

特徴点抽出のアルゴリズムと神経回路網による実現

倉田 是 山下 洋史 橋本 功

千葉大学 工学部

あらまし 大脳視覚野に単純型細胞などの方向に選択的に反応する細胞が見つかる。また、これらはハイパーコラムを形成している。本報告では、隣接するハイパーコラム間に結合を設け、それによって特徴点を抽出するアルゴリズムを提案する。同じ方向選択性を持つ隣接コラムには抑制性の重み、違う方向選択性を持つ隣接コラムには興奮性の重みを持った結合を設けることにより、特徴点近傍のコラムがそれ以外のコラムよりも強く発火するようなシステムを作ることができる。また、計算機シミュレーションを行ったところ、明暗のはっきりした図形において、特徴点を抽出することができた。

An Algorithm and neural network to detect feature points

Tadashi KURATA Hirofumi YAMASHITA Isao HASHIMOTO
Chiba University

abstract The cells which have orientation selectivity like simple cells were found out in the visual cortex, and constitute hyper column. We present the algorithm to detect feature points, by means of synaptic combining with lateral hypercolumn. The system what the column nearby a feature points fires stronger than the other columns is made by excitatory synaptic combining in case of between lateral columns which have same orientation selectivity and inhibitory in case of between the other orientation. And besides, when we simulated by computer, we could detect feature points in case of the figure which appear contrast clearly.

1 はじめに

ヒトの視覚系は、TVカメラと違い不均一解像度特性を持つ網膜を持っており、何か視野の中で注意を引いたものを視野中心に捉えるために眼球運動を行う。提示された画像が単純図形の場合には特徴点に注意が働き、視野中心で捉えようとする。従って、ヒトの視覚系の場合には何らかの特徴点抽出アルゴリズムが脳内において実現されているはずであり、そのアルゴリズムの解明はヒトの視知覚を研究するにあたって有意義である。

本報告では、脳内において実現可能な単純図形の特徴点抽出アルゴリズムを提案し、またその計算機シミュレーションを行う。

2 特徴点抽出アルゴリズム

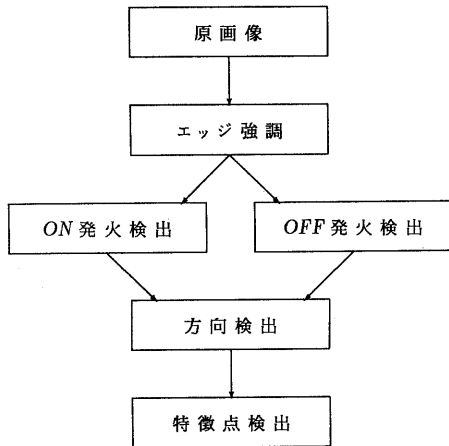


図1: 処理の流れ

図1に処理の流れを示す。システム全体は大きく分けて五つのモジュールからなる。このモジュール間のデータの流れは数枚の512×512の画像マップ間でやりとりしている。入力画像は画素数512×512、256階調のTVカメラを用いて、明暗がはっきりとした図形から取り込んだ。その入力をエッジ強調モジュールに送る。ここでは画像にフィルタリングをほどこしエッジを強調した画像を作り、それをON発火検出モジュールとOFF発火検出モジュールに送る。ON発火検出モジュールでは、エッジ強調モジュールから送られてきたデータの正の部分を検出し、逆にOFF発火検出モジュールでは負の部分を検出する。方向検出モ

| | | | | |
|----|----|-----|----|----|
| | | +1 | | |
| | +1 | +2 | +1 | |
| +1 | +2 | -16 | +2 | +1 |
| | +1 | +2 | +1 | |
| | | +1 | | |

図2: ラプラシアンオペレータ

ジュールでは、ON発火検出モジュールとOFF発火検出モジュールのデータから、4方向”|”,”-”,”\”,”/”を検出し、特徴点抽出モジュールでは、この4方向データから特徴点を抽出する。

