

色相を用いた接合可能なピース対の限定方法

Reduction of Piece Combinations Using Contour Color

— ジグソーパズルの自動組立 —

Computer Solution of Jigsaw Puzzle

小野 隆

Takashi ONO

東京電機大学大学院

Graduate School of
Tokyo Denki University

市野 学

Manabu ICHINO

東京電機大学

Tokyo Denki University

あらまし

本論文は、コンピュータによるジグソーパズル組み立ての一過程として、ピース表面の色情報を利用した組み合わせピースの限定について報告する。

入力データには、個々のピースについて1画素R, G, B各8ビットに量子化されたカラー画像を用い、このデータからピースの最外周部分の色情報(色相)を利用して、ピース間の類似度を求めた。

Abstract

In the process for constructing a jigsaw puzzle, the color of each piece plays an important role to reduce the number of possible combinations between pieces.

In this paper we define a similarity measure between pieces in terms of the hue of their contour colors. We present a simple example in order to illustrate our approach.

1. まえがき

ジグソーパズルとは、一枚の絵をばらして作った多くの小片(ピースと呼ばれる)を組み合わせて元の絵にする遊びであり、これはパターン認識の問題として知られている。

パズルの組み立てにおいて、ピースが接合可能な状態とは、①2つのピースの間の接合部分の形状が相補的であり、かつ、②表面の色や絵柄が連続している意味をもつ、の2つが挙げられる。

ピース表面に絵柄のないパズルを対象とした場合や①の考えのみに基づいた場合、ピースの画像から形状の特徴的な部分に関する情報を抽

出することと、その情報をもとにパズルを組み立てるコンピュータプログラムが幾つか報告されている。^{1)~6)} これらの方法では、一つのピースに対して候補となるピースが多数存在するという問題を、バックトラックや先読みにより解決している。

人間が実際に組み立てるときには、てたらめな順番でピースを組み合わせているのではなく、元の絵とピース表面の絵や色とを見比べてパズルが組み上がったときにそのピースがどの辺りに位置すべきなのかある程度予想しながら行っている。しかし、このとき色については極めて厳密に判断しているわけではなく、“赤っぽい”とか“青っぽい”といったあいまいな色合いで

判断していることが多い。このことから、ピース表面の絵柄や色、特に色合いを表現する属性（色相）、は組み合わせのピースを限定するための情報として利用でき、組み立ての時間短縮に重要な役割を果たしているといえる。しかし、ピース表面の絵柄に注目した場合、現在のところその絵柄を解析する方法が十分でないことから、パズルを組み立てるための情報として取り扱うことは難しい。

本文では、人間がパズルを組み立てるときに、ピースの色相が組み合うピースを限定するのに重要な情報となっていることから、この色相を利用してピース間の類似性を測る尺度を定めた。入力データは、個々のピースについて、赤（Red）、緑（Green）、青（Blue）の三刺激値によって表されるカラー画像で、1画素のデータはRGBが各8ビットである。色相は、本来、定性的なものであるがRGB色空間を色の三属性（色相、明度、彩度）の尺度化した空間に変換することで量的に扱える。また、色相はピース全体について求めるとかなりの時間がかかり、多数のピースをもつパズルの場合この処理だけで莫大な時間を要す。そこで、ピース同士が実際に組み合う部分はピースの最外周であることから、ピースの最外周の色相のみに注目する。

2. 色空間変換

色には大きく分けて色感覚による色（心理物理色）と色知覚による色（知覚色）とがある。心理物理色は、色刺激の三刺激値などにより量的に表現できる。この刺激値にR, G, Bを用いれば、色はRGB色空間内で表現される。

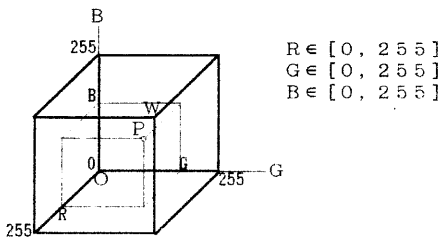


図1 RGB色空間

RGB色空間は、R, G, Bを軸とした三次元直交座標で、R, G, Bが各8ビットの長さであるとき、この空間は原点O(0,0,0)と点W(2⁸-1, 2⁸-1, 2⁸-1)とを対角とする立方体となる(図1)。色は、三刺激値の組(R, G, B)で表され、約17万種類を表現できる。

