

文章编号:1001-9081(2010)11-2891-03

基于单亲遗传算法的拣选作业优化研究

刘万军¹, 黄杨波², 丁 鹏³

(1. 辽宁工程技术大学 软件学院, 辽宁 葫芦岛 125105; 2. 辽宁工程技术大学 研究生学院, 辽宁 葫芦岛 125105;

3. 沈阳新松机器人自动化股份有限公司 物流仓储自动化事业部, 沈阳 110168)

(110168hybdp@163.com)

摘 要:针对自动化立体仓库高存储、高速度、高效率的特点,对拣选作业的运行过程进行分析,建立了相应的拣选作业优化模型,并设计一种高效的单亲遗传算法用于求解。通过仿真验证,结果表明该算法具有很好的全局搜索能力,并能很好地兼顾优化时间和优化效果两个方面,满足实际作业运行要求,适合在实际工程中使用。

关键词:自动化立体仓库;拣选作业;待命位;拣选代价;基因重组

中图分类号: TP18 **文献标志码:** A

Optimized research on order picking based on partheno-genetic algorithm

LIU Wan-jun¹, HUANG Yang-bo², DING Peng³

(1. School of Software, Liaoning Technical University, Huludao Liaoning 125105, China;

2. Graduate School, Liaoning Technical University, Huludao Liaoning 125105, China;

3. Warehousing Automation Division, Shenyang Siasun Robot and Automation Company Limited, Shenyang Liaoning 110168, China)

Abstract: Concerning the characteristics of high-storage, high-speed and high-efficiency in Automated Storage and Retrieval System (AS/RS), the running process of order picking was analyzed, the corresponding optimized model of order picking was established, and an efficient Partheno-Genetic Algorithm (PGA) was designed. Through simulation, the results show that the optimized design has good global searching capability, gives dual attention to the optimized time and the optimized effect, meets the actual operation requirement, and is suitable for actual projects.

Key words: Automated Storage and Retrieval System (AS/RS); order picking; dwell point; picking cost; gene recombination

0 引言

拣选作业是自动化立体仓库中主要作业形式之一,其作业效率的高低决定着整个仓库的运行效率,合理的拣选作业调度方案能够大大提高仓库出入库调度能力,因此拣选作业的优化研究具有重要的理论价值和工程应用价值。拣选作业的优化研究主要是对已分配的待拣选货位的运行路径进行优化,找到一条使堆垛机行走距离最短或运行时间最小的路径。这种路径优化是一个典型的组合优化问题,属于 NP-hard 问题之一。

目前采用的优化算法主要有神经网络算法、启发式规则算法、遗传算法 (Genetic Algorithm, GA)、蚁群算法、模拟退火算法、微粒群算法等。文献[1-7]采用不同的优化算法对自动化立体库作业调度问题进行较深入系统的研究。其中 GA 可以实现可行域的全局搜索,并以概率收敛到全局最优解,很多研究人员都是以遗传算法作为切入点,在遗传算法基础上进行不同改进,提出了各种改进遗传算法或混合遗传算法等。但是传统遗传算法因其在进化过程中需要进行大量交叉运算,势必带来额外的计算开销,而且初始种群的多样性或交叉算子的好坏等也影响着种群的进化,极易造成早熟收敛。李茂军等人^[8]提出了一种新颖的单亲遗传算法 (Partheno-Genetic Algorithm, PGA),简化了遗传操作,取消了传统 GA 的交叉算子,而是仅在一条染色体上进行基因重组操作,提高了计算效率,收敛速度快,并且不要求初始群体的多样性,也不存在早熟收敛问题。文献[9-11]说明 PGA 在一些领域得以应用,并且取得了较好的优化效果。本文设计了一种适合解

