論　文

網膜と皮質間の写像関係に基づく両眼追跡*

大城　尚紀** ・丸　　典明*** ・西川　　敦**** ・宮崎　文夫****

Binocular Tracking based on Retino-Cortical Mapping*

Naoki OSHIRO**, Noriaki MARU***, Atsushi NISHIKAWA**** and Fumio MIYAZAKI****

This paper describes a new binocular tracking method using Log Polar Mapping (LPM) which approximately represents the mapping of the retina into the visual cortex in primate vision. Using LPM makes it possible not only to obtain both a high central resolution and a wide field of view, but also to significantly reduce processing image data. In this paper, LPM is performed in software by lookup table method. Our tracking method utilizes zero disparity filter (ZDF) for extracting the target object and virtual horopter method for estimating binocular disparities, respectively. The performance of both target extraction and disparity estimation is improved in comparison with the conventional methods, by using LPM. Some experimental results are also shown to demonstrate the effectiveness of the proposed method.

1. はじめに

霊長類の視覚系は，網膜と大脳視覚領との写像関係をみると，中心部を重視した不均一構造をなしている．中心窩と呼ばれる視軸中心部で高解像度となり，周辺部になるにつれ解像度は急激に低下する．この写像関係は，複素対数極座標変換 (Log Polar Mapping, LPM) を用いてよく近似できることが知られている[16]．LPM の主な特徴は二つあり，それらは解像度の空間的な不均一性と特定の変換操作に対する不変性である[6),12),16)]．解像度の空間的な不均一性とは，中心部での高解像度を保ちつつデータ量を大幅に削減し，周辺部で大まかにシーンの状況を捉えることのできる性質であり，また，変換操作に対する不変性とは，直交座標におけるスケール操作や回転操作が，LPM においては簡単な並進操作となる性質である．LPM により生成された画像をコンピュータビジョンへと適用する場合，以下のような利点を挙げることができる．LPM 画像の利用は，中心視・周辺視という機能的に分化した視覚[2),21)]を実現し，環境情報を効率的に獲得することが可能であり，また通信・処理時間の短縮や認識処理[9)]に対しても有効である．これは，移動物体追跡や移動ロボットの誘導に関するデータ表現としても都合がよい[3),18),19)]．以上のことから，LPM は工学的視覚の実装に向く特徴を有するといえる．LPM 画像のように中心部で高解像度となるものは，中心窩画像と呼ばれる．本論文では，LPM による中心窩画像をソフトウエア的に生成しているが，このような中心窩画像をハードウエア的に生成する装置についても多く研究されている[8),14),15),19)]．

筆者らは，これまでに人間の視覚系を模した両眼型のロボットビジョンシステムを構築し，能動的な視覚系に関する研究[17)]を行ってきた．現在，このシステムに対する画像として LPM を採用した研究を行っている[11)]．本論文では，LPM 画像の利用を前提とした，アクティブなステレオビジョンシステムによる移動物体の追跡手法を提案する．これは，前述の主な二つの LPM の特徴のう

* 原稿受付　1996年4月30日
** 琉球大学 工学部 Faculty of Engineering, University of the Ryukyus; 1 Senbaru, Nishihara, Okinawa 901-01, JAPAN
*** 和歌山大学 システム工学部 Faculty of Systems Engineering, Wakayama University; 930 Sakaedani, Wakayama 640, JAPAN
**** 大阪大学大学院 基礎工学研究科 Graduate School of Engineering Science, Osaka University; 1-3 Machikaneyama-cho, Toyonaka city, Osaka 560, JAPAN
Key Words: active vision, log polar mapping (LPM), object tracking, zero disparity filter (ZDF), virtual horopter, disparity estimation.

ち解像度の不均一性に重点を置いたものである．

本研究における，移動物体追跡は，シーン画像からの対象物体像の抽出と注視誤差を検出するための視差推定の二つの処理からなる．これらの処理は LPM 画像に基づくゼロ視差フィルタ (Zero Disparity Filter, ZDF) 法[4),10)]により実現される．以下にこれらの二つの処理を説明する．まず，抽出処理では，注視点の近傍領域に位置する対象物体を背景と分離する．このような対象物体は，ステレオ画像間での視差がない (ゼロ視差となる) ため，ZDF 法により容易に抽出可能である．この抽出法では，縦エッジ検出が必要となるが，このとき，通常の縦エッジ検出オペレータは，LPM 画像には適用できないという問題が存在する．そこで，筆者らは，この問題を解決するために LPM 画像に適用可能な縦エッジ検出オペレータを開発した[11)]．本論文では，このオペレータの作成法を提案する．これは，LPM に対応したグラフ表現[20)]に基づいて作成されるものである．また，視差推定処理では，仮想ホロプタ法[7),13)]を用いて画像の水平方向の並進操作により視差を推定する．この並進操作を実現するオペレータについても，グラフ表現に基づき作成されるものである．物体追跡に必要となるこれら二つの処理は，両者とも同種のグラフ表現により実現されており，統一性を有している．さらに，本研究で行う視差推定は，推定器は複数個を並列に構成して実現されている．これにより，対象物体の検出範囲を広く設定することが可能である．

LPM 画像をアクティブステレオビジョンへ適用する場合には，上述した LPM の特徴に加え，その不均一構造に起因する特徴を有することが推察される[5),16),19)]．すなわち，LPM 画像では両眼対応を考えた場合に，通常画像とは異なった対応関係となることが考えられる．提案手法では，ZDF 法を用いているが，このフィルタリングにより抽出されるのは，ゼロ視差領域に位置する対象物体である．後述するように，この領域は，通常画像では円周上となるのに対し，LPM 画像では注視点を中心として左右に徐々に広がる形状を持つ．この特性は，中心部での対応を重視し，周辺部では誤対応を減少させ，かつ対象物体の検出範囲を広げる効果をもたらす．

