

閾値変化法 (VARISHOLD Method) による 人工触覚のパターン認識

Artificial Tactile Pattern Recognition by VARISHOLD Method

森 政 弘*・木下 源 一 郎*

Masahiro MORI and Gen-ichiro KINOSHITA

今日バイオニクスの分野では、世界的に、神経細胞に見られる閾値現象を静的にあるいは動的に模擬することによって、各種の情報処理方式が研究されているが、筆者らの閾値変化法 (VARISHOLD Method) はこの静的な手法と動的な手法の中間に位置するもので、系の状態を考慮しながら、閾値を人為的に変化させ、パターン認識などの情報処理方式に応用しようとするものである。以下にその代表的応用として、筆者らの人工触覚によるパターン認識の研究について要点を報告する。

1. VARISHOLD Method

筆者らの VARISHOLD Method とは Variable Threshold Method から命名したもので、閾値を目的に応じて、あるいは刺激に応じて変化させ、つまり閾値変化を積極的に活用することによって、これまでの情報処理方法によっては実現が困難であった種々の機能を実現させようとするものである。

ネコの足の裏の順応の早い触受容器の受容野において、受容野の中心部では閾値がもっとも低く、また中心から外側に移るにつれて、その閾値が高くなっていることが知られている〔2〕。このような閾値分布によって、受容野に受ける機械的刺激のパターンをある程度多次元的にとらえることができる。また生体の持つ適応性という機能を人工の機械ないしはシステムに取り入れようとする動きが活発であるが、閾値変化ということは適応性を具現させるための有力な手段になると推論できる。

このようにネコの足の裏の閾値分布は足の裏の面に対して時空間的に分布しており、また適応性を具現するためには閾値を時間に関して、または入力に対して変化させればよい。

このような閾値分布例を図1に示す。この研究の着想として、筆者らは閾値というものをつぎのように解釈、把握した。

「閾値は外部の刺激に対応する応答基準であり、環境に応じて、その基準は変化する。」

この VARISHOLD Method は生体内の閾値変化と同様に、システムの閾値を変化させて、そのシステムの出力行応答を利用するもので閾値を時間的、空間的に、また時空間的に変化させるものである。

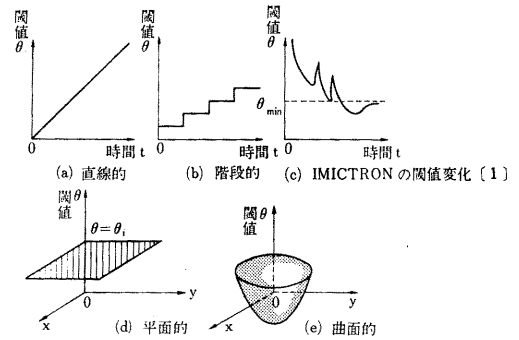


図 1 閾値分布例

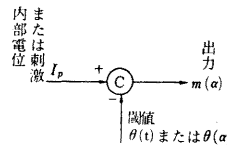


図 2 比較器

上記の閾値に対する筆者らの解釈は図2のように表現できる。すなわち閾値は応答基準に対して、刺激または与えられ状態がつぎのように比較器によって比較される。

$$m(\alpha) = Sgn \Phi, \Phi = I_p - \theta$$
$$Sgn \Phi = 1 \quad \text{ただし } \Phi > 0 \text{ のとき}$$
$$Sgn \Phi = 0 \quad \text{ただし } \Phi \leq 0 \text{ のとき}$$

ここで、 $m(\alpha)$: 比較器の出力、 α : 時間または空間的な変数、 I_p : 系の比較されるべき刺激または内部状態の値、 θ : 閾値、

2. VARISHOLD Method の人工触覚による パターン認識への応用

今日なお視覚によるパターン認識の手法はまだ完成されておらず、したがって、それを認識機械として実用化することは不可能であるので、この視覚に頼るべき面を指に代行させ、すなわち、その機能を触覚で補ってパターン認識を行なわせようとするのが筆者らの目的である。

触覚の生理学的モデルを単純化して、工学的モデルを構成すると図3のようになる。皮膚の場合、触の感覚を司る感覚細胞や終末が存在するが工学的モデルでは省略

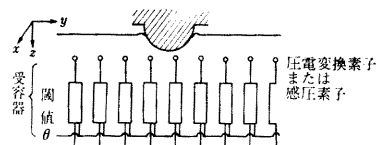


図 3 簡単な触覚 (圧覚) モデル

* 東京大学生産技術研究所 第2部

研究速報

し、圧覚を司る神経細胞に対応するものとして、圧電素子または感圧素子を置いた。これらの素子のまわりには近似的に弾性的物質を満たし、面上に、ある形の対象物が接触すると、この媒質が弾性変形し、そのひずみが圧電変換素子に加わり、電気信号に変換される。この信号に対して受容器は図4のように構成される。伝達関数Gは受容器の設定の仕方できまるので、それには触れずにこの論文では内部状態または内部電位 I_p が与えられたものとして考察する。触覚面上に、ある対象物が接触し、その圧力分布に対して、内部電位分布が $V(x, y, z)$ であったとする。($V(x, y, z)$ は集合と考えられるものとする。)

