劣,为企业实际应用提供决策依据。

1 基于 Flexsim 的自动化立体仓库仿真模型

1.1 自动化立体仓库运作基本模型

如图 1 所示,考虑到在实际的自动化立体仓库运作中周转的货品种类和频率经常差异很大,为了简化本模型,根据帕累托分析法,依照“关键的少数,次要的多数”原则进行分配,通常可以进行 ABC 分类,本模型中考虑对货品周转率进行 ABC 分类,将货品种类设置为 A/B/C 3 类。3 种货品的到达过程可以依据各自的货品周转率换算出相应到达时间间隔的均值,本模型中假设其随机到达规律都为正态分布,3 种货品到达后先在暂存区按 FIFO 规则进行排队,入库时堆垛机依据设定的储位分配策略将当前货品搬运到立体仓库货架的相应货位上,出库时货品出库指令由货架上设定的最小停留时间触发,这里的最小停留时间与安全库存量设置相关。本模型中堆垛机的出入库口采用同端设置,另外在模型运行时,当同时有入库和出库指令的时候,堆垛机会采用复合作业的方式运作。

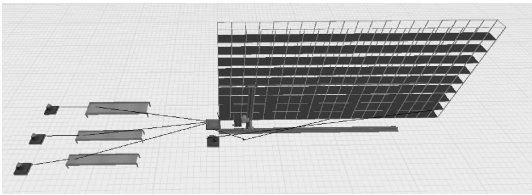


图 1 自动化立体仓库模型

Fig. 1 The AS/RS operation Flexsim model

1.2 基本实体设置

1.2.1 发生器参数设置

每个发生器对应产生不同货品的随机到达,在到达方式选项卡上选用到达时间间隔方式,设置随机到达规律为正态分布函数。为了在运行界面能够辨别 3 种货品,因此需要在离开触发中设置不同的颜色进行区别,分别设置为 colorgreen、colored、coloryellow。

1.2.2 传送带参数设置

每个发生器对应一个传送带,传送带的设置主要起缓冲作用,并将货品传送过程进行可视化,因此将传送带的长度设置为 8。

1.2.3 暂存区参数设置

暂存区相当于出入库台的暂时存放区域,主要起缓冲作用。设暂存区最大容量为 10 000,在临时实体流选项卡中设置发送至端口为第一个可用,并使用运输工具。

1.2.4 堆垛机参数设置

设置堆垛机升降速度为 0.75m/s,水平运行速度为 2.67m/s,加速度为 0.5m/s²。

1.2.5 货架货位分区相关参数设置

货架最大容量设置为 180,单元货位的容量为 1,同时对货架货位进行编号,如图 2 所示,编号的依据为堆垛机至各个货位的运行时间长短,运行时间越短,编号值越小。

161+	162+	163+	164+	165+	166+	167+	168+	169+	170+	171+	172+	173+	174+	175+	17	179+	180+
134+	135+	136+	137+	138+	139+	140+	141+	142+	143+	144+	145+	146+	147+	148+	14	152+	160+
97+	98+	99+	100+	101+	102+	103+	104+	105+	106+	107+	108+	109+	110+	111+	112+	131+	132+
61+	62+	63+	64+	65+	66+	67+	68+	69+	70+	71+	72+	73+	74+	75+	76+	128+	129+
37+	38+	39+	40+	41+	42+	43+	44+	45+	46+	47+	48+	49+	50+	51+	52+	125+	126+
16+	17+	18+	19+	20+	21+	22+	23+	24+	25+	26+	27+	28+	29+	30+	31+	122+	123+
5+	6+	7+	8+	9+	10+	11+	12+	13+	14+	15+	16+	17+	18+	19+	20+	119+	120+
3+	4+	5+	6+	7+	8+	9+	10+	11+	12+	13+	14+	15+	16+	17+	18+	116+	117+
1+	2+	3+	4+	5+	6+	7+	8+	9+	10+	11+	12+	13+	14+	15+	16+	113+	114+

图 2 货架货位编号和分区示意图

Fig. 2 Goods-location number and shelves zone

1.3 货品出入库策略

1.3.1 货品入库策略

货品的入库是按照储位分配策略进行的,如表 1 所示,本模型定义了 3 种不同的存储策略进行分析比较。为了在模型中实现,需要对在货架参数配置选项中放置到行和放置到列这两个参数进行相关设置和相应代码编写。在采用分区存储策略时,如图 2 所示,在货架货位编号的基础上,按照 A、B、C 3 种货品的出入库频率和所需的最大货位数量进行划分。

