

仮想物体を介した実物体の運動推定

Motion Estimation of a Real Object through Virtual Object Motion

青木 公也†
Kimiya Aoki

奥水 大和†
Hiroyasu Koshimizu

1. まえがき

本研究では、カメラ前の任意の剛体・非剛体物体の三次元運動(平行移動・回転)を推定する手法を提案する。応用としては、人間と共存する福祉・ホームロボットのビジョンや、一般ユーザが気軽に利用できる光学式モーションキャプチャを想定する。前者は、ロボットが人間の“うなずき”等のジェスチャを認識することや、日常の作業対象となる道具等の運動・作業手順を学習することへの利用が考えられる。後者は、提案手法は一般的なモーションキャプチャとは異なり、対象者にマーカを装着することなく運動計測が可能であり、より簡便なシステム構築に応用できる。

画像情報から三次元運動を検出する問題においては、使用するカメラの種類や数によって解決手法が異なる。本研究では、福祉・ホームロボットや一般ユーザが使用できる計測システムを想定しているため、撮像環境・可搬性・易操作性・安全性を考慮し、受動的センサであるステレオビジョンを採用する。従って、単一視点からの時系列距離・カラー画像を入力として用いる。

さて、動画から物体運動を推定する従来手法は2通りに大別できる。一つは、フレーム間においてオプティカルフローを算出し、これに基づいて推定する方法[1]である。もう一方は、対象とする物体の三次元形状モデルを利用する方法[2]である。前者に類する多くの手法では、オプティカルフローが正確に得られていることや、運動中に対象が変形しないこと等の仮定のもと、ボトムアップ的に運動パラメータを推定する。従って、入力画像が安定して仮定条件を満たす場合は有効であるが、実画像への適用には制約があると考えられる。後者は、入力画像とのモデルベースマッチング等により、対象を姿勢変化も含めて追跡するトップダウン的な手法であり、一般的にノイズに対してロバストである。しかし、対象の三次元形状モデルが必要であり、対象が非剛体である場合には適用が困難である。以上を踏まえて本研究では以下の課題を解決した。

- ・ ステレオビジョンを用いる(入力距離画像の精度は、能動的センサと比較して、一般的に劣る)。
- ・ コーナーやエッジ等の顕著な画像特徴が安定して検出できない場合にも対応する。
- ・ 自由曲面を有する任意の剛体・非剛体物体の三次元運動を推定する。
- ・ 対象とした非剛体物体が運動中に多少の変形を伴っても、全体としての運動を推定する。

2. 実験装置と入力情報

図1(a)に実験装置、(b)に入力画像から生成した三次元CG及び座標系を示す。本研究ではPoint Grey Research社製の2眼ステレオビジョンシステムを用いた。図1(b)に示す通り、計測空間内にクリッピング立方体を設け、以後の実験では領域内の物体の三次元運動を推定する。

