



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

(11) BR 112015023127-6 B1



(22) Data do Depósito: 15/03/2013

(45) Data de Concessão: 08/02/2022

(54) Título: MÉTODO PARA DETERMINAR A POSIÇÃO DE UM OBJETO UTILIZANDO PROJEÇÕES DE MARCADORES OU DE ESTEIOS

(51) Int.Cl.: G06T 11/00; G06T 7/00.

(73) Titular(es): TEXAS SCOTTISH RITE HOSPITAL FOR CHILDREN; ORTHOFIX S.R.L..

(72) Inventor(es): MIKHEEV, KONSTANTIN EVGENEVICH; VVEDENSKIY, PETR STANISLAVOVICH; MORENKO, ALEXANDER ALEXANDROVICH; SIVACHEV, DMITRY ALEXANDROVICH; SAMCHUKOV, MIKHAIL; CHERKASHIN, ALEXANDER.

(86) Pedido PCT: PCT RU2013000203 de 15/03/2013

(87) Publicação PCT: WO 2014/142703 de 18/09/2014

(85) Data do Início da Fase Nacional: 14/09/2015

(57) Resumo: MÉTODO PARA DETERMINAR A POSIÇÃO DE UM OBJETO UTILIZANDO PROJEÇÕES DE MARCADORES OU DE ESTEIOS. De acordo com a invenção, é criado um modelo 3-D de uma parte do corpo usando um objeto que compreende marcadores, membros de fixação e esteios. O método envolve primeira e segunda radiografias da parte do corpo e o objeto colocado entre uma fonte de raios-X e um gerador de imagens de raios-X. Em seguida, são determinados primeiro e segundo conjuntos de distâncias entre as projeções dos marcadores ou esteios, e determinadas primeira e segunda posições 3-D da fonte de raios-X e do objeto em relação ao gerador de imagens de raios-X usando distâncias predeterminadas entre os marcadores ou esteios e os primeiro e segundo conjuntos de distâncias entre as suas projeções. O método então alinha as primeira e segunda projeções 3-D de objeto em um quadro de referência 3-D, utilizando as posições 3-D dos marcadores ou esteios em relação ao gerador de imagens de raios-X nas duas orientações. O método cria o modelo 3-D do objeto com base nas projeções de objeto 3-D.

"MÉTODO PARA DETERMINAR A POSIÇÃO DE UM OBJETO UTILIZANDO PROJEÇÕES DE MARCADORES OU DE ESTEIOS"

Campo Técnico

[001] A presente divulgação refere-se em geral ao campo da radiografia e mais especificamente à criação de modelos tridimensionais (3-D) de objetos no espaço com base em radiografias de duas dimensões (2-D).

Fundamentos da Técnica

[002] Criar modelos de um objeto em espaço 3-D tem um número de aplicações úteis. Um modelo 3-D de objetos pode permitir que as pessoas visualizem e analisem mais facilmente orientações dos objetos em relação umas às outras. Este aspecto da criação de modelos é particularmente útil em ortopedia, ou mais especificamente, na análise de deformidades ósseas. A tomografia computadorizada (TC) é uma técnica convencional que tem sido utilizada no campo da ortopedia para gerar representação 3-D de tecidos humanos. Outra técnica convencional envolve visualizar e analisar deformidades ósseas com o auxílio de radiografias 2-D. Em primeiro lugar, são obtidas imagens radiográficas de segmentos ósseos deformados em vistas ortogonais. Subsequentemente, as deformidades podem ser analisadas através da criação de representações lineares de 2-D dos segmentos ósseos retratados por imagem e projetar tais representações lineares no plano da deformidade. Alternativamente, os

contornos dos segmentos ósseos deformados na radiografia 2-D podem ser determinados e extrapolados para construir manualmente um modelo 3-D dos segmentos ósseos deformados.

Breve Descrição da Invenção

[003] A presente invenção proporciona um método de criação de um modelo 3-D de uma parte do corpo, a parte do corpo sendo acoplada a um objeto, o objeto compreendendo uma pluralidade de marcadores a distâncias predeterminadas ao longo do objeto. Em uma concretização, o método compreende: 1) receber uma primeira radiografia da parte do corpo e do objeto colocado entre uma fonte de raios-X e um gerador de imagens de raios-X, em que a primeira radiografia inclui uma imagem da parte do corpo, do objeto, e da pluralidade de marcadores; 2) receber uma segunda radiografia da parte do corpo e do objeto colocado entre a fonte de raios-X e o gerador de imagens de raios-X, em que a segunda radiografia inclui uma imagem da parte do corpo, do objeto, e da pluralidade de marcadores; 3) determinar um primeiro conjunto de distâncias entre as projeções da pluralidade de marcadores sobre a primeira radiografia; 4) determinar uma primeira posição 3-D da fonte de raios-X e uma primeira posição 3-D do objeto em relação ao gerador de imagens de raios-X usando as distâncias predeterminadas entre a pluralidade de marcadores e o primeiro conjunto de distâncias entre as projeções da pluralidade de marcadores sobre a primeira radiografia; 4) determinar um segundo conjunto de distâncias entre as projeções da pluralidade de marcadores sobre a segunda radiografia; 5) determinar uma

segunda posição 3-D da fonte de raios-X e uma segunda posição 3-D do objeto em relação ao gerador de imagens de raios-X usando as distâncias predeterminadas entre a pluralidade de marcadores e o segundo conjunto de distâncias entre as projeções da pluralidade de marcadores sobre a segunda radiografia; e 6) alinhar as primeira e segunda projeções de objetos 3-D em um quadro de referência 3-D, utilizando as posições 3-D da pluralidade de marcadores em relação ao gerador de imagens de raios-X nas primeira e segunda orientações; e 7) criar um modelo 3-D do objeto fotografado no quadro de referência 3-D com base nas primeira e segunda projeções de objetos 3-D. Em uma concretização, a pluralidade de marcadores compreende uma pluralidade de juntas onde uma pluralidade de esteios é ligada a pelo menos um anel. Em uma concretização, o objeto é um imobilizador ortopédico. Em uma concretização, a pluralidade de marcadores compreende cinco marcadores e posições 3-D da fonte de raios-X e do objeto são determinadas por relações matemáticas. Em outras concretizações, a pluralidade de marcadores compreende quatro marcadores e posições 3-D da fonte de raios-X e do objeto são determinadas por relações matemáticas. Outra concretização proporciona um método de criação de um modelo 3-D de um objeto, o objeto sendo acoplado a um objeto, o objeto compreendendo uma pluralidade de esteios com comprimentos predeterminados e que cada um deles está ligado a pelo menos dois membros de fixação com dimensões predeterminadas, o método compreendendo: 1) receber uma primeira radiografia do objeto colocado entre uma fonte de raios-X e um gerador de imagens de raios-X, em que a

primeira radiografia inclui uma imagem do objeto e da pluralidade de esteios com comprimentos predeterminados, cada um deles ligado a pelo menos dois membros de fixação em dois pontos de ligação, em que as distâncias entre os dois pontos de ligação são predeterminadas; 2) receber uma segunda radiografia do objeto colocado entre a fonte de raios-X e o gerador de imagens de raios-X, em que a segunda radiografia inclui uma imagem do objeto e da pluralidade de esteios com comprimentos predeterminados, cada um deles ligado a pelo menos dois membros de fixação em dois pontos de ligação, em que as distâncias entre os dois pontos de ligação são predeterminadas; 3) determinar um primeiro conjunto de projeções de eixos longitudinais da pluralidade de esteios na primeira radiografia; 4) determinar uma primeira posição 3-D da fonte de raios-X e uma primeira posição 3-D do objeto em relação ao gerador de imagens de raios-X usando as distâncias predeterminadas entre os pontos de ligação da pluralidade de esteios e o primeiro conjunto das projeções dos eixos longitudinais da pluralidade de esteios na primeira radiografia; 5) determinar um segundo conjunto de projeções de eixos longitudinais da pluralidade de esteios na segunda radiografia; 6), determinar uma segunda posição 3-D da fonte de raios-X e uma segunda posição 3-D do objeto em relação ao gerador de imagens de raios-X usando as distâncias predeterminadas entre os pontos de ligação da pluralidade de esteios e o segundo conjunto das projeções dos eixos longitudinais da pluralidade de esteios na segunda radiografia; 7) alinhar as primeira e segunda projeções de objetos 3-D em um quadro de referência em 3-D,

utilizando as posições 3-D da pluralidade de esteios em relação ao gerador de imagens de raios-X nas primeira e segunda orientações; e 8) criar um modelo 3-D do objeto fotografado no quadro de referência 3-D com base nas primeiras e segundas projeções de objetos 3-D. Em uma concretização, o objeto é um imobilizador ortopédico. Em uma concretização, a pluralidade de esteios compreende cinco esteios e as posições 3-D da fonte de raios-X e do objeto são determinadas por relações matemáticas. Em outras concretizações, a pluralidade de esteios compreende quatro esteios e as posições 3-D da fonte de raios-X e do objeto são determinadas por relações matemáticas.

[004] Em uma concretização, o método compreende identificar um primeiro contorno de parte do corpo da parte de corpo fotografada na primeira radiografia, identificar um segundo contorno de parte do corpo da parte de corpo fotografada na segunda radiografia, preparar uma primeira projeção de parte do corpo 3-D a partir do contorno da primeira parte do corpo para a primeira posição 3-D da fonte de raios-X, preparar uma segunda projeção 3-D de parte do corpo a partir do segundo contorno de parte do corpo para a segunda posição 3-D da fonte de raios-X, e criar um modelo 3-D da parte de corpo fotografada no quadro de referência 3-D com base nas primeira e segunda projeções de parte do corpo. Em uma outra concretização, o método compreende ainda identificar um eixo de inclinação na estrutura de referência 3-D, em que o eixo de inclinação passa entre uma primeira posição, 3-D no quadro de referência de 3-D, que corresponde à primeira posição da

fonte de raio-X na primeira orientação e uma segunda posição 3-D no quadro de referência de 3-D, que corresponde à segunda posição da fonte de raios-X na segunda orientação, identificar um ou mais planos de interseção que passa pelo eixo de inclinação e através das primeira e segunda projeções 3-D da parte de corpo fotografada no quadro de referência em 3-D, para cada um dos um ou mais planos de interseção, executando as seguintes etapas: a) até c): a) identificar um ou mais pontos de interseção entre as primeira e segunda projeções 3-D de parte do corpo, e o referido plano de interseção no quadro de referência 3-D; b) preparar um ou mais polígonos conectando os pontos de interseção no referido plano de interseção; c) preparar uma ou mais curvas fechadas dentro de cada um dos um ou mais polígonos, em que a uma ou mais curvas fechadas corresponde a uma vista em corte transversal da parte do corpo fotografada no referido plano de interseção, e preparar uma superfície no quadro de referência 3-D que liga cada uma das curvas fechadas para formar um modelo 3-D da parte do corpo fotografada.

Breve Descrição dos Desenhos

[005] Para uma compreensão mais completa da presente invenção e de suas vantagens, é feita agora referência à seguinte descrição tomada em conjunto com os desenhos anexos, nos quais números de referência iguais indicam características semelhantes, e em que:

[006] A Figura 1 é uma vista em perspectiva de uma concretização de um aparelho imobilizador ortopédico;

[007] A Figura 1B é uma vista em perspectiva de outra concretização de um aparelho imobilizador ortopédico;

[008] A Figura 2a é uma vista em perspectiva de um sistema de imagem e um objeto em uma primeira orientação e uma segunda orientação, de acordo com a presente invenção;

[009] A Figura 2B é outra vista em perspectiva do sistema de imagem e objeto na primeira orientação e na segunda orientação, de acordo com a presente invenção;

[0010] A Figura 3 é uma vista em perspectiva de um sistema de imagem e um objeto com marcadores em uma orientação, de acordo com a presente invenção;

[0011] A Figura 4 é uma vista esquemática de coordenadas de uma fonte de raios-X e projeções de marcadores sobre um gerador de imagens, em conformidade com a presente invenção;

[0012] A Figura 5 é uma vista em perspectiva de um sistema de imagem e um objeto com esteios em uma orientação, de acordo com a presente invenção;

[0013] A Figura 6 é uma vista esquemática de coordenadas de uma fonte de raios-X e projeções de pontos de ligação de esteio em um gerador de imagens, em conformidade com a presente memória descritiva;

[0014] A Figura 7 é um diagrama de fluxo que ilustra um algoritmo exemplificativo, de acordo com a presente invenção;

[0015] A Figura 8 é um diagrama esquemático que ilustra um objeto fotografado em uma estrutura 3-D, em conformidade com a presente memória descritiva;

[0016] A Figura 9 é um diagrama esquemático que ilustra um modelo 3-D exemplificativo de um objeto;

[0017] A Figura 10 é um diagrama de bloco esquemático que ilustra um sistema exemplificativo para a criação de modelo 3-D de um objeto;

[0018] A Figura 11 é um diagrama esquemático que ilustra uma configuração exemplificativa para a determinação do modelo 3-D de um objeto e ajuste de um imobilizador externo em conformidade;

[0019] A Figura 12A é um diagrama esquemático que ilustra a primeira e a segunda radiografias de um objeto, em conformidade com a presente memória descritiva;

[0020] A Figura 12B é um diagrama esquemático que ilustra as orientações de uma fonte de luz e radiografias correspondentes mostradas na Figura 12A, de acordo com a presente invenção;

[0021] A Figura 12C é um diagrama esquemático que ilustra uma pluralidade de planos de interseção cada um passando através de um eixo de inclinação e a primeira e segunda radiografias mostradas na Figura 12A, de acordo com a presente invenção;

[0022] A Figura 12D é um diagrama esquemático que ilustra uma pluralidade de pontos de interseção entre as projeções 3-D do objeto a partir da primeira e segunda radiografias mostradas na Figura 12A, de acordo com a presente invenção;

[0023] A Figura 12E é um diagrama esquemático que ilustra uma pluralidade de polígonos que ligam os pontos de

interseção no plano de interseção mostrado na Figura 12D, de acordo com a presente invenção;

[0024] A Figura 12F é um diagrama esquemático que ilustra uma pluralidade de uma ou mais curvas fechadas dentro da cada um dos um ou mais polígonos mostrados na Figura 12E, em conformidade com a presente memória descritiva;

[0025] A Figura 12G é um diagrama esquemático que ilustra uma superfície que liga cada uma das curvas fechadas mostradas na Figura 12F, de acordo com a presente invenção;

[0026] A Figura 13A é um diagrama esquemático que ilustra uma pluralidade de marcadores de objeto sendo ligada a um objeto, de acordo com a presente invenção;

[0027] A Figura 13B é um diagrama esquemático que ilustra uma pluralidade de projeções de fiduciais de primeira e segunda radiografias para locais diferentes da fonte de luz, em conformidade com a presente memória descritiva;

[0028] A Figura 13C é um diagrama esquemático que ilustra um modelo 3-D de projeções dos marcadores de acordo com a presente invenção;

[0029] A Figura 13D é outro diagrama esquemático que ilustra um modelo 3-D de projeções dos marcadores apresentados na Figura 13C, em conformidade com a presente memória descritiva; e

[0030] A Figura 13E é um diagrama esquemático que ilustra outro modelo dos marcadores no espaço 3-D, de acordo com a presente divulgação.

Descrição Detalhada da Invenção

[0031] As técnicas convencionais de geração de modelos 3-D têm muitas falhas. A TC gera um conjunto de imagens em corte transversal que podem ser combinadas para produzir uma representação 3-D de tecidos humanos. A utilização de TC em aplicações ortopédicas, no entanto, pode não ser prática, devido a várias limitações. Durante uma tomografia computadorizada, o paciente está sujeito a uma quantidade relativamente grande de radiação, e o uso repetido de tomografia computadorizada pode expor o paciente à radiação excessiva e riscos presentes para a saúde. Além disso, um varrimento de TC é relativamente caro, e não é adequado para capturar imagem de metais, o que pode causar distorções indesejáveis. Além disso, o paciente é obrigado a permanecer imóvel durante a varredura de CT, e pode ser necessária anestesia se a paciente é uma criança. O uso de anestesia, no entanto, aumenta o custo do tratamento e pode apresentar riscos adicionais para a saúde.

[0032] Outra técnica convencional envolve determinar manualmente os contornos dos segmentos ósseos deformados em radiografias 2-D e extrapolar os contornos 2-D para a construção de um modelo 3-D dos segmentos ósseos deformados. Uma variedade de fatores, no entanto, pode afetar adversamente a precisão dos modelos criados

utilizando tal técnica. Primeiramente, projetar representações lineares de segmentos ósseos deformados não leva em conta o perímetro dos segmentos ósseos no espaço 3-D e pode fazer com que um médico prescreva tratamentos que não são suficientes para corrigir as deformidades ósseas. Além disso, os modelos criados por técnicas convencionais baseiam-se no pressuposto de que foram tiradas radiografias em posições ortogonais, e a precisão do modelo é adversamente afetada quando este não é o caso. Embora um técnico possa ser treinado para estimar posições ortogonais para tomar as radiografias, erros humanos menores são inevitáveis e, assim, tornam os modelos gerados por técnicas convencionais imprecisos. Além disso, devido ao efeito de ampliação dos raios-X que se deslocam de uma fonte de raios-X para um gerador de imagens, o objeto nas radiografias aparece maior do que o tamanho real. Para ter em conta o efeito de ampliação, um ou mais marcadores de referência de dimensões conhecidas precisam ser precisamente dispostos sobre o objeto na proximidade da região de interesse, e as dimensões conhecidas do marcador de referência são utilizadas para determinar e levar em conta o efeito de ampliação. Mais uma vez, a imprecisão humana inevitável na colocação do marcador de referência pode conduzir a imprecisão.

[0033] Devido aos erros acima descritos nas técnicas convencionais, os parâmetros angulares e lineares obtidos são projeções em vez de parâmetros verdadeiros. As projeções não correspondem ao tamanho ou forma verdadeiros dos objetos; elas são distorcidas em relação à verdadeira

forma do objeto. Tais técnicas não são adequadas para determinar com precisão as coordenadas dos pontos de um objeto escolhido no espaço 3-D, e em aplicações ortopédicas, tais como métodos não são adequados para calcular com precisão a tração desejada, compressão, deslocamento, ou outro movimento dos segmentos de tecido .

[0034] A presente descrição proporciona técnicas para a criação de um modelo 3-D de um objeto utilizando radiografias. A partir da presente revelação, um vulgar perito na arte irá apreciar que as técnicas da presente invenção podem tornar óbvia a necessidade de utilizar um marcador colocado precisamente para ter em conta o efeito de ampliação de raios-X. As técnicas da presente invenção também podem não necessitar de radiografias tomadas em posições ortogonais e podem ser adequados para radiografias tomadas em várias orientações relativas. Além disso, as técnicas da presente invenção podem não requerer a utilização de marcadores colocados em dispositivos geradores de imagem quando se tomam radiografias. E as técnicas da presente divulgação também podem evitar a necessidade de usar marcadores com fiduciais.

[0035] Concretizações da presente invenção permitem modelação 3-D exata de objetos com base na radiografia 2-D. Estas concretizações podem determinar a posição das partes do corpo, tais como ossos, utilizando um objeto com geometria conhecida. Uma concretização do objeto pode ser um imobilizador externo que compreende membros de fixação, esteios, e/ou marcadores. A Figura 1A é uma concretização do imobilizador externo (100) (imobilizador circular) que

compreende dois membros de fixação (101), três esteios (102), e seis marcadores (103), em que os seis marcadores (103) são pontos onde os dois membros de fixação (101) se ligam com os três esteios (102). Outras concretizações podem ter marcadores colocados em diferentes partes do imobilizador externo (100). O imobilizador externo (100) pode também usar marcadores adicionais (104) que estão ligados aos membros de fixação (101). O imobilizador externo (100) envolve partes do corpo (105) e pode ser utilizado para imobilizar partes do corpo (105) para permitir que suas fraturas se curem. Os membros de fixação (101) são anéis nesta concretização, mas outras concretizações podem ter membros de fixação (101) que são em forma de um hexágono, retângulo, pentágono, ou outras formas adequadas. Além disso, enquanto esta concretização emprega os três esteios (102), outras concretizações podem empregar qualquer número apropriado de esteios, tais como quatro, cinco ou seis esteios.

[0036] A Figura 1B é uma outra concretização do imobilizador externo (110) que compreende dois membros de fixação (101), (102), seis esteios e doze marcadores (113), em que os doze marcadores são colocados onde os dois membros de fixação (101 se) ligam aos seis esteios (102). Uma vez mais, outras concretizações podem ter marcadores adicionais (104) colocados em diferentes partes dos membros de fixação (101). Deve ser apreciado que as concretizações ilustradas nas Figuras 1A-1B são meramente exemplificativas, e podem ser modificadas de acordo com

vários fatores de concepção aqui divulgados ou conhecidos na arte.

[0037] A presente divulgação permite a criação de modelos 3-D de uma parte do corpo, utilizando modelos matemáticos que envolvem a geometria conhecida de um objeto, tal como um imobilizador externo, e as suas projeções sobre radiografias 2-D para derivar as posições da fonte de raios-X, as partes do corpo, e os objetos no espaço. Ao determinar a posição das partes do corpo no espaço, um médico ou outro membro do pessoal médico pode ajustar o objeto, tal como um imobilizador externo, para imobilização óptima dos ossos a serem tratados. Eles também podem utilizar as posições conhecidas das partes do corpo de outras finalidades médicas.

[0038] Certas concretizações empregam modelos matemáticos que utilizam uma pluralidade de marcadores para produzir o modelo 3-D de objetos. Em uma concretização, a pluralidade de marcadores pode ainda incluir fiduciais. Mas a pluralidade de marcadores não se limita aos marcadores onde os esteios encontrem os membros de fixação ou os marcadores com fiduciais. Além disso, a pluralidade de marcadores pode compreender cinco marcadores ou quatro marcadores.

[0039] Outras concretizações podem empregar modelos matemáticos que utilizam uma pluralidade de esteios, em vez da pluralidade de marcadores para produzir o modelo 3-D de objetos. Em uma concretização, a pluralidade de esteios pode compreender esteios que estejam relacionados com os

membros de fixação, em que a pluralidade de esteios pode compreender cinco esteios ou quatro esteios.

Usando Projeções de Marcadores

[0040] Uma concretização das técnicas descritas neste documento compreende receber primeira e segunda radiografias de uma parte do corpo e de um objeto colocado entre uma fonte de raios-X e um gerador de imagens. A parte do corpo é acoplada ao objeto. A Figura 2a é um diagrama esquemático que pode funcionar para obter a primeira e segunda radiografias na primeira e segunda orientações (220), (230), respectivamente. Para obter as primeira e segunda radiografias, uma parte do corpo (201), cercada por um objeto (210) é colocada entre uma fonte de raios-X (202) e um gerador de imagens (204). O objeto (210) pode ser um imobilizador ortopédico, ou mais especificamente um hexápode, como mostrado na Figura 2A. O objeto (210) compreende uma pluralidade de marcadores (203) a distâncias predeterminadas ao longo do objeto (210). Para gerar a primeira radiografia, a parte do corpo (201) rodeada pelo objeto (210), a fonte de raios-X (202), e o processador de imagens (204) se encontram na primeira orientação (220) em relação uns aos outros. A segunda radiografia pode ser gerada por qualquer rotação da parte do corpo (201) rodeada pelo objeto (210) para uma nova segunda orientação (230) no que diz respeito à fonte de raios-X (202) e o processador de imagens (204), ou como mostrado na Figura 2A, através da rotação da fonte de raios-X (202) e o processador de imagens (204) para a nova segunda orientação (230) sobre a

parte do corpo (201). A primeira radiografia inclui, por conseguinte, uma imagem da parte do corpo (201), do objeto (210), e da pluralidade de marcadores (203) na primeira orientação (220). Da mesma forma, a segunda radiografia inclui uma imagem da parte do corpo (201), do objeto (210), e da pluralidade de marcadores (203) na segunda orientação (230). Na presente concretização, os marcadores (203), onde esteios (205) se conectam com os membros de fixação (206), mas em outras concretizações, os marcadores (203) podem ser colocados em outras partes do objeto. Os membros de fixação (206) podem ser configurados como anéis ou outras formas adequadas.

[0041] A presente concretização determina um primeiro conjunto de projeções da pluralidade de marcadores (203), como retratado em um gerador de imagens de raios-X (204) da primeira radiografia e um segundo conjunto de projeções da pluralidade de marcadores (203), como retratado em um gerador de imagens de raios-X (204) da segunda radiografia. A Figura 2B ilustra a determinação de projeções de dois marcadores, conforme retratado na primeira radiografia (220) e, como retratado na segunda radiografia (230). A presente concretização, em seguida, pode determinar uma primeira posição 3-D da fonte de raios-X (202) e uma primeira posição 3-D do objeto (210) no que diz respeito ao gerador de imagens de raios-X usando as distâncias predeterminadas entre a pluralidade de marcadores e o primeiro conjunto de projeções da pluralidade de marcadores como descrito na primeira radiografia (220). Da mesma forma, a técnica pode, então,

determinar uma segunda posição 3-D da fonte de raios-X (202) e uma segunda posição 3-D do objeto (210) no que diz respeito ao gerador de imagens de raios-X usando as distâncias predeterminadas entre a pluralidade de marcadores e o segundo conjunto de projeções da pluralidade de marcadores sobre a segunda radiografia (230). Em uma concretização, os primeiro e segundo conjuntos de projeções da pluralidade de marcadores podem ser mais especificamente projeções de distâncias entre a pluralidade de marcadores sobre as primeira e segunda radiografias, respectivamente. Vários modelos matemáticos podem ser utilizados para determinar as primeira e segunda posições 3-D da fonte de raios-X (202) e do objeto. Estes modelos serão descritos em maiores detalhes mais tarde.

[0042] Uma vez que as primeira e segunda posições 3-D da fonte de raios-X e do objeto são determinadas, a técnica pode então alinhar as primeira e segunda projeções 3-D de objeto em um quadro de referência 3-D, utilizando as posições 3-D da pluralidade de marcadores em relação ao gerador de imagens de raios-X nas primeiras e segundas orientações. A concretização pode, então, criar um modelo 3-D da parte de corpo fotografada no quadro de referência 3-D com base nas primeira e segunda projeções de objetos 3-D. Outra concretização pode criar um modelo 3-D do objeto (210) sozinho ou em adição ao modelo 3-D da parte de corpo retratada.

Modelo 1

[0043] Em uma concretização das técnicas aqui descritas, a pluralidade de marcadores pode compreender cinco marcadores associados a um objeto. A Figura 3 representa um objeto (310), um imobilizador ortopédico, neste caso, compreendendo dois membros de fixação (302) e pelo menos cinco marcadores (303) em uma orientação. Os pelo menos cinco marcadores (303) estão onde esteios (306) encontram os membros de fixação (302). Em outras concretizações, os pelo menos cinco marcadores (303) podem ser colocados em diferentes partes do objeto (310). Na presente concretização, primeiras posições 3-D da fonte de raios-X (301) e do objeto (310) pode ser determinada usando um modelo matemático discutido abaixo, na qual é assumido que (x, y, z) são coordenadas da fonte de raios-X (301), (X_0, Y_0, Z_0) a (x_4, y_4, z_4) são coordenadas dos cinco marcadores (303), (X_0, Y_0, Z_0) a (X_4, Y_4, Z_4) são coordenadas de um primeiro conjunto de projeções de cinco marcadores (303) na primeira radiografia, e distâncias $(l_{01}), (l_{02}), (l_{03}), (l_{04}), (l_{12}), (l_{13}), (l_{14}), (l_{23}), (l_{24}), (l_{34})$ são predeterminadas entre os cinco marcadores (303). Há, assim, 18 parâmetros desconhecidos, que requerem um sistema de 18 equações, a fim de determinar as posições da fonte de raios-X (301) e do objeto (310).

[0044] Os três pontos (x, y, z) , (x_i, y_i, z_i) , e (X_i, Y_i, Z_i) estão situados na mesma linha que passa a partir da fonte de raios-X (301), para o marcador (303) e, em seguida, ao processador de imagens (304). A equação para esta linha pode assim ser expressa como:

$$\frac{x - x_i}{X_i - x_i} = \frac{y - y_i}{Y_i - y_i} = \frac{z - z_i}{Z_i - z_i}$$

[0045] Aqui, I é um número que vai de 0 a 4.

[0046] Esta equação pode, alternativamente, ser expresso com duas equações:

$$\begin{cases} (x - x_i) * (Y_i - y_i) - (y - y_i) * (X_i - x_i) = 0 \\ (x - x_i) * (Z_i - z_i) - (z - z_i) * (X_i - x_i) = 0 \end{cases}$$

[0047] Uma vez que existem cinco marcadores na presente concretização e há um par de equações acima para cada um dos cinco marcadores, existem 10 equações que descrevem as distâncias entre os marcadores. Oito equações adicionais envolvendo as posições dos marcadores podem ser obtidas através do uso do Teorema de Pitágoras. Assim, as seguintes equações podem resultar:

$$\begin{cases} (x - x_0) * (Y_0 - y_0) - (y - y_0) * (X_0 - x_0) = 0 \\ (x - x_0) * (Z_0 - z_0) - (z - z_0) * (X_0 - x_0) = 0 \\ (x - x_1) * (Y_1 - y_1) - (y - y_1) * (X_1 - x_1) = 0 \\ (x - x_1) * (Z_1 - z_1) - (z - z_1) * (X_1 - x_1) = 0 \\ (x - x_2) * (Y_2 - y_2) - (y - y_2) * (X_2 - x_2) = 0 \\ (x - x_2) * (Z_2 - z_2) - (z - z_2) * (X_2 - x_2) = 0 \\ (x - x_3) * (Y_3 - y_3) - (y - y_3) * (X_3 - x_3) = 0 \\ (x - x_3) * (Z_3 - z_3) - (z - z_3) * (X_3 - x_3) = 0 \\ (x - x_4) * (Y_4 - y_4) - (y - y_4) * (X_4 - x_4) = 0 \\ (x - x_4) * (Z_4 - z_4) - (z - z_4) * (X_4 - x_4) = 0 \\ (x_0 - x_1)^2 - (y_0 - y_1)^2 - (z_0 - z_1)^2 - l_{01}^2 = 0 \\ (x_0 - x_2)^2 - (y_0 - y_2)^2 - (z_0 - z_2)^2 - l_{02}^2 = 0 \\ (x_0 - x_3)^2 - (y_0 - y_3)^2 - (z_0 - z_3)^2 - l_{03}^2 = 0 \\ (x_0 - x_4)^2 - (y_0 - y_4)^2 - (z_0 - z_4)^2 - l_{04}^2 = 0 \\ (x_1 - x_2)^2 - (y_1 - y_2)^2 - (z_1 - z_2)^2 - l_{12}^2 = 0 \\ (x_1 - x_3)^2 - (y_1 - y_3)^2 - (z_1 - z_3)^2 - l_{13}^2 = 0 \\ (x_1 - x_4)^2 - (y_1 - y_4)^2 - (z_1 - z_4)^2 - l_{14}^2 = 0 \\ (x_2 - x_3)^2 - (y_2 - y_3)^2 - (z_2 - z_3)^2 - l_{23}^2 = 0 \end{cases}$$

[0048] No entanto, este conjunto de equações não inclui todas as equações que descrevem as posições dos marcadores, relativamente uns aos outros. Por conseguinte, é necessário verificar as soluções do conjunto de equações

para as posições 3-D da fonte de raios-X (301) e do objeto (310) em relação às seguintes equações, que não foram incluídas no sistema:

$$\begin{cases} (x_2 - x_3)^2 - (y_2 - y_3)^2 - (z_2 - z_3)^2 - l_{23}^2 = 0, \\ (x_2 - x_4)^2 - (y_2 - y_4)^2 - (z_2 - z_4)^2 - l_{24}^2 = 0, \\ (x_3 - x_4)^2 - (y_3 - y_4)^2 - (z_3 - z_4)^2 - l_{34}^2 = 0. \end{cases}$$

[0049] Segundas posições 3-D da fonte de raios-X (301) e do objeto (310) podem ser determinadas usando um modelo matemático substancialmente semelhante discutido abaixo, no qual é assumido que ('x, 'y, 'z) são coordenadas da fonte de raios-X (301) e ('X0, 'Y0, 'Z0) a ('X4, 'Y4, 'Z4) são coordenadas de um segundo conjunto de projeções dos cinco marcadores na segunda radiografia.

$$\begin{cases} ('x - x_0) * ('y_0 - y_0) - ('y - y_0) * ('X_0 - x_0) = 0 \\ ('x - x_0) * ('Z_0 - z_0) - ('z - z_0) * ('X_0 - x_0) = 0 \\ ('x - x_1) * ('Y_1 - y_1) - ('y - y_1) * ('X_1 - x_1) = 0 \\ ('x - x_1) * ('Z_1 - z_1) - ('z - z_1) * ('X_1 - x_1) = 0 \\ ('x - x_2) * ('Y_2 - y_2) - ('y - y_2) * ('X_2 - x_2) = 0 \\ ('x - x_2) * ('Z_2 - z_2) - ('z - z_2) * ('X_2 - x_2) = 0 \\ ('x - x_3) * ('Y_3 - y_3) - ('y - y_3) * ('X_3 - x_3) = 0 \\ ('x - x_3) * ('Z_3 - z_3) - ('z - z_3) * ('X_3 - x_3) = 0 \\ ('x - x_4) * ('Y_4 - y_4) - ('y - y_4) * ('X_4 - x_4) = 0 \\ ('x - x_4) * ('Z_4 - z_4) - ('z - z_4) * ('X_4 - x_4) = 0 \\ (x_0 - x_1)^2 - (y_0 - y_1)^2 - (z_0 - z_1)^2 - l_{01}^2 = 0 \\ (x_0 - x_2)^2 - (y_0 - y_2)^2 - (z_0 - z_2)^2 - l_{02}^2 = 0 \\ (x_0 - x_3)^2 - (y_0 - y_3)^2 - (z_0 - z_3)^2 - l_{03}^2 = 0 \\ (x_0 - x_4)^2 - (y_0 - y_4)^2 - (z_0 - z_4)^2 - l_{04}^2 = 0 \\ (x_1 - x_2)^2 - (y_1 - y_2)^2 - (z_1 - z_2)^2 - l_{12}^2 = 0 \\ (x_1 - x_3)^2 - (y_1 - y_3)^2 - (z_1 - z_3)^2 - l_{13}^2 = 0 \\ (x_1 - x_4)^2 - (y_1 - y_4)^2 - (z_1 - z_4)^2 - l_{14}^2 = 0 \\ (x_2 - x_3)^2 - (y_2 - y_3)^2 - (z_2 - z_3)^2 - l_{23}^2 = 0 \end{cases}$$

[0050] No entanto, este conjunto de equações não inclui todas as equações que descrevem as posições dos marcadores, uns relativamente aos outros. Por conseguinte, é necessário verificar as soluções do conjunto de equações

para as posições 3-D da fonte de raios-X (301) e do objeto (310) em relação às seguintes equações, que não foram incluídas no sistema:

$$\begin{cases} (x_2 - x_3)^2 - (y_2 - y_3)^2 - (z_2 - z_3)^2 - l_{23}^2 = 0, \\ (x_2 - x_4)^2 - (y_2 - y_4)^2 - (z_2 - z_4)^2 - l_{24}^2 = 0, \\ (x_3 - x_4)^2 - (y_3 - y_4)^2 - (z_3 - z_4)^2 - l_{34}^2 = 0. \end{cases}$$

[0051] As primeira e segunda posições 3-D da fonte de raios-X (301) e do objeto (310), assim, podem ser encontradas.

