GA による送配電系統の電力損失最小化手法

正員 青木 秀 憲 (東海大)

正員 水谷 芳 史 (東海大)

Implementation of Genetic Algorithm for Transmission and
Distribution Loss Minimum Method

Hidenori Aoki, Member, Yoshibumi Mizutani, Member (Tokai University)

キーワード：遺伝アルゴリズム，送配電，電力損失，コンデンサ，変圧器

1. ま え が き

送配電系統では，電力損失を軽減し多くの電力を輸送するためにコンデンサ C_j で力率改善を図ったり，タップ切換変圧器 T_k (基準変圧器からの倍率 n_k) で電圧を規定値に保つ自動化が可能となってきた。これらの最適化を図るために，遺伝的アルゴリズム(GA)を用いた有効な手法が文献(1)で提案されている。しかし，実運用を考慮した際，最適値に機器を同時に切り換えることは困難であり，設定過程での時間的ずれによって電圧が規定値から大きく外れたり，自動運転時に一部が最適値に設定できないとき，GAを用いた手法でこれに対処する方法は開発されていない。

そこで本レターでは，まず世代当たり有限値(m_1 個)の設定値変更を条件にもち，電圧を規定範囲に保ちながら最適値に切り換えるGAを提案する。次に，一般に送配電系統では同時にすべての機器を切り換えられないことを考慮して，提案したGAにおいて機器1台ずつ切り換えるものとして $m_1=1$ と置き，GAの世代の動きを設定値切換えの手順として取り扱う，新しい電力損失軽減対策手法として用いる⁽²⁾。

2. 提 案 手 法

有限個の設定値変更を条件にもつ本GAでは， C_j ， n_k の計 m_0 個に対して，個々に2進数で表現された遺伝子(以下，部分遺伝子と呼ぶ) m_0 個の初期運転状態の個体を構成する。そして，初期生物集団発生や交差における遺伝子操作の際に，各 C_j ， n_k に対応する m_1 個以内の部分遺伝子ごとに入れ換える操作を実施する。すなわち，1回当たり m_1 個の部分遺伝子の操作ができるという条件を考慮した本GAの計算手順は次のようになる。

(1) C_j ， n_k の範囲と精度の選定 C_j ， n_k の各可変範囲を例えば16等分して2進数4ビットで各部分遺伝子を作り，これにより初期運転状態の個体 $I(0)$ を表現する。

(2) 適応度の選定 適応度 $f(I_i)$ は母線電圧 V_r (p.u.) の制約逸脱量 ρ_n (%) と送配電系統の電力損失 p_i (p.u.) からなる次式に示す評価関数 J_i の逆数とする。

$$J_i = W \Sigma (\rho_n)^2 + p_i \dots \dots \dots (1)$$

ただし， W ： V_r の制約逸脱に対する重み

なお，本論文では， V_r の制約逸脱が生じたとき W を非常に大きなものとして取り扱い，GAの個体として採用しない。

(3) 初期生物集団の発生 乱数(乱数は一様乱数で以下同様)を用いて， $I(0)$ のうち m_1 個の部分遺伝子を選択し(1)と同様に各可変範囲で値を与え，個体 I_i を作る。そして， I_i に対して(2)に基づき $f(I_i)$ を計算し， V_r のすべてが電圧の上下限制約を満足するとき，初期生物集団の I_i として採用する。ここでは個体数を20個とする。

(4) 適応度の順位付け $f(I_i)$ を大きい順に並べる。

(5) 淘汰の実行 $f(I_i)$ の下位40%を淘汰する。

(6) 交差と増殖の実行 個体の選択確率を $f(I_i)$ の大きさによって割り当てるルーレットを構成し，乱数を用いて親 A ， B を選択する。親 A ， B を図1のように各々リング状に変形し，乱数を用いて m_1 個の部分遺伝子を選択し，選択された A ， B の各 C_j ， n_k に対応する部分遺伝子が一つでも異なっていれば対応するそれらに対し交差を実行する。そして， $f(I_i)$ を求め， V_r の上下限制約を満足するとき新たな子孫の遺伝子の並びを生成し，(5)で淘汰した下位の部分に増殖する。もし，選択された m_1 個の

図1 交差のための部分遺伝子の選択
Fig. 1. Selection of partial gene for crossover.

図 2 送電システムモデル
Fig. 2. Transmission system model.

