

〇 4 画像計測を利用した空間マウスによる仮想空間操作

浅井 智[†]、石井 郁夫[†]、高橋 章^{††}、牧野 秀夫^{†††}、中静 真^{†††}

[†]新潟大学大学院自然科学研究科、^{††}長岡工業高等専門学校、^{†††}新潟大学工学部

1. はじめに

人工現実感における、仮想世界作業の実現には、実世界の人間の動きを計測して仮想世界に反映させる有効なインターフェースが必要である。我々は高速で拘束感の少ない方法として、単眼カメラ映像の画像処理を利用した空間マウスを開発したのでその詳細を報告する。

2. 空間マウスの構造

図1のように市販の白色のマウスの先端にマーカーを貼った立方体を取り付け、手で把持して空中で位置・姿勢を変化させると、仮想空間中の指定した物体の位置・姿勢が運動して変化する機能を実現する。机上約 50 cm の位置にカメラを設置し、その視野内で空間マウスを操作する。カメラ画像から、空間マウスの位置・姿勢を求める。

立方体は 1 辺 7 cm の白色で、その 5 面に 1 辺 5 cm の黒色の正方形マーカーを張り付ける。したがって、各面にはマーカーの回りに幅 1 cm の白色の縁取りができる。また、マーカーの面内回転方向を識別するための頂点識別マークと、どの面かを示す識別コードを各マーカーにつける。カメラ (Ashin ASC-307M-AA) は 1/3" CCD を撮像素子とし、水平解像度 380TV 本、焦点距離 3.6 mm、画角 61×48 度である。

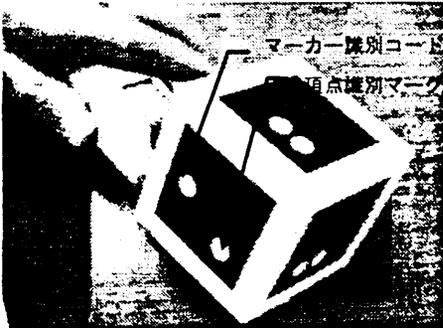


図1 空間マウス

3. マーカーの位置・姿勢の計測法

3.1 マーカーの探索

計測はカメラ画像面に投影された正方形マーカーの形状の歪みからマーカーの姿勢を推定し、大きさから位置を推定するという原理による。

原則として、1 フィールド毎にマーカーの探索を行うものとする。フィールド画像中からマーカー

を探索するためにシード座標を与える。シード座標の候補を a) 前フィールドのマーカーの中央点 b) マーカー中央点の 1 次予測点とする。a) 又は b) の座標の輝度値によりマーカーの内部か否かを判定する。

マーカー内部と判定された場合でもマーカー以外の黒領域と識別するため、シード位置から上下左右 4 方向にマーカーの輪郭を求める探索を行う。輪郭と判断された部分の輝度変化を求め、マーカーの白い縁取り部分か否かを判定しシード点がマーカー内部か否かを再判定する。

初期状態及び、シード点がマーカー内部でない判定された場合は、a) 又は b) の周囲を一定の画素間隔で螺旋状にマーカーを見つけるまで探索する。

3.2 マーカーの抽出

マーカー内部と判定されると、マーカー投影像の輪郭線追跡を行い、投影像の四角形の 4 頂点のおよその位置を抽出する。4 頂点が見つからない場合は、マーカーでない判定しマーカー探索に戻る。

次に各頂点間を走査し、マーカー内部と縁取りの境界を表すエッジ点列をサブピクセル精度で求め^[1]、画像歪みを補正して、カメラ座標系へ変換した上で、最小 2 乗法により直線に回帰することで、4 辺の投影像を表す直線を高精度に推定する。

3.3 姿勢と位置の導出

4 辺の投影像の直線から、カメラから見たマーカーの位置・姿勢を推定する。空間中のマーカーを姿勢について 3 自由度、位置について 3 自由度を持っている。これを分けて考え、はじめに姿勢を推定してから位置を推定を行うことで、高精度な推定を実現する。^[2]

3.3.1 姿勢推定

空間中で平行な直線の投影像は消失点と呼ばれる画像面上の 1 点で交わり視点から消失点へ向かう視線ベクトルは、空間中の直線の方角を表すことが知られている。姿勢はマーカーの直交性と縦横比を用いて推定する。

図2のように、長方形 P_i ($i=1..4$) の投影像から、4 辺 l_i ($i=1..4$) を検出したとする。視点 O_c と辺 l_i が定める平面の単位法線ベクトルを n_i とする。視点 O_c と対角線 P_1P_3 、 P_2P_4 が定める平面の

