

等濃線を用いた顔画像の3次元計測

藤島 光城 水谷 雅宏 中村 納 南 敏
工学院大学

筆者らは、簡単な装置で3次元計測が行えるステレオ立体視法に着目し検討を行ってきた。ステレオ法では画像間に対応点を決定する処理が難しく、特に、明確な特徴がない曲面物体を計測することは非常に困難である。そこで筆者らは、曲面上で安定して抽出できる等濃線分布に着目し、これを画像特徴として対応点を求めることで、曲面形状の復元が行えることを明らかにした。

しかし、以下に考えられる問題点により誤対応点も多く、計測精度、信頼性共にそれほど高くない、というのが現状である。

- 1) 入力画像に含まれる雑音
- 2) 画像周辺の減光
- 3) 対象表面の鏡面反射

本報告では、等濃線を用いたステレオ法について述べ、これらの問題点がステレオ画像に及ぼす影響について調査し、その対策について現在考えられる手法を挙げる。

MEASUREMENT OF A HUMAN FACIAL SHAPE BY USING ISODENSITY MAPS

Mitsushiro Fujishima, Masahiro Mizutani, Osamu Nakamura and Toshi Minami.

KOGAKUIN UNIV.

1-24-2, NISHI-SHINJUKU, SHINJUKU-KU, TOKYO 163-91, JAPAN

One of the difficult problems in stereoscopy is to find the corresponding points between left and right stereo images of a scene, especially for objects having curved surfaces without specific feature points.

To cope with this problem, we have proposed to use isodensity maps which can be extracted from the objects having curved surfaces.

The candidates of the corresponding points between left and right images are searched for by using isodensity lines.

The investigation carried out in our group has made clear that for practical application of this method following three problems must be solved.

- (i) Reduction of random noise
- (ii) Compensation of vignetting
- (iii) Removal of bad effects by specular reflection

In this paper, the basic considerations of the above problems are reported.

1 まえがき

近年、コンピュータビジョンやコンピュータグラフィクス等の各研究分野で人間の顔のような曲面を含めた3次元形状のコンピュータ入力是非常に重要となっている。

従来から画像処理の分野では対象に特殊な光などを投影する能動型計測法と、これらの投影を行わず人間の視覚機構（視差・焦点・輻輳角・陰影 etc...）を利用する受動型計測法の二つの手法が3次元形状の入力法として検討されてきた。前者は、計測精度および信頼性がともに高いが、対象上に特徴となる光が明確に投影されなくてはならず、測定の際の制約条件も多い。また、計測ハードウェアに光を投影するプロジェクタが必要となり、そのコストも高価である。従って、現状では産業分野の利用には適しているが制約条件およびコストの面であり汎用的とは言えない。後者は、CCDカメラなどの受動的センサのみで計測が行えるために、安価であり、あまり測定条件に拘束されずに計測が行える。しかし、これらの受動的手法はステレオ立体視法（以下、ステレオ法と呼ぶ）に代表される対応付け等の問題により、計測精度および信頼性はそれほど高くないというのが現状である。特に、対象物の中でも明確な特徴のない曲面を含む物体はステレオ法による計測は困難であるとされてきた。

ステレオ法は左右異なる視点から入力した2枚の画像間の対応を求めることにより、三角測量の原理を用いて対象までの距離を計測する。このため、画像間の対応付けの基準となる特徴を画像中から抽出する必要がある。従来、これらの特徴として濃度値の急変する箇所（エッジと呼ぶ）などの特徴が多く用いられてきた。しかし、明確な特徴のない曲面上ではエッジは抽出できないために、エッジを用いて曲面の計測を行うのは非常に困難である。そこで筆者等は、画像の特徴として曲面上でも比較的安定して抽出できる量子化画像の濃度境界線（以下、等濃線と呼ぶ）を用いて、ステレオ法により対応付けを行う手法を提案してきた[2]-[10]。しかし、鏡面反射など様々な原因により高精度な計測には至っていないのが現状である。

