

ロボットビジョンのための 統合的な3次元構造復元・認識システムに関する研究

法政大学工学部情報電気電子工学科

岩月 正見

1 はじめに

ロボットビジョン研究において、ステレオビジョンによる3次元構造の復元の手法に関する研究は、比較的古くから行われており、特に、注目点に対する近傍の局所的なパターンの相関値を用いて対応付けを行う area-based matching による手法は、数多く提案されている。area-based matching に基づくステレオ視の大きな特長は、密な視差マップが得られるということである。しかし、画像中に繰り返しパターンが存在するような場合、一意に対応付けすることができず、視差を決定できないという大きな問題点がある。

そこで、本研究では、まず平行ステレオ画像をスキャンラインごとに色領域分割して照合していくことにより、ロバストな対応付けを行う新しいステレオマッチングの手法を提案する [5, 9]。この手法では、左右画像の同一スキャンラインをまとめて色領域分割し、両側の領域の色クラスが一致している境界を対応境界として、これらの境界の連続系列が最長となる色パターンを検出するだけでよい。コスト計算を行うことなく、動的計画法よりも単純なアルゴリズムで高速にマッチングを行えるという大きな利点がある。しかしながら、この手法を用いても、画像中に同一色の領域が多く存在する部分での誤対応が避けられず、正確な3次元構造が復元できない場合がある。さらに、各スキャンライン上の同一色セグメントの境界を用いてマッチングを行っているため、色領域内部の視差については、直線的な補間を行って3次元構造を復元しており、曲面を正確に復元することができないという問題点もある。

この問題に対処するため、画像全体での色領域分割結果とスキャンラインごとの対応点探索結果から、境界上の対応点が最大の領域を選ぶことにより、正確な対応領域を決定し、誤対応を削除する手法をさらに提案する [13, 18, 28]。本手法では、得られた対応領域の境界に対して準最適な3次元折れ線近似を行って、領域のコーナーを取得することにより、3次元構造を復元するのに十分な輪郭情報のみを抽出している。これにより、復元のために必要な3次元情報を大幅に削減できる。最終的に、領域輪郭のコーナーの視差情報に基づいて、領域内部をドロネー分割し、有限要素法を用いて色領域内部の視差を補間することにより、三角形ポリゴンを用いて、対応領域を面として復元できる。

2 前処理

2.1 ハンド・アイキャリブレーション

ロボットのハンドに搭載した1台のカメラを用いて、スキャンラインステレオマッチングを行うためには、カメラキャリブレーションにより、画像中心や焦点距離などのカメラの内部パラメータを正確に求めておく必要がある。さらに、カメラの姿勢と光学中心の3次元位置をロボットハンド座標系からの相対座標として正確に求めておかないと物体の3次元構造を高精度に復元することはできない。このためには、ロボットの稼動範囲をできるだけ網羅するようにカメラを回転・移動させて、キャリブレーションパターンを複数の位置姿勢から撮影する必要がある。本研究では、これを実現するため、従来のビジュアルサーボの手法を改良し、大きな回転に対しても有効な円筒座標系に基づく手法を提案している。これにより、あらかじめ複数枚のキャリブレーションパターン画像をゴール画像として与えておくだけで、自動的にハンド・アイキャリブレーションが行える手法を開発した [17, 22, 24, 25, 26, 27]。

2.2 色領域分割

本手法では、色領域の境界対応により誤対応を削除し、その領域を面として復元するため、画像全体に対して領域分割を行って、2次元的に同一色領域を分割する必要がある。

平行ステレオ画像に対して、色領域分割画像を得るための処理の流れを以下に示す。

Step 1: SUSAN 平滑化フィルタを用いて雑音を除去する。

Step 2: 色空間をコンピュータ上のカラー画像フレームメモリとして一般に使われる RGB 系から、 $L^*a^*b^*$ 表色系へと変換する。

Step 3: 非階層的クラスタリング (ISODATA 法) を用いて、左右画像を一つの分割対象画像とし、画像全体で色領域分割を行う。

Step 4: 色領域に分割された画像は、同じ色である二つの領域が、画像中で離れて存在していても一つの領域として扱われてしまうので、ラベリング処理を行うことにより、これらの領域を連結成分ごとに分離する。

