

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2005-13752
(P2005-13752A)

(43) 公開日 平成17年1月20日(2005.1.20)

(51) Int. Cl.⁷

A61B 3/113

F I

A61B 3/10

テーマコード (参考)

B

審査請求 有 請求項の数 3 O L (全 17 頁)

(21) 出願番号 特願2004-236161 (P2004-236161)
 (22) 出願日 平成16年8月13日 (2004. 8. 13)
 (62) 分割の表示 特願2001-114581 (P2001-114581)
 の分割
 原出願日 平成13年4月12日 (2001. 4. 12)
 (31) 優先権主張番号 特願2000-228163 (P2000-228163)
 (32) 優先日 平成12年7月28日 (2000. 7. 28)
 (33) 優先権主張国 日本国 (JP)

(71) 出願人 301021533
 独立行政法人産業技術総合研究所
 東京都千代田区霞が関1-3-1
 (71) 出願人 500351435
 松田 圭司
 茨城県つくば市梅園1-1-1 独立行政
 法人産業技術総合研究所 つくば中央第2
 事業所内
 (71) 出願人 500351310
 永見 武司
 茨城県つくば市梅園1-1-1 独立行政
 法人産業技術総合研究所 つくば中央第2
 事業所内

最終頁に続く

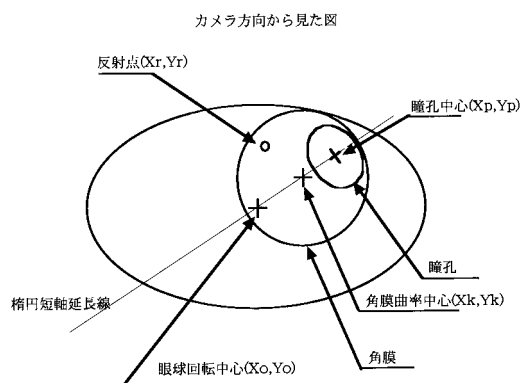
(54) 【発明の名称】 視線検出システム

(57) 【要約】

【課題】 カメラにより複数の画像を取り込み、それぞれの画像について、反射光形状、瞳孔形状を計測して、反射光重心位置、瞳孔を楕円近似することにより、短軸の傾き、短軸長軸比、瞳孔中心を計算しそれらの値からカメラに対する視線ベクトルを求めることを目的としている。

【解決手段】 頭部が固定された被験者において、反射位置が角膜上に位置するように配置された光源により照明された瞳孔を撮影可能なカメラによって、複数の画像を取り込む。それらの画像より、反射光重心位置と角膜を球の一部としたとき球の中心である角膜曲率中心のx方向の距離及びy方向の距離及び眼球が回転する際の不動点である眼球回転中心-角膜曲率中心距離を計測する。これら値を用いて、被験者において前述のカメラによって撮影された画像から、反射光重心位置および瞳孔を楕円近似する事により得られた値からカメラに対する視線ベクトルを計測する。

【選択図】 図7



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

頭部が固定された被験者において、反射位置が角膜上に位置するように配置された光源により照明された瞳孔を撮影可能のカメラによって、複数の画像を取り込む手段と、それぞれの画像について、反射光形状及び瞳孔形状を計測して、反射光重心位置、及び瞳孔を楕円近似することにより短軸の傾き、短軸長軸比、及び瞳孔中心を計算する手段とを備え、反射光重心位置と角膜を球の一部としたとき球の中心である角膜曲率中心の x 方向の距離及び y 方向の距離及び眼球が回転する際の不動点である眼球回転中心と角膜曲率中心の距離を計測するシステム。

【請求項 2】

頭部が固定された被験者において、反射位置が角膜上に位置するように配置された光源により照明された瞳孔を撮影可能のカメラによって、複数の画像を取り込む手段と、

取り込まれたそれぞれの画像について、反射光形状及び瞳孔形状を計測して、反射光重心位置、及び瞳孔を楕円近似することにより短軸の傾き、短軸長軸比、及び瞳孔中心を計算する手段とを備え、

あらかじめ計測しておいた反射光重心位置と角膜曲率中心の x 方向の距離及び y 方向の距離、角膜曲率中心と眼球回転中心の距離、瞳孔中心と眼球回転中心の距離を利用して、反射光重心位置と瞳孔中心位置からカメラに対する視線ベクトルを求めることから成る視線検出システム。

【請求項 3】

頭部が固定されていない被験者において、反射位置が角膜上に位置するように配置された光源により照明された瞳孔を撮影可能のカメラによって、複数の画像を取り込む手段と、

取り込まれたそれぞれの画像について、反射光形状及び瞳孔形状を計測して、反射光重心位置、及び瞳孔を楕円近似することにより短軸の傾き、短軸長軸比、及び瞳孔中心を計算する手段とを備え、

あらかじめ計測しておいた反射光重心位置と角膜曲率中心の x 方向の距離及び y 方向の距離、角膜曲率中心と瞳孔中心の距離を利用して、反射光重心位置と瞳孔中心位置からカメラに対する視線ベクトルを求めることから成る視線検出システム。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本発明は、カメラに対する視線ベクトルを求める視線検出システムに関する。

【背景技術】**【0002】**

従来より、視線位置を計測する簡便な視線位置計測システムが求められている。このようなシステムを、より低価格で提供することができるならば、例えば、以下のような分野に使用できると考えられる。

1) 視覚に関する心理学的研究

2) 医療検査

3) マンマシンインターフェース（視線入力装置）

4) 3) と重なるが障害者に対する補助装置。

5) ヘッドマウントディスプレイに内蔵し、視線入力装置として用いる。

6) 装置を 2 台使い、カメラの位置を厳密に設定することにより、両眼の視差を受動的な校正（視標を提示して、凝視してもらうのではなく、ただ、眼を動かすだけ）で計測することができる。医療検査、心理実験、行動実験などに用いることができる。

【0003】

しかし、従来、カメラにより複数の画像を取り込み、反射光形状、瞳孔形状を計測して、反射光重心位置、瞳孔の楕円近似より短軸の傾き、短軸長軸比、瞳孔中心を計算することにより視線位置を計測する簡便な視線位置計測システムは、存在していなかった。

10

20

30

40

50

【特許文献1】特許第2600114号公報

【非特許文献1】電子情報通信学会技術研究報告書 vol.100 no.47 「視線位置計測システムの開発」 ISSN0913-5685、TL2000-1-6「思考と言語」2000年5月12日 より抜粋

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

本発明は、カメラにより複数の画像を取り込み、それぞれの画像について、反射光形状、瞳孔形状を計測して、反射光重心位置、瞳孔を楕円近似することにより、短軸の傾き、短軸長軸比、瞳孔中心を計算することにより、カメラに対する視線ベクトルを求めることを目的とする。

10

【課題を解決するための手段】

【0005】

(1) 反射光重心位置と角膜曲率中心位置の関係について。

CCDカメラにより、人もしくはサルの眼球を撮影する。瞳孔を暗く撮影するため、赤外線LEDにて照明を行う。カメラ、光源（赤外線LED）及び眼球の位置関係を図1に示す。図1において、カメラは、眼球の略水平方向前方に位置するよう図示しているが、カメラの位置は、瞳孔が撮影できる範囲で任意の場所に設定する事ができる。光源も、反射光形状が角膜上になる場所ならば、任意の場所に配置させる事ができる。CCDカメラには、図2のような映像が撮影される。

【0006】

20

図1を簡略化して、瞳孔中心、角膜曲率中心を書き入れた図を図3に示す。簡略化した図3において、反射光重心位置が生ずる場所を図4に示す。反射光重心位置は、光源、角膜曲率中心、カメラを結ぶ角の2等分線と角膜の交わる位置に生じる。角膜曲率中心と反射光重心位置を結ぶベクトルを反射光ベクトルと名付ける。（光源は、無限遠にあると仮定する。カメラには、平行投影されると仮定する）。

