

遺伝的アルゴリズムによる経路設計の試み

伊藤照明

Genetic Algorithm Approach to Piping Route Path Planning

Teruaki Ito

Abstract

The paper describes an approach of piping layout planning using genetic algorithm (GA). Optimization technique of GA generates a preliminary route path through evolution of genes which represent the piping route path. A designer evaluates the route path, modifies it, and repeats the procedure until the appropriate path is formulated. In this way, a designer can interactively proceed the layout of piping in a collaborative manner using a design support system. The paper describes the procedure of the method using some results of simulation and shows the validity of our approach.

1. 緒言

構成機器の性能を十分に発揮し、かつ空間的な制約を満たす位置関係を定める配置設計は、各種生産システムや化学プラント等の設計で重要な位置を占める。その一部を構成する配管設計[1]では、設計すべき配管系のモデルを構築し、そのモデルに修正を加えながら設計を固めて行く、典型的な試行錯誤型の設計といえる。しかし、複雑な空間制約条件で適切な作業空間を確保しつつ最短距離の経路を設計し、かつ仕様変更に対応して最適な設計を行うには熟練した技術が必要である。

本稿では、配管経路設計の最適化戦略の方法として、また、大局的な配管経路理解による概念設計の試みとして、遺伝的アルゴリズム (GA:Genetic Algorithm) [2] による最適化手法を利用した経路設計手法について述べる。また、本法により作成した配管経路のシミュレーションによりその有効性を検証する。

2. GAによる配管経路表現

多峰性関数における並列探索手法として、生物の進化を模倣した遺伝的アルゴリズム (GA) が種々の最適化問題に適用され、その有効性が報告されている。GAは生物の進化のメカニズムを模倣したプログラミング技法であり、生物が自然淘汰や突然変異によって進化し、その環境にふさわしい姿になっていったように、対象とする問題への解答を進化させ、よりよい解を求めて行く。GAは、第0世代の個体群を構成する個体をいくつか任意に選び、交配や突然変異等の遺伝演算や個体の適応度の計算を行うことによって次世代の個体群を形成する。そして、この操作を何回か繰り返すことによって進化し、より適応度の高いものが生き残れるという手法である。

ある制約条件下で目的関数を最小とする設計変数を求める場合の一般的な最適設計問題の定式化を以下に示す。

Find $x = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ (設計変数)
 to minimize $f(x)$ (目的関数)
 subject to $g_j(x) < g_j$; ($j=1, 2, \dots, M$) (制約条件)

GAを最適設計に応用するために、目的変数vs遺伝子の文字列、目的関数vs適応度の対応を考慮して、制約条件は例えばペナルティー関数を設けて目的関数の中に入れておく。それにより、GA操作の繰り返しの後、新しい世代を表わす文字列が最適な設計変数を示すことができる。

最適問題のひとつである配管経路設計にGAを用いるために、始点から終点までの経路を文字列で表現し設計変数として取り扱うものとする。ここでは、配管経路の敷設空間を2次元でモデル化し、その空間を $N \times M$ のセルに分割する。そして、配管経路を構成するセルの位置情報をもとに経路を遺伝子にコーディングする。配管経路を表現する遺伝子型は、右上左下方向のベクトルに相当する記号列の成分を $\{1, 2, 3, 4, 0\}$ とし、それぞれ右上左下方向と静止に対応させる。静止とは、そのセルから動かない状態で、目標セルに到達したことを意味する。図1に遺伝子コーディングの例を示す。

