

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2006-528499
(P2006-528499A)

(43) 公表日 平成18年12月21日(2006.12.21)

(51) Int.C1.	F 1	テーマコード (参考)
A61B 3/10	(2006.01) A 61 B 3/10	Z 2 F O 6 5
G01B 11/00	(2006.01) G 01 B 11/00	H
G01B 11/02	(2006.01) G 01 B 11/02	H
G01B 11/24	(2006.01) G 01 B 11/24	K
A61B 3/11	(2006.01) A 61 B 3/10	A

審査請求 未請求 予備審査請求 有 (全 21 頁)

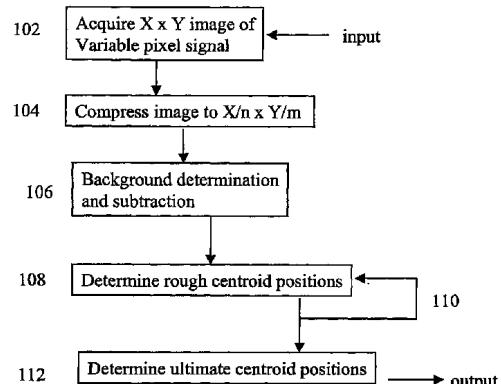
(21) 出願番号	特願2006-520794 (P2006-520794)	(71) 出願人	391008847 ボシュ・アンド・ロム・インコーポレイテッド BAUSCH & LOMB INCORPORATED アメリカ合衆国 ニューヨーク 1460 4, ロチェスター, ワン ボシュ アンド ロム プレイス (番地の表示なし)
(86) (22) 出願日	平成16年7月22日 (2004.7.22)	(74) 代理人	100078282 弁理士 山本 秀策
(85) 翻訳文提出日	平成18年2月8日 (2006.2.8)	(74) 代理人	100062409 弁理士 安村 高明
(86) 國際出願番号	PCT/EP2004/008205	(74) 代理人	100113413 弁理士 森下 夏樹
(87) 國際公開番号	W02005/015495		
(87) 國際公開日	平成17年2月17日 (2005.2.17)		
(31) 優先権主張番号	10333813.6		
(32) 優先日	平成15年7月24日 (2003.7.24)		
(33) 優先権主張国	ドイツ(DE)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】オンライン波面測定および表示

(57) 【要約】

オンライン収差測定法と称される、実質的に同時に波面重点画像を獲得すること、分析すること、および表示することを可能にする高速アルゴリズムを提供する。方法の実施形態は、選択した時間間隔、例えば、20秒にわたって平均の、または、最も頻繁に起こる波面収差を決定することを含む。オンライン瞳孔直径測定は、瞳孔の大きさを変更する関数として波面収差の分析を可能にする。オンライン収差測定法を支援する波面測定装置を開示する。



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

a) 目の瞳孔から出射した光の複数の波面画像を取得することであって、各画像は、該目の波面測定情報を示す位置ずれした重心を含む、ことと、

b) 選択した収差次数に対する該波面測定情報をオンラインで計算し、表示することとを包含する、波面分析の方法。

【請求項 2】

10 H z 以上の速度で前記画像を取得することを包含する、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

少なくとも 50 個の連続画像を取得することを包含する、請求項 1 または 2 に記載の方法。 10

【請求項 4】

前記選択した収差次数の波面測定情報に対する平均値および対応の標準偏差を決定することをさらに包含する、請求項 1 ~ 3 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 5】

選択した瞳孔の直径に対してステップ (b) を実行する、請求項 1 ~ 4 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 6】

選択した瞳孔の直径に対して前記波面測定情報に対する平均値を表示することを包含する、請求項 1 ~ 5 のいずれか一項に記載の方法。 20

【請求項 7】

前記波面測定情報が顕在的屈折値である、請求項 1 ~ 6 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 8】

前記顕在的屈折値をオンラインで表示することを包含する、請求項 7 に記載の方法。

【請求項 9】

第 2 ~ 第 10 ゼルニケ収差次数のうちの 1 つ、またはこれらと光学上等価なものに対応するように、前記波面測定情報が選択される、請求項 1 ~ 8 のいずれか一項に記載の方法。 30

【請求項 10】

各波面画像に対応する目の瞳孔画像を取得することと、

各瞳孔画像の瞳孔の位置データと、寸法データと、形状データと、幾何学的特徴付けデータとの少なくとも 1 つを決定することと、

該瞳孔画像と、対応の瞳孔画像データとのうちの少なくとも 1 つをオンラインで表示することと

を包含する、請求項 1 ~ 9 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 11】

第 2 ~ 第 10 ゼルニケ収差次数と、これらと光学上等価なものとからなる群から選択された、選択した波面収差をオンラインで表示することを包含する、請求項 10 に記載の方法。 40

【請求項 12】

瞳孔画像と、時間的に対応する波面画像とを同時に保存することを包含する、請求項 10 または 11 に記載の方法。

【請求項 13】

前記選択した瞳孔の直径が約 2 m m ~ 10 m m の範囲内である、請求項 5 に記載の方法。 50

【請求項 14】

請求項 15 ~ 35 のいずれか一項に記載のアルゴリズムを用いて前記波面測定情報を計算することを包含する、請求項 1 ~ 13 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 15】

画像の重心を検出するアルゴリズムであって、

- a) 可変画素信号強度により表された $X \times Y$ サイズ画像を取得することと、
- b) 該 $X \times Y$ サイズ画像を $X / n \times Y / m$ サイズ画像に圧縮することであって、 n 、 m は、任意の整数に等しく、 X / n , Y / m が整数値である、ことと、
- c) 該圧縮した画像の任意の位置に対するバックグラウンド強度を決定し、該圧縮した画像から該バックグラウンドを除去することと、
- d) 該バックグラウンドを除去した圧縮画像における近似的に位置付けられた複数の重心を検出することと、
- e) 所望の複数の重心の近似位置を検出するまで、ステップ (d) を繰り返すことと、
- f) 該所望の複数の重心の近似位置を該 $X \times Y$ サイズ画像における正確な位置に変換することと

10

を包含し、該画像における全ての重心位置が識別される、アルゴリズム。

【請求項 16】

- g) 所望のレベルのより正確な位置を決定するまで、ステップ (f) を繰り返すことを包含する、請求項 15 に記載のアルゴリズム。

【請求項 17】

- ステップ (g) の各繰り返しにおける各重心の位置変化の大きさに関連して、各重心に品質係数を割り当てるることをさらに包含する、請求項 16 に記載のアルゴリズム。

