

3眼ステレオ視による 位置決め改善とオクルージョン処理

Depth Determination and Reduction of Occluded Area by Tri-ocular Stereo

渡辺 正規 大田 友一 池田 克夫

Masaki WATANABE Yuichi OHTA Katsuo IKEDA

(筑波大学 電子・情報工学系)

Institute of Information Sciences and Electronics,
University of Tsukuba, Sakura, Ibaraki, 305 Japan

This paper describes a method to improve the depth accuracy and to decrease the occluded area by using the tri-ocular stereo. Three cameras located to form a right-angled isosceles triangle are used to obtain a set of images. Correspondence search using dynamic programming is performed on the two stereo pairs selected out of the set. The two results are combined by a relaxation method. Our tri-ocular stereo algorithm utilizes two sets of epipolar lines which are at right angles to each other. This our stereo algorithm enables to determine the depth of edges with arbitrary orientation in good accuracy. It also decreases the occluded area where the depth cannot be obtained. Experiments show the validity of the method.

1. はじめに

ステレオ視では、2枚の画像中で互に対応する画素の対が求まりさえすれば、3角測量の原理で3次元空間中の点の座標を決定できる。しかし、実際には1) 類似した特徴を持つ画素が多く存在することにより誤った対応を求めてしまう、2) 特徴量の変化の小さい(滑かな)部分では対応点の位置決めがあいまいとなる、3) オクルージョンにより対応点が存在しないことがある、などの原因により対応点の探索が困難な場合が多く、対応点探索がステレオ視における最も重要な問題の一つとして熱心に研究されてきた。

近年、1)の問題に対しては粗密探索¹⁾、弛緩法²⁾、動的計画法^{3) 4)}により周囲の状況を考慮して対応を求める方式や、高次の特徴量を用いて類似点存在の可能性を減らす方式^{5) 6)}が、2)の問題に対してはエッジなどの特徴点のみについて対応探索を行う方式が考えられている。また、3)の問題についても周囲との整合性を考えることによりオクルージョンが発生している部分の検出はある程度可能なので⁷⁾、全体としてかなり信頼性よく対応を行えるようになってきた。

しかし、対応点対から得られる3次元情報の精度という観点からは、2)の問題に対して対応を求める単位にエッジを用いるようにしても、エッジの位置決めにあいまいさのこるかぎり本質的な解決法とはなっていない。また、オクルージョン部分に対しては3次元情報は得られない。これらの問題の解決のために、我々は3眼ステレオ視の有効性を検討してきた⁸⁾。

ステレオ視による距離決定は、原理的には2眼で十分であるので、3眼あるいは多眼視により得られる情報は後述のように冗長である。この冗長性を利用し、特徴量を高次元化して前述1)の問題の解決法として用いた研究はいくつか行われているが^{9) 10) 11)}、我々は2眼ステ

レオ視の場合にはハードウェア化が容易な効率よい対応探索アルゴリズムが存在することを考慮し、3枚の画像から選んだ2組の画像対で別々に対応探索を行い、得られた結果を結合する方式により、前述2)と3)の問題の解決をはかった。

2. 3眼ステレオ視

図1に示すように、3次元空間中に $x-y-z$ 座標系をとり、 $x-y$ 平面上で直角2等辺3角形の3頂点の位置 L, R, U に配置された視点から観測された3枚の画像を考える。いずれの画像も画像面は $x-y$ 平面に平行な同一平面上にあり、走査線方向は x 軸に平行になるように正規化されているものとする。このとき、 $L-R$ 、 $L-U$ 、 $U-R$ の3組の画像対は次の性質を持つ。

- a. 画像対 $L-R$ のエピポーラ線は x 軸に平行
- b. 画像対 $L-U$ のエピポーラ線は y 軸に平行
- c. 画像対 $U-R$ のエピポーラ線は直線 $y=-x$ に平行
- d. 画像対 $L-R$ での対応点の(水平)視差と画像対 $L-U$ での対応点の(垂直)視差は等しい。

性質a, b, cは各画像対の基線が画像面と平行ならば、エピポーラ線は基線に平行になることから、また、性質dは、 $L-R$ 、 $L-U$ の基線長が等しく、かつ、3組の画像対のエピポーラ線が直角2等辺3角形をなすことから明らかである。従って、 L 画像中のある点 p_L に対応すべき、 R 画像中の点 p_R と U 画像中の点 p_U の位置の自由度は合わせて1しかない。

3枚の画像上で選ばれた対応点 p_L, p_R, p_U が正しくない場合、3点により決定される3次元空間中の点 Q に物体面はなく、各点はそれぞれ全く別の点 P, P', P'' の写像となっている。この場合に、誤対応が判定できないのは、 P', P'' の2点ともたまたま P と類似の性質をもつ場合に限られる。従って、1点が類似の性質を持てば誤

