

1 L-9

可変長染色体を用いた遺伝的アルゴリズムによる電気回路の生成*

安藤 晋†

伊庭 齊志†

石塚満†

東京大学工学部電子情報工学科‡

1 はじめに

本研究では、遺伝的アルゴリズムによりアナログ回路の構造を進化させる。遺伝的アルゴリズムによる電気回路の合成に関しては既に小藪その他により、回路を2次元行列で表現して遺伝子化する方法で研究がなされている[2]。本研究では Evolvable Hardwareへの応用を念頭に置き、可変長染色体 GA を用いて前述の研究では困難であった回路の規模を有機的に変化させることを目指す。さらに可変回路要素の特性を考慮して、構造の獲得とパラメータの調整の2段階に分けた回路の進化の過程を実現する。これらの手法を探ることにより、

- より複雑な回路及び優秀な応答の獲得、
 - 回路や応答の複雑さに応じた規模の回路を獲得、
 - 収束の高速化、
- などが可能になることを示す。

2 回路合成 GA のシステム概要

2.1 MESSYGA

本研究では可変長遺伝子を扱う GA として MESSYGA[1] を用いる。染色体の各遺伝子座は回路要素の種類とその値、そしてその要素の接続するノードを保持する。回路要素の種類は、RCLNO を用意し、それぞれ、レジスタンス、キャパシタンス、リアクタンス、短絡、開放を表すものとする。染色体の遺伝子型と表現型の関係は図1のようになる。記述不足については、デフォルトを0とし、記述過多については、最も左にあるものを採用する。

また、交差には一点交叉を用い、変異は generative mutator を用いる。

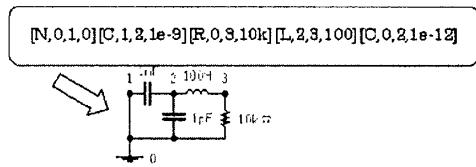


図1：表現型と遺伝子型

2.1.1 MESSYGA の拡張

電気回路の特性を考慮して、MESSYGA を拡張し、記述过多の場合にノード間に並列に接続する方法をとる。これにより、ノードの記述が簡潔になる。

2.1.2 適応度の計算

生の適応度 rawfit は K 個の点での入力周波数 f での目標応答 F_f と得られた回路の実測値 R_f を用いて次の式で表す。

$$\text{rawfit} = \frac{1}{K} \sum^K \log F_f - \log R_f \quad (1)$$

2.1.3 回路の大きさに対する淘汰圧

要素の個数 N とし、式(2)の操作を加え淘汰圧 penalty とする。最終的な適応度 adjfit は式(3)のようになる。

$$\text{penalty} = \frac{1}{T} \log N \quad (2)$$

$$\text{adjfit} = \text{rawfit} - \text{penalty} \quad (3)$$

3 進化の2段階化

1. 構造の獲得

第一段階では回路の要素 R,C,L は値を固定され、構造のみが GA により進化的に獲得される

2. パラメータの調整

第二段階では獲得した回路構造内の要素の値をパラメータとし、これを GA により最適化する。

* Evolving Electric Circuit Using GA with VariableLength Chromosomes

† Shin Ando, Hitoshi Iba, Ishizuka Mitsuru

‡ University of Tokyo, 7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku,
Tokyo 113-8656, Japan
e-mail : ando@miv.t.u-tokyo.ac.jp

4 実験結果

4.1 2段階のGAによる進化

バンドエリミネータを目標値として用いた実験の例を図2に示す。個体数は50、世代数は100、交差率0.8、突然変異率は0.01である。第一段階で概形を獲得し、第二段階のパラメータ調整で鋭い応答を獲得できた。バンドエリミネータを目標応答として