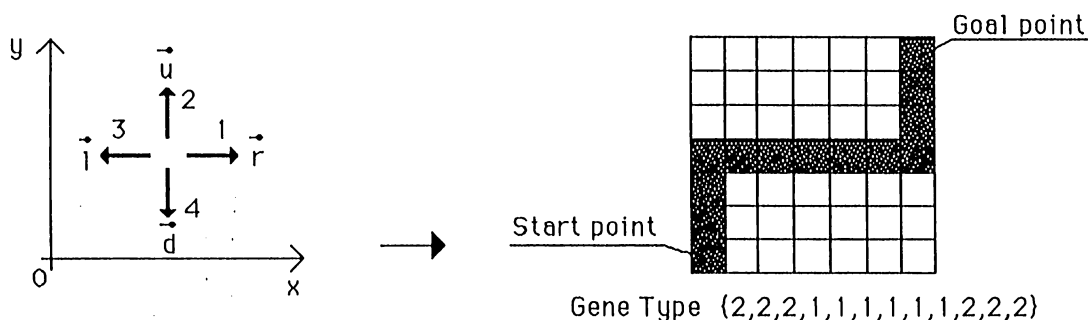


図1：遺伝子による経路表現

3. GAによる配管経路設計手法

一般に、配管経路設計における設計観点として、経路の長さをできるだけ短く、同じ種類の経路はまとめて配置、経路と保守作業用のスペースの確保等があげられる。理想的にはこうした観点から十分な考察が必要であるが、本研究では経路の長さをできるだけ短くすることに重点を置いた設計とした。

経路を短くするには、初期点から目標点までをできるだけ直線的な経路で結ぶことが最短であるが、実際はその間に様々な装置、機器等が存在すること、また次に述べるような敷設条件の理由等から、必ずしも直線で結ぶわけではない。すなわち、発電プラント等ではあちこちに配管が施されているように見えるが、そうした配管は適切なサポート材がつけられる位置に敷設される。つまり、配管経路はサポート部材が付きやすい場所である装置や機器の周り、あるいは構造物の外壁周り等を通るよう配置される。そこで、作業空間をセル分割し、配管設計空間のポテンシャルエネルギーの値を用いて、装置や機器の周りのセルを低く設定することで対応した。

また、配管経路の方向変換は 90° 単位で行われるが、多すぎる経路長が伸び、少な

すぎると経路がサポート部材の付かない部位を通る等の弊害が出ることから、適度な制限を設けることとした。

以上を考慮して作業空間のポテンシャル値、経路の方向変換状態等を主な構成要素とする適応度関数を定義し、配管経路生成を検討した。

経路生成における初期個体の生成は、出発点と目標点を結ぶ経路として探索領域内をできるだけ網羅的となるように中間目標点を用いて生成し、その一方で、探索の効率化のため方向性の概念を導入し、目標点方法のベクトルの発生確率を高くした。そのようにして生成した初期個体を進化させ、最も適応度の優れた個体（経路）を得ることができた。図2はGAの処理により配管経路が収束する様子を示す。

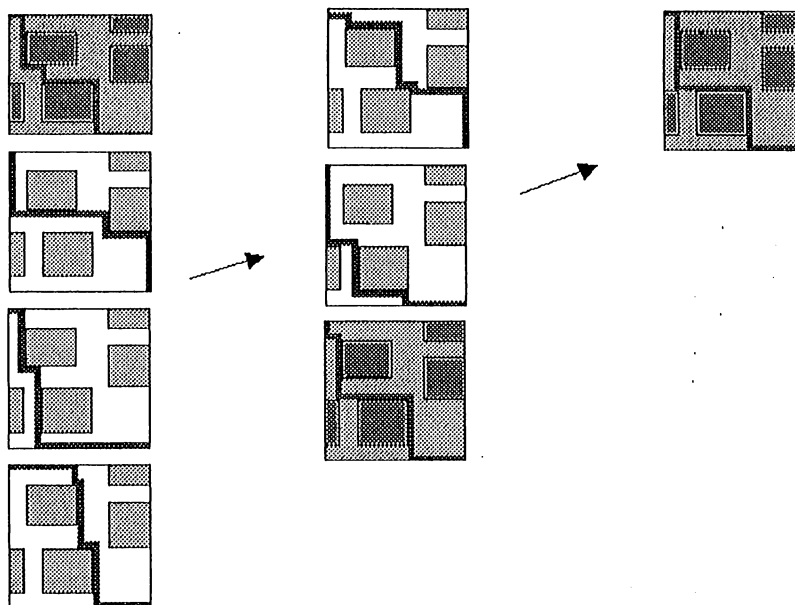


図2：配管経路設計における経路収束例

4. 配管経路設計支援システムの概要

上記で述べた配管経路生成手法に基づいて経路設計支援のプロトタイプシステムを開発した。本システムはGAを用いて経路設計を行うエンジン部と、ユーザーが直接的に操作するGUI部から構成されている。ユーザーはGAの処理を意識することなく、マウス操作により対話的に設計を進める仕組みとなっている。

