

# 病毒协同进化遗传算法在自动化立体仓库货位 优化中应用的研究

王厅长<sup>1</sup> 邱建东<sup>1</sup> 商庆健<sup>2</sup> 刘亚丽<sup>3</sup>

(兰州交通大学机电技术研究所 兰州 730070)<sup>1</sup> (兰州交通大学机电工程学院 兰州 730070)<sup>2</sup>  
(北京航空航天大学经济管理学院 北京 100083)<sup>3</sup>

**摘要** 自动化立体仓库的存取效率直接影响着现代物流的整体效益,而存取效率高低的的关键在于货位优化。针对自动化立体仓库实际应用中的货位规划难题,提出了利用病毒协同进化遗传算法来研究自动化立体仓库货位优化问题的方法,并将该算法和传统的遗传算法作比较。以提高货架稳定性和货物出入库效率为优化目标,建立了货位优化的多目标优化问题数学模型。最后利用 MATLAB 工具进行编程与仿真,实验结果表明,病毒协同进化遗传算法(VEGA)相比传统的遗传算法具有更好的收敛性和搜索效率。由此可见,利用病毒协同进化遗传算法对自动化立体仓库进行货位优化,可以很大程度上改善货物的出入库效率和货架的稳定性,进而提高货架的使用率。

**关键词** 自动化立体仓库,货位优化,遗传算法(GA),VEGA

**中图分类号** TP39 **文献标识码** A

## Research on Application of Automated Storage and Retrieval System Slotting Optimization Based on Virus Coevolutionary Genetic Algorithm

WANG Ting-zhang<sup>1</sup> QIU Jian-dong<sup>1</sup> SHANG Qing-jian<sup>2</sup> LIU Ya-li<sup>3</sup>

(Institute of Electrical and Mechanical Technology, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou 730070, China)<sup>1</sup>

(Department of Mechatronic Engineering, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou 730070, China)<sup>2</sup>

(School of Economics and Management, Beihang University, Beijing 100083, China)<sup>3</sup>

**Abstract** The accessing efficiency of automated storage and retrieval system directly affects the overall efficiency of modern logistics, and the key of accessing efficiency high and low is slotting optimization. For the goods planning problem of the automated storage and retrieval system in practical application, virus coevolutionary genetic algorithm was proposed in this paper to study the goods position optimization problem of automated storage and retrieval system, and a comparison between this algorithm and traditional genetic algorithm was made. To improve the efficiency of shelf stability and directly as the optimization goal, slotting optimization mathematical model of multi-objective optimization problem was established. Finally by the use of MATLAB tools for programming and simulation, the experimental results show that the virus coevolutionary genetic algorithm (VEGA) compared with the traditional genetic algorithm has better convergence and search efficiency. Thus, by using virus coevolutionary genetic algorithm for automated storage and retrieval system slotting optimization, the goods loading and unloading efficiency and shelf stability can be largely improved, and thus the utilization of shelves is enhanced.

**Keywords** Automated storage and retrieval system (AS/RS), Slotting optimization, Genetic algorithm(GA), VEGA

## 1 引言

自动化立体仓库是一种可以实现货物多层存储的仓库系统,对货物可以进行自动存取和管理,从而提高企业对货物管理的时效性和准确性。自动化立体仓库最终要实现在耗能最小和成本最低的条件下对货物的存取,在规定的时间内将具有准确品种和数量的物资提供给客户<sup>[1]</sup>。

货位优化是指在出入库过程中实现对存储货位的优化,

自动化立体仓库货位管理的关键在于提高货位的使用率,保证出入库效率。在进行入库操作之前需要合理地分配货位,而当货物的存储状态杂乱时需要及时调整货位;如果不合理的货位仍放置有货物,则需要进行货位优化。

研究货位优化主要遵循的规则有周转率规则、重量特性规则和产品相关性规则等,而在货位优化过程中,这些目标之间都是相互矛盾的,满足一个目标总是以牺牲其他目标为代价的,如果同时满足这些目标,这就是典型的多目标优化问