3 対応点探索

本手法では、画像全体で領域分割されたステレオ画像から色領域の境界をそれぞれ抽出し、境界の左右領域の色情報をもとに、スキャンラインごとに、以下で説明するような対応表を作成し、対応境界の1次候補を求める。

Fig.1 のような単純なステレオ画像を例にとり、領域境界の対応表の作成手順について説明する。画像中の第 i 番目のスキャンラインが、Fig.2 のように、左右画像で、それぞれ六つと五つの色領域に分割されているとする。ただし、 A, B, C, D はそれぞれの領域の色を、番号 1~6 は領域の境界を表している。左画像の境界の両側の色に対して、右画像の境界の両側の色の対応関係には、つぎの四つの場合がある。

- 左右両側とも一致している。
- 右側のみ一致している。
- 左側のみ一致している。
- どちらとも一致していない。

したがって、右画像のそれぞれの境界の両側とも色が一致すればそのマス塗りつぶし、右側のみ一致すれば右下向きの三角形、左側のみ一致すれば左上向きの三角形、両側とも一致しない場合は空欄として、対応表を作成すると、Fig.2 のような領域分割結果に対して、Fig.3 のような対応表が得られる。

このようにして得られた対応表において、シーン中の対象物部分に、オクルージョンやノイズがまったく存在しなければ、Fig.3 のように、その部分では、対応表の対角線方向の要素が連続して両側対応となることは明らかである。また、Fig.1 の領域 D のように、オクルージョンにより一方の画像にのみ領域が存在する場合は、未対応領域として削除される。このようなオクルージョンやノイズは画像中の一部にしか存在しないと仮定すれば、ほとんどの領域で対角線方向に両側対応が連続していることになる。したがって、色領域境界の対応が最長となるように対応境界を選択する、すなわち Fig.3 で示される対応表の場合、 M と記している境界を対応点とすることが自然であり、これにより繰り返しパターンが存在するような場合でも誤対応を軽減することができる。そこで、以下で述べるような手順を用いて、単に両側対応が連続する最長の対角線方向の要素をもつ部分を抽出することにより、対応境界を決定する。

Step 1: 対応境界の視差は、ある適当に決められた範囲内にあるとしている。この条件に満たさないものは、対応境界の候補からはずす。

Step 2: 両側対応が連続する対角線方向の要素のうち、最長要素を最も信頼できるものとして採用し、対応境界として抽出する。

Step 3: 得られた部分要素を含むすべての行と列に対して最長対角線要素のみ対応境界とし、ほかをすべて空欄、つまり非対応とする。

Step 4: 対応表が対応境界と空欄のみになるまで、Step 2, Step 3 を繰り返す。

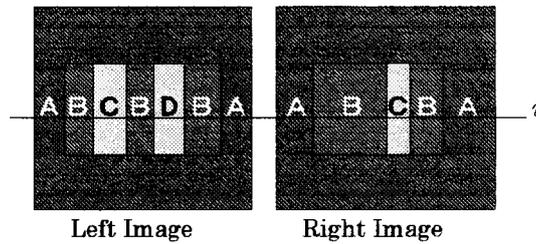


図 1: Stereo images



図 2: Result of color segmentation on a scanline

R \ L	1	2	3	4
1	M			
2		M		
3			M	
4				M
5				
6				M

 : Correspondence on both sides
 : Correspondence on left side
 : Correspondence on right side
 Blank : No correspondence

図 3: Correspondence table

Step 5: 求められた対応境界の系列からなる領域の左端に、ある程度以上の長さの右側対応の境界が隣接し、同一行あるいは同一列に他の両側あるいは片側対応境界がなければ、その右片側対応の境界も対応境界とする。対応領域の連続系列の右端についても、上記と同様に処理する。

