

〔非公開〕

TR-C-0019

視線検出に関する研究について

飯田 宗夫
MUNEO IIDA

伴野 明
AKIRA TOMONO

小林 幸雄
YUKIO KOBAYASHI

1988. 9. 30.

ATR通信システム研究所

視線検出に関する研究について

目次

1. まえがき	-----	1
2. 眼球についての予備知識	-----	2
3. 視線検出技術の現状	-----	8
3-1. 視線検出の利用分野	-----	8
3-2. 主な検出法の特徴	-----	8
3-3. 具体的な課題の抽出	-----	10
4. 研究計画	-----	11
5. 当面の研究内容	-----	13
5-1. 視線の検出に用いる眼球の特徴点の抽出法	-----	13
5-2. 非接触視線検出アルゴリズム	-----	14
5-3. 視線による指示特性評価	-----	15
6. あとがき	-----	16

視線検出に関する研究について

飯田宗夫 伴野 明 小林幸雄
(ATR通信システム研究所)

1. まえがき

ここ数年間のコンピュータの飛躍的な進歩に支えられた、情報の高度化及び社会全体の情報化の流れは、人間と機械との接点であるインタフェースにおいても、より高度な情報をより自然にやりとりできるようなヒューマンインタフェースを要求するようになってきた。

ところで、ワードプロセッサ等において、編集箇所を視線に連動して動かしたり、メニューを視線によって選択するができれば、よりスムーズな文章作成が可能になると考えられる。また、CADシステム等において、製品の表示方向の変更や、ある部分を拡大する場合、これを設計者の顔の位置や眼の向きに対応させることができれば、より自然な作業が可能となるであろう。

このように、視線や身ぶり等を利用する事により、より高度で自然なヒューマンインタフェースを実現することが可能と考えられる。特に、視線は人間の興味対象を忠実に反映するため、指示入力装置としての利用が期待されている。

視線を情報機器などの指示入力に利用しようとする試みはMITをはじめいくつかの研究施設で行われてきたが[4]-[6]、これらの研究では顔に視線検出のための装置をとりつけたり、顔の固定が義務づけられているものが主流であり、人間の自然な指示動作を可能にするようなシステムはまだ見あたらない。また、精度的にも指示入力に利用することを考えると十分とはいえない。

本研究では視線を用いたより自然な指示操作を可能とするシステムを実現するために、以下の条件を設定し進める。

- 1)人間の顔に検出部を固定しない非接触型検出法であること
- 2)人間の顔の動きを許容すること
- 3)調整及び運用が簡単であること
- 4)高精度であること

2 眼球についての予備知識

2-1 眼球の構造⁽¹⁾

眼の模式図を図1に示す。我々が眼を観察したとき白く見える部分（白眼）が強膜（sclera）、茶褐色に見える部分が虹彩（iris）、虹彩で囲まれた黒い開口部分が瞳孔（pupil）である。また、眼の前面をおおっている透明な膜が角膜である。角膜のすぐ後の腔は前房室（anterior chamber）であり、その中は眼房水と呼ばれる透明な液体で満たされている。眼房水の背後、水晶体の前には虹彩（iris）があり、その円環状の筋肉は収縮したり、弛緩したりして、目に入ってくる光量をコントロールしている。さらに奥の眼球内部は、ガラス体と呼ばれる透明なゼリー状の物質で満たされている。また、眼底には網膜（retina）が広がっている。網膜への集光はほとんど角膜により行われるが、様々な距離にある刺激に焦点が合うように水晶体で微調整している。水晶体がその厚みを変えて刺激に焦点を合わせる作用を調節と呼ぶ。なお、水晶体は一方が眼房水、他方がガラス体で挟まれているため、調節の際に曲率が変化する面は主に前面である。

2-2 眼球像特徴点

視線検出には、後述のように様々な方法が考えられるが、画像処理による場合には、眼球の特徴点を抽出し、この位置を検出し、スクリーン上の注視点を計算するステップをとる。特徴点としては、Purkinje像、虹彩、瞳孔などがある。各々について概説する。

2-2-1 Purkinje像

眼球は上記のように、屈折率の異なる各種透明体が重なって構成されている。従って、参照光を照射すると、これらの界面で反射が生ずる。この様子を図2に示す。入射した光 I_L は、角膜の表面、裏面、水晶体の表面、裏面の4箇所次々と反射し、残りが網膜に達する。この反射によって生ずる像をそれぞれ第1～4 Purkinje像と呼ぶ。界面での屈折率の違いは、空気と角膜との間が最も高く、残りの界面では小さい。従って、第1 Purkinje像の輝度は高いが、第2～4 Purkinje像の輝度はこれに比べる微小である。また、第2 Purkinje像は、その結像位置が第1 Purkinje像の近傍であり、輝度が小さいため第1 Purkinje像に隠れてしまい抽出は困難である。第3 Purkinje像は、ガラス体の中に結像し、眼球の動きに対して位置が大きく変化する。このため、反射光は虹彩に遮断され易く