【請求項 18】

- ステップ (f) から決定された重心を所定の形状に従って分類することを包含する、請求項 15 ~ 17 のいずれか一項に記載のアルゴリズム。

【請求項 19】

- 前記形状が幾何学的格子である、請求項 18 に記載のアルゴリズム。

【請求項 20】

- 方形格子を含む、請求項 19 に記載のアルゴリズム。

【請求項 21】

- 前記形状が環状体である、請求項 18 に記載のアルゴリズム。

【請求項 22】

- 前記形状が直線である、請求項 18 に記載のアルゴリズム。

【請求項 23】

- 前記決定された重心の各々をそれぞれの重心画像形成素子と関連付けることを包含する、請求項 18 に記載のアルゴリズム。

30

【請求項 24】

- 前記 $X \times Y$ サイズ画像を $X / n \times Y / m$ サイズ画像に圧縮することが、

a) 原画像の第 1 の所定領域から出発し、該画像を通して走査し、 $n \times m$ 方形の各画素に対する信号を平均化し、該圧縮した画像における対応の第 1 の所定領域の信号レベルを該第 1 の所定領域の平均値に設定することと、

b) $X / n \times Y / m$ 画像サイズが得られるまで、第 2 およびその後の所定領域に対してステップ (a) を繰り返すことと

- を包含する、請求項 15 ~ 23 のいずれか一項に記載のアルゴリズム。

【請求項 25】

- $n = m = 8$ である、請求項 24 に記載のアルゴリズム。

【請求項 26】
前記第 1 の所定領域が前記画像の左上隅部である、請求項 24 または 25 に記載のアルゴリズム。

40

【請求項 27】

- ステップ (c) が、

前記圧縮した画像を、各々が複数の重心を含む複数の画像セグメントに分割することと、各画像セグメントに対して平均信号値を決定することと、各画像セグメントに対する平均値を外挿することによって前記バックグラウンド強度レベルを決定することとを包含する、アルゴリズム請求項 15 ~ 26 のいずれか一項に記載のアルゴリズム。

50

【請求項 28】

前記画像セグメントが方形である、請求項27に記載のアルゴリズム。

【請求項 29】

各画像セグメントが約3～5個の重心を含む、請求項27に記載のアルゴリズム。

【請求項 30】

ステップ(d)が、

- a) 前記画像の最大信号値を決定することと、
- b) しきい値を最大値の所定百分率として設定することと、
- c) 该しきい値よりも大きい信号強度を有する各画素のX位置と、Y位置と、信号強度とを決定することと、
- d) ステップ(c)からの値を信号強度の降順に分類することと、
- e) 最大信号強度を、第1の近似的に位置付けられた重点として割り当てることと、
- f) 事前設定の条件に従う全分類した値を、近似的に位置付けられた重心として規定するため、該事前設定の条件を選択することと

を包含する、請求項15～29のいずれか一項に記載のアルゴリズム。

【請求項 31】

前記事前設定の条件が、後に続く近似的に位置付けられた重心の各々の位置が、既に決定された近似的に位置付けられた重心のすべてからの事前設定距離よりも遠く離れている、請求項30に記載のアルゴリズム。

【請求項 32】

前記分類した信号強度の最小値の所定百分率に、新たなしきい値を設定することと、ステップ(c～f)を繰り返すこととをさらに包含し、既に特定した近似的に位置付けられた重心が再び特定されない、請求項30または31に記載のアルゴリズム。

【請求項 33】

ステップ(f)が、

原画像の前記所望の複数の重心の全ての近似位置を囲む境界構造を規定することと、該境界内部の信号分布に対して信号の質量中心を決定することとを包含する、請求項15～32のいずれか一項に記載のアルゴリズム。

【請求項 34】

a) 前記分類した重心点*i*を含み、約-0.1よりも小さく、または、約0.1よりも大きい値の間にある勾配を有する直線の公式を、各重心*i*に対して計算することと、

b) 该線と前記画像の基準位置との間の距離*n_i*を計算することと、
c) 最も小さい*n_i*値から*n_i*を開始することによって全重点*i_n*を分類することと、
d) 该最も小さい*n_i*を有する重心を第1行に割り当て、該重心を該第1行の最後の重点として記憶することと、

e) 撮像部品パラメータにより可変制御できる大きさと、選択した格子構造を検出するに適した形状とを有する範囲として、所定の行の最後の重心の右に領域を規定することと、

f) 次の*n_i*値を取得し、全ての既存の行に対して重心が該領域内にあるかを決定することと、

g) 该重心が該領域内にある場合では、該重心を該所定の行の最後の重心として割り当てること、または、該重心が該領域外にある場合では、該重心を新たな行の最後の重心として割り当てることと、

h) ステップ(f～g)をすべての重心に対して繰り返すことと、

i) 各行に対して平均y位置を計算し、該行を該平均y位置に従って分類し、一番上の行を行1と、次の行を行2と特定し、行*n*まで特定することと、

j) 该最も小さい*n_i*を有する重心を第1列に割り当て、該重心を該第1列の最後の重点として記憶することと、

k) 该撮像部品パラメータにより可変制御できる大きさと、該選択した格子構造を検出するに適した形状とを有する範囲として、所定の列の最後の重心の下に領域を規定する

10

20

30

40

50

ことと、

1) 次の n_i 値を取得し、全ての既存の列に対して該重心が該領域内にあるか決定することと、

m) 該重心が該領域内にある場合では、該重心を該所定の列の最後の重心として割り当てること、または、該重心が該領域外にある場合では、該重心を新たな列の最後の重心として割り当てることと、

n) ステップ(1~m)をすべての重心に対して繰り返すことと、

o) 各列に対して平均 \times 位置を計算し、該列を該平均 \times 位置に従って分類し、最初の列を列1と、次の列を列2と特定し、列nまで特定することと

を包含する、請求項20に記載のアルゴリズム。

10

【請求項35】

前記基準位置が前記画像の左上隅部である、請求項34に記載のアルゴリズム。

【請求項36】

請求項15に記載のアルゴリズムの形態で実行可能な命令が記憶された装置可読媒体。

【請求項37】

小さな光点を網膜上に供給するように適合された照明部品と、

該網膜から散乱され、目の瞳孔から出射した照明光の重心画像を形成可能な撮像部品と

、該重心画像を取得するように適合された検出器と、

重心の位置ずれ計算を実行して波面測定情報を決定できるように該検出器と動作可能に接続されたプロセッサと、

該選択した波面測定情報が表示可能のように該プロセッサに動作可能に接続された表示部品と、

該選択した波面測定情報のオンライン計算および表示を命令する手段と

を備える、波面測定装置。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明の実施形態は、概して、画像処理の分野に関し、特に、ここでは「オンライン」収差測定法と称し、眼球波面情報の測定、分析及び表示を同時に行う方法及び装置に関する。