【0007】

眼球が動いたとき、反射光重心位置と角膜曲率中心の位置関係を図5に記す。光源が、十分に遠方であれば、カメラ面への法線ベクトルと反射光ベクトルの角度は、眼球が回転しても同一になる。そのため、眼球が回転しても、カメラに投影される角膜曲率中心と反射光重心位置の距離が一定に保たれる。図5では、x方向の距離が一定で保たれている様子を表している。図6では、視線が変化しても、カメラの投影される角膜曲率中心は、常に反射光重心位置からx方向に、y方向にの位置にある様子を表している。図7にカメラから見た眼球のそれぞれの部位の位置関係を表している。図3にあるように、瞳孔中心、眼球回転中心、角膜曲率中心が直線上に存在していると仮定すると、その投影画像である図7においては、瞳孔中心(X_p, Y_p)、眼球回転中心(X_o, Y_o)、角膜曲率中心(X_k, Y_k)が直線上に存在する事になる。また、反射光重心位置(X_r, Y_r)は、角膜曲率中心より(、)だけ移動した位置にある。、は、複数の画像を持ちいて、最小自乗法により瞳孔中心(X_p, Y_p)と瞳孔中心(X_o, Y_o)結ぶ直線と角膜曲率中心位置(X_k, Y_k)=(X_r -、 Y_r -)の距離を最小にする、により求める事ができる。

30

【0008】

40

(2) 眼球回転中心位置-角膜曲率中心距離の求め方について。

図7にあるようにカメラによって撮影された画像における「眼球回転中心位置-角膜曲率中心」距離は、角膜曲率中心(X_k, Y_k)と眼球回転中心(X_o, Y_o)から求める事ができる。この距離は、実際の距離が2次元に射影された物であり、実際の距離にある定数をかけたものになっている。この画像における「瞳孔中心-眼球回転中心」距離を、瞳孔中心(X_p, Y_p)と眼球回転中心(X_o, Y_o)から求める事ができる。実際の「瞳孔中心-眼球回転中心」を求める事ができることは知られている(特許文献1参照)ため、両者の比から、射影時における定数を求める事ができる。この定数を、画像における「眼球回転中心位置-角膜曲率中心」距離に掛ける事により、実際の「眼球回転中心位置-角膜曲率中心」距離を求める事ができる。実際の「眼球回転中心位置-角膜曲率中心」距離(rr)と実際の実際の「瞳

50

孔中心-眼球回転中心」(r)の関係式は、後述の通りである(段落[0021][0026]参照)。(反射光重心位置座標を(rx,ry)とし、反射光重心位置と角膜曲率中心位置のx方向のずれをalpha,y方向のずれをbetaと表記している。そして、Xkのかわりにrx-alpha(=Xk)、Ykのかわりに、ry-beta(=Yk)を用いている。)

【0009】

3)カメラに対する視線方向について。

カメラに対する視線方向は、カメラに写った画像における(図7)楕円短軸延長線上の2点と、実際のその2点間の距離より求める事ができる。瞳孔中心位置(Xp,Yp)と眼球中心位置(Xo,Yo)と瞳孔中心眼球回転半径(r)により、カメラに対する視線方向を表したものが、[数3]である。[数3]について、眼球回転中心(Xo,Yo)の代わりに角膜曲率中心(Xk,Yk)を、瞳孔中心-眼球回転中心距離(瞳孔中心回転半径)(r)の代わりに瞳孔中心-角膜曲率中心距離(上記2)における、r(瞳孔中心回転半径)-rr(角膜曲率回転半径))を代入する事により、図7における瞳孔中心(Xp,Yp)と角膜曲率中心(Xk,Yk)からカメラに対する視線方向を求める事ができる。同様に、[数3]について、瞳孔中心(Xp,Yp)の代わりに角膜曲率中心(Xk,Yk)を、瞳孔中心-眼球回転中心距離(瞳孔中心回転半径)(r)の代わりに角膜曲率中心-眼球回転中心距離(上記2)rr(角膜曲率回転半径))を代入する事により、図7における角膜曲率中心(Xk,Yk)と眼球回転中心(Xo,Yo)からカメラに対する視線方向を求める事ができる。

10

【発明の効果】

【0010】

本発明は、カメラにより複数の画像を取り込み、それぞれの画像について、反射光形状、瞳孔形状を計測して、反射光重心位置、瞳孔を楕円近似することにより短軸の傾き、短軸長軸比、瞳孔中心を求め、それらの値より、カメラに対する視線ベクトルを求めることが可能となる。

20

【発明を実施するための最良の形態】

【0011】

以下、本発明の視線検出方法及びシステムの第1の例について、図1~図10を参照して説明する。図1は、カメラ、光源、及び眼球の位置関係を示す図である。CCDカメラにより、人もしくはサルの眼球を撮影する。瞳孔を暗く撮影するため、赤外線LEDにて照明を行う。カメラは、眼球の略水平方向の前方に位置するよう図示しているが、カメラの位置は、瞳孔が撮影できる範囲で任意の場所に設定することができる。光源も、反射位置が角膜上になる場所ならば、任意の場所に配置させることができる。CCDカメラには、図2のような映像が撮影される。

30

【0012】

図1を簡略化して、瞳孔中心、角膜曲率中心、眼球回転中心を書き入れた図を図3に示す。簡略化した図3において、反射点が生ずる場所を図4に示す。反射点は、光源、角膜曲率中心、カメラを結ぶ角の2等分線と角膜の交わる位置に生じる。角膜曲率中心と反射点を結ぶベクトルとを反射光ベクトルと名付ける。(光源は、無限遠にあると仮定する。カメラには、平行投影されると仮定する。)

【0013】

眼球が動いた時、反射点と角膜曲率中心の位置関係を図5に記す。光源が、十分遠くになれば、角膜曲率中心への反射光ベクトルの角度は、眼球が回転しても同一になる。そのため、眼球が回転しても、角膜曲率中心と反射点の距離が一定に保たれる。図5は、x方向の距離のみを表している。図6に、カメラ方向から撮影された時の、角膜曲率中心と、反射点の位置関係を表示する。

40

反射点、角膜曲率中心、瞳孔中心、眼球回転中心の位置関係は図7で表される。この図を、簡略化すると図8になる。

【0014】

カメラにより複数の画像を取り込み、それぞれの画像について、反射光形状、瞳孔形状を計測して、反射光重心位置、瞳孔を楕円近似することにより短軸の傾き、短軸長軸比、

50

瞳孔中心を計算し、それらの値からカメラに対する視線ベクトルを求めることができる。

i) 反射光重心位置計測について

1) 瞳孔中心を領域の中心とする120x90 pixelの画像を3pixel置きに取り出し40x30の画像を生成する。

2) ある閾値以上の点を取り出し、それを塊毎にラベルをつけてゆく。

3) 一定以上の大きさがあり、かつ瞳孔中心に最も近い塊の重心を測定する。

という方法で行っていた。

但し、この反射光重心位置計測方法は、反射点の大きさが小さいと、取りこぼされてしまうことになり、また、反射点が複数ある場合、間違った反射点を選んでしまう(角膜上には、n次ブルキニエ反射が存在する。注目しているのは、1次反射である)ことになる

10

【0015】

ii) 反射光選別について

検出したものを全て用いていて、選別を行わないと、図9にあるように、角膜上ではなく、強膜上で反射した場合の反射光を検出して計算を行ってしまうことになる。このような場合は、反射点が角膜上にあるという前提がなくなり、計算結果が正確でなくなってしまう。このような場合は、計算不能とする必要がある。

【0016】

iii) 自動方式切り替えについて。

上述の方法は、校正の後、被験者の瞳孔中心位置と反射光重心から視線位置を求めることが可能である。しかし、この方法は、頭部が動いても計測が可能という利点があるが、反射点が角膜上から外れてしまうと計測できなくなることになる。瞳孔中心のみから測定する場合に比べ測定範囲が狭い。

20

【0017】

iv) 瞳孔中心-眼球回転中心方法の自動補正

上述の方法は、頭部が動いてしまうと正確な計測ができなくなる。頭部を固定して計測している場合でも、断続的なずれが生じる場合があり、その場合は再校正を行う必要がある。

