

## 尺度空間法による中心線の抽出： 尺度空間の特徴量の逆変換とその統合

井宮 淳 勝田 亮 市川 薫

千葉大学 情報画像工学科

263-8522 千葉市稲毛区弥生町 1-33

Tel +81-43-290-3257 imiya@ics.tj.chiba-u.ac.jp

あらまし 尺度空間解析は、視覚の物理モデルから生まれたものであり、実際の人間の視覚モデルと関係があるであろうことが指摘されている。D. Marr は DGF(Difference of Gauss Function) による画像中のエッジ抽出モデルに関して数理モデルと人間の認知モデルとの相関性を、認知科学の立場から詳細に検討した。本研究では、尺度空間の中に新たな停留点集合として構造線を導入する。さらに、最適尺度での構造線をノードの記号として持つ構造線木を導入する。この構造線木によって、濃淡画像に対して画像の部分中心線を定義する。さらに、部分中心線を構造線木の示す位相構造にしたがって統合した平面上の線画として濃淡画像の中心線を定義する。そして、提案する手法によって抽出した中心線が、人間の認知モデルを説明するものかを確認する。

キーワード 尺度空間法, 空間記述, 中心線, 位相構造, 階層表現

## Central Axes Extraction by Linear Scale-Space Analysis: Inverse Mapping of Features in the Scale Space

Atsushi Imiya Ryo Katsuta Akira Ichikawa

Dept. of Information and Image Sciences, Chiba University

1-33, Yayoi-cho, Inage-ku, 263-8522, Chiba, Japan

Tel +81-43-290-3257 imiya@ics.tj.chiba-u.ac.jp

**Abstract** In this paper we introduce a method for the extraction of central axes of gray-scale images using the scale-space framework. We first define a class of stationary points in the linear scale-space using the structure lines of gray-scale images. Second, we define the central axis of a gray-scale image as the unification of the local axes which are obtained in view fields. We define the central axes, which are typical features of images in low level vision, using the theory of view fields, which is a protocol from intermediate vision to high level vision. This property implies that for the accurate extraction of low level features, it is necessary to combine both bottom-up and top-down operations among low level vision, intermediate vision and high level vision in computational vision. The numerical results show that our algorithm extracts central axes which are very similar to central axes which human being feels. Psychological experiments conclude that for images with high contrast in gray scale, if the scaling of images is large, the extracted features have correlations to these extracted by human being.

**Key Words** Scale Space, Spatial Description, Median Axes, Topology, Multiresolution

## 1 まえがき

今日、計算機はさまざまな分野で応用されており、なかでも計算機によってデザインされた機械や道具や、コンピュータ・グラフィクスなどは、日常生活のあらゆる場面で目にし、利用されている。しかし、これらの製品と人間とのインタフェイス（例えば、スイッチ・ボタン・アイコン、またそれらの配置など）は、人間の経験と勘などに依存する部分が多い。例えば、1つの製品を設計するにあたっては、大量の試作品を作り、それを人間がテストし、最適なインタフェイスを持った製品に仕上げていく。製品が完成するまでには、多くの費用と人、時間を要し、また試作品という「ゴミ」を発生させてしまう。これらのことから、製品をデザインする際に、あらかじめ数式などで客観的に評価するモデルが存在することが期待される。この目標に向け、次のように段階をわける。

まず、1段階として、人間の視覚（特に知覚レベルでの）の仕組みを数理的なモデルで構築する。そして、その数理的な視覚モデルにおいて、実際の人間の視覚に近い数理モデルを追求する。2段階としては、1段階で得られた数理モデルにおけるパラメータと、人間が感じる「好き」「嫌い」「使いやすい」などの感覚との関係を見る。最後に3段階では、2段階で得られたパラメータと視覚モデルを利用して、人間の好みにあったデザインを実際に設計する。本研究ではこのうち1段階目を対象とする。既に、人間の視覚を数理的に示した提案はいくつかあるが、これらは実際の人間の視覚とどの程度関係があるかはわかっていない。これらの提案が実際の人間の視覚と相関が高いことが実証されれば、人間の視覚機能に準じたモデルを計算機上に実装することの意味が明確になる。