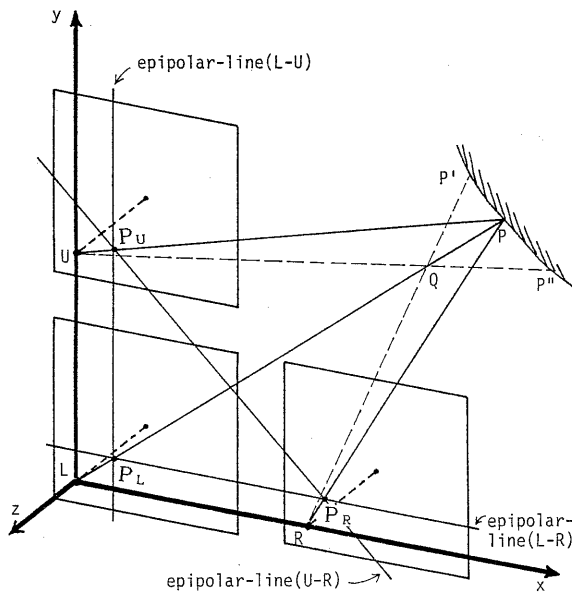


図1 3眼ステレオ視

対応となり得る2眼視に比して対応の信頼性は向上する。伊藤ら¹¹⁾は3眼視を特徴点対応法に、Tsai⁹⁾は多眼視を面対応法に適用し、対応の信頼性を向上させている。また、青木ら¹⁰⁾も3眼のうちの1つを投光器におきかえた方式を報告している。しかし、3眼視においては、2眼視の場合のような、動的計画法などを用いて周囲との整合性を考慮する効率のよい探索アルゴリズムは現在のところ不明である。

◎位置決定について

エッジを用いるステレオ視では、エピポーラ線上でのエッジの位置決定の精度が、得られる距離情報の精度に関係する。今、エッジ位置の決定に用いる特徴量を f とし、特徴量 f の頻度が正規分布 $N(0, \sigma^2)$ に従うものとする。エピポーラ線上で真のエッジ位置 p_0 における特徴量 $f(p_0)$ と、 p_0 から r だけ離れた点 p_1 における特徴量 $f(p_1)$ の差がノイズに比して十分に大きくないとき、 p_1 が誤ってエッジとして検出される可能性が大きくなる。ノイズの標準偏差を σ_N とし k を S/N 比の逆数 σ_N/σ としたとき、 $f(p_0)$ と $f(p_1)$ の差がノイズレベル以下、すなわち、

$$|f(p_0) - f(p_1)| \leq k\sigma \quad (1)$$

となる確率は

$$q(r) = \text{erf}(k/2\sqrt{1-A(r)}) \quad (2)$$

であることが導ける。ここで、 $\text{erf}(x)$ はガウスの誤差関数、 $A(r)$ はエピポーラ線上で r だけ離れた場合の f の自己相関関数である。 $q(r)$ は $A(r) = 1$ のとき最大値1をとり、 $A(r)$ の減少とともに単調減少する。従って、 $A(r)$ の r に関する減少率が小さい場合には位置決定のあいまいさが大きくなる。

一般に、線状のエッジ付近では、エッジに平行な方向

では自己相関係数はあまり減少せず、エピポーラ線の方が、たまたまエッジに沿うと位置決めが困難になる。しかし、エッジに直交する方向では、自己相関係数は急激に小さくなる。

ある点に於ける自己相関係数が

$$A(x, y) = \exp(-\sqrt{\alpha^2 x^2 + \beta^2 y^2}) \quad (3)$$

で表されるとする。エッジが x 軸に平行だとすると $\alpha \ll \beta$ と考えてよい。エピポーラ線が x 軸となす角を θ とすれば、エピポーラ線に沿った方向では、自己相関係数は

$$A(r) = \exp(-r \sqrt{\alpha^2 \cos^2 \theta + \beta^2 \sin^2 \theta}) \quad (4)$$

となる。

2眼ステレオ視では、エピポーラ線は1本しかなく、エッジとエピポーラ線の交角は $0 \sim 90^\circ$ の間に分布する。従って、最悪の場合 ($\theta = 0^\circ$)、図2に示したように $q(r)$ がある値以下に下がる r の値が大きく、すなわち、位置決めあいまいさが極端に大きくなることもある。ただし、図2は、 $\alpha = \beta/10$ 、 $k = 0.1$ の場合の $q(r)$ を例示している。

これに対して、3眼ステレオ視では、互いに直交する2本のエピポーラ線が利用できるので、いかなるエッジとも $45 \sim 90^\circ$ の交角を保つことができ、最悪の場合 ($\theta = 45^\circ$) でもエッジの位置決定に於けるあいまいさはあまり増大しない。

◎オクルージョンについて

2枚のステレオ画像対に於て、一方で見えている部分が他方で見えていない場合には、対応点は求められない。しかし、3つの視点からの画像を用いることにより、ある画像対ではオクルージョンが生じる場合でも、別の画像対ではオクルージョンとならない場合も多い。

今、他の物体に隠されるためではなく、視点が面の裏側へまわることによって起こるオクルージョンのみを考えることにする。この場合、図1の視点Lで見えていた3次元空間中の点Pが視点Rからは見えないのは、視点