Step 6: 最後に、対応付けされずに残った境界点は、未対応として削除する。

本手法では、対応境界の順序が入れ替わらないという条件を必要としないため、従来のステレオビジョンでは対応探索が困難であった narrow occlusion を含むシーンに対してもマッチングを行うことができるという大きな利点を有している。

4 対応領域の決定と誤対応の削除

前章で述べた手法を用いれば、繰り返しパターンに対して誤対応の少ない対応境界を決定できるが、色領域分割などの影響により、同じ色の領域が多数存在する部分では、無視できない数の誤対応が含まれ、正確な 3 次元構造を復元できない場合がある。そこで、領域分割によって連結成分ごとに分離されている領域境界の対応の数を調べ、最も多く対応がとられている境界どうしを対応領域として採用することにより、誤対応となっている対応境界を検出する。

4.1 対応領域の決定

まず、前章で述べた手法を用いて、すべてのスキャンラインについて対応点探索を行う。その後、ラベリング処理された画像中における各ラベル番号の領域の輪郭上で対応境界の数を求める。誤対応の境界は正しい対応の境界に比べて少数である、という仮定に基づき、最も多く対応がとられている境界同士を対応領域として採用する。Fig.4 の例に示すように、左画像の領域 A, B, C と右画像の領域 D, E の対応境界が同一色領域として対応付け

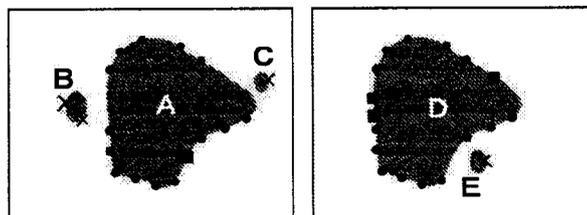


図 4: Fault correspondences on contours of similar color regions

表 1: Number of correspondences

Region	Number (left)	Region	Number (right)
A	15	D	17
B	2	E	1
C	1		

され、Table 1 のように対応境界点数が求められたとする。このとき、対応境界数が最も多い領域 A と D が対応領域として決定され、領域 B, C, E の境界は誤対応とみなす。

このように、本手法では、左画像中の一領域と照合画像の全領域との対応点数を比較し、対応点数が最大のものを対応領域としている。さらに、照合精度の悪い微小領域や対応境界点数の少ない領域を削除するため、対応境界点数が、あるしきい値以上あるような対応境界のみを採用している。すなわち、対応点数がしきい値以下の微小領域や、Fig.5 のように、対応点数がしきい値以上でも、他の照合領域と比較して対応境界点数が最大ではない領域は、未対応領域として削除される。後述する実験では、対応領域として採用する対応点数のしきい値を 10 点以上としている。

未対応領域が生じる大きな原因の一つとして、同一対象物であるにもかかわらず、Fig.5 のように、左右画像で領域分割結果が異なるため、領域の一部が未対応領域として欠けてしまう場合や、隠ぺいによって一方の画像にのみ色領域が存在しない場合が考えられる。

4.2 領域対応による誤対応の削除

前節で述べたように対応領域と誤対応境界を決めることができれば、誤対応を削除することができる。本手法では、誤対応と判定された領域 B, C, E 上の対応境界点は、単純に削除する。

このような削除によっても誤対応領域が残る可能性としては、シーン中に色領域系列のパターンがほぼ同一の対象物が二つ以上存在し、どちらかの画像中で、そのうちの一つの対象物が、オクルージョンにより見えないような場合がある。また、領域分割結果が左右画像で大きく異なる場合や、オクルージョンにより左右画像で領域形状が大きく異なる場合、誤対応削除を行っても、誤対応領域が残ってしまう可能性がある。しかしながら、このような場合でも左右画像の色領域分割結果において、色領域の系列パターンが一致していなければ、誤対応は生じないので、スキャンライン上で同一色パターン系列をもつ対象物が複数存在しなければ、その可能性は極めて小さいと考えられる。

