

J-015

自然光下における視線入力システムの初期キャリブレーション An Initial Calibration Method for Eye-gaze Input System under Natural Light

大和田 厚祐[†]
Kosuke Owada

阿部 清彦[†]
Kiyohiko Abe

大山 実[‡]
Minoru Ohyama

大井 尚一[†]
Shoichi Ohi

1. はじめに

画像解析技術の応用として、ビデオカメラにより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近年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ことから、ALS (筋萎縮性側索硬化症) 患者のような重度肢体不自由者向けのコミュニケーションや身の回りの機器制御の支援装置として、利用することが可能である。

筆者らは、自然光下で家庭用ビデオカメラとパソコンのみを用いた視線入力システムを開発している。現在まで視線入力に関する基礎データの収集が進み、基本的な技術は完成している [3]。また、視線入力システムの応用として、メール操作支援システムなどを開発しているが、このときディスプレイに表示する指標配置を上下2段各5個、計10個とし、中央部を各応用システムで使用できる表示スペースとするよう標準化した。これに合わせ、使用時の初期キャリブレーションに関して検討を加え、画面構成などを評価実験により比較することで標準的な方法を定めた。システムを快適に使用するためには、キャリブレーションが簡易で [1]、かつ正確なデータの記録が行えることが重要である。

2. 視線入力システム [3]

筆者らの視線入力システムにおいては、水平方向の視線は強膜反射法を応用し、眼球 (開口部) 中に矩形の領域を設定し、眼裂中央の光強度の積分値の差 (以下、視線値とよぶ) を求めることにより検出している。この視線値と視角の関係がほぼ直線になることから、初期キャリブレーション時に取得したデータから視線特性直線を求め、比較することにより視線方向を判別できる。垂直方向では、眼球近傍の領域について光強度の水平方向1次元射影 (以下、光強度分布とよぶ) を取得し、初期キャリブレーション時に取得した基準の光強度分布と比較することで、視線方向を決定できる。また、頭部移動による計測誤差を軽減するため、目頭の位置をリアルタイムに捉え、頭部移動を検出し補正している。

筆者らの視線入力システムのハードウェア構成を図1に示す。また、パソコンモニタに表示される10個の指標の配置を図2(a)に示す。

3. キャリブレーション

視線入力においては、被験者の個人差や使用時の照明条件が異なることから、使用前にキャリブレーションを行うのが一般的である。筆者らの開発している視線入力システムでは、ユーザが指標を注視しているときに得られ

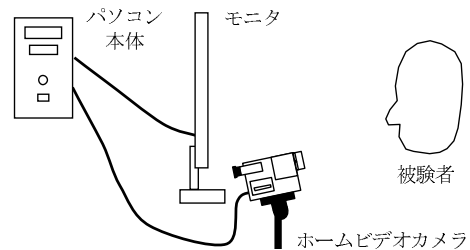


図1: ハードウェア構成

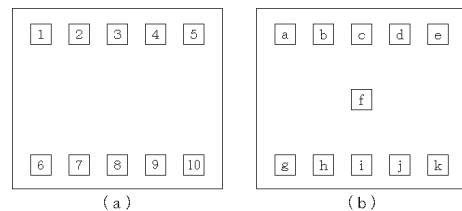


図2: 指標配置例

る計測結果から、視線特性直線と光強度分布の基準データを算出し [3]、ユーザの個人特性として保存する。

水平方向における視線特性直線は、垂直方向の移動に対し変化するため、上下各段について独立に求める必要がある。また、作業エリアとなる中央部に視線があることの判別も必要である。したがって、高精度な視線計測を行うためには、中央部に少なくとも1個の指標を配置した図2(b)に示す11個の指標でキャリブレーションを行うのがよいと思われる。しかし、注視する指標数が多いと、キャリブレーションに時間を要し、ユーザの負担は大きい。また、システム使用中の視線特性の変化に伴い、キャリブレーションをし直すこともあるので、簡易な方法が望まれる。そこで、キャリブレーション時における指標は、図2(a)に示した10個の指標の判別が可能な最小数とし、かつ水平および垂直位置をそれぞれ決定する視線特性直線および光強度分布が、正確に得られる配置とする必要がある。

中央部の1個は必要としても、上下段の各5個の指標はなるべく少なくしたい。そこで、上下段とも3個と2個に減じてキャリブレーションを行った場合の10指標に対する注視指標判定率を、以下の4種類の指標配置と比較する評価実験を行った。指標 a ~ k は図2(b)中の各記号である。

- (1) 7指標 (A): 指標 a, c, e, f, g, i, k
- (2) 7指標 (B): 指標 b, c, d, f, h, i, j
- (3) 5指標 (A): 指標 a, e, f, g, k
- (4) 5指標 (B): 指標 b, d, f, h, j

