

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2012年6月14日(14.06.2012)



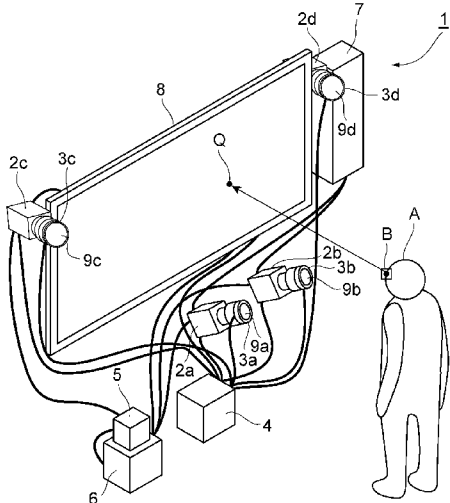
(10) 国際公開番号
WO 2012/077713 A1

- (51) 国際特許分類:
A61B 3/113 (2006.01)
 - (21) 国際出願番号: PCT/JP2011/078302
 - (22) 国際出願日: 2011年12月7日(07.12.2011)
 - (25) 国際出願の言語: 日本語
 - (26) 国際公開の言語: 日本語
 - (30) 優先権データ:
特願 2010-274074 2010年12月8日(08.12.2010) JP
 - (71) 出願人(米国を除く全ての指定国について): 国立
大学法人静岡大学(NATIONAL UNIVERSITY
CORPORATION SHIZUOKA UNIVERSITY) [JP/JP];
〒4228529 静岡県静岡市駿河区大谷836
Shizuoka (JP).
 - (72) 発明者; および
 - (75) 発明者/出願人(米国についてのみ): 海老澤 嘉
伸(EBISAWA Yoshinobu) [JP/JP]; 〒4328561 静岡県
浜松市中区城北3丁目5-1 国立大学法人静
岡大学工学部内 Shizuoka (JP).
 - (74) 代理人: 長谷川 芳樹, 外(HASEGAWA Yoshiki et
al.); 〒1000005 東京都千代田区丸の内二丁目1番
1号丸の内 MY PLAZA (明治安田生命
ビル) 9階 創英国際特許法律事務所 Tokyo
(JP).
 - (81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保
護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA,
BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO,
CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI,
GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS,
JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS,
LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX,
MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT,
QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST,
SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ,
VC, VN, ZA, ZM, ZW.
 - (84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保
護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW,
MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシ
ア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨー
ロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE,
ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC,
MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR),
OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML,
MR, NE, SN, TD, TG).
- 添付公開書類:
— 国際調査報告(条約第21条(3))

(54) Title: METHOD FOR DETECTING POINT OF GAZE AND DEVICE FOR DETECTING POINT OF GAZE

(54) 発明の名称: 注視点検出方法及び注視点検出装置

[図1]



(57) Abstract: Disclosed is a device (1) for detecting point of gaze, said device (1) comprising four cameras (2a, 2b, 2c, 2d), light sources (3a, 3b, 3c, 3d), control circuits (4, 5, 6) and an image processing device (7). The image processing device (7) calculates vectors (r) from the corneal reflection point of a subject (A) to the centre of the pupil of the subject (A), on a plane that is perpendicular to a reference line connecting a camera and the centre of the pupil. Based on the vectors (r), the angle (θ) of the line of gaze of the subject with respect to the reference lines of the cameras is calculated by using a function (f) containing M parameters. The M parameters contained in the function (f) are determined by using a plurality of relationship expressions derived from the angle (θ). The point of gaze (Q) of the subject (A) is detected by finding the point of intersection of the line of gaze on a display screen, based on the direction of the line of gaze calculated using the determined parameters. The number of cameras is set such that $M \times 1/2$ or greater.

(57) 要約: この注視点検出装置1は、4台のカメラ2a、2b、2c、2dと光源3a、3b、3c、3dと制御回路4、5、6と画像処理装置7とを備え、画像処理装置7は、カメラと瞳孔中心とを結ぶ基準線に垂直な平面上における対象者Aの角膜反射点から瞳孔

中心までのベクトルrを計算し、それぞれのベクトルrを基にカメラの基準線それぞれに対する対象者の視線の角度 θ を、M個のパラメータを含む関数fを用いて計算し、角度 θ を基に導かれた複数の関係式を用いて関数fに含まれるM個のパラメータを決定し、当該決定されたパラメータを用いて計算された視線の方向を基に、視線のディスプレイ画面上の交点を求めることによって対象者Aの注視点Qを検出し、カメラの台数は $M \times 1/2$ 個以上となるように設定されている。

WO 2012/077713 A1

明 細 書

発明の名称：注視点検出方法及び注視点検出装置

技術分野

[0001] 本発明は、対象者の画像に基づいて所定平面上の対象者の注視点を検出する注視点検出方法及び注視点検出装置に関するものである。

背景技術

[0002] 従来から、非接触で被験者の視線もしくは注視点を検出する装置が、ヒューマンインタラクションの分野で重要視されている。高精度の視線検出技術が実用化されれば、例えば、ドライバーの監視、商品の興味の度合いの調査、重度身体障害者のパーソナルコンピュータへのデータ入力などの様々な用途に適用できる。

[0003] 下記特許文献1，2に開示された視線検出方法では、位置が既知であるカメラと、位置が既知であるディスプレイ画面上の1点との合計2点を被験者に注視させることによって、瞳孔の中心と角膜反射点との間の距離 $|r|$ から被験者の視線方向を計算するための関数を補正して、その補正した関数を用いて視線方向を検出する。このような視線検出方法によれば、被験者の頭部が移動しても高精度の視線検出が可能である。また、下記特許文献3に開示された視線検出方法は、2台のカメラを用いて両眼の視線を同時に検出するための方法である。この方法においても、視線検出結果を校正するために被験者にカメラを見させる必要がある。

[0004] このように視線計算時の補正のために被験者にカメラを見させなければならない理由は、カメラを見ているときには、眼球の光軸周りの対称性により理想的には光源の角膜反射像が瞳孔の中央に位置するものではあるが、実際には角膜反射像は瞳孔の中央からずれているからである。そのため、距離 $|r|$ から関数を用いて被験者の視線方向を計算する方式においては、いわゆる原点補正をしなければ関数に含まれるゲイン値を正確に求めることができない。そこで、上述した従来技術では、被験者にカメラの位置を含む規定点

を見させることによって関数を補正している。

先行技術文献

特許文献

- [0005] 特許文献1：特開2005-185431号公報
特許文献2：特開2005-230049号公報
特許文献3：特開2005-198743号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

- [0006] しかしながら、被験者にカメラを見させるということはカメラの開口部の中心部（レンズの中心）を見させることになり、見るべき対象が明確でないため視点が定まりにくい。これに対して、レンズの中心に明確な目標物（マーカー）を取り付ければ視点が定まりやすくなるが、カメラ画像に障害物として写ってしまい正確な視線検出が難しくなる。また、設置場所の確保の関係でカメラを被験者の正面よりも下方に設置した場合、カメラを見させた際に近見反射などにより瞳孔が小さくなることがあり、しかもその上に角膜反射が重畳するため、カメラ画像から瞳孔位置を正確に検出することが難しくなる場合がある。そして、カメラを見させているときに計算される距離 $|r|$ の誤差は校正によって求められるゲイン値に強く影響し、ディスプレイ画面全体において視点または視線検出結果に大きな誤差となって現れる。
- [0007] また、一般には、位置が既知の多くの指標を画面上に順に提示して被験者にその指標を見させるようにすることによって、視線検出の校正精度はある程度向上することが予想される。しかし、このような校正処理にはどうしても時間がかかるし、時間がかかればその分被験者の負担が増加し、その結果、被験者の集中力が低下して校正精度が低下してしまう。上記特許文献3に記載された視線検出方法でも、ディスプレイ上の座標が既知の2点もしくは移動する点（各時刻での一が既知の点）を追跡する校正が実現されている。しかし、この校正法においても、被験者はある特定の指標を2点以上見なけ

ればならなかった。しかも、これによって求められるカメラの開口部の中心部を見たときに相当する瞳孔中心と角膜反射との相対位置には誤差が生じやすい。これにより、較正によって求めるゲイン値も正確に求めることができなくなるため、ディスプレイ画面上の注視点誤差は、規則的ではあるが、注視位置によって誤差量が変化することになり、その誤差の補正も困難となっていた。

[0008] そこで、本発明は、かかる課題に鑑みて為されたものであり、被験者に対する負担を低減しつつ高速かつ高精度の注視点検出を実現できる注視点検出方法及び注視点検出装置を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0009] 上記課題を解決するため、本発明の一側面にかかる注視点検出方法は、N台（Nは2以上の自然数）のカメラ及び複数の光源を用いて、対象者の顔画像を生成する顔画像生成ステップと、N台のカメラによるそれぞれの顔画像に基づいて、光源からの光の対象者の角膜上の反射点である角膜反射点から瞳孔中心までの実距離を表すベクトル r を計算するベクトル計算ステップと、N台のカメラに対応するそれぞれのベクトル r を基に、N台のカメラと瞳孔中心とを結ぶ基準線それぞれに対する対象者の視線の角度 θ を、関数 f を用いて、少なくともベクトル r のオフセットベクトルであるベクトル r_0 を含むM個の未定定数（Mは3以上の自然数）を含む下記式（1）；

$$\theta = f(|r - r_0|) \quad \dots (1)$$

によって計算する視線方向計算ステップと、N台のカメラに対応して計算された角度 θ を少なくとも基にして導かれた複数の関係式を用いて、関数 f に含まれるM個の未定定数を決定する未定定数決定ステップと、未定定数決定ステップによって決定されたM個の未定定数を用いて視線方向計算ステップによって計算された視線の方向に基づき、対象者の注視点を検出する注視点検出ステップと、を備え、カメラの台数Nは、 $M \times 1 / 2$ 個以上に設定されている、ことを特徴とする。

[0010] 或いは、本発明の一側面にかかる注視点検出装置は、対象者の顔画像に基

づいて、該対象者の注視点を検出する注視点検出装置であって、対象者の顔画像を取得するN台のカメラと、複数の光源と、カメラ及び光源を制御する制御回路と、N台のカメラから出力された画像信号を処理する画像処理部とを備え、画像処理部は、N台のカメラによるそれぞれの顔画像に基づいて、光源からの光の対象者の角膜上の反射点である角膜反射点から瞳孔中心までの実距離を表すベクトル r を計算し、N台のカメラに対応するそれぞれのベクトル r を基に、N台のカメラと瞳孔中心とを結ぶ基準線それぞれに対する対象者の視線の角度 θ を、関数 f を用いて、少なくともベクトル r のオフセットベクトルであるベクトル r_0 を含むM個の未定定数（Mは3以上の自然数）を含む下記式（1）；

$$\theta = f(|r - r_0|) \quad \dots (1)$$

によって計算し、N台のカメラに対応して計算された角度 θ を少なくとも基にして導かれた複数の関係式を用いて、関数 f に含まれるM個の未定定数を決定し、当該決定されたM個の未定定数を用いて上記式（1）によって計算された視線の方向に基づき、対象者の注視点を検出し、カメラの台数Nは、 $M \times 1 / 2$ 個以上に設定されている、ことを特徴とする。

[0011] このような注視点検出方法或いは注視点検出装置によれば、N台のカメラ及び複数の光源によって対象者の顔画像が生成され、それぞれの顔画像を基に対象者の角膜反射点から瞳孔中心までのベクトル r がN台のカメラごとに対応して計算され、それぞれのベクトル r をオフセットベクトル r_0 を含むM個の未定定数を含む関数 f に適用することによって、対象者の視線の基準線に対する角度 θ がN台のカメラごとに対応して計算される。さらに、このようにして計算されたそれぞれの角度 θ を基に複数の関係式が導かれ、カメラが $M \times 1 / 2$ 台以上に設定されていることにより、それらの関係式を用いて関数 f に含まれるM個の未定定数が決定される。そして、決定された関数 f を用いて対象者の顔画像から視線の方向及び注視点が検出される。これにより、対象者に複数の規定点を注視させることなく、また、対象者にカメラの開口部を注視させることもなく、視線方向を算出するための関数に関する自

動補正が高精度に実行される。その結果、対象者の負担が軽減されるとともに、高速かつ高精度の注視点検出が可能になる。

発明の効果

[0012] 本発明による注視点検出方法及び注視点検出装置によれば、被験者に対する負担を低減しつつ高速かつ高精度の注視点検出を実現できる。

図面の簡単な説明

[0013] [図1]本発明の好適な一実施形態にかかる注視点検出装置1を示す斜視図である。

[図2]図1のカメラの開口に取り付けられた光源の平面図である。

[図3]図1の注視点検出装置で設定される座標系の位置関係を示す図である。

[図4]図1の注視点検出装置による注視点検出手順を説明するための図である。

[図5]図1の注視点検出装置による注視点検出手順を説明するための図である。

[図6] (a), (b)は、カメラ画像上で観察されるベクトル r を示す図であり、(c)は、仮想視点平面上の注視点 T を示す図である。

[図7]図1のカメラで取得された画像上で観察されるベクトル r を示す図である。

[図8]図5に示す仮想視点球面 S 上に投影された点 O_1 , O_2 , G_S を平面上にさらに投影した図である。

[図9]図5に示す仮想視点球面 S 上に投影された点 O_1 , O_2 , O_3 , G_S を平面上にさらに投影した図である。

[図10]図8に示した仮想視点球面 S の平面上への投影図上で角度 θ_i をベクトルとして示す図である。

[図11]図1のカメラのカメラ画像上で検出されたベクトル r_i , r_i' を示す図である。

[図12]対象者 A の左右の瞳孔とディスプレイ装置8の画面上の注視点 Q との位置関係を示す図である。

発明を実施するための形態

[0014] 以下、図面を参照しつつ本発明に係る注視点検出方法及び注視点検出装置の好適な実施形態について詳細に説明する。なお、図面の説明においては同一又は相当部分には同一符号を付し、重複する説明を省略する。