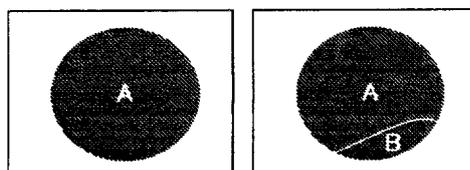


図 5: Noncorresponding region

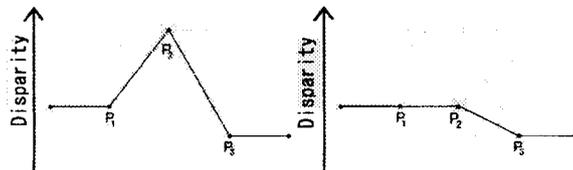


図 6: Modification of disparity by using a median filter

4.3 メディアンフィルタによる視差の修正

領域輪郭上のある対応境界の視差は、ステップ状に変化することはあり得るが、ある境界対応点の視差のみが突然変化し、その前後の視差と大きく異なっているということはほとんどありえない。そこで、Fig.6 に示すように、ある領域輪郭上で、注目する対応境界とその前後の対応境界の視差を比較して、注目対応境界をそれらのメディアン値に変更することにより、異常な奥行き値をもつ対応境界の視差を修正する。

5 領域輪郭の3次元折れ線近似

前章までで得られた領域輪郭に対して、折れ線近似を行うことにより、3次元構造復元のために必要な対応点の数を大幅に削減できる。ただし、領域輪郭を2次元的に折れ線近似すると、奥行き方向の変化をまったく無視してしまうことになるので、3次元的な輪郭形状を復元するためには、画像座標 (x, y) と左右画像間の視差値 z に基づいて、3次元的に折れ線近似を行う必要がある。そこで、本手法では、準最適な3次元折れ線近似の手法を用いて、3次元的な領域輪郭上の点の位置を (x, y, z) とし、そのコーナー座標を抽出する。本章では、その折れ線近似の手法について述べる。

5.1 折れ線候補の取得

Fig.7 のような領域輪郭が得られたとして、折れ線候補を抽出する手順を以下に示す。ただし、ここでは説明を簡単にするため、2次元的な輪郭形状を例とした図を用いているが、アルゴリズム的には3次元形状に対してもまったく同様に適用できる。

まず、輪郭形状を近似する折れ線の候補を、以下のような手順で取得する。

Step 1: 領域輪郭上の任意の点 A と最も長い距離の輪郭上の点を線分 a で結び、二つに分割する。

Step 2: 分割された領域境界について、線分 a との距離が最長の点を探し、得られた点と領域境界の始点と終点とを結ぶ線分 b, c, d, e を引き、Fig.8 のように二分木を作成する。

Step 3: Step 2 を繰り返して、領域境界と線分との距離があるしきい値 T 以下になるまで行う。描かれた線分はすべて近似する折れ線の候補となる。

5.2 準最適な折れ線を選択

前節で得られた折れ線候補に対して、つぎのような評価式を用いて折れ線近似することにより、少ない特徴点で準最適に領域輪郭を復元することができる。

$$r = D/L \quad (1)$$

ここで、 D は領域輪郭と線分との距離、 L は線分の長さである。上式において、 D が小さいほど領域輪郭と折れ線との距離が小さく、また、 L が大きいほど折れ線を長くすることができる。したがって、(1) 式の値が小さい折れ線を採用すれば、より少ない本数で、近似度の高い折れ線近似が行えることがわかる。

以下に、Fig.8 のような二分木を例にとり、準最適な折れ線を選択するための処理手順を以下に示す。

Step 1: 一つ目の二分木において、最下層の線分 f, g について (1) 式を計算する。

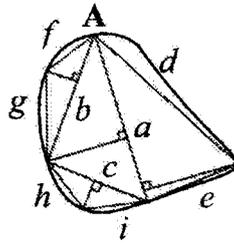


図 7: Contour and line segments of a region

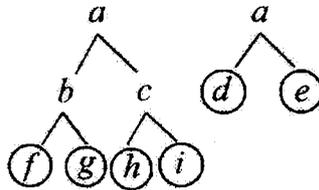


図 8: Binary tree

Step 2: 一つ上の階層である線分 b について (1) 式を計算し, f, g の計算結果のうち小さい方と比較し, 大きい方の階層を候補からはずす. c, h, i についても同様の処理を行う.

