

2次元都市地図画像からのゲシュタルト特徴抽出

安田 昂平[†] 吳 湘筠[‡] 高橋 成雄^{†‡}

[†]東京大学大学院新領域創成科学研究科

[‡]東京大学大学院情報理工学系研究科

1 はじめに

人は視覚を通して画像情報を理解する際、そこに含まれるパターンを認識し、情報理解の手がかりとする。特に人間の認知機能の1つとして、空間的に近い要素や視覚的に似ている要素をグループ化しようとする、ゲシュタルトの法則と呼ばれる理論が心理学分野で知られている。本研究ではこの法則の一つである対称性に着目し、入力画像から対称性を抽出する手法の実装を試みる。特徴を抽出する手法として、画像上の各画素が誘導する注目の度合いを計算するモデルである顕著性マップ[1]がこれまでに研究されている。これを拡張した対称性顕著性マップが提案された論文[2]を参考に対称性を抽出する。さらに2次元地図画像の対称性顕著性マップを作成し、地図画像に潜む対称性を抽出することで、抽出結果が示す地理的な意味を調べる。

2 提案手法

顕著性とは、人の注視の引きつけやすさを示す指標である。画像内の各画素において、輝度、色相成分、エッジの向きを用いて顕著性を計算する既存モデルを顕著性マップという。このモデルを拡張し、各画素周辺の対称性の度合いによって輝度値を計算する対称性顕著性マップを作成することで、対称性を抽出する。具体的には、入力画像の各画素を中心とした周辺領域を利用して局所的対称性の度合いを計算する対称性オペレータを定義し、新たに対称性顕著性マップを作成する。

画像内の異なる大きさのオブジェクトについて考慮するため、入力画像をいくつかのスケールに置き換えたうえで、各画像に対称性オペレータを適用する。したがって、まずさまざまなスケールの入力画像の集まりを得るためにガウシアンピラミッドを作成する。

2.1 ガウシアンピラミッドの作成

入力画像にガウシアンフィルタをかけ平滑化

し、画像のスケールを半分に縮小する作業を繰り返す事でガウシアンピラミッドを作成する。画像中のノイズは計算の妨げになるため、ガウシアンフィルタによって各画素の輝度値を周辺画素との平均値に置き換える。ガウシアンフィルタに用いるガウス関数を式(1)に示す。

$$f(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}\right) \quad (1)$$

このとき、 σ の値を2倍にするとフィルタリングされた画像の解像度が半分となる。

続いて、作成した各スケール画像の全画素に対称性オペレータを適用させ、対称性の度合いを計算し、対称性顕著性マップを作成する。

2.2 対称性顕著性マップの作成

各スケール画像のある画素 p を中心とした 25×25 ピクセルの領域を考える。この領域を対称カーネルと呼ぶこととし、概略図を図1に示す。対称カーネル内の p に対して点対称な画素ペアでのエッジ方向が対称的なとき、 p の対称性の度合いがより高まると考えられる。したがって、各画素ペアにおいて画像のオブジェクト境界であるエッジの強さと方向を検出するために、ソーベルフィルタと呼ばれる1次微分フィルタを用いる。エッジを求めたい画素を中心とした 3×3 の領域でフィルタと同じ位置の画素を対応させ、輝度値とフィルタの値を掛けた後、足し合わせる計算を行う。

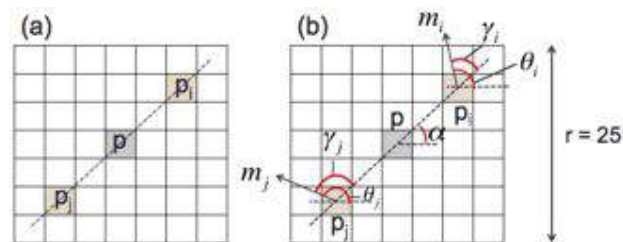


図1: 対称カーネルの概略図。ピクセル p を中心として点対称な画素ペア p_i, p_j をとり($r=25$, 図1(a)), 各エッジ方向 θ_i, θ_j とエッジ強度 m_i, m_j を計算し $s(i, j)$ を求める(図1(b)).

