頂点推定による ARToolKit マーカの推定

佐々木 祐也[†] 矢内 雅浩[†] 岡田 至弘[†]

龍谷大学理工学部情報メディア学科[‡] 龍谷大学理工学研究科情報メディア学専攻[‡]

1 はじめに

ARToolKit はカメラから見たマーカの位置・姿勢をロバストに検出し，仮想オブジェクトを重畳表示することで拡張現実感を得ることができる．また，この位置・姿勢情報を用いて，ユーザインタフェースにおける入力デバイスとして利用する手法が考えられている．

しかし従来のマーカ検出手法では，マーカが障害物によって隠れが生じたときに検出が終了してしまうという問題があった．これは，入力画像から四角形領域や頂点座標を求めた上で頂点座標を元に 3 次元座標変換の計算を行っているためである．障害物がマーカに重なった段階で四角形領域が変形してしまうので従来の手法では検出続行は不可能である．

ユーザインタフェースを構築する上で，操作中にユーザの体の一部によってマーカに隠れが生じることが考えられる．そこで，マーカの隠れが生じていない部分に対してハフ変換やコーナー検出などの画像処理を行い，マーカの頂点を推定し，ARToolKit マーカ検出の補完を行う．

隠れに対してロバストなマーカ検出手法に，立野ら[2]の入れ子型マーカがある．本稿で提案する手法の精度を評価し，入れ子型マーカとの比較を行うことで，提案手法の有用性を示す．

2 入れ子型マーカ

入れ子型マーカは図 1 のようなマーカ内にマーカを配置した階層的な構造をしている．これにより，マーカ全体がカメラ画像内に映っていれば第 1 階層マーカを検出し，第 1 階層が一部でも隠れが生じていれば第 2 階層を検出し，第 2 階層が検出できなければ第 3 階層を検出することで，隠れに強いマーカ検出システムとされている．

しかし，第 2 階層以下は第 1 階層に比べサイズが小さいため，距離に依存するという問題がある．よって，3 章で提案する手法を用いて，隠れが生じた場合に距離における問題を回避することを本稿の目的とする．

3 頂点推定手法

前処理として，入力されたカメラ画像から従来の ARToolKit マーカの検出手法でマーカを検出し，頂点座標を始めとする位置・姿勢情報のパラメータをフレーム画像毎に保存する．

マーカに隠れが生じたとき，カメラ画像からは必要なパラメータは得られなくなるので，正確に検出できた前フレーム画像のパラメータを履歴情報として読み込む．履歴情報を元に以下の手法を用いて頂点座標を推定し，推定情報を用いて 3 次元座標変換を行う．

ここで，カメラフレーム間でマーカの動きは微小なものとする．

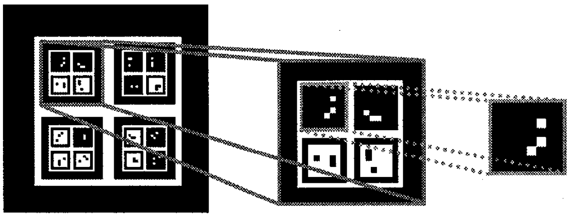

図 1. 階層的な入れ子型マーカの構造

3.1 ハフ変換によるマーカ辺推定

入力画像内の線分を検出するハフ変換を用いることでマーカの辺を検出し，延長線の交点を頂点であると推定する（図 3）．

まず，画面内の余計な線分を検出しないために履歴情報からマーカとその周辺にのみハフ変換を行う．しかしその範囲内にも線分が多く検出されるため，多数の線分から 4 辺にそれぞれ対応する線分を選ぶ．辺と線分の傾きを比較して近似する線分を辺と推定するが，マーカが移動することも考慮し誤差を想定する．さらに位置の近似方法として，辺の中点の法線と線分の交点を位置比較点とする（図 2）．比較する辺の中心と位置比較点の距離が最も短いとき，線分をマーカ辺と推定する．ハフ変換では短い線分は検出できないので，この手法は頂点付近を隠したときに特に有用である．

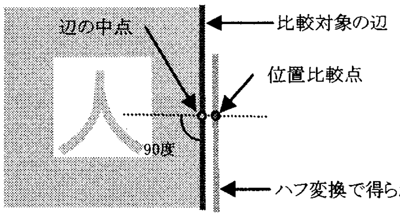

図 2. ハフ変換で得られた線分とマーカ辺との位置あわせ

3.2 コーナー検出による頂点推定

画像内の特徴点を検出するコーナー検出を行い，履歴情報を用いて特徴点から頂点を推定する（図 4）．マーカの頂点同士は特徴が似ているため，頂点の特徴

「Estimateing a marker of ARToolKit based on estimating vertexes of a square.」

† Yuya Sasaki, Masahiro Yanai, Yoshihiro Okada

‡ Ryukoku University

点追跡は精度が悪い．これより，画像内の特徴点を抽出し，頂点の履歴情報と位置比較する手法が適していると考えられる．

頂点付近に隠れが生じた場合には 3.1 節のハフ変換による推定を行い，頂点以外の辺部分に隠れが生じた場合にはコーナー検出による推定を行うことで，状況に応じて有用な手法を使い分けることができる．