本論文の内容は，以下のとおりである．まず，**2.** でゼロ視差フィルタ法を用いた追跡手法について触れる．つぎに **3.** で直交座標画像から LPM 画像をルックアップテーブルを用いて生成する方法を述べ，そして **4.** でグラフ表現による LPM 上の縦エッジ検出オペレータの作成方法について述べる．さらに，**5.** では LPM 画像に基づき移動物体追跡を行う ZDF 法の実現法について提案し，その特性について考察する．**6.** で対象物体への注視実験により本手法の有効性を確認する．

2. ゼロ視差フィルタ法による物体追跡

アクティブなステレオカメラが空間中のある一点を注視しているとき，その注視点近傍にある物体のステレオ画像上での像は，ゼロ視差となり両画像座標上の同一点に投影される．そのため，対象物体像は視差を有する背景像と分離しての抽出が可能である．ステレオ画像上でゼロ視差となる環境中の領域は，ゼロ視差領域，またはホロプタと呼ばれる．通常の画像処理に用いられる直交画像では，この領域は注視点とステレオカメラの二つのレンズ中心を通過する円形をなしている．ZDF 法は，このようなゼロ視差領域上に位置する対象物体の像を，ステレオ画像から抽出する手法である．

ZDF 法では，水平方向に配置された画像入力装置からのステレオ画像の縦エッジを検出し，その両画像の対応を論理和 (AND) 演算 により求める．これにより，ゼロ視差領域上に位置する物体像を抽出する．複雑な処理の必要がなく，単純な方法で実現することが可能であり，ビジョンシステムの実現性・実時間性の向上に有効である．さらに，注視誤差を検出する視差推定について ZDF 法を拡張する形で実現する手法が，仮想ホロプタ (拡張ゼロ視差フィルタ) 法[7),13)]として提案されている．これはステレオ画像の視差を仮想的に生成し，それに対して ZDF 法を適用することで視差推定を行うものである．視差生成の主となる処理は，単純な水平方向への画像並進であり，計算負荷は小さく ZDF の利点に加え実時間性を必要とするシステムの手法として適している．本研究では，この仮想ホロプタ法を LPM 画像に適用することで移動物体追跡を実現する．LPM 画像では，周辺部になるにつれ縦エッジは広がり，領域の重なりを多く生じるため，縦エッジの正負の混同を起こしやすくなる．そこで，ZDF 法における AND 処理を行う場合に，縦エッジの正負を区別し精度を向上させることにする．さらに，仮想ホロプタ法で作成する視差検出器は，複数の視差に対応したものを並列に構成し，システムの頑健性を高め視差検出を適切に行えるようにしている (**5.** 参照)．

3. 複素対数極座標変換

本節では，複素対数極座標変換 (Log Polar Mapping, 以下 LPM) について，以降の議論で必要となる定式化を行い，また，その特徴について簡単に示す．

LPM の定式化は次のように行う[16)]．まず，直交座標で表される元画像 $I(x,y)$ を複素平面 Z とする．そして，各画素を複素平面上の点 $z=x+iy$ と表現する．つぎに，これに対応する LPM 画像 $L(u,v)$ を考え，元画像 I の場合と同様に複素平面で表す．この平面を W と

して，$w=u+iv$ と表現する．すると，LPM は次のようになる．

$$w=\ln(z+\alpha) \tag{1}$$

ここで，α は変換中心部の特異性を除くための並進量である（ただし，ここでは $\alpha=0$ とした）

LPM により，元画像 I は角度方向，半径方向の各成分に分解される．半径方向のサンプリングは対数的なものとなるため，周辺部の情報は中心部に比べると大まかに獲得される．これにより全体としてのデータ量を削減し，かつ，中心部で注視物体の詳細な情報を獲得し，周辺部でシーンの大まかな情報を得ることが可能となる．また，LPM 画像 L では変換中心に対する回転操作やスケーリングなどが画像の並進操作により容易に実現できるという特徴を持つ．

次にこれらの変換をルックアップテーブル形式で表現する[20]．このようにすることで，変換処理の扱いを容易にし，ビジョンシステムに実装する場合には，前処理で変換の対応点を求めることができる．よって，このような形式による表現は変換処理を実装するうえでも重要である．

ルックアップテーブルは，次のように元画像 I の座標 (x,y) から，対応する LPM 画像 L の座標 (u,v) を与えるように作成する．

$$(u,v)=\mathrm{LUT}(x,y) \tag{2}$$

(2) 式 の LPM に対するルックアップテーブルの作成の様子を Fig. 1 に示す．図全体は，元画像 I を表し，分割された領域は LPM 画像 L 上の同じ座標へとそれぞれ写像されることを表している．各領域の重心位置に L 上の座標を示した．ここで，元画像のサイズ 30×30 に対して LPM 画像のサイズ 10×10 と設定した．ルックアップテーブルを用いた画像生成については後述する (**4.1**)．

4. グラフ表現によるオペレータ作成

ステレオ画像への ZDF 法の適用には，**2.** で述べたように対象画像の縦エッジ検出を行う必要がある．ところが LPM 画像は，極座標系であることと対数的なサンプリングによる不均一な構造となることから，画像に対する縦エッジ検出器として広く用いられる縦 Sobel オペレータ[1] は適用できない．そこで，本節において，LPM 画像に適用可能な縦 Sobel オペレータと同様の形式となる縦エッジ検出オペレータを新たに作成する．これは，LPM の変換領域間の隣接関係を，グラフ表現する連結グラフに基づいている．

