

手背及び手掌装着カメラを用いた上半身姿勢推定

本多智¹ 河野恭之¹

概要：近年，COVID-19 の蔓延によってテレワークなど仮想空間でのコミュニケーションや体験が急激に増加した。仮想空間にユーザの動作を反映させるために全身の姿勢を読み取るには，体に複数のマーカを装着し行うモーションキャプチャがある。しかしこれは大掛かりな機器の設置が必要になり，仮想空間でのコミュニケーションをする際にユーザは快適に使用できない。そこで本研究では，この問題を解決するためにウェアラブルデバイスを用いた姿勢推定を提案する。本研究の課題は仮想空間に汎用性がありユーザがコミュニケーション用途で使えることである。魚眼カメラを両手の掌及び手背に装着することで手に覆われている範囲は互いに補完可能になり全方位の周囲環境を映すことができる。これを利用して姿勢推定を行うことでユーザは小さな端末のみを装着するため快適に使用可能である。これらを実装することで，簡易で快適に仮想空間上にも指先の動作や身体動作を反映可能になる。本稿では，システムのコンセプトと実装を説明し今後の課題と展望について議論する。

キーワード：姿勢推定，魚眼カメラ，仮想空間，ウェアラブルデバイス

1. はじめに

近年，COVID-19 の蔓延によって対面での会議や講義が激減した一方，オンライン会議やテレワークなど仮想空間でのコミュニケーションや体験が急激に増加した。一例としてここ数年の企業説明会や内定式の多くが仮想空間で行われていることが挙げられる。現在オンライン会議はビデオ通話を用いたものが一般的だが，仮想空間に身体を用いたジェスチャやアクションが反映可能になり現在よりさらに実世界に近いものになれば，コミュニケーションの一環で仮想空間がより便利で実用性の高いものとなる。仮想空間にユーザの動作を反映させるためには全身の姿勢を推定しなければならない。全身の姿勢を読み取るには，体に複数のマーカをつけて環境中にカメラを複数台設置して行う光学式モーションキャプチャというものがある。しかしこれは大掛かりな機器の設置が必要になり，仮想空間でのコミュニケーションをする際にユーザは快適に使用できない。本研究ではこの問題を解決するために魚眼カメラを搭載するウェアラブルデバイスを用いた上半身の姿勢推定手法を提案する。対人でのコミュニケーションの多くは上半身のみを用いるものが多く特に手指や頭部を用いることが多いため，本研究の到達目標は上半身の姿勢推定に設定した。本システムのプロトタイプ装着例を図1に示す。本研究で提案するウェアラブルデバイスでは手に魚眼カメラを装着し，魚眼カメラ映像から頭部の位置姿勢及び手指の位置姿勢を推定する。魚眼カメラ映像が手の死角になる範囲を互

いに補完可能にするため手背及び手掌に魚眼カメラを装着する。両手の表裏にカメラを装着することで，画像処理技術を用いて指の関節動作を含む上半身の姿勢推定を可能にする。仮想空間中のユーザ位置の設定のため，机上にチェッカーボードを設置し，実空間のチェッカーボードに対するユーザ位置を仮想空間に反映する。これらを実装し推定した上半身姿勢を仮想空間に反映することでユーザは小さいウェアラブルデバイスを手に装着するだけで，仮想空間上にも簡易的に指先の動作や身体動作を反映可能になる。本研究の課題は仮想空間に汎用性があることとユーザがコミュニケーション用途で簡易的に使えることであり，仮想空間において複数人での使用を最終目標とする。これらの体験に求められる要件に対して本研究の目的の達成には，簡易的に設置できることと直感的な操作ができることが挙げられる。本研究では HMD を装着することを前提にしているが，スマートグラスを装着し VR 環境を構築する際にも提案手法が有用である。

本稿では，この到達目標の第一歩として用いる手法と，実験の成果及び今後の展望について報告する。実験では頭部の位置姿勢を推定する際に，既存の特徴点抽出を用いた手法と提案手法を比較する。提案手法がより正確に位置姿勢を行えるかについて調査を行い，提案手法がコミュニケーション用途において有用であることを示す。

¹ 関西学院大学大学院理工学研究科
Graduate School of Science and Technology Kwansei Gakuin University



