

文章编号: 1001-0920(2005)08-0955-03

贴片机喂料器分配的优化及其遗传算法求解

田福厚, 李少远

(上海交通大学 自动化研究所, 上海 200030)

摘 要: 针对贴片机喂料器的分配问题, 给出一个新的模型, 在贴装顺序已知的前提下, 以贴装整块电路板所花费的总时间作为优化目标。基于该模型给出一种遗传算法, 以目标函数作为其评价函数。与贪婪分配算法相比较, 所花费的代价平均减少了 6.2%, 从而验证了该方法的有效性。

关键词: 表面贴装技术; 遗传算法; 系统优化

中图分类号: TP202.7 **文献标识码:** A

Optimization of Feeder Assignment Using Genetic Algorithms in Surface Mounting Machine

TIAN Fu-hou, LI Shao-yuan

(Institute of Automation, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030, China Correspondent: LI Shao-yuan, Email: syli@sjtu.edu.cn)

Abstract: For the problem of feeder assignment, a new model for optimization is presented, which directly takes the total time spent to assembly the whole PCB as its objective, supposing the assembly sequence is already known. Based on this model, a genetic algorithm is developed, which directly takes the criterion function as its evaluation function. Compared with the result of the "greedy assignment" algorithm, which is commonly used in industrial settings, an average of 6.2% of the total price is saved, which validated the effectiveness of the proposed method.

Key words: Surface mount technology; Genetic algorithm; System optimization

1 引 言

表面贴装技术(SMT)是把电子元器件贴装到印刷电路板(PCB)或基底表面上的一种电子组装工艺技术。在表面贴装生产线上,贴片机是完成贴装操作的设备,也是生产线上的瓶颈。采用有效的方法对贴装过程进行优化,减少贴片机的贴装时间,是提高生产效率的有效手段。

对贴装过程进行优化是一个复杂的组合优化问题,一般分成两个子问题来解决:一是元器件的取贴顺序问题;二是喂料器的分配问题。对于前者,一些文献把它与 TSP 问题联系起来进行解决^[1,2]。对于后者,文献[1]把它建模成二次分配问题(QAP);也有的文献直接确定一些启发式规则^[2-5],得到一个

比较满意的解。工业生产实践中常用的贪婪分配算法,就属于这种启发式规则方法。此外,还有其他的优化模型^[6]。

本文试尝采用一种新的方法来解决喂料器分配问题。首先给出一个新的优化模型,它以贴转顺序确定后完成整块电路板贴装所花费的时间作为优化目标;然后基于所提出的优化模型,设计了一种遗传算法对该问题进行求解,并对结果进行了比较验证。

2 贴片机工艺简介

本文针对 SONY SE-1000 型贴片机进行研究。贴片机示意图如图 1 所示,它主要包括喂料器、旋转盘和吸头、PCB 等部分。

1) 喂料器:用来盛放各种元器件,安放在贴片

收稿日期: 2004-09-20; 修回日期: 2005-03-07

基金项目: 国家自然科学基金项目(60474051); 上海市科技局重点攻关项目(04DZ11008)

作者简介: 田福厚(1979—),男,河北枣强人,硕士,从事生产调度与优化的研究;李少远(1965—),男,河北枣强人,教授,博士生导师,从事系统优化与控制、生产调度优化等研究。

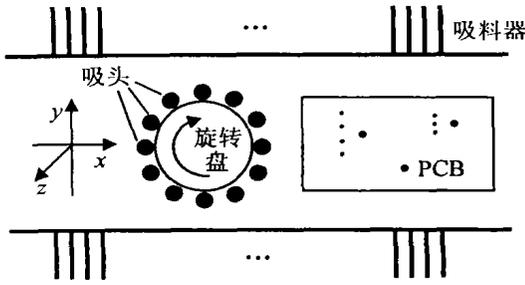


图1 SONY SF-1000型贴片机示意图

机两旁平行的槽中, 每边 40 个, 每个喂料器盛放一种元器件;

2) 转盘和吸头: 可以同时 x, y, z 轴方向运动, 也可以旋转, 上面装有 12 个吸头;

3) PCB: 固定在贴片机某一特定的位置, 图中的黑点表示各个元器件

生产开始前, 根据软件优化的结果, 把喂料器(盛放元器件)分配到机器两边的槽中, 在吸头上装好吸嘴. 生产开始后, 贴片机的贴装过程如下:

- 1) 由输送带把 PCB 送到某一位置;
- 2) 吸取过程: 转盘运动到相应的喂料器上方, 旋转到对应的吸嘴处, 吸取一个零件, 一个吸取过程最多吸取 12 个元器件;
- 3) 贴装过程: 转盘运动到 PCB 上方相应位置, 按照一定的顺序把吸取的元器件贴装到电路板上;
- 4) 根据软件优化的取贴顺序, 不断重复吸取过程和贴装过程, 直到所有的元器件都贴装完毕

3 优化模型

优化各个喂料器的安放位置, 实际上是优化各种元器件的安放位置. 它必须满足两个约束条件: 1) 每种类型的元器件必须放在某个槽中, 并且只能放在一个槽中; 2) 每个槽中只能盛放一种类型的元器件. 于是该优化问题可以表述为: 在贴放顺序已知且满足上面两个条件的前提下, 使贴装完成一块 PCB 所用的时间最短

贴片机从吸取供料架上的元器件到元器件在 PCB 上贴装完毕称为一个取贴循环. 对贴片机一侧的 40 个槽从 1 到 40 依次编号, 并且定义如下符号:

设待贴装的元件总数为 n ; 元件类型总数为 m , $1 \leq m \leq 40$; 定义 $r(i) = k$ 表示元件 i 属于第 k 个取贴循环; 元件 i 的横坐标和纵坐标分别表示为 x_i 和 y_i , 第 k 个取贴循环中元件所占最右边和最左边的槽分别表示为 s_k^r 和 s_k^l ; 元件 i 与元件 $i+1$ 之间的距离为 d , 其含义如式(2)所示; 元件 i 与元件 j , 元件 i 与槽 s , 槽 s 与槽 s , 槽 s 与元件 j 之间的契比雪夫距

离^[7] 分别表示为 $d_{pp}(i, j), d_{ps}(i, s), d_{ss}(s, s), d_{sp}(s, j)$, 如式(3)所示. 增加一个虚元件 0, 规定 $r(0) = 0$, 其位置在 PCB 的右下角. 于是, 贴片机贴装过程的时间模型可表示为

$$\min_{i=0}^{n-1} d_i \quad (1)$$

其中

$$d_i = \begin{cases} d_{pp}(i, i+1), & r(i) = r(i+1); \\ d_{ps}(i, s_{r(i+1)}^r) + d_{ss}(s_{r(i+1)}^r, s_{r(i+1)}^l) + & (2) \\ d_{sp}(s_{r(i+1)}^l, i+1), & r(i) < r(i+1); \end{cases}$$

$$d_{pp}(i, j) = \max\{|x_j - x_i|, |y_j - y_i|\}. \quad (3)$$

上述模型是在一定的合理简化后建立的, 例如忽略吸取和贴装操作的时间, 用总路程代替总时间, 并且只使用机器一侧的 40 个槽, 这些都与实际生产情况相符合

4 遗传算法求解

本文算法中所有参数都是是根据文献[8]中的结论进行优化, 并在仿真过程中对每个参数都作了一定范围的调整. 除了群体规模变小时会使结果变坏外, 其他参数的灵敏性都很小

4.1 编码方法

本文采用一种非常规的符号编码方法, 这种编码方法的每一条染色体都含有 40 个基因, 代表贴片机一侧的 40 个槽. 染色体编码如图 2 所示

-1	-2	-3	-4	3	-5	-6	-7	-8	-9	7
-10	9	2	-11	-12	-13	4	-14	-15	-16	
-17	-18	-19	-20	11	-21	8	-22	-23		
-24	10	-25	5	7	6	-26	-27	-28	-29	

图2 染色体编码

在图 2 中, 每个数字代表一个基因, 从左至右依次填充在没有被占用的位置上. 正数代表元件的类型, 它在染色中的位置代表该元器件摆放的位置; 负数可看作一种虚拟类型的元件, 实际上并不存在

4.2 初始群体的产生

初始群体规模取为 100. 初始群体是随机产生的, 即对每一种类型的元件, 在 40 个槽内随机选择一个作为元件安放的位置. 基本方法是: 首先对每种元件产生一个 $1 \sim 40$ 的随机数, 如果染色体上相应位置的基因没有设置, 则将该处基因设为该随机数, 否则产生下一个随机数, 直到染色体上相应位置上的基因还未设置为止; 每种元件都完成这一过程后, 把染色体上仍未设置的基因从左至右依次设置为从 -1 开始递减的负数, 生成一条新的染色体. 用同样