[0015] (注視点検出装置の構成)

まず、本発明にかかる注視点検出装置を実施するための注視点検出装置の構成について、図面を参照しながら説明する。本発明の注視点検出装置は、対象者の顔画像を基にパーソナルコンピュータ等の情報処理端末のモニター画面上の注視点を検出する装置である。

[0016] 図1は、本発明の好適な一実施形態にかかる注視点検出装置1を示す斜視図である。同図に示すように、注視点検出装置1は、対象者Aの顔画像を撮像する4台のカメラ2a, 2b, 2c, 2dと、それぞれのカメラ2a, 2b, 2c, 2dの開口部の撮像レンズの外側に設けられた光源3a, 3b, 3c, 3dと、光源3a, 3b, 3c, 3dの給電用の発光回路(制御回路)4と、カメラ2a, 2b, 2c, 2dに入力する同期信号を生成する同期信号発生器(制御回路)5と、同期信号を遅延させるための遅延回路(制御回路)6と、カメラ2a, 2b, 2c, 2dの生成した画像信号を処理するパーソナルコンピュータ等の画像処理装置(画像処理部)7と、カメラ2a, 2bの上方およびカメラ2c, 2dの間において対象者Aに対向するように配置され、画像処理装置7に接続されたディスプレイ装置8とを備えている。これらの発光回路4、同期信号発生器5、及び遅延回路6は、カメラ2a, 2b, 2c, 2d及び光源3a, 3b, 3c, 3dの動作を制御するための制御回路を構成する。

[0017] カメラ2a, 2b, 2c, 2dは、対象者Aの顔面を撮像することによって画像データを生成する。このカメラ2a, 2b, 2c, 2dとしては、インターレーススキャン方式の1つであるNTSC方式のカメラを用いる。NTSC方式では、1秒間に30枚得られる1フレームの画像データは、奇数番目の水平画素ラインで構成される奇数フィールドと奇数フィールドを除く

偶数番目の水平画素ラインで構成される偶数フィールドから構成され、奇数フィールドの画像と偶数フィールドの画像とが1/60秒の間隔で交互に撮影されて生成される。具体的には、1フレーム内では、奇数フィールドの画素ラインと偶数フィールドの画素ラインとが交互に並ぶように生成される。

[0018] これらのカメラ2 a, 2 c, 2 dには、それぞれ、同期信号発生器5から遅延回路6を経由して遅延された垂直同期信号（VD信号）が入力されることにより、4つのカメラ2 a, 2 b, 2 c, 2 dの撮影タイミングが互いにずらされる。

[0019] また、このカメラ2 a, 2 b, 2 c, 2 dの対物レンズが収容された円形状の開口部9 a, 9 b, 9 c, 9 dの外側には、それぞれ、光源3 a, 3 b, 3 c, 3 dが固定されている。図2には、光源3 a, 3 b, 3 c, 3 dの平面図を示している。光源3 a, 3 b, 3 c, 3 dは、対象者Aの顔に向けて照明光を照射するためのものであり、リング状の台座部10に2種類の発光素子11, 12が複数埋め込まれた構造を有している。この発光素子11は、出力光の中心波長が850nmの半導体発光素子（LED）であり、台座部10上において開口部9 a, 9 b, 9 c, 9 dの縁に沿って等間隔でリング状に配設されている。また、発光素子12は、出力光の中心波長が950nmの半導体発光素子であり、台座部10上において発光素子11の外側に隣接して等間隔にリング状に配設されている。すなわち、発光素子12のカメラ2 a, 2 b, 2 c, 2 dの光軸からの距離は、発光素子11の光軸からの距離よりも大きくなるように設定されている。このとき、それぞれの発光素子11, 12は、カメラ2 a, 2 b, 2 c, 2 dの光軸に沿って照明光を出射するように台座部10上に設けられている。なお、光源の配置は上記構成に限定されるものではなく、カメラをピンホールモデルとみなせるような配置であれば他の配置構成を採る事も可能である。

[0020] これらの発光素子11, 12は、発光回路4によって、それぞれ独立に発光タイミングを制御可能にされる。具体的には、同期信号発生器5から出力されるVD信号に同期したカメラ2 a, 2 b, 2 c, 2 dのシャッタタイミ

ングに合わせて、発光素子 1 1, 1 2 が交互に発光するように、発光タイミングが制御される。

[0021] このような制御回路の動作により、発光素子 1 1 から対象者 A の左右の眼球 B に照明光が照射されると、眼球 B において明瞳孔像が生成され、発光素子 1 2 から眼球 B に照明光が照射されると、眼球 B において暗瞳孔像が生成される。これは、波長が 900nm より短い照明光を受ける場合は、波長が 900nm より長い照明光を受ける場合に比較して瞳孔が明るく映る、眼球 B への照明光がカメラの光軸からより離れた位置から入射した場合は瞳孔がより暗く映るという性質によるものである。ここで、4 組の発光素子 1 1 及び 4 組の発光素子 1 2 は、それぞれ、カメラ 2 a, 2 b, 2 c, 2 d の奇数フィールド及び偶数フィールドの撮影タイミングに同期させるように、交互に点灯される。その結果、カメラ 2 a, 2 b, 2 c, 2 d の生成する奇数フィールド及び偶数フィールドには、それぞれ、眼球 B の明瞳孔画像及び暗瞳孔画像が反映される。

[0022] 画像処理装置 7 は、4 台のカメラ 2 a, 2 b, 2 c, 2 d から出力された画像データを処理する。具体的には、画像処理装置 7 は、カメラ 2 a, 2 b, 2 c, 2 d から出力された 1 フレームの画像データを、奇数フィールドと偶数フィールドとに分離する。例えば、この奇数フィールドの画像データ（奇数画像データ）は明瞳孔画像となっており、偶数フィールドの画像データ（偶数画像データ）は暗瞳孔画像となっている。これらの画像データは、奇数フィールド又は偶数フィールドのみに有効画素を有しているため、画像処理装置 7 は、隣接する有効画素の画素ラインの輝度平均をそのライン間の画素値に埋め込むことによって、明瞳孔画像データ及び暗瞳孔画像データを生成する。

[0023] さらに、画像処理装置 7 は、明瞳孔画像データ及び暗瞳孔画像データを用いて、対象者 A の左右の瞳孔の検出を繰り返し行う。すなわち、明瞳孔画像データと暗瞳孔画像データの差分画像を生成し、前回の瞳孔検出処理で検出された瞳孔の位置を基にウィンドウを設定し、そのウィンドウの範囲内で瞳

孔の探索を行う。具体的には、画像処理装置 7 は、差分画像に対して P タイル法によって決定された閾値で 2 値化を行った後、孤立点除去及びラベリングを行い、ラベルづけされた画素の連結成分の中から、瞳孔らしい面積、サイズ、面積比、正方形度、及び瞳孔特徴量等の形状パラメータから瞳孔候補を選択する。さらに、選択された瞳孔候補の連結成分の中から、2 つの瞳孔候補の関係が所定の関係にあるものを左右の瞳孔として決定し、画像データにおける左右の瞳孔の中心座標を算出する。

[0024] また、画像処理装置 7 は、明瞳孔画像データ及び暗瞳孔画像データを対象にして、対象者 A の左右の目における光源からの光の角膜上の反射点である角膜反射点の位置も検出する。すなわち、検出した瞳孔を中心としたウィンドウを設定し、そのウィンドウ範囲のみを高分解像度化した画像データを作成し、その画像データから角膜反射を検出する。具体的には、P タイル法によって 2 値化の閾値を決定し、その画像から 2 値化画像を作成し、ラベリングを行い、面積が一定以下である部分を選択する。ここで、画像処理装置 7 は、選択した部分の中心座標に対し、分離度フィルタを与え、分離度と輝度とを掛けた特徴量を求め、その値が一定値以下であれば角膜反射ではないと判断する。さらに、画像処理装置 7 は、明瞳孔画像データと暗瞳孔画像データにおいて、角膜反射の移動量を計算し、その移動量を差分位置補正量とする。そして、画像処理装置 7 は、明瞳孔画像データ及び暗瞳孔画像データの角膜反射位置が一致するように差分位置補正量分だけずらし、画像データの輝度を足し算し、輝度重心座標を角膜反射の座標と決定する。

[0025] さらに、画像処理装置 7 は、2 台のカメラ 2 a, 2 b から出力された画像データを元に検出した瞳孔中心座標から、対象者 A の左右の瞳孔の 3 次元位置を計算する。この際、画像処理装置 7 は、ステレオ法によって左右の瞳孔の 3 次元座標を計測する。ステレオ法とは、カメラのレンズの焦点距離、画像中心、画素サイズなどの内部パラメータと、カメラの位置や姿勢等の外部パラメータを予め計測しておき、複数台のステレオカメラで対象物を撮影したときに画像中の点の座標を基に、内部パラメータ及び外部パラメータを用

いてその点の空間上の位置を決定する方法である。

[0026] なお、画像処理装置7がステレオ法を用いて瞳孔の3次元座標を計算する際には、図3に示すような座標系を用いる。同図に示す世界座標系(X_w, Y_w, Z_w)は、2台のカメラ2a, 2bで共有する原点 O_w が例えばディスプレイ装置8の画面中央に位置する座標系であり、カメラ座標系(X, Y, Z)は、その原点Cがカメラ2a, 2bの光学中心とされ、Z軸が光学中心から画像面に垂直に引いた光軸と平行とされた座標系であり、画像座標系(X_G, Y_G)は、撮像素子が置かれる画像面に沿ってXY平面と平行にされ、光軸と画像面の交点(画像中心)を原点 C_i とする座標系である。点Pが目標点の座標とすると、カメラ2a, 2bを用いた際の画像座標系への投影点(X_d, Y_d)は、画像のゆがみにより理想的な投影点(X_u, Y_u)からずれることになる。従って、ステレオ法を用いた3次元位置計測を精度良く行うためには、目標点Pの世界座標とその画像座標の対応づけを記録したキャリブレーションデータを予め取得する必要がある。例えば、このようなキャリブレーションデータとしては、外部パラメータとしての世界座標に対するカメラ座標系の平行移動ベクトル及び世界座標系に対するカメラ座標系の回転行列や、内部パラメータとしての焦点距離、画像中心座標、スケール係数、レンズひずみ係数、撮像素子間隔等が予め取得されて、画像処理装置7に記憶される。

[0027] そして、画像処理装置7は、2台のカメラ2a, 2bからの出力データを元に検出した画像座標系における瞳孔中心座標と、世界座標系における瞳孔中心座標との関係式を、キャリブレーションデータを参照しながら取得する。次に、画像処理装置7は、2つの関係式から対象者Aの瞳孔の世界座標系における3次元位置座標を求める。同様にして、画像処理装置7は、対象者Aの左右の瞳孔の3次元位置を求めることができる。

[0028] また、画像処理装置7は、検出した対象者Aの左右のいずれかの角膜反射点の位置及び瞳孔中心の位置とを用いて、ディスプレイ装置8上の対象者の注視点Qを検出する。以下に、図4及び図5を参照しながら、画像処理装置

7による注視点Qの検出手順について説明する。ここでは、説明を簡略化するためにカメラ2 a, 2 bのカメラ画像のみを用いた注視点検出手順を述べる。

[0029] (注視点検出手順)

ここでは、図4に示すように、検出した瞳孔の3次元位置Pを元に、カメラ2 a, 2 bの開口部9 a, 9 bの中心を原点Oとし、その原点Oと瞳孔Pを結ぶ基準線OPを法線とする仮想視点平面X' - Y'を設定する。ここで、X'軸は、世界座標系のX_w - Y_w平面と仮想視点平面X' - Y'との交線に相当する。

[0030] まず、画像処理装置7は、画像面S_Gにおける角膜反射点Gから瞳孔中心Pまでのベクトルr_Gを算出する。そして、ベクトルr_Gを、距離OPから求められたカメラの拡大率を用いて実寸に換算したベクトルrに変換する(ベクトル計算ステップ)。このとき、各カメラ2 a, 2 bをピンホールモデルと考え、角膜反射点Gと瞳孔中心Pとが、仮想視点平面X' - Y'と平行な平面上にあると仮定している。つまり、画像処理装置7は、仮想視点平面と平行であって瞳孔Pの3次元座標を含む平面上において、瞳孔中心Pと角膜反射点Gの相対座標をベクトルrとして算出しており、このベクトルrは角膜反射点Gから瞳孔中心Pまでの実距離を表す。

