

ニューラルネットガウシアンマシンによる 発電機起動停止計画問題の解法

非会員	北海道大学	崔 永海	CUI	Yonghai
非会員	北海道大学	北 裕幸	KITA	Hiroyuki
非会員	北海道工業大学	西谷 健一	NISIYA	Kenichi
01503151	北海道大学	*長谷川 淳	HASEGAWA	Jun

1. まえがき

近年、組合せ最適化問題における、ニューラルネットワーク応用に関する様々な研究が盛んに行なわれており、電力系統分野にも、その適用が報告されている^[1]。本論文では、ホップフィールドモデルに確率的な雑音及びシミュレーテッドアニーリング(以下SAと呼ぶ)の技術を加え、ホップフィールドモデルの局所解への収束を回避する手法に関する文献^[2]を参考として、ガウシアンマシンを用い、発電機起動停止計画問題の定式化を行い、並解列パターンのみならず、発電機の出力も同時に求め得るような表現法を検討する。

2. 不等式ニューロンを考慮したガウシアンマシン

<2.1> ニューロンの動特性とエネルギー関数^[2]

ガウシアンマシンにおける各ニューロンの動特性は以下の式で記述される。

$$\frac{du_i}{dt} = \sum_j T_{ij} V_j + B_i + \varepsilon \quad (1)$$

u_i : ニューロンの内部状態, T_{ij} : 各ニューロン間のシナプス結合の重み, V_j : ニューロンの出力, B_i : ニューロン固有のしきい値

上式の ε は雑音項と呼ばれるもので、平均値0、標準偏差 $\sqrt{8/\pi T}$ のガウス(正規)分布に従う。ここで、 T は温度パラメータである。

ニューロンの出力は以下のシグモイド関数で表す。

$$V_i = f_i(u_i) = \{1 + \tanh(u_i/\mu)\}/2 \quad (2)$$

ここで、 μ は出力関数の曲線の傾きを制御するパラメータで基準活性化値と呼ぶ。

一方、ガウシアンマシンのエネルギー関数は、ホップフィールドモデルと同一の式で定義される。

$$E = -\frac{1}{2} \sum_i \sum_j T_{ij} V_i V_j - \sum_i B_i V_i \quad (3)$$

ニューロンの動特性に雑音項 ε があるため、上式のエネルギー関数は、時間とともに単調に減少するとは限らず、エネルギーが増加する方向への移動も可能となる。さらに温度 T を用いたSA法を合せて用いることにより、ローカルミニマムからの脱出が可能になる。

<2.2> シャープニングとアニーリング

ガウシアンマシンで最適化問題を解く際に有効な技法として、シャープニングがある。シャープニングとは、計算中に基準活性化値 μ をゆっくりと減少させ、

出力関数の勾配を急俊にしていくことをいう。シャープニングスケジュールの式は以下の式を用いている。

$$\mu(t) = \frac{\mu_0}{1+t/\tau_0} \quad (4)$$

μ_0 : μ の初期値, τ_0 : シャープニング時定数
 また、シャープニングと同時に、温度 T を減少させていくアニーリングの技法も採用する。アニーリングスケジュールの式は以下のものを用いる。

$$T(t) = \frac{T_0}{1+t/\tau_0} \quad (5)$$

T_0 : 温度の初期値, τ_0 : アニーリング時定数

<2.3> 不等式ニューロン^[1]

不等式制約条件を(6)式のように表現すると

$$D_j V_j \geq B_j \quad (6)$$

$$D_j = (D_{j1}, D_{j2}, \dots, D_{jn}) \quad (7)$$

V : n 次の変数ベクトル, D_j : 制約係数ベクトル, B_j : 境界値

不等式用ニューロン Y_j は、(8)(9)式によって表すことができる(図1)。

$$h_j = D_j V - B_j \quad (8)$$

$$Y_j = g(h_j) \quad (9)$$

$$\text{ただし、 } g(h_j) = 0 \quad (h_j \leq 0)$$

$$g(h_j) = Kh_j \quad (h_j > 0)$$

関数 g は制約が満足されない場合、変数用増幅器へ大きな入力を与える。

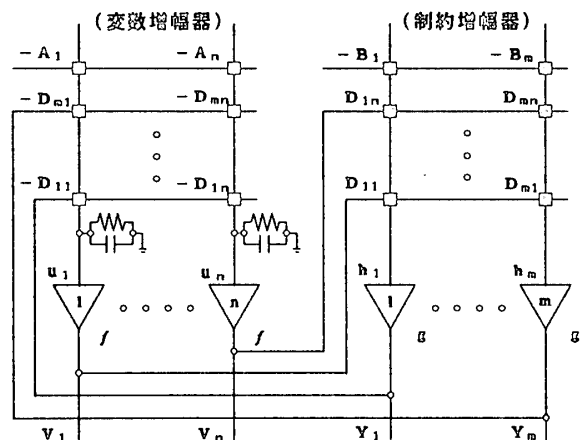


図1 線形計画問題用ネットワーク

3. ガウシアンマシンによる起動停止の決定

実運用における発電機の起動停止を考えるとときには、様々な制約を考慮しなければならない。主なものとしては、需給バランス、運転予備力、発電機出力上下限、最小運転・停止時間制約などがある。本論文では、簡単のため制約条件として、需給バランス及び発電機の出力上下限制約のみを考慮する。ガウシアンマシンに適用するため、起動停止問題は以下ようになる。