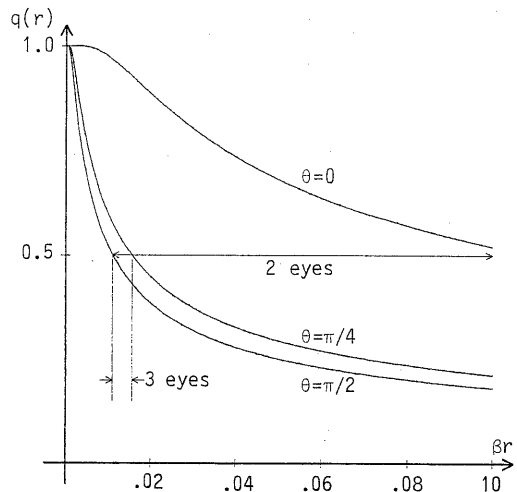


図2 エッジにおける位置決定のあいまいさ

Rと視点Lが互いに点Pに於ける接平面の反対側に位置する場合である。さらに、点Pが視点Uからも見えないのは、視点Uも視点Lと異なる側に位置する場合に限られる。3次元空間中に存在する面が、位置と向きに関して一様に分布するものと仮定すると、L-Rの対でオクルージョンとなる面のうちL-Uの対においてもオクルージョンとなるものの比率は $1 - 1/\sqrt{2}$ で約29.3%にすぎないことが導ける。

以上の考察に基づき、我々は、図1のL-R, L-Uの2組の画像対において動的計画法を用いた2眼対応探索を行い、得られた結果をエッジ位置の信頼性とオクルージョンの状況を考慮して結合するという3眼ステレオ視の処理方式を開発した。

図3に処理の概要を示す。

3. 動的計画法による2眼ステレオの対応探索

2眼ステレオ視における対応探索は、2枚の画像上で互いに対をなすエッジ間の対応探索として解くことができる。我々は、エッジ間のエッジには含まれた区間を対応の単位とし、動的計画法により対応の探索を行う区間対応法を開発している⁷⁾。ここでは、この手法を利用し、水平画像対(L-R画像対)間における対応探索は水平エッジ間、また、垂直画像対(L-U画像対)間における対応探索は垂直エッジ間それぞれ別個に行う。

3.1 エッジの抽出

前節に述べたように、我々の用いたカメラ配置ではL-R画像対のエッジは水平走査線(画像の行)に、L-U画像対のエッジは垂直走査線(画像の列)に一致する。従って、画像Lと画像Rでは水平走査線上で画素間に現れる垂直エッジを、画像Lと画像Uでは垂直走査線上で画素間に現れる水平エッジを抽出する。エッジ抽出は、走査線に沿った 1×2^n ($n = 1, 2, 3, 4$)の一次微分オペレータによる微分値が極大・極小値をとる場所を求めることにより行った。但し、一つのエッジが幅の異なるオペレータにより若干ずれた場所で2回以上検出されるのを防ぐため、幅の小さいオペレータの出力を優先するようにしている。

また、画素間におけるエッジの正確な位置を、2次微分値の零交差位置としてサブピクセル単位で内挿により推定し、距離計算時に利用する。

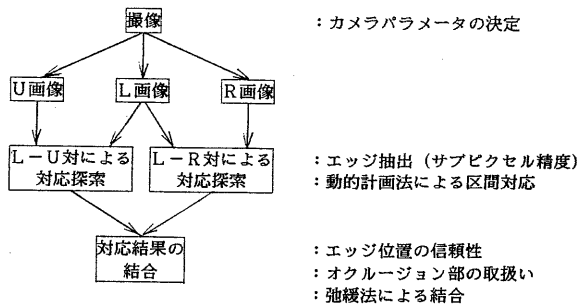


図3 処理の概要

3.2 動的計画法による区間対応探索

一对の走査線間の対応探索は、走査線上でエッジには含まれた区間同志の対応を求める問題として解く。これは、図4に示した探索平面上で区間の対応を示すパスをみつける問題と考えることができる。L-R画像対を例にとれば、探索平面の横軸は画像Lの走査線に、縦軸は画像Rの走査線に対応している。また、探索平面を区切る、縦線は画像Lの走査線上でのエッジの位置を、横線は画像Rの走査線上でのエッジの位置を示している。例えば、図4の探索結果であれば次のように解釈される。

- ・区間 b_Lc_L と区間 a_Rb_R は対応する
- ・区間 a_Lb_L に対応する画像R上の区間はなくオクルージョンが生じており、画像Rからエッジ a_L は見えない
- ・区間 b_Rc_R に対応する画像L上の区間はなくオクルージョンが生じており、画像Lからエッジ c_R は見えない
- ・画像L上のエッジ d_L は雑音とみなされた

両走査線上の区間の順序に入れ替えが起こっていないと仮定すれば、パスは探索平面の左上から右下へ単調に下降する。一对の区間の対応を示す部分パスには、その対応に対するコストを両区間の類似度に基づいて評価して与え、オクルージョンを示す部分パスには一定のペナルティをコストとして与える。コストの和を最小とするような最適パスの選択決定問題は、動的計画法を用いて解く。この手法の詳細、および、コストの評価法に関しては文献⁷⁾を参照されたい。

動的計画法により走査線全体として最良の対応を求めることにより、誤対応の発生をかなり防ぐことができ、オクルージョンが生じている部分の検出もある程度可能となる。しかも、ハードウェア化による高速処理も可能である。従って、誤対応の問題とオクルージョン部分の検出を2眼ステレオ対応探索の段階で処理し、次段において対応結果の結合を行うという我々の方針は、後節の実験例が示すとおり十分な有効性が期待できる。