、眼球の正面付近から光を照射しない限り抽出は困難である。第4 Purkinje像は、水晶体の裏面で反射する像であるが、この反射面は凹面であるため、反射面より手前の虹彩付近に生ずる。図3を用いて説明する。この図は、図2に示した眼球断面モデルにおいて、角膜表面の反射、水晶体裏面の反射だけを考え、単純化したものである。各面は球面で近似できるため、平行光 IL' を照射すると、同図のように第1 Purkinje像と第4 Purkinje像は凸面と凹面の略中央面に輝点として結像する。これらの点は眼球の動きに伴って移動し、またこの様子は前方から目を観察することにより捉えることができるため、それぞれが視線方向検出の有望な特徴点である。また、第1 Purkinje像は眼の動きと同じ方向に動くのに対して、第4 Purkinje像はこれとは逆方向に動くため両者を組み合わせて利用することで精度の高い視線検出が可能になると期待される。しかし、第4 Purkinje像の輝度は第1 Purkinje像に比べ $1/500$ 程度であるため、この方式では、像の抽出が最大の課題である。

2-2-2 虹彩

虹彩の色は人種により異なるが、薄青色、黒褐色などがある。いずれも強膜との色の差があるため、画像処理により抽出し易く、よく用いられる特徴点である。しかし、虹彩は瞼により部分的に遮断される場合が多く、この重心を求める場合には、円弧から推定するなどの処理が必要である。また、虹彩と強膜との境界は明確では無く、中間色領域が存在する。このためエッジ検出にも工夫を要する。

2-2-3 瞳孔

瞳孔は虹彩の開口部であるため、この検出は虹彩の抽出と深く関連する。瞳孔は一般には黒く観測されるため、虹彩が黒褐色の場合、これを区別して瞳孔だけを抽出することが課題となる。検討中の瞳孔抽出法について述べる。虹彩の波長反射特性は赤から近赤外において強い傾向がある。従って、近赤外の光を参照光として用いることにより虹彩を明るく、瞳孔を暗く撮影することが可能と考えられる。また、瞳孔の奥には網膜があり、ここでも光は反射するため、この光を瞳孔から外に取り出すことができれば、瞳孔を虹彩よりも明るく抽出することができる。これらを組み合わせることにより、瞳孔を抽出したいと考えている。

2-3 網膜の機能と視線検出の意義⁽¹⁾

網膜は光を信号に変換する部分である。網膜には種類の異なった多くの細胞があるが、中でも光受容器として重要なものに桿体 (rods) と錐体 (cones) とがある。桿体は中に含まれる色素が光エネルギーを効率よく電気化学的エネルギーに変換することができるので輝度情報の処理に重要な役割を果している。一方、錐体は、光の電気化学的エネルギーへの変換効率はそれほど良くないが、異なった波長、つまり色光に対し、その吸収特性が変化するという特徴を持っている。赤色、緑色、青色にそれぞれ反応する3タイプの錐体が知られている。このように機能の異なる桿体、錐体は網膜に一様に分布しているのではなく、偏りを持つ。即ち、角膜、水晶体の光軸の延長上に当たる中心窩の近傍では錐体の密度が高く、桿体が少ない。逆に、中心窩から離れた周辺網膜部位では桿体の密度が高く、錐体が少ない。

光受容器からの出力は、網膜細胞層から神経節細胞に入る。神経節細胞には、X、Y、W細胞の3つのタイプがあり、以下の特徴がある。

X細胞；細胞体は小さい、伝達速度は遅い、中心窩とその近傍に分布

Y細胞；細胞体は大きい、伝達速度は大変速い、網膜の周辺部位に分布

W細胞；細胞体は非常に小さい、伝達速度は大変遅い、網膜の周辺部位に分布

以上のことから、定性的に以下のことが言える。

中心窩とその近傍； 動きの遅い刺激を高精細に分別する機能、及び色の識別機能に優れている。視力について見ると、中心窩の視力を1とすると、視線方向から0.5度ずれるだけで視力は0.5、3度で0.3、10度で0.1にまでそれぞれ低下すると言う報告がある。

網膜の周辺部位； 明るさ、動きに敏感であるが、細部の分別機能に劣る。

このように、網膜の各部の機能は分科しているため、人は眼を動かしながら周囲の状況を把握する。このことは、逆に考えると、眼の動きは人の意志を反映すると言える。従って、この動きが正確に検出できれば、人が何処を見ているか、何に注目し何をしようとしているか、などを知る手掛かりとなる。ここに、視線検出の意義がある。

2-4 眼球運動⁽³⁾

2-4-1 眼球運動の分類

ア) 共同運動

左右両眼が同じ方向にはほぼ同じ角度回転する眼球運動を共同運動(Conjugate Eye Movement)と言う。運動する視対象を目で追う場合、視対象が低速で移動する時は、滑らかな動きとなり、高速になると滑らかな動きに跳躍的な動きが加わる。前者を随従運動(Smooth Pursuit Movement)、後者を跳躍運動(Saccadic Movement または Saccade)と呼ぶ。

随従運動だけで追跡できる視対象の運動速度の限界は約5度/秒である。視対象がこれ以上速くなると、跳躍運動が加わる。跳躍運動を一部に含むことを許すと、随従運動の最大速度は30度/秒である。また、随従運動は視対象の動きに対する予測がトリガーに成って起きると考えられている。

