設備運用計画問題のParticle Swarm Optimizationによる解法

01403655 茨城大学 奈良 宏一 NARA Koichi
01506440 茨城大学 *林 泰弘 HAYASHI Yasuhiro
01606370 茨城大学 三島 裕樹 MISHIMA Yuji
茨城大学 蓬田 倫之 YOMOGIDA Tomoyuki

1．まえがき

設備の運用計画問題は、時間帯毎の運用を決定しながら、一定期間を通した運用がある目的に照らして最適でなければならないため、一般に複雑な問題になる。従来より、このような問題はＤＰを用いて解かれていたが、規模が大きくなると演算時間の問題があった。本稿では、設備運用計画問題の解法に、Particle Swarm Optimization[1]を適用する手法について提案する。

2．設備運用計画問題

本稿では、時間帯毎の設備運用制約の下で、各時間帯の運用の状態を決定する状態変数からなる関数を最小とするような設備計画問題を取り扱う。この問題の一般的な定式化は以下のようになる。

最小化 Z

$$Z = F(\mathbb{x}) \tag{1}$$

$$h_i^t(\mathbb{x}) \le 0 \quad (i = 1,2,\cdots,M, t = 1,2,\cdots,t_{\max}) \tag{2}$$

$$\mathbb{x} = \left[x_{11}, x_{12}, \cdots, x_{jt}, \cdots, x_{nt\max}\right]^T \tag{3}$$

ただし、$\mathbb{x}$ ：時間帯tでの設備jの運用を決定する変数x_{jt}からなるベクトル、$F(\mathbb{x})$ ：総設備の運用コスト、$h_i^t(\mathbb{x})$ ：時間帯tにおけるi番目の制約関数、M：運用制約式の総数、t_{max}：考察期間内の離散時間帯の総数

3．PSOを用いた解法

Particle Swarm Optimization (PSO) [1]は、鳥の群れがえさを探す際に情報を群れの中で共有しているという仮説と、群れの中の鳥（PSOではこれをエージェントと呼ぶ）の行動が、これまでの自己の経験と群から与えられる情報をもとに行動するという仮説を模擬したヒューリスティックな最適化手法である。各エージェントは、位置と速度を持っており、各々がこれまでに探索した中での最良の目的関数値とその時の位置ベクトル$\boldsymbol{pbest}_k$、ならびに、全エージェントが探索した中での最良の目的関数値とその時の位置ベクトル$\boldsymbol{gbest}$にもとづき、その速度と位置を(4)式、(5)式に従って変更する。

$$v_k^{i+1} = a_1 v_k^i + a_2 rand \times (pbest_k - s_k^i) + a_3 rand \times (gbest - s_k^i) \quad (k \in NA) \tag{4}$$

$$s_k^{i+1} = s_k^i + v_k^{i+1} \qquad (k \in NA) \tag{5}$$

ただし、
v_k^i ：反復回数i回目のエージェントkの速度ベクトル、v_k^{i+1} ：反復回数$i+1$回目のエージェントkの速度ベクトル、s_k^i ：反復回数i回目エージェントkの位置ベクトル、s_k^{i+1} ：反復回数$i+1$回目のエージェントkの位置ベクトル、a_1, a_2, a_3 ：係数、$rand$ ：0～1 の範囲内の一様乱数、$\boldsymbol{pbest}_k$ ：エージェントkが探索した中で目的関数値が最小の位置ベクトル、$\boldsymbol{gbest}$ ：全エージェントが探索した中で目的関数値が最小の位置ベクトル、v_k^{imod} ：$\boldsymbol{pbest}_k$, $\boldsymbol{gbest}$に基づく速度、NA ：エージェント番号の集合

PSOの手順を以下に示す。

(1) エージェントkの初期の速度ベクトルv_kをランダムに与える。
(2) 初期の位置ベクトルs_kに対する目的関数値$F(s_k)$を計算する。
(3) s_kをこれまでの最良の位置ベクトル$\boldsymbol{pbset}_k$とする。この時、目的関数値が最小の$\boldsymbol{pbset}_k$を$\boldsymbol{gbest}$とする。
(4) 速度ベクトルv_kを修正する。
(5) 位置ベクトルs_kを修正する。
(6) (5)で更新したエージェントkの位置ベクトルs_kに対して目的関数値を計算する。
(7) $F(s_k) < F(pbset_k)$ならば、$pbset_k = s_k$とする。また、$F(pbset_k) < F(gbset)$ならば、$gbset = pbset_k$とする。
(8) 最大繰り返し回数に到達したならば探索を終了する。そうでなければ、(4)へ戻る。

本稿では、(1)式～(3)式で定式化された設備運用計画問題を、以下のようにしてPSOに適用する。すなわち、(3)式の変数ベクトル$\mathbb{x}$をエージェントkの位置ベクトルs_kに対応させ、s_kの要素を(2)式の運用制約を満足する範囲内で(5)式を用いて移動させ、最良の位置ベクトルを探索する。

4．適用例

本手法を、電力分野における事故時の電力貯蔵装置の運用決定問題[2]に適用した。事故時に停電が発生する場合、電力貯蔵装置を上手に運用すれば、停電電力量を小さくする可能性がある。ここ