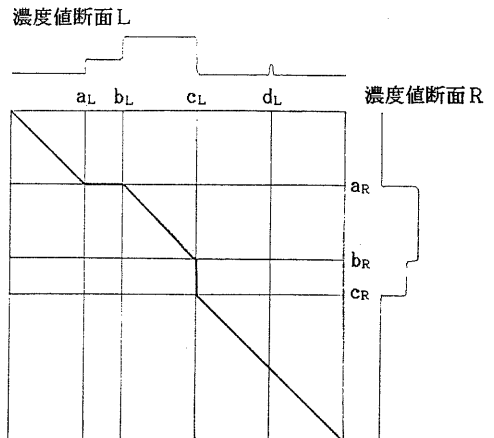


図4 探索平面

4. 弛緩法を用いた2組の対応結果の結合

4.1 結合方法

動的計画法を用いて水平画像対間と垂直画像対間で区間対応法により対応探索を行い、エッジの対応を求めた。そして、これらの対応結果により、各エッジにおける水平視差と垂直視差を算出し、画像L上において2組の対応結果を結合する。このとき、仮定したカメラモデルの性質から、2節に述べたように、水平画像対より求まる水平視差と垂直画像対より求まる垂直視差は等しくなければならない。しかし、実際には、誤対応、エッジの位置決め誤差、オクルージョンの影響により、求められた水平視差と垂直視差は等しくない。従って、両者を調整することが必要となる。この場合に、すべての対応結果を同等に扱うのは適当ではなく、エッジの位置の信頼性やオクルージョンの状況を考慮することが重要である。

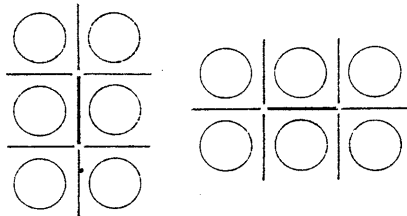
画像L上において水平視差が求められているエッジは、水平走査線上の画素間に存在する。一方、垂直視差が求められているエッジは垂直走査線上の画素間に存在し、水平視差と垂直視差を同一のエッジにおいて比較することは単純にはできない。しかし、隣接するエッジはシーン上ではほぼ同一の奥行を持つと考えられることから、隣接エッジ間では奥行の変化はなめらかであるという拘束条件としてこれを評価する。なめらかさはエッジの奥行に関するラプラシアンで評価できる。ただし、エッジの隣接関係は図5のように定義した。

求めるべき解はすべてのエッジに対して次式を最小にする奥行き z の集合として定義する。

$$\text{minimize } \sum_{\text{for all edges}} \{ \lambda h_{xy}(z) + (\nabla^2 z)^2 \} \quad (5)$$

但し、 z は各エッジの奥行、 λ は定数である。また、 $h_{xy}(z)$ は画像L上の (x, y) に存在するエッジが奥行 z を持つ場合のペナルティを与える関数であり、当然ながら対応探索により求められた初期値からずればずれるほど大きな値をとることになる。そして、 h_{xy} は各エッジにおいてエッジの鋭さやオクルージョンの状況を考慮し、それぞれ個別に定められる。この式の解は解析的に求めることができないので、弛緩法を用いて解くことにする。

式5を満たす z は変分法に関するオイラーの方程式に代入すると



- : 画素
- : 水平走査線上の画素間に存在する垂直エッジ
- : 垂直走査線上の画素間に存在する水平エッジ

図5 エッジの隣接関係

$$\frac{\partial F}{\partial z} + \frac{\partial^2}{\partial x^2} \left(\frac{\partial F}{\partial p_x} \right) + \frac{\partial^2}{\partial y^2} \left(\frac{\partial F}{\partial p_y} \right) = 0 \quad (6)$$

$$F = \lambda h_{xy}(z) + (\nabla^2 z)^2,$$

$$p_x = \frac{\partial z}{\partial x}, \quad p_y = \frac{\partial z}{\partial y}, \quad q_x = \frac{\partial p_x}{\partial x}, \quad q_y = \frac{\partial p_y}{\partial y}$$

の方程式の解となる。さらに式6を整理し、

$$\lambda \frac{\partial h}{\partial z} + 2 (\nabla^2 z)^2 = 0 \quad (7)$$

となり、これより式5を満たす z は、

$$z = \bar{z}_1 - \bar{z}_{11} - \frac{\lambda}{32} \frac{\partial h}{\partial z} \quad (8)$$

\bar{z}_1 : 隣接エッジにおける z の平均

\bar{z}_{11} : 隣接エッジにおける z_1 の平均

と解かれる。これを弛緩法の更新計算に次のように組み込む。

$$z' = \frac{1}{n+1} \left(n z + 2 \bar{z}_1 - \bar{z}_{11} - \lambda' \frac{\partial h}{\partial z} \right) \quad (9)$$

$$n, \lambda' : \text{定数 } (\lambda' = \frac{\lambda}{32})$$

この式中、 n は収束の速度を、 λ' はペナルティ関数の評価の重みを調節するパラメータである。

4.2 ペナルティ関数

各エッジにおける奥行 z を変動させた場合のペナルティ関数 $h_{xy}(z)$ は、対応探索の結果に基づいて定める。

◎正常な対応が求められたエッジ

この場合、奥行 z の誤差はエビポーラ線上でのエッジの位置決定の誤差に起因する。従って、位置のあいまいさが大きいエッジほど対応により求められた z の値 (弛緩法における初期値) からの変動を許容してもよい。エッジがエビポーラ線上で真の位置から r だけはなれた位

