任意形状素子のゲーム論的配置手法

5J−7

永田 善隆　村井 保之　巽 久行　徳増 眞司
神奈川工科大学 工学部 情報工学科

1．はじめに

本論文では，空間内スペースの取り合いの問題として位置付けられる，板取問題の典型的な例として，工学的にも重要なＩＣやＶＬＳＩの設計における素子配置に関わる問題を採り上げる．筆者らは，従来のブロックスライシング表現やグラフ表現で状態を記述し，アニーリング最適化を図る方法とは全く異なる，ゲーム論的アプローチによる方法を既に文献[1]で提案した．そこでは，単位ブロックの単体複体で構成された角型ブロックを用いている．しかし，実際のＩＣ開発において用いられる素子は，位相的には一致するが寸法はもっと自由であり，単純な単位ブロックの単体複体として扱うことは困難である．だが，実際の角形素子（これをＡ角型ブロックと呼ぶ）に対して，適当な単位長さを選択することで，頂点と辺に関してこれと同じ位相を有し，かつ，これを内包するように，ディジタル化された角形ブロックを設定（これをＤ角型ブロックと呼ぶ）することが出来る．本報告は，実際の素子に対応したＡ角型ブロックを用いて，素子配置問題を想定した角型ジグソーパズルを解くことで，実際の素子配置問題への応用が可能であるかを検討する．

2．解法

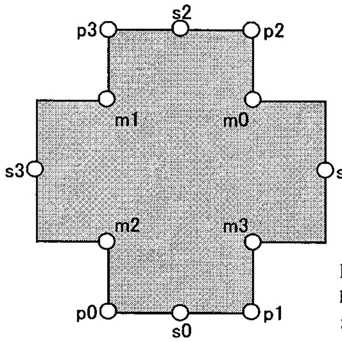
角型ジグソーパズルは，一般のジグソーパズルと同じく，与えられた平面領域上に，与えられたピースを配置し，すべてのピースを使って，この領域を埋め尽くす問題であり，配置の仕方に関して少なくとも一つの解があることが予め分かっているものとする．そして大抵の場合，多くの組み合わせがある中で解は非常に少なく，従ってこれを最適化問題としてみた場合，可能解が直ちに最適解だということになる．そこで，求解手順の基本的な考え方として，とにかく１つの解を早く求めることを優先する．これには，状態評価に基づく優先度によって次に配置するピースの選択を行う，ヒューリスティックを用いた縦型優先探索法を採用し，以下の手順で解を求めることとする．

（１）Ａ角形ブロックに対応するＤ角形ブロックの組と、あらかじめ仮定した配置領域に対して、Ｄ角形ジグソーパズルの最適配置問題を解く。

（２）（１）で配置されたＤ角形ブロックの位置関係を、基本的に保ちつつ、対応して配置されたＡ角形ブロックを、隣り合うＡ角形ブロック間の余白を埋めるように、軸方向の原点側に移動させる。この操作を、移動出来るブロックがなくなるまで続ける。

Game-theoretic layout method for rectilinear chips with arbitrary shape.

Yoshitaka Nagata, Yasuyuki Murai, Hisayuki Tatsumi, Shinji Tokumasu
Kanagawa Institute of Technology



p0〜p3:凸頂点
m0〜m3:凹頂点
s0〜s3:辺頂点

図１　頂点の種別

3．状態の評価

Ｄ角型ジグソーパズルの場合，与えられた状態(配置領域への配置状態と残りピース）の評価とは，ピースを配置領域に，手持ちのピースをすべて使って，単体複体的に埋め尽くすための可能性を，現在の状態から直接評価することと同義である．この可能性を必要十分条件の形で言い表すと，“配置領域と合同なピースの単体複体的多角形を構成できる”ということになる．これを少し緩めて，必要条件の形で述べると，次のようになる．

（１）配置領域の面積はピースの面積の総和に等しい．

（２）ピースの頂点や辺に関わる位相的特徴量に関して，配置領域のそれと一致するピースの単体複体的多角形を構成できる．

このうち，条件（１）に関しては，原問題に解が存在するという前提があるので，“配置領域の左下隅に配置領域からはみ出ないように，かつ，すでに置かれたピースがある場合，単体複体的に接するように，ピースを配置する”というルールが守られている限り，常に成立している．そこで，状態の評価を条件（２）を基準に考える．

まず，一定の単位長を一辺とする単位ブロック，または，単位ブロック複数個を隣接する２つのブロックが互いに他方の一辺を共有するように構成したブロックを，デジタル化された角型ブロックと呼ぶ．デジタル化された角型ブロックの頂点と辺は，それぞれこれを構成する単位ブロックの頂点と辺のうち，角型ブロックの境界上にある頂点と辺によって構成される．本研究では，特に頂点に注目し，図１に示すような位相的に 12 種類（p0, p1, p2, p3, m0, m1, m2, m3, s0, s1, s2, s3）に分類している．このうち，p0〜p3 は凸頂点を，m0〜m3 は凹頂点を，s0〜s3 は辺頂点を，それぞれ表している．

