

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4517049号  
(P4517049)

(45) 発行日 平成22年8月4日(2010.8.4)

(24) 登録日 平成22年5月28日(2010.5.28)

(51) Int.Cl. F I  
**A 6 1 B 3/113 (2006.01)** A 6 1 B 3/10 B  
**G 0 6 F 3/033 (2006.01)** G 0 6 F 3/033 3 1 0 A

請求項の数 5 (全 13 頁)

(21) 出願番号	特願2003-429344 (P2003-429344)	(73) 特許権者	304023318 国立大学法人静岡大学
(22) 出願日	平成15年12月25日(2003.12.25)		静岡県静岡市駿河区大谷836
(65) 公開番号	特開2005-185431 (P2005-185431A)	(74) 代理人	100088155 弁理士 長谷川 芳樹
(43) 公開日	平成17年7月14日(2005.7.14)	(74) 代理人	100092657 弁理士 寺崎 史朗
審査請求日	平成18年12月12日(2006.12.12)	(74) 代理人	100108257 弁理士 近藤 伊知良
		(74) 代理人	100124800 弁理士 諏澤 勇司
		(72) 発明者	海老澤 嘉伸 静岡県浜松市大平台3丁目16番10号
		審査官	後藤 順也

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 視線検出方法および視線検出装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

座標系に対する瞳孔の位置を測定するための第1のカメラと、  
 前記座標系の既知の位置に配置され角膜反射点を形成するための光源を備え、瞳孔の中心と角膜反射点間の距離  $r$  と前記距離  $r$  の前記座標系の座標軸に対する角度  $\theta$  のデータを取得する第2のカメラとを用いて前記各カメラからの情報により下記のステップを実行する視線方向を演算する演算手段とを用いる被検者の視線検出方法であって、

前記座標系の既知の一点  $G$  に被検者を注目させ、前記第1のカメラにより前記被検者の瞳孔の位置の座標点に関するデータを取得するステップと、

前記被検者の状態において、前記第2のカメラにより角膜反射点のデータと前記反射点と瞳孔中心  $P$  までの距離  $r$  と前記座標軸と前記  $r$  との傾き  $\theta$  を取得するステップと、

演算手段により前記第2のカメラの基準位置  $O$  と瞳孔の中心を結ぶ線と前記被検者の視線との角度  $\alpha$  を算出するステップと、

前記測定値および算出値に基づいて、 $r$  それ自身が  $r$  を距離  $OP$  に基づいて補正した値である  $r^*$  と  $\theta$  の関係を示す式

$r = f(r^*)$  を算出するステップとを含む関係式決定段階とおよび

前記座標系の未知の一点  $G'$  に被検者を注目させ、前記第1のカメラにより前記被検者の瞳孔の位置の座標点に関するデータを取得するステップと、

前記第2のカメラにより角膜反射点のデータと前記反射点と瞳孔中心  $P'$  までの距離  $r'$  と前記座標軸と前記  $r'$  との傾き  $\theta'$  を取得するステップと、

10

20

前記関係式を用いて  $r^*$  それ自身か  $r^*$  を距離  $OP^*$  に基づいて補正した値である  $r^*$  から  $\theta = f(r^*)$  を算出し、前記傾き  $\theta$  ,  $\theta$  から未知の一点  $G^*$  を得るステップを含む視線決定段階と、

から構成した被検者の視線検出方法。

【請求項 2】

前記第 1 のカメラは座標系の水平軸方向に基線を一致して配置されたステレオカメラであり、前記第 2 カメラの光源は第 2 のカメラの光軸と実質的に一致する光軸を備える請求項 1 記載の被検者の視線検出方法。

【請求項 3】

$r^*$  と  $\theta$  の関係を示す式  $\theta = f(r^*)$  は、  $\theta = k \times r^*$  (ただし  $k$  は定数) で与えられる請求項 1 記載の被検者の視線検出方法。

10

【請求項 4】

前記瞳孔は被検者の何れか一方の瞳孔である請求項 1 記載の被検者の視線検出方法。

【請求項 5】

座標系に対する瞳孔の位置を測定するための第 1 のカメラと、

前記座標系の既知の位置に配置された光源および前記光源で照射された瞳孔の中心と角膜反射点間の距離  $r$  と  $r$  の前記座標軸に対する角度  $\theta$  のデータを取得する第 2 のカメラと

、前記座標系の既知の一点  $G$  に被検者を注目させ、前記第 1 のカメラにより前記被検者の瞳孔の位置の座標点に関するデータを取得し、

20

前記被検者の状態において、前記第 2 のカメラにより角膜反射点のデータと前記反射点と瞳孔中心  $P$  までの距離  $r$  と前記座標軸と前記  $r$  との傾き  $\theta$  を取得し、

前記第 2 のカメラの基準位置  $O$  と瞳孔の中心を結ぶ線と前記被検者の視線との角度  $\theta$  を算出し、 $r$  それ自身か  $r$  を距離  $OP$  に基づいて補正した値である  $r^*$  と  $\theta$  の関係を示す式

$\theta = f(r^*)$  を算出し、

前記座標系の未知の一点  $G^*$  に被検者を注目させ、前記第 1 のカメラにより前記被検者の瞳孔の位置の座標点に関するデータを取得し、

前記第 2 のカメラにより角膜反射点のデータと前記反射点と瞳孔中心  $P^*$  までの距離  $r^*$  と前記座標軸と前記  $r^*$  との傾き  $\theta^*$  を取得し、