†中京大学 情報理工学部

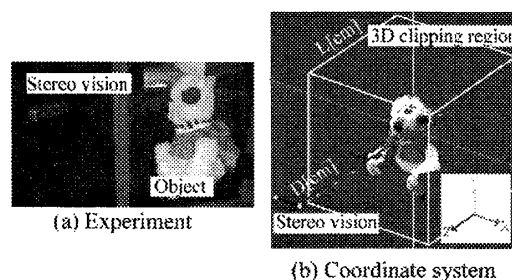


図1: 実験装置と入力情報・座標系

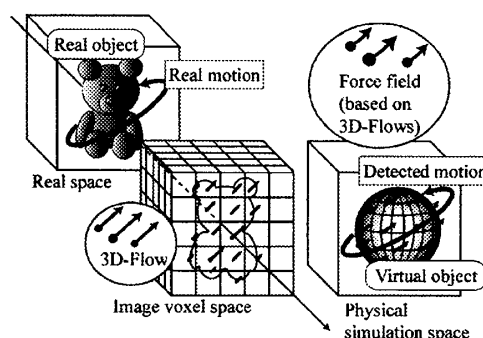


図2: 提案手法の概念図

3. 提案手法の概要

運動推定の基礎データとしては、時系列距離・カラー画像から算出された3Dフローを用いる。3Dフロー(三次元シーンフロー)は、見かけの運動を表すオプティカルフローとは異なり、物体表面上の点の三次元運動フローである。筆者らは、ステレオビジョンより得られた時系列距離画像から、自由曲面上の任意点の3Dフローを検出する手法[3]を提案している。この手法では、フレーム間の対応点探索に高さ・カラーヒストグラム(HCH)特徴量を用いる。HCHの特長から、コーナーやエッジ等の画像特徴が安定して検出されない場合や、対象が非剛体で運動途中に局所的な変形を伴う場合でも3Dフローを検出することができる。また、オプティカルフローとは異なり、既に局所的な三次元運動が検出されている点で、物体全体の運動推定に有効である。ただし、一般的なオプティカルフローと同様、物体上の特定の点を継続的にトラッキングしているわけではないため、なんらかの方法で離散的なフローから物体全体の運動を推定する必要がある。

対象が完全剛体である場合は、全ての3Dフローは同一の変換マトリクスに基づくはずであり、解析的に運動パラメータが算出できる。しかし、対象が非剛体の場合は、運動中の微小変形を無視した全体としての運動を推定することは困難である。また論文[3]より、HCHによって算出される3Dフローには誤差が含まれる。そこで本研究では、CG分野で広く利用されている簡易物理シミュレーション手法[4]を導入する。具体的には、算出された3Dフロー群

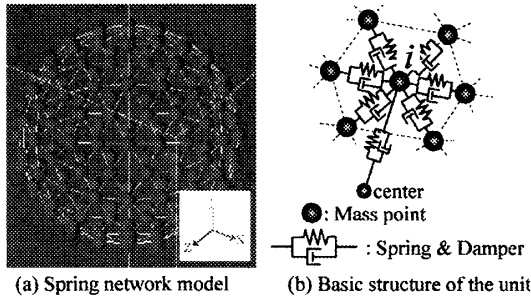


図3: 仮想物体(バネネットワークモデル)

を空間中の“流れ場(または力場)”と考え、そこに仮想物体が存在した場合の運動をシミュレートする。つまり、実空間において物体が生成した3Dフローを仮想物体に付与し、仮想物体の運動から逆に実物体の運動を推定する。3Dフローを“流れ場”と考えることにより、局所的な変形は全体の流れに対して影響力が小さいため、対象が非剛体であっても物体全体としての運動を推定することができる。図2に提案手法の概念図を示す。

4. 仮想物体と運動シミュレーション

本研究では、任意の現実物体に汎用的に対応するため、仮想物体として球を用いた。仮想物体は複数の質点をバネ・ダンパで接続したバネネットワークモデルを用いる。図3(a)に仮想物体を示す。正20面体の各面を分割し、三角形メッシュからなる球を生成する。このメッシュ交点に質点を配置する。図3(b)の通り、各質点は隣接する6つの質点及び球の中心に配置した質点と接続される。

質点*i*に働く力 F_i は、この質点に接続するバネ力とダンパ力、および外力“流れ場”の総和からなる。

$$F_i = \sum_j \{k(l_{ij} - l_{ij}^0) - Kd(v_i - v_j)e_{ij}\}e_{ij} - Cdv_i + F_i^{3DF} \dots (1)$$

ここで、 k はバネ定数、 l_{ij} は質点*i*と隣接する質点群*j*の間のバネ長、 l_{ij}^0 は自然長、 Kd は減衰定数、 v_i と v_j は質点の速度、 e_{ij} は質点*i*から*j*への単位ベクトル、 Cd は粘性係数である。ここに3Dフローに基づく外力 F_i^{3DF} を作用させる。ここで、3Dフローを質点へ対応付ける必要がある。基本的には、3Dフロー群の重心と仮想球の重心を一致させた場合の、最も近距離の質点に各3Dフローを対応付ける。式(1)を運動方程式に代入し、オイラー法を用いて各質点の変位を求める。以上の計算により、仮想球が“流れ場”とみなした3Dフロー群の中で運動する。なお、各種パラメータにより、運動検出の感度を調整できる。