そこで、本報告では等濃線を用いたステレオ法による3次元計測法について述べると共に、計測精度の低下の原因を調査し、その対策について検討した結果を述べる。

以下、2章ではステレオ法の原理、3章では画像の入力方法、4章では画像特徴として用いる等濃線の抽出方法、5章では対応探索方法、6章では等濃線と奥行の相関を利用した補正方法について述べる。更に、7章では

計測対象にマネキンと人間の顔を用いた場合の計測結果と問題点を示し、8章では計測精度低下の原因と対策を検討する。

2 ステレオ法の原理

人間は両眼による視差で立体感を得ている。これを、2台のカメラを用いて模擬的に行うのが受動的なステレオ法である。すなわち、図1に示すように左右異なる視点 E_l , E_r から対象 P を見たとき、画像平面 H_l , H_r 上に投影された対応点が $P_l(X_l, Y_l)$, $P_r(X_r, Y_r)$ であるとき、カメラから対象までの奥行値 Z は三角測量の原理により次式を用いて求めることができる。

$$Z = \frac{f \times l}{\sigma (X_l - X_r)} \quad (1)$$

但し、 f はカメラの焦点距離、 l は基線長（カメラ間距離）、 σ は画素幅を示す。

ここで、対象表面が理想的な完全拡散反射面である時は、対応点 P_l , P_r の濃度値は同一となる。しかし、実際の対象表面は鏡面反射が観測されるため、異なる視点となる対応点の濃度値には差異が生じる場合がある。この鏡面反射の影響は誤対応点の原因となるが、これについては8.3で詳しく述べる。

3 画像入力

画像を入力する際には一台のカメラを並行移動させて、左右の2視点から対象を撮影した。従来、画像（512×480、256階調）は左右それぞれ1フレームずつ入力していたが、画像信号の雑音を抑制し安定した画素値を得るため、現在では左右30フレームずつ撮影し画像集合の平均化を行っている（この処理の詳細は8.1で述べる）。また、ここでは単一のカメラを並行移動させることで、カメラパラメータのキャリブレーションや光軸合わせは

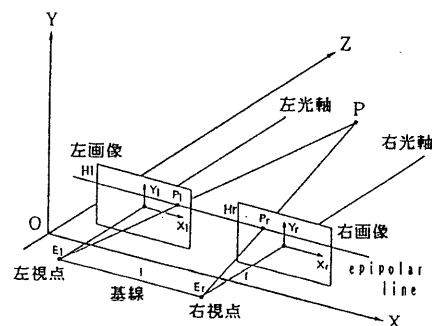


図1 ステレオ法の原理

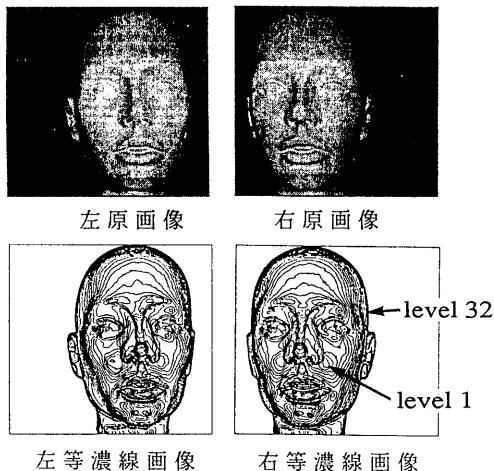


図2 左右の原画像と等濃線画像

行わずにすむが、画像周辺部ではカメラレンズの収差による幾何学的歪みや画像周辺の減光がある。そのため現在、画像中央部の収差や減光の影響の少ない箇所での撮影を行い、歪みや減光等の補正は行っていない。この減光のステレオ法に与える影響については8. 2で詳しく述べる。

又、この撮影方法では左右同時に画像の入力ができないため、静止している物体にしか適用できない問題点がある。

4 画像特徴の抽出

4. 1 等濃線の抽出

画像特徴として用いる等濃線の抽出は、以下の処理手順で行う。

- 1) 左入力画像に対して濃度ヒストグラムを作成し、最小濃度値と最大濃度値の間のダイナミックレンジを32レベルに線形量子化する。ここで用いた量子化しきい値を用いて、右入力画像を量子化する。
- 2) 得られた量子化画像の濃度境界線を抽出し、これを等濃線とする。

