

画像処理を用いた視線検出システムと入力インタフェースの開発

- 頭部の動きに関する検討 -

Development of input interface and eye-gaze detection system by image processing

- A study on head movements -

新納 慎吾[†] 緒方 公一[†]
Shingo Niino Kohichi Ogata

1. はじめに

本研究室では、装着型の小型カメラにより撮影された目画像を用いて、画像処理により虹彩中心を検出し、これに基づいて PC ディスプレイ上のマウスカーソルを動かす視線入力インタフェースの開発を行っている[1]。視線検出を行う際、ユーザの頭部移動は検出精度を低下させる要因となるので大きな問題となっている。現在は顎置きを補助具として使用しているが、これを使用しないシステムの実現は実用性の向上につながる。本論文では、システム利用中のユーザの頭部移動の影響の軽減を目的として、ディスプレイ正面位置(ホームポジション)をユーザ自身が認識できる機構を設けることで、顎置きを用いない場合でも影響の軽減が可能であるか検討する。

2. キャリブレーション

本システムでは、目画像上の虹彩中心座標をディスプレイ上のユーザ注視点に写像するためのキャリブレーションを行うが、図1に示すように、ユーザに5点の指標をそれぞれ注視してもらい、虹彩中心座標を取得する。各点を注視したときの虹彩中心座標を (x_i, y_i) とし、式(1)に示す4つの基本ベクトルを得る。

$$\begin{aligned} \vec{a} &= (x_a - x_o, y_a - y_o)^t & \vec{b} &= (x_b - x_o, y_b - y_o)^t \\ \vec{c} &= (x_c - x_o, y_c - y_o)^t & \vec{d} &= (x_d - x_o, y_d - y_o)^t \end{aligned} \quad (1)$$

これらのベクトルを境界線とし、図2のように目画像を4つの領域に分割する。目画像上の5点の虹彩中心座標がディスプレイ上の指標 o, a, b, c, d にそれぞれ対応する。目画像上の虹彩中心座標 (x, y) が属する領域に接した2つのベクトルから、式(2)、式(3)を用いて虹彩中心座標 (x, y) をディスプレイ上の座標 (X, Y) へ写像する。

$$\begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = k\vec{a} + l\vec{d} \quad (2)$$

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \end{pmatrix} = k \begin{pmatrix} X_a - X_o \\ Y_a - Y_o \end{pmatrix} + l \begin{pmatrix} X_d - X_o \\ Y_d - Y_o \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} X_o \\ Y_o \end{pmatrix} \quad (3)$$

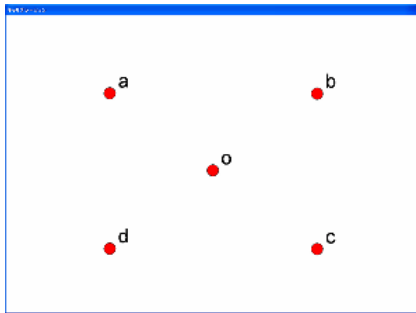


図1 キャリブレーション画面

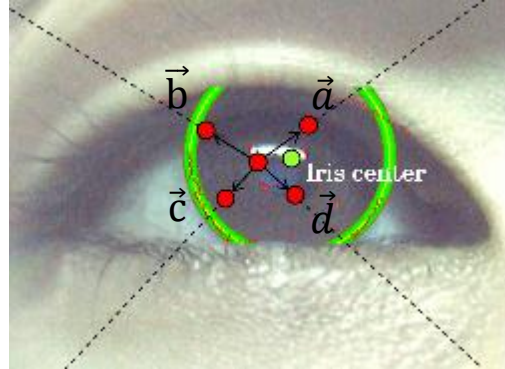
[†] 熊本大学大学院自然科学研究科Graduate School of Science and Technology,
Kumamoto University

図2 目画像上の領域分割

3. 補正手法

キャリブレーションによって決定された視線方向は眼球と注視物の位置関係に依存するため、マッピング関数はキャリブレーション時の頭部位置においてのみ有効である。長時間に及ぶ視線検出は、ユーザの細かな頭部の動きが積算されることで検出誤差が増大すると考えられる。本システムではユーザの注視点をディスプレイ上のマウスカーソルに反映しているため、ユーザはカーソルの挙動から視線検出精度の低下を察知することができる。

これに基づき、本研究室ではユーザの任意のタイミングで簡易なキャリブレーションを行い、マッピング関数を局所的に補正する手法を提案している[2]。

3.1 局所的補正

ユーザのディスプレイ注視時の目画像における虹彩中心(Iris center)が図2であるとき、ディスプレイ上のカーソル座標はキャリブレーションベクトル \vec{a} 、 \vec{d} により決定されている。このとき、図1に示すキャリブレーション画面の点 o 、点 a 、点 d に相当する3点の注視を指示し、現在の頭部位置における \vec{a} 、 \vec{d} を再計測することで、マッピング関数を補正することが可能である。

補正プログラムの起動は、マウスやキーボードによる入力が必要とせず、一定時間以上の閉眼によって実現する。ユーザはカーソルのポインティングが正常に行われていない座標を注視しながら閉眼を行う。システムは閉眼が検出される直前の目画像において、虹彩中心座標に隣接する2つのキャリブレーションベクトルを補正対象として選択する。その後、このキャリブレーションベクトルの始点と終点に対応する3点の指標をディスプレイに表示し、ユーザに注視を指示する。注視より得られた虹彩中心座標を新たにキャリブレーションベクトルの始点、終点に代入することにより、マッピング関数を補正する。