Step 3: さらに上の階層 a について (1) 式を計算し, Step 2 と同様の処理を行い, 計算結果の小さい方を近似する準最適な折れ線として採用する. もう一方の二分木についても同様に処理を行う.

6 領域の内部補間

前節までに述べた手法によって得られる領域の奥行き情報は境界のみであり, 三角形ポリゴンを用いて, 領域を面として復元するには, 色領域内部を面要素に分割し, これらの頂点の視差情報を補間しなければならない. そこで本手法では, ドロネー分割を用いて, 領域輪郭の点群から領域内部を三角形に分割し, それら点群の視差を境界条件として有限要素法により領域内部の視差を補間する.

6.1 ドロネー分割による領域の三角形分割

前章で述べた手法によって得られた色領域輪郭の 3 次元折れ線近似の結果に基づいて, ドロネー分割により, 領域内部を三角形ポリゴン群に分割する. ここでは, 2 次元ドロネー法を用いて領域内部を面要素に分割する. しかし, 領域の面積は, それを見込む方向によって大きく変化するので, なるべく少ないポリゴン数で, 正三角形に近いポリゴンを得るためには, 領域を一番大きく見込める方向を求める必要がある. そこで, 本手法では, 領域輪郭上の対応点群により構成される平面を近似的に求め, その平面に領域輪郭を射影した後, ドロネー分割を行う. 以下に, その処理の流れを示す.

Step 1: 画像座標と視差をそれぞれ (x, y) と z とし, 領域輪郭の折れ線を構成するコーナーの 3 次元座標 (x, y, z) から, 最小二乗誤差の意味で最適な平面方程式 $ax + by + cz = 1$ を特異値分解により求める.

Step 2: Step 1 で求めた平面に, 領域輪郭上の点を射影し, ドロネー分割を行う.

Step 3: 次節で述べる有限要素法により領域内部の 3 次元位置を推定し, 領域を面として復元する.

6.2 有限要素法による領域の奥行き情報の補間

ドロネー分割を用いれば, 色領域内部を三角形ポリゴンに分割することができるが, 本手法によって取得できる視差情報は領域境界のみであるため, 内部の三角形要素の頂点の視差情報を補間する必要がある. そこで, 領

域境界の奥行き情報を境界条件として有限要素法を用いて、次式で表されるラプラス方程式を満たすように内部を補間する。

$$\frac{\partial^2 z(x,y)}{\partial^2 x} + \frac{\partial^2 z(x,y)}{\partial^2 y} = 0 \quad (2)$$

上式は奥行きの変化率を最小にするように領域内部を補間することを意味しており、物理的には、固定境界にゴム膜を張り付けた状態を表している。

7 実験結果

本実験ではロボットマニピュレータ上にカラー CCD カメラを搭載し、ステレオ画像を取得した。CCD カメラは、あらかじめ正確にキャリブレーションされていて、左右画像のエピポーラ線が同一スキャンラインとなるように平行化されている。

7.1 視差の大きな物体を含むシーン

Fig.9 に示すような、手前の物体の視差が非常に大きく、対応点の順序が左右画像で入れ替わっているような narrow occlusion を含む平行ステレオ画像に対して、物体の3次元構造を面として復元し、二つの異なる視点から見た結果を Fig.10 と Fig.11 に示す。これらの図からわかるように、大きく視線方向が違うため、前方の対象物の側面が右画像にのみにしか見えただけでなく、前面と同一色系列パターンを有するため、この側面部分が誤対応領域として残ってしまっているが、本手法を用いれば、視差の大きなステレオ画像に対しても、物体の3次元構造を比較的精度よく復元できることがわかる。