図2にマネキンをういた場合の原画像と、等濃線画像を示す。

4. 2 等濃線ループの抽出

等濃線は画像内で個別の閉じたループを形成する特徴がある。このループを以下、単にループと呼ぶ。このループを等濃線画像から個別に抽出する。その処理手順は次の通りである。

- 1) 等濃線画像を量子化時のレベルごとに分割する。
- 2) 各レベルごとに等濃線ループに対してラベル付けを

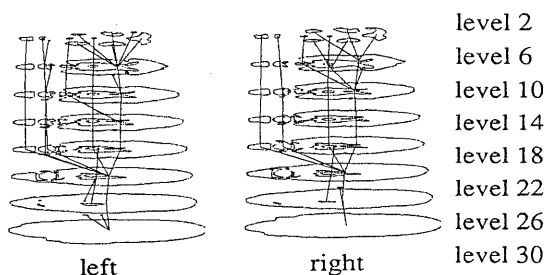


図3 等濃線の包含関係

行う。この結果、個々のループが抽出できる。

4. 3 ループの包含関係の抽出

等濃線のループは暗いレベルのループから明るいレベルのループへと包含関係が成立する。そこで、図3に示すようにループの包含関係[18]を抽出する。このループの包含関係の情報は次の対応探索処理で用いる。

5 対応探索

本手法は次に示す2段階の手法で対応点を決定する。

- (1) 等濃線分布を用いて左右画像間の大局的な対応関係を抽出する。次に、この対応関係に基づいて、(2) 濃度の勾配や方向などの、画素の局所的な特徴を利用し、対応点を画素単位で決定する。以下、(1)の処理を大局的対応探索、(2)の処理を局所的対応探索と呼び、各探索方法を順に述べる。

5. 1 大局的対応探索

本手法では、画像内で比較的大きな閉曲線を構成する等濃線ループのマッチングを行い、画像間の大局的な対応関係を抽出する。このループは4. 3で述べたように、濃度のレベル間で包含関係が成立し、ループ相互間に相関がある。従って、従来、画像特徴として用いられてきた独立した特徴であるエッジやエッジセグメントなどに比べて、画像間でのループの対応関係は求め易い。つまり、ある確定した対応ループ対が求まるとその包含関係にあるループ同士に限定して次のマッチングが行える。よって、画像間の大局的な対応関係を抽出する処理は大きな誤りもなく、比較的確正に求まる。

以下、ループのマッチング処理の具体的な方法について述べる。

5. 1. 1 ループマッピング処理

ループマッピング処理の手順は次の通りである。

- (1) 周辺分布作成
等濃線ループの形状および位置を周辺分布を用いて表す。
 - a) 左画像中の各等濃線ループの内部面積の分布をX軸

方向およびY軸方向へ投影した周辺分布を作成する。

b) a)と同様の処理を、右画像中の各等濃線ループに対して行う。

周辺分布の作成例を図4に示す。

(2) 対応ループの決定

左右画像間で対応する等濃線ループを決定する。

a) 同一量子化レベルごとに、左右の等濃線ループのY軸投影周辺分布を重ね合わせ、その一致する度合いが最大となるものを対応ループとして決定する。

b) a)においてループの一致度が小さいものは、対応なしと判断する。

c) 上記a), b)の処理を暗いレベルの等濃線ループから順に行い、4.3で抽出したループの包含関係に基づき、対応関係が確定したループに包含される上位レベル(明るいレベル)のループに限定して次のマッチング処理を行う。

ここで、b)の処理で対応なしと判断されたループに関しては以後の探索処理を行わない。このループ上の奥行き値に関しては後述する補正処理で算出する。

5. 2 局所的対応探索

画素の局所の特徴を用いた画素単位のマッチング処理では、大局的な対応関係によって限定された領域内を探索し、注目画素周辺の濃度分布が最も類似する箇所を、対応点として決定する。このとき、探索領域内で類似する対応点が無い場合や、類似する対応点が複数存在するときは対応無しとし、無理に対応点は求めない。

