

簡易なキャリブレーションで実現するメガネ型 3D 視線計測機器の開発

加藤健太^{†1} プリマ オキ ディッキ A.^{†1} 今渕貴志^{†2} 伊藤久祥^{†1}

従来開発されてきた 3D 視線の推定手法においては、多数の視標を利用して両眼の瞳孔中心座標とその輻輳との関連をもとに 3 次元座標として求めるものが多い。本研究では、複数の視標と両眼の瞳孔中心座標との関係を機械学習し、その学習データを利用してより少ない視標で 3D 視線の推定を試みる。実験を通して、視標数と視線計測の精度との関係を明らかにし、キャリブレーション時間が短く実用的なメガネ型 3D 視線計測機器の実現を目指す。

3D Gaze Eye Tracking Glasses with Simple Calibration Method

KENTA KATOH^{†1} OKY DICKY ARDIANSYAH PRIMA^{†1}
TAKASHI IMABUCHI^{†1} HISAYOSHI ITO^{†1}

Basically, the 3D gaze position can be estimated using the eye vergence information extracted from coordinates of pupil center from both left and right eyes. However, this estimation needs a complex calibration phase. Unlike the 2D eye tracking, the current calibration phase for 3D gaze estimation requires many visual targets distributed evenly in a 3D space. Moreover, users need a lot of efforts to maintain stable depth impression on fixating each target. In this study, we propose a simple calibration method for 3D gaze estimation by utilizing pre-defined calibration data previously collected from users.

1. はじめに

輻輳開散運動 (convergence-divergence movement) とは、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眼球運動のことである。この輻輳開散運動は、調節性輻輳開散運動 (accommodative vergence) や視差性輻輳開散運動 (disparity vergence) などの複数の手がかりによって生じるものである。輻輳開散運動をもとにした 3 次元視線追跡 (3D gaze eye tracking) 手法は大別して 2 つある。1 つ目は、眼球の幾何学的なモデルにもとづくものであり、両眼球の中心と瞳孔中心からのベクトルを交差させることで、3 次元視線追跡が実現されている。2 つ目は、多項式補間関数にもとづくものであり、3 次元空間上に配置されている視標の位置と、当該視標を注視する際の両眼の瞳孔中心の座標との関係から、3 次元視線追跡が実現されている。Mlot ら(2016)¹⁾は、5 段階の奥行き情報をもつ視標 (計 125 点) を利用した 3D 視線のキャリブレーションを提案し、20~40cm の 3D 視線計測を視角 1.2°の精度で実現した。しかしながら、大量の視標を要することと、計測可能な 3D 視線の奥行き情報が短いことから、当該手法が実用的とはいえない。本研究では、実用的な 3D 視線計測機器を開発するために、まず 3D 視線のキャリブレーションを簡単にし、150cm 先までの 3D 視線を高精度に推定する手法の開発を試みる。

2. 提案の 3D 視線計測のための簡易キャリブレーション

本研究では、まず 3D 視線計測のためのキャリブレーションに必要な視標数を少なくし、キャリブレーション時間を短縮する。次に、視線計測精度を向上させるために、Mlot ら

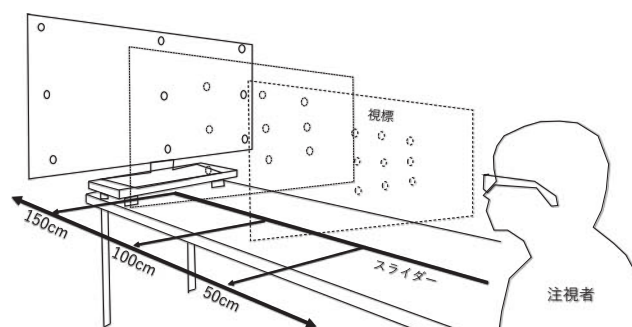


図1 キャリブレーションと視線計測評価用の機材
Figure 1 Experiment setup for calibration and evaluation

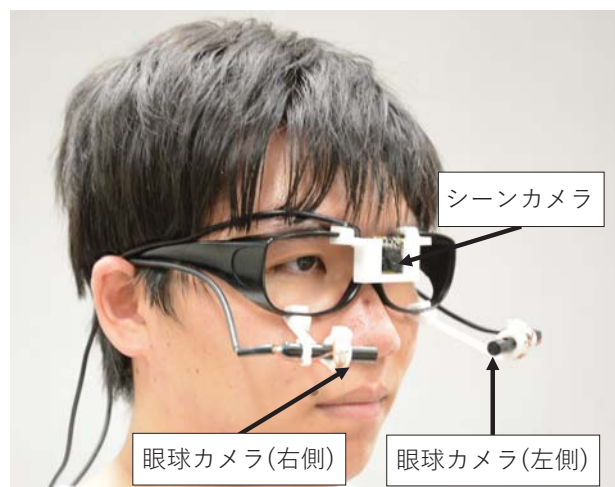


図2 試作したメガネ型 3D 視線計測機器
Figure 2 Our 3D eye tracking prototype

^{†1} 岩手県立大学ソフトウェア情報学部
Faculty of Software and Information Science, Iwate Prefectural University

^{†2} 岩手県立大学ソフトウェア情報学研究科
Graduate School of Software and Information Science, Iwate Prefectural University

