

シルエットからタングラム問題を生成するパズル創作システム Puzzle Making System for Tangram from Silhouette

佐々木 慧[†]
Kei Sasaki

高井 昌彰[‡]
Yoshiaki Takai

1. はじめに

タングラムとは、シルエットパズルの一種であり、問題として提示された形状を、1つの正方形から切り分けられたいくつかのパーツを組み合わせて形作るパズルである。タングラムは、国や年齢を問わず世界的に親しまれており、国内でも様々な教材として用いられることも多い[1]。しかし、Jelly Slocum らの調査によれば、現在作成されているタングラムの問題数は高々数千個程度であり、問題のパリエーションについて課題がある[2]。

本稿では、タングラムで形成したい複数の任意形状を入力として与え、その近似形状を解とするタングラム問題をパーツ正方形化と総パーツ数制約下で生成するパズル創作システムについて述べる。

2. パズル創作システムの概要

2.1 処理の概要

本システムの構成を Fig.1 に示す。ユーザはタングラムで作成したい画像(以下、対象画像と呼ぶ)をシステムに与える。システムは対象画像のシルエットの格子化とサブパーツ化を行い、各格子に対するサブパーツの配置パターンを格子内パターンとして保持する。次に、制約下で対象画像と正方形の格子内パターンに対してパーツ化探索を行う。

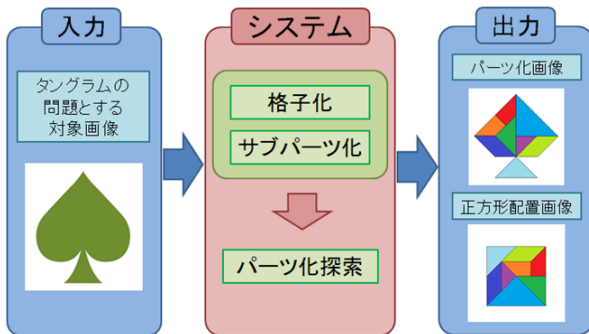


Fig.1 タングラムのパズル創作システム

2.2 格子化

対象画像に対して二値化の前処理を施す。パーツ化の際、正方形画像では 4×4 格子上で探索が行われるため、対象画像に予め適度な大きさの格子を設定する必要がある。そこで、対象画像に外接する矩形領域の縦横比及びその領域に対する対象画像の占有割合を求め、対象画像を分割する格子サイズを決定する。対象画像の占有割合が大きい程各格子を大きくし、縦横比を考慮した上で格子の数を 16 個

未満にならない範囲で減少させる。逆に占有割合が小さい程格子を小さくし、格子の数を増加させる。対象画像 Fig.2(左)を格子化した例を Fig.2(右)に示す。

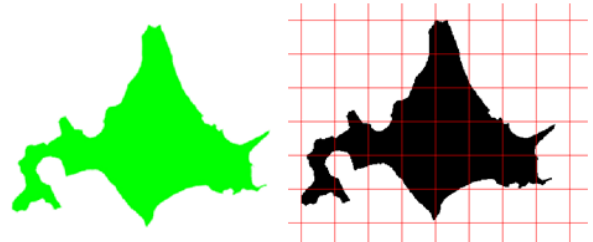


Fig.2 対象画像(左)と格子化(右)

2.3 サブパーツ化

格子化により形成された各正方形格子をそのどちらかの対角線で 2 分割して得られる直角二等辺三角形をサブパーツと呼ぶ。また、対象画像を二値化したシルエット形状をサブパーツの組み合わせで近似し、各格子内のサブパーツを取得することをサブパーツ化と呼ぶ。各格子に対して 2 通りの対角線を引くと、4 通りの領域がサブパーツ候補として得られるので、対象画像の占有割合が高いサブパーツが取得できる対角線を採用する。

正方形画像のパーツ化はサブパーツ 32 個で構成されるため、各サブパーツにおける対象画像の占有割合が高い順に 32 個を選択する。このとき選択されたサブパーツ群をサブパーツパターンと呼ぶ(Fig.3 左上)。各格子内におけるサブパーツの選択パターンを格子内パターンと呼び、Fig.3(左下)の 6 パターンが存在する。これを各格子に対応づけたものを Fig.3(右)に示す。

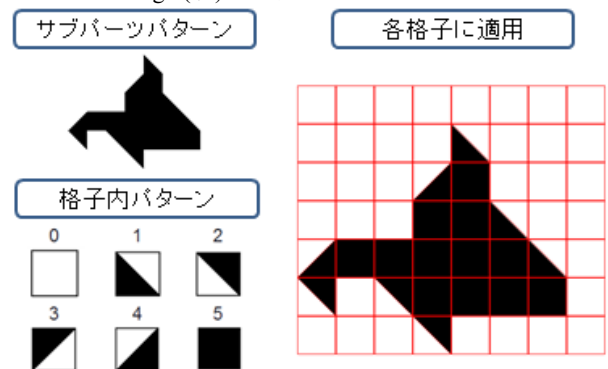


Fig.3 サブパーツ化

2.4 形状の類似度の評価

サブパーツ化により形成されたあるサブパーツパターンが、対象画像に対してどの程度似ているかを判定するため、形状の類似度を評価する。対象画像とサブパーツパターンの輪郭をそれぞれ抽出し、それらを比較した際の対応点間の移動量絶対値の差を類似度として評価する[3]。Fig.4 に