前記関係式を用いて  $r^*$  それ自身か  $r^*$  を距離  $OP^*$  に基づいて補正した値である  $r^*$  から  $\theta^* = f(r^*)$  を算出し、さらに  $\theta^*$  ,  $\theta^*$  から未知の一点  $G^*$  を得るステップ

30

を実行する演算手段と、

から構成した被検者の視線検出装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、被検者の姿勢の制限を最小にし、さらにマーカを付けたりすることなく視線を検出することができる視線検出方法および視線検出装置に関する。

【背景技術】

【0002】

視線検出方法および視線検出装置は、医療検査とか、マンマシーンインターフェイス(視線入力)等広い応用が期待されているから、数多くの提案が行なわれている。

40

基本原理は角膜反射点と瞳孔の中心から視線を検出するものが多い。特許文献 2 記載の発明は前記検出に関連する発明であって、特徴点の検出に向けられたものである。特許文献 3 記載の発明は角膜の形状を考慮した測定について、詳細な提案が行なわれている。

【0003】

またすでに提案されている多くの視線検出装置は、主に被検者の頭部を固定するタイプと被検者の頭部に検出装置を取り付ける形式のものが多い。これらは、ともに被検者の普段の行動を著しく阻害し、視線測定において被検者に多大な負担をかけていた。また、最近は、被検者の負担を軽減する意味で非接触タイプが作られるようになってきたが、検出

50

装置が被検者に対して遠隔におかれているだけで、測定範囲が極めて限られており、事実上被検者が動けない状態でしか測定できていない。

被検者の動きの制約をはずす方法として提案されている、画像処理などを使って眼の画像から視線を検出する方法は、画像処理に時間がかかり時間特性が悪いことがあった。

また、顔の検出と同じカメラで視線を検出するため、精度が悪いという欠点もあった。

それを解決するために、特許文献1記載の非接触視線測定装置は、3つのマーカのついたメガネフレームを顔に取り付けるものである。このメガネを取り付けると、一般の視力矯正用の眼鏡が装着できなくなる。また日頃眼鏡をつけていないユーザや被検者にとって、測定用の眼鏡は負担となる。

【特許文献1】特開平10-66678号公報

10

【特許文献2】特開平11-56782号公報

【特許文献3】特開2002-102172号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

本発明の目的は、被検者の姿勢を制限を最小にし、さらにマーカを付けたりすることなく視線を検出することができる視線検出方法および視線検出装置を提供することにある。本発明のさらに他の目的は、前記視線検出方法を実施する視線検出装置を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

20

【0005】

前記目的を達成するために、本発明による請求項1記載視線検出方法は、座標系に対する瞳孔の位置を測定するための第1のカメラと、前記座標系の既知の位置に配置され角膜反射点を形成するための光源を備え、瞳孔の中心と角膜反射点間の距離 $r$ と前記距離 $r$ の前記座標系の座標軸に対する角度 $\theta$ のデータを取得する第2のカメラとを用いて前記各カメラからの情報により下記のステップを実行する視線方向を演算する演算手段とを用いる被検者の視線検出方法であって、

前記座標系の既知の一点Gに被検者を注目させ、前記第1のカメラにより前記被検者の瞳孔の位置の座標点に関するデータを取得するステップと、前記被検者の状態において、前記第2のカメラにより角膜反射点のデータと前記反射点と瞳孔中心Pまでの距離 $r$ と前記座標軸と前記 $r$ との傾き $\theta$ を取得するステップと、演算手段により前記第2のカメラの基準位置Oと瞳孔の中心を結ぶ線と前記被検者の視線との角度 $\alpha$ を算出するステップと、前記測定値および算出値に基づいて、 $r$ それ自身が $r$ を距離OPに基づいて補正した値である $r^*$ と $\theta$ の関係を示す式

30

$r^* = f(\theta)$ を算出するステップとを含む関係式決定段階とおよび

前記座標系の未知の一点G'に被検者を注目させ、前記第1のカメラにより前記被検者の瞳孔の位置の座標点に関するデータを取得するステップと、前記第2のカメラにより角膜反射点のデータと前記反射点と瞳孔中心P'までの距離 $r'$ と前記座標軸と前記 $r'$ との傾き $\theta'$ を取得するステップと、前記関係式を用いて $r'$ それ自身が $r'$ を距離OP'に基づいて補正した値である $r^{*'}$ から $r^{*'} = f(\theta^{*'})$ を算出し、前記傾き $\theta'$ 、 $r^{*'}$ から未知の一点G'を得るステップとを含む視線決定段階と、から構成されている。

40

【0006】

本発明による請求項2記載の方法は、前記第1のカメラは座標系の水平軸方向に基線を一致して配置されたステレオカメラであり、前記第2カメラの光源は第2のカメラの光軸と実質的に一致する光軸を備えるように構成されている。

本発明による請求項3記載の方法では、 $r^*$ と $\theta$ の関係を示す式 $r^* = f(\theta)$ は、 $r^* = k \times r$  (ただしkは定数)で与えられる。

50

本発明による請求項4記載の方法では、前記瞳孔は被検者の何れか一方の瞳孔である。

【0007】

本発明による請求項5記載の装置は、

座標系に対する瞳孔の位置を測定するための第1のカメラと、

前記座標系の既知の位置に配置された光源および前記光源で照射された瞳孔の中心と角膜反射点間の距離  $r$  と  $r$  の前記座標軸に対する角度  $\theta$  のデータを取得する第2のカメラと、

