(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
2020年2月6日(06.02.2020)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2020/027129 A1

(51) 国際特許分類:
A61B 3/113 (2006.01)

(21) 国際出願番号： PCT/JP2019/029828

(22) 国際出願日： 2019年7月30日(30.07.2019)

(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 2018-143754 2018年7月31日(31.07.2018) JP

(71) 出願人: 株式会社デンソー (**DENSO CORPORATION**) [JP/JP]; 〒4488661 愛知県刈谷市昭和町１丁目１番地 Aichi (JP).

(72) 発明者: 小川 要(**OGAWA, Kaname**); 〒4488661 愛知県刈谷市昭和町１丁目１番地 株式会社デンソー内 Aichi (JP).

(74) 代理人: 名古屋国際特許業務法人 (**NAGOYA INTERNATIONAL PATENT FIRM**); 〒4600003 愛知県名古屋市中区錦一丁目２０番１９号 名神ビル Aichi (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, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY,

(54) **Title:** PUPIL ESTIMATION DEVICE AND PUPIL ESTIMATION METHOD

(54) 発明の名称： 瞳孔推定装置および瞳孔推定方法

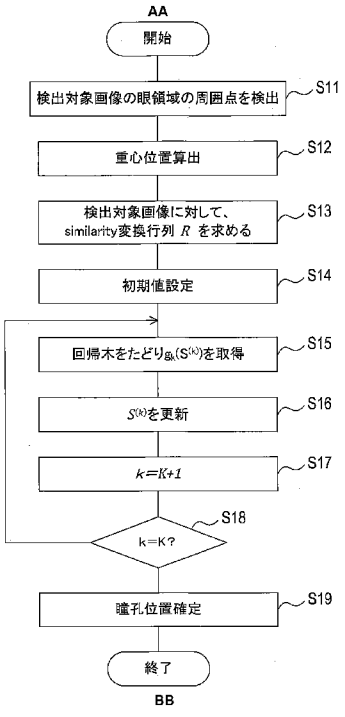


FIG.6

FIG. 6:
S11 Detect peripheral points of eye region of target image
S12 Calculate centroid position
S13 Determine similarity conversion matrix R for target image
S14 Set initial value
S15 Acquire gk(S(K)) from regression tree
S16 Update S(K)
S17 k = K+1
S18 k = K?
S19 Determine pupil position
AA Start
BB End

(57) **Abstract:** This pupil estimation device (12) is a device for estimating a pupil central position from a captured image. A peripheral point detection unit (21, S11) detects a plurality of peripheral points representing the outer edge of the eye from the captured image. The position calculation unit (21, S12) calculates a reference point using the plurality of peripheral points. A first computation unit (21, S13 – S18) calculates a difference vector representing the difference between the pupil central position and the reference position using a regression function on the basis of the reference position and the

WO 2020/027129 A1

[続葉有]

MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, 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, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, 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, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

一 国際調査報告(条約第21条(3))

brightness of a predetermined region of the captured image. A second computation unit (21, S19) calculates the pupil central position by adding the calculated difference vector to the reference position.

(57) 要約:瞳孔推定装置(１２)は、撮影画像から瞳孔中心位置を推定する装置である。周囲点検出部(２１、Ｓ１１)は、撮影画像から眼の外縁を示す複数の周囲点を検出する。位置算出部(２１、Ｓ１２)は、複数の前記周囲点を用いて、基準位置を算出する。第１演算部(２１、Ｓ１３－Ｓ１８)は、基準位置、及び、撮影画像の所定領域の輝度を用いて、瞳孔中心位置と前記基準位置との差を表す差分ベクトルを、回帰関数を用いて算出する。第２演算部(２１、Ｓ１９)は、算出された前記差分ベクトルを、基準位置に加算することで瞳孔中心位置を算出する。

明　細　書

発明の名称 ： 瞳孔推定装置および瞳孔推定方法

関連出願の相互参照

[0001] 本国際出願は、２０１８年７月３１日に日本国特許庁に出願された日本国特許出願第２０１８－１４３７５４号に基づく優先権を主張するものであり、日本国特許出願第２０１８－１４３７５４号の全内容を本国際出願に参照により援用する。

技術分野

[0002] 本開示は、撮影された画像から瞳孔の中心の位置を推定する技術に関する。

背景技術

[0003] 画像に含まれる特定オブジェクトを検出する方法が検討されている。下記非特許文献１には、機械学習を用いて実現する方法が開示されている。また下記非特許文献２には、ランダムフォレストやブースティングされた木構造を使う方法が開示されている。

先行技術文献

非特許文献

[0004] 非特許文献1：Paul Viola, and Michael Jones, Rapid object detection using a boosted cascade of simple features, Proc.CVPR,2001, 511-518
非特許文献2：Nenad Markusら Pattern Recognition Volume 47 Issue 2, February, 2014, 578-587

発明の概要

[0005] しかしながら、発明者の詳細な検討の結果、上述した文献に開示された方法は、効率的とは言えず、高速かつ高精度に瞳孔検出を行うことが難しいという課題が見出された。なぜならば、上述した文献に開示された方法は、いずれもウインドウ内の特定パターンに反応するように学習された検出器を、スライディングウインドウの方法で画像上の位置や大きさをずらして逐次ス

キャンしながらマッチングするパターンを発見する方法であるためである。このような構成では、異なるサイズや位置で切り出されたウインドウを何度も評価する必要があり、また毎回評価すべきウインドウの大部分が前回と重複することもあり効率が悪く、速度やメモリ帯域の面からは多いに改善の余地がある。また、スライディングウインドウ方式では検出すべきオブジェクトの角度にバリエーションがあると、ある程度の角度の範囲ごとに検出器を構成する必要があり、この点でも効率は良いとは言えなかった。

[0006] 本開示の１つの局面は、効率よく瞳孔中心位置の推定を行うことができる技術を提供する。

[0007] 本開示の一態様は、撮影画像から瞳孔中心位置を推定する瞳孔推定装置であって、周囲点検出部と、位置算出部と、第１演算部と、第２演算部と、を備える。周囲点検出部は、撮影画像から眼の外縁を示す複数の周囲点を検出するように構成される。位置算出部は、周囲点検出部により検出された複数の周囲点を用いて、基準位置を算出するように構成される。第１演算部は、位置算出部にて算出された基準位置、及び、撮影画像の所定領域の輝度を用いて、瞳孔中心位置と基準位置との差を表す差分ベクトルを、回帰関数を用いて算出するように構成される。第２演算部は、第１演算部により算出された差分ベクトルを、基準位置に加算することで瞳孔中心位置を算出するように構成される。

