

複数の眼球カメラを用いた視線測定範囲の広視野化

Widening of the effective eye-gaze tracking area by using multiple cameras

小峯 一晃[†] 澤島 康仁[†] 森田 寿哉^{†*}

Kazuteru Komine Yasuhito Sawahata Toshiya Morita

1. はじめに

スーパーハイビジョンのような超高精細映像システムで映像を鑑賞する場合、従来に比べて広視野の映像を視聴する環境になることが想定される[1]。その際、視聴者の注意がどのように分布する傾向にあるかを調べることは広視野コンテンツを制作する際の有用な知見になると考えられる。著者らは映像を視聴中の視線データを多数集積し、それらの分布から映像中の注意が向きやすい領域を調べることにより演出などの効果を検証する手法の開発を試みている[2]。同様に、広視野に提示されたコンテンツを視聴している時の視線を測定して広視野に特有の視線分布を算出できれば、コンテンツを制作する上で配慮すべき点などの知見が得られると思われる。しかしながら、現時点では、自然な視聴環境を確保しながら広視野に分布する視線を測定し、視聴者の注視点を簡単に分析できる装置が存在しない。今回、非接触で計測可能な瞳孔-角膜反射法による視線測定装置を複数システム用いて広視野化を試み、誤差が2度程度で水平方向約80度の測定範囲を可能にした。詳細を以下に記す。

2. 視線測定装置の広視野化

広い測定領域を想定した視線測定装置の開発例としては文献[3][4]などがある。これらは水平方向の測定視野が96度、260度と広い測定領域を可能としているが、いずれも眼球カメラを装着する方式であり、装着する機器が負担になったり、広視野映像観視時には周辺視野を遮るなど自然な視聴を妨げる可能性がある。また、注視点がシーンカメラとの相対的な位置で算出されるため、提示映像に対する注視点を算出する際に、画像座標へ変換するための処理の追加やさらなる装置の装着が必要となる点で課題がある。

一方、非接触型の測定装置では、複数のカメラを用いることにより頑健な測定を可能にした例[5]が報告されている。被測定者の広い頭部可動範囲を実現し、測定視野も広がっていると思われるが、視野の観点からは言及されていない。

3. 試作装置

著者らは非接触型の瞳孔-角膜反射法を複数システム利用して多人数の視線を同時に測定するシステムを開発した[6]。今回は本システムを利用し、広視野化を図った。装置構成を図1に示す。被測定者は映像(視標)を提示するスクリーンから約3mの位置に着座し、5台の眼球撮影用カメラを被測定者から約1.5mの距離に20度間隔になるように配置した。異なる角度から撮影された眼球画像を各システムの視線測定サーバで画像処理して注視点の候補を算出し、各々の結果を統合することで最終的な注視点位置を推定した。また、近赤外LED(波長850nm)を眼球から0.6mの距離

に設置し、中央に配置したカメラの下方から眼球を照明するようにした。

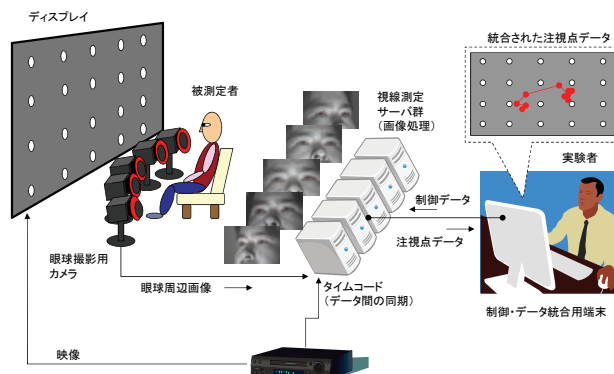


図1 装置構成

各システムにおける処理の流れを図2に示す。カメラ設置時にカメラキャリブレーションを行い、各システムの光学的な歪の補正とカメラの空間的な位置の推定を行う。撮影画像から眼球位置を検出する処理としてテンプレートマッチングを採用しているため、測定前にあらかじめ角膜反射周辺画像(20×20画素程度)を登録し、同時に個人キャリブレーションを実施して個人差補正用のパラメータを取得した。