前記座標系の既知の一点  $G$  に被検者を注目させ、前記第1のカメラにより前記被検者の瞳孔の位置の座標点に関するデータを取得し、

前記被検者の状態において、前記第2のカメラにより角膜反射点のデータと前記反射点と瞳孔中心  $P$  までの距離  $r$  と前記座標軸と前記  $r$  との傾き  $\theta$  を取得し、

前記第2のカメラの基準位置  $O$  と瞳孔の中心を結ぶ線と前記被検者の視線との角度  $\alpha$  を算出し、 $r$  それ自身が  $r$  を距離  $OP$  に基づいて補正した値である  $r^*$  と  $\theta$  の関係を示す式

$= f(r^*)$  を算出し、

前記座標系の未知の一点  $G'$  に被検者を注目させ、前記第1のカメラにより前記被検者の瞳孔の位置の座標点に関するデータを取得し、

前記第2のカメラにより角膜反射点のデータと前記反射点と瞳孔中心  $P'$  までの距離  $r'$  と前記座標軸と前記  $r'$  との傾き  $\theta'$  を取得し、

前記関係式を用いて  $r'$  それ自身が  $r'$  を距離  $OP'$  に基づいて補正した値である  $r'^*$  から  $\theta' = f(r'^*)$  を算出し、さらに  $r'$  ,  $\theta'$  から未知の一点  $G'$  を得るステップ

を実行する演算手段と、

から構成されている。

【発明の効果】

【0008】

以上詳しく説明したように、本発明方法は、座標系に対する瞳孔の位置を測定するための第1のカメラと、前記座標系の既知の位置に配置され角膜反射点を形成するための光源を備え、瞳孔の中心と角膜反射点間の距離  $r$  と前記距離  $r$  の前記座標軸に対する角度  $\theta$  のデータを取得する第2のカメラとを用いて前記各カメラからの情報により下記のステップを実行する視線方向を演算する演算手段とを用いる被検者の視線検出方法である。

関係式決定段階により、

前記第1のカメラと第2のカメラを用いる測定値および演算装置による算出値に基づいて予め、 $r$  (角膜反射点と瞳孔中心間の距離) に関連する  $r^*$  と  $\theta$  (第2のカメラと瞳孔の中心を結ぶ線と前記被検者の視線との角度) の関係を示す式  $\theta = f(r^*)$  を算出する。

そして、

視線決定段階で前記関係式を用いて  $\theta' = f(r'^*)$  を算出し、前記この段階で測定した傾き  $\theta'$  ,  $r'$  から未知の一点  $G'$  を得る。

したがって、被検者を極端に束縛することなく、視線を測定することができる。

前記関係式決定段階は特定の被検者について行なわれるものであり、その段階で得た関係式を用いて、測定するのであるから、被検者の固体差による測定誤差の発生する余地はない。そのため正確な視線に関するデータが得られる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0009】

以下図面等を参照して、本発明方法について、発明を実施するための最良の形態を詳しく説明する。

図1は、本発明による方法を実施するための装置の実施例の配列を示す概略図である。図4は世界座標系に関連して本発明方法を実施するための装置等の配列を示す斜視図である。

。

第2のカメラ12は眼球撮影用であって高倍率のカメラを用いる。このカメラは、この実施例では世界座標系の原点、図4の  $O(0, 0)$  点に配置されている。なお、図4ではカメラ12の図示を省略してある。

10

20

30

40

50

この第2のカメラ12で取得したデータに基づく角膜反射(点)の位置関係の一例を図1に拡大して示してある。この画像は後述する出力装置により表示される。

第1のカメラ10, 11は一对のカメラからなる瞳孔の3次元位置検出用のステレオカメラである。

第1のカメラ10, 11間の距離(基線長は)世界座標系のX軸に平行である。

第2のカメラ12は少なくとも一方の瞳孔に照準され、図1に拡大して示されている。角膜反射点と瞳孔の中心のデータを取得する。

第1のカメラ10, 11および第2のカメラ12にはそれぞれ一体的にまたは関連して照明手段(図示せず)が設けられている。

#### 【0010】

図2は本発明方法を実施するための装置等の構成を示すブロック図である。

第1のカメラ10, 11および第2のカメラ12のCCDにより取得された画像出力はインターフェイス14を介してバスライン20に接続される。

この実施例では第2のカメラ12は前記座標系の既知の位置Oに配置され角膜反射点を形成するための光源を備え、瞳孔の中心と角膜反射点間の距離rと前記距離rの前記座標軸に対する角度のデータを取得する。この実施例においては前記光源からの光の光軸は、第2のカメラ12の光軸に一致するように設けられている。

第2のカメラ12は処理装置(CPU)21から供給される信号により駆動装置16を介して供給され、対象とする眼に照準(向けられて焦点合わせがされている状態)される。操作者は出力装置31の一部を形成する表示画面に表示される眼の画像(図1参照)を見ながら必要に応じて照準するために入力装置24を操作する。図示しない各カメラの照明手段は照明制御装置15からの信号で操作される。

記憶装置26には、後述する制御を実行するためのプログラムや、演算を行なうためのRAM領域が設けられている。被検者の画像情報や、演算結果情報、システムの動作情報等は出力インターフェイス30を介して出力装置31に出力される。出力装置31は、画像表示装置プリンタ等を含んでいる。