エッジ強調モジュール

入力画像は、まず図2のような、5×5の大きさをもったラプラシアンオペレータがかけられる。一般的にエッジ特徴抽出には1次微分オペレータもしくはラプラシアンオペレータのような2次微分オペレータが使われる。1次微分オペレータの場合、方向性をもつことや生体の視覚系において使われている可能性が少ないことなどから除外し2次微分オペレータを用いた。このフィルタによって、画像上の明から暗に変化する近傍では負から正に、また濃度値が一定の部分では0の出力が与えられる。

ON/OFF発火検出モジュール

エッジ強調モジュールによって得られた出力のうち、正の部分をもったON発火検出モジュールが、負の部分をもったOFF発火検出モジュールがそれぞれ検出する。ON発火検出モジュールとOFF発火検出モジュールは符号が反転した以外は同じなので、ここではON発火検出モジュールについてのみ述べる。

まず、送られてきたデータ f_{ij} ($0 \leq i, j \leq 511$) に対して

$$g_{ij} = H(f_{ij}) \quad (1)$$

ただし、

$$H(x) = \begin{cases} 0 & \text{if } x < 0 \\ x & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

の操作をおこなう。次に g_{ij} を256階調に濃度階調変換処理を次式に従っておこなう。

$$g'_{ij} = \frac{255}{\max(g_{ij})} g_{ij} \quad (3)$$

この処理によってコントラスト改善や強調がほどこされる。次に g'_{ij} を2値化する。明暗のはっきり

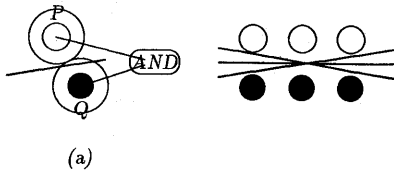


図3: ゼロ交差セグメントの検出

りした図形を用いているので濃度ヒストグラムが2峰性であると考えられるので、しきい値は次のように決定した。

いま、濃度ヒストグラム $h(x)$ の任意の濃度 $x, x \in N_n = 0, 1, \dots, N$ に対し、 x より小さい(暗い)濃度範囲 N_L で、 $h(x') - h(x), (x' \in N_L)$ の最大値を ΔL とし、 x より大きい(明るい)濃度範囲 N_H で、 $h(x') - h(x), (x' \in N_H)$ の最大値を ΔH とする。このとき、 $\Delta L \Delta H$ が最大となる濃度 x が求めるしきい値である。このしきい値より小さい値を 0, 大きい値を 1 とし、ON 発火検出モジュールとする。

方向検出モジュール

方向検出モジュールは、ON 発火検出モジュールと OFF 発火検出モジュールの出力をもとに、画像のゼロ交差セグメントを検出する。ゼロ交差セグメントの方向は4方向であり、それは“|”, “-”, “\”, “/”である。ゼロ交差セグメントの生理学的抽出方法として、Marr[1]は図3のような神経回路網を提案している。まず(a)のように、もし、 P がON中心型の外側膝状体X細胞受容野を、そして Q がOFF中心型の受容野を表しているとするれば、両者が活性化したときに、ゼロ交差はその間を通っていることになる。従って、両者が図のごとく論理ANDゲートでつながれているならば、そのゲートはゼロ交差の存在を検出することになる。(b)にしめされるように、そういうものがいくつか縦に並んでいて、その間にも論理ANDをとるようなつながりがあれば、そのような機構は、おおよそ図の破線で与えられる範囲内の方向性をもつゼロ交差セグメントを検出することになる。

このことより、本システムでは次のようなモデルを用いた。まず、ON発火検出モジュール、OFF発火検出モジュールからの出力 $f_{ij}, g_{ij} (0 \leq i, j \leq 511)$ とその8近傍について(1)から(4)の式を用いてゼロ交差セグメントを検出する(図4)。

(1)|方向の検出

$$f_{i-1j-1} + f_{i-1j} + f_{i-1j+1} + g_{i+1j-1} + g_{i+1j} + g_{i+1j+1} = 6(4)$$

$$g_{i-1j-1} + g_{i-1j} + g_{i-1j+1} + f_{i+1j-1} + f_{i+1j} + f_{i+1j+1} = 6(5)$$