[0052] Em determinadas situações, as mudanças na coordenada Z da fonte de raios-X (301) pode resultar em alterações proporcionais das projeções dos marcadores nas radiografias. Nestas situações, a coordenada Z da fonte de raios-X (301) pode ser definida como um parâmetro constante que não tem de ser resolvido quando da solução do conjunto de equações. Aqui, o parâmetro constante para a coordenada Z deve ser um número grande que permita que o objeto caiba entre a fonte de raios-X (301) e a radiografia. Isto permite a utilização de menos marcadores para determinar as posições 3-D da fonte de raios-X (301) e do objeto (310), tal como retratado nos modelos 2 a 4 a seguir.

Modelo 2

[0053] Na presente concretização das técnicas, a pluralidade de marcadores pode compreender quatro marcadores. Na presente concretização, as primeiras posições 3-D da fonte de raios-X (301) e do objeto (310) podem ser determinadas usando o modelo matemático discutido abaixo, no qual é assumido que (x, y, z) são as coordenadas

da fonte de raios-X (301), (x_0, y_0, z_0) a (x_3, y_3, z_3) são coordenadas dos quatro marcadores (303), (X_0, Y_0, Z_0) a (X_3, Y_3, Z_3) são coordenadas de um primeiro conjunto das projeções de quatro marcadores (303) em uma primeira radiografia, e $(l_{01}), (l_{02}), (l_{03}), (l_{12}), (l_{13}), (l_{23})$, são as distâncias entre os quatro marcadores (303). As relações entre essas variáveis são adicionalmente ilustradas na Figura 4 predeterminada.

[0054] Os três pontos (x, y, z) , (x_i, y_i, z_i) , e (X_i, Y_i, Z_i) estão situados na mesma linha que passa a partir da fonte de raios-X (301), para o marcador (303) e, em seguida, ao processador de imagens (304). A equação para esta linha, assim, pode ser expressa como:

$$\frac{x - x_i}{X_i - x_i} = \frac{y - y_i}{Y_i - y_i} = \frac{z - z_i}{Z_i - z_i}$$

[0055] Esta equação pode, alternativamente, ser expressa com duas equações:

$$\begin{cases} (x - x_i) * (Y_i - y_i) - (y - y_i) * (X_i - x_i) = 0 \\ (x - x_i) * (Z_i - z_i) - (z - z_i) * (X_i - x_i) = 0 \end{cases}$$

[0056] Aqui, I é um número que vai de 0 a 3.

[0057] Uma vez que existem quatro marcadores na presente concretização e há um par de equações acima para cada um dos quatro marcadores, existem oito equações que descrevem as distâncias entre os marcadores. Seis equações adicionais envolvendo as posições dos marcadores podem ser obtidas através do uso do Teorema de Pitágoras. Assim, podem resultar as seguintes equações:

$$\left\{ \begin{array}{l} (x - x_0) * (Y_0 - y_0) - (y - y_0) * (X_0 - x_0) = 0 \\ (x - x_0) * (Z_0 - z_0) - (z - z_0) * (X_0 - x_0) = 0 \\ (x - x_1) * (Y_1 - y_1) - (y - y_1) * (X_1 - x_1) = 0 \\ (x - x_1) * (Z_1 - z_1) - (z - z_1) * (X_1 - x_1) = 0 \\ (x - x_2) * (Y_2 - y_2) - (y - y_2) * (X_2 - x_2) = 0 \\ (x - x_2) * (Z_1 - z_2) - (z - z_2) * (X_2 - x_2) = 0 \\ (x - x_3) * (Y_3 - y_3) - (y - y_3) * (X_3 - x_3) = 0 \\ (x - x_3) * (Z_3 - z_3) - (z - z_3) * (X_3 - x_3) = 0 \\ (x_0 - x_1)^2 - (y_0 - y_1)^2 - (z_0 - z_1)^2 - l_{01}^2 = 0 \\ (x_0 - x_2)^2 - (y_0 - y_2)^2 - (z_0 - z_2)^2 - l_{02}^2 = 0 \\ (x_0 - x_3)^2 - (y_0 - y_3)^2 - (z_0 - z_3)^2 - l_{03}^2 = 0 \\ (x_1 - x_2)^2 - (y_1 - y_2)^2 - (z_1 - z_2)^2 - l_{12}^2 = 0 \\ (x_1 - x_3)^2 - (y_1 - y_3)^2 - (z_1 - z_3)^2 - l_{13}^2 = 0 \\ (x_2 - x_3)^2 - (y_2 - y_3)^2 - (z_2 - z_3)^2 - l_{23}^2 = 0 \end{array} \right.$$

[0058] As segundas posições 3-D da fonte de raios-X (301) e do objeto (310) podem ser determinadas usando um modelo matemático substancialmente semelhante discutido abaixo, no qual é assumido que ('x', 'y, 'z) são coordenadas da fonte de raios-X (301) e ('X0, 'Y0, 'Z0) a ('X3, 'Y3, 'Z3) são coordenadas de um segundo conjunto de projeções de quatro marcadores na segunda radiografia.

$$\left\{ \begin{array}{l} ('x - x_0) * ('Y_0 - y_0) - ('y - y_0) * ('X_0 - x_0) = 0 \\ ('x - x_0) * ('Z_0 - z_0) - ('z - z_0) * ('X_0 - x_0) = 0 \\ ('x - x_1) * ('Y_1 - y_1) - ('y - y_1) * ('X_1 - x_1) = 0 \\ ('x - x_1) * ('Z_1 - z_1) - ('z - z_1) * ('X_1 - x_1) = 0 \\ ('x - x_2) * ('Y_2 - y_2) - ('y - y_2) * ('X_2 - x_2) = 0 \\ ('x - x_2) * ('Z_1 - z_2) - ('z - z_2) * ('X_2 - x_2) = 0 \\ ('x - x_3) * ('Y_3 - y_3) - ('y - y_3) * ('X_3 - x_3) = 0 \\ ('x - x_3) * ('Z_3 - z_3) - ('z - z_3) * ('X_3 - x_3) = 0 \\ (x_0 - x_1)^2 - (y_0 - y_1)^2 - (z_0 - z_1)^2 - l_{01}^2 = 0 \\ (x_0 - x_2)^2 - (y_0 - y_2)^2 - (z_0 - z_2)^2 - l_{02}^2 = 0 \\ (x_0 - x_3)^2 - (y_0 - y_3)^2 - (z_0 - z_3)^2 - l_{03}^2 = 0 \\ (x_1 - x_2)^2 - (y_1 - y_2)^2 - (z_1 - z_2)^2 - l_{12}^2 = 0 \\ (x_1 - x_3)^2 - (y_1 - y_3)^2 - (z_1 - z_3)^2 - l_{13}^2 = 0 \\ (x_2 - x_3)^2 - (y_2 - y_3)^2 - (z_2 - z_3)^2 - l_{23}^2 = 0 \end{array} \right.$$

[0059] As primeira e segunda posições 3-D da fonte de raios-X (301) e do objeto (310) podem, assim, ser encontradas.

Modelo 3

[0060] Em outra concretização das técnicas, a pluralidade de marcadores pode ser mais uma vez de quatro marcadores. Na presente concretização, as primeiras posições 3-D da fonte de raios-X (301) e do objeto (310) podem ser determinadas usando o modelo matemático discutido abaixo, no qual é assumido que (x, y, z) são as coordenadas da fonte de raios-X (301), (x_0, y_0, z_0) a (x_3, y_3, z_3) são coordenadas dos quatro marcadores (303), (X_0, Y_0, Z_0) a (X_3, Y_3, Z_3) são coordenadas do primeiro conjunto de projeções dos quatro marcadores (303) na primeira radiografia, e $(I_{01}), (I_{02}), (I_{03}), (I_{12}), (I_{13}), (I_{23})$ são as distâncias predeterminadas entre os quatro marcadores (303). As relações entre essas variáveis são adicionalmente ilustradas na Figura 4.

[0061] A presente concretização emprega as seguintes equações paramétricas:

$$x = x_0 + \alpha * t; y = y_0 + \beta * t; z = z_0 + \gamma * t$$

[0062] Aqui, α, β, γ referem-se a vetores direcionais, e t é um parâmetro que caracteriza o ponto (x, y, z) em uma linha relativa a outro ponto, por exemplo, (x_0, y_0, z_0) . E os três pontos $(x, y, z), (x_i, y_i, z_i),$ e (X_i, Y_i, Z_i) estão situados na mesma linha. As equações paramétricas para esta linha pode assim ser expressa como:

$$x_i = x + \alpha_i * t_i; y_i = y + \beta_i * t_i; z_i = z + \gamma_i * t_i$$

[0063] Onde:

$$\alpha_i = X_i - x; \beta_i = Y_i - y; \gamma_i = Z_i - z$$

[0064] Aqui I é um número que vai de 0 a 3.

[0065] A presente concretização emprega 14 equações pela adição de uma quantidade apropriada de equações para distâncias entre os marcadores no objeto (seis equações para seis distâncias entre os pontos de ligação de geometria conhecida). Colocando-as em equações para distâncias entre os marcadores, a presente concretização proporciona as seis seguintes equações:

$$\begin{cases} (x_0 - x_1)^2 - (y_0 - y_1)^2 - (z_0 - z_1)^2 - l_{01}^2 = 0 \\ (x_0 - x_2)^2 - (y_0 - y_2)^2 - (z_0 - z_2)^2 - l_{02}^2 = 0 \\ (x_0 - x_3)^2 - (y_0 - y_3)^2 - (z_0 - z_3)^2 - l_{03}^2 = 0 \\ (x_1 - x_2)^2 - (y_1 - y_2)^2 - (z_1 - z_2)^2 - l_{12}^2 = 0 \\ (x_1 - x_3)^2 - (y_1 - y_3)^2 - (z_1 - z_3)^2 - l_{13}^2 = 0 \\ (x_2 - x_3)^2 - (y_2 - y_3)^2 - (z_2 - z_3)^2 - l_{23}^2 = 0 \end{cases}$$

[0066] A concretização pode determinar t_0 a t_3 , x , e y resolvendo para as seis equações acima. As primeiras posições 3-D da fonte de raios-X (301) e do objeto (310) podem ser então determinadas. As segundas posições 3-D da fonte de raios-X (301) e do objeto (310) podem ser determinadas usando um modelo matemático substancialmente semelhante.

[0067] Os três pontos ('x, 'y, 'z), (x_i, y_i, z_i), e (' $X_i, 'Y_i, 'Z_i$) estão situados na mesma linha. As equações paramétricas para esta linha podem assim ser expressas como:

$$x_i = 'x + \alpha_i * t_i; y_i = 'y + \beta_i * t_i; z_i = 'z + \gamma_i * t_i$$

[0068] Onde:

$$\alpha_i = 'x_i - x; \beta_i = 'y_i - y; \gamma_i = 'z_i - z$$

[0069] Aqui I é um número que vai de 0 a 3.

[0070] A presente concretização emprega 14 equações pela adição de uma quantidade apropriada de equações para distâncias entre os marcadores no objeto (seis equações para seis distâncias entre os pontos de ligação de geometria conhecida). Colocando-as em equações para distâncias entre os marcadores, a presente concretização proporciona as seis seguintes equações:

$$\begin{cases} (x_0 - x_1)^2 - (y_0 - y_1)^2 - (z_0 - z_1)^2 - l_{01}^2 = 0 \\ (x_0 - x_2)^2 - (y_0 - y_2)^2 - (z_0 - z_2)^2 - l_{02}^2 = 0 \\ (x_0 - x_3)^2 - (y_0 - y_3)^2 - (z_0 - z_3)^2 - l_{03}^2 = 0 \\ (x_1 - x_2)^2 - (y_1 - y_2)^2 - (z_1 - z_2)^2 - l_{12}^2 = 0 \\ (x_1 - x_3)^2 - (y_1 - y_3)^2 - (z_1 - z_3)^2 - l_{13}^2 = 0 \\ (x_2 - x_3)^2 - (y_2 - y_3)^2 - (z_2 - z_3)^2 - l_{23}^2 = 0 \end{cases}$$

[0071] As primeira e segunda posições 3-D da fonte de raios-X (301) e do objeto (t_0 a t_3 , x , y) podem, assim, ser encontradas.

Modelo 4

[0072] Em outra concretização das técnicas, a pluralidade de marcadores pode compreender quatro marcadores. Na presente concretização, as primeiras posições 3-D da fonte de raios-X (301) e do objeto (310) podem ser determinadas usando o modelo matemático discutido abaixo, no qual é assumido que (x , y , z) são as coordenadas

da fonte de raios-X (301), (x_0, y_0, z_0) a (x_3, y_3, z_3) são coordenadas dos quatro marcadores (303), (X_0, Y_0, Z_0) a (X_3, Y_3, Z_3) são coordenadas de um primeiro conjunto de projeções dos quatro marcadores (303) sobre a primeira radiografia, e $(101), (102), (103), (112), (113), (123)$ são distâncias predeterminadas entre os quatro marcadores (303). As relações entre essas variáveis são apresentadas na Figura 4. Além disso, cada marcador localiza-se em um plano que cruza a fonte de raios-X (301), um ponto de projeção do marcador, e um ponto de projeção de um marcador vizinho. Assim, as equações pertencentes de dois planos podem ser determinadas para cada marcador do objeto, criando um sistema de oito equações para o objeto (310) com quatro marcadores, conforme previsto abaixo.

$$\begin{cases}
 \begin{cases}
 |x_0 - x & y_0 - y & z_0 - z| \\
 |X_0 - x & Y_0 - x & Z_0 - z| \\
 |X_1 - x & Y_1 - y & Z_1 - z|
 \end{cases} = 0 \\
 \begin{cases}
 |x_1 - x & y_1 - y & z_1 - z| \\
 |X_0 - x & Y_0 - x & Z_0 - z| \\
 |X_1 - x & Y_1 - y & Z_1 - z|
 \end{cases} = 0 \\
 \begin{cases}
 |x_1 - x & y_1 - y & z_1 - z| \\
 |X_1 - x & Y_1 - x & Z_1 - z| \\
 |X_2 - x & Y_2 - y & Z_2 - z|
 \end{cases} = 0 \\
 \begin{cases}
 |x_2 - x & y_2 - y & z_2 - z| \\
 |X_1 - x & Y_1 - x & Z_1 - z| \\
 |X_2 - x & Y_2 - y & Z_2 - z|
 \end{cases} = 0 \\
 \begin{cases}
 |x_2 - x & y_2 - y & z_2 - z| \\
 |X_2 - x & Y_2 - x & Z_2 - z| \\
 |X_3 - x & Y_3 - y & Z_3 - z|
 \end{cases} = 0 \\
 \begin{cases}
 |x_3 - x & y_3 - y & z_3 - z| \\
 |X_2 - x & Y_2 - x & Z_2 - z| \\
 |X_3 - x & Y_3 - y & Z_3 - z|
 \end{cases} = 0 \\
 \begin{cases}
 |x_3 - x & y_3 - y & z_3 - z| \\
 |X_3 - x & Y_3 - x & Z_3 - z| \\
 |X_0 - x & Y_0 - y & Z_0 - z|
 \end{cases} = 0 \\
 \begin{cases}
 |x_0 - x & y_0 - y & z_0 - z| \\
 |X_3 - x & Y_3 - x & Z_3 - z| \\
 |X_0 - x & Y_0 - y & Z_0 - z|
 \end{cases} = 0
 \end{cases}$$

[0073] Agora, pela adição de um número apropriado de equações para distâncias entre os marcadores (por exemplo, seis equações para seis distâncias entre os quatro pontos de geometria conhecida do imobilizador), a concretização proporciona o seguinte modelo matemático de 14 equações:

$$\left\{ \begin{array}{l} \begin{array}{l} \left| \begin{array}{ccc} x_0 - x & y_0 - y & z_0 - z \\ X_0 - x & Y_0 - x & Z_0 - z \\ X_1 - x & Y_1 - y & Z_1 - z \end{array} \right| = 0 \\ \left| \begin{array}{ccc} x_1 - x & y_1 - y & z_1 - z \\ X_0 - x & Y_0 - x & Z_0 - z \\ X_1 - x & Y_1 - y & Z_1 - z \end{array} \right| = 0 \\ \left| \begin{array}{ccc} x_1 - x & y_1 - y & z_1 - z \\ X_1 - x & Y_1 - x & Z_1 - z \\ X_2 - x & Y_2 - y & Z_2 - z \end{array} \right| = 0 \\ \left| \begin{array}{ccc} x_2 - x & y_2 - y & z_2 - z \\ X_1 - x & Y_1 - x & Z_1 - z \\ X_2 - x & Y_2 - y & Z_2 - z \end{array} \right| = 0 \\ \left| \begin{array}{ccc} x_2 - x & y_2 - y & z_2 - z \\ X_2 - x & Y_2 - x & Z_2 - z \\ X_3 - x & Y_3 - y & Z_3 - z \end{array} \right| = 0 \\ \left| \begin{array}{ccc} x_3 - x & y_3 - y & z_3 - z \\ X_2 - x & Y_2 - x & Z_2 - z \\ X_3 - x & Y_3 - y & Z_3 - z \end{array} \right| = 0 \\ \left| \begin{array}{ccc} x_3 - x & y_3 - y & z_3 - z \\ X_3 - x & Y_3 - x & Z_3 - z \\ X_0 - x & Y_0 - y & Z_0 - z \end{array} \right| = 0 \\ \left| \begin{array}{ccc} x_0 - x & y_0 - y & z_0 - z \\ X_3 - x & Y_3 - x & Z_3 - z \\ X_0 - x & Y_0 - y & Z_0 - z \end{array} \right| = 0 \end{array} \right. \\ \begin{array}{l} (x_0 - x_1)^2 - (y_0 - y_1)^2 - (z_0 - z_1)^2 - l_{01}^2 = 0 \\ (x_0 - x_2)^2 - (y_0 - y_2)^2 - (z_0 - z_2)^2 - l_{02}^2 = 0 \\ (x_0 - x_3)^2 - (y_0 - y_3)^2 - (z_0 - z_3)^2 - l_{03}^2 = 0 \\ (x_1 - x_2)^2 - (y_1 - y_2)^2 - (z_1 - z_2)^2 - l_{12}^2 = 0 \\ (x_1 - x_3)^2 - (y_1 - y_3)^2 - (z_1 - z_3)^2 - l_{13}^2 = 0 \\ (x_2 - x_3)^2 - (y_2 - y_3)^2 - (z_2 - z_3)^2 - l_{23}^2 = 0 \end{array} \end{array}$$

[0074] A primeira posição 3-D da fonte de raios-X (301) e do objeto (310) pode ser determinada através da resolução das equações acima. As segundas posições 3-D da

fonte de raios-X (301) e do objeto (310) podem ser determinadas usando um modelo matemático substancialmente semelhante discutido abaixo, no qual é assumido que ('x, 'y, 'z) são coordenadas da fonte de raios-X (301) e ('X0, 'Y0, 'Z0) a ('X3, 'Y3, 'Z3) são coordenadas de um segundo conjunto de projeções de quatro marcadores na segunda radiografia.

$$\left\{ \begin{array}{l}
 \begin{array}{l}
 \left| \begin{array}{ccc}
 x_0 - 'x & y_0 - 'y & z_0 - 'z \\
 'X_0 - 'x & 'Y_0 - 'x & 'Z_0 - 'z \\
 'X_1 - 'x & 'Y_1 - 'y & 'Z_1 - 'z
 \end{array} \right| = 0 \\
 \left| \begin{array}{ccc}
 x_1 - 'x & y_1 - 'y & z_1 - 'z \\
 'X_0 - 'x & 'Y_0 - 'x & 'Z_0 - 'z \\
 'X_1 - 'x & 'Y_1 - 'y & 'Z_1 - 'z
 \end{array} \right| = 0 \\
 \left| \begin{array}{ccc}
 x_1 - 'x & y_1 - 'y & z_1 - 'z \\
 'X_1 - 'x & 'Y_1 - 'x & 'Z_1 - 'z \\
 'X_2 - 'x & 'Y_2 - 'y & 'Z_2 - 'z
 \end{array} \right| = 0 \\
 \left| \begin{array}{ccc}
 x_2 - 'x & y_2 - 'y & z_2 - 'z \\
 'X_1 - 'x & 'Y_1 - 'x & 'Z_1 - 'z \\
 'X_2 - 'x & 'Y_2 - 'y & 'Z_2 - 'z
 \end{array} \right| = 0 \\
 \left| \begin{array}{ccc}
 x_2 - 'x & y_2 - 'y & z_2 - 'z \\
 'X_2 - 'x & 'Y_2 - 'x & 'Z_2 - 'z \\
 'X_3 - 'x & 'Y_3 - 'y & 'Z_3 - 'z
 \end{array} \right| = 0 \\
 \left| \begin{array}{ccc}
 x_3 - 'x & y_3 - 'y & z_3 - 'z \\
 'X_2 - 'x & 'Y_2 - 'x & 'Z_2 - 'z \\
 'X_3 - 'x & 'Y_3 - 'y & 'Z_3 - 'z
 \end{array} \right| = 0 \\
 \left| \begin{array}{ccc}
 x_3 - 'x & y_3 - 'y & z_3 - 'z \\
 'X_3 - 'x & 'Y_3 - 'x & 'Z_3 - 'z \\
 'X_0 - 'x & 'Y_0 - 'y & 'Z_0 - 'z
 \end{array} \right| = 0 \\
 \left| \begin{array}{ccc}
 x_0 - 'x & y_0 - 'y & z_0 - 'z \\
 'X_3 - 'x & 'Y_3 - 'x & 'Z_3 - 'z \\
 'X_0 - 'x & 'Y_0 - 'y & 'Z_0 - 'z
 \end{array} \right| = 0
 \end{array} \right. \\
 \begin{array}{l}
 (x_0 - x_1)^2 - (y_0 - y_1)^2 - (z_0 - z_1)^2 - l_{01}^2 = 0 \\
 (x_0 - x_2)^2 - (y_0 - y_2)^2 - (z_0 - z_2)^2 - l_{02}^2 = 0 \\
 (x_0 - x_3)^2 - (y_0 - y_3)^2 - (z_0 - z_3)^2 - l_{03}^2 = 0 \\
 (x_1 - x_2)^2 - (y_1 - y_2)^2 - (z_1 - z_2)^2 - l_{12}^2 = 0 \\
 (x_1 - x_3)^2 - (y_1 - y_3)^2 - (z_1 - z_3)^2 - l_{13}^2 = 0 \\
 (x_2 - x_3)^2 - (y_2 - y_3)^2 - (z_2 - z_3)^2 - l_{23}^2 = 0
 \end{array}
 \end{array}$$

[0075] As primeira e segunda posições 3-D do raio-X (301) e do objeto, assim, podem ser determinadas.

Usando Projeções de Esteios

[0076] Outra concretização das técnicas descritas neste documento compreende a recepção de primeira e segunda radiografias de um objeto colocado entre uma fonte de raios-X e um gerador de imagens. A Figura 2A é um diagrama esquemático que pode funcionar para obter as primeira e segunda radiografias nas primeira e segunda orientações (220), (230), respectivamente. Para obter as primeira e segunda radiografias, uma parte do corpo (201), rodeada por um objeto (210) é colocada entre uma fonte de raios-X (202) e um gerador de imagens (204). O objeto (210) pode ser um imobilizador ortopédico, ou mais especificamente um hexápode, como mostrado na Figura 2A. O objeto (210) compreende uma pluralidade de esteios (205) com comprimentos predeterminados que estão cada um deles ligado a pelo menos dois membros de fixação (206) com dimensões predeterminadas. Nesta concretização, os membros de fixação (206) são anéis, mas outras concretizações podem empregar membros de fixação de diferentes formatos. Para gerar a primeira radiografia, a parte do corpo (201) rodeada pelo objeto (210), a fonte de raios-X (202) e o gerador de imagens (204) estão em uma primeira orientação (220) em relação um ao outro. A segunda radiografia pode ser gerada por qualquer rotação da parte do corpo (201) rodeada pelo objeto (210) para uma nova segunda orientação (230) no que diz respeito à fonte de raios-X (202) e o processador de

imagens (204), ou como mostrado na Figura 2A, através da rotação da fonte de raios-X (202) e do processador de imagens (204) para uma nova segunda orientação (230) sobre a parte do corpo (201). A primeira radiografia inclui, por conseguinte, uma primeira imagem da parte do corpo (201), do objeto (210), e da pluralidade de esteios (205) com comprimentos predeterminados que estão cada um deles ligados a pelo menos dois membros de fixação (206) com dimensões predeterminadas. Da mesma forma, a segunda radiografia inclui uma segunda imagem da parte do corpo (201), do objeto (210), e da pluralidade de esteios (205) com comprimentos predeterminados que estão cada um deles ligados a pelo menos dois membros de fixação (206) com dimensões predeterminadas.

[0077] A presente concretização determina um primeiro conjunto de projeções da pluralidade de esteios (205), conforme retratado na primeira radiografia e um segundo conjunto de projeções da pluralidade de esteios (205) como representadas na segunda radiografia. Em uma concretização, os primeiro e segundo conjuntos de projeções da pluralidade de esteios (205) envolvem mais especificamente projeções de eixos longitudinais da pluralidade de esteios (205). Em outra concretização, os primeiro e segundo conjuntos de projeções da pluralidade de esteios (205) envolvem as projeções de pontos de ligação de esteio, em que os pontos de ligação de esteio se referem a pontos onde os esteios (205) encontram os membros de fixação (206). Em outra concretização, são empregados tanto os conjuntos de projeções dos eixos longitudinais dos

esteios quanto das projeções dos pontos de ligação de esteio. A Figura 2B ilustra a determinação de uma projeção de um esteio (205), conforme retratado na primeira radiografia (220) e, como retratado na segunda radiografia (230). A presente concretização pode, em seguida, determinar uma primeira posição 3-D da fonte de raios-X (202) e uma primeira posição 3-D do objeto (210) no que diz respeito ao gerador de imagens de raios-X usando os comprimentos predeterminados da pluralidade de esteios (205) e o primeiro conjunto de projeções da pluralidade de esteios (205), conforme retratado na primeira radiografia (220). Da mesma forma, a técnica pode então determinar uma segunda posição 3-D da fonte de raios-X (202) e uma segunda posição 3-D do objeto (210) no que diz respeito ao gerador de imagens de raios-X usando os comprimentos predeterminados da pluralidade de esteios (205) e o segundo conjunto de projeções da pluralidade de esteios (205) como representadas na segunda radiografia (230). Vários modelos matemáticos podem ser utilizados para determinar as primeira e segunda posições 3-D da fonte de raios-X (202) e do objeto (210). Estes modelos serão descritos em maiores detalhes mais tarde.

[0078] Uma vez que as primeira e segunda posições 3-D da fonte de raios-X (202) e do objeto (210) são determinadas, a técnica pode então alinhar as primeira e segunda projeções 3-D de objeto em um quadro de referência 3-D, utilizando o posições 3-D da pluralidade de esteios (205) em relação ao gerador de imagens de raios-X (204) na primeira e segunda orientações (220), (230). A

concretização pode, então, criar um modelo 3-D da parte de corpo fotografada no quadro de referência 3-D com base nas primeira e segunda projeções de objetos 3-D. Outra concretização pode criar um modelo 3-D do objeto 210 apenas ou em adição ao modelo 3-D da parte de corpo radiografada.

Modelo 5

[0079] Em uma concretização exemplificativa das técnicas aqui descritas, a pluralidade de esteios pode compreender cinco esteios. A Figura 5 representa objeto (510) que compreende dois membros de fixação (502) e cinco esteios (506) em uma orientação. Na presente concretização, as primeiras posições 3-D da fonte de raios-X (501) e do objeto (510) podem ser determinadas usando o modelo matemático discutido abaixo, na qual é assumido que (x, y, z) são as coordenadas da fonte de raios-X (501), (x_0, y_0, z_0) a (x_9, y_9, z_9) são as coordenadas dos pontos de ligação dos dez esteios (503) aos membros de fixação (502), (X_0, Y_0, Z_0) a $(X_1, Y_1, Z_1), \dots (X_8, Y_8, Z_8)$ a (X_9, Y_9, Z_9) são um primeiro conjunto de projeções de eixos longitudinais dos esteios (506) na primeira radiografia, $(I_{01}), (I_{02}), (I_{03}), (I_{04}), (I_{06}), (I_{07}), (I_{08}), (I_{09}), (I_{12}), (I_{13}), (I_{14}), (I_{15}), (I_{16}), (I_{17}), (I_{18}), (I_{19}), (I_{23}), (I_{24}), (I_{25}), (I_{26}), (I_{27}), (I_{28}), (I_{29})$ são as distâncias predeterminadas entre pontos de ligação (503) dos dez esteios, si são razões desconhecidas, e $v^{(i-1)}_{ix}, v^{(i-1)}_{iy}, v^{(i-1)}_{iz}$ são vetores das projeções dos eixos longitudinais dos esteios (506), em que $v^{(i-1)}_{ix} = X_i - X^{(i-1)}$, $v^{(i-1)}_{iy} = Y_i - Y^{(i-1)}$, $v^{(i-1)}_{iz} = Z_i - Z^{(i-1)}$. Aqui I é um número que vai de

0 a 9. Assim, por exemplo, $v01x = X1 - X0$, $v01y = Y1 - Y0$, $v01z = Z1 - Z0$. Há, assim, 33 parâmetros desconhecidos, que requerem um sistema com 33 equações para determinar as posições da fonte de raios-X (501) e do objeto (510).

