

República Federativa do Brasil  
Ministério do Desenvolvimento, Indústria  
e do Comércio Exterior  
Instituto Nacional da Propriedade Industrial.

(21) PI0621233-6 A2



(22) Data de Depósito: 21/12/2006  
(43) Data da Publicação: 06/12/2011  
(RPI 2135)

(51) Int.CI.:  
G01J 9/00  
A61B 3/12  
G01J 3/06

(54) Título: SENSOR DE FRENTES DE ONDA SEQUENCIAL

(30) Prioridade Unionista: 20/01/2006 US 11/335,980

(73) Titular(es): Clarity Medical Systems

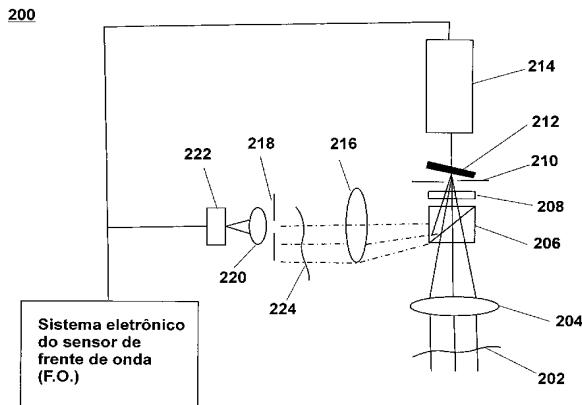
(72) Inventor(es): Qing Shun Zhao, Su Wei, Yan Zhou

(74) Procurador(es): Brasil Sul Marcas e Patentes S/C Ltda.

(86) Pedido Internacional: PCT US2006049112 de 21/12/2006

(87) Publicação Internacional: WO 2007/087058 de 02/08/2007

(57) Resumo: SENSOR DE FRENTES DE ONDA SEQUENCIAL. Um sensor de frente de onda sequencial inclui um módulo de varredura de feixe de luz (212), uma lente de focalização de subfrente de onda (220), um detector (222) com mais de uma área fotossensível e um processador para calcular os centróides de vários pontos de luz focalizados obtidos sequencialmente a partir das subfrentes de onda para determinar a aberração da frente de onda incidente. Um método de sentir uma frente de onda sequencial inclui as etapas: projetar seqüencialmente várias subfrentes de onda sobre uma lente de focalização de subfrente de onda e sobre um detector com mais de uma área fotossensível, calcular o centróide do ponto de luz focalizado a partir de cada subfrente de onda, e processar as informações do centróide para determinar a aberração da frente de onda. Em particular, um método para focalização automática e/ou correção automática do astigmatismo inclui as etapas de projetar seqüencialmente várias subfrentes de onda ao redor de um anel circular de uma frente de onda em uma lente de focalização de subfrente de onda e em um detector, calcular o centróide do ponto de luz focalizado a partir de cada subfrente de onda para calcular o rastro do centróide e portanto a perda de foco e/ou o astigmatismo, ajustar o foco e/ou o astigmatismo do sistema óptico de imagens antes do sensor de frente de onda de forma que a perda de foco e/ou o astigmatismo medido seja minimizado.



## "SENSOR DE FRENTE DE ONDA SEQÜENCIAL"

### Fundamentos da invenção

Sensores de frente de onda são dispositivos usados para medir a forma da frente de onda de um feixe de luz (veja, por exemplo, US4141652). Na maioria dos casos, um sensor de frente de onda mede o desvio de uma frente de onda a partir de uma frente de onda de referência ou de uma frente de onda ideal tal como uma frente de onda plana. Um sensor de frente de onda pode ser usado para medir aberrações tanto de baixa ordem como de alta ordem de vários sistemas ópticos de imagens, como por exemplo o olho humano (veja por exemplo, J. Liang, et al. 10 (1994) "Medição objetiva das aberrações de onda do olho humano com o uso de um sensor de frente de onda Hartmann-Shack," J. Opt. Soc. Am. A 11, 1949-1957; T. Dave (2004) "Wavefront aberrometry (Medição da distorção de Frente de onda) Parte 1: Teorias e conceitos atuais" Optometry Today (Optometria de Hoje), 19 de novembro de 2004, páginas 41 a 45). Além disso, um sensor de frente de onda 15 também pode ser usado em ótica adaptável na qual a frente de onda distorcida pode ser medida e compensada em tempo real, usando, por exemplo, um dispositivo de compensação de frente de onda óptica tal como um espelho deformável. Como resultado de tal compensação, pode ser obtida uma imagem nítida (veja por exemplo, US5777.719).

20 Atualmente, a maior parte dos sensores de frente de onda projetados para medir a aberração do olho humano são do tipo Shack-Hartmann, nos quais a frente de onda medida é dividida simultaneamente de modo paralelo em muitas subfrentes de onda. Os componentes essenciais de tais sensores incluem uma fonte de luz ou um feixe óptico incidente, um conjunto de lentes muito pequenas 25 (chamado de conjunto de lenslet), e uma máquina fotográfica ou algum outro meio para registrar o padrão e a posição (também chamado de centróide) das imagens de ponto formadas pelo conjunto de lenslets.

A Figura 1 mostra um exemplar de sensor Shack-Hartmann no estado da técnica usado para a medição de aberração dos olhos. Um SLD (diodo 30 superluminescente) 102 é geralmente usado como a fonte de luz, e a luz é liberada

através da ótica do olho (incluindo a córnea 104 e a lente de cristal 106) para uma área relativamente pequena na retina 108. A luz dispersa da retina 108 viaja através do sistema óptico de imagens do olho (incluindo a córnea 104 e a lente de cristal 106) e emerge da pupila como uma frente de onda distorcida 110. A fim de suprimir 5 a interferência proveniente da luz refletida pela córnea 104 e outras interfaces ópticas como a lente de cristal 106 que não sejam a retina 108, o feixe de luz incidente relativamente estreito é normalmente polarizado por um primeiro polarizador 112 em uma primeira direção. Dado que a luz dispersa pela retina é muito mais despolarizada, a luz dispersa pela retina é medida normalmente em uma 10 segunda direção de polarização ortogonal com um segundo analisador ortogonal 114.

Pode se usar um sistema de relé ótico, por exemplo, 116, consistindo de um conjunto de lentes, para ampliar ou reduzir ou simplesmente transferir a frente 15 de onda distorcida sobre um conjunto de lenslet 118. se o conjunto de lenslet 118 estiver em um plano conjugado da pupila (um plano de imagem da pupila), a frente de onda no plano da lenslet será idêntica ou será uma versão ampliada ou reduzida 20 da imagem da frente de onda na pupila do olho. O conjunto de lenslet 118 forma, então, um conjunto de imagens de pontos na câmera de CCD 120. Se o olho for um sistema óptico perfeito, a frente de onda no plano do conjunto de lenslet deve ser perfeitamente plana (como mostrado pela linha reta tracejada 122) e um conjunto de pontos de imagem uniformemente distribuídos deve ser registrado pela câmera de CCD 120 localizada no plano focal do conjunto de lenslet.

Por outro lado, se o olho não for perfeito, a frente de onda 124 no conjunto de lenslet não será perfeitamente plana e terá uma imagem curvada irregular. Conseqüentemente, as imagens dos pontos na câmera de CCD 120 partirão 25 da posição correspondendo ao caso de ausência de aberrações. Através de processamento de dados da posição de ponto de imagem na câmera de CCD 120, podem ser determinadas as aberrações do olho tanto de baixa ordem como de alta ordem (veja por exemplo, J. Liang, et al. (1994) "Medição objetiva das aberrações de onda do olho humano com o uso de um sensor de frente de onda Hartmann-Shack," 30 J. Opt. Soc. Am. A 11, 1949-1957).

Embora um sensor de frente de onda possa medir a aberraçao tanto de baixa ordem como de alta ordem de um sistema óptico de imagens, para um sistema de imagens não estatico, como o olho humano, foi mostrado que apenas as aberrações de baixa ordem correspondentes ao erro esfero-cilíndrico medido a partir da porção central do olho são relativamente consistentes (veja por exemplo, Ginis HS, et al. "Inconstância das medições de aberraçao de frente de onda em pupilas de tamanho pequeno usando um medidor clínico de distorção Shack-Hartmann" BMC Ophthalmol. 11 de fevereiro de 2004 ;4: 1)•

Na prática, para a maioria das medições e correção de aberraçao de olho como também para a maioria dos sistemas ópticos de imagens de fundo, as aberrações ópticas que precisam ser medidas e corrigidas são os erros esfero-cilíndricos (também chamados de perda de foco e astigmatismo). É bem conhecido pelas pessoas qualificadas na arte que estas aberrações podem ser medidas usando um pequeno número de subfrentes de onda ao redor um anel circular da frente de onda incidente. Em tal caso, seria perdida uma grande porção das leituras das estruturas do detector CCD. A fim de economizar, vários detectores quádruplos (tipicamente 8 ou 16) podem ser organizados ao redor de um anel circular de uma frente de onda distorcida para fazer a medição apenas destas subfrentes de onda (veja por exemplo, US4141652, que, junto com todas as outras referências citadas, 20 são aqui incorporadas em sua totalidade como referências para esta aplicação de patente).

Porém, com esta organização, ainda é necessário usar um número múltiplo de detectores quádruplos, que, embora, sejam coletivamente menos dispendiosos que uma câmera CCD de grande área, mas ainda são mais dispendiosos que um único detector quádruplo. Além disso, o alinhamento de vários detectores quádruplos também será muito mais difícil que o alinhamento de um único detector quádruplo.

#### Breve descrição dos desenhos

A Figura 1 mostra um exemplar de sensor Shack-Hartmann no estado 30 da técnica usado para a medição de aberraçao de olho.

A Figura 2 mostra um diagrama esquemático exemplar de uma materialização do sensor de frente de onda seqüencial.

A Figura 3 mostra o deslocamento relativo radial e azimutal de uma frente de onda reproduzida em 4 posições simétricas, que correspondem a 4 subfrentes de onda sendo selecionadas por uma abertura ao redor de um anel circular da frente de onda original.

A Figura 4 mostra uma materialização alternativa do sensor de frente de onda seqüencial, em que o feixe refletido é direcionado lateralmente pelo espelho de varredura em vez de ser direcionado inicialmente para trás.

A Figura 5 mostra outra materialização alternativa do sensor de frente de onda seqüencial, em que é usado um scanner de feixe óptico transmissivo.

A Figura 6 mostra ainda outra materialização alternativa do sensor seqüencial de frente de onda, em que vários blocos ópticos paralelos de diversas orientações espaciais desejadas podem ser comutados seqüencialmente no caminho do feixe óptico para deslocar o feixe transversalmente.

A Figura 7 mostra um detector quádruplo com quatro áreas fotossensíveis A, B, C e D, e o ponto de imagem no detector quádruplo para uma subfrente de onda incidente normal e para uma frente de onda incidente não normal.

