



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

(11) BR 102013021722-0 B1



(22) Data do Depósito: 26/08/2013

(45) Data de Concessão: 01/12/2020

(54) Título: MÉTODO E SISTEMA PARA INSPECIONAR UMA PEÇA DE TRABALHO

(51) Int.Cl.: G01B 11/02; G01B 11/25; G01B 11/00; G01S 17/87; G01S 7/497; (...).

(52) CPC: G01B 11/026; G01B 11/25; G01B 11/002; G01S 17/875; G01S 7/497; (...).

(30) Prioridade Unionista: 27/08/2012 US 13/594,928.

(73) Titular(es): THE BOEING COMPANY.

(72) Inventor(es): JOSEPH D. DOYLE; PAUL R. DAVIES.

(57) Resumo: MÉTODOS E SISTEMAS PARA INSPECIONAR UMA PEÇA DE TRABALHO. A presente invenção refere-se a métodos (300) e sistemas (100) para inspecionar uma peça de trabalho (108). O método inclui inserir dados de modelo associados à peça de trabalho (108) em um sistema de inspeção, determinar uma posição relativa de um dispositivo de captação de profundidade (102) em relação à peça de trabalho (108) e calibrar uma vista de pose para o sistema de inspeção em relação ao modelo baseado na posição do dispositivo de captação de profundidade em relação à peça de trabalho (108). O método inclui adicionalmente medir os dados de distância de profundidade real de pelo menos um pixel do dispositivo de captação de profundidade em relação à peça de trabalho (108) e determinar, baseado nos dados de distância de profundidade real, se a peça de trabalho (108) satisfaz os critérios de inspeção predeterminados.

**Relatório Descritivo da Patente de Invenção para "MÉTODO
E SISTEMA PARA INSPECIONAR UMA PEÇA DE TRABALHO".**

Antecedentes da Invenção

[001] A presente invenção refere-se à inspeção de peça de trabalho não destrutiva e, mais particularmente, a métodos e sistemas para a inspeção automatizada de uma peça de trabalho.

[002] A produção ou montagem de uma peça de trabalho pode requerer o uso de múltiplas peças e ferramentas. É desejável realizar uma inspeção precisa e confiável da montagem durante e após a construção para assegurar a qualidade de produção identificando-se possíveis problemas, tais como, erros de montagem, dano de um componente na montagem e/ou fragmentos de objetos estranhos (FOD).

[003] Pelo menos algumas inspeções conhecidas das montagens são manualmente realizadas. Em tais inspeções, os inspetores usam tipicamente inspeções visuais e táteis, em combinação com conhecimento pessoal, para comparar a peça de trabalho com um modelo ou gráfico de desenho. Entretanto, inspeções manuais geralmente requerem inspetores para inspecionar, tocar e sentir visualmente a peça de trabalho para detectar diferenças entre a montagem e o modelo. Como tal, as inspeções manuais introduzem possibilidades de erro humano. Por exemplo, montagens grandes, tais como, aeronaves, trens, automóveis e navios podem incluir pequenos objetos em áreas que têm acessibilidade limitada e, deste modo, tais áreas podem ser difíceis para os inspetores inspecionarem. Além disso, as inspeções manuais podem ser demoradas e/ou requerer mão de obra qualificada dispendiosa. Em alguns casos, os inspetores podem usar uma ferramenta de inspeção óptica pequena, tal como, uma tecnologia de boroscópio ou raios-X, porém, tais métodos de inspeção ainda introduzem um potencial para erro humano, à medida que eles

requerem que os inspetores reconheçam visualmente as diferenças entre a peça de trabalho e o modelo. Além disso, a tecnologia de raios-X pode ser usada apenas em um grupo limitado de materiais, à medida que alguns materiais não são visíveis utilizando a tecnologia de raios-X.

[004] Outros métodos de inspeção conhecidos usam o processamento de imagem automatizado para realizar as inspeções. Durante as inspeções, as imagens de uma peça de trabalho são capturadas e analisadas utilizando o processamento de imagem, de modo que as características dentro das imagens sejam comparadas com uma biblioteca de características padrão. As características podem ser identificadas usando ajuste de borda, correspondência de cores e redimensionamento de objetos flexíveis. Entretanto, tais métodos de inspeção ainda podem introduzir imprecisões ao identificar pequenas peças e ao inspecionar objetos da mesma cor. Além disso, as áreas que podem ser inspecionadas usando tais tecnologias podem ser limitadas.

[005] US 2006/0265177 descreve um método para determinar coordenadas 3D da superfície de um objeto. Um sistema de rastreamento rastreia um dispositivo de medição 3D que mede a superfície de um objeto.

Breve Descrição da Invenção

[006] Em um aspecto, proporciona-se um método para inspecionar uma peça de trabalho. O método inclui inserir dados de modelo associados à peça de trabalho em um sistema de inspeção, determinar uma posição relativa de um dispositivo de captação de profundidade em relação à peça de trabalho, e calibrar uma vista de pose para o sistema de inspeção em relação ao modelo baseado na posição do dispositivo de captação de profundidade em relação à peça de trabalho. O método inclui adicionalmente medir os dados de distância de profundidade real de pelo menos um pixel do dispositivo de captação de profundidade em relação à peça de trabalho e determinar, baseado nos dados de

distância de profundidade real, se a peça de trabalho satisfaz os critérios de inspeção predeterminados.

[007] Em outro aspecto, um sistema de computador é proporcionado para inspecionar uma peça de trabalho. O sistema de computador inclui um processador, e um dispositivo de armazenamento legível por computador que codifica neste, instruções legíveis por computador que são executáveis pelo processador para realizar as funções. O processador realiza funções que incluem inserir dados de modelo associados à peça de trabalho no dispositivo de armazenamento e determinar uma posição relativa de um dispositivo de captação de profundidade em relação à peça de trabalho. O processador realiza adicionalmente funções que incluem calibrar uma vista de pose para o sistema de computador em relação ao modelo baseado na posição do dispositivo de captação de profundidade em relação à peça de trabalho. O processador realiza adicionalmente funções que incluem medir os dados de distância de profundidade real de pelo menos um pixel do dispositivo de captação de profundidade em relação à peça de trabalho e determinar, baseado nos dados de distância de profundidade real, se a peça de trabalho satisfaz os critérios de inspeção predeterminados.

[008] De acordo com um sistema, proporciona-se um sistema para inspecionar uma peça de trabalho. O sistema inclui um dispositivo de captação de profundidade configurado para medir os dados de distância de profundidade real de pelo menos um pixel do dispositivo de captação de profundidade em relação à peça de trabalho. O sistema também inclui um sistema de detecção de pose configurado para determinar uma posição relativa do dispositivo de captação de profundidade em relação à peça de trabalho. O sistema também inclui um sistema de computador de inspeção em comunicação com o dispositivo de captação de profundidade e o sistema de detecção de pose. O sistema de inspeção

é programado para inserir dados de modelo associados à peça de trabalho e calibrar uma vista de pose para o sistema de inspeção em relação ao modelo baseado na posição do dispositivo de captação de profundidade em relação à peça de trabalho. O sistema de inspeção é adicionalmente programado para determinar, baseado nos dados de distância de profundidade real, se a peça de trabalho satisfaz os critérios de inspeção predeterminados.