- (1) 目的関数に対するエネルギー関数
燃料費+起動費

$$E_1 = \sum_i^T \sum_j^N \{ a_i P_{ij}^2 + b_i P_{ij} + c_i V_{ij} + S_{Ti} V_{i,j-1} (1 - V_{i,j}) + S_{Ki} (1 - V_{i,j-1}) (1 - V_{i,j}) \} \quad (10)$$

ここで、 N : 発電機の台数、 T : 考察期間、 a_i , b_i , c_i : 発電機 i の燃料費係数、 P_{ij} : 期間 j における発電機 i の出力、 V_{ij} : 期間 j における発電機 i の状態 (発電機 ON : 1, OFF : 0), S_{Ti} : 停止後最初の1時間帯に対してかかる起動コスト、 S_{Ki} : 1時間帯より長い時間に対して、単位停止時間帯あたりの起動コストの増分

- (2) 需給バランス制約に対するエネルギー関数

$$E_2 = \sum_j^T (\sum_i^N P_{ij} - Pd_j)^2 \quad (11)$$

Pd_j : 期間 j における需要

結局、全体のエネルギー関数は関数 E_1 , E_2 の重みを W_1 , W_2 として (12) 式のように定義する。

$$E = W_1 E_1 + W_2 E_2 \quad (12)$$

- (3) 不等式制約の適用

発電機上下限制約については、発電機の出力 P_{ij} を次式のように定義することによって、この制約を考慮する必要はなくなる。

$$P_{ij} = (P_{imax} - P_{imin}) P_{ij} + P_{imin} V_{ij} \quad (13)$$

ここで、 P_{ij} : 発電機出力に関するニューロン

P_{imin} , P_{imax} : 発電機 i の最小, 最大出力

しかしながら、発電機停止時の出力は0になる必要があるため、発電機停止時の出力を0とする制約を加えることとする。この制約は、状態変数 V_{ij} と P_{ij} の関係が、以下の不等式を満足しなければならない。

$$V_{ij} \geq P_{ij} \quad (14)$$

この不等式を不等式ニューロン Y_{ij} に表現する。従って (8) 式の h_{ij} は次式によって定義される。

$$h_{ij} = V_{ij} - P_{ij} \quad (15)$$

4. シミュレーション結果

シミュレーションに使用したモデルは、発電機台数5台、考察期間9期間にした。発電機の燃料費特性を2次関数で表す。発電機の起動コストについては、飽

表1 計算結果

(a) 手法 I

期間	1		2		5		9	
発電機	Vi1	Pi1	Vi2	Pi2	Vi5	Pi5	Vi9	Pi9
#1	1	70.00	1	70.00	1	36.29	1	70.00
#2	1	115.00	1	115.00	1	98.52	1	115.00
#3	1	165.00	1	165.00	1	165.00	1	165.00
#4	1	175.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00
#5	1	175.52	1	249.08	0	0.00	1	199.79
ΣPi	700.52		599.08		299.81		549.79	

(b) 手法 II

期間	1		2		5		9	
発電機	Vi1	Pi1	Vi2	Pi2	Vi5	Pi5	Vi9	Pi9
#1	1	70.00	1	70.00	0	0.00	1	70.00
#2	1	115.00	1	115.00	1	115.00	1	115.00
#3	1	165.00	1	165.00	1	165.00	1	165.00
#4	1	175.02	1	155.28	0	0.00	1	135.18
#5	1	175.51	1	95.57	0	0.00	1	65.00
ΣPi	700.53		600.85		280.00		550.18	

和特性を考慮した。考察期間1, 2, 5, 9において、表1(a)には提案手法の計算結果を示す。また、表1(b)にSAを適用しない場合の計算結果を示す。提案手法の結果は、組合せ最適化で求めた厳密な最適解(ここで省略した)とほぼ一致しており、提案法の有効性が確認された。しかし、SAを適用しない場合は期間2, 5, 9の負荷に対してローカルミニマムへ落ち込む結果が生じた。

5. あとがき

本稿では、火力発電機起動停止計画問題へニューラルネットワークガウシアンマシンを適用するとともに、不等式制約用ニューロンの適用についても検討した。また、SA法を適用することによって、ローカルミニマムからの脱出が可能になり、その結果最適解への収束が実現できた。本問題が最適解へ収束するためには、提案手法の各エネルギー関数の重み、不等式用ニューロンの係数、SAの温度の初期値および時定数を適切に調整しなければならず、定数の設定には十分な注意が必要である。今後は、他の制約条件の考慮、実規模系統への適用についても検討する予定である。

参考文献

- [1] 佐々木他: 「ニューラルネットワークによる発電機起動停止計画問題の一解法」, 電気論B, 111巻7号, P.729 (平2)
- [2] 秋山他: 「ガウシアンマシンによる組合せ最適化」, 電子情報通信学会技報, MBE88-183 (昭63)
- [3] J.J.Hopfield & D.W.Tank: "Simple Neural Optimization Networks: An A/D Converter, Signal Decsion Circuit, and a Linear Programming Circuit", IEEE Trans. CAS-33, 533(1986)