生体の注視機構を応用したアクティブビジョンシステム*

八 木 透^{*1}, 浅 野 展 久^{*1}
牧 田 真 治^{*1}, 内 川 嘉 樹^{*2}

Active Vision System Inspired by Biological Fixation Mechanism

Tohru YAGI, Nobuhisa ASANO,
Shinji MAKITA and Yoshiki UCHIKAWA

Focusing on the biological fixation mechanism, we propose a fixation technique, and implement it into an active vision system. In our technique, large and small camera movements are coordinated to detect an object precisely at the optical axis of the camera. Each type of movement is performed via two separate fixation methods: approximate fixation and adjustment fixation. In the former fixation, a preliminary fixation point is detected using the multi-resolution retina. After the optical axis of the camera is aligned in the direction of this point, the latter fixation method determines the precise fixation point by means of visual feedback control, which minimized the angle between the object's center and the optical axis of the camera. Experimental results show that the active vision system using our proposed technique succeeded in fixating objects one after another in a scene, even if several objects are placed within it. According to these results, we have confirmed that bottom-up processing using primitive visual features is an effective technique for precise fixation.

Key Words: Seeing and Hearing Mechanism, Mechatronics, Robotics, Image Processing, Fixation, Active Vision

1. 緒 言

近年、観測者が能動的に移動することにより周辺の3次元情報を獲得して、シーンの理解を図ろうというアクティブビジョン(あるいはアニメートビジョン。以後、アクティブビジョンと総称する)に関する研究が盛んである⁽¹⁾⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁶⁾。2次元画像情報から3次元情報を獲得する問題は、従来の静止した観測系における処理では不定問題(ill-posed problem)としてしか扱うことができなかったが、動的な観測系においては良設定問題(well-posed problem)として扱うことができると考えられることから、アクティブビジョン実現に多くの期待が寄せられている。アクティブビジョンでは、視野内に存在する複数の物体の中から、どれか一つの物体を選択し、カメラの視軸をその方向へ向け、対象物体を視野中心部で捉える必要がある(この動作を「注視(fixation)」という)。従来は、画像処理における「領域分割」「エッジ検出」などの手法を適用して画像内での物体の位置を求め、注視を実現して

きた。

それら様々な領域分割手法のうち、抽出した画像の特徴(輝度、色、テクスチャなど)を特徴空間にマッピングし、それぞれの物体をクラスタリングする「特徴空間におけるクラスタリング」⁽⁷⁾⁽¹⁴⁾⁽¹⁵⁾が広く採用されている。この方法は、位置検出時に抽出した画像の特徴を、物体認識の処理にも利用できるという大きな利点がある。しかし、抽出する特徴が多ければ多いほど、特徴の数に比例した長い処理時間がかかる。加えて、色、形状などが類似した複数の物体が配置されているシーンの場合、画像から抽出した特徴をクラスタリングしても、各物体の位置を弁別することは難しい。他の領域分割手法としては、「画素結合法」⁽¹⁴⁾⁽²³⁾や「分割・統合法」⁽⁹⁾⁽¹⁴⁾が挙げられるが、これらの手法もいくつかの問題点を抱えている。「画素結合法」は、雑音や鮮明なエッジなどの影響を受けやすいので完全に閉じた領域を得難く、領域分割がうまく行なえないことがある。また「分割・統合法」については、領域の分割、及び統合の回数が多く、扱うデータ構造が複雑になるという欠点を持つ。一方、「領域分割」と相補的な関係にあるアプローチである「エッジ検

* 原稿受付 1995年3月20日。

*¹ 名古屋大学大学院(〒464-01 名古屋市千種区不老町)。*² 正員, 名古屋大学工学研究科。

出」⁽¹¹⁾⁽¹⁴⁾ は、特徴の不連続性に注目してエッジを抽出する手法である。しかし、雑音を含む現実の画像に対しては、対象物の境界を閉じた線として得ることは難しい。そのためエッジ検出法を用いるには、雑音除去や平滑化などの前処理が必要となり、処理時間が増大する。