[009] De acordo com um aspecto da presente descrição, proporcionou-se um método para inspecionar uma peça de trabalho, o dito método que compreende inserir dados de modelo associados à peça de trabalho em um sistema de inspeção, determinar uma posição relativa de um dispositivo de captação de profundidade em relação à peça de trabalho, calibrar uma vista de pose para o sistema de inspeção em relação ao modelo baseado na posição do dispositivo de captação de profundidade em relação à peça de trabalho, medir os dados de distância de profundidade real de pelo menos um pixel do dispositivo de captação de profundidade em relação à peça de trabalho; e determinar, baseado nos dados de distância de profundidade real, se a peça de trabalho satisfaz os critérios de inspeção predeterminados. De maneira vantajosa, a inserção dos dados de modelo compreende inserir dados de modelo de desenho assistido por computador associados à peça de trabalho. De maneira vantajosa, a inserção dos dados de modelo pode compreender adicionalmente inserir um modelo previamente varrido da peça de trabalho.

[0010] De maneira vantajosa, determinar a posição relativa do dispositivo de captação de profundidade compreende definir uma origem de sistema de coordenadas em uma posição designada da peça de trabalho e determinar uma localização do dispositivo de captação de profundidade em relação à peça de trabalho usando uma pluralidade de câmaras de detecção de posição. De maneira vantajosa, o método pode

compreender adicionalmente transmitir a localização do dispositivo de captação de profundidade para o sistema de inspeção.

[0011] De maneira vantajosa, medir a distância de profundidade real inclui mover o dispositivo de captação de profundidade ao redor da peça de trabalho para capturar uma pluralidade de distâncias de profundidade reais, o dito método que comprehende adicionalmente comparar a pluralidade de distâncias de profundidade reais com uma pluralidade de distâncias de profundidade de modelo associadas para identificar porções não equivalentes.

[0012] De maneira vantajosa, a determinação baseada nos dados de distância de profundidade real, comprehende adicionalmente calcular os dados de distância de profundidade de modelo para a vista de pose do sistema de inspeção, em que os dados de distância de profundidade de modelo representam uma distância de profundidade de modelo a partir da vista de pose do sistema de inspeção até a peça de trabalho de modelo, que determina se a distância de profundidade real difere da distância de profundidade de modelo; e que determina se a diferença satisfaz os critérios de inspeção quando a distância de profundidade real difere da distância de profundidade de modelo, em que a conformidade com o limite indica que a peça de trabalho se encontra em condição aceitável. Ademais, o método pode comprehender exibir uma porção da peça de trabalho que não está presente na peça de trabalho de modelo que usa uma sobreposição aplicada a uma vista do dispositivo de captação de profundidade. Ademais, a sobreposição pode ser configurada para ilustrar uma presença de pelo menos um entre fragmentos de objetos estranhos, um componente ausente, um erro de montagem e um componente danificado. De maneira vantajosa, medir os dados de distância de profundidade real comprehende gerar adicionalmente uma nuvem de pontos tridimensional.

[0013] De acordo com um exemplo, proporcionou-se um sistema de

computador para inspecionar uma peça de trabalho, o dito sistema de computador que compreende um processador; e um dispositivo de armazenamento legível por computador que tem codificado neste, instruções legíveis por computador que são executáveis pelo processador para realizar as funções que compreendem inserir dados de modelo associados à peça de trabalho no dispositivo de armazenamento que determinam uma posição relativa de um dispositivo de captação de profundidade em relação à peça de trabalho, calibrar uma vista de pose para o sistema de computador em relação ao modelo baseado na posição do dispositivo de captação de profundidade em relação à peça de trabalho, medir dados de distância de profundidade real de pelo menos um pixel do dispositivo de captação de profundidade em relação à peça de trabalho, e determinar, baseado nos dados de distância de profundidade real, se a peça de trabalho satisfaz os critérios de inspeção predeterminados.

[0014] De maneira vantajosa, as funções realizadas pelo processador compreendem adicionalmente inserir pelo menos um dos dados de modelo de desenho assistido por computador associados à peça de trabalho e um modelo previamente varrido da peça de trabalho. De maneira vantajosa, as funções realizadas pelo processador compreendem adicionalmente calcular os dados de distância de profundidade de modelo para a vista de pose do sistema de computador, em que os dados de distância de profundidade de modelo representam uma distância de profundidade de modelo a partir da vista de pose do sistema de computador até a peça de trabalho de modelo, determinar se a distância de profundidade real difere da distância de profundidade de modelo; e determinar se a diferença satisfaz os critérios de inspeção quando a distância de profundidade real difere da distância de profundidade de modelo, em que a conformidade com o limite indica que a peça de trabalho se encontra em condição aceitável. Ademais, as

funções realizadas pelo processador podem compreender exibir uma porção da peça de trabalho que não está presente na peça de trabalho de modelo que usa uma sobreposição aplicada a uma vista do dispositivo de captação de profundidade.

[0015] De acordo com um aspecto adicional da presente descrição, proporcionou-se sistema para inspecionar a peça de trabalho, o dito sistema que comprehende um dispositivo de captação de profundidade configurado para medir os dados de distância de profundidade real de pelo menos um pixel do dispositivo de captação de profundidade em relação à peça de trabalho, um sistema de detecção de pose configurado para determinar uma posição relativa do dispositivo de captação de profundidade em relação à peça de trabalho e um sistema de computador de inspeção em comunicação com o dispositivo de captação de profundidade e o sistema de detecção de pose, o sistema de computador de inspeção programado para inserir dados de modelo associados à peça de trabalho, calibrar uma vista de pose para o sistema de computador de inspeção em relação ao modelo baseado na posição do dispositivo de captação de profundidade em relação à peça de trabalho, determinar, baseado nos dados de distância de profundidade real, se a peça de trabalho satisfaz os critérios de inspeção predeterminados.

[0016] De maneira vantajosa, para inserir os dados de modelo, o sistema de computador de inspeção é adicionalmente programado para inserir dados de modelo de desenho assistido por computador associados à peça de trabalho. Ademais, para inserir dados de modelo, o sistema de computador de inspeção pode ser programado para armazenar um modelo previamente varrido da peça de trabalho.

[0017] De maneira vantajosa, o sistema de computador de inspeção pode ser adicionalmente programado para calcular os dados de distância de profundidade de modelo para a vista de pose do sistema

de computador de inspeção, em que os dados de distância de profundidade de modelo representam uma distância de profundidade de modelo a partir da vista de pose do sistema de computador de inspeção até a peça de trabalho de modelo, determinar se a distância de profundidade real difere da distância de profundidade de modelo, e determinar se a diferença satisfaz os critérios de inspeção quando a distância de profundidade real difere da distância de profundidade de modelo, em que a conformidade com o limite indica que a peça de trabalho se encontra em condição aceitável. Ademais, a sobreposição pode ser exibida em tempo real e tempo quase real. E, adicionalmente, o sistema de computador de inspeção pode ser configurado para exibir uma porção da peça de trabalho que não está presente na peça de trabalho de modelo que usa uma sobreposição aplicada a uma vista do dispositivo de captação de profundidade.

Breve Descrição dos Desenhos

[0018] A Figura 1 é uma ilustração esquemática de um sistema de inspeção exemplificativo.

[0019] A Figura 2 é uma ilustração esquemática de um sistema de computador de inspeção exemplificativo que pode ser usado com o sistema de inspeção mostrado na Figura 1.