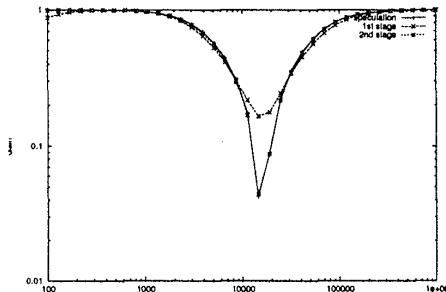


図2: 各段階における応答

値と構造を同時に進化させる実験との比較を行った。同時進化の実験を世代数200、個体数50で行い、2段階進化の実験を各段階で個体数50、世代数を100とし、ともに50回ずつ試行し、適応度とCPU時間の平均をとった。下表に示した結果から、平均実行時間は30%程度短くなっていることがわかる。

	2段階	同時
CPU時間	0.1711	0.2468

4.2 回路規模に対する淘汰圧力の実験

MESSYGAを用いて回路の規模に対するペナルティをかける実験を行った。目標応答にマニュアル設計ではtwin-t回路として要素数6個で設計することができるバンドエリミネータを使い、式(2)のパラメタTにより決まる淘汰圧の大きさを変え、50回の試行の要素個数と適応度の平均をとった。ペナルティの大きさで適応度は変化するが、T=40程度で十分近い応答が得られ、かつ適度な規模の回路が得られている。

	平均要素個数	適応度
T=40	9.6	0.0234
T=100	15.2	0.0101
T=∞	17.4	0.00289

4.3 GAごとの適応度の比較

各GAの能力を10回の試行の適応度の平均をとつて比較したものを下表に示す。目標としてはハイパス(hp)、バンドエリミネータ(be)、ダブルバンドパスフィルタ(dbp)を用いる。獲得したダブルバンドパスフィルタの回路図を図3に示す。

fitness	hp	be	dbp
MESSYGA	2.33e-10	0.000876	0.3420
拡張MESSYGA	1.01e-10	0.000101	0.0523
遺伝子座固定	1.05e-6	0.00665	31.53

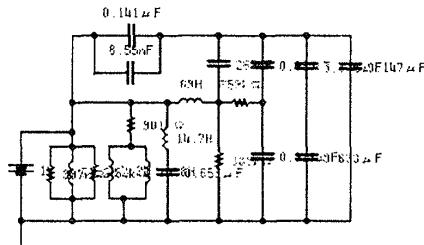


図3: ダブルバンドパスフィルタの回路図

5 考察

進化の段階化では固定値の要素より、探索域が限定される恐れがあったが、ハイパス、バンドパスなど一般的なフィルタでは十分概形をつかむことができ、パラメータを調整するGAが強力なので目標値にたどり着けることを確認できた。その結果、表1から分かるように時間に関して1段階GAより短縮できることが分かる。淘汰圧はオーダーの設定が問題であるが、適応度0.1程度で概形を掴めているのでそれを目安に最適なパラメタが分かる。一般的なフィルタでは任意の遮断周波数で、誤差が0.1%以下の回路を獲得することができた。また、ダブルバンドパス等複雑な目標に対しても、大きな規模の回路で的確な応答を獲得することが確認された。以上の実験からMESSYGAにより、遺伝子座を固定した染色体を用いるGAと比較して多様な回路と目標により近い応答を持ったフィルタを獲得でき、収束の高速化を可能とすることが示された。

6 おわりに

可変長遺伝子と2段階の進化を用いたことにより、優秀な応答を獲得でき、シミュレーションの高速化を実現できた。今後はマニュアルでは設計困難な回路などの合成を行いシステムとしての汎用性を向上するための研究を行い、また、Evolvable Hardwareへの応用を可能にするため、このGAで制御できるハードウェアの開発も進めていく予定である。

参考文献

- [1] D.E. Goldberg, K. Deb, H. Karpulta, and G. Harik. Rapid, accurate optimization of difficult problems using fast messy genetic algorithms. *Proc. 5th Int Joint Conf. on Genetic Algorithms (ICGA93)*, 1993.
- [2] 北村小蔵. 遺伝的アルゴリズムを用いた電気回路の自動設計. 第24回知能システムシンポジウム, 1997.