2値画像として表現される図形や物体は点の集合として取り扱うことができる。そこで、点集合のモーメント行列の第一固有ベクトルの方向として中心軸を定義することもできる。しかし、この手法は濃淡画像に直接適用することはできない。そこで、本論文では、構造線と尺度解析とを組み合わせて、濃淡画像の中心軸を抽出する手法を提案する。提案した手法によれば、与えられた画像の中心軸だけではなく、ある視野の中での局所中心軸も抽出できる。この点がモーメント行列による手法と提案した

手法との最も大きな相違点である。

## 2 尺度空間の停留点

尺度空間解析とは、信号や画像をさまざまな尺度でとらえた波形集合に拡張することによって信号や画像を階層的に表現するものである。信号や画像を表現する次元を増やして、高次元空間に信号や画像を埋め込むことによって信号や画像の中の隠れた構造を抽出できる [1][2][3][4]。ある平面  $\mathbf{R}^2$  上の位置を表すベクトルを  $\mathbf{r} = (x, y)^T$  とし、非負スカラー関数  $f(\mathbf{r})$  によって画像を表すことにする。等方均質媒体中での画像の基礎方程式

$$\left(\nabla \cdot \nabla - \frac{\partial}{\partial \tau}\right) f(\mathbf{r}, \tau) = 0 \quad (1)$$

の解である関数  $f(\mathbf{r}, \tau)$  を画像の尺度空間表現あるいは、一般化画像という。一般化画像は、画像  $f(\mathbf{r})$  と標準偏差  $\sqrt{2\tau}$  の等方性正規分布関数

$$g(\mathbf{r}, \tau) = \frac{1}{4\pi\tau} \exp\left(-\frac{\mathbf{r} \cdot \mathbf{r}}{4\tau}\right) \quad (2)$$

との重畳積分

$$f(\mathbf{r}, \tau) = \int_{\mathbf{R}^2} g(\mathbf{r} - \mathbf{r}', \tau) f(\mathbf{r}') d\mathbf{r}' \quad (3)$$

によって与えられる。尺度  $\tau$  を大きくすれば画像はぼやけていく。つまり、関数  $f(\mathbf{r}, \tau)$  が心象を表すと考えると、尺度  $\tau$  は心象を知覚する領域の広がりと考えられ、画像に対して尺度  $\tau$  が小さいと画像の局部を知覚し、逆に  $\tau$  が大きいと画像の概略を知覚することになる。このことを考慮すれば、一般化画像  $f(\mathbf{r}, \tau)$  に対する抑制操作

$$f(\mathbf{r}, \mathbf{a}, \tau) = G(\mathbf{r} - \mathbf{a}, \tau) f(\mathbf{r}) \quad (4)$$

を与えられた画像  $f(\mathbf{r})$  の全体を平等に眺める代わりに、 $\mathbf{r} = \mathbf{a}$  を満たす点のまわりに広がり  $\tau$  の領域を考え、この領域に重点をおいて  $f(\mathbf{r})$  を眺めることと解釈できる [5]。

さて、尺度空間の中の曲面

$$L_0(\mathbf{r}, \tau) = \{(\mathbf{r}, \tau) | \Delta f(\mathbf{r}, \tau) = 0\} \quad (5)$$

を各尺度に対する領域間の境界として採用することが行われる。一方、榎本らは、濃淡画像のヘッシアン行列を利

用して、特徴線、分割線、輪郭線を定義した。ここで、特徴線は濃淡画像の尾根を表す曲線となり、分割線は平均曲率の正負領域を分割する曲線となる。さらに、分割線は $L_0(\mathbf{r}, \tau)$ よりも精細に濃淡領域を分割する曲線となる。この曲線群を尺度空間の中に拡張すると、それぞれ

$$L_1(\mathbf{r}, \tau) = \{(\mathbf{r}, \tau) | \nabla f(\mathbf{r}, \tau)^\perp H(\tau) \nabla f(\mathbf{r}, \tau) = 0\} \quad (6)$$

$$L_2(\mathbf{r}, \tau) = \{(\mathbf{r}, \tau) | \nabla f(\mathbf{r}, \tau) H(\tau) \nabla f(\mathbf{r}, \tau) = 0\} \quad (7)$$

$$L_3(\mathbf{r}, \tau) = \{(\mathbf{r}, \tau) | \nabla f(\mathbf{r}, \tau)^\perp H(\tau) \nabla f(\mathbf{r}, \tau)^\perp = 0\} \quad (8)$$