A Figura 8 mostra vários casos representativos de bem focalizado, de perda de foco e de astigmatismo, o padrão associado de ponto de imagem no detector quádruplo atrás de uma lente de focalização de subfrente de onda, como também o movimento seqüencial das posições correspondentes do centróide quando mostrado em um monitor.

A Figura 9 representa um sistema em que um elemento ou módulo óptico com alta velocidade de ajuste de foco é acionado em um modo de controle por loop fechado através de um motor de alta velocidade para manter o sistema óptico focalizado.

A Figura 10 representa um sistema em que a condição de rotação do rastro do centróide pode ser usada como uma realimentação em um sistema de

controle por loop fechado para girar duas lentes cilíndricas de modo a controlar e corrigir o astigmatismo.

Descrição detalhada da invenção

A referência agora será feita em detalhes para várias materializações da invenção. Os exemplos destas materializações estão ilustrados nos desenhos de acompanhamento. Enquanto a invenção será descrita em conjunto com estas materializações, será entendido que não é pretendido limitar a invenção a qualquer materialização. Ao contrário, é planejado cobrir alternativas, modificações, e equivalentes que possam ser incluídas dentro do espírito e escopo da invenção como definido pelas reivindicações anexadas. Na descrição a seguir, são expostos numerosos detalhes específicos a fim de prover um entendimento completo das várias materializações. Porém, a presente invenção pode ser praticada sem algum ou todos estes detalhes específicos. Em outras instâncias, operações bem conhecidas do processo não foram descritas em detalhes a fim de não obscurecer desnecessariamente a presente invenção.

Uma materialização da presente invenção é um sensor de frente de onda seqüencial incluindo um módulo de varredura de feixe de luz, uma lente de focalização de subfrente de onda, um detector com mais de uma área fotossensível e um processador para calcular os centróides de pontos de luz focalizados obtidos seqüencialmente a partir das subfrentes de onda para determinar a aberração da frente de onda incidente. Nesta materialização da invenção, a lente de focalização da subfrente de onda e o detector são fixos no espaço e um feixe incidente é varrido pelo módulo de varredura por feixe de luz para projetar seqüencialmente diversas porções da frente de onda a partir do feixe incidente ou de uma réplica da frente de onda para a lente de focalização da subfrente de onda e para o detector. O processador pode ser um computador ou uma placa eletrônica programável que pode ser usado para calcular o rastro ou o padrão do centróide em um plano x-y.

A Figura 2 mostra um diagrama esquemático exemplar de uma materialização do sensor de frente de onda seqüencial 200. Um feixe de luz incidente polarizada linearmente tendo uma frente de onda 202 é focalizado pela primeira

lente 204. O feixe de focalização viaja através de um divisor de feixe de polarização (PBS) 206, que é preparado de tal maneira que sua direção de polarização de passar através dele é alinhada com a direção de polarização do feixe incidente. Como resultado, o feixe convergente, polarizado linearmente, passará através do PBS 206.

5 Uma placa 208 de um quarto de onda é colocada atrás do PBS 206 com o eixo rápido orientado de forma que um feixe polarizado circularmente é emerso depois da passagem pela placa 208 de um quarto de onda. Um furo muito pequeno 210 é colocado atrás do prato 208 de um quarto de onda e diretamente em frente do espelho 212 de varredura para cumprir a finalidade de rejeitar a não luz que não vem

10 diretamente da frente de onda de interesse do feixe de luz.

O feixe incidente convergente, depois de passar pelo furo muito pequeno 210, é focalizado na superfície refletiva de um espelho inclinado de varredura 212, que é montado em um eixo de motor 214. O feixe de luz refletido pelo espelho é divergente, com seu raio principal do feixe central alterado para uma direção que é dependente no ângulo de inclinação do espelho de varredura 212 e da posição rotacional do motor 214. É esperado que o feixe refletido ainda seja polarizado circularmente, mas a direção de rotação da polarização circular será alterada da esquerda para a direita ou da direita para a esquerda. Portanto, na passagem através da placa de um quarto de onda 208 uma segunda vez no seu caminho de retorno, o feixe torna-se novamente polarizado linearmente, mas com sua direção de polarização girada para uma direção ortogonal com respeito àquela do feixe original incidente. Portanto, no divisor 206 do feixe por polarização, o feixe retornado será refletido em sua maior parte à esquerda como mostrado pelos raios de luz tracejados na Figura 2.

25 Uma segunda lente 216 é colocada à esquerda, próximo ao PBS 206, para colimar o feixe divergente refletido e produzir uma réplica da frente de onda original incidente. Devido à inclinação do espelho de varredura, a frente de onda reproduzida é deslocada transversalmente. Uma abertura 218 é colocada atrás da segunda lente 216 e bem em frente à lente de focalização da subfrente de onda 220

30 para selecionar uma porção pequena da frente de onda reproduzida. A lente 220 de

focalização da subfrente de onda focaliza a subfrente de onda selecionada sobre um dispositivo sensor de posição 222, o qual é usado para determinar o centróide do ponto de luz focalizado gerado a partir das subfrentes de onda selecionadas seqüencialmente. Girando o motor 214 e alterando o ângulo de inclinação do espelho 5 212 de varredura em um modo de passos, a quantidade de deslocamento radial e azimuthal da frente de onda reproduzida pode ser controlada tal que qualquer porção da frente de onda reproduzida pode ser selecionada para passar através da abertura 218 em um modo seqüencial. Como resultado, a frente de onda global do feixe de 10 entrada original pode ser caracterizada como para o caso de um sensor padrão de frente de onda Hartmann-Shack com a exceção que o centróide de cada subfrente de onda é agora obtido de uma maneira seqüencial em lugar de uma maneira paralela.

Em outra materialização, o ângulo de inclinação do espelho de varredura é fixo e o motor é girado em múltiplos passos continuamente. Como o resultado, apenas um número selecionado de subfrentes de onda, ao redor um anel 15 circular da frente de onda, será selecionado e caracterizado. Este modo de varredura é extremamente útil para determinar o erro esférico-cilíndrico ou a perda de foco e o astigmatismo da frente de onda original conforme foi discutido na seção de fundo. A Figura 3 mostra o deslocamento radial e azimuthal, com respeito à abertura 310, das 20 frentes de onda reproduzidas (302, 304, 306 e 308) em 4 posições simétricas de parada do motor de cada revolução, que corresponde a 4 subfrentes de onda (312, 314, 316 e 318) sendo selecionadas pela abertura 310 ao redor um anel circular 320 da frente de onda original.

É entendido que sem partir do escopo da presente invenção, podem existir muitas variações em termos de componentes usados. Por exemplo, a placa de 25 um quarto de onda pode ser uma placa de um quarto de onda de ordem não-zero e pode ser substituída por um rotor de Faraday que pode girar a direção de polarização de um feixe retornado para uma direção ortogonal. Entretanto, o feixe de entrada não precisa estar polarizado linearmente e o divisor de feixe não precisa ser restrito a um divisor de feixe de polarização. Pode ser usado um divisor de feixe óptico comum e 30 em tal um caso, a placa de um quarto de onda ou o rotor de Faraday podem ser

removidos. Apesar de que a eficiência da energia óptica para o detector será reduzida, isto pode não necessariamente afetar o desempenho do sensor de frente de onda desde que exista potência óptica suficiente entregue para o detector.

O dispositivo sensor de posição (PSD) é um sensor usado para medir o centróide de um ponto de luz de vários tamanhos. O dispositivo sensor de posição pode ser, não estando ,porém, limitado a estes, um detector quádruplo, um sensor de PSD ou um detector que tenha múltiplas áreas fotossensíveis como um conjunto detector 2D de área pequena. Tais detectores incluem o detector de área em CCD e o detector de área em CMOS. Cada uma das lentes usadas, incluindo 204, 216 e 220, não precisa ser restrita a uma lente única e pode ser uma combinação de lentes como é bem conhecido pelos que são qualificados na arte. A abertura na frente da lente de focalização da subfrente de onda pode ser removida se a lente de focalização da subfrente de onda for tão pequena quanto uma única lenslet. Caso contrário, é necessária, preferivelmente, uma abertura e a finalidade da abertura é selecionar uma porção pequena da frente de onda para focalização sobre o detector, quando a lente de focalização da subfrente de onda usada atrás da abertura for relativamente grande. A abertura não é necessariamente limitada à configuração de tamanho fixo. Uma abertura de tamanho variável permite uma seleção de sensibilidade e resolução durante sua operação.

Adicionalmente, a lente de focalização da subfrente de onda pode ser substituída por qualquer elemento óptico que possa realizar a função de focalização, por exemplo, também podem ser usados uma lente de índice gradual ou um espelho de focalização. Também o número de paradas para cada revolução do motor não precisa ser limitado a 4 e pode ser qualquer número. Entretanto, o motor pode ser girado continuamente e a fonte de luz pode ser do tipo de pulsos curtos para ser ligada em diversos instantes. O ângulo de inclinação do espelho de varredura também pode ser alterado dinamicamente e em tempo real de forma que possam ser selecionadas diversas porções do anel circular da frente de onda. De fato, embora nós tenhamos usado o termo "espelho inclinado", deve-se notar que o termo também inclui o caso de ângulo zero de inclinação do espelho, isto é, o feixe de entrada é

perpendicular ao espelho de forma que o feixe refletido é coaxial com respeito ao feixe incidente visto que direcionará a porção central da frente de onda original para o detector.

A ordem da seqüência de rotação do motor e a inclinação do espelho de varredura também podem ser invertidas ou misturadas de forma que a seleção de subfrentes de onda pode ser em qualquer seqüência desejada. Além disso, o espelho de varredura e o motor ambos podem ser substituídos, não estando, porém, limitados a isso, por um espelho MEMS (sistema micro mecânico elétrico), que atualmente está sendo introduzido no mercado, ou qualquer outro espelho deformável desde que possa alterar a direção do feixe de luz refletido. A vantagem de usar um espelho MEMS é que ele tem uma resposta de freqüência relativamente alta por causa do baixo peso da massa do espelho móvel, tendo como resultado que pode ser obtida uma alta velocidade de leitura da frente de onda seqüencial. Além disso, o ângulo de inclinação do espelho MEMS pode ser facilmente controlado.

Fica entendido que sem partir do escopo da presente invenção, também podem existir muitas variações em termos de configuração do sistema. Por exemplo, não existe uma necessidade absoluta de primeiramente refletir a frente de onda para trás e depois inclinar o feixe para o lado.