[0008] このような構成であれば、回帰関数を利用することにより、スライディングウインドウの使用による効率低下を抑制して、効率よく瞳孔中心位置の推定を行うことができる。

[0009] 本開示の一態様は、眼が含まれる撮影画像から瞳孔中心位置を推定する瞳孔推定方法であって、撮影画像から眼の外縁を示す複数の周囲点を検出する。複数の周囲点を用いて、基準位置を算出する。基準位置、及び、撮影画像の所定領域の輝度を用いて、瞳孔中心位置と基準位置との差を表す差分ベクトルを、回帰関数を用いて算出する。算出された差分ベクトルを、基準位置に加算することで瞳孔中心位置を算出する。

[0010] このような構成であれば、回帰関数を利用することにより、スライディングウインドウの使用による効率低下を抑制して、効率よく瞳孔中心位置の推定を行うことができる。

[0011] なお、この欄及び請求の範囲に記載した括弧内の符号は、一つの態様として後述する実施形態に記載の具体的手段との対応関係を示すものであって、本開示の技術的範囲を限定するものではない。

図面の簡単な説明

[0012] [図1]瞳孔位置推定システムの構成を示すブロック図である。

[図2]瞳孔中心の推定方法を説明する図である。

[図3]実施形態の回帰木を説明する図である。

[図4]Similarity行列を用いてピクセルペアの位置を設定する方法を説明する図である。

[図5]学習処理のフローチャートである。

[図6]検出処理のフローチャートである。

発明を実施するための形態

[0013] 以下、図面を参照しながら、本開示の実施形態を説明する。

[0014] ［１．第１実施形態］

［１－１．構成］

図１に示す瞳孔位置推定システム１は、カメラ１１と、瞳孔推定装置１２と、を含むシステムである。

[0015] カメラ１１は、例えば公知のＣＣＤイメージセンサやＣＭＯＳイメージセンサなどを用いることができる。カメラ１１は、撮影画像のデータを瞳孔推定装置１２に出力する。

[0016] 瞳孔推定装置１２は、ＣＰＵ２１と、例えば、ＲＡＭ又はＲＯＭ等の半導体メモリ（以下、メモリ２２）と、を有するマイクロコンピュータを備える。瞳孔推定装置１２の各機能は、ＣＰＵ２１が非遷移的実体的記録媒体に格納されたプログラムを実行することにより実現される。この例では、メモリ２２が、プログラムを格納した非遷移的実体的記録媒体に該当する。また、

このプログラムが実行されることで、プログラムに対応する方法が実行される。なお、瞳孔推定装置１２は、１つのマイクロコンピュータを備えてもよいし、複数のマイクロコンピュータを備えてもよい。

[0017] ［１－２．推定方法］

眼が含まれる撮影画像から瞳孔中心位置を推定する方法を説明する。瞳孔中心位置とは、眼の瞳孔の中心位置である。より詳細には、瞳孔を構成する円形領域の中心である。瞳孔推定装置１２は、以下に説明する方法により瞳孔中心位置を推定する。

[0018] 図２で示すように、瞳孔中心の推定位置は、以下の式（１）を用いて求めることができる。

[0019] [数1]

$$X = g + S \qquad (1)$$

Ｘ：瞳孔中心の推定位置ベクトル

ｇ：目の周囲点から決まる重心位置ベクトル

Ｓ：推定された瞳孔中心位置と、重心位置の差分ベクトル

以下に、重心位置ベクトルｇ及び差分ベクトルＳの推定方法を説明する。

[0020] （ｉ）重心位置ベクトルｇの算出

図２を用いて重心位置ベクトルｇの推定方法を説明する。重心位置とは、撮影画像において、眼球が表示されている領域である眼領域３１の重心の位置である。重心位置ベクトルｇは、眼領域３１の外縁部分を示す特徴点である複数の目の周囲点Ｑに基づいて求められる。周囲点Ｑを取得する方法は特に限定されず、重心位置ベクトルｇを求めることができる様々な方法にて取得することができる。例えば、Active Shape Modelを用いる方法や、One Millisecond Face Alignment with an Ensemble of Regression Trees (Vahid Kazemi and Josephine Sullivan, The IEEE Conference on CVPR, 2014,1867-1874、以下、参考文献１）に開示されるような特徴点検出により求めることができる。なお図２においては、目尻及び目頭の２点と、それらを結ぶ直線

の垂直四等分線と眼領域３１との交点と、の８点の周囲点Ｑを例示しているが、周囲点Ｑの数はこれに限定されない。重心位置は、例えば、複数の目の周囲点Ｑの平均位置である。周囲点Ｑの位置が眼領域３１の外縁において適切に分散していることにより、重心位置ベクトルｇの精度は向上する。

[0021] （ｉｉ）差分ベクトルＳの算出

差分ベクトルＳは、以下の式（２）に示される関数で示すことができる。

[0022] [数2]

$$S = f_K\left(S^{(K)}\right) \qquad (2)$$

また式（２）の$f_K(S^{(K)})$は、以下の式（３）に示される関数で示すことができる。

[0023] [数3]

$$f_K\left(S^{(K)}\right) = f_0\left(S^{(0)}\right) + \upsilon \sum_{k=1}^{K} g_k\left(S^{(k)}\right) \qquad (3)$$

式（３）において、g_kは回帰関数である。また、Ｋは、回帰関数の加法回数、即ちイテレーションの回数である。Ｋは、例えば数十回以上とすることにより、実用的な精度を出すことができる。

[0024] 上式（２）、（３）に示されるように、本実施形態の瞳孔推定方法では、現在の差分ベクトル$S^{(K)}$に関数f_Kを作用させることにより（言い換えると、回帰関数g_kを用いて補正を行うことにより）、更新された差分ベクトル$S^{(K+1)}$を求める。そして、これを繰り返すことにより、精度が向上した差分ベクトルＳを得る。

[0025] ここで、f_Kは回帰関数g_kを含む関数であって、上述した参考文献１、及び、Greedy Function Approximation : A gradient boosting machine (Jerome H. Friedman, The Annals of Statistics Volume 29, Number 5 (2001),1189-1232、以下、参考文献２）等に示されるようなGradient Boostingを用いた