図 1. プロトタイプ装着図

2. 関連研究

人の姿勢推定について今まで様々なアプローチで研究が行われてきた。体の部位ごとに分類すると、コントローラやジェスチャのための手指の姿勢推定と、全身の姿勢推定に分けられる。この章ではそれぞれの研究について述べる。しかしこれらは目的や用途により到達目標が分かれるため、実際に比較するためには目的や用途を揃えての検証が必要である。そのため本章では目的や用途を併せて手法について述べる。

2.1 手指の姿勢推定に関する研究

手指姿勢の推定には本研究で用いる画像情報処理以外にも多くのアプローチがされている。生野ら[1]は、聴覚障害者の発言を手助けする指文字認識のために Leap Motion[2]と MediaPipe[3]の比較を行い、MediaPipe がカメラから離れた指の推定に長けていて高精度であることを示した。これらはどちらも手指の姿勢推定を行うためのハードウェア及びソフトウェアだが、どちらも環境中にカメラを設置する必要があり、特定の場所での使用に限定され画角を外れるとジェスチャに対応できないという欠点がある。そこで、場所を限定されず手指の姿勢を推定する研究を紹介する。まず岩本ら[4]は、筋電センサを搭載したマルチジェスチャーバンド Myo を用いてじゃんけんを用いる手のジェスチャを識別するアプリケーションを開発した。Myo は腕の筋肉の電気信号を検出し、腕、手首、指の動きのジェスチャでワイヤレスコントロールが可能である。Myo はこの研究によって正しくクラスタリングし姿勢推定が可能であると示された。

久能ら[5]は、仮想空間におけるインタラクション手法

のために反射型光センサを用いて手の甲の皮膚変形を計測し手指の姿勢を推定するウェアラブルデバイスを提案し精度を評価する実験を行った。また蟻川ら[6]は、環境中に設置した魚眼カメラから指差し操作のできるネットワークモデルを作成した。しかしこれらの手法では手指の姿勢推定のみを実現しており、全身を使ったジェスチャには対応していない。

丸山ら[7]は、頭部と掌上に魚眼カメラを装着することで手指姿勢を推定し頭部までのベクトルを用いて AR ろくろ回しを実装した。しかしこの研究は頭と手の相対位置関係のみを推定しており腕を含む上半身の姿勢は推定できない。そこで本研究では手背にも魚眼カメラを装着することで、頭部および手指の位置姿勢を推定する。

2.2 全身の姿勢推定に関する研究

全身の姿勢を推定するために様々な製品や研究がなされている。Morpho Pose Estimator [8]は、ディープラーニングを用いて人の姿勢を推定する。鼻や眼、耳、首、肩、ひじ、手首、腰、ひざ、足首に設けた 18 箇所の特徴点の検出が可能である。このシステムでは従来のモーションキャプチャのようにユーザがマーカを装着する必要がなく、複数の人物に対して 18 箇所の特徴点を検出可能である。これは固定したカメラ画像から姿勢推定をするため、施設の監視映像に映った人物の姿勢を認識することを目的としている。そのため本研究の目的からすると手指姿勢の推定を想定していないという欠点がある。

Xu ら[9]は、魚眼カメラを帽子に装備し身につけることで、ユーザのリアルタイム姿勢推定を可能にする手法を提案した。この研究はキャリブレーションを必要としないため汎用性が高い。この研究は日常の全身運動の記録を目的としているが、頭部に魚眼カメラを付けると活動中の不快感や活動制限があるため本研究の目的であるコミュニケーション用途には適合しない。

Yuan ら[10]は、頭部に 1 台のウェアラブルカメラを装着することで、一人称視点映像を入力にユーザの姿勢を推定する手法を提案し将来の動きの予測生成も可能にした。この手法は、環境中にカメラを設置せず屋内外で推定することが可能である。しかし手法はジョギング、しゃがむ、回転、ジャンプ、傾斜などの複雑な動作に対応するのに対して、手指の姿勢を推定できないためジェスチャを用いたコミュニケーションには情報量が不足している。

Hwang ら[11]は、ユーザの胸部に魚眼カメラを装着し、撮影時の全身姿勢を出力する深層学習ネットワークを提案した。また Ahuja ら[12]は、ウェアラブルカメラと全身が映る鏡面球を頭部に装着することで全身の姿勢推定を可能にした。この研究では低コストで全身の姿勢、顔の表情身体的外観、および周囲環境のリアルタイム推定が可能である。表情の推定を可能にしたことで、ライフログを目的と