となる。これらの集合は $L_0(\mathbf{r}, \tau)$ と同様に位置に関する2階微分の決める停留点集合である。ただし、 $\nabla f(\mathbf{r}, \tau)^\perp$ は、各尺度 $\tau$ での点 $\mathbf{r}$ における外向きの法線ベクトル

$$\nabla f(\mathbf{r}, \tau)^\perp = \left( -\frac{\partial f(\mathbf{r}, \tau)}{\partial y}, \frac{\partial f(\mathbf{r}, \tau)}{\partial x} \right)^\top \quad (9)$$

であり、行列 $H(\tau)$ は、各尺度での点 $\mathbf{r} = (x, y)^\top$ における一般化画像 $f(\mathbf{r}, \tau)$ のヘッシアン行列

$$H(\tau) = \begin{pmatrix} \frac{\partial^2 f(\mathbf{r}, \tau)}{\partial x^2} & \frac{\partial^2 f(\mathbf{r}, \tau)}{\partial x \partial y} \\ \frac{\partial^2 f(\mathbf{r}, \tau)}{\partial y \partial x} & \frac{\partial^2 f(\mathbf{r}, \tau)}{\partial y^2} \end{pmatrix} \quad (10)$$

である。

以上で定義した停留点集合は一般に、 $\tau \geq 0, \mathbf{r} \in \mathbf{R}^2$ を定義域とする3次元空間の部分集合 $\mathbf{R}^2 \times \mathbf{R}_+$ のなかの曲面である。そこで次に、尺度 $\tau$ に対する停留点を導入して、これら曲面の決める停留点集合を有限個の曲線の集合として表すことを考える。一般化画像の中で、

$$-\nabla f(\mathbf{r}, \tau) = 0 \quad (11)$$

を満足する点を停留点と定義する。式(11)を満足する停留点を尺度 $\tau$ の関数 $\mathbf{r}(\tau)$ として表せば、 $\mathbf{r}(\tau)$ は $\tau$ を変数とする3次元空間の部分空間 $\mathbf{R}^2 \times \mathbf{R}_+$ において、

$$H(\tau) \frac{d\mathbf{r}(\tau, \tau)}{d\tau} = \nabla \Delta f(\mathbf{r}(\tau), \tau) \quad (12)$$

の解曲線として与えられる[6][7]。この曲線を停留線と呼ぶ。明らかに、停留線上のすべての点は停留点である。

一般化画像の停留点を注視点とし、その点を中心として半径が $\sqrt{2}\tau$ である円を視野とする[6]。尺度 $\tau$ が変化することにより、注視点の位置が変化しない、もしくは変化の割合が小さいところを安定視点という。注視点の尺度 $\tau$ に対する変化率を

$$D = \left| \frac{d\mathbf{r}(\tau)}{d\tau} \right| \quad (13)$$

とおけば、停留線上で $D=0$ を満足する点、もしくは

$$\frac{d}{d\tau} D = 0, \quad \frac{d^2}{d\tau^2} D > 0 \quad (14)$$

を満足する点で、しかも孤立している点を安定視点という。この様な点は通常の有限の広がり画像では尺度空間の中に有限個しかない。従って、有限の広がり画像で、安定視点の中に存在する特徴線、分割線、輪郭線は有限個の曲線のからなる集合となることが分かる。この集合を

$$L_i = \{L_i(\mathbf{r}, \tau_j)\}_{j=1}^n \quad (15)$$

と表すことにし、すべての曲線を尺度が零である平面に重ねて表現した曲線集合を

$$C_i(\mathbf{r}) = \bigcup_{j=1}^n L_i(\mathbf{r}) \quad (16)$$

と表す。ただし、 $L_i(\mathbf{r})$ は $L_i(\mathbf{r}, \tau_j)$ を平面 $\tau=0$ に描いたものである。すなわち

$$L_i(\mathbf{r}, \tau_j) = \{(x_i(s), y_i(s), \tau_j)\} \quad (17)$$

に対して、

$$L_i(\mathbf{r}) = \{(x_i(s), y_i(s), 0)\} \quad (18)$$

である。図1に、停留線、視野、視点、構造線の階層構造を計算した例を示す。

### 3 視野の中の構造線と木構造

前章までで既に得られている安定視点・視野を、尺度空間解析によって尺度をさまざまに変化させることで、抽出された特徴情報は扱いやすい木構造にすることができる。本研究では、この木構造(安定視点木)に構造線を重ねることにより、構造線木と呼ぶ、新たな図形構造記