Como alternativa, o espelho de varredura pode ser substituído também por um espelho de tambor multifacetado não-convencional 412 com cada superfície refletiva tendo uma orientação espacial desejada tal que quando cada superfície refletiva for girada de posição em uma maneira de passo a passo ou contínua, o feixe incidente convergente é refletido com o raio principal central rastreando ao redor de um cone. A Figura 4 mostra uma visualização seccional cruzada esquemática de tal configuração 400, em que o feixe refletido é deslocado transversalmente para cima. Deve ser notado que o feixe refletido também pode ser deslocado para baixo, para a esquerda ou para a direita, ou para qualquer direção azimutal com qualquer quantidade de deslocamento radial. Isto ocorre porque o tambor multifacetado 412 não é um polígono simétrico, e quando cada superfície for movida de posição para refletir o feixe incidente convergente, ela refletirá o feixe para uma direção espacial

diferente, de forma que uma porção desejada da frente de onda reproduzida seja selecionada pela abertura para focalização sobre o detector.

Adicionalmente, pode ser colocado novamente um furo minúsculo antes do espelho multifacetado ao longo do caminho da luz incidente para rejeitar a 5 luz que não vem da direção ou da posição desejada do feixe incidente. Note que a mesma configuração pode ser realizada usando um espelho MEMS para substituir o espelho multifacetado o que oferecerá a todas as vantagens, conforme foram mencionadas anteriormente. Note também que o espelho de tambor multifacetado pode ter tal arranjo de orientação das facetas que quando o tambor girar em passos 10 múltiplos continuamente, são selecionadas várias subfrentes de onda ao redor de um anel circular da frente de onda para focalizar sobre o detector.

Como alternativa, o sistema também pode ser configurado em um modo inteiramente transmissivo em vez de em um modo refletivo. A Figura 5 mostra 15 tal configuração na qual o espelho de tambor multifacetado é substituído por varredura de feixe óptico transmissivo 512a e 512b. Existem vários scanners diferentes de feixe ópticos transmissivo, atualmente disponíveis comercialmente, os exemplos incluem scanner de feixe modulador acústico-óptico, eletro-óptico ou magneto-óptico e scanner de feixe de cristal líquido, que são representados por 512a. Em tais casos, o scanner de feixe deve ser capaz de varrer o feixe, focalizado ou não 20 focalizado, dependendo do lado da janela do scanner transmissivo, em forma de duas dimensões, de modo a direcionar seqüencialmente para caracterização várias porções desejadas da frente de onda.

Alternativamente, um disco de seção de múltiplas cunhas 512b também 25 pode ser usado para tal finalidade. É entendido que, conforme foi discutido para o espelho de tambor multifacetado no caso refletivo, o disco de seção de múltiplas cunhas 512b para o caso transmissivo também deve ser um disco não simétrico no sentido que quando uma seção de cunha for girada de posição para inclinar o feixe focalizado ou não focalizado, o ângulo da cunha determinará a direção do feixe emergente e portanto a porção da frente de onda que será selecionada pela abertura 30 518b. Cada seção de cunha deve ter uma orientação diferente de ângulo de cunha

para permitir uma seqüência de subfrentes de onda desejadas a serem caracterizadas. Note que se a janela do scanner transmissivo for pequena, o feixe incidente precisa ser focalizado na posição do scanner transmissivo e em tal caso, deve ser usada uma primeira lente para focalizar o feixe óptico incidente e deve ser usada uma segunda lente para colimar o feixe transmitido de modo a produzir uma réplica da frente de onda incidente que está deslocada transversalmente no espaço.

Em outra materialização da presente invenção, o conceito de deslocar transversalmente e seqüencialmente a frente de onda do feixe incidente é adicionalmente estendido para incluir o caso de deslocamento direto transversal do feixe incidente, no qual o feixe incidente é não focalizado e depois colimado novamente. Ao invés disso, o feixe incidente é direcionado transversalmente deslocado para direcionar uma porção desejada da frente de onda para a abertura (618a, 618b). A vantagem de tal esquema é que serão necessários menos elementos ópticos e portanto o módulo de varredura de luz pode ser muito simplificado. A Figura 6 mostra um exemplo em que vários blocos ópticos paralelos (612a, 612b) de diversas orientações espaciais desejadas podem ser comutados seqüencialmente dentro do caminho do feixe óptico para deslocar o feixe transversalmente.

Alternativamente, o scanner de feixe óptico transmissivo pode ser um polígono multifacetado transmissivo que pode ser girado por passos para interceptar o caminho do feixe óptico para deslocar o feixe transversalmente e seqüencialmente. Note também que o deslocamento transversal de um feixe óptico não necessariamente tem que ser realizado por meio mecânico. Por exemplo, uma célula de cristal líquido, uma célula eletro-óptica e uma célula magneto-óptica, todas podem ser usadas para a finalidade de deslocamento transversal do feixe, em cujo caso, a mudança no índice refrativo efetivo da célula alterará a quantidade de deslocamento transversal do feixe. Como no caso do scanner de feixe óptico refletivo, o scanner de feixe óptico transmissivo pode ser feito para permitir que sejam selecionadas várias subfrentes de onda ao redor um anel circular da frente de onda para focalizar sobre o detector de modo a perceber a aberraçāo de perda de foco e de astigmatismo.

O sensor de frente de onda, acima descrito, pode ser usado para um grande número de aplicações. Uma primeira aplicação importante é em ótica adaptável na qual a frente de onda distorcida medida pode ser compensada em tempo real usando um dispositivo de compensação de frente de onda como um conjunto de espelhos deformáveis. Em tal caso, a velocidade para varrer o feixe precisa ser relativamente alta e, portanto, devem ser usados de preferência scanners de feixe de alta velocidade ou deslocadores como espelhos MEMS e células eletro-ópticas ou magneto-ópticas.

Uma segunda aplicação importante das materializações acima descritas está em autofocalização e/ou correção de astigmatismo. Devido ao fato que apenas um número reduzido (por exemplo, 8) de subfrentes de onda ao redor um anel circular precisa ser caracterizado a fim de deduzir a perda de foco e o astigmatismo de um sistema de imagem como o de um olho humano, o módulo de varredura do feixe óptico não precisa ter resposta de freqüência muito alta e consequentemente, serão suficientes scanners de feixe de baixo custo como um espelho inclinado montado em um motor de passo como o mostrado na Figura 4. Por exemplo, o sensor de frente de onda acima descrito pode ser usado em uma câmera de fundo de olho para perda de foco e/ou correção de astigmatismo em tempo real de um sistema de imagem de olho como descrito em US6361167 e US6685317 de forma que possa ser obtida uma imagem de fundo de olho de alta resolução.

Outra funcionalidade do sensor de frente de onda acima descrito é que quando for aplicado à caracterização apenas de perda de foco e/ou astigmatismo, ele será suficiente um detector quádruplo e sua saída pode ser processada para produzir um rastro ou um padrão seqüencial, que pode ser mostrado em um monitor, para indicar, em tempo real, se o sistema óptico de imagem na frente do sensor de frente de onda está focalizado ou não, o quanto está fora de foco, se a perda de foco é convergente ou divergente, a quantidade de astigmatismo, como também o eixo do astigmatismo.

Assuma um detector quádruplo 702 com quatro áreas fotossensíveis A, B, C e D como mostrado na Figura 7. Se a subfrente de onda for incidente em um

ângulo normal com respeito à lente de focalização da subfrente de onda na frente do detector quádruplo, o ponto de imagem 704 no detector quádruplo estará no centro e as quatro áreas fotossensíveis receberão a mesma quantidade de luz, com cada área produzindo um sinal da mesma intensidade. Por outro lado, se a subfrente de onda 5 partir de incidência normal com um ângulo de inclinação (digamos, apontando na direção direita superior), o ponto de imagem no detector quádruplo será então formado longe do centro (movido para o quadrante direito superior, como mostrado pelo ponto de imagem 706). O desvio  $(x, y)$  do centróide a partir do centro ( $x=0, y=0$ ) pode ser caracterizado usando a seguinte equação:

10 
$$x = \frac{(B + C) - (A + D)}{A + B + C + D}$$

15 
$$y = \frac{(A + B) - (C + D)}{A + B + C + D}$$

onde A, B, C e D representam a intensidade do sinal em cada área fotossensível correspondente do detector quádruplo e o denominador ( $A+B+C+D$ ) é usado para normalizar a medição de forma que o efeito de flutuação de intensidade 20 da fonte óptica possa ser cancelado.

Quando várias subfrentes de onda simétricas (por exemplo, 4, 8 ou 16) ao redor um anel circular de um feixe óptico for projetado seqüencialmente (por exemplo, em sentido horário) sobre a lente de focalização da subfrente de onda e sobre o detector quádruplo, o desvio do centróide como indicado por  $(x, y)$  da 25 Equação (1) a partir do centro do detector quádruplo rastreará um padrão em um plano x-y que pode ser mostrado em um monitor e também ser processado digitalmente para representar o status de perda de foco e astigmatismo.

A Figura 8 mostra vários casos representativos de bem focalizado, de perda de foco e de astigmatismo, o padrão associado de ponto de imagem no detector 30 quádruplo atrás da lente de focalização de subfrente de onda, como também o

movimento seqüencial das posições correspondentes do centróide quando mostrado em um monitor. Note que em vez de desenhar várias frentes de onda sendo projetadas com diversas subfrentes de onda sobre a mesma lente de focalização de subfrente de onda e sobre o detector quádruplo, nós tomamos a representação 5 equivalente como mostrada na Figura 3 na qual várias subfrentes de onda são desenhadas em torno do mesmo anel circular e, consequentemente, vários detectores quádruplos são desenhados em torno do mesmo anel circular para representar o caso de varredura de porções diferentes de uma frente de onda para uma lente de focalização de subfrente de onda e um único detector quádruplo.

10 Assuma que nós iniciamos a varredura em torno do anel circular de frente de onda a partir da subfrente de onda e movemos em um sentido horário para a segunda subfrente de onda à direita e assim por diante como indicado pela seta 809. Pode ser visto na Figura 8 que quando a frente de onda for uma onda plana 801 o que significa que o sistema óptico está bem focalizado e sem nenhuma aberração, 15 todas as subfrentes de onda (por exemplo, 802) formam um ponto de imagem 803 no centro do detector quádruplo 804 e como resultado, o rastro do centróide 805 em um monitor 806 também estará sempre no centro do plano x-y. Portanto, um padrão ou rastro do centróide todo no centro do plano x-y pode ser usado para indicar o status de bem focalizado.

20 Porém, para um caso mais geral, sempre pode haver alguma aberração da frente de onda incidente que moverá de certa forma o centróide para fora do centro do plano x-y, como por exemplo no caso de astigmatismo que será discutido brevemente. Portanto, com a presença de outras aberrações, a minimização da dispersão dos centróides a partir do centro do plano x-y pode ser usado como 25 critérios para autofocalização ou focalização assistida. Em tal caso, a dispersão dos centróides pode ser definida como uma somatória da distância absoluta de cada centróide a partir de um centro comum e este sinal pode ser usado como um sinal de realimentação em um sistema de controle por loop fechado para autofocalização.