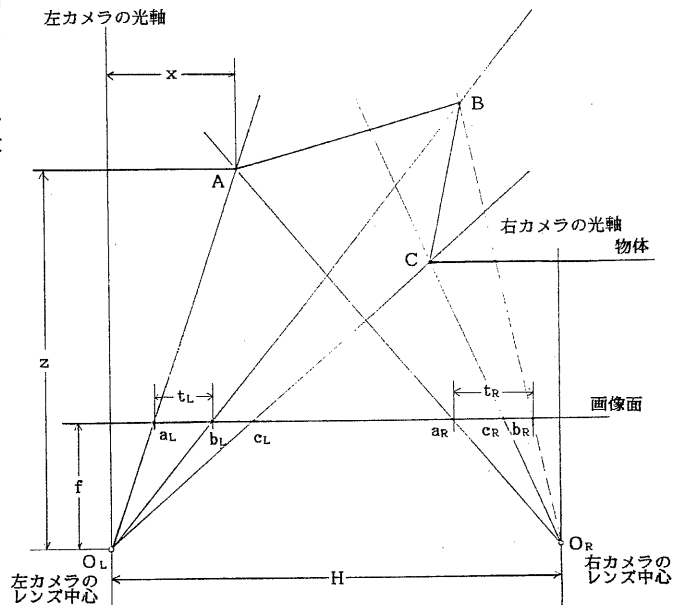


図6 オクルージョンが発生しているときの対応状況

置に検出される可能性は2節で導出した $q(r)$ に依存する。従って、エッジの位置を r だけ移動させて奥行き z を調整した場合のパナルティ関数 $h_{xy}(z)$ の値は $1 - q(r)$ とする。

○オクルージョン部分に存在するエッジ

オクルージョンが発生している場合のエッジの対応状況を図6に示す。图中、点Bは面BCに遮られており、視点Rからは見えず奥行きは決定できない。しかし、シーン中の面の向きに関する確率密度分布が一樣であるとし、面ABもこれに従うとすれば、点Bが画像Rに射影されるエッジ b_R の位置に関する確率密度を求めることができる。

図6に示すように、面ABが左エビポーラ線上へ射影された区間の長さを t_L 、右エビポーラ線上へ射影された区間の長さを t_R とする。左右区間長の比 $R(=t_L/t_R)$ に関する確率密度は次式で与えられる。

$$D(R) = \frac{d\theta}{d \log R} = \frac{aR}{\{a + b(R-1)\}^2 + (R-1)^2} \quad (10)$$

ただし、 $a = \frac{H}{Z}$, $b = \frac{X}{Z}$

いま、 t_L は定数なので式は t_R 、すなわち、エッジ b_R の位置に関する確率密度関数であると考えてよい。ただし、エッジ b_R はエッジ c_R より左には存在しえないので、式は $t_R \geq \bar{a}r_{cR}$ の場合にだけ有効である。

$D(R)$ の概形を図7示す。 $D(R)$ は $R = R_0 (=1)$ のとき最大値をとる。これは面ABが基線とほぼ平行であることに対応する。

弛緩法における、エッジ b_R の奥行き初期値は $D(R)$ が最大となる b_R の位置から求めたものとする。そして、奥行き z とする場合のパナルティ関数 $h_{xy}(z)$ の値は、奥行き z を与える R に基づき $1 - D(R)/D(R_0)$ とする。

式10はArnold¹²⁾により導出されたもので、2眼ステレオ対応探索において、左右の区間長を対応コストに導入する場合の根拠として用いられている。

5. 実験結果および考察

前節までに述べた解法の性能を調べるため以下に述べる2つの実験を行った。

撮影カメラ : 2/3インチCCDカメラ
カメラの配置 : 図8

表1 カメラパラメータ

内部標定要素

c ^{mm}	M	x ₀	y ₀
1923.4	1.004	198	274

外部標定要素

	X ₀ ^{mm}	Y ₀ ^{mm}	Z ₀ ^{mm}	ω ^{rad}	φ ^{rad}	κ ^{rad}
画像L	105.4	-1318.5	622.3	-1.206	0.047	-0.003
画像R	284.2	-1314.7	614.1	-1.210	0.004	-0.003
画像U	107.8	-1257.8	788.7	-1.206	0.000	0.000

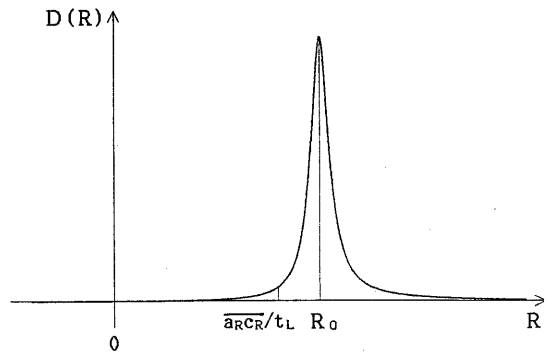


図7 確率密度関数 $D(R)$ のグラフ

カメラパラメータ: 表1

画像のサイズ : 512×512画素

用いた画像は机上の物体を斜め上から見下ろしたもので、物体からカメラまでの距離はおおよそ1400mmである。

カメラの内部標定要素としては、行方向の標本化間隔を単位長さ(1mm)と仮定した場合の焦点距離 c 、行方向、列方向の標本化間隔の比 M 、光軸と画像の交点 (x_0, y_0) の4つを、また、外部標定要素としてはカメラの位置 (X_0, Y_0, Z_0) およびカメラの傾き (ω, ϕ, κ) の6つを求めた。座標が既知の点を多数撮像することにより、先ず内部標定要素、次に外部標定要素の順に最小二乗法を用いた逐次近似解法により計算した¹³⁾。

