

1点キャリブレーションによる視線計測とその応用

大野 健彦

NTT サイバーソリューション研究所
〒239-0847 神奈川県横須賀市光の丘 1-1

ohno.takehiko@lab.ntt.co.jp

個人キャリブレーションにおいてわずか1点のみを注視すればよい、新しい視線計測法を提案する。一般に個人キャリブレーションは複雑で面倒な作業として知られており、9点から20点のキャリブレーションマーカを順次注視する必要がある。提案手法はわずか1点を注視すればよいことから、個人キャリブレーションに要する手間が大幅に軽減されている。本手法(OPC法と呼ぶ)はディスプレイの上部にキャリブレーションマーカを表示し、ユーザがそのマーカを注視している間にユーザの眼球形状と視線算出に用いる眼球形状モデルの差分を算出し、以降の視線計測に用いる。差分の算出にあたっては、オートフォーカスカメラを用いたカメラから眼球までの距離、ならびにカメラ近辺に配置された2組の近赤外線LEDを用いている。予備評価実験の結果、本手法を用いることでおおまかなユーザの視線が算出可能であることが示された。

One-Point Personal Calibration and Its Applications

Takehiko Ohno

NTT Cyber Solutions Laboratories
1-1 Hikarino-Oka, Yokosuka, Kanagawa, 239-0847

ohno.takehiko@lab.ntt.co.jp

A novel gaze tracking method which requires only one calibration marker for the personal calibration is proposed. In general, personal calibration is known as the troublesome task, which requires the user looks at nine to twenty calibration markers successively. Different from traditional methods, the proposed method drastically reduce the cost of personal calibration. This method, which is called the One-Point Calibration method (OPC method), displays a calibration marker on the top of the screen. While the user looks at the marker, the difference between the user's eyeball shape and the eyeball model used in calculating the user's gaze direction is estimated. Then, the difference between the user's gaze direction and the estimated gaze direction by the eyeball model is compensated. To estimate the difference between the user's eyeball shape and the eyeball model, we use the distance between the camera and the eyeball derived from the auto-focus camera, and two infrared lights arranged near the video camera. The preliminary user study confirmed that it is possible to detect the user's rough eye gaze with the proposed method.

1 はじめに

人が日常生活において情報を取得するとき、その多くは視覚を経由する。特にディスプレイを経由して得られる情報の種類は多く、我々はテレビ、PCのモニター、街頭の公共ディスプレイ、コンビニのPOS端末、駅の発着案内、電車内の広告ディスプレイなど様々な場所に遍在するディスプレイから、多種多様の情報を取得している。一方、遍在するディスプレイに対する我々の行動は、ただ見るだけ、という場面が圧倒的に多い。コンピュータを操作する時などの手元に入力デバイスが存在する場面を除き、ディスプレイに表示されている情報をただ一方的に見ているのである。ディスプレイと人間とのインタラクションを考えたとき、両者間における情報の流れは、圧倒的に一方向であると言える。

本稿では、ディスプレイと人との間におけるインタラクションの非対称性を軽減、解消することを目的として、その第一段階として人の注視位置を簡単に計測する手法について述べる。本稿で提案する One-Point Calibration(OPC) 法は、人がディスプレイ上にあらかじめ定められた1点を注視することで、その人が引き続きディスプレイを見ている間、人の注目位置を自動的に検出することを可能とする。本手法を利用することで、情報を提供する側は、受け手の注目位置や反応に基づき提供する情報を切り替えたり、受け手の理解度に応じた情報の難易度変更など双方向型の情報提供が可能となる。

従来、人の注視点を測定するために、いわゆる視線計測の分野で様々な研究が行われてきた。その結果、測定精度が視野角 1.0 度以下で、リアルタイムな計測が可能な各種システムが登場している。しかしながら、これらは人がディスプレイを見ている場面における人の視線を正確に計測することを目的としており、人の注視をおおまかに計測しようとするものではない。そのため利用前には個人キャリブレーションを含む各種調整が必要であり、特に不特定多数がディスプレイを見る場面においては、既存の視線計測システムをそのまま利用することは現実的でない。OPC 法は個人キャリブレーションの手間を大幅に軽減しており、特別な初期設定処理を意識することなく、ユーザの視線が得られる。一方、既存の視線計測システムと同等の精度を得ることは目的としていない。

以下、2 節で個人キャリブレーションが必要となる原因について述べ、3 節で関連研究を紹介する。次に 4 節で OPC 法の詳細を示す。5 節では試作したプロトタイプシステムを、6 節では精度評価実験およびその