[0080] Além disso, as coordenadas das projeções dos pontos de ligação esteio podem ser representadas pelas seguintes equações:

$$\text{Coordenada X: } X0 + v01x * s0$$

$$\text{Coordenada Y: } Y0 + v01y * s0$$

$$\text{Coordenada Z: } Z0 + v01z * s0.$$

[0081] As coordenadas dos outros pontos de conexão (503) de esteio são determinadas de modo semelhante, o que resulta em 43 parâmetros desconhecidos. Assim, 43 equações são necessárias para resolver o modelo matemático com 43 parâmetros desconhecidos. No entanto, este modelo matemático pode produzir um número ilimitado de soluções. A presente concretização pode determinar um único ponto distinguível na projeção para limitar o número de soluções. A projeção de uma das extremidades de esteio pode ser determinada manualmente por um utilizador. Por exemplo, o utilizador pode determinar a projeção do ponto $(X9, Y9, Z9)$ caso em que $s9 = 0$, permitindo que o modelo matemático de equações 42 seja resolvido.

[0082] Na presente concretização, a fonte de raios-X (501), os pontos de conexão de esteio (503), e as projeções dos pontos de ligação de esteio encontram-se na mesma linha. Assim, para o ponto $(x0, y0, z0)$, o seguinte par de equações pode ser determinado:

$$\begin{cases} (x - x_0) * (Y_0 + v_{01}y * s_0 - y_0) - (y - y_0) * (X_0 + v_{01}x * s_0 - x_0) = 0 \\ (x - x_0) * (Z_0 + v_{01}z * s_0 - z_0) - (z - z_0) * (X_0 + v_{01}x * s_0 - x_0) = 0 \end{cases}$$

[0083] Uma vez que existem cinco esteios na presente concretização e há um par de equações acima para cada esteio, existem 10 equações que descrevem os pontos de ligação de esteio. 22 equações adicionais envolvendo as posições dos pontos de conexão de esteio podem ser obtidas através do uso do Teorema de Pitágoras. Assim, podem resultar as seguintes equações:

$$\begin{aligned}
& (x-x_0) \cdot (Y_0 + v_{01}y \cdot s_0 - y_0) - (y-y_0) \cdot (X_0 + v_{01}x \cdot s_0 - x_0) = 0 \\
& (x-x_0) \cdot (Z_0 + v_{01}z \cdot s_0 - z_0) - (z-z_0) \cdot (X_0 + v_{01}x \cdot s_0 - x_0) = 0 \\
& (x-x_1) \cdot (Y_1 + v_{01}y \cdot s_1 - y_1) - (y-y_1) \cdot (X_1 + v_{01}x \cdot s_1 - x_1) = 0 \\
& (x-x_1) \cdot (Z_1 + v_{01}z \cdot s_1 - z_1) - (z-z_1) \cdot (X_1 + v_{01}x \cdot s_1 - x_1) = 0 \\
& (x-x_2) \cdot (Y_2 + v_{23}y \cdot s_2 - y_2) - (y-y_2) \cdot (X_2 + v_{23}x \cdot s_2 - x_2) = 0 \\
& (x-x_2) \cdot (Z_2 + v_{23}z \cdot s_2 - z_2) - (z-z_2) \cdot (X_2 + v_{23}x \cdot s_2 - x_2) = 0 \\
& (x-x_3) \cdot (Y_3 + v_{23}y \cdot s_3 - y_3) - (y-y_3) \cdot (X_3 + v_{23}x \cdot s_3 - x_3) = 0 \\
& (x-x_3) \cdot (Z_3 + v_{23}z \cdot s_3 - z_3) - (z-z_3) \cdot (X_3 + v_{23}x \cdot s_3 - x_3) = 0 \\
& (x-x_4) \cdot (Y_4 + v_{45}y \cdot s_4 - y_4) - (y-y_4) \cdot (X_4 + v_{45}x \cdot s_4 - x_4) = 0 \\
& (x-x_4) \cdot (Z_4 + v_{45}z \cdot s_4 - z_4) - (z-z_4) \cdot (X_4 + v_{45}x \cdot s_4 - x_4) = 0 \\
& (x-x_5) \cdot (Y_5 + v_{45}y \cdot s_5 - y_5) - (y-y_5) \cdot (X_5 + v_{45}x \cdot s_5 - x_5) = 0 \\
& (x-x_5) \cdot (Z_5 + v_{45}z \cdot s_5 - z_5) - (z-z_5) \cdot (X_5 + v_{45}x \cdot s_5 - x_5) = 0 \\
& (x-x_6) \cdot (Y_6 + v_{67}y \cdot s_6 - y_6) - (y-y_6) \cdot (X_6 + v_{67}x \cdot s_6 - x_6) = 0 \\
& (x-x_6) \cdot (Z_6 + v_{67}z \cdot s_6 - z_6) - (z-z_6) \cdot (X_6 + v_{67}x \cdot s_6 - x_6) = 0 \\
& (x-x_7) \cdot (Y_7 + v_{67}y \cdot s_7 - y_7) - (y-y_7) \cdot (X_7 + v_{67}x \cdot s_7 - x_7) = 0 \\
& (x-x_7) \cdot (Z_7 + v_{67}z \cdot s_7 - z_7) - (z-z_7) \cdot (X_7 + v_{67}x \cdot s_7 - x_7) = 0 \\
& (x-x_8) \cdot (Y_8 + v_{89}y \cdot s_8 - y_8) - (y-y_8) \cdot (X_8 + v_{89}x \cdot s_8 - x_8) = 0 \\
& (x-x_8) \cdot (Z_8 + v_{89}z \cdot s_8 - z_8) - (z-z_8) \cdot (X_8 + v_{89}x \cdot s_8 - x_8) = 0 \\
& (x-x_9) \cdot (Y_9 + v_{89}y \cdot s_9 - y_9) - (y-y_9) \cdot (X_9 + v_{89}x \cdot s_9 - x_9) = 0 \\
& (x-x_9) \cdot (Z_9 + v_{89}z \cdot s_9 - z_9) - (z-z_9) \cdot (X_9 + v_{89}x \cdot s_9 - x_9) = 0 \\
& (x_0-x_1)^2 - (y_0-y_1)^2 - (z_0-z_1)^2 - l_{01}^2 = 0 \\
& (x_0-x_2)^2 - (y_0-y_2)^2 - (z_0-z_2)^2 - l_{02}^2 = 0 \\
& (x_0-x_3)^2 - (y_0-y_3)^2 - (z_0-z_3)^2 - l_{03}^2 = 0 \\
& (x_0-x_4)^2 - (y_0-y_4)^2 - (z_0-z_4)^2 - l_{04}^2 = 0 \\
& (x_0-x_5)^2 - (y_0-y_5)^2 - (z_0-z_5)^2 - l_{05}^2 = 0 \\
& (x_0-x_6)^2 - (y_0-y_6)^2 - (z_0-z_6)^2 - l_{06}^2 = 0 \\
& (x_0-x_7)^2 - (y_0-y_7)^2 - (z_0-z_7)^2 - l_{07}^2 = 0 \\
& (x_0-x_8)^2 - (y_0-y_8)^2 - (z_0-z_8)^2 - l_{08}^2 = 0 \\
& (x_0-x_9)^2 - (y_0-y_9)^2 - (z_0-z_9)^2 - l_{09}^2 = 0 \\
& (x_1-x_2)^2 - (y_1-y_2)^2 - (z_1-z_2)^2 - l_{12}^2 = 0 \\
& (x_1-x_3)^2 - (y_1-y_3)^2 - (z_1-z_3)^2 - l_{13}^2 = 0 \\
& (x_1-x_4)^2 - (y_1-y_4)^2 - (z_1-z_4)^2 - l_{14}^2 = 0 \\
& (x_1-x_5)^2 - (y_1-y_5)^2 - (z_1-z_5)^2 - l_{15}^2 = 0 \\
& (x_1-x_6)^2 - (y_1-y_6)^2 - (z_1-z_6)^2 - l_{16}^2 = 0 \\
& (x_1-x_7)^2 - (y_1-y_7)^2 - (z_1-z_7)^2 - l_{17}^2 = 0 \\
& (x_1-x_8)^2 - (y_1-y_8)^2 - (z_1-z_8)^2 - l_{18}^2 = 0 \\
& (x_1-x_9)^2 - (y_1-y_9)^2 - (z_1-z_9)^2 - l_{19}^2 = 0 \\
& (x_2-x_3)^2 - (y_2-y_3)^2 - (z_2-z_3)^2 - l_{23}^2 = 0 \\
& (x_2-x_4)^2 - (y_2-y_4)^2 - (z_2-z_4)^2 - l_{24}^2 = 0 \\
& (x_2-x_5)^2 - (y_2-y_5)^2 - (z_2-z_5)^2 - l_{25}^2 = 0 \\
& (x_2-x_6)^2 - (y_2-y_6)^2 - (z_2-z_6)^2 - l_{26}^2 = 0 \\
& (x_2-x_7)^2 - (y_2-y_7)^2 - (z_2-z_7)^2 - l_{27}^2 = 0
\end{aligned}$$

[0084] No entanto, este conjunto de equações não inclui todas as equações que descrevem as posições dos marcadores, uns relativamente aos outros. Portanto, é necessário verificar as soluções do conjunto de equações para as posições 3-D da fonte de raios-X (501) e do objeto (510) em relação a essas equações que não foram incluídas no sistema:

$$\begin{cases} (x_2 - x_8)^2 - (y_2 - y_8)^2 - (z_2 - z_8)^2 - l_2^2 = 0 \\ (x_2 - x_9)^2 - (y_2 - y_9)^2 - (z_2 - z_9)^2 - l_2^2 = 0 \end{cases}$$

[0085] As segundas posições 3-D da fonte de raios-X (501) e do objeto (510) podem ser determinadas usando um modelo matemático substancialmente semelhante discutido abaixo, no qual é assumido que ('x, 'y, 'z) são coordenadas da fonte de raios-X (501), ('X0, 'Y0, 'Z0) a ('X1, 'Y1, 'Z1), ... ('X8, 'Y8, 'Z8) a ('X9, 'Y9, 'Z9) são um segundo conjunto de projeções de eixos longitudinais dos esteios (506) na segunda radiografia, ('si) são razões desconhecidas, 'v(i-1)ix, 'v(i-1)iy, 'v(i-1)iz são vetores de projeções dos eixos longitudinais dos esteios (506), em que 'v(i-1)ix = 'Xi - 'X(i-1), 'v(i-1)iy = 'Yi - 'Y(i-1), 'v(i-1)iz = 'Zi - 'Z(i-1). Aqui I é um número que vai de 0 a 9. Assim, por exemplo, 'v01x = 'X1 - 'X0, 'v01y = 'Y1 - 'Y0, 'v01z = 'Z1 - 'Z0.

$$\begin{aligned}
& ('x - x0) * ('Y0 + 'v01y * 's0 - y0) - ('y - y0) * ('X0 + 'v01x * 's0 - x0) = 0 \\
& ('x - x0) * ('Z0 + 'v01z * 's0 - z0) - ('z - z0) * ('X0 + 'v01x * 's0 - x0) = 0 \\
& ('x - x1) * ('Y1 + 'v01y * 's1 - y1) - ('y - y1) * ('X1 + 'v01x * 's1 - x1) = 0 \\
& ('x - x1) * ('Z1 + 'v01z * 's1 - z1) - ('z - z1) * ('X1 + 'v01x * 's1 - x1) = 0 \\
& ('x - x2) * ('Y2 + 'v23y * 's2 - y2) - ('y - y2) * ('X2 + 'v23x * 's2 - x2) = 0 \\
& ('x - x2) * ('Z2 + 'v23z * 's2 - z2) - ('z - z2) * ('X2 + 'v23x * 's2 - x2) = 0 \\
& ('x - x3) * ('Y3 + 'v23y * 's3 - y3) - ('y - y3) * ('X3 + 'v23x * 's3 - x3) = 0 \\
& ('x - x3) * ('Z3 + 'v23z * 's3 - z3) - ('z - z3) * ('X3 + 'v23x * 's3 - x3) = 0 \\
& ('x - x4) * ('Y4 + 'v45y * 's4 - y4) - ('y - y4) * ('X4 + 'v45x * 's4 - x4) = 0 \\
& ('x - x4) * ('Z4 + 'v45z * 's4 - z4) - ('z - z4) * ('X4 + 'v45x * 's4 - x4) = 0 \\
& ('x - x5) * ('Y5 + 'v45y * 's5 - y5) - ('y - y5) * ('X5 + 'v45x * 's5 - x5) = 0 \\
& ('x - x5) * ('Z5 + 'v45z * 's5 - z5) - ('z - z5) * ('X5 + 'v45x * 's5 - x5) = 0 \\
& ('x - x6) * ('Y6 + 'v67y * 's6 - y6) - ('y - y6) * ('X6 + 'v67x * 's6 - x6) = 0 \\
& ('x - x6) * ('Z6 + 'v67z * 's6 - z6) - ('z - z6) * ('X6 + 'v67x * 's6 - x6) = 0 \\
& ('x - x7) * ('Y7 + 'v67y * 's7 - y7) - ('y - y7) * ('X7 + 'v67x * 's7 - x7) = 0 \\
& ('x - x7) * ('Z7 + 'v67z * 's7 - z7) - ('z - z7) * ('X7 + 'v67x * 's7 - x7) = 0 \\
& ('x - x8) * ('Y8 + 'v89y * 's8 - y8) - ('y - y8) * ('X8 + 'v89x * 's8 - x8) = 0 \\
& ('x - x8) * ('Z8 + 'v89z * 's8 - z8) - ('z - z8) * ('X8 + 'v89x * 's8 - x8) = 0 \\
& ('x - x9) * ('Y9 + 'v89y * 's9 - y9) - ('y - y9) * ('X9 + 'v89x * 's9 - x9) = 0 \\
& ('x - x9) * ('Z9 + 'v89z * 's9 - z9) - ('z - z9) * ('X9 + 'v89x * 's9 - x9) = 0 \\
& (x0 - x1)^2 - (y0 - y1)^2 - (z0 - z1)^2 - l01^2 = 0 \\
& (x0 - x2)^2 - (y0 - y2)^2 - (z0 - z2)^2 - l02^2 = 0 \\
& (x0 - x3)^2 - (y0 - y3)^2 - (z0 - z3)^2 - l03^2 = 0 \\
& (x0 - x4)^2 - (y0 - y4)^2 - (z0 - z4)^2 - l04^2 = 0 \\
& (x0 - x5)^2 - (y0 - y5)^2 - (z0 - z5)^2 - l05^2 = 0 \\
& (x0 - x6)^2 - (y0 - y6)^2 - (z0 - z6)^2 - l06^2 = 0 \\
& (x0 - x7)^2 - (y0 - y7)^2 - (z0 - z7)^2 - l07^2 = 0 \\
& (x0 - x8)^2 - (y0 - y8)^2 - (z0 - z8)^2 - l08^2 = 0 \\
& (x0 - x9)^2 - (y0 - y9)^2 - (z0 - z9)^2 - l09^2 = 0 \\
& (x1 - x2)^2 - (y1 - y2)^2 - (z1 - z2)^2 - l12^2 = 0 \\
& (x1 - x3)^2 - (y1 - y3)^2 - (z1 - z3)^2 - l13^2 = 0 \\
& (x1 - x4)^2 - (y1 - y4)^2 - (z1 - z4)^2 - l14^2 = 0 \\
& (x1 - x5)^2 - (y1 - y5)^2 - (z1 - z5)^2 - l15^2 = 0 \\
& (x1 - x6)^2 - (y1 - y6)^2 - (z1 - z6)^2 - l16^2 = 0 \\
& (x1 - x7)^2 - (y1 - y7)^2 - (z1 - z7)^2 - l17^2 = 0 \\
& (x1 - x8)^2 - (y1 - y8)^2 - (z1 - z8)^2 - l18^2 = 0 \\
& (x1 - x9)^2 - (y1 - y9)^2 - (z1 - z9)^2 - l19^2 = 0 \\
& (x2 - x3)^2 - (y2 - y3)^2 - (z2 - z3)^2 - l23^2 = 0 \\
& (x2 - x4)^2 - (y2 - y4)^2 - (z2 - z4)^2 - l24^2 = 0 \\
& (x2 - x5)^2 - (y2 - y5)^2 - (z2 - z5)^2 - l25^2 = 0 \\
& (x2 - x6)^2 - (y2 - y6)^2 - (z2 - z6)^2 - l26^2 = 0 \\
& (x2 - x7)^2 - (y2 - y7)^2 - (z2 - z7)^2 - l27^2 = 0
\end{aligned}$$

[0086] No entanto, este conjunto de equações não inclui todas as equações que descrevem as posições dos esteios (506) e os pontos de ligação de esteio (503). É, pois, necessário verificar as soluções do conjunto de equações para as posições 3-D da fonte de raio-X (501) e do objeto (510) em relação a essas equações que não foram incluídas no sistema:

$$\begin{cases} (x_2 - x_8)^2 - (y_2 - y_8)^2 - (z_2 - z_8)^2 - l_{28}^2 = 0 \\ (x_2 - x_9)^2 - (y_2 - y_9)^2 - (z_2 - z_9)^2 - l_{29}^2 = 0 \end{cases}$$

[0087] As primeira e segunda posições 3-D da fonte de raios-X (501) e do objeto (510) podem ser encontradas assim.

[0088] Em determinadas situações, as mudanças na cota Z da fonte de raio-X (501) resultam em mudanças proporcionais de projeções dos marcadores nas radiografias. Nestas situações, a coordenada Z da fonte de raios-X (501) pode ser definida como um parâmetro constante que não tem de ser resolvido quando da solução do conjunto de equações. Aqui, o parâmetro da constante para a coordenada Z deve ser um número grande que permite que o objeto (510) caiba entre a fonte de raios-X (501) e a radiografia. Isto permite a utilização de menos marcadores para determinar as posições 3-D da fonte de raios-X (501) e do objeto (510), tal como ilustrado nos modelos de 6 a 8 a seguir.

Modelo 6

[0089] Na presente concretização das técnicas, a pluralidade de esteios (506) pode compreender quatro esteios (506). Na presente concretização, as primeiras posições 3-D da fonte de raios-X (501) e do objeto (510) podem ser determinadas usando o modelo matemático discutido abaixo, no qual é assumido que (x, y, z) são as coordenadas da fonte de raios-X (501), (x_0, y_0, z_0) a (x_7, y_7, z_7) são coordenadas dos pontos de ligação (503) dos oito esteios, (X_0, Y_0, Z_0) a (X_1, Y_1, Z_1) , ... (X_6, Y_6, Z_6) a $(X_7, Y_7,$

Z7) constituem um primeiro conjunto de projeções de eixos longitudinais dos esteios na primeira radiografia, (I01), (I02), (I03), (I04), (I06), (I07), (I12), (I13), (I14), (I15), (I16), (I17), (I23), (I24), (I25), (I26), (I27) são distâncias predeterminadas entre os pontos de conexão de oito esteios (503), (s_i) são razões desconhecidas e $v(i-1)ix$, $v(i-1)iy$, $v(i-1)iz$ são vetores de projeções dos eixos longitudinais dos esteios, em que $v(i-1)ix = X_i - X(i-1)$, $v(i-1)iy = Y_i - Y(i-1)$, $v(i-1)iz = Z_i - Z(i-1)$. Aqui I é um número que vai de 0 a 7. Assim, por exemplo, $v01x = X_1 - X_0$, $v01y = Y_1 - Y_0$, $v01z = Z_1 - Z_0$. Estas relações de variáveis são ainda representadas na Figura 6.

[0090] Além disso, presume-se que $(X'0, Y'0, Z'0)$ a $(X'7, Y'7, Z'7)$ são um primeiro conjunto de projeções de pontos de conexão de oito esteios (503) na primeira radiografia, que pode ser representado da seguinte forma:

$$X'0 = X0 + v01x * s0;$$

$$Y'0 = Y0 + v01y * s0;$$

$$Z'0 = Z0 + v01z * s0.$$

[0091] Equações similares são determinadas para outros pontos de conexão de esteio (503) aos membros de fixação (502).

[0092] Os três pontos (x, y, z) , (x_i, y_i, z_i) , e $(X'i, Y'i, Z'i)$ estão situados na mesma linha. A equação para esta linha pode assim ser expressa como:

$$\frac{x - x_i}{X' i - x_i} = \frac{y - y_i}{Y' i - y_i} = \frac{z - z_i}{Z' i - z_i}$$

[0093] Esta equação pode, alternativamente, ser expressa com duas equações:

$$\begin{cases} (x - x_i) * (Y' i - y_i) - (y - y_i) * (X' i - x_i) = 0 \\ (x - x_i) * (Z' i - z_i) - (z - z_i) * (X' i - x_i) = 0 \end{cases}$$

[0094] Uma vez que existem oito pontos de conexão de esteio (503) aos membros de fixação (502) e há um par de equações acima para cada ponto de ligação de esteio (503), existem 16 equações que descrevem os comprimentos dos esteios (506). Dezoito equações adicionais envolvendo as posições das ligações de esteio podem ser obtidas através do uso do Teorema de Pitágoras.

$$\begin{cases}
 (x - x_0) * (Y'0 - y_0) - (y - y_0) * (X'0 - x_0) = 0 \\
 (x - x_0) * (Z'0 - z_0) - (z - z_0) * (X'0 - x_0) = 0 \\
 (x - x_1) * (Y'1 - y_1) - (y - y_1) * (X'1 - x_1) = 0 \\
 (x - x_1) * (Z'1 - z_1) - (z - z_1) * (X'1 - x_1) = 0 \\
 (x - x_2) * (Y'2 - y_2) - (y - y_2) * (X'2 - x_2) = 0 \\
 (x - x_2) * (Z'1 - z_2) - (z - z_2) * (X'2 - x_2) = 0 \\
 (x - x_3) * (Y'3 - y_3) - (y - y_3) * (X'3 - x_3) = 0 \\
 (x - x_3) * (Z'3 - z_3) - (z - z_3) * (X'3 - x_3) = 0 \\
 (x - x_4) * (Y'4 - y_4) - (y - y_4) * (X'4 - x_4) = 0 \\
 (x - x_4) * (Z'4 - z_4) - (z - z_4) * (X'4 - x_4) = 0 \\
 (x - x_5) * (Y'5 - y_5) - (y - y_5) * (X'5 - x_5) = 0 \\
 (x - x_5) * (Z'5 - z_5) - (z - z_5) * (X'5 - x_5) = 0 \\
 (x - x_6) * (Y'6 - y_6) - (y - y_6) * (X'6 - x_6) = 0 \\
 (x - x_6) * (Z'6 - z_6) - (z - z_6) * (X'6 - x_6) = 0 \\
 (x - x_7) * (Y'7 - y_7) - (y - y_7) * (X'7 - x_7) = 0 \\
 (x - x_7) * (Z'7 - z_7) - (z - z_7) * (X'7 - x_7) = 0 \\
 (x_0 - x_1)^2 - (y_0 - y_1)^2 - (z_0 - z_1)^2 - l_{01}^2 = 0 \\
 (x_0 - x_2)^2 - (y_0 - y_2)^2 - (z_0 - z_2)^2 - l_{02}^2 = 0 \\
 (x_0 - x_3)^2 - (y_0 - y_3)^2 - (z_0 - z_3)^2 - l_{03}^2 = 0 \\
 (x_0 - x_4)^2 - (y_0 - y_4)^2 - (z_0 - z_4)^2 - l_{04}^2 = 0 \\
 (x_0 - x_5)^2 - (y_0 - y_5)^2 - (z_0 - z_5)^2 - l_{05}^2 = 0 \\
 (x_0 - x_6)^2 - (y_0 - y_6)^2 - (z_0 - z_6)^2 - l_{06}^2 = 0 \\
 (x_0 - x_7)^2 - (y_0 - y_7)^2 - (z_0 - z_7)^2 - l_{07}^2 = 0 \\
 (x_1 - x_2)^2 - (y_1 - y_2)^2 - (z_1 - z_2)^2 - l_{12}^2 = 0 \\
 (x_1 - x_3)^2 - (y_1 - y_3)^2 - (z_1 - z_3)^2 - l_{13}^2 = 0 \\
 (x_1 - x_4)^2 - (y_1 - y_4)^2 - (z_1 - z_4)^2 - l_{14}^2 = 0 \\
 (x_1 - x_5)^2 - (y_1 - y_5)^2 - (z_1 - z_5)^2 - l_{15}^2 = 0 \\
 (x_1 - x_6)^2 - (y_1 - y_6)^2 - (z_1 - z_6)^2 - l_{16}^2 = 0 \\
 (x_1 - x_7)^2 - (y_1 - y_7)^2 - (z_1 - z_7)^2 - l_{17}^2 = 0 \\
 (x_2 - x_3)^2 - (y_2 - y_3)^2 - (z_2 - z_3)^2 - l_{23}^2 = 0 \\
 (x_2 - x_4)^2 - (y_2 - y_4)^2 - (z_2 - z_4)^2 - l_{24}^2 = 0 \\
 (x_2 - x_5)^2 - (y_2 - y_5)^2 - (z_2 - z_5)^2 - l_{25}^2 = 0 \\
 (x_2 - x_6)^2 - (y_2 - y_6)^2 - (z_2 - z_6)^2 - l_{26}^2 = 0 \\
 (x_2 - x_7)^2 - (y_2 - y_7)^2 - (z_2 - z_7)^2 - l_{27}^2 = 0
 \end{cases}$$

[0095] As segundas posições 3-D da fonte de raios-X (501) e do objeto (510) podem ser determinadas usando um modelo matemático substancialmente semelhante discutido abaixo, no qual é assumido que ('x, 'y, 'z) são coordenadas da fonte de raios-X (501), ('X0, 'Y0, 'Z0) a ('X1, 'Y1, 'Z1), ... ('X6, 'Y6, 'Z6) a ('X7, 'Y7, 'Z7) são um segundo conjunto de projeções de eixos longitudinais dos esteios (506) na segunda radiografia, (I01), (I02), (I03), (I04),

(I06), (I07), (I12), (I13), (I14), (I15), (I16), (I17), (I23), (I24), (I25), (I26), (I27) são distâncias predeterminadas entre os oito pontos de conexão de esteios (503), (si) são razões desconhecidas e $'v(i-1)ix$, $'v(i-1)iy$, $'v(i-1)iz$ são vetores de projeções dos eixos longitudinais dos esteios (506), em que $'v(i-1)ix = 'Xi - 'X(i-1)$, $'v(i-1)iy = 'Yi - 'Y(i-1)$, $'v(i-1)iz = 'Zi - 'Z(i-1)$. Aqui, I é um número que vai de 0 a 7. Assim, por exemplo, $v01x = X1 - X0$, $v01y = Y1 - Y0$, $v01z = Z1 - Z0$.

$$\begin{cases}
 ('x - x_0) * ('Y'0 - y_0) - ('y - y_0) * ('X'0 - x_0) = 0 \\
 ('x - x_0) * ('Z'0 - z_0) - ('z - z_0) * ('X'0 - x_0) = 0 \\
 ('x - x_1) * ('Y'1 - y_1) - ('y - y_1) * ('X'1 - x_1) = 0 \\
 ('x - x_1) * ('Z'1 - z_1) - ('z - z_1) * ('X'1 - x_1) = 0 \\
 ('x - x_2) * ('Y'2 - y_2) - ('y - y_2) * ('X'2 - x_2) = 0 \\
 ('x - x_2) * ('Z'1 - z_2) - ('z - z_2) * ('X'2 - x_2) = 0 \\
 ('x - x_3) * ('Y'3 - y_3) - ('y - y_3) * ('X'3 - x_3) = 0 \\
 ('x - x_3) * ('Z'3 - z_3) - ('z - z_3) * ('X'3 - x_3) = 0 \\
 ('x - x_4) * ('Y'4 - y_4) - ('y - y_4) * ('X'4 - x_4) = 0 \\
 ('x - x_4) * ('Z'4 - z_4) - ('z - z_4) * ('X'4 - x_4) = 0 \\
 ('x - x_5) * ('Y'5 - y_5) - ('y - y_5) * ('X'5 - x_5) = 0 \\
 ('x - x_5) * ('Z'5 - z_5) - ('z - z_5) * ('X'5 - x_5) = 0 \\
 ('x - x_6) * ('Y'6 - y_6) - ('y - y_6) * ('X'6 - x_6) = 0 \\
 ('x - x_6) * ('Z'6 - z_6) - ('z - z_6) * ('X'6 - x_6) = 0 \\
 ('x - x_7) * ('Y'7 - y_7) - ('y - y_7) * ('X'7 - x_7) = 0 \\
 ('x - x_7) * ('Z'7 - z_7) - ('z - z_7) * ('X'7 - x_7) = 0 \\
 (x_0 - x_1)^2 - (y_0 - y_1)^2 - (z_0 - z_1)^2 - l01^2 = 0 \\
 (x_0 - x_2)^2 - (y_0 - y_2)^2 - (z_0 - z_2)^2 - l02^2 = 0 \\
 (x_0 - x_3)^2 - (y_0 - y_3)^2 - (z_0 - z_3)^2 - l03^2 = 0 \\
 (x_0 - x_4)^2 - (y_0 - y_4)^2 - (z_0 - z_4)^2 - l04^2 = 0 \\
 (x_0 - x_5)^2 - (y_0 - y_5)^2 - (z_0 - z_5)^2 - l05^2 = 0 \\
 (x_0 - x_6)^2 - (y_0 - y_6)^2 - (z_0 - z_6)^2 - l06^2 = 0 \\
 (x_0 - x_7)^2 - (y_0 - y_7)^2 - (z_0 - z_7)^2 - l07^2 = 0 \\
 (x_1 - x_2)^2 - (y_1 - y_2)^2 - (z_1 - z_2)^2 - l12^2 = 0 \\
 (x_1 - x_3)^2 - (y_1 - y_3)^2 - (z_1 - z_3)^2 - l13^2 = 0 \\
 (x_1 - x_4)^2 - (y_1 - y_4)^2 - (z_1 - z_4)^2 - l14^2 = 0 \\
 (x_1 - x_5)^2 - (y_1 - y_5)^2 - (z_1 - z_5)^2 - l15^2 = 0 \\
 (x_1 - x_6)^2 - (y_1 - y_6)^2 - (z_1 - z_6)^2 - l16^2 = 0 \\
 (x_1 - x_7)^2 - (y_1 - y_7)^2 - (z_1 - z_7)^2 - l17^2 = 0 \\
 (x_2 - x_3)^2 - (y_2 - y_3)^2 - (z_2 - z_3)^2 - l23^2 = 0 \\
 (x_2 - x_4)^2 - (y_2 - y_4)^2 - (z_2 - z_4)^2 - l24^2 = 0 \\
 (x_2 - x_5)^2 - (y_2 - y_5)^2 - (z_2 - z_5)^2 - l25^2 = 0 \\
 (x_2 - x_6)^2 - (y_2 - y_6)^2 - (z_2 - z_6)^2 - l26^2 = 0 \\
 (x_2 - x_7)^2 - (y_2 - y_7)^2 - (z_2 - z_7)^2 - l27^2 = 0
 \end{cases}$$

[0096] As primeira e segunda posições 3-D da fonte de raios-X (501) e do objeto (510) podem ser encontradas assim.