Quando a frente de onda incidente for divergente como mostrado por 30 811, o centro do ponto de imagem 813 de cada subfrente de onda 812 estará no lado

radialmente externo a partir do centro da frente de onda com uma quantidade igual de desvio a partir do centro do detector quádruplo 814, e como resultado, o rastro 815 no monitor 816 será um círculo no sentido horário como indicado pela seta 818 a partir da posição superior 817. Se, por outro lado, a frente de onda incidente for 5 convergente como mostrado por 821, o centro do ponto de imagem 823 de cada subfrente de onda 822 estará no lado radialmente interno relativamente ao centro da frente de onda com uma quantidade igual de desvio a partir do centro do detector quádruplo 824, como resultado, o rastro de centróide 825 no monitor 826 ainda será um círculo mas iniciará a partir da posição inferior 827 e ainda será no sentido 10 horário como indicada pela seta 828. Portanto quando for detectada uma mudança de sinal tanto para a posição do centróide no eixo x como para posição do centróide no eixo y, isto é uma indicação que a frente de onda incidente está mudando de um feixe divergente para um feixe convergente ou ao contrário. Além disso, o ponto de partida do rastro do centróide também pode ser usado como um critério para indicar 15 se a frente de onda incidente é divergente ou convergente.

Estes critérios de mudança de sinal ou mudança do ponto de partida podem portanto ser usados como uma realimentação para indicar se o sistema óptico na frente do sensor de frente de onda está bem focalizado ou não. Na prática, podem estar presentes outras aberrações da frente de onda e portanto uma mudança de sinal 20 para toda a posição do centróide pode não acontecer ao mesmo tempo. Uma prática preferida pode ser definir uma quantidade crítica de ajuste de foco no sistema óptico na frente do sensor de frente de onda tal que se o dentro da faixa pré-configurada de ajuste do foco, todos ou a maior parte dos sinais do centróide mudaram, então a frente de onda pode ser considerada como estando no foco. Em uma materialização 25 da presente invenção, esta mudança de sinal pode portanto ser usada como critério para autofocalização ou focalização assistida, em que, um elemento ou módulo óptico de ajuste de foco em alta velocidade como uma lente móvel axialmente acionada em um modo de controle em loop fechado por um motor de alta velocidade pode ser disposto no sistema óptico na frente do sensor de frente de onda para 30 manter o sistema óptico sempre em foco travando o sistema no ponto de mudança do

sinal. Alternativamente, outros tipos de lentes de foco ajustável como uma lente de tensão de superfície líquida, uma lente de cristal líquido ou uma lente acústica-óptica também podem ser usadas para a mesma finalidade.

Para o caso de uma frente de onda incidente esférica tanto convergente 5 como divergente, a direção de rotação do rastro seqüencial do centróide no plano x-y é a mesma que a direção de varredura das subfrentes de onda em torno do anel circular da frente de onda incidente. Nesta materialização da invenção, nós definimos esta mesma direção de rotação como normal. Como será discutido brevemente, para o caso de uma frente de onda incidente astigmática, pode acontecer 10 que a direção de rotação do rastro seqüencial do centróide no plano x-y seja a oposta quando comparada à direção de varredura das subfrentes de onda em torno do anel circular da frente de onda incidente, então nós definimos esta direção de rotação oposta como anormal.

Para os casos de rotação normal do rastro do centróide no plano x-y, se 15 o rastro for circular, o diâmetro do rastro circular (815, 825) obviamente pode ser usado para indicar o grau da perda de foco. Na prática, como pode sempre haver algumas outras aberrações e portanto o rastro do centróide pode não ser perfeitamente circular, uma boa prática pode ser ajustar o rastro do centróide para um círculo e então derivar um diâmetro ou raio médio calculado do rastro. Em uma 20 materialização da presente invenção, os critérios de obter um diâmetro ou raio mínimo médio calculado de um rastro do centróide são usados para focalização assistida ou autofocalização, na qual, um elemento ou módulo óptico de ajuste de foco em alta velocidade como uma lente móvel (930) acionada axialmente por uma forma de controle por loop fechado por um motor de alta velocidade pode ser 25 arranjado no sistema óptico na frente do sensor de frente de onda para manter o sistema óptico sempre em foco como mostrado na Figura 9. Alternativamente, lentes de foco ajustável como lentes de tensão de superfície de líquidos, lentes de cristal líquido ou lentes acústicas-ópticas também podem ser usadas para a mesma finalidade.

Também pode ser visto a partir da Figura 8 que quando a frente de onda incidente for astigmática, pode acontecer que quando a frente de onda incidente estiver aproximadamente em foco, a frente de onda pode ser divergente na direção vertical como mostrado por 831a e convergente na direção horizontal como 5 mostrado por 831b, como resultado, a posição do centróide das subfrentes de onda verticais 833a estará localizada radialmente externa com respeito ao centro da frente de onda incidente, e a posição do centróide das subfrentes de onda horizontais 833b estará localizada radialmente interna com respeito ao centro da frente de onda incidente. Conseqüentemente, o rastro do centróide 835 no monitor 836 iniciará a 10 partir da posição superior 837 mas move-se no sentido anti-horário como indicado pela seta 838, portanto a rotação do rastro do centróide é agora anormal. Note aquele quando nós dizemos que a frente de onda astigmática está aproximadamente em foco, nós queremos dizer que ao longo de um eixo da frente de onda astigmática, as 15 subfrentes de onda são divergentes, e ao longo do outro eixo da frente de onda astigmática, as subfrentes de onda são convergentes. Em uma materialização da presente invenção, esta direção de rotação anormal do rastro do centróide pode ser usada para a primeiramente indicar que a frente de onda incidente é astigmática e em Segundo lugar para indicar que a frente de onda astigmática está aproximadamente 20 em foco. A forma circular do rastro do centróide anormal também pode ser usada para indicar se a frente de onda de entrada astigmática está relativamente bem em foco ou não.

Por outro lado, se a frente de onda incidente for astigmática mas todas as subfrentes de onda são ou inteiramente divergentes ou inteiramente convergentes, a rotação do rastro do centróide será no sentido horário (isto é normal) com base em 25 um parâmetro semelhante como foi feito para a frente de onda divergente e convergente fora de foco, porém, para o caso astigmático, o rastro do centróide no monitor será elíptico em lugar de circular visto que as subfrentes de onda ao longo de um eixo astigmático serão mais divergentes ou convergentes que aquelas ao longo do outro eixo. Para uma frente de onda astigmática mais geral, ou o rastro do centróide girará em uma direção anormal com o rastro ou elíptico ou circular, ou o 30

rastro do centróide girará na direção normal de rotação mas o rastro será elíptico. O eixo da elipse pode estar em qualquer direção radial relativa ao centro da frente de onda, o que indicará o eixo do astigmatismo. Neste caso, 4 subfrentes de onda ao redor um anel circular podem não ser suficientes e mais subfrentes de onda (como 8 ou 16 em vez de 4) podem ser projetadas sobre a lente de focalização e sobre o detector quádruplo da subfrente de onda e serem caracterizadas.

Em uma materialização da presente invenção, a forma elíptica de um rastro do centróide normal ou a diferença relativa no comprimento dos dois eixos elípticos é usada para indicar o grau de astigmatismo. Em outra materialização da presente invenção, o eixo de um rastro de centróide elíptico normal é usado para indicar o eixo do astigmatismo. Em ainda outra materialização da presente invenção, o sensor de frente de onda pode ser usado para prover um sinal de realimentação para corrigir o astigmatismo do sistema óptico na frente do módulo sensor de frente de onda. Em tal caso, a direção de rotação, o eixo elíptico e a forma elíptica do rastro do centróide, todos podem ser usados como uma realimentação em um sistema de controle por loop fechado para ativar um elemento de correção do astigmatismo, como girar, como um elemento combinado, duas lentes cilíndricas 1030, 1031 (como mostrado na Figura 10). Em tal caso, se a rotação do rastro do centróide for normal, a forma elíptica do rastro do centróide pode ser minimizada e portanto a forma circular do rastro é maximizada para obter correção automática do astigmatismo. Por outro lado, se a rotação do rastro do centróide for anormal, um bom critério para corrigir o astigmatismo é primeiramente encurtar um dos dois eixos do rastro elíptico para girar o rastro do centróide para rotação normal e então prolongar o mesmo eixo para tornar o rastro do centróide circular. Como resultado, também pode ser obtida a correção automática do astigmatismo.

Em outra materialização da presente invenção, o modo de operação autofocalização é combinado com o modo de operação de correção automática do astigmatismo, de forma que uma correção em tempo real tanto da perda de foco como do astigmatismo para um sistema óptico de imagem como o olho humano pode deste modo ser obtido. Uma prática preferida seria realizar primeiramente a correção

do astigmatismo e depois a correção da perda de foco. Porém, isto não significa que a seqüência não possa ser invertida, de fato, pode ser usado um processo iterativo para comutar entre as duas correções até que certos critérios sejam alcançados. 5 Como discutido na seção de fundo desta aplicação, a perda de foco e o astigmatismo são as duas aberrações importantes que podem afetar substancialmente a qualidade de um sistema óptico de imagem. Portanto, pela correção destas duas aberrações importantes usando o sensor de frente de onda acima descrito, pode ser obtida uma imagem de alta qualidade como uma imagem de fundo de um olho humano.

Embora nas discussões acima para caracterizar e corrigir a perda de 10 foco e o astigmatismo, nós usamos um detector quádruplo para ilustrar o princípio da operação, outros detectores também podem ser usados desde que eles possam fornecer as informações das posições do centróide. Nós mencionamos anteriormente que o detector também pode ser um conjunto de detectores CCD de área ou de 15 CMOS de área. Obviamente, estes detectores também podem ser usados em lugar do detector quádruplo para caracterizar e corrigir a perda de foco e o astigmatismo, conforme foi discutido acima.

O sensor presentemente acima descrito pode ter muitos outros 20 aplicativos além de ser usado como um sensor avançado em uma câmera de fundo para focalização automática e correção de astigmatismo. Por exemplo, ele pode ser usado em uma ferramenta de alinhamento óptico, a tecnologia principal também pode ser usada para a base de um novo auto-refrator. O sensor também pode ser usado como um sensor de focalização geral em qualquer aplicação.

A invenção pode ser implementada, em parte, como código de 25 programa, armazenado em uma mídia legível de computador, isto é: ser executado por um computador digital. A mídia legível de computador pode incluir, entre outras coisas, mídias magnéticas, mídias ópticas, campos eletromagnéticos codificando informações digitais, e assim por diante.

