



República Federativa do Brasil  
Ministério da Economia  
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

**(11) BR 112016024889-9 B1**



**(22) Data do Depósito:** 23/04/2015

**(45) Data de Concessão:** 27/09/2022

**(54) Título:** MÉTODO E SISTEMA DE RASTREAMENTO DE OLHO

**(51) Int.Cl.:** G06F 3/01; G06K 9/00; G06K 9/46.

**(30) Prioridade Unionista:** 29/04/2014 US 14/264,952.

**(73) Titular(es):** MICROSOFT TECHNOLOGY LICENSING, LLC.

**(72) Inventor(es):** MUDIT AGRAWAL; VAIBHAV THUKRAL; IBRAHIM EDEN; DAVID NISTER; SHIVKUMAR SWAMINATHAN.

**(86) Pedido PCT:** PCT US2015027185 de 23/04/2015

**(87) Publicação PCT:** WO 2015/167906 de 05/11/2015

**(85) Data do Início da Fase Nacional:** 25/10/2016

**(57) Resumo:** SISTEMA DE RASTREAMENTO DE OLHO E MÉTODO DE RASTREAMENTO DE MOVIMENTOS DE OLHO. A presente invenção refere-se a modalidades que estão descritas para sistemas e métodos de rastreamento de olho. Um exemplo de um sistema de rastreamento de olho compreende uma pluralidade de fontes de luz e uma câmera configurada para capturar uma imagem de luz das fontes de luz como refletidas de um olho. O sistema de rastreamento de olho ainda compreende um dispositivo lógico e um dispositivo de armazenamento que armazena instruções executáveis pelo dispositivo lógico para adquirir quadros de dados de rastreamento de olho iterativamente projetando luz de diferentes combinações de fontes de luz da pluralidade de fontes de luz e capturar uma imagem do olho durante a projeção de cada combinação. As instruções podem ainda ser executáveis para selecionar uma combinação selecionada de fontes de luz para rastreamento de olho com base em uma determinação de oclusão detectada na imagem que surge de uma estrutura ótica transparente ou semitransparente posicionada entre o olho e a câmera e projetar luz através da combinação selecionada de fontes de luz para rastreamento de olho.

Relatório Descritivo da Patente de Invenção para  
**"MÉTODO E SISTEMA DE RASTREAMENTO DE OLHO".**

FUNDAMENTOS

[001] Os usuários podem interfacear com sistemas de computação utilizando uma variedade de mecanismos de entrada. Por exemplo, o rastreamento de olhar de olho pode ser utilizado para interagir com a interface gráfica de usuário, em que uma localização determinada na qual um olhar do usuário intersecta a interface gráfica de usuário pode ser utilizada como um sinal posicional para interações com a interface de usuário. As técnicas de rastreamento de olhar podem empregar uma ou mais fontes de luz para projetar luz por sobre um olho, e uma ou mais câmeras para capturar imagens de cintilações da luz projetada como refletida de olho. As localizações das cintilações e/ou da pupila nas imagens podem ser utilizadas para determinar uma posição de pupila que indica uma direção de olhar.

SUMÁRIO

[002] Modalidades estão descritas que se referem à execução de rastreamento de olhar de olho na presença de fontes de brilho, tais como óculos localizado uma câmera de rastreamento de olho e um olho sendo rastreado. Por exemplo, em uma modalidade, um sistema de rastreamento de olho exemplar compreende uma pluralidade de fontes de luz e uma câmera configurada para capturar uma imagem de luz das fontes de luz como refletidas de um olho. O sistema de rastreamento de olho ainda compreende um dispositivo lógico e um dispositivo de armazenamento que armazena instruções executáveis pelo dispositivo lógico para adquirir quadros de dados de rastreamento de olho iterativamente projetando luz de diferentes combinações de fontes de luz da pluralidade de fontes de luz e capturando uma imagem do olho durante a projeção de cada combinação. As instruções podem ainda ser executáveis para selecionar uma

combinação selecionada de fontes de luz para rastreamento de olho com base em uma determinação de oclusão detectada na imagem que surge de uma estrutura ótica transparente ou semitransparente posicionada entre o olho e a câmera e projetar luz através da combinação selecionada de fontes de luz para rastreamento de olho.

[003] Este Sumário está provido para introduzir uma seleção de conceitos em uma forma simplificada que estão adicionalmente abaixo descritos na Descrição Detalhada. Este Sumário não pretende identificar características chave ou características essenciais do assunto reivindicado, nem pretende ser utilizado para limitar o escopo do assunto reivindicado. Mais ainda, o assunto reivindicado não está limitado a implementações que resolvem qualquer ou todas as desvantagens notadas em qualquer parte desta descrição.

#### BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

[004] Figura 1 mostra uma modalidade de um ambiente de rastreamento de olho exemplar.

[005] Figura 2 é um fluxograma que apresenta uma modalidade de um método de sequenciar fontes de luz em um sistema de rastreamento de olho.

[006] Figura 3 é um fluxograma que apresenta uma modalidade de um método de classificar reflexões em uma imagem de um sistema de rastreamento de olho.

[007] Figura 4 mostra uma imagem exemplar capturada por um sistema de rastreamento de olho de acordo com uma modalidade da presente descrição.

[008] Figura 5 mostra um exemplo de imagem capturada por um sistema de rastreamento de olho que é processado para identificar regiões saturadas da imagem de acordo com uma modalidade da presente descrição.

[009] Figuras 6A e 6B mostram duas vistas de uma disposição de

fonte de luz exemplar para sistema de rastreamento de olho de acordo com uma modalidade da presente descrição.

[0010] Figura 7 é um diagrama de blocos de uma modalidade de um sistema de computação.

[0011] Figura 8 mostra uma sequência exemplar de fonte de luz de acordo com uma modalidade da presente descrição.

#### DESCRIÇÃO DETALHADA

[0012] Em um sistema de rastreamento de olho, câmera(s) e/ou fontes(s) de luz podem estar posicionadas em uma localização que está espaçada do olho e/ou cabeça do usuário. Assim, objetos podem estar presentes entre a(s) câmera(s)/fontes(s) de luz e o olho, tal como óculos, os quais podem produzir reflexões adicionais de luz projetada pelas fontes de luz. Estas reflexões podem parecer como brilhos em uma imagem, e podem ocluir uma ou mais das cintilações e/ou a pupila. Assim, tais brilhos podem interferir com o rastreamento de olho.

[0013] Como a oclusão de cintilações de rastreamento de olho por tais brilhos e outras reflexões espúrias podem variar com a posição e/ou orientação de um usuário em relação às fontes(s) de luz de cintilação e câmera(s), diferentes configurações de fonte de luz e diferentes tipos e/ou espessuras de óculos podem produzir diferentes localizações de brilho. Assim, modalidades estão descritas que se referem a projetar diferentes configurações de fontes de luz para ajudar a identificar uma configuração de fonte de luz que permita que o rastreamento de olho seja executado sem uma oclusão inaceitável de cintilações de olho de brilhos causados por óculos e similares.

[0014] A Figura 1 mostra um ambiente de rastreamento de olho exemplar 100 no qual um usuário 102 está vendo um dispositivo de computação 104 enquanto usando óculos 106. O dispositivo de computação 104 está apresentado como um tablet, mas será compreendido que qualquer outro dispositivo de computação

adequado pode utilizar o rastreamento de olho. Exemplos incluem, mas não estão limitados a, smartphones, laptops, computadores pessoais, televisões, e dispositivos de computação usáveis tal como dispositivos de display montados na cabeça.

[0015] O dispositivo de computação 104 inclui um sistema de rastreamento de olho que compreende uma pluralidade de fontes de luz 108 e uma câmera 110. As fontes de luz 108 podem compreender, por exemplo, uma pluralidade de diodos de emissão de luz (LEDs), e/ou outros dispositivos de emissão de luz adequados. Em algumas modalidades, as fontes de luz 108 podem emitir luz infravermelha, luz visível, ou combinações de luz visível e infravermelha (por exemplo, um subconjunto das fontes de luz 108 pode projetar luz infravermelha e outro subconjunto das fontes de luz 108 pode projetar luz visível). A câmera 110 pode compreender qualquer dispositivo de formação de imagem adequado, incluindo, mas não limitado a uma câmera de profundidade, uma câmera RGB (imagem colorida), uma câmera de escala de cinza, a par de câmeras estéreo, e/ou qualquer outra câmera ou combinação de câmeras adequada. Será compreendido que uma ou mais das fontes de luz, da(s) câmera(s), e/ou qualquer outro elemento do sistema de rastreamento de olho podem estar integradas em um único dispositivo de computação, alojadas separadamente do dispositivo de computação, ou dispostas em qualquer sua combinação.