[0031] その後、画像処理装置7は、対象者Aの仮想視点平面上の注視点Tに関して、直線OTの水平軸X'に対する傾きφを、ベクトルrの画像面上の水平軸X_Gに対する傾きφ'と等しいとして求める。さらに、画像処理装置7は、対象者Aの視線ベクトル、すなわち、瞳孔中心Pと注視点Tを結ぶベクトルPTと、基準線OPとの成す角θを、ゲイン値k及び原点補正ベクトル(オフセットベクトル)r₀を含むパラメータを使った関数f₁を用いて、下記式(3)；

$$\theta = f_1(r) = k \times |r - r_0| \quad \dots (3)$$

によって計算する(視線方向計算ステップ)。

[0032] このような角度φ, θの計算は、瞳孔中心Pの存在する平面上のベクトル

r を仮想視点平面上で拡大したものがそのまま対象者Aの注視点に対応するとみなすことにより行われている。より詳しくは、対象者Aの視線PTの基準線OPに対する角度 θ は、瞳孔中心と角膜反射の距離の修正値 $|r - r_0|$ との間で線形関係を有すると仮定している。なお、関数 f_1 に含まれる原点補正ベクトル r_0 には、対象者Aがカメラを見たとき($\theta = 0$)の実寸の角膜反射-瞳孔中心ベクトル r_0 が零ではないためにそのベクトル r_0 が設定される。ここで、上記ゲイン値 k 及び原点補正ベクトル r_0 は、各対象者Aや左右の眼球によって異なるため較正を行う必要がある。そこで、ゲイン値 k 及び原点補正ベクトル r_0 は予め設定された初期値に対して後述するパラメータ補正処理によって補正された値が使用される。

[0033] さらに、画像処理装置7は、2台のカメラ2a, 2bのカメラ画像に対応して計算された角度 ϕ, θ である $\phi_1, \phi_2, \theta_1, \theta_2$ を参照して、対象者Aのディスプレイ装置8の画面上の注視点を検出する(注視点検出ステップ)。ここで、注視点検出のメカニズムを説明するために図5に示すような座標系を定義する。2つのカメラ2b, 2aの位置に対応した原点 O_1', O_2' を有する2つの仮想視点平面 H_1, H_2 と、瞳孔中心Pを中心とした半径を任意とした仮想視点球面Sを定義する。2つの仮想視点平面 H_1, H_2 は、それぞれ、直線 PO_1', PO_2' に対して垂直な平面である。そして、瞳孔中心Pとディスプレイ画面上の注視点Qを通る直線(視線)と仮想視点球面Sとの交点を G_s 、瞳孔中心Pと原点 O_1' を通る直線と仮想視点球面Sとの交点を O_1 、瞳孔中心Pと原点 O_2' を通る直線と仮想視点球面Sとの交点を O_2 とする。なお、視線PQと仮想視点平面 H_1 との交点を G_1 とすると、直線 $O_1'G_1$ と仮想視点平面 H_1 との水平軸の成す角が ϕ_1 となる。同様に、視線PQと仮想視点平面 H_2 との交点を G_2 とすると、直線 $O_2'G_2$ と仮想視点平面 H_2 との水平軸の成す角が ϕ_2 となる。さらに、仮想視点球面S上において、点 O_1 における点 O_1 を通る水平面と球面Sとの交線(曲線)と曲線 O_1G_s の成す角は、上記角度 ϕ_1 と等しくなる。同様に、仮想視点球面S上において、点 O_2 における点 O_2 を通る水平面と球面Sとの交線(曲線)と曲線 O_2G_s の成す角

は、上記角度 ϕ_2 と等しくなる。また、上述したように、点 P 、 O_1 、 O_1' は同じ直線 L_1 上に存在し、点 P 、 O_2 、 O_2' は同じ直線 L_2 上に存在するので、直線 L_1 と視線の成す角が θ_1 となり、直線 L_2 と視線の成す角が θ_2 となる。

[0034] 画像処理装置7は、上記のような関係を用いることにより、予め既知である原点 O_1' 、 O_2' の位置座標、及びディスプレイ装置8の位置及び向きのデータを参照しながら、画面上の注視点を算出することができる。すなわち、2台のカメラ2a、2bのカメラ画像によって計算された角度 ϕ_1 、 ϕ_2 、 θ_1 、 θ_2 から、仮想視点球面 S 上の点 G_s 、 O_1 、 O_2 の相対的位置関係を取得することができる。従って、画像処理装置7は、既知である原点 O_1' 、 O_2' の座標と、既に計算された瞳孔中心 P の座標から、一意に視線 PG_s を求めることができる。その視線 PG_s とディスプレイ装置8の画面との交点を計算することにより注視点 Q を検出することができる。なお、角度 ϕ_1 、 θ_1 から求められる視線 PG_s と、角度 ϕ_2 、 θ_2 から求められる視線 PG_s がずれている場合にはそれらを平均したものを最終的な視線ベクトルとして計算することもできる。

[0035] ここで、画像処理装置7が視線方向計算ステップで用いる関数 f_1 には、パラメータとしてゲイン値 k 及び原点補正ベクトル r_0 が含まれている。このゲイン値 k は、上記式(3)を見ても分かるように、角膜反射-瞳孔中心ベクトル r を調整後のベクトル $(r - r_0)$ の大きさと視線方向を示す角度 θ が線形関係にあると仮定して、そのベクトル r から角度 θ を求める時に使用する倍率である。理想的には、角度 θ とベクトル $|r|$ とが線形関係にあれば、ゲイン値 k さえ求めれば角度 θ が計算できるはずである。言い換えれば角度 $\theta = 0$ のとき、つまり対象者Aがカメラを注視したときはベクトル $|r| = 0$ になるはずである。しかしながら、実際には眼球の視軸(視線)と光学軸とは一致せず、角度 $\theta = 0$ のときベクトル $|r| \neq 0$ となる。さらに、対象者Aが変われば角度 $\theta = 0$ のときのベクトル $|r|$ は異なる。

[0036] この現象を、図6及び図7を用いて説明する。図6(c)にはカメラの位

置 O' を含む仮想視点平面上の注視点 T を示しており、図6(a)、(b)、及び図7(a)、(b)は、カメラで取得された画像上で観察されるベクトル r を示している。仮想視点平面上で線分 $O'T$ の長さは、 $|O'T| = |PO'| \tan \theta$ で計算できる。対象者 A がカメラを見ているときは、理想的にはカメラに写る瞳孔中心 P と角膜反射 G の位置は一致する(図6(b))。一方で、注視点 T を見ているときは、角膜反射 G から瞳孔中心 P の位置がずれることになる(図6(a))。このとき、カメラ画像上の角度 ϕ' と仮想視点平面上の角度 ϕ とは $\phi' = \phi$ が成立する。しかしながら、現実には、対象者 A がカメラを見ているときは、カメラ画像中の瞳孔中心 P と角膜反射点 G とは一致しない。例えば、図7(b)に示すように、角膜反射点 G が瞳孔中心 P に対して右下寄りになってしまう。これに対して、図7(a)に示すように、注視点 T を見ているときは、角膜反射 G から瞳孔中心 P の位置がさらにずれることになる。図7(a)、(b)には、対象者 A がカメラを見ているときの瞳孔中心 P を原点とする座標系を点線で示している。この座標系において瞳孔中心 P の位置ベクトル r' を計算すれば、この r' に関しては、図6に示すような理想的な瞳孔中心 P と角膜反射 G との関係が同様に成立すると考えられる。言い換えれば、対象者 A がカメラを見ているときの角膜反射 G を原点としたときの瞳孔中心 P の位置ベクトル r_0 を求める。そして、この位置ベクトル r_0 と、対象者 A が注視点 T を見たときのベクトル r とから、下記式(4)；

$$r' = r - r_0 \quad \dots (4)$$

を用いてベクトル r' が求まる(図7(a))。さらに、求められたベクトル r' を対象にゲイン値 k を適用すれば角度 θ を正しく求めることができ、さらにベクトル r' から角度 ϕ も求めることができる。このベクトル r_0 が原点補正ベクトルである。

[0037] 上述したパラメータ k 、 r_0 は、対象者 A によって異なるために予めパラメータ較正を行って求めておく必要がある。つまり、パラメータ k 、 r_0 は、装置起動後の初期の段階では未定定数であり、正確な視線検出のためには予め

パラメータ較正によって適切な値に決定しておく必要がある。以下、画像処理装置 7 によって注視点検出処理の前に実行されるパラメータ補正の手順について説明する。

[0038] (パラメータ補正手順、未定定数決定ステップ)

図 8 は、図 5 に示す仮想視点球面 S 上に投影された点 O_1 , O_2 , G_S を平面上にさらに投影した図である。同図でベクトルとして示された θ_1 , θ_2 は、それぞれ視線の角度を示している。ここで、ベクトル r_1 , r_2 は対象者が仮想視点球面 S 上の点 G_S の方向を見たときのそれぞれのカメラ 2 a, 2 b で撮影した画像から算出した実寸の角膜反射—瞳孔中心ベクトルであり、対象者 A がカメラ方向の点 O_1 , O_2 , O_1' , O_2' を見たときの角膜反射—瞳孔中心ベクトルを $r_0 = (x_0, y_0)$ とすると、ベクトル r_1 , r_2 の原点補正後のベクトル r_1' , r_2' は、下記式 (5) ;

$$\begin{aligned} r_1' &= r_1 - r_0 \\ r_2' &= r_2 - r_0 \quad \dots (5) \end{aligned}$$

によって表される。さらに式 (3) から、下記式 (6) ;

$$\begin{aligned} \theta_1 &= k |r_1 - r_0| \\ \theta_2 &= k |r_2 - r_0| \quad \dots (6) \end{aligned}$$

の関係も得られる。

[0039] ここで、画像処理装置 7 は、ディスプレイ装置 8 の画面上の座標が既知である 1 点の規定点を対象者 A に注視させると同時に、それに応じてベクトル $r_1 = (x_1, y_1)$ 、及びベクトル $r_2 = (x_2, y_2)$ を検出する。視線の角度 θ_1 , θ_2 は規定点から計算でき、これをベクトル r_1 , r_2 とともに 2 つの関係式を含む上記式 (6) に適用すれば、3 つの未知パラメータ k , x_0 , y_0 が 2 つの関係式に含まれることになる。従って、これらの未知パラメータを求めるには 3 式以上の関係式を立てられれば良いことになる。そこで、画像処理装置 7 は、対象者 A に 1 点の規定点を注視させた際の残りのカメラ 2 c, 2 d のいずれかのカメラの画像を用いて、角膜反射—瞳孔中心ベクトル $r_3 = (x_3, y_3)$ をさらに検出し (図 9)、このベクトル r_3 と角度 θ_3 を下記

式 (7) ;

$$\theta_3 = k |r_3 - r_0| \quad \dots (7)$$

に代入して3つ目の関係式を導く。そして、画像処理装置7は、3式の関係式で連立方程式を立てることにより、パラメータ k , x_0 , y_0 を計算して補正值として記憶させることができる。なお、図1に示すように、注視点検出装置1には4組のカメラ2a, 2b, 2c, 2d及び光源3a, 3b, 3c, 3dが設けられているが、パラメータ補正処理を実現するためには、少なくとも3組が設けられていればよい。

[0040] 上述したようなパラメータ補正処理は、1秒程度の期間内におけるカメラ画像の30フレームを対象に実行され、それぞれのフレームに対して計算されたパラメータを平均した値が補正值として記憶される。

[0041] また、画像処理装置7は、視線方向計算ステップにおいて、式(3)に代わりに、下記式(8) ;

$$\theta = f_2(r) = k |r'| + h |r'|^4 \quad \dots (8)$$

のように、ベクトル $|r'|$ と角度 θ との関係が非線形な関数 f_2 を用いても良い。視線の角度 θ が20度程度までは式(3)のような線形性が成立するが、30度程度になると多くの対象者Aに関して非線形性が強くなる。この場合、画像処理装置7は、未知のパラメータとして4つのパラメータ k , h , x_0 , y_0 を持つことになるので、パラメータ補正処理を実現するために、4式以上の関係式が必要となる。そこで、画像処理装置7は、対象者Aに1点の規定点を注視させた際の4台のカメラ2a, 2b, 2c, 2dのカメラの画像を用いて、ベクトル $r_i = (x_i, y_i)$ ($i = 1 \sim 4$)を検出し、このベクトル r_i と角度 θ_i を上記式(8)に代入して4つの関係式を導く。そして、画像処理装置7は、4式の関係式で連立方程式を立てることにより、4つのパラメータ k , h , x_0 , y_0 を計算して補正值として記憶させることができる。すなわち、この場合にパラメータ補正を行うためには、カメラと光源の組み合わせが少なくとも4組必要ということになる。

[0042] さらに、画像処理装置7は、視線方向計算ステップにおいて、下記式(8)

)に代わりに、 $|r'|$ の2乗、3乗等の他の複数の非線形項を含む式を用いても良いし、非線形項の乗数自体を未定パラメータとして設定してもよい。このような場合も、補正が必要なパラメータ数以上の関係式が導かれるように、注視点検出装置1のカメラの台数が所定数以上に設定される。