で取り扱う問題は、事故時の停電電力量を最小にするように、時間帯毎の電力貯蔵装置間の貯蔵電力量の移動を決定する問題である[2]。本問題の定式化を以下に示す。

[目的関数]

$$G=\alpha\sum_{t=1}^{tmax}\sum_{i\in N_t}P_{outage_i}^{\,t}+\beta\sum_{t=1}^{tmax}\{Min(C_1^t,C_2^t)\}\rightarrow \text{最小化} \qquad (6)$$

$$C_1^t=\sum_{i\in EC_t}\left|E_i^t-E_i^{t-1}\right| \quad \left(E_i^t-E_i^{t-1}\geq 0\right) \qquad (7)$$

$$C_2^t=\sum_{i\in EDC_t}\left|E_i^t-E_i^{t-1}\right| \quad \left(E_i^t-E_i^{t-1}<0\right) \qquad (8)$$

[制約条件]

（需給バランス制約）

$$P_G{}^t+\sum_{i\in EDC_t}P_i^t-P_{loss}{}^t=\sum_{i\in EC_t}P_i^t+P_{load}{}^t \quad (t\in tmax) \qquad (9)$$

（線路容量制約）

$$\underline{Pflow_l}<Pflow_l^t<\overline{Pflow_l} \quad (l\in NBR, t\in tmax) \qquad (10)$$

（貯蔵装置の出力上下限制約）

$$\underline{P_i^t}\leq P_i^t\leq \overline{P_i^t} \quad (i\in NG, t\in tmax) \qquad (11)$$

（貯蔵装置の容量上下限制約）

$$0\leq E_i^t\leq \overline{E_i} \quad (i\in NG, t\in tmax) \qquad (12)$$

ただし、

α,β ：重み係数（$\alpha>>\beta$）、$P_{outage_i}^{\,t}$ ：時間帯 t におけるノード i の停電電力量（kWh）、$tmax$ ：考察期間の総数、N_t ：時間帯 t において遮断されるノード番号の集合、C_1^t ：時間帯 t において充電を行う貯蔵装置の充電電力量の総和、C_2^t ：時間帯 t において放電を行う貯蔵装置の放電電力量の総和、$P_G{}^t$ ：時間帯 t において上位系統から供給される電力の総和、$P_{loss}{}^t$ ：時間帯 t における電力損失の総和、$P_{load}{}^t$ ：時間帯 t における負荷の総和、EC_t ：時間帯 t において充電を行う貯蔵装置番号の集合、EDC_t ：時間帯 t において放電を行う貯蔵装置番号の集合、P_i^t ：時間帯 t におけるノード i の貯蔵装置の放電電力、$\overline{P_i^t},\underline{P_i^t}$ ：時間帯 t におけるノード i の貯蔵装置の充放電電力の限界値、E_i^t ：ノード i に設備された貯蔵装置の時間帯 t の終点における貯蔵電力量(離散変数)、$\overline{E_i}$ ：ノード i に設備された貯蔵装置の最大貯蔵電力量、$Pflow_l^t$ ：時間帯 t における線路 l の潮流、$\overline{Pflow_l},\underline{Pflow_l}$ ：線路 l の線路容量上下限値、NG ：貯蔵装置が設置されているノード番号の集合、NBR ：線路番号の集合

この問題に対し、図１に示す例題系統で数値計算を行った。なお、簡単化のためノード１、２の負荷は時間によらず一定（1.0pu）とし、ノード３の負荷は図２に示すように変化するものとした。また、ＰＳＯのパラメータであるエージェント数は４０、最大繰り返し回数は１０００回とした。

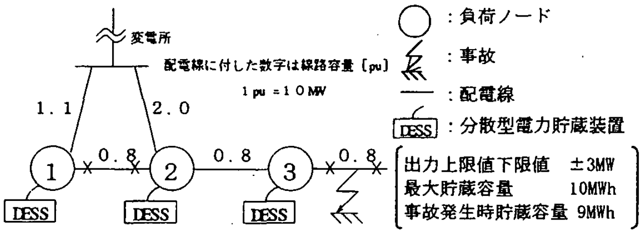

図１　例題モデル

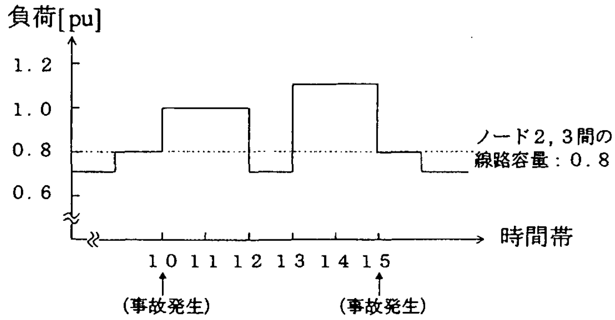

図２　ノード３の負荷パターン

電力貯蔵装置の貯蔵電力の移動を行わなかった場合と、PSO で決定した最適な運用を行った場合の停電電力量（目的関数値）の比較を表１に示す。なお、PSO による解は、動的計画法を用いて求めた最適解[3]に等しい。

表１　停電電力量の比較

	停電電力量
貯蔵電力の移動を行わなかった場合	1.0 [pu]
PSO で決定した最適な運用をした場合	0 [pu]

５．まとめ

本稿では、設備の最適運用計画問題の解法として PSO の適用法を示し、事故時の電力蔵装置の運用計画問題への適用例を示した。

文　献

[1] J. Kennedy and R. Eberhart, "Particle Swarm Optimization", Proc of IEEE International Conference on Neural Networks, Vol.Ⅳ, Perth, Australia, 1995

[2] 奈良他：「FRIENDS における分散型電力貯蔵装置の事故時運用決定手法」, 平成 11 年度電気学会東京支部茨城支所研究発表会, P30, 1999

[3] 奈良他：「FRIENDS における分散型電力貯蔵装置の事故時運用」, 平成 10 年度電気学会東京支部茨城支所研究発表会, A11, 1998