

## 簡易3次元人体形状スキャナー装置の開発

長谷川 辰雄  
岩手県工業技術センター  
中村 吉信  
(株) でん

上野 育子, 松田 浩一, 土井 章男  
岩手県立大学ソフトウェア情報学部

人体形状の3次元計測は、白色光やレーザー光を投影して計測する光投影法がよく知られている。市販の3次元計測器は、レーザー光や高速画像処理装置などの高額部品で構成され、手軽に3次元形状を求めることができない。また、毛髪など、光の反射・散乱で計測できない問題がある。本論文では、簡易的な人体の形状計測を目的に、メッシュ状の布で人体を覆い、複数のカメラによる両眼ステレオ法で3次元画像を求める簡易3次元人体形状スキャナー装置について述べる。両眼ステレオ法計算のために、左右画像のメッシュの交差点を特定するための追跡アルゴリズムを開発した。メッシュ状の布には、自動的に全体を3次元計測するための張り合わせ用のマーカを付与している。

### Development of easy measuring system for shape of human body

HASEGAWA Tatsuo

Iwate Industrial Research Institute

NAKAMURA Yoshinobu,

DEN co.

UWANO Ikuko, DOI Akio and MATSUDA Koichi

Faculty of Software and Information Science Iwate Prefectural University

The projected light method with white light or laser beam is well known as 3D measuring shape of human body. It is not easy that we want to get 3D Image. Because the commercial-type of 3D measuring instrument is consist of high cost laser and high performance imaging system. It has included problem that human hair cannot be measured because of reflected or scattered light. This paper describes the simple 3D human body measurement method that is using mesh printed cloth and triangulation with stereo camera. The mesh printed cloth covered human body. We developed trace algorithm that can find cross point of mesh for calculating triangulation.

#### 1. はじめに

人体の3次元形状計測は、CG・アニメーション制作、家具デザイン、福祉機器開発などにおけるヒューマン・インターフェイスの設計・製造に重要な情報となっている。顔や手足の形状は、片

面だけでなく全周のデータが必要となる。全周データの計測は、ターンテーブルで対象物を回転させて計測する方法や、カメラ自体を移動する方法があるが、撮影方向ごとの3次元画像を手作業で張り合わせており、多大の時間を費やしている。

市販の3次元スキャナー装置は、光の反射・散乱・吸収によって、毛髪などが計測できない問題や、高額で手軽に計測ができにくい問題がある。本論文は、3次元の人体形状計測を簡単化するために、メッシュ状の布で計測対象物を覆い、両眼ステレオ法によって、メッシュの交差点を3角測量で求める方法を提案する。

## 2. 方法

### (1) メッシュ

物体全体の3次元画像計測を行う場合、受光センサの全領域が計測範囲となり、受光センサの解像度が3次元座標の分解能となる。例えば、300×300画素のカメラでは、60000点の点群データとなる。この中の必要な領域をCGやCADとして利用する場合には、この点群データから線や面などのデータへ変換する必要がある。しかし、点群には誤差が含まれており、計測値をそのまま利用して線や面を構築すると凹凸が生じる。そこで、実際には、計測データを元に作業者が特徴点を抽出し、CADデータ変換を行っており、求める3次元CADデータ生成には時間を要するのが現状である。これを解決するために、メッシュ状の布で人体部位を覆い、これを計測の対象点とする方法を提案する。メッシュの交差点を計測点とするため、メッシュの細かさを設定することで、分解能を任意に設定できるメリットがある。計測したい点をあらかじめ付与するため、点群からの抽出作業が不要となり、計測値をそのまま利用して、自動的にCADデータへ変換することが可能となる。

### (2) 細線化

実際にカメラで撮影したメッシュ画像は、ある幅をもった線分となり、メッシュの交差点も当然ある幅を持つことになる。交差点の追跡と特定を容易にするために、画像処理の図形認識などに広く用いられている細線化<sup>1)6)</sup>を利用した。細線化は、背景を0一画素、図形を1一画素とした2値画像を入力とし、図形領域を縮退させて中心部を

得るもので、背景と図形の境界から1画素ずつ細めるといものである。つまり、細線化は、元画像の連結性を保ったまま、太さ1の線分を求めることである。細線化の画素をたどることで、ある画素からある画素へ移動することができる。図1に細線化の結果を示す。

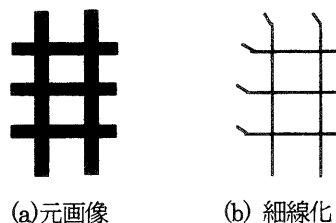


図1 細線化

細線化の手法はおおきく2種類に分けることができる。1つは、消去条件設定型で、消去できる画素の条件を設定して、それらの画素を除去するものである。もう1つは、中心線条件設定型で、中心線上にあるための条件を設定して、その条件を満足した画素を処理対象から外し、例外を削除するものである。本手法の細線化は、消去条件設定型を採用し、削除すべき点を2つ以上の連結点を持つ画素と定義し、図2に示す3×3のマスクによって画素消去を行った。