した使用を可能にした。しかしこれらの研究では全身の骨格は推定可能だが手指の姿勢は推定できない。また頭部にデバイスを装着することによる活動制限が生まれる。そこで本研究では机上に設置するチェッカーボード及び手背と手掌に装着したカメラのみから姿勢推定を行うことでユーザが簡易的で快適に使用可能で、リアルタイムでコミュニケーション用途を目的とした手指と上半身の姿勢を同時に推定可能なシステムを提案する。

3. 上半身姿勢推定手法

本章では、手背および手掌にカメラを装着し手指を含む上半身の姿勢を推定する手法と実装について述べる。

3.1 ハードウェア

本研究で用いるハードウェアについて述べる。本研究では、机上にチェッカーボードを設置し魚眼カメラを両手の表と裏に水平に装着することで、指の姿勢と上半身の姿勢をリアルタイムで推定する。魚眼カメラには RICOH THETA S[13]を用いる。

3.2 手法

システム全体の処理について述べる。全体の処理の流れを図2に示す。まず手背および手掌に装着した魚眼カメラから魚眼画像を取得する。次に机上に設置したチェッカーボードを基準としたカメラと頭部の座標を推定し、手指姿勢推定後に腕及び頭部姿勢を推定する。ここで手掌に装着したカメラの死角は手背に装着したカメラで補完可能であるため体の姿勢による制約なく実行可能である。

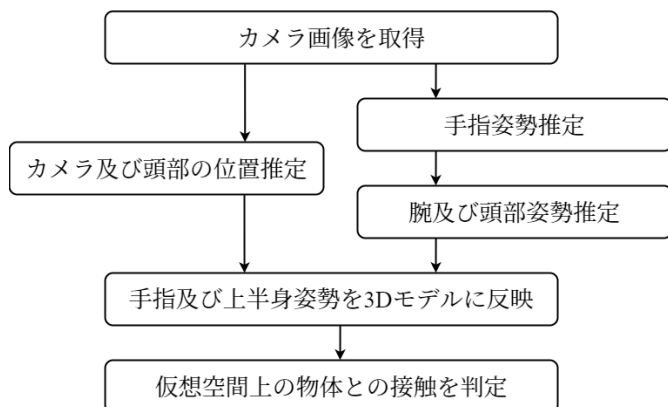


図2. 処理の流れ

頭部姿勢推定には Haar-Like 特徴量及び肌色ヒストグラムから顔のパーツを推定する手法を用いる。まず Haar-Like 特徴量を用いて顔領域を推定し、領域内の肌色領域を顔の領域とする。目の探索は顔領域から得られたヒストグラムとエッジ画像から得られたヒストグラムを用いて行う。

肌色画素のヒストグラムを図3に示す。肌色画素のヒストグラムは目の位置では窪み、頬に向かって盛り上がる。またエッジ画像から得られたヒストグラムでは目の付近を超えると大きく窪む。この窪みを目の位置とする。

手指の姿勢推定は、装着したカメラの画像から肌色検出とテンプレートマッチングを用いて指領域を検出した後、カメラから指先へのベクトルを推定する。藤木ら[14]が述べた手指の可動範囲を参考に、依存関係を考慮することでカメラから指先へのベクトルから逆運動学的にそれぞれの関節の角度を算出し、手指姿勢を推定する。アプリケーションでは、手指と上半身の姿勢を 3D モデルに反映し、仮想空間上の物体との接触を判定することを想定している。

3.3 チェッカーボードを用いた仮想空間上の位置決定

本研究で想定する仮想空間上での物体との接触には、仮想空間上でのユーザの位置設定が必要となる。ユーザの身体以外に基準となる座標系を作ることで本システムを複数人で使用時に同じ仮想空間上での体験を可能にする。本研究では、実空間の基点をチェッカーボードの中心点とする。机上に設置したチェッカーボードの格子隅の合計 54 点群からカメラの外部パラメータを求める。右手に装着したカメラから取得した equirectangular 形式画像からチェッカーボードの点群を推定しプロットした画像を図3に示す。この 54 点を用いて、チェッカーボードを基点にする座標系から、カメラ座標系に対する回転、並進ベクトルを推定する。以上によって基点に対するカメラ座標を取得でき、実空間でのユーザの位置を仮想空間でのユーザの位置に反映可能になる。

