

doi:10.11835/j.issn.1000-582X.2021.211

拱架式贴片机贴装路径优化

彭乾伟, 曹乐, 万婷婷, 王浪, 徐施恒, 李欣怡

(重庆大学机械与运载工程学院, 重庆 400030)

摘要: 贴片机工作时贴装头需在喂料器与印刷电路板之间频繁移动, 缩短贴装头移动距离是提高贴装效率的重要途径。对多头拱架式贴片机贴装路径优化问题进行研究, 分析贴装头沿喂料器移动取料时贴装路径变化, 建立贴装头移动距离表达式。以贴装头移动距离最小为目标建立贴装路径优化模型, 以贴装位置编号对取贴顺序编码, 利用遗传算法对取贴顺序和取料方向进行优化。分析不同取料方式下贴装路径差异和结构特点, 结果表明: 双向取料与近侧取料在贴装点位置分布偏于 PCB 单侧较多时出现结构性差异, 采用双向取料可获得比近侧取料更短的贴装路径, 更利于提高贴装效率。

关键词: 贴装路径; 优化模型; 双向取料; 遗传算法

中图分类号: TH166; TP18

文献标志码: A

文章编号: 1000-582X(2022)09-051-10

Optimization of mounting path for arch style mounting machine

PENG Qianwei, CAO Le, WAN Tingting, WANG Lang, XU Shiheng, LI Xinyi

(College of Mechanical and Vehicle Engineering, Chongqing University, Chongqing 400030, P. R. China)

Abstract: The mounting head needs to move frequently between the feeder and the printed circuit board when the mounting machine works. Shortening the moving distance of the mounting head is an important way to improve the mounting efficiency. Optimization of the mounting path for arch style mounting machine is studied. Variation of the mounting path that the mounting head moves along the feeder is analyzed, and the formula of moving distance is proposed. An optimization model is established with the goal of minimizing moving distance of the mounting head. The sequence of pick-and-place is coded by component mounting positions, and a genetic algorithm is used to optimize the sequence of pick-and-place as well as the moving direction of the mounting head. The differences and characteristics of the mounting path corresponding to different picking up methods is analyzed. The results show that there are significant differences between two-way and near side picking up especially when the distribution of points is more on one side of PCB. A shorter mounting path can be obtained by two-way picking up than by near side picking up. Therefore the two-way picking up is more useful to improve mounting efficiency.

Keywords: mounting path; optimization model; two-way picking; genetic algorithm

收稿日期: 2021-03-18 **网络出版日期:** 2021-05-20

基金项目: 工信部智能制造资助项目(Z20190221); 重庆市科学技术局资助项目(cstc2020jscx-msxmX022)。

Supported by Intelligent Manufacturing Project of the Ministry of Industry and Information Technology (Z20190221) and Chongqing Science and Technology Bureau Project (cstc2020jscx-msxmX022).

作者简介: 彭乾伟(1996-), 男, 硕士研究生, 主要从事智能制造技术研究, (E-mail) 201907021022@cqu.edu.cn。

通信作者: 曹乐, 男, 副教授, 主要从事复杂制造系统建模与仿真分析研究, (E-mail) lecao@cqu.edu.cn。

表面贴装技术(surface mounted technology, SMT)是将电子元件贴焊到印制电路板表面的电子装联技术,是当今电子产品生产的主流技术。表面贴装生产一般包含锡膏印刷、贴片、光学检测及回流焊等工序,贴片工序位于锡膏印刷之后,对 SMT 生产效率影响最大^[1]。贴片机工作时,其贴装头需在喂料器与印制电路板(printed circuit board, PCB)之间频繁移动,移动距离越长,贴片工序消耗时间就越多。因此,优化贴装路径对提高贴片效率非常重要^[2]。

元件取贴顺序与贴装路径关联紧密,优化取贴顺序是贴装路径优化的重要内容。文献[3]研究了喂料器位置已知条件下元件取贴顺序优化问题,设计了优化取贴顺序的遗传算法。文献[4]设计了一种面向单头贴片机元件取贴顺序优化的遗传算法,比较了不同交叉概率和交叉类型下的贴装总路径,认为顺序交叉可得到较好的取贴顺序。文献[5]对元件取贴顺序和喂料器布置进行优化,设计了基于模拟退火的元件取贴顺序优化算法。文献[6]研究了不同元件排列方式下取贴顺序优化问题,针对线性排列的 LED 提出了一种构造启发式方法寻找最优取贴顺序;针对圆形排列的 LED 设计了一种聚类启发式方法优化取贴顺序。文献[7]将基于离散弗雷切特距离的曲线匹配方法与进化算法结合,提出了一种新的元件取贴顺序优化方法。

合理分配喂料器也能缩短贴装路径^[8-9]。不少研究者把元件取贴顺序与喂料器分配结合起来进行研究。文献[10]以转塔式贴片机为研究对象,设计了粒子群算法对喂料器位置和贴装顺序进行优化。文献[11]将贴装优化问题转化为多车辆路径问题,设计了一种混合遗传算法优化喂料器分配。文献[12]采用运算符描述贴装过程,设计了一种改进的蜂群算法对元件取贴顺序与喂料器分配进行组合优化。文献[13]将局部搜索与整数规划相结合,提出了一种两阶段方法对元件取贴顺序和喂料器分配进行组合优化。此外,一些研究者还设计了分层混合蛙跳、蜘蛛猴算法等对元件取贴顺序与喂料器分配进行组合优化^[14-15]。