このように、個々の従来法は多かれ少なかれ問題を抱えている。そこで通常は、これらの手法を互いに組み合わせることで問題点を解決することになる。もちろん、上記の従来法の組合せによって、物体注視という目的を十分に達成することはできる。しかし、それではアクティブビジョンの特徴である「能動的移動」が活かされないと我々は考えた。そこで、視線移動を効果的に活用し、かつ処理が比較的簡易な物体注視手法を考案すべく、我々は研究を進めている。

ところで「注視」は、生体の視覚機能に見いだすことができる⁽¹³⁾⁽¹⁷⁾。そこで本論に入る前に、生体の注視機構について簡単に述べる。生体の視覚は、視野中心部から周辺部へかけて視力が低下するという特徴を備えている。このため、視野周辺部に映っている物体を視線移動によって視力の高い視野中心部で捉え、より詳細な視覚情報を得ている。通常、一回の高速な眼球運動（衝動性眼球運動、またはサッケード運動）によって注視が行なわれるが、時として眼球運動が対象物体の位置まで到達しなかったり（アンダーシュート）、行き過ぎたり（オーバーシュート）することがある。その場合、小さな衝動性眼球運動（キャッチアップサッケード）や低速で小さな眼球運動（滑動性眼球運動）によって発生した誤差を補い、正確に視野中心部で物体を捕らえる仕組が、生体には備わっている。さらに、「哺乳類」の注視の脳内処理系については、2つの異なる視覚システムによって、注視は処理されていることが明らかになってきた⁽¹²⁾⁽¹⁶⁾。脳内には、第一視覚システムと呼ばれる「認識」などの高度な視覚情報処理を司る視覚システムと、第二視覚システムと呼ばれる、眼球運動制御に深く関連した、個体発生的にも系統発生的にも早く発達する視覚システムが存在することが知られている。これまでの生理学的研究によると、哺乳類は第一視覚システムが除去・損傷された場合でも、ある程度、物体の位置を検出することができると報告されている。そして第二視覚システムは、物体位置決めのために特化されたシステムであること、また物体注視には、第一視覚システムが行なうような高度な視覚情報処理は、必ずしも必要ではないことが示唆されている。

我々はこれまでに、第二視覚システムにおいて「網

膜」が重要な役割を果たしているという仮説を立て、心理物理学、及び視覚情報理論の立場から生体の注視機構についての基礎的研究を行ってきた⁽¹⁸⁾⁽¹⁹⁾⁽²⁰⁾。本論文では、これらの研究成果を参考にして、網膜の工学的モデルである「中心窩センサ（あるいはmultiresolution retinaともいう）」⁽²⁾⁽³⁾⁽⁵⁾⁽¹⁰⁾⁽²¹⁾⁽²²⁾を用い、さらに大小の視線移動を組合せた、物体注視手法を提案する。この手法は、従来の中心窩センサのみを用いた視覚システム⁽³⁾⁽⁵⁾⁽¹⁰⁾⁽²¹⁾⁽²²⁾では克服できなかった注視精度の問題点を、中心窩センサに特有のパラメータを最適化し、ビジュアルフィードバックを用いた注視点の補正処理を組み合わせることで解決している。さらに、従来は手法の検証が計算機シミュレーションのみで済まされていたが⁽²⁾⁽⁵⁾⁽¹⁰⁾⁽²¹⁾⁽²²⁾、本論文では提案手法をアクティブビジョンシステムへ適用し、実機を用いた実験によって検証する。そしてこのシステムが、カメラ視野内に存在する複数の物体の中から、どれか一つの物体を選択し、カメラの視軸をその方向へ向けて、対象物体を視野中心部で注視できることを示す。そして本論文の末尾に、提案手法の利点と問題点、今後の目標について述べる。

2. 生体の注視機構に基づいた物体注視手法

本論文では、「大まかな注視点検出処理」と「詳細な注視点検出処理」という、二つの異なる処理を組み合わせた物体注視手法を提案する。まず、前者の処理によって検出された注視点へ向けて、衝動性眼球運動に対応する大きな視線移動を行ない、物体を注視する。もし、物体を正確に視野中心部で捉えることができなかった場合は後者の処理を行ない、キャッチアップサッケードに対応する小さな視線移動によって、発生した誤差を補い、正確な注視を実現する。