ソーベルフィルタを式(2)に示す.

$$I_x = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix}, I_y = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

ソーベルフィルタを p_i に適用した場合のエッジ強度 m_i と角度 θ_i は式(3), (4)で定義される.

$$m_i = \sqrt{I_x(p_i)^2 + I_y(p_i)^2} \quad (3)$$

$$\theta_i = \tan^{-1}\left(\frac{I_y(p_i)}{I_x(p_i)}\right) \quad (4)$$

p_i, p_j を結ぶ直線からみた p_i, p_j のエッジ角度をそれぞれ γ_i, γ_j とする (図 1-b). 角度 γ_i, γ_j とエッジ強度 m_i, m_j を利用して p_i, p_j のエッジの対称性 $s(i, j)$ を計算する.

$$s(i, j) = d(i, j, \sigma) \cdot c(i, j) \cdot \log(1 + m_i) \cdot \log(1 + m_j) \quad (5)$$

式(5)において注目画素 p に近い対称的なオブジェクトを積極的に考慮するために, p_i, p_j 間の距離が近い場合に $s(i, j)$ の値を大きくする重み付け $d(i, j, \sigma)$ を加えている. $d(i, j, \sigma)$ は式(1)における $x^2 + y^2$ を p_i, p_j 間の距離の 2 乗に置き換えた値であり, $\sigma=32$ とする. 続いて, 式(5)の $c(i, j)$ は

$$c(i, j) = (1 - \cos(\gamma_i + \gamma_j)) \cdot (1 - \cos(\gamma_i - \gamma_j)) \quad (6)$$

と定義する. ここで, p_i, p_j のエッジ方向が p_i, p_j を結ぶ直線と重なり, 互いに反対方向になる場合, $c(i, j)$ は最大となる. また式(5)の対数部分では式(3)で求めたエッジの強さを考慮している.

対称カーネル内の全ての点对称な画素ペア p_i, p_j において $s(i, j)$ を計算し, 領域内で $s(i, j)$ を全て足し合わせる事で, 注目画素 p における局所的対称性の度合い $S_l^{iso}(p)$ が求まる.

$$S_l^{iso}(p) = \sum_{(i,j) \in \Gamma} s(i, j) \quad (7)$$

式(7)の l は画像のスケール番号を表し, Γ は対称カーネル領域を表す.

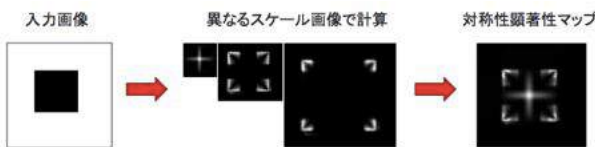


図 2: 対称性顕著性マップ作成の流れ

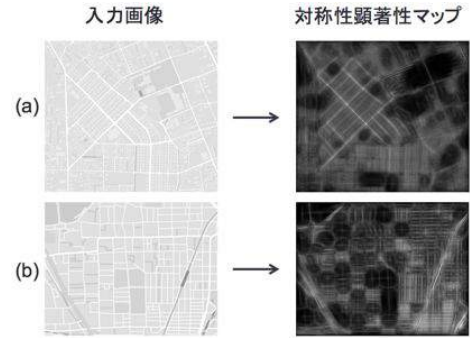


図 3: 地図画像の対称性顕著性マップ.

各スケール画像の全画素で $S_l^{iso}(p)$ を求めた後, スケールを統一し, 同一箇所の画素値を足しあわせることで, 1 枚の対称性顕著性マップが得られる. 上述した流れを図 2 に示す.

3 結果と今後の課題

2 枚の地図画像に対する対称性顕著性マップ作成結果を図 3 に示す. 図 3(a)はさいたま市桜区, 図 3(b)は川崎市中原区の一部を表した地図画像である. 図 3(a)の対称性顕著性マップにおいて, 左中央エリアの輝度値が高くなり, 顕著になっている. 図 3(b)では右下の駅周辺の土地が顕著になっていることがわかる. これは, 土地が規則正しく区分されており, さらに同じ大きさに区分された土地が密集しているために, 周辺の対称性の度合いが強くなり顕著に表示されたと考えられる. このことから, 対称性顕著性マップによって地図中の規則正しく細かく区分されたエリアを顕著に表示することができたといえる.

本研究では, C++と OpenCV を使用して対称性顕著性マップを実装し, 2 次元地図画像で検証を行った. 今後は, 地図画像内のオブジェクトがなす対称性以外のゲシュタルト特徴を検出する手法を模索する.

謝辞 本研究の一部は, 日本学術振興会科研費 24300033, 26730061の助成により実施された.

参考文献

- [1] L. Itti, C. Koch, and E. Niebur. A model of saliency-based visual attention for rapid scene analysis. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 20(11), 1254-1259, 1998.
- [2] G. Kootstra, B. de Boer, and L. R. B. Schomaker. Predicting eye fixations on complex visual stimuli using local symmetry. *Cognitive Computation*, 3(1), 223-240, 2011.