[0020] A Figura 3 é um fluxograma de um método exemplificativo que pode ser implementado pelo sistema de inspeção mostrado na Figura 1.

Descrição Detalhada da Invenção

[0021] A presente descrição se refere geralmente à inspeção de peça de trabalho e, mais particularmente, a métodos e sistemas que permitem a inspeção automatizada de uma peça de trabalho. Em uma modalidade, um sistema de inspeção inclui um dispositivo de captação de profundidade que mede dados de distância de profundidade real para pelo menos um pixel do dispositivo de captação de profundidade, um

sistema de detecção de posição e orientação (pose) que determina os dados de pose do dispositivo de captação de profundidade em relação à peça de trabalho, e um sistema de computador de inspeção que é acoplado ao dispositivo de captação de profundidade e ao sistema de detecção de pose. As modalidades dos métodos e sistemas descritos no presente documento permitem que o sistema de computação (i) insira os dados de modelo associados à peça de trabalho, (ii) determine uma posição relativa do dispositivo de captação de profundidade em relação à peça de trabalho, (iii) calibre uma vista de pose para o sistema de computador de inspeção em relação ao modelo baseado na posição do dispositivo de captação de profundidade em relação à peça de trabalho, (iv) meça os dados de distância de profundidade real de pelo menos um pixel do dispositivo de captação de profundidade em relação à peça de trabalho, e (v) determine, baseado nos dados de distância de profundidade real, se um limite predeterminado em relação à peça de trabalho foi excedido.

[0022] Os métodos e sistemas descritos no presente documento podem ser implementados usando técnicas de engenharia ou programação de computador que incluem software de computador, firmware, hardware ou qualquer combinação ou subconjunto destes, em que os efeitos técnicos podem incluir pelo menos um entre: a) carregar dados de modelo para a peça de trabalho sobre o sistema de computador de inspeção; b) determinar os dados de pose de um dispositivo de captação de profundidade em relação à peça de trabalho que está sendo inspecionada; c) calibrar uma vista de pose para o sistema de computador de inspeção em relação ao modelo e à pose do dispositivo de captação de profundidade em relação à peça de trabalho que está sendo inspecionado; d) medir os dados de distância de profundidade real para pelo menos um pixel, em que os dados de distância de profundidade real representam uma distância de

profundidade real entre o dispositivo de captação de profundidade e a peça de trabalho que está sendo inspecionada; e) calcular os dados de distância de profundidade de modelo para a vista de pose do sistema de computador de inspeção, em que os dados de distância de profundidade de modelo representam uma distância de profundidade de modelo a partir da vista de pose do sistema de computador de inspeção até a peça de trabalho de modelo; f) comparar os dados de distância de profundidade real com os dados de distância de profundidade de modelo; g) determinar se a distância de profundidade real difere da distância de profundidade de modelo e determinar se a diferença excede um limite predeterminado; e h) exibir uma porção da peça de trabalho que não está presente na peça de trabalho de modelo que usa uma sobreposição aplicada a uma vista do dispositivo de captação de profundidade.

[0023] Conforme usado no presente documento, um elemento ou etapa citado no singular e procedido pela palavra "um" deve ser entendido de modo a não excluir os elementos ou etapas plurais, exceto se tal exclusão for explicitamente citada. Além disso, as referências a "uma modalidade" e/ou à "modalidade exemplificativa" não são destinadas a serem interpretadas de modo a excluir a existência de modalidades adicionais que também incorporam as características citadas.

[0024] A Figura 1 é uma ilustração esquemática de um sistema de inspeção exemplificativo 100 que pode ser usado para inspecionar uma montagem ou peça de trabalho 108. Geralmente, a peça de trabalho é o produto de um ambiente de engenharia no qual os elementos da estrutura são montados de uma maneira predefinida, de modo que os elementos constituintes sejam posicionados e orientados de uma maneira predefinida em relação um ao outro e à peça de trabalho como um todo. O sistema de inspeção 100 pode ser usado em uma ampla

variedade de aplicações. Por exemplo, o sistema de inspeção 100 pode ser usado para inspecionar montagens grandes, tais como, aeronaves, trens, navios, ou qualquer outra montagem grande que tenha numerosos elementos. De maneira alternativa, o sistema de inspeção 100 também pode ser usado para inspecionar montagens pequenas, tais como, ferramentas ou tubos de gás/fluido, e similares.

[0025] Conforme mostrado na Figura 1, o sistema de inspeção 100 inclui um dispositivo de captação de profundidade 102, um sistema de detecção de pose 104 e um sistema de computador de inspeção 106. Conforme usado no presente documento, o termo "pose" é definido como uma posição e uma orientação de um objeto em relação a outro. O sistema de inspeção 100 é usado para inspecionar uma peça de trabalho, por exemplo, peça de trabalho 108, conforme descrito em mais detalhes abaixo, e o dispositivo de captação de profundidade 102 se comunica com o sistema de computador de inspeção 106. De maneira específica, o dispositivo de captação de profundidade 102 transmite um sinal 110 indicativo de uma distância D entre o dispositivo de captação de profundidade 102 e a peça de trabalho 108 para cada pixel em um campo de visão do dispositivo de captação de profundidade 102. O sistema de detecção de pose 104 se comunica com o sistema de computador de inspeção 106 e transmite um sinal 112 indicativo de uma pose do dispositivo de captação de profundidade 102 em relação à peça de trabalho 108. De maneira alternativa, ou, além disso, o dispositivo de captação de profundidade 102 e o sistema de detecção de pose 104 podem incluir um transmissor, um transceptor e/ou qualquer outro dispositivo de transmissão de sinal que permita que o sistema de inspeção 100 funcione conforme descrito no presente documento.

[0026] O dispositivo de captação de profundidade 102 pode ser qualquer dispositivo ou câmera de captação de profundidade adequada capaz de medir uma distância real entre o dispositivo de captação de

profundidade 102 e a peça de trabalho 108. Em algumas modalidades, o dispositivo de captação de profundidade 102 é um dispositivo de captação de profundidade de luz de laser ou 3D. Em uma modalidade, o dispositivo de captação de profundidade 102 determina os dados de distância reais calculando-se o tempo de viagem em dois sentidos de um feixe de laser transmitido em direção à peça de trabalho 108 e refletido a partir da peça de trabalho 108. Em outra modalidade, o dispositivo de captação de profundidade 102 projeta um padrão de infravermelho (IR) em direção à peça de trabalho 108. O dispositivo de captação de profundidade 102 inclui uma câmera infravermelha (não mostrada) que captura uma imagem do padrão de IR. Os dados de profundidade são, então, determinados comparando-se o padrão de IR esperado com o padrão de IR real visto pelo dispositivo de captação de profundidade 102. De maneira alternativa, para calcular a distância, o dispositivo de captação de profundidade 102 pode determinar uma diferença de fase do feixe de laser. O dispositivo de captação de profundidade 102 determina a distância baseada no tempo de deslocamento ou na diferença de fase que componentes de coordenada 3D (isto é, pontos em um eixo geométrico X, Y, Z) em uma nuvem de pontos onde múltiplos pontos são agrupados.