【0018】

v) 瞳孔を検出する際の閾値の複数使用について。

30

瞳孔の検出方法は、つぎの二段階で検出を行っている。

1) 8pixelごとに画像をサンプルし、瞳孔のおおまかな位置を検出する。

2) おおまかな楕円をもとめその近傍を探索し、瞳孔の縁を検出する。

この方法は、この二段階共に同一の閾値を用いている。ノイズが多い場合(瞳孔と同じくらい暗い場所が多い場合)第一段階でおおまかな検出に失敗する場合があった。そのような場合は、閾値を下げることによりノイズを減らすことが可能であるが、そのような処理を行うと、瞳孔の縁を正確に検出できなくなってしまうことがある。

【0019】

vi) 瞳孔の縁の検出方法について

楕円の幾何学的な性質を利用し、瞳孔の縁以外を除去する。楕円には、次のような幾何学的な性質がある。図10に示すように、楕円と交わる3本の平行な直線l、m、nを考える。l、nはmから等距離にあるとする。楕円と直線lとの交点をa、b、直線nの交点をc、dとする。楕円と直線m

40

の交点の midpoint をoとする。a、bの midpoint とc、dの midpoint を結ぶ線の midpoint をo'とすると、o'はoと重なるという性質がある。瞳孔の画像について瞳孔画像のほぼ中央に引いた直線mから等距離にあるN個の平行線の組のo'i (i=1 N)に当たる点を求める。求められた点は、直線mの上に分布する。誤って検出された縁が十分少ないときは、最も多くの点o'が集まった位置がo

の位置に相当する。その位置から離れている点は、楕円の軌跡上にない点を含んでいることになるので、それらを除外する。

50

どのくらい離れていたら、除外するかは、プログラムで指定することにより、許容範囲の設定が可能になる。4点が相補的に誤差を含んでしまった場合には、除外されなくなるが、確率的にそのようなことは起こりにくい。oに十分近いo'iを持つ点a_i, b_i, c_i, d_iは、楕円の軌跡上の点なので、これらの点の座標を[数1]に代入し正確な楕円近似を行うことができる。(非特許文献1参照)

【数1】

$$\left\{ \begin{array}{l} A \sum_{i=1}^n x_i^2 y_i^2 + B \sum_{i=1}^n x_i y_i^3 + C \sum_{i=1}^n x_i^2 y_i + D \sum_{i=1}^n x_i y_i^2 + E \sum_{i=1}^n x_i y_i = - \sum_{i=1}^n x_i^3 y_i \\ A \sum_{i=1}^n x_i y_i^3 + B \sum_{i=1}^n y_i^4 + C \sum_{i=1}^n x_i y_i^2 + D \sum_{i=1}^n y_i^3 + E \sum_{i=1}^n y_i^2 = - \sum_{i=1}^n x_i^2 y_i^2 \\ A \sum_{i=1}^n x_i^2 y_i + B \sum_{i=1}^n x_i y_i^2 + C \sum_{i=1}^n x_i^2 + D \sum_{i=1}^n x_i y_i + E \sum_{i=1}^n x_i = - \sum_{i=1}^n x_i^3 \\ A \sum_{i=1}^n x_i y_i^2 + B \sum_{i=1}^n y_i^3 + C \sum_{i=1}^n x_i y_i + D \sum_{i=1}^n y_i^2 + E \sum_{i=1}^n y_i = - \sum_{i=1}^n x_i^2 y_i \\ A \sum_{i=1}^n x_i y_i + B \sum_{i=1}^n y_i^2 + C \sum_{i=1}^n x_i + D \sum_{i=1}^n y_i + E \sum_{i=1}^n 1 = - \sum_{i=1}^n x_i^2 \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} 10 \\ 20 \end{array}$$

上記の連立方程式を解くことにより、最小自乗法により以下の楕円の方程式[数2]の係数を求める事ができる。

【数2】

$$x^2 + Axy + By^2 + Cx + Dy + E = 0$$

【0020】

vii) 瞳孔の検出の精度について(横方向に入ったノイズの割り合い)。

反射光が瞳孔の縁に掛かる、ピントがずれているため瞳孔の縁が明確に捕らえられていないなどの場合の、定量的な評価が無かった。 30

【0021】

次に、本発明の視線検出方法及びシステムについて説明する。

i) 反射光重心位置計測について

1) 図11は、反射光重心位置計測を説明するための図であり、眼球をカメラ方向から見た図であり、また、図12は、その眼球を横方向から見た図である。

瞳孔中心位置(x_p, y_p)、眼球回転中心位置(x_o, y_o)、反射光重心位置と角膜を球の一部としたとき球の中心である角膜曲率中心の位置との距離(alpha, beta)、瞳孔中心回転半径(r)、角膜曲率中心回転半径(rr)が分かっている場合には、以下の式より反射光重心位置(rx, ry)を予測することができる。 40

$$rx = (x_p - x_o) * rr / r + x_o + \alpha$$

$$ry = (y_p - y_o) * rr / r + y_o + \beta$$

2) 予測点を中心とした、40x30pixelの画像を生成する。

3) ある閾値以上の点を取り出し、それを塊毎にラベルをつけてゆく。

4) 一定以上の大きさがあり、かつ予測に最も近い塊の重心を測定する。

【0022】

図13に示す画像から、反射点重心を計測する例を考える。画面の十字は、瞳孔中心位置を表している。十字の上の白い点が、第1プルキニ工像、右下の白い点が第2プルキニ工像である。いずれも照明光の反射であるが、眼球内の反射する場所が異なるため複数の反射像が出現する。

1) 瞳孔中心位置 (xp,yp)、眼球回転中心位置 (xo,yo)、角膜曲率中心 (、)、瞳孔中心回転半径 r、角膜曲率中心回転半径 rr がすでにわかっている際、反射光重心位置 (rx,ry) を上記の式より予測する。

2) 予測位置は図 1 4 の X の位置になる。X を中心とした四角で示した 40x30pixel の画像より反射点重心を求める。

3) ある閾値以上の点を取り出しラベリングをおこない、一定以上の大きさがあり、重心が予測値に最も近いものを選ぶ。図 1 5 において反射点重心を十字で表した。

【 0 0 2 3 】

ii) 反射光選別について

校正時に反射点の幅と高さの平均を求める。計測時に、反射点の幅、高さと比較し大きく異なる物を排除することにより、正確に計測を行うことが可能となる。図 1 6 に示された反射点の大きさは、縦 6 pixel 横 7 pixel である。これは、平均値からの差が十分に小さい。どの程度の誤差を許容するかはプログラムによって設定可能である。

図 1 7 に示すように、反射光が強膜に存在するときは、大きさが大きく異なる (縦 1 9 pixel 横 5 0 pixel)。この場合は、反射点を用いた計測は断念する。

【 0 0 2 4 】

iii) 自動方式切り替えについて。

瞳孔中心-反射位置重心法で計算できなくなった場合、自動的に瞳孔中心法に切り替えることにより計測の中断をなくすることができる。

反射点が強膜上に存在すると、反射点を用いた視線計測ができない。しかし、この状態でも、瞳孔中心座標の計測は可能である。瞳孔中心-眼球回転中心法により、視線方向を求めることが可能である。眼球回転中心の動きについては、自動補正により、修正を行うことにより対応する。

【 0 0 2 5 】

iv) 瞳孔中心-眼球回転中心法による視線ベクトル

視線方向を瞳孔中心位置 (xp,yp)、眼球回転中心 (xo,yo) 瞳孔中心回転半径 r より求めることができる。カメラに対する視線方向は、以下の [数 3] で表すことができる。

【 数 3 】

$$(x, y, z) = \left(\frac{xp - xo}{r}, \frac{yp - yo}{r}, \sqrt{\frac{r^2 - (xp - xo)^2 - (yp - yo)^2}{r^2}} \right) \quad 30$$

