

# ヘッドマウント型視線追尾システムにおける頭部動き補償キャリブレーション

堀江 友祐<sup>†</sup> Prima Oky Dicky Ardiansyah<sup>†</sup> 伊藤 久祥<sup>†</sup>

<sup>†</sup>岩手県立大学ソフトウェア情報学部

## 1. はじめに

視線追尾システムは、心理実験や画像・映像評価、熟練者と初心者の視線比較などにおいて多く利用されている。特に工場の作業員間での視線比較や運転中の視線方向分析などでは、ユーザが自由に動くことがあるため、ヘッドマウント型の視線追尾システムの需要が高まっている。ヘッドマウント型のシステムとしては、Tobii グラス（トビー・テクノロジー・ジャパン株式会社）や EMR-9（株式会社ナックイメージテクノロジー）などがあるが、視線追尾の精度を確保するために、キャリブレーション中に被験者の頭部を動かさないようにする必要があり、その負担が大きい。そこで、本研究では、頭部動き補償キャリブレーションを提案し、キャリブレーション中に頭部を動かしても、常に高精度の視線追尾が行えるヘッドマウント型視線追尾システムの開発を試みる。

## 2. ヘッドマウント型視線追尾システム

ヘッドマウント型視線追尾システムは、眼球撮影用のカメラ（アイカメラ）と注視者が見た風景を撮影するカメラ（ビューカメラ）によって構成される。これら 2 つのカメラによって、注視者の注視点を実際に注視した物体の映像に重ねることができる。この一連の処理は次のように実現される。

まず赤外線カメラによって瞳孔を検出し、瞳孔の中心座標を追従する。次に、キャリブレーション処理を通じて、瞳孔の中心座標を実際に注視したビューカメラの映像内のコンピュータスクリーンの座標に変換することで、注視点をビューカメラの映像内に投影することができる（図 1）。しかしながら、キャリブレーション時に頭部を動かすと、キャリブレーションの結果に誤差が生じ、高精度に視線を追尾できない。

## 3. 提案のキャリブレーション手法

上述のように、キャリブレーション時の頭部の動きによるキャリブレーション結果の誤差を

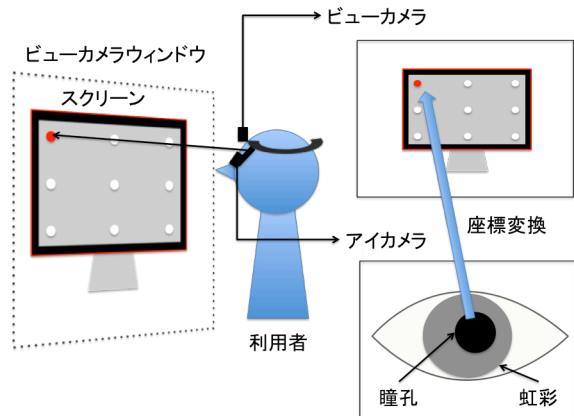


図1 一般的なキャリブレーションの様子

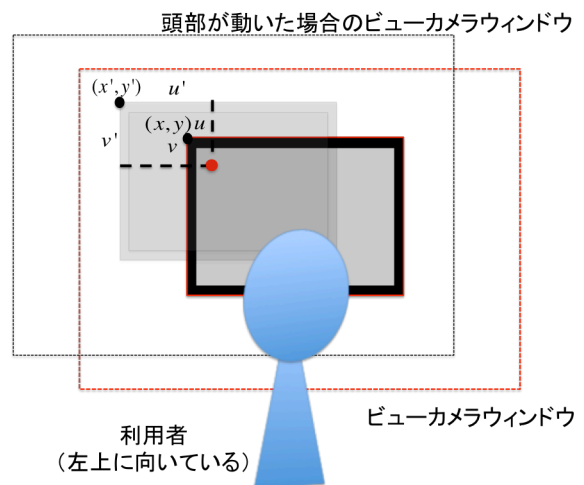


図2 動き補償処理の概略図

対処するために、頭部動き補償処理を導入する。本補償処理では、頭部姿勢の変化量を取得し、その変化量に応じてスクリーン上の基準点の座標を修正することで、瞳孔中心とスクリーンの座標との位置合わせを実現できると考える。ここで、頭部の動き検出は、スクリーン上に設置した AR マーカー<sup>[1]</sup>をビューカメラで追従することにより行われる。

### 3.1. 初期座標の設定

図 2 は、頭部動きによるビューカメラから見た基準点の座標の変化における概略図を示す。キャリブレーション開始時に、ビューカメラの映像内でのスクリーン四隅の座標を記録し、それを初期座標  $(x, y)$  として保持する。頭部の動き

Unrestricted Head Movement Calibration System for Head-mounted Eye Tracker

Yusuke Horie<sup>†</sup>, PRIMA Oky Dicky A.<sup>†</sup>, Hisayoshi Ito<sup>†</sup>