决立体库拣选作业路径优化问题的单亲遗传算法,非常适合在实际工程中加以采用。

1 堆垛机拣选作业数学模型

1.1 拣选作业方式

自动化立体仓库硬件设备主要包括堆垛机、固定单元高位货架、入出库台、输送机、自动引导车等。堆垛机是穿梭于巷道中的一台可以自动从货架单元格中存取货物的起重设备,拣选作业主要由堆垛机来完成。图1为堆垛机拣选路线示意图,在进行拣选作业时,堆垛机首先从巷道口即原点 O (一般在出入库台位置) 出发,运行到第一个拣选货位 P_1 ,从该货位取出托盘或周转箱送至出入库台,按照任务单存取一定数量的货物,再将该托盘或周转箱送回到原来拣选货位 P_1 ,完成一次拣选作业,如果存在一系列拣选任务,则从 P_1 点直接运行到下一个拣选货位 P_2 ,完成又一个货位拣选操作,继续依次运行到 P_3, \dots, P_{n-1} ,到最后一个拣选货位 P_n ,完成所有的待拣选作业后回到原点 O 。

1.2 优化前提假设

为了便于问题的研究,进行如下假设:

1) 堆垛机最初停靠位为巷道口,即堆垛机待命位,设为坐标原点 $O(0,0)$;

2) 入库台和出库台设为同一侧同一位置,即巷道口处,

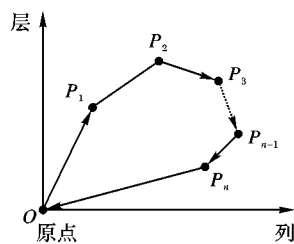


图1 堆垛机拣选路线示意图

收稿日期:2010-04-26;修回日期:2010-06-28

作者简介:刘万军(1959-),男,辽宁北宁人,教授,主要研究方向:软件理论及应用;黄杨波(1977-),女,辽宁铁岭人,工程师,硕士研究生,主要研究方向:软件工程、物流系统规划、智能控制;丁鹏(1972-),男,辽宁铁岭人,工程师,主要研究方向:物流仓储设计与规划。

坐标同样为(0,0);

3) 针对同一拣选货位,视其在任何情况下的作业时间不随货物变化或作业顺序变化而变化;

4) 忽略堆垛机启动制动过程,将堆垛机行走、升降速度设为恒定值,分别为 v_x 和 v_y ;

5) 视货叉对每一货位存取货物需要的时间相同,在计算拣选时间时,忽略货叉存取货物时间的计算;

6) 设货架单元格宽度为 l ,高度为 h 。

1.3 优化数学模型

基于前面的假设,得出堆垛机从货位 i 运行到货位 j 所花费的时间为:

$$t(i, j) = \max \left\{ |d_{xj} - d_{xi}| / v_x, |d_{yj} - d_{yi}| / v_y \right\} \quad (1)$$

其中: (x_i, y_i) 代表货位 i 的坐标, (x_j, y_j) 代表货位 j 的坐标; d 代表货位点与原点之间的距离。

如果操作者下达了一批拣选作业,总任务数为 N 个,货位点编号依次为 $1, 2, 3, \dots, n (1 \leq n \leq N)$, 则完成该批待拣选作业所需的总时间为:

$$T = \sum_{i=0}^{n-1} t(i, i+1) + t(n, 0) \quad (2)$$

要解决的目标问题是要合理选择作业顺序或路径使其经过所有拣选货位点后所花费的时间最短,即付出的拣选代价最小,因此得出堆垛机完成整批拣选作业所运行的最短时间数学模型为:

$$T_{\min} = \min(T) \quad (3)$$

2 单亲遗传算法设计

根据堆垛机拣选作业分析及式(3)所示的拣选作业优化模型,可以将堆垛机拣选作业优化问题描述为:已知 N 个待拣选货位,堆垛机从原点 O 出发,经过 N 个拣选货位一次且每个拣选货位仅一次,最后又返回到原点 O 。如何安排堆垛机对这 N 个拣选货位点的执行顺序,可以使其所运行的时间最短?这个问题的描述与著名旅行商问题 (Traveling Salesman Problem, TSP) 类似,因此本文将该问题归结为旅行商问题进行求解。遗传算法虽然在求解该类问题具有很大的优势,但该问题的性质决定了应该使用序号编码,而遗传算法在解决序号编码问题时存在大量交叉运算,尤其当问题规模增大时大量交叉会增加遗传操作的复杂度,进而导致计算效率下降、程序执行时间过长等问题。而本文采用的单亲遗传算法是专门针对序号编码而设计的,取消了遗传算法的交叉操作,取而代之的是仅在一条染色体上进行遗传操作,算法更简便、计算效率更高,且不存在早熟问题。