[0027] Na modalidade exemplificativa, o dispositivo de captação de profundidade 102 se comunica com o sistema de computador de inspeção 106 através de uma conexão com fio ou através de transmissões sem fio, e transmite os dados de distância de profundidade real para o sistema de computador de inspeção 106. Na modalidade exemplificativa, o dispositivo de captação de profundidade 102 inclui um processador de imagem que permite que uma imagem de vídeo em tempo real, ou substancialmente em tempo real, de qualquer objeto dentro de seu campo de visão seja gerada. Em uma modalidade alternativa, o dispositivo de captação de profundidade 102 pode

capturar e armazenar imagens de qualquer objeto dentro de seu campo de visão. Durante o uso, na modalidade exemplificativa, um usuário posiciona manualmente o dispositivo de captação de profundidade 102 em uma localização desejada em relação à peça de trabalho 108. Devido ao fato de que o dispositivo de captação de profundidade 102 gera uma imagem de vídeo, o usuário pode mover o dispositivo de captação de profundidade 102 em relação à peça de trabalho 108 sem causar erro ou imprecisão na inspeção. Em modalidades alternativas, o dispositivo de captação de profundidade 102 pode ser posicionado usando dispositivos de controle automatizados, ou o dispositivo de captação de profundidade 102 pode permanecer estacionário enquanto a peça de trabalho 108 é movida em relação ao dispositivo de captação de profundidade 102.

[0028] Na modalidade exemplificativa, o sistema de detecção de pose 104 determina uma pose do dispositivo de captação de profundidade 102 em relação à peça de trabalho 108. De maneira mais específica, na modalidade exemplificativa, o sistema de detecção de pose 104 inclui um processador que permite que o sistema de detecção de pose 104 determine a pose do dispositivo de captação de profundidade 102 em tempo real, ou tempo quase real. O sistema de detecção de pose 104 se comunica com o sistema de computador de inspeção 106 através de uma conexão com fio ou através de transmissões sem fio.

[0029] O sistema de detecção de pose 104 pode determinar a pose do dispositivo de captação de profundidade 102 usando métodos diferentes. Na modalidade exemplificativa, o sistema de detecção de pose 104 é um sistema e captura de movimento que inclui uma pluralidade de câmeras 116 posicionadas ao redor da peça de trabalho 108. Uma pluralidade de pequenos marcadores reflexivos¹¹⁸ é acoplada a cada objeto que está sendo rastreado (isto é, ao dispositivo

de captação de profundidade 102 e à peça de trabalho 108). Tais marcadores 118 facilitam a calibração da pose do dispositivo de captação de profundidade 102 em relação à peça de trabalho 108. As câmeras 116 emitem uma luz próxima do infravermelho ao redor da peça de trabalho 108, que é refletida de volta a partir dos marcadores 118. Na modalidade exemplificativa, a peça de trabalho 108 permanece estacionária durante o processo de inspeção e é calibrada em uma origem (0, 0, 0) em relação ao sistema de coordenadas porque a peça de trabalho 108 permanece estacionária durante o processo de inspeção. Quando múltiplas câmeras 116 observam um marcador reflexivo 118, o sistema de detecção de pose 104 pode determinar, isto é, basicamente triangular, uma posição daquele marcador 118 no espaço 3D. Além disso, quando múltiplos marcadores 118 forem conectados ao mesmo objeto, o sistema de detecção de pose 104 também pode determinar uma orientação relativa daquele objeto. Outros sistemas e métodos de determinação da pose do dispositivo de captação de profundidade 102 podem incluir, porém, não se limitam a, rastreamento baseado em marcador, rastreamento de característica natural planar bidimensional (2D), rastreamento baseado em modelo 3D, treinamento de sensor de profundidade 3D, rastreamento 3D que usa um ponto mais próximo iterativo, dispositivos de rastreamento mecânico que conectam fisicamente o dispositivo de captação de profundidade 102 até um local de referência (isto é, o marcador na peça de trabalho 108), dispositivos de rastreamento magnético que determinam uma intensidade e localização de um campo magnético pulsado, dispositivos de rastreamento não inerciais sem fonte que usam sensores magnéticos passivos em referência ao campo magnético da terra, dispositivos de rastreamento óptico, dispositivos de rastreamento acústico e/ou qualquer outro dispositivo de rastreamento, combinação de dispositivos ou método que permita que a pose seja determinada.

[0030] A Figura 2 é uma ilustração esquemática de um sistema de computador de inspeção exemplificativo 106 (mostrado na Figura 1) que pode ser usado com o sistema de inspeção 100 (mostrado na Figura 1). Na modalidade exemplificativa, o sistema de computador de inspeção 106 inclui um dispositivo de memória 200, e um processador 202 acoplado ao dispositivo de memória 200 para uso em instruções de execução. De maneira mais específica, na modalidade exemplificativa, o sistema de computador de inspeção 106 é configurável para realizar uma ou mais operações descritas no presente documento programando-se o dispositivo de memória 200 e/ou processador 202. Por exemplo, o processador 202 pode ser programado codificando-se uma operação como uma ou mais instruções executáveis e proporcionando-se as instruções executáveis no dispositivo de memória 200.

[0031] O processador 202 pode incluir uma ou mais unidades de processamento (por exemplo, em uma configuração multi-core). Conforme usado no presente documento, o termo "processador" não se limita aos circuitos integrados referidos na técnica como um computador, mas, de preferência, se refere amplamente a um controlador, um microcontrolador, um microcomputador, um controlador de lógica programável (PLC), um circuito integrado de aplicação específica e outros circuitos programáveis. Na modalidade exemplificativa, o processador 202 é configurado para carregar os dados de peça de trabalho de modelo 120 (mostrados na Figura 1) para a peça de trabalho 108 (mostrada na Figura 1), receber os dados de pose do sistema de detecção de pose 104 (mostrado na Figura 1), calibrar uma vista de pose para o sistema de computador de inspeção 106 em relação ao modelo e à pose do dispositivo de captação de profundidade 102 (mostrado na Figura 1) em relação à peça de trabalho 108, receber os dados de distância de profundidade real do dispositivo

de captação de profundidade 102, calcular os dados de distância de profundidade de peça de trabalho de modelo 120 para a vista de pose do sistema de computador de inspeção 106, em que os dados de distância de profundidade de modelo representam uma distância de profundidade de modelo da vista de pose do sistema de computador de inspeção 106 até a peça de trabalho de modelo 120, e comparar os dados de distância de profundidade real com os dados de distância de profundidade de modelo.

[0032] Na modalidade exemplificativa, o dispositivo de memória 200 inclui um ou mais dispositivos (não mostrados) que permitem que as informações, tais como, as instruções executáveis e/ou outros dados sejam seletivamente armazenados e recuperados. Na modalidade exemplificativa, tais dados podem incluir, porém, não se limitam a, dados de pose, dados posicionais, dados direcionais, dados de peça de trabalho de modelo previamente varridos 120, dados de modelo de desenho assistido por computador (CAD), dados de GPS, dados de mapa, dados de plano gráfico, dados de planta baixa, dados operacionais, dados de limite de inspeção e/ou algoritmos de controle. De maneira alternativa, o sistema de computador de inspeção 106 pode ser configurado usar qualquer algoritmo e/ou método que permita que os métodos e sistemas funcionem conforme descrito no presente documento. O dispositivo de memória 200 também pode incluir uma ou mais meios legíveis por computador, tais como, sem limitação, memória de acesso aleatório dinâmica (DRAM), memória de acesso aleatório estática (SRAM), um disco de estado sólido e/ou um disco rígido. Na modalidade exemplificativa, o dispositivo de memória 200 armazena dados relacionados ao processo de inspeção, por exemplo, dados de peça de trabalho de modelo previamente varridos 120, dados de modelo CAD da peça de trabalho 108 e/ou dados de limite de inspeção. As nuvens de pontos detectadas pelo dispositivo de captação de

profundidade 102 também podem ser salvas no dispositivo de memória 200 e usadas como documentação de uma condição construída ou uma inspeção verificada da peça de trabalho 108.