Fica entendido que a descrição das materializações preferidas da 30 invenção são apenas para finalidade de ilustração. As pessoas qualificadas na arte podem reconhecer outras materializações equivalentes àquelas aqui descritas; cujos

equivalentes são destinados a serem abrangidos pelas reivindicações anexadas sobre este assunto. Por exemplo, as descrições são para o caso em que se usa uma lente de focalização de subfrente de onda única e um único detector quádruplo, porém, isto não significa que o mesmo princípio de varredura de uma frente de onda para 5 projetar diversas posições de uma frente de onda não possa ser aplicada ao caso de dois ou mais detectores quádruplos ou outros módulos de detecção. O módulo de varredura por luz também pode projetar múltiplas porções da frente de onda incidente sobre vários módulos de detecção para redução adicional do tempo para terminar uma série de caracterização de subfrente de onda. Por exemplo, o princípio 10 pode ser estendido para o caso em que um conjunto linear de lenslets é organizado em paralelo a um conjunto linear de detectores quádruplos e como resultado, a varredura seqüencial da frente de onda incidente pode ser realizada varrendo a frente de onda em uma direção que é perpendicular ao conjunto linear de lenslets e detectores quádruplos.

## REIVINDICAÇÃO

- 1). "SENSOR DE FRENTE DE ONDA SEQÜENCIAL" é **caracterizado por** um sensor de frente de onda seqüencial incluindo uma lente de focalização de subfrente de onda para focalização de uma porção incidente de uma frente de onda em um ponto de imagem localizado em um plano focal; um dispositivo de varredura seqüencial de frente de onda para projetar seqüencialmente diversas porções de uma frente de onda incidente na lente sensora de subfrente de onda; e um dispositivo sensor de posição, localizado substancialmente no plano focal da lente de focalização da subfrente de onda, para indicar a posição do ponto de imagem no plano focal.
- 2). O sensor seqüencial de frente de onda da reivindicação 1 é **caracterizado** onde o dispositivo de varredura seqüencial de frente de onda inclui adicionalmente: um scanner de frente de onda óptico-mecânico para deslocar seqüencialmente a direção de uma frente de onda incidente; e uma abertura, localizada entre o scanner de frente de onda óptico-mecânico e a lente de focalização da subfrente de onda, isso permite que uma porção de uma frente de onda deslocada seja incidente na lente de focalização da subfrente de onda.
- 3). O sensor seqüencial de frente de onda da reivindicação 2 é **caracterizado** onde o scanner de frente de onda óptico-mecânico inclui: um motor elétrico tendo um eixo; e um espelho inclinado localizado no eixo.
- 4). O sensor de frente de onda seqüencial da reivindicação 3 é **caracterizado onde** o motor é um motor de passo e o espelho inclinado é montado em um ângulo fixo de forma que é varrida uma quantidade selecionada de subfrentes de onda ao redor um anel circular da frente de onda.
- 5). O sensor seqüencial de frente de onda da reivindicação 2 é **caracterizado** onde o scanner de frente de onda óptico-mecânico inclui: um motor elétrico que tem um eixo; e um espelho de tambor multifacetado assimétrico montado no eixo.
- 6). O sensor de frente de onda seqüencial da reivindicação 1 é **caracterizado** em que o dispositivo sensível à posição é um detector quádruplo tendo quatro áreas fotossensíveis.

- 7). "SENSOR DE FRENTE DE ONDA SEQÜENCIAL" é **caracterizado por** um método para detectar aberração de uma frente de onda incidente, incluindo o dito método: projetar seqüencialmente porções uma frente de onda como pontos de imagem em um dispositivo sensor de posição; e determinar a deflexão de cada ponto de imagem recebido a partir de um ponto de referência no dispositivo sensor de posição.
- 8). O método da reivindicação 7 incluindo adicionalmente é **caracterizado por** mostrar as deflexões dos pontos da imagem para formar um padrão em um dispositivo de visualização; e analisar os pontos de imagem mostrados para caracterizar a aberração da frente de onda incidente.
- 9). O método da reivindicação 8 é **caracterizado** onde a dispositivo sensor de posição é um detector quádruplo tendo um ponto de referência e o dito passo para determinar a deflexão inclui adicionalmente: calcular determinadas coordenadas de um ponto de imagem projetada no detector quádruplo; e onde o dito passo de mostrar as deflexões inclui adicionalmente: mostrar cada posição de ponto de imagem recebido com base em sua coordenada determinada.
- 10). O método da reivindicação 9 é **caracterizado** onde o passo de analisar inclui adicionalmente: determinar a dispersão dos pontos de imagem mostrados a partir do ponto de referência.
- 11). O método da reivindicação 9 é **caracterizado** onde o passo de analisar inclui adicionalmente: detectar uma mudança de sinal na posição mostrada de um ponto de imagem para indicar uma mudança da forma de onda incidente entre uma forma de onda convergente e uma forma de onda divergente.
- 12). "SENSOR DE FRENTE DE ONDA SEQÜENCIAL" é **caracterizado por** um método para compensar aberrações de uma frente de onda incidente, incluindo o dito método: projetar seqüencialmente porções da frente de onda incidente como pontos de imagem em um dispositivo sensor de posição; medir a deflexão de cada ponto de imagem recebido a partir de um ponto de referência no dispositivo sensor de posição para determinar a aberração da frente de onda incidente; e formar critérios de realimentação com base na deflexão de cada ponto de imagem recebido.

13). O método da reivindicação 12 é **caracterizado** onde o dito passo de formar critérios de realimentação inclui adicionalmente: minimizar a dispersão das deflexões como um critério para autofocalizar a frente de onda.

14). O método da reivindicação 12 é **caracterizado** onde o dito passo de formar critérios de realimentação inclui adicionalmente: detectar uma mudança de sinal da deflexão de um ponto de imagem como um critério para indicar quando um sistema óptico na frente da frente de onda está em foco.

15). O método da reivindicação 12 é **caracterizado** onde o dito passo de formar critérios de realimentação inclui adicionalmente: detectar a divergência das deflexões a partir de um círculo como um critério de realimentação para focalizar a frente de onda.

16). O método da reivindicação 12 é **caracterizado** onde o dito passo de formar critérios de realimentação inclui adicionalmente: detectar a rotação anormal das deflexões como um critério de realimentação para a focalização uma frente de onda astigmática.

17). O método da reivindicação 12 é **caracterizado** onde o dito passo de formar critérios de realimentação inclui adicionalmente: detectar a forma elíptica das deflexões como um critério de realimentação para corrigir o astigmatismo.

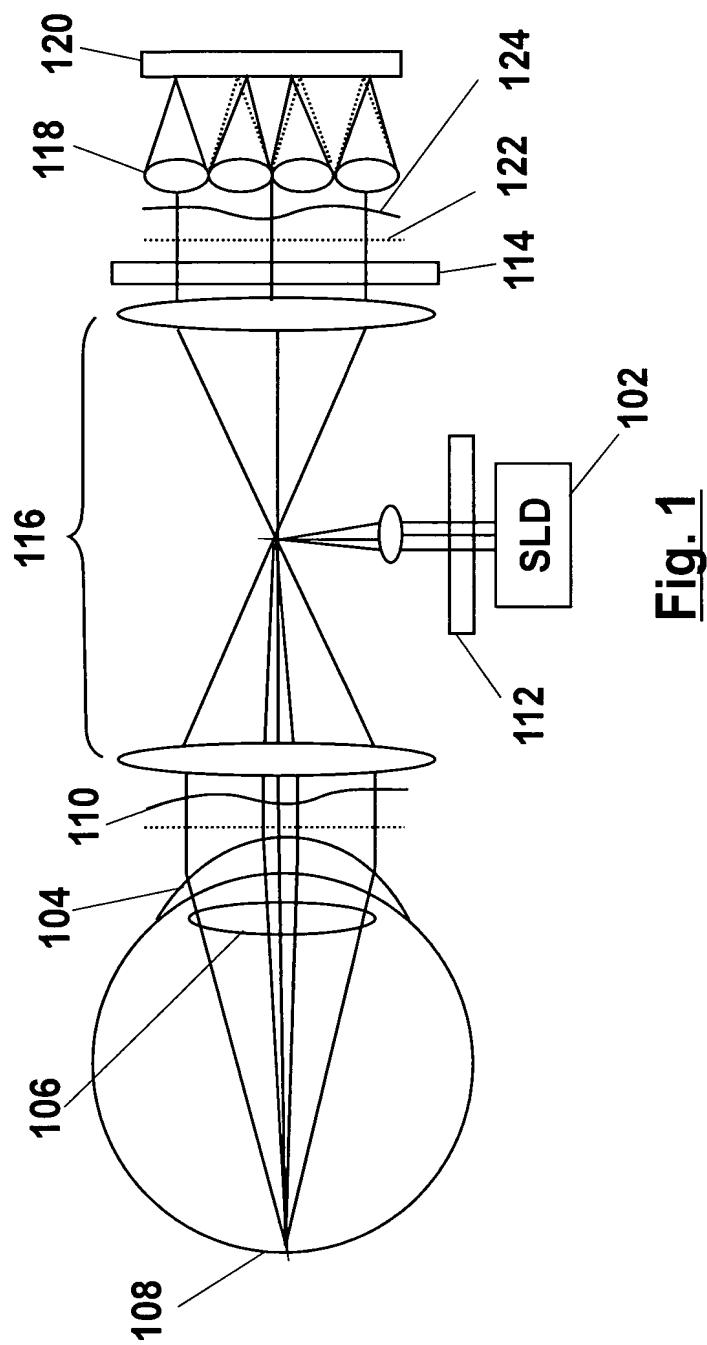
18). O sensor seqüencial de frente de onda da reivindicação 2 é **caracterizado** onde o scanner de frente de onda óptico-mecânico inclui: um scanner baseado em MEMS.

