

文章编号: 1001-0920(2011)06-0929-04

基于蚁群-遗传算法的贴片机喂料器分配优化研究

陈铁梅^{1,2}, 罗家祥¹, 胡跃明¹

(1. 华南理工大学 a. 精密电子制造装备教育部工程研究中心, b. 自动化科学与工程学院, 广州 510641; 2. 广东商学院 信息学院, 广州 510320)

摘要: 针对在元器件贴装顺序已知的前提下研究拱架式贴片机的喂料器在喂料槽上分配优化的问题, 给出了以贴片头在喂料槽移动距离最小化为优化目标的喂料器分配优化模型. 利用蚁群算法与遗传算法的混合算法实现对贴片机的喂料槽分配问题进行求解, 将蚂蚁搜索的结果进行迭代交换、交叉和变异. 为了验证算法有效性, 以 20 块实际生产的 PCB 为实例进行了测试. 与遗传算法相比, 所提出算法的平均效率提高了 4.48%.

关键词: 喂料器分配; 蚁群算法; 遗传算法; 迭代交换

中图分类号: TP202.7

文献标识码: A

Research of feeder allocation of surface mounting machine based on ant-colony algorithm and genetic algorithm

CHEN Tie-mei^{1,2}, LUO Jia-xiang¹, HU Yue-ming¹

(1a. Engineering Research Center for Precision Electronic Manufacturing Equipments of Ministry of Education, 1b. College of Automation Science and Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510641, China; 2. School of Information Science, Guangdong University of Business Studies, Guangzhou 510320, China. Correspondent: CHEN Tie-mei, E-mail: mei57726@tom.com)

Abstract: The feeder allocation optimization of the surface mounting machine is considered under the condition that the components mounting sequence of known. A mathematical model is presented with the objective is minimizing the distance of the header along with the feeder slot. A new hybrid algorithm of ant-colony algorithm and genetic algorithm is proposed to solve the problem, and the iterated swap procedure, the crossover operator and mutation operator of genetic algorithm are applied to the results of ant colony algorithm. To verify the efficiency of the algorithm, experiments on 20 PCBs instances are executed, and the results show the algorithm can make an improvement 4.48% on the single genetic algorithm.

Key words: feeder allocation; ant-colony algorithm; genetic algorithm; iterated swap

1 引言

表面组装技术是一种直接将表面贴装微型元器件贴焊到印刷电路板 (PCB) 或基底表面上的电子装联技术. 在 PCB 的生产中, 元器件的贴放是整条生产线的瓶颈, 也是整条生产线生产效率的关键. 而贴片机是表面贴装生产线中的重要设备, 其贴装时间对整条生产线的生产效率有重要影响. 因此, 优化贴片机的贴装过程成为近年来表面贴装技术研究的热点^[1-2].

单个贴片机的优化一般分为如下几个问题来解决: 一是喂料器固定的元器件的贴装顺序优化; 二是元器件贴装顺序确定条件下的喂料器分配. 前者通常是带约束的 TSP(travelling salesman problem) 问

题^[3-4]; 后者是一个二次分配问题 (QAP)^[3]. 对于后者, 文献 [5-7] 运用遗传算法进行求解, 遗传算法是较传统的智能优化算法, 但不能充分利用系统反馈信息, 算法求解到一定范围时最优解收敛速度降低. 文献 [4-8] 利用启发式规则试图得到一个比较满意的求解. 但启发式算法一般只能产生可行的喂料器分配方案, 很难保证最优性和通用性.

本文针对拱架式贴片机, 在元器件贴装顺序确定的条件下, 以贴片头在喂料槽的移动距离为优化目标, 建立了一个新的喂料器分配优化模型 (该模型为 QAP 模型的扩展). 考虑到蚁群算法具有正反馈作用, 容易收敛到局部最优, 而遗传算法的交叉和变异

收稿日期: 2010-03-17; 修回日期: 2010-07-13.

基金项目: 国家自然科学基金项目(60835001,60804053); 教育部博士点基金项目(200805611065).

作者简介: 陈铁梅(1973—), 女, 讲师, 博士生, 从事智能优化的研究; 胡跃明(1960—), 男, 教授, 博士生导师, 从事应用非线性控制、智能系统等研究.