当贴装元件类型较多时,频繁更换吸嘴也会影响贴装效率^[16]。文献[17]将吸嘴更换、喂料器分配与元件取贴顺序结合起来进行优化,建立了一个两阶段混合整数线性规划模型。文献[18]设计了一种基于最近邻域的禁忌搜索算法对取贴顺序、吸嘴更换以及喂料器位置进行优化。文献[19]以贴装头移动距离最短为优化目标,设计了一种最小准则遗传算法,对取贴顺序、喂料器和吸嘴分配进行优化。

贴装路径优化属 NP 难问题,研究者在贴装路径优化方面已开展了大量研究,提出了基因遗传、粒子群、蜘蛛猴、混合蛙跳等诸多优化方法,这些研究以取贴顺序优化为主,考虑了喂料器分配、吸嘴更换等因素对贴装路径的影响,但较少对取料方向进行优化。实际贴装过程中,贴装头有时需沿喂料器移动取料,移动方向变化会引起路径差异。因此,有必要在优化取贴顺序的同时优化取料方向。笔者以多头拱架式贴片机为对象,分析取料方向引起的贴装路径差异,建立路径优化模型对取贴顺序和取料方向进行优化,并分析不同取料方式下最优贴装路径的特点。

1 模型建立

拱架式贴片机广泛应用于 SMT 表面贴装生产线。图 1 为拱架式贴片机取贴示意图,贴装头位于拱架式贴片机横梁下方,不同类型吸嘴可吸取不同种类元件,贴装头沿 X、Y 方向移动至贴装坐标点后,吸嘴释放元件于坐标点对应的 PCB 贴片位置。贴装前,贴装头移动至喂料器吸取要贴装的元件,再从喂料器依次移动至 PCB 贴片位置处,元件贴放完成后,贴装头从最后一个坐标点返回喂料器,继续吸取下一轮贴片元件。贴装头重复以上过程直至元件贴装完毕。

不考虑更换吸嘴的情况下,拱架式贴片机贴装头移动距离主要包括:1)贴装头从上一取贴循环结束位置移动至喂料器的距离;2)贴装头在喂料器上取料时移动的距离;3)取料完成后贴装头移动至下一取贴循环首个贴装位置的距离;4)贴装头在不同贴装位置之间移动的距离。

当喂料器元件间距与贴装头吸嘴间距相等时,贴装头无需在喂料器上移动即可吸满所需元件。当元件间距与贴装头吸嘴间距不等时,贴装头一般需要沿喂料器移动才能吸取所需元件,主要讨论后一种情况下贴装头的移动路径。

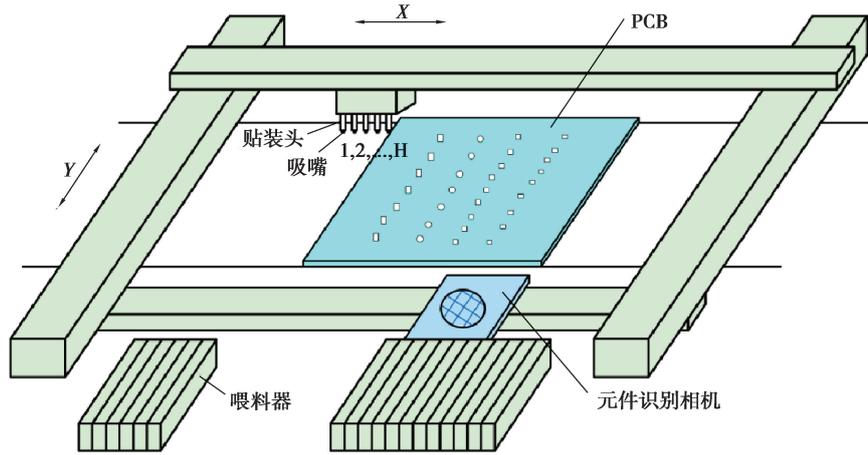


图 1 拱架式贴片机取贴示意图

Fig. 1 Pick-and-place diagram of arch mounter

1.1 贴装头返回方式

图 2 所示拱架式贴片机设置 4 个吸嘴,每次循环均从喂料器 A、B、C、D 吸取元件。PCB 上 8 个贴装位置分布于基板中线两侧,其中 1、5 位置贴装喂料器 A 中元件,2、6 位置贴装喂料器 B 中元件,3、7 位置贴装喂料器 C 中元件,4、8 位置贴装喂料器 D 中元件。设定第一轮贴装顺序为 1—2—3—4,第二轮贴装顺序为 5—6—7—8。