2.1 染色体编码

算法采用序号编码方式。根据前面分析,一条染色体可以描述为一条拣选路径,途径的目的地实际为拣选货位,用实际货位坐标表示不便于优化运算,因此将每条染色体采用整数序号进行编码,则染色体可以表示为 (i_1, i_2, \dots, i_n) , $1 \leq n \leq N$, i_n 为在待拣选作业中定义的某拣选货位所对应的整数序号, N 为总的拣选货位数。 (i_1, i_2, \dots, i_n) 由 $[1, N]$ 上互不重复整数序列构成, $1 \sim N$ 分别对应已经确定的拣选货位点。由于堆垛机总是从原点 O 出发到原点 O 结束,因此为简便起见,原点 O 未在编码中体现。

若有 5 个待拣选货位,分别为 (4,2)、(15,6)、(10,3)、(28,5)、(19,1),对其进行序号编码,得到该染色体初始编码序列为 12345,该编码与拣选货位坐标是一一对应的,不随优化过程而改变,即 1 对应 (4,2),2 对应 (15,6),3 对应 (10,3),

4 对应 (28,5),5 对应 (19,1)。如果某个个体为 31542,则该个体表示堆垛机从原点出发,依次经过 (10,3)、(4,2)、(19,1)、(28,5)、(15,6) 5 个拣选货位完成拣选作业,最后返回到原点的一条运行路径。

可以看出,采用序号编码后的表示更为简单,便于处理。

2.2 初始种群的选取

由于 PGA 对初始种群的要求不高,因此采用随机方法来生成 $popsiz$ (种群大小) 条由 1 到 N 构成的不重复整数序号的染色体即可,并以矩阵形式保存。如:

$$A = \begin{bmatrix} i_{11} & i_{12} & \cdots & i_{1n} \\ i_{21} & i_{22} & \cdots & i_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ i_{m1} & i_{m2} & \cdots & i_{mn} \end{bmatrix} \quad (4)$$

其中: n 代表拣选货位数, m 代表种群大小 (等于 $popsiz$), 矩阵的大小为 $m \times n$ 。

由于该算法不需要在双亲间进行交叉繁殖,因此初始种群的规模可以取较小值,这样也大大减少了基因重组操作的运算量。

2.3 适应度函数的确定

适应度函数是对个体进行评估的重要指标,往往个体适应度越大被遗传到下一代的机会就越大,反之被遗传到下一代的机会就越小。按照这种评价方法一般需要对目标函数进行变形,如取倒数,或增加一些相应的调整因子,但是这种转变也会带来一定的计算开销。为了减少计算量,本文提出直接利用目标函数来确定适应度函数,即:

$$fitness(i) = T_i \quad (5)$$

其中: $fitness(i)$ 表示第 i 条染色体的适应度函数值, T_i 表示按照第 i 条染色体运行顺序所需要付出的拣选时间。某条染色体的适应度值越小代表该条染色体越优,反之越差。

为了快速计算适应度值,本文定义了两个时间矩阵。

一个是拣选货位点间的时间矩阵,用于存放堆垛机在指定拣选货位点间运行所需花费的时间消耗,如:

$$T_{dis} = \begin{bmatrix} 0 & t_{12} & t_{13} & \cdots & t_{1n} \\ t_{21} & 0 & t_{23} & \cdots & t_{2n} \\ t_{31} & t_{32} & 0 & \cdots & t_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ t_{n1} & t_{n2} & t_{n3} & \cdots & 0 \end{bmatrix} \quad (6)$$

其中: $t_{12} = t_{21}, t_{13} = t_{31}, \dots, t_{1n} = t_{n1}$, 其他类似。由于自身货位间不需要运行,所以一条对角线上的时间差均为 0。