ここで、(1), (3) は図2(b)に示す指標配置において外側の指標、(2), (4) は内側の指標をそれぞれキャリブ

[†]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

レーションに用いており、各キャラブレーションより算出したユーザの個人特性に対する注視指標判定率への影響を比較した。

4. 評価実験

パソコンのモニタは、青色の背景に白色の指標が図2(b)のように配置されており、このうち赤色に変化した指標を順次注視する。実験は被験者5名(20代男性)について、上述の4種類と参考データとして11個全部でキャラブレーションを行い、図2(a)に示した10個の標準配置の指標を1~10の順に注視する。それぞれについてキャラブレーションで収集した計測結果から、10個の指標が正しく判別できているかを検討した。1個の指標を注視している時間は5秒間で、この間眼球画像を25サンプル(5サンプル/秒)ずつ取得する。なお指標の大きさは、人間工学による考察[4]から、1辺が視角にして1.5度(被験者-モニタ間距離が70センチの場合)の正方形とする。また標準画面の指標間隔は水平方向6度、垂直方向18度に固定している。

キャラブレーションによって計測した視線値から、水平方向については最小二乗法により上下各段2種類の視線特性直線を算出し[3]、垂直方向については上、中、下3段階における光強度分布を基準データとして記録する。光強度分布の記録において、11指標および7指標の場合は「c」、「f」、「i」における光強度分布をそのまま用い[3]、5指標の場合では「f」の光強度分布と上下各段の両端の指標の光強度分布の平均を用いる。これらの各キャラブレーションにより収集したデータと、10個の指標による視線入力データを比較することにより、上下段の各位置における注視指標判定率を求めた。

まず、各指標の水平方向について取得した25サンプルの計測結果から、キャラブレーション時に求めた視線特性直線との差を計測し、直線との誤差を視角として求めた。このうち、サッカードの潜時を考慮し、前後4サンプルを除いた21サンプルの平均をその指標の注視点計測誤差とする。この計測結果(各被験者について全10個の指標の平均)を表1に示す。水平方向では、指標間

表1: 注視点計測誤差(水平方向 単位:度)

	11指標	7指標 (A)	7指標 (B)	5指標 (A)	5指標 (B)
被験者A	0.72	0.34	1.58	0.75	1.53
被験者B	0.60	0.60	0.51	0.67	0.86
被験者C	0.33	0.65	0.96	0.46	0.38
被験者D	0.96	0.54	0.76	0.78	1.63
被験者E	0.68	0.49	0.97	0.89	0.75
平均	0.66	0.52	0.95	0.71	1.03

表2: 注視指標群識別率(垂直方向 単位:%)

	11指標	7指標 (A)	7指標 (B)	5指標 (A)	5指標 (B)
被験者A	99.5	100	100	98.1	100
被験者B	99.5	100	99.0	100	99.0
被験者C	100	100	100	99.5	99.0
被験者D	100	98.6	99.0	100	93.3
被験者E	100	100	98.6	99.5	100
平均	99.8	99.6	99.2	99.4	98.3

表3: 注視指標判定率(水平および垂直方向 単位:%)

	11指標	7指標 (A)	7指標 (B)	5指標 (A)	5指標 (B)
被験者A	99.5	100	74.8	98.1	84.3
被験者B	99.5	100	99.0	100	94.3
被験者C	100	100	100	99.5	99.0
被験者D	99.0	98.1	99.0	100	81.0
被験者E	100	100	94.3	99.5	100
平均	99.6	99.6	93.4	99.4	91.7

の中央を指標判別の境界としているので、3度以内の誤差であれば指標判定が可能とする。全体平均で比較すると、指標配置によらず誤差は2度以内であり、とくに5指標(B)を除き1度以内であった。また(A)と(B)を比較すると、7指標、5指標とも(A)の平均誤差が小さくなった。このことは、視線特性直線の算出には外側の指標の視線値を用いるほうがよいことを示している。

次に、水平方向の計測における21サンプルそれぞれと光強度分布の基準データを比較することにより求めた、垂直方向の識別率を表2に示す。指標配置によらず、平均98%以上の識別率が得られていることから、垂直方向では指標配置によって判別に大きな変化を及ぼさないことがわかる。

水平および垂直方向の計測結果から求めた、注視指標判定率を表3に示す。各被験者の判定率を比較すると、7指標および5指標の(A)については99%以上の判定率で、視線計測に十分な判定率が得られている。ユーザへの負担を考慮すると、キャラブレーションは指標数が少ない5指標(A)で十分であることがわかった。

5. むすび

上下2段各5個、計10個の指標で構成される視線入力システムについて、キャラブレーションの画面構成について検討した。4種類のキャラブレーション画面構成について注視指標判定率の比較を行った結果、5指標(A)の配置パターンをキャラブレーションの標準画面として採用することで、高精度な視線計測が可能であることがわかった。

今後はさらに多くの被験者についてのデータの収集とともに、本研究により得られたキャラブレーションの標準画面を利用し、視線計測のアプリケーションの開発へと研究を進めていきたい。

参考文献

- [1] 大野, 武川, 吉川: “2点補正による簡易キャラブレーションを実現した視線計測システム”, 情処学論,44,4,pp.1136-1149 (Apr.2003)
- [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, 大山, 大井: “自然光下におけ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)
- [4] 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)