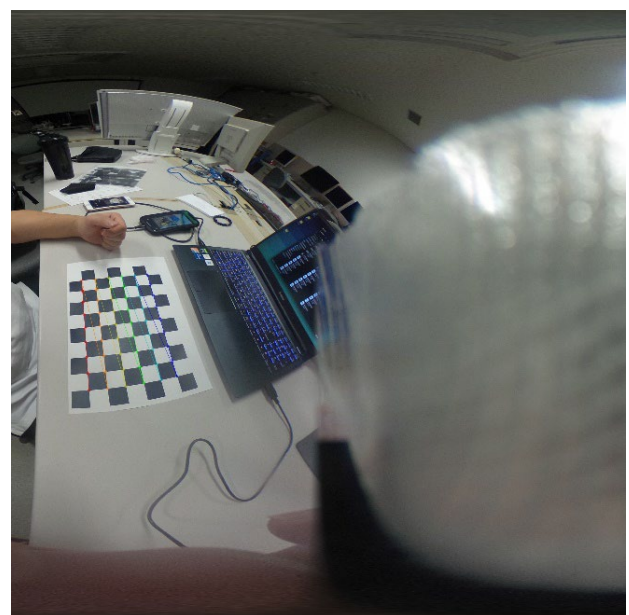


図3 チェッカーボードの格子隅

3.4 回転差分を用いたロール方向の頭部追跡

得られた画像から頭部の姿勢推定をするには、前処理で顔領域を追跡する必要がある。一般的な画角のカメラであれば画像端の収差は無視できるほど微量だが、魚眼カメラの画像は極端に収差が現れる。また本システムではカメラを手に装着しており使用中にカメラが自由に動くため顔は画像上をロール方向に回転する。しかし顔検出に用いる Haar-Like 特徴量は対象の顔がロール方向に約 10° 以上回転すると検出できないという問題がある。そこで顔を検出した 2 フレーム間の回転差分を次のフレームであらかじめ回転し正規化することで連続するフレームで特徴点を常に検出可能にする。図 4 にこの処理の流れを示す。

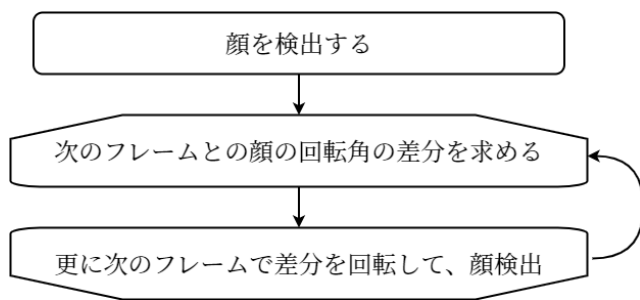


図 4 頭部追跡処理の流れ

まずシステム利用中に顔の特徴点が得られるまで待機する。特徴点が得られたら、次のフレームでの特徴点との差分から画像中の顔領域の回転角を算出し、次のフレームでその差分をあらかじめ回転し正規化する。人の動作は連続的であり、連続するフレーム間ではおおよそ同じような回転をする。算出した回転角と実際の回転角の差分が Haar-Like 特徴量の限界である 10° を超えない限りはこの正規化手法で頭部を追跡可能である。

3.5 ヒストグラム勾配を用いた頭部の姿勢推定

本研究では没入感を得るために実空間での動作を可能な限り仮想空間に反映する。そのため HMD やスマートグラスを装着する際、ディスプレイに出力する仮想空間は頭部の姿勢によって移動する必要がある。頭部の姿勢推定のために顔の特徴点検出ができる Haar-Like 特徴量を用いると、顔パーツの特徴点が実際の座標と乖離して検出される問題がある。本研究ではこの原因を魚眼画像中の一部である顔部分は画素数が少なく解像度が低いことであると仮定する。そこで、本節では頭部の姿勢推定を行うために画素数の低さに影響されないようヒストグラムを用いる手法について述べる。

武岡ら[15]は、皮膚の肌色情報を用いて原画像中から顔領域の自動検出を行い、人物の顔を把握するために顔領域画像を用いて顔の方向認識実験を行った。本研究ではこの

研究を参考にし、ヒストグラム勾配を用いて顔の姿勢推定を行う。まず魚眼画像中から Haar-Like 特徴量を用いて顔の領域を決定する。3.4 節の手法を用いて顔の領域をトリミングした画像を、 x 軸 y 軸方向にそれぞれ 15px ごとにスライスする。ここではリアルタイムで頭部追跡ができるよう処理速度を優先し 15px に設定した。スライスした画像の肌色画素の HSV 色空間ヒストグラムの勾配から目・輪郭の位置を推定する。本研究での肌色は Sherrah ら[16]が得た値に基づいて OpenCV の HSV 色空間で [3-19, 30-150, 60-255] とする。ただし色相(h)の表現は、8bit に収めるために色相環上の角度 θ を表現するのに OpenCV では $\theta/2$ が使われている。

