

周辺変調効果によるゲシュタルト因子検出の定量的評価

近藤 慧一[†] 酒井 宏[‡]

筑波大学第三学群情報学類[†] 筑波大学システム情報工学研究科[‡]

1. はじめに

視覚機能の基礎的な働きの一つに、シーン中から物体(図)と背景(地)を選り分ける図地分離がある。近年の生理学的研究で、サル(ヒト)の視覚皮質において、図方向(B0)に選択的な細胞が発見された[1]。我々はこの細胞を、周辺変調を考慮してモデル化した(B0 選択性細胞モデル)[2]。このモデルに自然画像から輪郭を抽出した画像を入力として与えたところ、輪郭が凸な部分や平行な部分の内側を図として判断する傾向があった[3]。これらはゲシュタルト要因として知られている。本研究ではゲシュタルト要因を数学的に定義することで、本モデルを定量的に評価することを目的とする。

B0 選択性細胞モデル

H. Zhou らの生理実験から、サル(ヒト)の第二次視覚皮質(V2)および第四次視覚皮質(V4)において、輪郭の図方向に選択的に反応する細胞が発見された[1]。この細胞は、輪郭の境界線(Border)をどちらが所有(Ownership)するかという意味で Border Ownership (BO) 選択性細胞と呼ばれる。この細胞の反応を、周辺変調に基づいて再現した計算論的モデルが提案された[2]。細胞は受容野の外側に興奮性ならびに抑制性の領域を伴っており、これらは空間的に非対称で、分布は細胞毎に異なることが知られている[4][5]。モデルはこのような生理学的特性を考慮して、BO 選択性細胞を実現している。

さらにこのモデルを自然画像中の輪郭に対応するよう拡張されたモデルが提案された[3]。入力として使用した画像の輪郭は Berkeley Segmentation Dataset (BSD)[6][7]中の Human Marked Contour (人間が抽出した物体輪郭データ)によるものである。出力された画像の例を Figure 1 に示す。

このモデルの出力を概観すると、輪郭の凸な部分あるいは平行な部分の内側を図として判断し易い傾向が見られた。これらは心理学ではゲシュタルト要因と知られるものであった。しかし、このモデルは BO 選択性細胞の再

現のみを目的として作成されたものであり、ゲシュタルト要因については考慮されていない。このことから、ゲシュタルト要因がモデルの B0 判定メカニズムのベースとなっている周辺変調効果に起因して検出されているという仮説が提案された[3]。

先行研究では、ゲシュタルト要因のうち、凸性・閉合性(輪郭の閉じた部分を図とみなす性質)について定義を行った[8]。解析の結果、これらの度合いが高い部分を図として判断し易い傾向があることが示された。

2. 実験

本研究では、ゲシュタルト要因が周辺変調効果に起因して検出されるという仮説を検証するため、平行性を数学的に定義することを試み、その定義に基づいて BO 選択性細胞モデルの評価を行う。

平行性の定義

平行性を定量化したパラメータを平行度と呼ぶことにする。Figure 2 に平行度算出の例を示す。平行度算出アルゴリズムの概要を以下に述べる。ある点列の j 番目の点における法線角度を θ_j^{normal} とする。この点から同じ点列

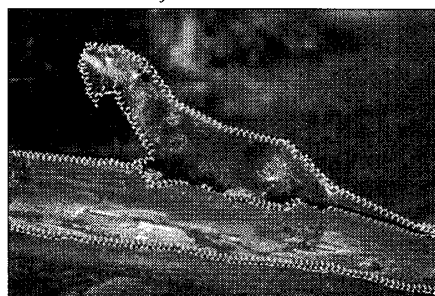


Figure 1: モデルの算出した B0 の例
ヒトが判断した図方向とモデルの B0 ベクトルが一致している部分を白、不一致部分を黒で示す。輪郭の凸な部分(左上)、平行な部分(右下)の内側を図と判断する傾向が見られる。原画像は BSD[7]より使用。

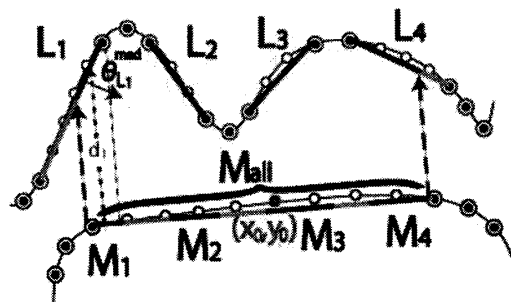


Figure 2: 平行度算出方法の例

Cortical Origin of Gestalt Factors – Quantitative Evaluation of Surround Modulation

Keiichi Kondo[†], Ko Sakai[‡]

[†]College of Information Science, University of Tsukuba

[‡]Graduate School of System & Engineering, University of Tsukuba

上で 5 点離れた位置にある点の法線角度をそれぞれ θ_{j+5}^{normal} 、 θ_{j-5}^{normal} とし、相対角度が $|\theta_{j+5}^{normal} - \theta_{j-5}^{normal}| > 30^\circ$ となるとき、この j 番目の点を特異点 (Figure 2 中の二重丸) と呼ぶ。この操作を全ての点について行い、連続した特異点の端点から、もう一つの連続した特異点の端点までを一つの線分とする。このとき、中心点を含む線分を M_{all} と呼ぶ。全ての線分を求め終えたら、線分 M_{all} から法線方向に探索し、ヒットした線分の長さをそれぞれ $L_1, L_2, \dots, L_k$ とする。これらの線分から M_{all} の法線方向とは逆に探索し、 M_{all} にヒットした部分の長さをそれぞれ $M_1, M_2, \dots, M_k$ とする。ここで求めた線分 L 、 M の各法線角度をそれぞれ θ_L^{seg} 、 θ_M^{seg} とし、 L_i と M_i の距離を d_i とする。ここで L_i と M_i の角度差 $\Delta\theta_i$ を、 $\Delta\theta_i = \theta_{L_i}^{seg} - \theta_{M_i}^{seg}$ と定める。これらの値を用いて、中心点 (x_0, y_0) における平行度 $parallelism(x_0, y_0)$ を、

$$parallelism(x_0, y_0) = \sum_{i=1}^k G(u, v) \frac{L_i M_i \cos(\Delta\theta_i)}{d_i}$$