本文受甘肃省自然科学基金(1208RJZA292),甘肃省科技支撑计划项目(090GKCA009,1304GKCA023)资助。

王厅长(1988—),男,硕士生,主要研究方向为自动化立体仓库、人工智能软计算方法,E-mail:wangtz88@163.com;邱建东(1974—),男,高级工程师,主要研究方向为人工智能软计算方法;商庆健(1988—),男,硕士生,主要研究方向为检测技术与自动化装置;刘亚丽(1986—),女,博士生,主要研究方向为计量经济学。

题,需要采用多目标决策来解决<sup>[2]</sup>。目前很多对货位优化的研究仅限于货物的周转率和重量两个方面,但对于货物的分类存放、货物的存储要求等方面的因素考虑得较少。而传统遗传算法不能很好地实现全局优化,存在局部优化的缺陷。基于该方面的考虑,我们提出了一种更优的算法来研究货位优化问题<sup>[3]</sup>。

## 2 货位优化模型的建立

### 2.1 模型建立的变量定义

$(x_i, y_i, z_i)$ ——货物在货架中的位置坐标,即(排— $a$ , 列— $b$ ,层— $c$ );

$P_i$ ——第  $i$  类货物的周转率;

$m_i$ ——第  $i$  类货物的质量;

$L$ ——货架单元格的长度(长宽高一样);

$V_x$ ——传输带的传输速度;

$V_y$ ——堆垛机纵向移动的速度;

$V_z$ ——堆垛机垂直移动的速度。

### 2.2 模型建立过程

#### 2.2.1 存取效率分析

提高自动化立体仓库存取效率的关键是解决出入库操作的时间消耗问题,这主要体现在操作速度和操作距离两个方面,而操作速度在现有技术条件下很难实现突破<sup>[4-6]</sup>。因而提高存取效率主要通过缩短出入库操作的移动距离来实现:

$$f_1(x, y, z) = \sum_{x=1}^a \sum_{y=1}^b \sum_{z=1}^c \left( \frac{x_i}{V_x} + \frac{y_i}{V_y} + \frac{z_i}{V_z} \right) \times L \times P_i \quad (1)$$

#### 2.2.2 分类存放分析

为了更好地实现出库的拣货和库存调整操作以及更快捷地查找货物,在进行货位分配时要将相同类型的货物尽量放在一起。在进行货位优化时,根据某类货物的周转率来确定一个中心货位坐标,将同类货物放在距该中心点较近的位置,以达到相邻存放的目的:

$$f_2(x, y, z) = \sum_{x=1}^a \sum_{y=1}^b \sum_{z=1}^c \sqrt{(x_i - a_i)^2 + (y_i - b_i)^2 + (z_i - c_i)^2} \quad (2)$$

#### 2.2.3 货架稳定性分析

影响货架稳定性的主要因素是货架重心,低重心才能保证良好的货架稳定性。只有在货位分配时遵循上轻下重的原则,才能将货架重心降到最低,进而将货架稳定性提升到最强:

$$f_3(x, y, z) = \frac{\sum_{x=1}^a \sum_{y=1}^b \sum_{z=1}^c m_i \times n_{abc} \times y \times L}{\sum_{y=1}^b \sum_{z=1}^c m_i \times n_{abc}} \quad (3)$$

其中,  $n_{abc}$  为该类货物放在该货位的数量。

### 2.3 模型表示

为了更好地实现模型的求解,本文从诸多求解多目标优化问题最优解的方法中选择了权重系数变化法。将代表目标在多目标优化问题中重要程度的权重  $w_i (i=1, 2, \dots, p)$  分别赋予对应的目标函数  $(i=1, 2, \dots, p)$ , 则各目标函数的线性加权可以表示为:

$$\begin{cases} f(x) = \sum_{i=1}^p w_i f(x_i) \\ \text{s. t. } w_1 + w_2 + \dots + w_{p-1} + w_p = 1 \end{cases}$$