一方、知覚色は人が普段、認識・判断している”さえた赤”や”ふかい青”といった色の性質を表現するもので、定性的なものである。従って、何らかの約束事をしない限り定量的に表すことはできない。知覚色は、色の呼称に基づいて特性付けられる属性（色相：Hue）、色の明るさの度合いを示す属性（明度：Lightness）、色の鮮やかさの度合いを示す属性（彩度：Saturation)の3つの属性（色の3属性）からなる。色の3属性は、RGB色空間から以下に示す変換式により定量的な表現が可能となる。このときの色空間をHLS色空間と呼ぶ。HLS色空間は図2に示すような円筒座標によって表現される。

下の座標系において、点Pの色相はX軸と線分OS（点Sは点Pから底面に垂線をおろしたときの底面と垂線との交点）とが成す角で、明度はZ軸の値(L)で、彩度は線分OSの長さで表される。

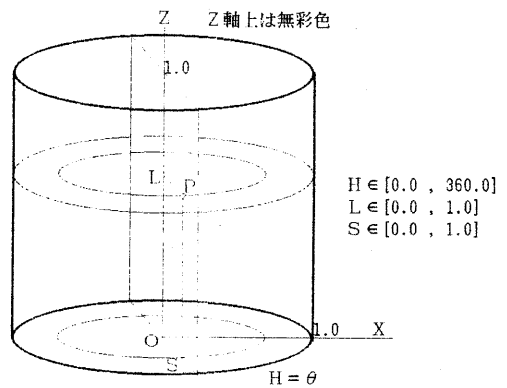


図2 HLS色空間

尺度化された色相（以後、これを単に色相とする）と色の呼称とは図3のように対応する。

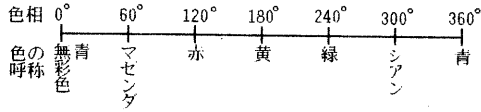


図3 色相と色の呼称

※ 変換式⁸⁾

R G B 色空間から H L S 色空間への変換を以下に示す。

① 無彩色 (R = G = B)

$$H = 0.0, S = 0.0, L = R / 255$$

② 有彩色

$$M = \max(R, G, B), m = \min(R, G, B)$$

$$r = (M - R) / (M - m)$$

$$g = (M - G) / (M - m)$$

$$b = (M - B) / (M - m)$$

$$L = (M + m) / (2 * 255)$$

$$L \leq 0.5 \text{ ならば } S = (M - m) / (M + m)$$

$$L > 0.5 \text{ ならば}$$

$$S = (M - m) / (2 * 255 - M - m)$$

$$R = M \text{ ならば } h = 2 - b - g$$

$$G = M \text{ ならば } h = 4 + r - b$$

$$B = M \text{ ならば } h = 6 + g - r$$

$$H = h * 60 \pmod{360}$$

3. 色相を利用した類似度

3.1 色相の利用

ピース間の類似度を求めるために、次のような手順によりピースから情報を抽出する。

- ① 組み合わせるピース同士では、組み合わせる部分（ピースの最外周）が同じ色相をしていると考えられる。そこで、ピースの最外周を構成しているすべての画素の色相を計算し、各区間の頻度を求める。このとき色相を細かくとると、色相の微妙な違いにより全体に頻度の低いヒストグラムになる。そこで、次に示す区間を導入する。
- ② 色相を数度ごとに等分割し、この等分割されたある長さの色相をもつ領域を区間と呼ぶ。区間は色相の 0.0° に近い方から 1, 2, ... と番号を与える。色相を n 等分した例を図4に示す。

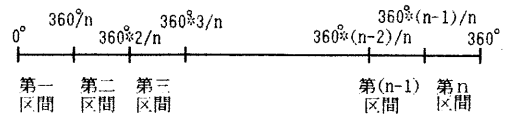
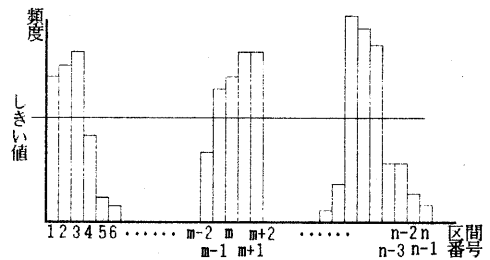