Wallace ら[20]は，LPM を含む任意の構造を持つ画像変換に対して，その変換表現としてグラフ表現の利用を提案している．これにより LPM の不均一構造を簡便に表現できる．グラフ表現の例としては，変換領域の隣接関係を表すものとして連結グラフ，また並進や回転などの画像操作を表すものとして変換グラフがあげられる．以下では，これに従ったグラフの作成法を述べ，さらに，構成要素に重み要素を付加することで表現を拡張する．

4.1 グラフ作成

以下にグラフ の作成法を示す．グラフ $G=(V,E)$ は各変換領域に対応づけられた頂点の集合 V と各頂点間の関係を表すアークの集合 E からなる．頂点 $p=V(u,v)$ は，各変換領域 (u,v) に関連づけて作成する．頂点は次の変換領域に関する情報を有する：① 平均輝度値 $L(p)$，② 図心座標 $\mu(p)$, ③ 面積 $a(p)$ である．グラフの頂点 p により，LPM 変換 $I\rightarrow L$ と逆変換 $L\rightarrow L^{-1}$ はそれぞれ以下のように表される．

LPM 変換:

$$L(p)=\frac{1}{a(p)}\sum_{i,j}I(i,j)\quad|p=V(\mathrm{LUT}(i,j)) \tag{3}$$

LPM 逆変換:

$$L^{-1}(i,j)=L(p)\quad|p=V(\mathrm{LUT}(i,j)) \tag{4}$$

本論文中では，各処理段階の例として逆 LPM 画像を示しているが，実際の処理は LPM 画像上のみで実行可能である点に注意されたい．さらに各頂点間の関係をアー

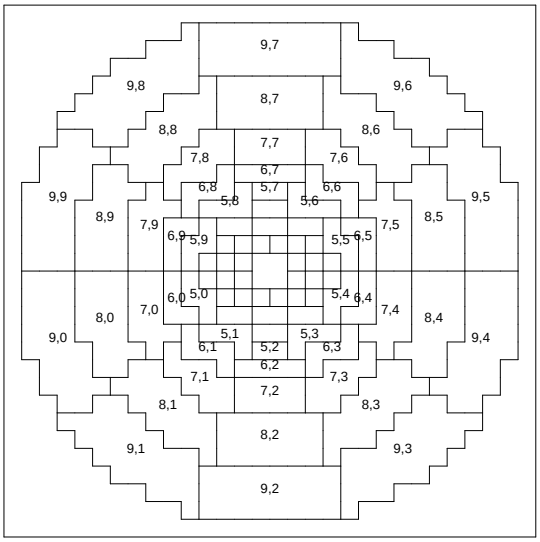


Fig. 1 Lookup table representation of LPM ($30\times30\rightarrow10\times10$)

ク†E により表す．頂点 p に関係づけられる頂点の集合を $\{q|\mathcal{N}(p)\}$ とする．ここに，$\mathcal{N}(p)$ は p に隣接する頂点を表す．$\{q\}$ には p 自身を含むことも可能である．二つの頂点 p と q の関係を表すアークは $E(p,q)$ となる．

ここで，連結グラフ上の各種の操作オペレータの表現を容易にするために，新たにアークを有向アークとして，頂点 p から頂点 q への方向を持ったものとし，さらにこれに重み付けを行う．これにより，画像の並進などの他の変換オペレータも同様の表現とすることが可能である．画像並進操作前と操作後の LPM 画像をそれぞれ L, L' とする．ある頂点 p に関係した頂点の集合 q は，それぞれアーク $E(p,q)$ により関連付けられる．それらのアークに対する重みを w_q と表現すると，オペレータの適用は次のように

$$L'(p)=\sum_q w_q L(q) \quad |(p,q)\in E \tag{5}$$

となる．以下に述べる縦エッジ検出オペレータと画像並進オペレータは，ともに同様の形式で適用可能である．

4.2 縦エッジ検出オペレータ

連結グラフを利用して，LPM 画像中の縦エッジを検出する縦 Sobel オペレータを作成する．オペレータの作成法は以下の通りである．

(1) 各頂点 p を中心に，隣接頂点 $\{q\}$ に対するアーク E_c を求め，連結グラフ $G_c(V_c,E_c)$ を作成する．Fig. 2 は，Fig. 1 の頂点 $V(7,6)$ とその隣接頂点に対して連結グラフを作成した様子である．

(2) G_c を元に縦 Sobel オペレータ G_{VSobel} を作成する．直交座標画像に対する 3×3 の縦 Sobel オペレータによる重み付けと同様に，中心となる頂点 p の周りの領域を含め 9 分割し重み付けを行なう (Fig. 3)．そして，q の位置する領域への重み付けを，アーク $E_c(p,q)$ に対する重みづけ w_q とする．

(3) LPM の不均一性から作成されるオペレータは左右の重みの総和が不均衡となることがあるので，最後に，均衡をとるため補正を行う．ここで示した Fig. 3 は重みが左右で不均衡となる例である．補正を行うには，以下の処理を行う．

(i) 頂点 q を p に対して左右どちらに位置するかで区別し，それらをそれぞれ q_r, q_l とする．

(ii) そして，左右両側の重みの総和 $\sum W_{q_r}$, $\sum W_{q_l}$ を求める．

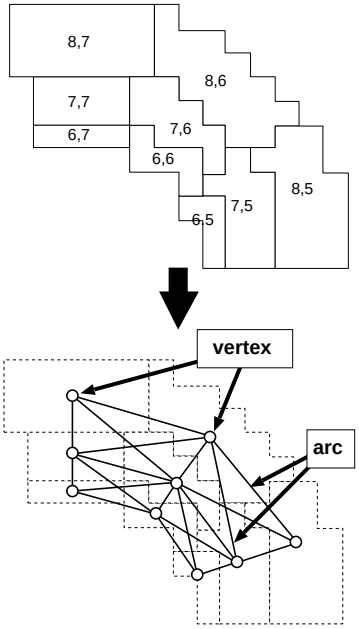


Fig. 2 Construction of connectivity graph (CG)