[0016] Como ilustrado pelas linhas tracejadas na Figura 1, cada fonte de luz 108 pode emitir luz na direção de um olho do usuário 102. A câmera 110 pode capturar imagens do olho do usuário 102 que incluem reflexões do olho da luz projetada das fontes de luz 108. Com base em uma localização das reflexões da luz projetada na imagem da câmera 110 comparada com uma pupila (ou íris, ou outra estrutura de olho adequada) do olho do usuário, uma direção de olhar pode ser

determinada. Isto pode permitir que um olhar seja projetado do olho, de modo que uma localização na qual o olhar projetado intersecta uma interface de usuário ou um objeto do mundo real pode ser determinada. Isto pode permitir um usuário interagir com um dispositivo de computação através de olhar. Ainda, mudanças na localização de olhar ao longo do tempo podem ser utilizadas como entradas de gestos para um dispositivo de computação.

[0017] A Figura 2 mostra um fluxograma que apresenta uma modalidade de um método 200 para rastrear movimentos de olho que pode ajudar a conseguir um robusto desempenho de rastreamento de olho na presença de óculos ou outra tal estrutura entre a(s) fontes(s) de luz/câmera(s) e o olho do usuário. O método 200 pode ser executado por um sistema de rastreamento de olho em um dispositivo de computação, tal como o dispositivo de computação 104 da Figura 1.

[0018] Em 202, o método 200 inclui adquirir dados de rastreamento de olho. Como acima descrito, o rastreamento de olho pode ser executado emitindo luz (por exemplo, luz infravermelha) na direção do olho de um usuário e capturar imagens da luz como refletida do olho do usuário. No entanto, como a luz também pode ser refletida do óculos ou outras estruturas óticas transparentes ou semitransparentes entre as fontes de luz e o olho do usuário, brilhos podem surgir que ocluem as reflexões da luz do olho do usuário.

[0019] Assim, como indicado em 204, o método 200 pode incluir iterativamente projetar luz de diferentes combinações de fontes de luz, e em 206, capturar uma imagem do olho durante a projeção de cada diferente combinação de fontes de luz, como indicado em 206. Estes processos podem envolver, por exemplo, projetar a luz de diferentes números de fontes de luz nas diferentes combinações e/ou projetar a luz de fontes de luz que têm diferentes posições/orientações. Como

um exemplo mais específico, a Figura 8 esquematicamente ilustra um sistema de rastreamento de olho que oclui quatro fontes de luz 802a-802d, em que fontes de luz iluminadas estão mostradas por linhas diagonais dentro de uma caixa que representa uma fonte de luz. Iterativamente projetar luz de diferentes combinações de fontes de luz pode incluir projetar luz de todas as fontes de luz, (como mostrado no tempo T1); então de diferentes combinações de três fontes de luz (como mostrado nos tempos T2, T3, T4, e T5); e então de diferentes combinações de duas fontes de luz (como mostrado no tempos T6 e T7) ou apenas uma fonte de luz (não mostrado na figura). Deve ser compreendido que tal ciclo de projeções de fonte de luz pode ser executado em qualquer ordem adequada. Por exemplo, combinações com maiores números de fontes de luz iluminadas podem ser tentadas antes daquelas com menores números de fontes de luz onde uma determinação de olhar mais precisa é desejada, enquanto aquelas com menores números podem ser tentadas antes daquelas com maiores números onde uma economia de energia é desejada, ou onde as superfícies do vidro tendem a produzir mais brilhos.

[0020] Ainda, em algumas modalidades, uma ordem de combinações de fontes de luz para projetar pode opcionalmente ser selecionada com base em uma posição de cabeça/HMD e/ou uma orientação/posição das fontes de luz, como indicado em 208. Por exemplo, pode ser conhecido que específicos números e/ou padrões de fontes de luz podem produzir menos oclusões quando uma cabeça está posicionada em um dado ângulo. Selecionando uma próxima combinação com base nas informações acima descritas, as diferentes combinações de fontes de luz podem ser iterativamente cicladas em um modo inteligente para aumentar a probabilidade que uma combinação de fontes de luz adequada possa ser utilizada em uma iteração antecipada, por meio disto reduzindo a quantidade de tempo

gasta ciclando através de diferentes combinações de fonte de luz. Neste modo, o sistema de rastreamento de olho pode estimar qual combinação de fontes de luz produzirá a menor quantidade de oclusão e iterativamente projetar a luz das diferentes combinações de fontes de luz em uma ordem que está baseada na estimativa. Deve ser compreendido que em outras modalidades, a combinação de fontes de luz pode ser selecionada com base em uma quantidade de oclusão em uma imagem, como abaixo descrito.

[0021] Em 210, o método 200 inclui determinar se uma oclusão inaceitável existe na imagem para cada combinação de fonte de luz testada, e em 212, selecionar uma combinação de fontes de luz para executar o rastreamento de olho. Como indicado em 214, uma combinação de fonte de luz pode ser selecionada com base em uma quantidade de oclusão detectada na imagem. Em algumas modalidades, o teste iterativo de cada combinação pode cessar quando da identificação e seleção de uma a combinação adequada, enquanto que em outras modalidades um conjunto total de combinações pode ser testado antes de selecionar um. Como parte do teste de cada combinação, para uma dada configuração de fonte de luz, os brilhos podem ou ser casados com suas cintilações correspondentes, ou uma métrica de oclusão pode ser obtida entre os brilhos e a pupila ou cintilações. No caso de alta oclusão (por exemplo, uma oclusão acima de um limite), A próxima configuração de fonte de luz pode ser escolhida da sequência. O processo pode então repetir até que pupila-cintilações não oclusas ou parcialmente oclusas sejam obtidas com altas pontuações de confiança. Esta configuração pode então ser utilizada através de futuros quadros até que uma próxima oclusão seja detectada, quando as configurações são novamente cicladas até que uma configuração de fonte de luz adequada seja novamente determinada.



[0022] O método 200 ainda inclui, em 216, projetar a luz através da combinação de fontes de luz selecionada, e em 218 rastrear uma localização de olhar de um ou mais olhos detectando a luz das fontes de luz como refletida do(s) olho(s). Ainda, em 220, o método 200 inclui executar uma ação responsiva ao rastreamento de olho. O rastreamento de olho pode ser utilizado para executar qualquer ação adequada. Por exemplo, o rastreamento de olho pode ser utilizado para detectar gestos de olho, para detectar sinais de posição para uma interface gráfica de usuário, etc.

[0023] A determinação de quantidades inaceitáveis de oclusão de reflexões de cintilação de olho por brilhos pode ser determinada em qualquer modo adequado. A Figura 3 mostra um fluxograma que apresenta uma modalidade exemplar de um método 300 para classificar reflexões e/ou brilho ou outra interferência em imagens capturadas por uma câmera de um sistema de rastreamento de olho. Será compreendido que o método 300 pode ser executado por um dispositivo de computação, tal como o dispositivo de computação 104 da Figura 1, configurado para processar imagens em um sistema de rastreamento de olho.

[0024] Em 302, método 300 inclui receber dados de imagem de uma câmera. A câmera pode estar integrada em um dispositivo de computação ou externamente/remotamente posicionada em relação ao dispositivo de computação. O método 300 ainda inclui, em 304, detectar regiões saturadas na imagem recebida. Por exemplo, a imagem pode ser analisada para determinar os pixels na imagem com um valor de saturação que é mais alto do que um limite.