[0043] なお、パラメータ補正の際に対象者Aに注視させる規定点に関しては、非線形な関数に対応するためには、各カメラから均等な距離の位置では無く、各カメラからの距離が互いにずれた位置を注視させるようにすることが好ましい。この場合、例えば、ディスプレイ画面の右端等を注視させると、各カメラからの距離が互いにずれるように異なることになり、非線形式のパラメータが正確に求められ、較正精度がより高まる。

[0044] (他のパラメータ補正手順)

また、上記のパラメータ補正手順では、角度 θ_i をスカラー量としてパラメータ補正に用いていたが、下記のように角度 θ_i をベクトルとして扱ってもよい。図10では、図8に示した仮想視点球面Sの平面上への投影図において、角度 θ_i がベクトルとして図示されている。また、図11(a)、(b)には、2台のカメラ2b、2aのカメラ画像上で検出されたベクトル r_i 、 r_i' ($i=1, 2$)を図示している。このように、画像処理装置7によってカメラ画像から直接検出されるのはベクトル r_1 、 r_2 であり、ベクトル r_{10} 、 r_{20} は、それぞれのカメライメージに対応する原点補正ベクトルである。

[0045] 図10及び図11に示す2次元空間のx軸及びy軸を複素平面上の実数軸及び虚数軸に対応させ、虚数単位を「j」で表すとする。原点補正後のベクトル r_1' 、 r_2' の傾き ϕ_1' 、 ϕ_2' と、仮想視点平面上の角度 ϕ_1 、 ϕ_2 との間の関係は、 $\phi_1 = \phi_1'$ 、 $\phi_2 = \phi_2'$ であり、ベクトル θ_1 とベクトル r_1' は平行であり、ベクトル θ_2 とベクトル r_2' は平行であるので、下記式(9)及び下記式(10)；

[数1]

$$r_1' = s\theta_1 = s|\theta_1|e^{j\phi_1'} = |r_1'|e^{j\phi_1'} = |r_1'|(\cos\phi_1' + j\sin\phi_1'),$$

$$r_2' = s\theta_2 = s|\theta_2|e^{j\phi_2'} = |r_2'|e^{j\phi_2'} = |r_2'|(\cos\phi_2' + j\sin\phi_2') \quad \text{ただし、} s > 0 \quad \dots (9)$$

[数2]

$$r_1 = |r_1| e^{j\phi_1} = |r_1| (\cos \phi_1 + j \sin \phi_1) \quad , \quad r_2 = |r_2| e^{j\phi_2} = |r_2| (\cos \phi_2 + j \sin \phi_2) \quad \dots (10)$$

が成り立つ。さらに、原点補正ベクトル r_{10} 、 r_{20} は、下記式 (11) 及び下記式 (12) ;

[数3]

$$\begin{aligned} r_{10} = r_1 - r_1' &= |r_1| (\cos \phi_1 + j \sin \phi_1) - |r_1'| (\cos \phi_1' + j \sin \phi_1') \\ &= |r_1| (\cos \phi_1 + j \sin \phi_1) - s |\theta_1| (\cos \phi_1' + j \sin \phi_1') \quad \dots (11) \end{aligned}$$

[数4]

$$\begin{aligned} r_{20} = r_2 - r_2' &= |r_2| (\cos \phi_2 + j \sin \phi_2) - |r_2'| (\cos \phi_2' + j \sin \phi_2') \\ &= |r_2| (\cos \phi_2 + j \sin \phi_2) - s |\theta_2| (\cos \phi_2' + j \sin \phi_2') \quad \dots (12) \end{aligned}$$

と表される。ここで、原点補正ベクトル r_{10} 、 r_{20} は、2つのカメラでの検出結果において等しいと考えられるので、 $r_{10} = r_{20} = r_0$ の関係より、以下の2つの関係式 (13)、(14) が導かれる。これらの式 (13)、(14) 中における未知パラメータはパラメータ s のみであるので、画像処理装置7は、両方の式からパラメータ s を求めてその平均値を補正值とすることができる。さらに、画像処理装置7は、決定されたパラメータ s を式 (11) に代入することで、原点補正ベクトル r_0 を決定することができる。

[数5]

$$|r_1| \cos \phi_1 - |r_2| \cos \phi_2 = s (|\theta_1| \cos \phi_1' - |\theta_2| \cos \phi_2') \quad \dots (13)$$

[数6]

$$|r_1| \sin \phi_1 - |r_2| \sin \phi_2 = s (|\theta_1| \sin \phi_1' - |\theta_2| \sin \phi_2') \quad \dots (14)$$

[0046] すなわち、上記式 (11), (12) に含まれる実数成分及び虚数成分を考慮した4式の関係式に対して、未知のパラメータは原点補正ベクトル r_0 の2成分とゲイン値 k の逆数であるパラメータ s の3つである。従って、画像処理装置7は、対象者Aに1点の規定点を注視させた際の少なくとも2台のカメラによって得られたカメラ画像を基に、3つのパラメータを計算して補正值として決定することができる。

[0047] ここでも、画像処理装置7は、視線方向計算ステップにおいて、ベクトル $|r_i'|$ と角度 θ_i との関係が非線形な関数を用いても良い。具体的には、式(9)に代わりに、下記式(15)；

$$|r_i'| = s|\theta_i| - t|\theta_i|^4 \quad \dots (15)$$

を用いる。このような非線形関数に基づいて、原点補正ベクトル r_{10} , r_{20} は、下記式(16)及び下記式(17)のように計算される。

[数7]

$$r_{10} = r_1 - r_1' = |r_1|(\cos \phi_{r_1} + j \sin \phi_{r_1}) - (s|\theta_1| - t|\theta_1|^4)(\cos \phi_1' + j \sin \phi_1') \quad \dots (16)$$

[数8]

$$r_{20} = r_2 - r_2' = |r_2|(\cos \phi_{r_2} + j \sin \phi_{r_2}) - (s|\theta_2| - t|\theta_2|^4)(\cos \phi_2' + j \sin \phi_2') \quad \dots (17)$$

上記式(16), (17)に含まれる実数成分及び虚数成分を考慮した4式の関係式に対して、未知のパラメータは原点補正ベクトル r_0 の2成分とパラメータ s , t の4つである。従って、画像処理装置7は、対象者Aに1点の規定点を注視させた際の少なくとも2台のカメラによって得られたカメラ画像を基に、非線形要素も考慮した4つのパラメータを計算して補正值として決定することができる。

[0048] また、画像処理装置7は、上記式(11), (12)を利用した方法に代えて、次のようにしてパラメータを補正することもできる。すなわち、原点

補正ベクトル $r_{10} = r_{20} = r_0$ の関係を用いて、ベクトル θ_i は下記式 (18) で与えられる。

[数9]

$$\begin{aligned} \theta_1 &= kr_1' = k(r_1 - r_0) \\ \theta_2 &= kr_2' = k(r_2 - r_0) \end{aligned} \quad \dots (18)$$

さらに、図10を参照すると、下記式 (19) ;

[数10]

$$\theta_1 - \theta_2 = \overrightarrow{O_1 O_2} \quad \dots (19)$$

が得られる。上記式 (19) の右辺は角 $O_1 P O_2$ をベクトル化して表現したものである。上記式 (18) に含まれる実数成分及び虚数成分を考慮した4式の関係式に対して、未知のパラメータは原点補正ベクトル r_0 の2成分とパラメータ k の3つである。従って、画像処理装置7は、対象者Aに1点の規定点を注視させた際の少なくとも2台のカメラによって得られたカメラ画像を基に、3つのパラメータを計算して補正值として決定することができる。

[0049] 上記のように、様々なパラメータ補正手順により未定定数を正確に決定するためには、未定定数の数を M としたときに、カメラの台数を少なくとも $M \times 1 / 2$ (端数は切り上げ) 以上であることが必要であることがわかる。

[0050] 以上説明した注視点検出装置1及び注視点検出装置1を用いた注視点検出方法によれば、4台のカメラ2a, 2b, 2c, 2d及びその開口部外側の光源3a, 3b, 3c, 3dによって対象者Aの顔画像が生成され、それぞれの顔画像を基に対象者の角膜反射点から瞳孔中心までのベクトル r_i ($i = 1 \sim 4$) が4台のカメラ2a, 2b, 2c, 2dごとに対応して計算され、それぞれのベクトル r_i を関数に適用することによって、対象者Aの視線の基準線に対する角度 θ_i が4台のカメラごとに対応して計算される。さらに、このようにして計算されたそれぞれの角度 θ_i を基に未知パラメータの個数以上

の関係式が導かれ、それらの関係式を用いて上記関数に含まれるパラメータが補正される。そして、補正された関数を用いて対象者Aの顔画像から視線の方向及び注視点Qが検出される。これにより、対象者Aに複数の規定点を注視させることなく、また、対象者にカメラの開口部を注視させることもなく、視線方向を算出するための関数に関する自動補正が高精度に実行される。その結果、対象者の負担が軽減されるとともに、高速かつ高精度の注視点検出が可能になる。

また、上記関数が原点補正ベクトル r_0 も含めて補正されるので、その結果ゲイン値 k も正確に求められ、視点を検出するディスプレイ画面の全体にわたって視線の角度 θ_i をより正確に計算することができる。

[0051] 例えば、関数 f_1 に含まれるパラメータ k 、 r_0 を、対象者Aにカメラの開口部を含む複数の規定点を注視させることによって補正することも考えられる。しかしながら、その場合は対象者Aが2点以上を注意深く固視する必要があるため対象者Aにとって負担となる。また、複数の規定点を順番に見させる必要があるため、対象者Aに対する指示が困難であったり、実際に対象者がどの規定点を見ているか判断しにくかったりするため、パラメータ較正が不正確になる。また、カメラの開口部を見させることは実際上困難であり、その結果パラメータ r_0 の補正值が正確に得られないことが考えられる。そうすると、ゲイン値 k の補正值の誤差も大きくなり、実際に対象者Aが注視している点と検出される注視点位置とのずれ（注視点検出誤差）が指標位置によって変化してくるため、その後の再補正も困難となる。これに対して、本実施形態では、1点の規定点のみを見させれば足るため、対象者Aの負担が軽くなるとともに、規定点としてカメラの開口部を見させる必要も無いため、注視点検出誤差もディスプレイ画面全体にわたって小さくなる。

[0052] また、本実施形態の注視点検出装置1及び注視点検出方法は、被験者が相対する人の眼やディスプレイ等に映った人の眼を見ている時間と他所を見ている時間の比率の差を判断することにより被験者の自閉症診断を支援するシステムにも適用できる。

[0053] なお、本発明は、前述した実施形態に限定されるものではない。例えば、本発明の注視点検出方法においては、パラメータ補正手順として他の様々な変形態様を採用することができる。例えば、画像処理装置7は、以下のようなパラメータ較正手順によって、対象者Aに予め指定された規定点を見させることなく、対象者が適当な位置を見ている間にパラメータ較正を完了させることもできる。

[0054] 図12には、このときのパラメータ較正手順を説明するための対象者Aの左右の瞳孔とディスプレイ装置8の画面上の注視点Qとの位置関係を示す図である。同図において、 P_L と P_R は、それぞれ、左瞳孔と右瞳孔の中心座標を表し、注視点Qは、対象者Aの両目が共通に見ている点であるとする。つまり、直線 P_LQ と直線 P_RQ は、左右それぞれの目の視軸を表している。また、それぞれの直線 P_LQ 、 P_RQ 上の点 $G_1'^L$ 、 $G_2'^L$ と $G_1'^R$ 、 $G_2'^R$ は、カメラ2b、2aの位置 O_1' 、 O_2' を含む2つの仮想視点平面とその直線との交点を表している。対象者Aの左右の眼球に対応して検出された視線の角度 θ をそれぞれ θ_1^L 、 θ_1^R 、 θ_2^L 、 θ_2^R とし、左右の眼球に対応するゲイン値 k および原点補正ベクトル r_0 を、 k_L 、 k_R および r_0^L 、 r_0^R とする。

[0055] この場合、画像処理装置7は、下記式(20)；

[数11]

$$\theta_1^R = k_R |r_1'^R| = k_R |r_1^R \cdot r_0^R| \quad \dots (20)$$

を用いて角度 θ_1^R を計算することができる。また、角度 θ_1^R はベクトル P_RQ とベクトル P_RO_1' の内積を用いて、下記式(21)；

[数12]

$$\cos \theta_1^R = \frac{(\vec{P_RQ}, \vec{P_RO_1'})}{\left| \vec{P_RQ} \right| \left| \vec{P_RO_1'} \right|} \quad \dots (21)$$

の関係も導かれ、これらの式 (20) , (21) から、下記式 (22) ;

[数13]

$$\cos (k_R | r_1^R \cdot r_0^R |) = \frac{(\vec{P_R Q}, \vec{P_R O'_1})}{|\vec{P_R Q}| |\vec{P_R O'_1}|} \quad \dots (22)$$

の関係も導くことができる。同様にして、角度 θ_{1^L} , θ_{2^R} , θ_{2^L} に関しても、下記式 (23) ~ (25) が導かれる。

[数14]

$$\cos (k_R | r_2^R \cdot r_0^R |) = \frac{(\vec{P_R Q}, \vec{P_R O'_2})}{|\vec{P_R Q}| |\vec{P_R O'_2}|} \quad \dots (23)$$