考虑到各目标间存在着关联且矛盾的关系,因此不能单独用来研究货位优化问题,而需要将该多目标优化问题转化为单目标优化问题。通过权重系数变化法将式(1)–(3)组合起来,进而得到自动化立体仓库货位优化的模型,如下所示:

$$\begin{aligned} \min f(x, y, z) &= w_1 f_1(x, y, z) + w_2 f_2(x, y, z) + w_3 f_3(x, y, z) \\ \text{s. t. } &\begin{cases} w_1 + w_2 + w_3 = 1 \\ 0 \leq w_1 \leq 1 \\ 0 \leq w_2 \leq 1 \\ 0 \leq w_3 \leq 1 \end{cases} \end{aligned}$$

## 3 算法实现

尽管传统的遗传算法可以实现货位优化,但它存在搜索能力有限、容易收敛到局部最优解、运算量大等缺点。而本文选择病毒协同进化遗传算法进行货位优化,明显降低了运算量,提高了收敛速度,从而能够快速得到全局最优解<sup>[7-9]</sup>。

### 3.1 病毒协同进化遗传算法的基本操作

病毒协同进化遗传算法包括以下 3 个操作:

A. 感染操作(*virus\_infection*): 将主个体中主染色体的相应基因用病毒染色体基因进行替换,进而产生新的个体。如果主个体在受到病毒个体以  $p_{infect}$  概率的感染后适应度降低了,则放弃感染前的主个体,进而选择感染后的主个体,如图 1 所示。

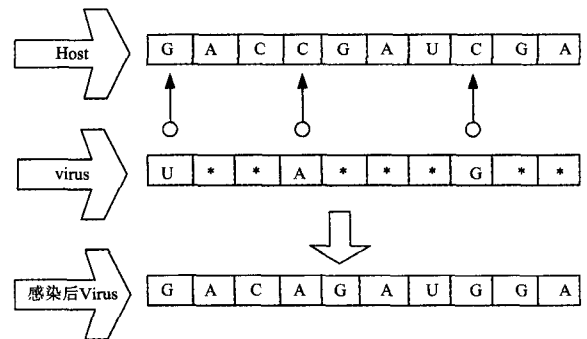


图1 感染操作

B. 复制操作(*virus\_copy*): 对病毒染色体中的相应基因,用主个体中主染色体的每个模式基因以  $p_{copy}$  概率进行代替,从而产生新的有效字符,如图 2 所示。

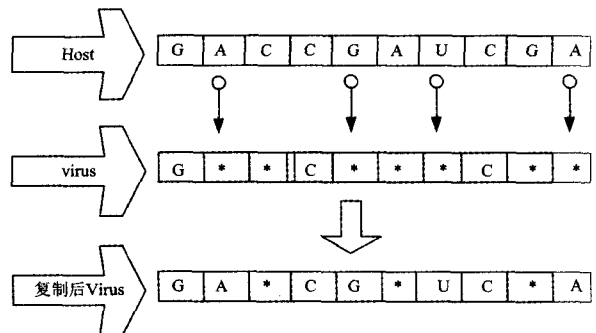


图2 复制操作

C. 剪切操作(*virus\_cut*): 在剪切位处,用通配符以  $p_{cut}$  概率将病毒染色体的基因进行替换。剪切操作主要实现删减病

毒部分基因、缩短病毒长度的功能,以达到削减其进化计算能力的目的,如图3所示。

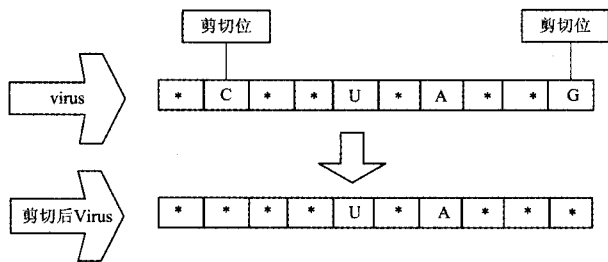


图3 剪切操作

### 3.2 算法实现过程

#### 3.2.1 编码方法的确定

我们一般采用基于非负整数的二进制编码方法来研究自动化立体仓库货位优化问题,在用病毒协同进化遗传算法解决自动化立体仓库货位优化问题时,还需要建立一个货位编码和货位信息的对照表。

