

# 運動視による立体計測

4 C - 4

生出真里, 五十嵐智, 阿刀田央一, 斎藤延男  
東京農工大学

## 1. まえがき

人間の運動視による奥行き知覚に、機能的に近似した人工視覚系を得ることを目的とする。運動視では、運動方向は自由なので、各方向に連続運動したときの視差を逐次統合すれば、オクルージョンを含む対象の構造のバリエーションに対して両眼視よりも確実度の高い奥行き情報が得られる。しかし、視差の基線ベクトルは未知であり、眼球運動や注視に対応するカメラの光軸のぶれなどによる画像全体の位置の不確実性が加わる。

本稿では、次の各問題を扱い、実画像による実験結果を示す。ただし、カメラの運動の方向は、視線に垂直な面内とし、パン角及びチルト角の変化を含む。

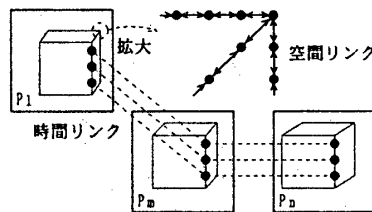
- (1) 対象から特徴点を抽出し、その対応から注目点を追う。
- (2) 特徴点の視差の統計処理により、カメラの運動を推定する。
- (3) オクルージョンの影響を除去し、各点の視差から各点の相対的な奥行きを知る。
- (4) 各段階での内部表現とデータ構造を得る。

本稿の範囲は、著者らが文献(1)で報告したものを次の点において、一般化したものである。微小視差画像列による捕捉処理を付加し、カメラの運動方向の予備知識を不要にした。また、カメラに首振り機構を取り付け、基線長を長くとれるようにし、オクルージョン処理を加えた。

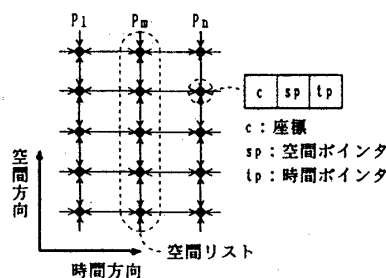
## 2. 処理概要とデータ構造

本研究で主要な内部表現は、時間方向、空間方向の2次元の双方向リンクをもつ時空間リストである(図1)。空間リンクは隣接画素間の連結関係を、時間リンクは連続画像間の対応関係を表す。時空間リストからは容易に立体を再構成できるので、サンプル画像から時空間リストを抽出することを処理の目的とする。

処理概要を図2に示す。カメラの光軸と垂直な面内で任意に運動させ、微小視差画像をサンプルする。対象の輪郭線を追跡処理によって抽出し、時空間リストの空間リンク、すなわち空間リストを生成する。輪郭経路の補正の後、分岐点や折れ曲がり頂点を特徴点として抽出する。これらを連続した画像間で対応づけ、対象を捕捉しておく。連続画像間の視差は十分小さいので、この対応づけは、特徴点の



(a) 概念図



(b) 構造

図1 時空間リスト

近傍を対等に検索することで達成できる。

そして、サンプル画像のなかからとびとびに画像を選択して基線長の大きくし、中間のものは放棄する。特徴点の対応関係は捕捉処理によりすでに得られているため、カメラの運動方向に対する予備知識なしに、大まかにエピポラ方向を推定できる。この仮のエピポラ方向に沿って、さらに特徴点の対応関係を得るが、視差の方向がエピポラ方向と大きく異なるものは除く。すでに得られた特徴点の対応関係から再び仮のエピポラ方向を推定し、特徴点の対応関係を得る、という操作を収束するまで繰り返す。このようにして確実に対応のとれる特徴点を選び、確定特徴点とする。それらの視差の統計処理によって、カメラ運動を推定する。運動方向の推定方法を次に示す。連続する2画像の確定特徴点の変位の水平成分、垂直成分をそれぞれ、 $\Delta x_k, \Delta y_k$  ( $k=1, 2, \dots, K$ ,  $K$  は確定特徴点の数) とし、これらを変数とする共分散行列  $Cov$  を

