

LK-1 画像解析による強膜反射法を用いた視線入力について

On an Eye-gaze Input System based on the Limbus Tracking Method by Image Analysis

阿部清彦† 大井尚一† 大山実‡
Kiyohiko Abe Shoichi Ohi Minoru Ohyama

1. はじめに

近年、人間の視線方向の変化を捉え、それによりコンピュータへ文字などを入力する視線入力に関する研究が盛んに行われている。視線入力は、眼球やまぶた以外の運動を必要としないので、ALS (筋萎縮性側索硬化症) 患者のように運動機能を著しく制限されている人たちも使用が可能であり、コミュニケーションの手段として使われている。

従来の視線入力装置においては、眼球付近に貼付した電極から得られる眼球のポテンシャル電圧によって眼球運動を計測する EOG (Electro Oculo Graphy) 法や、眼球に赤外線などを照射して得られる強膜 (白目) と角膜 (黒目) の反射率の違いから眼球運動を計測する強膜反射法、同じく赤外線などにより角膜上の反射点位置の変化から眼球運動を計測する角膜反射法などを用いて視線方向を判断している^{[1][2][3]}。EOG 法は長時間計測におけるドリフトや左右方向に比べ上下方向の眼球運動検出が難しいという弱点があり、また赤外線を眼球に長時間照射すると各種疾病を引き起こす危険性が指摘されている^[1]。

赤外線の照射量を抑えた装置もあるが、赤外線を用いずに計測可能なほうが、高頻度で使用する視線入力システムに適していることは明白である。また、これらの手法を用いた従来の視線入力装置は、特殊なハードウェアを要するため、個人が自由に使用するのに適していない。

筆者らは自然光の照明のもとに、ビデオカメラ (現在は家庭用ビデオカメラ) とパソコンのみを用いて横方向 1 列 10 字程度の指標について視線検出を行う方法を提案してきた^[4]。さらに指標の数を増加させるために、上下 3 段階の視線検出を行う方法を開発したので、その概要を報告する。

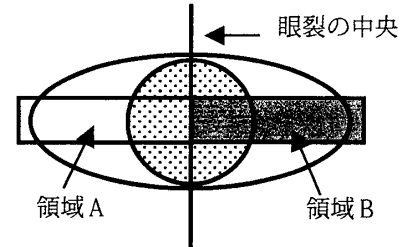
2. 視線方向検出

2.1 画像解析による視線検出

視線方向の検出には、いままでさまざまな手法が提案されているが、筆者らはこれらのうち強膜反射法を応用し、画像解析によって視線方向の検出を行っている^[4]。ただし、赤外線は用いずに、自然光のもとでビデオカメラにより撮影された眼球画像 (片眼) から視線方向を求め、この手法を用いて横方向 (左右方向) の視線を検出する際の概念図を図 1 に示す。

図 1 のように、光強度積分のための領域を設定し、この領域における積分値 (総和) の差を求めることにより、視線方向に対し一意にある値 (視線値) が与えられる。

この視線値と視線方向の移動量 (視角) の関係は、ほぼ直線的になる^[4]。しかしながら、頭部が移動すると誤差が大きくなり、直線性が崩れてしまう。具体的には、頭部の移動がない場合において、注視点計測誤差は視角



$$\text{視線値} = \text{Aの光強度積分値} - \text{Bの光強度積分値}$$

図 1 横方向の視線検出法の概念図

にして 0.5~1.2 度程度であるが、頭部が少しでも移動すると、この誤差は 10~20 度程度に増加する。そのため、高精度の計測には頭部移動の検出と補正が必須^[4]となる。

また、縦方向 (上下方向) の視線を計測するには、強膜のほとんどがまぶたの下に隠れてしまうことがあるため、横方向と同じ手法は適用できない。一般的な強膜反射法の計測装置では、上下方向の視線移動に合わせてまぶたが前後することを利用して、視線計測を行っている^[5]、画像処理によりその変化の計測は難しい。

そこで筆者らは、視線が上下に移動すると、角膜の位置が上下することから、視線移動による画像の横方向 1 画素幅分に対する光強度分布の変化を用いて、縦方向の視線方向を求めるといった単純な方法を採用している。この手法の概念図を図 2 に示す。

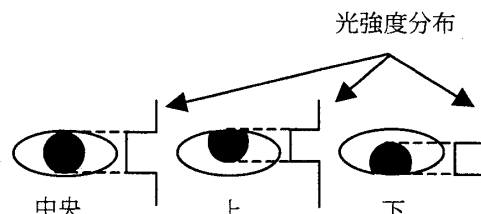


図 2 縦方向の視線検出法の概念図

図 2 において、眼の模式図の右横にあるグラフが、各画像における光強度分布を示している。この分布を求めるには、各画像を横軸に沿って横方向 1 画素幅ずつ走査し、その 1 行の光強度積分値を求める。これらの積分値を各行順に並べてプロットしたものが光強度分布であり、この分布は画像上の黒目の位置により変化する。視線計測開始時に正面を注視している状態を撮影し、これを基準画像として得られた光強度分布と、視線を縦方向に移動させた状態で撮影した画像から得られた光強度の分布の差をとると、正面を基準としてどちらの方向へ視線が動いたかを判定することができる。