在一个  $I$  行、 $J$  层、 $K$  列货位的仓库中,假设现有空余货位 30 个,待入库物品数量为 8,则货位编码和货位信息对照表 1 所列。

表1 货位编码和货位信息对照表

序号	行数	层数	列数	物品编码	优化序号
1	1	1	1	001	
2	1	1	1	0	1
3	1	1	1	0	2
4	1	1	1	010	
...	...	...	...	...	...
$(i-1) * J * K + (j-1) * K + k$	$i$	$j$	$k$	0	30
...	...	...	...	...	...
$I * J * K$	$I$	$J$	$K$	100	

#### 3.2.2 初始化种群

在初始化种群时,首先生成一组  $1-K$  的十进制数,并将它们转换为长度为  $L$  的  $K$  个二进制数,然后再生成  $A-K$  个值为 0、长度为  $L$  的二进制数。这样总共产生了  $A$  个长度为  $L$  的二进制数,随机地将它们连接起来,构成了一个长度为  $N=L \times A$  的二进制串,这就是一个初始个体。将种群规模  $M$  设置为  $100 \sim 500$ ,根据个体长度为  $N$ ,采用随机分配策略的方法,产生出初始个体,进一步随机产生出  $M$  个这样的个体,这就完成了种群规模为  $M$  的初始化工作( $K$  为物品种类,  $A$  为空余货架,且  $A \geq K$ )。

#### 3.2.3 适应度函数

多目标遗传算法的适应值根据加权值和的方法来确定,从而得出自动化立体仓库仓库的适应度函数为:

$$\begin{cases} w_1 + w_2 + w_3 = 1 \\ 0 \leq w_1 \leq 1 \\ 0 \leq w_2 \leq 1 \\ 0 \leq w_3 \leq 1 \end{cases}$$

若按上述适应度函数进行计算,还需要物品质量、数量和货位坐标等信息。但采用的非负整数二进制编码的每个个体染色体中只能包含物品编码和货位顺序的信息,因此在一个货位编码和货位信息的对照表的基础上,我们还要建立一个物品编码和物品信息的对照表。

假设待入库的物品是鞋类和服饰。其中,鞋类 18 箱,每个货位可以存放 4 箱,每箱质量为 110kg,周转率为 0.6;服饰 9 箱,每个货位可以存放 6 箱,每箱质量为 90kg,周转率为 1。则物品信息对照表如表 2 所列。

表2 物品信息对照表

物品编码	物品名称	定量单位	数量	质量	周转率
001	鞋类	箱	4	440	0.6
010	鞋类	箱	4	440	0.6
011	鞋类	箱	4	440	0.6
100	鞋类	箱	4	440	0.6
101	鞋类	箱	2	110	0.6
110	服饰	箱	6	540	1
111	服饰	箱	3	270	1

#### 3.2.4 选择操作

在  $M$  个个体按适应度由大到小的顺序排列中,将排在第一位的个体进行复制并直接进入下一代,且仍保持第一。采用轮盘赌选择法,根据前代群体的  $M$  个个体适应度,产生下一代群体的另外  $M-1$  个个体。这样就可以保证生存至下一代的是最优个体,也可以保证适应度大的个体进入下一代的几率更大。

#### 3.2.5 交叉操作

按某种方式交换相互配对染色体的部分基因是交叉运算产生新个体的主要方法。将群体中的个体进行两两配对是使用病毒协同进化遗传算法进行交叉运算的第一步,而随机配对策略是货位优化算法惯用的配对策略。假如群体有  $M$  个个体,那么在配对时会按随机方式将这  $M$  个个体组成  $M/2$  对配对个体组,进而这些配对组之间进行交叉运算。设计交叉算子是采用病毒协同进化遗传算法进行交叉运算的关键,而单点交叉算子目前在该算法中是最常用的,所谓单点交叉就是通过互换随机交叉点处部分染色体而形成新染色体的过程。