回帰関数の加法モデルを適用した関数である。

以下、式（３）の各要素について説明する。

[0026] （ｉｉ－１）初期値$f_0(S^{(0)})$

上式において、初期値$f_0(S^{(0)})$は、学習サンプルとして用いられる複数の画像に基づいて、以下の式（４）、式（５）に示されるように求められる。

[0027] [数4]

$$f_0(S^{(0)}) = \arg\min_{\gamma} \sum_{i=1}^{N} \left\| \Delta S_i^{(0)} - \gamma \right\|^2 \qquad (4)$$

[0028] [数5]

$$\Delta S_i^{(0)} = S_{\pi_i} - S_i^{(0)} \qquad (5)$$

ここで、パラメータは次の通りである。

Ｎ：学習サンプルの画像数

ｉ：学習サンプルのインデックス

S_π：学習サンプルの正しい瞳孔中心位置を示す教師データ

ν：回帰学習の効きを制御するパラメータであって、０＜ν＜１

$S^{(0)}$：複数の学習サンプルの平均瞳孔位置

上述した$f_0(S^{(0)})$は、式（４）において右辺が最も小さくなるようなγが入力されたときの値である。

[0029] （ｉｉ－２）回帰関数$g_k(S^{(k)})$

上記式（３）における回帰関数$g_k(S^{(k)})$は、現在の瞳孔予測位置$S^{(k)}$をパラメータにとる回帰関数である。回帰関数$g_k(S^{(k)})$は、参考文献２に記載されるように、図３に示すような回帰木４１に基づいて取得される。回帰関数$g_k(S^{(k)})$は、撮影画像面内での移動方向及び移動量を表す相対変位量ベクトルである。この回帰関数$g_k(S^{(k)})$が、差分ベクトルＳの補正に用いられる補正ベクトル

に相当する。

[0030] 回帰木４１の各ノード４２では、現在の瞳孔予測位置$S^{(k)}$からの相対座標で定義される２点のピクセルの組み合わせ（以下、ピクセルペア）の輝度差と、予め定められたスレッショルドθと、を比較する。そして、輝度差がスレッショルドよりも高いか低いかに応じて、回帰木４１のたどる左右方向が決定される。回帰木４１の各葉４３には回帰量r_kが定義されている。この回帰量r_kが、現在の瞳孔予測位置$(g+S^{(k)})$に対する回帰関数$g_k(S^{(k)})$の値となる。なお、重心位置に現在の瞳孔予測位置$(g+S^{(k)})$を加算して得られた位置が、仮瞳孔中心位置に相当する。回帰木４１、即ち、各ノードのピクセルペア及びスレッショルド、また端部（即ち、回帰木４１の葉４３）に設定される回帰量r_kは、学習により取得される。なおピクセルペアの位置は、後述するように補正された値が用いられる。

[0031] なお、入力情報としてピクセルペアの輝度差を用いる理由は次のとおりである。回帰木４１の各ノード４２は、２つのピクセルの一方が瞳孔部分を構成し、かつ、他方が瞳孔以外の部分を構成しているか否かを判定する。撮影画像において、瞳孔部分は相対的に色が濃く、瞳孔以外の部分は相対的に色が薄い。そのため、入力情報としてピクセルペアの輝度差を用いることで、上述した判定を行いやすくなる。

[0032] このように取得された回帰関数$g_k(S^{(k)})$を用いて、以下の式（６）により、差分ベクトル$S^{(k)}$を更新することができる。

[0033] [数6]

$$S^{(k+1)} = f_k\left(S^{(k)}\right) + \upsilon g_k(S^{(k)}) \qquad (6)$$

υの値を小さくすることで、過学習となることを抑制し、瞳孔中心位置の多様性に対応する。なお式（６）における$f_k(S^{(k)})$が、ｋ－１回目までの更新を経た差分ベクトルであり、$\upsilon g_k(S^{(k)})$が、ｋ回目の更新における補正量であ

る。

[0034] （ｉｉ－２－１）ピクセルペアの位置

ピクセルペアの位置は、回帰関数g_k（$S^{(k)}$）を取得するための回帰木４１における各ノード４２それぞれに定められている。回帰木４１において参照される各ピクセルペアの撮影画像におけるピクセルの位置は、その時点の仮瞳孔中心位置（$g+S^{(k)}$）からの相対座標で決まる座標位置となる。ここで、相対座標を定めるベクトルは、標準となる画像である標準画像に対して予め定められた標準ベクトルに、標準画像における眼と、撮影画像における眼と、の間のずれ量を小さくするSimilarity行列（以下、変換行列Ｒ）による修正を加えた修正ベクトルである。ここでいう標準画像とは、多数の学習サンプルにより求められた平均的な画像である。

[0035] 図４を用いて、ピクセルペアの位置特定方法を具体的に説明する。図４の左側の図が、標準画像であり、左側の図が撮影画像である。標準画像に対して定められた標準ベクトルが（dx,dy）である。

[0036] 事前に、複数の学習サンプルに関するＭ個の眼の周囲点Ｑを取得し、その各点の平均位置として、Ｍ個のQmを学習する。そして、撮影画像から同様に周囲点をＭ個のQm´を算出する。そして、上記QmとQm´との間において、以下の式（７）が最小になる変換行列Ｒを求める。この変換行列Ｒを用いて、ある仮瞳孔中心位置（$g+S^{(k)}$）での相対的に決定されるピクセルの位置は、以下の式（８）により設定する。

[0037] [数7]

$$E = \sum_{m}^{M} \| Q_m{}' - R Q_m \|^2 \qquad (7)$$

[0038]

[数8]

$$\begin{bmatrix} P_x \\ P_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} g_x \\ g_y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} S_x^{(k)} \\ S_y^{(k)} \end{bmatrix} + R \begin{bmatrix} dx \\ dy \end{bmatrix} \qquad (8)$$

変換行列Ｒは、複数の学習サンプルに基づく平均値Qmに対して、どのような回転、拡大、縮小を加えれば、対象となる学習サンプルのQm´に最も近似するかを示す行列である。この変換行列Ｒを用いることにより、標準ベクトルと比較して標準画像と撮影画像とのズレ分が相殺された修正ベクトルを用いて、ピクセルペアの位置を設定することができる。なおこの変換行列Ｒを用いることは必須ではないが、変換行列Ｒを使用することで瞳孔中心の検出精度を向上させることができる。