述法を提案する。さらに、この構造線木を用いた図形の中心線抽出アルゴリズムを示す。

一般には停留曲線は、複数の下に開いた曲線と無限遠点までつながる複数の曲線とからなる。それらのおおのに番号を付けて  $\{r_k(\tau)\}_{k=1}^m$  と表すことにする。この曲線上の停留点  $n_{ij} = (r_i(\tau_j), \tau_j)$  に以下のような半順序を定義する。

1.  $r_i(\tau)$  の上で、 $\tau_\alpha > \tau_\beta$  ならば、 $n_{i\alpha} > n_{i\beta}$
2.  $r_i(\tau)$  と  $\{r_j(\tau)\}_{j=1}^{j(n)}$   $j(n) \geq 1$  と  $1 \gg \epsilon > 0$  を満たす定数  $\epsilon$  に対して、 $\tau > \tau_0$  ならば、 $r(\tau) \not\subset \{r_j(\tau)\}_{j=1}^{j(n)}$ 、 $\tau_0 \geq \tau > \tau_0 - \epsilon$  ならば、 $\tau > \tau_0$  ならば、 $r(\tau) \supset \{r_j(\tau)\}_{j=1}^{j(n)}$  であるとき、 $\tau_i > \tau_0$  であり  $|\tau_i - \tau_0|$ 、 $r_\alpha(\tau_0) - r_\alpha(\tau_0)$  が最小となる曲線上の点  $r_\alpha(\tau_0)$  に対して  $n_{\alpha i} > r_{\beta j}$  とする。
3. 曲線属  $r(\tau)$  に対して

$$\lim_{\tau \rightarrow \infty} r(\tau) = \lim_{\tau \rightarrow \infty} r_i(\tau) \quad (19)$$

ならば、 $r_i(\tau)$  の一番  $\tau$  が大きな点を木の根とする。

以上の半順序を利用すれば、以下のアルゴリズムによって停留点をノードとする木を画像から構成できる。

1. 有限域図形に対し、 $\tau$  が十分に大きくなれば、1本の極大線しか残らない。その極大線を根停留線と定義する。
2. すべての安定視点を節と定義する。明らかに節は停留線上にある。
3. 根停留線上でもっとも上にある ( $\tau$  が最大になる) 節を木の根と定義する。
4. 同じ停留線上の相異なる節において、上の ( $\tau$  の大きい) 節を下 ( $\tau$  の小さい) 節の親節と定義する。逆に下の節を上節の子節と定義する。
5.  $\tau$  を大きい方からたどって曲線が分岐する場合、付線はその時点で主線とつながりように見なして、(4) の定義を適用する。
6. 親節と子節とのリンクを木の枝と定義する。

以上の定義にしたがい、与えられた1枚の画像から1本の安定視点木が一意的に得られる。しかも安定視点木は画像の相似変換と濃度値の定数倍に対して不変である。

安定視点木のそれぞれの節 (ノード) に、安定視点とその視野の下での構造線線に対応させ、木のリンク構造を安定視点木の階層構造を利用することで構造線木を定義する。従来、画像中の中心軸を抽出するには、画像の任意の場所に視野を設定し、その視野の中心の点とその周りでの密度変化が極値になる尺度を逆に計算していた。たとえば、手を開いた画像の中心軸を抽出し、熊手のような線画を抽出することを考える。これには、視野の中心となる点を追跡し、その点の軌跡を描くことで得られるが (実際の人間の視覚も同様の眼球運動を行っている [5])、この視野の中心と視野の広さは、位置によって変化する。そこで、構造線木を利用することで、次のような中心線抽出アルゴリズムを提案する。

