

自然光下における画像解析による視線入力システムの垂直方向解像度 On Vertical Resolution of Eye-gaze Input System under Natural Light

阿部 清彦[†]
Kiyohiko Abe

大山 実[‡]
Minoru Ohyama

大井 尚一[†]
Shoichi Ohi

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さかに行われている [1, 2]。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、重度の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、これを利用した支援装置により他者とのコミュニケーションなどを、より効率的に行うことができる。

視線入力には、計測の容易さから画像解析を応用した非接触式の視線計測法が多く用いられており、その光源として赤外線光または自然光が使用されている。前者は入力精度は高いが特殊な装置を必要とし [1]、後者は特殊な装置は不要であるが入力精度が低いという傾向があり、ただか数方向の視線を識別しているものが多い [2]。

筆者らは、一般に市販されているパソコンとビデオカメラのみを用いた視線入力システムを開発している [3, 4]。このシステムは安価で汎用性が高いだけでなく、自然光下（室内照明）で使用できるため、個人が自宅などで常用するのに適している。筆者らの手法を用いた水平9×垂直3計27個の指標をもつ視線入力システムをすでに報告している [4] が、水平方向の計測精度は詳細を論じているものの、垂直方向については計測限界などを詳しくは調査していない。垂直方向の計測精度が現在の3段階以上に増すことができれば、画面に表示する指標数を増やすなどの、アプリケーションの範囲をより広めたシステムを構築することができる。本研究では、筆者らの手法において縦方向の指標を増加させた場合の精度を詳細に計測したので、その結果を報告する。

2. 画像解析による垂直方向視線計測

筆者らは、特殊な装置を用いずに簡便な装置と手法で実用上十分な精度の計測を行うことを目的とし、強膜反射法を応用して画像解析により水平方向（左右方向）の視線計測を行っている [3]。垂直方向（上下方向）の視線計測においては、視線の移動により強膜（白目）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、水平方向と同じ手法は適用できない。このため、視線が上下に移動すると虹彩（黒目）の位置が上下することから、視線移動による画像の光強度分布（水平1画素幅分の光強度を縦軸方向に1次元射影した分布）の変化により視線方向を求めている [4]。たとえば、上中下3段階の垂直方向視線計測法について概念図を図1に示す。

図1において、眼球の模式図の右横のグラフが各画像における光強度分布を示している。この分布は画像上の虹彩の位置により変化する。この変化をキャリブレーション時に記録した基準データと比較することにより、

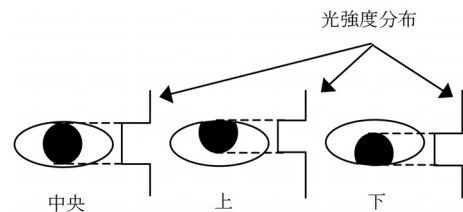


図1: 垂直方向視線計測法の概念図

中央から上下いずれに視線を移動させたかを識別する。視線計測時には、撮影画像から光強度分布を求め、基準データとの残差を検定することにより視線移動の識別を行う。ここで、画像全体ではなく光強度の1次元射影である光強度分布を用いるのは、水平方向の視線移動による残差値の変動をできるだけ抑えるためである。

筆者らの方法では、ビデオカメラで眼球近傍を拡大して撮影するため、微小な頭部の移動（ゆれ）が計測誤差の著しい増加につながる。この誤差を軽減するには、移動を検出し補正する必要がある。このとき、筆者らは視線移動によっても形状変化が少ない目頭の位置をリアルタイムに捉えることにより、頭部移動を検出する手法を開発した [4]。具体的には、上まぶたの目頭付近のエッジを抽出する微分フィルタで処理を施したエッジ抽出画像と、目頭近傍の形状を抽出した2値化画像を併用し目頭の詳細な位置を決定する。この手法によると、水平方向においては計測誤差が視角約0.56度（被験者3名の平均） [4] という高精度な視線計測を行うことができる。

3. 実験システムおよびその評価実験

前章で述べた手法により、被験者5名について垂直方向の視線計測特性を求めた。実験は一般的な室内の照明（蛍光灯）下にて行い、被験者は裸眼の状態にて計測した。

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家庭用ビデオカメラ、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から構成され、画像処理用の特別なハードウェアは使用していない。画像は横320×縦240画素の大きさで入力される。パソコンのモニタ上には図2に示すような指標群が提示されており、モニタと被験者の距離は約75センチである。

各指標の大きさは視角1度の正方形とし、指標間隔は提示する指標数によって変更し、指標数5, 7, 9, 11のとき、それぞれ4.5度, 3度, 2.25度, 1.8度としている。垂直方向の指標群の全幅は18度であり、これは人の有効視野（頭部を移動させずに注視できる範囲）が、上約8度、下約12度であること [5] を参考にした。視線計測特性を計測するとき、図2に示した指標群のカーソ

[†]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

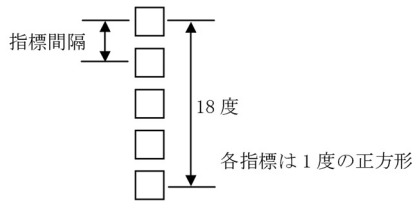


図 2: 提示指標群の例 (指標数 5)