結果を示す。7 節で情報提示に向けた可能性について述べ、8 節でまとめと今後の課題を示す。

2 なぜ個人キャリブレーションが必要か？

一般に視線計測で得られたユーザの視線は、そのままでは大きな測定誤差を含んでいる。そこで個人別に補正して測定精度を向上させるために、個人キャリブレーションが必要となる。本節では測定誤差の主な発生要因について述べる。

1. 光軸と視軸のずれ。人の視線は瞳孔中心と中心窩を結んだ軸（視軸）として定義される。一方、眼球を光学系と考えたとき、その光学中心を光軸と呼ぶ。一般に網膜における中心窩の位置は光軸の延長上ではなく、その位置は人によって異なる。また一般のビデオカメラで外界から眼球を撮影した場合、中心窩の位置特定は困難であり、視軸を直接求めることは現実的でない。
2. 眼球の大きさおよび形状の個人差。一般に眼球の大きさには 10% 程度の個人差がある。そのため眼球の大きさを与えた場合、実際の大きさと異なる場合には誤差要因となる。
3. 眼鏡による影響。眼鏡を装着したユーザでは、レンズ表面での屈折が発生し、瞳孔とプルキニエ像との距離がレンズを通して観察すると変化する。そのため観察した瞳孔およびプルキニエ像から視線を算出すると、そこに誤差が含まれる。これらの誤差を補正するためには、画面上に表示されたキャリブレーションマークをユーザが注視し、その間に得られた視線データと、正しい視線データを比較、補正パラメータの算出を行なう。

一般に測定精度とキャリブレーションマークの点数はトレードオフの関係にあり、高精度な視線測定を行なう場合には多くの点数を必要とする。例えば商用の視線計測装置では 9 点から 20 点のキャリブレーションマークを用いる。一方、ある程度の視線計測誤差を許容すれば、個人キャリブレーションに要する点数は少なくてよい。OPC 法では測定精度が一般的な視線計測システムより低い、キャリブレーションマークの点数を 1 点と最低限に抑えている。

3 関連研究

ディスプレイを見ている人の注視点検出は、一般に近赤外線を眼球に照射して得られるプルキニエ像（角膜反射像とも呼ぶ）を利用する角膜反射法を用いる。角膜反射法ではプルキニエ像に加えて瞳孔中心を検出

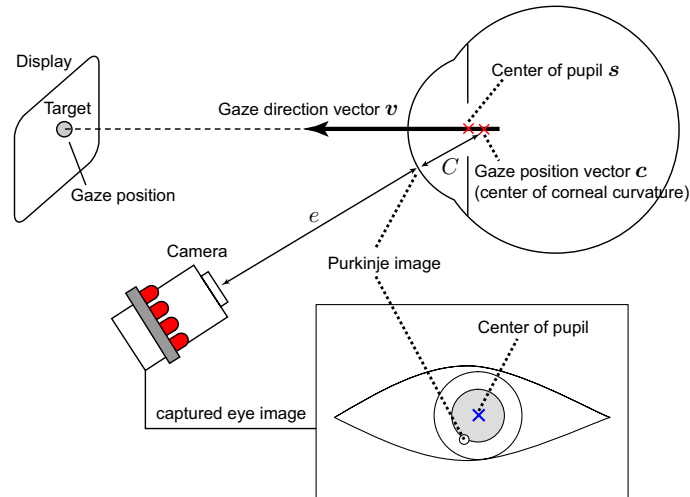


図 1: 眼球形状モデル. カメラで撮影した眼球画像から瞳孔中心およびプルキニエ像を求め、視線方向ベクトルを算出する.

し、これら 2 点から視線を算出する. このとき 2 節で述べた理由により、個人キャリブレーションが必要となる.

筆者は従来の視線計測法と同等 (測定精度 1 度以下) の精度を保ちながら、個人キャリブレーションのマーカ数を 2 点にする手法を考案した [5]. 本手法は既存のシステムと比較するとキャリブレーションに要する労力が大幅に軽減されているが、キャリブレーション時にはユーザの明示的な操作が必要である. 様々な場所に遍在するディスプレイを想定した場合、利用者が頻繁に入れ替わることが予想されることから、視線から注視情報を求めるにはまだ不十分である. 操作が不要な視線計測法が望まれる.