具有扩大解的多样性的作用,因此将遗传算法嵌入到蚁群算法中,对喂料器分配进行求解,并对算法进行比较验证。

2 拱架式贴片机

2.1 拱架式贴片机工作原理

本文研究的贴片机对象为多贴装头拱架式贴片机,其结构如图1所示,主要包括喂料器、贴装头、吸嘴和PCB等部分:喂料器用来盛放各种元器件,安放在贴片机两旁平行的喂料槽中,每个喂料器盛放一种元器件;贴装头安装在横梁上,随着横梁可以在喂料器和PCB板上移动;吸嘴安装在贴装头上,一般来说,一个贴装头可以安装多个吸嘴;PCB固定在贴片机一特定的位置上,待贴放完元器件后移开。

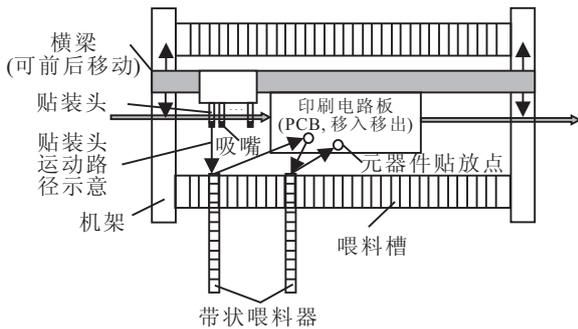


图1 拱架式贴片机结构

贴片过程如下:首先,贴装头移动至元器件喂料器位置,并拾取 h (h 为贴装头吸嘴的个数)个元器件;然后,贴装头移动到第1个器件的装配位置将器件1贴装,再移动至第2个器件贴装的位置将器件2贴装,依次进行,直至 h 个器件贴装完毕后,贴装头再移到元器件拾取位置,吸嘴又吸取 h 个元器件贴装,如此往复,直至所有的元器件贴装完毕。

2.2 贴片机喂料器分配优化模型

优化拱架式贴片机各个喂料器的安放位置,实际上是优化各种元器件类型在喂料槽上的安放位置^[5]。为了实际生产方便,需满足两个约束条件:1)每种类型的元器件均放在某个槽中,且仅放在一个槽中;2)每个槽中只能盛放一种类型的元器件。因此该优化问题可以表述为:在贴放顺序已知且满足上述两个条件的前提下,对喂料器在喂料槽上的安排位置进行研究,使贴片头在喂料槽上的喂料器里拾取元器件的移动时间和将元器件移动到贴放位置的时间最小,因为元器件的贴装顺序已经确定,贴装元器件的时间主要受贴装头在喂料槽上的移动距离的影响,所以该问题的目标可以转化为:在满足约束条件下使贴片头在喂料槽上移动的距离最短。

贴片机的贴装头在喂料槽的水平方向上吸取元件,元器件的贴装顺序已知,贴片头从喂料器上拾取

元器件到元器件贴装完毕称为一个取贴循环。设元件的类型为 m 个, L 为喂料槽的集合, $|L|$ 为集合中喂料槽的个数,贴装头的吸嘴个数为 h 。假设共有 n 个取贴循环(每个循环吸取 h 个元件),则所有元器件吸取完毕后贴片头在贴片槽移动的总距离为

$$\sum_{i=1}^n d(\lambda_i), \quad (1)$$

其中 $d(\lambda_i)$ 为每次取贴循环中贴片头需在喂料槽上移动的距离,且

$$d(\lambda_i) = \sum_{k=2}^h |(\sigma - d_{ik})|, \quad (2)$$

σ 为吸头之间的距离, d_{ik} 为第 i 次取贴循环中第 k 个元件所在的槽与循环中前一个元器件类型所在的喂料槽之间的距离。若 $\sigma < d_{ik}$,则吸取当前元件贴片头需移动的距离为 $(d_{ik} - \sigma)$;否则,移动距离为 $(\sigma - d_{ik})$ 。设 $\beta_i(k)$ 为第 i 个循环中第 k 个元件的类型, $x_{jl} = 1$ 表示元器件类型 j 在槽 l 中,否则为0。则有

$$d_{ik} = \sum_{l=1}^{|L|} l(x_{\beta_i k l} - x_{\beta_i(k-1)l}). \quad (3)$$

再引入变量 t_{ikj} ,当其值为1时表示第 i 个循环第 k 个元件的类型属于 j ,否则为0。则有

$$d_{ik} = \sum_{l=1}^{|L|} \sum_{j=1}^m l(t_{ikj}x_{jl} - t_{i(k-1)j}x_{jl}). \quad (4)$$