[0025] Como os brilhos podem resultar de reflexões especulares de óculos ou outras estruturas lisas, os brilhos podem ter núcleos altamente saturados, similar à distribuição de intensidade da própria fonte de luz. Como tal, os brilhos formados da luz projetada de fontes

de luz utilizadas no sistema de rastreamento de olho podem ter um padrão de alta intensidade no centro, o qual dissipa abruptamente movendo afastando do, algumas vezes resultando na aparência de lampejos. De tais propriedades, os brilhos formados de reflexões de projeções das fontes de luz podem ser diferenciados de reflexões de luz para fora do olho do(s) usuário(s) e de outras reflexões difusas causadas devido a presença de fontes de IR nos arredores.

[0026] A Figura 4 mostra uma apresentação exemplar de uma imagem 400 capturada por uma câmera de um sistema de rastreamento de olho, e mostra uma vista de um usuário 402 usando óculos 404. A luz das fontes de luz de sistema de rastreamento de olho (assim como as fontes de luz ambientes) pode ser refletida pelos óculos 404, assim como por uma pupila de um olho 406 do usuário 402. Tais reflexões do óculos 404 podem resultar em brilhos 408, enquanto as reflexões do olho podem resultar em cintilações 410, ilustradas como quatro pontos uniformemente espaçados em uma região da pupila do olho 406. Enquanto as cintilações 410 aparecem como pontos pequenos, substancialmente circulares, os brilhos 408 podem ter uma forma alargada, como estrela.

[0027] Retornando à Figura 3, o método 300 pode incluir identificar e selecionar pixels saturados da imagem, e executar uma transformada de distância de primeiro plano dos pixels saturados da imagem, como indicado em 306, de modo que uma intensidade de um pixel após a transformada de distância de primeiro plano seja uma função de uma distância do limite da reflexão. Isto pode ajudar a prover uma indicação de contornos de candidatos de brilho com base em um tamanho de uma região saturada e/ou os contornos da região saturada. Por exemplo, uma região saturada que é maior do que um tamanho limite pode ser considerada ser um candidato de brilho, enquanto que as regiões saturadas que são menores do que um

tamanho limite podem não ser consideradas serem um candidato de brilho.

[0028] Em 308, método 300 inclui remover ruído na imagem, por exemplo, removendo contornos com um valor de distância que é mais baixo do que um limite de distância. Neste modo, os contornos alargados dos brilhos/candidatos de brilho podem ser suavizados. Ainda, em 310, o método 300 inclui determinar a caixa de limitação para cada região saturada restante (por exemplo, os núcleos dos brilhos/candidatos de brilho determinados em 308). O tamanho da caixa de limitação pode ser selecionado para ter um valor que permita a caixa incluir uma percentagem de pixels saturados limitados, como indicado em 312. Por exemplo, uma caixa de limitação pode ser formada ao redor de um núcleo de um brilho/candidato de brilho e um tamanho da caixa de limitação pode ser aumentado até que a percentagem de pixels saturados dentro da caixa de limitação exceda algum limite. Este redimensionamento pode ajudar a assegurar que uma caixa está colocada ao redor de cada região saturada. No caso de um brilho, a caixa inclui um centro saturado, enquanto que no caso de falsos positivos (por exemplo, não brilhos), os pixels saturados estão dispersos randomicamente através de toda a caixa. Observando brevemente a Figura 5, uma versão processada da imagem 400 da Figura 4 está mostrada, na qual as regiões saturadas 502 (por exemplo, candidatos de brilho) estão circundadas por caixas de limitação 504.

[0029] Retornando à Figura 3, o método 300 inclui, em 314, ajustar uma distribuição estatística para uma primeira região saturada. Por exemplo, um modelo Gaussiano ou outro modelo de distribuição estatística pode ser ajustado para centros de brilho detectados para forma uma distribuição normalizada de pixels saturados em uma região dos candidatos de brilho. Um parâmetro do ajuste da

distribuição estatística para cada região saturada/candidato de brilho então pode ser comparado com uma condição limite. Por exemplo, um erro de modelagem Gaussiana pode ser determinado para o modelo Gaussiano ajustado para esta região saturada, e uma comparação do erro com um erro limite pode ser determinada em 316. Se o parâmetro atende o limite (por exemplo, se o erro de modelagem estiver abaixo de um limite), então pode ser determinado em 318 que a região é um brilho, e o método pode prosseguir para 320, onde é determinado se todas as regiões saturadas foram analisadas. Por exemplo, os candidatos de brilho 506a, 506b, 506c, 506d, e 506e na Figura 5 podem ser classificados como brilhos devido à distribuição de pixels saturados dentro das caixas associadas que exibem características como brilho, tal como a concentração de pixels saturados na região central e alargamentos que projetam em regiões periféricas regularmente espaçadas. Onde é determinado em 316 que o parâmetro não atende o limite, então o método pode prosseguir para 320 sem classificar a região saturada como um brilho (por exemplo, os candidatos de brilho 506f, 506g, 506h, 506i, 506j, e 506k podem não ser classificados como brilhos devido a uma falta de um núcleo saturado e/ou ausência de outras características de brilho).

[0030] Em 320, se for determinado que todas as regiões saturadas não foram analisadas (por exemplo, "NÃO" em 320), então o método 300 compreende iterativamente executar os processos de 316, 318 e 320 até que todas as regiões saturadas tenham sido analisadas. Se todas as regiões saturadas foram analisadas (por exemplo, "SIM" em 320), então o método 300 compreende, em 324, determinar um nível de oclusão com base em um número e/ou localizações de regiões saturadas classificadas como brilhos. Por exemplo, um nível de oclusão pode estar baseado em um tamanho dos brilhos, o número dos brilhos, e/ou quão próximos os brilhos estão de uma pupila do

olho/cintilações refletidas da pupila do olho.

[0031] Os vários limites acima descritos com relação ao método 300 (por exemplo, o limite de distância em 308, a percentagem limite em 312, e a condição limite em 316) podem ser predeterminados e/ou selecionados com base em dados estatísticos. Em modalidades adicionais ou alternativas, um ou mais dos limites pode ser determinado através de um algoritmo de aprendizado (por exemplo, utilizando um classificador). Por exemplo, determinar o(s) limite(s) através do algoritmo de aprendizado pode incluir dinamicamente alterar o(s) limite(s) ao longo do tempo com base em dados medidos/registrados para um usuário específico, ambiente, disposição de iluminação, e/ou outra condição adequada. Quando determinando os limites utilizando um classificador, um número de outras características (por exemplo, um erro de ajuste quadrático, uma posição relativa aos cantos do olho, gradiente de dissipação, etc.) pode ser adicionado para otimizar a separação entre os brilhos e os não brilhos na imagem analisada.

[0032] As Figuras 6A e 6B mostram diferentes vistas de uma disposição de fonte de luz exemplar 600 de um sistema de rastreamento de olho. Na vista frontal 6A, as fontes de luz individuais 602 estão ilustradas como sendo dispostas ao redor de uma estrutura de alojamento 604. Em algumas modalidades, a estrutura de alojamento 604 pode incluir estar integrada dentro, e/ou ser montada em uma câmera do sistema de rastreamento de olho. Em outras modalidades, a estrutura de alojamento 604 pode estar configurada para ser montada sobre outros elementos. Como ilustrado, cada fonte de luz 602 pode estar posicionada em uma diferente localização em relação a outras fontes de luz. Neste modo, a luz projetada de cada fonte de luz 602 pode ser direcionada para uma diferente localização e/ou chegar em uma localização específica em um diferente ângulo do

que a luz projetada de outras fontes de luz na disposição de fonte de luz 600. Isto pode permitir que diferentes combinações de fontes de luz sejam utilizadas para formar reflexões do olho para evitar oclusões de brilhos, como acima descrito.

[0033] Ainda, como mostrado na vista oblíqua da disposição de fonte de luz 600 ilustrada na Figura 6B, uma ou mais das fontes de luz 602 podem estar orientadas diferentemente de outras fontes de luz na disposição. As setas tracejadas indicam a direção de luz emitida de cada uma das fontes de luz 602. Neste modo, a luz projetada de cada fonte de luz 602 pode ser direcionada para uma diferente localização e/ou chegar uma localização específica de um diferente ângulo do que a luz projetada de outras fontes de luz na disposição de fonte de luz 600.