30

【背景技術】

【0002】

画像処理学により取り上げられていなかった幾つかの科学技術がある。ほとんどの分野で開発を進めることは、カメラ画像内で構造を瞬時に且つ正確に検出する能力がますます重要になるプロセスオートメーションへと典型的につながる。本明細書で以下に述べる技術は、画像内の構造の検出に関してはるかに広い用途を検出するが、本発明の実施形態が目標とする1つの領域は、人間の目の波面収差測定である。

【0003】

屈折矯正手術、または、目の上あるいは目の中でのコンタクトレンズの利用による視力矯正に関する眼科学の分野は、収差計の比較的最近の進歩を体験してきた。これらの装置により、実践者は視覚特性の意義を探求でき、それが単に視力だけに限られたものではないことを理解できる。波面センサを組み込んだ収差計は、矯正の際、理論上の限界で視力を達成できるだけでなく、視覚の改善も行うことができ、場合によっては、見る条件の下でカスタマイズされた視覚でさえも改善できる視覚異常についての情報を与えることができる。

40

【0004】

眼球波面センシングのほとんどの従来の良好に開発された形態の1つは、ハルトマンシャック原理に依存する。ハルトマンシャック波面センサは、目からCCD検出器/カメラ上へ出射する歪んだ波面の様々な部分を結像するマイクロレンズアレイを典型的に含む。

50

マイクロレンズアレイにより生成された画像は、常軌を外れない波面からの光点画像の基準位置からわずかにずれた光の小さい点の配列を有する。常軌を外れた点の位置ずれは、目の瞳孔から出射する波面の局部的な勾配に関連する。これら位置ずれからゼルニケ多項式（または、その他の数式）を派生でき、これらを次に、目のすべての収差を実質的に特徴付けるのに用いる。正確な波面計算を行う能力は、波面画像の各点の中心位置の正しい決定に非常に依存する。波面分析処理のこの態様は、重心検出として既知である。

【0005】

例えは、ハルトマンシャック波面センサ、並びに、チャルニングのようなその他の周知の種類は、短い時間間にわたって、重心の単一画像あるいは、良くても、ごくわずかな数の画像を典型的に測定する。しかし、目は、波面変化を急速に変える動的組織である。重心検出に必要とされる時間は、1秒当たり数画像よりも大きい繰り返し率を伴って実時間測定を妨げる主な原因であった。W A S C Aとして波面技術で既知のシステムは、波面の30秒レコードにつき約7Hzの繰り返し率を実演している。しかし、波面画像を最初に記録し、保存し、その後、評価しなければならない。1つの波面画像は、コンピュータメモリの約400kbを必要とする。その上、収差測定（例えは、球面、シリンダー／軸及び高次収差）をオンラインで、すなわち、波面測定及び計算とほぼ同時に表示を行うことができない。瞳孔画像及び重心画像をほぼ同時に獲得及び保存するのは不可能であり、このことは、波面の変化時に目の動きの影響を評価するのを実質的に不可能にする。これらの実例は、本発明の実施形態が扱う眼球波面測定の分野での例示的な開発の問題点の幾つかを表す。

10

20

【発明の開示】

【課題を解決するための手段】

【0006】

本発明の一実施形態は、CCD画像での明暗の構造の検出を行うアルゴリズムに関する。この画像は、単に説明の目的上、重心を波面画像内に、または、特定された印をコンタクトレンズの表面上に有することができる。図3には、シミュレートしたハルトマンシャック波面画像内に黒色点として重心画像の配列32を示す。

30

【0007】

この実施形態の特徴は、(800MHzのPentium(登録商標)(インテル社)プロセッサ、または、これと等価なものを用いて、)CCD画像での重心32のような構造の位置を、例えは、約5msで検出し、分類でき、ゼルニケ係数を計算でき、波面画像情報を約13ms以下で表示できる。1.6GHzのプロセッサは、約50Hzまで率を増大させることにより約2分の1だけ総使用時間を減少させる。従って、アルゴリズムは、本明細書中、約25Hzまでの率でほぼ同時に波面情報を検出し、測定し、そして、表示することを意味する波面情報の「オンライン」分析と称するものを表現する。

40

【0008】

以下に詳細に説明する実施形態を、ハルトマンシャック波面測定及び分析に関して説明するが、これら実施形態を、他の波面方法論、例えは、チャルニング原理に基づくもの、並びに、当該技術分野で既知のその他のものまで広範に適用できる。しかし、上述したように、具体化した本発明を、より一般的に、CCD型画像での構造を分析するための画像処理に適用できる。

【0009】

本実施形態に従って波面画像の重心を検出する方法を、図1のフローチャート図100に示す。図示した実施形態では、25Hzの率で要求通りに一連の複数の画像を獲得し、分析し、そして、表示するが、単純化のため、以下に述べるアルゴリズムステップが1つの波面画像に適用し、所望の通りの波面画像ごとに繰り返されることを最初に言及しておく。

【0010】

図1では、ステップ102において、図2で一例として画像22が示すようにX×Y画素サイズ波面画像を獲得する。図示のように、可変画素信号強度により光点画像を表す。

50

CCDカメラから撮られた画像は、通常、画素のアレイから成り、このアレイでは、画素に集められた電荷量に比例する数があらゆる画素に割り当てられる。この数を画素の信号と称する。次に続く図示の説明では、暗画像内の正方形格子の輝点を詳細に説明する。

【0011】

i) 画像圧縮

ステップ102において画像を獲得した後、ステップ104において、 $X \times Y$ 画素サイズから $X / n \times Y / m$ 画素までに画像を圧縮する。例えば、画像の左上隅部から開始し、画像を通して走査して原画像の $n \times m$ 画素方形の画素ごとの信号を平均化することにより、この圧縮を行うことができる。圧縮した画像の左上隅部の信号を次に、第1の方形の平均値に設定し、次の画素の信号を次の(第2の)方形の平均値に設定し、最終的に、 $X / n \times Y / m$ の画素サイズの画像を生じさせる。 n 及び m を整数とし、 $X / n \times Y / m$ も整数値とする。例示的な実施形態では、 $n = m = 8$ である。

10

【0012】

i i) バックグランド除去

ステップ106において、圧縮した画像を次に、(上記の(i)での画素方形と混同しないように)方形領域またはタイルに分割する。その他のサイズを用いることができるが、例示的な実施形態では、1つのタイルは 64×64 画素平方である。典型的に、1つのタイルは、3~5個の重心を含む場合がある。平均信号を、この場合も、タイルごとに計算する。次に、タイルの平均値を線形に外挿して、画像内のいずれかの位置に対してバックグランド値を生じさせる。次に、低い信号を生じる画像からこのバックグランドを重心の外側に除去する。図示の実施形態では、バックグランド除去により、2の信号対雑音比を10の信号対雑音比まで改善した。

20

【0013】

i i i) 粗い構造検出

ステップ108において、概算の、または、粗い構造点(重心)を識別する。まず、最大値を、圧縮した画像の最大信号と定義する。画像を通して走査することにより最大値を決定し、この点の信号値が最大値のある百分率、例えば、30%(その他の値を使用者により選択できる)よりも大きい場合のみ、あらゆる画素のX位置、Y位置及び信号値を表に記録する。例示的な実施形態では、このことは、約400個のエントリの表(表I)を生じる。図示のように信号を降順にすることにより、この表を分類する。このことを達成するのに様々な高速分類ルーチンのいずれかを利用できる。

30

【0014】

【表1】

表I

信号	X位置	Y位置
223	86	55
154	85	75
135	87	95
133	115	56
110	118	74
108	114	93
.	.	.
.	.	.
.	.	.