Modelo 7

[0097] Em outra concretização da técnica, a pluralidade de marcadores pode compreender quatro esteios. Na presente concretização, as primeiras posições 3-D da fonte de raios-X (501) e do objeto (510) podem ser determinadas usando o modelo matemático discutido abaixo, no qual é assumido que (x, y, z) são as coordenadas da fonte de raios-X (501), (x_0, y_0, z_0) a (x_7, y_7, z_7) são coordenadas dos oito pontos de ligação (503) dos esteios, (x_0, y_0, z_0) a (x_1, y_1, z_1) , ... (x_6, y_6, z_6) a (x_7, y_7, z_7) constituem um primeiro conjunto de projeções de eixos longitudinais dos esteios na primeira radiografia, (I_{01}) , (I_{02}) , (I_{03}) , (I_{04}) , (I_{06}) , (I_{07}) , (I_{12}) , (I_{13}) , (I_{14}) , (I_{15}) , (I_{16}) , (I_{17}) , (I_{23}) , (I_{24}) , (I_{25}) , (I_{26}) , (I_{27}) são distâncias predeterminadas entre os oito pontos de conexão de esteios (503), (s_i) são razões desconhecidas e $v^{(i-1)}_{ix}$, $v^{(i-1)}_{iy}$, $v^{(i-1)}_{iz}$ são vetores de projeções dos eixos longitudinais dos esteios, em que $v^{(i-1)}_{ix} = x_i - x^{(i-1)}$, $v^{(i-1)}_{iy} = y_i - y^{(i-1)}$, $v^{(i-1)}_{iz} = z_i - z^{(i-1)}$. Aqui I é um número que vai de 0 a 7. Assim, por exemplo, $v_{01x} = x_1 - x_0$, $v_{01y} = y_1 - y_0$, $v_{01z} = z_1 - z_0$. Estas relações de variáveis são ainda representadas na Figura 6.

[0098] Além disso, presume-se que (x'_0, y'_0, z'_0) a (x'_7, y'_7, z'_7) são um primeiro conjunto de projeções de

pontos de conexão de oito esteios (503) na primeira radiografia, que pode ser representado da seguinte forma:

$$X'0 = X0 + v01x * s0;$$

$$Y'0 = Y0 + v01y * s0;$$

$$Z'0 = Z0 + v01z * s0.$$

[0099] Equações similares são determinadas para outros pontos de conexão de esteio (503) aos membros de fixação (502).

[00100] A presente concretização emprega as seguintes equações paramétricas:

$$x = x0 + \alpha * t; y = y0 + \beta * t; z = z0 + \gamma * t$$

[00101] Aqui, α , β , γ referem-se a vetores direcionais, e t é um parâmetro que caracteriza o ponto (x, y, z) em uma linha relativa a um outro ponto, por exemplo $(x0, y0, z0)$. E os três pontos (x, y, z) , (xi, yi, zi) , e $(X'i, Y'i, Z'i)$ estão situados na mesma linha que passa a partir da fonte de raios-X 601, ao marcador (603), e, em seguida, ao processador de imagens (604). Aqui I é um número que vai de 0 a 7. As equações paramétricas para esta linha podem assim ser expressas como:

$$xi = x + \alpha_i * t_i; yi = y + \beta_i * t_i; zi = z + \gamma_i * t_i$$

[00102] Onde:

$$\alpha_i = X'i - x; \beta_i = Y'i - y; \gamma_i = Z'i - z$$

[00103] A presente concretização determina 18 equações, pela adição de um número apropriado de equações para distâncias entre os pontos de conexão de esteio (503) nos membros de fixação (502) (18 equações para 18 distâncias entre 8 pontos de conexão de esteio (503) de quatro esteios (506) de imobilizador de geometria conhecida). As 18 equações resultantes são fornecidas a seguir:

$$\left\{ \begin{array}{l} (x_0 - x_1)^2 - (y_0 - y_1)^2 - (z_0 - z_1)^2 - l_{01}^2 = 0 \\ (x_0 - x_2)^2 - (y_0 - y_2)^2 - (z_0 - z_2)^2 - l_{02}^2 = 0 \\ (x_0 - x_3)^2 - (y_0 - y_3)^2 - (z_0 - z_3)^2 - l_{03}^2 = 0 \\ (x_0 - x_4)^2 - (y_0 - y_4)^2 - (z_0 - z_4)^2 - l_{04}^2 = 0 \\ (x_0 - x_5)^2 - (y_0 - y_5)^2 - (z_0 - z_5)^2 - l_{05}^2 = 0 \\ (x_0 - x_6)^2 - (y_0 - y_6)^2 - (z_0 - z_6)^2 - l_{06}^2 = 0 \\ (x_0 - x_7)^2 - (y_0 - y_7)^2 - (z_0 - z_7)^2 - l_{07}^2 = 0 \\ (x_1 - x_2)^2 - (y_1 - y_2)^2 - (z_1 - z_2)^2 - l_{12}^2 = 0 \\ (x_1 - x_3)^2 - (y_1 - y_3)^2 - (z_1 - z_3)^2 - l_{13}^2 = 0 \\ (x_1 - x_4)^2 - (y_1 - y_4)^2 - (z_1 - z_4)^2 - l_{14}^2 = 0 \\ (x_1 - x_5)^2 - (y_1 - y_5)^2 - (z_1 - z_5)^2 - l_{15}^2 = 0 \\ (x_1 - x_6)^2 - (y_1 - y_6)^2 - (z_1 - z_6)^2 - l_{16}^2 = 0 \\ (x_1 - x_7)^2 - (y_1 - y_7)^2 - (z_1 - z_7)^2 - l_{17}^2 = 0 \\ (x_2 - x_3)^2 - (y_2 - y_3)^2 - (z_2 - z_3)^2 - l_{23}^2 = 0 \\ (x_2 - x_4)^2 - (y_2 - y_4)^2 - (z_2 - z_4)^2 - l_{24}^2 = 0 \\ (x_2 - x_5)^2 - (y_2 - y_5)^2 - (z_2 - z_5)^2 - l_{25}^2 = 0 \\ (x_2 - x_6)^2 - (y_2 - y_6)^2 - (z_2 - z_6)^2 - l_{26}^2 = 0 \\ (x_2 - x_7)^2 - (y_2 - y_7)^2 - (z_2 - z_7)^2 - l_{27}^2 = 0 \end{array} \right.$$

[00104] A concretização pode determinar t_0 através de t_7 , s_0 através de s_7 , e a primeira posição 3-D da fonte de raios-X (501), seguida pelo cálculo das coordenadas dos pontos de ligação de esteio (503). As segundas posições 3-D da fonte de raios-X (501) e do objeto (510) podem ser determinadas usando um modelo matemático

substancialmente semelhante discutido abaixo, no qual é assumido que ('x, 'y, 'z) são coordenadas da fonte de raios-X (501) e ('X0, 'Y0, 'Z0) a ('X1, 'Y1, 'Z1), ... ('X6, 'Y6, 'Z6) a ('X7, 'Y7, 'Z7) são um segundo conjunto de projeções de eixos longitudinais dos esteios (506) na segunda radiografia.

[00105] Além disso, presume-se que ('X0, 'Y0, 'Z0) a ('X7, 'Y7, 'Z7) são coordenadas de um segundo conjunto de projeções de pontos de conexão de esteio (503) na segunda radiografia, que pode ser representado da seguinte forma:

$$\begin{aligned} 'X'0 &= 'X0 + 'v0|x * 's0; \\ 'Y'0 &= 'Y0 + 'v0|y * 's0; \\ 'Z'0 &= 'Z0 + 'v0|z * 's0. \end{aligned}$$

[00106] Equações similares são determinadas para outros pontos de conexão de esteio (503) aos membros de fixação (502).

[00107] A presente concretização emprega as seguintes equações paramétricas:

$$'x = x0 + \alpha * t; 'y = y0 + \beta * t; 'z = z0 + \gamma * t$$

[00108] Os três pontos ('x', 'y', 'z), (xi, yi, zi), e ('X'i, 'Y'i, 'Z'i) estão situados na mesma linha que passa desde a fonte de raios-X (601), para o marcador (603), e em seguida, para o processador de imagens (604). Assim as equações paramétricas para esta linha podem ser expressas como:

$$xi = 'x + \alpha_i * t_i; yi = 'y + \beta_i * t_i; zi = 'z + \gamma_i * t_i$$

[00109] Onde:

$$\alpha_i = 'X'i - 'x; \beta_i = 'Y'i - 'y; \gamma_i = 'Z'i - 'z$$

[00110] A presente concretização determina 18 equações pela adição de um número apropriado de equações para distâncias entre os pontos de ligação de esteio no anel. As 18 equações resultantes são fornecidas a seguir:

$$\left\{ \begin{array}{l} (x_0 - x_1)^2 - (y_0 - y_1)^2 - (z_0 - z_1)^2 - l_{01}^2 = 0 \\ (x_0 - x_2)^2 - (y_0 - y_2)^2 - (z_0 - z_2)^2 - l_{02}^2 = 0 \\ (x_0 - x_3)^2 - (y_0 - y_3)^2 - (z_0 - z_3)^2 - l_{03}^2 = 0 \\ (x_0 - x_4)^2 - (y_0 - y_4)^2 - (z_0 - z_4)^2 - l_{04}^2 = 0 \\ (x_0 - x_5)^2 - (y_0 - y_5)^2 - (z_0 - z_5)^2 - l_{05}^2 = 0 \\ (x_0 - x_6)^2 - (y_0 - y_6)^2 - (z_0 - z_6)^2 - l_{06}^2 = 0 \\ (x_0 - x_7)^2 - (y_0 - y_7)^2 - (z_0 - z_7)^2 - l_{07}^2 = 0 \\ (x_1 - x_2)^2 - (y_1 - y_2)^2 - (z_1 - z_2)^2 - l_{12}^2 = 0 \\ (x_1 - x_3)^2 - (y_1 - y_3)^2 - (z_1 - z_3)^2 - l_{13}^2 = 0 \\ (x_1 - x_4)^2 - (y_1 - y_4)^2 - (z_1 - z_4)^2 - l_{14}^2 = 0 \\ (x_1 - x_5)^2 - (y_1 - y_5)^2 - (z_1 - z_5)^2 - l_{15}^2 = 0 \\ (x_1 - x_6)^2 - (y_1 - y_6)^2 - (z_1 - z_6)^2 - l_{16}^2 = 0 \\ (x_1 - x_7)^2 - (y_1 - y_7)^2 - (z_1 - z_7)^2 - l_{17}^2 = 0 \\ (x_2 - x_3)^2 - (y_2 - y_3)^2 - (z_2 - z_3)^2 - l_{23}^2 = 0 \\ (x_2 - x_4)^2 - (y_2 - y_4)^2 - (z_2 - z_4)^2 - l_{24}^2 = 0 \\ (x_2 - x_5)^2 - (y_2 - y_5)^2 - (z_2 - z_5)^2 - l_{25}^2 = 0 \\ (x_2 - x_6)^2 - (y_2 - y_6)^2 - (z_2 - z_6)^2 - l_{26}^2 = 0 \\ (x_2 - x_7)^2 - (y_2 - y_7)^2 - (z_2 - z_7)^2 - l_{27}^2 = 0 \end{array} \right.$$

[00111] As primeira e segunda posições 3-D da fonte de raios-X e do objeto podem ser encontradas desse modo.

Modelo 8

[00112] Em outra concretização da técnica, a pluralidade de esteios (506) pode compreender quatro esteios. Na presente concretização, as primeiras posições 3-D da fonte de raios-X (501) e do objeto (510) podem ser determinadas usando o modelo matemático discutido abaixo, no qual é assumido que (x, y, z) são as coordenadas da fonte de raios-X (501), (x_0, y_0, z_0) a (x_7, y_7, z_7) são coordenadas dos oito pontos de ligação (503) dos esteios aos membros de fixação (502), (x_0, y_0, z_0) a (x_1, y_1, z_1) , ... (x_6, y_6, z_6) a (x_7, y_7, z_7) constituem um primeiro conjunto de projeções de eixos longitudinais dos esteios na primeira radiografia, $(I_01), (I_02), (I_03), (I_04), (I_06), (I_07), (I_12), (I_13), (I_14), (I_15), (I_16), (I_17), (I_23), (I_24), (I_25), (I_26), (I_27)$ são distâncias predeterminadas entre os oito pontos de conexão de esteios (503). Estas relações de variáveis são apresentadas na Figura 6.

[00113] Além disso, cada ponto de ligação de esteio (503) está situado em um plano que atravessa a fonte de raios-X (501) e a projeção do eixo longitudinal do esteio. Assim, equações de um plano correspondente podem ser determinadas para cada ponto de conexão de esteio (503), criando um sistema de oito equações para o imobilizador com quatro esteios (506), conforme previsto abaixo.

$$\left\{ \begin{array}{l}
 \begin{array}{l}
 |x_0 - x \quad y_0 - y \quad z_0 - z| \\
 |X_0 - x \quad Y_0 - y \quad Z_0 - z| = 0 \\
 |X_1 - x \quad Y_1 - y \quad Z_1 - z| \\
 \end{array} \\
 \begin{array}{l}
 |x_1 - x \quad y_1 - y \quad z_1 - z| \\
 |X_0 - x \quad Y_0 - y \quad Z_0 - z| = 0 \\
 |X_1 - x \quad Y_1 - y \quad Z_1 - z| \\
 \end{array} \\
 \begin{array}{l}
 |x_2 - x \quad y_2 - y \quad z_2 - z| \\
 |X_2 - x \quad Y_2 - y \quad Z_2 - z| = 0 \\
 |X_3 - x \quad Y_3 - y \quad Z_3 - z| \\
 \end{array} \\
 \begin{array}{l}
 |x_3 - x \quad y_3 - y \quad z_3 - z| \\
 |X_2 - x \quad Y_2 - y \quad Z_2 - z| = 0 \\
 |X_3 - x \quad Y_3 - y \quad Z_3 - z| \\
 \end{array} \\
 \begin{array}{l}
 |x_4 - x \quad y_4 - y \quad z_4 - z| \\
 |X_4 - x \quad Y_4 - y \quad Z_4 - z| = 0 \\
 |X_5 - x \quad Y_5 - y \quad Z_5 - z| \\
 \end{array} \\
 \begin{array}{l}
 |x_5 - x \quad y_5 - y \quad z_5 - z| \\
 |X_4 - x \quad Y_4 - y \quad Z_4 - z| = 0 \\
 |X_5 - x \quad Y_5 - y \quad Z_5 - z| \\
 \end{array} \\
 \begin{array}{l}
 |x_6 - x \quad y_6 - y \quad z_6 - z| \\
 |X_6 - x \quad Y_6 - y \quad Z_6 - z| = 0 \\
 |X_7 - x \quad Y_7 - y \quad Z_7 - z| \\
 \end{array} \\
 \begin{array}{l}
 |x_7 - x \quad y_7 - y \quad z_7 - z| \\
 |X_6 - x \quad Y_6 - y \quad Z_6 - z| = 0 \\
 |X_7 - x \quad Y_7 - y \quad Z_7 - z|
 \end{array}
 \end{array} \right.$$

[00114] Agora, pela adição de um número apropriado de equações para distâncias entre os pontos de ligação de esteio (por exemplo, 18 equações para 18 distâncias entre oito pontos de ligação de esteio de quatro esteios de imobilizador de geometria conhecida), a concretização proporciona o seguinte modelo matemático de 26 equações:

$$\left. \begin{array}{l}
 \begin{array}{l}
 |x_0 - x \quad y_0 - y \quad z_0 - z| \\
 |X_0 - x \quad Y_0 - y \quad Z_0 - z| = 0 \\
 |X_1 - x \quad Y_1 - y \quad Z_1 - z| \\
 |x_1 - x \quad y_1 - y \quad z_1 - z| \\
 |X_0 - x \quad Y_0 - y \quad Z_0 - z| = 0 \\
 |X_1 - x \quad Y_1 - y \quad Z_1 - z| \\
 |x_2 - x \quad y_2 - y \quad z_2 - z| \\
 |X_2 - x \quad Y_2 - y \quad Z_2 - z| = 0 \\
 |X_3 - x \quad Y_3 - y \quad Z_3 - z| \\
 |x_3 - x \quad y_3 - y \quad z_3 - z| \\
 |X_2 - x \quad Y_2 - y \quad Z_2 - z| = 0 \\
 |X_3 - x \quad Y_3 - y \quad Z_3 - z| \\
 |x_4 - x \quad y_4 - y \quad z_4 - z| \\
 |X_4 - x \quad Y_4 - y \quad Z_4 - z| = 0 \\
 |X_5 - x \quad Y_5 - y \quad Z_5 - z| \\
 |x_5 - x \quad y_5 - y \quad z_5 - z| \\
 |X_4 - x \quad Y_4 - y \quad Z_4 - z| = 0 \\
 |X_5 - x \quad Y_5 - y \quad Z_5 - z| \\
 |x_6 - x \quad y_6 - y \quad z_6 - z| \\
 |X_6 - x \quad Y_6 - y \quad Z_6 - z| = 0 \\
 |X_7 - x \quad Y_7 - y \quad Z_7 - z| \\
 |x_7 - x \quad y_7 - y \quad z_7 - z| \\
 |X_6 - x \quad Y_6 - y \quad Z_6 - z| = 0 \\
 |X_7 - x \quad Y_7 - y \quad Z_7 - z|
 \end{array} \\
 (x_0 - x_1)^2 - (y_0 - y_1)^2 - (z_0 - z_1)^2 - l_0^2 = 0 \\
 (x_0 - x_2)^2 - (y_0 - y_2)^2 - (z_0 - z_2)^2 - l_0^2 = 0 \\
 (x_0 - x_3)^2 - (y_0 - y_3)^2 - (z_0 - z_3)^2 - l_0^2 = 0 \\
 (x_0 - x_4)^2 - (y_0 - y_4)^2 - (z_0 - z_4)^2 - l_0^2 = 0 \\
 (x_0 - x_5)^2 - (y_0 - y_5)^2 - (z_0 - z_5)^2 - l_0^2 = 0 \\
 (x_0 - x_6)^2 - (y_0 - y_6)^2 - (z_0 - z_6)^2 - l_0^2 = 0 \\
 (x_0 - x_7)^2 - (y_0 - y_7)^2 - (z_0 - z_7)^2 - l_0^2 = 0 \\
 (x_1 - x_2)^2 - (y_1 - y_2)^2 - (z_1 - z_2)^2 - l_1^2 = 0 \\
 (x_1 - x_3)^2 - (y_1 - y_3)^2 - (z_1 - z_3)^2 - l_1^2 = 0 \\
 (x_1 - x_4)^2 - (y_1 - y_4)^2 - (z_1 - z_4)^2 - l_1^2 = 0 \\
 (x_1 - x_5)^2 - (y_1 - y_5)^2 - (z_1 - z_5)^2 - l_1^2 = 0 \\
 (x_1 - x_6)^2 - (y_1 - y_6)^2 - (z_1 - z_6)^2 - l_1^2 = 0 \\
 (x_1 - x_7)^2 - (y_1 - y_7)^2 - (z_1 - z_7)^2 - l_1^2 = 0 \\
 (x_2 - x_3)^2 - (y_2 - y_3)^2 - (z_2 - z_3)^2 - l_2^2 = 0 \\
 (x_2 - x_4)^2 - (y_2 - y_4)^2 - (z_2 - z_4)^2 - l_2^2 = 0 \\
 (x_2 - x_5)^2 - (y_2 - y_5)^2 - (z_2 - z_5)^2 - l_2^2 = 0 \\
 (x_2 - x_6)^2 - (y_2 - y_6)^2 - (z_2 - z_6)^2 - l_2^2 = 0 \\
 (x_2 - x_7)^2 - (y_2 - y_7)^2 - (z_2 - z_7)^2 - l_2^2 = 0
 \end{array} \right\}$$

[00115] As primeiras posições 3-D da fonte de raios-X (501) e do objeto (510) podem ser determinadas através da resolução das equações acima. As segundas posições 3-D da fonte de raios-X (501) e do objeto (510)

podem ser determinadas usando um modelo matemático substancialmente semelhante discutido abaixo, no qual é assumido que ('x, 'y, 'z) são coordenadas da fonte de raios-X (501) e ('X0, 'Y0, 'Z0) a ('X1, 'Y1, 'Z1), ... ('X6, 'Y6, 'Z6) a ('X7, 'Y7, 'Z7) são coordenadas de segundo conjunto das projeções dos quatro esteios na segunda radiografia:

$$\left\{ \begin{array}{l}
 \begin{array}{l}
 \left| \begin{array}{ccc}
 x_0 - 'x & y_0 - 'y & z_0 - 'z \\
 'X_0 - 'x & 'Y_0 - 'y & 'Z_0 - 'z \\
 'X_1 - 'x & 'Y_1 - 'y & 'Z_1 - 'z
 \end{array} \right| = 0 \\
 \left| \begin{array}{ccc}
 x_1 - 'x & y_1 - 'y & z_1 - 'z \\
 'X_0 - 'x & 'Y_0 - 'x & 'Z_0 - 'z \\
 'X_1 - 'x & 'Y_1 - 'y & 'Z_1 - 'z
 \end{array} \right| = 0 \\
 \left| \begin{array}{ccc}
 x_2 - 'x & y_2 - 'y & z_2 - 'z \\
 'X_2 - 'x & 'Y_2 - 'x & 'Z_2 - 'z \\
 'X_3 - 'x & 'Y_3 - 'y & 'Z_3 - 'z
 \end{array} \right| = 0 \\
 \left| \begin{array}{ccc}
 x_3 - 'x & y_3 - 'y & z_3 - 'z \\
 'X_2 - 'x & 'Y_2 - 'x & 'Z_2 - 'z \\
 'X_3 - 'x & 'Y_3 - 'y & 'Z_3 - 'z
 \end{array} \right| = 0 \\
 \left| \begin{array}{ccc}
 x_4 - 'x & y_4 - 'y & z_4 - 'z \\
 'X_4 - 'x & 'Y_4 - 'x & 'Z_4 - 'z \\
 'X_5 - 'x & 'Y_5 - 'y & 'Z_5 - 'z
 \end{array} \right| = 0 \\
 \left| \begin{array}{ccc}
 x_5 - 'x & y_5 - 'y & z_5 - 'z \\
 'X_4 - 'x & 'Y_4 - 'x & 'Z_4 - 'z \\
 'X_5 - 'x & 'Y_5 - 'y & 'Z_5 - 'z
 \end{array} \right| = 0 \\
 \left| \begin{array}{ccc}
 x_6 - 'x & y_6 - 'y & z_6 - 'z \\
 'X_6 - 'x & 'Y_6 - 'x & 'Z_6 - 'z \\
 'X_7 - 'x & 'Y_7 - 'y & 'Z_7 - 'z
 \end{array} \right| = 0 \\
 \left| \begin{array}{ccc}
 x_7 - 'x & y_7 - 'y & z_7 - 'z \\
 'X_6 - 'x & 'Y_6 - 'x & 'Z_6 - 'z \\
 'X_7 - 'x & 'Y_7 - 'y & 'Z_7 - 'z
 \end{array} \right| = 0
 \end{array} \right. \\
 \begin{array}{l}
 (x_0 - x_1)^2 - (y_0 - y_1)^2 - (z_0 - z_1)^2 - l_{01}^2 = 0 \\
 (x_0 - x_2)^2 - (y_0 - y_2)^2 - (z_0 - z_2)^2 - l_{02}^2 = 0 \\
 (x_0 - x_3)^2 - (y_0 - y_3)^2 - (z_0 - z_3)^2 - l_{03}^2 = 0 \\
 (x_0 - x_4)^2 - (y_0 - y_4)^2 - (z_0 - z_4)^2 - l_{04}^2 = 0 \\
 (x_0 - x_5)^2 - (y_0 - y_5)^2 - (z_0 - z_5)^2 - l_{05}^2 = 0 \\
 (x_0 - x_6)^2 - (y_0 - y_6)^2 - (z_0 - z_6)^2 - l_{06}^2 = 0 \\
 (x_0 - x_7)^2 - (y_0 - y_7)^2 - (z_0 - z_7)^2 - l_{07}^2 = 0 \\
 (x_1 - x_2)^2 - (y_1 - y_2)^2 - (z_1 - z_2)^2 - l_{12}^2 = 0 \\
 (x_1 - x_3)^2 - (y_1 - y_3)^2 - (z_1 - z_3)^2 - l_{13}^2 = 0 \\
 (x_1 - x_4)^2 - (y_1 - y_4)^2 - (z_1 - z_4)^2 - l_{14}^2 = 0 \\
 (x_1 - x_5)^2 - (y_1 - y_5)^2 - (z_1 - z_5)^2 - l_{15}^2 = 0 \\
 (x_1 - x_6)^2 - (y_1 - y_6)^2 - (z_1 - z_6)^2 - l_{16}^2 = 0 \\
 (x_1 - x_7)^2 - (y_1 - y_7)^2 - (z_1 - z_7)^2 - l_{17}^2 = 0 \\
 (x_2 - x_3)^2 - (y_2 - y_3)^2 - (z_2 - z_3)^2 - l_{23}^2 = 0 \\
 (x_2 - x_4)^2 - (y_2 - y_4)^2 - (z_2 - z_4)^2 - l_{24}^2 = 0 \\
 (x_2 - x_5)^2 - (y_2 - y_5)^2 - (z_2 - z_5)^2 - l_{25}^2 = 0 \\
 (x_2 - x_6)^2 - (y_2 - y_6)^2 - (z_2 - z_6)^2 - l_{26}^2 = 0 \\
 (x_2 - x_7)^2 - (y_2 - y_7)^2 - (z_2 - z_7)^2 - l_{27}^2 = 0
 \end{array}
 \end{array}$$

[00116] As primeira e segunda posições 3-D da fonte de raios-X (501) e do objeto (510) podem, assim, ser determinadas.

Aproximando o local da fonte de Raio-X

[00117] Deve ser apreciado que em alguns casos, a resolução das primeira e segunda radiografias pode não ser suficiente para permitir que alguém possa identificar com precisão as posições das sombras criadas pelos marcadores sobre as respectivas radiografias. Com referência à Figura 2B, podem existir pequenos erros e que fazem com que os vetores/trajetórias (por exemplo, (242) e (244)) para desalinhar e não se intersectem. Em tais casos, a posição da fonte de raios-X (202) pode ser determinada utilizando um modelo de aproximação. De acordo com um modelo exemplificativo de aproximação, a orientação e posição de um segmento entre os vetores/trajetórias (242) e (244) pode ser determinada, e um ponto sobre o segmento pode ser escolhido para representar a posição da fonte de raios-X (202). Em uma concretização, o segmento escolhido pode ser uma perpendicular comum dos vetores/trajetórias (242) e (244), e o ponto médio da perpendicular comum pode ser escolhido para representar a posição da fonte de raios-X (202). Deve ser apreciado que, embora uma perpendicular comum de ambos os vetores/trajetórias (242) e (244) pode ser o segmento mais curto entre os vetores/trajetórias (242) e (244), e pode permitir uma aproximação exata da fonte de raios-X (202), outros segmentos também podem ser

escolhidos, dependendo da precisão desejada do modelo de aproximação.

[00118] Em uma concretização exemplificativa, a perpendicular comum dos vetores/trajetórias (242) e (244) pode ser determinada usando o modelo matemático discutido abaixo, no qual é assumido que (x_1^1, y_1^1, z_1^1) são as coordenadas da sombra (250) do marcador (1), (x_2^1, y_2^1, z_2^1) são as coordenadas do marcador (1) (252), (x_1^2, y_1^2, z_1^2) são as coordenadas da sombra (254) do marcador (2), (x_2^2, y_2^2, z_2^2) são as coordenadas (256) do marcador (2). A equação para a primeira linha (242) pode assim ser expressa como:

$$\frac{x - x_2^1}{x_2^1 - x_1^1} = \frac{y - y_2^1}{y_2^1 - y_1^1} = \frac{z - z_2^1}{z_2^1 - z_1^1}$$

[00119] e a equação para a segunda linha (244) pode ser expressa como:

$$\frac{x - x_2^2}{x_2^2 - x_1^2} = \frac{y - y_2^2}{y_2^2 - y_1^2} = \frac{z - z_2^2}{z_2^2 - z_1^2}$$

[00120] Os vetores resultantes da primeira linha (242) e da segunda linha (244) podem respectivamente ser representados como:

$$\vec{a} = (a_1, a_2, a_3)$$

$$\vec{b} = (b_1, b_2, b_3)$$

[00121] Onde:

$$a_1 = x_2^1 - x_1^1$$

$$a_2 = y_2^1 - y_1^1$$

$$a_3 = z_2^1 - z_1^1$$

$$b_1 = x_2^2 - x_1^2$$

$$b_2 = y_2^2 - y_1^2$$

$$b_3 = z_2^2 - z_1^2$$

[00122] Multiplicando vetores a e b de acordo com a equação abaixo proporcionaria um vetor c que é perpendicular a ambas as linhas (242) e (244):

$$\vec{c} = [\vec{a} \times \vec{b}] = \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ a_1 & a_2 & a_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \end{vmatrix} = \vec{i} * (a_2 * b_3 - b_2 * a_3) + \vec{j} * (b_1 * a_3 - a_1 * b_3) + \vec{k} * (a_1 * b_2 - b_1 * a_2)$$

[00123] Onde i , j , e k são vetores unitários direcionados ao longo dos eixos de coordenadas x , y , z .

$$\vec{c} = (c_1, c_2, c_3)$$

$$c_1 = (a_2 * b_3 - b_2 * a_3)$$

$$c_2 = (b_1 * a_3 - a_1 * b_3)$$

$$c_3 = (a_1 * b_2 - b_1 * a_2)$$

[00124] Em uma concretização, a aproximação da localização da fonte de raios-X (202) pode incluir a definição de um segmento S que se situa no vetor c e conecta as linhas (242) e (244). Como tal, o segmento S é uma perpendicular comum às linhas (242) e (244). Uma forma de fazer isso é construir um plano D que inclui uma sombra (250) do marcador (1), a primeira linha (242), e o vetor c .

Um vetor perpendicular a tal plano D é o produto da multiplicação do vetor $[a \times c]$, e pode ser expressa como:

$$\vec{n} = [\vec{a} \times \vec{c}] = \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ a_1 & a_2 & a_3 \\ c_1 & c_2 & c_3 \end{vmatrix} = \vec{i} * (a_2 * c_3 - c_2 * a_3) + \vec{j} * (c_1 * a_3 - a_1 * c_3) + \vec{k} * (a_1 * c_2 - c_1 * a_2)$$

$$n_1 = (a_2 * c_3 - c_2 * a_3)$$

$$n_2 = (c_1 * a_3 - a_1 * c_3)$$

$$n_3 = (a_1 * c_2 - c_1 * a_2)$$

[00125] Este vetor pode ser normalizado em relação a uma unidade de comprimento e expresso como:

$$\begin{aligned} \vec{n} &= \frac{\vec{n}}{\|\vec{n}\|} \\ \|\vec{n}\| &= \sqrt{(n_1)^2 + (n_2)^2 + (n_3)^2} \\ n_1 &= \frac{(a_2 * c_3 - c_2 * a_3)}{\|\vec{n}\|} \\ n_2 &= \frac{(c_1 * a_3 - a_1 * c_3)}{\|\vec{n}\|} \\ n_3 &= \frac{(a_1 * c_2 - c_1 * a_2)}{\|\vec{n}\|} \end{aligned}$$

[00126] Um plano D passando por um marcador de sombra (250) tendo coordenadas (x_1^1, y_1^1, z_1^1) e tendo um vetor perpendicular $n = (n_1, n_2, n_3)$ pode, assim, ser representado pelas seguintes equações:

$$n_1 * x + n_2 * y + n_3 * z + D = 0$$

$$D = n_1 * x_1^1 + n_2 * y_1^1 + n_3 * z_1^1$$

[00127] Uma das extremidades do segmento S pode ser o ponto de passagem onde o plano D cruza com a linha (244). Para determinar a localização do ponto de passagem, pode ser desenhado um triângulo retângulo de tal forma que sua hipotenusa G se estende ao longo da linha (244) e liga a sombra (254) do marcador (2) e o ponto de cruzamento no qual a linha (244) intercepta o plano D . Além disso, uma primeira perna R do triângulo retângulo pode ser definida por um vetor r perpendicular ao plano D e estendendo-se desde a sombra (254) do marcador (2) ao plano D . A segunda perna do triângulo retângulo pode ser definida pela projeção da hipotenusa G no plano D .