【 0 0 2 6 】

v) 瞳孔中心-眼球回転中心方法の自動補正

頭部が動かないときは、瞳孔回転中心 (xo,yo) は、一定値である。しかし、どのように頭部を固定しても、動いてしまう場合がある。従来は、頭部が動いてしまった場合は、再度校正を行っていたが、これを、反射点を用いて自動的に校正を行う方法を提案する。

瞳孔中心位置と反射光重心から眼球回転中心を求めることができる。瞳孔中心位置 (xp,yp)、反射光重心位置 (rx,ry)、反射光重心位置と角膜を球の一部としたとき球の中心である角膜曲率中心の位置との距離 (alpha,beta)、瞳孔中心回転半径 (r)、角膜曲率中心回転半径 (rr) から眼球回転中心 (xo,yo) とすると以下の式で求められる。

$$xo = (rx - \alpha - xp * rr / r) / (1 - rr / r)$$

$$yo = (ry - \beta - yp * rr / r) / (1 - rr / r)$$

反射点は、計測できない場合がある、また、断続的なズレを想定しているので、計測時以前の何秒間 (設定により変更可能、20秒程度を規定値に想定) の眼球回転中心 (xo,yo) の平均値をその時点の眼球回転中心とする。この値を用いることにより、再校正なしに、瞳孔中心のみで視線方向を計算することができるようになる。また、十分に短い時間ならば、頭部は動いていないと仮定できるので、瞳孔中心-反射点法が使えない場合の、補助として使用することが可能である。

【0027】

vi) 瞳孔を検出する際の閾値の複数使用について。

第一段階と第二段階で異なる閾値を用いることにより、その問題を解決する。明るさが変わらない場合は、それぞれ、独立な固定値設定し、自動的に閾値を変化させている場合は、第一段階の閾値(th1)と第二段階の閾値(th2)の比率(a)、($th1=a*th2$ という関係)を設定することにより、連続的な変化にも対応できるようにする。

図18に示すように、輪郭を検出するのに必要な閾値(th2)の場合は、周辺ノイズが多い。

図19に示すように、閾値(th1)を下げることにより、周辺ノイズを低減することができる。

10

【0028】

vii) 瞳孔の縁の検出方法について

1) 従来の方法で楕円を求める。

楕円の幾何学的な性質を利用し、瞳孔の縁以外を除去する。楕円には、次のような幾何学的な性質がある。楕円と交わる3本の平行な直線l、m、nを考える。l、nはmから等距離にあるとする。楕円と直線lとの交点をa、b、直線nの交点をc、dとする。楕円と直線m

の交点の midpoint をoとする。a、bの midpoint とc、dの midpoint を結ぶ線の midpoint をo' とすると、o'はoと重なるという性質がある(図10)。瞳孔の画像について瞳孔画像のほぼ中央に引いた直線m

20

から等距離にあるN個の平行線の組のo'i ($i=1 \sim N$)に当たる点を求める。求められた点は、直線mの上に分布する。誤って検出された縁が十分少ないときは、最も多くの点o'が集まった位置がo

の位置に相当する。その位置から離れている点は、楕円の軌跡上にない点を含んでいることになるので、それらを除外する。どのくらい離れていたならば、除外するかは、プログラムで指定することにより、許容範囲の設定が可能になる。4点が相補的に誤差を含んでしまった場合には、除外されなくなるが、確率的にそのようなことは起こりにくい。o

に十分近いo'iを持つ点a_i、b_i、c_i、d_iは、楕円の軌跡上の点なので、これらの点の座標を[数1]に代入し正確な楕円近似を行うことができる。

【0029】

30

2) 上記の場合、例えば、a₁₂のみが、何らかの理由により楕円の軌跡上に無かったとする。すると、b₁₂、c₁₂、d₁₂が楕円の軌跡上に存在するにもかかわらず、楕円の軌跡を計算するのに用いられないことになる。そこで楕円の軌跡を求めた後、再度検出された瞳孔の縁の点について、求めた楕円軌跡との距離を計算し、その距離が一定以下であれば、瞳孔の縁とする。

3) 新たな点を加えて、最小自乗法により楕円を算出する。

これにより、高精度に、楕円を求めることが可能になる。

【0030】

viii) 目蓋の掛かり具合の計測法について

1) 図20に示すように、検出した瞳孔の縁から、楕円を近似し楕円の上下方向の距離(eh)を得る。

40

2) 検出した瞳孔の縁(楕円近似に用いたもの)の、上下方向の最大値と最小値の差(ph)を得る。

3) $ph/eh * 100$ を瞳孔検出率(%)とする。

瞳孔検出率を用いることにより、どの程度目蓋がおりた時に計測を中断するか?といった定量的な評価を行うことが可能になる。

【0031】

ix) 瞳孔の検出の精度について(横方向に入ったノイズの割合)。

1) 楕円近似に用いた瞳孔の縁の上下方向の最大値と最小値の差(ph)を得る。

2) 楕円近似に用いた瞳孔の縁の数を得る(en)。

50

3) $(en/2) / ph * 100$ を縁検出率(%)とする。

enは、検出の際に左右の縁を検出しているので、二等分する必要がある。

縁検出率を用いることにより、どの程度正確に縁を検出できているかを定量的に評価することができる。比較的ノイズが少ない図21は、縁検出率70%である。また、ノイズが多い場合の図22は、縁検出率40%である。