40

第1エントリ(最大信号値)を、第一の粗い構造点と定義する。次に、ある事前設定条件に従う表のすべてのエントリを、粗い構造点と定義する。例示的な実施形態では、事前設定条件は、特定のエントリの位置が、これまでに検出された粗い構造点のすべてから事前

50

設定距離よりも遠いということである。例示的な一実施形態では、距離は 17 画素である。この最初の繰り返しの後、検出すべきすべての点の約 95 % を含む粗い構造点の表を作成する。

【 0 0 1 5 】

i v) 構造の検出の絞込み

構造のあらゆる点を検出した信頼水準を増大させるため、ブロック 110 で示すようにステップ 108 を繰り返すことができる。ブロック 110 では、最初の繰り返しの最小値のある百分率に、新たな最小値を設定する。次の繰り返しは、信号が弱すぎて最初の繰り返しで検出できなかった点を検出する。最初の繰り返しで検出した粗い構造点に占めるので、それらが再び検出されない（すなわち、それらが、検出された点から事前設定距離よりも遠いという条件に従わない）。

【 0 0 1 6 】

v) 最終的な構造検出

ステップ 112 において、最終的な重心位置を決定する。画像をステップ 104 において早期に圧縮したので、画像に元々含まれた情報の多くを無視した。正確な重心位置を決定するため、この情報を今や用いることができる。元の圧縮されていない画像を用いて、あらゆる粗い点を囲むように一連の、例えば、 15×15 画素を生成する。一般に、各方形が 1 つだけの重点を含むことを確実にするため、各方形は $2 \times$ 最小距離よりも小さく、重点自体よりも大きい。例示的な実施形態では、この値は、5 ~ 30 画素の範囲内にある。次に、方形内部の信号分布に対して信号の質量中心を決定して、重心のほぼ正確な位置を生じさせる。

【 0 0 1 7 】

この実施形態の一態様では、更なる正確な結果を決定するため、例えば、1, 2, 3...n 回、ステップ 112 を繰り返すことができる。前のステップで計算された質量中心をその次に用いる。また、ステップ 112 において、画素を囲む方形が使用者設定の距離だけ進んで移動されていれば、質量中心の位置がどれくらい変化したかに応じて品質係数を各構造点に割り当てることができる。例示的な一実施形態では、この距離は 5 画素である。最も少ない変化をした位置を有する点に、最も高い品質係数を割り当てる。このように、低い品質係数を割り当てられた誤りの点または雑音を、それらが偽の構造点に相当する可能性があるので削減できる。

【 0 0 1 8 】

ハルトマンシャック波面センシングに関する図示の実施形態では、重心と、マイクロレンズアレイの対応の画像形成小型レンズとを相互に関連付けできるのが望ましい。従って、図 4 に示すような実施形態の態様 200 は、検出した重心を分類して、これら重心を、正方形格子パターンに割り当てる処理に関する。アルゴリズムを、例えば、環状体上の点、または、点の何らかの直線のようなその他の構造または形状に容易に適用できることは、当業者に認識されるであろう。

【 0 0 1 9 】

ステップ 202 において、所望の分類形状を選択する。例示的な実施形態では、この形状は、マイクロレンズアレイの幾何学的形状に基づく方形格子である。ステップ 204 に示すように、前に検出された重心点 i を含み、1 の勾配 (45°) を有する直線の公式を重心点 i ごとに計算する。画像の左上隅部または右下隅部の開始位置に対して、0.1 ~ 0.9 の範囲内の勾配値を用いることができる。同様に、開始位置が画像の右上隅部または左下隅部であれば、-0.1 から -0.9 までの勾配値を選択できる。ステップ 206 において、図示の実施形態では、線 514 と、画像 510 の左上隅部 506 との間の、図 5 に示すような距離 502 (n_i) を計算する。次に、最も小さい n_i 値を有する重心から開始するステップ 208 において、すべての重心 i を n_i により分類する。ステップ 210 において、最も小さい n_i 値を有する重心を行 1 に割り当て、行 1 の最後の重点としてメモリ内に記憶する。この実施形態の一態様では、ステップ 210 中、既存の行の最後の重心をメモリ内に記憶する。ステップ 212 において、例示的な一実施形態では、次の

10

20

30

40

50

重心に対する検索領域 610 を示す図 6 に表すように、小型レンズアレイのパラメータにより制御及び変更できる大きさを有し、選択した格子形状を検出するのに適した形状を有する範囲を所定の行の最後の重心 605 の右に有する領域 610 を規定する。その他の格子形状を検出するのに適するいずれかの形状も可能である。小型レンズアレイのパラメータの例には、図 7 に示すように最大角度 702、最小距離 704、最大距離 1 (706) 及び最大距離 2 (708) が含まれる。次に、ステップ 214 において、次に高い n_i 値を選択し、すべての既存の行に関して、重心が規定の領域に存在するかどうか、重心を検査する。存在すれば、次に、ステップ 216 において、重心を、この行の最後の重心として割り当てる。存在しなければ、重心を、新たな行の最後の重心として割り当てる。すべての重心について、これからステップ 214 ~ 216 を繰り返す。このように、左から右へ構築するように行が出発する。ステップ 220 において、各行に対する平均 y 位置を計算し、これら行を平均 y 位置に従って分類する。このステップは、一番上の行を行 1 とし、次の行を行 2 とするなどの印付けを容易にする。