因此喂料槽分配模型为

$$\min \sum_{i=1}^n \sum_{k=2}^h \left| \sigma - \sum_{l=1}^{|L|} \sum_{j=1}^m l(t_{ikj}x_{jl} - t_{i(k-1)j}x_{jl}) \right|. \quad (5)$$

$$\text{s.t.} \sum_{j=1}^m x_{jl} = 1, l = 1, 2, \dots, |L|; \quad (6)$$

$$\sum_{l=1}^{|L|} x_{jl} = 1, j = 1, 2, \dots, m; \quad (7)$$

$$\sum_{k=2}^h t_{ikj} = 1, j = 1, 2, \dots, m, i = 1, 2, \dots, n. \quad (8)$$

式(5)将喂料器分配优化问题转换为所有元器件吸取完毕时贴片头在喂料槽移动的总距离最小。该模型忽略了元器件的吸取和贴装操作时间,在只考虑贴片机单侧喂料槽的简化条件下建立。式(6)限定每个供料槽只容纳一种类型的元器件,式(7)限定每个供料槽也只能容纳一种类型的元器件,式(8)限定在一个拾取循环中一个吸头只能拾取一个元器件。

3 算法描述

3.1 蚁群算法

蚁群算法是指通过蚂蚁感知挥发性分泌物“信息素”的强度来进行信息传递的一种算法,是一种分布式的全局优化算法,具有正反馈机制,通过信息素

的不断更新高效收敛到一个近优解. 在蚁群算法中, 每只蚂蚁对应一个独立的构造解过程, 若干蚂蚁之间通过信息素强度交换信息, 合作求解并不断优化. 图2为单只蚂蚁喂料器分配的蚁群算法求解过程.

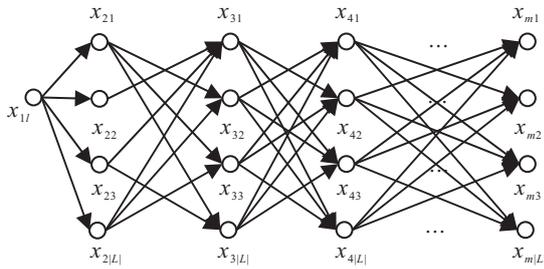


图2 单只蚂蚁喂料器分配的求解

在图2中, 节点 x_{ij} 表示第 i 类元器件分配到第 j 个槽中, m 为元件类型的种类, $|L|$ 为喂料器集合的个数. 由于式(2)~(4)的约束, 第 i 层含有左边已被选择的喂料槽相对应的节点实际上是不存在的. 首先给第1类元器件随机分配一个喂料槽 l , 蚂蚁根据信息素, 利用状态转移策略为下一类型的元器件选择喂料槽, 直至所有类型的元器件均分配到喂料槽, 形成一条路径, 即获得喂料器分配的一个解. 根据路径的长度, 更新信息素. 经过不断的重复迭代, 路程最短的路径即为蚂蚁搜索得到的喂料器分配方案. 采用的状态转移策略为

$$p_{ij}(t) = \tau_{ij}(t) / \sum_{s=1}^m \tau_{is}(t). \quad (9)$$

其中: $\tau_{ij}(t)$ 为本次循环中喂料器 j 配到喂料槽 i 中的信息素, s 为未分配的喂料器. 信息素的更新规则采用全局更新和当代最好解更新的方法. 在全局更新时, 每只蚂蚁的解构造好后, 根据下式来更新信息素:

$$\tau_{ij}(t) = \rho\tau_{ij}(t) + \Delta\tau_{ij}(t). \quad (10)$$

$$\Delta\tau_{ij}(t) = \sum_{k=1}^p \Delta\tau_{ij}^k(t). \quad (11)$$

$$\tau_{ij}^k(t) = \begin{cases} 1/J^k, & \text{每次循环中喂料器 } j \text{ 分配到喂料槽 } i; \\ 0, & \text{otherwise.} \end{cases} \quad (12)$$

其中: ρ 为信息素的挥发系数, $\tau_{ij}^k(t)$ 为第 k 只蚂蚁在每次循环中喂料器 j 配到喂料槽 i 中的信息素的增量; J^k 为第 k 只蚂蚁在本次拾取循环中经历的路程.

在采用当代最好解更新信息素时, 获得每次迭代最好解后, 根据式(10)和下式来更新信息素:

$$\tau_{ij}(t) = \begin{cases} 1/J, & \text{当代最好解中喂料器 } j \text{ 分配到喂料槽 } i; \\ 0, & \text{otherwise.} \end{cases} \quad (13)$$

其中 J 为本次迭代中最好解所经历的路程.