5. 実験結果と考察

図4にクマのぬいぐるみ(体長約25cm)の運動を検出した例を示す。図4(b)では3Dフローと仮想球をカメラとは別視点(斜め上)で描画している。また、回転運動が検出されていることが分かるように、仮想球のローカル座標軸を表示している。この例では、主にY軸回りに奥から手前、かつZ軸回りに向かって反時計回りに物体を回転させている。ぬいぐるみは非剛体なので、運動中に多少の変形を伴うが、仮想球から全体的な運動が検出できていることが分かる。図4(c)のチャートは、各軸について正負方向に回転運動・

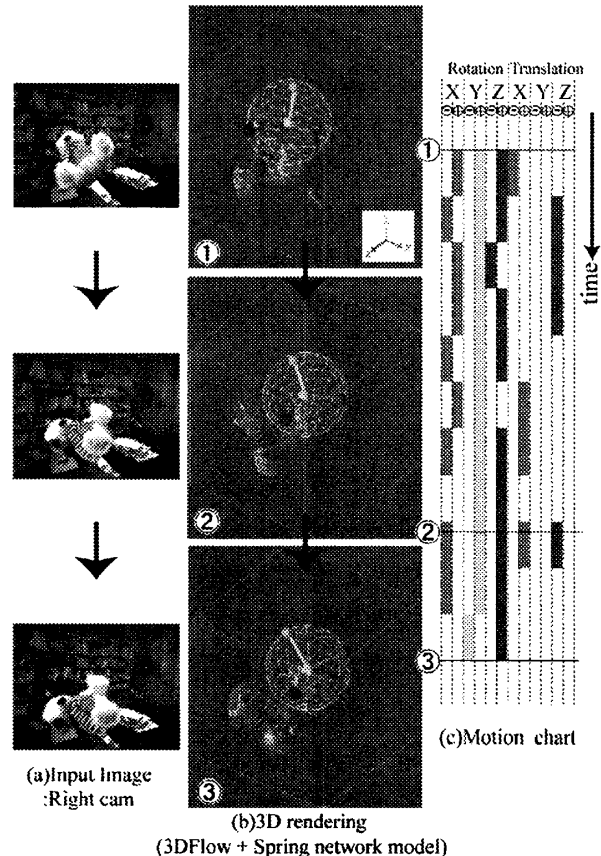


図4: 仮想物体を介した運動推定の一例

平行移動している区間を表す。Y、Z軸回りの回転を表すラインで、①から③にかけて+(右ネジ方向)に継続的に回転していることが分かる。回転・移動量の絶対値の精度は必ずしも高くないが、他の実験においても仮想球は実物体の運動に概ね的確に追従することを確認した。

6. むすび

本研究ではHCH特徴量による3Dフローを“流れ場”と見なし、それによる仮想球体の運動を介して、実物体の運動を推定する手法を提案した。提案手法によれば、自由曲面を持つ任意の非剛体物体の全体的な運動をリアルタイムで検出することが可能であった。今後は、物理シミュレーションのパラメータ設定、検出精度について検証する予定である。また、提案手法の応用についても取り組む。

謝辞 本研究の一部は、科研費(課題番号:19700183)を用いて実施された。

参考文献

- [1]例えば、N.Goncalves and H.Araujo, "Estimation of 3D motion from stereo images," Proc. 16th International Conference on Pattern Recognition (ICPR), vol.1, pp.335-338, 2002.
- [2]例えば、角保志、石山豊、富田文明, "ステレオビジョンのためのモデルベースアプローチによる自由曲面体の実時間運動追跡," 信学論(D-II), vol.J84-D-II, no.8, Aug. 2001.
- [3]青木公也、奥水大和, "時系列距離画像からの3Dフロー検出のための高さ・カラーヒストグラム(HCH)の提案," 信学論(D), vol.J89-D, no.9, pp.2033-2044, Sept. 2006.
- [4]例えば、T.Miyazaki, T.Kaneko, and S.Kuriyama, "Virtual Destruction of a 3D Object with a Stick," Proc. of WSCG 2005, pp.147-154, Jan. 2005.