

GA、SA、TSの融合による火力発電機補修計画問題の解法

茨城大学 *金賢哲 KIM Hyunchul
 1506440 茨城大学 林泰弘 HAYASHI Yasuhiro
 1403655 茨城大学 奈良宏一 NARA Koichi

1. はじめに

火力発電機定期補修計画問題は典型的な大規模・複雑な組合せ最適化問題（スケジューリング問題）である。現実の大規模問題に対して、分枝限定法、動的計画法のような数理計画的手法を適用するのは計算量あるいは時間の点から非現実的な面があり、厳密な最適解ではなくても満足できる近似解を効率良く求める方法が必要である。筆者らは、既に、大規模組合せ最適化問題の近似解法の一つとして、広域的な探索を行う遺伝アルゴリズム（GA）にシミュレーティッド・アニーリング（SA）法を融合した手法を提案している[1]。本稿では、上記の手法に、タブー探索[2]を加えることにより、より高い精度の近似解を求める手法を提案する。また、本手法の有効性を数値計算を通して検証する。

2. GA、SA、タブー探索の融合による解法

本稿では、大規模なスケジューリング問題の解の精度を高めるため、GAとSAの融合手法に、最近、組合せ最適化問題に対し、その有効性が認められているタブー探索を導入した手法を提案する。

タブー探索とは、現在の解の近傍において、最も目的関数値が小さい（最小化問題の場合）解候補を局所探索で見出し、その候補への移動を繰り返すことにより最適解を探索する方法である。但し、移動の際、禁忌表（タブーリスト）を準備し、この禁忌表により、同じ解への繰り返し探索の回避、特定の探索領域での集中探索(Intensification)、探索領域の拡大(Diversification)などを行う。

提案手法では、このタブー探索の概念(Intensification/Diversification)をとり入れた遺伝子操作(後述)の後、タブー探索によって遺伝子ストリングの近傍を探索する方策をとっており、各アルゴリズム(GA, SA, タブー探索)の特性を生かしながら、広域探索と局所探索が組み込まれるよう工夫している。図1に本手法のフローチャートを示す。

図1より、本手法では、まず、タブー探索の集中と拡散(Intensification/Diversification)の概念を取り入れた遺伝子操作を行う。すなわち、探索領域を集中化するために一部の遺伝子に対する操作を制限し、また、探索領域の拡大のために類似したストリングパターンの個体同志の交叉を各個体間のハミング距離に応じて禁止している。本稿では、特殊な遺伝子操作を採っており、その遺伝子操作の概念を図2に示す。

遺伝子操作で生成されたすべての個体に対し、その評価関数値が現在より高い個体は次世代に生き残らせ、現在より悪い個体はSAの採択確率によってその生存が調節される。

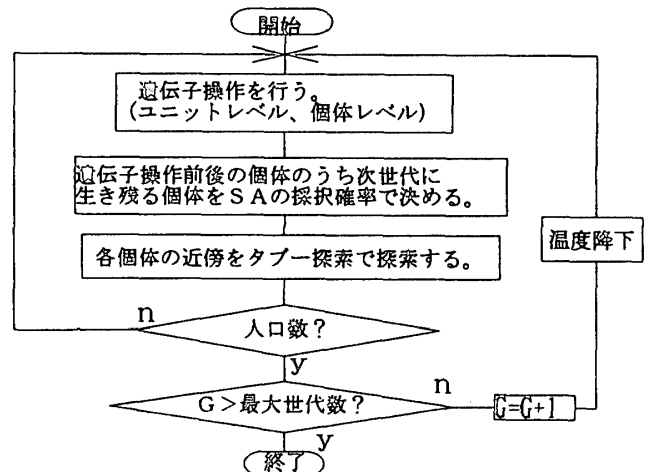


図1. 提案手法のフローチャート

次に、タブー探索を適用し、遺伝子操作によって得られたストリングの付近を探索する。また、タブー探索における解の近傍は、現在の補修スケジュールのうち一発電機の補修始点を前・後に一期間移動させたものからなるスケジュールの集合と定義されている。すなわち、近傍は、発電機数×補修回数×2（前、後）個の候補解からなる。

