

GA を用いた LSI マルチワイヤリング最適設計ツールの実装

4 A G - 8

川上かおり* 中島克人* 佐藤裕幸* 滝寛和† 後藤明広†

三菱電機（株）*：情報技術総合研究所 †：設計システム技術センター

1 はじめに

筆者らは現在、遺伝的アルゴリズム (GA) を用いた LSI マルチワイヤリング最適設計ツールの開発を行っている。本ツールは、当社で開発中の LSI パッケージリードフレーム設計環境 LEAF[1] のワイヤリング設計部の改良を目的としている。今回は、リードフレーム設計において比較的難しい問題とされている「複数のパッドから1つのリードに対してワイヤリングを行なうマルチワイヤリング位置決め問題」の設計支援について述べる (図 1)。

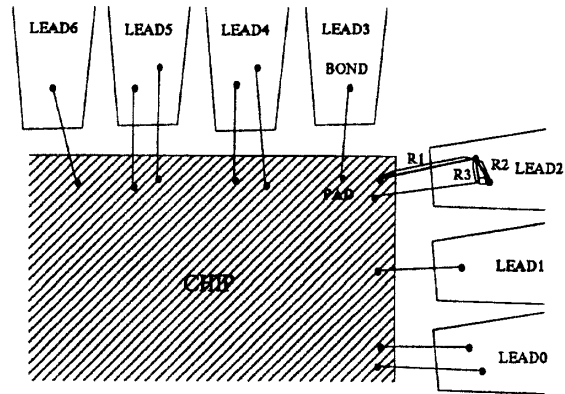


図 1: ワイヤリング図

2 マルチワイヤリング問題

マルチワイヤリング問題は、隣接ワイヤ間の距離を始めとする多数の制約条件に違反することなく、ワイヤ長の最小化等の最適化条件を満たすように複数のワイヤの配置を決定するところに難しさがある。パッド位置を固定とし、リード側の限られた領域内に複数のボンディング点を相互の距離を保ちながら配置する問題とした場合、全ての制約条件を満たし、かつ相互干渉が起きないようなボンディング位置の組み合わせは複数存在し得る。また、求めるボンディング点は位置座標、つまり連続量であるから、ある程度の精度の離散値に近似したとしても、ボンディング点の組み合わせ、すなわち解候補の数は膨大である。一般にこれは、大規模な解空間を持ち、準最適解が複数位置に存在する多峰性問題と考えることができる。

3 マルチワイヤリング問題への GA の適用

An Implementation of LSI Multi-wire Designing Tool Using Genetic Algorithm
 Kaori Kawakami*, Katsuto Nakajima*, Hiroyuki Sato*, Hirokazu Taki† and Akihiro Goto†
 Mitsubishi Electric Corp.
 *：Information Technology R&D Center
 5-1-1 Ofuna, Kamakura, Kanagawa 247, Japan
 †：Design Systems Engineering Center
 1-1 Tsukaguchi-honmachi 8-chome, Amagasaki, Hyogo 661, Japan

3.1 制約条件の適応度算出への適用

ワイヤリング設計に関して、加工条件等から規定される制約条件は多数存在する。制約の中には「規格値：必ずこの範囲内」に加え「推奨値：この範囲内であるのが望ましい」を持つものもある。規格値が定義されている制約条件のうちのいくつかは、配置が可能な領域の定義に適用できる。GA の進化過程において、配置領域外にボンディング点があみだしてしまった解を致死扱ひすることにより、それらの制約条件の規格値に基づく適応度算出は不要となる。配置領域の定義に適用できない制約条件に対しては、規格値に基づく適応度算出を行なう。また推奨値が定義されている全制約条件に対しても、推奨値に基づく適応度算出を行なう。今回は「(制約 1) パッドとボンディング位置座標を結ぶワイヤの長さ (図 1 の R1)」、 「(制約 2) 隣接するボンディング位置座標間の距離 (図 1 の R2)」、 「(制約 3) 隣接するワイヤ間の距離 (図 1 の R3)」 の 3 つを適応度算出に用いる。

3.2 遺伝子コーディング及び初期個体生成

各パッドに対するボンディング位置座標 x, y (浮動小数点表現) をそれぞれ 1 遺伝子とし、全パッドに対するボンディング点の組を 1 個体とする。初期個体群は配置領域内に均等に分布するよう生成す

る。但し、制約条件のうち、初期個体生成段階で入れ込むことが可能なものがあれば、条件を満たすよう遺伝子を調節する。例えば「(制約2) ボンディング位置座標間の距離」に対し、2点間の距離が規格値以上になるように位置を調節する。