[†] 北海道大学大学院情報科学研究科, Graduate School of Information Science and Technology, Hokkaido University

[‡] 北海道大学情報基盤センター, Information Initiative Center, Hokkaido University

対象画像とそのサブパーツパターンの輪郭の一例を示す。移動量の差が小さい程、形状の類似度の評価は高くなる。この類似度評価に基づき、対象画像に対して一定範囲内の平行移動・回転移動の幾何変換を施し、最も類似度の高いサブパーツパターンを選択する。

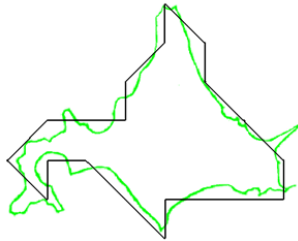


Fig.4 輪郭の差

2.5 使用パーツの定義

パーツの種類は、タングラムの代表的なパーツ 9 種類 (Fig.5) を使用する。左右非対称のパーツは裏返しのパターンも考慮するが、それらは同じパーツとして扱われる。

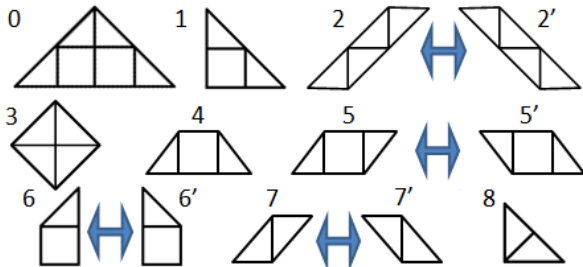


Fig.5 パーツの種類

2.6 パーツ化探索のアプローチ

2.4 節で取得したサブパーツパターンに対し、パーツで復元することをパーツ化と呼び、ふるい法のアプローチをもとに、以下の処理を順に行いパーツ化を実現する[4]。対象画像が複数与えられた場合には、逐次的にサブパーツパターンフィルタを残った探索ベクトルに適用する。

①探索ベクトルの列挙

パーツの各種類の個数を要素とする列を探索ベクトルと呼ぶ。同じ種類のパーツは最大 2 個まで使用可能とする。

②総パーツ数のフィルタ

総パーツ数 (探索ベクトルの要素の和) が 7~9 の探索ベクトルのみを通す。

③総サブパーツ数のフィルタ

総サブパーツ数が 32 の探索ベクトルのみ通す。

④サブパーツパターンのフィルタ

1. 各サブパーツの隣接状態を取得する。
2. 隣接状態を基に、以下の優先度順でパーツを配置するサブパーツを決定する。
 - (ア) 等辺の 1 辺のみが隣接している。
 - (イ) 対辺のみが隣接している。
 - (ウ) 等辺の 2 辺が隣接している。
 - (エ) 等辺の 1 辺と対辺が隣接している。
3. 優先度が最大のサブパーツに対し、探索ベクトル内で最大のパーツから順に配置可能性を判定し、可能なパーツを配置する。
4. 優先度が最大のサブパーツに対し、探索ベクトル内で未配置であるパーツの中で最大のパーツから

順に配置可能性を判定し、可能なパーツを配置する。

5. 配置したパーツ部分を取り除き、1 に戻る。

⑤解の提示

解の難易度の評価値を提示する。

3. 実行結果

本システムは現在実装途中にあるが、基本的な動作確認のため、(a)北海道及び(b)キツネのイラスト画像(Fig.6)を対象画像として与えた結果を Fig.7 に示す。はじめに(a)のサブパーツパターンに対して 2.6 節④のフィルタを適用し、その後残った探索ベクトルの中で、(b)のサブパーツパターンに同様のフィルタを逐次的に適用した。



Fig.6 入力画像



Fig.7 実行結果

この例では 7 種類計 9 個の同じパーツを用いて、2 つの対象画像 (北海道とキツネのシルエット) の近似形状と正方形配置が生成できていることが分かる。パーツ化探索に要する時間は約 6 分である。なお実行環境は CPU: Intel Core i7-3540M 3GHz, RAM: 8GB, OS: Win 8.1 Pro である。

4. まとめと今後の課題

本稿では、与えられた任意形状のシルエットからタングラム問題を生成するパズル創作システムの概要について述べた。システムの完成に向けての課題としては、シルエットパズル問題としての難易度の設定、並びに探索手法の改善による形状近似の精度向上などが挙げられる。

参考文献

- [1] 中野良樹, “数理のパズル「タングラム」の洞察的問題解決におけるトップダウン処理とボトムアップ処理の統合”, 秋田大学教育文化学部研究紀要, 教育科学, vol.67, pp.33-41 (2012).
- [2] Jelly Slocum et al, *The Tangram Book*, Sterling (2003).
- [3] 三谷哲心, 高井昌彰, “GPS アート生成のための最適歩行経路探索システムの開発”, FIT2014 (第 13 回情報科学技術フォーラム) 論文集, vol.4, pp.217-218 (2014)
- [4] 佐々木慧, 高井昌彰, “シルエットを近似するタングラム問題生成システム”, 情報処理学会第 78 回全国大会論文集, vol.4, pp.145-146 (2016)