[0039] （ｉｉｉ）まとめ

以上のように本実施形態では、回帰木４１の各ノード４２に設定された異なる２点のピクセルペアの輝度差を用いて、差分ベクトルＳを求めるための回帰関数推定をした。また、その回帰木２２（回帰関数g_k）を定めるために、Gradient Boostingを行い、輝度差と瞳孔位置の関係を得た。なお回帰木２２へ入力する情報は、ピクセルペアの輝度差でなくてもよい。例えば、ピクセルペアの輝度の絶対値を用いたり、一定範囲の輝度の平均値を求めたりしてもよい。即ち、仮瞳孔中心位置の周囲における輝度に関する様々な情報を入力情報とすることができる。しかしながら、ピクセルペアの輝度差を用いると、その特徴量が大きくなりやすいため都合がよいことに加え、処理負荷の増加を抑制できる。

[0040] ［１－３．処理］

瞳孔推定装置１２は、事前に学習を行うことにより、回帰木４１、平均画像に基づくピクセルペアの選択、スレッショルドθを取得する。また瞳孔推定装置１２は、カメラ１１により取得される撮影画像である検出対象画像から、学習により取得した回帰木４１、ピクセルペア、スレッショルドθを用

いて、効率的に瞳孔位置の推定を行う。なお、事前の学習は必ずしも瞳孔推定装置１２で行う必要は無く、瞳孔推定装置１２は他の装置にて学習により取得された回帰木等の情報を用いることができる。

[0041] ［１－３－１．学習処理］

瞳孔推定装置１２のＣＰＵ２１が実行する学習処理について、図５のフローチャートを用いて説明する。

[0042] まずＳ１では、ＣＰＵ２１は、複数の学習サンプルに対して、各学習サンプルの眼領域の周囲点Ｑを検出する。

[0043] Ｓ２では、ＣＰＵ２１は、全ての学習サンプルの周囲点Ｑそれぞれの平均位置Qmを算出する。

[0044] Ｓ３では、ＣＰＵ２１は、各学習サンプルに対して、Similarity変換行列Ｒを求める。この変換行列Ｒは、上述したように、式（７）を最小にする変換行列である。

[0045] Ｓ４では、ＣＰＵ２１は、回帰関数の初期値$f_0(S^{(0)})$を、上述した式（４）を用いて求める。

[0046] Ｓ５では、ＣＰＵ２１は、瞳孔中心推定に用いる回帰木、即ち各ノードに対するピクセルペアの位置及びスレッショルドなどを、いわゆるgradient boostingを用いた学習により構成する。ここでは、まず、（ａ）回帰木として実現される回帰関数g_kを求める。この際の各二分木での分割方法は、例えば、上述した参考文献１“One Millisecond Face Alignment with an Ensemble of Regression Trees”の２．３．２項に記載される方法を用いてもよい。そして、（ｂ）回帰木を各学習サンプルに適用し、現在の瞳孔位置を、上述した式（３）を用いて更新する。更新後、再度上記（ａ）を行い回帰関数g_kを求め、その後、上記（ｂ）を行う。これをＫ回繰り返し、回帰木を学習により構成する。

[0047] このＳ５の後、この学習処理を修了する。

[0048] ［１－３－２．検出処理］

次に、瞳孔推定装置１２のＣＰＵ２１が実行する検出処理について、図６

のフローチャートを用いて説明する。

[0049] まずＳ１１では、ＣＰＵ２１は、検出対象画像の眼領域３１の周囲点Ｑを検出する。このＳ１１が、周囲点検出部の処理に相当する。

[0050] Ｓ１２では、ＣＰＵ２１は、Ｓ１１にて取得した周囲点Ｑから重心位置ベクトルｇを算出する。このＳ１２が、位置算出部の処理に相当する。

[0051] Ｓ１３では、ＣＰＵ２１は、検出対象画像に対して、Similarity変換行列Ｒを求める。回帰木４１の各ノード４２で用いるピクセルペアのピクセル位置は、事前学習により定められているが、それらはあくまで上述した標準画像を基準とした相対的な位置である。そこで、標準画像を検出対象画像に近似させる変換行列Ｒを用いて、検出対象画像にて対象となるピクセル位置を修正することで、そのピクセル位置が学習により生成した回帰木等により適合するものとなり、瞳孔中心の検出精度が向上する。なお式（７）にて用いるQmは、図５のＳ２にて、学習により得られた値を用いてもよい。このＳ１３が、行列取得部の処理に相当する。

[0052] Ｓ１４では、ＣＰＵ２１は、ｋ＝０として、初期化を行う。なお、$f_0(S^{(0)})$は、例えば、図５のＳ４にて、学習により得られた値を用いてもよい。

[0053] Ｓ１５では、ＣＰＵ２１は、学習済みの回帰木をたどることにより、$g_k(S^{(k)})$を取得する。このＳ１５が、補正量算出部の処理に相当する。

[0054] Ｓ１６では、ＣＰＵ２１は、Ｓ１５にて取得した$g_k(S^{(k)})$を用い、上述した式（６）に基づいて$g_k(S^{(k)})$を$S^{(k)}$に加算することで、現在の瞳孔の位置を特定するための差分ベクトル$S^{(k)}$を更新する。このＳ１６が、更新部の処理に相当する。また、続くＳ１７において、ｋ＝ｋ＋１とする。

[0055] Ｓ１８では、ＣＰＵ２１は、ｋ＝Ｋであるか否かを判断する。このＫは、例えば数十程度の値とすることができる。ｋ＝Ｋであれば、即ち、Ｓ１５及びＳ１６による更新を所定回数繰り返していれば、処理がＳ１９に移行する。一方、ｋ＝Ｋでなければ、即ち、Ｓ１５及びＳ１６による更新をＫ回数繰り返していなければ、処理がＳ１５に戻る。このＳ１８が、演算制御部の処理に相当する。またＳ１３－Ｓ１８の処理が、第１演算部の処理に相当する

。

[0056] Ｓ１９では、ＣＰＵ２１は、最後のＳ１７にて求めたS(K)と、Ｓ１２にて求めた重心位置ベクトルｇと、を用いて、式（１）に従い、検出対象画像上の瞳孔位置を確定する。即ち、Ｓ１９では、最終的な瞳孔中心位置の推定値を算出する。その後、この検出処理を終了する。このＳ１９が、第２演算部の処理に相当する。