10

20

30

40

【0020】

列を分類するステップを説明する前に、図 8 に示すような線 802, 804 に沿って位置するかすかに見える点で示すような状態が生じる場合があること、すなわち、重点の劣った品質のため、行の中央で幾つかの重点 812, 814 が検出されず、左右の重点が、異なる行に割り当てられたことを指摘することは有益である。この事象では、選択的なステップ 222 は、これら行を統合することを含む。このことを、下記のサブステップにより達成する。すなわち、(行 1 と行 2 との間の距離を生じる) $y_{row1} - y_{row2}$ 、(行 2 と行 3 との間の距離を生じる) $y_{row2} - y_{row3}$ などの減算を行い、次に、獲得した距離の平均値をとることにより、ステップ 214 からの各行の平均 y 位置から行間の平均距離を計算する。例示的な実施形態では、行 j 及び k を統合する基準は、 $y_j - y_k < f \times a$ 、且つ、 $P_{k, first} > P_{j, last}$ または $P_{k, last} < P_{j, first}$ であるかであり、ここで、 f は、使用者により設定される約 0.1 ~ 0.7 の範囲内にある可変パラメータである。例示的な実施形態では、0.3 ~ 0.5 の範囲内にある値を用いる。 a は、行間の平均距離であり(上記を参照)、 $P_{k, first}$ は k 行の最初の(一番左の)重心の x 値であり、 $P_{k, last}$ は k 行の最後の(一番右の)重心の x 値である。言い換えれば、行が、 y 位置で通常よりもずっと近ければ、そして、行が重複しなければ、すなわち、行 j が行 k の完全に右にあるか、あるいは、完全に左にあれば、行を統合する。

30

【0021】

ステップ 224 において、列を分類する処理が始まる。ここでは、ステップ 208 からの距離値により分類した重心のリストを再び用いる。最も小さい n_i の重心を列 1 に割り当て、列 1 の最後の重心としてメモリ内に記憶する。例示的な一様では、ステップ 224 中、既存の列の最後の重心を常に、メモリ内に記憶する。ステップ 226 において、例示的な実施形態では、上記で記載したように小型レンズアレイの同一パラメータにより制御及び変更される大きさ及び形状を有する範囲を所定の列の最後の重心よりも下位に有する領域を規定する。このことは、図 6 の線図を 90 度だけ下方へ傾けることにより図解される。ステップ 228 において、次に高い n_i 値を選択し、すべての既存の列に関して、重心が規定の領域に存在するかどうか、重心を検査する。存在すれば、ステップ 230 において、重心を、この列の最後の重心として割り当てる。存在しなければ、重心を、新たな列の最後の重心として割り当てる。すべての重心について、これからステップ 228 ~ 230 を繰り返す。このように、上から下へ構築するように行が出発する。ステップ 234 において、各列に対する平均 x 位置を計算し、これら列をそれらの平均 x 位置に従って分類する。このステップは、一番左の列を列 1 とし、次の列を列 2 とするなどの印付けを容易にする。

40

【0022】

重点の劣った品質のため、列の中央で幾つかの重点が検出されず、従って、上下の重点が、異なる列に割り当てられた図 8 に関連して上述したような状態が生じる場合がある。

50

この事象では、選択的なステップ 236 は、これら列を統合することを含む。このことを、下記のサブステップにより達成する。すなわち、(列 1 と列 2 との間の距離を生じる) $x_{\text{column1}} - x_{\text{column2}}$ 、(列 2 と列 3 との間の距離を生じる) $x_{\text{column2}} - x_{\text{column3}}$ などの減算を行い、次に、獲得した距離の平均値をとることにより、ステップ 228 からの各列の平均 x 位置から列間の平均距離を計算する。例示的な実施形態では、列 j 及び k を統合する基準は、 $x_j - x_k < f \times a$ 、且つ、 $P_{k, \text{first}} > P_{j, \text{last}}$ または $P_{k, \text{last}} < P_{j, \text{first}}$ であるかであり、ここで、 f は、使用者により設定される約 0.1 ~ 0.7 の範囲内にある可変パラメータである。例示的な実施形態では、0.3 ~ 0.5 の範囲内にある値を用いる。 a は、列間の平均距離であり、 $P_{k, \text{first}}$ は k 列の最初の(一番上の)重心の y 値であり、 $P_{k, \text{last}}$ は k 列の最後の(一番下の)重心の y 値である。言い換えれば、列が、 x 位置で通常よりもずっと近ければ、そして、列が重複しなければ、すなわち、列 j が列 k の完全に下にあるか、あるいは、完全に上にあれば、列を統合する。

10

20

【0023】

分類した重心位置からゼルニケ計算を行って波面収差を決定できる。図示の実施形態によれば、1つの画像を獲得し、波面収差情報を表示するのに 800 MHz の Pentium (登録商標) (ペンティアム (登録商標)) プロセッサを用いる処理を、対応の処理時間と共に以下で一覧表にする。

30

40

【0024】

重心の検出及び分類 :	~ 5 ms
ゼルニケ計算の実行 :	~ 5 ms
結像動作 :	~ 8 ms
画像表示 :	~ 8 ms
瞳孔座標位置(任意) :	~ 6 - 8 ms
コンタクトレンズ位置(任意) :	~ 5 ms

実施形態の図示の一態様では、測定周期中、ゼルニケ計算処理を 2 度、すなわち、2 次項に対して 1 度、そして、高次項に対して 1 度実行する。1つの画像当たりの総使用時間は、25 Hz の繰り返し率で約 40 ms またはそれよりもわずかに少ない。これと対照的に、(オンラインに対立するものとして) 従来の実時間波面分析は、一連の画像を記憶し、その後、波面情報について画像を分析することから成る。これら技術はコンピュータ記憶要件により制限されている。例えば、2つの画像を 25 Hz で 30 秒間記憶することは、1回の測定当たり約 400 MB を必要とする。一方、図示の実施形態によれば、これら画像に含まれる情報が、重心及び瞳孔位置を検出することにより既に取り出されているので、画像の記憶は必要ない。瞳孔及び重心位置データのみを記憶することは、25 Hz での 20 秒測定について、約 700 kb だけのメモリのデータ記憶要件につながり、このことは、500 個の画像を生じる。

50

【0025】

本発明のもう 1 つの実施形態は、上述したアルゴリズムを遂行する実行可能な命令が記憶された装置可読媒体に関する。適切な媒体は周知であり、制限なく、CD、DVD、ディスクケット、ハードドライブ、搬送波及びその他を含む。

50

【0026】

本発明のもう 1 つの実施形態は、波面を分析する方法に関する。この方法を図 9 のブロック図に記述する。この方法は、ステップ 902 において、目の瞳孔から射出した光の複数の波面画像を獲得することを有する。ここでは、各画像は、位置がずれた重心を含み、この重心は目の波面測定情報を示す。ステップ 904 において、選択した収差次数に対する波面測定情報をオンラインで計算し、表示する。上記で、説明を通じて使用したように、「オンライン」とは、ほぼ同時に波面測定情報を測定し、分析し、そして、表示することを意味する。前の実施形態で記述した例示的な高速アルゴリズムは、オンライン処理を容易にするほんの一方である。当業者は、その他のアルゴリズムを開発でき、または、今や利用できること、また、オンライン技術を容易にすることを理解するであろう。