5. 2. 1 探索領域の限定

対応点の探索領域は以下の2つの拘束条件を基に設定される。

- 1) エピポーラ・ライン拘束
- 2) 等濃線拘束

一般にステレオ法では、上記1)のエピポーラ・ライン拘束とは左右の対応点が同一走査線上に存在するという拘束条件である。また、2)の等濃線拘束は本手法で新たに提案した条件で、対応点は対応する等濃線ループ上の周囲に存在する、という拘束条件である。つまり、左右の対応点は、同一走査線上でかつ、対応するループの周囲(走査線方向の前後数画素以内)に限定される。

5. 2. 2 対応点の決定

画素単位で正確な対応を求めるためには、対応する画素の局所的な属性が類似することを対応点の条件にする必要がある。以下に、対応条件を示す。

- 1) 注目画素での濃度勾配の大きさ・方向の類似。
- 2) 注目画素周辺の濃度分布の類似。

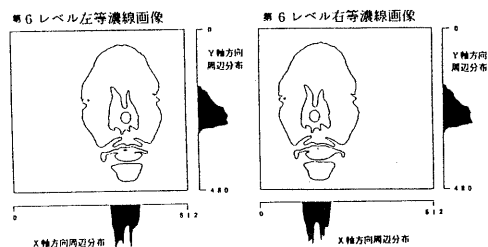


図4 等濃線ループの周辺分布

3) 等濃線の隣接画素間での視差値の差が、しきい値を越えないこと。

対応点の探索範囲の拘束条件と対応条件を基に、対応するループ上の画素を追跡しながら、順次対応点を求めていく。

ここで、2)の濃度分布の類似点の抽出は、重み付けを行ったウィンドウを用いて求める。

これは対応点を中心とした5×5画素のウィンドウ内の濃度値の差分に、重みを掛けて得られた値の総計(評価値)が最小となる点を、5.2.1で求めた探索範囲内で抽出する。

但し、評価値がしきい値より大きい場合、または評価値が最小となる点が複数あり、一意に決定できない場合は対応なしと判断する。

図5に探索に用いたウィンドウの重み係数例を示す。また、式(2)に対応決定の評価式を示す。

現在、上記の探索処理により対応が求まらない点については、ループ上の“奥行き値の連続性”に着目し、次の補間処理により対応点の座標値を算出している。このようにして抽出した対応点の座標値から、三角測量の原理を用いて奥行き値を求める(式(1)参照)。

6 補正処理

6. 1 等濃線ループ上の補正・補間

画像信号の雑音や鏡面反射等の様々な原因により、対応点での濃度値が微妙に異なる場合が生じる。従って、濃度値を利用した探索方法では、誤対応点の発生は不可避である。この問題は、シーンから得られる情報が濃度値しかない受動的ステレオ法では致命的な欠点となる。

本方式ではこの誤対応点を、等濃線と奥行き値の相関を利用して補正する。ここでは、誤対応点の補正を行うために次に示す相関を考えることとする。

“等濃線ループは、特殊な場合を除いて、ループ上の隣接間で奥行き値は連続的に変化する。”

図6に実例を示す(但し、探索処理による対応無しや

1	1	2	1	1
1	2	4	2	1
2	4	8	4	2
1	2	4	2	1
1	1	2	1	1

$w_i = (8, 4, 2, 1, 1)$

図5 ウィンドウの重み係数

ウィンドウの評価式：

$$E = \sum_x^m \sum_y^m w_i(x, y) \{I_L(x, y) - I_R(x, y)\}^2 \quad (2)$$

$w_i(x, y)$: (x, y) における重み関数

$I_L(x, y)$: (x, y) における左画像の濃度値

$I_R(x, y)$: (x, y) における右画像の濃度値

誤対応点を含む)。

従って、対応探索処理で求められなかった点をこの相関関係を用いて算出する。以下、この相関関係を利用した補正方法を順に説明する。

補正方法

- 1) 等濃線ループ上の奥行き値を、等濃線を追跡することにより抽出する (図7 a) に抽出例を示す)。
- 2) 抽出した奥行き値の欠落部を、スプライン補間を用いて補間する。
- 3) 奥行き値のばらつきを、移動平均を用いて補正する (図7 (b) 参照)。
- 4) 補正した奥行き値を1)と同様の方法でループ上の画素に割り当てる。