[0033] Na modalidade exemplificativa, o sistema de computador de inspeção 106 inclui uma interface de apresentação 204 que é acoplada ao processador 202 para uso nas informações de apresentação para um usuário. Por exemplo, a interface de apresentação 204 pode incluir um adaptador de exibição (não mostrado) que pode se acoplar a um dispositivo de exibição (não mostrado), tal como, sem limitação, um tubo de raio catódico (CRT), uma tela de cristal líquido (LCD), uma tela de diodo emissor de luz (LED), uma tela de LED orgânico (OLED), uma tela de "tinta eletrônica" e/ou uma impressora. Em algumas modalidades, a interface de apresentação 204 inclui um ou mais dispositivos de exibição. Na modalidade exemplificativa, o processador 202 é configurado para comparar uma distância D (mostrada na Figura 1) medida pelo dispositivo de captação de profundidade 102 com uma distância D2 (mostrada na Figura 1) calculada para a peça de trabalho de modelo 120 pelo sistema de computador de inspeção 106. Se existe uma diferença, o processador 202 compara a diferença com os dados de limite predeterminados armazenados no dispositivo de memória 200. Na modalidade exemplificativa, quando uma diferença de distâncias D e D2 excede o limite predeterminado, o processador 202 exibe para um usuário uma porção da peça de trabalho 108 que não está presente na peça de trabalho de modelo 120 que usa a interface de apresentação 204. A sobreposição pode ser exibida usando diferentes métodos. Em uma modalidade, apenas aquela porção da peça de trabalho 108 que excede o limite predeterminado é exibida. Em outra modalidade, toda a peça de trabalho 108 é exibida, e as porções não compatíveis da peça de trabalho 108 são exibidas em uma cor diferente do restante da peça de trabalho 108. De maneira alternativa, qualquer outro método de

exibição que permite a exibição de áreas selecionadas de uma peça de trabalho determinada que tenha tolerâncias predeterminadas pode ser usado.

[0034] Sistema de computador de inspeção 106, na modalidade exemplificativa, inclui uma interface de entrada 206 para receber entrada a partir do usuário. Por exemplo, na modalidade exemplificativa, a interface de entrada 206 recebe informações adequadas ao uso em qualquer um dos métodos descritos no presente documento. A interface de entrada 206 é acoplada ao processador 202 e pode incluir, por exemplo, um joystick, um teclado, um dispositivo apontador, um mouse, uma caneta stylus, um painel sensível ao toque (por exemplo, um teclado sensível ao toque ou uma tela sensível ao toque), e/ou um detector de posição. Deve-se notar que um único componente, por exemplo, uma tela sensível ao toque, pode funcionar como a interface de apresentação 204 e como interface de entrada 206.

[0035] Na modalidade exemplificativa, o sistema de computador de inspeção 106 inclui uma interface de comunicação 208 que é acoplada ao processador 202. Na modalidade exemplificativa, a interface de comunicação 208 se comunica com pelo menos um dispositivo remoto, tal como, o dispositivo de captação de profundidade 102 e/ou sistema de detecção de pose 104. Por exemplo, a interface de comunicação 208 pode usar, sem limitação, um adaptador de rede com fio, um adaptador de rede sem fio e/ou um adaptador de telecomunicações móvel. Uma rede (não mostrada) usada para acoplar o sistema de computador de inspeção 106 ao dispositivo remoto pode incluir, sem limitação, a Internet, uma rede de área local (LAN), uma rede de longa distância (WAN), uma LAN sem fio (WLAN), uma rede de malha e/ou uma rede privada virtual (VPN) ou outro meio de comunicação adequado.

[0036] A Figura 3 é um fluxograma de um método exemplificativo 300 que pode ser implementado para inspecionar uma peça de trabalho,

tal como, a peça de trabalho 108 (mostrada na Figura 1) que usa um sistema de inspeção, tal como, o sistema de inspeção 100 (mostrado na Figura 1). Durante a operação, na modalidade exemplificativa, o sistema de inspeção 100 é operado por um usuário que usa o sistema de computador de inspeção 106 (mostrado na Figura 1). A interface de entrada 206 (mostrada na Figura 2) permite que o usuário insira 302 os dados de peça de trabalho de modelo 120 associados à peça de trabalho 108 no sistema de computador de inspeção 106. Em uma modalidade, os dados de modelo são dados de modelo CAD 3D que são armazenados no dispositivo de memória 200 (mostrado na Figura 2).

[0037] Após a inserção 302 dos dados de modelo, o sistema de computador de inspeção 106 transmite 304 um sinal 112 (mostrado na Figura 1) que solicita que o sistema de detecção de pose 104 (mostrado na Figura 1) determine 306 uma pose do dispositivo de captação de profundidade 102 (mostrado na Figura 1) em relação à peça de trabalho 108.

[0038] Para determinar 306 a pose do dispositivo de captação de profundidade 102, na modalidade exemplificativa, o usuário define 308 uma origem de sistema de coordenadas 3D em uma posição da peça de trabalho 108. O sistema de detecção de pose 104 determina 306 uma pose do dispositivo de captação de profundidade 102 em relação à peça de trabalho 108 que usa uma pluralidade de câmaras de detecção de posição, tais como, as câmeras 116 (mostradas na Figura 1). O sistema de detecção de pose 104 transmite 310 os dados de pose de volta para o sistema de computador de inspeção 106 como o sinal 112.

[0039] Usando-se os dados de pose do dispositivo de captação de profundidade 102 e os dados de modelo para a peça de trabalho 108 armazenada no dispositivo de memória 200, o sistema de computador

de inspeção 106 gera 312 uma vista de pose para o sistema de computador de inspeção 106 em relação à peça de trabalho de modelo. O sistema de computador de inspeção 106 calibra 314 a vista de pose da peça de trabalho de modelo 120 e a pose do dispositivo de captação de profundidade 102, que permite que a vista de pose da peça de trabalho de modelo 120 seja exibida pelo sistema de computador de inspeção 106, de modo que esta permaneça em sincronização com uma vista do dispositivo de captação de profundidade 102 em relação à peça de trabalho 108, à medida que o dispositivo de captação de profundidade 102 é reposicionado ao redor da peça de trabalho 108.

[0040] O usuário posiciona 316 o dispositivo de captação de profundidade 102 para a inspeção de uma porção desejada da peça de trabalho 108. Na modalidade exemplificativa, o dispositivo de captação de profundidade 102 é manualmente posicionado 316 pelo usuário. Em modalidades alternativas, o dispositivo de captação de profundidade 102 pode ser posicionado 316 por um sistema de posicionamento automatizado ou este pode permanecer estacionário enquanto a peça de trabalho 108 é movida para inspeção.

