

ジグソーパズルの解法—マッチングによる画像復元—

A method of jigsaw puzzles solution - Image restoration by matching -

齋城 嘉孝[†] 杉本 雅之[‡] 長元 久幸[‡] 北村 哲也[‡] 嶋 好博[‡]

Yoshitaka Saiki Masayuki Sugimoto Hisayuki Nagamoto Tetsuya Kitamura Yoshihiro Shima

[†]明星大学大学院理工学研究科電気工学専攻 [‡]明星大学理工学部電気工学科

1 はじめに

ジグソーパズルに対しては、数学的な側面から見ると、すべての組み合わせを試すアルゴリズムを作成することで解を求めることができる。しかしながら、その方法では近年の計算機環境においても天文学的な計算時間を必要とし、単純な組み合わせの最適化では解くことは困難である[1]。だが画像の性質に着目すると、必ずしもすべての組み合わせを試す必要はなく、より効率的な方法により矩形のピース画像をつなげて一枚の画像を自動的に作り上げることができると考える。本研究の目的は、ランダムに配置されたピース画像を一つの画像として完成させるジグソーパズルの解法を提案することである[2]。

2 解法アルゴリズムの概要

(1) 原画像の諸元

原画像のサイズは幅 1920 画素×高さ 1080 画素 (HD サイズ)、分割数は横 16×縦 9 (合計 144 ピース)、ピースサイズは幅 120 画素×高さ 120 画素で、入力される画像は ppm 形式である。外側 4 辺に当てはまるピースにあらかじめ答えが与えられる (レベル 1 と呼ぶ) [2]。この 4 辺のピースの情報を参考にそれ以外のピースが当てはまる位置を求める。ピースの向きは復元結果と同じ向きで与えられる。ピースは、ランダムに配置され左上から順番に 0~143 まで番号付けられている。

(2) 画像復元の手順

全体の流れ図を図 1 に示す。まず、4 方向の走査 (マルチスキャン) を行う。注目ピース位置に該当するピース画像を探索する。マルチスキャンにより各スキャンでの候補ピース画像を取り出す。候補ピース画像の取り出しは、注目ピース画像の縁辺と隣接ピース画像の縁辺の各画素値の累積差分を求め、その差分が最小となるピース画像を選択する。次に、4 方向の走査により、求めたピース画像結果の多数決をとる。そして、投票数が最大のピース画像を注目ピース位置の画像と決定する。さらに、不確実なピース画像があるピース位置に対しては、再度スキャンを行い、ピース画像を決定する。ここでは、周囲のピースの累積差分誤差の和が大きければ不確実なピースと判定する。

マルチスキャンは図 2 に示すように 4 方向の走査を行う。注目ピースに対して、上下左右に配置されたピースを隣接ピースと呼ぶ。走査は注目ピースを順次移動させる。4 方向の走査は右下方向走査、左下方向走査、右上方向走査、左上方向走査である。例えば、右下方向走査では注目ピース画像に対して上側に隣接するピース (上ピース) との縁辺の画素同士の差分の累積値を求める。また、左側に隣接するピース (左ピース) との縁辺の画素同士の差分の累積値を求める。次に求めた累積値の和が最小となるピース画像の探索を行う。

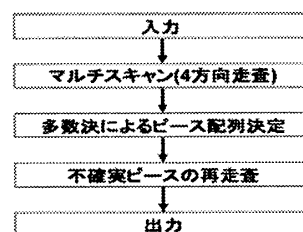
[†]Graduate School of Science and Technology, Electrical Engineering, Meisei University[‡]School of Science and Technology, Electrical Engineering, Meisei University

図 1 画像復元の流れ図

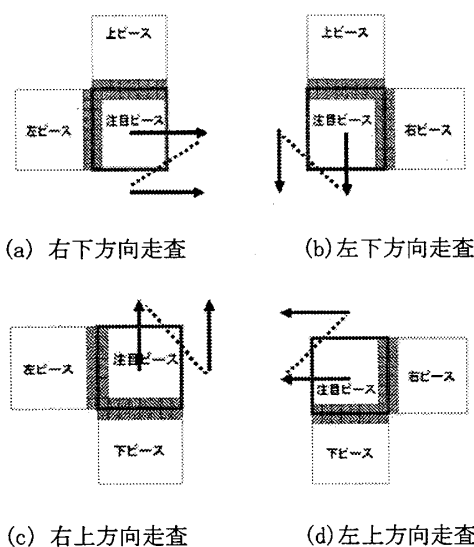


図 2 マルチスキャンにおける注目ピースと隣接の参照ピース

3 ピース画像の隣接判定の原理

隣接するピース画像は縁辺の画素群が類似していると仮定している。縁辺の画素の類似性を求めて、隣接する注目ピース画像を探索している。

図 3 に示すように、左側のピース画像の右縁辺の画素 P1 の三原色成分を r_1, g_1, b_1 とする。対応する位置にある注目ピース画像内の左縁辺の画素 P2 の三原色成分を r_2, g_2, b_2 とする。縁辺画素の差分 d を次式で算出する。