[0034] A oclusão de cintilações de pupila em imagens de rastreamento de olho pode estar baseada em classificar reflexões sobre a estrutura ótica com base em suas características como localização, tamanho, distribuição de intensidade, e mapeamento para as fontes de luz. Provedo uma disposição de fonte de luz que inclui fontes de luz que direcionam a luz de diferentes localizações/ângulos, as fontes de luz podem ser iterativamente ligadas/desligadas para gerar combinações de projeções de fonte de luz em um sistema de rastreamento de olho. Analisando as imagens capturadas durante a projeção de luz de cada combinação de fontes de luz pode identificar brilhos (por exemplo, determinar uma localização de brilhos em relação ao olho) e/ou casar brilhos com fontes de luz/com combinações de fonte de luz específicas. Consequentemente, uma combinação de fonte de luz que produz cintilações de pupila não oclusas que são obtidas com uma pontuação de alta confiança, um menor número de oclusões do olho/cintilações refletidas do olho, e/ou de outro modo produz uma imagem de rastreamento de olho adequada pode ser

selecionado para executar o rastreamento de olho. Selecionando uma combinação de fonte de luz específica para um dado usuário/ambiente pode permitir o sistema operar uma faixa de condições mais ampla, incluindo condições nas quais estruturas óticas, tal como óculos, estão presentes entre a câmera de rastreamento de olho/fontes de luz e o olho sendo rastreado.

[0035] Em algumas modalidades, os métodos e processos aqui descritos podem ser ligados a um sistema de computação de uma ou mais dispositivos de computação. Especificamente, tais métodos e processos podem ser implementados com um programa ou serviço de aplicação de computador, uma interface de programação de aplicação (API), uma biblioteca, e/ou outro produto de programa de computador.

[0036] A Figura 7 esquematicamente mostra uma modalidade não limitante de um sistema de computação 700 que pode executar um ou mais dos métodos e processos acima descritos. O sistema de computação 700 está mostrado em forma simplificada. O sistema de computação 700 pode tomar a forma de um ou mais computadores pessoais, computadores servidores, computadores tablet, computadores de entretenimento doméstico, dispositivos de computação de rede, dispositivos de jogos, dispositivos de computação móveis, dispositivos de comunicação móveis (por exemplo, smartphone), dispositivos de computação usáveis, e/ou outros dispositivos de computação. Por exemplo, o sistema de computação 700 pode ser um exemplo de dispositivo de computação 104 da Figura 1 e/ou pode executar os métodos descritos nas Figuras 2 e 3.

[0037] O sistema de computação 700 inclui um dispositivo lógico 702 e um dispositivo de armazenamento 704. O sistema de computação 700 pode opcionalmente incluir um subsistema de display 706, subsistema de entrada 708, subsistema de comunicação 710,

e/ou outros componentes não mostrados na Figura 7.

[0038] O dispositivo lógico 702 inclui um ou mais dispositivos físicos configurados para executar instruções. Por exemplo, o dispositivo lógico pode estar configurado para executar instruções que fazem parte de uma ou mais aplicações, serviços, programas, rotinas, bibliotecas, objetos, componentes, estruturas de dados, ou outras construções lógicas. Tais instruções podem ser implementadas para executar uma tarefa, implementar um tipo de dados, transformar o estado de um ou mais componentes, conseguir um efeito técnico, ou de outro modo chegar a um resultado desejado.

[0039] O dispositivo lógico 702 pode incluir um ou mais processadores configurados para executar instruções de software. Além disso ou alternativamente, o dispositivo lógico pode incluir um ou mais dispositivos lógicos de hardware ou firmware configurados para executar instruções de hardware ou firmware. Os processadores do dispositivo lógico podem ser de único núcleo ou múltiplos núcleos, e as instruções executadas no mesmo podem ser configuradas para processamento sequencial, paralelo, e/ou distribuído. Os componentes individuais do dispositivo lógico opcionalmente podem ser distribuídos entre dois ou mais dispositivos separados, os quais podem estar remotamente localizados e/ou configurados para processamento coordenado. Aspectos do dispositivo lógico podem ser virtualizados e executados por dispositivos de computação remotamente acessíveis, em rede, configurados em uma configuração de computação de nuvem.

[0040] O dispositivo de armazenamento 704 inclui um ou mais dispositivos físicos configurados para conter instruções executáveis pelo dispositivo lógico para implementar os métodos e processos aqui descritos. Quando tais métodos e processos são implementados, o estado do dispositivo de armazenamento 704 pode ser transformado,



por exemplo, conter diferentes dados.

[0041] O dispositivo de armazenamento 704 pode incluir dispositivos removíveis e/ou embutidos. O dispositivo de armazenamento 704 pode incluir uma memória ótica (por exemplo, CD, DVD, HD-DVD, Disco Blu-Ray, etc.), memória de semicondutor (por exemplo, RAM, EPROM, EEPROM, etc.), e/ou memória magnética, por exemplo, unidade de disco rígido, unidade de disco flexível, unidade de fita, MRAM, etc.), entre outras. O dispositivo de armazenamento 704 pode incluir dispositivos voláteis, não voláteis dinâmicos, estáticos, leitura/escrita, somente de leitura, acesso randômico, acesso sequencial, endereçáveis de localização, endereçáveis de arquivo, e/ou endereçáveis de conteúdo.

[0042] Será apreciado que o dispositivo de armazenamento 704 inclui um ou mais dispositivos físicos. No entanto, aspectos das instruções aqui descritas alternativamente podem ser propagados por um meio de comunicação (por exemplo, um sinal eletromagnético, um sinal ótico, etc.) que não é mantido por um dispositivo físico por uma duração finita.

[0043] Aspectos de dispositivo lógico 702 e dispositivo de armazenamento 704 podem ser integrados juntos em um ou mais componentes lógicos de hardware. Tais componentes lógicos de hardware podem incluir redes de portas programáveis no campo (FPGAs), circuitos integrados específicos de programa e aplicação (PASIC/ASICs), produtos padrão específicos de programa e aplicação (PSSP/ASSPs), sistema em um chip (SOC), e dispositivos lógicos programáveis complexos (CPLDs), por exemplo.

[0044] Os termos "módulo", "programa", e "máquina" podem ser utilizados para descrever um aspecto do sistema de computação 700 implementado para executar uma função específica. Em alguns casos, um módulo, programa, ou máquina pode ser instanciado através de

dispositivo lógico 702 executando instruções mantidas pelo dispositivo de armazenamento 704. Será compreendido que diferentes módulos, programas, e/ou máquinas podem ser instanciados da mesma aplicação, serviço, bloco de código, objeto, biblioteca, rotina, API, função, etc. Do mesmo modo, o mesmo módulo, programa, e/ou máquina podem ser instanciados por diferentes aplicações, serviços, blocos de código, objetos, rotinas, APIs, funções, etc. Os termos "módulo", "programa", e "máquina" podem abranger individuais ou grupos de arquivos executáveis, arquivos de dados, bibliotecas, drivers, scripts, registros de banco de dados, etc.

[0045] Será apreciado que um "serviço", como aqui utilizado, é um programa de aplicação executável através de múltiplas seções de usuário. Um serviço pode estar disponível para um ou mais componentes de sistema, programas, e/ou outros serviços. Em algumas implementações, um serviço pode executar em um ou mais dispositivos de computação de servidor.

[0046] Quando incluído, um subsistema de display 706 pode ser utilizado para apresentar uma representação visual de dados mantidos pelo dispositivo de armazenamento 704. Esta representação visual pode tomar a forma de uma interface gráfica de usuário (GUI). Como os métodos e processos aqui descritos mudam os dados mantidos pelo dispositivo de armazenamento, e assim transformam o estado do dispositivo de armazenamento, o estado do subsistema de display 706 pode do mesmo modo ser transformado para visualmente representar mudanças nos dados subjacentes. O subsistema de display 706 pode incluir um ou mais dispositivos de display utilizando virtualmente qualquer tipo de tecnologia. Tais dispositivos de display podem ser combinados com o dispositivo lógico 702 e/ou dispositivo de armazenamento 704 em um envoltório compartilhado, ou tais dispositivos de display podem ser dispositivos de display periféricos.