操作方法であるが、ユーザーは配管設計の領域をセルに分割し、機器の配置を考慮してマウスで障害物を設定する。次に、出発点と目標点を画面上で設定し、また、必要であれば経路の中継点を設定し、設定条件を保存する。その後、設定されたパラメータに基づいてエンジン部により経路設計を行い、設計結果を視覚的に表示し、その評価に応じて再設計を行う。図3に経路設計処理の例を示す。

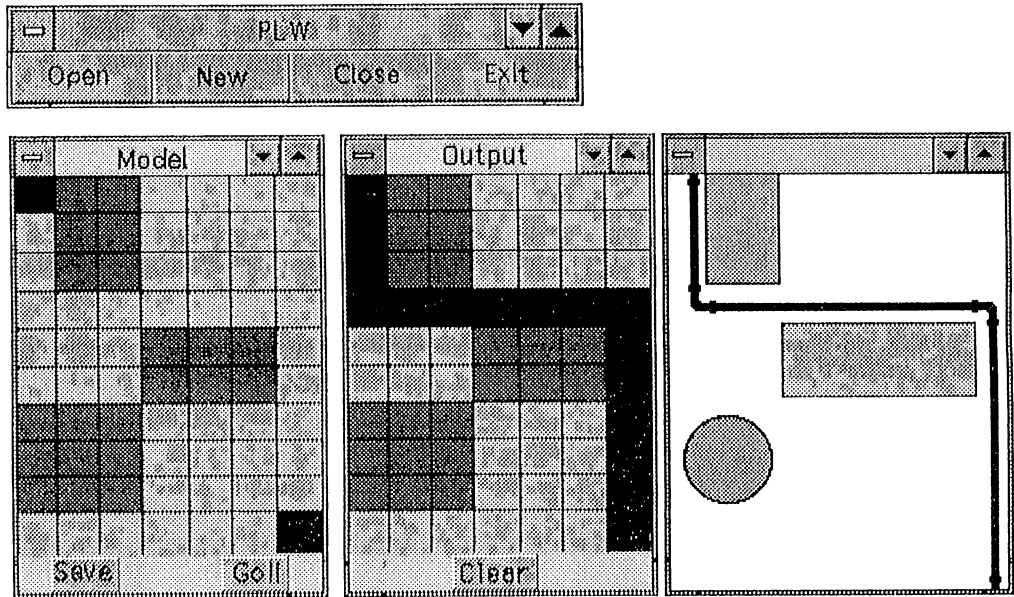


図 3：設計処理の例

5. 結言

GAによる最適化手法を利用した配管経路設計手法について述べた。本研究では、経路生成のための遺伝子の定義、空間ポテンシャル、初期個体生成法、経路生成における方向性の概念、交差法の検討、適応度関数等についての検討を行った。そして、その検討結果に基づいて配管経路設計手法の開発を行った。さらに、その手法に基づいて構築した配管経路設計のプロトタイプシステムによるシミュレーション結果から有意義な結果を得ることができた。

今後は、処理の高速化、さらに複雑な条件への対応、3次元空間の扱い、CADシステムとの統合等を中心に研究を進める予定である。

参考文献

- [1] 高桑哲男：配水管網の解析と設計，森北書店 (1978)。
- [2] Goldberg, D.E., Genetic Algorithm in Search, Optimization and Machine Learning (1989), Addison-Wesley Publishing Co.

(徳島大学 University of Tokushima)