2・1 大まかな注視点検出処理 これまでの注視機構の基礎的研究により、我々は、網膜が第二視覚システムにおいて重要な役割を果たしていること、また、注視点決定の重要な処理が、まず最初に網膜において行なわれていることを明らかにした。そこで、本論文で提案する物体注視の手法には、網膜の工学的モ

図1 アイ・フィールド

図2 大まかな注視点検出処理

デルである中心窩センサを用いる。中心窩センサとは、視野中心部に高周波域空間フィルタを、周辺部に低周波域空間フィルタを配置して画像を処理する方法のことである。そのため、中心窩センサを用いると、視野中心部では高分解能、周辺部では低分解能の画像を得ることができる。なお本論文では、他の中心窩センサに比べて処理時間を格段に節約できる「アイ・フィールド (Eye Field)」⁽³⁾⁽¹⁰⁾ という中心窩センサを用いる (図1)。

図2は、アイ・フィールドを用いたとき、カメラ入力画像 (図2 a) がどのように処理され、注視点が決まるかを示している。カメラ入力画像は、視野中心部の画像が細かく分割され、周辺では粗く分割される (図2 b)。次に分割された各領域内に含まれる画素の輝度が平均化される。従って平均化後は、粗さが異なるモザイク画像が得られる (図2 c)。例えば、暗い背景の中に明るい物体が複数存在するようなシーンの場合、各物体の輝度・大きさが等しければ、視野中心に存在する物体ほど処理後の画像において大きな輝度値を持つことになる (すなわち、物体の「位置」に応じて重み付けがなされる)。次に、視野周辺部の分割領域の中から信号強度が最も高い分割領域を検出し、その中心部の位置を次の注視点とする。そして、画像上における、その注視点と視野中心部との距離が、カメラの回転角度に変換され、注視点へ向けて、視線移動が行なわれる (図2 d)。

2・1・1 中心窩センサの評価 さて、網膜数理モデルを用いた研究によると、網膜中心部と周辺部の「形態的差異」が、注視点決定の重要なパラメータになっていることが明らかになっている⁽¹⁹⁾⁽²⁰⁾。この形態的差異は、中心窩センサの中心部と周辺部における空間フィルタのフィルタ形状の差異 (アイ・フィールドにおいては分割領域の面積の差異) に相当する。ところが、中心窩センサを用いた従来の研究は、この点について評価を行っていないため、検出され

た注視点、実際の物体の位置と一致しないことが頻繁にあった⁽²⁾⁽³⁾⁽⁵⁾⁽¹⁰⁾⁽²¹⁾⁽²²⁾。そこで、本論文では、図1に示す様々なタイプのアイ・フィールドについて、生体 (ヒト) の注視を基準として、以下の点について注視の性能を検証する。

形、色、輝度、大きさなど、全ての物理的要素が全く等しい単純な物体が、複数個配置されているシーンを考える。そのようなシーンが眼前に与えられると、ヒトは視野中心部に最も近接した物体を、まず最初に注視することが、心理物理学の実験によって確かめられている⁽⁸⁾⁽¹⁸⁾⁽¹⁹⁾⁽²⁰⁾。そこで、白無地の背景に、5～10個程度の黒色の円図形がランダムに配置された、上記のようなシーンを計算機内で生成する。そして各アイ・フィールドによって決定される注視点を計算機によってシミュレートする。なお、結果の定量的な評価を行なうため、我々の以前の研究で定義した「近接指数」⁽⁸⁾を導入する。近接指数は視線移動距離を正規化したものである。 L 、 $L_{\max}$ 、 $L_{\min}$ をそれぞれ、視線移動距離、注視点から最も遠いところにある物体までの距離、注視点から最も近いところにある物体までの距離と定義すると、近接指数は次のように表される。

$$p = \frac{L_{\max} - L}{L_{\max} - L_{\min}} \dots \dots \dots (1)$$

この式が示すように、近接指数が「1」の場合、最も近接する図形が注視されたことを意味する。逆に、「0」の時は、最も遠方にある図形が注視されたことになる。この指数により、視線が最初の注視点から、次にどの位置にある図形へ向かうかを調べた。