図4 区間説明図

同じ区間にある色相は同じものだとみなし、区間についての頻度を求める。

- ③ ②で求めた分布の頻度にしきい値を設定し、頻度の低い区間はカットする。残った区間の番号を類似度計算のための情報として利用する。



パスした区間={1, 2, 3, ..., m-1, m, m+1, m+2, ..., n-6, n-5, n-4}

図5 区間の抽出

3.2 ピース間の類似度

2つのピース P_1, P_2 間の類似度は次式で定義する。

$$D(P_1, P_2) = \frac{1}{2} \left(\frac{|H_1 \cap H_2|}{|H_1|} + \frac{|H_1 \cap H_2|}{|H_2|} \right) \dots (1)$$

H_1, H_2 は前節で求めた区間の集合であり、 $|H_1|, |H_2|$ は H_1, H_2 の要素数を表す。

$D(P_1, P_2)$ が大きい程、2つのピースの類似度が高いと判断される。この類似度に適当なしきい値を設定することで、そのピースと類似度の高いピースを残すことができる。

4. 実験例

実際のジグソーパズルを使って類似度を求めた。使用したジグソーパズルは、次のようなものである。

- ・市販されている300ピースのもの
- ・全体を組み上げると長方形となる
- ・パズルの最外周に位置するピースを除くと、隣接する4つのピースが一点(コーナー)で接する。
- ・1つのピースは4つの辺(コーナーから隣のコーナーまでの最外周部分)をもち、隣接する2つのピースは1つの辺を共有する。

今回の実験では、この300個のピースの中から25個のピースについて行った。また、組み合わせる2つのピースは1つの辺を共有することから、ピース単位で類似度を求めるよりも、辺単位で求めた方が類似性を正当に評価できると思われる。そこで、25個のピースをそれぞれ4つの辺に分割(合計100辺)し、辺の間の類似度をもとめた。この100個の辺の中で実際に組み合わせる組は36組あり、表1にその組み合わせる辺の類似度を示す。このとき色相の分割数(区間数)を45、類似度のしきい値はヒストグラムの全体数の1.0%とした。

表1 実験結果

類似度	辺の組数
1.00	0
~0.95	0
~0.90	3
~0.85	6
~0.80	8
~0.75	8
~0.70	2
~0.65	5
~0.60	1
~0.55	3
~0.50	0
合計	36

組み合わせる辺同士の類似度は最低でも0.550であり、36組中27組(75%)が類似度0.700以上の高い値をもつことが分かった。ピースの境界でちょうど一つ絵が終わってしまい、組み合わせるピースの方にはその色が存在しなかったために類似度が低くなってしまった場合もあったが、ほとんどの場合においては、その類似性を正当に評価するのに十分高い類似度が得られた。

5. あとがき

色相を利用した類似度を定め、実際に組み合わせるもの同士では高い類似度をもつことを示した。今後は、ピースの形状についての情報を加えることで、さらに組み合わせるピースの候補を限定できるようになると思われる。

※ 参考文献

- (1)H. FREEMAN and L. GARDNER :
"Apictorial Jigsaw Puzzles: The Computer Solution of a Problem in Pattern Recognition",
IEEE Trans. Computers, pp.118-127, April, 1964
- (2)名倉、佐藤、前川、森田、藤井:
"曲率関数による部分輪郭処理
—ジグソーパズルの接合と動図形の認識—"
信学論(D), Vol. J68-D, No. 3, pp. 277-283, 1985
- (3)飯島、岩西、杉山:
"ジグソーパズルの画像解析と組み上げ"
コンピュータビジョン45-5, pp. 1-8, 1986
- (4)宮道、村田:
"輪郭線情報を用いた多数色のジグソーパズルの計算機解法"
信学論(D), Vol. J70-D, No. 6, pp. 1210-1217, 1987
- (5)日本色彩学会 編:
「新編 色彩科学ハンドブック」 東京大学出版会
- (6)"Status Report of the GSPC"
Computer Graphics, Vol. 13, pp. III-38, 1979