

GAによるエネルギーシステム配置計画

4P-7

原田 拓 森 俊介

東京理科大学 理工学部

1 はじめに

都市エネルギーシステムの1つに、1次燃料源から熱エネルギーと電力エネルギーを連続的に得るコジェネレーションシステム (CoGeneration System, 以下CGS)がある。一般に、CGSは対象地域に複数個導入され、分散型電源として利用される。CGS導入計画では、CGSの設置地域、エネルギー供給配管系列、CGS運転形式などを決定する必要があり、混合整数計画問題や線形計画問題として定式化される[4]。また、CGS導入計画は、解の組合せ数が膨大となり、組合せ問題の性質を伴う。

一方、遺伝的アルゴリズム (Genetic Algorithm、以下GA)は、組合せ最適化問題に対する効率的な近似解法として注目されており、VLSIレイアウト[3]などをはじめとして、様々な領域に対して応用されている。

本稿では、CGS導入計画に対してGAを適用する方法を提案する。ここで提案する方法は、構造化されたGAを基本的なデータ構造としており、それによりCGS導入形態を有向グラフとして表現する。

2 GA (遺伝的アルゴリズム)

GAは生物進化の原理に基づく確率的探索の手法であり、組合せ最適化の一手法として注目されている。最も基本的なGAであるSimple GAでは、バイナリの一次元ビット列によって解候補を表現する。基本的なアルゴリズムは、各個体(解候補)に対して、適応度の高い個体を残す選択、ビット列の一部分を交換する交叉、あるビットを対立遺伝子で置き換える突然変異などを繰り返し適用するといった確率的過程から成る。

3 GAを用いたCGS導入計画

3.1 CGS導入計画

CGS導入計画では、主に以下の項目を決定する必要がある。

- CGS配置地域
- エネルギー供給配管系列
- CGS運転形式

CGS導入計画は、各地域の熱エネルギー需要、電力エネルギー需要を満たすもとの、CGS建設費や運転費などをはじめとする様々なコストの和の最小化を目的関数として、複数の地域から成る対象地域全体に対して、どの地域にCGSを配置し、そこからどの地域にエネルギー供給を行なうかを決定する(図1)。

Planning of Energy System Placement using Genetic Algorithm

Taku HARADA and Shunsuke MORI

Science University of Tokyo

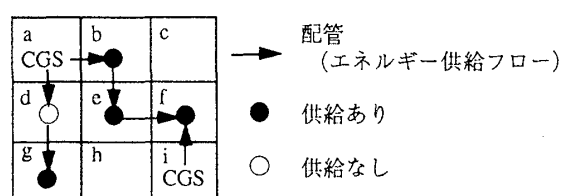


図1: CGS導入計画

ここで求める解は、CGS配置地域、エネルギー供給配管系列、CGS運転形式の組合せによって表現される。この組合せをGAを用いて求める。

3.2 データ構造

Simple GAでは、ビット列をバイナリの一次元配列で表現している。しかし、その枠組みをCGS導入計画に適用すると、全ての地域や地域間組合せに対してビットを用意し、その値を設定しなければならない。また、グラフ構造を一次元配列によって表現するため、遺伝子型が表現型の持つ関係を表現し難い。

これに対して、ビット列を階層化し、構造的に表現する研究がある[1]。[1]では、LISPのS式を構造的なGAを用いて表現し、そのもとでの遺伝操作を提案しており、それを、自動プログラミング、プランニング、パターン認識などに適用している。また、[2]では、移動ロボットの自動プログラミングに適用している。

ここでは、この構造的GAを基本的なデータ構造とし、ビット列を階層的に表現することによって、CGS導入計画を有向グラフとして表現する。具体的には、CGS導入形状を2進木として表現する。また、各地域名や配管関係を文字列で表現する。これにより、その木構造において、CGS配置地域およびエネルギー供給地域を表現する。

この構造を図2に示す。図2は図1が示す表現型を遺伝子型で示したものである。CGS導入計画は、複数の配管系列によって表現される。すなわち、一般に、対象地域内に複数のCGSを配置し、各CGSから複数の配管を設置する。図1の場合、CGSが2個、配管系列が3本存在する。つまり、配管系列の組合せとしてCGS導入計画を表現する。各配管系列は、'and'によって結合される。また、あるCGSからある地域に対して配管のみを行なう場合と、配管をし、かつその地域にエネルギー供給を行なう場合がある。これらを各々、'pipe'、'supply'によって表現する。また、2進木の低位ノードから上位ノードへのリンクがエネルギーの供給フローを表す。