3.2 引入遗传算法

遗传算法以达尔文的生物进化论和孟德尔的遗传变异理论为基础, 模拟生物进化过程, 具有大范围快速全局搜索能力^[10]. 在遗传算法中, 交叉算子和变异算子可以产生多样性的子代. 因此, 为了扩大解的搜索空间, 将遗传算法的交叉和变异因子引入到蚁群算法中. 但 p 只蚂蚁只能利用蚁群算法构建 p 个喂料器分配方案, 且通过编码只能形成 p 个染色体, 所以蚂蚁个数设置的局限性造成了遗传算法中初始染色体个数的有限性. 为了扩大初始染色体的个数, 利用迭代交换^[11], 每只蚂蚁会得到另外 5 个分配方案, 与原始分配方案一起通过最佳个体保存和轮盘选择相结合的方法选择新的喂料器分配方案. 在遗传算法中, 编码方式采用文献[5]中非常规的符号编码方法, 交叉算子采用文献[5]的顺序一致交叉法, 变异算子随机产生 3 个变异位置, 变异次数为 $m/4$, 迭代交换思想如图3所示.

随机产生2个(1,m)的随机数

分配方案:	1 2 3 4 5 6 7 8 9
第1个子分配方案:	1 2 8 4 5 6 7 3 9
第2个子分配方案:	1 8 2 4 5 6 7 3 9
第3个子分配方案:	1 2 4 8 5 6 7 3 9
第4个子分配方案:	1 2 8 4 5 6 3 7 9
第5个子分配方案:	1 2 8 4 5 6 7 9 3

图3 迭代交换示意图

3.3 蚁群-遗传算法实现

考虑到蚁群算法具有正反馈作用, 容易收敛到局部最优, 而迭代交换、遗传算法的交叉和变异具有扩大解的多样性的作用, 所以将遗传算法嵌入到蚁群算法中. 具体步骤如下:

Step 1: 参数初始化. 初始化蚂蚁的数目 p , 元件的种类数 m , 信息素的初值, 信息素挥发系数, 贴片头上吸嘴的个数, 元件的个数, 迭代最大次数, 交叉概率, 禁忌表, 贴片头之间的距离, 贴片顺序等参数.

Step 2: 为每只蚂蚁随机选取初始位置.

Step 3: 根据式(9)的顺序为每个喂料器分配喂料槽, 每只蚂蚁得到一个分配方案, 并根据式(5)计算每个方案下, 当贴片顺序已知时相对应的贴片头在喂料槽上运动的距离以及每次拾取循环的路径.

Step 4: p 个分配方案进行迭代交换, 形成更多 $5 \times p$ 个的子分配方案. 与原分配方案一起共 $6 \times p$ 个分配方案, 采取最佳个体保存和轮盘选择相结合的方法选择新的喂料器分配方案.

Step 5: 在 Step 3 的基础上进行染色体的编码, 获得父代.

Step 6: 根据交叉概率, 采用顺序一致交叉法, 形

成子代,并根据式(5)求出在贴片顺序已知的情况下相对应的贴片头在喂料槽上运动的距离。

Step 7: 比较 Step 3 和 Step 6 的最好解,取最小者作为变异的父代。

Step 8: 令 $m/4$ 作为交换的次数,随机产生 3 个交换位置,两两交换位置,根据式(5)计算每次交换后的贴片头在喂料槽上运动的距离。并与变异的父代比较,取最小者作为当前迭代最好解。

Step 9: 根据式(10)~(13)进行信息素的全局更新和当代最短路径信息素更新。

Step 10: 最大迭代次数是否满足,若条件满足则输出最优解,否则转入 Step 2。

4 实验结果

在每块 PCB 板贴片顺序一定且相同、每块 PCB 板元器件种类和元器件数目相同的情况下,分别利用遗传算法和蚁群-遗传算法对 20 块 PCB 板优化喂料器的安放位置。实验在 1 台 4 头贴片机上进行。贴片头吸嘴的间距为 16 mm, 供料槽之间的距离为 16 mm, 两侧分别有 50 个共 100 个槽位。蚁群-遗传算法中蚂蚁的个数 p 为 30, ρ 为 0.8, 信息素的初值为 1, 初始染色体个数为 100, 交叉概率为 1, 变异次数为 $m/4$, 迭代次数为 1000。在遗传算法中, 初始染色体的个数为 100, 交叉概率为 0.5, 变异概率为 0.05, 迭代次数为 1000。