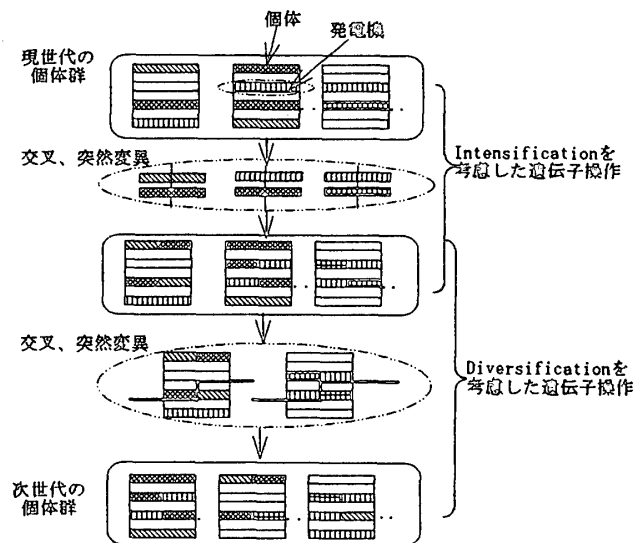


図2. 遺伝子操作

3. 提案手法の火力発電機補修計画問題への適用

3.1 問題の定義と解のビット表現

本稿で扱う火力発電機の補修計画問題は、需要供給

バランス制約、同時補修禁止制約などの制約下で燃料費と補修費を最小化すると共に供給予備率の分散も最小化する補修計画を策定する問題として定義する。

本稿では、発電機の補修スケジュールを有限長のビットストリングの個体で表現している。図3に本稿のビットストリングの構造を示す。

一つの個体は全発電機の多年間の補修スケジュールを表し、その一行は一発電機の補修スケジュールに該当する。各発電機の r 回目の補修は $(r-1)$ 回目の補修が完了した時点から 11ヶ月(48週)に補修種別毎に定められた延長可能期間(週)を加えた時点までに終わらねばならない。

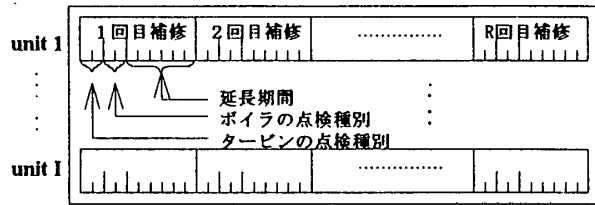


図3. ビットストリングの構造

3. 2 問題の定式化

3. 1節の火力発電機の補修計画問題は以下のような0-1計画問題として定式化できる。但し、一期間の長さを一週間とし、考慮期間すべての電力需要は既知とする。

[目的関数]

$$\text{Minimize } z = W \left(\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} f_i p_{ij} + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} C_{ir}(q_{0i}, k_{ir}) \right) + (1-W) \left(\gamma \sum_{j \in J} (s_{avg} - s_j)^2 \right) \quad \dots (1)$$

[制約条件]

(需要供給バランス制約)

$$\sum_{i \in I} P_i X_{ij} \leq P_{MAX} - D_j \quad (j=1, 2, \dots, J) \quad \dots (2)$$

(補修期間の連続停止制約)

$$\sum_{j \in J} X_{ij} = \sum_{r=1}^R M_i(k_r) \quad (i=1, 2, \dots, I) \quad \dots (3)$$

if $X_{ij} = 1, X_{i,j+1} = X_{i,j+2} = \dots = X_{i,j+t_i(k_r)-1} = 1$

(同時補修禁止制約)

$$\sum_{i \in I} X_{ij} \leq 1 \quad (j=1, 2, \dots, J, d_v=1, 2, \dots, v_d) \quad \dots (4)$$

(延長期間制約)

$$q_{0i} \geq q_{1i} + M_i(k_{i,r1}) + 48$$

and $q_{0i} \leq q_{1i} + M_i(k_{i,r1}) + 48 + E_{ir}(k_{i,r2}, k_{i,r1}) \quad \dots (5)$