[00128] O comprimento da primeira perna R , que é a distância entre a sombra (254) do marcador (2) e o plano D , pode ser determinado por multiplicação escalar de um vetor normalizado n perpendicular do plano D e o vetor r . Neste caso, o produto desta multiplicação escalar pode ser expresso em termos das coordenadas da "sombra (254) do marcador (2)", como ilustrado na seguinte equação:

$$R = (\bar{n} \cdot r) = n_1 \cdot x_1^2 + n_2 \cdot y_1^2 + n_3 \cdot z_1^2$$

[00129] Por outro lado, o cosseno do ângulo ϕ entre o vetor r e o vetor b pode ser expresso como:

$$\cos \phi = \frac{(\bar{b} \cdot \bar{n})}{|\bar{b}| \cdot |\bar{n}|} = \frac{b_1 * n_1 + b_2 * n_2 + b_3 * n_3}{\sqrt{(b_1)^2 + (b_2)^2 + (b_3)^2} * \sqrt{(n_1)^2 + (n_2)^2 + (n_3)^2}}$$

[00130] Por conseguinte, o comprimento da hipotenusa G pode ser determinado dividindo o comprimento da primeira perna R pelo cosseno do ângulo entre a primeira perna R e a hipotenusa G :

$$G = \frac{R}{|\cos \phi|}$$

[00131] A fim de encontrar as coordenadas do ponto de cruzamento onde a linha (244) intersecta o plano D , um vetor L que se estende ao longo da linha (244) pode ser definido a partir da sombra (254) do marcador (2) e um comprimento G .

$$\vec{L} = G * \frac{\vec{b}}{\|\vec{b}\|} = \vec{i} * \frac{G * b_1}{\sqrt{(b_1)^2 + (b_2)^2 + (b_3)^2}} + \vec{j} * \frac{G * b_2}{\sqrt{(b_1)^2 + (b_2)^2 + (b_3)^2}} + \vec{k} * \frac{G * b_3}{\sqrt{(b_1)^2 + (b_2)^2 + (b_3)^2}}$$

$$\vec{L} = \vec{i} * L_1 + \vec{j} * L_2 + \vec{k} * L_3$$

[00132] Onde:

$$x' = x_1^2 + L_1$$

$$y' = y_1^2 + L_2$$

$$z' = z_1^2 + L_3$$

[00133] Estas coordenadas definem um dos pontos de extremidade de segmento S . A fim de encontrar as coordenadas do segundo ponto de extremidade do segmento S , podem ser realizados cálculos semelhantes. Em uma concretização, um plano pode ser definido ao longo da linha (244) e encontrando o ponto de cruzamento deste plano na linha (244). Em uma concretização, depois de ter definido as extremidades do segmento S , o posicionamento da fonte de raios-X (202) pode ser aproximado para ser localizado no

meio do segmento S e calculado como a média das referidas coordenadas:

$$x_{light} = \frac{x' + x''}{2}$$

$$y_{light} = \frac{y' + y''}{2}$$

$$z_{light} = \frac{z' + z''}{2}$$

[00134] Deve ser apreciado que em outras concretizações a localização aproximada da fonte de raios-X (202) pode estar em qualquer lugar entre as extremidades do segmento S . Deve ser apreciado que, enquanto o modelo matemático exemplificativo acima discutido proporciona um método eficiente e preciso de aproximação da localização da fonte de raios-X (202), outros modelos adequados de acordo com os princípios da presente invenção também podem ser usados para aproximar a localização da fonte de raios-X (202).

[00135] Uma vez que a localização 3-D da fonte de raios-X (202) na primeira e segunda orientações de imagem (220, 230) foi identificada, uma variedade de diferentes técnicas pode ser usada para criar um modelo 3-D do objeto fotografado. De acordo com uma concretização, a quantidade de deslocamento angular em torno do eixo/fotografado entre a primeira orientação de imagem (220) e a segunda orientação de imagem (230) é conhecida. Ilustrações correspondentes a esta concretização estão representadas nas Figuras 12A a 12G. A Figura 12A mostra objetos (1201) que estão sendo fotografados em duas orientações ((1220), (1230)). As imagens em duas

orientações relativas ((1220), (1230)) podem ser preparadas fazendo girar o objeto fotografado (1201) em torno de um eixo de imagem I por deslocamento angular α , ou pela rotação da fonte de raios-X e o gerador de imagens em torno do eixo de imagem (I) por um deslocamento angular (α). De um modo preferido, mas não necessário, o eixo de imagem I é paralelo ao plano do gerador de imagens de raios-X (não mostrado) na primeira orientação (1220) e ao plano do gerador de imagens de raios-X na segunda orientação (1230). A criação destas imagens em duas orientações irá resultar em duas radiografias ((1202), (1204)) que correspondem às orientações (1220), (1230), respectivamente. Também mostradas na Figura 12A estão as posições relativas das fontes de raios-X (1212) no que diz respeito às radiografias ((1202), (1204)). As posições 3-D destas fontes de raios-X (1212) podem ser determinadas com base nas sombras criadas pelos marcadores de referência sobre as radiografias ((1202), (1204)), como acima descrito, ou por quaisquer outras técnicas conhecidas na arte, tais como medir fisicamente a posição da fonte de raios-X 1 (212) em relação ao gerador de imagens (104).

[00136] Outra etapa na criação de um modelo 3-D dos objetos (1201) é a de determinar o contorno dos objetos fotografados (1201) nas radiografias. Este conceito é ilustrado na Figura 12B, em que foram identificados os contornos do objeto fotografados na primeira radiografia (1202) como contornos (1213). Da mesma forma, os contornos do objeto fotografados na segunda radiografia (1204) foram identificados como contornos (1215). Quando as radiografias

são imagens digitais armazenadas em um sistema de computador, este processo pode ser realizado automaticamente utilizando um software de processamento de imagem. De acordo com outra concretização, este processo pode ser realizado manualmente, seguindo o contorno do objeto fotografado nas radiografias com um mouse, uma caneta, ou qualquer outro dispositivo de rastreamento. Depois de determinar o contorno do objeto representado por imagem e a posição 3-D da fonte de raios-X (1212), uma projeção do contorno do objeto fotografado pode ser criada. A projeção do contorno de objeto (1213) na primeira orientação (1220) encontra-se representada na Figura 12B por linhas de projeção (308), que passam desde o contorno (1213) na primeira radiografia (1202) até a posição 3-D da fonte de raios-X (1212) na primeira orientação (1220). De igual modo, a projeção do contorno do objeto (1215) na segunda orientação (1230) está representada na Figura 12B por linhas de projeção (1216), que passam desde o contorno (1215) na segunda radiografia (1204) até a posição 3-D da fonte de raios-X (1212) na segunda orientação (1230).

[00137] Uma vez que as projeções dos objetos fotografados foram criadas para as primeira e segunda orientações ((1220), (1230)), a posição relativa das orientações ((1220), (1230)) em relação uma à outra pode ser usada para determinar como estas projeções se cruzam entre si. Isto pode ser feito de uma variedade de maneiras. De acordo com uma concretização, as projeções 3-D podem ser combinadas em um único quadro de referência 3-D correspondente ao quadro de referência (1250) x , y , z

representado nas Figuras 12A a 12E. A origem do quadro de referência (1250) x, y, z pode ser localizada ao longo do eixo de imagem I no ponto (1251) onde os raios-X a partir do emissor de raios-X (1212) na primeira orientação (1220) intersectam o eixo de imagem ortogonalmente e os raios-X a partir da fonte de raios-X (1212) na segunda orientação (1230) intersectam o eixo de imagem ortogonalmente. Como discutido acima, neste quadro de referência (1250), um ângulo α corresponde ao deslocamento angular entre as duas orientações ((1220), (1230)) em torno do eixo X , ou do eixo de imagem I . Este ângulo α pode ser determinado em uma variedade de formas. Na concretização onde a fonte de raios-X (1212) e o processador de imagens são estacionários e o objeto é girado, o ângulo α corresponde à quantidade de rotação do objeto sobre o eixo x ou do eixo de imagem I , como mostrado nas Figuras 2A e 2B. Em uma concretização alternativa em que o objeto permanece estacionário, mas a fonte de raios-X (1212) e o processador de imagens são girados sobre o objeto, o ângulo α corresponde à quantidade de rotação da fonte de raios-X (1212) e do gerador de imagens sobre o eixo de imagem I mostrado nas Figuras 2A e 2B. Ao rodar a fonte de raios-X (1212) e o gerador de imagens sobre os objetos fotografados (1201), pode ser preferido, mas não necessário, que a posição da fonte de raios-X (1212) seja fixa em relação à posição do gerador de imagens. Além disso, pode ser preferido, mas não necessário, que as radiografias ((1202), (1204)) sejam feitas em orientações ((1220), (1230)) que são substancialmente ortogonais em relação uma à outra. Usando o deslocamento angular e uma das projeções dos contornos

acima descritos, as posições relativas das radiografias ((1202), (1204)) e as suas projeções correspondentes podem ser alinhadas entre si.

[00138] Os ângulos β e γ correspondem ao deslocamento angular da primeira radiografia (1202) no que diz respeito à segunda radiografias (1204) sobre os eixos z- e y-, respectivamente. Como discutido acima, em algumas concretizações, as primeira e segunda orientações relativas (1220) e (1230) são substancialmente ortogonais em relação uma à outra, e nestas concretizações, os ângulos β e γ pode ser substancialmente zero. Em concretizações em que primeira e a segunda orientações relativas (1220) e (1230) não são substancialmente ortogonais, a primeira e a segunda radiografias ((1202), (1204)) podem ser ainda mais alinhadas em ângulos β e γ usando uma variedade de abordagens, incluindo as abordagens iterativas a serem descritas na divulgação presente. Deve ser apreciado que, embora seja opcional alinhar as radiografias ((1202), (1204)) em ângulos β e γ , isso pode permitir um modelo mais preciso 3-D do objeto (1201).

[00139] A Figura 12C mostra que as radiografias ((1202), (1204)) dos objetos fotografados (1201), bem como as projeções 3-D dos objetos fotografados (1201), pode ser intersectada por uma pluralidade de planos, incluindo planos (1231), (1232), e (1234). Cada um destes planos passa através de uma primeira posição 3-D no quadro de referência 3-D, que corresponde à localização da fonte de raios-X (1212) na primeira orientação (1220), e uma segunda posição 3-D no quadro de referência 3-D que corresponde à

localização da fonte de raios-X (1212) na segunda orientação (1230). A Figura 12C também mostra uma inclinação do eixo principal (1236) que passa entre as primeira e segunda posições 3-D no quadro de referência 3-D. Cada um dos planos (1231), (1232), e (1234) e tem uma inclinação diferente sobre o eixo de inclinação (1236), de tal modo que eles intersectam os contornos do objeto fotografado (1201) nas primeira e segunda radiografias ((1202), (1204)). A localização das interseções entre o plano (1231) e os contornos da imagem nas primeira e segunda radiografias ((1202), (1204)) é marcado com pontos (318). A localização das interseções entre o plano (1232) e os contornos da imagem nas primeira e segunda radiografias ((1202), (1204)) é marcada com pontos (1240). A localização das interseções entre o plano (1234) e os contornos da imagem na primeira e na segunda radiografias ((1202), (1204)) é marcada com pontos (1244).

[00140] Na Figura 12D, cada um dos pontos de interseção, (1238), (1240), e (1242) está conectado à localização da fonte de raios-X (1212) no quadro de referência 3-D (1250) nas orientações correspondentes (120, 150). Por conseguinte, os pontos de interseção (1238), (1240), (1242) na radiografia (1202) estão ligados por linhas (324) ao primeiro local 3-D no quadro de referência 3-D (1250), que corresponde à localização da fonte de raios-X (1212) na primeira orientação (1220). De igual modo, os pontos de interseção (1238), (1240), (1242) e (1204) na radiografia estão ligados por linhas (1256) ao segundo local 3-D no quadro de referência 3-D (1250), que

corresponde à localização da fonte de raios-X (1212) na segunda orientação (1230). As quatro linhas de interseção do conjunto de pontos (1238) das primeira e segunda radiografias ((1202), (1204)) também se cruzam uns com os outros para formar um polígono (1258) no quadro de referência 3-D (1250). Da mesma forma, as quatro linhas que intersectam o conjunto de pontos (1240) nas primeira e segunda radiografias ((1202), (1204)) também se cruzam uns com os outros para formar um polígono (1258) no quadro de referência 3-D (1250). Além disso, as quatro linhas que intersectam o conjunto de pontos (1242) na primeira e na segunda radiografias ((1202), (1204)) também se cruzam entre si para formar um polígono (1258) no quadro de referência 3-D (1250).

[00141] Na Figura 12e, o processo de definição dos polígonos (1258) pode ser utilizado para um ou mais planos alinhados com o eixo de inclinação (1236) até que uma resolução suficiente seja atingida, ou não sejam identificadas mais interseções com os objetos fotografados (1201). Cada um desses polígonos (1258) corresponde à interseção entre as projeções de objetos 3-D na primeira e segunda orientações (1202, 1204) no quadro de referência 3-D (1250).

[00142] Após a criação de uma série de polígonos (1258) que correspondem às interseções das projeções 3-D, os polígonos (1258) podem ser convertidos em curvas fechadas (por exemplo, elipses) (1290), que correspondem à forma da seção transversal dos objetos fotografados (1201) representados na Figura 12F. É

preferível, mas não obrigatório, que a forma geral e a orientação dos objetos (1201) fotografados sejam conhecidas antes de converter a série de polígonos (1258) em curvas fechadas (1290). Por exemplo, se o objeto fotografado, como um osso, tem uma seção transversal geralmente elíptica, então os polígonos (1258) podem ser substituídos por curvas fechadas (1290), tais como elipses, que estão localizadas dentro de cada um dos polígonos. Por outro lado, se o objeto fotografado tem uma forma não simétrica, em seguida, outra informação sobre o objeto com imagens (por exemplo, a sua forma, de seção transversal, orientação, etc.) pode ser usada para criar um modelo preciso 3-D do objeto. Uma vez que os polígonos (1258) tenham sido substituídos por formas correspondentes (1290) (por exemplo, curvas ou elipses fechadas), uma superfície de ligação destas formas pode ser preparada. Esta superfície pode representar um modelo 3-D preciso (1292) do objeto fotografado, conforme mostrado na Figura 12G. Em algumas concretizações, a precisão do modelo 3-D (332) pode ser aumentada modificando o modelo (1292) de acordo com formas conhecidas armazenadas em uma biblioteca de imagem.

[00143] Como discutido acima, se a primeira e a segunda orientações relativas (1220) e (1230) não são substancialmente ortogonais, os ângulos β e γ pode ser determinados utilizando a abordagem iterativa, em conformidade com os princípios da presente invenção. Em uma concretização exemplificativa, radiografias ((1202), (1204)) podem ser orientadas em ângulos β e γ por primeiras radiografias de alinhamento (1202, 1204) com um α

conhecido, e, em seguida, pela criação de vários modelos de ensaio 3-D dos objetos fotografados (1201), alinhando radiografias ((1202), (1204)) em vários ângulos β e γ , e, finalmente, identificando um modelo 3-D que iria produzir projeções 2-D que correspondem substancialmente aos contornos do objeto fotografado (1201) na primeira e segunda radiografias (1202) e (1204). Os modelos de teste dos objetos (1201) podem ser criados de acordo com a abordagem descrita acima com respeito às Figuras 12C a 12G para proporcionar uma melhor precisão. Deve ser apreciado, no entanto, que os vários modelos de ensaio podem ser gerados de acordo com qualquer técnica adequada de criação de modelos conhecida na arte.

[00144] De acordo com outra concretização, um modelo 3-D de um objeto pode ser criado em um quadro de referência fixo, mesmo quando o deslocamento angular α entre as duas orientações de imagem ((1220), (1230)) não é conhecido. Ilustrações correspondentes a esta concretização estão representadas nas Figuras 13A a 13E. Muito similarmente ao processo anteriormente descrito, em que o deslocamento angular α é conhecido, são preparadas duas radiografias do objeto em diferentes orientações. Cada um destas radiografias inclui uma imagem do objeto (1301) com os marcadores dos objetos a ele ligados. O pelo menos um marcador de objeto (1342) pode ser ligado ao objeto (1301), direta ou indiretamente, e o número de marcadores de objetos (1342) pode variar dependendo do número de fiduciais que cada um contém. Em uma concretização exemplificativa, um total de pelo menos três fiduciais é

incluído no pelo menos um marcador de objeto (1342). Os pelo menos três fiduciais podem ser colocados em um marcador de objeto (1342), ou distribuídos entre uma pluralidade de marcadores de objetos (1342), tais como dois ou três marcadores objeto (1342). Em uma outra concretização exemplificativa, um total de quatro ou mais fiduciais é incluído no pelo menos um marcador de objeto (1342), e os quatro ou mais fiduciais podem ser encerrados em um marcador (1342) ou distribuídos entre uma pluralidade de marcadores de objetos (1342), tal como, dois, três, quatro, ou mais, dependendo do número específico de fiduciais.

[00145] Uma ilustração de objetos (1301) com os marcadores de objeto representativos (1342) a ele ligados está representada na Figura 13A. Na Figura 13 A, cada um dos objetos fotografados (1301) inclui quatro marcadores de objetos (1342) ligados a ele, e cada um destes marcadores de objetos (1342) inclui um fiducial (1344). De acordo com uma primeira abordagem de utilizar o marcador de objeto (1342) para criar um modelo de objetos (1301) em um quadro de referência fixo, o número e tipo de marcador de objeto (1342) pode variar, desde que haja pelo menos três fiduciais (1344), direta ou indiretamente ligados a pelo menos um dos objetos fotografados (1301). Por exemplo, em uma concretização, um marcador de objeto (1342) pode compreender três fiduciais (1344). Em outra concretização exemplificativa, dois marcadores de objetos (1342) podem ser utilizados, cada um compreendendo dois fiduciais (1344). Em ainda outra concretização exemplificativa, três

marcadores de objetos (1342) podem ser utilizados, cada um compreendendo um fiducial (1344). Enquanto três fiduciais (1344) podem ser utilizados em algumas concretizações, deve ser apreciado que concretizações usando quatro ou mais fiduciais (1344) podem ser mais desejáveis, por razões que serão discutidas abaixo. Deve ser ainda apreciado que de acordo com a primeira abordagem de utilizar o marcador de objeto (1342) para criar um modelo de objetos (1301) em um quadro de referência fixo, as posições dos fiduciais (1344) em relação um ao outro são predeterminadas. Em uma concretização ilustrativa, podem ser tomadas medidas para determinar o comprimento e orientação dos segmentos entre fiduciais (1344). Em outra concretização, os marcadores de objetos (1342) podem ser colocados em orientações predeterminadas de tal modo que as posições dos fiduciais (1344) em relação um ao outro podem ser predeterminadas. Como tal, os segmentos entre os fiduciais (1344) podem ser matematicamente determinados.

[00146] Na concretização representada na Figura 13A, as imagens dos marcadores de objetos (1342) estão retratadas nas radiografias correspondentes (1302) e (1304). Após receber as duas radiografias, a posição 3-D da fonte de raios-X (1312) com respeito ao gerador de imagens de raios-X pode ser determinada para cada orientação de imagem (1320, 1330) de acordo com os princípios descritos na presente divulgação. Em particular, essas determinações podem basear-se na utilização de marcadores fiduciais de referência e da mesma maneira que é descrita em relação às concretizações anteriores. Da mesma forma, os contornos de

objetos fotografados (1301) e pontos de sombra (1306) de fiduciais (1344) nas primeira e segunda radiografias ((1302), (1304)) podem ser identificados utilizando as mesmas técnicas descritas na concretização anterior. Neste ponto, diferentes passos podem ser utilizados para preparar um modelo 3-D dos objetos (1301) fotografados utilizando os marcadores de objetos (1342) e fiduciais (1344).

[00147] Geralmente, a primeira abordagem de utilizar o marcador de objeto (1342) para criar um modelo de objetos (1301) em um referencial fixo inclui a construção de linhas de projeção (1340) que ligam os pontos de sombra (1306) em radiografias ((1302), (1304)) e a localização da fonte de raios-X (1312) nas suas respectivas orientações de imagem ((1320), (1330)), como representado na Figura 13B. As posições 3-D dos fiduciais (1344) relativamente a cada radiografia ((1302), (1304)) podem ser matematicamente determinadas com base nas orientações das linhas de projeção (410) e segmentos predeterminados entre os fiduciais (1344). Por sua vez, o deslocamento angular α entre as duas orientações de imagem (220), (230) pode ser determinado através do alinhamento das posições 3-D dos fiduciais (1344) em um quadro de referência fixo. Uma vez que o ângulo α de deslocamento tenha sido identificado, o processo de criação de um modelo 3-D do objeto fotografado pode continuar da mesma maneira como foi descrita relativamente às Figuras 12C a 12G.

[00148] Deve ser apreciado que a determinação das posições 3-D dos fiduciais (1344) relativamente a cada radiografia ((1302), (1304)) pode ser conseguida de acordo

com uma variedade de abordagens matemáticas. Uma abordagem matemática exemplificativa é explorada com referência à Figura 13C. Como discutido acima, marcadores (não mostrados) podem ser fixos a um objeto (não mostrado) de tal modo que as posições de três fiduciais (1344) em relação um ao outro podem ser predeterminadas. Na concretização ilustrada na Figura 13C, pontos de sombra (1306) dos fiduciais (1344) na radiografia (304) podem ser utilizados para construir as linhas de projeção (1340), que geometricamente, podem cooperar para formar uma pirâmide de três lados. Além disso, uma vez que as posições dos correspondentes fiduciais (1344) em relação um ao outro foram predeterminadas, as dimensões de um triângulo (1308) formado pela ligação das posições 3-D dos fiduciais (1344) podem também ser determinadas matematicamente. Como tal, podem ser estabelecidos os seguintes elementos geométricos como mostrados na Figura 13C: coordenadas (L) da fonte de luz (1312), coordenadas (K, M, N) de pontos de sombra (406), e comprimentos das pernas (a, b, c) do triângulo (1308). Para determinar a posição 3-D e orientação do triângulo (1308), a abordagem exemplificativa da Figura 13C pode incluir rotacionar e "mover" o triângulo (1308) dentro da pirâmide até atingir uma posição em que as dimensões do triângulo (1308) e o contorno exterior da pirâmide se ajustem. Com base em técnicas de triangulação e trigonométricas conhecidas, o posicionamento do triângulo (1308) pode corresponder à seguinte solução para o sistema de equações:

$$\begin{cases} a^2 = x^2 + y^2 - 2xy \cos \alpha \\ b^2 = y^2 + z^2 - 2yz \cos \beta \\ c^2 = z^2 + x^2 - 2zx \cos \gamma \end{cases}$$

em que, os ângulos KLM, MLN, KLN correspondem a α , β , e γ , respectivamente, e x , y , z correspondem à distância entre a fonte de luz (1312) e os fiduciais (1344). Matematicamente, este sistema de equações tem oito diferentes soluções, mas alguns deles podem incluir números complexos e negativos, e, portanto, podem ser eliminados. Como tal, pode haver duas soluções restantes que podem refletir corretamente a posição dos fiduciais (1344). É, no entanto, difícil determinar matematicamente que uma em duas soluções remanescente é correta. Em uma concretização, os modelos 3-D do objeto de imagem baseado em ambas as soluções podem ser apresentados a uma pessoa, que pode, então, determinar visualmente e selecionar o modelo que corresponde à orientação do objeto fotografado. Na aplicação ortopédica, a pessoa que seleciona o modelo de harmonização pode ser um médico.

[00149] Para melhor agilizar o processo de criação de modelos, o envolvimento de uma pessoa para selecionar um modelo correto como discutido acima pode ser reduzido ou eliminado de acordo com as abordagens divulgadas com respeito às Figuras 13 D e 13E. De um modo geral, o modelo matemático acima discutido pode ser modificado para incluir a consideração de fiduciais adicionais. De acordo com a abordagem ilustrada, um

fiducial extra (1344) é usado de tal modo que existem quatro fiduciais (1344) utilizados em vez de três, e, como resultado, quatro pirâmides de três lados diferentes podem ser construídas com base em quatro conjuntos diferentes de pontos de sombra (1306) trigêmeos. Para cada pirâmide de três lados, várias soluções podem estar disponíveis. Em uma concretização, as diferentes soluções podem ser comparadas entre si, e uma solução final pode ser escolhida de acordo com uma medida matemática conhecida na arte. Por exemplo, a solução que tem o menor desvio de outras soluções pode ser escolhida para determinar as posições 3-D dos fiduciais (1344) no que diz respeito à radiografia (1304). Em outro exemplo, uma média de todas as soluções pode ser escolhida para determinar as posições 3-D dos fiduciais (1344).

[00150] As abordagens acima discutidas podem ser repetidas para determinar as posições 3-D dos fiduciais (1344) no que diz respeito à outra radiografia (1302). Ao fazê-lo, as posições 3-D dos fiduciais (1344) podem ser determinadas relativamente aos dois sistemas de coordenadas diferentes de acordo com a abordagem acima. Além disso, através do alinhamento dos fiduciais nos dois sistemas, a translação e a orientação de rotação ($x, y, z, \alpha, \beta, \gamma$) das primeira e segunda radiografias podem ser determinadas em um único quadro de referência fixo de coordenadas, como ilustrado na Figura 13B. Em algumas concretizações, através da determinação das posições 3-D dos fiduciais (1344) em um quadro de referência fixo, e tendo em conta a orientação relativa predeterminada das fiduciais (1344) para o objeto

no espaço 3-D, a posição 3-D do objeto pode agora ser determinada no quadro de referência fixo.

[00151] Deve ser apreciado que, embora as abordagens exemplificativas descritas acima podem ser implementadas utilizando-se três ou quatro fiduciais (1344) para fornecer um método eficiente e preciso de consideração para a translação e a orientação de rotação ($x, y, z, \alpha, \beta, \gamma$) da primeira radiografia (1302) em relação à segunda radiografia (1304), outros números de fiduciais (1344) podem ser utilizados em outras abordagens, de acordo com o princípio da presente divulgação. Para permitir uma maior precisão e/ou acuidade, podem ser utilizados cinco ou mais fiduciais. Por exemplo, oito fiduciais podem ser usados em uma concretização, como mostrada na Figura 13A. Em tal caso, pode haver 56 combinações de tripletos fiduciais. Com pelo menos duas soluções possíveis para cada combinação, pode haver pelo menos 112 diferentes soluções possíveis para as posições dos fiduciais (1344). Uma solução final pode ser escolhida de acordo com o seguinte algoritmo exemplificativo, que é baseado em uma análise matemática de todas as possíveis posições dos fiduciais (1344):

- 1) Determinar todas as possíveis posições de 3-D de cada fiducial (1344) com base em todas as possíveis soluções obtidas tal como discutido acima.

- 2) Determinar as posições médias em 3-D de cada fiducial (1344).

- 3) Determinar os desvios de todas as posições 3-D potenciais de cada fiducial (1344) a partir da respectiva posição média 3-D determinada no passo 2.

4) Identificar uma posição menos provável 3-D que corresponde à posição 3-D que se desvia mais da respectiva posição média 3-D determinada no passo 2.

5) Eliminar a solução que resultou na posição 3-D menos provável.

6) Repetir os passos 1 a 5 até que o desvio de cada uma das posições 3-D potenciais remanescente dos fiduciais (1344) tenha um desvio em relação à respectiva posição média 3-D inferior a um critério (por exemplo, 2 mm, 5 mm, 10 m, etc.).

7) Aproximar a posição 3-D de cada fiducial (1344) da média de cada posição 3-D potencial remanescente dos fiduciais (1344).

[00152] Deve ser apreciado que o algoritmo acima permite uma aproximação precisa para as posições dos fiduciais (1344), e pode ser modificado de acordo com os princípios aqui discutidos e qualquer técnica matemática conhecida na arte. Por exemplo, em uma concretização exemplificativa, o algoritmo pode ser modificado para incluir ainda a determinação do desvio entre as posições possíveis de cada fiducial (1344) e eliminar soluções potenciais com base em desvios da média e variância.

[00153] Considerações Práticas

[00154] Após o dispositivo ortopédico ser capturado nas radiografias em conjunto com um objeto, o contorno do dispositivo ortopédico pode ser determinado manualmente ou utilizando um software gráfico adequado. Por

exemplo, um médico pode contornar manualmente o dispositivo ortopédico e entrar com essa informação em um computador. Em outra concretização, o contorno do dispositivo ortopédico pode ser gerado automaticamente pelo software de reconhecimento de padrões. O contorno do dispositivo ortopédico pode, por sua vez, ser utilizado para determinar um modelo 3-D do objeto de acordo com a presente divulgação.

[00155] Deve ser apreciado que em algumas concretizações, uma sombra visível pode abranger mais do que um pixel em uma radiografia digital. Por conseguinte, a localização precisa da sombra visível pode ser aproximada utilizando um modelo de aproximação. A Figura 7 é um fluxograma que ilustra a abordagem de um modelo de aproximação (700) exemplificativo. O modelo de aproximação (700) inclui um passo (702) para definir uma pluralidade de regiões de pixel controladas cada uma compreendendo uma pluralidade de pixels. A pluralidade de pixels de cada região de pixel controlada pode corresponder aos locais em que é mais provável que cada sombra visível esteja localizada. Por exemplo, uma região definida de pixel controlado pode incluir uma grade de 3x3 de nove pixels em torno de uma sombra visível. Em outro exemplo, uma região definida de pixel controlado pode incluir uma grade 4x4 de 16 pixels em torno de uma sombra visível. O modelo exemplificativo (700) pode incluir um passo (704) para atribuir arbitrariamente múltiplas combinações de localizações possíveis de sombra com base em diferentes conjuntos de pixels, cada conjunto de pixels compreendendo

um pixel a partir de cada região definida de pixel controlado. O modelo exemplificativo (700) pode incluir um passo (706) para determinar o local de um ponto de referência desejado para cada combinação de localizações atribuídas de sombra. Por exemplo, o ponto de referência desejado pode ser um centro de um anel. Em uma concretização, todas as combinações de posições de sombra são atribuídas e utilizadas para determinar uma localização para o ponto de referência desejado. Em outra concretização, as combinações selecionadas únicas de locais de sombra são atribuídas e utilizadas para determinar uma localização para o ponto de referência desejado. O modelo exemplificativo (700) pode ainda incluir um passo (708) para processar a primeira e segunda posições do ponto de referência desejado utilizando um critério objetivo para determinar uma localização aproximada do centro do anel. Em uma concretização exemplificativa, o critério objetivo do passo (708) pode incluir a uma ou mais medições matemáticas conhecida na arte, tal como média, mediana, desvio, desvio padrão, ou qualquer combinação das mesmas. Em uma concretização exemplificativa, locais com diferenças de mais do que 0,01 mm podem todos ser filtrados. Nos casos em que nenhuma das combinações de regiões escolhidas fornece a precisão, pode ser usada a combinação com a menor diferença no anel de posicionamento de centro.

[00156] A Figura 8 é um diagrama esquemático mostrando um modelo de uma unidade em um sistema combinado de coordenadas 3-D (850). Como discutido acima relativamente às Figuras 2A-B, o primeiro e segundo

sistemas de coordenadas 3-D são individualmente criados com base em duas radiografias e compreendem primeiro e segundo planos (801) e (802), respectivamente. O primeiro e segundo sistemas de coordenada 3-D são combinados para criar o sistema de coordenadas 3-D (850) combinado. Os primeiro e segundo planos (801) e (802) estão alinhados em um ângulo tal que as coordenadas dos primeiro e segundo pontos de referência no primeiro e segundo sistemas de coordenadas 3-D coincidem.

[00157] A Figura 9 é um modelo de um primeiro segmento de objeto (910) acoplado ao primeiro anel (901) de um dispositivo de fixação (900) e um segundo segmento de objeto (920) acoplado ao segundo anel (902) do dispositivo de fixação (900). O modelo baseia-se no sistema de coordenadas 3-D combinado (850) gerado utilizando o método discutido acima. Em algumas concretizações, o modelo da Figura 8 permite a determinação da orientação do primeiro segmento de osso (910) em relação à orientação do segundo segmento (920). Em particular, o modelo permite determinar matematicamente a orientação relativa do primeiro e segundo segmentos de osso (910) e (920) com base em várias orientações do primeiro anel (901) em relação ao segundo anel (902).