[0041] Após a calibração 314 e o posicionamento 316, o dispositivo de captação de profundidade 102 mede 318 os dados de distância de profundidade para determinar uma distância de profundidade real entre o dispositivo de captação de profundidade 102 e a peça de trabalho 108 para cada pixel do dispositivo de captação de profundidade 102. Em uma modalidade, o usuário pode mover ou varrer continuamente o dispositivo de captação de profundidade 102 ao redor da peça de trabalho 108 para capturar uma pluralidade de distâncias de profundidade reais e permitir comparações com uma pluralidade de distâncias de profundidade de modelo associadas para identificar porções não equivalentes que podem representar o erro de montagem e/ou dano à peça de trabalho 108. O dispositivo de captação de

profundidade 102 transmite 324 os dados de distância de profundidade real como um sinal 110 (mostrado na Figura 1) para o sistema de computador de inspeção 106.

[0042] O sistema de computador de inspeção 106, então, calcula 326 os dados de distância de profundidade de peça de trabalho de modelo 120 que representam uma distância de profundidade de modelo entre a vista de pose gerada 312 pelo sistema de computador de inspeção 106 e a peça de trabalho de modelo 120. O sistema de computador de inspeção 106 compara 328 os dados de distância de profundidade real com os dados de distância de profundidade de modelo para determinar 330 se a distância de profundidade real difere da distância de profundidade de modelo. Se a distância de profundidade real difere da distância de profundidade de modelo, o sistema de computador de inspeção 106 determina 332 se a diferença excede os limites predeterminados. A compatibilidade com os limites é uma indicação que a peça de trabalho 108 se encontra em condição aceitável. Se os limites forem excedidos, o sistema de computador de inspeção 106 gera 334 uma alerta ou evento para indicar um erro de montagem potencial, a existência de fragmentos de objetos estranhos e/ou dano à peça de trabalho 108. Além disso, o sistema de computador de inspeção 106 exibe 336 uma porção da peça de trabalho 108 que não está presente na peça de trabalho de modelo 120 que usa uma sobreposição aplicada a uma vista do dispositivo de captação de profundidade 102.

[0043] As modalidades descritas no presente documento se referem geralmente à inspeção de peça de trabalho e, mais particularmente, a métodos e sistemas para a inspeção automatizada de uma peça de trabalho. As modalidades descritas no presente documento coordenam sistemas e métodos precisos e confiáveis para a inspeção de peça de trabalho. De maneira mais específica, as

modalidades descritas no presente documento proporcionam um método automatizado que facilita a redução do componente de erro humano durante a inspeção de peça de trabalho. Um dispositivo de captação de profundidade mede uma distância para cada pixel em seu campo de visão e transmite os dados de distância para um sistema de computador de inspeção. Um sistema de detecção de pose rastreia a posição e orientação do dispositivo de captação de profundidade em relação à peça de trabalho e transmite o posicionamento para o sistema de computador de inspeção. Usando-se um modelo da peça de trabalho armazenada no sistema de computador de inspeção, o sistema gera uma vista de modelo da peça de trabalho de modelo, em que a vista de modelo rastreia a vista observada pelo dispositivo de captação de profundidade em tempo real ou tempo quase real. O sistema de computador de inspeção, então, compara a distância real observada pelo dispositivo de captação de profundidade com a distância de modelo calculada no sistema de computador de inspeção, e cria um alerta se a diferença nas distâncias exceder um limite predeterminado. O sistema de computador de inspeção também pode gerar uma exibição para ilustrar para um usuário qual seção da peça de trabalho causou o alerta. O erro humano é substancialmente reduzido pelas modalidades descritas no presente documento. Além disso, o sistema de inspeção permite a medição tanto de peças de trabalho grandes como pequenas, assim como, uma peça de trabalho com acessibilidade física limitada. As modalidades descritas no presente documento também facilitam a redução dos tempos de inspeção de inspeções manuais dispendiosas.

[0044] As modalidades exemplificativas dos métodos e sistemas para os sistemas de inspeção de peça de trabalho são descritas em detalhes acima. Os métodos e sistemas não se limitam às modalidades específicas descritas no presente documento, mas, de preferência, os componentes dos sistemas e/ou etapas do método podem ser utilizados

de maneira independente e separada de outros componentes e/ou etapas descritos no presente documento. Cada etapa de método e cada componente também podem ser usados em combinação com outras etapas e/ou componentes do método. Embora as características específicas de diversas modalidades possam ser mostradas em alguns desenhos e não em outros, isto ocorre apenas por questões de conveniência. Qualquer outra característica de um desenho pode ser referida e/ou reivindicada em combinação com qualquer característica ou qualquer outro desenho.

[0045] Esta descrição escrita usa exemplos para descrever as modalidades, incluindo o melhor modo e, também, para permitir que qualquer pessoa versada na técnica pratique as modalidades, incluindo a produção e o uso de quaisquer dispositivos ou sistemas e a realização de quaisquer métodos incorporados. O escopo patenteável da descrição é definido pelas reivindicações, e pode incluir outros exemplos que ocorrerem para aqueles versados na técnica. Tais outros exemplos se destinam a se encontrar dentro do escopo das reivindicações se tiverem elementos estruturais que não difiram da linguagem literal das reivindicações, ou se eles incluírem elementos estruturais equivalentes com diferenças não substanciais da linguagem literal das reivindicações.

REIVINDICAÇÕES

1. Método (300) para inspecionar uma peça de trabalho (108), o dito método **caracterizado pelo fato de que** compreende:

inserir dados de modelo (302) associados à peça de trabalho (108) em um sistema de inspeção;

determinar (306) uma posição relativa de um dispositivo de captação de profundidade (102) em relação à peça de trabalho (108);

calibrar (314) uma vista de pose para o sistema de inspeção em relação ao modelo (120) baseado na posição do dispositivo de captação profunda (102) em relação à peça de trabalho (108);

medir (318) dados de distância de profundidade real de pelo menos um pixel do dispositivo de captação de profundidade (102) em relação à peça 1166 de trabalho (108); e

determinar (332), baseado nos dados de distância de profundidade real, se a peça de trabalho (108) satisfaz os critérios de inspeção predeterminados; e

em que determinar, baseado nos dados de distância de profundidade real, se a peça de trabalho (108) satisfaz os critérios de inspeção predeterminados compreende ainda:

calcular os dados de distância de profundidade de modelo para a vista de pose do sistema de inspeção, em que os dados de distância de profundidade de modelo representam uma distância de profundidade de modelo a partir da vista de pose do sistema de inspeção para peça de trabalho de modelo (120);

determinar se a distância de profundidade real difere da distância de profundidade de modelo; e

determinar se a diferença satisfaz os critérios de inspeção quando a distância de profundidade real difere da distância de profundidade de modelo, em que a conformidade com o limite indica que a peça de trabalho (108) está em uma condição aceitável.

2. Método, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo fato de que** comprehende ainda exibir uma porção da peça de trabalho (108) que não está presente na peça de trabalho de modelo (120) usando uma sobreposição aplicada a uma vista da peça de trabalho (108).

3. Método, de acordo com a reivindicação 2, **caracterizado pelo fato de que** a sobreposição é configurada para ilustrar uma presença de pelo menos um dos detritos de objeto estranho, um componente ausente, um erro de montagem e um componente danificado.

4. Método, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo fato de que** os dados de modelo comprehendem inserir os dados de modelo comprehende inserir dados de modelo de desenho assistido por computador associados à peça de trabalho (108).

5. Método, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo fato de que** inserir os dados de modelo comprehende inserir um modelo previamente varrido da peça de trabalho (108).