$$d = |r_1 - r_2| + |g_1 - g_2| + |b_1 - b_2|$$

上式の差分を縁辺に沿ってその総和を求める。

図 4 は求めるパズル画像の一部であり、ピース画像はランダムに配置されている。このため、入力されたパズル画像において、左右の縁辺の画素値が大きく異なっている。

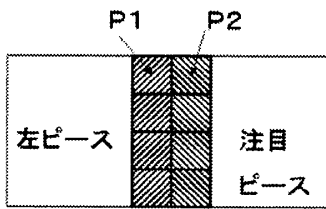


図3 縁辺の画素の照合原理

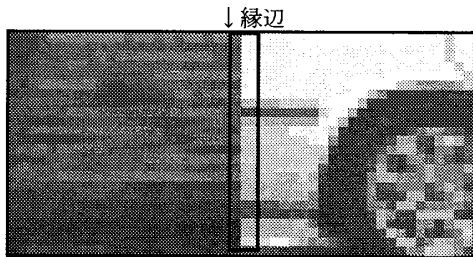


図4 隣接ピース画像

4 画像復元の実験結果

図5に示す公開画像[2]に対して復元実験を行った結果、図6に示す復元画像を得られた。パズル画像を入力後、縁辺の画素の照合を行う。その時、密に照合(間引き間隔なし)、2画素置きに照合(間引き2画素)、4画素置きに照合(間引き4画素)の3通りについて精度、処理時間を測定した。パズル画像1枚における処理時間の計測結果を図7に示す。また、密、2画素置き、4画素置きに照合した場合の精度は全て100%であった。復元したピース画像の拡大図を図8、図9に示す。縁辺の画素が類似していることがわかる。



図5 パズル画像

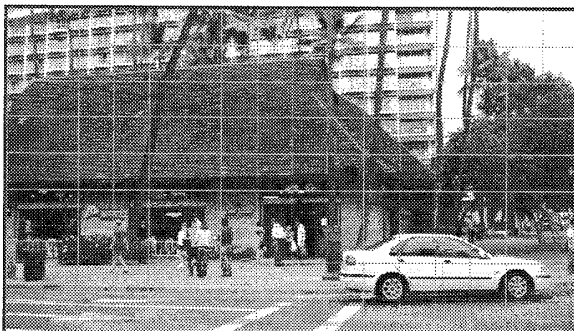


図6 復元画像

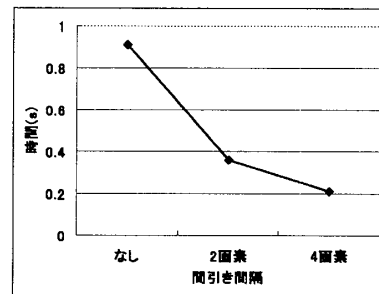


図7 照合高速化による処理時間

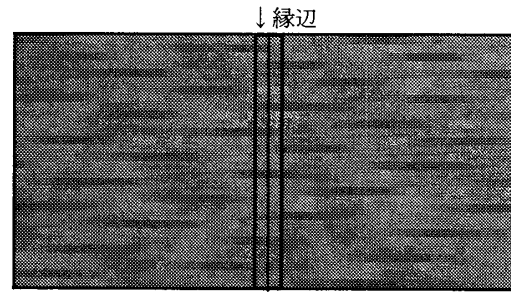


図8 復元ピース画像の拡大図(屋根部分)

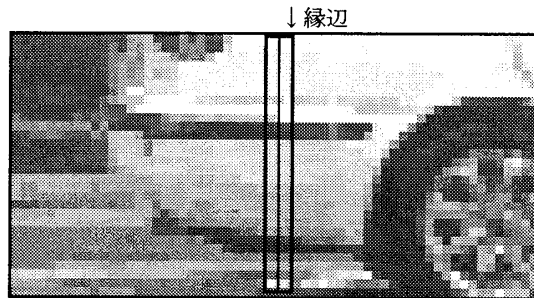


図9 復元ピース画像の拡大図(自動車部分)

5 まとめ

ジグソーパズル画像の解法において、4方向の走査(マルチスキャン)を考案し、解法を行った結果、処理時間は、間引き間隔4画素の場合0.203秒、精度はすべての間引き間隔で100%であった。また、他の公開サンプル画像2枚でも、同じ条件で、実験を行い処理時間はほぼすべて同じ値が得られ、精度はすべて100%であった。

6 今後の課題

今後の課題として、(1)すべてのピースの位置を不明としたピースに対して、それぞれのピースが当てはまる位置を求める方法の考案がある。さらに、(2)すべてのピースの位置を不明とした2セットのピースを混ぜ合わせたものが与えられ、それぞれのピースがどちらの画像のどの位置に当てはまるか求める問題の解決がある。

7 参考文献

- [1] 和田英一 “計算機用ジグソーパズル” 情報処理学会情報規格調査会 情報処理 Vol. 43, no. 8, pp. 894-902, Aug. 2002
- [2] 第11回パターン認知・メディア理解 PRMU アルゴリズムコンテスト
<http://www.eml.hiroshima-u.ac.jp/alcon2007/>