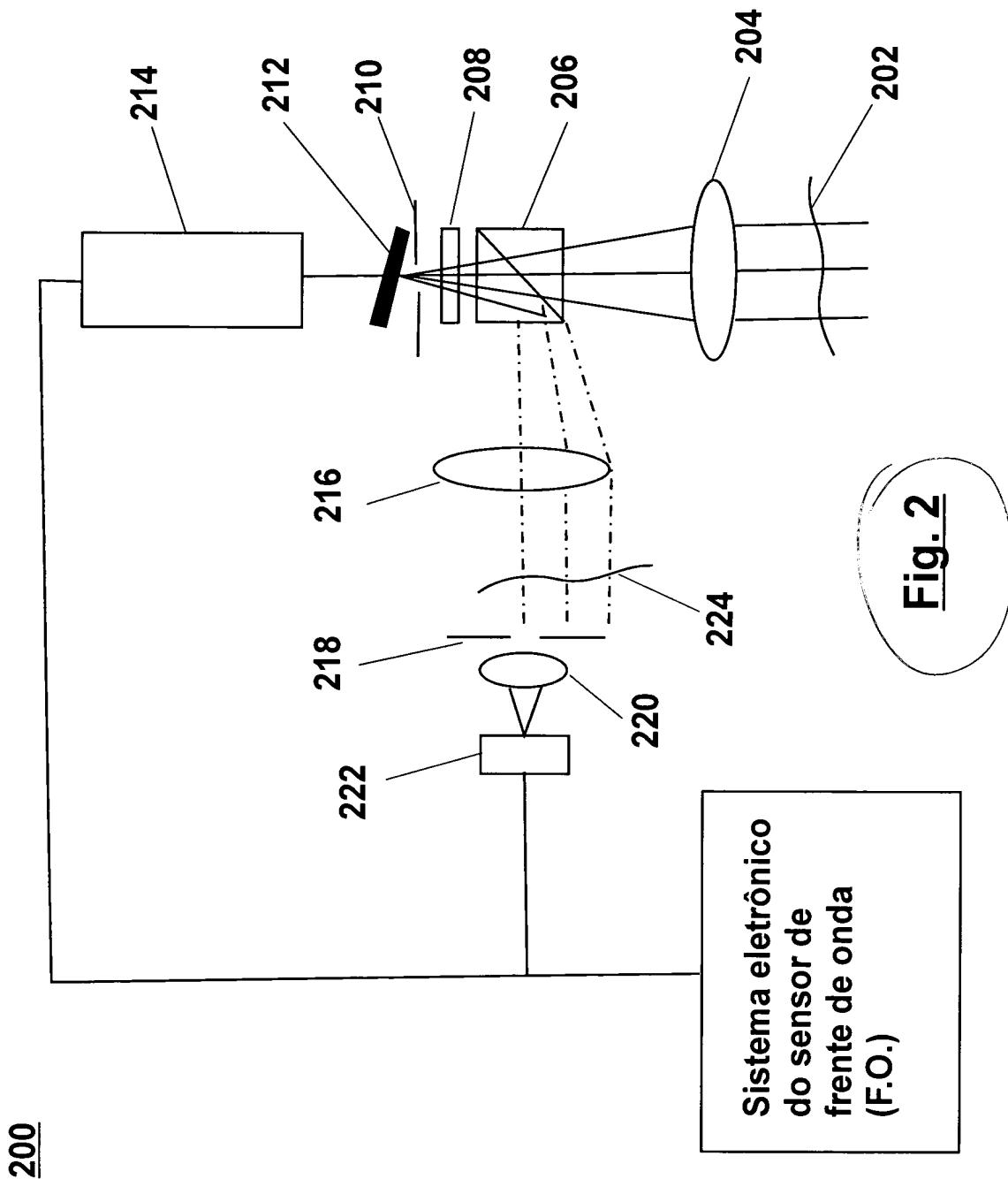
19). O sensor seqüencial de frente de onda da reivindicação 2 é **caracterizado** onde o scanner de frente de onda óptico-mecânico inclui: um scanner de feixe óptico transmissivo.

20). O método da reivindicação 7 é **caracterizado** onde o passo de projetar seqüencialmente inclui adicionalmente: mostrar as porções da frente da onda incidente que estão localizadas em um anel circular.

21). O método da reivindicação 12 incluindo adicionalmente: é **caracterizado por** controlar um dispositivo óptico de compensação de frente de onda com os critérios de realimentação para compensar a aberração da frente de onda incidente.

- 22). "SENSOR DE FREnte DE ONDA SEQUENCIAL" é **caracterizado por** um sistema de compensação de frente de onda incluindo: uma lente de focalização da subfrente de onda para focalização de uma porção incidente de uma frente de onda em um ponto de imagem localizada em um plano focal; um dispositivo de varredura seqüencial de frente de onda para projetar seqüencialmente diversas porções de uma frente de onda incidente na lente sensora de subfrente de onda; e um dispositivo sensor de posição, localizado substancialmente no focal plano da lente de focalização da subfrente de onda, para indicar as posições de pontos seqüenciais da imagem no plano focal; um dispositivo de detecção de aberração de frente de onda que gera um sinal de realimentação com base nas posições detectadas dos pontos seqüenciais da imagem; e um dispositivo de compensação da frente de onda para compensar aberrações na frente de onda que utiliza o sinal de realimentação em um sistema de controle por loop fechado para ativar a compensação.
- 5
- 10
- 15
- 23). O sistema da reivindicação 22 com o dispositivo de compensação de frente de onda incluindo é **caracterizado por** uma lente óptica acionada axialmente para focalizar a frente de onda.
- 24). O sistema da reivindicação 22 com o dispositivo de compensação de frente de onda incluindo é **caracterizado por** um elemento da correção de astigmatismo acionado por rotação.