[数15]

$$\cos (k_L | r_1^L \cdot r_0^L |) = \frac{(\vec{P_L Q}, \vec{P_L O'_1})}{|\vec{P_L Q}| |\vec{P_L O'_1}|} \quad \dots (24)$$

[数16]

$$\cos (k_L | r_2^L \cdot r_0^L |) = \frac{(\vec{P_L Q}, \vec{P_L O'_2})}{|\vec{P_L Q}| |\vec{P_L O'_2}|} \quad \dots (25)$$

[0056] そこで、2台のカメラによって得られたカメラ画像を基に、4つの関係式を導くことができ、それらには k_L , k_R , $r_0^L = (x_0^L, y_0^L)$, $r_0^R = (x_0^R, y_0^R)$ 、及び注視点Qの2次元座標の8つの未知パラメータが含まれることになる。従って、画像処理装置7は、対象者Aの左右の目の視線のディスプレイ画面上の交点Qが一致するという拘束条件を用いて、4台のカメラ2a, 2b, 2c, 2dによって得られたカメラ画像を基に8つの関係式

を導き、これらを基にパラメータを計算して補正值として決定することができる。この場合も、パラメータ補正手順により未定定数を正確に決定するために、カメラの台数が $8 \times 1 / 2 = 4$ 台以上に設定されている。

[0057] また、画像処理装置 7 は、角度 θ_1^L , θ_1^R をベクトルとして扱うことによって導かれる関係式を用いて、パラメータ補正を実行することも可能である。詳細には、 r_1^R と θ_1^R との関係に関しては、 $s_R = 1 / k_R$, $s_L = 1 / k_L$ とおくと、下記式 (26) ;

[数17]

$$r_1^R = s_R \theta_1^R = s_R |\theta_1^R| e^{j\phi_1^R} = |r_1^R| (\cos \phi_1^R + j \sin \phi_1^R) \quad \dots (26)$$

が導かれ、同様に下記式 (27) も導かれる。

[数18]

$$\begin{aligned} r_2^R &= s_R \theta_2^R = s_R |\theta_2^R| e^{j\phi_2^R} = |r_2^R| (\cos \phi_2^R + j \sin \phi_2^R), \\ r_1^L &= s_L \theta_1^L = s_L |\theta_1^L| e^{j\phi_1^L} = |r_1^L| (\cos \phi_1^L + j \sin \phi_1^L), \\ r_2^L &= s_L \theta_2^L = s_L |\theta_2^L| e^{j\phi_2^L} = |r_2^L| (\cos \phi_2^L + j \sin \phi_2^L) \quad \dots (27) \end{aligned}$$

さらに、原点補正ベクトルに関して下記式 (28) ;

[数19]

$$\begin{aligned} r_{10}^R &= r_1^R - r_1^R = |r_1^R| (\cos \phi_1^R + j \sin \phi_1^R) - s_R |\theta_1^R| (\cos \phi_1^R + j \sin \phi_1^R) \\ r_{20}^R &= r_2^R - r_2^R = |r_2^R| (\cos \phi_2^R + j \sin \phi_2^R) - s_R |\theta_2^R| (\cos \phi_2^R + j \sin \phi_2^R) \\ r_{10}^L &= r_1^L - r_1^L = |r_1^L| (\cos \phi_1^L + j \sin \phi_1^L) - s_L |\theta_1^L| (\cos \phi_1^L + j \sin \phi_1^L) \\ r_{20}^L &= r_2^L - r_2^L = |r_2^L| (\cos \phi_2^L + j \sin \phi_2^L) - s_L |\theta_2^L| (\cos \phi_2^L + j \sin \phi_2^L) \quad \dots (28) \end{aligned}$$

も成立する。上記式 (28) に含まれる実数成分及び虚数成分を考慮した 8 式の関係式に対して、未知のパラメータは 2 つの原点補正ベクトル r_0^R , r_0^L

Lの4成分とゲイン値kの逆数であるパラメータ s_R 、 s_L 、及び注視点Qの2次元座標の合計8つである。従って、画像処理装置7は、少なくとも2台のカメラによって得られたカメラ画像を基に、8つのパラメータを計算して補正值として決定することができる。また、画像処理装置7は、ベクトル $|r_i$ と角度 θ_i との関係が非線形な関数を用いても良く、その場合は式(15)～(17)と同様な関係式を使用すれば、未定のパラメータを2つ増やしてもカメラを3台使用すればパラメータ補正を行うことができる。

[0058] また、カメラ2a、2b、2c、2dとしては、CCDカメラ、CMOSカメラ等のデジタルカメラを用いてもよい。

[0059] 上記の側面に係る発明では、視線方向計算ステップでは、未定定数として係数k及びベクトル r_0 を含む下記式(2)；

$$\theta = k |r - r_0| \quad \dots (2)$$

を用いて角度 θ を計算し、未定定数決定ステップでは、係数k及びベクトル r_0 を決定する、ことができる。この場合、関数fが原点補正も含めて決定されるので、その結果係数kも正確に求められ、視点を検出する面全体にわたって視線の角度 θ をより正確に計算することができる。

[0060] また、視線方向計算ステップでは、N台のカメラの顔画像上におけるベクトル r_0 による補正後のベクトルrの傾き ϕ をさらに計算し、未定定数決定ステップでは、傾き ϕ 及び角度 θ を少なくとも基にして導かれた複数の関係式を用いて、M個の未定定数を決定する、こともできる。この場合、関数fが視線のカメラの画像面に沿った角度を基に補正されるので、補正後の視線の方向の計算の精度が維持されるとともに、カメラの台数を削減しつつ視線計算の較正が実現される。

[0061] また、視線方向計算ステップでは、対象者に所定面上の規定点を注視させた際のN台のカメラに対応する角度 θ を計算し、未定定数決定ステップでは、規定点の位置及び角度 θ を基に、M個の未定定数を決定する、こともできる。こうすれば、所定画面上の1点の規定点を注視させることでM個の未定定数が決定可能にされるので、較正処理時の対象者に対する負担を軽減する

ことができるとともに、即座に注視点検出が実行される。

- [0062] さらに、ベクトル計算ステップでは、N台のカメラによるそれぞれの顔画像に基づいて、対象者の左右の目それぞれの角膜反射点から瞳孔までのベクトル r_R , r_L を計算し、視線方向計算ステップでは、N台のカメラに対応するそれぞれのベクトル r_R , r_L を基に、N台のカメラに関する基準線それぞれに対する対象者の左右の目それぞれの視線の角度 θ_R , θ_L を、関数 f を用いて計算し、未定定数決定ステップでは、N台のカメラに対応する角度 θ_R , θ_L を基に、左右の目の視線と所定面との交点が一致するという条件を用いて、M個の未定定数を決定する、こともできる。このような構成を採れば、対象者に規定点を注視させることなく自動的に関数 f の補正処理が実施可能にされ、較正処理時の対象者に対する負担をより一層軽減することができる。

産業上の利用可能性

- [0063] 本発明は、対象者の画像に基づいて所定平面上の対象者の注視点を検出する注視点検出方法及び注視点検出装置を使用用途とし、被験者に対する負担を低減しつつ高速かつ高精度の注視点検出を実現できるものである。

符号の説明

- [0064] 1…注視点検出装置、2 a, 2 b, 2 c, 2 d…カメラ、3 a, 3 b, 3 c, 3 d…光源、4…発光回路（制御回路）、5…同期信号発生器（制御回路）、6…遅延回路（制御回路）、7…画像処理装置（画像処理部）8…ディスプレイ装置、9 a, 9 b, 9 c, 9 d…開口部、A…対象者、G…角膜反射点、P…瞳孔中心、Q…注視点、 r , r_1 , r_2 …ベクトル、 r_0 , r_{10} , r_{20} …原点補正ベクトル。

請求の範囲

[請求項1]

N台（Nは2以上の自然数）のカメラ及び複数の光源を用いて、対象者の顔画像を生成する顔画像生成ステップと、

前記N台のカメラによるそれぞれの顔画像に基づいて、前記光源からの光の前記対象者の角膜上の反射点である角膜反射点から瞳孔中心までの実距離を表すベクトル r を計算するベクトル計算ステップと、

前記N台のカメラに対応するそれぞれの前記ベクトル r を基に、前記N台のカメラと前記瞳孔中心とを結ぶ基準線それぞれに対する前記対象者の視線の角度 θ を、関数 f を用いて、少なくとも前記ベクトル r のオフセットベクトルであるベクトル r_0 を含むM個の未定定数（Mは3以上の自然数）を含む下記式（1）；

$$\theta = f(|r - r_0|) \quad \dots (1)$$

によって計算する視線方向計算ステップと、

前記N台のカメラに対応して計算された前記角度 θ を少なくとも基にして導かれた複数の関係式を用いて、前記関数 f に含まれる前記M個の未定定数を決定する未定定数決定ステップと、

前記未定定数決定ステップによって決定された前記M個の未定定数を用いて前記視線方向計算ステップによって計算された前記視線の方向に基づき、前記対象者の注視点を検出する注視点検出ステップと、を備え、

前記カメラの台数Nは、 $M \times 1 / 2$ 個以上に設定されている、ことを特徴とする注視点検出方法。

[請求項2]

前記視線方向計算ステップでは、前記未定定数として係数 k 及び前記ベクトル r_0 を含む下記式（2）；

$$\theta = k |r - r_0| \quad \dots (2)$$

を用いて前記角度 θ を計算し、

前記未定定数決定ステップでは、前記係数 k 及び前記ベクトル r_0 を決定する、

ことを特徴とする請求項1記載の注視点検出方法。

[請求項3] 前記視線方向計算ステップでは、前記N台のカメラの前記顔画像上における前記ベクトル r_0 による補正後の前記ベクトル r の傾き ϕ をさらに計算し、

前記未定定数決定ステップでは、前記傾き ϕ 及び前記角度 θ を少なくとも基にして導かれた複数の関係式を用いて、前記M個の未定定数を決定する、

ことを特徴とする請求項1又は2記載の注視点検出方法。

[請求項4] 前記視線方向計算ステップでは、前記対象者に所定面上の規定点を注視させた際の前記N台のカメラに対応する前記角度 θ を計算し、

前記未定定数決定ステップでは、前記規定点の位置及び前記角度 θ を基に、前記M個の未定定数を決定する、

ことを特徴とする請求項1～3のいずれか1項に記載の注視点検出方法。

[請求項5] 前記ベクトル計算ステップでは、前記N台のカメラによるそれぞれの顔画像に基づいて、前記対象者の左右の目それぞれの前記角膜反射点から前記瞳孔中心までのベクトル r_R , r_L を計算し、

前記視線方向計算ステップでは、前記N台のカメラに対応するそれぞれの前記ベクトル r_R , r_L を基に、前記N台のカメラに関する前記基準線それぞれに対する前記対象者の左右の目それぞれの視線の角度 θ_R , θ_L を、前記関数 f を用いて計算し、

前記未定定数決定ステップでは、前記N台のカメラに対応する前記角度 θ_R , θ_L を基に、前記左右の目の視線と所定面との交点が一致するという条件を用いて、前記M個の未定定数を決定する、

ことを特徴とする請求項1～3のいずれか1項に記載の注視点検出方法。

[請求項6] 対象者の顔画像に基づいて、該対象者の注視点を検出する注視点検出装置であって、

前記対象者の顔画像を取得するN台のカメラと、
複数の光源と、
前記カメラ及び光源を制御する制御回路と、
前記N台のカメラから出力された画像信号を処理する画像処理部と
を備え、