実験1:

原画像 : 図9

エッジ画像 : 図10

実験1では、3眼ステレオ視にしたことによる位置決定のあいまいさの改善について、立方体を眺めた画像を用いて調べた。

画像中、立方体の上面の左右の辺はエッジの方向が垂

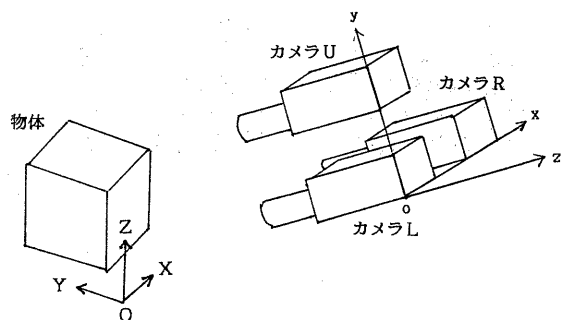
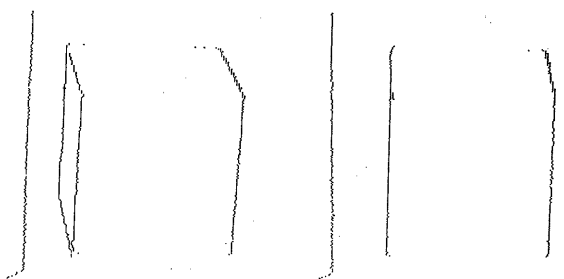


図8 カメラの配置

直に近いので、垂直走査線上で抽出されるエッジの位置はあいまいである。従って、垂直画像対だけを利用する2眼ステレオ視では、この辺の奥行を精度よく求めるのは困難である。一方、水平走査線上で抽出されるエッジは、位置決めあいまいさが比較的小さく、求まる奥行の精度も高い。従って、水平画像対による結果を優先した結合を行うことにより、これらの辺の奥行を正確に決定できる。

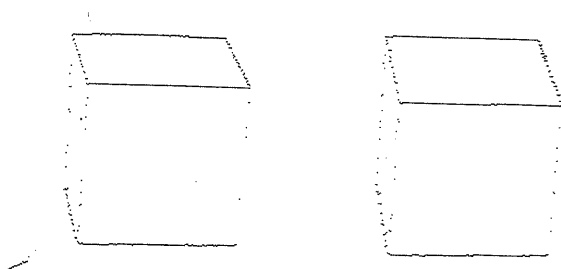
立方体の上面の前後の辺は、水平走査線とはほぼ平行で、エッジ画像からもわかるように、この部分のエッジはほとんど抽出されず、水平画像対の結果だけからはこれらの辺の奥行を求めることはできない。しかし、垂直走査線上では多数のエッジが検出され、位置決めあいまいさも少ないので、垂直対応の結果に基づき、奥行を求めることができる。

図11に立方体の上面の各辺に対し対応探索により求めた点の位置を、図12に弛緩法による調整後の点の位置を示した。図中、実線は実際の位置を、+印は水平対応により求めた点の位置を、そして、×印は垂直対応により求めた点の位置を示す。また、表2には、立方体の上面の左右の辺をなすエッジにおいて求めた点の位置の実際の位置に対する誤差の平均値と標準偏差を示した。図12、表2において、左右の辺では精度の高い水平画像対による結果が結合時に優先されていることがわかる。



画像Lの垂直エッジ抽出画像

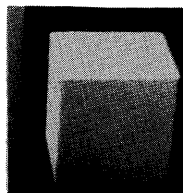
画像Rの垂直エッジ抽出画像



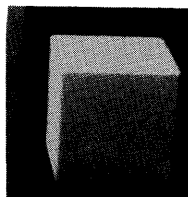
画像Lの水平エッジ抽出画像

画像Uの水平エッジ抽出画像

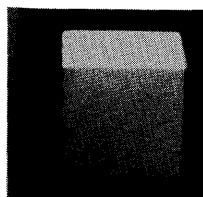
図10 実験1. エッジ画像



画像U



画像L



画像R

図9 実験1. 原画像

表2 実験1. 誤差の平均と標準偏差

		結合前		結合後
		水平対応結果	垂直対応結果	
平均	X	0.5 ^{mm}	0.9 ^{mm}	0.3 ^{mm}
	Y	-17.9	11.0	-12.3
	Z	5.3	1.7	5.2
標準偏差	X	0.9	2.2	1.1
	Y	19.3	24.4	17.1
	Z	5.7	7.2	6.0

