パーツ同時吸着優先によるチップマウンタ吸着動作の MLS 法を用いた最適化

静岡大学　○土屋　亨，静岡大学 / カリフォルニア工科大学　山下　淳，静岡大学　◎金子　透，
アイパルス株式会社　金子　康弘，アイパルス株式会社　村松　啓且

要　　旨

プリント配線板上に電子部品を実装するチップマウンタには，部品吸着・実装動作の効率化が求められている．本研究では，ランダム多スタート局所探索（random Multi-start Local Search: MLS）法によって，部品供給を行うパーツフィーダの配置に対して複数パーツ同時吸着を優先した最適化手法を提案する．提案手法により，少ない吸着回数で実装ができるパーツフィーダ配置を得ることができた．

1.　序　　論

電子部品をプリント配線板（電子部品を搭載・配線する絶縁板）上に実装するチップマウンタには，生産性向上のために実装時間の短縮が求められている．この実装時間は，部品供給を行うパーツフィーダ（Parts Feeder: PF）の配置と部品吸着・実装順の組合せによってその大部分が決定される．ゆえに，既存ハードの性能を十分に発揮できる制御データが必要であり，吸着・実装動作の最適化が重要な課題となっている．

そこで本研究では，現在対象としているチップマウンタモデルに対して，効率的な吸着方法である複数パーツ同時吸着を優先した吸着動作の最適化手法を提案する．

吸着動作の最適化に対し，吸着回数の削減で実装時間の短縮を図るが，膨大な計算時間を要する組合せ最適化問題を解く必要がある．これには有効な近似解法であるメタ戦略のうち，ロバストな手法であるランダム多スタート局所探索（random Multi-start Local Search: MLS）法 [1)] を用い，実用的な時間で解を求める．

2.　チップマウンタの概要

本研究で対象とするチップマウンタモデルの概略図を図 **1** に示す．PF の取付け位置である PF スロットが等間隔に並んでおり，その中で互いに重ならない箇所に各 PF が設置されている．部品吸着を行うヘッドは，ある PF 位置に移動して吸着動作を開始する．このとき，他のヘッドの位置にもほかの PF があれば，その部品も同時に吸着できる（複数パーツ同時吸着）．これによって，全ヘッドが部品吸着するまでにかかる吸着回数を削減できる．全ヘッドが部品吸着した後，プリント配線板上の決められた部品実装地点（搭載点）に実装し，以後ヘッドは全ての実装が終了するまでこの動作を繰り返す．

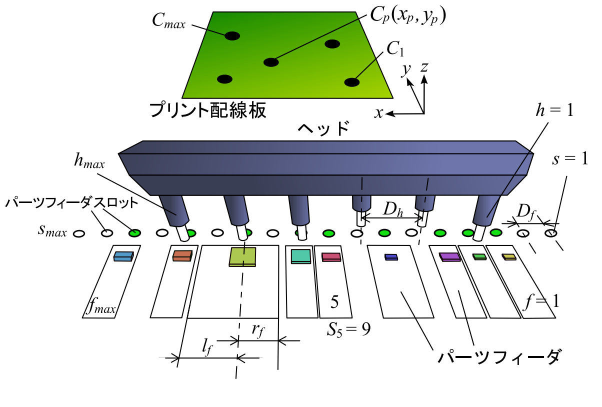

図 **1**　チップマウンタの概略図（同時 4 吸着が可能）

ここで，提案手法説明のため，チップマウンタの入力データについて以下のように記号を定義する．

- 部品搭載点座標 $C_p(x_p, y_p)$
  - p：搭載点番号 $(p = 1, \ldots, p_{\max})$
- パーツフィーダ f のスロット番号 $S_f \in \{s\}$
  - f：パーツフィーダ番号 $(f = 1, \ldots, f_{\max})$
  - s：スロット番号 $(s = 1, \ldots, s_{\max})$
- パーツフィーダ f の搭載部品数 Q_f
- パーツフィーダ f の右幅 r_f, 左幅 l_f
- ヘッド間隔 D_h, PF 間隔 D_f
- ヘッド番号 $h(h = 1, \ldots, h_{\max})$

なお，例えば図 **1** のように $D_h/D_f = 2$ のチップマウンタにおいて，図の位置で吸着すると，ヘッド 1, 4, 5, 6 で 4 つの部品を 1 ストロークで同時吸着できる（以下，同時 4 吸着と略記）．

