

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 —

渡辺 哲次[†]、西村 悠[†]、酒井 宏[†]

筑波大学 システム情報工学研究科[†]

はじめに

シーン中の物体（図）を背景（地）から抜き出す作業、図地分離は視覚認知において重要であると考えられ、近年盛んに研究されている。自然画像を入力とし計算論的に図地分離を試みると、たちまち情報爆発を起こす。そのため、ヒトと同様の図地分離を計算機に行わせることは非常に難しい問題となっている。このような背景から、脳内における図地分離の情報処理メカニズムに対する関心が高まっている。近年、生理実験により、サルの視覚皮質において、図方向に選択的な細胞の存在が報告された（BO細胞）[1]。我々は周囲コントラストの文脈に依存した変調によって、単純図形におけるBO細胞の特性が良く再現されることを計算論的に示した[2]。

本研究では、このアルゴリズムを自然画像適応可能に発展させた。アルゴリズムの図方向処理結果と、人間の図方向知覚を定量比較したところ、両者は良く一致した。さらに詳細な比較検討から、コントラストの周囲変調が Gestalt factor に代表される心理学的要因の基盤となっている可能性が示唆された。

関連研究

H.Zhouらの生理実験から、図の方向に選択性を持つ細胞が、サルの脳から発見された[1]。この細胞はエッジを見ているとき、物体がどちら側にあるかによって反応を変

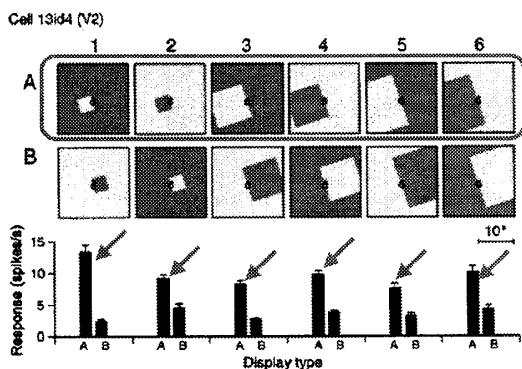


Figure 1: サルの第2次視覚野における BO 左選択性細胞の反応。グラフの上2段がサルに呈示した刺激で、丸の中を細胞が見ている。下のグラフが刺激呈示時の細胞の反応の強さである。四角形（図）が左側にあるときに選択的に細胞応答が増している（矢印）。

Direction of Figure in Natural Images

-An algorithm based on context dependency effect in visual cortex -

[†]Satoshi Watanabe, Haruka Nishimura, Ko Sakai

Graduate School of System and Information Engineering,
University of Tsukuba

化させる (Figure 1)。このような性質を持つ細胞は、図地境界線 (Border) をどちらが所有 (Ownership) するという意味で Border Ownership (BO) 選択性細胞と呼ばれる。

BO選択性細胞についての関連研究として、この細胞の反応を再現した計算モデルがある[2]。このモデルは「細胞が見ている周囲の輝度コントラスト配置に依存して細胞の反応が変化する効果 (周囲効果) [3]」を基盤メカニズムとしている。そのモデルでは単純図形に対しては生理学的知見とよく一致することが示されている。しかし、このモデルでは実画像に代表される複雑な入力刺激に対応しておらず、かつ画像中の1点のBOしか判断することができない。

そこで本研究では、このモデルを実画像対応に拡張し、画像中の全ての点における BO の判断を可能とした。そして、モデルの出力結果とヒト知覚を比較することによって、BO 選択性細胞がヒトの知覚にどの程度寄与しているのか考察する。

モデルの概要

本モデルは以下に示す3部から構成される[2]。

- (i)輝度コントラスト情報検出部
- (ii)周囲効果算出部
- (iii)BO 決定部

画像から抽出された輝度コントラストの配置から BO を決定するダイアグラムを Figure 2 に示す。モデル細胞は非対称な興奮性領域と抑制性領域の周囲効果領域を有する。各領域に輝度コントラストが存在する場合に応じて、細胞の反応を増加及び減少させる。