7.2 繰り返しパターンとオクルージョンを含むシーン

繰り返しパターンとオクルージョンを含んだ Fig.12 に対する復元結果を Fig.13 と Fig.14 に示す。これらの図から、ステレオ画像中に、繰り返しパターンとオクルージョンが同時に存在するシーンに対しても、ほぼ正確に物体の曲面の3次元構造が復元されていることがわかる。また、陰影の影響で、背景の一樣色領域の領域分割結果が分離して、対応がとられているが、左右画像の分割結果に差異があまりなかったため、この部分も比較的精度よく復元されていることがわかる。

8 おわりに

本研究では、画像全体での色領域分割結果とスキャンラインごとの対応点探索結果から、境界上の対応点最大の領域を選ぶことにより、正確な対応領域を決定し、誤対応を修正できる手法を提案した。本手法を用いれば、領域輪郭のコーナーの視差情報に基づいて、領域内部をドロネー分割し、有限要素法を用いて色領域内部の視差を補間することにより、三角形ポリゴンを用いて、対応領域を面として復元できる。本手法では、色領域分割の影響により、画像中の小領域が多い部分や、人間の顔など、色領域分割結果が一樣な領域になるようなシーンに対して、3次元構造を正確に復元するのは難しい。しかしながら、人工的な環境で作業するロボットの視覚として考えた場合、本手法は十分有効であると思われる。

さらに、本研究では、領域分割によって得られた一樣色領域の特徴量から直接対応付けを行い、面の3次元構造を復元する手法 [1, 3, 4, 7, 21]、テクスチャ領域と一樣色領域を分離してそれぞれの特徴量に適した対応付けを行う手法 [6, 10, 16, 19]、相関ステレオ法と色領域分割による手法を融合し、誤対応を軽減する手法 [2, 11, 14, 23] などを提案しているが、紙数の都合上、詳細は文献を参照されたい。

