

幾何学的不変量マーカーの画像処理に基づく表示デバイスの認識

北海道大学 ○清野 翔, 小野里 雅彦, 田中 文基

要旨

本研究では、幾何学的不変量を ID とする 5 個一組のマーカーを、3D モデルを提示する表示デバイスに貼付することで、表示デバイスの位置や姿勢といった情報を画像処理に基づいて取得する手法を提案する。

1. はじめに

3DCAD やモックアップを使用する議論の場では、発話者の「その」「この」といった指示語がどの箇所に対して発せられたものなのか、参加者が明確に理解できないことがある。指示箇所が明確ではない原因は、指示デバイスにレーザーポインタや指示棒を用いた際に、指し示した行為がデジタル化されず、CAD モデル上に反映されないことにある。それに伴い指示箇所がデジタルデータとして記録されないため、後の設計作業で議論の内容を参照することが困難になる。柴田らは、発話者が指示した仮想物体上の箇所を特定し、参加者が直感的に理解できるシステムとして Universal Pointing System を開発した[1]。しかし、使用機材が高価であり、手軽にシステムを構築できない問題がある。そこで、本研究では指示デバイスをレーザーポインタに統一し、画像処理によって指示箇所の直接的な情報の入出力を行うシステムの開発に取り組んでいる。本報では、指示対象を表示するデバイスを画像処理に基づいて認識する手法について提案する。

2. システム構成と使用環境

表示デバイス認識システムは、汎用 Web カメラと表示デバイスの情報を示すマーカーで構成される (図 1)。Web カメラには、Logicool WebCam Pro9000 を利用し、マーカーには、幾何学的不変量を ID とする 5 個一組のマーカー (以降幾何学的不変量マーカー) を使用する。カメラの性能は、公称対角画角が 76[deg]、ビデオキャプチャーが最大 200 万画素 (1600×1200)、フレームレートが最大 30[fps] である。幾何学的不変量マーカーは 4 個の方向提示マーカーと 1 個の終点マーカー (両方まとめてマーカー) で構成され、それぞれ直径 2[cm] の円形である。終点マーカーは赤のみであるが、方向提示マーカーには次のマーカーの方向を示す緑の切り欠きがある。また、認識システムは照明に白色蛍光灯を使用した屋内で使用することを前提とし、カメラの認識限界距離はカメラ正面から見たマーカーの大きさが、取得画像で長径・短径がともに 20[pix] となる距離とする。今回は取得画像の解像度を 640×480 としたため、その距離は 57.3[cm] である。

3. 幾何学的不変量

幾何学的不変量とは、ある対象を様々な角度から投影し

た場合、その角度によらずに求められる決まった値のことである[2]。表示デバイスは様々な位置・姿勢で置かれており、それをどの方向からも認識できなければならない。そこで、本研究では、同一平面上のどの 3 点も直線状に並ばない 5 点から得られる 2 つの関数的に独立な不変量を利用する。図 2 のように 5 点が配置しているとき、2 つの不変量 I_1, I_2 は次式で求められる。

$$I_1 = \frac{|M_{431}| |M_{521}|}{|M_{421}| |M_{531}|}, I_2 = \frac{|M_{421}| |M_{532}|}{|M_{432}| |M_{521}|} \quad (1)$$

ただし、 $M_{ijk} = (p_i, p_j, p_k), p_i = (x_i, y_i, 1)^T (i = 1, 2, 3, 4, 5)$

4. 表示デバイス認識フロー

表示デバイスの認識は、次の手順で行う。詳細は次項で説明する。(a) 事前に表示デバイスに貼付したマーカーの座標と幾何学的不変量を登録する。(b) カメラの取得画像からマーカー候補の領域を検出する。(c) 検出した領域から、方向提示マーカーと終点マーカーを判別する。(d) 幾何学的不変量マーカーを検出し、ID を算出する。(e) ID が事前に登録されていれば、表示デバイスとして認識する。

5. マーカーの認識

5.1 色情報の分析

マーカーを認識するためには、カメラの取得画像からマーカーを検出しなければならない。そのためにはマーカーの色である赤と緑の閾値が必要となる。そこで、マーカーの色情報を分析し、閾値を設定した。このとき、照度変化に対応するために、カメラの光線方向に対してマーカーの法線ベクトルの角度を変化させることで、照明条件に変化を与えた。分析対象は、1 辺が 2[cm] の赤と緑の正方形とし、

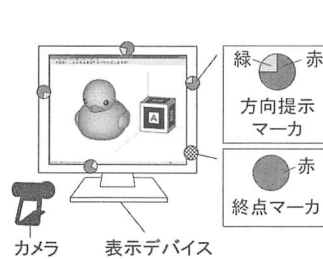


図 1 システム構成

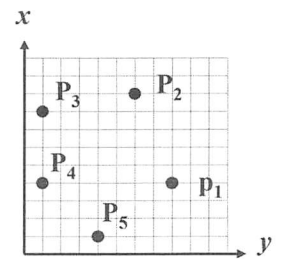


図 2 5 点の配置

角度変化は 75[deg]~75[deg]の範囲で 15[deg]刻みとした。色情報は HSB 色相系で取得し、分析の際は対象部分のみを取得画像から抜き出して、色相(H)、彩度(S)、明度(B)のヒストグラムを作成した。分析結果から、照度 71[lx]以上の環境下で、赤と緑の閾値を次のように設定すれば、領域を検出できる。