由于每次运行的结果不同,针对每一块 PCB 板,给出运行 10 次的统计结果。并对 20 块 PCB 的数据进

行实验仿真,结果如表 1 所示。其中第 5 列数据通过 $(Z_{GA} - Z_{AC-GA}) \times 100\% / Z_{GA}$ 计算得到,为 2 种算法提高效率的比较结果。结果表明,与文献[5]提出的遗传算法相比,本文算法平均效率提高了 4.48%,最优解效率提高了 2.69%。

5 结 论

本文以多贴装头拱架式贴片机为研究对象,针对元器件贴片顺序已确定情况下的喂料器分配优化问题,以贴片头在喂料槽移动距离为优化目标,建立了一个新的喂料器分配模型。采用蚁群-遗传算法的混合算法,并结合迭代交换、交叉因子和变异因子进行优化求解,算法利用遗传算法的全局搜索能力来弥补蚁群算法容易收敛到局部最优解的弱点。仿真结果表明,相对于文献[5]中的遗传算法,本文算法能使平均生产效率提高 4.48%,最优生产效率提高 2.69%。

参考文献(References)

- [1] 曾又姣,金焯. 基于遗传算法的贴片机贴装顺序优化[J]. 计算机集成制造系统, 2004, 10(2): 205-208.
(Zeng Y J, Jin Y. Component placement sequence optimization for surface mounting machine based on genetic algorithm[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2004, 10(2): 205-208.)
- [2] 胡以静,胡跃明,吴忻生. 高速高精度贴片机的贴装效率优化方法[J]. 电子工艺技术, 2006, 27(4): 191-196.
(Hu Y J, Hu Y M, Wu Y S. Mounting optimization approaches of high speed and high precision surface mounting machines[J]. Electronics Technology, 2006, 27(4): 191-196.)
- [3] Or I, Demirko I E. Optimization issues in automated production of printed circuit boards: Operations sequencing and feeder configuration problems[C]. ETFA 95 Proc. Paris, 1995: 479-487.
- [4] Lee S H, Lee B H, Park T H. A hierarchical method to improve the productivity of a multi-head surface mounting machine[C]. Proc of the 1999 IEEE Int Conf on Robotics and Automation. Detroit: Michigan, 1999: 2110-2115.
- [5] 田福厚,李少远. 贴片头喂料器分配的优化及其遗传算法求解[J]. 控制与决策, 2005, 20(8): 955-957.
(Tian F H, Li S Y. Optimization of feeder assignment using genetic algorithms in surface mounting machine[J]. Control and Decision, 2005, 20(8): 955-957.)
- [6] Li S Y, Hu C F, Tian F H. Enhancing optimal feeder assignment of the multi-head surface mounting[J]. Applied Soft Computing, 2008, 8(1): 522-529.

表 1 实验数据和结果

序号	元器件		Z_{GA}/m		Z_{AC-GA}/m		提高效率/%	
	种类	个数	平均	最优	平均	最优	平均	最优
1	9	90	2.270	2.176	2.152	2.096	5.01	3.68
2	10	30	0.787	0.736	0.720	0.704	8.54	4.34
3	11	41	1.040	0.992	0.986	0.960	5.23	3.23
4	12	38	0.979	0.925	0.925	0.864	5.50	5.26
5	13	61	1.926	1.856	1.913	1.824	6.90	1.72
6	14	65	2.214	2.064	2.115	2.064	4.48	1.53
7	15	98	3.826	3.616	3.688	3.472	3.59	3.98
8	16	102	3.819	3.408	3.643	3.296	4.61	3.29
9	17	105	4.198	3.824	3.978	3.824	5.26	0
10	18	110	5.608	5.456	5.459	5.376	2.65	1.47
11	19	118	5.862	5.680	5.688	5.520	2.97	2.82
12	20	122	5.520	5.376	5.303	5.088	3.93	5.36
13	21	130	7.075	6.640	6.781	6.480	4.16	2.41
14	22	141	7.756	7.312	7.197	7.008	7.190	4.16
15	23	159	9.917	9.312	9.558	9.200	3.61	1.2
16	24	201	12.301	10.960	11.715	10.896	4.76	0.58
17	25	245	16.958	16.368	16.352	15.800	3.55	3.47
18	26	325	19.218	18.304	18.674	17.552	2.83	4.11
19	27	370	23.201	22.352	22.618	22.096	2.51	1.15
20	28	447	38.196	36.848	37.341	36.576	2.24	0.07
20块pcb板平均效率							4.48	2.69

(下转第939页)