3.2 ホームポジションの設定

定規型角度計をディスプレイ上部、左右の3ヶ所に設置し、注視標的として利用した。ユーザ自身がディスプレイ正面に位置している場合に角度計を調整して注視標的を形成し、以後は、その注視標的が見える位置に頭部移動することで、ディスプレイ正面に位置しているかどうかを把握できるようにした。

4. 評価実験

システムの精度評価のための実験について説明する。被験者は、正常な視力を持つ成人男性5名である。被験者の視線検出には、本研究室で過去に開発された機構を用いる[1]。実験はディスプレイ上に5行5列で等間隔に配置された25点の指標に、カーソルを各1秒間ポインティングすることで行う。推定された被験者の注視点の座標と指標との距離を計算し、25点の平均値を視線検出精度とする。なお、カーソルは推定された被験者の注視点を反映したものであり、ポインティングが正常に行われないうちに被験者は補正作業を行う。

次に、実験結果を示す。表1は視線検出精度の全体平均、表2は25点の指標にカーソルをポインティングする際に要した時間と補正回数である。表3は今回の実験におけるシステムのユーザビリティについてのアンケート結果である。実験全体を通しての評価と各頭部位置での評価を行った。評点は1～5の5段階評価であり、5が最も評価が高い。

表1 被験者全体の平均精度

	補正前[pixel]	補正後[pixel]
左10cm移動後の位置	252.5	59.0
ホームポジション	171.4	72.7
右10cm移動後の位置	291.1	64.1

表2 25点のポインティングに要した時間と補正回数

	左10cm移動後		ホームポジション		右10cm移動後	
	時間[s]	回数	時間[s]	回数	時間[s]	回数
被験者1	363.2	10	427.6	10	426.2	11
被験者2	401.2	10	776.0	22	387.2	21
被験者3	294.7	9	190.1	5	466.2	15
被験者4	469.7	24	470.5	23	293.4	16
被験者5	971.7	78	363.2	60	913.9	76
平均	500.1	26.2	560.6	24.0	497.4	27.8

表3 ユーザビリティアンケート結果

実験全体	
実験中の姿勢によるストレス	3.8
補正操作の容易さ	3.6
ホームポジション	
注視標的の注視の容易さ	3.4
ポインティングの容易さ	3.2
補正による視線検出精度の改善	3.8
右10cm移動後の位置	
ポインティングの容易さ	2.8
補正による視線検出精度の改善	3.4
左10cm移動後の位置	
ポインティングの容易さ	3.0
補正による視線検出精度の改善	3.4

5. 考察

表1より、補正を行わない場合、キャリブレーション位置から頭部が離れるほど視線検出精度は悪化するが、補正手法を用いることで各頭部位置における視線検出精度が改善されていることがわかる。このことから、顎置きを用いない場合でも補正手法による頭部の影響の軽減は可能であると考えられる。また表1より、ホームポジションよりも左10cm、右10cm移動後の位置での精度の方が良いという傾向が見られた。ホームポジションでの精度の低下は、カーソルのポインティングの際のユーザのまばたきや1秒間の指標注視のときのユーザの視線のずれによる視線検出精度の低下が原因と考えられる。また、被験者2では虹彩検出の際のパラメータの設定が適切ではなかったため、虹彩検出がうまく行われていないという問題もあった。

次に、ポインティングに要する時間と補正回数の面から検討する。表2より、補正回数はホームポジションが最も少ないという結果が得られた。しかしポインティングに要する時間に関しては、左10cm、右10cm移動後の位置の方が早いということがわかる。この原因として、被験者の頭部位置が安定しないことによる視線検出の不安定性が考えられる。今回、被験者3はシステム利用に熟練した者に相当する。他の被験者と比較すると、ポインティングに要する時間、補正回数は少なく済むことがわかる。また、被験者5はシステム未経験者である。この被験者のポインティングに要する時間、補正回数ともに膨大であることがわかる。このことから、システム利用に慣れることで、より短時間でのシステム利用が可能であると考えられる。

表3に示すユーザビリティアンケート結果より、注視標的の注視の容易さにおいて、特に困難と感じる被験者は見られなかった。現段階では、システム利用に要する時間が長い場合、今後はより短時間でのシステム利用ができるような工夫が必要である。

6. 結論

本論文では、現在、補助具として使用している顎置きの代わりに、ディスプレイ正面位置(ホームポジション)をユーザ自身が認識できる機構を設けることで、顎置きを用いない場合でもシステム利用中のユーザの頭部移動の影響の軽減が可能であるかの検討を行った。評価実験より、検討を行った全ての頭部位置において、補正手法を用いることで視線検出精度が改善されることがわかった。このことより、顎置きを用いない場合でも補正手法による頭部の影響の軽減は可能であると言える。また、ホームポジションを認識するための注視標的として定規型角度計を用いたが、その注視は特に困難ではないということがアンケート結果よりわかった。現段階ではシステム利用に要する時間が長い場合、今後はより短時間でのシステム利用が可能になるような検討を行っていく。

謝辞

本研究の一部は科学研究費補助金((C)20560398)の援助によることを記し謝意を表す。

参考文献

- [1] 米沢他, 電気学会論文誌(C), Vol.130, No.3, pp.442-449 (2010).
- [2] 松本 耕平, 熊本大学修士論文 (2010).