

実用的なメガネ型 3 次元視線計測装置の開発

加藤 健太[†] Prima Oky Dicky Ardiansyah[†] 伊藤 久祥[†]

岩手県立大学ソフトウェア情報学部[†]

1. はじめに

これまでに多くの視線計測装置が開発されており、心理学やマーケティングなどの研究分野に広く用いられている。近年の VR（バーチャルリアリティ）や MR（ミックスドリアリティ）の普及により、効果的な情報提示のために、3 次元空間における視線情報の分析が求められている。しかし、3 次元視線の計測方法はいくつかの研究によって報告されている¹⁾が、未だに実用化されていない。実用化が困難な原因は、前処理として、事前に定められた視標と、視標を注視した際の瞳孔座標との位置合わせ（キャリブレーション）に利用する視標数が多く、短時間で正確にキャリブレーションを行えないことにある。さらに、輻輳して各視標を注視することを容易にする方法も開発されていない。

本研究では、実用的なメガネ型 3 次元視線計測装置を開発するために、3D ディスプレイを利用したキャリブレーションの簡易化や、注視が容易な視標の提示方法を提案する。

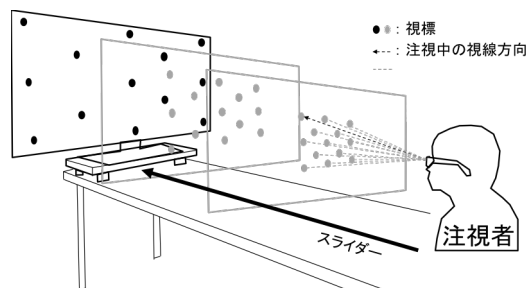


図 1 既存の 3 次元視線計測の概略図

2. 既存の 3 次元視線計測装置

3 次元視線に関する推定するための手がかりとして、異なる奥行きにある対象物に視線を移動させた際に、両眼が違う方向に動く輻輳開散運動がある。この原理を利用して、3 次元空間に配置した複数の視標を注視する際の両眼の瞳孔座標と、その輻輳開散運動の関係をもとに視線方向を計測すれば、3 次元視線を求められる。図 1 は、Mlot ら(2016)²⁾が実装した 3 次元視線計測の概略図を示す。

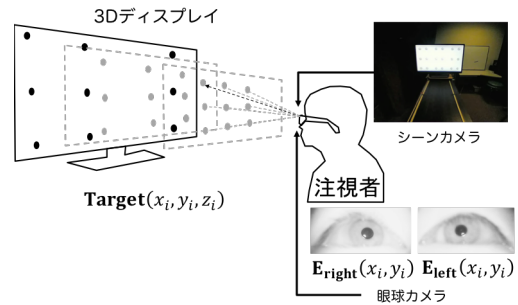


図 2 提案する 3 次元視線計測装置

3. 提案のメガネ型 3 次元視線計測装置

図 2 は、提案するメガネ型 3 次元視線計測装置を利用してキャリブレーションを行なっている様子を示す。3D ディスプレイには、複数の視標 $\text{Target}(x_i, y_i, z_i)$ を 3 次元空間に配置しており、注視者が各視標を順番に注視してキャリブレーションを行う。

3.1 視線の算出方法

3 次元視線の算出には、視標 $\text{Target}(x_i, y_i, z_i)$ と、キャリブレーション時に得られた、視標を注視した際の左目の瞳孔の中心座標 $\mathbf{E}_{\text{left}}(x_i, y_i)$ と右目の瞳孔の中心座標 $\mathbf{E}_{\text{right}}(x_i, y_i)$ を利用して、多項式を構築する。本研究では視標 $\text{Target}(x_i, y_i, z_i)$ を

$$\mathbf{A} \cdot \mathbf{F}(\mathbf{E}_{\text{left}}(x_i, y_i), \mathbf{E}_{\text{right}}(x_i, y_i)) + \xi \quad (1)$$

で求める。ただし、 $\mathbf{A}$ は $m \times n$ の行列 (m は求める視標の次元数, n は多項式で使用する係数の数), $\mathbf{F}$ は多項式を解くために $\mathbf{E}_{\text{left}}(x_i, y_i)$ と $\mathbf{E}_{\text{right}}(x_i, y_i)$ を組み合わせた $n \times 1$ の行列 (1 は視標数), ξ は残差である。なお、 $\mathbf{A}$ は、次式より、最小自乗法で求める。

$$\argmin \sum_{i=1}^N \left\| \mathbf{A} \cdot \mathbf{F}(\mathbf{E}_{\text{left}}(x_i, y_i), \mathbf{E}_{\text{right}}(x_i, y_i)) - \text{Target}(x_i, y_i, z_i) \right\|^2 \quad (2)$$

3.2 輻輳運動を発生し易くする視標の提示方法

図 2 のように、注視者と 3D ディスプレイとの距離を 3 つに分けて、それぞれの距離に注視面を構築する。各注視面において、 3×3 グリッドに計 9 つの視標を配置する。ここで、輻輳運動を発生し易くするために、以下の工夫を施した。