顔領域が写るフレームの頭側から順に目、鼻、顎、顎下の輪郭それぞれのヒストグラムをプロットしたものを図 5,6,7,8 に示す。ここでは目視で理解し易くするために縦軸のスケールを別で設定した。図 5,6,7 と図 8 のヒストグラム間では彩度(s), 明度(v)それぞれに違いが出ている。図 8 すなわち輪郭付近では背景が画像上に現れ肌色画素が少ないため HSV すべてが 0 に集合する。このことから、OpenCV の HSV 色空間で色相(h)が 0-10 のとき 500 画素を超えるスライスを輪郭とした。また図 6,7 すなわち鼻と顎付近では肌全体が同じような色であるため、彩度(s), 明度(v)ともに勾配が少なくヒストグラムは同じ値に集合する。これに対して図 5 すなわち目付近は涙丘や目瞼、眉などで肌色の彩度(s), 明度(v)に勾配が現れるためヒストグラムは分散され平坦な形状になる。図 6 の鼻付近の彩度(s), 明度(v)はおおよそ図 7 の顎付近と変わらず、図 5 の目付近のようにヒストグラムは平坦にならない。任意に選んだ 50 フレームでは目と輪郭付近以外で彩度(s), 明度(v)共に 50 画素を超えることは無かった。そのためこの閾値を 55 にして目の位置推定を行う。得られた輪郭と目の位置から頭部の方向の算出手法は、3.6 節で述べる。