これまでキャリブレーション不要の視線計測法も提案されてきた. 例えば Shih らは複数のカメラと複数の光源を配置することで、視線方向を推定することが可能であると述べている [6]. ただし本手法は 2 節で示した、個人キャリブレーションが必要な要因の 1. と 3. を考慮しておらず、またコンピュータシミュレーションにとどまっていることから、どの程度の精度が得られるかは不明である. 類似した手法として、1 台のカメラと 2 点以上の点光源を用いる手法も提案されている [3]. 模擬眼を用いたシミュレーションでは、視野角 3 度という測定精度が得られており、提案手法の有効性を示唆している. ただしこちらも実際の被験者ではテストされておらず、どの程度の精度が得られるかは不明である.

Holman らは対象平面上に複数の視線一致センサ (eye contact sensor) を配置し、おおまかにそちらを見ているか否かを検出する手法を提案している [1]. 各

センサは視線方向を検出することはできないが、多数配置することで、おおざっぱな視線方向を推定可能である.

ディスプレイ上の情報を見る視線を計測する場合、なるべく簡単なハードウェアを利用して、頭部位置の制約も少ない状態で視線が得られることが望ましい. そこで、可視光線を利用して、虹彩輪郭に加えて顔の特徴点を利用する手法も提案されている. 例えば川戸らは単眼カメラを利用して、顔の特徴点および虹彩輪郭を利用して視線方向を算出する手法を考案した [2]. 本手法は顔部に 4 点マーカを装着し、また個人キャリブレーションとして画面上の 3 点を注視することにより、頭部方向を別途算出することなく、視線を求めている. 現時点ではマーカが必要であるが、マーカ不要な方法に拡張することで、例えば通常の USB カメラ程度のハードウェアによる視線測定の実現が期待される.

4 One-Point Calibration 法

本節では OPC 法の詳細について述べる. OPC 法は筆者がこれまで開発してきた視線計測法 [5] を拡張した手法であり、近赤外線眼球に照射する、角膜反射法的一种である. 本手法では、近赤外線領域に感度のあるカメラで眼球を撮影し、得られた眼球画像から瞳孔中心およびプルキニエ像を求め、眼球形状モデルを用いて瞳孔中心およびプルキニエ像の三次元座標を算出し、視線方向ベクトルを得る. 瞳孔中心およびプルキニエ像の三次元座標は、あらかじめカメラキャリブレーションによって (Thai の手法 [8] を用いる) カメラの内部パラメータ (焦点距離, レンズ歪み, CCD 中

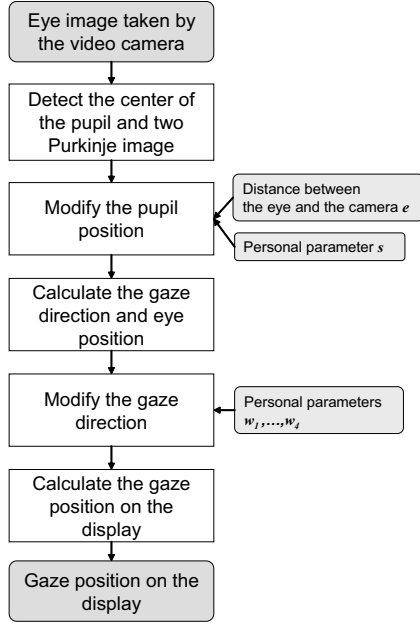


図 2: OPC 法における視線計測の手順

心位置) および外部パラメータ (レンズ中心座標およびレンズ方向) を算出しておき、カメラからプルキニエ像までの距離を与えることで得られる。カメラからプルキニエ像までの距離は、眼球撮影用カメラのオートフォーカス機構から得られたフォーカスパラメータから算出している。

図 1 に、OPC 法で用いている眼球形状モデルの概略を示す。ユーザがディスプレイを見ているとき、ユーザの視線方向ベクトル v は、2 つの位置ベクトル、具体的には瞳孔中心の位置ベクトル s および角膜曲率中心の位置ベクトル c から以下の通り求められる。

$$v = s - c. \quad (1)$$

瞳孔中心 s はカメラで撮影した瞳孔画像から算出する。ここで外界から観察した瞳孔は角膜表面における光線の屈折が発生することから、実際の瞳孔と位置が異なる。そこで瞳孔中心算出時に、角膜表面で発生する屈折を補正している。角膜曲率中心 c は、カメラで撮影したプルキニエ像から算出する。ここではプルキニエ像が 1 点であると仮定しているが、OPC 法では 2 点のプルキニエ像を用いることから 2 点の中点を用いるものとする。詳細は後述する。

角膜曲率中心の算出に必要な角膜曲率半径は、眼球形状モデルにおいて一定であると仮定しており、実際の角膜曲率半径がモデルと異なる場合には、求めた角膜曲率中心の位置に誤差が含まれることになる。また、眼鏡を装着しているユーザは眼鏡のレンズ表面における屈折の影響で、瞳孔とプルキニエ像それぞれの位置

