

GAを用いた板金構造物の展開図作成手法

宮崎県工業技術センター *外山真也 TOYAMA Masaya
 01307856 宮崎大学 富田重幸 TOMITA Shigeyuki
 01704426 宮崎大学 吉富康成 YOSHITOMI Yasunari
 サイバーテック(株) 春成嘉弘 HARUNARI Yoshihiro

1 緒言

空気や流体などの流れの方向を制御するダクトや配管の形状は多種多様であるため、その展開図設計は容易ではなく多大な時間を要しているのが現状である。現在、限られたパターンにおける板金構造物展開図の自動生成機能を有するCADは存在するが、現実に必要な板金構造物の形状パターンは多種多様に及び、形状にわずかな違いがあると対応できないことが少なくない。さらに、展開図自動生成に関する研究報告例はきわめて少なく、わずかに二分木データ構造による各種箱形形状の展開図を求める手法について報告されている程度である[1][2]。

そこで、本研究では、板金構造物の展開図作成を最適化問題として定式化し、GAを用いて近似最適解を求める手法について検討したので報告する。

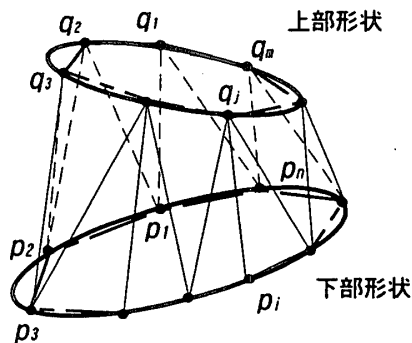


図1 展開図作成のための結線

表1 結線状態を表す行列Xの例

		上部形状の点群						
		1	2	3	...	j	...	n
下部形状の点群	1	1	1	0	0	0	0	0
	2	0	1	1	0	0	0	0
	3	0	0	1	1	0	0	0
	...	0	0	0	...	0	0	0
	i	0	0	0	1	1	0	0
	...	0	0	0	0	1	...	1
m	1	0	0	0	0	0	1	

2 対象とする問題

空気や流体が流れる入口(下側)と出口(上側)の断面形状を定義し、その断面間を結ぶ三角形平板で側面を生成することを考える。このとき、各断面形状は点群で直線近似された形状とする(図1)。

2-1 側面を決定する結線配置

下部形状を表現するm個の点を $p_i (i=1, \dots, m)$ 、上部形状を表現するn個の点を $q_j (j=1, \dots, n)$ としたとき、結線する線の本数は、 $m+n$ 個となり、結線は表1の行列 $X=(x_{ij})$ で表現できる。この表は、上部形状の点群を行、下部形状の点群を列方向に並べている。そして、その対応する2点を結線する場合は行列要素が"1"となる。

2-2 問題の定式化

下部形状を表現する点と上部形状を表現する点において、点間距離が最小となる点を、それぞれ p_r 、 q_t として、各点 p_r 、 q_t 間の距離 $l_{i,j}$ を求め、行列 $L=(l_{ij})$ を作成した。この板金構造物の展開図作成問題を、結線の長さの総和を目的関数として、行列 X の各要素の値を決定する0-1計画問題として、以下のように定式化する。

$$\begin{aligned} \text{Minimize} \quad & \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n l_{i,j} \cdot x_{i,j} \\ \text{Subject to} \quad & \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n x_{i,j} = m+n \quad (1) \\ & \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n x_{i,j} \cdot x_{i,j+1} = m \quad (2) \\ & \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n x_{i,j} \cdot x_{i+1,j} = n \quad (3) \\ & \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{i,j} \cdot x_{i,j} = m+n \quad (4) \\ & x_{i,j} \in \{0,1\}, (i=1, \dots, m), (j=1, \dots, n) \\ & (x_{i,n+1} = x_{i,1}, x_{m+1,j} = x_{1,j}) \end{aligned}$$

ここで

$$\begin{aligned} c_{i,j} &= a_{i,j+1} + a_{i,j-1} + b_{i,j+1} + b_{i,j-1} \quad (\text{ブール代数演算}) \\ a_{i,j,\pm 1} &= \begin{cases} 1, & (z_{i,j,p,\pm 1} \cdot z_{i,j,q,\pm 1} \geq 0) \\ 0, & (z_{i,j,p,\pm 1} \cdot z_{i,j,q,\pm 1} < 0) \end{cases}, \quad b_{i,j,\pm 1} = \begin{cases} 1, & (z_{i,j,p,b,\pm 1} \cdot z_{i,j,q,b,\pm 1} \geq 0) \\ 0, & (z_{i,j,p,b,\pm 1} \cdot z_{i,j,q,b,\pm 1} < 0) \end{cases} \\ & (i=1, \dots, m), (j=1, \dots, n) \quad (\text{複号同順}) \end{aligned}$$