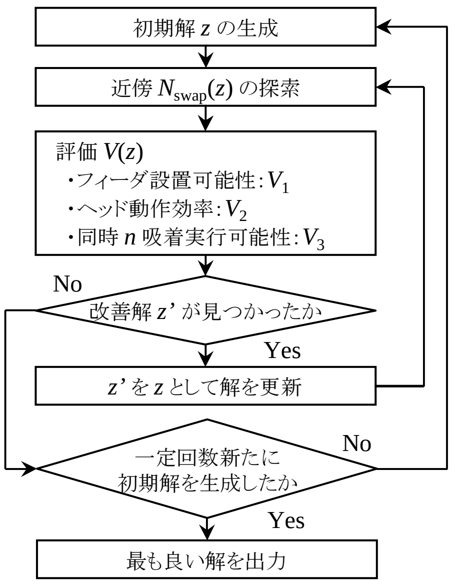

図 **2**　MLS 法を用いた吸着動作最適化処理の流れ

3.　MLS 法を用いた吸着動作の最適化

メタ戦略の基礎に局所探索（Local Search: LS）法がある．LS 法は初期解 z に，あるルールに従って変形を加えて得られる解集合の近傍 $N(z)$ 内において，良解 z' が評価できれば z と再定義する処理を解が収束するまで反復する方法である．MLS

法はこの LS 法を複数の初期解に適用して，得られた最良の解を出力する方法である．

MLS 法による最適化処理の流れを図 **2** に示す．本研究で，解 z は PF 配置を表す．初期解は重複しないランダムな PF スロット番号 s を S_f に代入して得られる PF 配置とし近傍には交換近傍 $N_{\mathrm{swap}}(z) = \{2$ つの PF スロット番号 $S_{f'}$ と $S_{f''}$ の入れ替えによって得られる解 $\}$ を用いる．

解の評価には以下の 3 つの評価基準から算出される評価値 $V(z) = \alpha V_1 + \beta V_2 + \gamma V_3$ を用いる．

フィーダ設置可能性　$V_1 = \sum_{f=1}^{f_{\max}} A(f)$

得られる解 z の中には，実際は PF 幅の関係上互いに干渉して取り付けることができないものも含まれる．そこで隣り合う PF の干渉量 $A(f)$ を定義し，実行不可能な解 z には悪い評価を与える．

ヘッド動作効率　$V_2 = \sum_{f=1}^{f_{\max}} Q_f \left|S_{\mathrm{near}} - S_f\right|$

PF スロットの中でも，できるだけ搭載点に近い箇所を使用した PF 配置であれば，PF と搭載点の往復にかかる動作を削減できる．そこで，搭載点座標 x_p の平均 $\overline{X} = \sum_{p=1}^{p_{\max}} C_p(x_p)/p_{\max}$ に最も近い PF のスロット番号 S_{near} を定義し，より S_{near} に近い PF 配置を得る解 z に良い評価を与える．

同時 n 吸着実行可能性　$V_3 = \sum_{n=1}^{h_{\max}} B_{\mathrm{conc}}(n)(h_{\max} + 1 - n)$

得られた解 z における，各同時 n 吸着の実行回数 $B_{\mathrm{conc}}(n)$ を定義する．n 数の大きな同時吸着ほど良い評価を与えるものとし，1 ストロークで吸着動作を完了できる $n = h_{\max}$ には最も良い評価を与える．

この $V(z)$ を最小化する方向に処理を進め，設置可能な PF 配置の中でも，搭載部品数 Q_f の多い PF が $\overline{X}$ に近く，n の大きな同時吸着を多く実行可能な PF 配置を求める．

以上の LS を z が局所最適解に収束するまで反復した後，予め設定した初期解生成数に達した時点で MLS を終了し，それまでに得られた最適な解 z（PF 配置）を出力する．

4.　同時吸着のグループ化

同時 $h_{\max}$ 吸着は，一度に全ヘッドが部品を吸着して直ちに実装動作へ移行できるが，他の同時 n 吸着は，全ヘッドが部品を吸着するまでに複数回の吸着動作を要する．MLS 法で最適な PF 配置を得た後は，この複数回の吸着動作の組み合わせ（グループ化）を行う必要がある．