図3は、7個の図形 (大きさは視角5度) を配置した際の注視点結果を近接指数のヒストグラムで表したものである。横軸には近接指数0.1ごとの階級を、縦軸には各階級に属するデータの個数を総度数で割った相対度数を配してある。このグラフが示すように0.9～1.0のカテゴリーにおいて、いずれのアイ・フ

フィールドも相対度数が高い結果となっている。つまり、より近接する物体が注視されていることが分かる。この分析結果から、Type-1のアイ・フィールドが最もよい動作をすることがわかった。

一方、上記の計算機シミュレーションにおいて、オーバーシュートやアンダーシュートの有無を調べ、注視の正確さも評価した。表1は一回の

図3 近接指数による注視点解析

表1 正確な注視が行なわれた結果の比率

Eye Field	Percentage
Type-1	67%
Type-2	62%
Type-3	35%
Type-4	40%

アイ・フィールド処理により、物体が「視野中心範囲（最小の分割領域が集まっている範囲）」で捉えることができた場合の比率を示す。この分析においてもType-1のアイ・フィールドは67%の注視が正確に行われ、他のアイ・フィールドより勝っていることが明らかになった。

以上のような結果が得られたのは、配置する図形の数、大きさがある程度指定したためと思われる。そこで、物体の数、大きさを変更して同様のシミュレーションを行なった。すると、図形が極端に大きい時（20度）は、その一部を捉えることはできても、視野中心部で正確に図形を捉えるとはできなかった。また、逆に小さい時は、オーバーシュートやアンダーシュートが多発した。一方、提示図形の数を変更したところ、数の増加にともない、注視の近接性がみられなくなった。このことから、実験を行なうシーンに適合した、アイ・フィールドを用意する必要があることが分かった。

2.2 詳細な注視点検出処理 前節でも述べたように、アイ・フィールドを用いた処理による物体注視の問題点として、求めた注視点の精度が挙げられる。そこで、この問題点を解決するために、ビジュアルフィードバックを用いた微小なカメラ移動を繰り返し、物体をカメラの視野中心部で正確に捕らえる「詳

図4 詳細な注視点検出処理

細な注視点検出処理」と組み合わせる。そして、オーバーシュートやアンダーシュートによって発生した誤差を補償し、物体注視の精度を向上させる。

「大まかな注視点検出処理」の後、視野中心範囲の画素の輝度値を調べ、物体を視野中心範囲（最小の分割領域が集まっている範囲）で捉えることができたか否かを判定する。もし物体のごく一部でも、視野中心範囲に捉えることができていなければ、再びアイ・フィールドによる処理を繰り返す。物体を視野中心範囲で捉えた後は、図4 aに示すように、視野中心範囲の画像を上下（AとB）、左右（CとD）に二分し、それぞれの範囲内で輝度値を合計する。輝度の合計値の大小によってカメラの移動方向を（図4 b）、合計値の差と和の比によってカメラの移動距離を決定する（図4 c）。例えば同図においてA範囲がB範囲より、またC範囲がD範囲よりも輝度の合計値が大きいので、カメラは図中に示した距離だけ左上方向へ移動する。以上の手続きを、AとB、CとDの範囲の各々の輝度合計値が等しくなるまで繰り返す。等しくなったとき、物体が正確に注視されていると考えられる。

3. 実験

3・1 アクティブビジョンシステム 以上述べ

図5 アクティブビジョンシステム「アイ・ムーバ」

図6 提案するアクティブビジョンシステム

た物体注視手法を、以下に述べるようなアクティブビジョンシステムに適用し、実験を行なった。実験には、我々がこれまでに開発したアクティブビジョンシステム「アイ・ムーバ」⁹⁾を用いる（図5）。アイ・ムーバには小型のCCDカメラがユニバーサルジョイントの中に組み込まれ、ユニバーサルジョイントはスライディングロッドを介して駆動装置につながっている。CCDカメラはユニバーサルジョイントの回転中心を軸に回転するため、カメラの視軸を可動範囲内で任意の方向へ向けることができる。なお現在は、駆動装置としてXYプロッタを改良したものをを用いている。