【0027】

この実施形態の一態様では、10Hzに等しいか、あるいは、それよりも大きい率で画像を獲得する。例示的な一態様では、画像を25Hzの率で獲得する。しかし、コンピュータプロセッサ速度は、画像獲得率における限定要因である。もう1つの態様では、少なくとも50個の一連の画像を獲得する。もう1つの態様では、選択した収差次数に対する波面測定情報をオンラインで計算し、表示するステップ906を、選択した瞳孔の直径について実行する。言い換えれば、測定前に瞳孔の直径値を選択しなければ、表示を2次収差（球面、または、球面と等価なもの、並びに、シリンダー／軸）に限定する。その理由は、2次収差が瞳孔の直径に独立するためである。しかし、得られた波面情報を、ほぼ一定の瞳孔の直径について、または、瞳孔の直径で制御される偏差について解釈することを確実にしてもよい。一方、オンラインで表示すべき所定の直径に対して、いかなるゼルニケ次数（例えば、コマ収差、球面収差、高次収差）をも可能にするため、測定前に瞳孔の直径値を選択できる。瞳孔の直径の例示的な範囲は、約2mm～10mmの範囲内である。

10

【0028】

例示的な一実施形態では、20秒の時間間隔にわたって25Hzの繰り返し率で、50個の画像を獲得できる（従って、500回測定を行うことができる）。瞳孔の直径 $D < D_{min}$ について最初の125個の画像を獲得し、 $D_{min} < D < D_{max}$ について次の250個の画像を獲得し、 $D_{max} < D$ について残りの125個の画像を獲得できる。ステップ908において記述するように、一連の250個の画像を用いて、 $Z_{2xxx} \sim Z_{10xxx}$ に対するゼルニケ振幅を計算できる。所望に応じて、ステップ910において、選択したゼルニケ次数の平均値を計算し、オンラインで表示できる。平均値を計算したならば、ステップ912において、周知の統計技術を用いて、標準偏差を決定でき、平均波面測定値に対する誤差帯域を発生する。この実施形態の一態様では、異常な波面情報を含むプリンキング期間を決定し、これらプリンキング期間中の情報を廃棄できる。同様に、コンタクトレンズ位置を測定したならば、例えば、レンズ定着が短時間で起こる時、プリンキング期間中の測定を削減するのに有利である。瞳孔の直径に基づく特定の収差次数について最も頻繁に起こる波面振幅の値を知ることにより、実践者は、患者にとって最適な視覚をもたらす治療または視力矯正を定めることができる。

20

【0029】

この実施形態による関連の一態様では、ステップ914において、波面画像に対応する一連の瞳孔画像をも獲得できる。これら画像を同時に保存できるので、波面の変化時に目の運動の影響を評価できる。

30

【0030】

本発明のもう1つの実施形態は、図10でブロック図により示す波面測定装置1000に関する。この装置は、小さな光点を目1020の網膜上に供給する照明部品1010と、網膜から散乱され、目の瞳孔から出射した照明光の重点画像を形成する撮像部品1030と、重心画像を獲得するのに適合された検出器1040と、重心の位置ずれ計算を実行して波面測定情報を決定するように検出器と協働するプロセッサ1050と、選択した波面測定情報を表示するため、プロセッサに動作可能に接続された表示部品1060と、選択した波面測定情報のオンライン計算及び表示を指示する手段1070とを含む。選択的な瞳孔カメラ1080及び瞳孔計1090をも示す。ここでは、部品1015は、ビームスプリッタ、または、これと光学上等価なものである。

40

【図面の簡単な説明】

【0031】

【図1】本発明の高速重心検出アルゴリズム実施形態のフローチャート図である。

【図2】本発明の一実施形態と関連するハルトマンシャック波面（重心）画像の再生写真である。

【図3】本発明の一実施形態と関連する波面（重心）画像の描画表現である。

【図4-1】本発明の一実施形態による分類アルゴリズムのフローチャート図である。

50

【図4-2】本発明の一実施形態による分類アルゴリズムのフローチャート図である。

【図5】本発明の一実施形態によるアルゴリズム処理を表す波面(重心)画像のもう1つの描画表現である。

【図6】本発明の一実施形態によるもう1つのアルゴリズム処理を表す略図である。

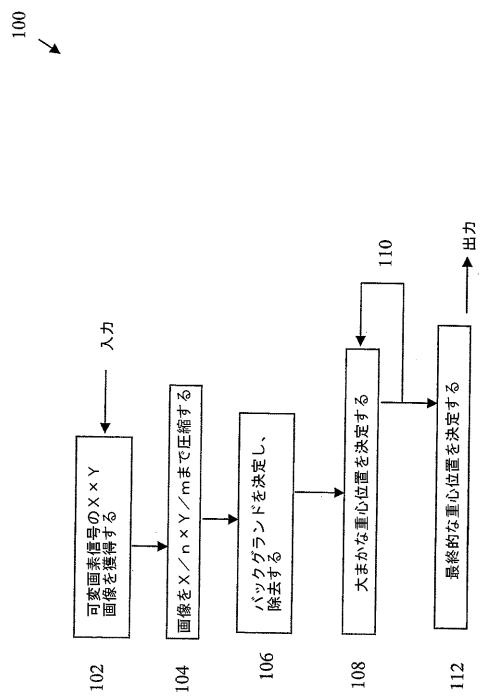
【図7】本発明の一実施形態によるもう1つのアルゴリズム処理を表す説明図である。

【図8】本発明の一実施形態によるもう1つのアルゴリズム処理を表すハルトマンシャック波面(重心)画像の一部分の再生写真である。

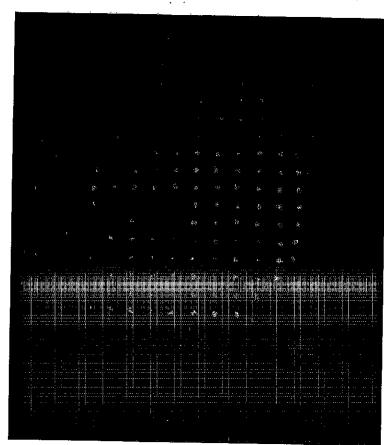
【図9】本発明のもう1つの実施形態に関するフローチャート図である。

【図10】本発明の装置実施形態のブロック図である。

【図1】



【図2】



【 図 3 】

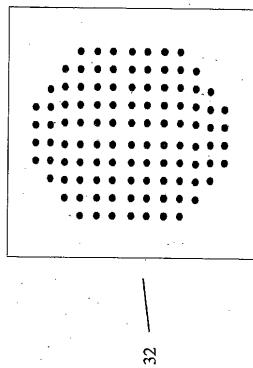


FIG. 3

【 図 4 - 2 】

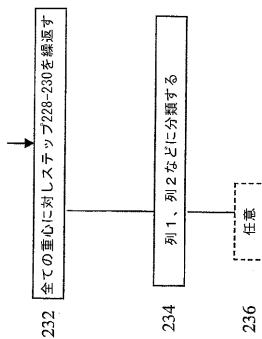


FIG. 4 (続き)