前記画像処理部は、
前記N台のカメラによるそれぞれの顔画像に基づいて、前記光源からの光の前記対象者の角膜上の反射点である角膜反射点から瞳孔中心までの実距離を表すベクトル r を計算し、前記N台のカメラに対応するそれぞれの前記ベクトル r を基に、前記N台のカメラと前記瞳孔中心とを結ぶ基準線それぞれに対する前記対象者の視線の角度 θ を、関数 f を用いて、少なくとも前記ベクトル r のオフセットベクトルであるベクトル r_0 を含むM個の未定定数（Mは3以上の自然数）を含む下記式（1）；

$$\theta = f(|r - r_0|) \quad \dots (1)$$

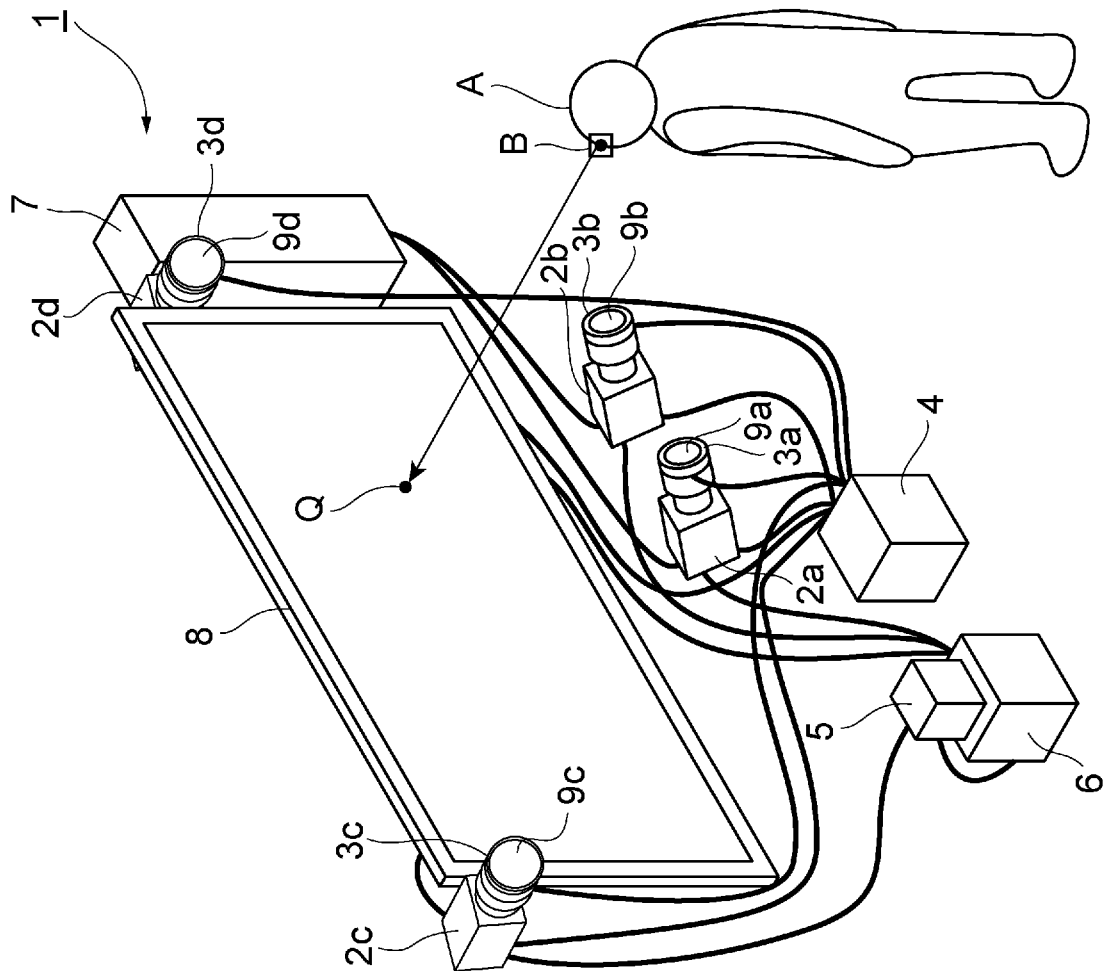
によって計算し、

前記N台のカメラに対応して計算された前記角度 θ を少なくとも基にして導かれた複数の関係式を用いて、前記関数 f に含まれる前記M個の未定定数を決定し、

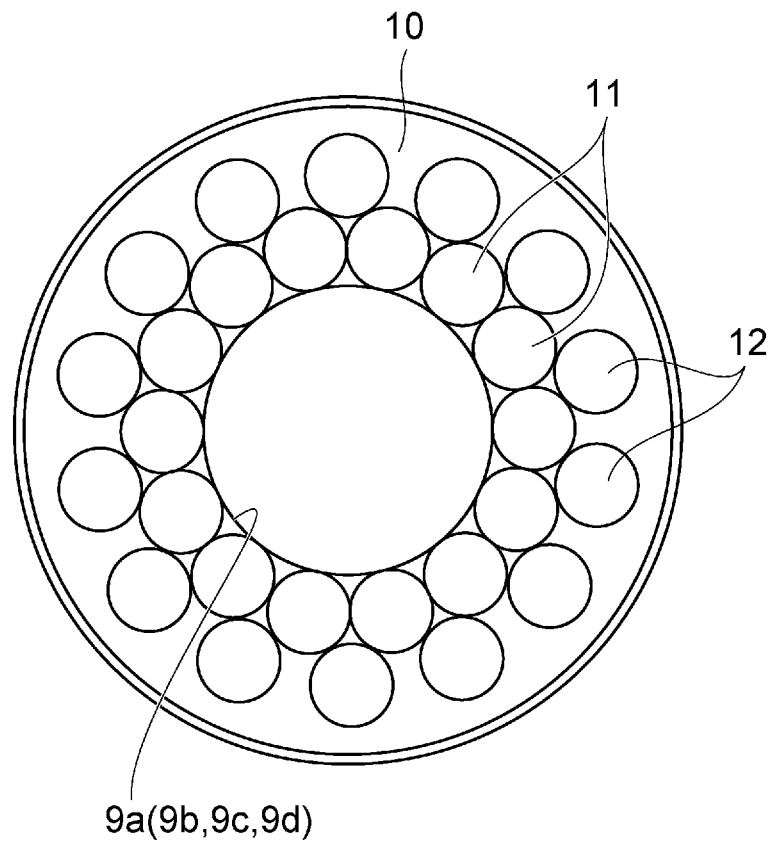
当該決定された前記M個の未定定数を用いて上記式（1）によって計算された前記視線の方向に基づき、前記対象者の注視点を検出し、

前記カメラの台数Nは、 $M \times 1 / 2$ 個以上に設定されている、
ことを特徴とする注視点検出装置。

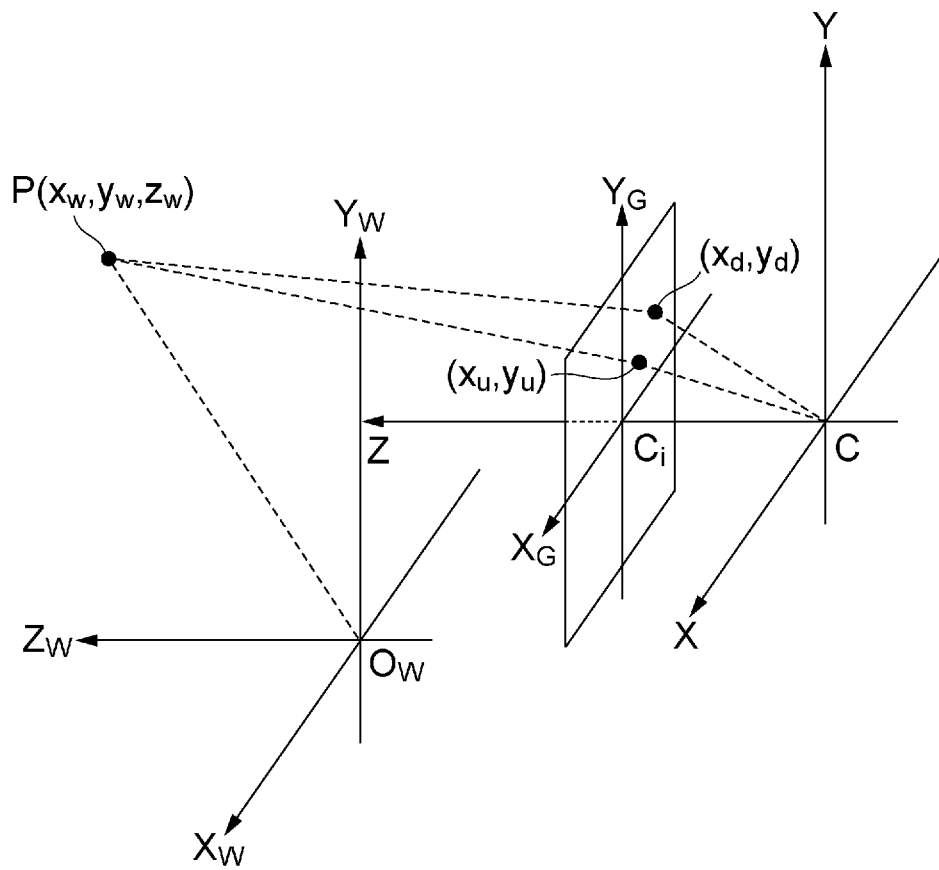
[図1]



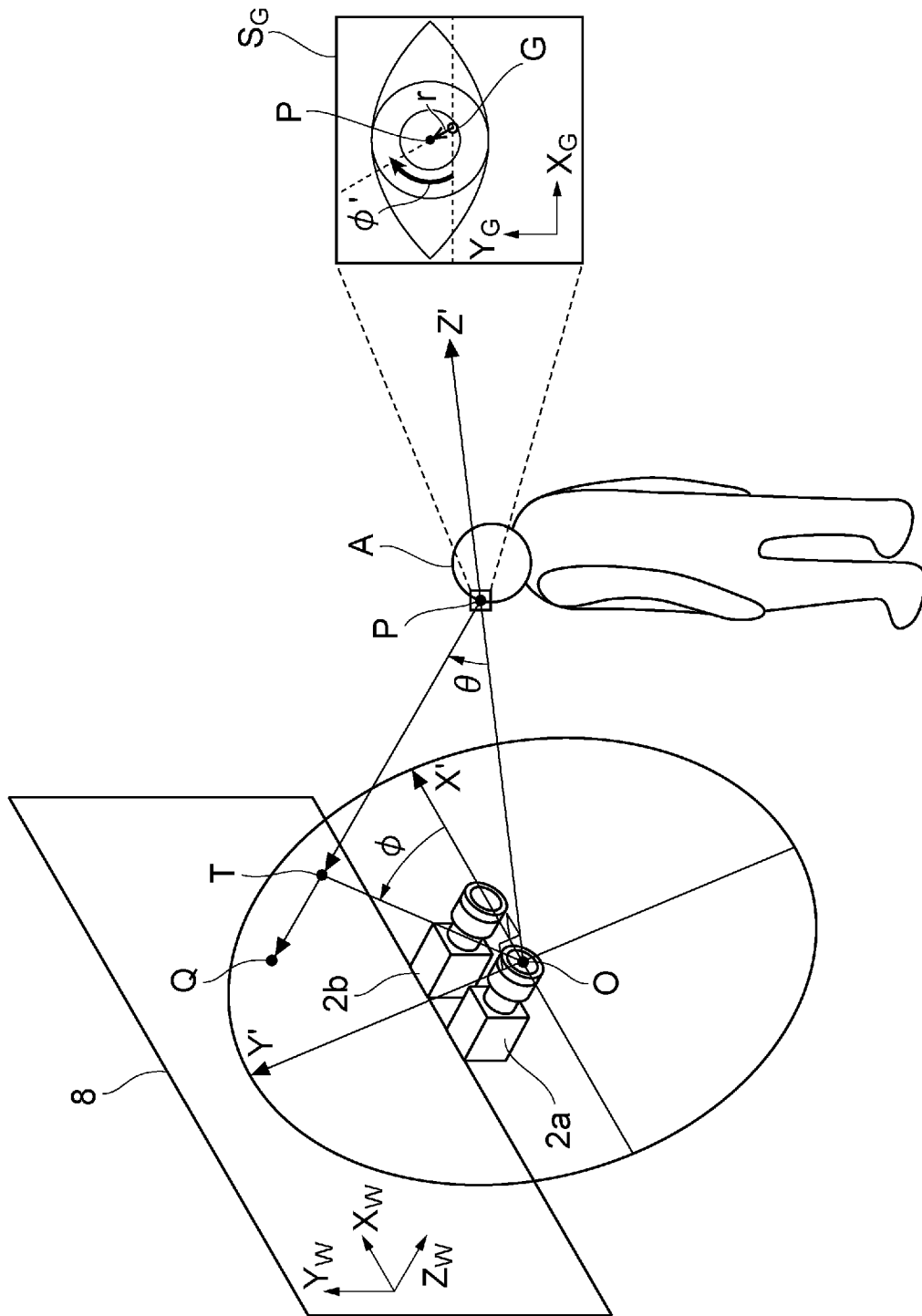
[図2]