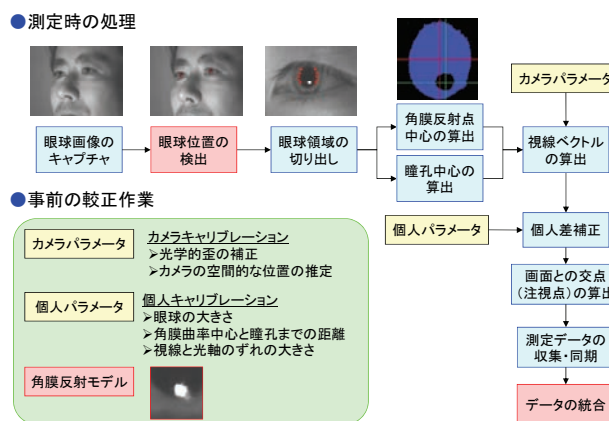


図2 各システムの処理

テンプレートマッチングは、撮影画像(2352×1728)の縮小画像(392×288)を対象に行い、検出された位置に基づいて元画像から切り出された両眼の画像に対して粒子解析することにより瞳孔中心および角膜反射点中心を算出した。これらの特徴点から3次元眼球モデル[7]を利用して3次元空間における視線ベクトルを算出し、スクリーンとの交点をそのシステムの注視点座標とした。各システムで算出された注視点を統合する方法として、テンプレートマッチングした際の正規化相関値を利用して次の2つの方法を採用した。

(1) 最大値を示すシステムの採用: $P_{int} = P(i_{max})$

(2) 各システムの重み付き線形和: $P_{int} = \sum_{i=1}^N r(i)p(i)$

[†] 日本放送協会 放送技術研究所 NHK Science and Technology Research Laboratories

[‡] 現在、情報通信研究機構 Currently, National Institute of Information and Communications Technology

ここで、 \mathbf{P}_{int} は統合後の注視点座標、 $\mathbf{P}(i)$ は系統 i の注視点座標、 $i_{\max} = \operatorname{argmax} r(i)$ 、 $r(i)$ は系統 i の正規化相関値、 N は系統数である。 $r(i)$ は検出した眼球位置の信頼度に相当する指標であり、この値に基づき(1)は代表する系統を選択する方法、(2)は複数の系統で代表点を算出する方法となる。

4. 性能測定

有効性を確認するための実験を行った。装置を設置した環境において、十分な視野を確保できるスクリーンが設置できなかったため、レーザーポインタで実験室壁面にも視標を提示して装置の較正および精度測定を行った (図 3)。

水平方向で ± 40 度の測定領域を想定して、視標を想定領域内における 7×4 の格子状 28 ポイントで測定した。測定前にこれらの 28 点について個人キャリブレーションを実施し、各系統の左右眼で独立に較正を行うことで視線ベクトルの方向を一次近似補正するためのパラメータを算出した。較正後、各視標を 5 秒間提示して注視点を測定し、冒頭の 1 秒を除く 4 秒間の注視点座標と実座標との誤差から精度を検証した。測定時のサンプリングレートは実測で約 30Hz であった。測定実験は被験者 1 名について実施し、自然に頭部を動かして視標を見るように教示した。

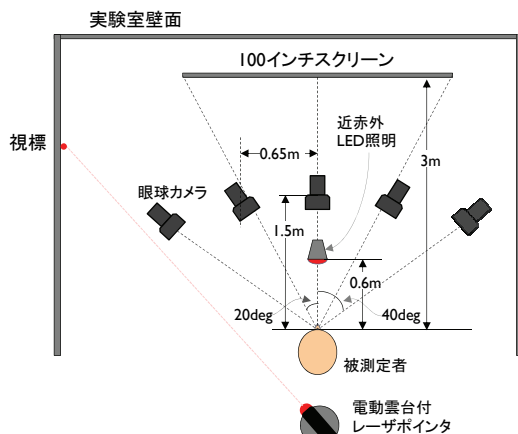


図 3 測定環境

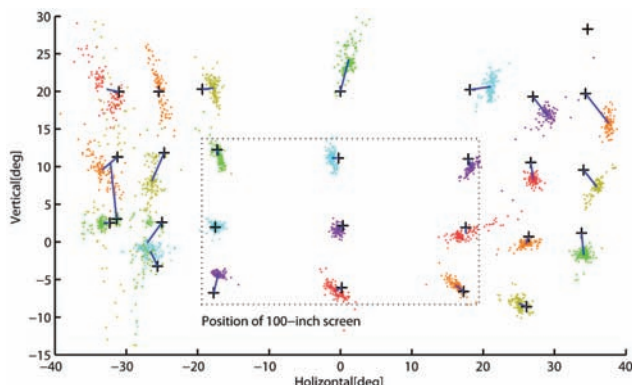


図 4 測定点の分布

図 4 は統合方法(2)によって算出された注視点の分布を示したものである。図中の '+' は提示した視標の位置、各点は実測結果、視標への直線は該当する実測値の平均座標と視標の座標との関係を示したものである。