以上の処理を全ての等濃線ループに対して行う。ただし、ループ上で連続して奥行き値が欠落している箇所では、むりに奥行き値を求めず、次の処理で算出する。

6. 2 等濃線間の補間

6. 1の処理により、等濃線上で奥行き値が求まる。しかし、対象全体の形状復元を行うには等濃線間の奥行き値の補間が必要である。そこで、単一濃淡画像から対象の形状を復元するshape from shadingの理論から、曲面上では濃度の勾配方向に対して奥行きは連続していると仮定し、等濃線間の奥行き値を濃度勾配方向にある2点 (等濃線上で求めた奥行き値) を用いて線形に補間する。

7 計測結果

このようにして対象全体を復元した例を図8に示す。対象は、表面に白い塗料を塗ったマネキンである。対象の形状はほぼ復元されているが、マネキンの額や頬の部分などに実際の対象に無い凹凸の箇所がある。これらの箇所では濃度の変化が緩やかで、対応点を一意に決定することが難しく、また、画像信号の雑音や画像周辺の減光、鏡面反射等の影響があり、誤まって対応点が抽出されたために凹凸が生じたものと考えられる。

従って本手法の計測精度を向上させるためには、これ

Side View

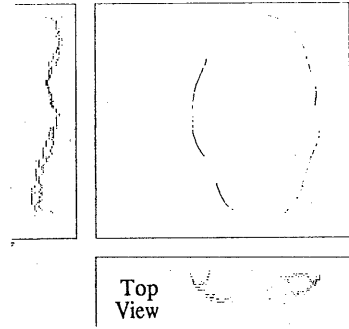


図6 等濃線ループ上の奥行きデータ

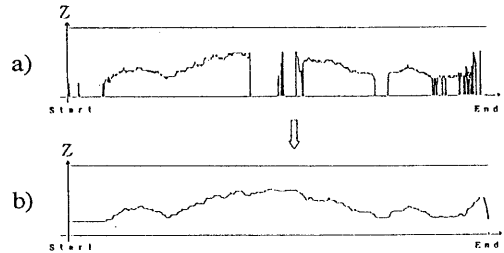


図7 等濃線ループ上の奥行きデータの補正

らの箇所での画像信号の雑音の低減、および、画像周辺の減光の補正、鏡面反射の除去などを行う必要がある。

また、図9に人物顔の計測を行った結果を示す。本手法では1台のカメラを用いているために、左右画像を同時に入力できない。従って、人物顔の場合では画像入力時に顔が微妙に動いてしまうため、マネキンに比べて良い計測精度が得られなかった。この問題は、画像入力時に2台のカメラを用いることによって解決できる。しかし、2台のカメラを用いて計測を行う場合、各パラメータや光軸合わせ等のキャリブレーションを適性に行わなければならないという問題点があり、現在検討中である。

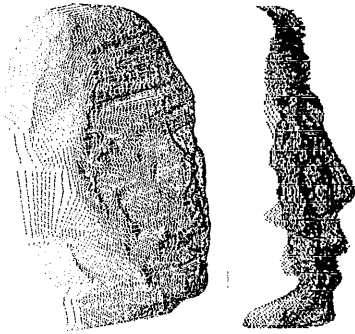


図8 マネキンの3次元計測結果

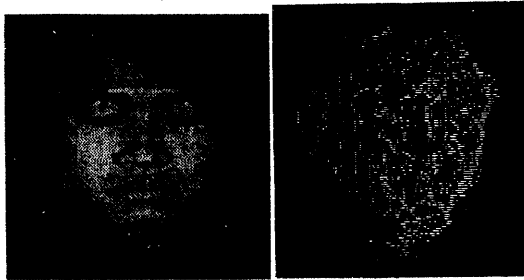


図9 人間の顔の3次元計測結果

8 計測精度に関する検討

8. 1. 1 入力画像に含まれる雑音

入力画像には観測装置の光源，光電変換器，増幅器，あるいは伝送路などから，画素毎に独立に存在するランダム雑音等が発生する[16]。特に，本方式のステレオ法で，雑音は等濃線の形状や画素の局所の特徴に影響し，誤対応点を生じる原因となる。