[0047] O subsistema de entrada 708 pode compreender ou interfacear com um ou mais dispositivos de entrada de usuário tal como um sistema de rastreamento de olho (por exemplo, o sistema de rastreamento de olho do dispositivo de computação 104 na Figura 1), teclado, mouse, tela de toque, dispositivo apontador de escrita de mão, ou controlador de jogo. Em algumas modalidades, o subsistema de entrada pode compreender ou interfacear com componentes de entrada de usuário natural (NUI) selecionados. Tais componentes podem ser integrados ou periféricos, e a transdução e/ou processamento de ações de entrada podem ser manipuladas em ou fora de bordo. Componentes de NUI exemplares podem incluir um microfone para reconhecimento de fala e/ou voz; uma câmera infravermelha, colorida, estereoscópica, e/ou câmera de profundidade para visão de máquina e/ou reconhecimento de gesto; um rastreador de cabeça, rastreador de olho, acelerômetro, e/ou giroscópio para detecção de movimento e/ou reconhecimento de intenção; assim como componentes de detecção de campo elétrico para avaliar atividade cerebral. Por exemplo, o subsistema de entrada pode compreender um sistema de rastreamento de olho e/ou uma porção de um sistema de rastreamento de olho utilizada para executar os métodos 200 e/ou 300 das Figuras 2 e 3.

[0048] Quando incluído, o subsistema de comunicação 710 pode estar configurado para comunicativamente acoplar o sistema de computação 700 com um ou mais outros dispositivos de computação. O subsistema de comunicação 710 pode incluir dispositivos de comunicação com fio e/ou sem fio compatíveis com um ou mais diferentes protocolos de comunicação. Como exemplos não limitantes, o subsistema de comunicação pode estar configurado para comunicação através de uma rede telefônica sem fio, ou uma rede local ou de área ampla com fio ou sem fio. Em algumas modalidades,

o subsistema de comunicação pode permitir que o sistema de computação 700 envie e/ou receba mensagens para e/ou de outros dispositivos através de uma rede tal como a Internet.

[0049] Será compreendido que as configurações e/ou propostas aqui descritas são exemplares por natureza, e que estas modalidades ou exemplos específicos não devem ser considerados em um sentido limitante, porque numerosas variações são possíveis. As rotinas ou métodos específicos aqui descritos podem representar uma ou mais de qualquer número de estratégias de processamento. Como tal, vários atos ilustrados e/ou descritos podem ser executados na sequência ilustrada e/ou descrita, em outras sequências, em paralelo, ou omitidos. Do mesmo modo, a ordem dos processos acima descritos pode ser mudada.

[0050] O assunto da presente descrição inclui todas as combinações e subcombinações novas e não óbvias dos vários processos, sistemas e configurações, e outras características, funções, atos, e/ou propriedades aqui descritas, assim como qualquer e todos os seus equivalentes.

## REIVINDICAÇÕES

1. Método de rastreamento de olho **caracterizado** por compreender:

testar iterativamente diferentes combinações de fontes de luz (108) de uma pluralidade de fontes de luz (108), em que em cada iteração uma dentre as respectivas diferentes combinações de fontes de luz (108) é testada por:

projetar (204) luz em direção a um olho de um usuário a partir da respectiva uma dentre as diferentes combinações de fontes de luz (108);

capturar (206) uma imagem do olho com uma câmera (119) durante a projeção da respectiva uma dentre as diferentes combinações de fontes de luz (108);

detectar (304) regiões saturadas na imagem;

determinar (310) uma caixa de limitação para cada núcleo das regiões saturadas;

ajustar (314) uma distribuição estatística para cada região saturada dentro de cada caixa delimitadora;

classificar (318) uma região saturada dentro de uma caixa delimitadora como um brilho, se um parâmetro da distribuição estatística ajustada à região saturada atender a uma condição limite de ajuste de distribuição estatística;

determinar (324) um nível de oclusão resultante de uma estrutura óptica transparente ou semitransparente posicionada entre o olho e a câmera (119) com base no número e/ou localizações de ofuscamentos na imagem;

selecionar (212) a respectiva uma dentre as diferentes combinações de fontes de luz (108) como uma combinação adequada de fontes de luz para realizar o rastreamento ocular, se o nível determinado de oclusão mostrar que a respectiva uma dentre as

diferentes combinações de fontes de luz (108) produz reflexos nas pupilas não obstruídos ou parcialmente ocluídos, obtidos com um alto índice de confiança; e

interromper o teste iterativo após a seleção da respectiva uma dentre as diferentes combinações de fontes de luz (108) como a combinação adequada de fontes de luz para realizar o rastreamento ocular; e

após o teste iterativo, projetar (216) luz através da combinação adequada selecionada de fontes de luz (108) para realizar o rastreamento de olho.

2. Método de rastreamento de olho **caracterizado** por compreender:

projetar iterativamente (204) luz em direção a um olho de um usuário a partir de diferentes combinações de fontes de luz (108) de uma pluralidade de fontes de luz (108);

capturar (206) uma imagem do olho com uma câmera (119) durante a projeção de cada uma das diferentes combinações de fontes de luz (108);

analisando cada uma das imagens capturadas por:

detectar (304) regiões saturadas na imagem;

determinar (310) uma caixa de limitação para cada núcleo das regiões saturadas;

ajustar (314) uma distribuição estatística para cada região saturada dentro de cada caixa de limitação;

classificar (318) uma região saturada dentro de uma caixa de limitação como um brilho, se um parâmetro da distribuição estatística ajustada à região saturada atender a uma condição limite de ajuste de distribuição estatística; e

determinar (324) um nível de oclusão resultante de uma estrutura óptica transparente ou semitransparente posicionada entre o

olho e a câmera (119) com base no número e/ou localização de ofuscamentos;

após análise de cada uma das imagens capturadas, selecionar (212) uma combinação adequada de fontes de luz (108) para realizar o rastreamento ocular a partir das diferentes combinações de fontes de luz (108) com base no nível de oclusão determinado para cada uma das imagens capturadas; e

projetar (216) luz através da combinação adequada selecionada de fontes de luz (108) para executar o rastreamento de olho.

3. Método, de acordo com a reivindicação 1 ou 2, **caracterizado** pelo fato de que determinar (310) uma caixa de limitação para cada núcleo das regiões saturadas inclui aumentar (312) um tamanho da caixa de limitação até que uma porcentagem de pixels saturados na caixa de limitação atinja uma condição limite da caixa de limitação.

4. Método, de acordo com a reivindicação 3, **caracterizado** pelo fato de ainda compreender realizar (306) uma transformação de distância em primeiro plano na imagem e remover (308) os contornos na imagem com um valor de distância inferior a um limite de distância.

5. Método, de acordo com a reivindicação 4, **caracterizado** pelo fato de que um ou mais limites de distância, condição limite da caixa de limitação e condição limite de ajuste de distribuição estatística são determinados por meio de um algoritmo de aprendizado.

6. Método, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que testar iterativamente diferentes combinações de fontes de luz (108) inclui testar iterativamente as diferentes combinações de fontes de luz (108) em uma ordem que é baseada em uma oclusão prevista para cada uma ou mais combinações.

7. Método, de acordo com a reivindicação 6, **caracterizado**

pelo fato de ainda compreender detectar uma pose da cabeça e determinar (208) uma estimativa de qual combinação de fontes de luz (108) produzirá a menor quantidade de oclusão com base na pose da cabeça.

8. Método, de acordo com a reivindicação 1 ou 2, **caracterizado** pelo fato de ainda compreender designar um ponto saturado em uma imagem como brilho e combinar o brilho com uma fonte de luz selecionada (108) em uma primeira combinação de fontes de luz (108) com base na determinação de se o brilho está presente em uma próxima imagem capturada durante a projeção de uma segunda combinação diferente de fontes de luz (108) que não inclui a fonte de luz selecionada (108).

9. Método, de acordo com a reivindicação 1 ou 2, **caracterizado** pelo fato de que uma ou mais dentre a pluralidade de fontes de luz (108) são orientadas diferentemente uma da outra e em que, quando dependente da reivindicação 1, testar iterativamente diferentes combinações de fontes de luz (108) compreende testar iterativamente diferentes combinações de fontes de luz (108) com diferentes combinações de orientações, ou em que, quando dependente da reivindicação 2, projetar iterativamente luz de diferentes combinações de fontes de luz (108) compreende projetar iterativamente luz de diferentes combinações de fontes de luz (108) tendo diferentes combinações de orientações.