図6は処理の一連の流れを示している。このアクティブビジョンシステムで取り込まれた画像データは、画像処理ボードを経てホストコンピュータへ転送される。そして、前章で述べたように注視点検出の処理が行なわれ、注視点決定後、カメラの位置データが駆動装置へ送られる。すると、カメラ視軸が注視点方向へ向くようにユニバーサルジョイントが回転し、注視が実行される。

物体を正確に注視できた後は、次の注視を行なうために、一度注視した物体を再び注視しないようにする必要がある。そのためには、検出した注視点の位置を、何らかの方法で記憶しておけばよい。アクティブビジョンでは、視線移動毎に異なる画像が入力される。そのため、検出した注視点を「画像内の座標値」として記憶しておく、視線移動の度に座標変換を行わなければならない、手間がかかる。そこで、検出した注視点に対応する「カメラの位置データ」を保存することにした。具体的には以下の手順に従い、再検出を回避する。まず、物体がカメラの視軸で正確に捉えられた時点の、カメラの位置データを記憶する。次に、「大まかな注視点検出処理」によって、視野周辺部にある分割領域の中から、最も輝度値が高い分割領域を検出する。そしてこの分割領域の中心を「暫定的」に次の注視点と見做す（この段階では、まだ視線移動は行なわれていない）。次に、この新たに求めら

れた暫定的注視点に対応するカメラの位置データと、先に記憶した位置データとを比べる。もし、両者があらかじめ設定しておいた範囲内で一致する場合には、両位置データに対応する注視点同士が一致すると見做し、暫定的注視点を見視点候補から除外する。そして、二番目に輝度値が高い分割領域を視野周辺部から選び、その中心の位置を暫定的な注視点とする。この作業を、記憶した位置データのどれとも一致しなくなるまで繰返して最終的な注視点を決する。以上の方法で、逐次、視野内の物体を注視することができると思われる。

3・2 実験結果 提案手法の有効性を確認するために、同手法を適用したアクティブビジョンシステムの動作確認実験を行なった。実験には、単調な背景のもとに、2～7個の複数の物体（各物体の大きさは2～5度程度）がランダムに配置されているシーンを用いた（なおカメラ視野の大きさは約40度である）。前述したように、シーンにあわせて、用いるアイ・フィールドを選択しなければならない。そこで、シミュレーション結果に従い、この実験ではType-1のアイ・フィールドを用いることにした。

図7は典型的な「おおまかな注視点検出処理」（図7 a、7 b）と「詳細な注視点検出処理」（図7 c、7 d）の例を示している。同図において、カメラの入力画像が左側に、アイ・フィールドによる処理画像が右側に示されている。

注視を行なう前の初期状態に取り込まれた画像（図7 a左）が、「大まかな注視点検出処理」によって処

理され、図7 a右が得られた。同図において、上方少し右の分割領域の輝度値が一番大きな値を示している。そこで、前章で述べた手順通り、この分割領域の中心位置を次の注視点と決定し、カメラの視軸をその方向へ向けた。図7 bは視線移動後の画像を示している。初期状態の注視点から近距離にあった物体（「コップ」）がカメラの視野中心部で捉えられていることが分かる。このカメラ視線移動の場合、一回の「大まかな注視点検出処理」で正確に物体を注視することができた。そのため「詳細な注視点検出処理」が行なわれることなく、次の物体注視へ処理が進んだ。しかし、時には図7 cのように、オーバーシュートやアンダーシュートが起こることもある。同図は、「大まかな注視点検出処理」の後、物体（「ボール」）が注視された。しかし、その物体を視野中心部で正確に捉えることができなかった。この誤差を修正するために「詳細な注視点検出処理」が行なわれた。そして、二回の小さなカメラ移動の後に、「ボール」が視野中心部で正確に捉えられた（図7 d）。

この一連の視線移動の過程をまとめて示したのが図8である。同図において白三角印は「大まかな注視点検出処理」、白丸印は「詳細な注視点検出処理」によって検出された注視点を、それぞれ表している。カメラは最初、同図中心部を注視していた。その後、各々の物体へ向けて視線移動を行ない、逐次、物体を注視することができた。この図から「詳細な注視点検出処理」は数回で済み、ほとんどの場合、「大まかな注視点検出処理」のみで物体を正確に視野中心部で捉えることができていたことが分かる。また、一度注視した