謝辞

本研究は、(財)高柳記念電子科学技術振興財団の平成12年度研究助成を受けて行われたことを記し、深く感謝いたします。

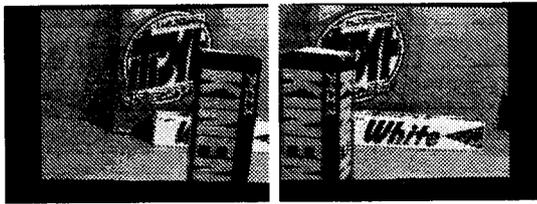


図 9: Rectified stereo images with narrow occlusions

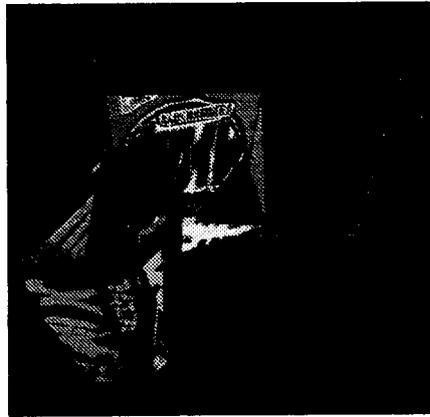


図 10: 3D reconstruction

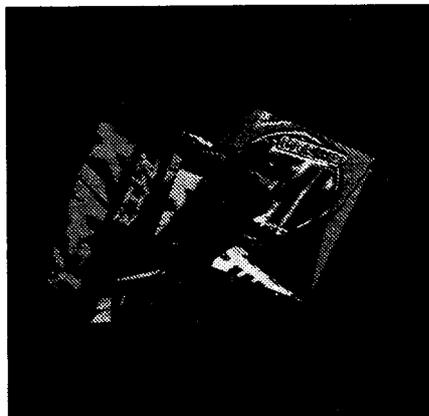


図 11: 3D reconstruction from an another view

参考文献

- [1] 河野祐輔, 北川大二, 岩月正見, 色領域分割による領域輪郭の 3 次元形状復元, 法政大学計算科学研究センター研究報告, 第 13 巻, pp.79-84 (2000)
- [2] 工藤弘義, 岩月正見, 相関ステレオ法のための色領域分割による探索範囲の限定, 法政大学計算科学研究センター研究報告, 第 13 巻, pp.85-90 (2000)
- [3] 阿部伸生, 岩月正見, テクスチャを用いた曲面の領域照合と 3 次元形状の復元, 法政大学計算科学研究センター研究報告, 第 13 巻, pp.91-96 (2000)
- [4] 岩月正見, 鈴木浩二, 山口剛弘, 階層的な領域分割によるステレオビジョン, 計測自動制御学会論文集, Vol.36, No.11, pp.887-893 (2000)
- [5] 岩月正見, 鈴木浩二, 山口剛弘, スキャンラインごとの色領域分割を用いたステレオマッチング, 計測自動制御学会論文集, Vol.36, No.11, pp.1037-1043 (2000)
- [6] 岩月正見, 阿部伸生, 佐藤正太, テクスチャ面の分離と照合による 3 次元形状の復元, 第 18 回日本ロボット学会学術講演会予稿集 (2000)
- [7] 秋元崇, 斎藤宏尚, 浜野洋二, 岩月正見, 領域分割に基づくステレオビジョンにおける復元精度の向上, 法政大学計算科学研究センター研究報告, 第 14 巻, pp.21-26 (2001)