10. Sistema de rastreamento de olho **caracterizado** por compreender:

- uma pluralidade de fontes de luz (108);
- uma câmera (119) configurada para capturar uma imagem de luz das fontes de luz refletida no olho de um usuário;
- um dispositivo lógico (702); e
- um dispositivo de armazenamento (704) que armazena



instruções executáveis pelo dispositivo lógico (702);

em que o dispositivo lógico (702), ao executar as instruções do dispositivo de armazenamento (704), está configurado para executar um método conforme definido em qualquer uma das reivindicações 1-9.

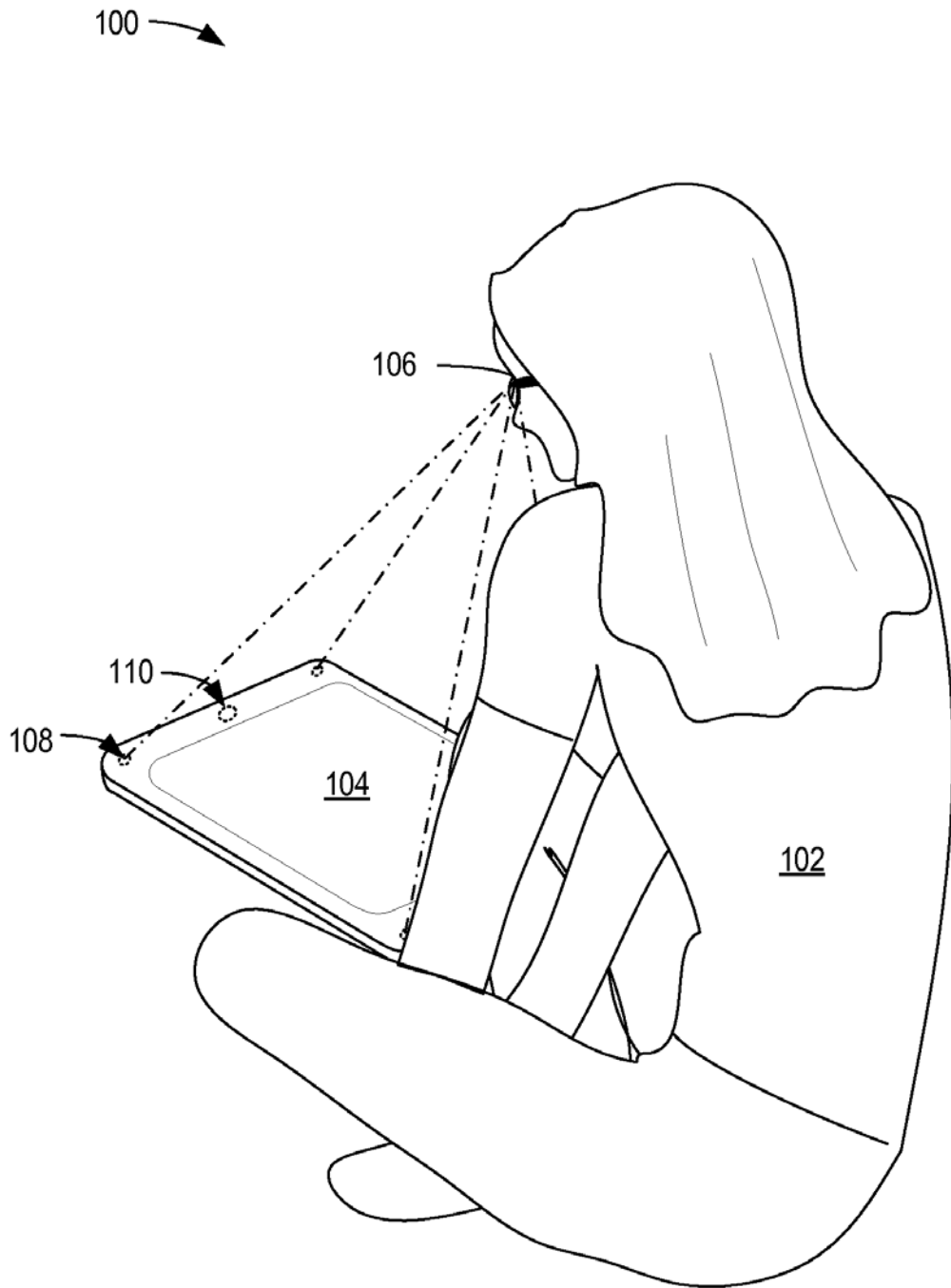
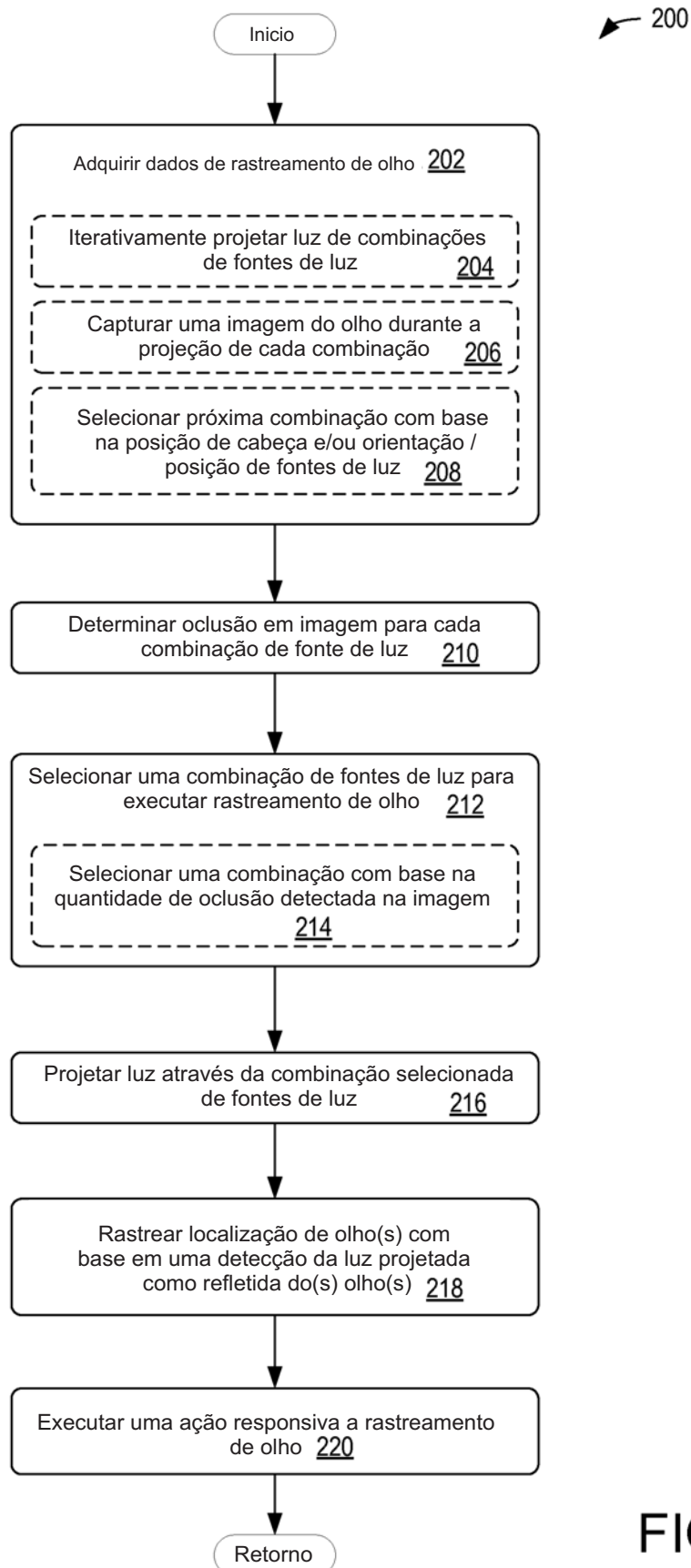