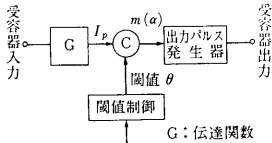


図4 受容器構成

閾値分布を一般に $P(\theta_i)$ と仮定し、各閾値 θ_i に対して、 $V(x, y, z)$ との共通集合 X_i を得る。

すなわち

$$X_i = V(x, y, z) \cap P(\theta_i) \quad i=1, 2, \dots, n$$

ここで閾値分布 $P(\theta_i)$ を平面的分布と仮定する。

$$z = P(\theta_i) = \theta_i$$

さらに $\Delta\theta_i = \theta_i - \theta_{i+1}$

とおくと、 $V(x, y, z)$ は次式のように近似される。

$$V(x, y, z) \approx V_1 \oplus V_2 \oplus \dots \oplus V_n$$

$$V_i = X_i \otimes \Delta\theta_i$$

ただし、 \oplus 、 \otimes はそれぞれ、直和、直積を表わすとする。つぎに、認識のために基準面 \tilde{P} を定める。(図5)

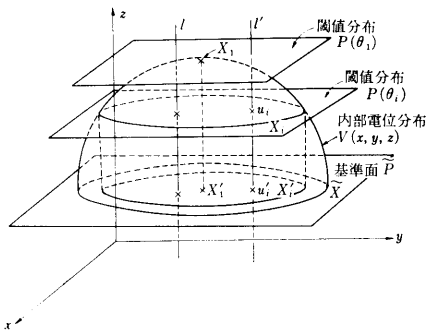


図5 平行射影による認識

また \tilde{X} を基準面 \tilde{P} に対して、つぎのように定める。

$$\tilde{X} = V \cap \tilde{P} \quad \text{ただし、} \tilde{P} = P(\theta_i = \beta), \beta: \text{定数}$$

定義から \tilde{P} と $P(\theta_i)$ は平面であり、互に平行である。 z 軸に平行な直線 l を定義し、平面 $P(\theta_i)$ 上の集合 X_i の点 u_i をとおり、 l に平行な直線 l' を定義する。

u_i' をつぎのように定義する。

$$u_i' = l'(u_i) \cap \tilde{P}$$

したがって、つぎのように平行射影が定義できる。

$$\Pi_l \tilde{P}(u_i) = u_i' \quad i=1, 2, \dots, n$$

ただし、 $\Pi_l \tilde{P}$ は l 方向への \tilde{P} への平行射影を表わす。

集合 X_i の要素にわたって l 方向の \tilde{P} の平行射影によって X_i' はつぎのように表わされる。

$$\Pi_l \tilde{P}(X_i) = X_i' \quad i=1, 2, \dots, n$$

ただし、添字 $i=1$ は $V(x, y, z)$ の支持平面に対応する。

ゆえに、おのおのの閾値 θ_i に対応するパターンを平行射影によって基準面 \tilde{P} に写像することができたので、この \tilde{P} 上において、 $V(x, y, z)$ の形状をつぎのように認識する。

1) 柱状

$$X_1' = X_2' = \dots = X_n' = \tilde{X}$$

X_1' が円である場合、 V は円柱状である。

X_1' が矩形である場合、 V は角柱状である。

2) 錐状、球状

$$P = X_1' \subset X_2' \subset \dots \subset X_n' \subset \tilde{X}$$

X_1' が円である場合、 V は円錐状、または半球状である。

X_1' が矩形である場合、 V は角錐である。

3) 屋根状 (Ridge form)

$$S = X_1' \subset X_2' \subset \dots \subset X_n' \subset \tilde{X}$$

X_1' が矩形である場合、 V は屋根状である。

4) 台形状

$$\omega = X_1' \subset V_2' \subset \dots \subset X_n' \subset \tilde{X}$$

X_1' が円である場合、 V は円錐台である。

X_1' が矩形である場合、 V は角錐台である。

ただし、 P : 点、 S : 線分、 ω : 凸集合である。

以上によって、与えられた圧力パターンが受容器内の閾値変化によって、その出力パターンから形状を認識することができる。

3. あとがき

生体における閾値現象を工学的にとらえ、その積極的な利用として、VARISHOLD Method を提案した。

また、この VARISHOLD Method による人工触覚のパターン認識の原理について述べた。

このパターン認識方法によれば立体対象物の認識を視覚によるよりもはるかに容易に実行することができる。ここでは、人工触覚の受容域内に入る表面の形状の認識について述べた。

さらに、ここに述べた認識の方法と手先の移動とを組み合わせることによって、触覚野(視野に対応する)接続による大形立体のパターン認識へと研究を進めたい。

(1969年1月6日受理)

参考文献

- 1) 合田 “生体機能をもつ情報処理系の研究 I, II” 生産研究, 19, 9, p. 239; 10, p. 276 (昭 42)
- 2) 桑原編 “感覚情報 II” 情報科学講座 B.6-2, 共立出版
- 3) 木下, 森 “人工触覚による3次元対象物のパターン認識” 電気四学会連合大会 (昭 44)