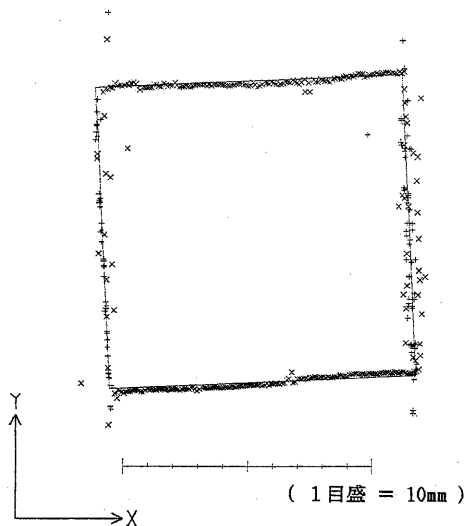


図11 実験1. 2眼ステレオ対応結果の結合前

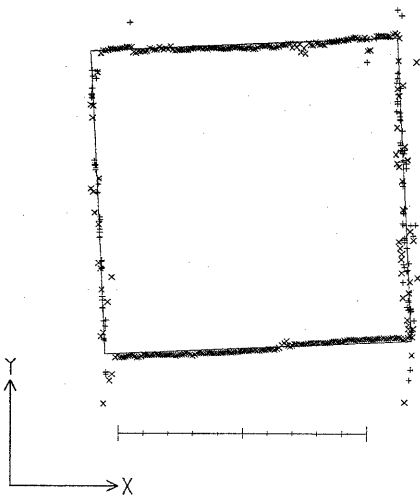
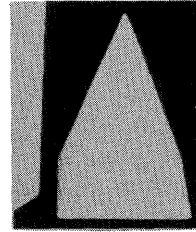
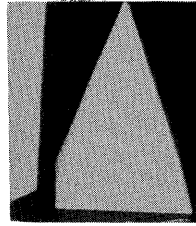


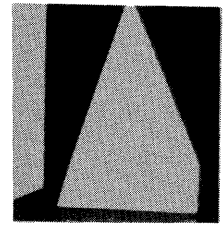
図12 実験1. 2眼ステレオ対応結果の結合後



画像U



画像L



画像R

図13 実験2. 原画像

実験2:

原画像 : 図13

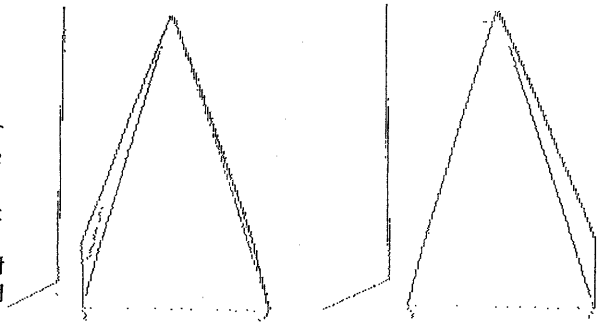
エッジ画像 : 図14

実験2では3眼ステレオ視にしたことによるオクルージョンの処理について調べた。用いた画像は四角錐体を眺めたもので、原画像、エッジ画像からわかるように、四角錐体の左の面をなす奥の辺は、オクルージョンにより視点Rでは見えない。

図15にオクルージョンが生じている面の各辺に対し対応探索により求めた点の位置を、図16に弛緩法による調整後の点の位置を示した。図中、実線は実際の位置を、+印は水平対応により求めた点の位置を、そして、×印は垂直対応により求めた点の位置を示す。また、表3には、オクルージョンが生じている辺をなすエッジにおいて求めた点の位置の実際の位置に対する誤差の平均値と標準偏差を示した。オクルージョンが生じている辺は、水平画像対による対応探索では位置を求めることができない。よって、表示してある位置は確率密度に基づいた推測値である。一方、垂直画像対ではこの部分に対して対応点が求まるので、弛緩法により調整することで、図16、表3からわかるように、垂直画像対による結果が最終的に優先されて、奥行が決定できる。

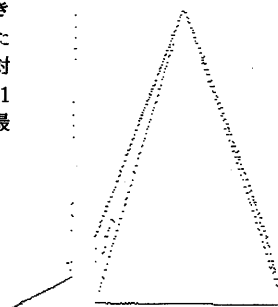
表3 実験2. 誤差の平均と標準偏差

		結合前		結合後
		水平対応結果	垂直対応結果	
平均	X	-5.7 ^{mm}	-0.5 ^{mm}	-4.8 ^{mm}
	Y	32.5	-3.3	5.9
	Z	-10.1	20.1	4.8
標準偏差	X	6.7	1.5	6.1
	Y	37.5	20.1	15.1
	Z	12.1	22.7	14.0