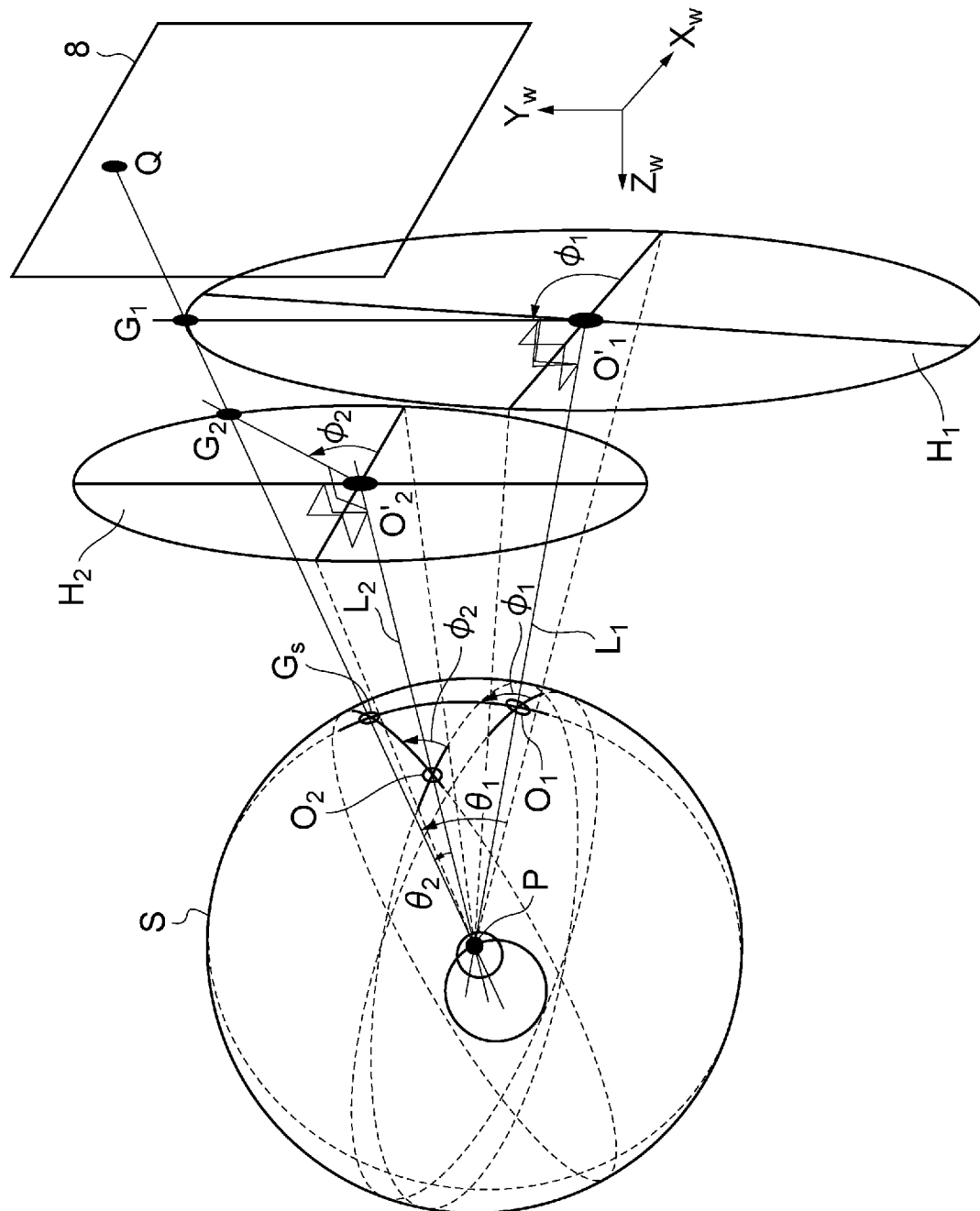
[図3]



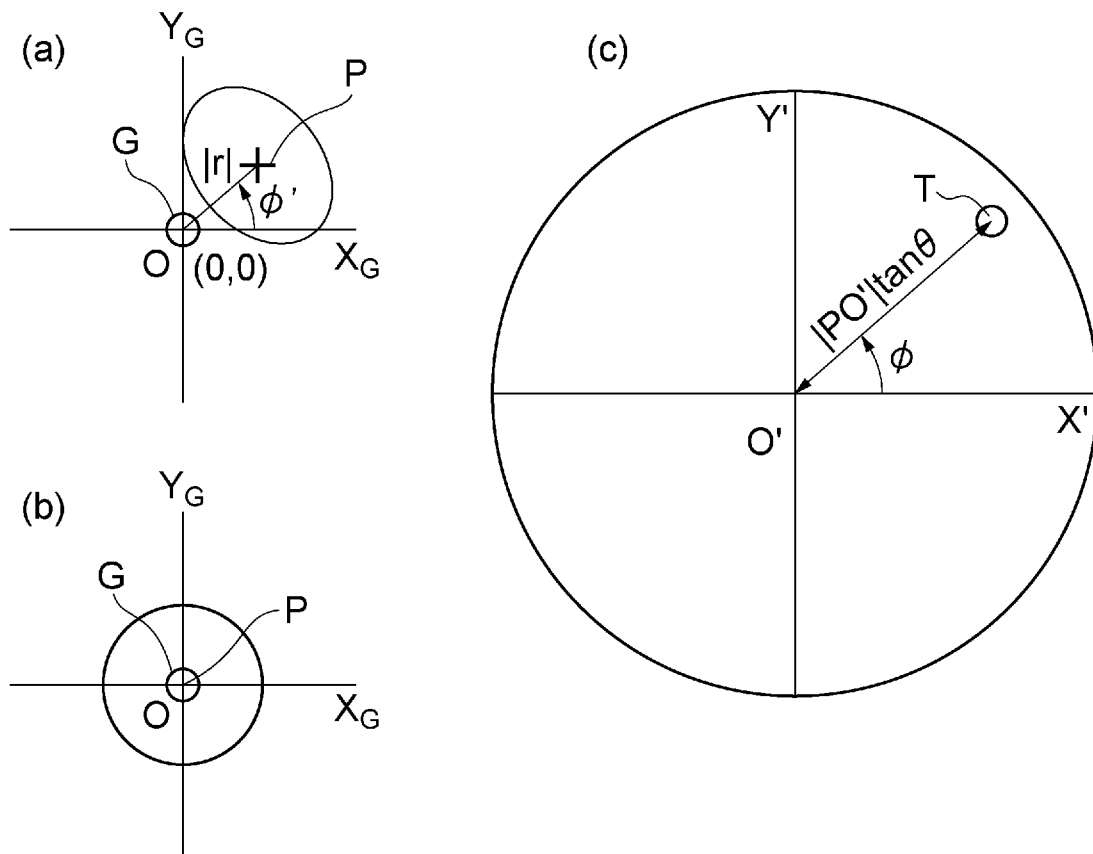
[図4]



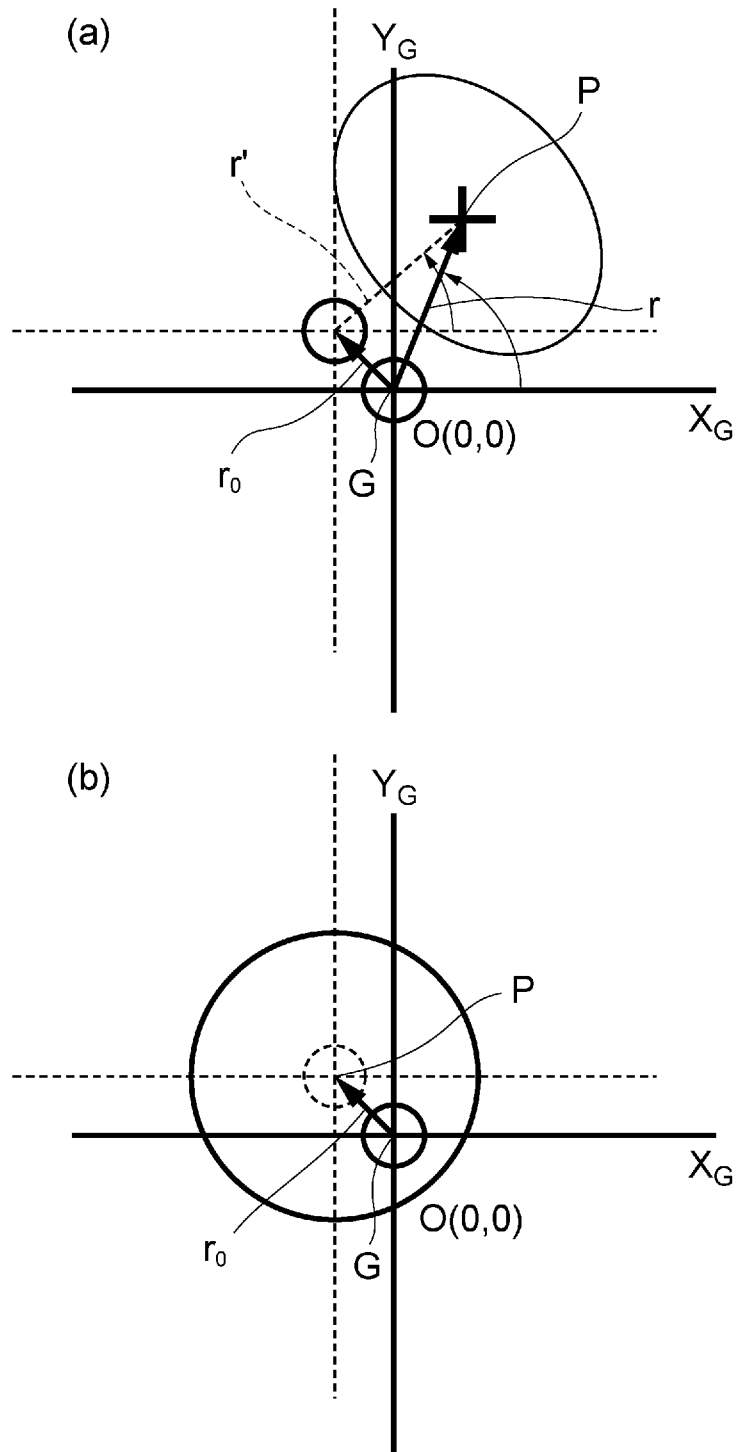
[図5]



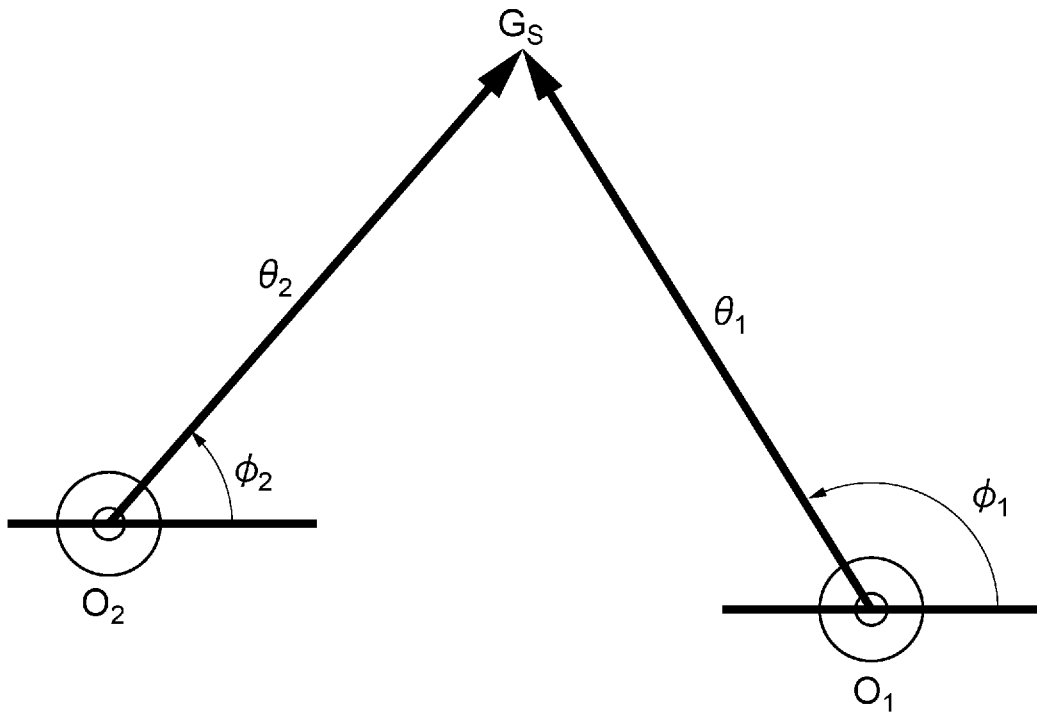
[圖6]



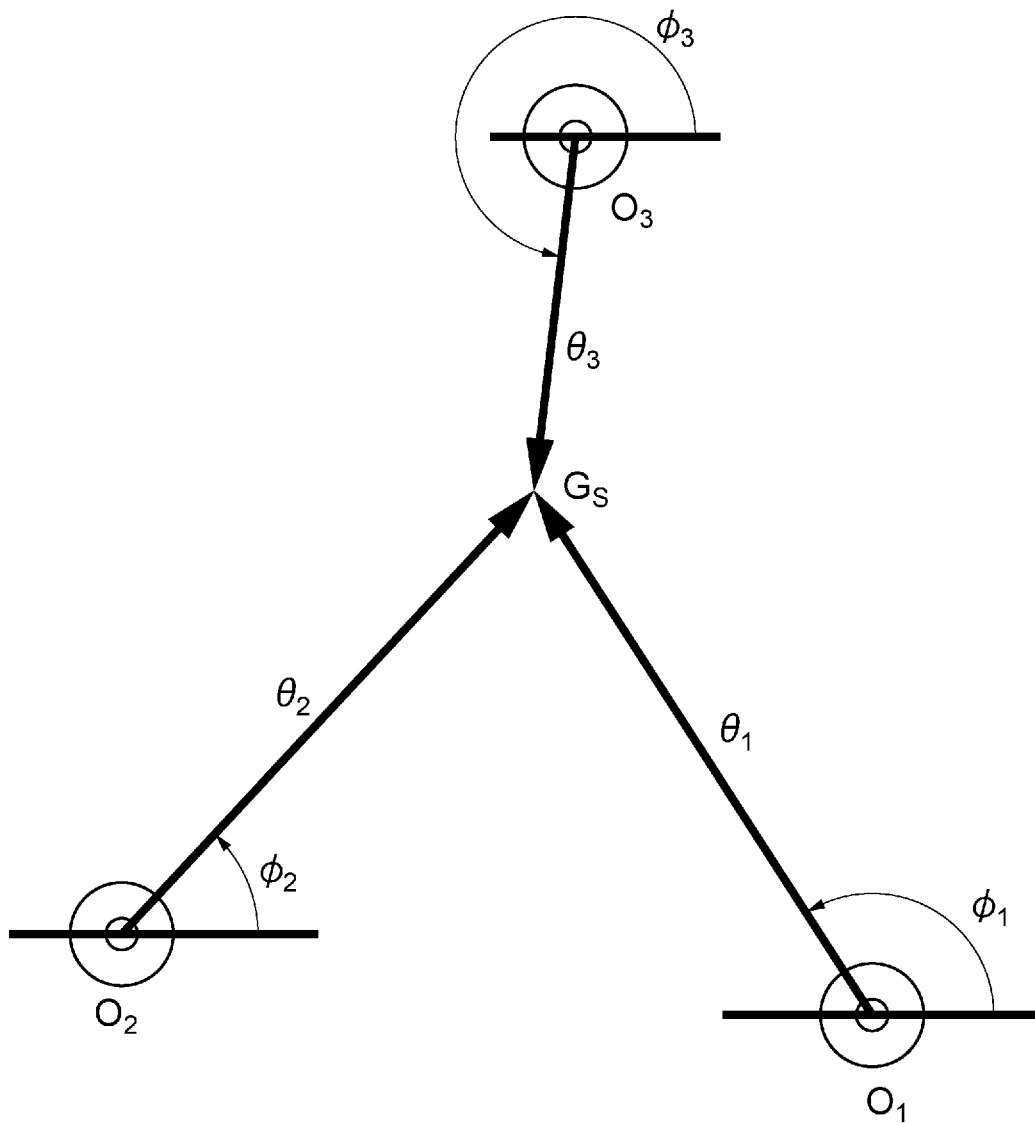
[図7]