【 図 5 】

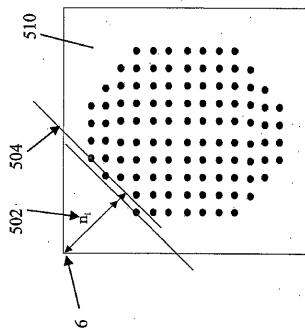
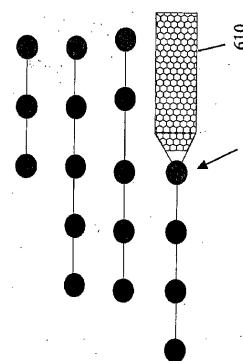


FIG. 5

【 図 6 】



٦٦

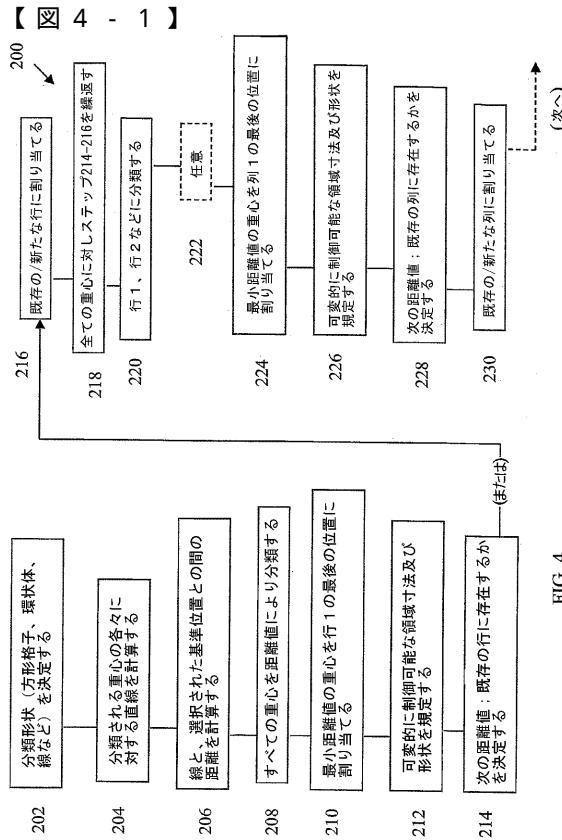


FIG. 4

【図7】

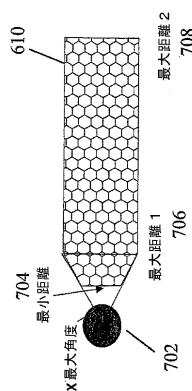


FIG. 7

【図8】

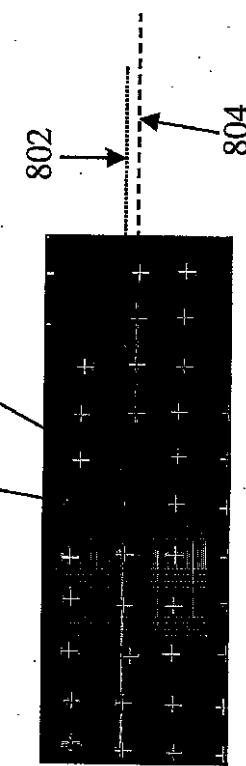


FIG. 8

【図9】

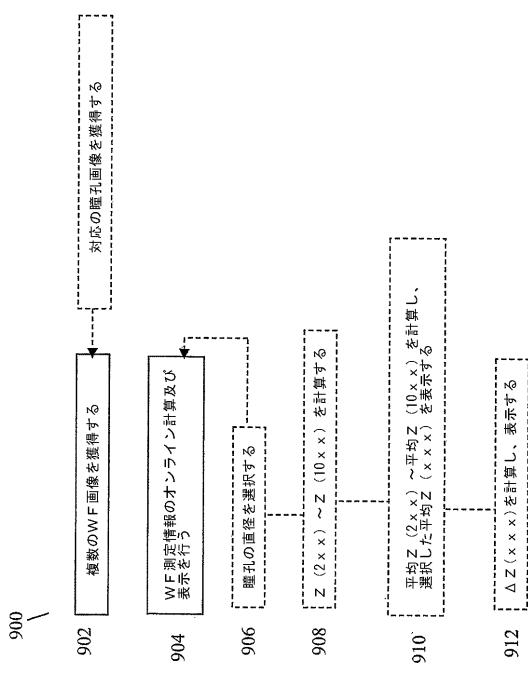


FIG. 9

【図10】

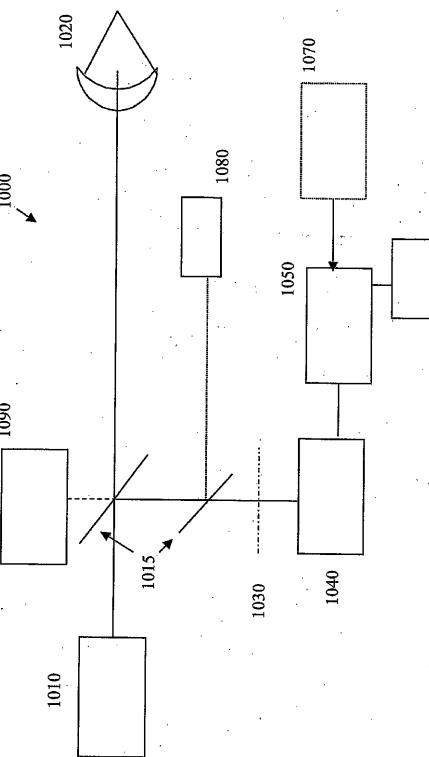


FIG. 10

【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International Application No. PCT/EP2004/008205
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER IPC 7 G06T7/00		
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) IPC 7 G06T A61B		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used) EPO-Internal, INSPEC, WPI Data		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
	-/-	
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of box C.		<input type="checkbox"/> Patent family members are listed in 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 document 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 relating 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	
10 October 2005	24.10.2005	
Name and mailing address of the ISA European Patent Office, P.O. 5018 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel: (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer Gao, M	

