

## 送電系統拡充計画問題へのGA融合型ニューロコンピューティングの応用

東京都立大学 由本 勝久 YOSHIMOTO Katsuhisa  
01703290 東京都立大学 安田 恵一郎\* YASUDA Keiichiro  
東京都立大学 横山 隆一 YOKOYAMA Ryuichi

### 1. はじめに

送電系統拡充計画問題とは、将来における母線の負荷と発電量が与えられたとき、過負荷を起こさないような送電系統を形成するには、どの送電線路に送電線を新設、又は増設するのかを決定する問題である。この問題に対しては、いくつかの論文が発表され、これらの手法を大別すると、

- 1) 数理計画法に基づく手法<sup>[1][2]</sup>
- 2) 感度解析に基づく手法<sup>[3]</sup>

の2つに分けられる。しかしながら、この問題は組合せ最適化問題であるので、系統が大規模になると1)の手法は計算時間等の面から実用的ではない。一方、2)の手法は高速に計画を作成可能であるが、最適な計画が得られる保証がなく、さらに、唯一の計画案しか作成できない。このことは、問題のエキスパートが複数の良好な計画案に基づいて最終的な判断が下せないで、問題があるといえる。

以上のことから、望ましい計画手法とは、精度の良い解を高速かつ複数作成できるものであるといえる。そこで本論文では、ニューラルネットワーク(以下NN)の初期状態の生成方法に遺伝的アルゴリズム(以下GA)のアイデアを導入した、GA融合型ニューロコンピューティング<sup>[7]</sup>(以下NHG)を送電系統拡充計画問題に適用することを提案する。この融合アルゴリズムにより、問題のエキスパートが計画を作成する際に有効に支援できる。

### 2. GA融合型ニューロコンピューティング

提案手法では、NCが初期状態の近傍にある極小解を高速に求められるという特長から、局所的探索・実行可能解探索・GAの初期集団生成機構としてNCを用い、GAが不等式制約を考慮することが困難であることを逆に利用することにより、不等式制約を考慮せずに遺伝操作を行うことで大域的探索・極小解脱出・NNの初期状態生成機構としてGAを用いている。なお、具体的な手順は以下の通りである。

#### STEP 1

NNに対し初期状態を一つ与える。

#### STEP 2

与えられた初期状態に対しランダムにニューロンを選択してネットワークを動作させ、予め決められた個数 $N_{spec}$ (集団サイズ)だけ実行可能解を得る。そして、最も良い解を保存。

#### STEP 3

STEP 2で得られた $N_{spec}$ 個の解をGAにおける個体へとコーディングし、初期集団をGAに与える。

#### STEP 4

与えられた初期集団に対し遺伝操作を行い、集団を一つの個体に収束させる。

#### STEP 5

STEP 4で得られた個体をNNの初期状態へとマッピングして、NNに与える。

#### STEP 6

STEP 2からSTEP 5を既定の回数 $M_{spec}$ 繰り返したら終了。

### 3. 送電系統拡充計画問題の定式化

#### 3.1 送電系統拡充計画

問題の設定を次のようにする。「母線数 $M+1$ 、送電線路数 $NL$ の送電系統において、それぞれの母線における発電量・負荷需要が与えられたとき、潮流制約を満足しながら送電線の建設費・増設費が最小となるような送電線の拡充案を作成する。ただし、それぞれの母線の発電量・負荷需要は既知とし、需給バランスは取れているものとする。」

#### 3.2 NCのための定式化

本論文では0-1整数計画問題用ネットワーク<sup>[4][6]</sup>を用いたが、スペースの関係上ネットワークの動作については他の文献<sup>[7]</sup>を参照して頂きたい。

表1 記号の表記

$MIN(i)$ ; 送電線路 $i$ の既存の送電線数, $MAX(i)$ ; 送電線路 $i$ に接続可能な最大送電線数, $c_{ij}$ ; 送電線路 $i$ に $j$ 本送電線を建設するのにかかるコスト, $x_{ij}$ ; 送電線路 $i$ の状態(1: $j$ 本建設, 0: 建設しない), $F_{ij}$ ; 送電線路 $i$ が $j$ 本のときに $i$ に流れる有効電力潮流, $C_i$ ; 送電線路 $i$ の単位本数あたりの容量, $NEW(m)$ ; 新設母線 $m$ に接続可能な送電線路群, $Bu(m)$ ; 新設母線 $m$ に接続可能な送電線路の総数
---

#### 目的関数

$$\sum_{i=1}^{NL} \sum_{j=MIN(i)}^{MAX(i)} c_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

#### 制約条件

##### (1) 潮流制約

各々の送電線は定格容量を超えて有効電力を流せない。

$$|F_{ij}| x_{ij} \leq j \times \bar{C}_i \quad (2)$$

##### (2) 新設母線制約

新設の母線が孤立してはいけない。

$$\sum_{i \in NEW(m)} x_{i0} \leq Bu(m) - 1 \quad (3)$$

#### 3.3 GAのための定式化

本論文で用いたGAはSimple GA<sup>[5]</sup>であり、集団の中に同じ個体が複数個存在することを許すので、集団が一つの個体に収束するまで遺伝操作を行う。なお、遺伝操作としては次のようなものを用いた。