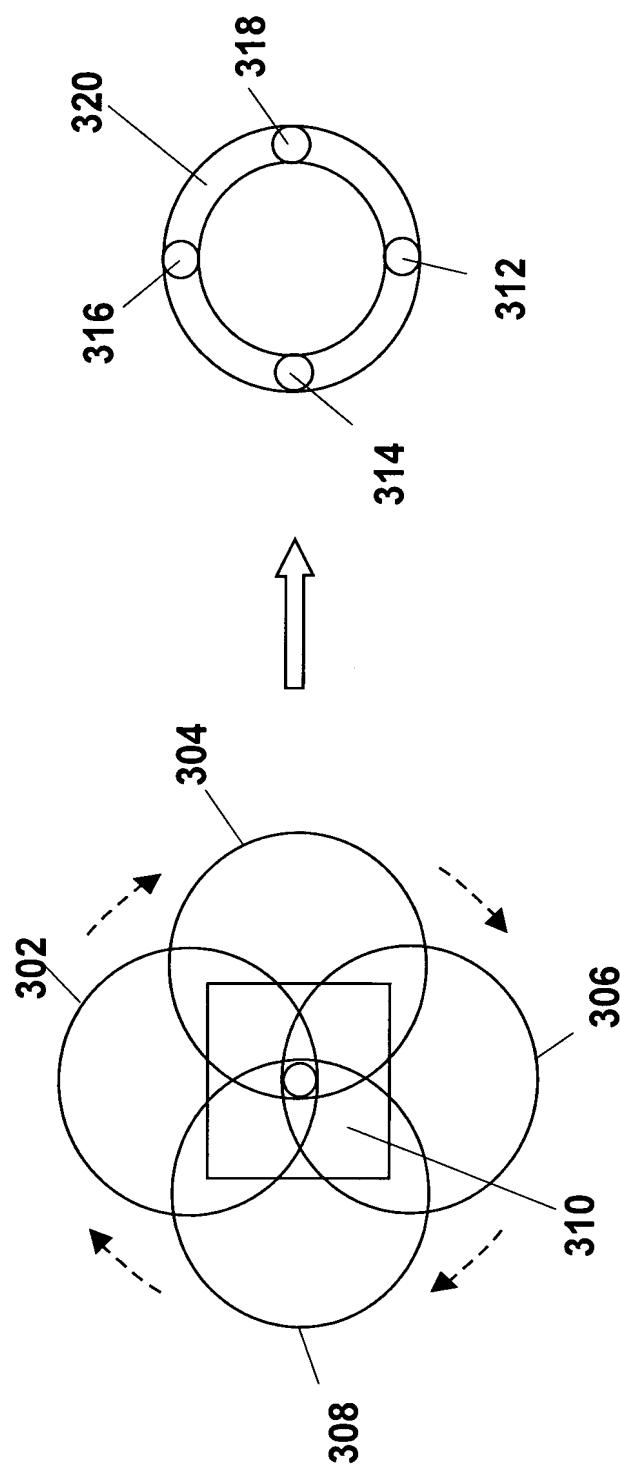
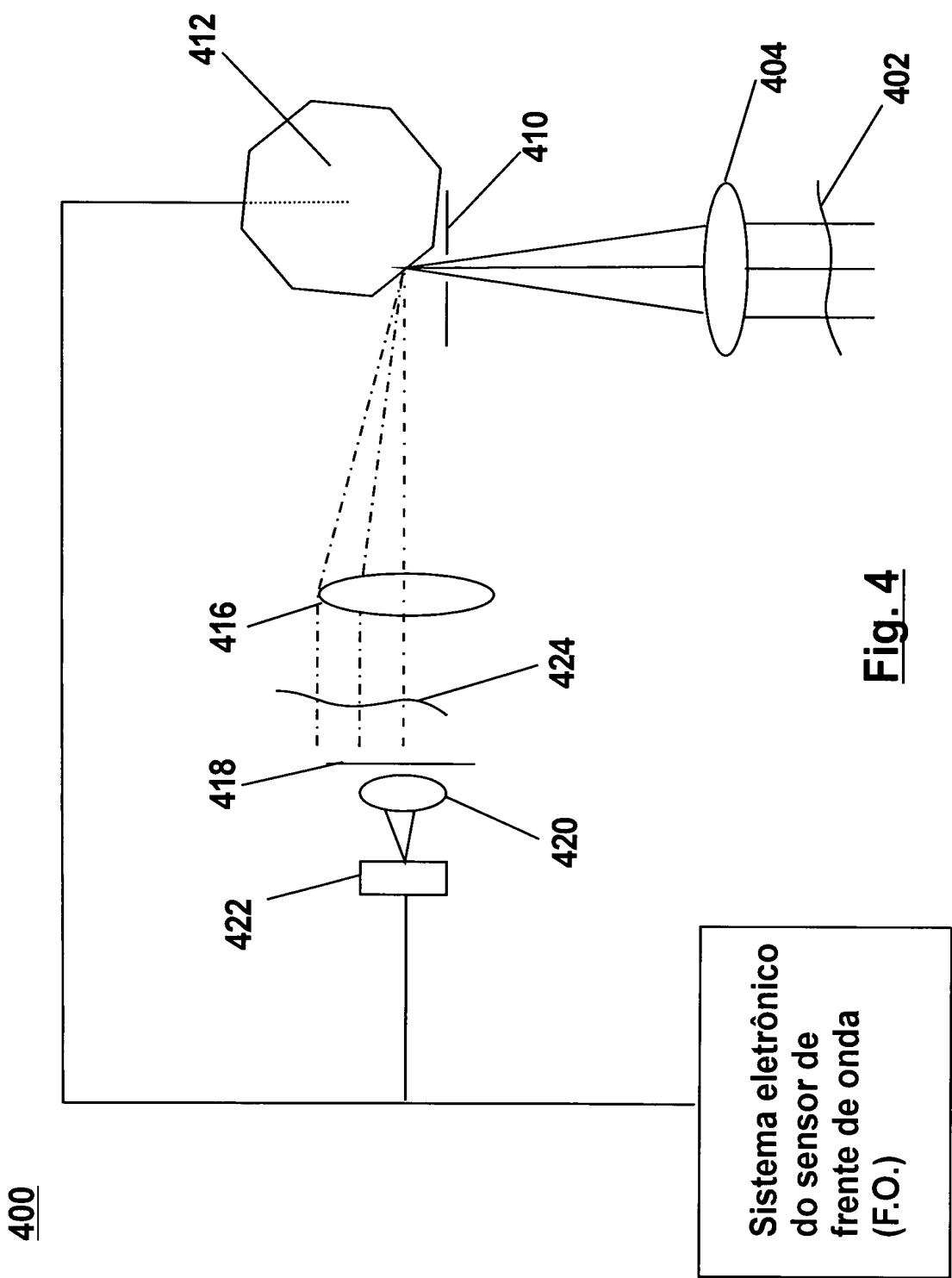
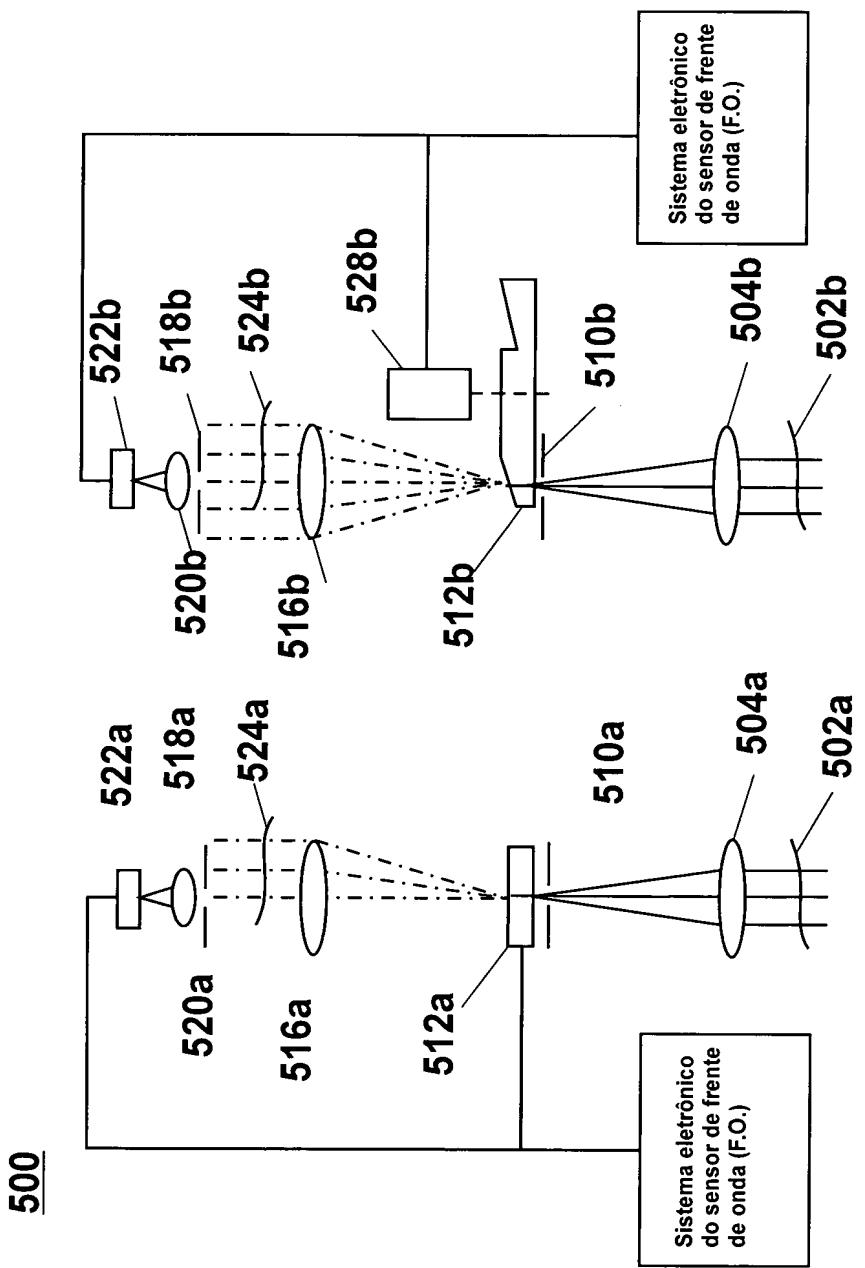
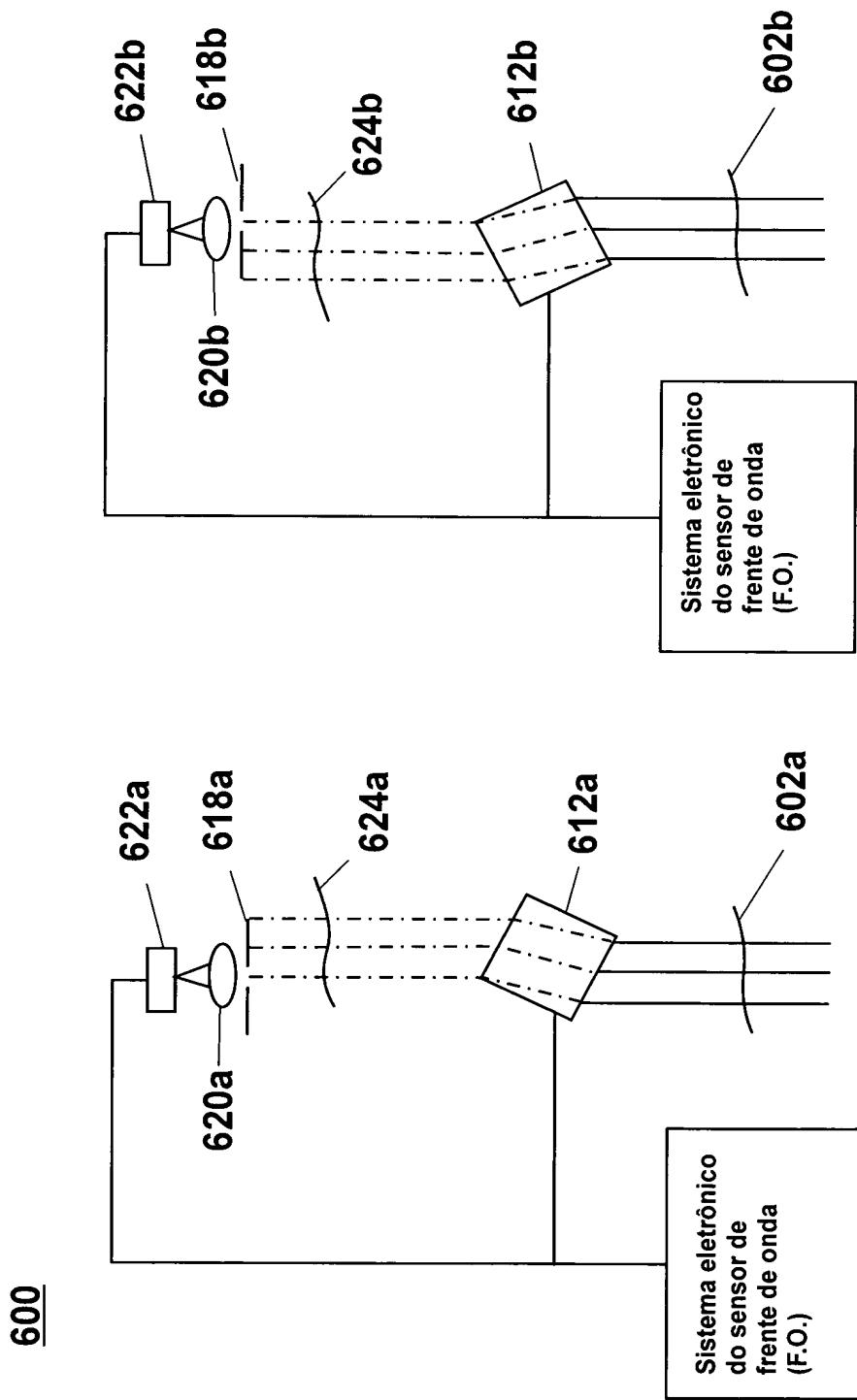


Fig. 3







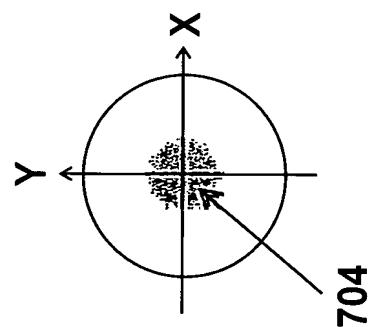
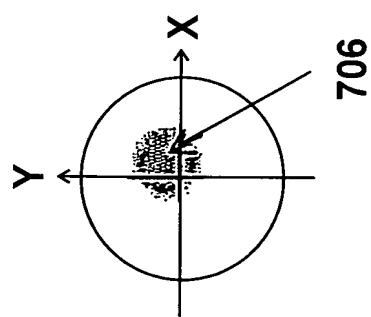
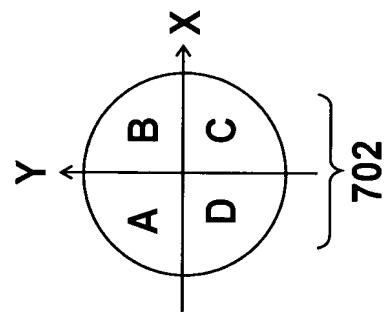
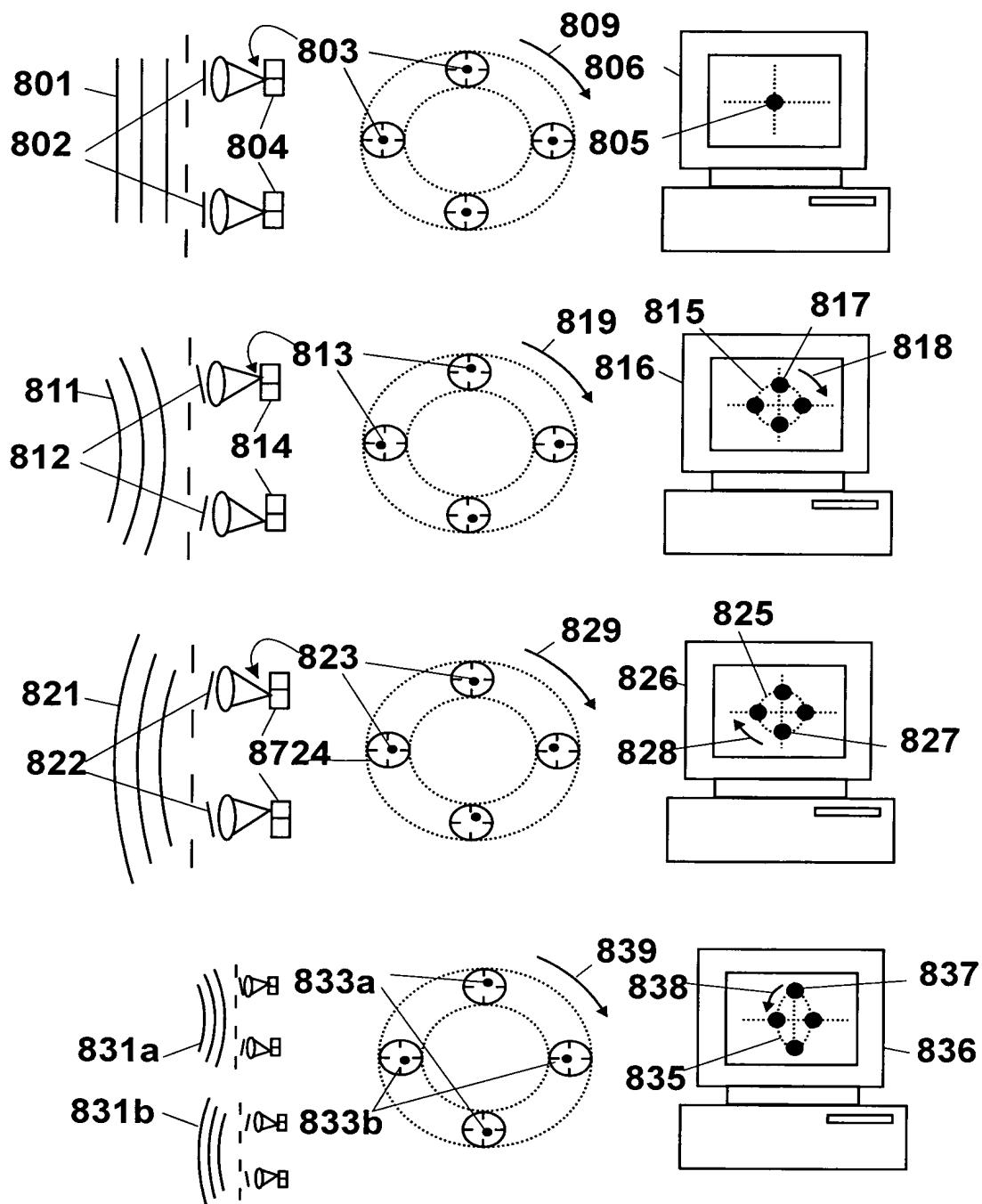