が変化し、両者間の距離も変化することから、誤差要因となる。さらに、算出された視線方向ベクトルは光学軸であり、多くの場合、実際の視軸とは異なる。そのため、個人キャリブレーションにおいては、これらの差分を補正する必要がある。

角膜曲率中心 c は、視線位置ベクトルとしての役割も果たす。つまり、視線は視線位置ベクトル c を通る視線方向ベクトル v として一意に定められ、この視線をディスプレイに射影して得られた交点がディスプレイ上の注視位置となる。

ここまで述べてきた視線算出手法は従来の視線算出 [4, 5] において用いてきた手法である。OPC 法では、2 点の LED を用いて得られる 2 点のプルキニエ像から、観察された瞳孔とプルキニエ像の距離を補正し、眼球形状モデルとユーザの眼球との違い、および眼鏡表面で発生する屈折に起因する誤差を補正する。図 2 に示した視線算出手順にあるように、個人キャリブレーションで得られる補正用個人パラメータ s を用いて、瞳孔中心位置を補正する。

個人キャリブレーションの手順を図 6 に示す。OPC 法では、個人キャリブレーションをユーザが画面上の 1 点のみを見ている状態で行なうが、その手順は眼球形状モデル補正 (eyeball model modification) 段階および視線方向補正 (gaze direction compensation) 段階の 2 段階から構成される。眼球形状モデル補正段階では、2 組の LED から得られる 2 個のプルキニエ像を用いる。図 3 は、OPC 法で用いる LED の配置図である。カメラの両端に 2 組の LED が配置されており、その間隔を D と置く。

角膜表面は一種の凸面鏡であるから、2 個のプルキニエ像は凸面鏡における虚像として観察される。一般に物体の大きさが p 、凸面鏡の焦点距離が f 、物体と凸面鏡の距離が c であるとき、凸面鏡に現れる虚像の大きさは

$$\frac{f}{f - c} \cdot p, \quad (2)$$

とあらわされる。ここで、凸面鏡の焦点距離 f は、凸面鏡の半径が r であるとき、 $f = -r/2$ の関係にある。

図 4(a) に示すとおり、カメラで観察される 2 個のプルキニエ像間の距離を d とする。また眼球形状モデルにおける角膜曲率半径を C 、カメラとプルキニエ像の距離を e と置くと、2 個の LED 間の距離は D であるから、眼球形状モデルにおけるプルキニエ像間の距離を d_0 と置くと d_0 は、

$$d_0 = \frac{f}{f - e} \cdot D = \frac{C D}{2e + C}, \quad (3)$$

と得られる。

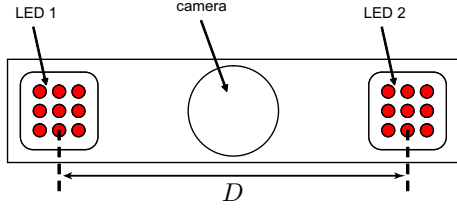


図 3: OPC 法で用いる 2 組の LED

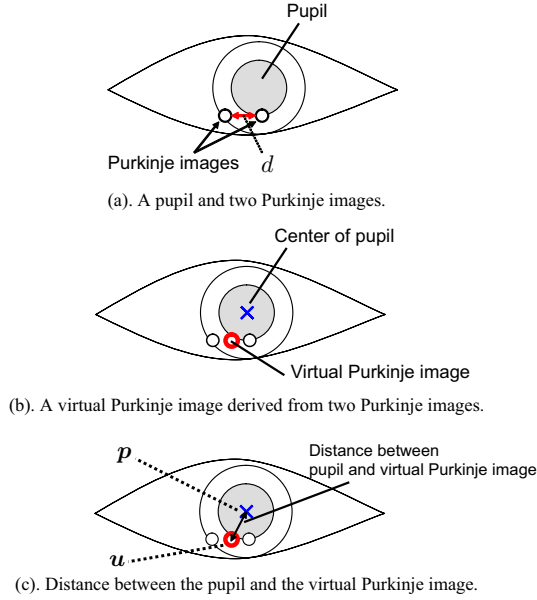


図 4: 瞳孔中心および 2 個のプルキニエ像.

もしもユーザの角膜曲率半径が C であれば, d は d_0 と等しい. しかしながら一般には眼球形状の個人差, 眼鏡の影響などから, d と d_0 は等しくならない. 従って視線方向ベクトルを d に基づき求めると, そこには誤差が含まれることになる. この誤差量を補正するために, 以下で定義される補正パラメータ s を導入する.

$$s = \frac{d_0}{d}. \quad (4)$$

現在の実装では, 個人キャリブレーションにおいて 10 フレームで得られた補正パラメータの平均値を s として用いている.