另一个是拣选货位与原点 O 之间的时间矩阵,如:

$$T_o = [t_{1o} \quad t_{2o} \quad t_{3o} \quad \cdots \quad t_{no}] \quad (7)$$

其中: $t_{1o}, t_{2o}, \dots, t_{no}$ 表示拣选货位点与原点间的单程运行时间消耗。

根据拣选货位点序列,依次从时间矩阵提取相应拣选货位点间的时间差就可以很容易算出一条拣选路径的作业时间,计算出每个个体的适应度值,以实现一次计算多次提取,提高了计算速度。

2.4 选择机制

对每代群体中的 $popsiz$ 条染色体按照适应度值由小到大排列,适应度值最小的染色体运行时间最短,性能最优,采用最优个体保存法将其直接复制到下一代,不经基因重组,以防止最佳个体遭到破坏。其他个体按照轮盘赌方法进行选择,并通过染色体基因重组实现进化。进化后得到的子代与父代个体采用两代相互竞争择优保存的机制进行适者生存,既保证了最优个体得以生存下来,又能保证适应度较大的个体得到

新一轮的繁衍。

2.5 基因重组

基因重组类似于传统遗传算法的变异,只在单条染色体上进行一系列操作,为了保证进化后有效个体的生成,在此设计了 3 种重组机制,分别为基因换位、移位和倒位操作。

基因换位是以一定概率 p_e 随机选取一条染色体上的两个基因位上的基因进行位置互换。若一条拣选路径编码序列为:

9 1 ③ 10 6 ⑦ 2 4 5 8

圈内是被选中的交叉基因,将 3 和 7 进行互换,得到新的个体编码序列为:

9 1 7 10 6 3 2 4 5 8

这种基因换位隐含了遗传算法的变异操作,因此不需单独进行基因突变。

基因移位是以一定概率 p_s 随机选取一条染色体上的一段基因依次后移到基因尾部,并把该基因段的原来的尾部基因移动到原来该基因段所处位置。若一条拣选路径编码序列为:

9 1 7 10 6 3 2 4 5 8

下划线选中的是预移位基因段(1 7 10 6 3),将该基因段移到基因尾部,再把基因段(2 4 5 8)前移到(1 7 10 6 3)基因段原来所处位置,移位后得到新的个体编码序列为:

9 2 4 5 8 1 7 10 6 3

基因倒位是以一定概率 p_i 随机选取一条染色体上的一段基因进行依次逆序翻转。若一条拣选路径编码序列为:

9 2 4 5 8 1 7 10 6 3

下划线选中的是预倒位基因段(4 5 8 1 7 10 6),将该段基因逆序排序,得到新的个体编码序列为:

9 2 6 10 7 1 8 5 4 3

基因移位和倒位虽然没有双亲的交叉繁殖过程,只是在单条染色体上进行遗传操作,但其隐含了遗传算法的交叉算子功能,能保证在解空间进行有效搜索,计算量大为降低。

3 仿真分析

以某立体库货架单侧为例,货架列数=40,层数=7;货架单元格宽度 $l=1000\text{ mm}$,高度 $h=1000\text{ mm}$;堆垛机行走速度 $v_x=150\text{ m/min}$,升降速度 $v_y=50\text{ m/min}$ 。单亲遗传算法的参数设定为: $p_e=0.9, p_s=0.2, p_i=0.9$,初始种群 $popsiz=20$,最大迭代数为 3000。

随机生成一批拣选作业,包括 30 个拣选货位点,其坐标分别为:(22,3)、(30,7)、(7,2)、(38,2)、(23,7)、(36,6)、(40,6)、(39,6)、(29,2)、(40,4)、(40,5)、(34,6)、(32,5)、(6,3)、(16,5)、(28,3)、(21,3)、(33,7)、(27,2)、(25,2)、(31,2)、(33,3)、(3,2)、(36,5)、(9,2)、(11,7)、(35,2)、(9,7)、(40,2)、(28,7)。

图 2(a)为随机产生的 30 条拣选作业在未优化处理之前的运行路线图,堆垛机完成该批作业的运行时间为 428 s。图 2(b)为采用单亲遗传优化算法后得到的运行路线图,优化后堆垛机完成该批作业的运行时间为 98 s,节约时间百分比为 77.1%。而程序优化的执行时间仅为 0.219 s,足以满足实际工程作业实时调度响应的需求。