一方、跳躍運動は高速な眼球運動であり、最大振幅は40度で、速度は60～700度/秒と広い。視対象が静止している場合の視線の動きは全て跳躍運動であり、随従運動は発生しない。跳躍運動は原則として約200ミリ秒以下の時間間隔で発生することはない。また、視対象が動き出してから跳躍運動が発生するまでに常に約160～170ミリ秒の時間遅れがある。

イ) 輻輳運動

遠近方向に配置された視対象を見る場合に生じる両眼が互いに逆方向に回転する運動を輻輳運動(Vergence Movement)と呼ぶ。また、視線が遠くから近くの視対象へ移動する運動を輻輳運動(Convergence)、視線が近くから遠くへ移動する運動を解散運動(Divergence)と区別する場合もある。

ウ) 固視微動

我々の目は意識される程の大きさではないが、絶えず小さく動いている。これは不随意の振動であり、固視微動(Physiological Nystagmus)と呼ばれる。この振動には、以下の3種類の成分が含まれる。

る。

フリック (flick)	トレモア (tremor)	ドリフト (drift)
<ul style="list-style-type: none"> ・変位角 1~20分 ・ステップ状で高速 ・0.03 ~5.0 秒の間隔で発生 	<ul style="list-style-type: none"> ・振幅角 1分程度 ・20~100Hz ・ランダムな動き 	<ul style="list-style-type: none"> ・変位角 5分程度 ・非常にゆっくり

2-4-2 視線検出で測定される項目

現在使用されている視線検出装置には、制約条件が多いため、測定項目は比較的容易に測定できるものに限られる。複雑な作業での精神活動など注視点の絶対座標を長時間測定しなければ得られないような検出項目は少ない。従来から測定されている主な項目を以下に示す。

- ・注視点の座標；一定時間視線が停留した点の座標であり、視線検出の基本項目である。
カメラ座標をディスプレイの座標に変換することにより可能、ただし、校正法の制約のため、絶対座標を長時間測定することは難しい。
- ・注視時間；視線が一点に停留している時間である。
注視を定義すれば測定は容易。認知過程の解析などに利用されている。
- ・注視点分布；注視点を画面に重ね分布をもとめる。注視対象の同定などに利用されている。
- ・移動軌跡；注視点を結んだ線で表す。作業の解析などに利用されている。
- ・移動距離；ある注視点から次の注視点への移動距離である。
- ・移動速度；注視点を移動する速さである。
- ・移動のスムーズ性；随従運動の分布である。発生状況の解析に利用されている。
- ・サッケードの回数；作業の解析に利用されている。
- ・瞬きの回数；覚醒度の指標などに利用されている。
- ・瞳孔の面積変化；疲労の測定、精神活動の解析などに利用が検討されている。