視線方向補正段階では, 得られた補正パラメータ s を利用して視線算出を行い, 誤差の残差を補正する. 以降の手続きでは 1 個のプルキニエ像があれば良いことから, 2 個のプルキニエ像の間にある仮想のプルキニエ像を想定し (図 4(b)), その位置ベクトルを u と置く. また, 瞳孔中心の位置ベクトルを p とする (図 4(c)). ここで, 補正パラメータ s によって補正された瞳孔の位置ベクトル p_1 を,

$$p_1 = u + s(p - u), \quad (5)$$

と定める. 以降の視線方向算出では, p の代わりに p_1

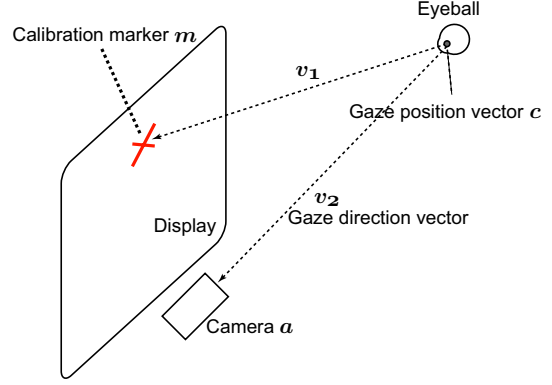


図 5: 個人キャリブレーションによる視線方向ベクトルの補正

を用いることにより, 眼球形状 (および眼鏡装着者では眼鏡の屈折) の影響が補正される.

視線計測において残る主な誤差要因は, 視線における光学軸と視軸の違いである. また, 眼鏡を装着しているユーザでは, 眼球形状モデル補正段階で補正しきれない誤差が残っている場合も考えられ, 更なる補正が必要となる. これらの誤差は個人キャリブレーションにおける視線方向ベクトルの補正によって実現される. 図 5 に, ディスプレイ上部にキャリブレーションマークが表示されている様子を示す. ここで, ディスプレイとカメラの位置関係, ディスプレイのサイズ, 解像度をあらかじめ与えておくことで, キャリブレーションマークの位置ベクトル m が得られる. また, カメラの位置ベクトル a はカメラキャリブレーションにおいてあらかじめ算出しておく.

ユーザがキャリブレーションマークを見たときに計測された視線方向ベクトルを v_1 , またこのときの正しい視線方向ベクトルを v'_1 と置く. v'_1 は,

$$v'_1 = m - c, \quad (6)$$

として得られる.

ユーザがキャリブレーションマークを注視しているとき, 同時にもう一つの視線方向ベクトル v_2 を算出可能である. v_2 は, ユーザがカメラ中心を見ていると仮定して算出する. このとき, 眼球形状モデルでは視線方向の視軸と光軸が一致していると仮定しているので, プルキニエ像は瞳孔中心に位置する. 一方, このときの正しい視線方向ベクトル v'_2 は, 以下の式で求められる.

$$v'_2 = a - c. \quad (7)$$

視線方向ベクトルの補正においては, 視線方向ベクトルを極座標で表現し, その方向および角度の補正を以下の通り行なう. まず, 視線方向ベクトル v を, 極

座標で表現された視線方向ベクトル $\mathbf{v}_p$ に変換する.

$$\mathbf{v} = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} \longrightarrow \mathbf{v}_p = \begin{bmatrix} l \\ \theta \\ \phi \end{bmatrix}. \quad (8)$$

ここで θ および ϕ は, パン方向ならびにチルト方向の回転を表す.

次に 3×4 の大きさである補正マトリックス W を, 以下の通り定義する.

$$W = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & w_1 & 0 & w_2 \\ 0 & 0 & w_3 & w_4 \end{bmatrix}. \quad (9)$$

個人キャリブレーションにおいては, ユーザの視線データからキャリブレーション行列 W を算出する. W には 4 個のパラメータ $w_1, w_2, \dots, w_4$ があり, 少なくとも 2 つの視線方向ベクトルが必要となる. そこで, $\mathbf{v}_1$ および $\mathbf{v}_2$ を用いて, これら 4 個のパラメータを決定する.