ここで，実際の画像ではどの程度，雑音の影響があるかを調査した。その方法として，対象を複数回連続して観測し（30フレーム），同一画素上の濃度の分散値（雑音による濃度のばらつき）を求めた。この濃度の分散画像を図10に示す。図は見やすいように濃度の分散値を16倍して表示してある。図から分るように濃度の変化の急なマネキンの輪郭部分では，雑音による濃度の分散は大きく，このような場所では濃度の分散は256階調中12程度と量子化誤差（4以内）より大きい。また，マネキン内部の比較的濃度変化の緩やかな箇所でも濃度の分散は1～6程度あり，マネキン上では画像信号の雑音が大きい事が分る。

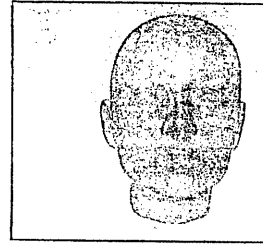


図10 濃度値の分散画像（30フレーム）



図11 雑音除去を行わない場合の等濃線画像例

次に，雑音が等濃線に与える影響を調べた。入力画像に対して雑音除去処理を行わず等濃線を抽出した画像を図11に示す。図から分るように小さな等濃線のループが多数発生し，等濃線の形状も複雑になる。このように等濃線の形状が複雑となり，また，同型の小さなループが多数発生すると，ループの包含関係などを用いても，対応するループの決定が困難となる。

8. 1. 2 雑音の除去方法の検討

現在，ステレオ画像に適した，雑音の除去方法について検討中であるが，従来までは 7×7 のメジアンフィルタを用いて雑音の除去を行っていた。しかし，メジアンフィルタを用いた場合には，辺縁は比較的保存されるが，画像中の小さな対象物あるいは細い線などは雑音と共に除去される問題点がある。本方式のステレオ法では画素の局所の特徴を用いて対応点を決定しているため，このような局所的な情報も非常に重要である。また，メジアンフィルタには画像の平滑化作用があり，フィルタサイズを大きくすると実際の濃度値との差異が大きくなる。従ってフィルタの大きさを適切に設定する必要が生じる。

そこで，画素毎に独立して雑音除去が行える手法として画像集合の平均化法[16]が挙げられる。画像集合の平均化は同じ画像を複数回観測し，対応する同一画素の平均値を求める手法である。ここで，画像集合の平均化式は，

$$f(x, y) = (1/n) \sum_{i=1}^n f_i(x, y) \quad (3)$$

となる。

f_i は観測された画像であり、 n はその回数を表す。 n 回の平均化により雑音の分散は σ_n^2/n となる。この手法の利点は、観測回数を増すほど雑音は抑制され、しかも近傍画素による平滑化作用がないので、ほけずに画素毎に安定した値が抽出できることである。

連続する30フレームのマネキン画像を動画シュミレータで入力し、画像集合の平均化を行い、等濃線を抽出した画像を図12に示す。この手法により、対象の局所的な特徴を損なわずに雑音の除去が行えると考えられる。

しかし、この手法を本方式のステレオ法に適用するためには、計測時間の問題と、それに関連して、何枚の画像を用いて平均化することが最適であるか、という問題点も残されており、さらに検討を重ねる必要がある。

8. 2. 1 画像周辺の減光による影響

一般に、カメラレンズ等の入力系の特性により、画像周辺部は画像中央部より減光が大きいという問題がある[14][15]。実際に、照明系を撮影範囲内で照度がほぼ一定となるように設置し、本システムの撮影系で白色のケント紙を撮影した結果、画像中央部と周辺部（四隅）では画素値が256諸調中で最大100諸調程度、異なることが測定された。このように、画像周辺部の減光が大きい場合、注目画素周辺の濃度分布が最も類似する点を対応点とする本手法では、画像周辺の減光は誤対応点を発生する原因となる。