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/EP2004/008205

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	<p>NIRMAIER T ET AL: "Hartmann-Shack sensor ASIC's for real-time adaptive optics in biomedical physics" 6TH WORLD MULTICONFERENCE ON SYSTEMICS, CYBERNETICS AND INFORMATICS. PROCEEDINGS INT. INST. INF. & SYST ORLANDO, FL, USA, 'Online' vol. 13, 2002, pages 280-284 vol.1, XP002338274 ISBN: 980-07-8150-1 Retrieved from the Internet: URL:http://wwwasic.kip.uni-heidelberg.de/wavefront/iii_final.pdf 'retrieved on 2005-07-26'</p>	1-9, 13, 37
Y	<p>abstract section II: "An ASIC Concept for Hartmann-Shack Sensors" section III. "ASIC Performance"</p>	10-12
Y	<p>HOFER H ET AL: "DYNAMICS OF THE EYE'S WAVE ABERRATION" JOURNAL OF THE OPTICAL SOCIETY OF AMERICA - A, OPTICAL SOCIETY OF AMERICA, WASHINGTON, US, vol. 18, no. 3, March 2001 (2001-03), pages 497-506, XP002338276 ISSN: 1084-7529 section 2.B. "Procedure" section 3.B.2. "Eye Movements"</p>	10-12
Y	<p>SUNG-HOON BAIK ET AL: "New centroid detection algorithm for the Shack-Hartmann wavefront sensor" PROCEEDINGS OF THE SPIE - THE INTERNATIONAL SOCIETY FOR OPTICAL ENGINEERING SPIE-INT. SOC. OPT. ENG USA, vol. 4926, 2002, pages 251-260, XP002348357 ISSN: 0277-786X abstract section 2. "Center detection algorithm of Shack-Hartmann wavefront sensor"</p>	14-16, 24-26, 33, 36
		-/-

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/EP2004/008205

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	<p>PRIETO P M ET AL: "ANALYSIS OF THE PERFORMANCE OF THE HARTMANN-SHACK SENSOR IN THE HUMAN EYE" JOURNAL OF THE OPTICAL SOCIETY OF AMERICA - A, OPTICAL SOCIETY OF AMERICA, WASHINGTON, US, vol. 17, no. 8, August 2000 (2000-08), pages 1388-1398, XP001041251 ISSN: 1084-7529 abstract section 3.C. "Calculation of the Wave Aberration from the Hartmann-Shack Images"</p>	14-16, 24-26, 33,36
A	<p>I. MIRO, N. LOPEZ-GIL, AND P. ARTAL: "Pupil meter and tracking system based in a fast image processing" OPHTHALMIC TECHNOLOGIES IX, 3591, 497-506, 1999, XP008050380 abstract section 3.2 "Eye Tracking"</p>	10-12
A	<p>DROSTE D ET AL: "AN ASIC FOR HARTMANN-SHACK WAVEFRONT DETECTION" IEEE JOURNAL OF SOLID-STATE CIRCUITS, IEEE INC. NEW YORK, US, vol. 37, no. 2, February 2002 (2002-02), pages 173-182, XP001220695 ISSN: 0018-9200 abstract section V.C. "Measurement of Optical Wavefronts"</p>	3,4,7,8
A	<p>SOPHIA I. PANAGOPOULOU; IOANNIS G. PALLIKARIS: "Wavefront Customized Ablations With the WASCA Asclepius Workstation" JOURNAL OF REFRACTIVE SURGERY, 'Online!', vol. 17, September 2001 (2001-09), XP002338275 Retrieved from the Internet: URL:http://www.carlomasci.it/biblio/secondo%20congresso/wasca.pdf 'retrieved on 2005-07-26' section "Patients and Methods"</p>	5,6,13
		-/-

Form PCT/ISA/210 (continuation of second sheet) (January 2004)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/EP2004/008205

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	LIANG J ET AL: "OBJECTIVE MEASUREMENT OF WAVE ABERRATIONS OF THE HUMAN EYE WITH THE USE OF A HARTMANN-SHACK WAVE-FRONT SENSOR" JOURNAL OF THE OPTICAL SOCIETY OF AMERICA. A, OPTICS AND IMAGE SCIENCE, vol. 11, no. 7, July 1994 (1994-07), pages 1949-1957, XP001182893 ISSN: 0740-3232 abstract section "Test of Wave Aberrations on the Eye" figures 3-7 tables 1-3 -----	5-8, 13

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/EP2004/008205

Box II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)

This International Search Report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. Claims Nos.: because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:

2. Claims Nos.: because they relate to parts of the International Application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful International Search can be carried out, specifically:

3. Claims Nos.: because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

see additional sheet

1. As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this International Search Report covers all searchable claims.

2. As all searchable claims could be searched without effort justifying an additional fee, this Authority did not invite payment of any additional fee.

3. As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this International Search Report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:

4. No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this International Search Report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

Remark on Protest

The additional search fees were accompanied by the applicant's protest.

No protest accompanied the payment of additional search fees.

International Application No. PCT/EP2004/008205

FURTHER INFORMATION CONTINUED FROM PCT/ISA/ 210

This International Searching Authority found multiple (groups of) inventions in this international application, as follows:

1. claims: 1-13 and 37

Influence of eye movements on changes in the waveform

2. claims: 14-36

Digital centroid detection

フロントページの続き

(81)指定国 AP(BW,GH,GM,KE,LS,MW,MZ,NA,SD,SL,SZ,TZ,UG,ZM,ZW),EA(AM,AZ,BY,KG,KZ,MD,RU,TJ,TM),EP(AT,BE,BG,CH,CY,CZ,DE,DK,EE,ES,FI,FR,GB,GR,HU,IE,IT,LU,MC,NL,PL,PT,RO,SE,SI,SK,TR),OA(BF,BJ,CF,CG,CI,CM,GA,GN,GQ,GW,ML,MR,NE,SN,TD,TG),AE,AG,AL,AM,AT,AU,AZ,BA,BB,BG,BR,BW,BY,BZ,CA,CH,CN,CO,CR,CU,CZ,DE,DK,DM,DZ,EC,EE,EG,ES,FI,GB,GD,GE,GH,GM,HR,HU,ID,IL,IN,IS,JP,KE,KG,KP,KR,KZ,LC,LK,LR,LS,LT,LU,LV,M,A,MD,MG,MK,MN,MW,MX,MZ,NA,NI,NO,NZ,OM,PG,PH,PL,PT,RO,RU,SC,SD,SE,SG,SK,SL,SY,TJ,TM,TN,TR,TT,TZ,UA,UG,US,UZ,VC,VN,YU,ZA,ZM,ZW

(72)発明者 ポランド, ハンス - ヨアキム
ドイツ国 8 2 5 1 5 ウォルフラーツハウゼン, ヘイグルシュトラーセ 6 2

(72)発明者 ユーセフィ, ゲルハルト
ドイツ国 8 4 0 2 8 ランツフート, ライハルトシュトラーセ 1

(72)発明者 フランツケ, ステファン
ドイツ国 8 2 1 1 0 ゲーメリング, アウクスブルカーシュトラーセ 4 1

F ターム(参考) 2F065 AA03 AA17 AA21 AA51 FF04 HH04 JJ03 JJ26 LL10 QQ23
QQ42