[00158] Esta divulgação descreveu o uso de duas orientações de imagem que são substancialmente ortogonais em relação uma à outra ou orientações não ortogonais. A escolha entre estas duas concretizações pode depender de uma variedade de fatores, incluindo as limitações de equipamentos e interesse ou falta de interesse pelas

imagens de certas orientações. Além disso, mais do que duas orientações de imagem podem ser utilizadas de acordo com o âmbito da presente revelação. Ao usar mais do que duas orientações de imagem, a precisão do modelo 3-D do quadro e do tecido pode ser melhorada.

[00159] Uma vez que um modelo do quadro 3-D e os segmentos de tecido tenham sido criados, um médico ou cirurgião pode mais facilmente compreender a natureza da fratura e o grau de fixação, de compressão, ou tração (ou outra força) que deve ser aplicada aos segmentos de tecido, a fim de alcançar o resultado desejado. É contemplado que o modelo 3-D de um anel imobilizador hexápode pode ser acoplado com um controlador de quadro automatizado de modo a que comandos de fixação, compressão, ou tração desejados podem ser automaticamente implementados.

[00160] Como discutido acima, um modelo 3-D de um objeto pode ser gerado a partir de radiografias do objeto. A Figura 10 é um diagrama esquemático de um sistema (1000) operável para gerar digitalmente um modelo 3-D de um objeto com imagens (não mostrado) em conformidade com os princípios da presente invenção. O sistema (1000) pode incluir uma estação de trabalho de computador (1002) que pode funcionar para receber radiografias de objeto fotografado, e a estação de trabalho de computador (1002) pode incluir um ou mais microprocessadores/controladores em comunicação com uma variedade de dispositivos auxiliares. Em uma concretização, o sistema (1000) pode incluir um gerador de imagens de raios-X (1004) em comunicação com a estação de trabalho do computador (1002), e o gerador de

imagens de raios-X (1004) é operável para receber luz de raios-X a partir de uma fonte de raios-X (1006) passando através do objeto fotografada. O gerador de imagens de raios-X (1004) pode ser operável para gerar uma radiografia diretamente, ou pode ser operável para transmitir dados de imagem para o computador de estação de trabalho (1002), que pode, em seguida, gerar a imagem de raios-X. Em outra concretização, o sistema (1000) pode incluir um scanner (1008), em comunicação com a estação de trabalho (1002), e o scanner (1008) pode ser operável para digitalizar uma película de raios-X fotografada em radiografia. Em algumas concretizações, o sistema (1000) pode ainda incluir um visor (1010) em comunicação com a estação de trabalho (1002), e o visor (1010) pode ser uma tela LCD, um monitor CRT, ou qualquer outro dispositivo de visualização conhecido na arte. A estação de trabalho (1002) pode ser configurada para exibir a radiografia digitalizada a um utilizador no visor (1010), e o utilizador pode introduzir uma variedade de dados relativos à radiografia exibida como na presente memória descritiva, tais como a localização de marcadores ou esteios, a posição predeterminada dos marcadores ou esteios em relação uns aos outros. Em uma concretização exemplificativa, o sistema (1000) inclui um ou mais dispositivos de entrada (1012), tal como um mouse, caneta de luz e/ou um teclado, em comunicação com a estação de trabalho (1002), e o utilizador pode introduzir os dados utilizando o dispositivo de entrada (1012). Com base nos dados de entrada do utilizador e, nos dados de imagem, o microprocessador ou controlador da estação de trabalho (1002) pode gerar um modelo 3-D do objeto com imagens de

acordo com a presente divulgação. Em algumas concretizações, o sistema (1000) pode incluir adicionalmente um dispositivo de saída (1014), tal como uma impressora, que pode funcionar para fornecer vários dados do modelo, os resultados dos cálculos, imagens ou de gráficos para o utilizador. O sistema (1000) pode ainda incluir um módulo de armazenamento (1016) para armazenar vários dados de modelo, os resultados dos cálculos, imagens ou gráficos para uso posterior.

[00161] A Figura 11 é um diagrama esquemático de uma aplicação do sistema ilustrado na Figura 10. A presente concretização digital gera um modelo 3-D de um objeto fotografado, em conformidade com os princípios da presente invenção. Um paciente pode estar sentado ou deitado em uma mesa (1101). Em outras concretizações, o paciente pode estar sentado em uma cadeira em vez da tabela (1101). A superfície da mesa (1101) pode ser do mesmo material que um gerador de imagens. Alternativamente, um gerador de imagens pode ser colocado sobre a superfície da mesa (1101) e abaixo do paciente. Uma área a ser examinada com um raio-X e radiografada, uma perna na presente concretização, está rodeada com um imobilizador ortopédico (1109). A perna cercada com o imobilizador ortopédico (1109) é radiografada com um aparelho de raios-X (1102) de acordo com os princípios da presente invenção. A perna cercada com o imobilizador ortopédico (1109) pode ser radiografada de diferentes orientações, com o dispositivo de raios-X (1102), que pode girar em direções x, y, e z.

[00162] Os dados radiografados são transmitidos ao computador local de um utilizador (1107) por meio de cabos (não mostrados) ou através da internet sem fios ou qualquer outra rede adequada. Máquina local do utilizador (1107) é um computador de mesa regular no presente modo de realização, mas podem ser qualquer dispositivo de computação, como ilustrado, como a estação de trabalho de computador (1002) da Figura 10. O computador local de um utilizador (1107) pode ser equipado com um processador e uma memória para receber, processar e armazenar os dados de raio-X. O computador local de um utilizador (1107) pode ser conectado a um monitor (1103) que exhibe os dados de raio-X como imagens. O computador local de um utilizador (1107) pode ser conectado a um mouse (1104), um teclado (não mostrado), e um scanner/impressora (1108). O scanner/impressora (1108) é operável para digitalizar imagens de raios-X ou imprimir dados de raios-X transmitidos. Dados de raios-X também podem ser alimentados na máquina local do usuário (1107) com um CD, uma unidade de universal serial bus (USB) (1105), ou qualquer outro dispositivo de memória, como disquetes.

[00163] A posição 3-D da perna e do imobilizador do paciente será determinada de acordo com os métodos divulgados. O usuário pode então processar os dados de raio-X transmitidos e determinar os ajustes necessários que devem ser feitos no imobilizador ortopédico (1109). Com base nessas determinações, o usuário pode usar uma chave programável (1106) que está conectada à máquina local do usuário (1107) para ajustar automaticamente o imobilizador

ortopédico (1109) apertando ou afrouxando seus pontos de conexão. Em alternativa, o utilizador, provavelmente, um médico ou um membro do pessoal médico, pode ajustar manualmente o imobilizador ortopédico (1109) com base nos dados de raios-X transmitidos.

[00164] Deverá ser entendido que concretizações particulares aqui descritas são mostradas a título de ilustração e não como limitações da invenção. As principais características da presente invenção podem ser empregadas em várias concretizações sem sair do âmbito da invenção. Os peritos na arte reconhecerão, ou serão capazes de determinar usando não mais do que experimentação de rotina, numerosos equivalentes para os procedimentos específicos aqui descritos. Tais equivalentes são considerados como estando dentro do âmbito deste invento e cobertos pelas reivindicações.

[00165] Todas as publicações e pedidos de patente mencionados na especificação são indicativos do nível de perícia dos peritos na arte à qual este invento pertence. Todas as publicações e pedidos de patente são aqui incorporados por referência na mesma extensão como se cada publicação ou pedido de patente particular fosse especificamente e individualmente indicado para ser incorporado por referência.

[00166] Embora os métodos e sistemas da presente invenção tenham sido descritos em termos de concretizações preferidas, será evidente para os peritos na arte que podem ser aplicadas variações aos métodos e sistemas e aos passos ou sequência de passos do método aqui

descrito sem afastamento do conceito, espírito e âmbito da invenção. Todos esses substitutos semelhantes e modificações aparentes para os peritos na arte são considerados como estando dentro do espírito, âmbito e conceito da invenção como definida pelas reivindicações anexas.

REIVINDICAÇÕES

1. Método de criação de um modelo 3-D de uma parte do corpo, a parte do corpo sendo acoplada a um imobilizador ortopédico, o imobilizador ortopédico compreendendo uma pluralidade de marcadores em distâncias predeterminadas ao longo do imobilizador ortopédico, o método sendo caracterizado pelo fato de compreender:

receber uma primeira radiografia da parte do corpo e do imobilizador ortopédico dispostos entre uma fonte de raios-X e um gerador de imagens de raios-X em uma primeira orientação, em que a primeira radiografia inclui uma imagem:

da parte do corpo,
do imobilizador ortopédico, e
da pluralidade de marcadores;

receber uma segunda radiografia da parte do corpo e do imobilizador ortopédico disposto entre a fonte de raios-X e o gerador de imagens de raios-X em uma segunda orientação, em que a segunda radiografia inclui uma imagem:

da parte do corpo,
do imobilizador ortopédico, e
da pluralidade de marcadores;

determinar um primeiro conjunto de projeções da pluralidade de marcadores na primeira radiografia;

determinar uma primeira posição 3-D da fonte de raios-X e uma primeira posição 3-D do imobilizador ortopédico no que se refere ao gerador de imagens de raios-X na primeira orientação, satisfazendo as seguintes equações matemáticas:

$$\left\{ \begin{array}{l} (x - x_0) * (Y_0 - y_0) - (y - y_0) * (X_0 - x_0) = 0 \\ (x - x_0) * (Z_0 - z_0) - (z - z_0) * (X_0 - x_0) = 0 \\ (x - x_1) * (Y_1 - y_1) - (y - y_1) * (X_1 - x_1) = 0 \\ (x - x_1) * (Z_1 - z_1) - (z - z_1) * (X_1 - x_1) = 0 \\ (x - x_2) * (Y_2 - y_2) - (y - y_2) * (X_2 - x_2) = 0 \\ (x - x_2) * (Z_2 - z_2) - (z - z_2) * (X_2 - x_2) = 0 \\ (x - x_3) * (Y_3 - y_3) - (y - y_3) * (X_3 - x_3) = 0 \\ (x - x_3) * (Z_3 - z_3) - (z - z_3) * (X_3 - x_3) = 0 \\ (x - x_4) * (Y_4 - y_4) - (y - y_4) * (X_4 - x_4) = 0 \\ (x - x_4) * (Z_4 - z_4) - (z - z_4) * (X_4 - x_4) = 0 \\ (x_0 - x_1)^2 - (y_0 - y_1)^2 - (z_0 - z_1)^2 - l_{01}^2 = 0 \\ (x_0 - x_2)^2 - (y_0 - y_2)^2 - (z_0 - z_2)^2 - l_{02}^2 = 0 \\ (x_0 - x_3)^2 - (y_0 - y_3)^2 - (z_0 - z_3)^2 - l_{03}^2 = 0 \\ (x_0 - x_4)^2 - (y_0 - y_4)^2 - (z_0 - z_4)^2 - l_{04}^2 = 0 \\ (x_1 - x_2)^2 - (y_1 - y_2)^2 - (z_1 - z_2)^2 - l_{12}^2 = 0 \\ (x_1 - x_3)^2 - (y_1 - y_3)^2 - (z_1 - z_3)^2 - l_{13}^2 = 0 \\ (x_1 - x_4)^2 - (y_1 - y_4)^2 - (z_1 - z_4)^2 - l_{14}^2 = 0 \\ (x_2 - x_3)^2 - (y_2 - y_3)^2 - (z_2 - z_3)^2 - l_{23}^2 = 0 \end{array} \right.$$

em que (x, y, z) são as coordenadas da fonte de raios-X, (x_0, y_0, z_0) a (x_3, y_3, z_3) são coordenadas da pluralidade de marcadores, (X_0, Y_0, Z_0) a (X_3, Y_3, Z_3) são coordenadas do primeiro conjunto de projeções da pluralidade de marcadores na primeira radiografia e l_{01} , l_{02} , l_{03} , l_{12} , l_{13} , l_{23} são as distâncias predeterminadas entre a pluralidade de marcadores para determinar entre a pluralidade de marcadores e o primeiro conjunto de projeções da pluralidade de marcadores na primeira radiografia;

determinar um segundo conjunto de projeções de uma pluralidade de marcadores sobre a segunda radiografia;

determinar uma segunda posição 3-D da fonte de raios-X e uma segunda posição 3-D do imobilizador ortopédico no que se refere ao gerador de imagens de raios-X na segunda orientação, em satisfazendo as seguintes equações matemáticas:

$$\left\{ \begin{array}{l}
('x - x_0) * ('Y_0 - y_0) - ('y - y_0) * ('X_0 - x_0) = 0 \\
('x - x_0) * ('Z_0 - z_0) - ('z - z_0) * ('X_0 - x_0) = 0 \\
('x - x_1) * ('Y_1 - y_1) - ('y - y_1) * ('X_1 - x_1) = 0 \\
('x - x_1) * ('Z_1 - z_1) - ('z - z_1) * ('X_1 - x_1) = 0 \\
('x - x_2) * ('Y_2 - y_2) - ('y - y_2) * ('X_2 - x_2) = 0 \\
('x - x_2) * ('Z_2 - z_2) - ('z - z_2) * ('X_2 - x_2) = 0 \\
('x - x_3) * ('Y_3 - y_3) - ('y - y_3) * ('X_3 - x_3) = 0 \\
('x - x_3) * ('Z_3 - z_3) - ('z - z_3) * ('X_3 - x_3) = 0 \\
('x - x_4) * ('Y_4 - y_4) - ('y - y_4) * ('X_4 - x_4) = 0 \\
('x - x_4) * ('Z_4 - z_4) - ('z - z_4) * ('X_4 - x_4) = 0 \\
(x_0 - x_1)^2 - (y_0 - y_1)^2 - (z_0 - z_1)^2 - l_{01}^2 = 0 \\
(x_0 - x_2)^2 - (y_0 - y_2)^2 - (z_0 - z_2)^2 - l_{02}^2 = 0 \\
(x_0 - x_3)^2 - (y_0 - y_3)^2 - (z_0 - z_3)^2 - l_{03}^2 = 0 \\
(x_0 - x_4)^2 - (y_0 - y_4)^2 - (z_0 - z_4)^2 - l_{04}^2 = 0 \\
(x_1 - x_2)^2 - (y_1 - y_2)^2 - (z_1 - z_2)^2 - l_{12}^2 = 0 \\
(x_1 - x_3)^2 - (y_1 - y_3)^2 - (z_1 - z_3)^2 - l_{13}^2 = 0 \\
(x_1 - x_4)^2 - (y_1 - y_4)^2 - (z_1 - z_4)^2 - l_{14}^2 = 0 \\
(x_2 - x_3)^2 - (y_2 - y_3)^2 - (z_2 - z_3)^2 - l_{23}^2 = 0
\end{array} \right.$$

em que ('x, 'y, 'z) são as coordenadas da fonte de raios-X, (x₀, y₀, z₀) a (x₃, Y₃, Z₃) são as coordenadas da pluralidade de marcadores, ('X₀, 'Y₀, 'Z₀) a ('X₃, 'Y₃, 'Z₃) são as coordenadas do segundo conjunto das projeções da pluralidade de marcadores na segunda radiografia, e l₀₁, l₀₂, l₀₃, l₁₂, l₁₃, l₂₃ são as distâncias predeterminadas entre a pluralidade de marcadores e o segundo conjunto de projeções da pluralidade de marcadores da segunda radiografia;

alinhar as primeira e segunda projeções 3-D do imobilizador ortopédico em um quadro de referência 3-D, utilizando as posições 3-D da pluralidade de marcadores em relação ao gerador de imagens de raios-X nas primeira e segunda orientações; e

criar um modelo 3-D da parte de corpo fotografada no quadro de referência 3-D com base nas primeira e segunda projeções 3-D do imobilizador ortopédico.

2. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a pluralidade de marcadores compreende uma pluralidade de juntas onde uma pluralidade de esteios é ligada pelo menos a um membro de fixação.

3. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a pluralidade de marcadores compreende cinco marcadores, e ainda em que as primeiras posições 3-D da fonte de raios-X e do imobilizador ortopédico são determinadas pelas seguintes relações:

$$\left\{ \begin{array}{l} (x - x_0) * (Y_0 - y_0) - (y - y_0) * (X_0 - x_0) = 0 \\ (x - x_0) * (Z_0 - z_0) - (z - z_0) * (X_0 - x_0) = 0 \\ (x - x_1) * (Y_1 - y_1) - (y - y_1) * (X_1 - x_1) = 0 \\ (x - x_1) * (Z_1 - z_1) - (z - z_1) * (X_1 - x_1) = 0 \\ (x - x_2) * (Y_2 - y_2) - (y - y_2) * (X_2 - x_2) = 0 \\ (x - x_2) * (Z_2 - z_2) - (z - z_2) * (X_2 - x_2) = 0 \\ (x - x_3) * (Y_3 - y_3) - (y - y_3) * (X_3 - x_3) = 0 \\ (x - x_3) * (Z_3 - z_3) - (z - z_3) * (X_3 - x_3) = 0 \\ (x - x_4) * (Y_4 - y_4) - (y - y_4) * (X_4 - x_4) = 0 \\ (x - x_4) * (Z_4 - z_4) - (z - z_4) * (X_4 - x_4) = 0 \\ (x_0 - x_1)^2 - (y_0 - y_1)^2 - (z_0 - z_1)^2 - l_{01}^2 = 0 \\ (x_0 - x_2)^2 - (y_0 - y_2)^2 - (z_0 - z_2)^2 - l_{02}^2 = 0 \\ (x_0 - x_3)^2 - (y_0 - y_3)^2 - (z_0 - z_3)^2 - l_{03}^2 = 0 \\ (x_0 - x_4)^2 - (y_0 - y_4)^2 - (z_0 - z_4)^2 - l_{04}^2 = 0 \\ (x_1 - x_2)^2 - (y_1 - y_2)^2 - (z_1 - z_2)^2 - l_{12}^2 = 0 \\ (x_1 - x_3)^2 - (y_1 - y_3)^2 - (z_1 - z_3)^2 - l_{13}^2 = 0 \\ (x_1 - x_4)^2 - (y_1 - y_4)^2 - (z_1 - z_4)^2 - l_{14}^2 = 0 \\ (x_2 - x_3)^2 - (y_2 - y_3)^2 - (z_2 - z_3)^2 - l_{23}^2 = 0 \end{array} \right.$$

satisfazendo ainda uma das seguintes relações:

$$\left\{ \begin{array}{l} (x_2 - x_3)^2 - (y_2 - y_3)^2 - (z_2 - z_3)^2 - l_{23}^2 = 0, \\ (x_2 - x_4)^2 - (y_2 - y_4)^2 - (z_2 - z_4)^2 - l_{24}^2 = 0, \\ (x_3 - x_4)^2 - (y_3 - y_4)^2 - (z_3 - z_4)^2 - l_{34}^2 = 0. \end{array} \right.$$

em que (x, y, z) são as coordenadas da fonte de raios-X, (x_0, y_0, z_0) a (x_4, y_4, z_4) são coordenadas dos cinco

marcadores, (X_0, Y_0, Z_0) a (X_4, Y_4, Z_4) são coordenadas do primeiro conjunto de projeções dos cinco marcadores na primeira radiografia e $l_{01}, l_{02}, l_{03}, l_{04}, l_{12}, l_{13}, l_{14}, l_{23}, l_{24}, l_{34}$ são as distâncias predeterminadas entre os cinco marcadores; e ainda em que

as segundas posições 3-D da fonte de raios-X e do imobilizador ortopédico são determinadas pelas relações seguintes:

$$\left\{ \begin{array}{l} ('x - x_0) * ('Y_0 - y_0) - ('y - y_0) * ('X_0 - x_0) = 0 \\ ('x - x_0) * ('Z_0 - z_0) - ('z - z_0) * ('X_0 - x_0) = 0 \\ ('x - x_1) * ('Y_1 - y_1) - ('y - y_1) * ('X_1 - x_1) = 0 \\ ('x - x_1) * ('Z_1 - z_1) - ('z - z_1) * ('X_1 - x_1) = 0 \\ ('x - x_2) * ('Y_2 - y_2) - ('y - y_2) * ('X_2 - x_2) = 0 \\ ('x - x_2) * ('Z_2 - z_2) - ('z - z_2) * ('X_2 - x_2) = 0 \\ ('x - x_3) * ('Y_3 - y_3) - ('y - y_3) * ('X_3 - x_3) = 0 \\ ('x - x_3) * ('Z_3 - z_3) - ('z - z_3) * ('X_3 - x_3) = 0 \\ ('x - x_4) * ('Y_4 - y_4) - ('y - y_4) * ('X_4 - x_4) = 0 \\ ('x - x_4) * ('Z_4 - z_4) - ('z - z_4) * ('X_4 - x_4) = 0 \\ (x_0 - x_1)^2 - (y_0 - y_1)^2 - (z_0 - z_1)^2 - l_{01}^2 = 0 \\ (x_0 - x_2)^2 - (y_0 - y_2)^2 - (z_0 - z_2)^2 - l_{02}^2 = 0 \\ (x_0 - x_3)^2 - (y_0 - y_3)^2 - (z_0 - z_3)^2 - l_{03}^2 = 0 \\ (x_0 - x_4)^2 - (y_0 - y_4)^2 - (z_0 - z_4)^2 - l_{04}^2 = 0 \\ (x_1 - x_2)^2 - (y_1 - y_2)^2 - (z_1 - z_2)^2 - l_{12}^2 = 0 \\ (x_1 - x_3)^2 - (y_1 - y_3)^2 - (z_1 - z_3)^2 - l_{13}^2 = 0 \\ (x_1 - x_4)^2 - (y_1 - y_4)^2 - (z_1 - z_4)^2 - l_{14}^2 = 0 \\ (x_2 - x_3)^2 - (y_2 - y_3)^2 - (z_2 - z_3)^2 - l_{23}^2 = 0 \end{array} \right.$$

satisfazendo ainda uma das seguintes relações:

$$\left\{ \begin{array}{l} (x_2 - x_3)^2 - (y_2 - y_3)^2 - (z_2 - z_3)^2 - l_{23}^2 = 0, \\ (x_2 - x_4)^2 - (y_2 - y_4)^2 - (z_2 - z_4)^2 - l_{24}^2 = 0, \\ (x_3 - x_4)^2 - (y_3 - y_4)^2 - (z_3 - z_4)^2 - l_{34}^2 = 0. \end{array} \right.$$

em que (x, y, z) são as coordenadas da fonte de raios-X, (x_0, y_0, z_0) a (x_4, Y_4, Z_4) são as coordenadas dos cinco marcadores, (X_0, Y_0, Z_0) a (X_3, Y_3, Z_3) são as coordenadas do segundo conjunto das projeções dos cinco

marcadores na segunda radiografia, e l_{01} , l_{02} , l_{03} , l_{04} , l_{12} , l_{13} , l_{14} , l_{23} , l_{24} , l_{34} são as distâncias predeterminadas entre os cinco marcadores.

4. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a pluralidade de marcadores compreende quatro marcadores, e ainda em que as primeiras posições 3-D da fonte de raios-X e do objeto são determinadas pelas seguintes relações:

$$\begin{cases} (x_0 - x_1)^2 - (y_0 - y_1)^2 - (z_0 - z_1)^2 - l_{01}^2 = 0 \\ (x_0 - x_2)^2 - (y_0 - y_2)^2 - (z_0 - z_2)^2 - l_{02}^2 = 0 \\ (x_0 - x_3)^2 - (y_0 - y_3)^2 - (z_0 - z_3)^2 - l_{03}^2 = 0 \\ (x_1 - x_2)^2 - (y_1 - y_2)^2 - (z_1 - z_2)^2 - l_{12}^2 = 0 \\ (x_1 - x_3)^2 - (y_1 - y_3)^2 - (z_1 - z_3)^2 - l_{13}^2 = 0 \\ (x_2 - x_3)^2 - (y_2 - y_3)^2 - (z_2 - z_3)^2 - l_{23}^2 = 0 \end{cases}$$

em que (x_0, y_0, z_0) a (x_3, y_3, z_3) são coordenadas dos quatro marcadores e l_{01} , l_{02} , l_{03} , l_{12} , l_{13} , l_{23} são as distâncias predeterminadas entre os quatro marcadores; e ainda em que

as segundas posições 3-D da fonte de raios-X e do imobilizador ortopédico são determinadas pelas seguintes relações:

$$\begin{cases} (x_0 - x_1)^2 - (y_0 - y_1)^2 - (z_0 - z_1)^2 - l_{01}^2 = 0 \\ (x_0 - x_2)^2 - (y_0 - y_2)^2 - (z_0 - z_2)^2 - l_{02}^2 = 0 \\ (x_0 - x_3)^2 - (y_0 - y_3)^2 - (z_0 - z_3)^2 - l_{03}^2 = 0 \\ (x_1 - x_2)^2 - (y_1 - y_2)^2 - (z_1 - z_2)^2 - l_{12}^2 = 0 \\ (x_1 - x_3)^2 - (y_1 - y_3)^2 - (z_1 - z_3)^2 - l_{13}^2 = 0 \\ (x_2 - x_3)^2 - (y_2 - y_3)^2 - (z_2 - z_3)^2 - l_{23}^2 = 0 \end{cases}$$

em que (x_0, y_0, z_0) a (x_3, y_3, z_3) são as coordenadas dos quatro marcadores e l_{01} , l_{02} , l_{03} , l_{12} , l_{13} , l_{23} são as distâncias predeterminadas entre os quatro marcadores.

5. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a pluralidade de marcadores compreende quatro marcadores, e ainda em que as primeiras posições 3-D da fonte de raios-X e do imobilizador ortopédico são determinadas pelas relações seguintes:

$$\left\{ \begin{array}{l}
 \begin{array}{l}
 |x_0 - x \quad y_0 - y \quad z_0 - z| \\
 |X_0 - x \quad Y_0 - x \quad Z_0 - z| \\
 |X_1 - x \quad Y_1 - y \quad Z_1 - z| \\
 |x_1 - x \quad y_1 - y \quad z_1 - z| \\
 |X_0 - x \quad Y_0 - x \quad Z_0 - z| \\
 |X_1 - x \quad Y_1 - y \quad Z_1 - z| \\
 |x_1 - x \quad y_1 - y \quad z_1 - z| \\
 |X_1 - x \quad Y_1 - x \quad Z_1 - z| \\
 |X_2 - x \quad Y_2 - y \quad Z_2 - z| \\
 |x_2 - x \quad y_2 - y \quad z_2 - z| \\
 |X_1 - x \quad Y_1 - x \quad Z_1 - z| \\
 |X_2 - x \quad Y_2 - y \quad Z_2 - z| \\
 |x_2 - x \quad y_2 - y \quad z_2 - z| \\
 |X_2 - x \quad Y_2 - x \quad Z_2 - z| \\
 |X_3 - x \quad Y_3 - y \quad Z_3 - z| \\
 |x_3 - x \quad y_3 - y \quad z_3 - z| \\
 |X_2 - x \quad Y_2 - x \quad Z_2 - z| \\
 |X_3 - x \quad Y_3 - y \quad Z_3 - z| \\
 |x_3 - x \quad y_3 - y \quad z_3 - z| \\
 |X_3 - x \quad Y_3 - x \quad Z_3 - z| \\
 |X_0 - x \quad Y_0 - y \quad Z_0 - z| \\
 |x_0 - x \quad y_0 - y \quad z_0 - z| \\
 |X_3 - x \quad Y_3 - x \quad Z_3 - z| \\
 |X_0 - x \quad Y_0 - y \quad Z_0 - z|
 \end{array} = 0 \\
 (x_0 - x_1)^2 - (y_0 - y_1)^2 - (z_0 - z_1)^2 - l_{01}^2 = 0 \\
 (x_0 - x_2)^2 - (y_0 - y_2)^2 - (z_0 - z_2)^2 - l_{02}^2 = 0 \\
 (x_0 - x_3)^2 - (y_0 - y_3)^2 - (z_0 - z_3)^2 - l_{03}^2 = 0 \\
 (x_1 - x_2)^2 - (y_1 - y_2)^2 - (z_1 - z_2)^2 - l_{12}^2 = 0 \\
 (x_1 - x_3)^2 - (y_1 - y_3)^2 - (z_1 - z_3)^2 - l_{13}^2 = 0 \\
 (x_2 - x_3)^2 - (y_2 - y_3)^2 - (z_2 - z_3)^2 - l_{23}^2 = 0
 \end{array} \right.$$

em que (x, y, z) são as coordenadas da fonte de raios-X, (x_0, y_0, z_0) a (x_3, y_3, z_3) são coordenadas dos quatro marcadores, (X_0, Y_0, Z_0) a (X_3, Y_3, Z_3) são coordenadas do primeiro conjunto de as projeções dos quatro marcadores na

primeira radiografia, l_{01} , l_{02} , l_{03} , l_{12} , l_{13} , l_{23} , são as distâncias predeterminadas entre os quatro marcadores;

e ainda em que as segundas posições 3-D da fonte de raios-X e do imobilizador ortopédico são determinadas pelas relações seguintes:

$$\left\{ \begin{array}{l} \begin{array}{l} \left| \begin{array}{ccc} x_0 - 'x & y_0 - 'y & z_0 - 'z \\ 'X_0 - 'x & 'Y_0 - 'x & 'Z_0 - 'z \\ 'X_1 - 'x & 'Y_1 - 'y & 'Z_1 - 'z \end{array} \right| = 0 \\ \left| \begin{array}{ccc} x_1 - 'x & y_1 - 'y & z_1 - 'z \\ 'X_0 - 'x & 'Y_0 - 'x & 'Z_0 - 'z \\ 'X_1 - 'x & 'Y_1 - 'y & 'Z_1 - 'z \end{array} \right| = 0 \\ \left| \begin{array}{ccc} x_1 - 'x & y_1 - 'y & z_1 - 'z \\ 'X_1 - 'x & 'Y_1 - 'x & 'Z_1 - 'z \\ 'X_2 - 'x & 'Y_2 - 'y & 'Z_2 - 'z \end{array} \right| = 0 \\ \left| \begin{array}{ccc} x_2 - 'x & y_2 - 'y & z_2 - 'z \\ 'X_1 - 'x & 'Y_1 - 'x & 'Z_1 - 'z \\ 'X_2 - 'x & 'Y_2 - 'y & 'Z_2 - 'z \end{array} \right| = 0 \\ \left| \begin{array}{ccc} x_2 - 'x & y_2 - 'y & z_2 - 'z \\ 'X_2 - 'x & 'Y_2 - 'x & 'Z_2 - 'z \\ 'X_3 - 'x & 'Y_3 - 'y & 'Z_3 - 'z \end{array} \right| = 0 \\ \left| \begin{array}{ccc} x_3 - 'x & y_3 - 'y & z_3 - 'z \\ 'X_2 - 'x & 'Y_2 - 'x & 'Z_2 - 'z \\ 'X_3 - 'x & 'Y_3 - 'y & 'Z_3 - 'z \end{array} \right| = 0 \\ \left| \begin{array}{ccc} x_3 - 'x & y_3 - 'y & z_3 - 'z \\ 'X_3 - 'x & 'Y_3 - 'x & 'Z_3 - 'z \\ 'X_0 - 'x & 'Y_0 - 'y & 'Z_0 - 'z \end{array} \right| = 0 \\ \left| \begin{array}{ccc} x_0 - 'x & y_0 - 'y & z_0 - 'z \\ 'X_3 - 'x & 'Y_3 - 'x & 'Z_3 - 'z \\ 'X_0 - 'x & 'Y_0 - 'y & 'Z_0 - 'z \end{array} \right| = 0 \end{array} \right. \\ \begin{array}{l} (x_0 - x_1)^2 - (y_0 - y_1)^2 - (z_0 - z_1)^2 - l_{01}^2 = 0 \\ (x_0 - x_2)^2 - (y_0 - y_2)^2 - (z_0 - z_2)^2 - l_{02}^2 = 0 \\ (x_0 - x_3)^2 - (y_0 - y_3)^2 - (z_0 - z_3)^2 - l_{03}^2 = 0 \\ (x_1 - x_2)^2 - (y_1 - y_2)^2 - (z_1 - z_2)^2 - l_{12}^2 = 0 \\ (x_1 - x_3)^2 - (y_1 - y_3)^2 - (z_1 - z_3)^2 - l_{13}^2 = 0 \\ (x_2 - x_3)^2 - (y_2 - y_3)^2 - (z_2 - z_3)^2 - l_{23}^2 = 0 \end{array} \end{array}$$

em que, $('x, 'y, 'z)$ são as coordenadas da fonte de raios-X, (x_0, y_0, z_0) a (x_3, y_3, z_3) são as coordenadas dos quatro marcadores, $('X_0, 'Y_0, 'Z_0)$ a $('X_3, 'Y_3, 'Z_3)$ são as

coordenadas do segundo conjunto das projeções dos quatro marcadores na segunda radiografia, e 101, 102, 103, 112, 113, 123 são as distâncias predeterminadas entre os quatro marcadores.

6. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que compreende ainda:

identificar um primeiro contorno de parte do corpo da parte do corpo fotografada na primeira radiografia;

identificar um segundo contorno da parte do corpo da parte do corpo fotografada na segunda radiografia;

preparar uma primeira projeção 3-D de parte do corpo a partir do contorno da primeira parte do corpo para a primeira posição 3-D da fonte de raios-X;

preparar uma segunda projeção 3-D de parte do corpo a partir do contorno da segunda parte do corpo para a segunda posição 3-D da fonte de raios-X;

criar um modelo 3-D da parte de corpo fotografada no quadro de referência 3-D com base nas primeira e segunda projeções parte do corpo.

7. Método de acordo com a reivindicação 6, caracterizado pelo fato de que compreende ainda:

identificar um eixo de inclinação no quadro de referência 3-D, em que o eixo de inclinação passa entre uma primeira posição 3-D no quadro de referência 3-D, que corresponde à primeira posição da fonte de raios-X na primeira orientação e uma segunda posição 3-D no quadro de referência 3-D, que corresponde à segunda posição da fonte de raios-X na segunda orientação;

identificar um ou mais planos de interseção que passam pelo eixo de inclinação e através das primeira e segunda projeções 3-D da parte de corpo fotografada no quadro de referência 3-D;

para cada um dos um ou mais planos de interseção, executar as seguintes etapas a) até c):

a) identificar um ou mais pontos de interseção entre a primeira e a segunda projeções 3-D da parte do corpo, e o referido plano de interseção no quadro de referência 3-D;

b) preparar um ou mais polígonos que ligam os pontos de interseção no referido plano interseção;

c) preparar uma ou mais curvas fechadas dentro da cada um dos um ou mais polígonos, em que a uma ou mais curvas fechadas correspondem a uma vista em corte transversal da parte do corpo fotografada no referido plano de interseção; e

preparar uma superfície no quadro de referência 3-D que liga cada uma das curvas fechadas de modo a formar um modelo 3-D da parte de corpo radiografada.

8. Dispositivo de memória de computador caracterizado por ser codificado com instruções para fazer com que um computador execute os seguintes passos:

receber uma primeira radiografia de uma parte do corpo e um imobilizador ortopédico, dispostos entre uma fonte de raios-X e um gerador de imagens de raios-X em uma primeira orientação, em que a primeira radiografia inclui uma imagem:

da parte do corpo,

do imobilizador ortopédico, e

de uma pluralidade de marcadores em distâncias pré-determinadas ao longo do imobilizador ortopédico;

receber uma segunda radiografia da parte do corpo e do imobilizador ortopédico dispostos entre a fonte de raios-X e o gerador de imagens de raios-X em uma segunda orientação, em que a segunda radiografia inclui uma imagem:

da parte do corpo,

do imobilizador ortopédico, e

da pluralidade de marcadores;

determinar um primeiro conjunto de projeções de uma pluralidade de marcadores na primeira radiografia;

determinar uma primeira posição 3-D da fonte de raios-X e uma primeira posição 3-D do imobilizador ortopédico no que se refere ao gerador de imagens de raios-X na primeira orientação em satisfazendo as seguintes equações matemáticas:

$$\left\{ \begin{array}{l} (x - x_0) * (Y_0 - y_0) - (y - y_0) * (X_0 - x_0) = 0 \\ (x - x_0) * (Z_0 - z_0) - (z - z_0) * (X_0 - x_0) = 0 \\ (x - x_1) * (Y_1 - y_1) - (y - y_1) * (X_1 - x_1) = 0 \\ (x - x_1) * (Z_1 - z_1) - (z - z_1) * (X_1 - x_1) = 0 \\ (x - x_2) * (Y_2 - y_2) - (y - y_2) * (X_2 - x_2) = 0 \\ (x - x_2) * (Z_1 - z_2) - (z - z_2) * (X_2 - x_2) = 0 \\ (x - x_3) * (Y_3 - y_3) - (y - y_3) * (X_3 - x_3) = 0 \\ (x - x_3) * (Z_3 - z_3) - (z - z_3) * (X_3 - x_3) = 0 \\ (x_0 - x_1)^2 - (y_0 - y_1)^2 - (z_0 - z_1)^2 - l_{01}^2 = 0 \\ (x_0 - x_2)^2 - (y_0 - y_2)^2 - (z_0 - z_2)^2 - l_{02}^2 = 0 \\ (x_0 - x_3)^2 - (y_0 - y_3)^2 - (z_0 - z_3)^2 - l_{03}^2 = 0 \\ (x_1 - x_2)^2 - (y_1 - y_2)^2 - (z_1 - z_2)^2 - l_{12}^2 = 0 \\ (x_1 - x_3)^2 - (y_1 - y_3)^2 - (z_1 - z_3)^2 - l_{13}^2 = 0 \\ (x_2 - x_3)^2 - (y_2 - y_3)^2 - (z_2 - z_3)^2 - l_{23}^2 = 0 \end{array} \right.$$

em que, (x, y, z) são as coordenadas da fonte de raios-X; (x_0, y_0, z_0) a (x_3, y_3, z_3) são coordenadas da pluralidade de marcadores; (X_0, Y_0, Z_0) a (X_3, Y_3, Z_3) são coordenadas do primeiro conjunto das projeções da pluralidade de marcadores na primeira radiografia, e l_{01} , l_{02} , l_{03} , l_{12} , l_{13} , l_{23} são as distâncias predeterminadas entre a pluralidade de marcadores para determinar as distâncias entre a pluralidade de marcadores e o primeiro conjunto de projeções da pluralidade de marcadores da primeira radiografia;

determinar um segundo conjunto de projeções de uma pluralidade de marcadores sobre a segunda radiografia;

determinar uma segunda posição 3-D da fonte de raios-X e uma segunda posição 3-D do imobilizador ortopédico no que se refere ao gerador de imagens de raios-X na segunda

orientação, em satisfazendo as seguintes equações matemáticas:

$$\left\{ \begin{array}{l} ('x - x_0) * ('Y_0 - y_0) - ('y - y_0) * ('X_0 - x_0) = 0 \\ ('x - x_0) * ('Z_0 - z_0) - ('z - z_0) * ('X_0 - x_0) = 0 \\ ('x - x_1) * ('Y_1 - y_1) - ('y - y_1) * ('X_1 - x_1) = 0 \\ ('x - x_1) * ('Z_1 - z_1) - ('z - z_1) * ('X_1 - x_1) = 0 \\ ('x - x_2) * ('Y_2 - y_2) - ('y - y_2) * ('X_2 - x_2) = 0 \\ ('x - x_2) * ('Z_1 - z_2) - ('z - z_2) * ('X_2 - x_2) = 0 \\ ('x - x_3) * ('Y_3 - y_3) - ('y - y_3) * ('X_3 - x_3) = 0 \\ ('x - x_3) * ('Z_3 - z_3) - ('z - z_3) * ('X_3 - x_3) = 0 \\ (x_0 - x_1)^2 - (y_0 - y_1)^2 - (z_0 - z_1)^2 - l_{01}^2 = 0 \\ (x_0 - x_2)^2 - (y_0 - y_2)^2 - (z_0 - z_2)^2 - l_{02}^2 = 0 \\ (x_0 - x_3)^2 - (y_0 - y_3)^2 - (z_0 - z_3)^2 - l_{03}^2 = 0 \\ (x_1 - x_2)^2 - (y_1 - y_2)^2 - (z_1 - z_2)^2 - l_{12}^2 = 0 \\ (x_1 - x_3)^2 - (y_1 - y_3)^2 - (z_1 - z_3)^2 - l_{13}^2 = 0 \\ (x_2 - x_3)^2 - (y_2 - y_3)^2 - (z_2 - z_3)^2 - l_{23}^2 = 0 \end{array} \right.$$

em que, ('x, 'y, 'z) são as coordenadas da fonte de raios-X, (x₀, y₀, z₀) a (x₃, y₃, z₃) são as coordenadas da pluralidade de marcadores, ('X₀, 'Y₀, 'Z₀) a ('X₃, 'Y₃, 'Z₃) são as coordenadas do segundo conjunto das projeções da pluralidade de marcadores na segunda radiografia, e l₀₁, l₀₂, l₀₃, l₁₂, l₁₃, l₂₃ são as distâncias predeterminadas entre a pluralidade de marcadores para determinar as distâncias entre a pluralidade de marcadores e o segundo conjunto de projeções da pluralidade de marcadores da segunda radiografia;

alinhar as primeira e segunda projeções 3-D de imobilizador ortopédico em um quadro de referência 3-D, utilizando as posições 3-D da pluralidade de marcadores em relação ao gerador de imagens de raios-X nas primeira e segunda orientações; e

criar um modelo 3-D da parte de corpo fotografada no quadro de referência 3-D com base nas primeira e segunda projeções 3-D do imobilizador ortopédico.

9. Segmento de código de computador caracterizado por ser operável para fazer com que um computador execute os seguintes passos:

receber uma primeira radiografia da parte do corpo e do imobilizador ortopédico dispostos entre uma fonte de raios-X e um gerador de imagens de raios-X em uma primeira orientação, em que a primeira radiografia inclui uma imagem:

da parte do corpo,

do imobilizador ortopédico, e

da pluralidade de marcadores em distâncias pré-determinadas ao longo do imobilizador ortopédico;

receber uma segunda radiografia da parte do corpo e do imobilizador ortopédico dispostos entre a fonte de raios-X e o gerador de imagens de raios-X em uma segunda orientação, em que a segunda radiografia inclui uma imagem de:

da parte do corpo,

do imobilizador ortopédico, e

da pluralidade de marcadores;

determinar um primeiro conjunto de projeções de uma pluralidade de marcadores na primeira radiografia;

determinar uma primeira posição 3-D da fonte de raios-X e uma primeira posição 3-D do imobilizador ortopédico no que se refere ao gerador de imagens de raios-X na primeira orientação, em satisfazendo as seguintes equações matemáticas:

$$\left\{ \begin{array}{l} (x - x_0) * (Y_0 - y_0) - (y - y_0) * (X_0 - x_0) = 0 \\ (x - x_0) * (Z_0 - z_0) - (z - z_0) * (X_0 - x_0) = 0 \\ (x - x_1) * (Y_1 - y_1) - (y - y_1) * (X_1 - x_1) = 0 \\ (x - x_1) * (Z_1 - z_1) - (z - z_1) * (X_1 - x_1) = 0 \\ (x - x_2) * (Y_2 - y_2) - (y - y_2) * (X_2 - x_2) = 0 \\ (x - x_2) * (Z_1 - z_2) - (z - z_2) * (X_2 - x_2) = 0 \\ (x - x_3) * (Y_3 - y_3) - (y - y_3) * (X_3 - x_3) = 0 \\ (x - x_3) * (Z_3 - z_3) - (z - z_3) * (X_3 - x_3) = 0 \\ (x_0 - x_1)^2 - (y_0 - y_1)^2 - (z_0 - z_1)^2 - l_{01}^2 = 0 \\ (x_0 - x_2)^2 - (y_0 - y_2)^2 - (z_0 - z_2)^2 - l_{02}^2 = 0 \\ (x_0 - x_3)^2 - (y_0 - y_3)^2 - (z_0 - z_3)^2 - l_{03}^2 = 0 \\ (x_1 - x_2)^2 - (y_1 - y_2)^2 - (z_1 - z_2)^2 - l_{12}^2 = 0 \\ (x_1 - x_3)^2 - (y_1 - y_3)^2 - (z_1 - z_3)^2 - l_{13}^2 = 0 \\ (x_2 - x_3)^2 - (y_2 - y_3)^2 - (z_2 - z_3)^2 - l_{23}^2 = 0 \end{array} \right.$$

em que, (x, y, z) são as coordenadas da fonte de raios-X, (x_0, y_0, z_0) a (x_3, y_3, z_3) são as coordenadas da pluralidade de marcadores, (X_0, Y_0, Z_0) a (X_3, Y_3, Z_3) são as coordenadas do primeiro conjunto das projeções da pluralidade de marcadores na primeira radiografia, e l_{01} , l_{02} , l_{03} , l_{12} , l_{13} , l_{23} são as distâncias predeterminadas entre a pluralidade de marcadores para determinar as distâncias entre a pluralidade de marcadores e o primeiro conjunto de projeções da pluralidade de marcadores da primeira radiografia;

determinar um segundo conjunto de projeções de uma pluralidade de marcadores sobre a segunda radiografia;

determinar uma segunda posição 3-D da fonte de raios-X e uma segunda posição 3-D do imobilizador ortopédico no que se refere ao gerador de imagens de raios-X na segunda orientação em satisfazendo as seguintes equações matemáticas:

$$\left\{ \begin{array}{l} ('x - x0) * ('Y0 - y0) - ('y - y0) * ('X0 - x0) = 0 \\ ('x - x0) * ('Z0 - z0) - ('z - z0) * ('X0 - x0) = 0 \\ ('x - x1) * ('Y1 - y1) - ('y - y1) * ('X1 - x1) = 0 \\ ('x - x1) * ('Z1 - z1) - ('z - z1) * ('X1 - x1) = 0 \\ ('x - x2) * ('Y2 - y2) - ('y - y2) * ('X2 - x2) = 0 \\ ('x - x2) * ('Z1 - z2) - ('z - z2) * ('X2 - x2) = 0 \\ ('x - x3) * ('Y3 - y3) - ('y - y3) * ('X3 - x3) = 0 \\ ('x - x3) * ('Z3 - z3) - ('z - z3) * ('X3 - x3) = 0 \\ (x0 - x1)^2 - (y0 - y1)^2 - (z0 - z1)^2 - l01^2 = 0 \\ (x0 - x2)^2 - (y0 - y2)^2 - (z0 - z2)^2 - l02^2 = 0 \\ (x0 - x3)^2 - (y0 - y3)^2 - (z0 - z3)^2 - l03^2 = 0 \\ (x1 - x2)^2 - (y1 - y2)^2 - (z1 - z2)^2 - l12^2 = 0 \\ (x1 - x3)^2 - (y1 - y3)^2 - (z1 - z3)^2 - l13^2 = 0 \\ (x2 - x3)^2 - (y2 - y3)^2 - (z2 - z3)^2 - l23^2 = 0 \end{array} \right.$$

em que, ('x, 'y, 'z) são as coordenadas da fonte de raios-X, (x0, y0, z0) a (x3, y3, z3) são as coordenadas da pluralidade de marcadores, ('X0, 'Y0, 'Z0) a ('X3, 'Y3, 'Z3) são as coordenadas do segundo conjunto das projeções da pluralidade de marcadores na segunda radiografia, e l01, l02, l03, l12, l13, l23 são as distâncias predeterminadas entre a pluralidade de marcadores para determinar as distâncias entre a pluralidade de marcadores e o segundo conjunto de projeções da pluralidade de marcadores da segunda radiografia;

alinhar as primeira e segunda projeções 3-D de imobilizador ortopédico em um quadro de referência 3-D, utilizando as posições 3-D da pluralidade de marcadores em relação ao gerador de imagens de raios-X nas primeira e segunda orientações; e

criar um modelo 3-D da parte de corpo fotografada no quadro de referência 3-D com base nas primeira e segunda projeções 3-D imobilizador ortopédico.

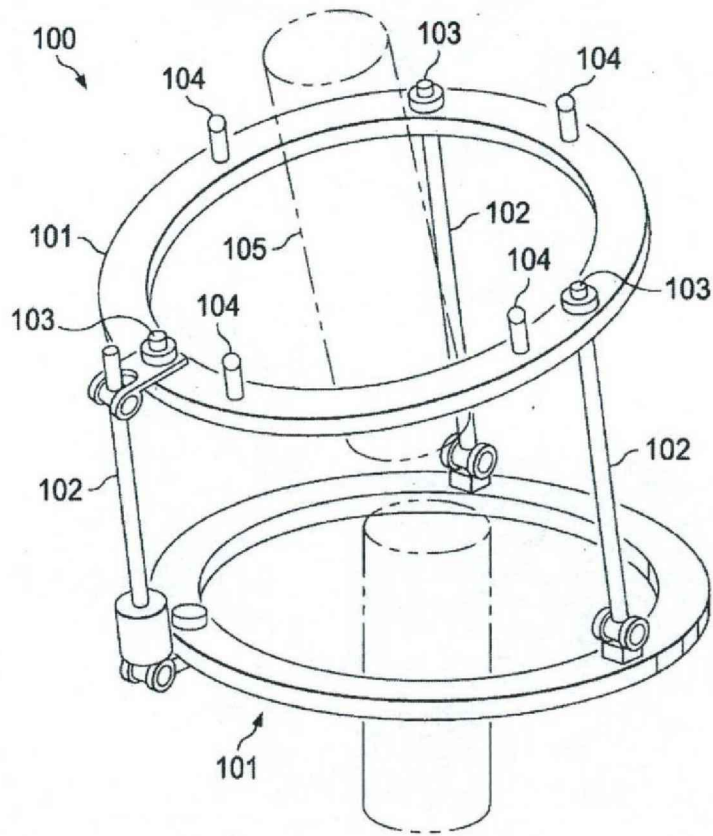
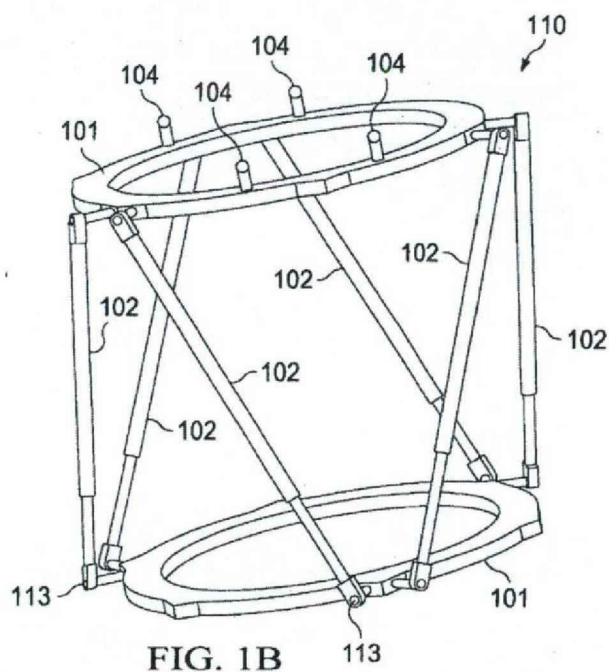


FIG. 1A



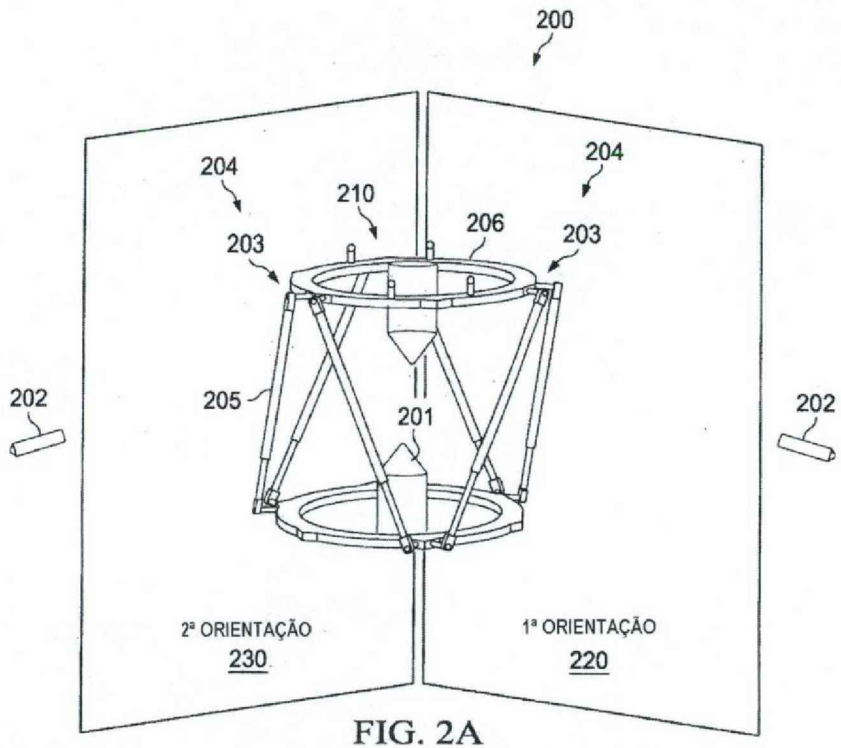
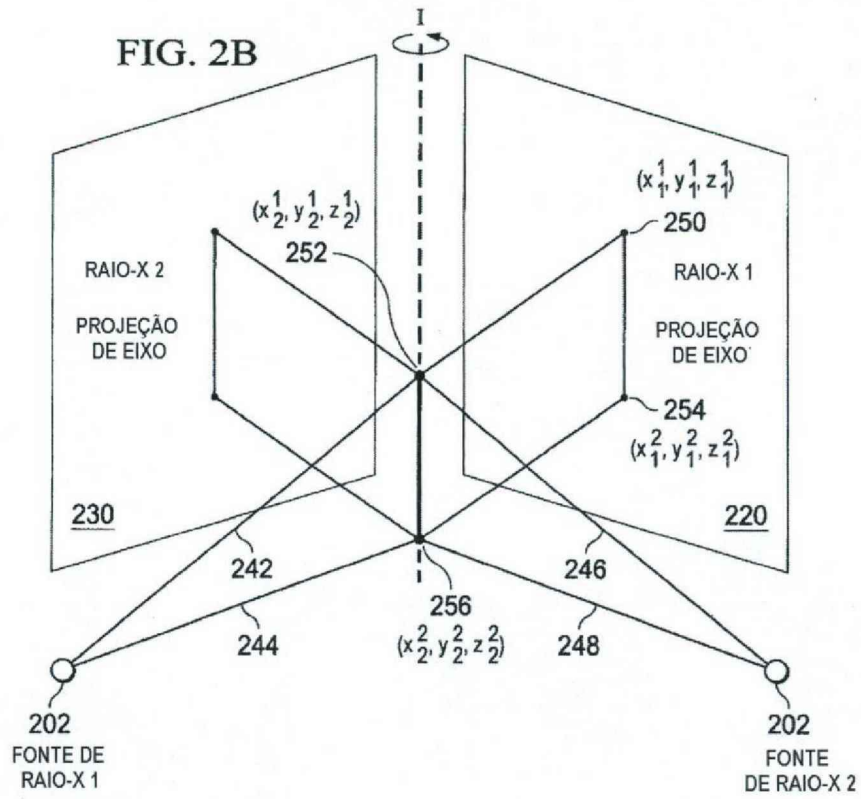


FIG. 2A



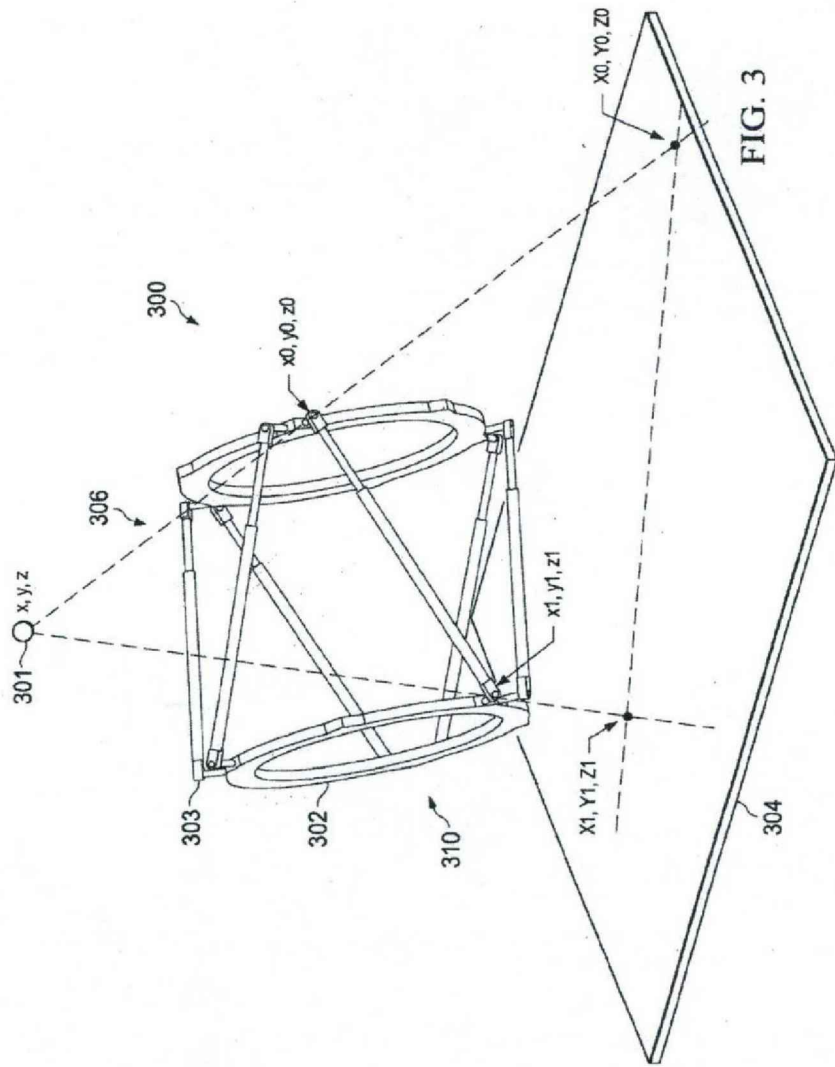


FIG. 3

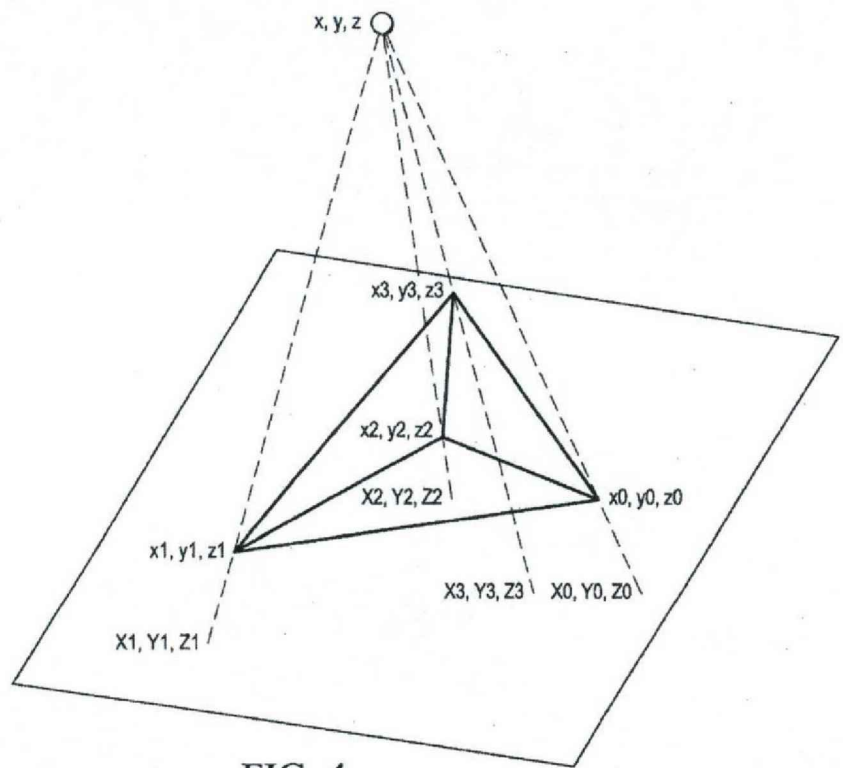
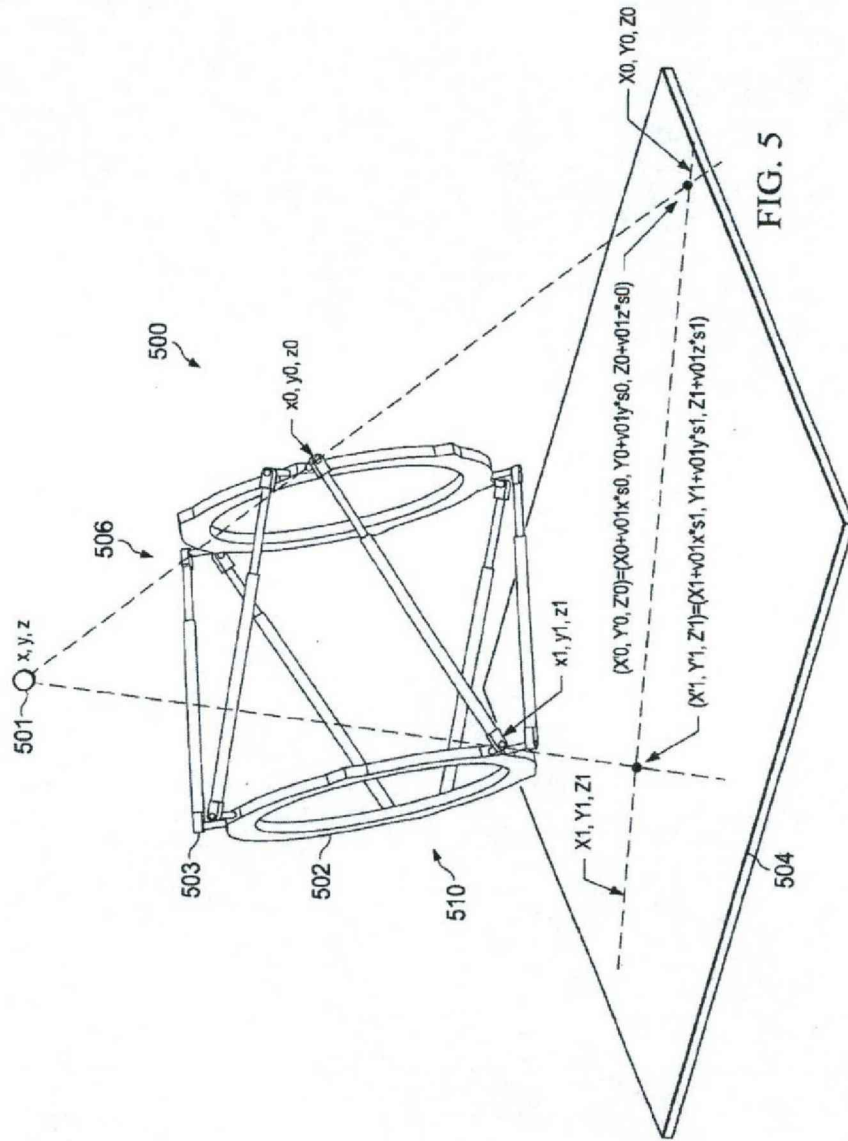