8. 2. 2 画像周辺の減光の検討

しかし、実際に対象を撮影した画像では、画像周辺部に近づくに連れて大きくなる減光と、誤対応点の大きさとは必ずしも比例しない。減光が対応点に与える影響は、濃度の勾配が大きい箇所では小さく、勾配が小さい箇所では大きい。つまり、マネキン画像の場合、頬から耳にかけての部分は等濃線が密である（濃度の勾配が急な）ために減光により多少濃度差が生じても等濃線の位置および形状はほとんど変わらずに比較的正確な対応点が求まる。しかし、頬や額等の等濃線が粗である（濃度の勾配が緩い）箇所では、減光の影響が大きければ大きいほど、等濃線の位置や形状が変わるため、左右画像間で大きく対応を誤る。

画像周辺の減光などを補正する手法として、観測系の濃度歪みを関数として表し補正する濃度変換法[14]などが挙げられる。しかし、これを行うには1画面分の補正

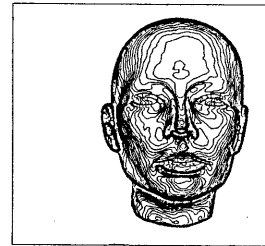


図12 画像集合の平均化後の等濃線画像

値を持たなければならず、入力系のパラメータが変化すると新たに補正值を測定する必要がある。更に、補正值を求めるために明るさが均一な平面を撮影しなければならず、また、CCDカメラにAGC (auto gain controller) がついているとこの手法は使えないなど問題点も多い。

従って現在では、頬や額の濃度勾配の緩やかな部分は、できる限り画像中央部の減光の影響の少ない箇所での撮影を行っている。しかし、より高精度な計測を実現させるためには、画像周辺の減光の補正は必須であるため、現在検討中である。

8. 3. 1 鏡面反射の影響

本方式は受動的な計測のため対象の反射係数は未知数であり、反射係数を用いて鏡面反射を補正する事はできない。そのため、鏡面反射の影響を受ける箇所では対応点の画像特徴（濃度値・濃度微分値等）が異なり、誤対応点が生じる。この鏡面反射の影響は対象の反射係数、光源とカメラとの位置等により画像内で生じる箇所も大きさも異なる。しかし、一般に鏡面反射は光源の色を反映するため画像内の明るい箇所によく観測される。従って、明るいレベルの等濃線ループに着目して、鏡面反射の影響を受けているループを、その形状などを比較して判断し、これらのループを除去する方法が考えられる。

8. 3. 2 鏡面反射の影響があるループの判定方法の検討

本方式では対応するループを、包含関係等から抽出しているため形状に多少の差異があってもループの対応関係は、ほぼ求まる。経験によれば、対応がとれたループに対して、左右ループの1) 内部面積の比が1/2以下、2) Y軸方向のループ長の比率が80%以下となるループを抽出することにより、鏡面反射の影響を大きく受け形状が変化したループを判定できる。マネキン画像の場合、全78ループ中、明るいレベルの9つのループが鏡面反射の影響を含むループと判定できた。これらのルー

ブ上の点については、現在、無理に対応を求めず、等濃線間の補間処理で奥行き値を算出している。しかし、この手法の問題点として鏡面反射の影響を受けるループの形状が大きく変化しない場合は判定できないという欠点がある。従って今後は、これらのループを鏡面反射の影響を受けない暗いレベルのループのデータと比較するなどして、異常に対応関係の抽出されたループを鏡面反射の影響を大きく受けるループと判定するアルゴリズムについて検討を行う。