個人キャリブレーションの完了後, 極座標表現による補正済視線方向ベクトル $\mathbf{v}_p'$ が以下の通り得られる.

$$\mathbf{v}_p' = W \cdot \mathbf{v}_p \quad (10)$$

$$= \begin{bmatrix} l \\ w_1\theta + w_2 \\ w_3\phi + w_4 \end{bmatrix}. \quad (11)$$

最後に視線方向ベクトルを極座標から直角座標系へ変換し, 補正済の視線ベクトル $\mathbf{v}'$ を得る.

$$\mathbf{v}_p' \longrightarrow \mathbf{v}'. \quad (12)$$

以降の視線計測において, ユーザの視線は視線位置ベクトル $\mathbf{c}$ と視線方向ベクトル $\mathbf{v}'$ であらわされる. この視線ベクトルをディスプレイに射影して, ディスプレイ上の視点が得られる. 現在の実装では個人キャリブレーションにおいて連続する 10 フレームで得られた $\mathbf{c}$, $\mathbf{v}_1$, $\mathbf{v}_2$ の平均値をそれぞれ求め, キャリブレーション行列 W を算出している. 従って最初の 10 フレームで補正パラメータ s を, 続く 10 フレームで w_1, w_2, w_3, w_4 の 4 パラメータをそれぞれ求め, あわせて個人パラメータとする. 個人キャリブレーション終了後はこれら計 5 パラメータを用いて視線を算出する.

初期の実装においては, 補正パラメータ s を視線計測の各フレームにおいて算出していた. しかしながら, s はフレームごとに変動し, 視線のぶれとなって表れることから, 現在は個人キャリブレーション時に 1 回算出し, その後はそこで得られた値を用いている.

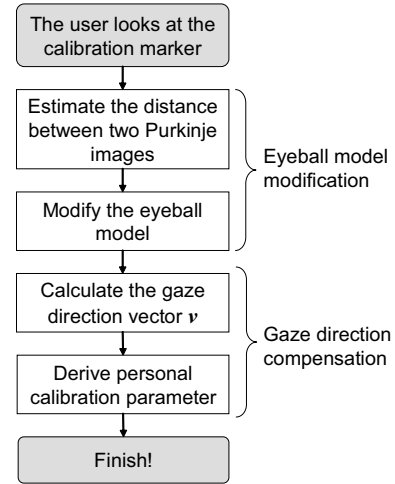


図 6: OPC 法における個人キャリブレーションの手順

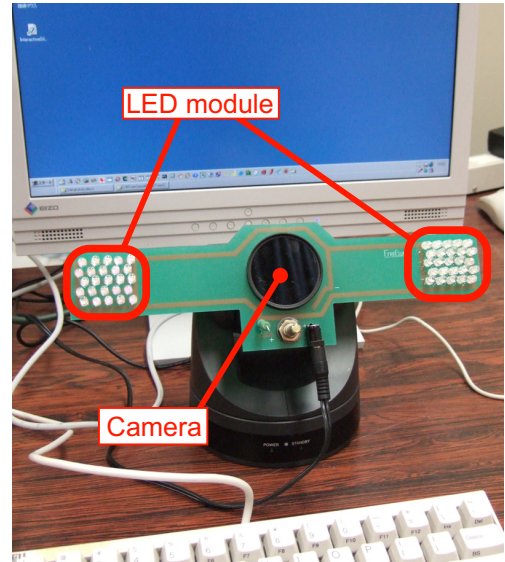


図 7: OPC 法に基づく視線計測システム

5 実装

本方式の有効性を確認するために, プロトタイプシステムの実装を行なった. 図 7 にプロトタイプシステムの外観を示す. 眼球を撮影するためのカメラには, NTSC のオートフォーカスカメラ (SONY EVI-D70) を用いた. 本システムで用いるためには, オートフォーカスかつ近赤外線領域で利用可能なカメラが必要であるが, EVI-D70 はこの条件を満たしている. なお, レンズには可視光線のカットフィルタを装着している. カメラで撮影した画像は, フレームグラバ (Matrox Meteor-II) で PC に解像度 640×480 ピクセル, 8bit グレイイメージで取り込まれ, 視線算出に用いられる. 近赤外線を照射する光源には LED アレイ (750nm) を 2 個用いており, 両者の間隔は 230mm である.