0	0	*	0	0	0	*	0	0	1	*	0
0	1	1	*	1	*	1	1	0	1	1	0
*	1	*	1	1	*	*	1	*	*	*	0

*	1	*	*	1	1	*	1	*	0	*	*
1	1	0	*	1	*	0	1	1	0	1	1
*	0	0	0	0	0	0	0	*	0	1	*

図2 細線化のマスク

### (3) 両眼ステレオ法

3次元計測では、図3に示す両眼ステレオ法を用いる。この方法は、2枚の画像で対応する同一の点( $M_L$ と $M_R$ )を決定する必要がある。対応点を自動的に求めるには、抽出条件を設定する必要があるが、一般的に画像中の特徴のある領域は、明暗が明確な箇所(エッジなど)しかなく、必要

な対応点を決定することは困難である。例え、特徴を捉えることができて、実際に類似した特徴を持つ画像が多く存在し、誤った対応点( $M_L$ と $M_R$ )を求めてしまう問題がある。この問題を解決する方法として、メッシュの交差点を対応点とすれば、対応点を容易に求めることができる。

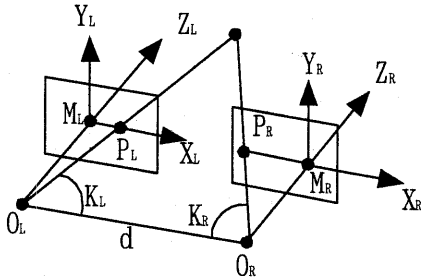


図3 両眼ステレオ法

(4) メッシュ交差点の抽出

メッシュの交差点を抽出するためには、細線化で得られた線図形に対して、図4に示す連結数を画素ごとに求めればよい。

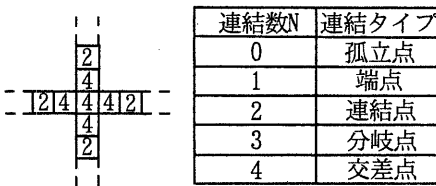


図4 連結数

しかし、実際にメッシュをCCDカメラで撮影した画像に細線化を行うと、8連結の場合、式1に表されるような方向性を考慮した連結数で表現できないケースが存在する。実際に線が交差している図形では、交差する角度によって細線化された

$x_4$	$x_3$	$x_2$
$x_5$	$x_0$	$x_1$
$x_6$	$x_7$	$x_8$

$$N = \sum_{k \in C} (\bar{f}(x_k) - \bar{f}(x_k) \bar{f}(x_{k+1}) \bar{f}(x_{k+2})) \quad \text{式1}$$

ただし、 $C = \{1, 3, 5, 7\}$ ,  $\bar{f} = 1 - f$ ,  $x_9 = x_1$

結果に歪みを生じる。この歪みを除去し、再接続する方法が提案されているが、一般的に3本以上の固定されたベクトルが1点で集結することは希である。このため、集結点の特定には補正処理を必要とする。本研究では、あらかじめ正方格子に近いメッシュを採用することで、ある一定の交差パターンを得た。この交差パターンの判定のために、交差判定マスクを設定し、これと比較することでメッシュの交差点を抽出した。本研究では、連結数を式2で単純化し、線図形の注目画素について、その8近傍に存在する1画素の和を注目画素の値として設定する。これを全ての線図形画素についてこの操作を行う。図5に示す交差判定パターンにより $N=4$ の $3 \times 3$ マスクを作成し、それと比較することで交差点を抽出した。