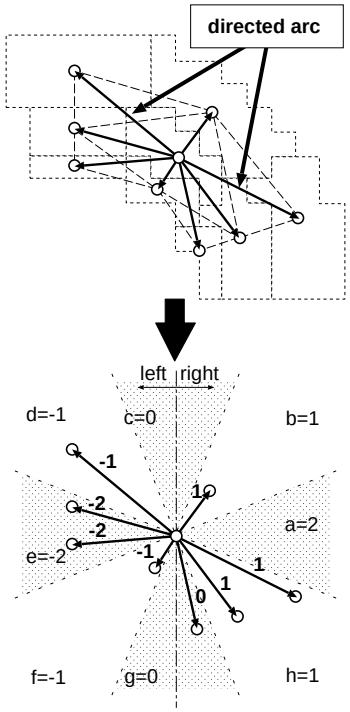


Fig. 3 Construction of vertical sobel operator for LPM image

†Wallace ら[20] は，この隣接関係を表す要素のことをエッジと呼んでいるが，本研究では画像の縦エッジとの混同を防ぐためアークと呼ぶ．

$$W_{q_r}=\sum_{q\in\{q_r\}} w_q,\quad W_{q_l}=\sum_{q\in\{q_l\}} w_q \tag{6}$$

(iii) W_{q_r},W_{q_l} の値をもとに w_q をそれぞれ正規化する．

4.3 画像並進オペレータ

はじめに述べたように，本研究で行う追跡処理の視差推定は，画像の水平方向への並進操作により，仮想的な視差を生成する仮想ホロプタによるものである．LPM 画像上での画像並進操作についても，縦エッジ検出オペレータと同様にグラフにより表現可能である．並進量を Δi とすると，ここでの並進操作は $(i-\Delta i,j)\rightarrow(i,j)$ となり，さらに，変換グラフでは $p\rightarrow q$ として次のように表現される．

$$L'(q)=\frac{\sum\kappa_T(p,q)L(p)}{\sum\kappa_T(p,q)},\quad \kappa_T(p,q)=\sum_{i,j}1 \mid (p,q)\in E_T,\ p=\mathrm{LUT}(i-\Delta i,j),q=\mathrm{LUT}(i,j) \tag{7}$$

これより，頂点 p と q とを関連づけるアーク E_T に対する重み w_q は次のようになる．

$$w_q=\frac{\kappa_T(p,q)}{\sum\kappa_T(p,q)}\quad \mid (p,q)\in E_T \tag{8}$$

複数の視差検出器を配して，並列に視差推定を行う場合は，この並進オペレータも視差検出器と同数作成する．

5. 移動物体追跡

5.1 追跡処理アルゴリズム

これまでに作成した各オペレータを利用して，LPM 画像に基づく追跡システムを構成する．全体的な処理の流れを Fig. 4 に示す．これは，前処理段階と追跡処理段階とに分かれている．まず，前処理として，LPM のルックアップテーブル (図中 ①)，縦エッジ検出オペレータ (②)，画像並進オペレータ (③) のそれぞれを作成する．

以下ではオンラインでの追跡処理について述べる．初期条件は，ステレオカメラが，追跡開始時には追跡対象へほぼ注視していることである．まず，取得されたステレオ画像 (④) より LPM 画像 (⑤) を生成する．さらにエッジ検出オペレータにより縦エッジを検出する．ZDF 法を行うのは，この縦エッジを検出したステレオ LPM 画像 (⑥) についてである．**2.** で述べたように AND 処理を行う場合には，縦エッジの正負の区別をみている．次に仮想ホロプタ法を行うには，さらにこのエッジ画像を並進オペレータにより水平方向の正負方向に並進させ，仮想的な視差を持つ画像を複数枚 (⑦, ここでは都合 9 枚) 生成する．これらの画像に対しても ZDF 法を行い，複数の視差に対する ZDF 画像を得る．そして最大の対応を示しているもの (⑧) を選択し，図心 (⑨) を計算する†．さらに，ステレオ LPM 画像 (⑤) をもとに，選択されたエッジ画像 (⑧) に対応する座標間の輝度値の比較を行い，対応精度を向上させる．このとき，比較を行う輝度値を有する画像に対しても，エッジ画像と同様に画像並進オペレータを適用する．最後に対象物体への視点移動を行うが，これはマスターアイとスレーブアイで動作が異なる．ここで，左カメラをマスターアイとして，右カメラ (画像並進オペレータを適用する側，Fig. 4 の ⑥–⑦ の処理) をスレーブアイとする．まずマスターアイでは，図心位置から注視に必要な視線の移動角を求め，これを移動量とする．スレーブアイでは，さらにこれに加え仮想ホロプタによる視差を考慮して，視線を移動し追跡処理を行う．Fig. 5 に，ここで述べた ZDF による注視物体の抽出結果を示す．上から順に (a) 元画像，(b) 逆 LPM 画像，(c) 縦エッジ検出結果画像，(d) ZDF 対応画像である．