#### 【0011】

第1のカメラ10, 11は前記眼の瞳孔の中心の座標上の3次元位置を検出するために設けられている。第2のカメラ12は高倍率の視線検出用カメラであって、瞳孔を含む周囲の眼の画像だけを捉える。

前記第1のカメラからの3次元瞳孔位置情報によって2つの眼のうちの1つの眼もしくは2つの眼を追いかける自動追跡制御手段(駆動装置16)を設けてある。

なお手動でカメラの光軸を合わせることも可能である。後述するように、第1のカメラ10, 11の出力から得られる3次元瞳孔位置Pと第2のカメラ12の出力から得られる角膜反射像中心の位置と瞳孔中心Pから視線ベクトルを求める。

#### 【0012】

(照明光源について)照明光源は、カメラのレンズの開口の中あるいは近くに配置するもの(以下、内側の光源とする)と、開口から離れた位置に配置するもの(以下、外側の光源とする)を用意することができる。内側の光源による画像においては、瞳孔が顔の瞳孔以外の部分よりも明るく写る傾向がある。特公平7-82539の第13B図に関連してこのことが説明されている。

逆に外側の光源によって、瞳孔は瞳孔以外の部分よりも暗く写る傾向がある。同第13C図に関連してこのことが説明されている。

内側と外側の光源をビデオ信号に同期させ、交互に点灯させ、得られた前者の画像から後者の画像を実時間で画像差分することによって、瞳孔以外のところは相殺され消え、瞳孔だけが検出しやすくなる。このような光源を各カメラに設ける。

#### 【0013】

この実施例では、第1および第2のカメラの計3台に光源を取り付けている。

これにより、互いに他のカメラの光源が発射した光が、眼鏡を反射して、眼鏡反射像として画像中に写ることを防ぐために、各カメラに取り付ける光源は互いに中心波長の異なる

10

20

30

40

50

光源を用い、各波長を中心波長とするバンドパスフィルタをカメラに取り付ける。  
 その場合に、一般に光源の発光波長域に広がりがある場合は、3種類以上の光源において発光波長がオーバーラップするので、バンドパスフィルタバンドをいくら狭く選んでも、互いのカメラの光源が干渉しあう。これを防ぐために、光源の前に、バンドパスフィルタを設置し、顔に対して発射させる光の波長域を狭め、発光波長域のオーバーラップを極力減らした上で、さらに、各カメラの前には、同カメラの光源前に設置してバンドパスフィルタとほぼ同じ中心波長を持つバンドパスフィルタを設置し、互いの干渉をなくすることができる。

#### 【0014】

以下図3、図4を参照して、本発明方法を説明する。本発明による視線測定方法は、関係式を決定する関係式決定段階と決定された関係式に基づいて被検者の任意の視線を決定する視線測定段階を備えている。

関係式決定段階はステップ0～10を含み、視線測定段階は、ステップ1～10を含んでいる。

#### 【0015】

図4は世界座標系に関連して本発明方法を実施するための装置等の配列および関連する平面等を示している。

〔関係式決定段階〕

(ステップ0) 世界座標系に対する各カメラの定位。

世界座標系の原点を $O(0, 0)$ とし第1のカメラを配置する。

(ステップ1) 被検者に既知の一点に注目させる

世界座標系において座標がわかっている1点 $Q(x_Q, y_Q, z_Q)$ を被検者に見させる。

(ステップ2) 第2のカメラにより被検者の瞳孔中心 $P$ の座標位置データの取得  
 ステレオカメラにより、瞳孔中心の3次元座標 $P(x_P, y_P, z_P)$ を求める。

(ステップ3)  $|OP|$ の算出

ベクトル $OP$ の方向ベクトル

$(l_x, l_y, l_z) = (x_P - x_O, y_P - y_O, z_P - z_O)$ とその長さ

$|OP| = \{(x_P - x_O)^2 + (y_P - y_O)^2 + (z_P - z_O)^2\}^{1/2}$

を求める。

(ステップ4)  $|OP|$ に垂直で $O$ をとる仮想視点平面 $H$ の算出

平面 $H$ は次の式で与えられる。

$$(l_x \cdot x + l_y \cdot y + l_z \cdot z) - (l_x \cdot x_O + l_y \cdot y_O + l_z \cdot z_O) = 0 \quad (1)$$

(ステップ5) 視線を現すベクトル $PQ$ の算出

視線を表す $PQ$ の方向ベクトル $(s_x, s_y, s_z)$ は

$(s_x, s_y, s_z) = (x_Q - x_P, y_Q - y_P, z_Q - z_P)$ であり、直線 $PQ$ の式は、同直線が、 $P(x_P, y_P, z_P)$ を通ることから次の式で与えられる。

$$(x - x_P) / s_x = (y - y_P) / s_y = (z - z_P) / s_z \quad (2)$$

で現される。

(ステップ6) 直線 $PQ$ と仮想視点平面 $H$ の交点の座標 $G(x_G, y_G, z_G)$ の算出  
 前述の(2)式 $=t$ と置いたときに求まる $(x, y, z)$ は次の(3)のとおりである。

$$\begin{aligned} x &= s_x t + x_P \\ y &= s_y t + y_P \\ z &= s_z t + z_P \end{aligned} \quad (3)$$