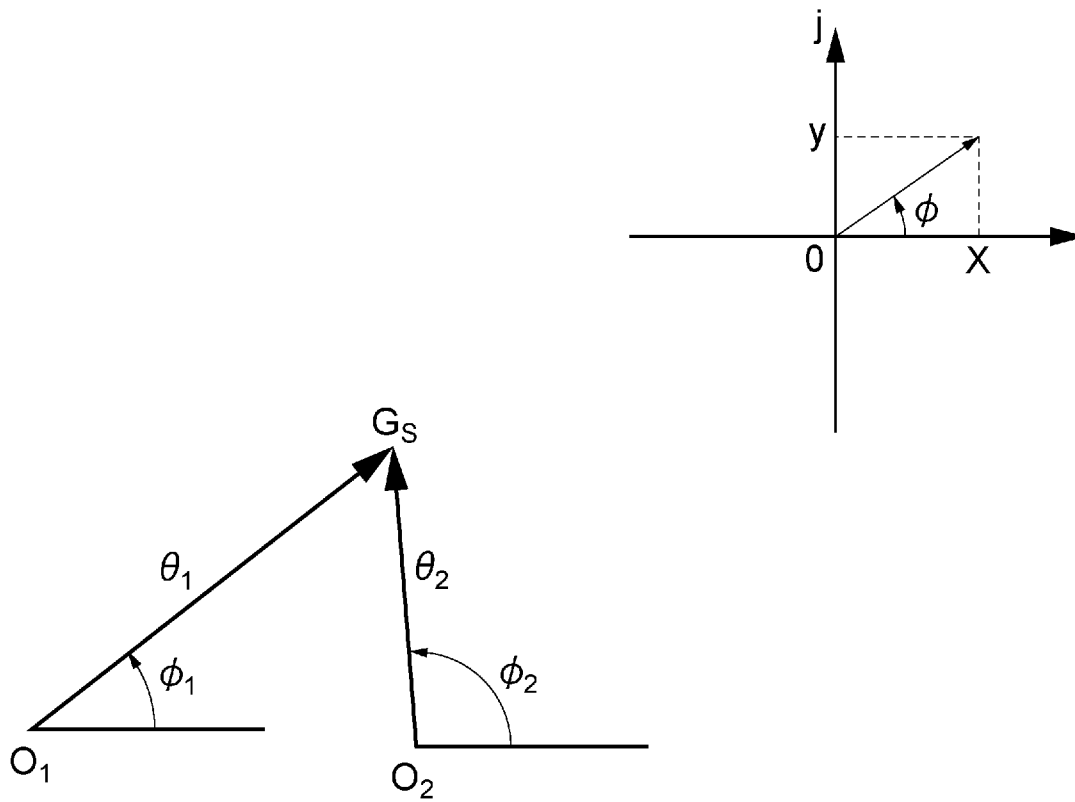
[圖8]



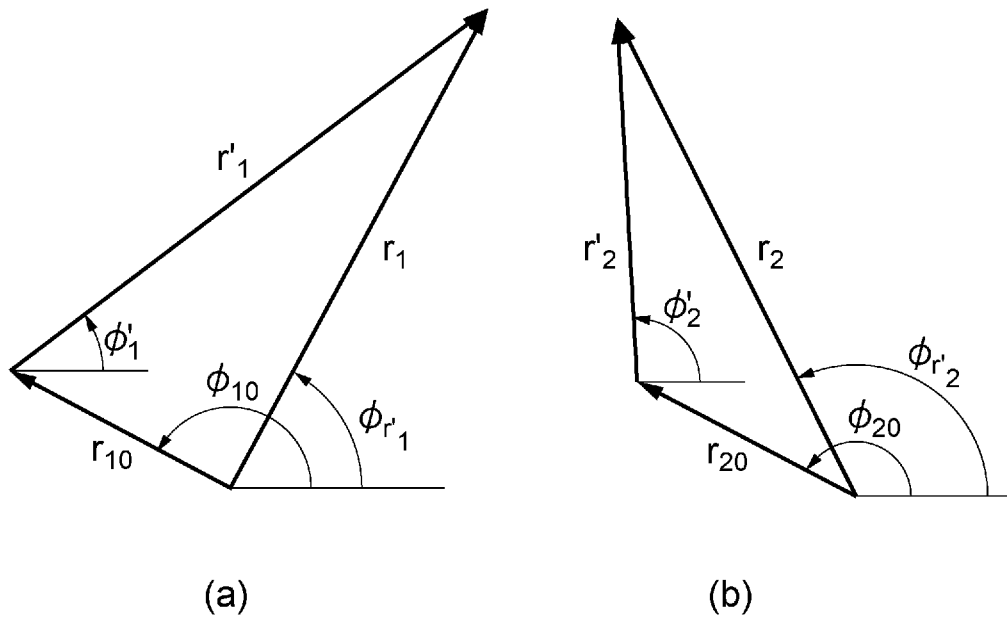
[図9]



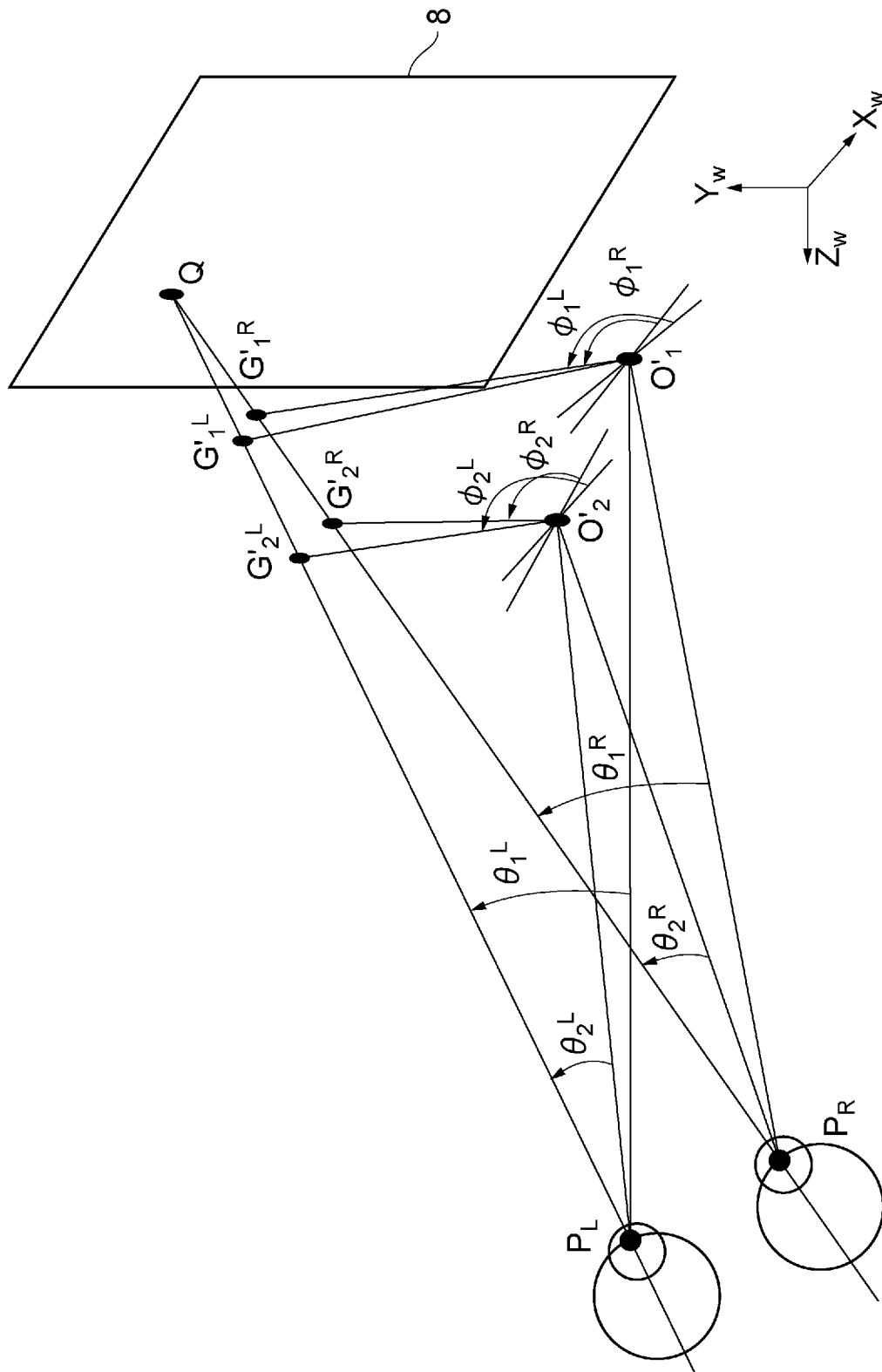
[図10]



[図11]



[図12]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2011/078302

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

A61B3/113 (2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

A61B3/113

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2012
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2012	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2012

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

JSTPlus/JMEDPlus/JST7580 (JDreamII)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2005-185431 A (National University Corporation Shizuoka University), 14 July 2005 (14.07.2005), paragraphs [0015], [0016], [0021]; fig. 4, 5 & US 2007/0279590 A1 & WO 2005/063114 A1	1-6
A	JP 2008-029702 A (National University Corporation Shizuoka University), 14 February 2008 (14.02.2008), entire text; all drawings (Family: none)	1-6
A	WO 2007/113975 A1 (National University Corporation Shizuoka University), 11 October 2007 (11.10.2007), entire text; all drawings (Family: none)	1-6

 Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
02 March, 2012 (02.03.12)Date of mailing of the international search report
13 March, 2012 (13.03.12)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2011/078302

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2005-230049 A (National University Corporation Shizuoka University), 02 September 2005 (02.09.2005), entire text; all drawings & US 2007/0014552 A1 & WO 2005/077258 A1 & DE 112005000393 T	1-6
A	JP 2005-198743 A (National University Corporation Shizuoka University), 28 July 2005 (28.07.2005), entire text; all drawings & US 2007/0279590 A1	1-6
A	JP 2009-297323 A (Kobe University), 24 December 2009 (24.12.2009), entire text; all drawings (Family: none)	1-6

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. A61B3/113(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. A61B3/113

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2012年
日本国実用新案登録公報	1996-2012年
日本国登録実用新案公報	1994-2012年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

JSTPlus/JMEDPlus/JST7580(JDreamII)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2005-185431 A (国立大学法人静岡大学) 2005. 07. 14, 段落 0015, 0016, 0021, 第 4, 5 図 & US 2007/0279590 A1 & WO 2005/063114 A1	1-6
A	JP 2008-029702 A (国立大学法人静岡大学) 2008. 02. 14, 全文、全図 (ファミリーなし)	1-6
A	WO 2007/113975 A1 (国立大学法人静岡大学) 2007. 10. 11, 全文、全図 (ファミリーなし)	1-6

C 欄の続きにも文献が列挙されている。

パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
 「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
 「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
 「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
 「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献
 「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
 「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
 「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
 「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

02.03.2012

国際調査報告の発送日

13.03.2012

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)
 郵便番号100-8915
 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

島田 保

2Q

4004

電話番号 03-3581-1101 内線 3292

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2005-230049 A (国立大学法人静岡大学) 2005.09.02, 全文、全 図 & US 2007/0014552 A1 & WO 2005/077258 A1 & DE 112005000393 T	1-6
A	JP 2005-198743 A (国立大学法人静岡大学) 2005.07.28, 全文、全 図 & US 2007/0279590 A1	1-6
A	JP 2009-297323 A (国立大学法人神戸大学) 2009.12.24, 全文、全図 (ファミリーなし)	1-6