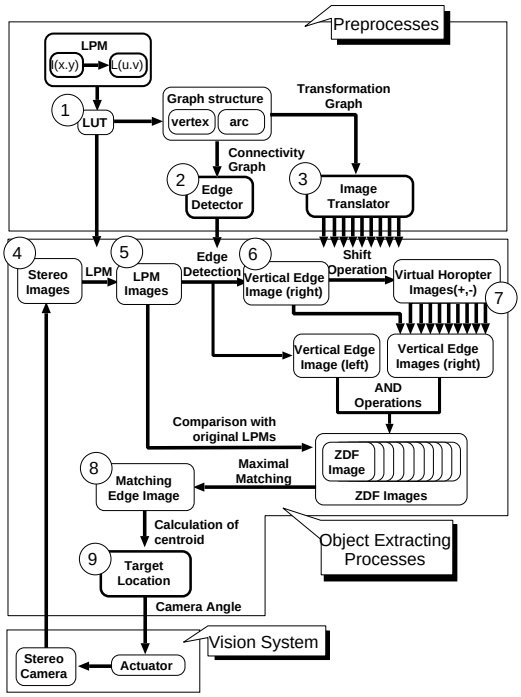
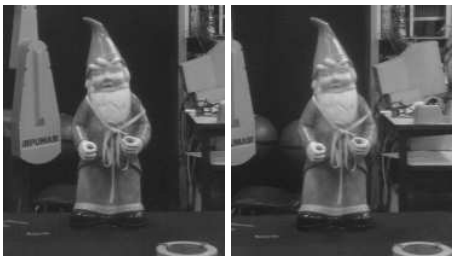


Fig. 4 Diagram of the binocular tracking process

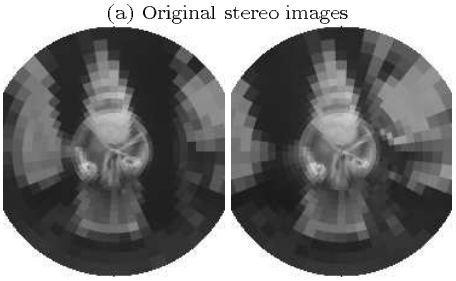
† 図心位置は次式により算出する．ステレオ画像で対応する頂点を p_m とすると，その図心位置 μ_{ZDF} は

$$\mu_{\mathrm{ZDF}}=\frac{\sum\mu(p_m)a(p_m)}{\sum a(p_m)}$$

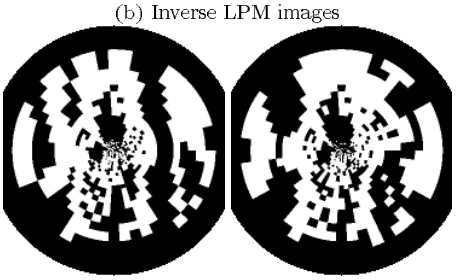
となる．



(a) Original stereo images



(b) Inverse LPM images



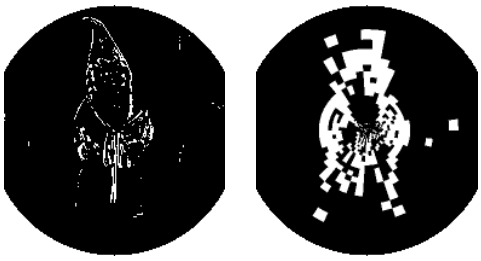
(c) Vertical edges detected by LPM-Sobel operator

(d) A gaze object extracted by LPM-ZDF

Fig. 5 Extraction results of a gaze object by LPM-ZDF

5.2 通常の ZDF 法との比較

ここでは，直交画像と LPM 画像による ZDF 法の比較により，本手法の有効性を示す．まず，LPM の不均一性による ZDF の検出誤差の減少について述べる．Fig. 6 に，(a) 直交画像 と (b) LPM 画像のそれぞれの ZDF による出力結果を示す．Fig. 6 (a) は LPM 変換の範囲と一致するように円形に示した．LPM 画像を用いたものでは周辺部の誤対応が減少していることがわかる††．直交画像への ZDF 法の適用では，背景中に縦エッジが多数存在する場合には，誤対応を起こす．そのため，正しい対応を求めることが困難となる．これに対して，LPM 画像へ ZDf 法を適用した場合には，周辺部の情報は大まかに処理されるので，周辺部の背景に縦エッジが多数存在するようなシーンでも誤対応を起こしにくい．



(a) ZDF (b) LPM–ZDF

Fig. 6 Comparison with the conventional ZDF method

つぎに，LPM 画像のステレオ対応をみた場合のゼロ視差領域の形状を示し，その検出範囲の広がりを示す．LPM 画像を両眼視に用いた場合のゼロ視差領域は，注視点を中心として周辺部となるにしたがって広がりを持つようになる (Fig. 7) ．この領域では，対象物体の視差は許容される形になる．つまり，ZDF 法における左右画像の対応が起こりやすくなる．これは，周辺視情報を利用したものとなっており，追跡対象の発見にも有効である．この特性は LPM 画像により中心視・周辺視の機能を実現する場合に重要であると考えられる．このとき，中心部での対応は，高解像度を保っており精度の高い対応付けを行うことが可能である．

つぎに，LPM 画像による処理と実時間性との関係について述べる．**1.** で述べたように，LPM による不均一構造は，視野全体のデータ量を減少させる．これは，処理時間を減少させ実時間性の高いシステムを構築する際に有効であると考えられる．本論文で示している縦エッジ検出を行うマスクオペレータは，例えば (5) 式のような畳み込み型の相関演算となる．この処理は一般に計算負荷が高いため，画像サイズが大きくなるにつれて，その処理速度低下が著しくなる．このような場合には，LPM 画像の導入によるデータ量削減により全体の処理速度を向上させることが可能である．ただし，本論文で示した

†† なお，ZDF 出力の生成において，画像座標が直交の場合にも，LPM の場合の ZDF 法と同様に，ステレオ画像間の輝度値比較や縦エッジの正負の勾配による区別を行った．ただし，直交座標画像に対する ZDF 法で微小視差を許容するために通常行われるエッジ増幅処理は省略した．