図7 実験結果 (a)(b)大まかな注視点検出処理 (c)(d)詳細な注視点検出処理

図8 カメラ視線移動の軌跡と注視点

物体を再検出することもなかった。例えば、同図に示されている注視点のうち、最後から二番目の注視点（「空き缶」の下付近）において画像が取り込まれた際、一番輝度値が高かったのは「カン」の近辺に相当する分割領域であった。しかし、記憶していたカメラ位置データのなかに、「空き缶」の位置に対応するデータがすでに存在していた。そこで、再注視回避の手順に従い、二番目に輝度値が高かった同図右下の物体（「木片」）が注視点と決定され、その方向へ、カメラの視軸が移動した。

以上の結果は、物体の配置や、物体の数を変更したときにも同様に得られた。しかし、アイ・フィールドの計算機シミュレーション結果同様、非常に大きな物体（角度にして20度）を配置すると、その物体上で何度も注視点が検出され、なかなか他の物体を注視しなかった。また、極端に配置する物体の数を増やすと（5度程度の大きさの物体を20個配置）、全ての物体を注視できない結果となった。

4. 結 論

生体の注視機構を参考に、大小の視線移動を組み合わせた物体注視の手法を提案した。この手法をアクティブビジョンシステムに適用し、手法の有効性を確かめるための実験を行なった。すると、カメラ視野内に複数の物体が存在するシーンにおいて、逐次、各物体は注視された。実験の結果、一回の「大まかな注視点検出処理」で、近接する物体を高い精度で注視できること、そして、「詳細な注視点検出処理」は数回程度

で済むことが明らかになった。

本手法では、白黒カメラ画像から得た「輝度情報」だけを手がかりに注視点を決定している。そしてノイズ除去や平滑化などの前処理を一切行っていないため、処理は比較的短時間で済む。また、「大まかな注視点検出処理」において中心窩センサを用いているため、視野内の各物体は、視野中心部からの距離に応じて「重み付け」される。そのため、視野内に複数の物体が存在するシーンにおいても、視野中心部からの距離に応じて、どれか一つの物体を検出できる。さらに、中心窩センサを用いている利点は、視野周辺部の大きな分割領域内の画素の輝度値が平均化されるので、これが平滑化とノイズ除去の効果を生むことである。また、画像に応じて分割回数を決める「分割・統合法」とは異なり、アイ・フィールドでは分割形式があらかじめ設定されているため、処理時間を推定できる。これは、本手法を何らかの生産のシステムやプロセスに組み込む際に有用になると思われる。

以上のような利点がある一方で、本手法とシステムはいくつか問題点も抱えている。その一つは、システムの注視性能が、視野内に存在する物体の「大きさ」、「数」、そして用いるアイ・フィールドの「タイプ」に依存する。今回の実験のように、あらかじめ物体の大きさが分かっている状況下で、本システムを用いる場合は、アイ・フィールドの注視性能を計算機シミュレーションによって評価し、どの分割形式のアイ・フィールドを用いるべきかを決定すればよい。しかし、そうでない状況下では、注視結果を「評価関数」にして、最適なアイ・フィールドを自動決定するようなアルゴリズムを導入し、システムに一般性を持たせる工夫をする必要がある。

この問題点に加えて、注視点決定の際、「輝度情報」以外の画像の特徴（色、テクスチャ等）を考慮すべきではという意見もある。しかし、考慮する特徴が増加すれば、それらをどのように「統合」して、注視点を決定すべきかという、ボトムアップ処理特有の問題が新たに生じる。今回、我々が行なった実験結果を見る限りでは、用いる画像の特徴をできる限り制限し、物体注視のために必要最小限の処理だけを行なったにもかかわらず、かなりの精度で物体注視を行なえることが明らかになった。そこで、我々の今後の方針として、「物体注視」には提案手法を用い、より高度な処理（例えば「認識」）は、視野中心部の画像だけを切り出して行なうことを考えている。