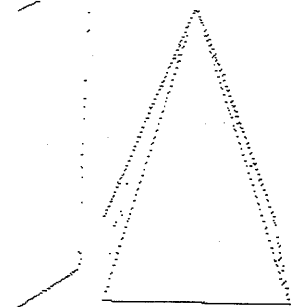


画像Lの垂直エッジ抽出画像

画像Rの垂直エッジ抽出画像



画像Lの水平エッジ抽出画像



画像Uの水平エッジ抽出画像

図14 実験2. エッジ画像

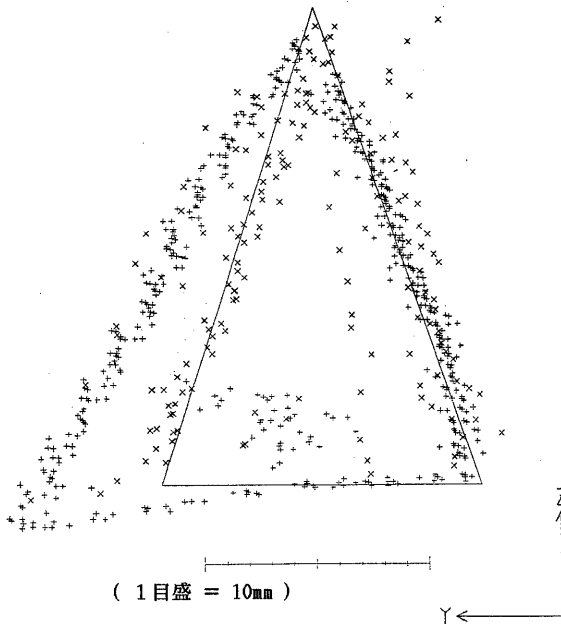


図15 実験2. 2眼ステレオ対応結果の結合前

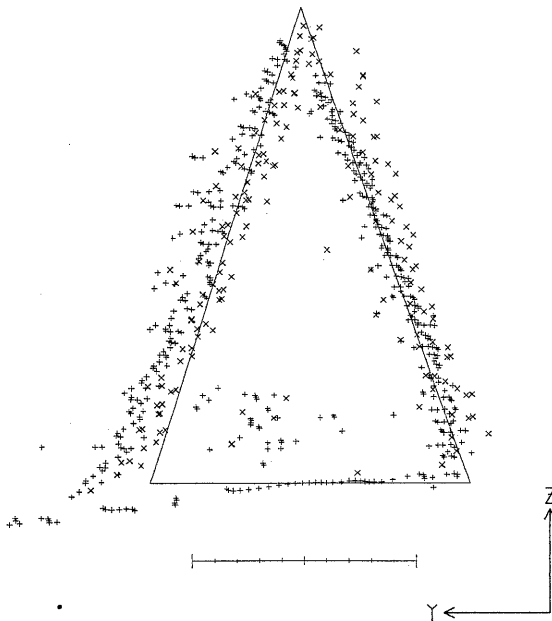


図16 実験2. 2眼ステレオ対応結果の結合後

6. まとめ

2眼ステレオ視では特徴量の変化の小さい部分における位置決定のあいまいさとオクルージョンによる対応点の不在の2つの問題を解決することが原理的に困難であった。これにたいし本稿では、3眼ステレオ視による位置決め改善とオクルージョンの処理について述べ、実験結果を示した。

ここでは、3枚の画像のレンズ中心を直角2等辺3角形の頂点に配置し、3枚の画像の光軸が互いに平行になるように仮定して、互いに直交する2本のエビポーラ線を得た。このカメラモデルは、3台のカメラがあるときやカメラ位置を制御できる場合であれば容易に実現可能であるが、航空写真のように1台のカメラを移動させて撮影するときはかなり実現困難である。3枚の画像のレンズ中心が直角2等辺3角形をなさない場合に本解法に適用するには、エッジ隣接関係などに若干の検討が必要となろう。

参考文献

- (1) D. Marr and T. Poggio, "A Computational theory of human stereo vision," *roc. R. Soc. Lond.*, vol. B204, pp.301-328, 1979.
- (2) S. T. Barnard and W. B. Thompson, "Disparity Analysis of Images," *Proc. IEEE*, vol. PAMI-2, NO.4, July, 1980.
- (3) 佐々木, 古川, "エッジに注目した動的計画法によるステレオ画像の対応点の検出," *信学技法*, IE78-97, pp.47-56, 1979.
- (4) H. H. Baker, "Depth from Edge and Intensity Based Stereo," *Tech. Rep. AIM-347*, Stanford Artificial Intelligence Laboratory, 1982.
- (5) H. P. Moravec, "Visual Mapping by A Robot Rover," *Proc. 6th Int. Joint Conf. Artificial Intell.*, pp. 598-600, 1979.
- (6) 池内克史, "2組の照度差ステレオによる距離情報の決定," *情報処理学会CV研資*, 33-2, 1984.
- (7) 大田, 正井, 池田, "動的計画法によるステレオ画像の区間対応法," *信学論*, vol. J68-D, NO.4, pp.554-561, 1985.
- (8) 大田, 池田, "3眼視ステレオについて," *情報処理学会第29回全国大会*, 2M-4, 1984.
- (9) R. Y. Tsai, "Multiframe Image Point Matching and 3-D Surface Reconstruction," *Proc. IEEE*, vol. PAMI-5, NO.2, pp.384-391, March 1983.
- (10) 青木, 谷内田, 辻, "パターン投影法と2台のカメラを用いた3次元物体の計測," *信学論*, vol. J68-D, NO.3, pp.384-391, 1985.
- (11) 伊藤, 石井, "3眼立体視による多面体形状計測," *電子通信学会, PRL 85-21*, July 1985.
- (12) R. D. Arnold, "Automated Stereo Perception," *Department of Computer Science, Stanford Univ.*, Rep. NO. STAN-CS-83-961, March 1983.
- (13) 日本写真測量学会編, "写真による3次元測定," 共立出版社, 1983.