これを平面 $H$ の式に代入すると、

$$t = (l_x^2 + l_y^2 + l_z^2) / (l_x s_x + l_y s_y + l_z s_z) \quad (4)$$

と、 $t$ が求まる。これを(3)に代入することにより世界座標系における交点

$G(x_G, y_G, z_G)$ が求まる。

(ステップ7) ベクトル $OP$ とベクトル $PG$ の角度の算出

10

20

30

40

50

ベクトルOPの方向ベクトル $(l_x, l_y, l_z)$ 視線ベクトルの方向ベクトルPG $(s_x, s_y, s_z)$ のなす角 $\theta$ を求める。

$$\theta = \cos^{-1} \left[ \frac{|l_x s_x + l_y s_y + l_z s_z|}{\sqrt{l_x^2 + l_y^2 + l_z^2} \cdot \sqrt{s_x^2 + s_y^2 + s_z^2}} \right] \quad (5)$$

(ステップ8)  $r$ と $\theta_a$ の測定

第1のカメラ(第1のカメラ20)により角膜反射中心と瞳孔中心座標を取得して、角膜反射中心と瞳孔中心間の距離 $r$ と角度 $\theta_a$ (座標軸に対する)を求める。

視線検出用カメラ(第2のカメラ12)の画像から検出される角膜反射中心と瞳孔の中心座標をそれぞれ、 $(g_x, g_y)$ 、 $(p_x, p_y)$ とすると、

$|r| = 0$ のとき、

$$|r| = \sqrt{(p_x - g_x)^2 + (p_y - g_y)^2} \quad (6)$$

$$\theta_a = \cos^{-1} \left( \frac{p_y - g_y}{|r|} \right) \quad (7)$$

( $0 < \theta_a < \pi$ )とおいたとき、

$$p_x < g_x \text{ のとき、 } \theta_a = \theta_a'$$

$$p_x > g_x \text{ のとき、 } \theta_a = -\theta_a'$$

と計算でき被検者がQを見たとき $|r|$ を $|r_Q|$ (単位は画素)として求める。

(ステップ9)  $|r|$ をOPにより補正して $|r^*|$ を求める。

第2のカメラ12では、角膜反射像の中心と瞳孔像の中心を検出して、それらの相対位置関係から視線検出用カメラの光軸と視線とのなす角度を推定する。

この場合、同じ方向を見ている画像の拡大率が異なれば、角膜反射像の中心と瞳孔像の中心の相対関係が変化してしまうので、画像の拡大率は重要な要素である。この問題を解決するためには、まず、距離と拡大率の関係を予め計測しておき、関係式を求めておく。瞳孔の3次元位置がわかるので、視線検出用カメラと瞳孔までの距離を算出して、関係式を用いて拡大率を計算し、角膜反射像中心と瞳孔中心間の距離を補正する。

【0016】

(ステップ10)  $|r^*|$ と $|r_Q|$ から、 $|r^*|$ と $|r_Q|$ 間の関係式 $f$ を求める。

被検者がOを見たときの $|r_Q|$ と $|r^*|$ をそれぞれ $|r_{Q0}|$ と $|r_{0}^*|$ とすると、

$$|r_{Q0}| = 0 \text{ で、 } |r_{0}^*| = 0 \text{ であるから、Qを見たときの値 } |r_Q| \text{ と } |r^*| \text{ から、} \quad (8)$$

である線形関係があるとして、係数 $k$ を求める。

$$k = |r_Q| / |r^*| \quad (9)$$

また $\theta_a = -\theta_a'$  (10)

とする。よって、このような係数 $k$ (一般的には $|r^*|$ と $|r_Q|$ 間の関係式 $f$ )を求めることで視線の較正をする。

$|r^*|$ は、 $\theta_a$ の関数であり、 $\theta_a$ とは独立している。 $\theta_a$ または $\theta_a'$ によらず $k$ が一定であると仮定しているからである。

このことを、さらに図5を参照して説明する。 $(|r^*|, \theta_a')$ から $(|r_Q|, \theta_a)$ への対応付けにおいて、原点は原点に写像し、単に拡大もしくは縮小して左右をひっくり返すだけの写像となる。

【0017】

前述した関係式決定段階で獲得した関数式を用いる〔視線測定段階〕

(ステップ1) 必要に応じて第1のカメラの被検者への照準。

被検者の注目点は、視対象平面の未知 $Q'$ ( $x_{Q'}, y_{Q'}, z_{Q'}$ )であるとする。

この座標を求めるのが、これからの手続きの目的である。

(ステップ2) 瞳孔中心の3次元座標の測定

図5に示すように、第1のカメラ10, 12被検者の瞳孔中心 $P'$ の座標位置データ

( $x_P, y_P, z_P$ )の測定

(ステップ3)  $|OP'|$ の算出

ベクトル  $OP'$  の方向ベクトル

$$(l_x, l_y, l_z) = (x_P - x_O, y_P - y_O, z_P - z_O) \text{ とその長さ}$$

$$|OP'| = \{ (x_P - x_O)^2 + (y_P - y_O)^2 + (z_P - z_O)^2 \}^{1/2}$$

を求める。

(ステップ4) 第1のカメラにより角膜反射中心と瞳孔中心座標を取得して、距離  $r'$  と座標軸に対する角度  $b$  を測定する。

$|r'| = 0$  のとき

$$|r'| = \{ (p_x - g_x)^2 + (p_y - g_y)^2 \}^{1/2} \quad (6')$$

$$b = \cos^{-1} (p_y - g_y) / |r'| \quad (7')$$

(  $0 < b < \pi$  ) とおいたとき、

$$p_x < g_x \text{ のとき、 } b = \pi - b'$$

$$p_x > g_x \text{ のとき、 } b = b'$$

10

(ステップ5)  $r'$  を  $|OP'|$  により補正して  $r^*$  を求める。

(ステップ6) 先の段階で求めた関係式を用いて  $r^*$  を求める。

$$r^* = f(|r^*|) = k |r^*|$$

(ステップ7) 視線ベクトル  $G'$  を求める。

仮想視点平面  $H$  を  $x' - y'$  平面とする直交座標系 (原点  $O$  は絶対座標系と一致) を、図6のようにとる ( $z'$  軸は点  $P$  を通る)。