$$Cov = \begin{pmatrix} c_{xx} & c_{xy} \\ c_{yx} & c_{yy} \end{pmatrix}$$

とする。 $c_{xx} \geq c_{yy}$  のとき、 $Cov$  の主軸を求めることによ

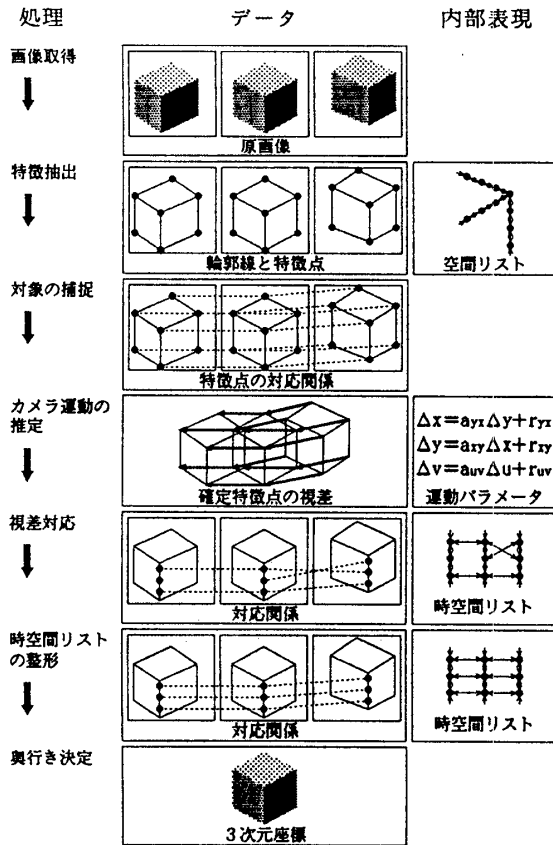


図2 処理の流れ

て、2変数の関係を一次式

$$\Delta y = a_{xy} \Delta x + r_{xy} \quad \dots \textcircled{1}$$

で推定する。\$c\_{xx} < c\_{yy}\$ の場合は、\$x\$ と \$y\$ とを入れ換えればよい。\$Cov\$ の大きいほうの固有値に対する固有ベクトルを \$(p\_x, p\_y)\$ とおくと \$a\_{xy}\$ は \$p\_y/p\_x\$ で表されるので、

$$a_{xy} = \frac{2c_{xy}}{c_{xx} - c_{yy} + \sqrt{(c_{xx} - c_{yy})^2 + 4c_{xy}^2}}$$

となる。また、

$$r_{xy} = \overline{\Delta y} - a_{xy} \overline{\Delta x}$$

である。ただし、\$\overline{\Delta x}\$、\$\overline{\Delta y}\$ はそれぞれ \$\Delta x\$、\$\Delta y\$ の平均である。カメラの相対的な移動量は、視差の主軸への射影 \$\Delta u\$ を式

$$\Delta u_x = \frac{\Delta x_k + a_{xy} \Delta y_k}{\sqrt{a_{xy}^2 + 1}} \quad \dots \textcircled{2}$$

で計算し、これらを変数として、同様に推定すればよい。

ここで得られたエピポーラ拘束を用いて、輪郭線上の各点の対応づけを行い、時空間リストの時間リンクを形成する。同時に、視差の連続性から対応点の位置を推定して、オクルージョン処理を行う。ここで連続する3画像 \$P\_i\$、\$P\_m\$、\$P\_n\$ を例として取り上げ、\$P\_m\$、\$P\_n\$ 間のオクルージョン処理について具体的に述べる。画像 \$P\_i\$、\$P\_m\$ 間の視差の主

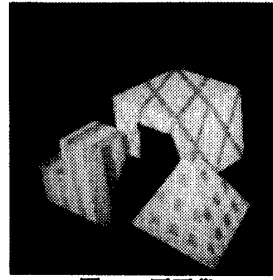


図3 原画像

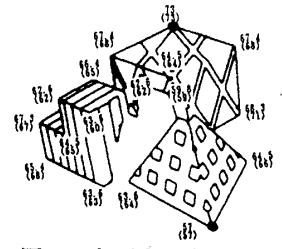


図4 各頂点の奥行き

軸への射影 \$\Delta\_{i,m}u\$ と画像 \$P\_m\$、\$P\_n\$ 間の視差の主軸への射影 \$\Delta\_{m,n}u\$ との関係は、カメラの相対的な移動量の推定によって得られているので、関係式を用いて \$\Delta\_{i,m}u\$ から \$\Delta\_{m,n}u\$ を求めることができる。画像 \$P\_m\$、\$P\_n\$ 間における①式及び②式にこの \$\Delta\_{m,n}u\$ を代入し、\$\Delta x\$、\$\Delta y\$ を未知数とする連立方程式として解く。すると視差の水平成分及び垂直成分が既知となり、対応点の位置が推定できるので、オクルージョンが発生しても対応づけが可能である。実際は、対応点の検索に失敗した点をこのように扱う。それにもかかわらず対応づけに部分的な失敗が生じることがあるが、時間リンクの整形処理によって修正できる。最後に、連続する画像間の視差情報を仮のスケールに統合し、奥行きを求める。絶対的なカメラの移動量と画像全体のオフセットが未知なので、各点の奥行きは相対関係だけが得られる。

### 3. 実験例

上述したアルゴリズムをオクルージョンを含む複数の多面体立体に適用した実験の結果を示す。プロッタのペン軸に小型の CCD カメラを取り付け、カメラの移動機構とし、ステッピングモータによってパン角及びチルト角を調節した。12枚のサンプル画像 \$P\_0 \sim P\_{11}\$ を取得し、カメラの運動パラメータはシステムに与えなかった。

原画像の1枚を図3に、それから抽出された輪郭線と各頂点の推定した奥行きを併せて図4に示す。同図括弧内の数値は真値であり、ともに●で示した頂点で正規化した。各頂点の奥行きは、平均 1.8% の誤差で計測できた。

### 4. むすび

本稿では、基線ベクトルを自由に設定できるが、未知であるという運動視の特性に基づいた立体計測の手法を提案し、オクルージョンを含む対象に対する実画像の実験結果を示した。視差情報のフィードバックによるカメラの最適な運動方向の決定や、カメラの光軸方向の移動及び光軸廻りの回転の成分の推定などが、今後の課題である。

### 参考文献

- (1) 小笠原敦, 生出真里, 五十嵐智, 阿刀田央一, 斎藤延男: “人工視覚における運動視差の機能レベル模倣”, 信学論 (D-II), Vol. J74D-II, No. 7, pp. 933-944 (1991).