単位法線ベクトル n_5, n_6 を定める。

長方形の単位法線ベクトル v_3 が与えられたとき、辺 $P_1P_4, P_2P_3, P_1P_2, P_4P_3$ の方向ベクトルは

$$\begin{aligned} v_{1a} &= n_1 \times v_3, & v_{1b} &= n_3 \times v_3, \\ v_{2a} &= n_2 \times v_3, & v_{2b} &= n_4 \times v_3, \end{aligned} \quad (1)$$

また、対角線 P_1P_3, P_2P_4 の方向ベクトルは

$$v_5 = n_5 \times v_3, \quad v_6 = n_6 \times v_3, \quad (2)$$

となる。評価関数として長方形の直交性から E_1 、縦横比から E_2 を式 3 のように与え、これらを最少にする v_3 を求める。ここで θ は対角線の成す角である。

$$\begin{aligned} E_1 &= |v_{1a} \cdot v_{2a}| + |v_{2a} \cdot v_{1b}| + |v_{1b} \cdot v_{2b}| + |v_{2b} \cdot v_{1a}| \\ E_2 &= |\cos \theta - v_5 \cdot v_6| \end{aligned} \quad (3)$$

これは、2 自由度最適化問題であり、Simplex 法を用いて実現した。残りの v_1, v_2 を式 4 により求めると平面の姿勢が得られる。

$$v_1 = v_5 + v_6, \quad v_2 = v_5 - v_6, \quad (4)$$

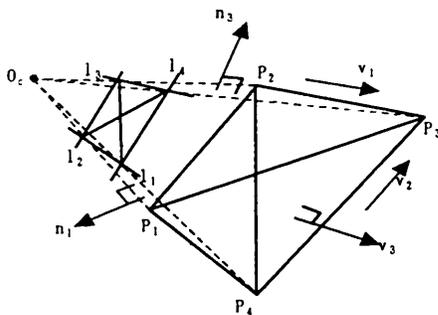


図 2 姿勢推定

3.3.2 位置推定

姿勢が得られると、位置推定はスケーリング問題に帰着できる。視点とマーカー投影像がつくる四角錐に、推定された姿勢と既知の大きさを持つ長方形を最小 2 乗法によってあてはめることで位置を推定する。

3.4 マーカーの切り替え

マーカーの傾きにより面積率が低下すると、計測精度が低下する。そこでマーカーの法線 n とカメラ座標 Z 軸のなす角が 50 度以上になると、次回の計

測で面積率が最も大きいと推定されるマーカーに切り替える。計測したマーカーと隣接する 4 面の候補のうち、中央点が最もカメラに近い (Z 値の小さい) マーカーが面積率最大となる。空間マウスの姿勢から、切り替えの候補となる 4 面のマーカーの中央点の座標も簡単な座標変換で求めることができる。

4. 特性

I) 視線とマーカーのなす角 50 度未満。II) マーカー投影像の面積が画面面に占める割合 (面積率) 2% 以上。III) 640×480 画素でデジタイズ (DATA TRANSLATION DT3155 使用) という条件で姿勢について 0.2 度程度、位置について 0.2mm 程度の標準偏差であった。また処理レートは平均 15fps が得られた。

5. 空間マウスの利用方法

空間マウスは、移動範囲や回転範囲の制限が極めて少なく、仮想空間において様々な仮想デバイスの操作に有効である。仮想空間による造形システムにおいて、空間マウスの応用として次のような機能を実現した。

- 仮想物体の移動や変形操作、回転体の生成などを行う仮想ペンの制御。
- 遠い位置にある物体のポインティングや、物体の引き寄せを行うビームポインターや牽引ビームとしての制御。
- 物体を把持して任意の姿勢をとる場合のグローブの制御。
- 仮想物体の切断の際の切断面の制御。

4. まとめ

仮想世界作業における実空間からの操作指示インターフェースの一つとして、画像計測を利用した空間マウスを提案した。空間マウスは、接触型の計測法と比べて拘束が無く、移動範囲や回転範囲の制限が極めて少なく、仮想世界作業の操作性の向上を図ることができた。

今後は、複数の操作器具を用いて、例えば左手で仮想物体を持ち、右手でナイフを持って加工するような、実空間作業に近い環境を実現したい。

参考文献

- [1] 小野寺 康浩、金谷 健一、“射影幾何学的補正によるサブ画素精度の直線あてはめ” 情報処理報告, vol. 90, no. 92, nov. 1990
- [2] 高橋 章、石井 郁夫、牧野 秀夫、中静 真 “人工現実感インターフェースのための単眼画像からのマーカーの位置と姿勢の計測” 信学論(A), vol. J79-A, no3, Mar. 1996