20

平面  $H$  の  $x'$  軸と  $y'$  軸は、絶対座標系の  $x$  軸、 $y$  軸に対して、水平方向に、垂直方向にだけ回転しているものとする。

平面  $H$  を  $z'$  軸方向から見た図が図7左であり、図7右は点  $O$ 、点  $G'$ 、点  $P$  の三点を通る平面を図示したものである。

$b$  と  $|OP|$  から仮想視点平面  $H$  の直交座標系における点  $G'$  を求める。

図7右からわかるように、

$$|OG'| = |OP| \tan b \quad (8)$$

であり、仮想視点平面  $H$  の直交座標系における点  $G' (x_{G'}, y_{G'}, 0)$  の  $x_{G'}$ 、 $y_{G'}$  は、 $b = \pi - b'$  とすると、

$$x_{G'} = |OG'| \cos b' \quad (9)$$

$$y_{G'} = |OG'| \sin b'$$

で求まる。

30

(ステップ8)  $PG'$  を求める。

仮想視点平面  $H$  の直交座標系においては、点  $P$  の座標は  $(|OP|, 0, 0)$  であるので、同座標系における視線ベクトルは、 $P$  から  $G'$  を結ぶベクトル  $PG'$  として、

$$PG' = (x_{G'}, y_{G'} - |OP|) \quad (10)$$

で求まる。これは、仮想視点平面  $H$  の直交座標系における視線ベクトルの方向ベクトルでもある。

40

(ステップ9) 視線ベクトルとの方向ベクトルの算出

世界座標系におけるベクトル  $OP$  の方向ベクトル  $(l_x, l_y, l_z)$  は、仮想視点平面  $H$  直交座標系の  $z'$  座標に一致している。今、仮想視点平面  $H$  の直交座標系の  $x'$  軸を世界座標系の  $x$  軸に一致するように原点回りにだけ回転させた後に、 $y'$  軸を  $y$  軸に一致するように原点回りにだけ回転させると、仮想視点平面  $H$  の直交座標系と世界座標系は一致する。上記の座標系回転後の仮想視点平面  $H$  の直交座標系でのベクトル  $PG'$  の方向ベクトルは、世界座標系における視線ベクトルに一致する。ここで、



【数 1】

$$\cos\alpha = \frac{l_z}{\sqrt{l_x^2 + l_z^2}}, \quad \sin\alpha = \frac{l_x}{\sqrt{l_x^2 + l_z^2}}, \quad \cos\beta = \frac{\sqrt{l_x^2 + l_z^2}}{\sqrt{l_x^2 + l_y^2 + l_z^2}}, \quad \sin\beta = \frac{l_y}{\sqrt{l_x^2 + l_y^2 + l_z^2}} \quad (11)$$

で与えられる。この回転により世界座標系の視線ベクトルの方向ベクトル ( $s_x, s_y, s_z$ ) は次の(12)式で与えられる。

【数 2】

$$\begin{pmatrix} s_z \\ s_x \\ s_y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\beta & 0 & -\sin\beta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin\beta & 0 & \cos\beta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos\alpha & -\sin\alpha & 0 \\ \sin\alpha & \cos\alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -|OP| \\ x_{G'} \\ y_{G'} \end{pmatrix} \quad (12)$$

なお直行座標系と角度の関係を図 8 に示してある。

(ステップ 10) 視点 Q' の算出

前のステップで求めた ( $s_x, s_y, s_z$ ) を用いて、世界座標系における視線の式は  $(x - x_P) / s_x = (y - y_P) / s_y = (z - z_P) / s_z (= t)$  (2) で現される。視対象が平面であり、その式が

$$m_x \cdot x + m_y \cdot y + m_z \cdot z + d = 0 \quad (13)$$

で与えられるとき、(11)式と(12)式の交点 Q' d あり、これを求める。

(2) 式より、

$$\begin{aligned} x &= s_x t + x_P \\ y &= s_y t + y_P \\ z &= s_z t + z_P \end{aligned} \quad (3)$$

これを平面 H の式に代入すると、

【数 3】

$$t = \frac{d - (m_x x_P + m_y y_P + m_z z_P)}{m_x s_x + m_y s_y + m_z s_z} \quad (14)$$