次に，２個以上の角型ブロックの単体複体的接合

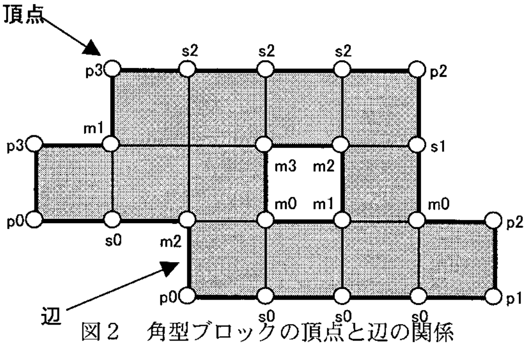
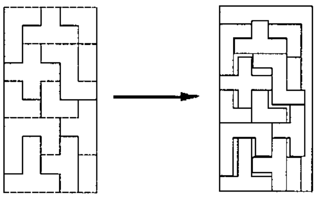


図２　角型ブロックの頂点と辺の関係

においては（図２参照），各々の頂点同士が互いに重なり合って消滅し，新しい合成角型ブロックの頂点を生成する，いくつかのパターンが存在する．これらの位相的特徴の潰しあいに関する位相的特徴量として，手持ちのピース全体および配置領域に関わる頂点の位相的特徴が反映される e,s,m,d,c なる量を導入した．もし，状態が角型ジグソーパズルであるならば，手持ちのピースをある順序で単体複体的に接合すれば，合成角型ブロック（多面体）は配置領域と合同となる．結局，接合パターンに関わる頂点の種別増減が，手持ちのピース全体にわたる各特徴量の総和と対応する配置領域の特徴量の差が，一定の規則を満たすという事実を基に，状態を評価する．我々は状態に可能解が存在する，次の必要条件を導出した．

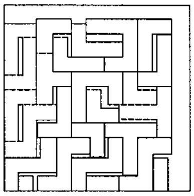
$e \geqq 0,\quad d=e-m \geqq 0,\quad c=2e-(s+m)\ \geqq 0$ 　　･･･(1)

この条件の成否判定を第１段状態評価と呼び，これが満たされないとき，解が存在しないことになる．



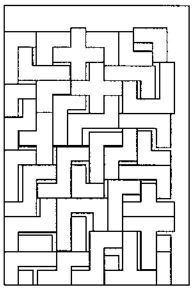
前処理：3sec　　本体処理：0.5sec

（a）Puzzle-B（先読み＝３，固定配置，Ｅ小）



前処理：4sec
＋ 本体処理：1sec

（a）Puzzle-B（先読み＝３，回転配置，Ｅ小）



前処理：17sec
＋ 本体処理：1.5sec

（C）Puzzle-D（先読み＝３，回転配置，Ｅ小）

図３　Ａ角型ブロックの最適配置例

さらに，配置領域に一致する最終的な合成手順の組み合わせの複雑度に関する情報量として，次のようなエントロピーを評価尺度として導入した．

Entropy　（但し，$e \geqq s$ のとき）　　･･･(2)

$= 7 \cdot \log(d+2m+1)+5 \cdot \log(d+1)$

Entropy　（但し，$e < s$ のとき）　　･･･(3)

$= 7 \cdot \log(c+2m+1)+4 \cdot \log(c+1)+\log(s-m+1)$

解が存在する状態でこれを求めることを第２段状態評価と呼び，次に配置するピースの優先順位をつける戦略として，このエントロピーを利用している．

４．Ａ角型ブロックに対する処理

Ｄ角型ブロックの配置問題を解いた後のＡ角型ブロックに対する処理として，得られた配置のＤ角型ブロックに対応するＡ角型ブロックに対し，隣接するブロック間の余白を取ることで，Ａ角型ブロックの配置解とする．その，手順を以下に示す．

```
Ａ角型ブロック配置（角型ブロック配置）
  ・角型ブロック配置に対応するＡ角型ブロック配置
    位置を決定
  for(全ての角型ブロック)
    ・隣接するブロックの組を近傍とする
  ・継続=真
  while(継続)
    ・継続=偽
    for(全てのＡ角型ブロック)
      if(近傍と隣接余白あり)
        ・ブロックを近傍と接触するまで x,y 軸方
          向の原点側に移動させる
        ・継続=真
```

５．実験による検証

前節までに述べた，位相的特徴量に基づくＡ角形ブロック配置問題の定式化とその解法について，アルゴリズムを Macintosh G3(500MHz) にプログラム実装し検証した．結果の一例を図３に示す．図中の前処理とは，角型ブロックの最適配置問題を解いたものであり，本体処理とは，Ｄ角型ブロックに対応した隣接するＡ角型ブロック間の余白を調整したものである．結果から最適な配置かどうかは議論の余地があるが，少なくとも，無駄の少ない自然な配置となっていることは確かと思われる．

６．おわりに

今回，実際の素子を想定したＡ角型ブロックの配置問題を解くことで，実際の素子配置への応用が可能であることを示した．今後の課題としては，配線などの制約を考慮したものへ拡張してゆく予定である．

参考文献

(1)前田,大蔵,巽,徳増:ゲーム論的アプローチによる角型ブロック配置問題の解法,情報処理学会第 61 回全国大会,Vol.1,pp.111-112(2000).

(2)越智,加盟,内ヶ崎,徳増:計算機が解く詰め将棋,数学セミナー,Vol.46,No.6,pp.44-48(1969).

(3)D.F.Wong and C.L.Liu:A new Algorithms for Floorplan Design, 23rd Design Automation Conference, Paper 7.1, pp.101-107(1986).