表 1 两种算法结果比较

PCB 代号	贪婪分配 算法结果	本文方法结果			节省代价 /%	
		初始解	平均	最优解	平均	最优
1	694 53	940 76	622 53	622 53	10 4	10 4
2	2 168 61	3 281 96	2 062 61	2 060 62	4 9	5 0
3	5 662 48	7 691 38	5 333 25	5 300 70	5 8	6 4
4	17 107 26	22 620 82	16 218 32	15 925 88	5 2	6 9
5	15 388 33	22 243 65	14 848 51	14 539 95	3 5	5 5
6	34 611 51	40 436 73	32 035 78	31 565 03	7 4	8 8
6 块 PCB 板平均结果					6 2	7 2

的方法生成 100 条染色体

4.3 基因操作算子

复制过程选取 15% 的淘汰率, 用轮盘法选择复制的个体, 替换掉 15% 最差的个体 变异过程则在每代中随机选择 5% 的个体进行变异 变异方法是随机交换染色体中两个基因的位置

交配过程中用轮盘法选取 50% 的个体进行交配 本文采用顺序一致交配法, 具体如下所示:

父代个体 # 1 =
4 3 8 9 5 2 1 6 7,
父代个体 # 2 =
6 2 9 7 4 3 8 5 1,
随机二进制数 =
0 1 0 1 1 0 0 0 1;

第 2 步之后为

子代个体 # 1 =
- 3 - 9 5 - - - 7,
子代个体 # 2 =
6 - 9 - - 3 8 5 -;
最终结果为
子代个体 # 1 =
6 3 2 9 5 4 8 1 7,
子代个体 # 2 =
6 4 9 2 1 3 8 5 7.

为简化起见, 并没有使用图 2 中的染色体 其过程如下:

- 1) 产生一个与染色体长度相同的随机二进制串;
- 2) 把父代个体 # 1(# 2) 对应二进制串 1(0) 位置处的基因, 拷贝到子代个体 # 1(# 2) 中相同的位置;
- 3) 从左端开始逐个检查父代个体 # 2(# 1) 中的每个基因, 如果它没有出现在第 2 步之后的子代个体 # 1(# 2) 中, 则依次从左至右插入到子代个体 # 1(# 2) 的空缺位置, 得到最终的子代个体

1(# 2).

5 算法实现及运行结果

按照 SONY SE-1 000 型贴片机对输入输出数据的格式要求, 本文编制了优化软件 输入 PCB 数据后, 可以给出喂料器的分配结果 在相同的贴装顺序下, 分别用本文方法和贪婪分配算法来优化喂料器的安放位置, 得到完成一块电路板的贴装所花费的总代价(距离).

用作输入的数据来自皇德公司实际生产中的 PCB 数据 在遗传算法中, 迭代次数取为 1 000 使用遗传算法每次运行得到的结果是不同的, 所以针对每一块 PCB, 给出运行 10 次的统计结果 共对 6 块板子的数据进行比较, 两种方法的比较结果如表 1 所示 其中第 2 列是贪婪分配算法的结果, 第 3 列~ 第 5 列是本文方法运行 10 次的平均初始解、平均结果和最优解, 第 6 列和第 7 列是本文方法比贪婪分配算法节省的代价 表 2 则列出了每块 PCB 板的数据

表 2 6 块 PCB 板数据

PCB 板代号	1	2	3	4	5	6
元件总数	15	38	94	238	301	448
元件总类型数	6	12	17	32	25	39
所用吸嘴类型数	2	2	3	2	3	3

6 结 语

在实际生产中, PCB 的贴装数量是相当大的, 对于一天甚至一年的生产量, 提高的效率是相当可观的 优化算法只需离线运行即可, 没有实时性的要求 本文的算法程序在 Petium III450MHz CPU, 128 M 内存的 PC 机上实现, 对 6 块板子输入数据的运行时间都不超过 1 m in.

本文方法还需要进一步完善, 比如算法中各参数都是可变的, 这会影响算法的收敛速度和结果 另外, 本文是在元件贴装顺序已定的情况下来优化喂料器的摆放, 如果喂料器摆放位置一定, 则优化元件的贴装顺序也是提高效率的一个方面

(下转第 960 页)

法所训练的神经网络的优劣

3 结 论

研究结果表明,复合适应度微粒群算法所训练的网络,无论是对训练集还是对测试集,所得到的均方误差都最小,说明复合适应度微粒群算法训练网络的效果最好,网络在测试集上的均方误差与在训练集上的均方误差最接近,在一定程度上解决了所训练网络存在的过度拟合问题.在训练求解分类和函数逼近问题的神经网络时,采用复合适应度微粒群算法所训练的网络所达到的精度和泛化能力,要优于梯度算法、遗传算法和常规微粒群算法.