[$k_{i,r1} = A, B$ の場合]

$$E_{i,r}(k_{i,r2}, k_{i,r1}) = \begin{cases} 59: k_{i,r0} = A \\ 29: k_{i,r0} = B \\ 7: k_{i,r0} = C \end{cases} \quad \dots (6)$$

[$k_{i,r1} = C$ の場合]

$$E_{i,r}(k_{i,r2}, k_{i,r1}) = 7 \quad \dots (7)$$

I: 発電機の数。J: 考慮期間数(週)。 D_j : 期間jの想定需要。R: 補修回数。 f_i : ユニットiの燃料費係数。

p_{ij} : 期間jのユニットiの出力。 P_{MAX} : ユニットの出力の和。 $C_{ir}(q_{0r}, k_{ir})$: 期間 q_0 のユニットiのr回補修費(種別は k_{ir})。 $M_i(k_{r0}), M_i(k_{r1}), M_i(k_{r2})$: ユニットiのr, (r-1), (r-2)回の補修の必要期間。 W: 重み係数。 S_{avg} : 平均予備率($\sum_j S_j/J$)。 S_j : 期間jの予備率。 P_i : ユニットiの定格出力。 X_{ij} : ユニットiが期間jに補修であれば、1そうではなければ0を取る状態変数。 D_j : 期間jの需要。 I_{dv} : 同時補修禁止制約の集合。 v_d : 集合 I_{dv} の数。 α, β, γ : 係数。

$E_{i,r}(k_{i,r2}, k_{i,r1})$: 延長可能期間。 q_{0i}, q_{1i} : r, (r-1)回補修の開始期間。

但し、式(5)の48という数値は一年(52週)から1月(4週)を引いた期間で、補修可能な最も短い期間である。また、式(6)と式(7)の59, 29, 7の数字は点検種別毎の可能な最大延長期間を示している。

4. 数値計算

提案手法の有効性を示すため、発電機23機のモデルシステムの260期間の補修計画を策定する数値計算を行った。結果を表1に示す。但し、表中のWは(1)式の重み係数である。この表より、本稿で提案した手法は、総コストと予備率の分散より、GA単独、SA単独、並びに、GAとSAの融合手法よりも優れた計画を策定可能なことが判る(W=1の場合にSAの方が高い精度の解が得られてはいるが)。なお、[R]は架空の通貨単位である。

表1 数値実験結果

	W	総コスト [R]	燃料費 [R]	補修費 [R]	平均予備率の分散 (%)	平均予備率 (%)	演算時間 (Sec.)	実行可能 (Y/N)
Simple GA	0.0	638639	617881	20578	34804	21.3	7588	N
	0.5	637556	617431	20125	33748	21.0	7151	Y
	1.0	638893	619145	54202	54202	21.7	6922	N
Simulated Annealing	0.0	642735	620796	21939	18415	18.1	55126	Y
	0.5	636181	618000	18181	24649	19.2	54881	Y
	1.0	632477	614577	17920	41326	21.4	52486	Y
Combined Algorithm (GA+SA)	0.0	640277	618615	21662	25250	19.3	7697	Y
	0.5	636821	616789	20032	27875	19.2	7712	Y
	1.0	633788	616229	17559	41825	19.6	7447	Y
This method (GA+SA+TS)	0.0	640697	618719	21978	18401	18.3	10578	Y
	0.5	635458	617431	18027	22469	19.5	9750	Y
	1.0	632768	614771	17997	40017	20.3	9554	Y

5. おわりに

本稿では、GA、SA、タブー探索の特性を生かした新しい融合手法を提案し、点検種別を考慮にいたった多年度の火力発電機の補修計画問題を通して、その有効性を検証した。

参考文献

- [1] H. Kim, K. Nara: "Thermal Unit Maintenance Scheduling Using GA Combined with SA" Proceedings of IEE Japan Power&Energy'94(Session I-E), pp19-24
- [2] F. Glover: "Tabu Search-Part I" ORSA Journal of Computing Vol. 1, No. 3(1989)