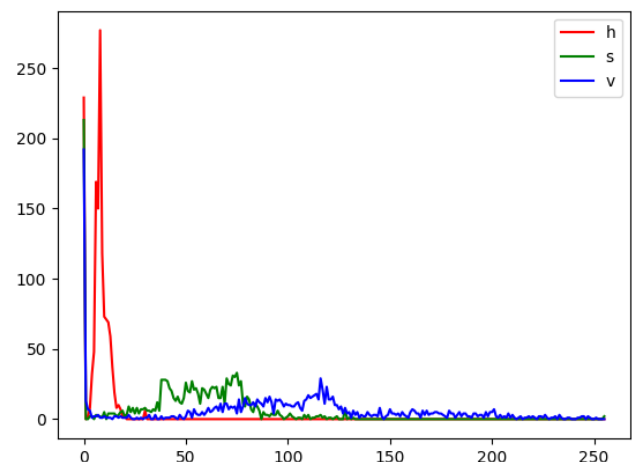


図 5 目付近での肌色の HSV ヒストグラム

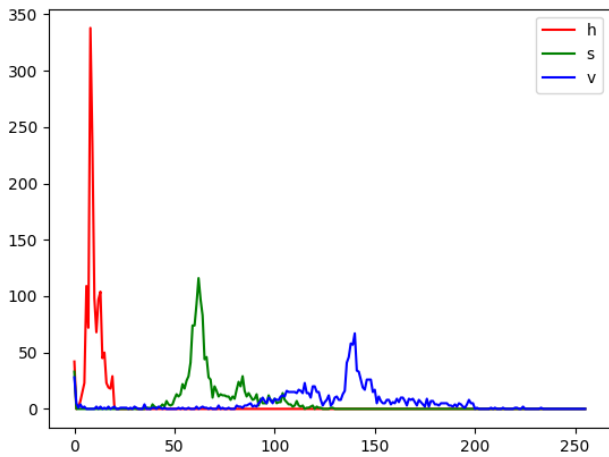


図 6 鼻付近での肌色の HSV ヒストグラム

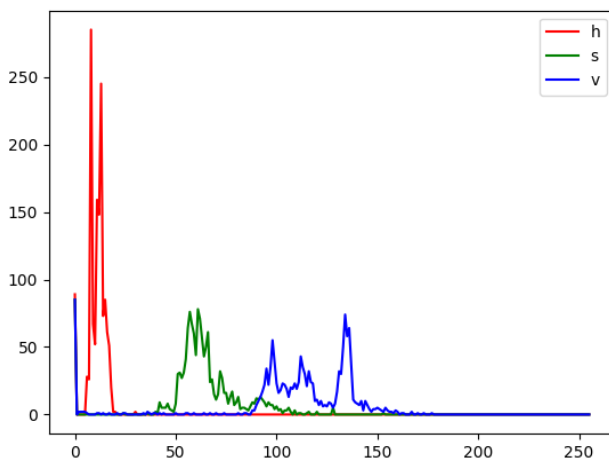


図 7 頬付近での肌色の HSV ヒストグラム

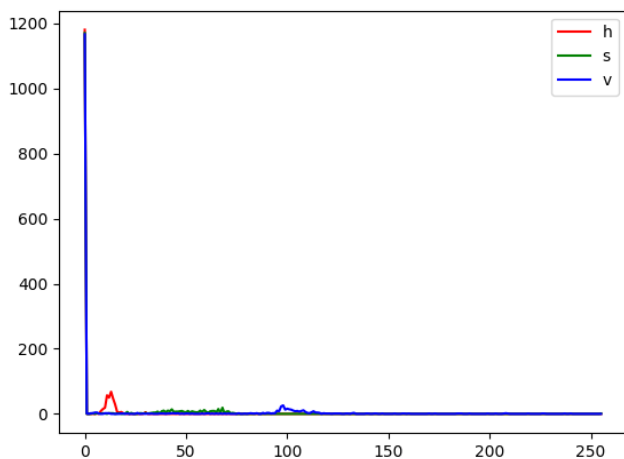


図 8 顎下の輪郭付近での肌色の HSV ヒストグラム

3.6 眼間距離を用いたカメラ・頭部間の距離推定

実空間での上半身の動作を仮想空間に反映するためには、実空間の基点から頭部のベクトルを取得する必要がある。このベクトルを取得するには、カメラ座標系から頭部座標系の回転、並進ベクトルが必要である。本研究ではこの並進ベクトルをユーザの眼間距離を用いて推定する。田谷 [17]は、健康な日本人の平均眼間距離(PD)は 64mm で大きくとも 5mm の誤差であるとした。このことを用いて 3.5 節で推定した輪郭と目の位置から、カメラから頭部のベクトルを算出する。以下は頭部のヨー方向の回転角の算出法について述べる。

頭部を天頂から見下ろした形状が真円であり、両目間の中点を C 、輪郭を $O1, O2$ であると仮定する。頭部の両目間の中点から遠い輪郭との距離を LOC 、近い輪郭の距離を SOC とし、これを図 9 に示す。 C から円周上で 120 度の点を $O1'$ と置くと $O1$ と $O1'$ はおよそ等しく、 $O1$ を $O1'$ としたとき、 LOC の誤差は最大でも $2 - \sqrt{3}(LOC + SOC)$ である。このことから $O1'$ と三角関数を用いて頭部の方向 θ を算出する。 3.5 節で得られた PD を PD_{tilt} 、頭部がカメラに垂直なときの画像上の PD を PD_{vert} としたとき、 θ および PD_{vert} を以下のように算出する。

$$\theta = \arcsin \frac{LOC - SOC}{LOC + SOC}$$

$$PD_{vert} = PD_{tilt} \cos \theta \quad (1)$$

算出した PD_{vert} を用いてカメラ座標系から頭部座標系の並進ベクトルを求める。

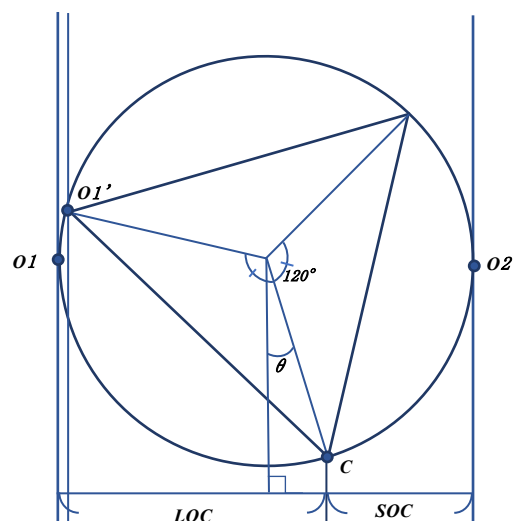


図 9 頭部を天頂から見た図

4. まとめ・今後の展望

4.1 まとめ

本稿では仮想空間に汎用性がありユーザが簡易的に使えることを目的に、カメラを手の表裏に装着し画像処理技術を用いて指の関節動作を含む上半身の姿勢推定を可能にした。推定の処理には、チェッカーボードを用いて仮想空間上の位置を決定し、回転差分を用いたロール方向の頭部追跡を行い、ヒストグラム勾配と眼間距離を用いて顔の位置姿勢推定手法を提案した。