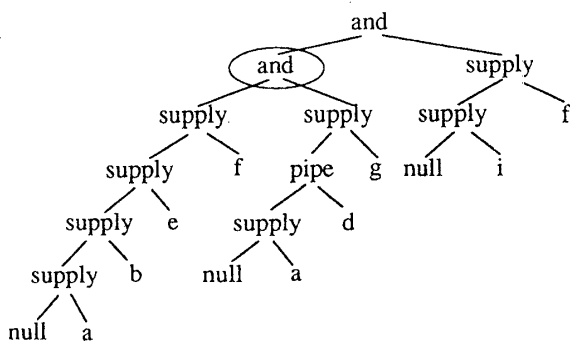


図 2: CGS 配置、配管系列の 2 進木表現

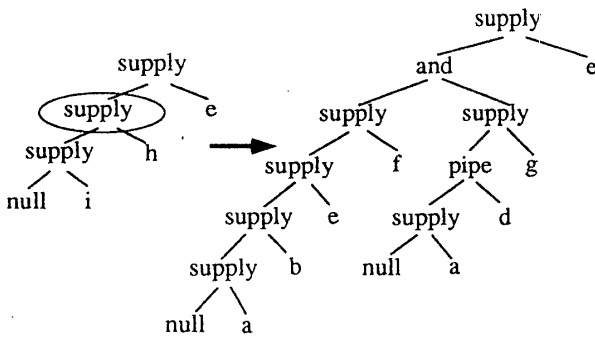


図 3: 交叉

3.3 遺伝操作

ここで、交叉および突然変異の方法について示す。交叉は、木構造上のノードを選択し、そのノードより下位の部分木どうしで交叉する。この場合、対象となるノードは、'and'、'pipe'、'supply' が考えられるが、その全ての組合せを許す。その結果、図 3 のような交叉が行なわれる可能性がある。これは、図 2 の○で囲んだ 'and' ノードが交叉ポイントとなり、図 3 の左側のグラフの○で囲んだ交叉ポイントと交叉した結果、'and' ノードの上位ノードとして 'supply' ノードが位置したものである。この場合、図 4 のように解釈する。これは、異なる配管系列に対して、同一の配管延長を行なうものである。すなわち、上位の木構造が示す配管系列を下位の木構造が継承するものであり、配管系列の融合を意味する。

また、この木構造では、'and' は配管系列の組合せを意味し、'pipe'、'supply' は、エネルギー供給の有無を意味するため、突然変異で 'and' が 'pipe' や 'supply'

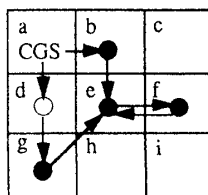


図 4: 配管系列の融合

に置き換えられた場合、その遺伝子型を表現型へ変換できない。従って、ここでは、集団の多様性の維持から、'pipe' や 'supply' から 'and' への突然変異も行なわず、'pipe' と 'supply' 間でのみ突然変異を行なうものとする。また、評価関数 (F) は、CGS からのエネルギー供給コスト ($Cost_{CGS}$) と CGS からエネルギー供給を受けない地域のエネルギー自給コスト ($Cost_{\overline{CGS}}$) の和で表現される。

$$F = Cost_{CGS} + Cost_{\overline{CGS}}$$

例えば、 $Cost_{CGS}$ には CGS 建設費 ($Cost_{cstr}$) が含まれるが、それは、基本的には以下のように表される [4]。

$$Cost_{cstr} = \sum_n P(M) * R * \tau$$

n : CGS 番号
 M : 建設規模定数
 $P(M)$: 建設費用関数
 R : 年経費率
 τ : シミュレーション時間率

CGS 導入計画では、CGS 配置地域、地域間の配管関係などを決定しなければならないが、これらの決定に関して順序関係はなく、これらは同時に決定するのが一般的である。ここで示した方法では、CGS 配置地域、配管系列を全て同一の木構造上で表現している。CGS 配置地域は、木構造のリーフが表現しており、これは、配管系列を決定する操作と同様の操作を行なうことによって、動的に決定される。すなわち、配管系列の決定と CGS 配置地域の決定を同一アルゴリズムによって同時に行なうことができる。

4 おわりに

本稿では、GA を用いた CGS 導入計画について、そのデータ構造、方法、および特徴について述べた。ここでは、遺伝子型を構造化して表現することによって、CGS 導入計画を表現した。この表現では、CGS 配置地域、配管系列を同一構造によって表現している。これにより、配置、配管を同時に計画することができる。これは、表現型の持つ性質を遺伝子型に保存するものであり、遺伝操作において、その形質遺伝の面から、重要な点である。

参考文献

- [1] J.R.Koza: Hierarchical Genetic Algorithms Operating on Populations of Computer Programs, *Proc. of IJCAI-89*, (1989), pp.768-774
- [2] J.R.Koza and J.P.Rice: Automatic Programming of Robots using Genetic Programming, *Proc. of AAAI-92*, (1992), pp.194-201
- [3] K.Shahookar and P.Mazumder: A Genetic Approach to Standard Cell Placement Using Meta-Genetic Parameter Optimization, *IEEE Transactions on Computer-Aided Design*, Vol.9, No.5, (1990), pp.500-511
- [4] 石坂匡史、山地憲治、茅陽一: 分散型電源の導入評価 - 地域メッシュ型需要データへの適用 -, エネルギー・資源学会第 9 回エネルギーシステム・経済コンファレンス、(1993), pp.215-220