1.3.2 货品出库策略

在本模型中,以不同货品在货架的不同储存时间,即最小停留时间作为货品出库的触发。以

A 货品为例,其计算过程如下:

最小停留时间 = A 货品最大货位量 × A 货品平均到达时间 × 安全库存比例

表 1 储位分配策略

Tab.1 Storage allocation strategy

储位分配策略 Spi	策略分类说明
Sp1 优先列(行)随机存取策略	优先列(行)对货位进行分配
Sp2 排序后的随机存取策略	对货位按照堆垛机运行时间长短进行排序,并按序号从小到大进行顺序存储作业
Sp3 分区存储策略	根据货品的最大货位量对货架上的货位进行分区存储

2 实验方案设计

本文在相同的实验场景里,通过仿真分析 A、B、C 货位分配结构变化、安全库存量变化、货品周转率比例变化对自动化立体仓库储位策略优劣性的影响,旨在通过分析,确认影响存储策略优劣的因素,并判断不同存储策略的适用范围。

2.1 仿真分析研究路线

如图 3 所示,为反映仓储物流需求的变化,考虑设计了 P1、P2 两组货品周转率值、两种安全库存水平和 S1 – S4 四种最大货品分配结构,根据货品周转率、安全库存、最大货位分配结构 3 个仓储运作中物流需求因素的不同情况组合,分别在 3 种存储策略下进行仿真,得到各自货品出入库和堆垛机作业的仿真数据输出,进行研究分析比较。

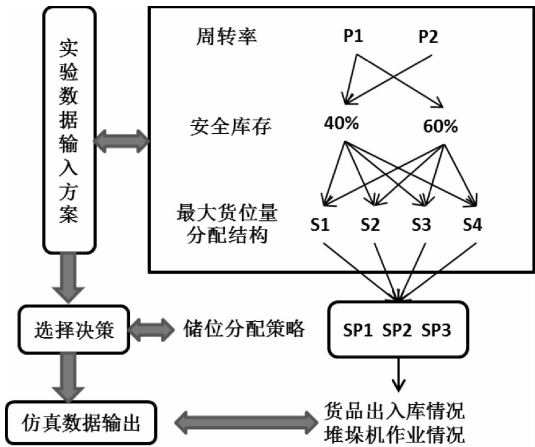


图 3 仿真分析研究路线

Fig.3 The research route to simulation analysis

2.2 实验输入参数

货品周转率参数设置:数据的选用遵循两个基本原则,即 A、B、C 3 种货品的周转率大小满足 $A > B > C$ 和 $A + B + C = 1$ 的数学关系。如表 2 所示,设置 P1、P2 两组 A、B、C 3 种货品周转率比例结构,并以 100 s 为基准时间,将其换算为货品的平均达到时间。

表 2 ABC 货品周转率设置和平均到达时间

Tab.2 ABC goods inventory turnover setting and the average arrival time of goods

货品种类	P1	平均到达时间/	P2	平均到达时间/
		s		s
A	0.7	100	0.5	100
B	0.2	350	0.25	200
C	0.1	700	0.25	200

ABC 最大货位量参数设置:本研究模型中总货位量为 180,设置 4 种货位分配结构 S1 – S4,如表 3 所示,从 S1 到 S4 货品 A 最大货位量逐步变大,货品 B 和 C 则逐步变小。

表 3 ABC 最大货位量分配结构

Tab.3 Maximum ABC goods inventory amounts assignment structure

货品种类	S1	S2	S3	S4
A	30	90	120	150
B	60	60	40	20
C	90	30	20	10

安全库存设置:A、B、C 3 种货品安全库存水平设置为 40% 和 60%,在这两种库存情况下货品在货架上的最小停留时间计算结果如表 4 所示。

表 4 40%、60%安全库存下货架最小停留时间

Tab.4 The minimum residence time under 40%/60% safety inventory level

安全库存设置	组合情况	货品种类		
		A	B	C
40% 安全库存	P1 – S1	1 200	8 400	25 200
	P1 – S2	3 600	8 400	8 400
	P1 – S3	4 800	5 600	5 600
	P1 – S4	6 000	2 800	2 800
	P2 – S1	1 200	4 800	7 200
	P2 – S2	3 600	4 800	2 400
	P2 – S3	4 800	3 200	1 600
	P2 – S4	6 000	1 600	800