縦エッジ検出と画像並進の 2 種類の画像操作は，いずれもマスクオペレータの形になっているため，直交画像の場合には画像並進操作については簡単な処理となることに比べると，効率化の必要があるものと考えられる．さらに，通常のマスクオペレータはテンプレート型であり，画面全体にわたってマスクオペレータの係数は一定である．ところが，LPM 画像に対するオペレータ重みについては，各変換領域毎に異なった値を有するものである．

データ量の削減とその場合の解像度の低下による検出範囲の拡大は，比例関係にある．よって，データ量削減により実時間性を追求した場合は，周辺部となるにつれて検出位置の精度が低下する．しかし，このときにも，LPM 画像では中心部においては高解像度であり，検出された対象へ注視を行って中心部で対象を再度捉え，視差推定機構により注視点を補正することにより，精度向上を図ることは可能であるものと考えられる．

6. 追跡実験

前節までに述べた ZDF 法による追跡アルゴリズムを用いた両眼追跡実験に付いて述べ，実験結果により本手法の有効性を示す．

6.1 システム構成

実験システムは，画像処理部とカメラ運動制御部に大別される．トランスピュータをメインに構築され，並列処理が可能である．Fig.8 にビジョンロボット本体の概観を示す．ビジョンロボットは，回転 4 軸，並進 1 軸の関節を有している (Fig.9) . ここでは左右のカメラのパン角の制御のみを行った． 画像は，左右の CCD カメラ PULNiX TM540 を通じ，各 1 枚のコンカレント社製 TRP-IMG 画像ボードでデジタイズする．画像の LPM はソフトウエア的に実現し，高速処理の必要性から，コンカレント社製 TRP860 上の DSP Intel i860 により行っている．カメラレンズは，焦点距離 $f = 4.8$mm の広角レンズを選択した．TRP-IMG によるデジタイズでは，1pixel あたり約 0.147° に相当する．LPM の変換サイズは，$150 \times 150 \rightarrow 30 \times 30$ とした．視野は約 22 °である．

カメラ運動制御部はパルスボード PPC9401, ハーモニックドライブモータから構成される．指令値に応じたパルスボードからのパルス列によりモータ制御を行う．パン角に対するモータの最大速度は約 83 [deg/s] であり，可動範囲は約±30° である．

以上のシステム構成を Fig.10 に示す．

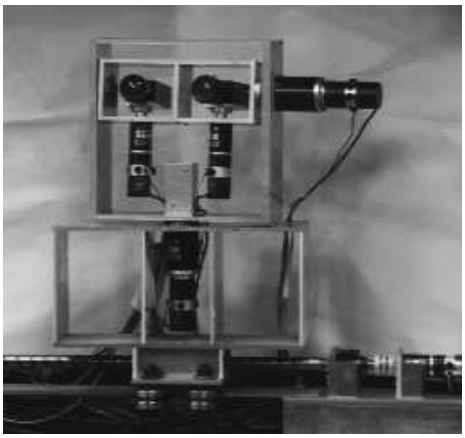


Fig. 8 Overview of the vision robot

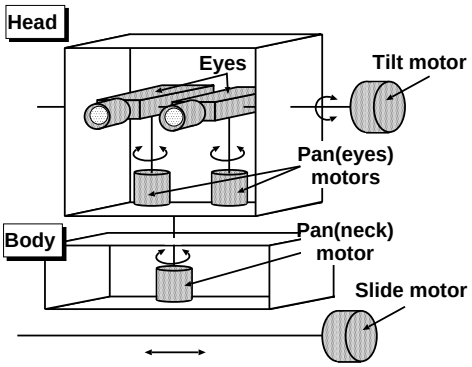


Fig. 9 Kinematic configuration of the vision robot

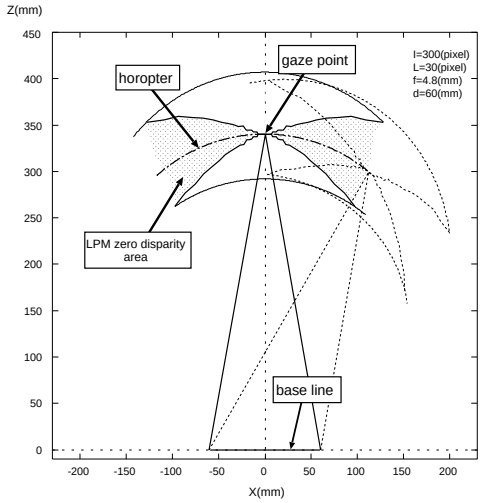


Fig. 7 Shape change of the horopter with LPM

6.2 追跡実験

実験では，特に本手法の視差推定での有効性を確認するために，対象物体を注視点から多少ずれた点に位置させ，それを視差検出器により推定し，対象へ再度注視することを試みる．**5.2** で述べたように，並列構成の視差検出器により視差検出を行う．検出する視差は 9 種類とし，それぞれ $(0,\pm1,\pm2,\pm4,\pm8)$ と設定した．単位は pixel である．この視差量に対する画像並進オペレータをそれぞれ作成する．

初期注視点をビジョンロボットの前方 1800mm の位置とする．そして，この点からホロプタ外へ対象物体が移動した場合を想定し，注視点からさらに前方となる深さ方向 2000mm の位置に対象物体を配置した．環境中には，対象物体のほか，後方部に位置する物体が背景として存在している．視差推定では，各視差検出器の出力結果のうち，最大の対応を示すものをそのときの視差 d とし，これをもとに視線を移動する．

また，この値 d を評価するために，背景像を除去した左右画像について二値化画像の重心位置μ_r^*, μ_l^* を検出し，これを実際の視差 $d^* = \mu_l^* - \mu_r^*$ として d との比較を行う．ここで，d^* の算出にあたっては，背景像の除去を手作業により行っている．

