

単眼カメラを用いた3次元スキャナ\*

3N-1

松本 幸則 寺崎 肇 杉本 和英 荒川 勉†

三洋電機(株) 東京情報通信研究所‡

1 はじめに

近年、CPUの高速化や3次元画像アクセラレータの性能価格比の向上などを背景に、マルチメディア機器における3次元画像の取り扱いが極めて重要になっている。特に、インターネット上での3次元画像通信は大きな注目を集めており、VRMLブラウザが広まりつつある。

インターネット環境では、情報発信者たる一般ユーザーによって3次元画像を生成する機会が増すと考えられる。しかし、実物体画像の入力を考えた場合、現在の市販システムでは、多大な労力が必要、あるいは装置が大規模かつ高価という問題があった。

われわれは、簡便かつコンパクトな3次元画像生成ツールの実用化を目指し、単眼カメラを用いた3次元スキャナを開発した。以下、本スキャナについて説明する。

2 システム構成

本3次元スキャナは、回転テーブル、カメラ、およびPC(Personal Computer)からなる(図1)。ここではスリット光やレーザ光など特殊な光源は不要であり、極めてコンパクトな構成となっている。また、ポータビリティを重視し、物体形状獲得時においてクロマキーなど特殊な背景は不要なアルゴリズムを採用している。

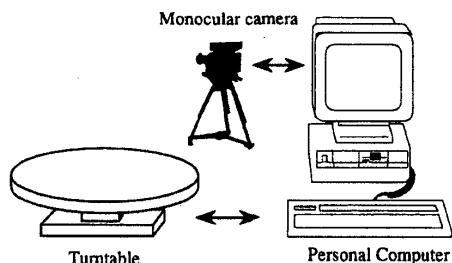


図1: システム構成

3 アルゴリズム

本3次元スキャナは、輪郭線からの3次元形状再構成アルゴリズム[3]を基本とし、以下の6ステップの処理を施すことで3次元モデルを作成する。

1. キャリブレーション
2. 画像撮影

3. シルエット生成
4. ボーテイング処理
5. ポリゴン記述
6. テクスチャ獲得

以下、各ステップについて説明する。

3.1 キャリブレーション

形状が既知の物体をテーブル上で回転させながら撮影すれば、カメラ固有のパースペクティブパラメータ、および回転テーブル座標系とカメラ座標系の変換行列を求めることができる。現実装では、基準ブロックを用いてキャリブレーションを行なっている。

3.2 画像撮影

対象物体を回転テーブルに載せ、テーブルを回転しつつ対象物体画像を複数枚入力する。これに加えて、次ステップのシルエット抽出のため、背景画像も撮影する。

3.3 シルエット抽出

対象物体画像と背景画像間の差分処理により、対象物体のみを切り出したシルエット画像を生成する。本スキャナでは、素朴な画像間差分ではなく、領域分割処理を加えた画像差分を行うことで、生成シルエット画像精度の向上をはかっている。

具体的な処理内容を以下に示す。

1. 物体画像の領域分割
2. 領域単位での背景画像との差分処理
3. 領域単位の差分平均を閾値処理し物体部分を抽出

本手法は、画素レベルで背景と同色のものが存在しても、領域レベルにおいて背景と異なる色があれば、多くの場合、物体部分として検出できるという性質を持つ。この性質により、特殊な撮影環境が不要で、かつ、安定したシルエット画像生成が可能となっている。

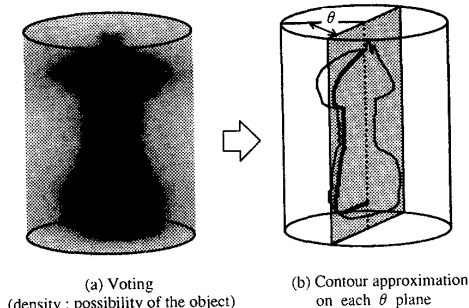


図2: ボーテイングと輪郭線の近似

\*Three-dimensional scanner using a monocular camera system

†Yukinori MATSUMOTO, Hajime TERASAKI, Kazuhide SUGIMOTO, Tsutomu ARAKAWA

‡Tokyo Information & Communication Research Center, SANYO Electric Co., Ltd.