視線算出を行なう PC は OS に Windows XP が搭

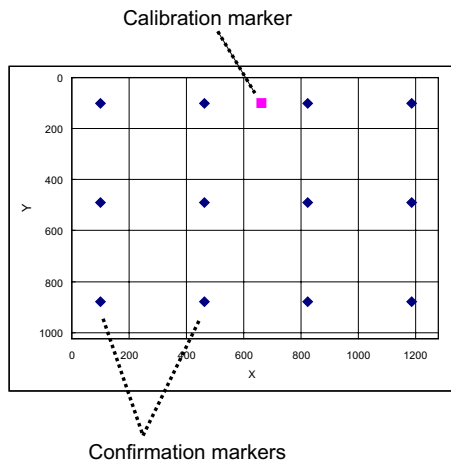


図 8: 評価実験におけるキャリブレーションマーカおよび確認用マーカの位置。座標はディスプレイ上の座標系を表している。

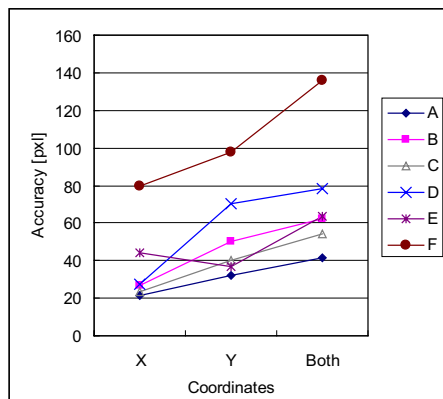


図 9: 各被験者における、確認マーカと計測された視線位置との平均誤差。X 座標距離、Y 座標距離、XY 座標距離 (ユークリッド距離) のそれぞれが示されている。

載され、CPUはPentium4 2GHzである。PCはEVI-D70とRS-232Cケーブルでつながり、VISCA制御でカメラのオートフォーカス値などを取得している。ディスプレイには18.9インチLCDディスプレイ(EIZO L767)を用いており、解像度は1280x1024(表示面積は縦303mm、横376mm)である。LEDモジュールを装着したカメラはディスプレイの前面に配置されている。現時点ではカメラ方向が固定であることから、ユーザの目は測定可能な範囲である上下左右4cm四方に入っている必要がある。前後方向についてはオートフォーカス機能で追従することから、測定中に変化してもよい。

6 精度評価実験

OPC法を利用することで、どの程度の測定精度が得られるかを確認するため、精度評価の予備実験を行った。

被験者 著者の研究所に属する5名がボランティアとして実験に参加した。2名が裸眼であり、3名は眼鏡を着用している。眼鏡を着用している被験者の1名は、裸眼でもディスプレイを見ることが可能であることから、裸眼の状態でも実験を行なった。従って被験者は裸眼3名(被験者A, B, Cとする)および眼鏡矯正済3名(被験者D, E, F)の延べ6名である。

手順 それぞれの被験者について、まず1点による個人キャリブレーションを行なった。このとき、キャリブレーションウインドウが画面に表示され、被験者はキャリブレーションマーカを注視しながらスペースキーを打鍵するように指示された。次に、12点の確認マーカが画面上に順次表示され、被験者はそれぞれの点を見ながらスペースキーを打鍵するように指示された。図8に画面上における、キャリブレーションマーカおよび確認マーカの座標位置を示す。

結果 各被験者における平均測定誤差を、X座標、Y座標、両座標のそれぞれについて図9に示す。平均測定誤差は72.9ピクセル(視野角2.07度)であった。被験者Cはもっとも精度が高く、平均41.3ピクセル(視野角1.03度)であった。平均誤差が136.2ピクセル(視野角3.94度)と最も大きかった被験者Fは、測定誤差が他の被験者と比較して突出して大きかったが、その原因は現在のところ不明であり、今後、要因を明らかにしていきたい。平均測定誤差2.07度は、例えば市販の視線計測装置における測定精度(明らかにされていない場合が多いが視野角0.8度から1度程度と思われる)と比較するとかなり大きい。計測に必要な手間は大幅に軽減されている。

なお、カメラとして用いているEVI-D70がカラーCCDである影響で、同等の焦点距離を持つ白黒カメラと比較すると、精度が悪い傾向にある。白黒CCDを用いればより精度が向上することが期待されるが、現状ではオートフォーカスかつ白黒CCDのカメラモジュールが存在しないことから、カラーCCDカメラを利用している。より分解能の高いカメラが利用できれば、さらなる精度向上が期待できる。