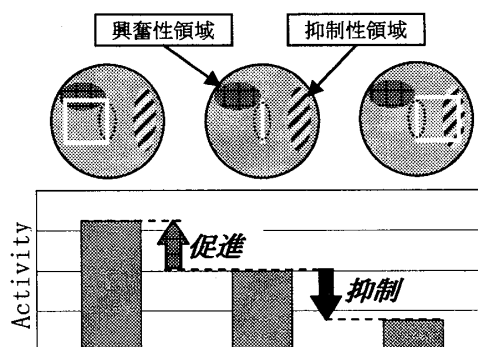


Figure 2: BO 左選択性を実現するためのダイアグラム。上段が呈示刺激である。モデル細胞は点線の円の中を見ている。また、モデル細胞は興奮性領域（網掛け部）と抑制性領域（斜線部）を有する。四角形が左（右）にある場合輝度コントラストが興奮（抑制）性領域に入るため、反応はバーのみを呈示した場合と比較して増加（減少）する。

モデルの処理結果と評価

入力刺激にはBerkeley Segmentation Dataset[4]及びBerkeley Figure/Ground Dataset[5]を用いた (Figure 3a, b)。これらのデータセットは 100 枚の自然画像データと、それらの画像中から人間によって抽出された物体の輪郭データ (Human Marked Contour) 及び図方向データ (Human Marked Figure/Ground Label) が含まれている。輝度コントラスト抽出には、100 枚の自然画像を用い、BOを算出する場所にはHuman Marked Contourを用いた。モデルが判断したBOの方向と、ヒト知覚を比較する際にはHuman Marked Figure/Ground Labelを用いた。

モデルが判断した BO の例を Figure 3c に示す。数値は正答率を示す。全ての輪郭上の点のうち 75%の割合でヒト知覚と同じ BO の方向を算出したことを表す。100 枚の画像における平均正答率は 67%であった。モデルは全体的に凸成分の内側 (熊の耳等)、平行成分の内側 (枝の部分等) を物体として判断する傾向にある。

輪郭の凸・平行成分の内側を物体方向と判断するモデルの傾向を定量的に評価した。凸性には、Human Marked Contourの曲率を用いた[6]。平行性の定量化には、対を成す平行線分における接線ベクトルの相対角度 $\Delta\theta$ 、平行線分の長さ L 、平行線分間の距離 d を用いて、

$$\text{平行性} = L \cos(\Delta\theta) / d$$

とした。本モデルが凸または平行成分の内側を物体方向と判断する程度を Figure 4a, b にそれぞれ示す。Figure 4a から輪郭の直線の部分や、極端に尖っている部分では凸成分の内側を物体方向と判断する傾向は低いが、滑らかな凸成分の内側を物体方向と判断する傾向があることが示された。Figure 4b から、輪郭の平行成分の内側を物体方向として判断する傾向が高いことが示された。