[0057] ［１－４．効果］

以上詳述した実施形態によれば、以下の効果を奏する。

[0058] （１ａ）本実施形態では、重心位置と瞳孔位置との差分ベクトルを、回帰関数の手法を用いて関数予測することで、瞳孔中心の位置推定を行う。そのため、例えばスライディングウインドウを繰り返し実行することで瞳孔位置を特定する手法と比較して、効率的に瞳孔中心の位置を推定することができる。

[0059] （１ｂ）本実施形態では、回帰木への入力情報として所定のピクセルペアの輝度差を用いているため、他の情報、例えば輝度の絶対値や一定範囲の輝度を用いる場合と比較して、特徴量が大きくなりやすい好適な値を、低い負荷で取得することができる。

[0060] （１ｂ）本実施形態では、Similarity行列を用いて、標準ベクトルを修正ベクトルに変換してピクセルペアを特定し、輝度差を求める構成であるため、検出対象画像における眼の大きさや角度の影響を低減した精度の高い瞳孔中心位置の推定を行うことができる。

[0061] ［２．他の実施形態］

以上、本開示の実施形態について説明したが、本開示は上述の実施形態に限定されることなく、種々変形して実施することができる。

[0062] （３ａ）上記実施形態では、複数の周囲点Ｑを用いて重心位置ベクトルｇを算出する構成を例示したが、周囲点Ｑを用いて算出される基準位置は重心位置に限定されるものではない。言い換えると、眼の基準となる位置は重心位置に限定されず、様々な位置を基準とすることができる。例えば、目尻と

目頭の中点を基準位置としてもよい。

[0063] （３ｂ）上記実施形態では、回帰木を用いて回帰関数$g_k(S^{(k)})$を取得する方法を例示したが、回帰関数を用いる方法であれば、回帰木を用いていなくともよい。また回帰木はGradient Boostingを用いて学習により構成する方法を例示したが、他の手法により回帰木を構成してもよい。

[0064] （３ｃ）上記実施形態では、差分ベクトル$S^{(k)}$を複数回更新して瞳孔中心を求める構成を例示したが、これに限定されるものではなく、差分ベクトルを一度だけ加算して瞳孔中心を求めてもよい。また、差分ベクトルの更新を行う回数、言い換えると更新を終了する条件は上記実施形態に限定されず、予め設定された何らかの条件を満たすまで繰り返すように構成されていてもよい。

[0065] （３ｄ）上記実施形態では、Similarity行列を用いて、回帰木への入力となる輝度差を算出するピクセルペアの位置を修正する構成を例示したが、Similarity行列を用いない構成であってもよい。

[0066] （３ｅ）上記実施形態における１つの構成要素が有する複数の機能を、複数の構成要素によって実現したり、１つの構成要素が有する１つの機能を、複数の構成要素によって実現したりしてもよい。また、複数の構成要素が有する複数の機能を、１つの構成要素によって実現したり、複数の構成要素によって実現される１つの機能を、１つの構成要素によって実現したりしてもよい。また、上記実施形態の構成の一部を省略してもよい。また、上記実施形態の構成の少なくとも一部を、他の上記実施形態の構成に対して付加又は置換してもよい。なお、請求の範囲に記載した文言から特定される技術思想に含まれるあらゆる態様が本開示の実施形態である。

[0067] （３ｆ）上述した瞳孔推定装置１２の他、当該瞳孔推定装置１２を構成要素とするシステム、当該瞳孔推定装置１２としてコンピュータを機能させるためのプログラム、このプログラムを記録した半導体メモリ等の非遷移的実態的記録媒体、瞳孔推定方法など、種々の形態で本開示を実現することもできる。

請求の範囲

[請求項1] 撮影画像から瞳孔中心位置を推定する瞳孔推定装置（１２）であって、

前記撮影画像から眼の外縁を示す複数の周囲点を検出するように構成された周囲点検出部（２１、Ｓ１１）と、

前記周囲点検出部により検出された複数の前記周囲点を用いて、基準位置を算出するように構成された位置算出部（２１、Ｓ１２）と、

前記位置算出部にて算出された基準位置、及び、前記撮影画像の所定領域の輝度を用いて、前記瞳孔中心位置と前記基準位置との差を表す差分ベクトルを、回帰関数を用いて算出するように構成された第１演算部（２１、Ｓ１３－Ｓ１８）と、

前記第１演算部により算出された前記差分ベクトルを、前記基準位置に加算することで前記瞳孔中心位置を算出するように構成された第２演算部（２１、Ｓ１９）と、を備える、瞳孔推定装置。

[請求項2] 請求項１に記載の瞳孔推定装置であって、

前記基準位置は、眼の重心位置である、瞳孔推定装置。

[請求項3] 請求項１又は請求項２に記載の瞳孔推定装置であって、

前記第１演算部は、

前記基準位置に前記差分ベクトルを加算して得られた瞳孔中心位置を仮瞳孔中心位置とし、当該仮瞳孔中心位置の周囲における輝度の情報を入力情報として、前記撮影画像面内での移動方向及び移動量を表し前記差分ベクトルの補正に用いられる補正ベクトルを算出するように構成された補正量算出部（２１、Ｓ１５）と、

前記補正量算出部にて算出された補正ベクトルを前記差分ベクトルに加算することにより前記差分ベクトルを更新するように構成された更新部（２１、Ｓ１６）と、

前記更新部にて更新された前記差分ベクトルを用いて、前記補正量算出部による前記補正ベクトルの算出、及び、当該補正ベクトルを用

いた前記更新部による前記差分ベクトルの更新を、予め設定された条件を満たすまで繰り返すように構成された演算制御部（２１、Ｓ１８）と、を備える、瞳孔推定装置。

[請求項4] 請求項３に記載の瞳孔推定装置であって、

前記補正量算出部は、回帰木（２１）を用いて前記補正ベクトルを算出するように構成されており、

前記回帰木は、各端点（２３）に前記補正ベクトルが設定されている、瞳孔推定装置。

[請求項5] 請求項４に記載の瞳孔推定装置であって、

前記回帰木は、前記仮瞳孔中心位置を基準として設定される２つのピクセルの輝度差が各ノード（２２）における入力情報として用いられる、瞳孔推定装置。

[請求項6] 請求項５に記載の瞳孔推定装置であって、

標準となる画像である標準画像における眼と、前記撮影画像における眼と、の間のずれ量を小さくするSimilarity行列を取得する行列取得部（２１、Ｓ１３）を備え、

前記２つのピクセルの位置は、前記標準画像に対して予め定められた標準ベクトルに、前記行列取得部により取得された前記Similarity行列による修正を加えた修正ベクトルを、前記仮瞳孔中心位置に加えた位置である、瞳孔推定装置。