使い分ける手順は，ハフ変換による推定を行い，辺を検出できなかった場合は頂点付近以外が隠れているものとして，コーナー検出による推定方法を行う．

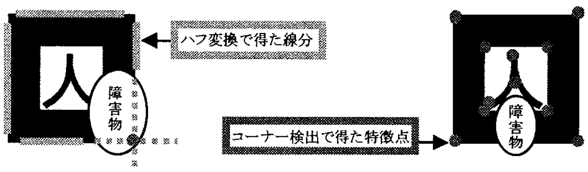

図3. ハフ変換による頂点推定　　図4. コーナー検出による頂点推定

4 頂点推定の精度評価

まず，提案手法は隠れが生じる場合でも，正常検出時と同じ大きさのマーカを元に検出しているので，サイズが小さくなる入れ子型マーカより距離に依存しないことを示す．次にユーザインタフェース応用を想定したとき，マーカの傾きの範囲がユーザ操作に影響するため，傾きについても実験する．

4.1 評価方法

1 辺 8cm の正方形の ARToolKit マーカと，同じ大きさの入れ子型マーカを用意し，カメラと対面になるように配置する．マーカの一部を隠し，距離を計測し最長検出距離を比較する．

次に，マーカの回転角 θ_1 が 0 度と 45 度の２通りに対してそれぞれ，カメラ・マーカ間の検出距離と最小角度 θ_2 の関係を調べる（図 5）．通常では，カメラに対してマーカの面が水平になると見えなくなるので，これを 0 度とし，一番検出しやすい正面から撮影したときの角度を 90 度とする．隠れが生じていても検出できる θ_2 の最小角度を求め，距離ごとに記録する．また，入れ子型マーカは 3 階層の入れ子構造になったマーカを試作したが，隠れが生じたときに検出可能な階層によって結果が変わるので階層ごとに実験を行う．

使用するカメラは Logicool 社 Qcam Pro 9000 であり，30 万画素，640×480pixel の画像を取得する．

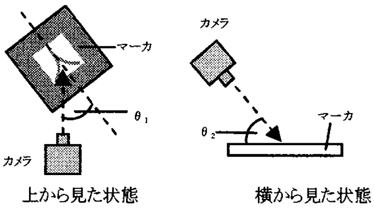

図 5. 実験環境

4.2 結果

まず，最長検出距離の計測を行う．実験結果は表 1 のようになった。これより，提案手法が入れ子型マーカに比べ検出距離に依存せずに検出を続行できた．

次に，検出距離と最小角度の比較を行う．図 6 は提案手法による検出結果である．検出距離が長くなるにつれ，マーカ画像が小さくなるので検出が困難になり，最小角度が大きくなっていることがわかる．

入れ子型マーカは，θ_1 が 0 度と 45 度の場合では違いが無いのでグラフを 1 本に省略した．入れ子型マーカと提案手法は似た形状のグラフになっているが，多くの検出距離で，提案手法が入れ子型マーカより小さい角度での検出を可能としている．

しかし，提案手法は θ_1 が 0 度と 45 度の場合で違いがある．θ_1 が 0 度のとき θ_2 が小さいと縦方向の 2 辺が短くなり，ハフ変換は短い線分を検出しにくいので精度が落ちる．それに対して θ_1 が 45 度のときは θ_2 がどの角度であっても 4 辺の長さは同じであるため，全ての辺が短くならない限り精度は保たれる．ハフ変換を優先的に行っているため，精度に違いがあるが，今後 θ_1 に依存しないように改良する必要がある．

表 1. 隠れが生じた時の最長検出距離

提案手法	106.5 cm
入れ子型マーカ（第 2 階層）	78.8 cm
入れ子型マーカ（第 3 階層）	27.6 cm

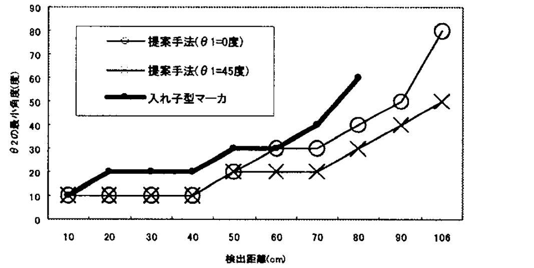

図 6. 隠れが生じたときの最長検出距離

6 おわりに

本稿では，ハフ変換とコーナー検出を組み合わせ，隠れに対してロバストであり検出距離に依存しないマーカ検出手法を提案し，有用性を示した．さらに展示支援システムに応用し，より実用的なユーザインタフェースを構築することができた．今後は，マーカの移動速度に依存しない手法について検討していく．

参考文献

[1] 加藤 博一 “拡張現実感システム構築ツール ARToolKit の開発”，電子情報通信学会，vol.101，pp.79-86 (2002).

[2] 立野 圭祐，北原 格，大田 友一 “視点移動自由度の大きい拡張現実感のための入れ子型マーカ”，電子情報通信学会技術研究報告 MVE2006-46，vol.106，pp.19-24 (2006).