6. Método, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo fato de que** determinar a posição relativa do dispositivo de captação de profundidade (102) comprehende:

definir uma origem de sistema de coordenadas em uma posição designada da peça de trabalho (108); e

determinar uma localização do dispositivo de captação de profundidade (102) em relação à peça de trabalho (108) que usa uma pluralidade de câmaras de detecção de posição.

7. Método, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo fato de que** comprehende ainda transmitir a localização do dispositivo de captação de profundidade (102) para o sistema de inspeção.

8. Método, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado**

pelo fato de que medir a distância de profundidade real inclui mover o dispositivo de captação de profundidade (102) ao redor da peça de trabalho (108) para capturar uma pluralidade de distâncias de profundidade reais, o dito método que compreende ainda:

comparar a pluralidade de distâncias de profundidade reais com uma pluralidade de distâncias de profundidade de modelo associadas para identificar porções não equivalentes.

9. Método, de acordo a reivindicação 1, **caracterizado pelo fato de que** medir os dados de distância de profundidade real compreendem gerar ainda uma nuvem de pontos tridimensional.

10. Sistema (100) para inspecionar uma peça de trabalho (108), o dito sistema **caracterizado pelo fato de que** compreende:

um dispositivo de captação de profundidade (102) configurado para medir os dados de distância de profundidade real de pelo menos um pixel do dispositivo de captação de profundidade (102) em relação à peça de trabalho (108);

um sistema de detecção de pose (102) configurado para determinar uma posição relativa do dispositivo de captação de profundidade (102) em relação à peça de trabalho (108); e

um sistema de computador de inspeção (106) em comunicação com o dispositivo de captação de profundidade (102) e o sistema de detecção de pose (102), o sistema de computador de inspeção (106) programado para:

inserir os dados de modelo associados à peça de trabalho (108);

calibrar uma vista de pose para o sistema de computador de inspeção em relação ao modelo (120) na posição do dispositivo de captação de profundidade (102) em relação à peça de trabalho (108); e

determinar, baseado nos dados de distância de profundidade real, se a peça de trabalho (108) satisfaz os critérios de inspeção

predeterminados; e

em que o sistema de computador de inspeção é programado ainda para:

calcular os dados de distância de profundidade de modelo para a vista de pose do sistema de computador de inspeção, em que a dados de distância de profundidade de modelo representa uma distância de profundidade de modelo a partir da vista de pose do sistema de computador de inspeção para a peça de trabalho (108) de modelo;

determinar se a distância de profundidade real difere da distância de profundidade de modelo; e

determinar se a diferença satisfaz os critérios de inspeção quando a distância de profundidade real difere da distância de profundidade de modelo, em que a conformidade com o limite indica que a peça de trabalho (108) está em uma condição aceitável.

11. Sistema, de acordo com a reivindicação 10, **caracterizado pelo fato de que** o sistema de computador de inspeção é configurado para exibir uma porção da peça de trabalho (108) que não está presente na peça de trabalho (108) de modelo usando uma sobreposição aplicada a uma vista do dispositivo de captação de profundidade (102).

12. Sistema, de acordo com a reivindicação 10, **caracterizado pelo fato de que**, para inserir dados de modelo, o sistema de computador de inspeção (106) é programado ainda para inserir um modelo previamente varrido da peça de trabalho (108).