[請求項7] 請求項４から請求項６のいずれか１項に記載の瞳孔推定装置であって、

前記回帰木は、Gradient Boostingを用いて構成されている、瞳孔推定装置。

[請求項8] 眼が含まれる撮影画像から瞳孔中心位置を推定する瞳孔推定方法であって、

前記撮影画像から眼の外縁を示す複数の周囲点を検出し、

前記複数の前記周囲点を用いて、基準位置を算出し、

前記基準位置、及び、前記撮影画像の所定領域の輝度を用いて、前記瞳孔中心位置と前記基準位置との差を表す差分ベクトルを、回帰関数を用いて算出し、

算出された前記差分ベクトルを、前記基準位置に加算することで前記瞳孔中心位置を算出する、瞳孔推定方法。

[図1]

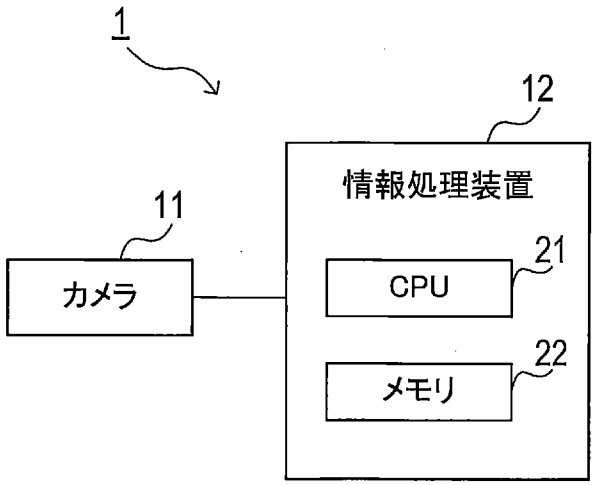


FIG.1

[図2]

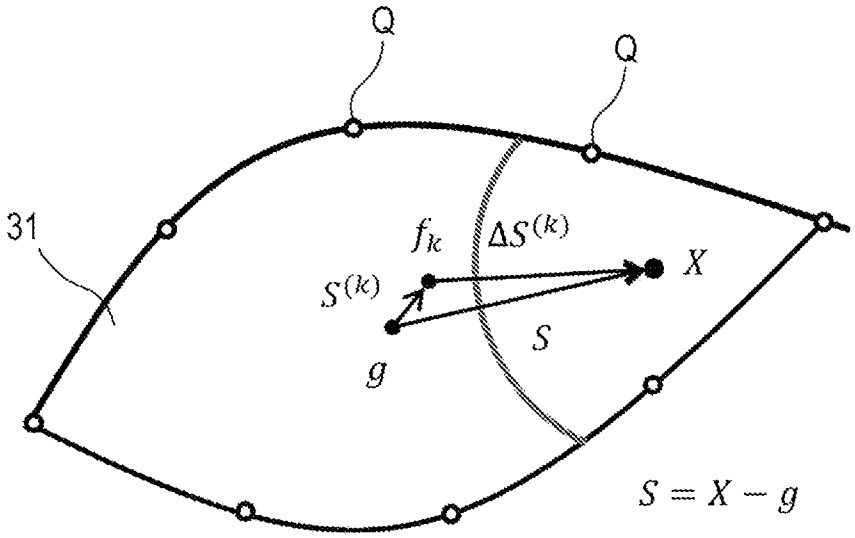


FIG.2

[図3]

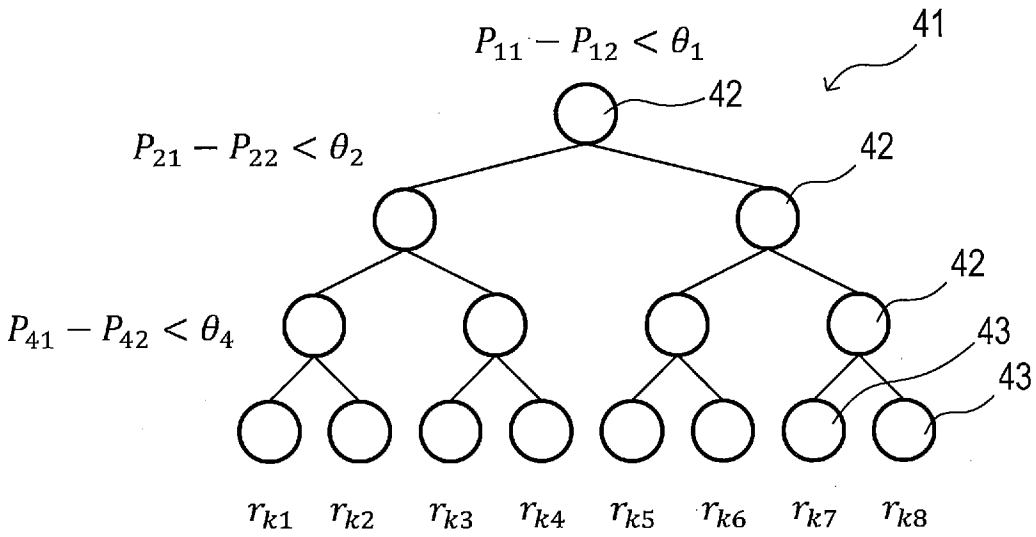

$P_{11} - P_{12} < \theta_1$
41
42
$P_{21} - P_{22} < \theta_2$
42
42
$P_{41} - P_{42} < \theta_4$
43
43
r_{k1} r_{k2} r_{k3} r_{k4} r_{k5} r_{k6} r_{k7} r_{k8}

FIG.3

[図4]