グループ化の処理手順

同時 n 吸着のパターンを崩して，少ない同時 n 吸着の組を複数得る処理を適宜実行しながら，次の 3 つの優先順位，

1. 全ヘッドが 1 つずつパーツを吸着できるグループ，
2. 少ないストローク数を得るグループ，
3. n の大きな同時吸着の組を含むグループ，

を満足するようにグループ化処理を実行し，総ストローク数を最小化する．

5.　実験および考察

提案手法を検証するにあたって，部品搭載点数 498 個（$p_{\max} = 498$），部品種類 14 種，PF 数 20 本（$f_{\max} = 20$），スロット数 60 箇所（$s_{\max} = 60$），ヘッド数 6 本（$h_{\max} = 6$），$D_h/D_f = 2$ 及び，適切に値を設定した搭載部品数（Q_f），PF 右幅（r_f），PF 左幅（l_f）の入力データを用い，1000 回の初期解生成を MLS 法の終了条件として吸着動作の最適化処理を 5 回行った．$V(z)$ の重み係数 α, β, γ は試行錯誤的に決定し，最良と思われる値を用いた．なお 1 回の最適化処理には Pentium D（2.8 GHz），メモリ 1 GB の計算機を用いて約 5 分の計算時間を要した．

初期解生成回数に対する平均評価値の推移を図 **3** に示す．約 400 回の初期解生成時点で既に高い評価の解が得られており，本手法が効果的に解を探索していることがわかる．

各同時 n 吸着が解 z 中にどの程度の割合で含まれているかについて，初期解生成回数毎に表したものを図 **4** に示す．初期解生成回数の少ないうちは n の分布は混沌としているが，処理が進むにしたがって，目的どおりに n の大きい同時吸着が多く実行できる解を取得することができた．このことから，同時吸着を効率よく行って吸着回数を少なくする PF 配置を求める目的において，実用的な時間で計算できる本手法の有効性が示された．

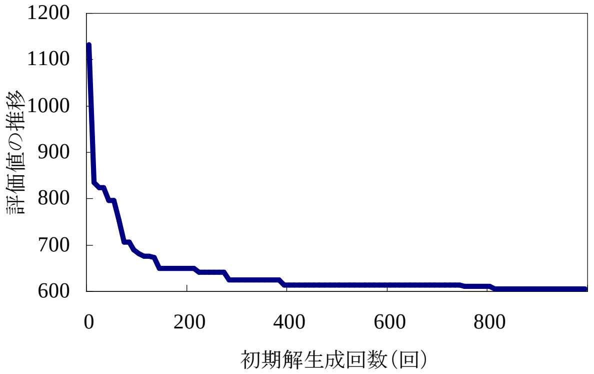

図 3　初期解生成回数に対する解の評価値の推移

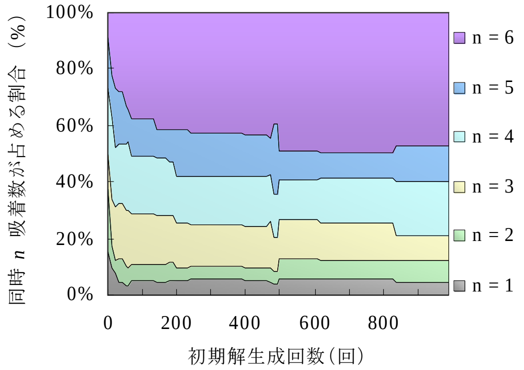

図 4　初期解生成回数に対する各同時 n 吸着実行可能回数が占める割合

6.　結　　論

本研究では，チップマウンタに求められている実装時間の短縮化を図る上で重要な吸着動作の最適化に対し，同時吸着を効果的に取り入れて吸着回数を最小化する手法を提案した．その際，組合せ最適化問題に対する有効な解法である MLS 法を用い，評価基準を適切に設定することによって，n の大きな同時 n 吸着が多く実行できる PF 配置を得ることができた．さらにグループ化によって総ストローク数を最小化できた．今後は得られた吸着動作をもとに，実装動作の最適化に取り組んでいく．

なお，本稿の内容は全て講演発表者によるものである．

参　考　文　献

1) 柳浦睦憲, 茨木俊秀：“組合せ最適化問題に対するメタ戦略について”, 電子情報通信学会論文誌 D-I, **J83**, 1, pp. 3–25 (2000).