Development of Practical-used 3D Eye Tracker
Kenta KATO[†], Prima Oky Dicky Ardiansyah[†], Hisayoshi ITO[†]
[†]Faculty of Software and Information Science, Iwate Prefectural University

a. テクスチャ付きの 3D 視標

3D 視標としてスフィア(sphere)を採用し、当該スフィアにテクスチャをマッピングする。これによって、テクスチャの解像度が最も高くなるように視認することで、輻輳運動が発生し易くなると期待できる。

b. アニメーション付きの視標移動

注視者の方に 3D 視標を奥から近づけて表示する。これによって視標間の奥行き方向に対する知覚を容易にし、瞳孔の中心座標の移動を正確に取得することが期待される。

3.3 ハードウェアの構成

両眼の瞳孔を撮影するためのカメラ（眼球カメラ）として赤外線フィルタを装着した Microsoft HD-3000、そして注視者が見た風景を撮影するための超広角レンズ装着の BUFFALO BSW200MBK（シーンカメラ）を利用する。ここで、メガネフレームとカメラマウントは 3D プリンタで作成した。

4. 実験

本実験では、提案のメガネ型 3 次元視線計測装置の計測精度を確認し、効果的な 3D 視標の提示方法を検証する。ここで、被験者の目が 3D ディスプレイの中心の高さになるように頭部を固定し、被験者と 3D ディスプレイとの距離が 150cm になるように 3D ディスプレイの位置を設定した。キャリブレーションでは、テクスチャ付きとテクスチャ無しの 3D 視標、アニメーション付きとアニメーション無しの 3D 視標を利用して、独立に実施し、それぞれによって得られる視線計測精度を求める。本実験では、視標間の移動を 1 秒要しており、注視位置に到達後に視標を 1 秒間で表示し、被験者に注視してもらう。なお、3D 視標のテクスチャとして、複雑な模様で、かつ被験者にわかりやすい地球が描かれたテクスチャを利用した。

5. 結果

被験者 8 名（男 4 名女 4 名）に対して、3 次元視線の計測実験を行った。表 1 は、各被験者とそれぞれの 3D 視標の提示方法によって算出したキャリブレーション時の 3D 視線の推定精度（3D 視標と 3 次元視線の推定点との差）を示す。その中で、テクスチャ付きかつアニメーション無しの 3D 視標を利用したキャリブレーションは、最も高い精度を示している。ただし、50cm, 100cm, 150cm の注視面に対して、全体的に視線計測の平均精度が 10cm 以内に確保できることから、どの被験者からも正確に 3D 視線計測を行えると考えられる。さらにテクスチャとアニメーションを要因として、それぞれの要因の効

表 1 3D 視線の計測精度 (cm)

Subject	Using Texture		Without Texture	
	Animated	Non-animated	Animated	Non-animated
1	4.11	1.30	7.48	7.17
2	4.82	5.01	6.69	2.96
3	6.74	2.56	4.23	7.65
4	7.13	7.18	11.33	1.95
5	3.72	5.51	7.73	11.33
6	3.78	5.70	2.21	8.16
7	3.62	5.77	6.40	6.77
8	4.72	4.44	10.42	9.26
Mean	4.831	4.684	7.061	6.906
Std. Dev.	1.3759	1.8974	2.9834	3.1046

表 2 要因分析の結果

Effect	DoF	Mean Sq.	MSE	F-value	P-value
Texture	1	0.1820	0.1820	0.0244	0.0324 *
Animated	1	39.6457	39.6457	7.0885	0.8803
Texture×Animated	1	0.0001	0.0001	0	0.9965
Error	31	208.0554	6.7115		

* <0.05 ** <0.01 *** <0.001

果または交互作用効果をみるために、二元配置分散分析を行なった。その結果、5%の有意水準でテクスチャの効果が認められており、テクスチャ付きの視標を利用することでより正確にキャリブレーションが行えることがわかった。表 2 は、二元配置分散分析の結果を示す。

6. おわりに

本研究では、メガネ型 3 次元視線計測装置を開発した。視線のキャリブレーションに 3D ディスプレイを導入することと、キャリブレーションの視標にテクスチャを取り入れることとで、高精度に 3 次元視線計測を実現できた。今後は被験者数を増やし、より詳細な分析を行うとともに、計測回数や、視標の提示時間の変化による精度変化を検証していく。

参考文献

- 1) Andrew, T. Duchowski., Brandon, Pelfrey., Donald, H. House., Rui, Wang.: “Measuring Gaze Depth with an Eye Tracker During Stereoscopic Display”, Proceedings of the 8th Symposium on Applied Perception in Graphics and Visualization. 15-22 (2011).
- 2) Mlot, E.G., Bahmani, H., Wahl, S., and Kasneci, E.: “3D Gaze Estimation using Eye Vergence”, Proceedings of the 9th International Joint Conference on Biomedical Engineering Systems and Technologies. 125–131, (2016).