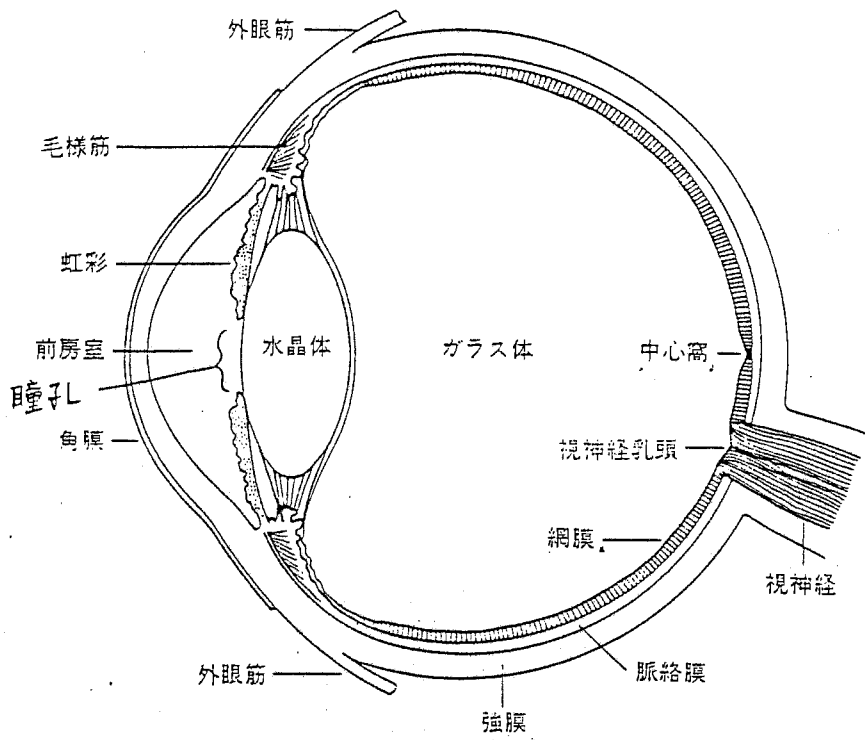


図1 眼の構造の模式図

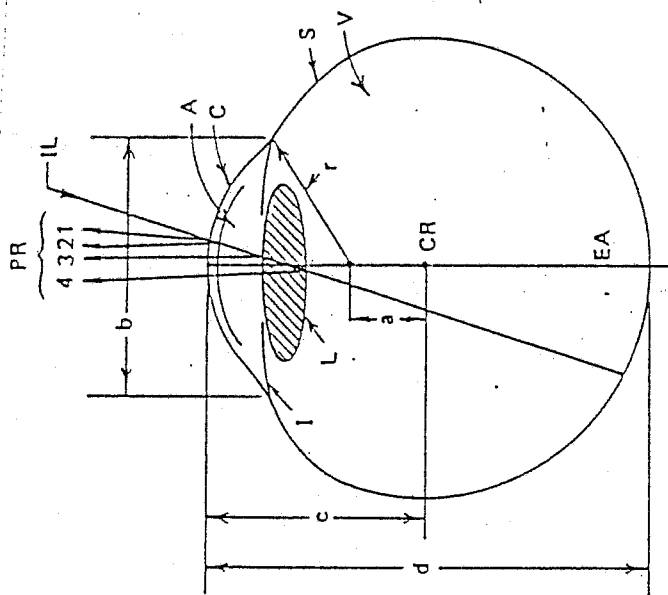


図2

Schematic diagram of the eye: PR, Purkinje reflections; IL, incoming light; A, aqueous; C, cornea; S, sclera; V, vitreous; I, iris; L, lens; CR, center of rotation; EA, eye axis; $a \approx 6$ mm, $b \approx 12.5$ mm, $c \approx 13.5$ mm, $d \approx 24$ mm, $r \approx 7.8$ mm.

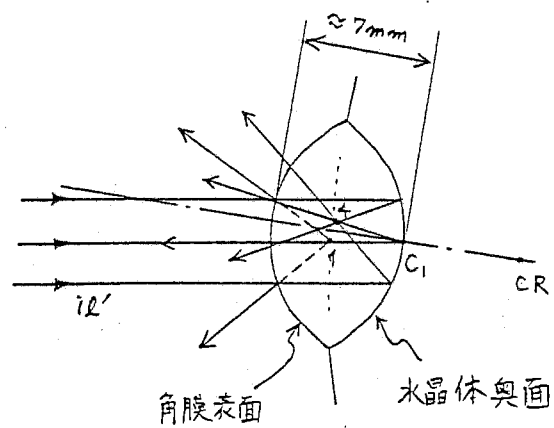


図3 第1 Purkinje 像と第4 Purkinje 像の発生

3. 視線利用に関する研究の現状と課題

視覚は人間の情報獲得において大きな役割を果たしている。また、人間の眼は情報を得るとき、視線は興味対象を追跡する。このため、眼球運動は人間の興味を忠実に反映していると考えられ、人間の興味対象や意志の抽出を目的として、古くから広い分野で研究されてきた。

3-1. 視線検出利用分野

視線検出に関連した研究としては、ワードプロセッサ等の装置インタフェースとして利用したもの[4]-[6]の他に、視線の動きを用いて各種画像に対する人間の注目箇所を検討したもの[7]-[8]、視線の動きから自動車のドライバの居眠り状態を検出しようとする試み[9]-[10]等がある。

視線を情報機器等のインタフェースに利用したシステムの発表例としては、筋萎縮症患者のための文章作成装置[4]が代表的であるが、このシステムにおいては、筋萎縮症の患者が顔を動かすことができないことから、顔の動きを許容していないため汎用性はあまりない。

3-2. 主な視線検出法の特徴

視線検出法自体も、その利用目的に応じて色々な特徴を持つものが提案されてきた[11]-[12]。検出原理については後に述べるが、現在までに提案されてきた視線検出方式の主なものを表1に示す。ここで、表に示した検出分解能は原理的に捉えることのできる眼球の動きであり、実際に使用する際には、校正方式の問題も有り、検出精度としては、検出分解能の約2~3倍程度になる。また、顔の動きの許容に関する項目も原理的なものであり、顔の動きを許容しない方式も、別の手段により顔の位置・向きを計測し、顔の移動を補正する方式[15]もある。

方式	形態	検出範囲[deg] 垂直×水平	検出分解能[deg] 垂直×水平	顔の移動の 許容
E O G 方式	接触	5 0 × 5 0	2 × 1 . 5	N o
角膜反射像方式	接触	2 0 × 2 0	1 × 1	N o
L B M 方式	接触	1 5 × 2 0	2 × 1	N o
角膜反射像 + 瞳孔中心方式	非接触	3 0 × 3 0	1 × 1	2 ~ 3 [cm]
D P I 方式	-	2 5 × 2 5	0 . 0 2 × 0 . 0 2	-

表 1 従来の視線検出法

3-2-1. E O G 方式

この方式は、角膜（黒目）と網膜の間に電位差があることを利用したものである。眼球は角膜と網膜の間に1～3[mv]程度の電位差を持つ。このため、眼の囲りに電極を取り付け電圧を測定すると、検出された電圧は視線方向によって変化する。E O G方式はこれを利用し、皮膚電極から得た電圧をもとに眼球の動きを検出する。また、電極を複数取り付けることにより、眼球の水平垂直両方向を測定することも可能である。この方式は現在ある視線検出法の中で最大の視野範囲を持ち、安価であるため色々な分野の研究で実績を挙げている[13]。