- \*選択 ルーレット選択とエリート保存の併用
- \*交叉 一点交叉
- \*突然変異 用いない。

ただし、初期集団の中にランダムに発生させた個体を一つだけ生成させ、意味のある遺伝子が淘汰されてしまわないよう、その適合度を2/3に減じる。

なお、潮流制約・新設母線制約は考慮しないので得られる解は一般には実行可能解でないことに注意されたい。

#### 目的関数

$$f(z) = \sum_{i=1}^{NL} c_i z_i \quad (4)$$

ここで、 $c_i$ ；送電線路 $i$ の単位本数当りのコスト、 $z_i$ ；送電線路 $i$ の送電線の本数

なお、GAは最大化問題に適用されるので適合関数は以下のようなものを用いる。

$$g(z) = \frac{1}{1+f(z)} \quad (5)$$

### 4. シミュレーション

#### 4.1 モデル系統

表2に示す様な規模のモデル系統に対しシミュレーションを行った。GAの集団サイズを20、交差確率を0.8、反復回数を31とし、異なる乱数系列を用いてそれぞれの規模に対し10回ずつ試行を行った。そして、感度解析<sup>[3]</sup>、分枝限定法及びニューロコンピューティング（以下NC）と比較する。ただし、NCは1回につき620個（提案手法と同じ個数）の実行可能解を求めて、異なる乱数系列と初期状態を用いて10回試行した。なお、使用した計算機はVAX9210VP（最大80MFLO PS）である。

表2 モデル系統

	母線数	送電線路数	送電線路に建設可能な送電線の最大本数
中規模	15	21	4
大規模	26	41	3~4

#### 4.2 シミュレーション結果

以下、最良の解とは1回の試行（620個の実行可能解）の中で最も低い目的関数値を持つ解のことである。

##### \*中規模

中規模系統における結果を表3、4にまとめる。なお、分枝限定法では計算時間の上限を50時間とした最も良い解を示す。

表3 提案手法とNCの10回の試行をまとめた結果

手法	A	B	C	D
NC	435.052	1463.85	1377.0	1558.5
NHG	400.197	1233.0	1093.5	1323.0

A;平均計算時間(秒), B;最良の解の平均(p.u.円), C;最良の解中最も良い解(p.u.円), D;最良の解中最も悪い解(p.u.円)

表4 中規模系統における分枝限定法と感度解析の結果

	計算時間(秒)	目的関数値(p.u.円)
分枝限定法	180000	1093.5
感度解析	0.91	1801.5

##### \*大規模

大規模系統においては分枝限定法では計算不可能であるので、比較は行わない。

表5 提案手法とNCの10回の試行をまとめた結果

手法	A	B	C	D
NC	3778.94	2298.75	2102.5	2393.5
NHG	3539.51	1895.45	1618.0	2130.5

A, B, C, Dは表3と同ー

表6 大規模系統における感度解析の結果

	計算時間(秒)	目的関数値(p.u.円)
感度解析	1.91	2068

### 5. おわりに

本論文では、複数の良好な計案に基づいてエキスパートが信頼できる計画を作成すれば良いという立場から、GA融合型ニューロコンピューティングを送電系統拡充計画問題に適用することを提案した。中規模・大規模系統モデルを用いたシミュレーション結果から、送電系統拡充計画問題において実用的な時間内に良好な計案を複数求めるための本提案手法の有効性が確認できた。また、高速近似解法としても有効であることが確認できた。

最後に、今回のシミュレーションで設定したパラメータは一例として経験的に決定したものであり最適なものではない。よって、パラメータの指針について検討する必要があり、これは今後の課題である。

#### 参考文献

- [1] L.L.Garver: "Transmission Network Estimation Using Linear Programming", IEEE Trans. on PAS., Vol. PAS-89, No.7 (1970)
- [2] S.T.Y.Lee, K.L.Hocks and E.Hnyiliczka: "Transmission Expansion of Branch-And-Bound Integer Programming With Optimal Cost-Capacity Curves", IEEE Trans. on PAS., Vol. PAS-93, No. 5 (1974)
- [3] A.Monticelli, A.Santos Jr, M.V.F.Pereira, S.H.Cunha, B.J.Parker and J.C.G.Praca: "Interactive Transmission Network Planning Using A Least-Effort Criterion", IEEE Trans. on PAS., Vol.PAS-101, No.10 (1982)
- [4] M.P.Kennedy and L.O.Chua: "Neural Networks for Nonlinear Programming", IEEE Trans. CAS., Vol.35, No.5 (1988)
- [5] 北野編: 「遺伝的アルゴリズム」, 産業図書(平5)
- [6] 由本, 他: 「ニューロコンピューティングに基づく定期補修計画問題の一解法」, 電学論B, 113, 5 (平5)
- [7] 由本, 他: 「GA融合型ニューロコンピューティングに基づく送電系統拡充計画問題の一解法」, 同上, 114, 10 (平6)