【図面の簡単な説明】

【0032】

【図1】カメラと目の位置関係を示す図である。

【図2】撮影された眼球を示す図である。

【図3】図1を簡略化した図である。

【図4】反射点出現位置を示す図である。

【図5】眼球が回転した時の角膜反射光重心と角膜曲率中心の位置関係を示す図である。

【図6】眼球が回転しても角膜反射光重心と角膜曲率中心の位置関係が変化しないことを説明するための図である。

【図7】瞳孔中心、角膜曲率中心、眼球回転中心が瞳孔の短軸の延長線上に存在することを説明するための図である。

【図8】図7を簡略化した図であり、角膜反射光重心、瞳孔中心、角膜曲率中心、眼球回転中心の位置関係を表す図である。

【図9】角膜上ではなく、強膜上で反射した場合の反射光の検出を説明するための図である。

【図10】瞳孔の縁の検出方法を説明するための図である。

【図11】反射光重心位置計測を説明するための図であり、眼球をカメラ方向から見た図である。

【図12】図11に示す眼球を、横方向から見た図である。

【図13】反射点重心の計測を説明するための画像である。

【図14】反射点重心を求める方法を説明するための図である。

【図15】重心が予測値に最も近いものを選ぶ方法を説明するための図である。

【図16】反射点の大きさを説明するための図である。

