

スタック型オペレータを遺伝子とした GAによる定数乗算回路の合成

4ZA-05

磯尾 洋介 豊嶋 久道
神奈川大学工学部

1 はじめに

複数の定数乗算回路問題とは、信号処理、画像処理、数値計算等においてしばしば現われる、複数の定数と変数間の乗算処理に関する演算コスト最小化問題である。複数の定数乗算回路は2進数のビット列や非巡回的な有向グラフで表現され、それらに応じた最適化手法が提案されている [1-3]。一般的にこのような問題は NP 完全問題であるため、別の最適化手法として進化論的アルゴリズムが考えられる。回路構造を非巡回で有向のグラフ的な構造として表現することで、遺伝的プログラミング (GP) を適用することが可能となるが、GP を用いると遺伝子の構造、及び遺伝的オペレータが複雑となると問題点がある。本研究では、非巡回有向グラフを効率的に導出する方法として、スタック型オペレータを提案する。スタック型オペレータを遺伝子とすることによりグラフ構造を単純な記号列として表現することができ、これにより任意のグラフ構造に対して従来の GA と同様な手法を採用することが可能となる。

2 複数の定数乗算回路のグラフ表現

複数の乗算器から成る回路において、係数が定数の場合、各係数の乗算回路が互いに共有できるため、直接構造の乗算ブロックを単純化することができる。 $\{a_i\}$ を定数セットとすると、式 (1) で表される。

$$y_i = a_i x \quad i = 0, 1, \dots, N-1 \quad (1)$$

図 1 に乗算ブロックの概念図を示す。

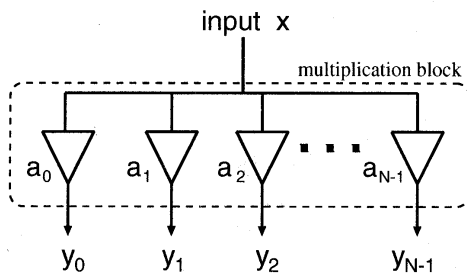


図 1: 乗算ブロック

文献 [1] に非巡回有向のグラフ構造を用いて、乗算ブロックを単純化する方法が提案されている。有向グラフ構造は簡単な算術オペレータ (加算、シフト) で構成し、他の定数の計算に必要な部分が重複しているならばそ

の部分をも他の計算に利用することによって計算量を減らすことができる。定数セット $\{1, 7, 16, 21, 33\}$ を求める文献 [1] の方法を図 2 に示す。このように必要な要素の一部を共有して再利用することで乗算ブロック全体の計算量の削減を実現している。

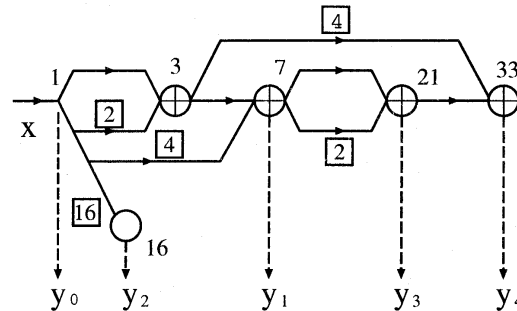


図 2: 定数セット $\{1, 7, 16, 21, 33\}$ の例

一般にこのような問題は NP 完全問題と呼ばれており、決定性多項式時間アルゴリズムでは解く事ができないとされている。従って効率的な最適化手法が必要である。

3 スタック型オペレータを遺伝子とする GA

スタックは最後に入力したデータが最初に取り出されるように構成され、後置記法を用いた計算処理を行う。スタック型オペレータはこの動作を利用したスタックを操作する記号をさす。本研究では以下のオペレータを用いた。

- **dup** スタックトップにある値をコピーする。スタックの要素は一つ増える。
- **add** スタックトップから順に 2 つの数値を取り出し、加算し、その合計をスタック上に残す。スタックの要素は一つ減る。
- **sft** スタックトップの値を左方向に 1 ビットシフトする。
- **rol** スタックエンドにある値がスタックトップに移動するようにスタックの要素を回転する。

これらの記号を並べることによって、非巡回有効グラフ構造を形成でき、これを一つの遺伝子と考える。但し、遺伝子生成規則として次の方法を適用する。

- (1) スタックの初期値は $x=1$ とする。

¹Synthesis of Constant Multiplication Circuits Using GA with Gene Composed of Stack Type Operators