(1)は結線数の制約条件、(2)、(3)は結線で側面が形成されるための制約条件、(4)は各三角形で側面が形成できるための制約条件である。側面は、上、下形状のどちらか一方の一点と他方の隣り合う2点との三点で決定される三角形で構成できる。そこで、 $a_{ij,\pm 1}$ は、点 p_i と q_j を結ぶ線を一辺とする三角形($p_i, q_j, q_{j\pm 1}$) (複号同順)を作り、その平面が側面として適正かどうかの判定結果である。このとき、その平面をXY平面とし、法線ベクトルがZ軸方向になるように座標変換したときに、下部形状の中央点 p_c 、上部形状の中央点 q_c のZ座標を各々 $z_{ij,p,a,\pm 1}$ 、 $z_{ij,q,a,\pm 1}$ とした。同様に $b_{ij,\pm 1}$ は、点 p_i と q_j を結ぶ線を一辺とする三角形($p_i, p_{i\pm 1}, q_j$) (複号同順)での判定結果である。

3 GAの適用

本問題のGAによる解法においては、適応度は、目的関数の逆数を与えた。また、交叉や突然変異等により、制約条件を満足しなくなった場合、致死遺伝子とした。

行列Xが表現型の個体となる。そこで要素 x_{ij} の"1"の並びに着目し、 $x_{1,1}$ からはじめて"1"の位置を追跡することにより遺伝子型の個体を作成した。ここで個体の遺伝子は、列移動(配列で右への移動)の場合が1、行移動(配列で下方向への移動)の場合に0とし、遺伝子型の個体を上、下部形状の点数 $m+n$ 個のビット列で表した。

このことにより、上下の各点の結線の組み合わせに関して、順序よく断面間の結線を表現することができる。この表現方法を隣接制約パス表現と呼ぶこととする。コード化の例を表2に示す。

初期集団の発生段階で、上部形状を表現する点数 n 個の遺伝子座をランダムに選択し、遺伝子"1"を発生させた。個体数500個で、一点交叉、交叉確率0.4、一点突然変異、突然変異確率0.02、世代数5000回の条件で処理を行った。

表2 コード化の例

表現型の個体 : $\begin{bmatrix} 1,1,0,0 \\ 0,1,1,0 \\ 0,0,1,1 \\ 1,0,0,1 \end{bmatrix}$

遺伝子型の個体 : 10101010

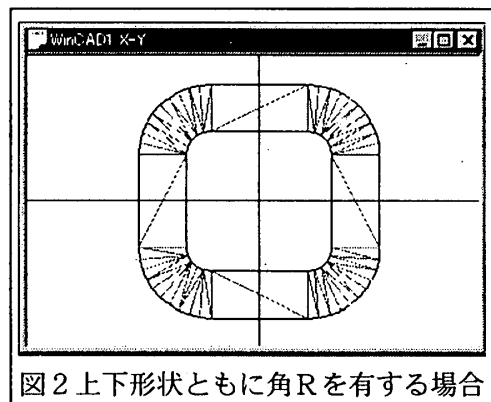


図2 上下形状ともに角Rを有する場合

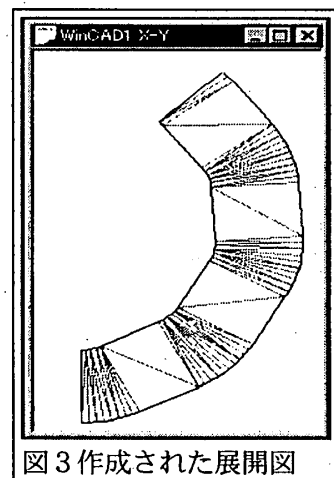


図3 作成された展開図

4 適用例

本法を適用して、上下二つの形状の点数がともに4個の場合は、10回の処理を行い、10回ともに本法での近似最適解が、参照用に別途求めた最適解と一致することを確認した。また、下部形状の点数が44個、上部形状の点数が24個の場合の計算結果例を、図2及び図3に示す。この処理時間は1分31秒であった。また、ランダムに20000個発生させて求めた解の中で適応度が最も高い解よりも高い適応度を持つ解を得ることができた。計算に使用したコンピュータは、DEC製 Personal Workstation Pentium2, CPU 400MHzである。

5 まとめと今後の展開

板金構造物の展開図作成を最適化問題として定式化し、GAを適用した。本法ではコード化において隣接制約パス表現を提案し、処理の高速化を実現することができた。厳密解が別途得られる場合、本法の解は厳密解と一致した。また、点数が多くスケールの大きい問題であっても、実用的なレベルの展開図が得られている。

しかし、下部断面を含む平面に上部断面を平行投影したときに、形状領域が全く重ならない場合等では、本法では実用的な展開図が得られないことがわかっている。このような場合に実用的な展開を求めるための問題の定式化をどのようにすべきかは今後の課題である。

参考文献

- [1] Yu-Long Lin and D.C.H. Yang, "Automatic Development Generation for Thin-Walled Objecta", DEVol, 69-, Advances in Design Automation pp.367-377 1994
- [2] M.C. Gan, S.T. Tan, and W. Chan, "Generating and Flattening of Developable Surfaces", DE-Vol, 69-1, Advances in Design Automation pp.359-366 1994