しかし、皮膚からの生体電圧測定が検出の基本となるため筋肉の動きによる雑音が生じやすく、角膜と網膜の間の電位差が外部からの光により変化することもあり、精度的には最高でも視線角度にして2度程度であり、安定性も悪い。

3-2-2. 角膜反射像方式

これは、角膜に参照光を当てた時に生じる角膜反射像を追跡することにより、視線の動きを検出する方式である。一般的に、角膜は一種の凸面鏡と見なせ、かつその曲率中心が眼球中心と一致しないため、角膜に生じる虚像（角膜反射像又は第1 P r u k i n j e 像と呼ぶ。）の位置は視線方向によって変化する。よって、この虚像の位置をTVカメラ等を用いて検出すると、視線方向を算出することができる。この様な視線検出方式を角膜反射像方式と呼ぶ。精度的には角膜形状のモデルからのズレがあるため、視線角度にして1度程度が限度といわれている[14]。

この方式は、比較的古くから実用化されていたが、頭部と測定系にズレがあると大きな誤差を生じるため、参照光用光源及びTVカメラ等は使用者の頭部に固定しなければならないが、これらは重量があるため十分な固定は困難であり、使用者に与える負担も小さくない。

3-2-3. L B M 方式（角膜強膜反射法）

この方式は、角膜と強膜の光の反射率の違いを利用したもので、角膜と強膜の境界近くに赤外参照光を照射し、その反射光量をフォトセンサーで計測し眼球運動を測定するものである。この方式も、原理的には顔と検出装置とのズレが誤差を生じるが、3-2-2.角膜反射像方式に比べるとその影響は小さい。また、機構が比較的簡単、軽量であるため、使用者の負担が小さく、検出部と顔のズレ自体も生じにくい。また、出力が純アナログであるため測定サンプル時間も短くする事ができ、サッケードのような高速眼球運動の追跡には適している。これらの特徴を生かし注視状態などの人間の眼球運動の分類・分析等の研究に多く用いられている[7]-[8]。

しかし、この方式は、参照光及びフォトセンサーを角膜と強膜のちょうど境界にもっていき必要があり調整が複雑である。また、涙の影響が大きいいため、瞬きによって眼の表面の濡れ具合の変化が生じると検出精度が低下し、装置を再調整し直さなければならないことがある。この事は人間の自然な指示動作実現の大きな妨げとなると考えられる。

3-2-4. 角膜反射像+瞳孔中心方式

この方式は3-2-2.の角膜反射像方式において、検出装置と顔のズレが大きな誤差を引き起こす事を克服するために検討された方式である。この方式では、角膜反射像の他に瞳孔中心の位置を検出し、それら2点の距離から視線角度を検出するものである。これによって、顔の移動が2~3〔cm〕程度なら3-2-2.の方式と変わらない検出精度を得ることができる。

しかし、事実上人間の顔の動きが2~3〔cm〕程度に制限されてしまう。このため、人間の自然な指示行動の実現が妨げられる。

3-2-5. DPI方式 (Double-Pruckinje法)

この方式も3-2-2.の角膜反射像方式において、検出装置と顔のズレが大きな誤差を引き起こす事を克服するために検討されたものである。この方式では角膜反射像(第1Pruckinje像)の他に水晶体奥面反射像(第4Pruckinje像)を追跡し視線の検出を行なうものである。検出精度も1分程度と高く、また、ある程度の顔の移動も許容することができる〔13〕。

しかし、この方式は事実上、顔の動き数センチしか認められていない。また、2個の像の輝度差が500:1と非常に大きいため、この方式では、各々の反射像に対し別の受光素子を用いて、ミラーを動かすことにより捉えるという複雑な追跡法を採用しており、調整及び運用が非常に複雑になっている。

3-3. 具体的課題の抽出

3-3-1. 各種制約条件

従来の視線検出法は、実験ツールとしての色彩が強いため、ヒューマンインタフェースに利用するには多くの制約条件を持っている。3-2-1.及び3-2-3.は原理上、外部からの光が正確な視線の検出の妨げとなり、また通常の人間の動作(瞬き等)が検出を不可能にすることもある。3-2-2.は使用者の顔に重量のある検出装置を取り付けなければならない、使用者の負担が大きい。また、3-2-4.及び3-2-5.は基本的には顔に検出部を持たないため使用者自身の負担は軽いが、実際には、顔の動きが2~3〔cm〕程度しか認められない。

この様に、人間の自然な指示動作を可能にし、かつ外部の影響を受けない様な視線検出法はまだない。

これらの従来方式一般に言えることは、5個の自由度を持つ眼球運動に対し2次元または4自由度の検出しか行なっておらず、多くの制約条件が生じる結果となっている。

3-3-2. 技術的課題の抽出

視線検出法に要求される条件としては

- 1)人間の顔に検出部を固定しない非接触型検出法であること、
- 2)人間の顔の動きを許容すること、
- 3)調整及び運用が簡単であること、
- 4)実時間処理にて検出が可能なこと、