ルはプログラムからのコマンドによって移動する。

被験者は、実験開始時に指標群の各指標を 30 サンプルずつ (サンプリング間隔: 120ms) 注視しキャリブレーションを行う。このとき、時間軸での中央 5 サンプルから光強度分布を求め、その平均を基準光強度分布とした。これは、サッカドの潜時の影響を軽減するためである。

次に、キャリブレーションで用いたのと同じ指標群の各指標を 30 サンプルずつ注視し、基準データとの残差値を求める。指標数 5 のときの垂直方向の計測結果の一例を図 3 示す。図 3 において、縦軸は撮影画像の光強度分布と基準データとの残差値を、横軸はサンプル点を示す。基準光強度分布データは、被験者ごとにキャリブレーション時に辞書化したものを、それぞれ使用する。なお、瞬目時にスパイク上のノイズが現れるが、眼球形状から瞬目であることを判定し、そのフレームを削除している [4]。図 3 から、被験者の視線と同じ方向を注視した際の基準データとの残差値がもっとも小さくなっているが、これにより垂直方向の視線の識別が可能となる。たとえば、図 3 において 30 サンプル付近までが被験者が指標 1 を注視しており、図中の基準データとの「残差値: 1」がもっとも小さい。このことは他の被験者についても同様である。

指標数を変化させたときの、被験者 5 名による垂直方向視線識別率の平均を表 1 に示す。このとき、30 サンプルの時間軸上での中央 20 サンプルから識別率を求めた。表 1 からわかるように、指標数が増えるほど識別率が低下する。また、指標数 5 の場合はすべての被験者で識別率が 94 % 以上で実用上十分な精度を示しているものの、

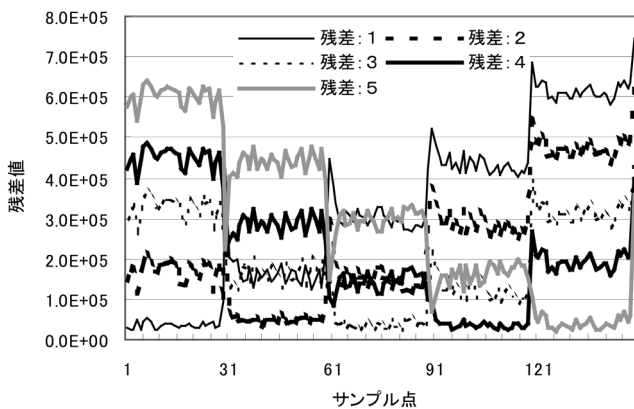


図 3: 垂直方向視線計測結果 (指標数 5)

表 1: 平均注視指標群識別率 [%] (垂直方向)

被験者	指標数 5	指標数 7	指標数 9	指標数 11
A	96.0	87.9	67.2	53.2
B	95.0	95.7	76.7	63.2
C	100	91.4	62.3	51.0
D	100	91.5	91.7	56.8
E	94.0	87.9	52.8	40.9
平均	97.0	90.9	70.1	53.0

指標数が 9 以上になると被験者によっては急激に識別率が低下している。なお、本研究ではモニタ画面中央に配置した指標群のみで実験を行っているが、一般にこの指標群でキャリブレーションを行い、画面の端部に配置した指標群で計測を行うと識別率は低化する [4]。これは、虹彩形状が視線移動によって変形して観察されたり、虹彩の一部が瞼の下に隠れたりするためである。このことにより、アプリケーションの性質にもよるが、実用的な指標数の上限は 5 から 7 程度であると考えられる。

4. むすび

筆者らは、自然光下で撮影された眼球画像から画像解析により、視線方向を計測する一手法を提案してきた。この方法は、処理手順がシンプルであり特殊なハードウェアを用いないため、システムは小形で汎用性が高いという利点がある。今まで水平方向については詳細な精度検証を行ってきたが、本研究で垂直方向についても指標数と識別率の関係を明らかにすることができた。その結果、垂直方向の実用的な指標数を 5 から 7 個にすることが可能であることがわかった。これは、従来までの自然光を使った手法に比べ精度が高く、アプリケーションへの適用の幅が広がることを意味している。

今後は、今までに構築していた視線入力システムを本手法を用いて拡張し、さらに使い勝手のよいアプリケーションの開発へと発展させる予定である。

参考文献

- [1] 伊藤, 数藤, 伊福部: "重度肢体不自由者向け視線入力式コミュニケーション装置", 信学論, J83-D1, 5, pp.495-503, (May 2000)
- [2] 岸本, 米村, 広瀬, 長江: "カーソル移動方式による視線入力システムの開発", 映情学誌, 55, 6, pp.917-919 (May 2001)
- [3] 阿部, 大内, 大井, 大山: "画像解析による強膜反射法を用いた視線入力システム", 映情学誌, 57, 10, pp.1354-1360, (Oct. 2003)
- [4] 阿部, 大山, 大井: "自然光下による画像解析を用いた視線入力システム", 信学技報, 103, 453, pp.43-48, (Nov. 2003)
- [5] 野呂影勇 (編): "図説エルゴノミクス" (財) 日本規格協会, pp.288-292 (1990)