と定義する。ここで $G(u, v)$ は M_i の位置 (u, v) に対して $\mu = (x_0, y_0)$ 、 $\sigma = \frac{M_{all}}{2}$ とした正規分布関数である。一つの M_{all} から 2 方向の法線方向に探索可能なため、1 つの中心点において 2 通りの平行度が算出される。 M_{all} の法線ベクトルのうち、平行度の高い方に伸びるものを、平行ベクトルとする。

3. 評価結果

Human Marked Contour を用いてヒト知覚との比較を行ったものを Figure 3 に示す。回帰分析の結果、有意な正の傾きが得られた ($p < 0.05$)。

平行度の計算は BSD に含まれる自然画像 100 枚の全ての輪郭セグメント上の点を中心とした 100×100 pixel のパッチについて行う。モデルの評価には、算出された平行度および平行ベクトルを用いる。モデルの判断した B0 ベクトルと平行ベクトルの相対角度が 90° 未満であれば 2 つのベクトルが一致、そうでなければ不一致とした。それらのデータを用いて各平行度におけるベクトルの一致率を求めた。その結果を Figure 4 に示す。横軸が平行度、縦軸が一致率を表す。散布図がその平行度における一致率であり、直線は回帰直線を示す。回帰分析の結果、 p 値が高く (約 0.19)、有意な傾きがあるとは言えなかった。

4. 結論・考察

平行性の程度を平行度として定量化した。平行度とヒト知覚の比較では、平行度の増加に伴って一致率の増加が見られた。これは平行度の定義が妥当であることを支持するものである。モデルの評価では、本研究で定義した平行度が高くなるに伴って一致率が高くなるとは言えなかった。この結果から、周辺変調効果に基づく B0 選択性細胞モデルが、平行度の高い部分ほど図として判断し易いとは言えない可能性が示唆される。今後の課題として

は、他のゲシュタルト要因を定義し、同様のシミュレーションを行うことで、モデルの評価を高めることが挙げられる。

参考文献

- [1] H.Zhou, H. S. Friedman and R. von der Heydt, "Coding of Border Ownership in Monkey Visual Cortex", *J.Neuroscience*, 20, 6594-6611(2000)
- [2] H.Nishimura and K. Sakai, "The computational model for border-ownership determination consisting of surrounding suppression and facilitation in early vision", *J.Neuroscience*, 70, 1920-1924(2007)
- [3] 渡辺哲次, 西村悠, 酒井宏「自然画像を対象とする図方向決定アルゴリズム 視覚皮質の文脈依存性を用いた情報爆発への対応」, 情報処理学会第 70 回全国大会講演論文集 vol.5 p255-256 (2008)
- [4] H. E. Jones, K. L. Grieve, W. Wang and A. M. Sillito, "Surround Suppression in V1", *J.Neurophysiology*, 86(4), 2011-2028(2001)
- [5] H.Jones, W.Wang and A.Sillito, "Spatial Organization and Magnitude of Orientation Contrast Interactions in Primate V1," *J.Neurophysiol.*, 88, pp.2796-2808(2002)
- [6] D. Martin, C. Fowlkes, D. Tal and J. Malik, "A Database of Human Segmented Natural Images and its Application to Evaluating Segmentation Algorithms and Measuring Ecological Statistics", *Proc. 8th Int'l Conf. Computer Vision*, 2, 416-423(2001)
- [7] Berkeley Segmentation Dataset
<http://www.eecs.berkeley.edu/Research/Projects/CS/vision/grouping/segbench/>
- [8] 青野健介, 清水亮平, 酒井宏「周辺変調を起源とする図方向選択性が導く Gestalt 要因」, 信学技報, vol.108, no.480, NC2008-132, pp. 171-175(2009)

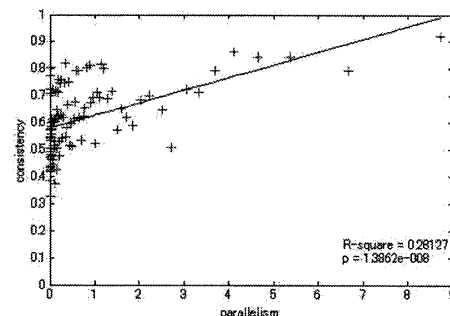


Figure 3: 平行度とヒト知覚の比較

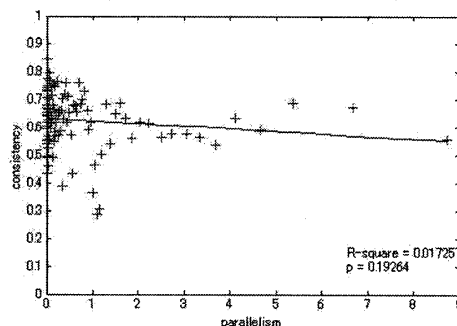


Figure 4: 平行度によるモデルの評価