续表

安全库存设置	组合情况	货品种类		
		A	B	C
60% 安全库存	P1 - S1	1 800	12 600	37 800
	P1 - S2	5 400	12 600	12 600
	P1 - S3	7 200	8 400	8 400
	P1 - S4	9 000	4 200	4 200

3 仿真输出数据分析

根据本文提出的实验方案,设置仿真运行时间 700 000,运行模型后,将不同物流需求情况下自动化立体仓库货品出入库和堆垛机作业仿真输出数据进行汇总,得到表 5 和表 6 的仿真结果,比较物流需求变动下 3 种存储策略的出入库效率。

表 5 仿真输出结果统计汇总情况(一)
Tab.5 The statistics (part 1) of simulation output

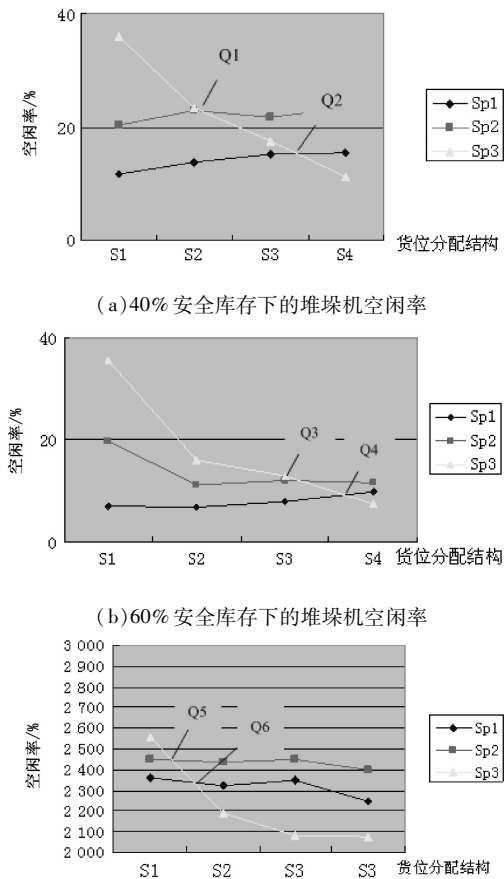
项目	货品出入库情况			堆垛机作业情况			
	入库量	出库量	平均 库存量	平均空闲率/%			
P1	S1 - S4	S1 - S4	S1 - S4	S1	S2	S3	S4
40% 安全库存	Sp1	9 997	9 925	71.7	11.8	13.8	15.5
	Sp2	9 997	9 925	71.7	20.3	23	21.7
	Sp3	9 997	9 925	71.7	36.1	23.3	17.5
60% 安全库存	Sp1	9 997	9 889	106.7	7.1	6.9	8
	Sp2	9 997	9 889	106.7	10.6	11.2	12
	Sp3	9 997	9 889	106.7	35.5	16.1	12.9

表 6 仿真输出结果统计汇总情况(二)
Tab.6 The statistics (part 2) of simulation output

项目	堆垛机作业情况			货品出入库情况			
	平均 空闲 率/%	平均 空行 率/%	平均 载行 率/%	出入库货品总量			
P2	S1 - S4	S1 - S4	S1 - S4D	S1	S2	S3	S4
40% 安全库存	Sp1	1.8	43.8	54.4	2 362	2 325	2 350
	Sp2	2.3	44.3	53.4	2 447	2 438	2 451
	Sp3	2.9	44.8	52.3	2 556	2 189	2 081

表 5 为周转率 P1、安全库存 40% 和 60% 的情况下,S1—S4 四种货位分配结构在 Sp1—Sp3 三种储位分配策略下进行仿真的输出数据统计。从表 5 货品出入库情况统计结果可知,不同储位分配策略下货品的进出量均相同,堆垛机都有充分的时间对所有货品进行处理作业,但是堆垛机的作业情况统计结果有明显的差别,其空闲率越