今後は、以上の問題点を解決するとともに、本論文で提案したシステムを、ロボットハンド操作のための

視覚センサとして応用する予定である。そして3次元空間内における物体の位置を検出する際にも、本システムのように、視線移動を伴った手法が有効であることを示していく。

文 献

- [1] J. Aloimonos, and I. Weiss, and A. Bandyopadhyay, "Active vision," Proc. 1st Int. Conf. Computer Vision, pp. 35-54, 1989.
- [2] 青西 享, 福島邦彦, "網膜と皮質の不均一性を考慮した注視点移動モデル," 信学技報, NC94-46, pp.31-38, 1994.
- [3] N. Asano, T. Yagi, K. Gouhara, and Y. Uchikawa, "Pattern extraction system using a nonuniformly resolved image," Proc. Int. Joint Conf. Neural Networks, pp.1195-1198, 1993.
- [4] R. Bajsy, "Active perception vs. passive perception," Proc. IEEE Workshop on Computer Vision, 1985.
- [5] V. Bozkov, Z. Bohdaneky, and T. Radil-Weiss, "Target point selection during scanning eye movements," Bio. Cybernetics, 27, pp.215-220, 1977.
- [6] D. H. Ballard, "Reference Frame for Animate Vision," Proc. 11th Int. Joint Conf. Artificial Intelligence, pp. 1635-1641, 1989.
- [7] G. B. Coleman and H. C. Andrews, "Image segmentation by clustering," Proc. IEEE, 67, 5, pp. 773-785, 1979.
- [8] J. M. Findlay, "Local and global influences on saccadic eye movements," Eye Movements: Cognition and Visual Perception, Lawrence Erlbaum, NJ, pp.171-179, 1981.
- [9] S. L. Horowitz and T. Pavlidis, "Picture segmentation by a directed split-and-merge procedure," Proc. 2nd Int. Joint Conf. on Pattern Recognition, pp. 424-433, 1974.
- [10] 岩田 武, 郷原一寿, 内川嘉樹, "認識に適した画像受容野に関する研究," 電気関係学会東海支部連合大会講演論文集, p.534, 1989.
- [11] D. Marr, Vision, W. H. Freeman and Company, NY, 1982.
- [12] M. Mishkin, L. G. Ungerleider, and L. A. Macko, "Object vision and spatial vision: Two cortical pathways," Trends in Neurosciences, 6, pp. 414-417, 1983.
- [13] D. Noton and L. W. Stark, "Scanpaths in eye movements during pattern perception," Science, 171, pp. 308-311, 1971.
- [14] 尾上守夫 編, 画像処理ハンドブック, 昭晃堂, 1987.
- [15] R. Ohlander, et. al., "Picture segmentation using a recursive region splitting method," CGIP, 8, 3, pp. 313-333, 1978.
- [16] G. E. Schneider, "Two visual systems," Science, Vol. 163, pp. 895-902, 1969.
- [17] A. L. Yabus, Eye movement and vision, Plenum Press, 1967.
- [18] T. Yagi, K. Gouhara, and Y. Uchikawa, "An algorithm of eye movement in selective fixation," Proc. of IEEE International Conference on Neural Networks, Vol. 2, pp. 761-765, 1993.
- [19] T. Yagi, K. Gouhara, and Y. Uchikawa, "The influence of the inhomogeneous dendritic field size of the retinal ganglion cells on the fixation," Proc. ICANN'94, Vol. 1, pp.26-29, 1994.
- [20] T. Yagi, K. Gouhara, and Y. Uchikawa, "A computational study on fixation and the effect of an inhomogeneous morphological feature in the retina," Proc. of IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, Vol. 1, pp. 777-781, 1994.
- [21] 山本裕之, イェヘゼル イェシュラン, マーチン レビン, "中心窩視覚センサを用いた視覚システム", 電子情報通信学会論文誌, J77-D-II, 1, pp.119-130, 1994.
- [22] 山城毅, 伊舎堂義昭, 森田龍弥, 藤井克彦, "視細胞密度分布を考慮した注視点移動モデル," 信学技報 MBE84-45, pp.53-60, 1984.
- [23] S. W. Zucker, "Region growing: childhood and adolescence," Comput. Graph. Image Process., 5, pp. 382-399, 1976.