$$N = \sum_{k=1}^8 f(x_k) \quad \text{式2}$$

Nは連結数

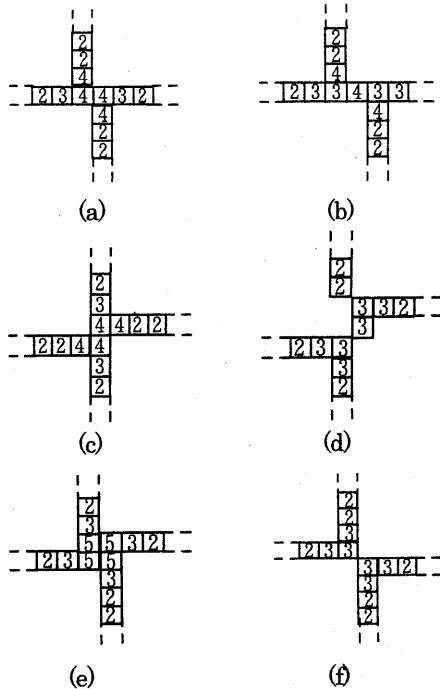


図5 交差判定パターン

### (5) メッシュ交差点追跡

メッシュ交差点の追跡は、連結数  $N=2$  の連結点をたどりながら、連結数  $N=4$  の交差点を検索する。検索方向の決定には、図6に示す方向コードを用いて、垂直方向、左方向、右方向の追跡を行う。追跡の順番は、マーカを付与した基準点から垂直方向へ始まり、連結数  $N=1$  の端点で終了する。次に垂直方向で求めた交差点から左右の方向への追跡を同様に行う。

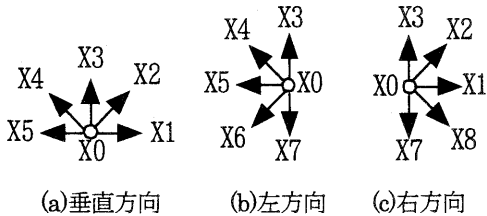


図6 方向コード

### (6) アルゴリズム

画像の捜査方法はラスタスキャンを使用し、すべての画素計算をコンピュータメモリ上で行った。このアルゴリズムを以下に説明する。

- 2値化により追跡対象となるメッシュの元図形を抽出する。
- メッシュ元図形に対して細線化を行い線幅1の線図形を得る
- 線図形の全画素に、8近傍距離による連結数を画素値として設定する。
- 方向コードにより連結点  $N=2$  をたどりながら、交差点  $N=4$  を検索し、交差判定マスクにより、交差点の座標を求め配列へ格納し、次の注目座標へ移動する。
- 連結点: 1の端点となるまで(d)を繰り返す
- 左右2つの画像の交差点配列から三角測量によって3次元座標を計算する。

## 3. 実験結果

人の足形を石膏で作成し、それにマスキングテープをメッシュ状に貼ったものを実験対象物とした。これを図7に示す。複数データの張り合わせ

のために、メッシュの交差点の数力所に、色のついたマーカを貼付してある。

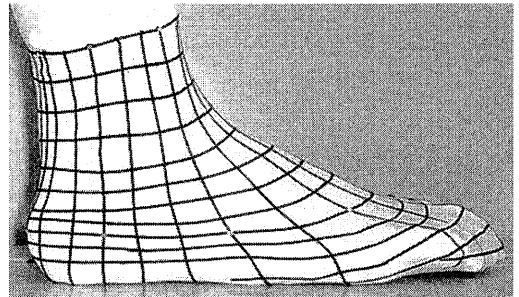


図7 元画像

画像処理及び3角測量は Microsoft VC++で作成し、ハードウェアは Pentium III 500MHz, 128 MB メモリで実験した。画像の撮影は市販のデジタルカメラ: 1024×756画素を2台使用した。プログラムでは、左右2枚の画像をメモリに読み込み、2値化、細線化、メッシュ交差点抽出、3角測量の計算を順次行った。左右2枚の画像処理では、細線化の処理時間が一番長く、約1分を要した。この結果を図8細線化に示す。

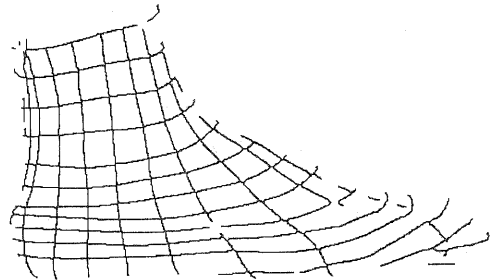


図8 細線化

3角測量の計算に必要なカメラレンズの角度を求めするために、図9に示すようなカメラのキャリブレーションを行った。5度の角度に設定した格子パターンを撮影し、1画素あたりの角度を算出した。2台のカメラを110mm間隔で並行に設置し撮影を行った。

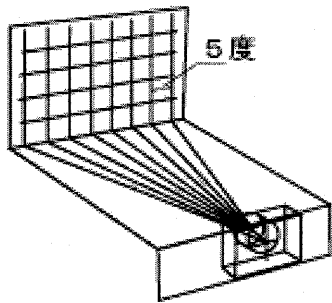
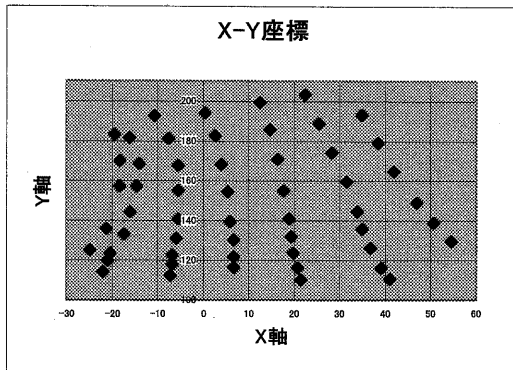