赤： $0 \leq H < 20, 350 < H < 360, 80 < S, 40 < B$

緑： $90 < H < 140, 80 < S, 30 < B$

5.2 マーカーの判別

マーカーの判別は次の手順で行う。

- ・赤と緑の領域を検出し、膨張・収縮とラベリングを行う
- ・ラベリング領域に楕円フィッティングを行う
- ・フィットした領域をマーカー候補とする
- ・マーカー候補の領域内の緑領域の有無を調べる
- ・緑領域が無ければ終点マーカーとする
- ・赤領域より緑領域が大きければマーカーとしない
- ・逆に緑領域が小さければ方向提示マーカーの候補とする
- ・方向提示マーカーの候補の緑領域に切り欠き部分のテンプレートマッチングを行う
- ・一致していれば方向提示マーカーとする

上記手順での楕円フィッティングの楕円（以降楕円）はラベリング領域の輪郭から最小二乗法で求めた。これには OpenCV の cvFitEllipse2 関数を使用した。また、切り欠き部分のテンプレートマッチングでは、楕円と緑領域の重心から切り欠きを推定し（図 3）、それとラベリング領域の切り欠き部分が一致しているのかを調べた。一致条件は、推定した切り欠き部分の線分に幅を持たせ、その幅の中で赤領域と緑領域が隣接していることとした。

5.3 幾何学的不変量マーカーの検出

幾何学的不変量マーカーは、方向提示マーカーの示すマーカーを探索し、終点マーカーまで辿ることで求める。その決定条件は、辿った全ての方向提示マーカーの回転方向が左回りであり、経路の長さが 4 となることである（図 4）。上記条件のマーカーを辿るための探索では、貼付のずれを考慮して探索方向に許容範囲の角度を設けた（図 5）。したがって、方向提示マーカーが示すマーカーは、方向提示マーカーまで辿っていない経路外のマーカーに対して、許容範囲の内外判定をすることで求めた。範囲内の条件は、方向提示マーカーが示す方向のベクトルを a 、許容範囲の境界を示すベクトルを b 、方向提示マーカーから探索対象のマーカーへのベクトルを c とおいたとき、 a と c のなす角が a と b のなす角よりも小さいことである（図 5）。探索の結果、幾何学的不変量マーカーを検出できたら、(1)式より ID を算出する。続いて、算出した ID が事前に登録されているかを確認する。表示デバイスに貼付された幾何学的不変量マーカーの ID は事前に登録されているため、算出した ID が事前に登録されていれば、表示デバイスを認識したことになる。図 6 は、表示デバイスを認識したマーカーに線を描いた画像である。

6. おわりに

本報では、幾何学的不変量マーカーに基づいた画像処理による表示デバイスの認識方法を提案し、実際に認識できることを実証した。今後は事前に登録した座標と認識したマーカーの座標を比較し、表示デバイスの位置・姿勢を算出する。また、表示デバイス上の指示箇所から 3DCAD 空間への指示箇所を特定し、そこに情報の入出力を行う方法を検討・実証する。

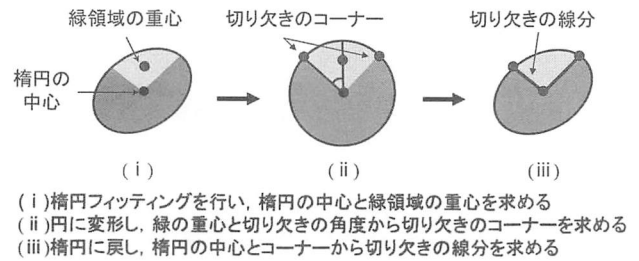


図 3 切り欠きの推定方法

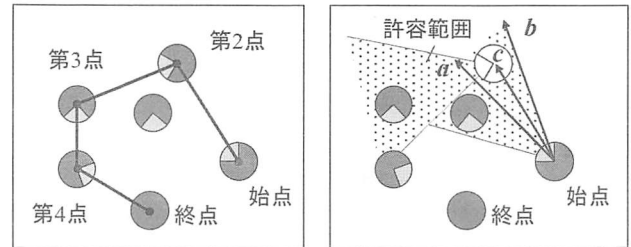


図 4 5 個のマーカーの特定

図 5 許容範囲

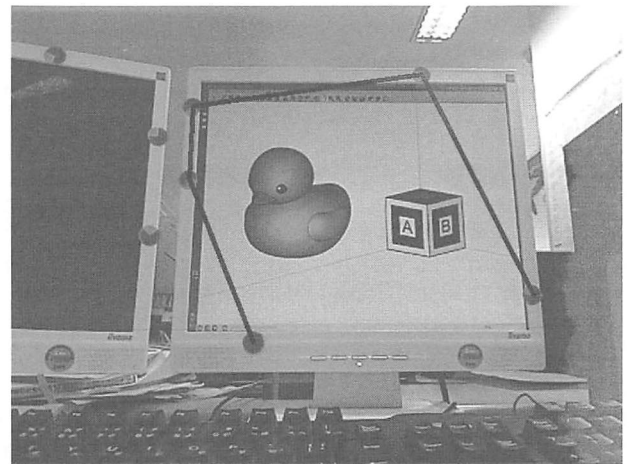


図 6 表示デバイスを認識したマーカー（許容範囲 90[deg]）
（登録座標は(36,7.5), (26,32), (2.5,28), (2.5,19.5), (8,3)）

参考文献

- [1] 柴田洋輔他：実体と表示が混在する作業空間における汎用的指示に関する研究，設計工学・システム部門講演会講演論文集 2005(15)，418-419，2005
- [2] 杉本晃宏：コンピュータビジョンにおける技術評論と将来展望(II)-ビジョンにおける不変量とその応用-，情報処理学会研究報告コンピュータビジョン研究会報告 95(34) 19-34，1995