等がある。我々はこれらの条件を満たすために、眼球の動きをステレオ画像

を用いて検出することを目指し視線検出アルゴリズムの研究を行なう。また並行して、より高度なヒューマンインタフェースの実現するため、視線の意味動作の分析・分類を行う。本研究を進めるに当たって、以下の5つが技術的な課題となる。

- 1) 既存の視線検出法の評価
- 2) 眼球の特徴点抽出法の検討
- 3) 非接触視線検出アルゴリズムの検討
- 4) 視線による指示特性の評価
- 5) 検出処理の高速化

4. 研究計画

前節において述べたように本研究においては、視線を非接触かつ実時間で検出するアルゴリズムの研究と視線によるヒューマンインタフェースの有効性の検討がある。本研究においては、これらの課題を次のように分類して行なう。研究予定については表2に示す。

1) 既存の視線検出法の評価

先に述べたように、現在までに多くの視線検出法が考えられている。これらの方式の問題点を明確にすることは非接触化に向けて重要なことと考えられる。また、視線の意味動作の分析・分類において、既存の検出装置を実験ツールとして使用するため、特性向上等も必要と考えられる。

2) 眼球の特徴点抽出法の検討

眼球運動自体は5個の自由度を持つため、これを検出するために2個の特徴点をそれぞれ3次元で捉える必要がある。我々はここで視線の検出に必要な2個の特徴点をその抽出法とともに検討する。この検出特徴点の選び方は検出精度、顔の動きの許容度、及び検出時間に密接に関わるため重要と考えられる。また、非接触検出法においては、接触方式では問題となりにくい外部からの光の影響などもあり、より検出特徴点を効率よく検出するために、眼球の各部分の反射光の周波数特性及び偏光特性も測定する。また、非接触検出法においては、得られる画像は眼球を含む広い範囲となるため、その画像から眼球を抽出する方法の検討も必要となる。

3) 非接触視線検出アルゴリズムの検討

視線を検出するためには抽出された2個の特徴点から、視線方向を算出する必要がある。ここでは、カメラ、参照光及び眼球の幾何学的モデルから、カメラで捉えられた検出特徴点の位置と視線方向の関係を明らかにする。特に、カメラ及び参照光の配置は検出範囲の大きさと検出の精度に重要な影響を与えるため十分に検討する。また、視線を用いて指示入力等を行なう場合には、視線検出装置から出力された視線データを人間が見ているディスプレイ上の視点座標に変換する必要がある。ここでは、これらの変換法とその校正法を検討する。特に、人間は一点を見つめているつもりでも、その眼はかなり振動しているため、校正法を検討するに当たり振動除去の方法は十分に検討する必要がある。

4) 視線による指示特性の評価

視線の検出をカーソル制御やカメラの遠隔操作等に利用したとき、従来の方法に対しどのような有効性が得られるかを、アイマークレコーダ等の既存の視線検出装置を用いて実験により調べる。特に従来の指示入力装置として広く用いられているマウスとの比較評価は重要である。

また、将来的には人間の内的な状態を視線を用いて認識することを目指し、高分解能な視線検出装置を用いて、視線の動きを分析・分類する。ここでは、特に視線による指示動作において、分析・分類（例えば、注視状態と眺めている状態、メニューなどを見るとき目の動き等）を行う。

また、視線の細かい動きから人間の意志を抽出するなどの、より高度なヒューマンインタフェースへの適用を考え、眼球運動の種類・性質などから視線検出に要求される検出速度も検討する。

5) 検出処理の高速化

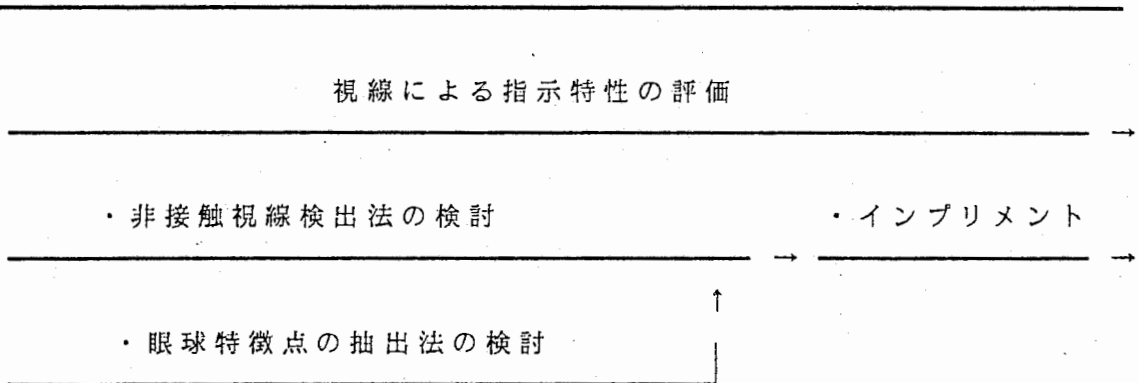
上記の課程にて検討された視線検出アルゴリズムは顔画像からの目の抽出及び検出特徴点の抽出など、画像処理を必要とする作業が多いため、実際の検出には多くの時間を要する。一方、視線の動きを指示入力等のインタフェースに適用するためには、ある程度、高速で検出することが必要となってくる。ここでは、4)等の結果も踏まえ検出処理の高速化をはかる。