4.2 考察・今後の展望

本研究では今後の展望としてアプリケーション実装のために非透過型 HMD を用いるが、最終目標はスマートグラスでの使用である。頭部の位置方向は使用する HMD にマーカを設置することで本研究の手法を用いずに推定可能だが、スマートグラスを用いた際にマーカは設置できない。そのため现阶段では HMD に顔のイラストを設置して仮想的に頭部の位置方向推定を行う。

Land[18]は、自然な状況では頭部の向きに視線の動きがおおよそ従うと示している。本稿では視線方向を推定していないが、今後の展望として頭部姿勢を用いて注視対象の推定を挙げる。本稿で用いる Haar-Like 特徴量を非透過型 HMD 装着時の顔検出に対応したものに置き換え、3.5, 3.6 節で示した頭部方向推定手法を HMD を装着するユーザに対応する閾値設定にすることで、ユーザの目を覆うデバイスを用いる場合でも視線推定が可能である。上半身の姿勢に加え視線情報を推定可能になれば視線情報を用いたコミュニケーションにも応用可能になる。

今後の展望では一般的なカメラの投影法と魚眼カメラの投影面法が違う問題を解決することがあげられる。一般的なカメラの投影法を図示したものを図9に、魚眼カメラの投影法を図示したものを図10に示す。どちらも物体のある位置を P 、カメラの中心を C 、カメラの画像上での物体の位置を P' とする。このとき図9の透視投影を式で示すと

$$\begin{aligned} x &= Xc/Zc \\ y &= Yc/Zc \end{aligned} \quad (2)$$

となる。次に物体 P を魚眼カメラの球面上に投影したときカメラの視線方向 Zc を基準とした角度 θ は

$$\begin{aligned} a &= \frac{Xc}{Zc}, b = \frac{Yc}{Zc} \\ r^2 &= a^2 + b^2 \\ \theta &= \arctan(r) \end{aligned} \quad (3)$$

となる。図9上では P と P' 両者とも C からの角度 θ は不変だが、図10上では C から P の角度 θ 、 C から P' の角度 θ' は異なる。

この θ, θ' 間でレンズ収差が発生するのは、レンズの歪み係数が $\{k_1 k_2 k_3, k_4\}$ であるとき、このレンズ収差による投影角の変化が

$$\theta' = \theta(1 + k_1 \theta^2 + k_2 \theta^4 + k_3 \theta^6 + k_4 \theta^8) \quad (4)$$

という多項式で示されるためである。画像上への投影式は

$$\begin{aligned} x &= \frac{a}{r} \theta' \\ y &= \frac{b}{r} \theta' \end{aligned} \quad (5)$$

で示される。上記のように一般的な画角のカメラのときレンズ収差は無視できるが、魚眼カメラの画像は歪み係数が大きくなり極端にレンズ収差が現れる。頭部の位置推定の処理に OpenCV と Haar-Like 特徴量を用いる際にはレンズ収差を考慮する必要があり、多項式係数による収差を考慮した手法を実装予定である。