これを(3)式に代入して、視点 Q' ( $x_{Q'}, y_{Q'}, z_{Q'}$ ) が求まる。

【0018】

以上詳しく説明した本発明の実施形態について、種々の変形が期待できる。これらは、本発明の技術的範囲に属するものである。

全カメラは近赤外線に高感度のカメラを使用し、レンズの絞りをできるだけ絞り焦点深度を大きくすることで固定焦点レンズを使用することもできる。

すなわち、頭部が大きく移動してもいつもピントが当たっている状態を作り出し、カメラの方向も固定のままでも頭部をいつも撮影できるようにしても良い。

【0019】

また、第 2 のカメラ 12 については、一般に、大きく拡大するために、狭い距離範囲でしかピントが合わなくなる可能性がある。しかし、用途によっては、手動焦点レンズで間に合う場合がある。それは、ある一時期において、頭部の動きが限られている場合である。例えば、いすに座っているユーザや被検者の場合、座席の位置を設定したら、頭部を大きく動くことはない。この場合は、狭い範囲 (10 cm) 程度の範囲でピントが当たればよいので、ユーザや被検者が手動でレンズの焦点を合わせたり、もしくは電動焦点レ

10

20

30

40

50

レンズを手元スイッチやリモコンでピントを一度合わせれば使用できるようになる。また、カメラの向きも、ユーザや被検者が手など体を使って動かしたり、アクチュエータを含むシステムで、手元スイッチやリモコンで眼が写る方向、位置に一度合わせれば視線を計測できることになる。前記のシステムは比較的安価にできる。この場合でも、視線決定において瞳孔の3次元位置は情報として必要となる。

【0020】

また、頭部が大きく動いている最中も視線を検出する必要がある場合において、手動固定レンズもしくは固定焦点レンズではピントが合わない場合がある場合においては、自動焦点レンズもしくは電動焦点レンズを使用する必要がある。自動焦点レンズは一般にカメラの画像を利用して制御される。画像のコントラストが良い場合には利用できるが、バンドパスフィルタをつけるなどの理由から画像のコントラストが悪い場合には、電動焦点レンズを用いて外部からコントロールすることもできる。

10

【0021】

上述の方法では、 $r$  と  $|r|$  関係に線形性があり、原点を通ることを前提とした。しかし、一般には、眼球の光学系と視軸とに多少のずれがあるため、被検者が0を見たときに角膜反射が瞳孔像の中心に現れるとは限らない。すなわち、原点を通らない。高精度の視線検出を行うためには、これを補正する必要がある。方法としては、視線の較正の際に、どこか一点を被検者に見させるだけでなく、被検者が0を見たときの  $|r|$  と  $r$  も計測する。すなわち、被検者に最低でもこれら2点を見させて、視線の較正をする必要がある。

20

この場合、0を見させたときに得られる角膜反射中心 - 瞳孔中心ベクトル  $r$  (ずれ成分) がゼロベクトルになるように、他のどこか一点を見たときに得られた  $r$  についてもずらした後に(原点補正)、 $|r|$  と  $r$  を求め較正を行う。また、実時間視線検出においても、得られる  $r$  に同様に補正を行った後に  $|r|$  と  $r$  を求め、それを利用し視線を算出する。

【産業上の利用可能性】

【0022】

本発明は、人間の行動の監視の分野、人間の生活環境または作業環境における視線入力手段として広く利用できる。電子装置の製造の分野、電子計算機の使用環境における利用が予定される。