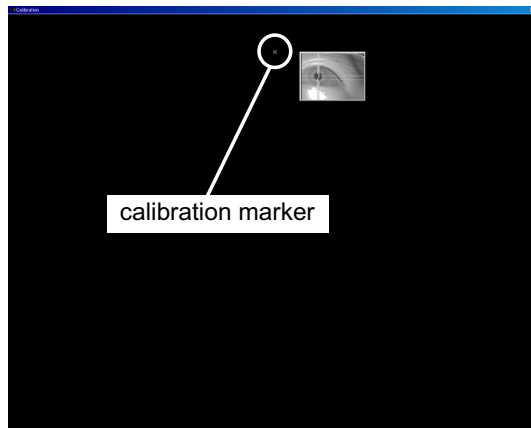


図 10: 1 点キャリブレーションにおけるマーカ位置および眼球画像。

7 情報提示への利用

OPC 法と従来法との重要な違いは、キャリブレーションが 1 点のみであることから自動キャリブレーションが容易に実現できる点にある。図 10 に、プロトタイプシステムにおけるキャリブレーション画面を示す。現在、眼球が測定可能な範囲に位置しているか否かは容易に判定可能であり、また未キャリブレーション状態でもおおまかな視線位置が得られる。そこで、例えばユーザが自分の目を見ている状態を検出したら、その位置に基づき自動的にキャリブレーションを実施し、以降、情報提示画面で視線計測を実現することが可能である。現在、プロトタイプを実装中であり、ユーザにキャリブレーションを意識させない視線計測と、得られた視線データに基づく情報提示の実現を目指す。

現時点では目の位置が 4cm 四方程度と固定されているが、例えば覗き穴を設置することで、短時間、ユーザが情報を閲覧する場合には問題なく眼球位置を拘束した状態で視線計測が可能である。またプロトタイプシステムはディスプレイとセットで簡単に設置できるように、特殊なカメラシステムを利用することなく視線測定システムを構築している。従来の視線計測装置と比較すると極めて安価にシステムが構築可能である。

ディスプレイを見る人の視線に基づき情報提示を制御する手法については、これまで様々な手法が提案されてきた。先駆的な研究として、Starker らの Gaze-Responsive Self-Disclosing Display が挙げられる [7]。Starker らの手法は、"interest module" が視線からユーザが見ているオブジェクトの種類および注視時間を検出し、そのデータに基づき各オブジェクトについてリアルタイムに「注目度」を算出している。プロトタイプシステムでは、一定時間でもっとも注目度の高いオブジェクトについて、そのオブジェクトに関するナレー

ションが流れる。ここで視線に基づき制御される情報は音声であるが、画像についても同様の手法が利用できるものと思われる。

8 まとめと今後の課題

本稿では簡易に視線を計測可能な One-Point Calibration 法を提案した。本手法は従来の視線計測手法と比較して、飛躍的に視線計測が容易になり、不特定多数が利用するディスプレイにおける視線の利用が現実的となった。今後は視線を利用した双方向型の情報提示に関する研究を進め、人からディスプレイへの情報の流れが拡大することによる効果を明らかにしていきたい。また、現時点では測定精度にかなりばらつきがあることから、さらなる精度向上も目指す。

謝辞 いつも議論をしていただき、また今回ボランティアとして視線計測実験にご協力いただいた、NTT サイバーソリューション研究所ヒューマンアプライアンスプロジェクトの皆様に感謝します。

参考文献

- [1] Holman, D., Vertegaal, R., Sohn, C. and Cheng, D.: Attentive display: paintings as attentive user interfaces, *Extended abstracts of the 2004 conference on Human factors and computing systems*, ACM Press, pp. 1127–1130 (2004).
- [2] 川戸慎二郎, 内海章, 安部伸治: 4つの参照点と3枚のキャリブレーション画像に基づく単眼カメラからの視線推定, *MIRU2005*, pp. 1337–1342 (2005).
- [3] Morimoto, C. H., Amir, A. and Flickner, M.: Free Head Motion Eye Gaze Tracking Without Calibration, *CHI '02 extended abstracts on Human factors in computer systems*, Vol. 586–587 (2002).
- [4] Ohno, T. and Mukawa, N.: A Free-head, Simple Calibration, Gaze Tracking System That Enables Gaze-Based Interaction, *Proceedings of Eye Tracking Research & Application (ETRA2004)*, pp. 115–122 (2004).
- [5] 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, 情報処理学会論文誌, Vol. 44, No. 4, pp. 1136–1149 (2003).
- [6] Shih, S., Wu, Y. and Liu, J.: A Calibration-Free Gaze Tracking Technique, *Proceedings of the International Conference on Pattern Recognition*, pp. 201–204 (2000).
- [7] Starker, I. and Bolt, R. A.: A Gaze-Responsive Self-Disclosing Display, *Proceedings of the ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI'90)*, ACM Press, pp. 3–9 (1990).
- [8] Tsai, R. Y.: A versatile Camera Calibration Technique for High-Accuracy 3D Machine Vision Metrology Using Off-the-Shelf TV Cameras and Lenses, *IEEE Journal of Robotics and Automation*, Vol. RA-3, No. 4, pp. 323–344 (1987).