図9 カメラのキャリブレーション

3角測量の計測結果を表1 X-Y座標に示す。原点(0, 0)は左カメラのレンズの中心に設定している。この結果からメッシュの交差点が抽出され、3次元画像を得たことがわかる。計測精度はX軸の端に行くほど悪くなり、実測値との比較では、最大2mmの誤差が生じた。しかし、画像の中心部では誤差が1mm以下と良好な値を示した。

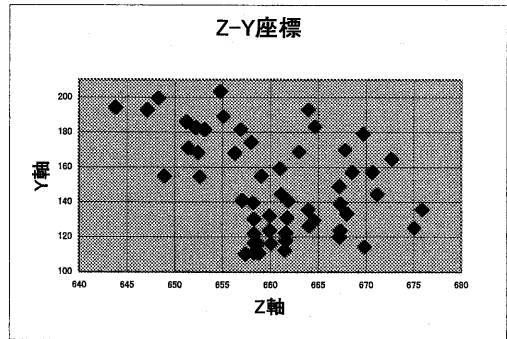
表1 X-Y座標



奥行き(Z座標)の実験結果を表2 Y-Z座標に示す。この表では、Z方向のばらつきが認められるが、くるぶしあたりの凹凸の激しい箇所を再現しているのがわかる。今回は、奥行き情報の実測値を得ることができず比較することができな

ったが、見た目では誤差が大きいことがわかった。

表2 Z-Y座標



#### 4. 考 察

今回の実験では、3次元計測の奥行き(Z方向)の精度が悪いことが判明した。これは、カメラのキャリブレーションを2台のうち1台しか行わなかったことや、カメラ間隔が狭かったことが原因と考えられる。カメラ間隔を大きくすると、2台のカメラの撮影範囲に対象物を入れるために、遠方に対象物を設置しなければならない。また、2台のカメラを厳密に平行に設置できていないことが、誤差が生まれる原因と考える。この問題は、カメラ設置を平行ではなく、一定の角度をつけて撮影することで対象物を視野角に入れることが可能となる。しかし、カメラのキャリブレーションを精密に行ったとしても、両眼ステレオ法では、対応点の誤差が必ず含まれるため精度は不十分となる。人体計測の場合、体調や気温、湿度、水分などによって微妙に形状が変化しているため、厳密解を持たない。このような計測では、数ミリの誤差範囲で十分である。

#### 5. お わ り に

3次元座標の奥行き(Z方向)の精度の悪さは、カメラの設置方法、キャリブレーションなどを調整することで今後改善を図る予定である。また、メッシュを利用するメリットは、全体の3次元デ

ータを自動で生成できることである。メッシュの交差点に色マーカを付与し、これを基準にして複数枚の画像データを張り合わせる方法を提案する。今回は張り合わせの実験を行っていないが、今後プログラムを開発していく予定である。本論文では、メッシュの交差点を抽出するために、交差判定パターンを利用したが、すべての交差パターンを一定の交差型に修正することで、検索時間を短縮することができる。また、時間を要している細線化処理を高速化することで全体のパフォーマンスを改善する予定である。

#### 参 考 文 献

- 1) 鈴木 智:細線化アルゴリズムの高速化に関する考察, 情報処理学会論文誌, Vol. 29, No. 10, pp. 925-932 (1988).
- 2) 鶴岡, 木村, 吉村, 横井, 三宅:デジタル図形の一細線化法と手書き文字認識システムへの応用, 電子通信学会論文誌, Vol. J66-D, No. 5, pp. 525-532 (1983).
- 3) 岡田, 小倉, 村上:水平・垂直線要素の分類を用いた線順次型細線化法, 電子通信学会論文誌, Vol. J64-D, No. 5, pp. 403-410 (1981).
- 4) 鈴木, 阿部:距離情報を利用した逐次型細線化アルゴリズム, 電子通信学会論文誌, Vol. J68-D, No.4, pp. 473-480 (1985).
- 5) 塩野, 蔭山, 真田, 手塚:平滑度可変の細線化アルゴリズム, 電子通信学会研究会資料, IE 78-42 (1978).
- 6) 中山, 木村, 吉川, 福村:大規模画像に対する細線化アルゴリズムのパイプライン方式による効率化, 電子通信学会論文誌, Vol. J67-D, No.7, pp.761-767 (1984).
- 7) 中村, 何, 伊藤:SRAMCs:細線化骨格の歪み補正手法について, 情報処理学会論文誌, Vol. 40, No.2, pp.768-771 (1999).