表 2 研究予定表

'87

'88

'89



5. 当面の研究内容

5-1. 視線の検出に用いる眼球の特徴点の検出法

先に述べたように我々は、視線をステレオ画像を用いて非接触に検出する方法を検討するが、ここでは視線の動きを検出するための独立な2個の特徴点の選び方について検討する。現在検討中の組合せ例を表3に示す。

特徴点の組合せ	眼球運動に対する特徴点間距離の変化量	像抽出難易度
・ 第1 P 像 + 第4 P 像	中	難
・ 第1 P 像 + 瞳孔中心	小	易
・ 顔の不動特徴点 + 第1 P 像	大	難

表3 特徴点の組合せ

我々は先ず、基本的な特徴点である第1 P r u k i n j e 像の抽出法について検討し、次に瞳孔中心の抽出法について検討を行う。他のものについても順次検討していく。

実験. 1

第1 P r u k i n j e 像を遠方のカメラを用いて抽出しようとするとき問題となるのは、参照光以外の外部光源（蛍光灯、CTR等）によって生じる像と抽出すべき参照光による像の識別である。ここでは、赤外参照光を用いて像の抽出を行う。雑音成分である可視光は光学フィルターで遮断する方法を採用する。また、S/Nをさらに上げるため偏光特性を利用する方法についても検討する。

実験. 2

瞳孔中心の抽出法について検討するため以下の実験を行う。人間の眼球に色々な周波数の参照光を照射し、それぞれの周波数に対する虹彩などの反射強度を測定する。このデータからより瞳孔の抽出に望ましい参照光の周波数を求める。また、人間の赤目現象（網膜による光の反射によって瞳孔が赤く光って見える現象）による、瞳孔抽出も有効な手段と考えられるため、赤目現象の起きる条件（参照光の位置、眼の位置、カメラの位置）等についても測定する。

5-2. 非接触視線検出アルゴリズム

ここでは、視線検出装置から出力された視線データをディスプレイ上の視点座標への変換するための方法を検討する。まず、ステレオ画像を用いる場合の幾何学モデルを作成し、これを用いてカメラディスプレイ間の変換式を求める。この式では、変換係数がパラメータとなるため、ディスプレイに指標を提示し校正を行う。この校正において、眼球の固視微動（注視状態において眼球が振動する現象）が問題となるが、これについては引き続き検討を行う。

従来の視線検出装置では、これらの変換は被験者に装置を取り付けた状態で実験者が調整部分を調節するというハード的なものが主流であるが、ここではオートマテックに行なう方法で検討する。

5-3. 視線による指示特性の評価

視線を用いた指示入力システムの実現を考えた場合、従来の指示入力装置に対し、どの様な有効性があるかということは、本研究においては重要な課題となる。また、同時に視線検出の精度と指示の有効性の関係も明らかにする必要がある。

ここでは、既存の視線検出法を用いて実験に必要な視線による指示システムを構築し、主にマウスとの比較において指示精度及び指示時間の面から検討する。

マウスに代表される従来の指示入力装置を用いて指示入力を行う場合、人間は指示目標とカーソルの位置を交互に見ながらそれらの位置をあわせ、一致したところで入力するという、いわゆる人間自身によるフィードバックを行なう。それに対し視線による指示入力では、これらの動作をすることなく入力できるため、入力時間の面で有利と推察できるが、指示精度の面では検出装置の精度以上の精度は得られないであろう。しかし、視線を用いた指示入力をにおいても、小さな指示目標への指示入力を行うときにマウスのような人間によるフィードバックを利用できれば、視線による指示の応用の範囲が広がると考えられる。

ところが視線による指示入力においては、使用者が視示目標とカーソルの位置を交互に見るとカーソル自体が移動してしまうため、このような人間によるフィードバックの実現は難しい。しかし、人間の眼の特性に眼を動かさずに指示目標とカーソルの位置を認識できる範囲が存在するならば、視線検出精度をこの範囲内にいれることでフィードバックも可能と考えられる。このような、人間によるフィードバック可能な範囲は、視線検出法に求められる精度、視線指示の適用分野を決める上で重要となる。

ここでは、上記の様な人間によるフィードバックが可能な範囲を求め、視線検出に求められる精度を検討する。また、同時に入力精度及び入力時間から視線による指示入力のマウスに対し有効な範囲を求める。

実験

I R I S等に図. 4 (a)に示される様な指示目標を表示し、指示入力を行う。このとき、予め視線検出装置に誤差（人間の実際の視点とコンピュータが認識している視点の位置の距離差）を与えておく。このとき、予め与え

る検出誤差を横軸に、縦軸に指示精度を取ると、図. 5 の様なデータが得られると予想される。このときの、 p の値が人間によるフィードバックが可能な範囲である。また、次に指示目標を図. 4 (b) にして、各誤差に対し指示目標の大きさと指示時間の関係をマウスと比較し、視線による指示入力の有効性を評価する。