<sup>†</sup> Faculty of Software and Information Science, Iwate Prefectural University

表 1 キャリブレーションデータの様式

$n$ 番目の基準点	瞳孔の中心座標	基準点の座標
1	$(Ex_1, Ey_1)$	$(u_1, v_1)$
⋮	$(Ex_2, Ey_2)$	$(u'_1, v'_1)$
⋮	$(Ex_3, Ey_3)$	$(u''_1, v''_1)$
⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮
$n$	⋮	⋮

によってビューカメラの映像からみたスクリーン座標が変化しますが、保持した初期座標でその変化量を求めることができる。

### 3.2. 初期座標の設定

説明の便宜上で、図 2 のようにキャリブレーションのためのスクリーン上の基準点 $(u,v)$ が 1 点、そしてキャリブレーション中の頭部動きが 1 回発生するものと仮定する。頭部の動きによって、頭部の姿勢がスクリーンに対して右上へ向いているため、スクリーンの初期座標が $(x',y')$ に移動する。ここで、 $(x,y)$  と  $(x',y')$  との関係は

$$\begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{13} \\ h_{21} & h_{22} & h_{23} \\ h_{31} & h_{32} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} = s \begin{bmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{bmatrix}$$

で表現すると、同式で頭部動きに伴う基準点の座標 $(u',v')$ を求めることができる。ここで、 $h_{11} \sim h_{32}$  はホモグラフィ行列の係数である。2 回目以降の頭部動きにおいても同様に、基準点の座標の修正を行う。

### 3.3. キャリブレーション中のデータ収集

キャリブレーション中において、瞳孔の中心座標と基準点の座標を収集する。表 1 は、収集したデータの様式を示す。キャリブレーションのデータの収集は、瞳孔画像のフレームごとに行われており、本研究で使用したアイカメラが 30 fps で動作しているため、1 秒間に 30 点の瞳孔と基準点に対応付けされたデータを記録する。なお、基準点ごとに、キャリブレーション中における頭部動きをもとにその座標を更新する。例えば、表 1 の $(u_1, v_1)$ は 1 番目の基準点の初期座標であり、 $(u'_1, v'_1)$ と $(u''_1, v''_1)$ はそれぞれ第 1 回と第 2 回の頭部の動きによって更新された 1 番目の基準点である。 $n$  番目の基準点でのデータ収集も上記と同様に行う。

### 3.4. アイカメラからビューカメラへの座標変換

上記 3.3 で収集したデータをもとに、瞳孔の中心座標と基準点の座標からのホモグラフィ行列を求め、アイカメラの座標をビューカメラの座標に変換する。ただし、提案手法における基準

表 2 実験結果

被験者	視線誤差角度 (RMSE)	頭部移動量 (RMSE)
1	0.44 °	10.01 °
2	0.61 °	10.14 °
3	0.44 °	9.02 °
4	0.65 °	10.05 °
5	0.84 °	9.11 °
6	1.00 °	10.61 °
7	0.48 °	10.60 °
8	0.90 °	9.94 °
9	0.86 °	9.62 °
10	0.99 °	8.91 °

点の数として初期の  $n$  基準点ではなく、基準点に修正を行った場合、当該基準点を新たな基準点として扱う。

## 4. 実験

以上の手法を実装した視線追尾装置を装着し、頭部動き補償キャリブレーションを実装した視線追尾システムを用いて視線追尾の精度<sup>[2]</sup>を検証した。被験者は学生 10 名である。実験用の PC として 13 インチ(286 mm×179 mm)の MacBook Air を使用した。スクリーン中心の高さと被験者の頭部の高さが同じになるように位置を調整した。また、スクリーンと目との距離はディスプレイの縦幅の 3 倍(約 50cm)になるように設定した。

表 2 は、実験結果を示す。被験者 1, 3, 7 では頭部移動量が大きいにも関わらず、視線角度誤差が約 0.5 度以内で視線を追尾することが可能であることを確認した。これにより、頭部が動いても、その頭部の動きを補償してキャリブレーションを行うことが可能になり、提案手法が有効であることを確認できた。

## 5. おわりに

本研究では、頭部動き補償キャリブレーションの機能を搭載したヘッドマウント型視線追尾システム開発した。これにより、自然な姿勢で視線のキャリブレーションを行うことができるため、本システムの利用者への負担を軽減することができるだけでなく、幅広い年齢層での視線追尾への応用を期待できる。

### 参考文献

- [1] Kato, H., Billinghamst, M., Marker Tracking and HMD Calibration for a Video-based Augmented Reality Conferencing System, Proceedings of the 2nd IEEE and ACM International Workshop on Augmented Reality '99, p.85-94, 1999.
- [2] Tobii® Technology, Accuracy and precision test method for remote eye trackers, Test Specification Version: 2.1.1, 2011.