Fig. 7



**Fig. 8**

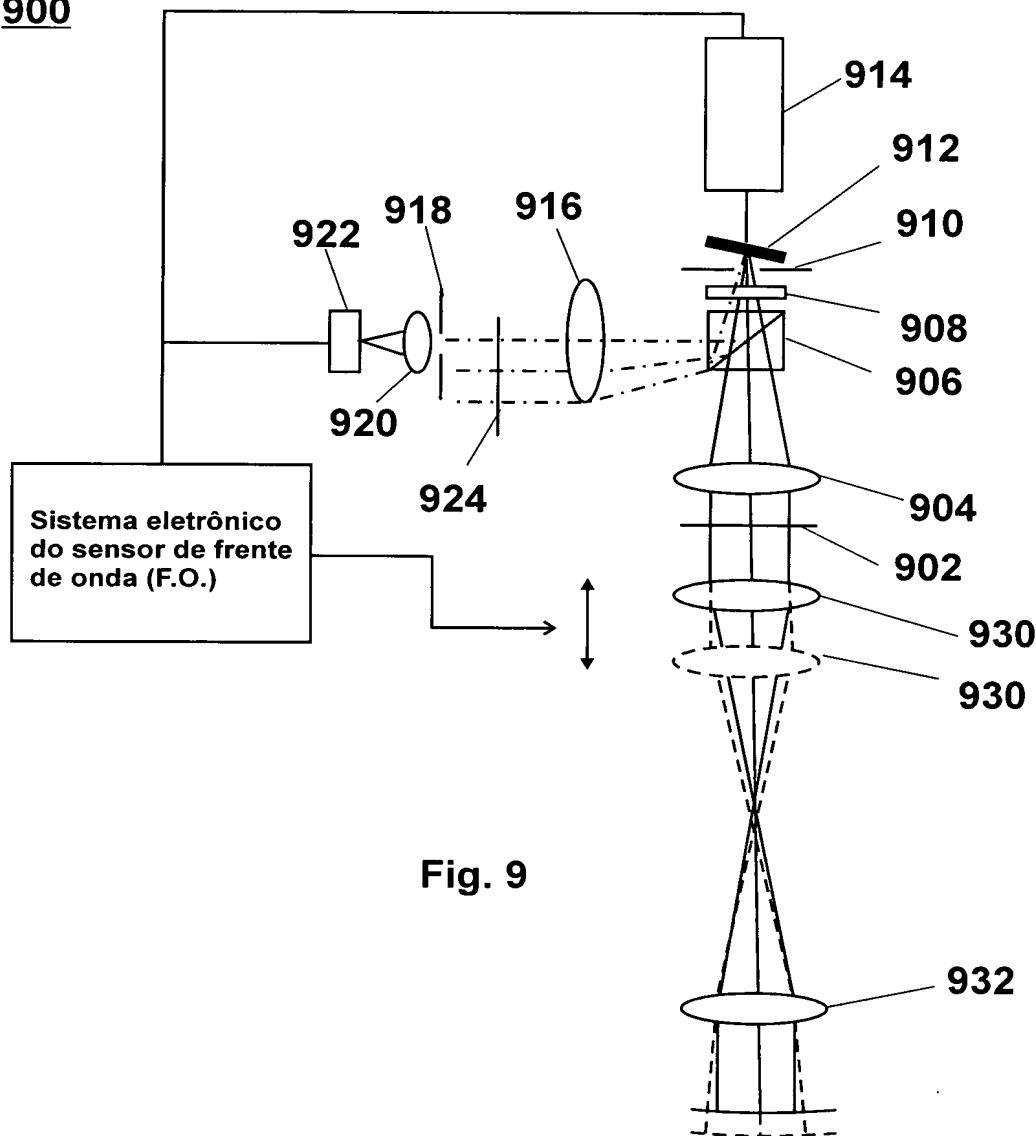
900

Fig. 9

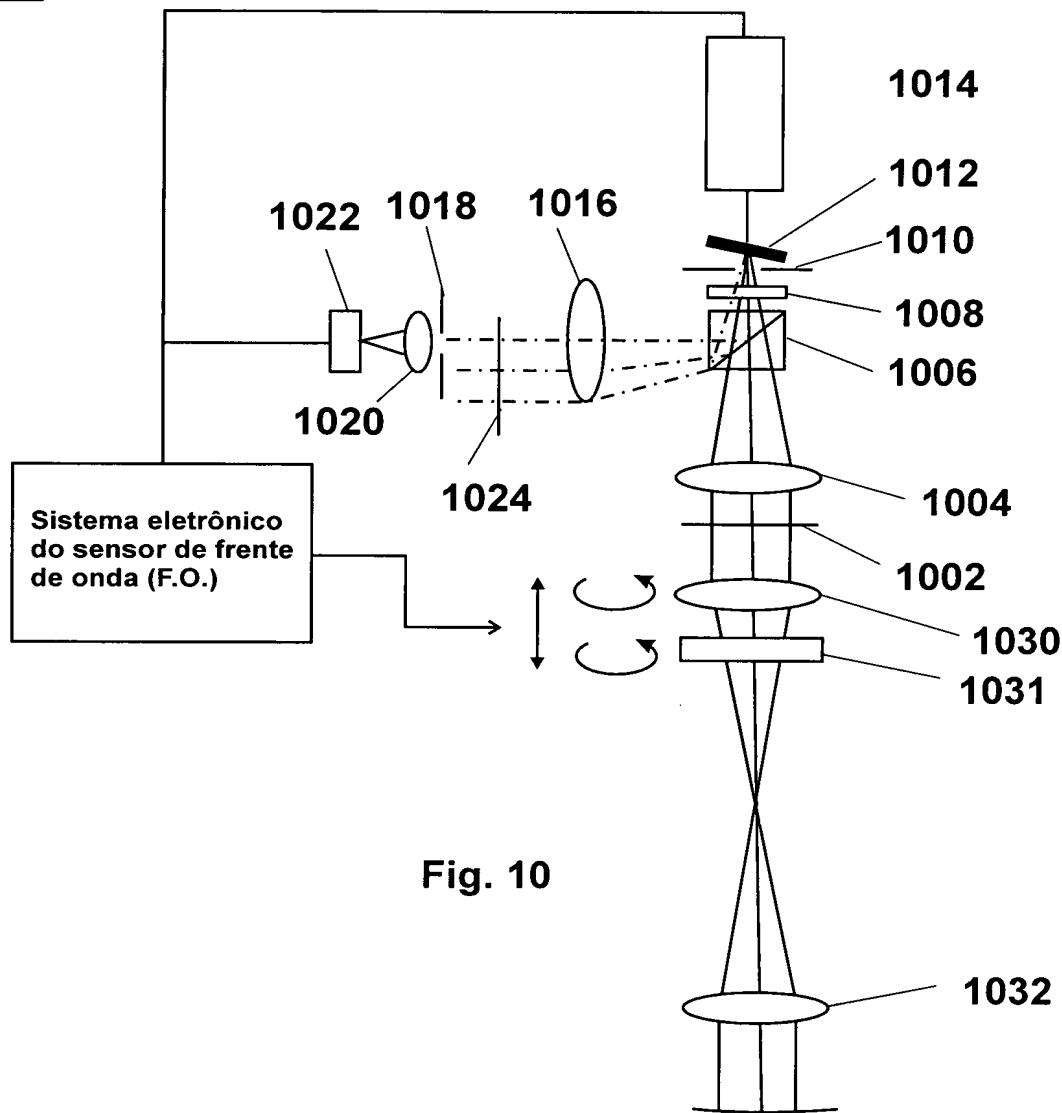
1000

Fig. 10

P0521235-5

RESUMO

"SENSOR DE FRENTE DE ONDA SEQÜENCIAL", um sensor de frente de onda seqüencial inclui um módulo de varredura de feixe de luz (212), uma lente de focalização de subfrente de onda (220), um detector (222) com mais de uma área fotossensível e um processador para calcular os centróides de vários pontos de luz focalizados obtidos seqüencialmente a partir das subfrentes de onda para determinar a aberração da frente de onda incidente. Um método de sentir uma frente de onda seqüencial inclui as etapas: projetar seqüencialmente várias subfrentes de onda sobre uma lente de focalização de subfrente de onda e sobre um detector com mais de uma área fotossensível, calcular o centróide do ponto de luz focalizado a partir de cada subfrente de onda, e processar as informações do centróide para determinar a aberração da frente de onda. Em particular, um método para focalização automática e/ou correção automática do astigmatismo inclui as etapas de projetar seqüencialmente várias subfrentes de onda ao redor de um anel circular de uma frente de onda em uma lente de focalização de subfrente de onda e em um detector, calcular o centróide do ponto de luz focalizado a partir de cada subfrente de onda para calcular o rastro do centróide e portanto a perda de foco e/ou o astigmatismo, ajustar o foco e/ou o astigmatismo do sistema óptico de imagens antes do sensor de frente de onda de forma que a perda de foco e/ou o astigmatismo medido seja minimizado.