1. 与えられた画像から安定視点を計算する
2. 視野を計算する
3. 安定視点木を計算する
4. 視野の中での特徴線を計算する
5. 特徴線木を計算する
6. 尺度空間の中の構造線木の節 (ノード) の要素である、特徴線を画像の上に描く
7. (6) によって、画像の中心線を画像の細部まで描くことができる。なお中心線の接続構造は安定視点木に従う。

この中心線抽出アルゴリズムによってチューリップの画像と手の画像とから特徴線を重ねて同じ平面上に描いた線画として抽出した中心線を図2、図3に示す。ともに、256×256画素、256階調の濃淡画像である。まず、ひとかたまりの部分の全体をおおような大きさの視野のなかで1本の構造線が得られ、視野をせばめていくと徐々に細部の特徴線が抽出されているのがわかる。

停留線  $r(\tau)$  から決まる安定視点  $r(\tau_i)$  をノードとして上のアルゴリズムによって決まる安定視点木をリストを

によって表現したものを  $T(f(r))$  と表すことにする。この木構造の要素を  $r(\tau_i)$  から  $L_j(r, \tau_i)$  に置き換えたものが、構造線木である。さらに、 $T(f(r))$  のノードの要素を  $L_j(r)$  に置き換えることで構成される平面上の線画を多重構造線とよぶことにする。多重構造線のなかで、構造線として特徴線を選んだ線画が中心軸である。安定視点木は画像の相似変換と濃度値の定数倍に対して不変である。また、構造線は拡大縮小、回転、平行移動と濃度の定数倍に対して不変な特徴である。従って多重構造線もこの4つの変換に対して不変な特徴量である。

#### 4 心理実験

尺度空間解析による中心線モデルと人間の知覚モデルとの関係を知るための心理実験を行った。被験者は千葉大学工学部の学生を中心として13人である。対象画像は図4に示す植物(木)の写真と幾何立体図形の2枚である。

抽出された構造線木の各ノードの尺度  $\tau$  を使い、そのときの正規分布フィルタでぼかした画像を用意する。ただし、このままでは画像が多くなりすぎる。人間の眼には、尺度  $\tau$  の値が近い画像どうしの違いはあまりわからないので、 $\tau$  の値が近い画像は1枚の画像で代用する。これにより、20数枚の画像から10枚程度の画像で済ませることができる。結果を誘導するようにならないよう、図などを用いず、できる限り言葉で説明した。実験は以下の手順でおこなった。

1. ページをめくり、ぼけた画像を被験者に提示。
2. この画像の中から直感的に感じる「かたまり」の部分に赤色のペンで囲む(制限時間10秒)。
3. 線で囲んだ部分の中心にバツ印(x)を打つ(制限時間10秒)。
4. 線で囲んだ部分を1本の線(曲線分)で近似(制限時間10秒)。

以上の作業をぼかした画像ごとに繰り返す。すべての作業を終了したら用紙を回収する。提示する画像の順番は、尺度  $\tau$  が大きいほう(ぼけが強い画像)から順とした。

回収した画像をスキャナにかけ、赤色のフィルタを通し、赤ペンで書かれた部分だけを抽出する。次に、スキャナで読み込んだデータ(「かたまり」の部分、バツ印(x)、曲線分)のそれぞれの平均をとっておく。分析は、この平均データに対して、注視点と視野、中心軸との相関をみる。図5に被験者の抽出したかたまりの部分と中心軸を赤色フィルタを利用して抽出した例を示す。また、表1、表2にそれぞれ、計算機で計算した視点の位置と被験者が決定した視点の位置の例を示す。

回収した用紙上に描いた点と、計算された安定視点との間のユークリッド距離を、描かれた点と安定視点との距離とする。計算機より得られた各安定視点の位置と、実験用紙上でそれにもっとも近い位置にあるバツ印(x)の位置を対応させる。各安定視点ごとに距離を算出し、相関分析を行う。相関分析の結果、安定視点位置に関する相関係数は、樹木の画像が0.5372、幾何図形が0.4636であった。囲まれた個所の面積と、視野円の面積を比較する。囲まれた面積を  $s_h$  としたとき、 $r_h = \sqrt{\frac{s_h}{2\pi}}$  なる  $r_h$  を用意する。視野は安定視点を得られたときの  $r_c$  に対して、その安定視点を中心とする半径  $r_c = \sqrt{2r_c}$  なる円である。この  $r_h$  と  $r_c$  の差を、囲まれた個所と視野円との距離と定義する。計算機により得られた各視野の位置と、実験用紙上でそれにもっとも近い位置にある「かたまり」の部分に対応させる。相関分析の結果、視野に関する相関係数は、樹木の画像の場合0.5932、幾何図形の場合0.4874であった。