#### 3.2.6 病毒体感染操作

主个体染色体进行病毒感染操作后,必须进一步缩小感染后该染色体所对应的线路长度。如有一个染色体 512764,我们倒置染色体中的部分基因,并将该部分逆向基因作为病毒种群,得到病毒种群为 \* \* 84672 \* \*,保证选取的染色体位置处于感染基因的对应位置上,由此得到新的染色体为 518 467 239。如果在对应路线长度上新的染色体相比父代染色体存在明显的优势,那么我们在进行以上的感染操作时就选择该染色体<sup>[10,11]</sup>。

## 4 实验计算与结果分析

为更好地对比病毒协同进化遗传算法相比传统遗传算法的优越性,分别计算了两种算法的平均计算时间、平均计算代数和适应度随进化代数的变化情况,对比结果见图 4—图 6 所示。

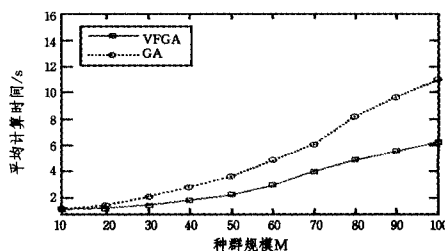


图4 平均计算时间随  $M$  变化的曲线

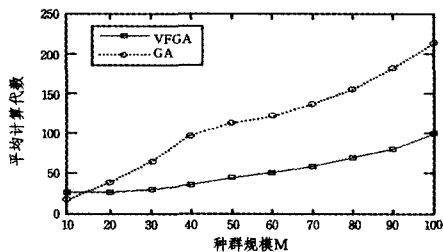


图5 平均计算代数随  $M$  变化的曲线

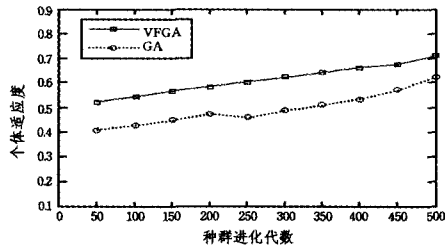


图6 适应度随进化代数变化的曲线

通过 Matlab 的仿真实验可以得出:病毒协同进化遗传算法相比传统的遗传算法具有更好的可收敛性,避免了传统遗传算法陷入局部最优解的缺陷,从而提高了自动化立体仓库货位优化的效率。从实验数据可以发现:当选择效率优先时,系统会在靠近库区出口的货位上安排周转率高的物品;当选择货架稳定性优先时,系统会在层数较低的货位上安排质量较重的物品;当选择物品相关性优先时,系统会在相对比较集中的货位中安排同类物品。而在实际应用中,仓库管理员可以适时调整权重  $w_1$ 、 $w_2$ 、 $w_3$  的值,得到更加合理、高效的货位分配方案。

**结束语** 本文利用 VEGA 对自动化立体仓库的货位分配进行了优化,并将其平均计算时间、平均计算代数和适应度进化代数和适应度等方面与传统遗传算法进行了对比,充分

体现出了 VEGA 在货位优化方面的优越性和可靠性,避免了传统遗传算法迭代次数多、不易收敛等问题的出现。但对于该类货位优化问题,是不是还存在一种更为高效的算法,需要进一步的研究和探讨。