同样,再随机选取 50 个货位点,其优化前的运行时间为 768 s,优化后的运行时间为 156 s,节约时间百分比为 79.69%,程序优化的执行时间 0.266 s。

再随机抽取货位点数为 20,40,70,100 的作业,每批作业重复 10 次运行,得到优化前后性能对比如表 1 所示。从表 1

可看出,随着作业规模的增大,程序平均运行时间有所增加,但是上升时间幅度不剧烈,而且是工程运算中可以接受的;另外最优解与平均解的偏差有所增加,但偏差幅度不大,而且基本上不随作业数量的剧增而使优化效果下降。可以计算出优化后平均时间与优化前时间相比提高的百分比都维持在 70% 以上。

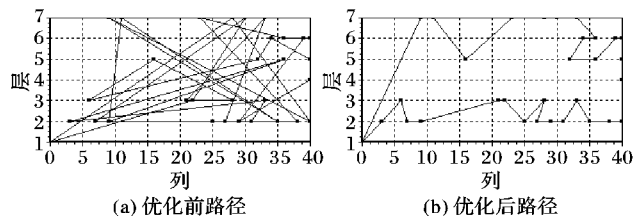


图 2 优化前后拣选作业路径比较

表 1 重复 10 次同批作业优化前后性能对比

货位 点数	优化前 时间/s	优化后平 均时间/s	最优解 时间/s	程序平均运 行时间/s
20	247	74.0	74	0.179
40	643	128.0	126	0.222
70	1100	244.0	242	0.312
100	1572	363.5	361	0.406

可见,该优化算法受染色体基因数量的影响不大,只需较小的初始种群规模,就能在较短的运行时间获得较好的优化效果,优化效果稳定,大大减少了堆垛机的运行时间,提高了仓库的存取效率。

4 结语

本文通过对自动化立体仓库拣选作业分析,将其问题归结为旅行商问题,构建了基于最短时间优化的数学模型,采用单亲遗传算法进行优化,并通过实例加以验证,该优化算法适合大规模拣选路径优化运算,既能兼顾运算时间又能达到良好的优化效果,具有很好的工程应用价值。

参考文献:

- [1] HUANG XUEFEI, LIU YUNXIA. Optimization of operational route in AS/RS based on particle swarm algorithm [J]. Journal of Southwest Jiaotong University: English Edition, 2008, 16(1): 92-94.
- [2] JOON-MOOK L. Genetic algorithm for determining the optimal operating policies in an integrated-automated manufacturing system [J]. Journal of Engineering Valuation and Cost Analysis, 2000, 3(4): 291-299.
- [3] 常发亮,刘增晓,辛征,等. 自动化立体仓库拣选作业路径优化问题研究[J]. 系统工程理论与实践, 2007, 27(2): 139-143.
- [4] 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.
- [5] 曾明如,宗胡亮. 基于模拟退火遗传算法的自动化立体仓库路径优化[J]. 制造业自动化, 2009, 31(4): 17-19.
- [6] 李梅娟,陈雪波,刘巨奇. 基于改进蚁群算法拣选作业优化问题的求解[J]. 计算机工程, 2009, 35(3): 219-221.
- [7] 刘巍巍,赵红,王迎春. 遗传算法在自动化仓库路径调度问题中的应用[J]. 沈阳工业大学学报, 2008, 30(3): 338-340, 360.
- [8] 李茂军,朱陶业,单调生. 单亲遗传算法与传统遗传算法的比较研究[J]. 系统工程, 2001, 19(1): 61-65.
- [9] 王斌,李元香,王治. 一种求解 TSP 问题的单亲遗传算法[J]. 计算机科学, 2003, 30(5): 73-75.
- [10] 戴树贵,潘荫荣,胡幼华. 基于最小费用的物流配送模型及其混合单亲遗传算法[J]. 计算机应用, 2005, 25(11): 2682-2684.
- [11] 刘胜辉,张淑丽,王渡,等. 一种求解单件车间调度问题的单亲遗传算法[J]. 计算机工程, 2009, 35(5): 188-190.