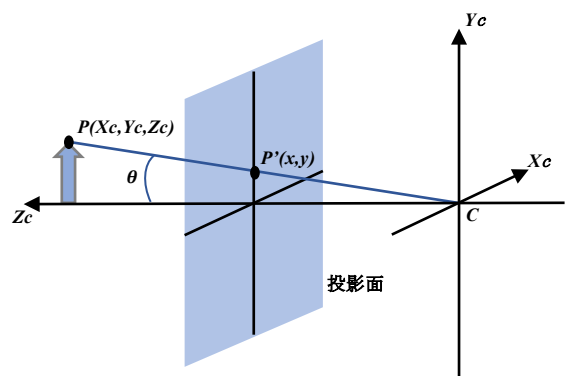


図10 一般的なカメラの投影法

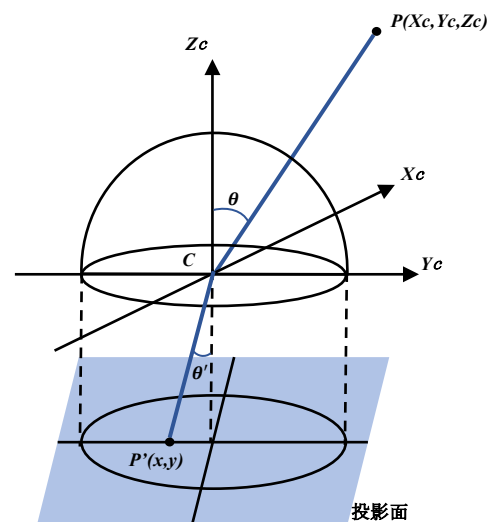


図11 魚眼カメラの投影法

参考文献

- [1] 生野優輝, 外村佳伸. “手指ジェスチャー認識に向けた Leap Motion と MediaPipe の比較検討”, 情報処理学会関西支部支部大会講演論文集, 2020, ROMBUNNO.G-12, 2020.
- [2] Leap Motion. <https://www.ultraleap.com/product/leap-motion-controller/> 2022年12月12日取得
- [3] MediaPipe. <https://google.github.io/mediapipe/> 2022年12月12日取得
- [4] 岩本万由子, 大井川仁美. “Myo を用いた腕の表面筋電位解析”, 情報処理学会研究報告, MPS-110, pp.1-6, 2016.
- [5] 久能若葉, 杉本麻樹. “手の甲の皮膚変形計測による手指姿勢の推定手法”, 映像情報メディア学会誌, 73 巻 3 号, pp.595-601, 2019.
- [6] 蟻川豊永, 小室孝. “指差し操作のための魚眼カメラ画像からの手指認識”, 2020年精密工学会秋季大会, pp372-373, 2020
- [7] 丸山裕介, 河野恭之. “頭部及び掌上装着カメラを用いた頭部に対する手の位置姿勢・手指姿勢推定”, 情報処理学会論文誌, 62, 2, pp.631-640, 2021.
- [8] Morpho Pose Estimator. <https://www.morphoinc.com/technology/poes> 2022年12月12日取得
- [9] Weipeng Xu, Avishek Chatterjee. “Mo2Cap2: Real-time Mobile 3D Motion Capture with a Cap-mounted Fisheye Camera”, IEEE TVCG Proc. VR, 2019.
- [10] Ye Yuan, Kris Kitani. “Ego-Pose Estimation and Forecasting as Real-Time PD Control”, ICCV 2019, arXiv:1906.03173, 2019.
- [11] Dong-Hyun Hwang, Kohei Aso, Ye Yuan, Kris Kitani, Hideki Koike. “MonoEye: Multimodal Human Motion Capture System Using A Single Ultra-Wide Fisheye Camera”, Graphic and image processing in general, Proc. UIST '20, pp. 98-111, 2020.
- [12] Karan Ahuja, Chris Harrison, Mayank Goel, Robert Xiao. “MeCap: Whole-Body Digitization for Low-Cost VR/AR Headsets”, UIST '19: Proceedings of the 32nd Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology, pp.453-462, 2019.
- [13] RICHO Theta. <https://theta360.com/ja/> 2022年12月12日取得
- [14] 藤木隆司, 陳維英, 吉本廣雅, 有田大作, 谷口倫一郎. “手の制約知識を用いた逆運動学解法による実時間三次元手形状推定”, 画像の認識・理解シンポジウム, 2005, pp. 1380-1387.
- [15] 武岡さおり, 尾崎正弘, 川田博美, 足達義則. “学習者認識のための顔画像検出と顔の向き認識の基礎的実験”, 名古屋女子大学紀要 人文・社会編, 49, pp.129-136, 2003.
- [16] Jamie Sherrah, Shaogang Gong. “Skin Colour Analysis”, https://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/CVonline/LOCAL_COPIES/GONG1/cvOnline-skinColourAnalysis.html 2022年12月12日取得
- [17] 田谷修一郎. “両眼間距離の違いが生む視知覚と視覚認知の個人差”, 科学研究費補助金研究成果報告書, 2017.
- [18] Michael F Land. “The coordination of rotations of the eyes, head and trunk in saccadic turns produced in natural situations”, Experimental Brain Research, 159, pp.151–160, 2004.