参考文献(References)

- [1] 张德贤. 基于输出误差与偏导数误差信息融合的神经网络训练[J]. *计算机工程与应用*, 2002, 24(8): 55-57.
(Zhang D X. A New Approach for the Training of Feedforward Neural Network Based on the Information Merging of Output Errors and Derivative Errors[J]. *Computer Engineering and Applications*, 2002, 24(8): 55-57.)
- [2] Coelho C A, Pulido G T, Lechuga M S. Handling Multiple Objectives with Particle Swarm Optimization[J]. *IEEE Trans on Evolutionary Computation*, 2004, 8(3): 256-279.
- [3] Naka S, Genji T, Yura T, et al. A Hybrid Particle

Swarm Optimization for Distribution State Estimation[J]. *IEEE Trans on Power Systems*, 2003, 18(1): 60-68.

- [4] Kassabalidis I N, Sharkawi M A, Marks R J, et al. Dynamic Security Border Identification Using Enhanced Particle Swarm Optimization[J]. *IEEE Trans on Power Systems*, 2002, 17(3): 723-729.
- [5] Parsopoulos K E, Vrahatis M N. On the Computation of All Global Minimizers through Particle Swarm Optimization[J]. *IEEE Trans on Evolutionary Computation*, 2004, 8(3): 211-224.
- [6] Wachowiak M P, Smolikova R, Zheng Y, et al. An Approach to Multimodal Biomedical Image Registration Utilizing Particle Swarm Optimization[J]. *IEEE Trans on Evolutionary Computation*, 2004, 8(3): 289-301.
- [7] Boeringer D W, Werner D H. Particle Swarm Optimization Versus Genetic Algorithms for Phased Array Synthesis[J]. *IEEE Trans on Antennas and Propagation*, 2004, 52(3): 771-779.
- [8] Vanden Bergh F, Engelbrecht A P. A Cooperative Approach to Particle Swarm Optimization[J]. *IEEE Trans on Evolutionary Computation*, 2004, 8(3): 225-239.
- [9] Robinson J, Rahmat Samii Y. Particle Swarm Optimization in Electromagnetics[J]. *IEEE Trans on Antennas and Propagation*, 2004, 52(2): 397-407.

(上接第 957 页)

参考文献(References)

- [1] Or I, Demirkol E. Optimization Issues in Automated Production of Printed Circuit Boards: Operations Sequencing and Feeder Configuration Problems[A]. *ETFA '95 Proc[C]*. Paris, 1995: 479-487.
- [2] Lee S H, Lee B H, Park T H. A Hierarchical Method to Improve the Productivity of a Multi-head Surface Mounting Machine[A]. *Proc of the 1999 IEEE Int Conf on Robotics and Automation[C]*. Detroit, 1999: 2110-2115.
- [3] Hong J M, Lee S H, Kim D W, et al. An Algorithmic Approach to the Improvement of Efficiency for Surface Mounting Machines[A]. *IEEE Int Conf on Robotics and Automation[C]*. Nagoya, 1995: 806-811.
- [4] Jinhyeon S, Sungsoo P. Efficient Operation of a Surface Mounting Machine with a Multihead Turret[J]. *Int J Production Research*, 1996, 34(4): 1131-1143.
- [5] 曾又姣, 严隽琪. 贴片机贴装印刷电路板中供料器的分配问题[J]. *上海交通大学学报*, 2003, 37(11): 1719-

1722

(Zeng Y J, Yan J Q. Feeder Assignment Problem of Placement Machine Assembling Printed Circuit Board[J]. *J of Shanghai Jiaotong University*, 2003, 37(11): 1719-1722.)

- [6] Aristides D, Peter C N, Thomas M T. Optimization of High-mix Printed Circuit Card Assembly Using Genetic Algorithms[J]. *Annals of Operations Research*, 1997, 75(1): 303-324.
- [7] Peter C, Thomas M T, Peter C N. Optimization of a High-speed Placement Machine Using Tabu Search Algorithms[J]. *Annals of Operations Research*, 2000, 96(1): 125-147.
- [8] 邢文训, 谢金星. *现代优化计算方法*[M]. 北京: 清华大学出版社, 1999.
(Xing W X, Xie J X. *Advanced Optimization Algorithms*[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 1999.)