9 考察

本報告では、計測手法と計測精度を低下させる3つの問題点について述べ、これらの問題点が本方式のステレオ法に与える影響について検討した。また、それぞれの問題点に対し、現在考えられる対処法について述べた。しかし、計測精度を低下させる原因は他にもある。例えば、カメラレンズの収差による幾何学的歪みである。これはエピソード拘束（対応点は、ステレオ画像の同一走査線上に存在する）を条件とする本方式では、周辺減光と同様な誤対応点の発生を生じる。また、人物顔の場合、6で述べたように現在の撮影方法では精度の良い計測結果を得られないなど、本手法には解決すべき問題点も多くある。

しかし、本手法は対象上で濃度の差異さえあれば等濃線が抽出でき、曲面を含めた計測が行える利点があるため、汎用性は高いと考えられる。また対象が鏡面反射率の高いものであれば計測精度は低くなるが、人間の場合のように他の視覚機構（焦点・輻輳角など）と併用することで計測精度はある程度まで向上すると考えられる。

10 まとめ

本報告では、等濃線分布を用いたステレオ法の計測手法について述べ、計測精度を低下させる原因と考えられる、1) 入力画像に含まれる雑音、2) 画像周辺の減光、3) 対象表面の鏡面反射、の影響、及び、その対策について述べた。今後は、これらについて更に検討を行い、計測精度の向上を目指す。

参考文献

- [1]小林, 関口, 永田, 中村, 南: “連結エッジ領域内の整合性を考慮した弛緩法によるステレオ対応法”, 第62号工学院大学研究報告, pp.285-292(1987.4).
- [2]小玉, 柴田, 藤島, 中村, 南: “等濃線情報を利用した視覚システム構成に関する検討”, 第33回工学院大学研究発表講演会, 8(1990.10).
- [3]藤島, 柴田, 小玉, 中村, 南: “ステレオ法に基づく等濃線を用いた曲面構成物体の形状計測”, 第24回信学

会学生会研究発表会, (1990).

- [4]小玉, 柴田, 藤島, 中村, 南: “等濃線を利用したステレオ法に基づく奥行き知覚システムの構成”, 第70号(1991.4).
- [5]藤島, 柴田, 小玉, 中村, 南: “受動的ステレオ法に基づく等濃線を用いた3次元形状計測”, 1991年春期信学全大, D-490.
- [6]藤島, 中村, 南: “等濃線を用いた受動的ステレオ法に基づく曲面構成物体の復元”, 画電学全大(1991).
- [7]藤島, 中村, 南: “等濃線分布を拘束条件とするステレオ対応探索の効率化”, 画像電子学会研究会資料, 91-01-06(1991).
- [8]藤島, 北村, 小久保, 中村, 南: “等濃線を拘束条件としたステレオ対応探索法”, 情処学第43回全大(1991).
- [9]藤島, 北村, 小久保, 中村, 南: “等濃線分布を用いた曲面物体の3次元形状再構成に関する研究”, 第34回工学院大学研究発表講演会, 6(1991.10).
- [10]藤島, 中村, 南: “受動的ステレオ法に基づく等濃線を用いた対応探索アルゴリズムに関する検討”, 第71号工学院大学研究報告, pp.225-231(1991.10).
- [11]宋, 鈴木, 中村, 南: “等濃線分布に基づく顔画像の認識・再生アルゴリズムに関する研究”, PCSJ90,3-1. pp.41-44(1990).
- [12]上野, 加藤, 高橋, 中村, 南: “等濃線分布による顔の自動識別”, 1991年春期信学全大, D-597.
- [13]阿部, 木村: “色符号化スリット光を用いた人間の3次元形状計測”, 信学論(D-II), Vol. J72-D-II, No.12, pp.2061-2069(1989.12).
- [14]長尾: “デジタル画像処理”, 近代科学社, 1978.
- [15]日本写真測量学会 “写真による三次元測定”, 共立出版, 1983.
- [16]尾崎, 谷口, 小川: “画像処理”, 共立出版, 1985.
- [17]井口, 佐藤: “三次元画像計測”, 昭晃堂, 1990.
- [18]M.KATO, I.SO, Y.HISHINUMA, O.NAKAMURA and T.MINAMI: “Description and Synthesis of Facial Expression Based on Isodensity Maps”, CGI Visual Computing '92, pp.39-56.