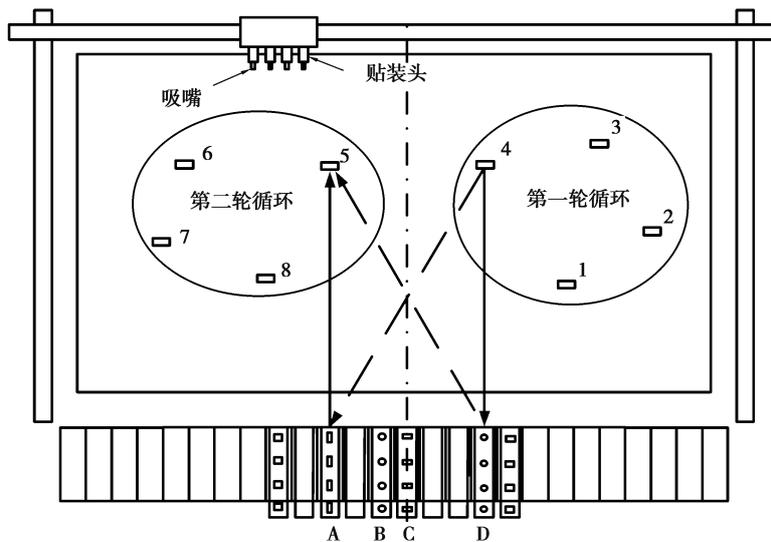


图 2 贴装头从近侧返回喂料器取料

Fig. 2 The placement head returns to the feeder from the near side to pickup components

第一轮 4 个元件贴装完成后,贴装头位于 PCB 位置 4 上方,从位置 4 返回喂料器取料有 2 种方式。第一种是从位置 4 返回喂料器 D,再沿 DA 方向移动并完成取料,然后从喂料器 A 移动至位置 5 开始第二轮贴装,此时贴装头移动路径如图 2 实线所示;第二种是贴装头从位置 4 返回喂料器 A,再沿 AD 方向移动并完成取料,然后从喂料器 D 移动至位置 5,此时贴装头的移动路径如图 2 中虚线所示。

2 种取料方式下贴装头移动距离存在差异,针对图 2 设定的取贴顺序,显然近侧取料(返回喂料器 D)时贴装头在 2 次贴装循环之间的移动距离比远侧取料(返回喂料器 A)时贴装头的移动距离短,从减少贴装头移动距离角度考虑,近侧取料优于远侧取料。

图 3 所示 2 轮取贴循环中 8 个贴装位置均位于 PCB 中线同侧,其中 1、5 位置贴装喂料器 A 中元件,2、6 位置贴装喂料器 B 中元件,3、7 位置贴装喂料器 C 中元件,4、8 位置贴装喂料器 D 中元件。设定第一轮贴装

顺序为 1—2—3—4, 第二轮贴装顺序为 5—6—7—8。第一轮贴装完成后, 贴装头位于图 3 中 PCB 位置 4。

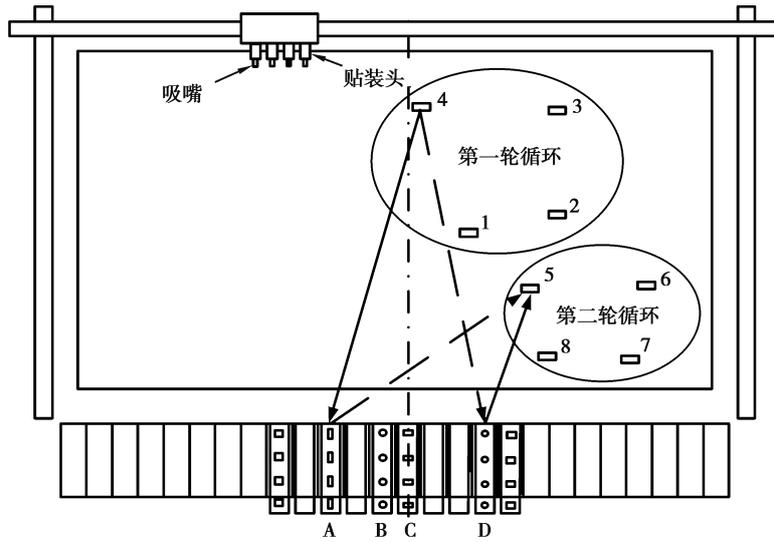


图 3 贴装头从远侧返回喂料器取料

Fig. 3 The placement head returns to the feeder from the far side to pickup components

根据近侧取料原则, 贴装头将从位置 4 返回喂料器 D, 再沿 DA 方向移动并完成取料, 然后从喂料器 A 移动至位置 5 开始第二轮贴装, 此时贴装头移动路径如图 3 中虚线所示。如果从远侧返回喂料器, 此时贴装头将从位置 4 返回喂料器 A, 再沿 AD 方向移动并完成取料, 然后从喂料器 D 移动至贴片位置 5 开始第二轮贴装, 此时贴装头移动路径如图 3 中实线所示。

根据三角关系分析可知, 实线所示贴装头移动路径长度小于虚线所示移动路径长度, 说明从远侧返回喂料器 A 时贴装头在 2 次取贴循环之间的移动距离比从近侧返回喂料器 D 时贴装头的移动距离短。从减少贴装头移动距离角度考虑, 图 3 所示贴装顺序下, 远侧取料优于近侧取料。