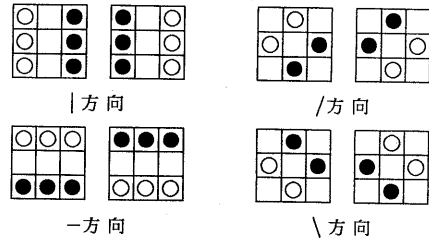


図4: 方向検出モジュール

$$\begin{matrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{matrix}$$

図5: ノイズ除去フィルタ

のどちらかを満たすとき、 (i, j) の位置に|方向の成分を持ち、出力マップ行列 A の成分 a_{ij} に1が送られる。それ以外の場合は a_{ij} は0となる。

(2)\方向の検出

$$f_{ij-1} + f_{ij+1} + g_{i-1j} + g_{i+1j} = 6(6)$$

$$g_{ij-1} + g_{ij+1} + f_{i-1j} + f_{i+1j} = 6(7)$$

のどちらかを満たすとき、 (i, j) の位置に\方向の成分を持ち、出力マップ行列 B の成分 b_{ij} に1が送られる。それ以外の場合は b_{ij} は0となる。

(3)-方向の検出

$$f_{i-1j-1} + f_{ij-1} + f_{i+1j-1} + g_{i-1j+1} + g_{ij+1} + g_{i+1j+1} = 6(8)$$

$$g_{i-1j-1} + g_{ij-1} + g_{i+1j-1} + f_{i-1j+1} + f_{ij+1} + f_{i+1j+1} = 6(9)$$

のどちらかを満たすとき、 (i, j) の位置に-方向の成分を持ち、出力マップ行列 C の成分 c_{ij} に1が送られる。それ以外の場合は c_{ij} は0となる。

(4)/方向の検出

$$f_{ij-1} + f_{i-1j} + g_{i+1j} + g_{ij+1} = 6(10)$$

$$g_{ij-1} + g_{i-1j} + f_{i+1j} + f_{ij+1} = 6(11)$$

のどちらかを満たすとき、 (i, j) の位置に/方向の成分を持ち、出力マップ行列 D の成分 d_{ij} に1が送られる。それ以外の場合は d_{ij} は0となる。

次に、各出力マップ行列に、図5をかけて、その値が0の成分を0に修正する。それ以外の場合は、その成分はそのまま変わらないようにする。この処理は、方向成分においての孤立点を除去するものであり、ノイズ除去の役割をする。

特徴点抽出モジュール

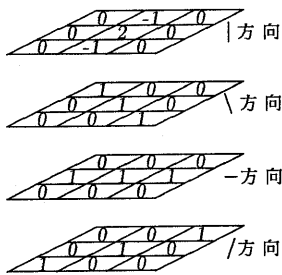


図6: 特徴点抽出フィルタ(|方向)

方向検出モジュールから送られてきた4枚の出力マップから、|方向についての特徴点、\方向についての特徴点、-方向についての特徴点、/方向についての特徴点というように4種類の特徴点を抽出する。ここでは例として|方向についての特徴点の抽出の手順を説明する。

図6のようなフィルタをかけ、その和をもとめ2以上であればその位置に特徴点が存在するとして、出力マップに1を送る。このフィルタは、基準となる方向(この場合は|方向)の隣接画素からは抑制性の信号を、その他の方向からは、興奮性の信号を送ることと同値である。この場合、基準となる方向の成分がとぎれ、他の方向の成分がそこからでていくような時、いいかえると画像上の方向の不連続点で強く発火することになる。従って、このフィルタをかけることにより、特徴点の抽出ができることになる。

3 シミュレーション結果

図7に計算機シミュレーション結果を示す。入力画像として黒く塗りつぶされた正方形を取り上げた(a)。(b)は方向検出モジュールで検出された縦方向の画像マップを出力した。(c)は同様に横方向の画像マップである。どちらの場合も、方向成分が検出されていることがわかる。(d)は特徴点抽出モジュールにより抽出された特徴点である。正方形の4つの頂点がはっきりとでていることがわかる。