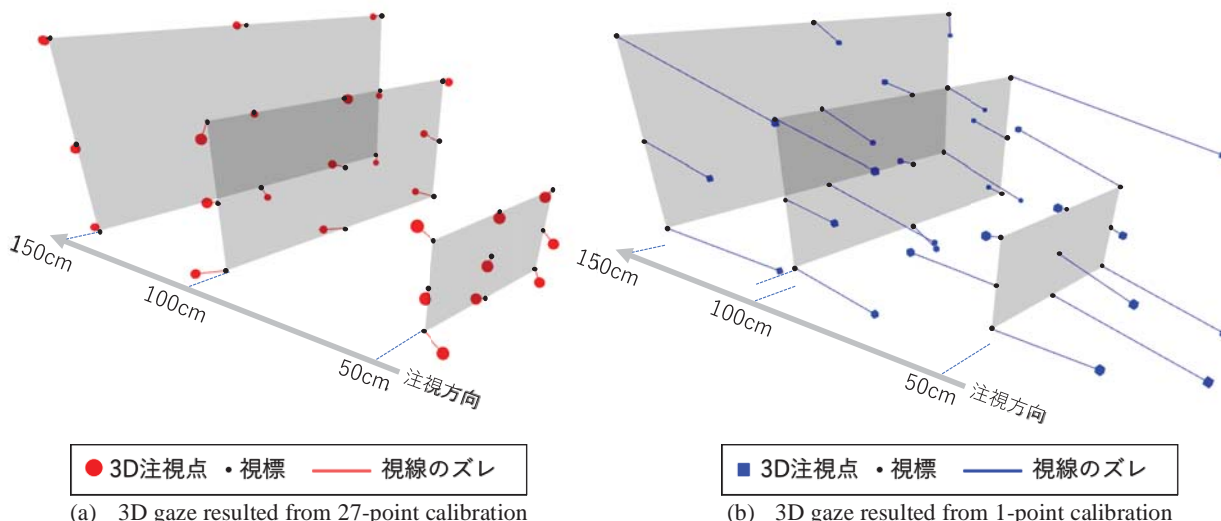


図3 3D視線計測の実験結果
Figure 3 The resulted 3D gaze in our experiment

(2016)と同様の2次多項式を採用するが、多項式の係数を増やし、両眼球の輻輳開散運動を精密にモデル化できるようにする。ここで、視標 $\text{Target}(x_i, y_i, z_i)$ を注視する際の両目の瞳孔中心の座標 $\{\mathbf{E}_{\text{left}}(x_i, y_i), \mathbf{E}_{\text{right}}(x_i, y_i)\}$ を利用して、多項式を構築する。図1は、キャリブレーションのための視標を示す。図のように、注視者から、それぞれの面を50cm, 100cm, 150cmに配置し、面ごとに9つの視標を配置する(視標数は計27点ある)。 $\text{Target}(x_i, y_i, z_i)$ と左目の瞳孔中心座標 $\mathbf{E}_{\text{left}}(x_i, y_i)$, 右目の瞳孔中心座標 $\mathbf{E}_{\text{right}}(x_i, y_i)$ との関係

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

で求める。ただし、 \mathbf{A} は $m \times n$ の行列、 $\boldsymbol{\xi}$ は残差である。 \mathbf{A} は、次式より、最小自乗法で求める。

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

最後に、必須ではないが、1点キャリブレーションの実験を試みる。1点キャリブレーションでは、前述で得られた多項式を利用して任意の注視者の3D視線計測を行うが、視線のズレを軽減するために、1点の視標 (x, y, z) を注視した際のズレを利用して補正する。

3. 実験と結果

提案の簡易キャリブレーションを利用して、実際に3D視線計測の実験を行なった。図2は、使用した視線計測機器を示す。当該機器には、両眼球を撮影するための超小型赤外線カメラと、注視先の風景を撮影するためのシーンカメラ(可視光カメラ)で構成されている。本実験では、被験者1名に対して、27点の視標を注視してもらい、キャリブレーションを実施した。ここで、3D視線計測用のコンピュータとしてMacBook Pro(Core i5, 8GB)を利用した。

図2(a)は、推定した3D視線を視標上にプロットしたものを示す。推定した視線の平均誤差は、水平方向で2.19cm, 垂直方向で0.88cm, 奥行き方向3.52cmとなっており、実用的な3D視線情報であるといえる。さらに、3D視線計測可能な範囲が50cm~150cmとなっており、Mlotら(2016)が達成した3D視線計測性能よりも優れている。

図2(b)は、1点キャリブレーションによって推定した3D視線を視標上にプロットしたものを示す。推定した視線の平均誤差は、水平方向で4.26cm, 垂直方向で2.34cm, 奥行き方向23.96cmである。このように、1点キャリブレーションによる3D視線計測では精度が低下したが、今後、複数の被験者からキャリブレーションデータを収集して機械学習²⁾することで、1点キャリブレーションによる3D視線計測の精度を改善できると考えられる。また、キャリブレーション時の集中力の低下により、輻輳開散運動を適切に行わない場合があり、キャリブレーション時のノイズ軽減の仕組み³⁾を考える必要もあると考えられる。

4. おわりに

本研究では、メガネ型3D視線計測機器を製作し、簡易なキャリブレーションを実装することで、実用的な3D視線計測機器の開発を試みた。27点の視標によるキャリブレーションでは、高精度に3D視線の推定を行うことができる。今回の実験では、1点キャリブレーションによる3D視線計測を試みたが、その精度が実用レベルに達していない。今後、引き続き、その精度の改善に努めたい。

参考文献

- 1) 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). DOI: <http://dx.doi.org/10.5220/0005821201250131>
- 2) Essig K, Pomplun M, and Ritter H: Application of a Novel Neural Approach to 3D Gaze Tracking: Vergence Eye-Movements in Autostereograms, Proceedings of the 26th Annual Meeting of the Cognitive Science Society, Chicago, Illinois, USA: Cognitive Science Society: 357-362, (2004).
- 3) Chen, J., Tong, Y., Gray, W., Ji, Q.: A Robust 3D Eye Gaze Tracking System using Noise Reduction, Proceedings of the symposium on Eye tracking research & applications, (2008).