²Yosuke ISOO, Hisamichi TOYOSHIMA

³Faculty of Engineering, Kanagawa University

- (2) スタック内の要素数が1以下なら 遺伝子に add は生成できない。
- (3) スタック内の要素数が1以下なら 遺伝子に rol は生成できない。

定数セット {1,5,14} を表現する遺伝子の一例を図3に示す。

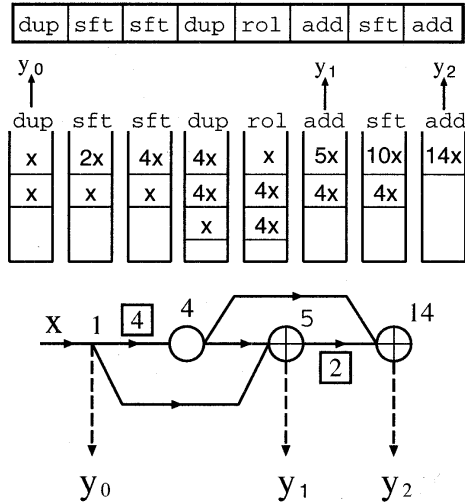


図3: スタック型オペレータの例

このように遺伝子は単純な記号列として表現できることから、従来の GA と同様な手法を採用することが可能となる。本研究で扱う GA オペレータとして以下の方法を採用した。

選択・淘汰 エリート保存戦略を用い適応度の高い遺伝子を残す手法を採用する。

交叉 一点交叉。但し、任意に2つの遺伝子を選び、スタック内の要素数が同じ部分を選出し、その中からランダムな位置1点を部分的に交換する。

突然変異 ある生起確率により全く新しい遺伝子を発生させる。

適応度は遺伝子に含まれている定数セットの値が含まれている個数 n_m 、加算器に相当する add の数 n_a とシフトに相当する sft の数 n_s とによって式(2)で与えられる。ここで N は定数セット数、 k_m, k_a, k_s はそれぞれの重みとする。

$$fitness = k_m \times n_m / N + k_a \times N / (n_a + 1) + k_s \times N / (n_s + 1) \quad (2)$$

4 シミュレーション

本手法を用いて式(3)の定数セット $\{a_i\}$ に対してシミュレーションを行なった。GA に必要な各パラメータを表1に示す。

$$\{a_i\} = \{1, 7, 16, 21, 33\} \quad (3)$$

この時得られた定数セットの構成を図4に示す。結果は文献[1]の方法が加算器4個、シフト10個に対して、本手法は加算器4個、シフト8個で構成することができた。

表1: シミュレーションにおけるパラメータ

世代交代回数	1500
初期集団数	3000
遺伝子長	23
突然変異確率	20%
交叉確率	60%
k_m	1500
k_a	20
k_s	1

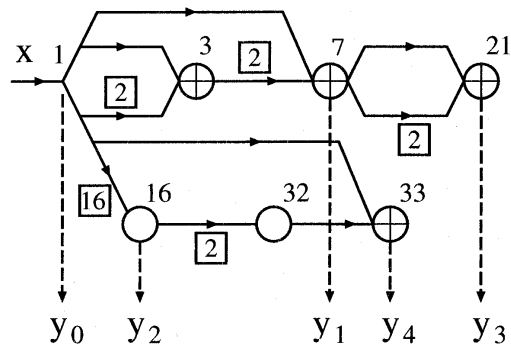


図4: シミュレーション結果

5 まとめ

本研究ではスタック型オペレータを遺伝子としたGAにより、複数の定数乗算回路の合成を加算、シフトの組合せで実現できることを示した。しかし、複数のパラメータを設定するので、最適解を得るためのパラメータの推定が困難になってしまう。特に遺伝子長が短い場合、局所解に陥りやすくなり、また反対に長い場合は探索範囲が拡大になり最適な値を得ることができないため遺伝子長を適切に決定することが必要である。今後の課題としてスタック型オペレータの種類を増やし、拡張性を高める方法等を検討する。

参考文献

- [1] David Bull, David Horrocks, "Primitive operator digital filters.", IEE Proceedings-g Vol.138, pp401-411, June 1991
- [2] A.Matuura, M.Yukishita, and A.Nagoya, "A Hierarchical Method for the Multiple Constant Multiplication Problem." IEICE. Trans. Fundamentals. vol. E80-A, No.10 October 1997.
- [3] M.Potkonjak, M.B.Srivastava, and A.P.Chandrakasan, "Multiple constant multiplication: Efficient and versatile framework and algorithms for exploring common subexpression elimination." IEEE Trans. Computer. - Aided Des. Integrated Circuits & Syst., vol.15, no.2 pp.151-165, Feb. 1996.