計算理論では明るい所、暗い所、いずれも平等に注視点をおいていくのに対し、心理実験の被験者の多くは、そのほとんどが紙の白いところを中心にマークしている。所を中心に注視点がおかれるが、心理実験では背景の空や雲にマークする被験者が多かった。このため、 $\tau$  が大きい(ぼけが強い)画像では、心理実験側・計算理論側双方とも、安定視点が背景の雲や空に注がれるため比較的マッチするのだが、 $\tau$  が小さく(ぼけが弱い)なり、計算理論側が木の枝などに視点が変わっても、心理実験側は変わらず明るい箇所に視点が残っているためことがわかった。

また、立体文字の画像に関しては、尺度  $\tau$  が大きい場合には、心理実験側は暗い影に視点注がれるが、尺度

$\tau$ が小さいときには、やはり明るい箇所に視点が移る。心理実験では、被験者に尺度 $\tau$ が大きい画像から徐々に尺度 $\tau$ を小さくした画像を見せていったため、途中で「文字である」と被験者が気づいた途端、注視点や構造線が変わってきた。文字には意味情報が含まれるため、このような画像の概略を知る実験では、論理的思考が介在して、本来の知覚レベルの認知をみることができなくなってしまった。この影響が大きかったため、とくに尺度 $\tau$ が小さい画像に関して、文字に関する計算値と実験値との相関値が低くなってしまった。中心軸に関しては現在実験を継続中である。

## 5 むすび

各視野での構造線を定義し、構造線木を提案した。また構造線木を用いることで、新たな中心軸抽出アルゴリズムを提案した。画像中の物体の中心軸を抽出することは、画像中の物体を理解・解析を行う場合において必要となる機能であり、人間の視覚モデルを利用した最適なインタフェイスをもった製品の工業デザインや、カメラなどで撮影した物体の形状理解・形状解析や人間の視覚特性を利用した画像圧縮などに応用が可能である [8]。

2値画像として表現される図形や物体は点の集合として取り扱うことができる。そこで、点集合のモーメント行列の第一固有ベクトルの方向として中心軸を定義することもできる。しかし、この手法は濃淡画像に直接適用することはできない。そこで、本論文では、構造線と尺度解析とを組み合わせ、濃淡画像の中心軸を抽出する手法を提案した。提案した手法によれば、与えられた画像の中心軸だけではなく、ある視野の中での局所中心軸も抽出できる。この点がモーメント行列による手法と提案した手法とも最も大きな相違点である。計算によって抽出された中心軸と、人間が抽出する主観的中心軸との関係を解析するためには、閉じていない平面曲線にも適用できる曲線の間の距離尺度が必要である [10][11]。

本研究は電気通信フロンティア研究開発によるものである。

## 参考文献

- [1] D. Marr 1982 "Vision", W. H. Freeman and Company, New York, New York and Oxford
- [2] 守田 了 1996 CVCV-WG 特別報告: コンピュータビジョンにおける技術評論と将来展望 (IX)-多重解像度解析:スケールスペースとその応用- 情報処理学会論文誌, Vol.101, No.7, pp.49-56
- [3] J.J.Koenderink and A.J.van Doorn, 1984, "The Structure of Images", Biological Cybernetics, vol.50
- [4] 飯島泰蔵 1973 パターン認識, 電機電子工学大系 43, コロナ社
- [5] 荻阪良二, 中溝幸夫, 古賀一男 1993 眼球運動の実験心理学 名古屋大学出版会
- [6] 趙南元, 飯島泰蔵 1985 図形観測における視点, 視野の決定法に関する理論 電子通信学会論文誌 Vol.J68-D No.4 pp.508-514
- [7] 趙南元, 飯島泰蔵 1985 安定視点木法による画像の特徴抽出理論 電子通信学会論文誌 Vol.J68-D No.5 pp.1125-1132
- [8] 井宮 淳 1991 物体の構造線の抽出とその応用 情報処理学会研究報告 Vol.91, CV73-6 pp.41-48
- [9] 上坂吉則 1984 開曲線にも適用できる新しいフーリエ記述子, 電気電子通信学会論文誌 J67-A No.3 pp.166-173
- [10] 井宮 淳, 堀英昭 1989 空間曲線のためのフーリエ記述子 情報処理学会研究報告 Vol.89, No.96, pp.1-8
- [11] 井宮 淳, 安田篤司 1991 物体の周波数解析 情報処理学会報告 Vol.91, No.10, pp.1-8