【図17】強膜に存在する反射光を説明するための図である。

【図18】輪郭を検出する際の周辺ノイズを説明するための図である。

【図19】閾値(th1)を下げることにより、周辺ノイズを低減する方法を説明するための図である。

【図20】目蓋の掛かり具合の計測法を説明するための図である。

【図21】比較的ノイズが少ない場合の縁検出率を例示する図である。

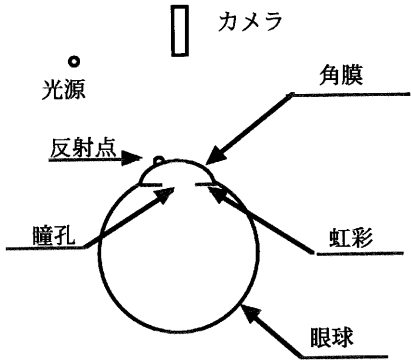
【図22】ノイズが多い場合の縁検出率を例示する図である。

10

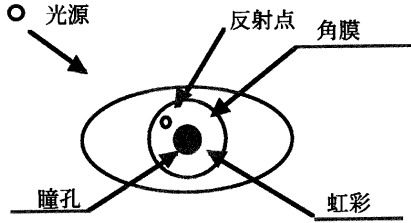
20

30

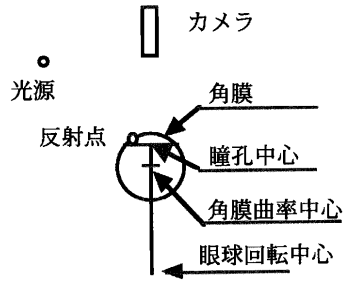
【図 1】



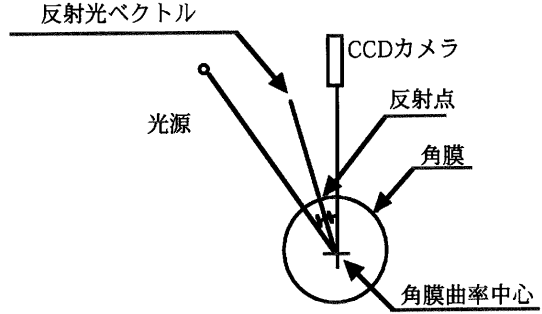
【図 2】



【図 3】

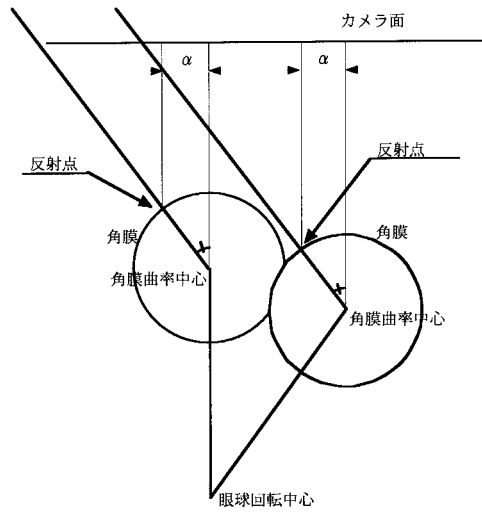


【図 4】

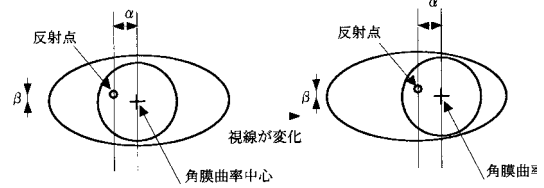


【図 5】

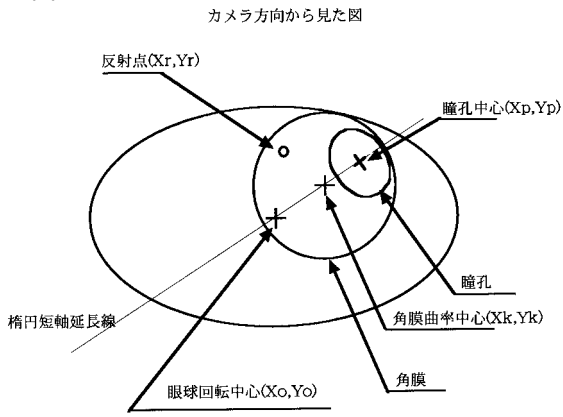
反射光ベクトル（十分遠方にあるので、平行光線と考えることができる）