6.3 実験結果

Fig. 11 に，視差の推定結果 d と実際の視差 d^*を示す．また，この場合の始めの四つのシーケンスについて Fig. 12 に示す．画像中の十字状のマークは ZDF 法で検出された重心位置である．初期状態 (a) では，$d^* = -16.01$ の視差があり，この場合は，視差検出器の中で最大の幅を持つ $d = -8$ の検出器が反応している．検出限界以上の視差に反応した点については，**5.2** で述べた LPM 画像におけるホロプタの広がりにより説明可能である (Fig. 7) . また，このことから LPM 画像の利用は，周辺部に位置する対象の発見にも有効であることがいえる．その後の視差減少の様子から視差推定が適切に行われ，対象物体を注視していることがわかる．この処理を高速に繰り返すことにより，仮想ホロプタ上に位置する移動物体の追跡が可能である．

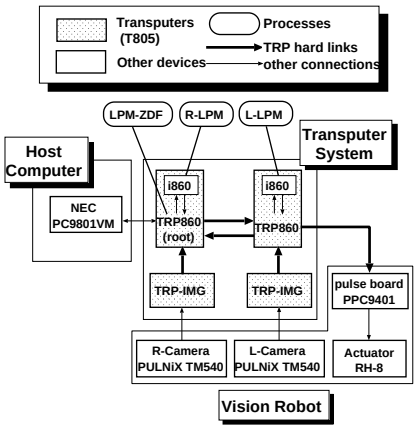


Fig. 10 Configuration of vision system

7. おわりに

本論文では，LPM 画像に基づく両眼視による移動物体追跡について提案した．追跡処理の実現は，ZDF 法を用いて注視物体を抽出し，仮想ホロプタにより視差推定を行った．また，LPM 画像に対する ZDF 法の適用では，連結グラフによる縦エッジ検出オペレータの作成法を提案した．追跡処理に LPM 画像を利用することは，ZDF 法の周辺部の誤対応を減少させ，仮想ホロプタの視差推定に有効であることを実験結果により示した．

仮想ホロプタ法による視差検出器は，複数の視差について並列に視差を推定するように作成し構成した．これにより，視差検出において初期状態への依存度の低い頑健なシステムの構築が実現した．この方法は，ZDF 法を単に複数の並進画像に対して適用するだけであるので，処理の並列化を考慮すれば，適用画像数の増加による処理時間の増加の問題は解決できるものであり，これは LPM のデータ量削減の特徴を生かす点でも，有効な手法である．検出できる視差量の範囲を広げるには，その範囲に対応した視差検出器の数を増やすことで可能である．しかし，この場合にはゼロ視差領域内に存在する複数の対象物に対して検出器が反応する可能性があり，このようなシーンへの本手法の適用には，反応した視差検出器のうち，どれが追跡したい対象を適切に示しているのかを選択する必要がある．本論文における，検出範囲の解析で対象としているのは，ステレオカメラの視軸中心と注視点を結ぶ水平面のみとなっている．そのため，追跡対象の垂直方向への移動に対しての解析が必要である．また，現段階では処理の高速化を行っていないため，追跡速度に制限がある．これについては各処理のパイプライン化や LPM 画像の生成やフィルタリングなどの効率を上げ速度向上を行う予定である．