30

【図面の簡単な説明】

【0023】

【図1】本発明による方法を実施するための装置の実施例の配列を示す概略図である。瞳孔と角膜反射(点)の位置関係の一例を拡大して示してある。

【図2】本発明方法を実施するための装置等の構成を示すブロック図である。

【図3】本発明による方法を説明するための流れ図である。

【図4】世界座標系に関連して装置等の配列を示す斜視図である。

【図5】瞳孔と仮想視点平面の写像  $(r', \theta)$  と  $(|r| = k|r'|, \theta)$  の対応を説明するためのグラフである。

【図6】視対象平面と仮想視点平面(H)との関係を説明するための斜視図である。

40

【図7】仮想視点平面(H)における  $r$  と  $r'$  の意味を説明するための図である。

【図8】方向ベクトルと角度の関係を示すグラフである。

【符号の説明】

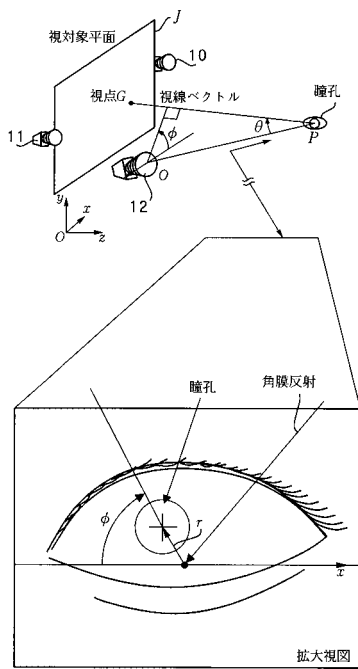
【0024】

- 10, 11 第1のカメラ
- 12 第2のカメラ
- 14 カメラインターフェイス
- 15 照明制御装置
- 16 カメラ駆動装置
- 20 バスライン

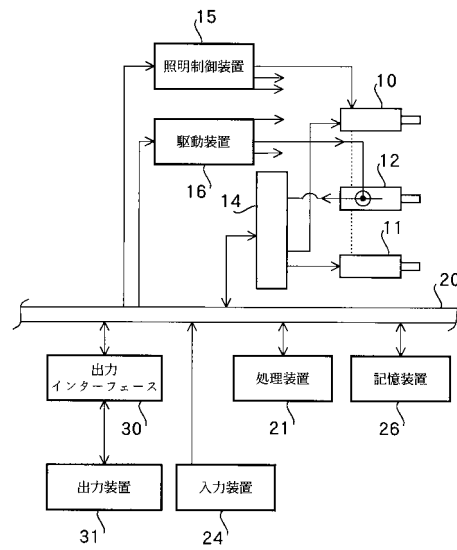
50

- 2 2 処理装置 (CPU)
- 2 4 入力装置
- 2 6 記憶装置
- 3 0 出力インターフェイス
- 3 1 出力装置

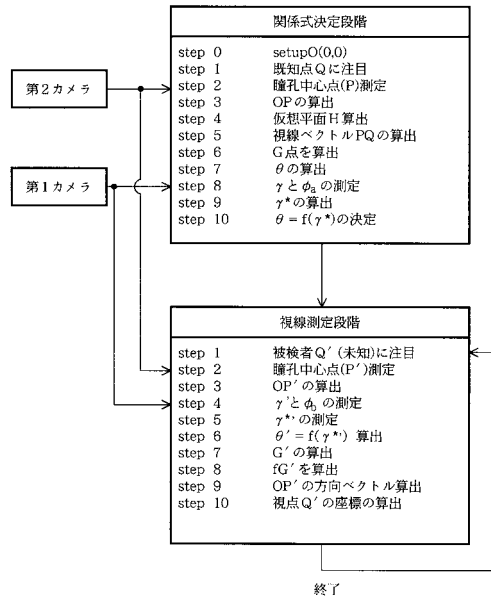
【図 1】



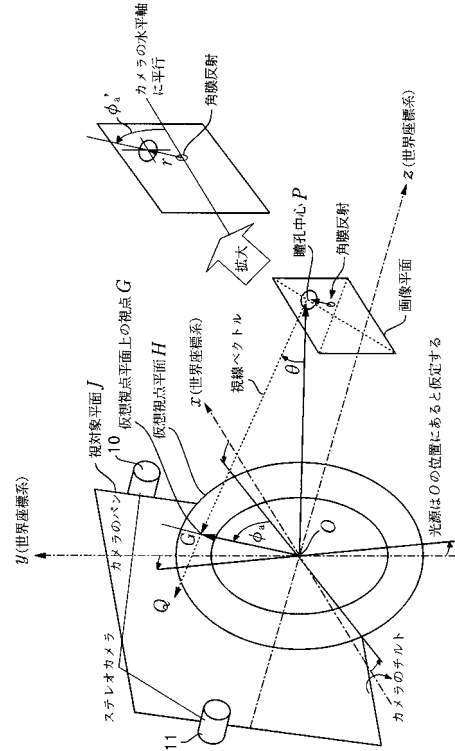
【図 2】



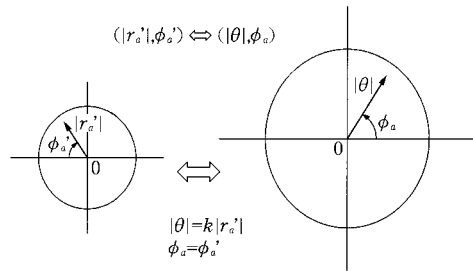
【 図 3 】



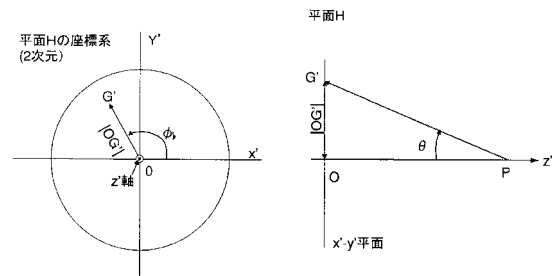
【 図 4 】



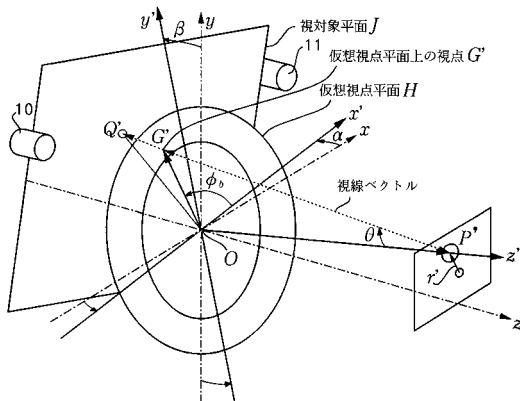
【 図 5 】



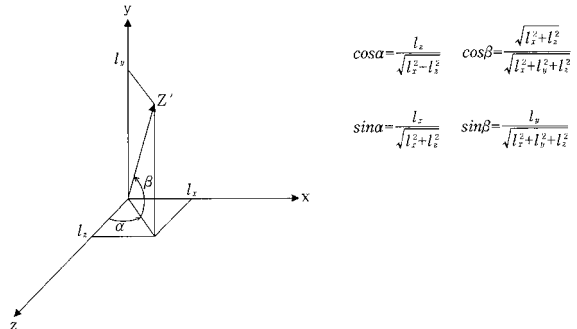
【 図 7 】



【 図 6 】



【 図 8 】



---

フロントページの続き

(56)参考文献 特開平08 - 154899 (JP, A)  
特許第2739331 (JP, B2)  
特開平11 - 056782 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

A61B 3/113

G06F 3/033

JSTPlus/JMEDPlus/JST7580(JDreamII)