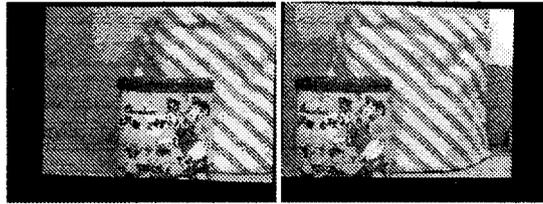


図 12: Rectified stereo images with occlusions and repetitive patterns

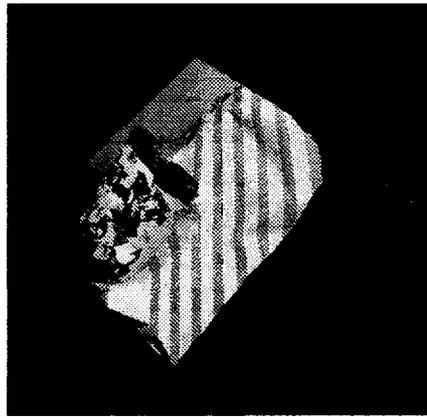


図 13: 3D reconstruction

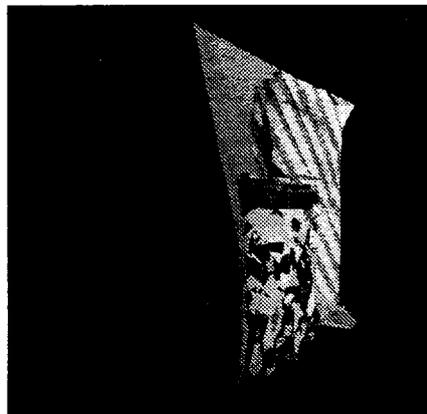


図 14: 3D reconstruction from an another view

- [8] 大石友明, 勝又美由紀, 岩月正見, アクティブビジョンによる3次元形状復元の高精度化と完全化, 法政大学計算科学研究センター研究報告, 第14巻, pp.27-32 (2001)
- [9] 小笠原豊和, 片瀬有一, 岩月正見, 輪郭視差の整合性を考慮したスキャンラインステレオマッチング, 法政大学計算科学研究センター研究報告, 第14巻, pp.33-38 (2001)
- [10] 佐藤正太, 阿部伸生, 岩月正見, 一様色領域とテクスチャ領域の分離による3次元形状の復元, 法政大学計算科学研究センター研究報告, 第14巻, pp.39-44 (2001)
- [11] 鈴木俊生, 瀬戸義仁, 岩月正見, 相関ステレオ法のための探索範囲の限定と隠ぺいの検出, 法政大学計算科学研究センター研究報告, 第14巻, pp.45-50 (2001)
- [12] 秋元崇, 斎藤宏尚, 浜野洋二, 岩月正見, 領域分割に基づくステレオビジョンにおける復元精度の向上, 第33回計測自動制御学会北海道支部学術講演会論文集, pp.1-2 (2001)
- [13] 小笠原豊和, 片瀬有一, 岩月正見, 輪郭視差の整合性を考慮したスキャンラインステレオマッチング, 第33回計測自動制御学会北海道支部学術講演会論文集, pp.3-4 (2001)
- [14] 鈴木俊生, 瀬戸義仁, 岩月正見, 相関ステレオ法のための探索範囲の限定と隠ぺいの検出, 第33回計測自動制御学会北海道支部学術講演会論文集, pp.9-10 (2001)

- [15] 大石友明, 勝又美由紀, 岩月正見, アクティブビジョンによる3次元形状復元の高精度化と完全化, 第33回計測自動制御学会北海道支部学術講演会論文集, pp.11-12 (2001)
- [16] 佐藤正太, 阿部伸生, 岩月正見, 一様色領域とテクスチャ領域の分離による3次元形状の復元, 第33回計測自動制御学会北海道支部学術講演会論文集, pp.15-16 (2001)
- [17] 沖山紀光, 岩月正見, 円筒座標系を回転優先型視覚サーボ, 第19回日本ロボット学会学術講演会講演論文集, pp.945-946 (2001)
- [18] 片瀬有一, 谷夏樹, 岩月正見, スキャンラインステレオマッチングによる面の3次元構造復元, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 101, No.525, PRMU2001-180, pp.31-36 (2001)
- [19] 阿部伸生, 加藤偉之, 岩月正見, 一様色領域とテクスチャ領域の分離による面の3次元構造復元, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 101, No.525, PRMU2001-181, pp.37-42 (2001)
- [20] 勝又美由紀, 沖山紀光, 岩月正見, 任意視点からのステレオ画像を用いた3Dモデリングツール, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 101, No.525, PRMU2001-182, pp.43-50 (2001)
- [21] 斎藤宏尚, 若生裕司, 岩月正見, 領域分割に基づくステレオビジョンにおける復元精度の向上, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 101, No.525, PRMU2001-183, pp.51-66 (2001)
- [22] 浜野洋二, 岩月正見, エピポーラ幾何推定に有効な特徴点の抽出, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 101, No.525, PRMU2001-185, pp.65-70 (2001)
- [23] 瀬戸義仁, 岩月正見, 相関ステレオ法のための領域照合による隠ぺい検出と適合窓の推定, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 101, No.525, PRMU2001-186, pp.71-76 (2001)
- [24] 沖山紀光, 岩月正見, デカルト座標系と円筒座標系を用いたハイブリッドビジュアルサーボ, 第7回ロボティクスシンポジウム予稿集, 12B3, pp.131-136 (2002)
- [25] M. Iwatsuki and N. Okiyama, Rotation-Oriented Visual Servoing based on Cylindrical Coordinates, Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp.4198-4203 (2002)
- [26] M. Iwatsuki and N. Okiyama, A New Formulation of Visual Servoing based on Cylindrical Coordinate System with Shiftable Origin, Proceedings of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp.354-359 (2002)
- [27] M. Iwatsuki and N. Okiyama, Preferential Direction Control for Visual Servoing based on Orthogonal Curvilinear Coordinate Systems, Proceedings of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, to appear (2003)
- [28] 岩月正見, 片瀬有一, 谷夏樹, 色領域分割に基づくスキャンラインステレオマッチングを用いた面の3次元構造復元, システム制御情報学会誌, Vol.16, No.5, pp.226-233 (2003)