## 参考文献

- [1] 鄂晓征,祖巧红,曹萌萌.基于遗传算法的汽车零件自动化仓储货位优化[J].系统仿真学报,2013,25(3):430-444
- [2] 陈元文,吴晓波,孙耀磊,等.基于 FlexSim 的军队自动化立体仓库货位优化研究[J].包装工程,2013,34(19):74-77
- [3] 胡仕成,徐晓飞,李向阳.项目优化调度的病毒协同进化遗传算法[J].软件学报,2004,15(01):25-32
- [4] 曹浪财,罗键.可视化自动仓储系统设计与货位优化[J].厦门大学学报:自然科学版,2012,51(1):46-50
- [5] 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(1):38-41
- [6] 银光球,何福英.自动化立体仓库中库位优化模型研究[J].福建工程学院学报,2006,4(3):347-351
- [7] 胡仕成,徐晓飞,李向阳.项目优化调度的病毒协同进化遗传算法[J].软件学报,2004,15(1):49-57
- [8] 邱建东,蒋兆远,汤曼安.基于周期性病毒遗传算法的自动化立体仓库货位优化研究[J].兰州交通大学学报,2013,32(6):19-23
- [9] 齐金平,查显锋.基于病毒协同进化遗传算法的物流配送路径优化问题研究[J].黑龙江科学,2013,4(8):19-23,76-78
- [10] Kubota N, Arakawa T, Fukuda T, et al. Fuzzy manufacturing scheduling by virus-evolutionary genetic algorithm in self-organizing manufacturing system [C]//Proc. of the 6th IEEE Int'l. Conf. on Fuzzy Systems. Barcelona: IEEE, 1997: 1283-1288
- [11] Kubota N, Arakawa T, Fukuda T, et al. Trajectory generation for redundant manipulator using virus evolutionary genetic algorithm [C]//Proc. of the 1997 IEEE Int'l. Conf. on Robotics and Automation. Albuquerque: IEEE Press, 1997: 205-210

(上接第 20 页)

研究方法还有很多理论性的问题需要进一步研究。

(2) 本研究方法的应用方面应该更加广泛,即本研究方法的具体应用问题需要进一步研究。

虽然有各种不足,但是在真值表与统计相结合方法研究方面,已经迈开了步伐。后续工作的重点为:

- (1) 深入研究相关的理论,使得理论基础更加完备。
- (2) 与现有成熟的研究方法相结合。

## 参考文献

- [1] 王莉红,顾琴轩,褚田芬.人力资本与社会资本对创新行为的影响——跨层次模型研究[J].工业工程与管理,2009(5)
- [2] 俞明传,顾琴轩,朱爱武.员工实际介入与组织关系视角下的内部人身份感知对创新行为的影响研究[J].管理学报,2014(6)
- [3] 耿素云,屈婉玲,张立昂.离散数学(第4版)[M].北京:清华大学出版社,2008
- [4] 龚启荣.真值表等数理逻辑方法的判定功能[J].贵州大学学报:自然科学版,2001(1)
- [5] 杨玲,王友仁,张岩,等.基于分离技术的数字电路多目标进化设计[J].微电子学与计算机,2011(2)
- [6] 赵群依,刘顺兰,王江柱.一种 de Bruijn 序列的高效生成算法[J].通信技术,2007(11)
- [7] 李全艳,何远强,彭海平,等.布尔表达式真值自动求解算法设计

与实验研究[J].信息系统工程,2014(4)

- [8] 魏贵民,邹辉.多功能联结词集合的计算机实现[J].成都理工大学学报:自然科学版,2007(3)
- [9] 莫丽君.真值表在形式逻辑中的功能[J].辽宁工程技术大学学报:社会科学版,2004(3)
- [10] 张君.计算机数理逻辑命题演算演示系统的研究[J].信息通信,2013(9)
- [11] 陈宇,黄哲,李梁杰,等.基于 AT89C51 的集成芯片测试仪设计[J].数字通信,2009(4)
- [12] 安博.基于真值表变换和规则优化的可逆逻辑综合算法研究[D].南京:东南大学,2010
- [13] 杨忠明.基于真值表演算的量子可逆逻辑电路综合[D].南京:东南大学,2010
- [14] 蒋向辉.系统重构中真值表格式及预处理研究[J].计算机应用与软件,2009(9)
- [15] 吴佰桐.工作流建模与基于真值表验证的研究[J].大连理工大学,2008
- [16] 朱晓波,杨伟民,叶芯.更改条件/判定覆盖最小真值表生成算法及其应用[J].上海理工大学学报,2007(1)
- [17] 陈宁,冯博琴.基于命题逻辑的组件约束检测[J].西安交通大学学报,2007(2)
- [18] 安博,陈汉武,杨忠明,等.基于真值表变换的可逆逻辑综合算法[J].东南大学学报:自然科学版,2010(1)
- [19] 陈泽华,曹长青,谢刚.基于粒矩阵的多变量真值表快速约简算法[J].模式识别与人工智能,2013(8)