上述分析可以看出, 取料方向对贴装头移动距离有显著影响, 路径优化不仅要优化取贴顺序, 还应优化贴装头返回喂料器取料方向。

1.2 取料方向选择

多轮取贴循环中, 近侧取料并非都是最佳选择。本节研究多轮取贴循环中, 贴装头返回喂料器取料方向的优化问题。

令 i 表示取贴顺序编号, L_i 表示顺序 i 对应的贴装位置, L_{i+1} 表示位置 L_i 与 L_{i+1} 之间的直线距离, d_i^{i+1} 表示贴装头从位置 L_i 移动至 L_{i+1} 的贴装距离。

当贴装位置 L_i 和 L_{i+1} 处于同一取贴循环时, 有

$$d_i^{i+1} = L_{i+1} \quad (1)$$

当贴装位置 L_i 和 L_{i+1} 处于不同取贴循环时, 位置 L_i 与 L_{i+1} 之间的贴装距离 d_i^{i+1} 由 3 部分构成, 分别是贴装头从位置 L_i 返回喂料器的距离 d_F^i , 贴装头在喂料器上移动的距离 d_f^f , 以及贴装头离开喂料器移动至贴片位置 L_{i+1} 的距离 d_P^{i+1} 。即:

$$d_i^{i+1} = d_F^i + d_f^f + d_P^{i+1} \quad (2)$$

d_F^i 和 d_P^{i+1} 取值与贴装头返回喂料器取料方向有关。以图 2 为例, 当贴装头返回喂料器 A 取料时有: $d_F^i = d_A^i$, $d_P^{i+1} = d_D^{i+1}$ 。此时, $d_i^{i+1} = d_A^i + d_f^f + d_D^{i+1}$ 。当贴装头返回喂料器 D 取料时有: $d_F^i = d_D^i$, $d_P^{i+1} = d_A^{i+1}$ 。此时, $d_i^{i+1} = d_D^i + d_f^f + d_A^{i+1}$ 。

为方便对贴装头返回喂料器取料进行描述, 按 d_i^{i+1} 最小化所确定的贴装头返回方式称为双向取料, 按 d_F^i 最小化所确定的贴装头返回方式称为近侧取料。

1.3 路径优化模型

影响贴片机贴片效率的主要因素一般包括元件吸取和贴放时间、吸嘴更换时间以及贴装头移动时间等。

元件吸取和贴放时间一般与贴装元件数量成正比。当元件数量和位置确定后,元件吸取和贴放时间可以确定。此时,影响贴片效率的主要因素即为吸嘴更换时间和贴装头移动时间。假定取贴循环中贴装头移动速度不发生改变,贴装过程无需更换吸嘴,最后一次取贴循环之外的每轮取贴循环都取满元件。此时,贴装效率优化问题转化为贴装头移动路径优化问题。

由式(1)和式(2)可计算各贴装点之间的贴装距离。 L_0 为贴装头初始位置, L_0 到 L_1 的贴装距离由式(2)计算。 d_i^f 变化较小,为便于计算假定 d_i^f 不随取贴循环而变化。

设定贴装位置 L_i 数量为 N , d_i^{i+1} 为位置 L_i 与 L_{i+1} 之间的贴装距离。令 $t(i)$ 表示贴装位置 L_i 所在的贴装循环, D 为贴装头移动总距离,此时优化模型的目标函数为:

$$\min f = \min D. \tag{3}$$

其中,

$$D = \sum_{i=0}^{N-1} d_i^{i+1}. \tag{4}$$

优化模型约束条件为:

$$d_i^{i+1} = \begin{cases} L_i^{i+1}, t(i) = t(i+1), \\ \min(d_i^f + d_f^f + d_p^{i+1}), t(i) \neq t(i+1). \end{cases} \tag{5}$$

优化问题的目标是寻找最优贴装序列,使贴装头移动总距离最小。式(3)为优化模型的目标函数;约束条件(5)表示当位置 L_i 与 L_{i+1} 位于同一取贴循环时,贴装距离 d_i^{i+1} 等于 L_i 与 L_{i+1} 之间的直线距离,当位置 L_i 与 L_{i+1} 位于不同取贴循环时,贴装距离 d_i^{i+1} 由式(2)计算,贴装头返回喂料器方向由贴装距离 d_i^{i+1} 的最小值决定。

2 模型求解算法设计

2.1 遗传编码

遗传算法是求解大规模复杂问题的有效手段,采用遗传算法对路径优化问题进行求解。以贴装位置编号对取贴顺序进行编码,能够保证一个染色体对应一组可行解,不会出现非法解,染色体中编号代表的位置和顺序即为对应位置的贴装顺序,贴装头返回喂料器方向由贴装距离 d_i^{i+1} 的最小值决定。