3.3 適応度定義

各個体の適応度 F は、各パッドの各制約条件 r に対する評価値 $f[\text{padID}][r]$ の線形和 $\sum_{\text{padID}} \sum_r f$ で表す。各制約条件の評価値 $f[\text{padID}][r]$ は、それぞれの違反の度合いに重み値 $w[r]$ を掛け合わせて定義する。例えば推奨値がない場合には、

〈規格値内〉 $1.0 * w[r]$

〈規格値外〉 $-(\text{規格値との差の絶対値}) * w[r]$

とし、推奨値がある場合には、

〈推奨値内〉 $1.0 * w[r]$

〈推奨値外で規格値内〉

$(1.0 - (\text{推奨値との差を正規化したもの})) * w[r]$

〈規格値外〉 $-(\text{規格値との差の絶対値}) * w[r]$

とする。

3.4 遺伝操作

交叉方法としては、親の中間座標を子(新たな個体)とする中点法 [2] を用いる。中点法は親の形質遺伝に有効と考えられている。中点法で子の座標が領域外になるのは、領域の境界線のうち、領域外に向かって凹になっている箇所の近隣に二親が存在する場合であるが、今回は、凹である境界線を領域を狭める方向で変更(移動)し、配置領域が必ず凸多角形になるようにする。これにより子は必ず領域内に生成される。交叉後の選択方法としては、親1, 親2, 子の中から良いもの順に2つを選ぶ。

突然変異方法としては、ランダムに抽出した任意の個体の任意の遺伝子にある値を加える。GAでは交叉だけを行なう手法もあるが「中点法の親の内点を子とする交叉では、ある世代の同一パッドに対するボンディング点の集合の外接多角形外を探索できない」という理由から高い確率の突然変異が必要となる。また、新たに生成された遺伝子(=ボンディング座標)が解領域外に出てしまう場合は、新旧の遺伝子を結ぶ直線と境界線との交点位置を新しい遺伝子として、致死遺伝子の発生を防ぐ。なお最良の適応度を持つ個体は、突然変異を受けないものとする。

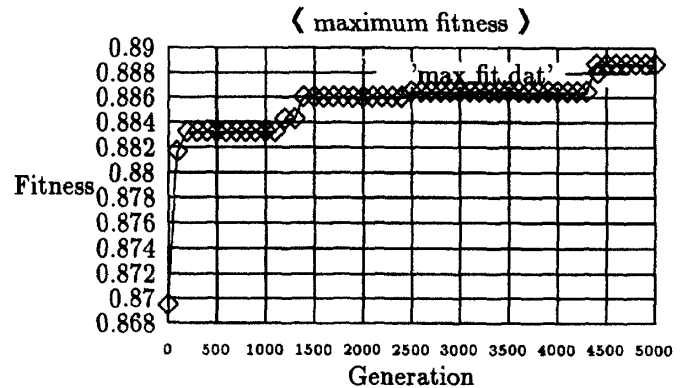


図2: 実験結果(最大適応度)

4 実験結果

最後に、本ツールを用いた実験結果を示す。実験データとして、パッド数36, リード数32, マルチワイヤリングは2本打ちのみとし、マルチワイヤリング箇所数4であるデータを用いた。

個体数100, 最大世代数10000, 停止までの最大適応度不変世代数5000, 突然変異率0.7, 交叉率0.9として実験を行なった。適応度算出に用いた制約1~制約3のそれぞれの重み付けは0.1, 0.1, 0.8とした。4400世代で収束するまでの時間はワークステーション(SS10)上で約40分であった。最大適応度の変化状況を図2に示す。初期世代から比較的適応度の高い解が存在しており、200世代ぐらいまでは最大適応度の改善が大きい。200世代以降は緩やかな変化となって、世代数4400で最大適応度の増加は停止している。全マルチワイヤリング箇所に対して制約2と制約3を満たす方向に位置調節を行なった個体を初期個体群に含めたため、早い段階で比較的適応度の高い解が発生したと思われる。

5 おわりに

本稿では、LSIマルチワイヤリング問題へのGAの適用方法とその実験結果について述べた。今後はさらにGA手法や初期個体生成方法に改良を加え、実験及び評価を行なう予定である。

参考文献

- [1] 後藤, 滝, 川上, 佐藤, 中島: LSIパッケージリードフレーム設計環境(LEAF), 第55回情処全国大会, 4AG-7, 1997
- [2] Hans-Paul Schwefel.: *Numerical Optimization of Computer Models*, Wiley, Chichester, 1981.