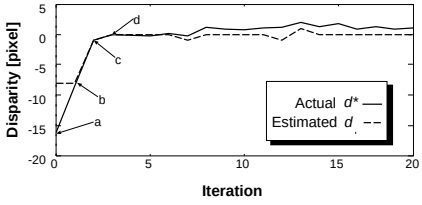


Fig. 11 Results of disparity estimation

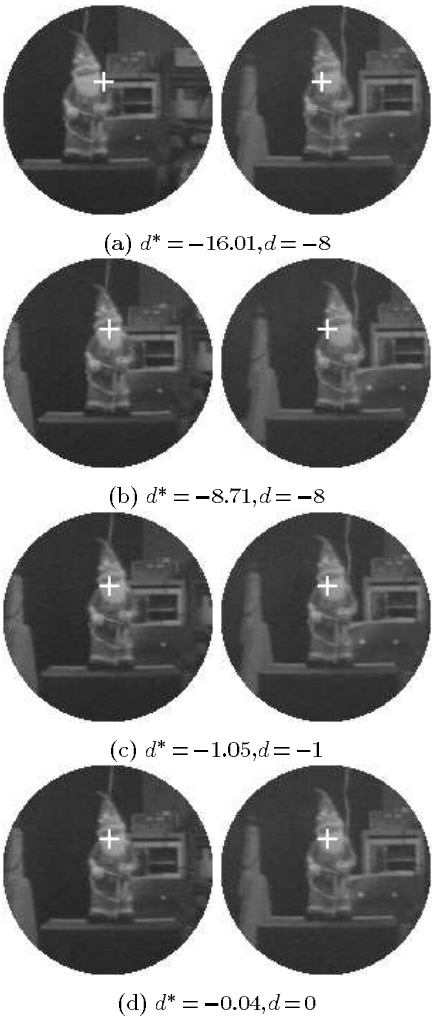


Fig. 12 A part of stereo image sequences in the gaze process using LPM-ZDF

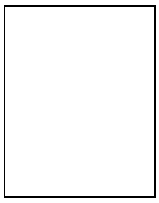
参考文献

1) 安居院，中嶋: 画像情報処理; 森北出版 (1991)
2) 青西，福島: 網膜と皮質の不均一性を考慮した注視点移動モデル; 電子情報通信学会論文誌，Vol.J78-DII, No.9, pp.1363–1371 (1995)
3) M. Bishay, R.A. Peters II and K. Kawamura: Object detection in indoor scenes using log-polar mapping; *Proc. of 1994 IEEE Robotics and Automation*, Vol.I, pp.775-780 (1994)
4) D.J. Coombs and C.M. Brown: Real-time binocular smooth pursuit; *Int. J. Computer Vision*, Vol.11, No.2, pp.147–164, (1993)
5) N.C. Griswold, J.S. Lee and C.F.R. Weiman: Binocular fusion revisited utilizing a log-polar tessellation; *Computer Vision and Image Processing*, Academic Press, pp.421–457 (1992)
6) 乾: 視覚情報処理の基礎；サイエンス社，pp.55–61 (1990)
7) 喜多，S. Rougeaux, 國吉，坂根: 仮想ホロプタを用いた実時間両眼追跡; 日本ロボット学会誌，Vol.13, No.5, pp.683-690 (1995)
8) 喜多: 人間に学ぶアクティブ・ビジョンシステム; 情報処理，Vol.36, No.3, pp.264–272 (1995)
9) L. Massone, G. Sandini and V. Tagliasco: 'Form-

invariant' topological mapping strategy for 2D shape recognition; *Computer Vision, Graphics and Image Processing*, No.30, pp.169-188 (1985)
10) T.J. Olson and D.J. Coombs: Real-time vergence control for binocular robots; *Int. J. Computer Vision*, Vol.7, No.1, pp.67–89 (1991)
11) 大城，丸，宮崎: "Log Polar Mapping を介した注視物体追跡"; 第 *13* 回ロボット学会学術講演会予稿集, No. 2, pp. 611–612 (1995)
12) H, J. Reitboeck and J. Altmann: A model for size- and rotation-invariant pattern processing in the visual system; *Biol. Cybern.*, No.51, pp.113-121 (1984)
13) S. Rougeaux, N. Kita, Y. Kuniyoshi, S. Sakane and F. Chavand: Binocular tracking based on virtual horopters; *Proc. of the 1994 IEEE/RSJ Int. Conf. on Intel. Robots and Sys. IROS'94*, Vol. 3, pp. 2052–2057 (1994)
14) 申，井口: 人間の網膜特性をもつ視覚センサ; 計測自動制御学会論文集，Vol.31, No.11, pp.1817–1823 (1995)
15) 末松，山田: 中心窩を有する新しい視覚センサの開発; 計測自動制御学会論文集，Vol.31, No.10, pp.1556–1563 (1995)
16) E.L. Schwartz: Computational anatomy and functional architecture of striate cortex: a spatial mapping approach to perceptual coding; *Vision Research*, Vol. 20, pp.645–669 (1980)
17) M. Tanaka, N. Maru and F. Miyazaki: 3-D tracking of a moving object by an active stereo vision system; *Proc. of IEEE Int. Conf. on Industrial Electronics, Control, and Instrumentation IECON'94*, pp. 816–820 (1994)
18) M. Tistarelli and G. Sandini: Estimation of depth from motion using an antropomorphic visual sensor; *Image and Vision Computing*, Vol.8, No.4, pp.271-278 (1990)
19) M. Tistarelli and G. Sandini: Dynamic aspects in active vision; *CVGIP:Image Understanding*, Vol.56, No.1, pp.108–129 (1992)
20) R. Wallace, P.W. Ong, B.B. Bederson and E.L. Schwartz: Space variant image processing; *Int. J. Computer Vision*, Vol. 13, No. 1, pp.71–90 (1994)
21) 山本，イェシュラン，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，Vol.J77-DII, No.1, pp.119–130 (1994)

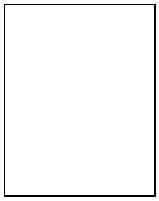
著者略歴

大城尚紀 (正会員)



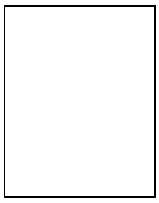
1969年8月30日生．1994年琉球大学大学院工学研究科機械工学専攻修士課程修了，1997年大阪大学大学院基礎工学研究科博士後期課程単位取得退学，同年琉球大学工学部助手となり現在に至る．コンピュータビジョンの研究に従事．日本ロボット学会の会員．

丸典明



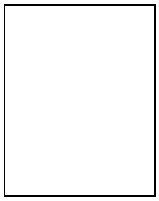
1962年12月10日生．1985年大阪大学基礎工学部機械工学科卒業，1987年大阪大学大学院基礎工学研究科修士課程修了，1990年同大学院博士課程単位取得退学，同年(財)京都高度技術研究所入所．1991年8月大阪大学基礎工学部助手．1995年4月和歌山大学システム工学部講師となり現在に至る．コンピュータビジョン，AIおよびロボティクスなどの研究に従事．日本ロボット学会，情報処理学会の会員．

西川敦



1967年8月5日生．1990年大阪大学基礎工学部機械工学科卒業．1992年大阪大学大学院基礎工学研究科物理系専攻博士前期課程修了，1995年大阪大学大学院基礎工学研究科博士後期課程修了，1996年大阪大学基礎工学部助手となり現在に至る．この間1994~1996日本学術振興会特別研究員，1995~1996南カリフォルニア大学ポストドクトラル研究員．コンピュータビジョン，ロボティクスに関する研究に従事．電子情報通信学会，日本ロボット学会の会員．

宮崎文夫 (正会員)



1954年8月28日生．1979年大阪大学大学院基礎工学研究科博士課程中途退学．同年大阪大学基礎工学部助手，1986年同助教授，1991年同教授となり現在に至る．この間1987~1988米国カリフォルニア大学客員準教授．ロボットの知能化に関する研究に従事．工学博士．日本ロボット学会などの会員．