假设贴装头采用单排 4 吸嘴,喂料器提供 1、2、3、4 共 4 类元件,分别布置于图 3 所示 A、B、C、D 处。图 4 为 12 个贴装位置对应的一条染色体编码,图 5 所示为解码得到的贴装序列。由图 5 可知,第 1 轮贴装循环吸取的 4 个元件按先后顺序分别贴装于位置 2、12、3、6,位置对应的元件类型分别为 1、4、2、3;第 2 轮贴装循环吸取的 4 个元件按顺序分别贴装于位置 7、9、10、8,位置对应的元件类型分别为 1、2、4、3;第 3 轮贴装循环时吸取的 4 个元件按先后顺序分别贴装于位置 4、5、1、11,位置对应的元件类型分别为 1、4、2、3。PCB 板上 12 个位置经过 3 轮取贴循环即可全部贴装完成。

位置编号	2	12	3	7	9	4	10	5	6	8	1	11
元件类型	1	4	2	1	2	1	4	4	3	3	2	3

图 4 12 个贴装位置的染色体编码

Fig. 4 Chromosome coding for 12 placement positions

	第1个取贴循环				第2个取贴循环				第3个取贴循环			
位置编号	2	12	3	6	7	9	10	8	4	5	1	11
元件类型	1	4	2	3	1	2	4	3	1	4	2	3

图 5 解码得到的贴装序列

Fig. 5 Decoded placement sequence

2.2 遗传操作

采用锦标赛法对种群进行选择,假设每代种群数为 M ,每次从父代中随机选择 $50\% \sim 60\%$ 的个体,保留适应度最高的个体进入子代并重复上述操作 $M-1$ 次,再保留父代中适应度最高的个体,迭代过程中种群数量保持不变。

如图 6 所示将父代样本进行两两分组,采用部分映射法对两位置之间的数据进行交叉。该交叉方式所产生个体可能存在冲突,采用部分映射法消除子代个体冲突。图 7 中子代 1 个体中 3 和 9 均出现了 2 次,因此将子代个体中未交叉部分的重复基因 3~5 和 9~7 在 2 子代个体中相应交换。

采用交换变异法在父代个体中随机选取 2 个位置进行交换。交叉和变异使贴装顺序优化问题搜索空间扩大,算法搜索能力得到飞跃提升。

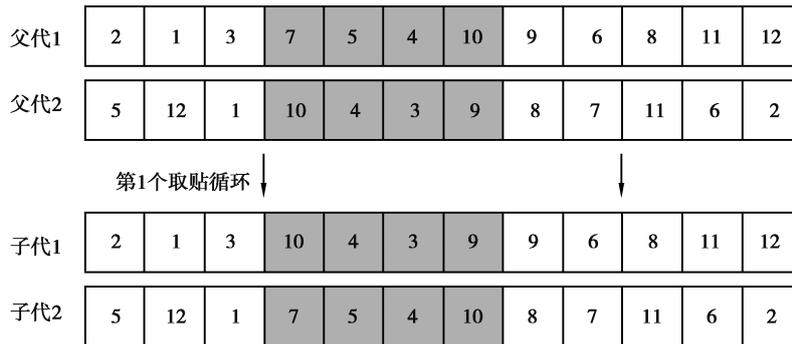


图 6 贴装次序交叉示意图

Fig. 6 Schematic diagram of placement sequence cross

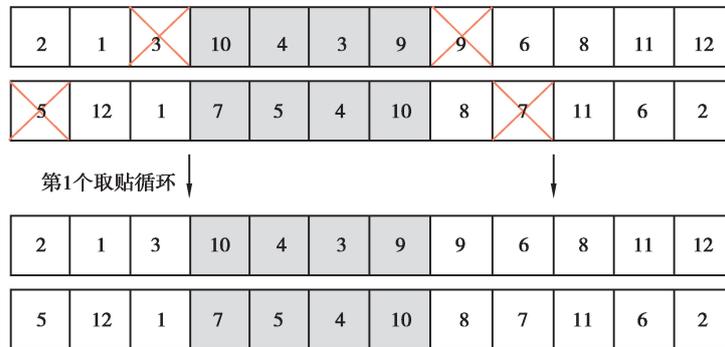


图 7 消除交叉产生的冲突

Fig. 7 Conflicts caused by eliminating crossover

2.3 算法步骤

通过染色体编码将贴装序列用串结构数据表示,染色体编码仅决定元件的贴放顺序,元件拾取顺序由取料方向确定,根据解码规则一条染色体对应一个贴装序列,由拾取和贴放顺序可计算出个体的适应度,个体适应度越高则对应的贴装路径长度越短,通过选择、交叉、变异等运算改变染色体信息以寻找最优的贴装序列。算法具体步骤如下:

步骤 1: 参数初始化,包括元件数量 N 、坐标、类型,喂料器给定位置,贴装头数量 H ,遗传算子概率,种群规模 M ,迭代次数 T 等。

步骤 2: 采用随机初始化方法产生初始种群。

步骤 3: 计算适应度,由 2.1 节中解码规则得到贴装序列,由约束条件 $d_i^{i+1} = \min(d_p^i + d_f^f + d_p^{i+1})$ 得到返

回喂料器的方向,由式(4)计算种群中每个个体的总贴装距离,根据优化目标(3)将贴装距离取倒数作为个体适应度,适应度值大则对应贴装距离更短。

步骤4:从种群中随机选择 $0.5 \times M$ 数量的个体,保留适应度最高的个体进入子代种群,重复该操作 $M-1$ 次,再保留所有个体中适应度最高的个体进入子代。