高说明自动化立体仓库出入库的运作效率越高。不同组合情况下的堆垛机空闲率,如图 4(a)和图 4(b)所示。从图 4 中可知,随着货位分配结构情况从 S1 变化至 S4,Sp1 和 Sp2 策略下空闲率曲线变化基本平稳且 Sp2 策略下空闲率始终高于 Sp1,说明其出入库的效率受最大货位分配结构影响较小且 Sp2 策略下出入库运行效率始终优于 Sp1 策略;而 Sp3 策略下空闲率曲线明显下降,并与 Sp1 和 Sp2 策略下空闲率曲线存在临界交点 Qi,说明其的出入库效率在逐步下降,当货位分配结构的值小于临界 Q1 时,Sp3 的运行效果始终优于 Sp2 和 Sp1,当货位分配结构的值介于临界 Q1 和 Q2 间时,Sp3 的运行效果介于 Sp2 和 Sp1 之间,当货位分配结构值大于临界 Q2 时,Sp3 的运行效果最差,低于 Sp1。



(c)40% 安全库存下的出入库货品总量
图 4 堆垛机空闲率汇总图
Fig.4 Summarized stacker idleness rate

对比图 4(a) 和图 4(b) 可知,当安全库存增加时,3 种储位分配策略在 4 种货位分配结构下的堆垛机空闲率均有所下降,使得自动化立体仓

库出入库的运作效率降低;Sp3 与 Sp1、Sp2 的临界交点 Q_i 则在 S1—S4 区间明显右移,意味着 Sp3 在更多情况下成为较优策略。

表 6 为周转率 P2、安全库存 40% 的情况下, S1—S4 四种货位分配结构在 Sp1—Sp3 3 种储位分配策略下进行仿真的输出数据统计。从表 6 货品出入库情况统计结果可知,不同储位分配策略下堆垛机的作业情况基本一致,其细微的统计差异主要受到系统仿真开始时预热期数据的干扰,进入稳定期后堆垛机都是处于忙碌状态,无法对所有的货品进行处理作业,入库暂存区一直会存在货品堆积的情况。因此,衡量 Sp1—Sp3 策略的优劣性能指标为自动化立体仓库出入库货品的总量,该指标的值越大,说明自动化立体仓库作业效率越高。

不同组合情况下的出入库货品总量,如图 4(c)所示。对比图 4(c)和图 4(a)可知,当货位分配结构情况从 S1 变化至 S4,Sp1—Sp3 3 种储位分配策略下出入库货品总量的曲线变化规律基本相同,但 Sp3 与 Sp1、Sp2 的临界交点 Q_i 则在 S1—

S4 区间明显左移,这说明 Sp3 策略具有优势的情况范围变小。

4 结论

基于 Flexsim 建立了自动化立体仓库的运作模型,在考虑安全库存水平、最大货位量分配结构、货品周转率的基础上,实现了对货品储位分配策略的比较分析。本仿真模型的建立一方面可以为同类问题提供参考决策模型,另一方面仿真结果的输出分析表明:

1) 不论如何改变最大货位量分配结构、周转率比例和安全库存,排序后的随机存储策略始终优于优先列(行)的随机存储策略,而分区存储策略的优劣性则根据最大货位量分配结构的变化而变化。

2) 分区存储策略与排序后的随机策略和优先列(行)的随机存储策略间存在货位分配结构临界值 Q ,使得分区存储策略下堆垛机运行效率与这两种策略的运行效率相当,且临界值 Q 同货品的周转率高低和安全库存水平都相关。

参考文献:

[1] Heskett J L. Cube-per-order index—A key to warehouse stock location[J]. Transport and Distribution Management, 1963, 3(1):27—31.

[2] Heskett J L. Putting the cube-per-order index to work in warehouse layout[J]. Transport and Distribution Management, 1964, 4(8):23—30.

[3] Malmberg C J, Krishnakumar B. Optimal storage assignment policies for multiaddress warehouse systems[J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 1989, 19(1):197—204.

[4] Malmberg C J. An integrated storage system evaluation model[J]. Applied Mathematical Modeling[J]. 1999, 11(2):60—66.

[5] Thonemann U W, Brandeau M L. Optimal storage assignment policies for automated storage and retrieval systems with stochastic demands[J]. Management Science, 1998, 44(1):142—148.

[6] Hsieh S, Tsai K C. A BOM oriented class-based storage assignment in an automated storage/retrieval system[J]. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2001, 48(7):683—691.

[7] 柳赛男,柯映林,李江雄,等. 基于调度策略的自动化仓库系统优化问题研究[J]. 物流工程与管理, 2006, 18(2):44—46.

(责任编辑:肖锡湘)