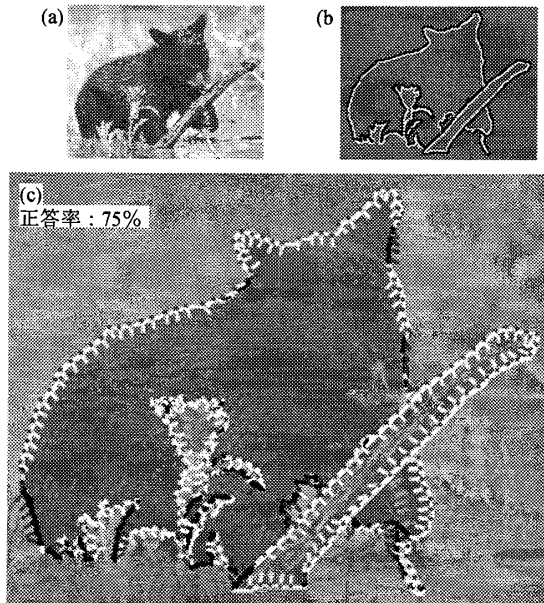


Figure 3 : 入力刺激とモデルが算出した BO の例
(a) 輝度コントラスト抽出用刺激 (b) a の Human Marked Figure/Ground Label 画像。ヒトが a の画像からトレースした輪郭に、ヒトが判断した図方向データを付加したもの。白が図を、黒が地の方向であることを示す。(c) モデルが算出した BO。白い部分がヒトの知覚と一致した場所で黒の部分が一致しなかった場所を示す。数値はヒト知覚との一致率である。熊の耳では凸の内側、枝の部分では平行成分の内側に物体があると算出されている。

おわりに

BO 選択性細胞の計算モデルを自然画像対応とした。100 枚の自然画像を入力した結果、ヒト知覚と 67%の一致を示した。この値は、BO 選択性細胞が図地分離に深く関わっていると考えられる数値である。そして、凸性、並列性と BO の方向との関係を定量的に評価した。結果、図方向を決定する心理的要因の代表とされる凸性や平行性が、周囲効果を基盤メカニズムとしている可能性が示唆された。今後の課題として、どのようなコントラスト配置が凸性や平行性に強く関わってくるのかを定量的に評価することが挙げられる。

参考文献

- [1] H.Zhou *et al.*, Cording of Border Ownership in Monkey Visual Cortex, *J Neuroscie*, 20(17):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, *NurocomputingI*, 70:1920-1924(2007)
- [3] H. E. Jones *et al.*, Spatial Organization and Magnitude of Orientation Contrast Interaction in Primate VI, *J. Neurophysiol.*, 88:2796-2808(2002)
- [4] D. Martin *et al.*, 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)
- [5] C. Fowlkes *et al.*, Local Figure/Ground Cues are Valid for Natural Images, *J. Vision*, 7(8):2, 1-9
- [6] R. M. Haralick, L. G. Shapiro, *Computer and Robot Vision*, Addison Wesley, 1:575-578(1992)

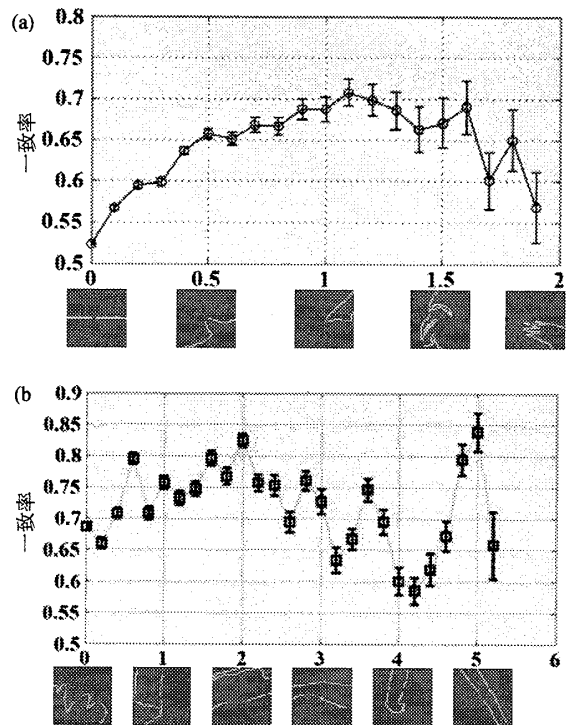


Figure 4 : 凸性と平行性の定量化
(a) モデルが凸成分の内側を物体方向と判断する確率。横軸の値は凸性を示し、各画像における×印の場所の値である。輪郭の曲がり具合が大きくなるほど値が大きくなり、直線だと 0 となる。(b) モデルが平行成分の内側を物体方向と判断する確率。横軸の値は平行性を示し、各画像における×印の場所の値である。平行線分が長く、対の線分が近く、対の線分の接線角度に近いほど値が大きくなり、平行線分が短い、対の線分が遠い、または、対の線分と直行していると 0 となる。