步骤5:将相邻个体按交叉概率进行部分映射交叉产生新个体。

步骤6:种群中个体按变异概率进行单点变异。

步骤7:判断迭代次数是否大于 T ,若为真则结束迭代,输出最优个体编码及路径长度,画贴装路径图;若为假则跳转步骤3。

3 实验结果分析

3.1 位置均衡度

由第2节分析可知,贴装点的位置分布影响贴装头返回喂料器的取料方向。为便于分析,引入位置均衡度 K 表示贴装点位置分布特性,以 PCB 中心线将贴装位置分为左右两部分,定义位置均衡度 K 为数量较多一侧的贴装位置数与 PCB 总贴装位置数之比,则 K 值偏离 0.5 越多,代表贴装点位置分布越不均衡。图2所示 PCB 共有 8 个贴装点,中心线两侧贴装位置数量均为 4,故其位置均衡度 $K=0.5$;图3所示 PCB 的 8 个贴装位置点全部位于 PCB 中心线一侧,则其位置均衡度 $K=1$ 。

3.2 结果分析

以单排 4 吸嘴多头拱架式贴片机为例,假定贴装过程无需更换吸嘴,贴装头需沿喂料器移动才能吸满元件。依据 PCB 元件位置均衡度、元件数量和类型设计 15 组实验,元件贴放位置和位置所对应的元件类型由系统随机生成。表1设计的 8 组实验中 PCB 贴装点位置分布近似均衡,表2设计的 7 组实验中贴装点位置分布偏向 PCB 单侧。

设置遗传算法种群数为 150,交叉概率 0.9,变异概率 0.1,每个实验序号进行 10 次随机优化实验,贴装总路径取 10 次随机优化结果的平均值。双向取料时,贴装头按 d_{i+1}^i 最小化原则选择返回喂料器方向;近侧取料时,贴装头按 d_F^i 最小化原则选择返回喂料器方向。

表1 贴装点位置分布近似均衡时的最优贴装路径

Table 1 Optimal placement path when points are approximately evenly distributed

实验序号	元件个数	元件类型数	位置均衡度 K	贴装总路径长度/mm		改善量 $\left(\frac{D_n - D_b}{D_n} \times 100\%\right)$
				近侧取料 D_n	双向取料 D_b	
1	43	1	0.58	6 712	6 667	0.68
2	43	2	0.58	7 338	7 419	-1.11
3	43	3	0.53	7 720	7 716	0.06
4	43	4	0.65	8 584	8 511	0.86
5	87	1	0.55	13 233	13 226	0.05
6	87	2	0.54	14 478	14 433	0.31
7	87	3	0.51	14 687	14 706	-0.13
8	87	4	0.52	15 508	15 387	0.78

表 2 贴装点位置偏向单侧时的最优贴装路径

Table 2 Optimal placement path when points are more on to one side

实验 序号	元件 个数	元件 类型数	位置均 衡度 K	贴装总路径长度/mm		改善量 $\left(\frac{D_n - D_b}{D_n} \times 100\%\right)$
				近侧取料 D_n	双向取料 D_b	
9	43	1	0.86	6 828	6 820	0.13
	43	1	0.95	6 619	6 516	1.56
10	43	2	0.86	6 844	6 807	0.54
	43	2	1.00	7 242	7 182	0.83
11	87	1	0.85	13 677	13 390	2.09
	87	1	0.94	13 954	13 674	2.01
12	87	4	0.85	15 349	15 315	0.22
	87	4	0.94	14 943	14 704	1.60
13	92	3	0.85	15 317	15 306	0.07
	92	3	0.95	15 163	15 116	0.31
14	100	2	0.85	15 379	15 368	0.07
	100	2	0.95	14 921	14 778	0.96
15	120	4	0.85	20 146	19 934	1.05
	120	4	0.95	20 501	20 231	1.32

表 1 所示的 8 组实验为 PCB 贴装点位置分布近似均衡时的路径优化结果,2、7 实验中近侧取料的路径长度略小于双向取料,其余实验中近侧取料路径长度略大于双向取料。数据显示当贴装点位置分布近似均衡时,双向取料与近侧取料最优路径长度差异不明显。

表 2 所示的 7 组实验为贴装点位置偏于 PCB 单侧较多时的路径优化结果,所有 7 组实验中双向取料的路径长度均小于近侧取料的路径长度。贴装总路径最大改善量为 2.09,最小改善量为 0.07。贴装总路径长度数据显示,当贴装点位置偏于 PCB 单侧较多时,双向取料可获得比近侧取料更短的贴装路径,因而双向取料更利于提高贴装效率。

图 8(a)、图 8(b)所示为位置均衡度 $K=0.55$ 时的贴装路径,路径旁边的数字代表取贴循环顺序,近侧取料优化得到的贴装路径如图 8(a)所示,贴装路径呈现“U”型结构;双向取料优化得到的贴装路径如图 8(b)所示,贴装路径亦呈现“U”型结构。尽管取料方式下取贴顺序完全不同,但贴装路径均呈现“U”型结构。