スクリーン中央からの変位が大きくなると誤差は大きくなっているものの、 ± 40 度付近まで計測できていた。中央

の 1 系統のみで測定した場合は最大で ± 20 度であったことを考慮すると、複数系統を統合することにより広視野化が図れていることが示されている。2 つの方法で統合した結果の誤差は全測定点の平均で(1)2.42 度、(2)2.24 度であった。今回のカメラの配置では、垂直方向の広視野化は見込めず誤差拡大の要因になっていると思われるため、水平方向のみの誤差に注目すると、誤差は平均で(1)1.04 度、(2)1.13 度となり、多人数同時測定[6]における各系統の平均的な水平方向の誤差 (約 1 度) とほぼ同程度であった。

誤差が 2 度未満となった測定点の数は、各系統単独で測定した場合では眼球カメラを中央に設置した系統における 28 点中 8 点が最大であったのに対し、統合した結果では(1)が 13 点、(2)が 14 点であった。文献[6]の場合では各系統の誤差が 1 度~2 度であったことを考慮すると、複数系統を統合することにより、同等の精度において広い領域で測定可能になっていることが確認できた。

以上の結果からは、統合の方法として(1)と(2)とで大きな差はなく、今回の実験では両者とも広視野化という点で有効であったことが示唆される。また、測定点の全体的な分布を見ると、誤差が測定領域の隅で大きくなっており、系統的な誤差が存在すると推測できる。主な要因として、個人キャリブレーション時に利用する補正関数の近似が 1 次では不十分であり、眼球の非球面性などから高次の歪に対応できていないことが考えられる。特に両端のカメラで撮影した画像は、中央のカメラに比べて眼球の光軸からの角度が平均して大きくなる傾向 (頭部動作を少なくする傾向) があるため、誤差が大きくなったものと推測される。

5. まとめ

瞳孔-角膜反射方式の視線測定装置を複数系統用いることにより、測定領域の広視野化を実現した。今回は横平方向に眼球カメラを並べたことにより、測定精度 2 度程度において水平方向約 80 度の測定領域を実現した。今後は個人キャリブレーションの手法、眼球カメラの配置を工夫することにより、水平 100 度、垂直 60 度の測定領域をめざし、スーパーハイビジョン映像の受容特性を視線分布から検討する予定である。

参考文献

- [1] 菅原正幸, “スーパーハイビジョンの開発における人間科学的側面からの研究”, 信学論, Vol. J91-A, No. 6, pp. 613-621 (2008)
- [2] 澤島康仁, 小峯一晃, 比留間伸行, 伊藤崇之, 渡辺誓司, 鈴木祐司, 原由美子, 一色伸夫, “番組視聴時の視線分布と番組内容理解度の関係”, 映情学誌, Vol. 62, No. 4, pp. 587-594 (2008)
- [3] B. Noris, J.B. Keller, A. Billard, “A wearable gaze tracking system for children in unconstrained environments”, Computer Vision and Image Understanding, Vol. 115, pp. 476-486 (2011)
- [4] L.L. Chuang, H.J. Bieg, H.H. Bühlhoff, R.W. Fleming, “Measuring unrestrained gaze on wall-sized displays”, ECEC'10 Proceedings of the 28th Annual European Conference on Cognitive Ergonomics, pp. 347-348 (2010)
- [5] 佐竹純二, 小林亮博, 川嶋宏彰, 平山高嗣, 水口充, 小嶋秀樹, 松山隆司, “インタラクティブな情報提示システムのための非装着・非拘束な視線推定”, 情処研報. HCI, Vol. 2007, No. 99, pp. 9-16 (2007)
- [6] 小峯一晃, 澤島康仁, 森田寿哉, “多人数の視線を同時に測定する視線測定装置の開発”, HCG シンポジウム 2009, B3-2 (2009).
- [7] 大野健彦, 武川直樹, 吉川厚, “2 点補正による簡易キャリブレーションを実現した視線測定システム”, 情処論誌, Vol. 44, No. 4, pp. 1136-1149 (2003)