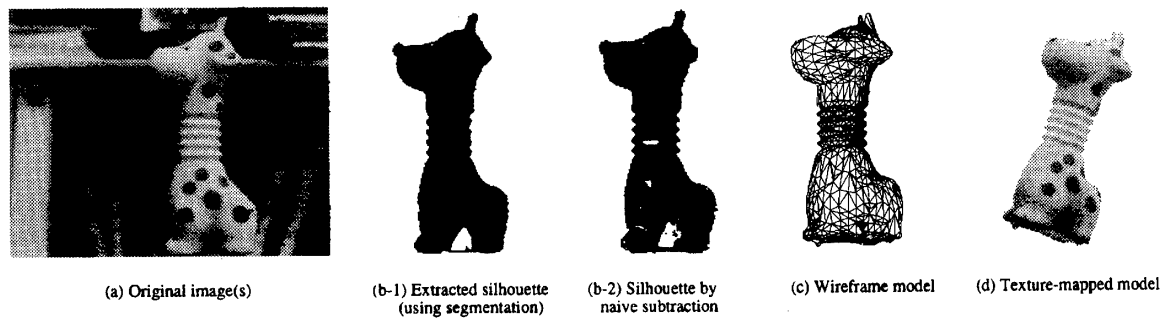


図 3: 処理過程

### 3.4 ボーティング処理

シルエット画像をもとに、円筒座標系ボクセル空間へボーティング処理 (2-(a)) し、これに閾値処理を施すことで対象物体の存在する3次元領域が決定される。

ボクセル空間を用いた3次元形状再構成手法としては、他に錐体相貫法 [2] があるが、生成シルエット画像の誤差に弱いという問題があった。本3次元スキャナで採用した手法は、基となるシルエット画像に誤りが含まれている場合でも、獲得3次元形状の精度低下が小さいという特長をもつ。

### 3.5 ポリゴン記述

本ステップでは、ボクセル空間で表現された物体領域を、ポリゴン (三角パッチ) を用いた表面モデルで表現するよう変換する。ここでは、表現に必要なポリゴン数を少なく抑え、かつ、表現形状の精度を維持することが要求される。本スキャナでは、下記の方法によってポリゴン生成することで、これら要求点を満たしている。

1. 頂点設定 — 円筒座標系  $\theta$  平面での切断面輪郭線 (図 2(b)) を多角形近似 [1] し、ポリゴン頂点を決定する。
2. 三角パッチ生成 — 各頂点をそれぞれ最近接3頂点と接続することで三角パッチを生成する。

なお、現実装では、ステップ1の多角形近似処理において、近似誤差を1画素以下に抑えるように設定している。この値を変更することにより、ポリゴン数の制御が可能である。

### 3.6 テクスチャ情報獲得

本処理では、各ポリゴンに対応したテクスチャを物体画像から獲得する。具体的には、各ポリゴンのテクスチャ情報を与える物体画像 (以後、参照画像と呼ぶ) を決定した後、ポリゴンを参照画像に投影し、その投影部分の色彩をテクスチャ情報とする。

さて、適切な参照画像決定において考慮すべき点は、

1. テクスチャ情報量の大きい参照画像の選択
2. ポリゴン境界線の隠蔽

となる。ここで、1の観点からは、参照画像へのポリゴン投影面積は大きい方が望ましい。一方、2の観点からは、隣接ポリゴンの参照画像は同じであることが望ましく、異なる場合でも撮影角度差は小さいことが望ましい。

そこで、以下に示すエネルギー最小化問題を解くことで、ポリゴンの参照画像を決定することにした。具体的には、各参照画像に撮影角度に従って番号付けしておき、各ポリゴンと参照画像番号との対応づけ (ラベリング) 問

題を緩和法で解く。

$$E = \sum_i Penalty(i) - k * Area(i)$$

ここで、 $Area(i)$  はポリゴン  $i$  の参照画像への投影面積、 $Penalty(i)$  はポリゴン  $i$  とその隣接ポリゴンとの参照画像番号 (ラベル) の差、 $k$  はこれらの結合係数である。

さらに、上記ラベリング結果で求められた物体画像のみならず、その前後画像のテクスチャ情報も利用し、これらを平均化処理することで、ポリゴン境界での画像連続性を高めている。

## 4 実験結果

玩具を対象とし、本スキャナを用いて3次元データを作成した。図3に原画像 (物体画像)、中間データ、および最終出力画像を示す。また、図3(b-1)(b-2) は領域分割を併用したシルエット画像、および単純差分によるシルエット画像を比較表示している。これから領域分割を併用したシルエット抽出処理が高精度であることが分かる。なお、全体の処理時間は Sun SPARC Server 1000(50MHz, 1CPUのみ使用) を用いて約20分であった。

## 5 おわりに

単眼カメラを用いた、簡易かつコンパクトな3次元スキャナシステムについて報告した。本スキャナは、輪郭情報を利用した3次元形状再構成を基本アルゴリズムとし、特に、シルエット生成処理、およびテクスチャ獲得処理において実用性を重視した工夫を施している。

本手法の問題点としては、回転軸直交面において凹形状を持つ物体に関しては、獲得形状の誤差が大きくなることあげられる。このため、現在、1:複数方向からの撮影画像の利用、および2:動き情報の利用、により、凹形状物体にも対応できるよう改良を進めている。また、将来的には、回転テーブルを用いない極めてコンパクトなスキャナを開発する予定である。

## 参考文献

- [1] U.Ramer: "An Iterative Procedure for the Polygonal Approximation of Plane Curves", CGIP, Vol.1, pp.244-256, 1972
- [2] 佐藤, 藤田: "局面物体の形状測定と記述", 信学論, Vol.J62-D-II, No.1, pp.1-7, 1979
- [3] P.Giblin and R.Weiss: "Reconstruction of Surface from Profiles", ICCV, pp.136-144, 1987