FIG. 1



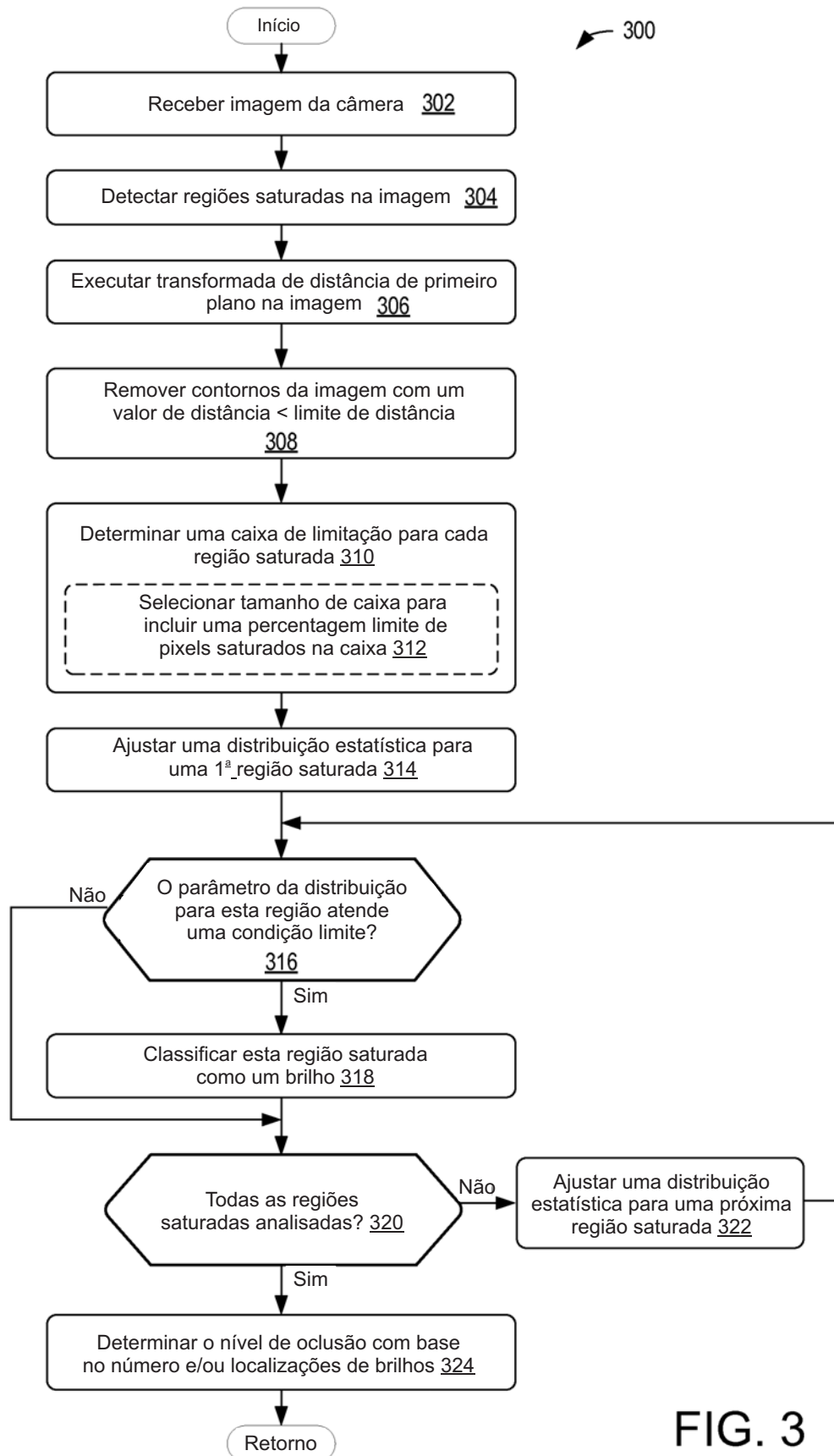


FIG. 3

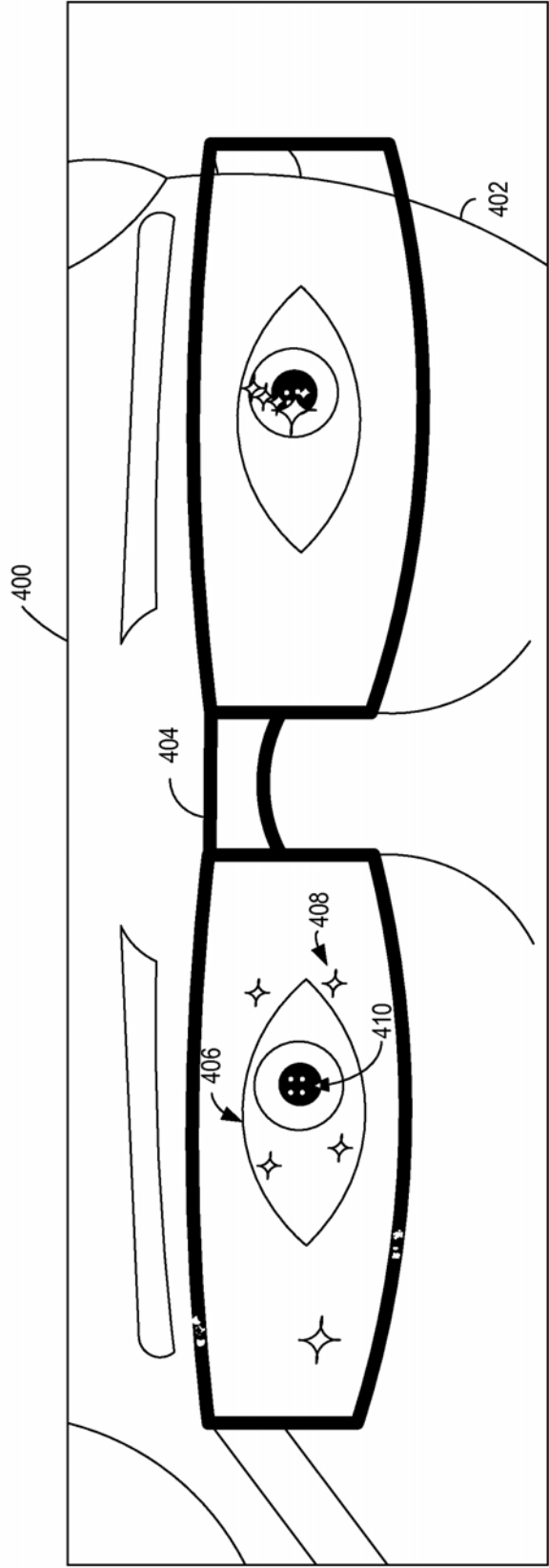


FIG. 4

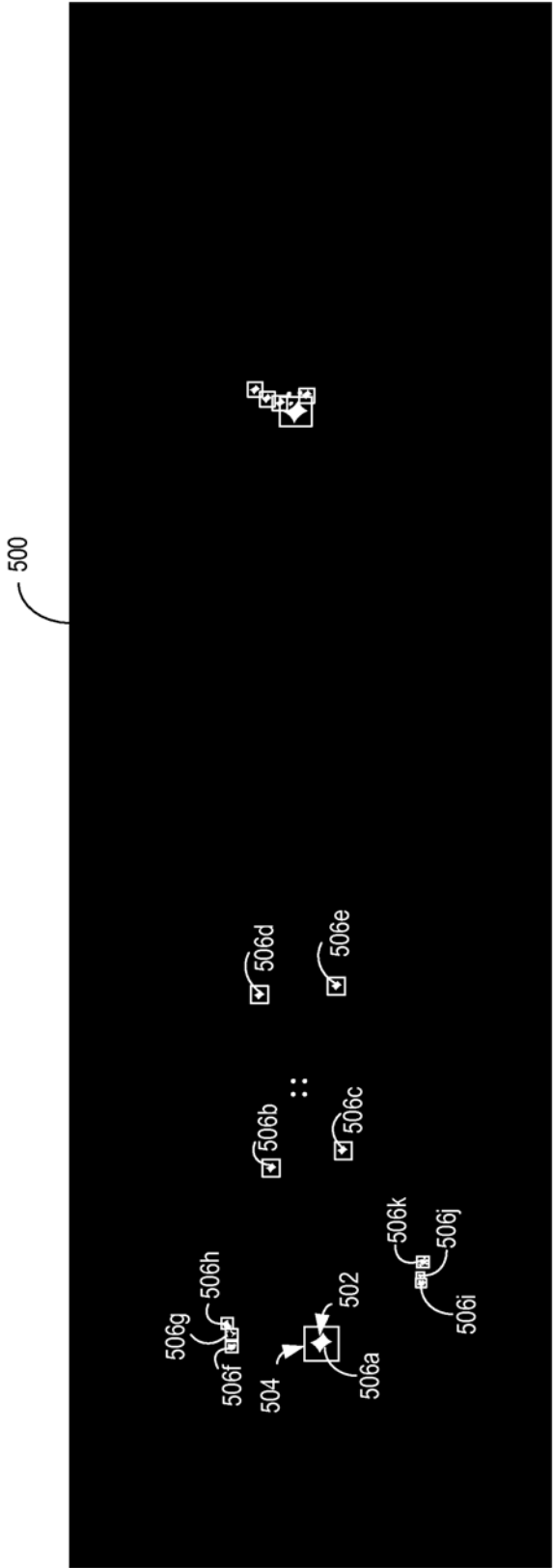
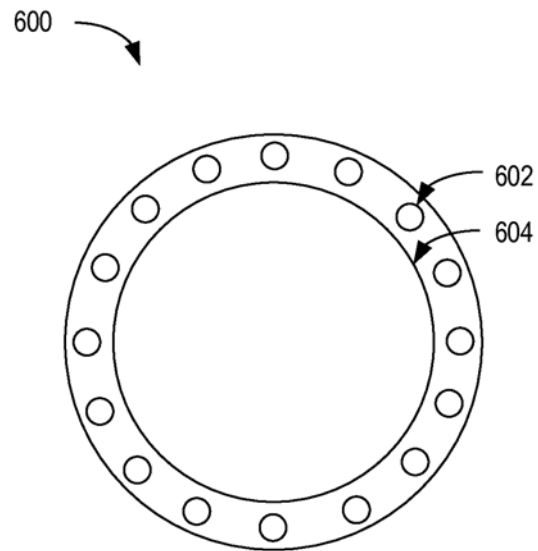