图 8(c)、图 8(d)所示为位置均衡度 $K=0.94$ 时的贴装路径,近侧取料优化得到的贴装路径如图 8(c)所示,贴装路径呈现斜“O”型结构;双向取料优化得到的贴装路径如图 8(d)所示,贴装路径呈现斜“U”型结构。在贴片位置点相同情况下,贴装路径出现结构性差异。

当贴装点位置分布近似均衡时,近侧取料与双向取料的最优路径结构相似。当贴装点位置分布偏于 PCB 单侧较多时,近侧取料最优贴装路径由“U”型转变为“O”型结构,路径结构发生变化;而双向取料最优贴装路径由“U”型转变为斜“U”型结构,路径结构未发生根本变化。上述分析说明双向取料适应性优于近侧取料方式。

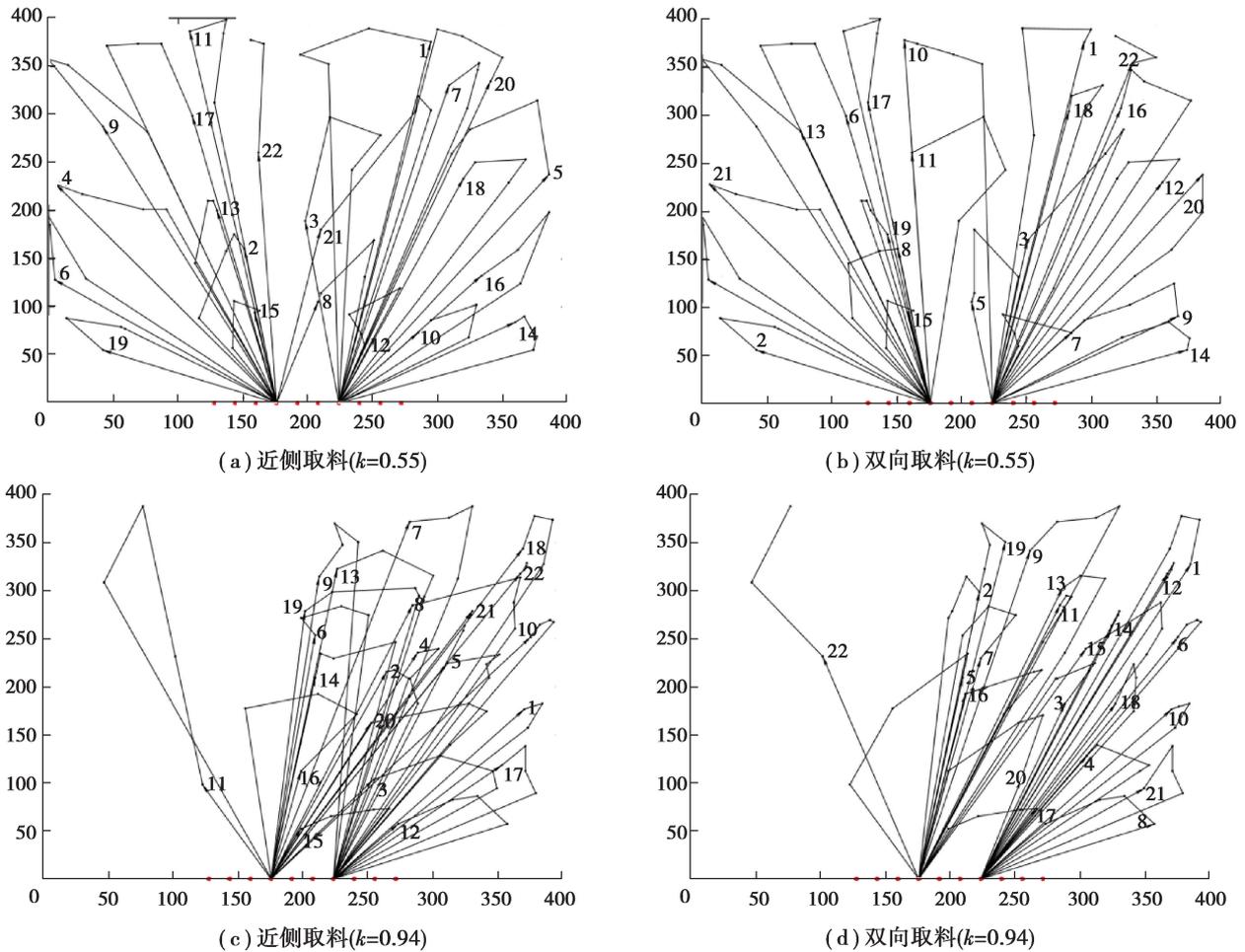


图 8 2 种取料策略下的贴装路径对比

Fig. 8 Comparison of placement paths under two feeding strategies

4 结 论

拱架式贴片机工作时贴装头需在喂料器与印刷线路板之间频繁移动,缩短贴装头移动距离是提高贴装效率的重要途径。以多头拱架式贴片机为对象,分析贴装头取料方向变化引起的贴装路径差异,以贴装头移动距离最小为目标建立贴装路径优化模型对取贴顺序和取料方向进行优化。分析不同取料方式的贴装路径差异,结果表明:

- 1) PCB 贴装点位置分布近似均衡时,双向取料和近侧取料最优路径均呈“U”型结构,路径长度差异不大
- 2) 贴装点位置分布偏于 PCB 单侧较多时,双向取料最优路径呈斜“U”型结构,近侧取料最优路径呈斜“O”型结构,贴装路径出现结构性差异
- 3) 贴装点位置分布偏于 PCB 单侧较多时,采用双向取料可获得比近侧取料更短的贴装路径,更利于提高贴装效率。

参考文献:

[1] Lin H Y, Lin C J, Huang M L. Optimization of printed circuit board component placement using an efficient hybrid genetic algorithm[J]. Applied Intelligence, 2016, 45(3): 622-637.

[2] Wang W, Nelson P C, Tirpak T M. Optimization of high-speed multistation SMT placement machines using evolutionary algorithms[J]. IEEE Transactions on Electronics Packaging Manufacturing, 2015, 22(2):137-146.

- [3] Lin W Q, Zhu G Y. A genetic optimization approach to optimize the multi-head surface mount placement machine[C]// Intelligent Robotics & Applications, First International Conference. DBLP, 2008:1003-1012.
- [4] Hardas C S, Doolen T L, Jensen D H. Development of a genetic algorithm for component placement sequence optimization in printed circuit board assembly[J]. Computers & Industrial Engineering, 2008, 55(1): 165-182.
- [5] Alkaya A F, Duman E. Combining and solving sequence dependent traveling salesman and quadratic assignment problems in PCB assembly[J]. Discrete Applied Mathematics, 2015, 192: 2-16.
- [6] Luo J X, Liu J Y. An MILP model and clustering heuristics for LED assembly optimisation on high-speed hybrid pick-and-place machines[J]. International Journal of Production Research, 2014, 52(4): 1016-1031.
- [7] Zhu G Y, Ju X W, Zhang W B. Multi-objective sequence optimization of PCB component assembly with GA based on the discrete Fréchet distance[J]. International Journal of Production Research, 2018, 56(11): 4017-4034.
- [8] García-Nájera A, Brizuela C A, Martínez-Pérez I M. An efficient genetic algorithm for setup time minimization in PCB assembly[J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2015, 77(5/6/7/8): 973-989.
- [9] Han J, Seo Y. Mechanism to minimise the assembly time with feeder assignment for a multi-headed gantry and high-speed SMT machine[J]. International Journal of Production Research, 2017, 55(10): 2930-2949.
- [10] Hsu H P. Solving feeder assignment and component sequencing problems for printed circuit board assembly using particle swarm optimization[J]. IEEE Transactions on Automation Science and Engineering, 2017, 14(2): 881-893.
- [11] Guo S J, Geng F, Takahashi K, et al. A MCVRP-based model for PCB assembly optimisation on the beam-type placement machine[J]. International Journal of Production Research, 2019, 57(18): 5874-5891.
- [12] Castellani M, Otri S, Pham D T. Printed circuit board assembly time minimisation using a novel bees algorithm[J]. Computers & Industrial Engineering, 2019, 133: 186-194.
- [13] Gao J S, Zhu X M, Liu A B, et al. An iterated hybrid local search algorithm for pick-and-place sequence optimization [J]. Symmetry, 2018, 10(11): 633.
- [14] 臧明相, 杜鑫, 李斌. 基于分层混合蛙跳的多头贴片机贴装调度算法[J]. 计算机集成制造系统, 2013, 19(11): 2847-2853.
- Zang M X, Du X, Li B. Multi-head surface mounting machine scheduling based on layered shuffled frog-leaping algorithm [J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2013, 19(11): 2847-2853.(in Chinese)
- [15] Wang Z Y, Mumtaz J, Zhang L, et al. Application of an improved Spider Monkey Optimization algorithm for component assignment problem in PCB assembly[J]. Procedia CIRP, 2019, 83: 266-271.
- [16] Li D B, He T, Yoon S W. Clustering-based heuristic to optimize nozzle and feeder assignments for collect-and-place assembly[J]. IEEE Transactions on Automation Science and Engineering, 2019, 16(2): 755-766.
- [17] Luo J X, Liu J Y, Hu Y M. An MILP model and a hybrid evolutionary algorithm for integrated operation optimisation of multi-head surface mounting machines in PCB assembly[J]. International Journal of Production Research, 2017, 55(1): 145-160.
- [18] Li D B, Yoon S W. PCB assembly optimization in a single gantry high-speed rotary-head collect-and-place machine[J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2017, 88(9/10/11/12): 2819-2834.
- [19] 武洪恩, 王凯, 倪良月. 最小准则遗传算法求解贴片机贴装调度问题[J]. 现代制造工程, 2020(3):14-20.
- Wu H E, Wang K, Ni L Y. Minimal criterion genetic algorithm for multi-head surface mounting machine scheduling [J]. Modern Manufacturing Engineering, 2020(3):14-20.(in Chinese)