4 生体の視覚系への適用

本報告で述べた特徴点抽出アルゴリズムが生体の視覚系において適用可能かどうかをこの節では論議する。

生理学的には、網膜上の視細胞は側抑制をなし、また、外側膝状体にはON中心型細胞、OFF中心型細胞が存在することが知られている。また、大脳一次視覚野では、方向選択性を持った細

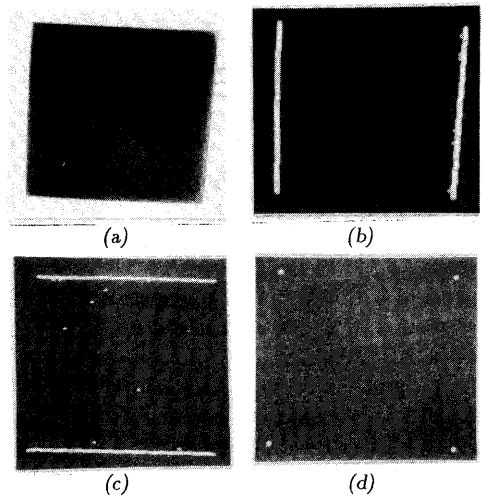


図7: シミュレーション結果

胞がハイパーコラム構造になっている。本システムのエッジ強調モジュールは、視細胞の側抑制によって、ON/OFF発火検出モジュールは、外側膝状体のON/OFF中心型細胞によって、また、方向検出モジュールは大脳一次視覚野によって生体の視覚系では処理されていると考えることができる[1][2]。

最後の特徴点抽出モジュールと同等の機能を持つ大脳の構造はまだ、生理学的には発見されていない。しかし、方向抽出機構(orientation detector)の機能を持つ大脳一次視覚野において、同一の最適方位を持ち、受容野の位置が異なるニューロン間、および異なる最適方位を持ち、受容野の位置が同じニューロン間に側抑制(側促進)が働いていると考えれば、本システムの特徴点抽出モジュールと同じ機能を持つモジュールを生体の神経回路網によって実現可能である(図8)。Carpenter & Blakemore [3]は鋭角過大視と鈍角過小視の錯視を、その実験結果から、直線方向抽出機構の側抑制によるものであると、そのモデルを設定することにより説明している。このような大脳一次視覚野においてコラム間の相互作用に関する報告から、生体において本システムと同等のシステムが存在する可能性は高いといえる。

5 結論

本システムは、局所並列アルゴリズムであり、また神経回路網によって実現可能であることがわかった。現在のところ、4方向の成分から特徴

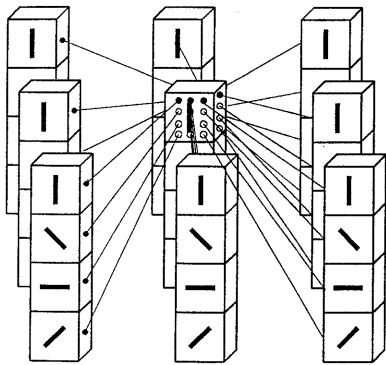


図 8: 特徴点抽出モジュールの神経回路網による実現

点を求めているため、 0° , 45° , 90° , 135° の方向の輪郭を持つ図形にしか適用できない。この部分に改善の余地がある。

また、本システムは、図と地において方向成分の違うテクスチャの構造解析にも応用することができると考えられる。

参考文献

- [1] DAVID MARR. *VISION*. Freeman, 1982.
- [2] DAVID H. HUBEL. *EYE, BRAIN, AND VISION*. SCIENTIFIC AMERICAN LIBRARY, 1988.
- [3] R. H. S. Carpenter C. Blakemore. *Lateral inhibition between orientation detectors in the human visual system*. *NATURE* Vol. 228(3), pp37-39, 1970.