†東京電機大学 工学部 電子工学科

‡東京電機大学 情報環境学部 情報環境工学科

3. 縦方向視線特性の計測実験

3.1 実験システム

実験システムは、画像解析および視線入力を行うパソコンと、眼球画像を取得するビデオカメラ、画像を取り込むインターフェースであるビデオキャプチャボードにより構成される。このとき、モニタ上には図3に示す指標群が提示されている。各指標の大きさおよび数は変更できるが、標準的な大きさは視角にして3度（被験者—モニタ間距離が75センチの場合）であり、指標間隔は6度としている。これらの指標群のカーソル（図中の網目の部分）は、視線計測特性などを計測するときに、プログラムからのコマンドによって移動させることができる。

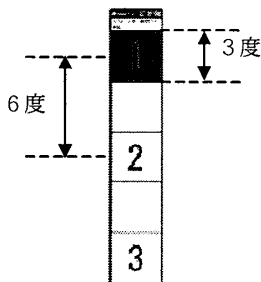


図3 提示指標群

3.2 縦方向視線特性

上述の縦方向視線計測の特性を測定するため実験を行った。実験方法は、被験者に図3に示した文字入力指標を1から3まで上から順に注視してもらい、各指標を注視したときの視線特性を求めた。実験時の各指標の注視時間は3秒としている。

縦方向視線計測においても、横方向と同様に頭部の移動が計測誤差の原因となるが、上下に視線を移動させると眼の形状が大きく変化してしまうため、横方向と同じマッチング法による頭部移動補正はできない。そこで上下の視線移動時にもっとも眼の形状変化の少ない個所を用いて、自動補正をする方法を開発中であるが、この実験では手動操作によって各画像の眼の位置を合わせている。横方向視線特性では、注視位置に対応した視線値が得られるのに対し^[4]、縦方向特性では中央の指標に対し視線が上下のどちらへ移動したかが光強度分布の差からわかる。被験者6名（20代男性5名、60代男性1名）についての実験結果のうち1例を図4に示す。

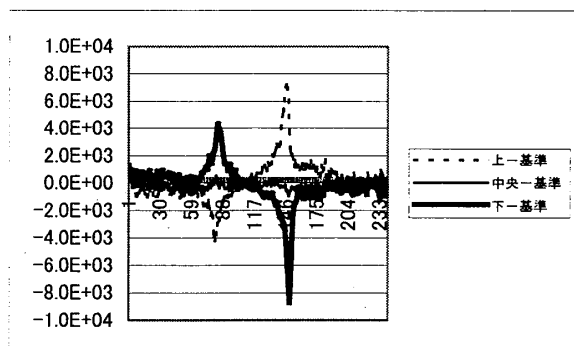


図4 各撮影画像の光強度分布差

現時点では、この結果を用いた縦方向の視線判定は行っていないが、計測されたデータのピークとボトムの位置を結んだ直線の傾きを調べることによって、判定ができることを確認している。被験者6名による分布差のピークとボトムから得られた計測値を表1に示す。この結果から、容易に上下3段階の検出ができると考えられる。しかし、画像データ中のノイズを起因としたスパイクが現れることがある。視線を上下に移動させているときには、スパイクの大きさがグラフのピークおよびボトムよりも小さいので問題にならないが、中央を注視しているときに間隔の狭いスパイクが現れた場合には、計測誤差は大きくなる。そのため、実際の視線方向の識別には、この直線の傾き以外の計測値も用いなければならない。たとえば中央を注視しているときの光強度分布差は、他のものに比べデータの分散が大きいため、これを利用するという方法が考えられる。

表1 縦方向視線計測特性（ピーク—ボトム間傾き）

	注視指標1 (上)	注視指標2 (中央)	注視指標3 (下)
被験者 A	137	60	-113
被験者 F	74	-57	-163
被験者 G	121	-41	-206
被験者 H	96	-15	-127
被験者 I	173	-21	-197
被験者 J	60	-18	-113

4. むすび

現在までに可視光下で撮影された眼球画像から画像解析によって、視線を計測し横1列10個の指標を配置した視線入力システムが完成している。また、縦方向についても予備実験の結果3段階の識別が可能であることがわかった。これらを組み合わせることにより、モニタに表示できる指標数を3倍に増加させることが可能であり、これにより文字入力装置への応用が容易になる。今後は視線入力実験システムに縦方向の視線検出機能を加えることとともに、より使い勝手のよいインターフェースを構築し、日本語の視線入力システムを完成させたい。また、視線入力については、健常者に対する文字入力以外のアプリケーションや、重度肢体不自由者に対する環境制御装置への応用などについても考えていきたい。

5. 参考文献

- [1] 久野悦章, 八木透, 藤井一幸, 古賀一男, 内山嘉樹 “E O Gを用いた視線入力インターフェースの開発” 情報処理学会論文誌, Vol. 39, No. 5, pp1455-1462, May, 1998
- [2] 山田光穂, 福田忠彦 “眼球運動による文章作成・周辺機器制御装置” 信学論(D) Vol. J69-D, No. 7, pp1103-1107, Jul, 1986
- [3] 伊藤和幸, 数藤康雄, 伊福部達 “重度肢体不自由者向け視線入力方式コミュニケーション装置” 信学論(D1), Vol. J83-D-1, No. 5, pp-495-503, May, 2000
- [4] 阿部清彦, 大井尚一 “画像解析による重度肢体不自由者向け視線入力システムについて” 2002 信学第11回福祉情報工学研究会研究報告論文集
- [5] 日本視覚学会(編) “視覚情報処理ハンドブック”, 朝倉書店, pp379-386, 東京, 2000