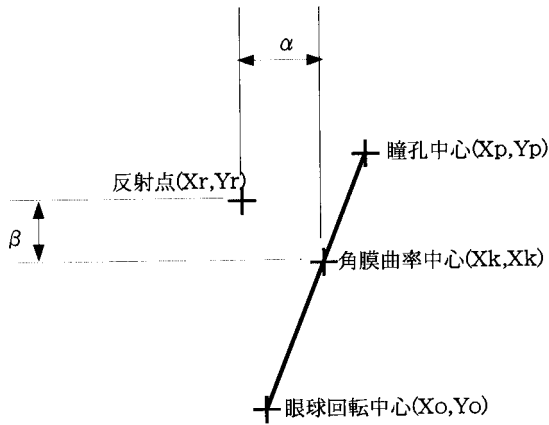
【図 6】



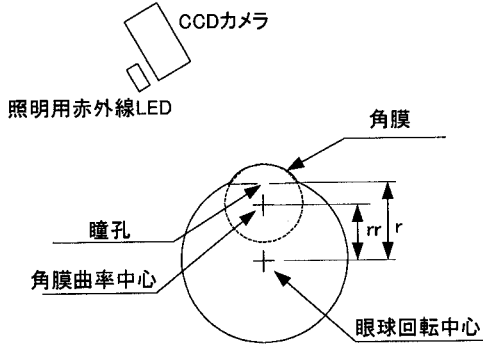
【 図 7 】



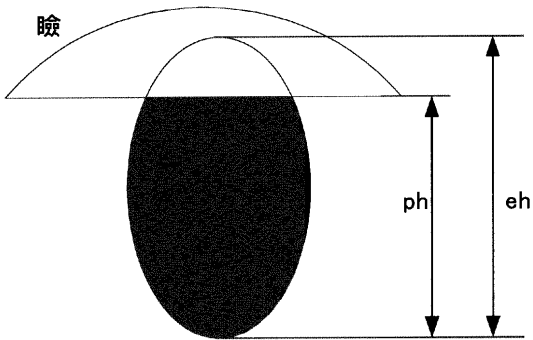
【 図 8 】



【 図 1 2 】



【 図 2 0 】

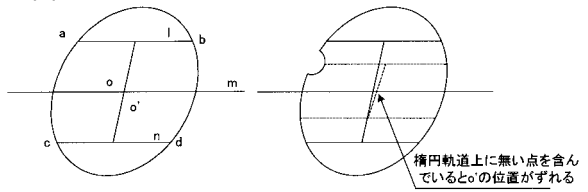


瞼によって瞳孔が隠れた様子

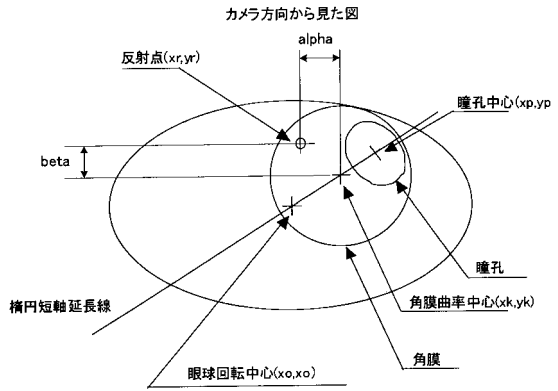
eh: 楕円の上下方向の距離

ph: 検出した瞳孔の縁の上下方向の最大値

【 図 1 0 】

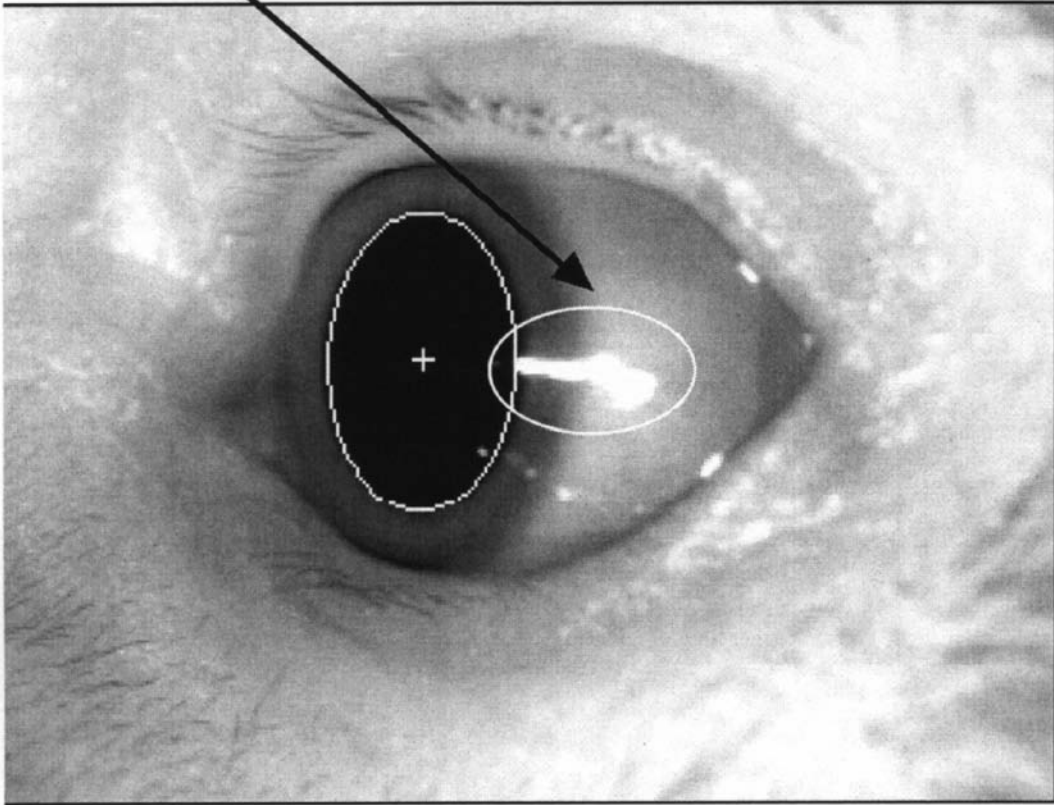


【 図 1 1 】

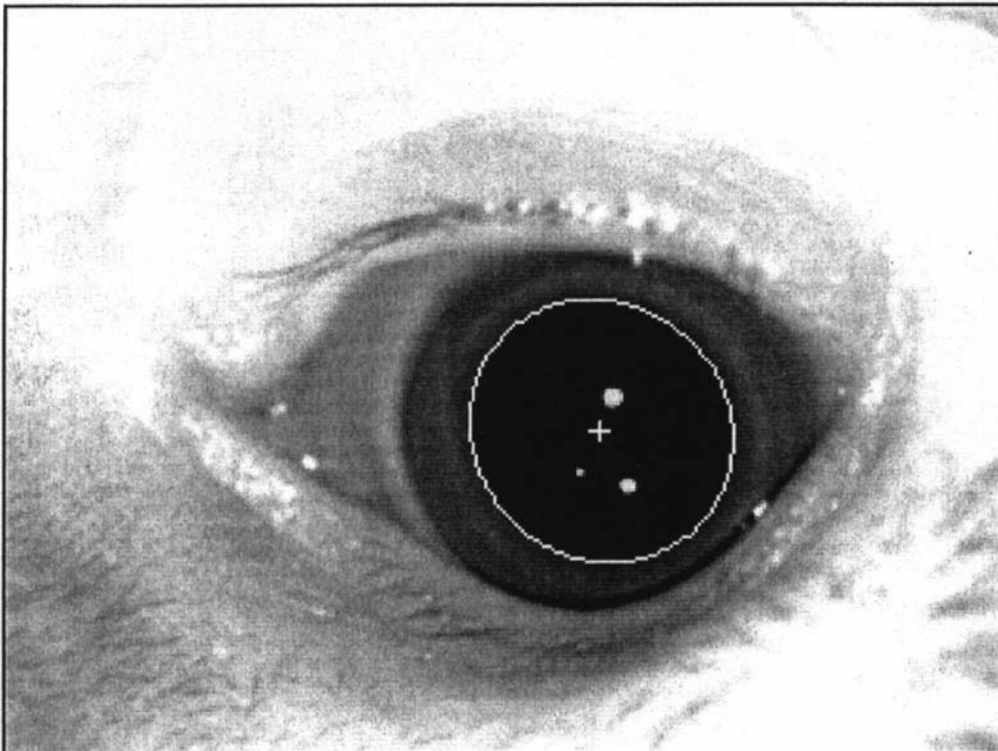


【 図 9 】

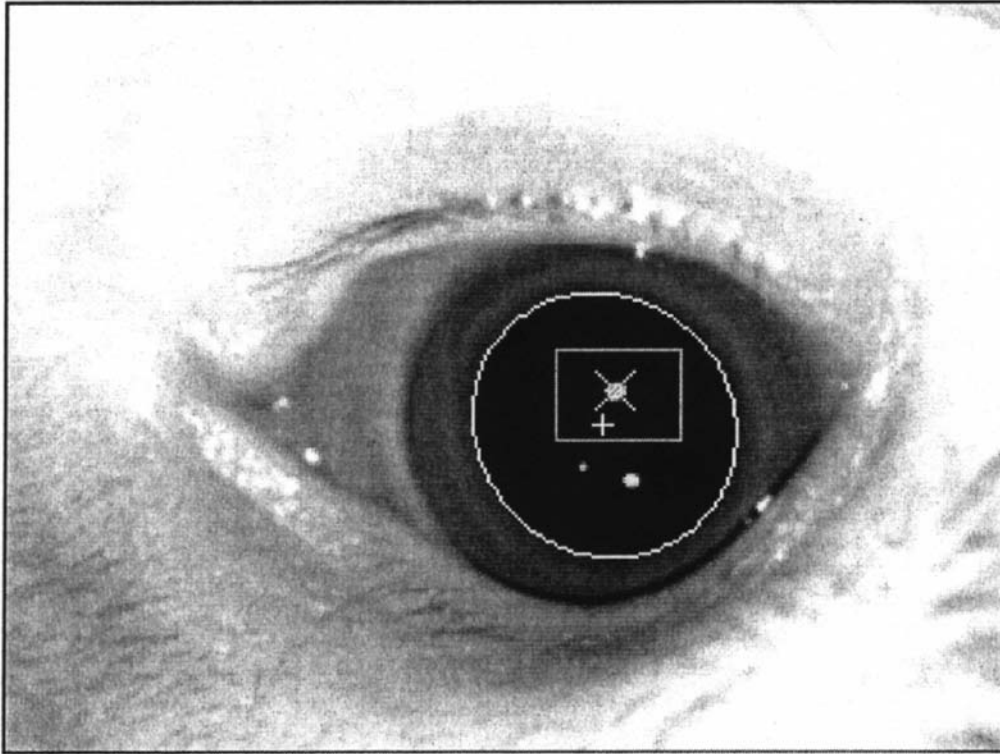
強膜反射



【 図 1 3 】

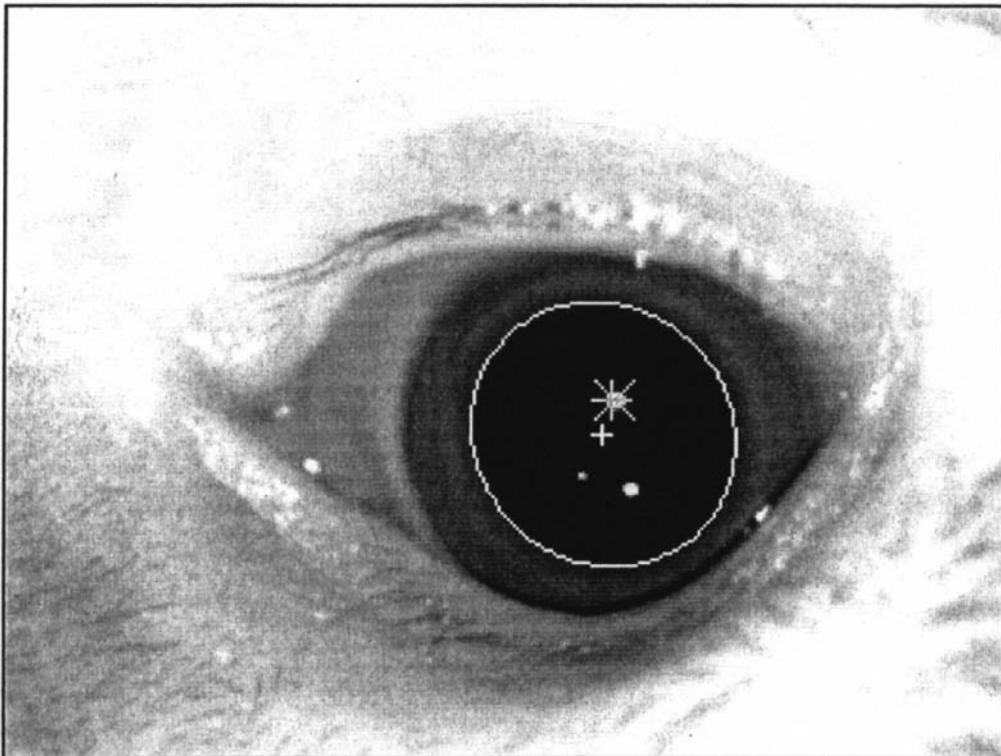


【 図 1 4 】

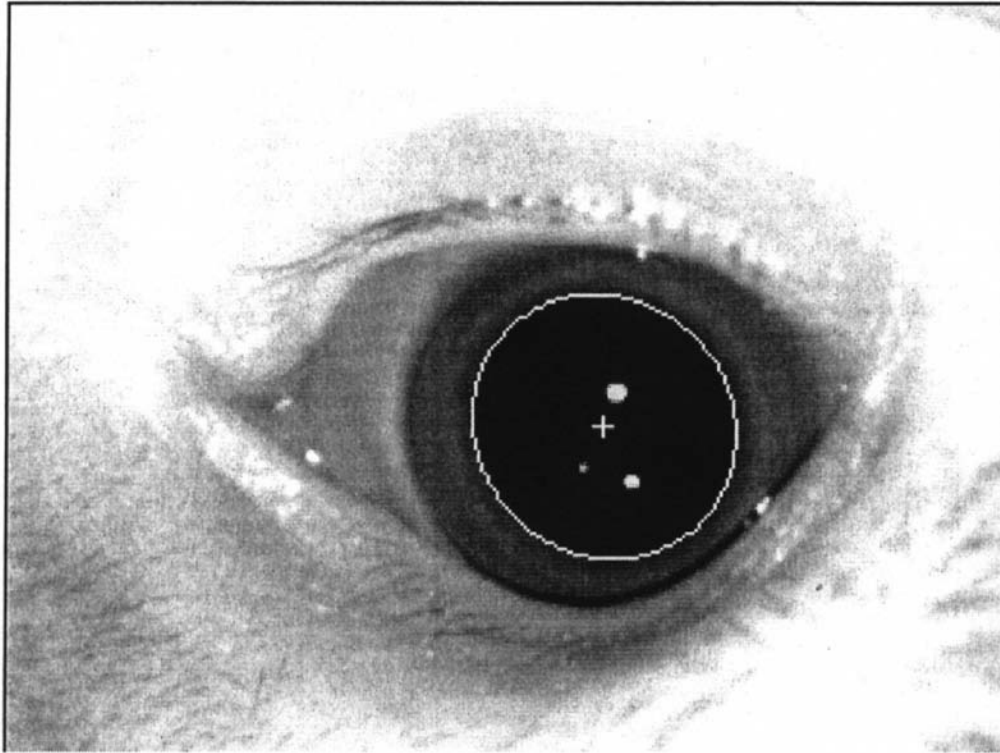