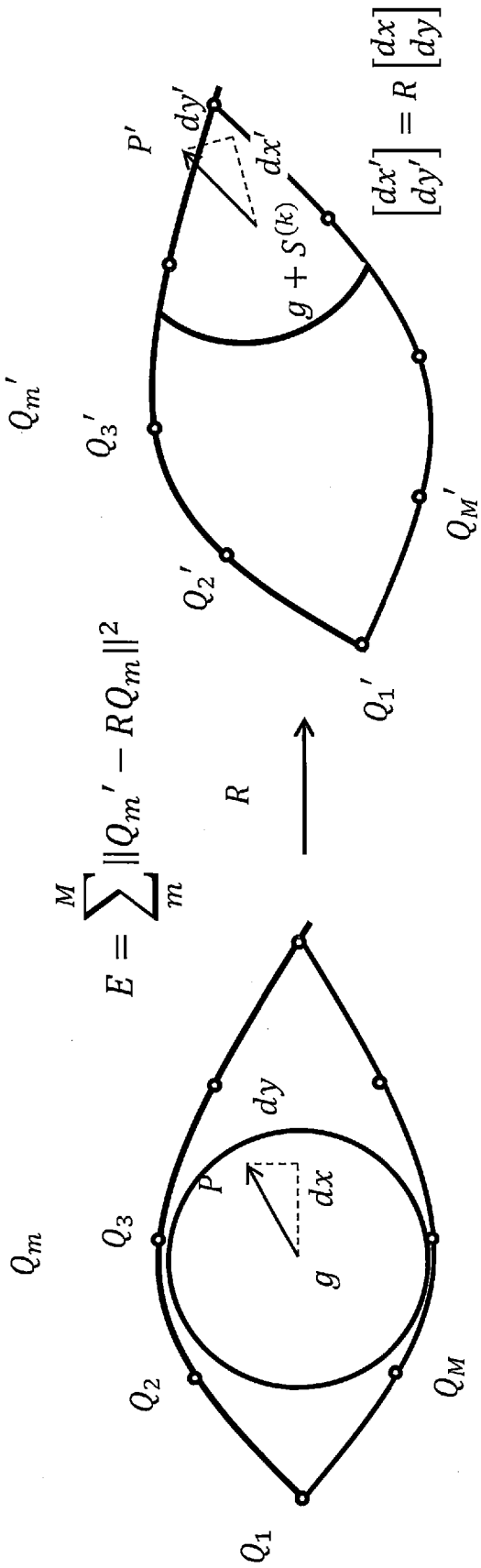

Q_1
Q_2
Q_3
Q_m
Q_M
P
dy
dx
g
$E = \sum_m^M \|Q_m' - RQ_m\|^2$
R
Q_1'
Q_2'
Q_3'
Q_m'
Q_M'
P'
dy'
dx'
$g + S^{(k)}$
$\begin{bmatrix} dx' \\ dy' \end{bmatrix} = R \begin{bmatrix} dx \\ dy \end{bmatrix}$

FIG.4

[図5]

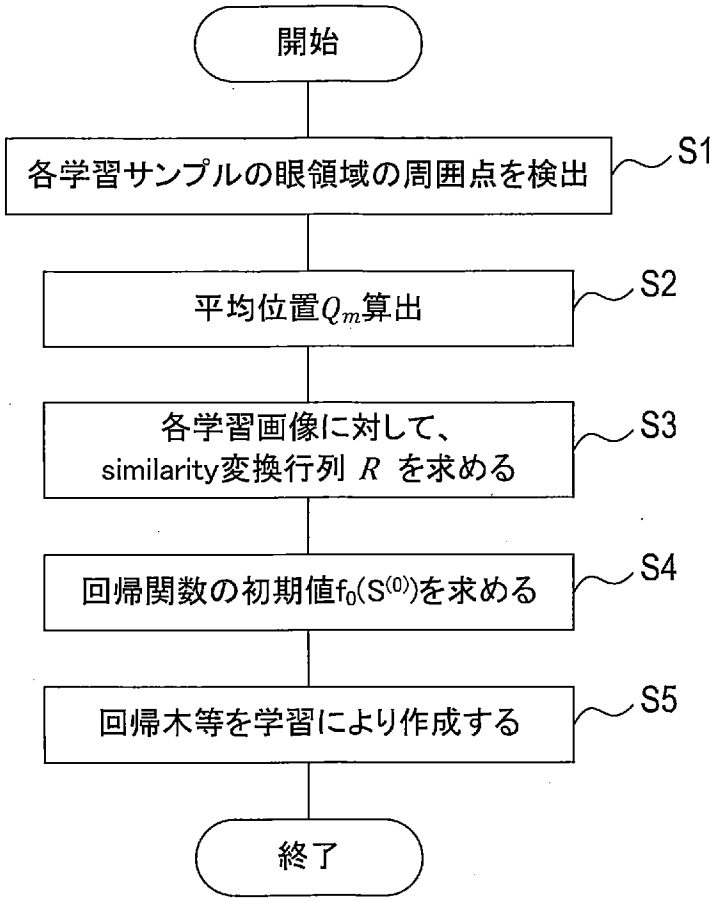

開始
各学習サンプルの眼領域の周囲点を検出
S1
平均位置Q_m算出
S2
各学習画像に対して、
similarity変換行列 R を求める
S3
回帰関数の初期値$f_0(S^{(0)})$を求める
S4
回帰木等を学習により作成する
S5
終了

FIG.5

[図6]