A, B の各対応する部分遺伝子がすべて等しい場合、図 1 に示すように時計方向にすべての選択を一つ移動し、異なるものが一つでもあればこの交差と増殖を実行する。これを繰り返しても異なるものがなければ交差は行わない。以下、同様にこの交差による増殖を繰り返し、(5)で淘汰した個体部分をすべて増殖する。

(7) 突然変異の実行 突然変異では、突然変異率を考慮し一点突然変異を行い、遺伝子に相当するビットを 0 を 1 に、1 を 0 にして探索可能な空間を広げる。ただし、突然変異を実行した個体において、(2)に従い適応度を求め、 V_r の上下限制限を満足しないとき、その個体に対する突然変異を実行しない。

(8) 生物集団の評価 生成された次世代の生物集団の適応度が、その集団の最大適応度と 9 割以上一致した場合、極大値に達したと判断し、本 GA の操作を終了する。これを満足しないとき(4)に戻る。

本 GA の初期生物集団と各世代の交差による増殖および突然変異において、 C_j , n_k の設定値変更を記録し、次の基準に基づき C_j , n_k の設定値切替手順として用いる。

(i) 最適値に到達した個体のうち、 C_j , n_k の切替回数が最も少ない個体を選定する。

(ii) (i)で選定された個体中、切替の早期に適応度の改善度合いが高い個体を選定する。

ただし、切替回数は同一の C_j , n_k の値を連続的に変更する場合を含め、1 回としてカウントするものとする。

3. シミュレーション実験結果と検討

図 2 は、調整パラメータである各 2 台の C_1 , C_2 と T_1 , T_2 の各倍率 n_1 , n_2 を有する 1 発電所と 2 負荷母線からなる送電線路である。

図 3 は、表 1 の運用条件を図 2 の送電システムに適用し、 $m_1=1$ の本手法を行った結果で、最終個体中第 2 章の (i), (ii) を満足した個体の世代(交差および突然変異の回数)に対する調整パラメータの切替えと収束状況を示す。矢印は対応する縦軸の調整パラメータの切替えが始まる時点を表示し、括弧内は次の切替えの前または本 GA の終了時に定まった調整パラメータの値と、そのときの適応度を示している。調整パラメータの切替えとともに適応度が上昇し、8 回の切替で実運用でき、適応度 40.67 に収束している。本手法と比較するために、操作可能なところから目標値との差を縮めるように操作を行う単純な従来方式を実施したところ、6 回の切替操作で適応度 35.12 に収束し、よりよい適応度に改善することができなくなる。なお、図 3 の適応度の最大値 40.67 は切替手順を無視した場合

図 3 切替手順
Fig. 3. Changing process.

表 1 運用条件
Table 1. Operational condition.

電圧の制約条件	初期運転状態	可変領域
V_{1max}	1.1	C_1 0.00
V_{1min}	0.9	C_2 0.00
V_{2max}	1.1	n_1 0.90
V_{2min}	0.9	n_2 0.90

当り的な方法で求めた最大適応度 42.14 に対しても、遜色のない値を示している。

4. まとめ

送配電システムの電力損失軽減対策手法として、同時刻において機器 1 台しか切り換えられないという条件を考慮して本 GA を実行した。そして、求められた最終生物集団から最適値に到達した個体のうち、切替回数が少なく、切替の早期に適応度の改善度合いが高い個体の世代の動きを切替手順として用いる手法を提案し、最も簡単なモデルを用い、本手法の有効性を明らかにした。

今後の研究としては本 GA の収束性の改善、実系統に近い放射状モデルやループ状モデルへの適用が考えられる。

(平成 6 年 9 月 16 日受付)

文 献

- (1) 伊庭：「遺伝アルゴリズムに基づく無効電力最適計画」, 電学論 B, 113, 865 (平 5-8)
- (2) 青木・山崎・水谷：「GA による実運用を考慮した配電損失最小化問題の解法」, 電気学会電力技術研究, PE-94-124 (平 6)

青 木 秀 憲 (正員) 1952 年 5 月 8 日生。1979 年 3 月東海大学大学院修士課程修了。1987 年 4 月同大学講師。主として、電力システムの運用と制御、ガス絶縁・沿面放電に関する研究に従事。静電気学会会員。

水 谷 芳 史 (正員) (電学論 B, Vol. 115, No. 3, p. 291 参照)