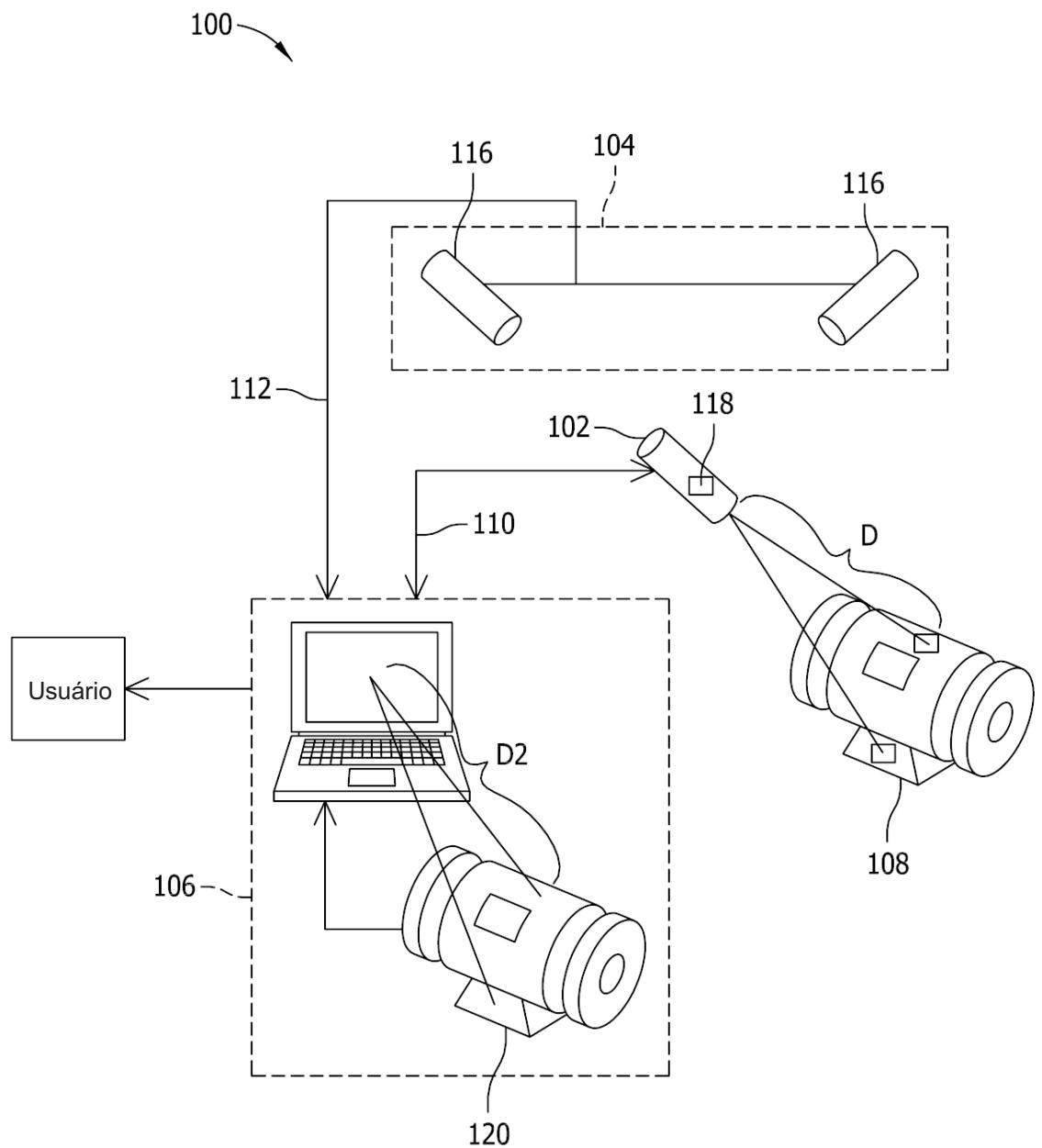


FIG. 1

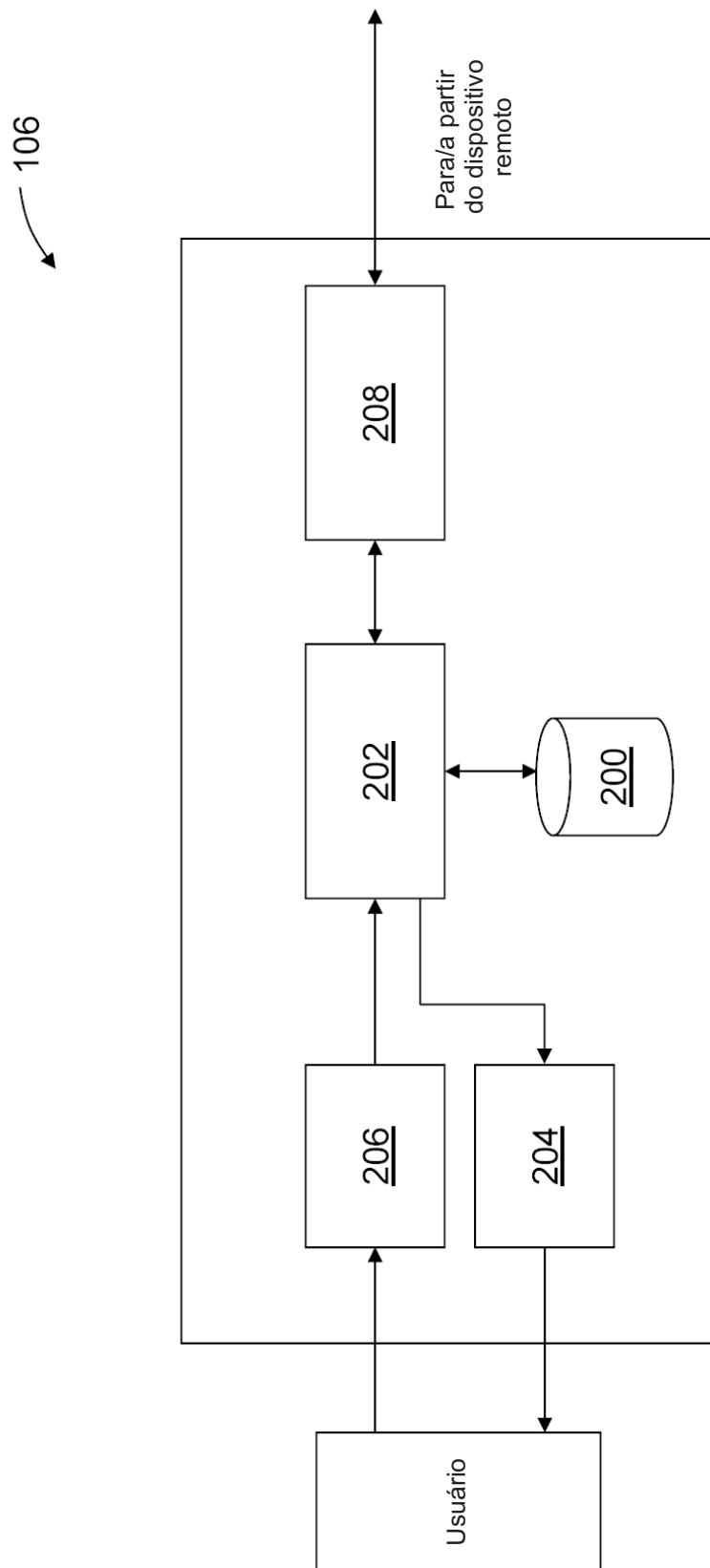


FIG. 2

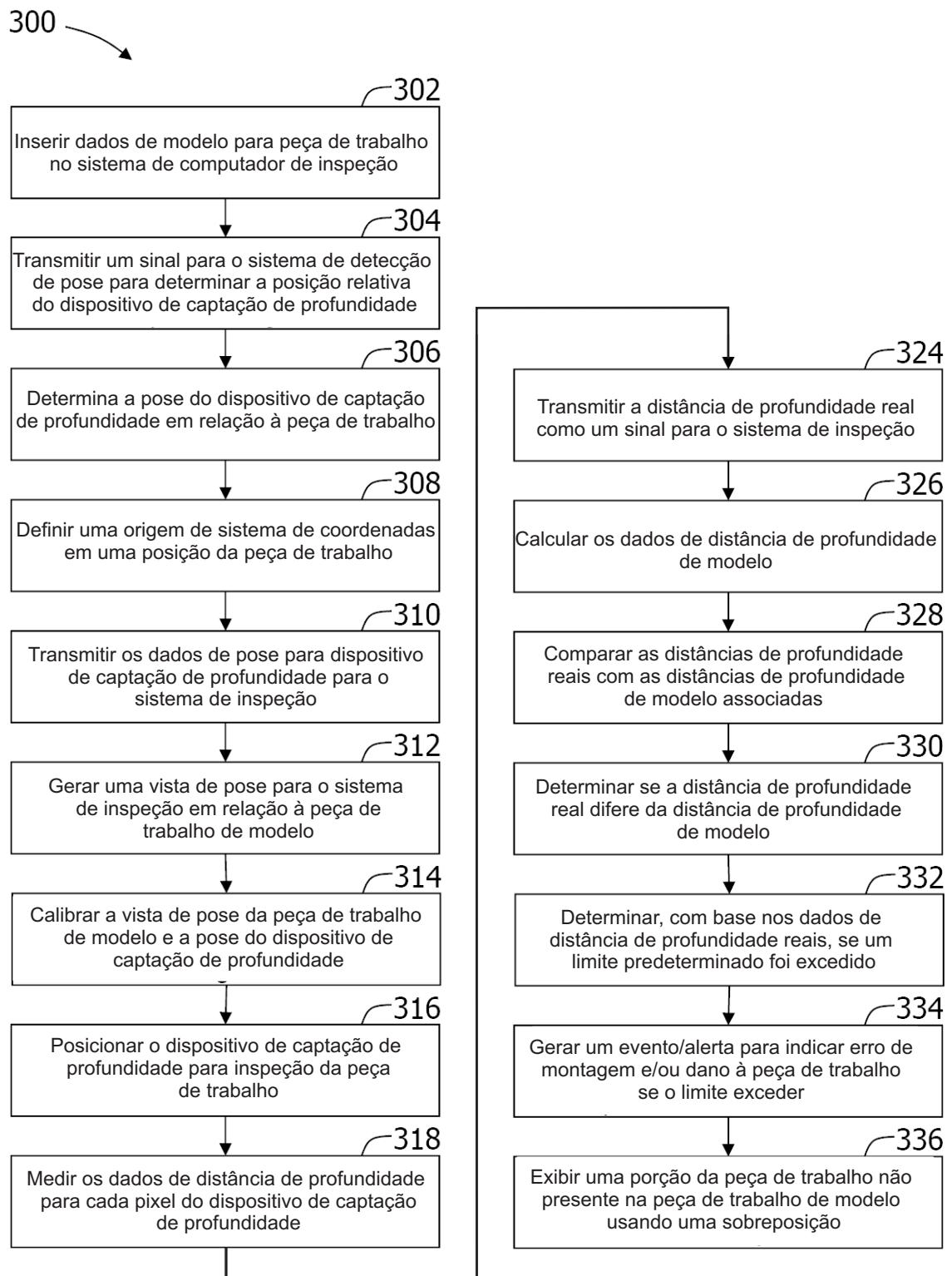


FIG. 3