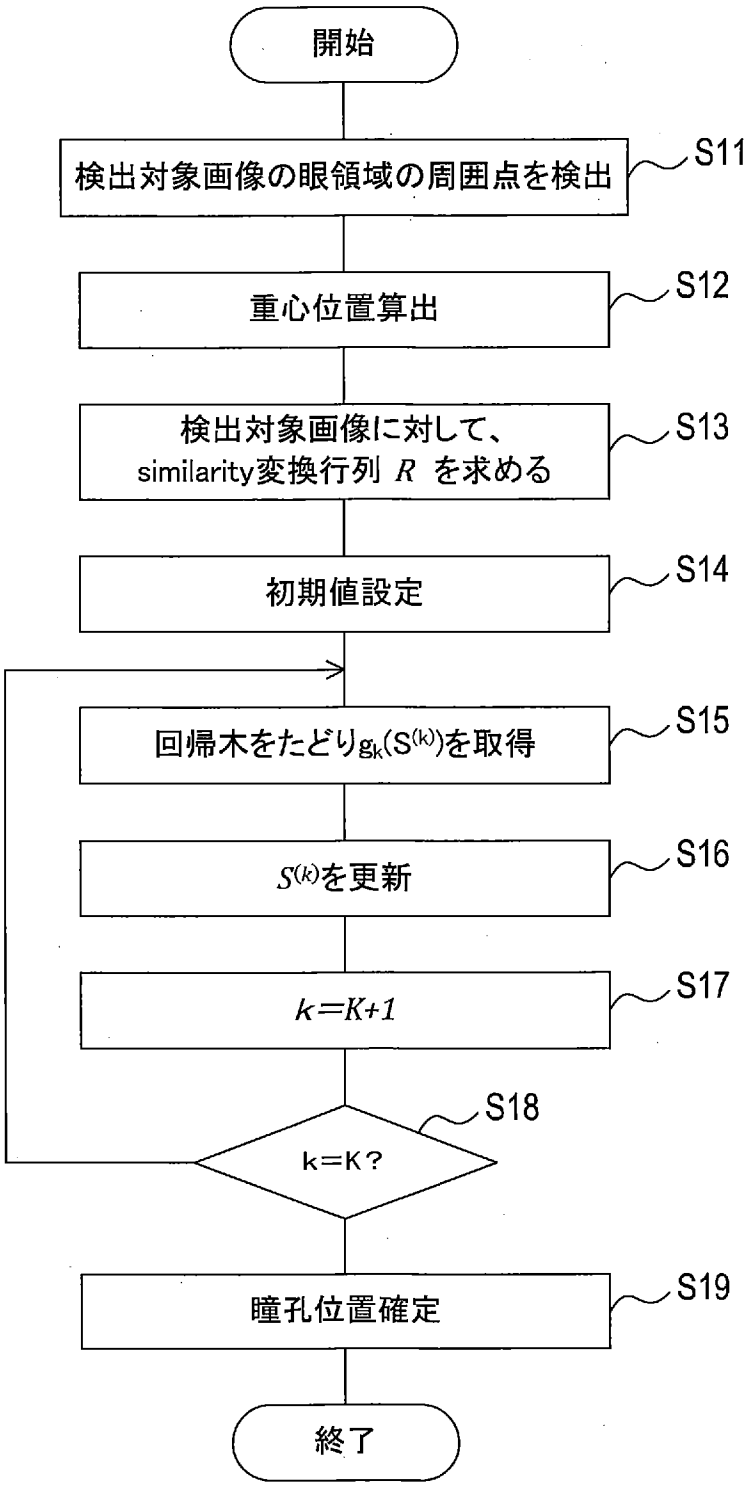

開始
検出対象画像の眼領域の周囲点を検出
S11
重心位置算出
S12
検出対象画像に対して、
similarity変換行列 R を求める
S13
初期値設定
S14
回帰木をたどりgk(S(k))を取得
S15
S(k)を更新
S16
k=K+1
S17
k=K?
S18
瞳孔位置確定
S19
終了

FIG.6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2019/029828

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int.Cl. 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)
Int.Cl. A61B3/113, G06T7/00-7/90

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

Published examined utility model applications of Japan	1922-1996
Published unexamined utility model applications of Japan	1971-2019
Registered utility model specifications of Japan	1996-2019
Published registered utility model applications of Japan	1994-2019

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
JSTPlus/JMEDPlus/JST7580 (JDreamIII), Scopus

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JEONG, Mi-Ra et al., "Eye pupil detection system using an ensemble of regression forest and fast radial symmetry transform with a near infrared camera", Infrared Physics & Technology, 30 May 2017, vol. 85, pp. 44-51	1-8
Y	MARKUS, Nenad et al., "Eye pupil localization with an ensemble of randomized trees", Pattern Recognition, 16 August 2013, vol. 47, pp. 578-587	1-8

☒ 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	Date of mailing of the international search report
04 October 2019 (04.10.2019)	15 October 2019 (15.10.2019)
Name and mailing address of the ISA/ Japan Patent Office 3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915, Japan	Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2019/029828

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	KAZEMI, Vahid et al., "One Millisecond Face Alignment with an Ensemble of Regression Trees", 2014 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 25 September 2014, pp. 1867-1874	6-7
A	JP 2018-520444 A (MITSUBISHI ELECTRIC CORP.) 26 July 2018, paragraphs [0055]-[0060] & WO 2017/051608 A1 (paragraphs [0055]-[0060]) & US 2017/0083751 A1 & CN 108027878 A	6-7
A	JP 2001-175869 A (SAMSUNG ELECTRONICS CO., LTD.) 29 June 2001, paragraphs [0057]-[0060] & US 6611613 B1 (column 7, line 62 to column 8, line 25) & KR 10-2001-0054674 A	6-7
P, A	WO 2019/045750 A1 (MAGIC LEAP, INC.) 07 March 2019, paragraphs [0042]-[0043] (Family: none)	1-8

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１９／０２９８２８

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, G06T7/00-7/90

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　　１９７１－２０１９年
日本国実用新案登録公報　　１９９６－２０１９年
日本国登録実用新案公報　　１９９４－２０１９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 (JDreamIII), Scopus

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
Y	JEONG Mira,et al., Eye pupil detection system using an ensemble of regression forest and fast radial symmetry transform with a near infrared camera, Infrared Physics & Technology, 2017.05.30, Vol.85, pp.44-51	1-8
Y	MARKUS Nenad,et al., Eye pupil localization with an ensemble of randomized trees, Pattern Recognition, 2013.08.16, Vol.47, pp.578-587	1-8

☑　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	国際調査報告の発送日
０４．１０．２０１９	１５．１０．２０１９

国際調査機関の名称及びあて先
日本国特許庁（ＩＳＡ／ＪＰ）
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）　２Ｑ　３１５４
佐藤　秀樹
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
Y	KAZEMI Vahid,et al., One Millisecond Face Alignment with an Ensemble of Regression Trees, 2014 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2014.09.25, pp.1867-1874	6-7
A	JP 2018-520444 A (三菱電機株式会社) 2018.07.26, [0055]-[0060] & WO 2017/051608 A1([0055]-[0060]) & US 2017/0083751 A1 & CN 108027878 A	6-7
A	JP 2001-175869 A (三星電子株式会社) 2001.06.29, [0057]-[0060] & US 6611613 B1(Col.7,Line62-Col.8,Line25) & KR 10-2001-0054674 A	6-7
P,A	WO 2019/045750 A1 (MAGIC LEAP,INC.) 2019.03.07, [0042]-[0043] (ファミリーなし)	1-8