予測地点 X と、それを取り囲む 40 x 30 pixel の画像

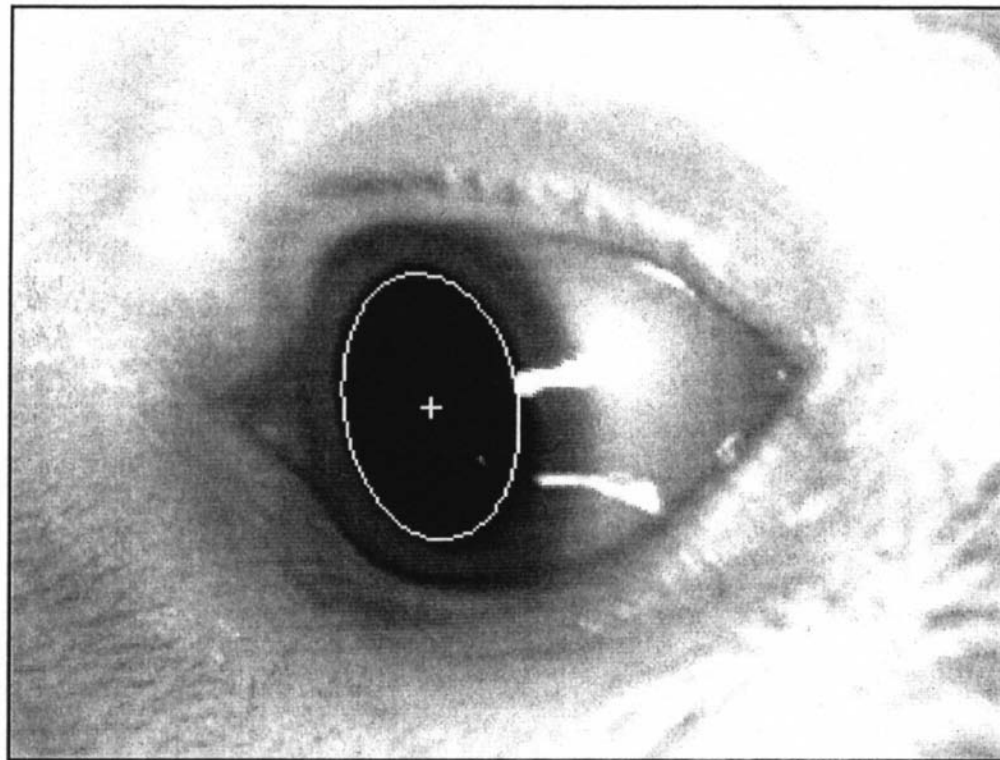
【 図 1 5 】



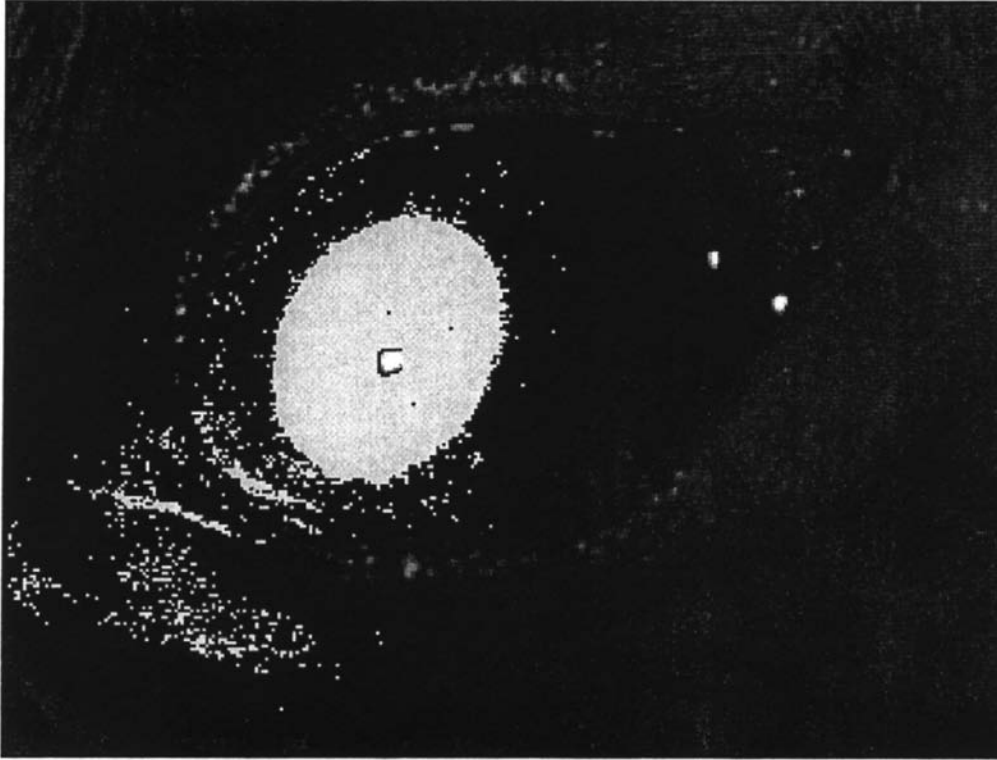
【 図 1 6 】



【 図 1 7 】

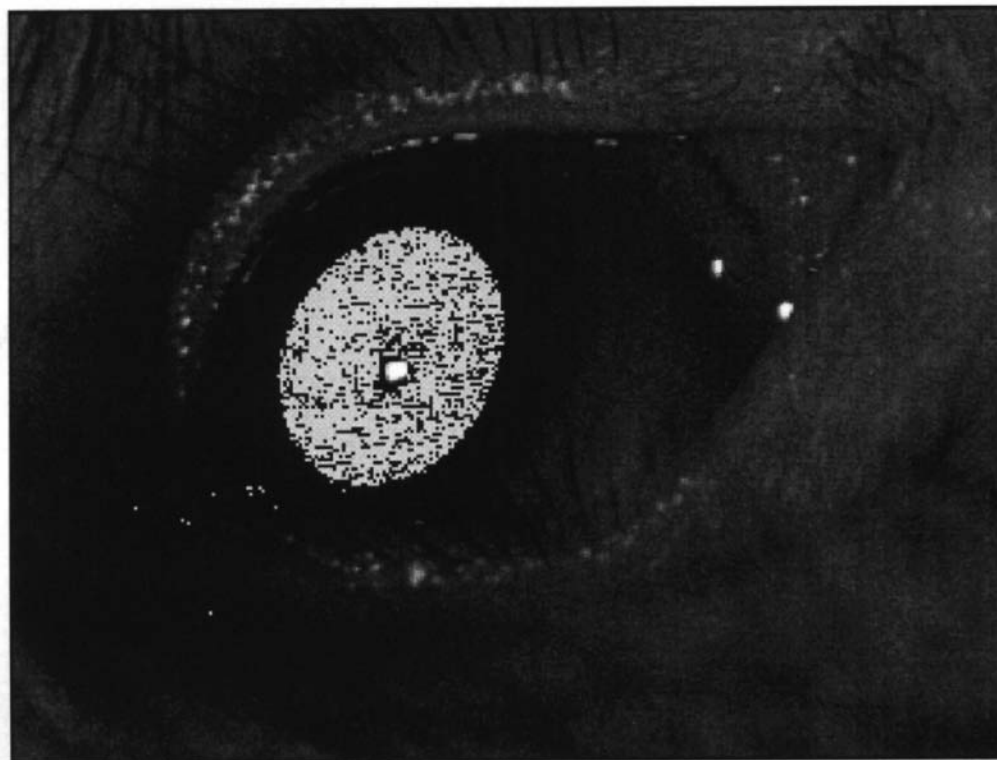


【 図 1 8 】



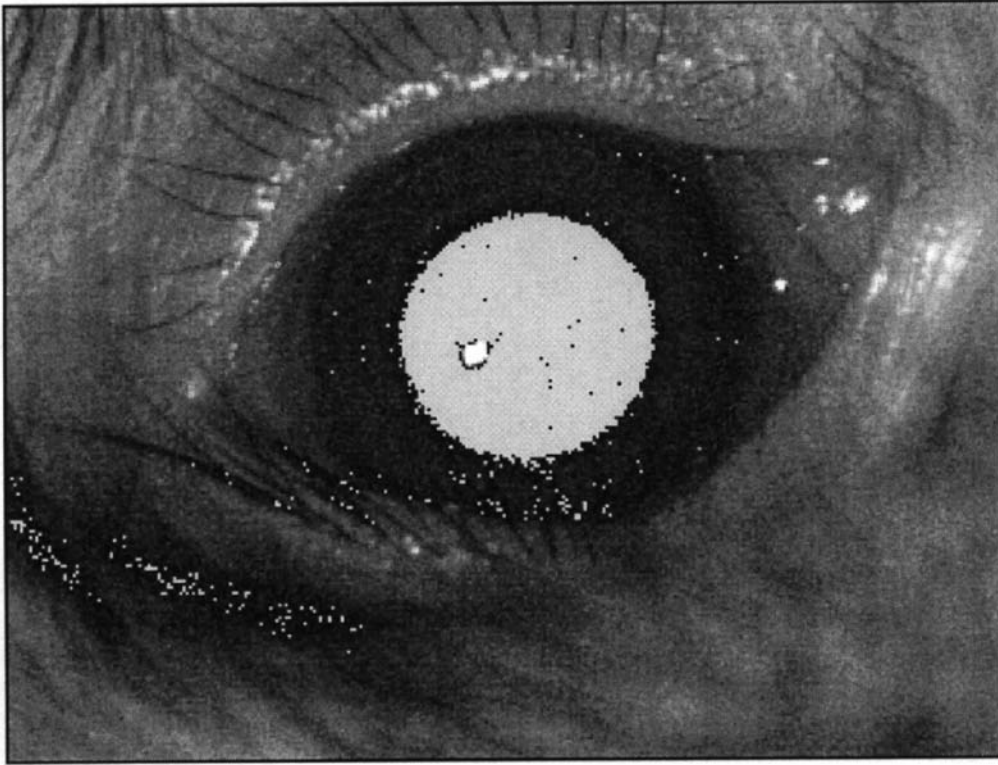
輪郭を検出するのに必要な閾値(th2)の場合は、周辺ノイズが多い。

【 図 1 9 】



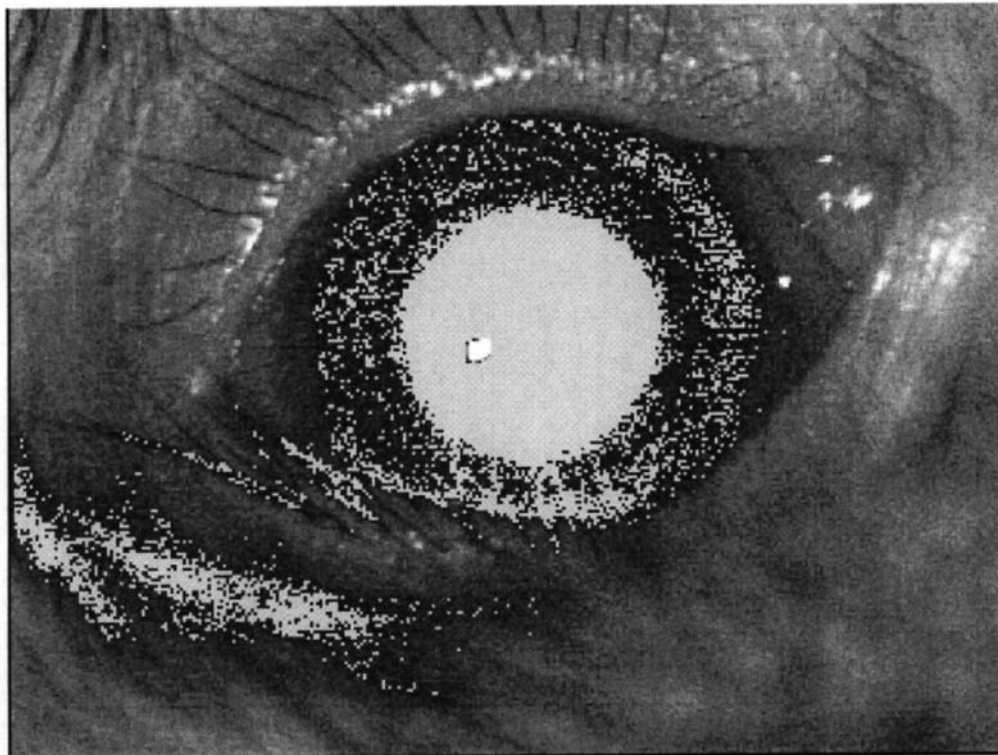
閾値 (th1) を下げることにより、周辺ノイズを低減することができる。

【図 2 1】



比較的ノイズが少ないので、縁検出率70%である。

【図 2 2】



ノイズが多いため、縁検出率は40%である。

フロントページの続き

- (72)発明者 松田 圭司
茨城県つくば市東 1 - 1 - 1 独立行政法人産業技術総合研究所つくばセンター内
- (72)発明者 永見 武司
茨城県つくば市東 1 - 1 - 1 独立行政法人産業技術総合研究所つくばセンター内