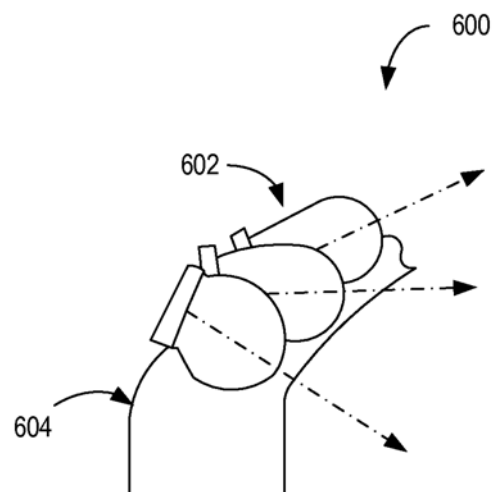
FIG. 5

6/8



Vista frontal

FIG. 6A



Vista oblíqua

FIG. 6B

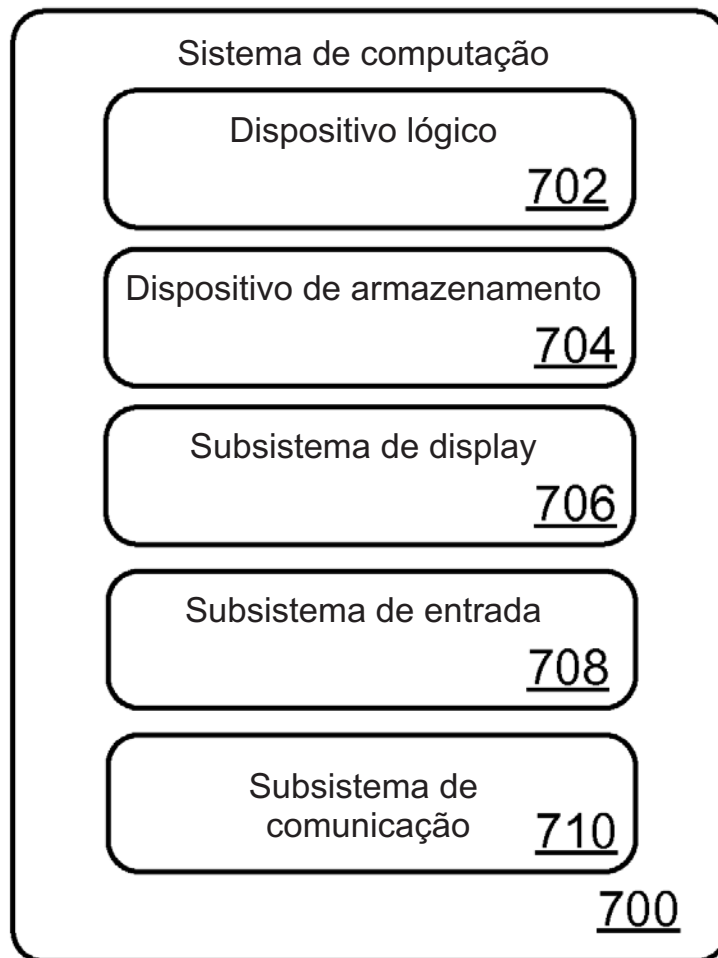


FIG. 7



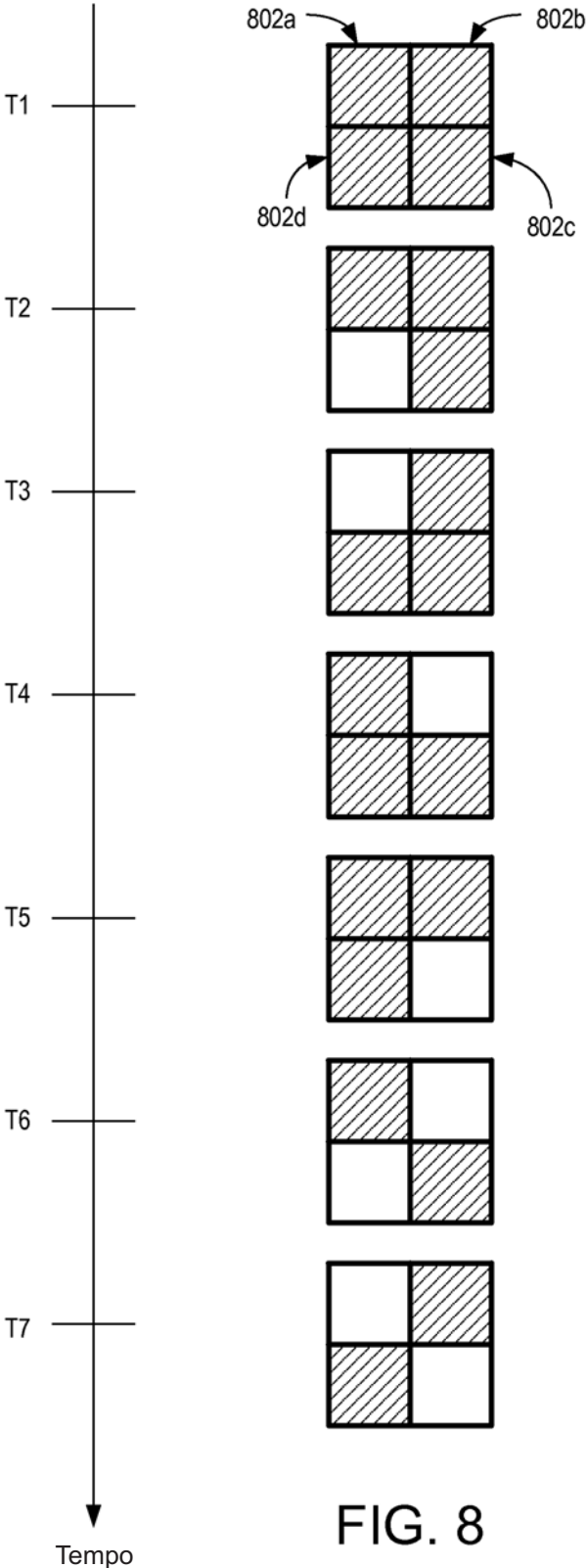


FIG. 8