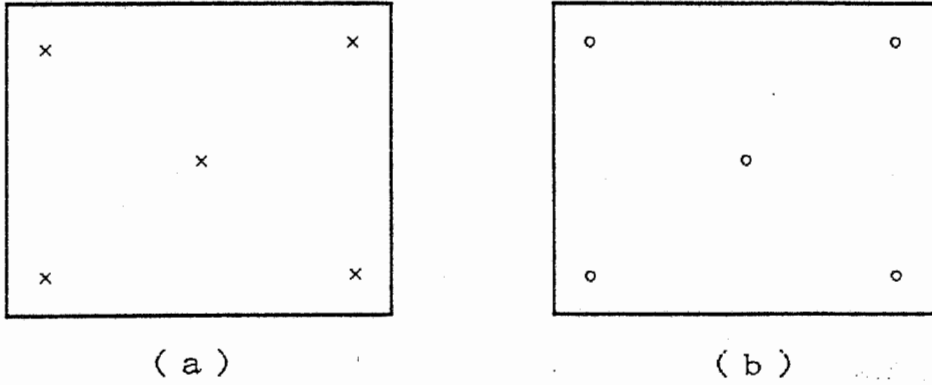


図. 4

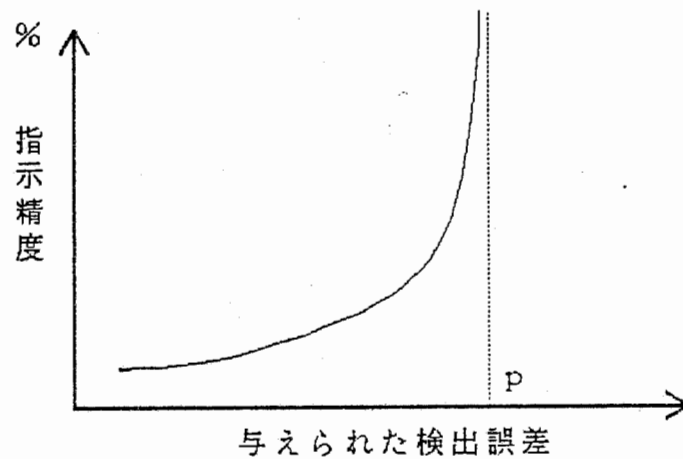


図. 5

6. あとがき

本報告では視線を指示入力等のヒューマンインタフェースに利用するに当たり、現状の技術の問題点を明らかにし、それに対する研究課題を明確にした。その結果、従来の視線検出法自体がユーザに対し負担をかけたり、また調整にかなりの熟練を要するなど、インタフェースシステムとして採用するに当り重要な問題を持っていることが明確になった。今後、これらの問題を解決するために基礎データの収集等を順次行っていく。

参考文献

- [1] K.T.スパー・S.W.レムクール共著／芋坂直行訳；"視覚の情報処理"、サイエンス社
- [2] T.N.Cornsweet,H.D.Crane；"Accurate two-dimensional eye tracker using first and fourth Purkinje image"、J.Opt.Soc.Am 60,921 '73
- [3] 日下ほか；"視線の動きの測定と応用に関する基礎技術"、NHKエンジニアリングサービス '88
- [4] 山田、福田；"ASL患者用に試作した眼球運動による文章作成・ナースコール装置"、人間工学 Vol.21,No.Suppl PAGE.98-99 '85
- [5] F.A.Glenn III etc.；"EYE_VOICE_CONTROLLED INTERFACE"、Hum Factor Soc Annu Meet Vol.30th,No.1 PAGE.322-326 '86
- [6] Foulds R.A.,Demasco P.W.；"Eye Gaze System for Communication Input"、Midcon Conf Ref Vol.5,PAGE.1-3 '81
- [7] 山田、福田；"画像における注視点の定義と画像分析への応用"、信学会論文誌D Vol.69,No.9 PAGE.1135-1142 '86
- [8] 福田、斉藤；"眼球運動によるものの見方の評価と定量化"、人間工学 Vol.22,No.4 PAGE.191-197 '86
- [9] 加来、寺林ほか；"ビジョンアナライザによる運転者の視線追跡"、テレビジョン学会技術報告 Vol.9,No.18 PAGE.7-12 '85
- [10] 世古；"ドライバの居眠り状態を検出する技術の現状"自動車技術 Vol.38,No.5 PAGE.547-554 '84
- [11] 斉田；"眼球運動の計測"、製品科学研究所研究報告 No.99 PAGE.20-26 '84
- [12] Laurence R.Young, David Sheena；"Survey of Eyemovement Recording Methods"、Behavior Reserch Methods and Instrumentation 7 (5) PAGE.397-429 '75
- [13] 若菜；"正常眼EOGに及ぼす年齢の影響について"、日本眼科学会誌 Vol.86,No.6 PAGE.613-622 '82
- [14] 熊谷；"視覚情報収集における眼球運動の役割"、電気・情報関連学会 21-3,PAGE.147-150 '87
- [15] 前迫、中山ほか；"頭部の動きを補正するアイマークレコーダ用注視点測定装置の開発"、信学会技術研究報告 Vol.86,No.239 PAGE.33-38 '86
- [16] Crane H.D,Steele C.M.；"Generation-V dual-Purkinje-image eyetracker"、Appl Opt Vol.24,No,4 PAGE.527-537 '85