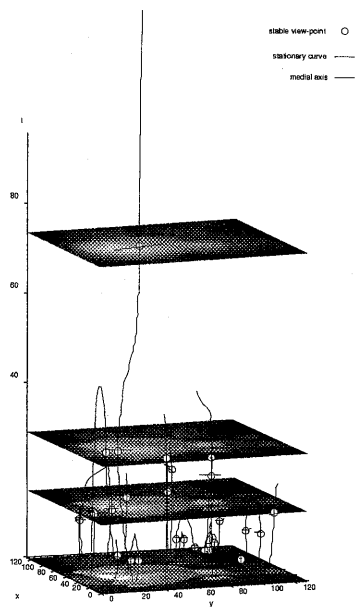


図 1: 視点・視野・特徴線の例

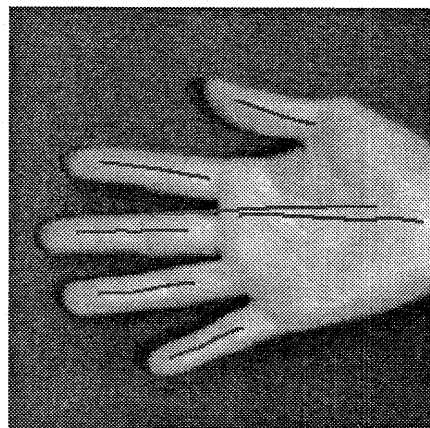


図 3: 手の画像の中心軸

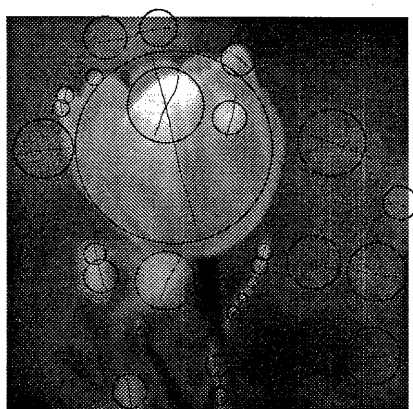


図 2: 視野と中心軸



図 4: 樹木

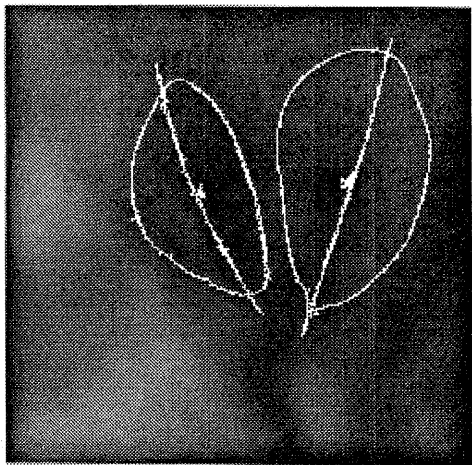


図 5: 赤色フィルタをかけた画像

表 2: バツ印 (x) の位置 (樹木)

$\tau$	x	y
100	25	112
	49	64
	78	218
	118	104
	149	110
	178	225
50	24	108
	52	69
	75	218
	172	228
40	25	106
	50	64
	76	227
	200	125
.	.	.
.	.	.
.	.	.

表 1: 安定視点の位置 (樹木)

$\tau$	x	y
100	155	112
67	21	108
52	228	68
49	155	44
44	185	218
37	48	182
31	173	78
.	.	.
.	.	.
.	.	.

表 3: 視野の半径と「かたまり」の部分の半径 (樹木)

視野の半径	「かたまり」の半径
97	49
51	35
47	37
44	31
42	31
39	33
36	28
.	.
.	.
.	.