FIG. 4



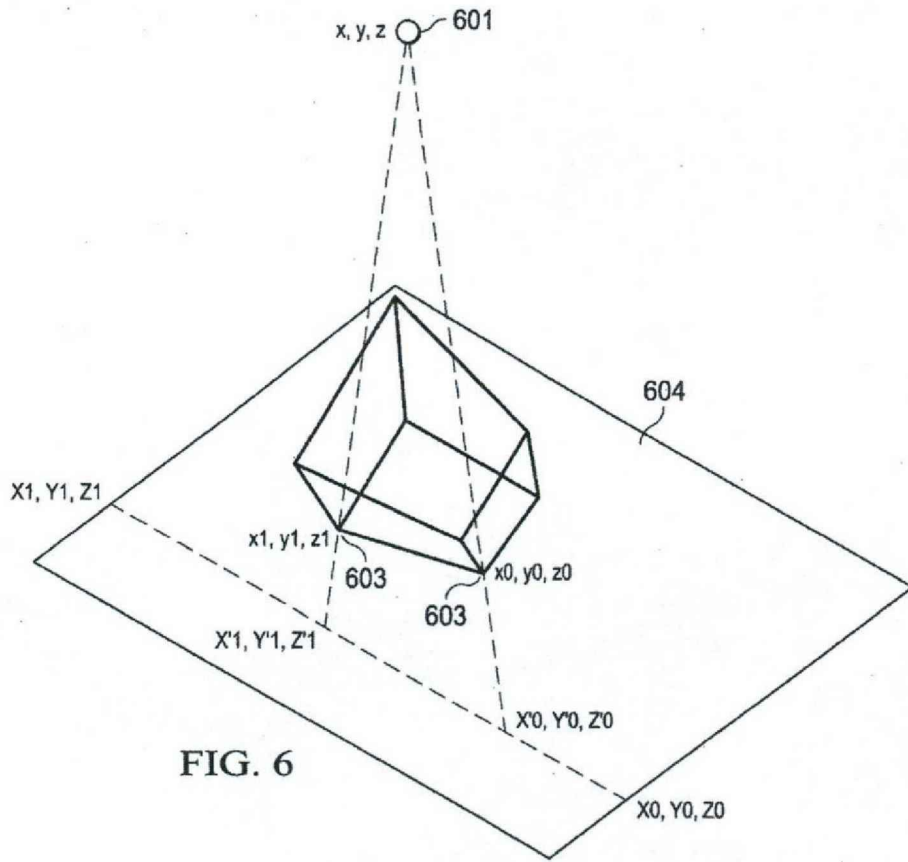


FIG. 6

9/22

700

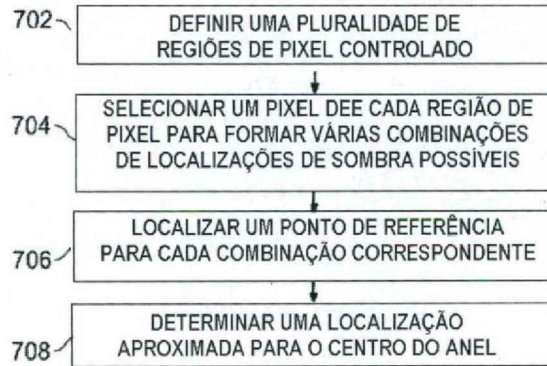


FIG. 7

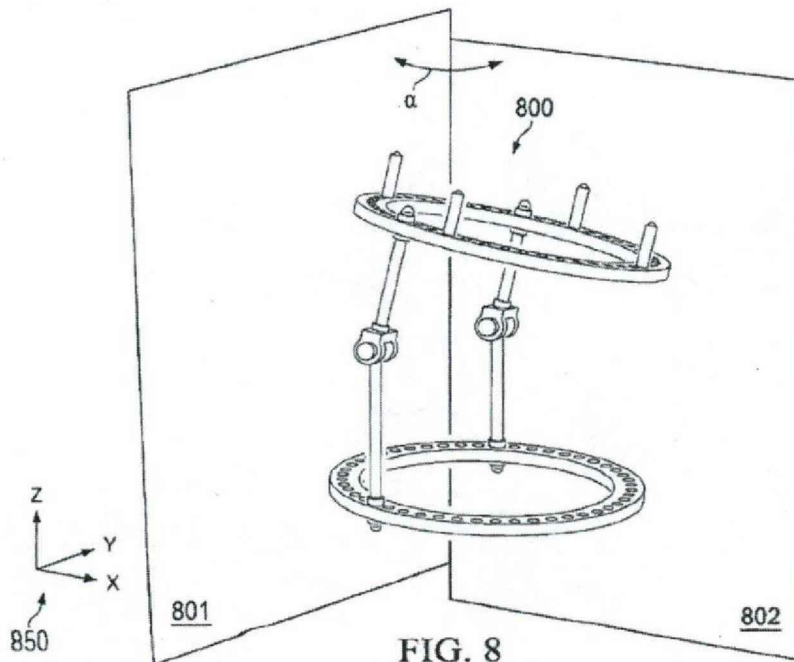


FIG. 8

10/22

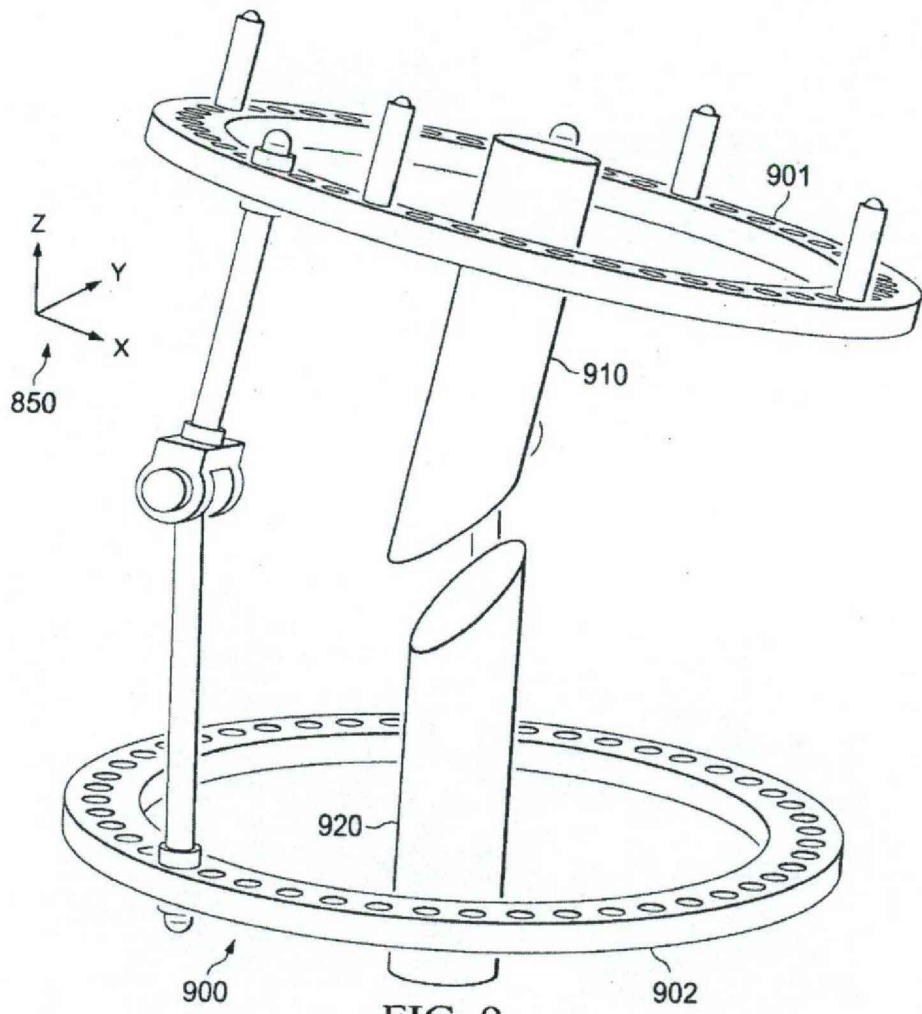


FIG. 9

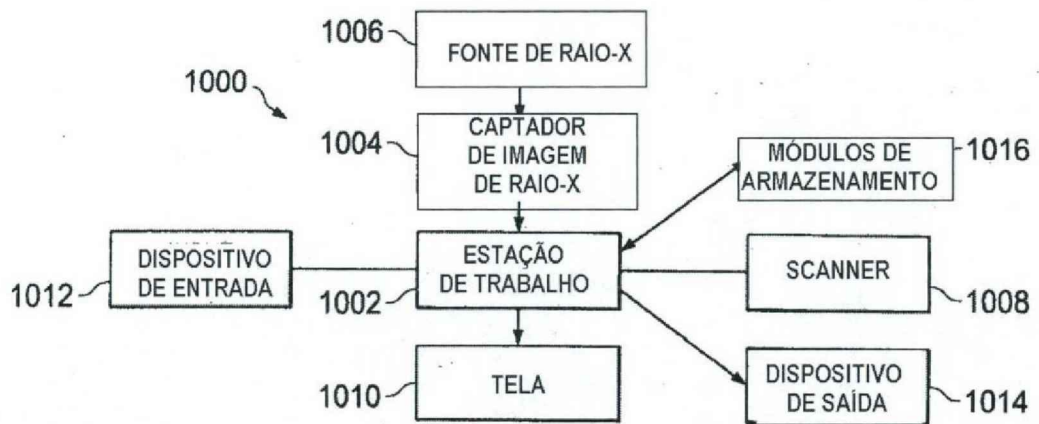


FIG. 10

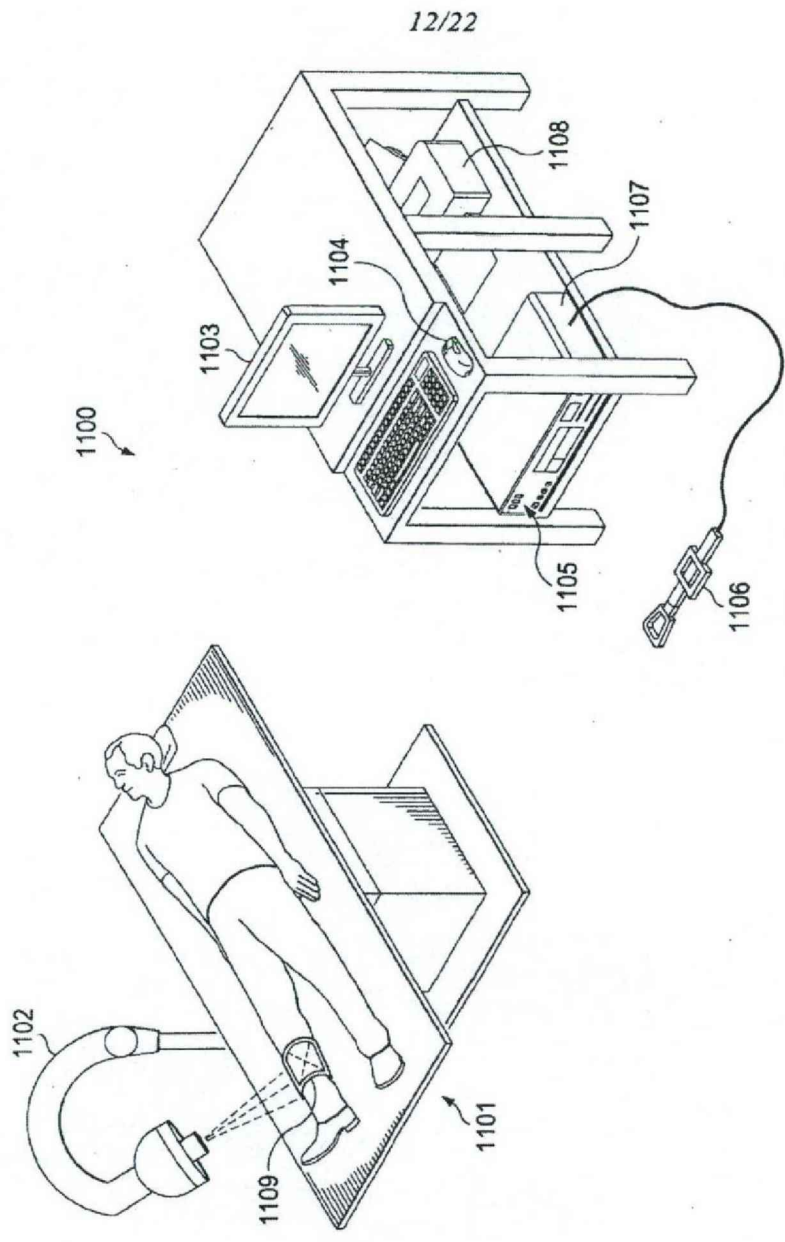


FIG. 11

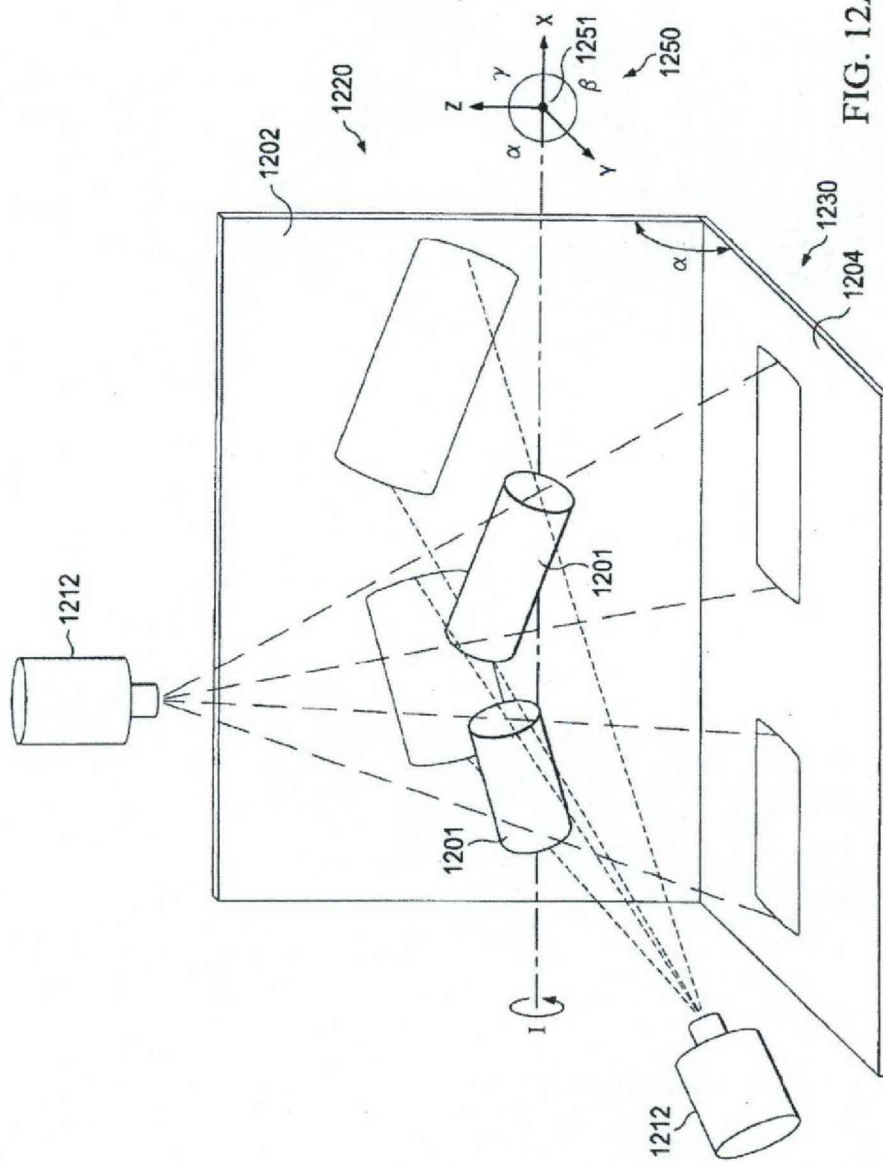


FIG. 12A

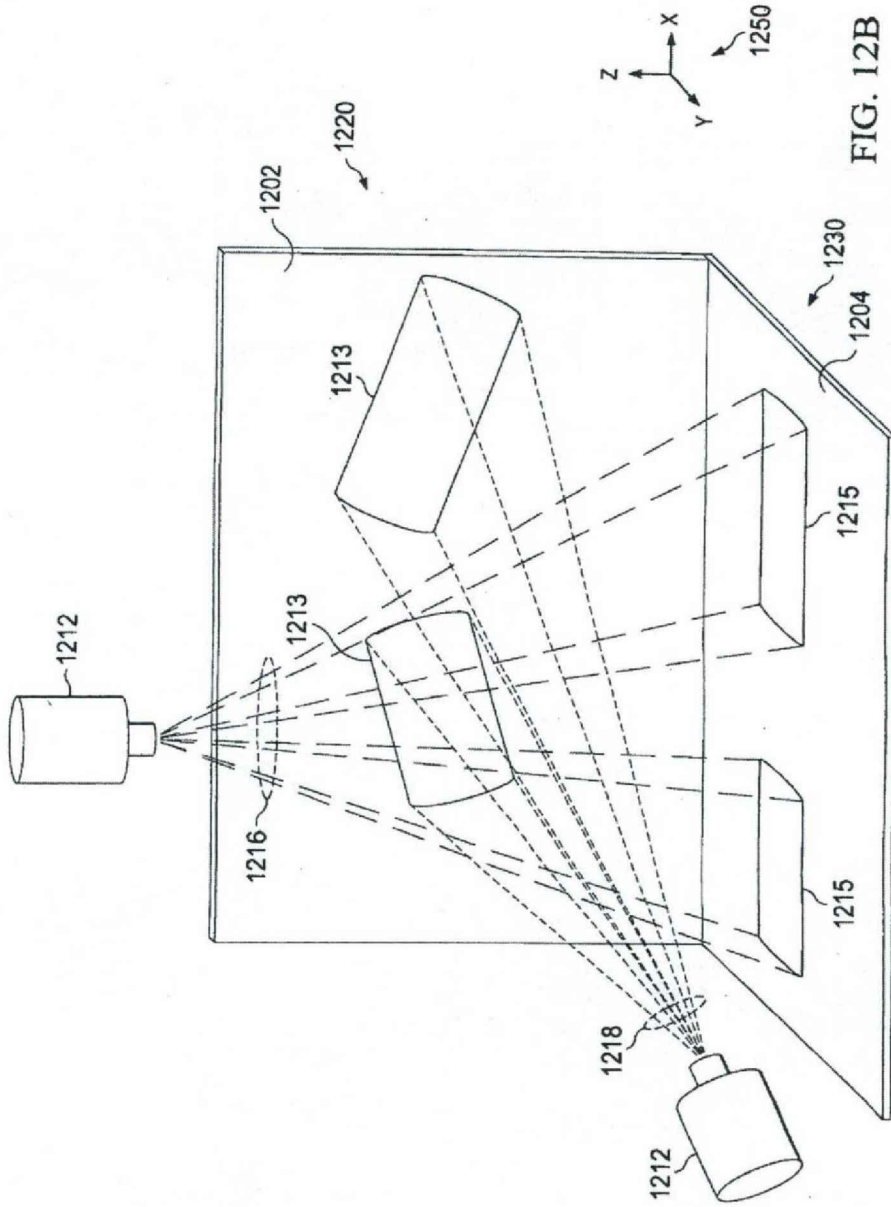


FIG. 12B

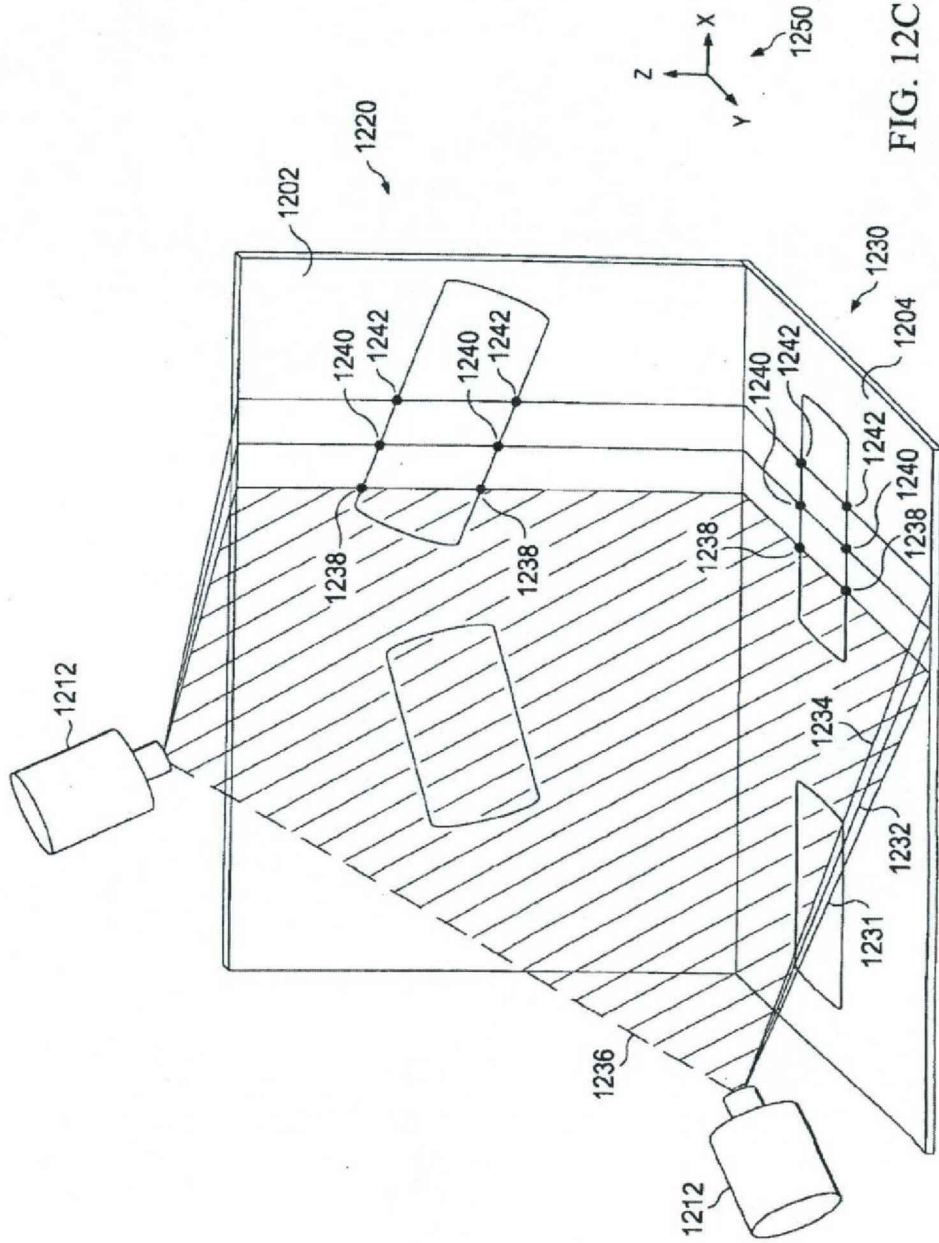


FIG. 12C

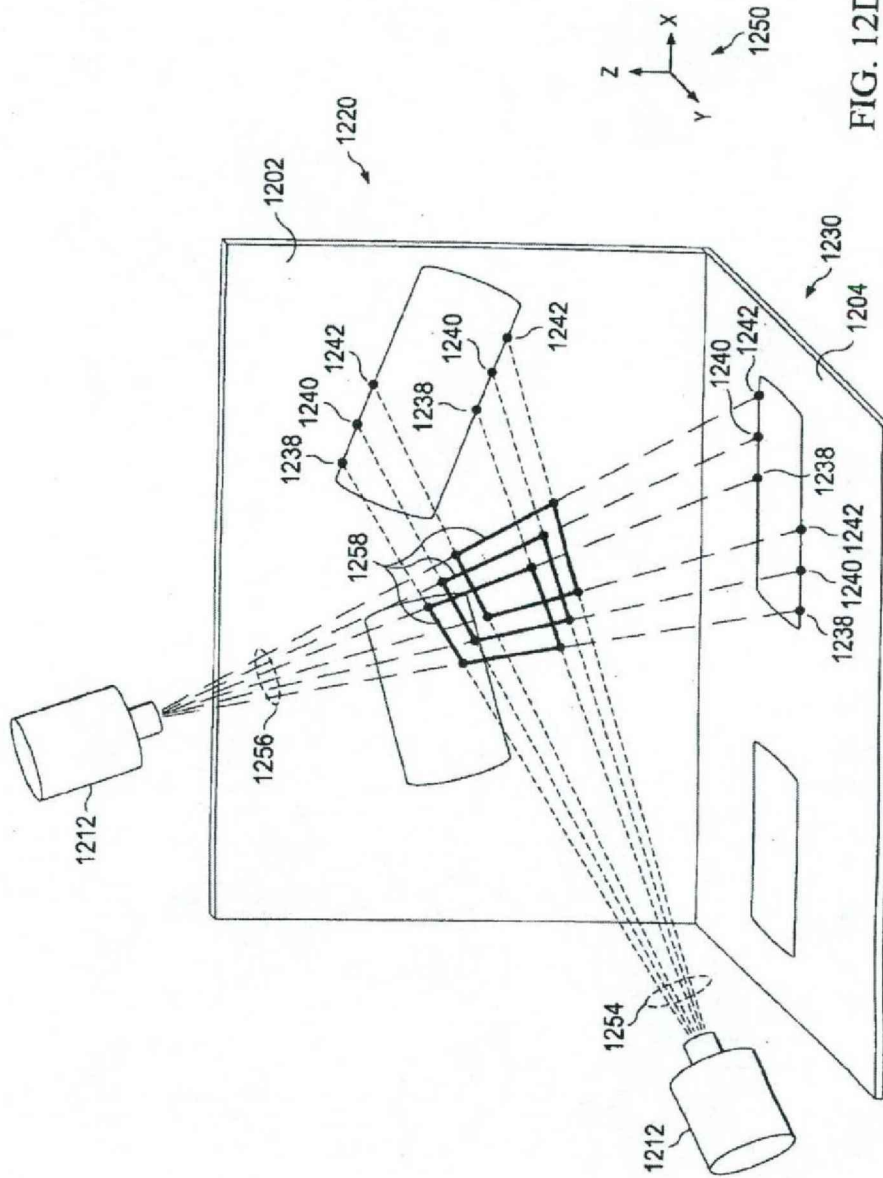


FIG. 12D

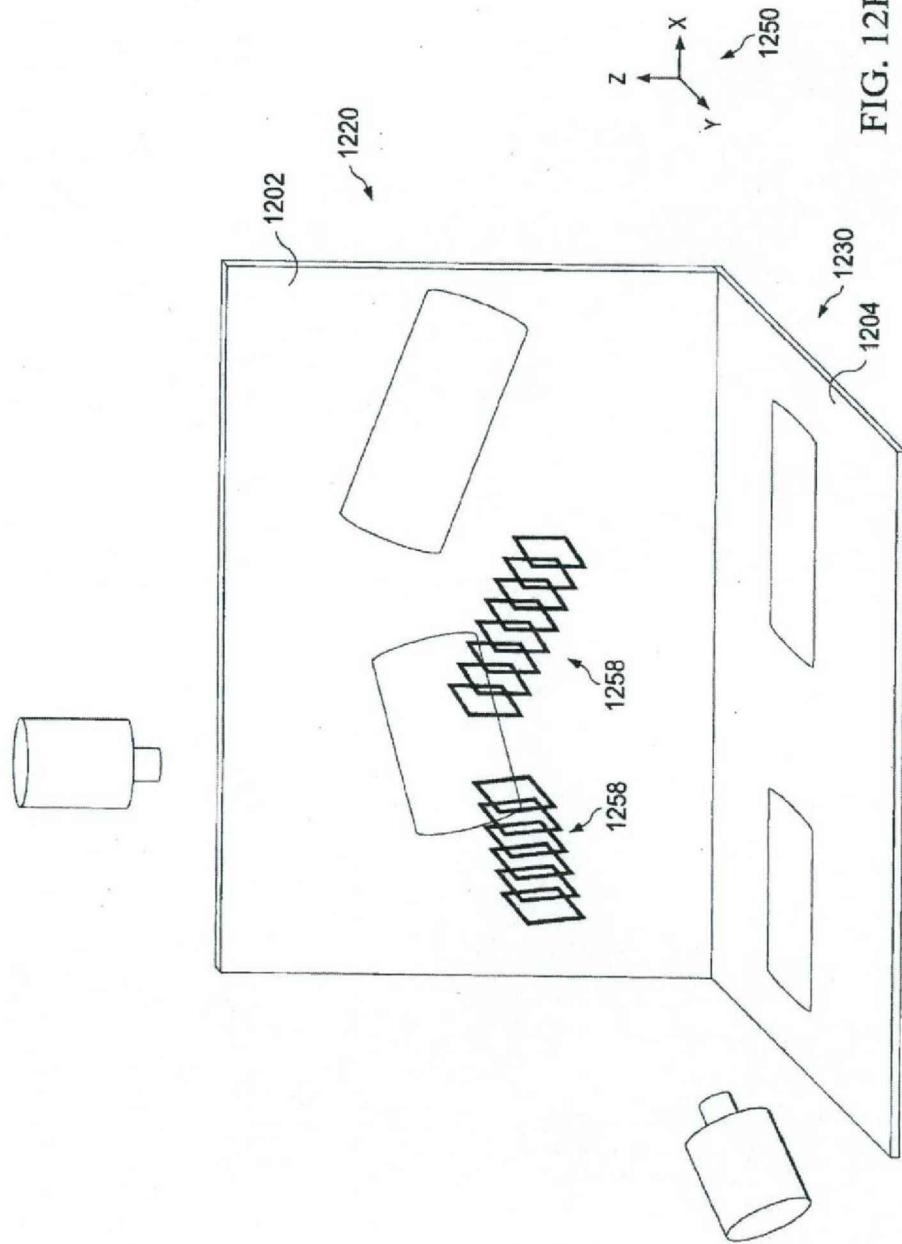


FIG. 12E

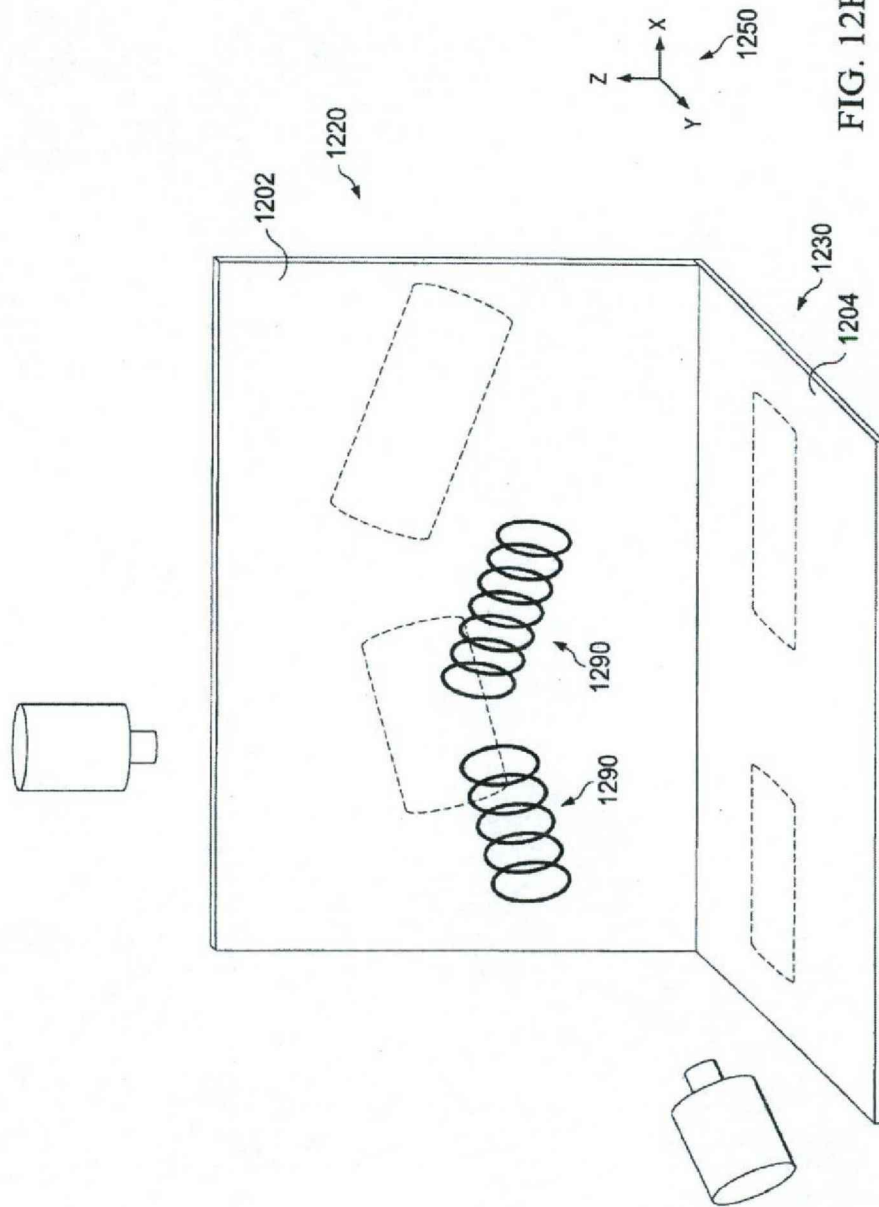


FIG. 12F

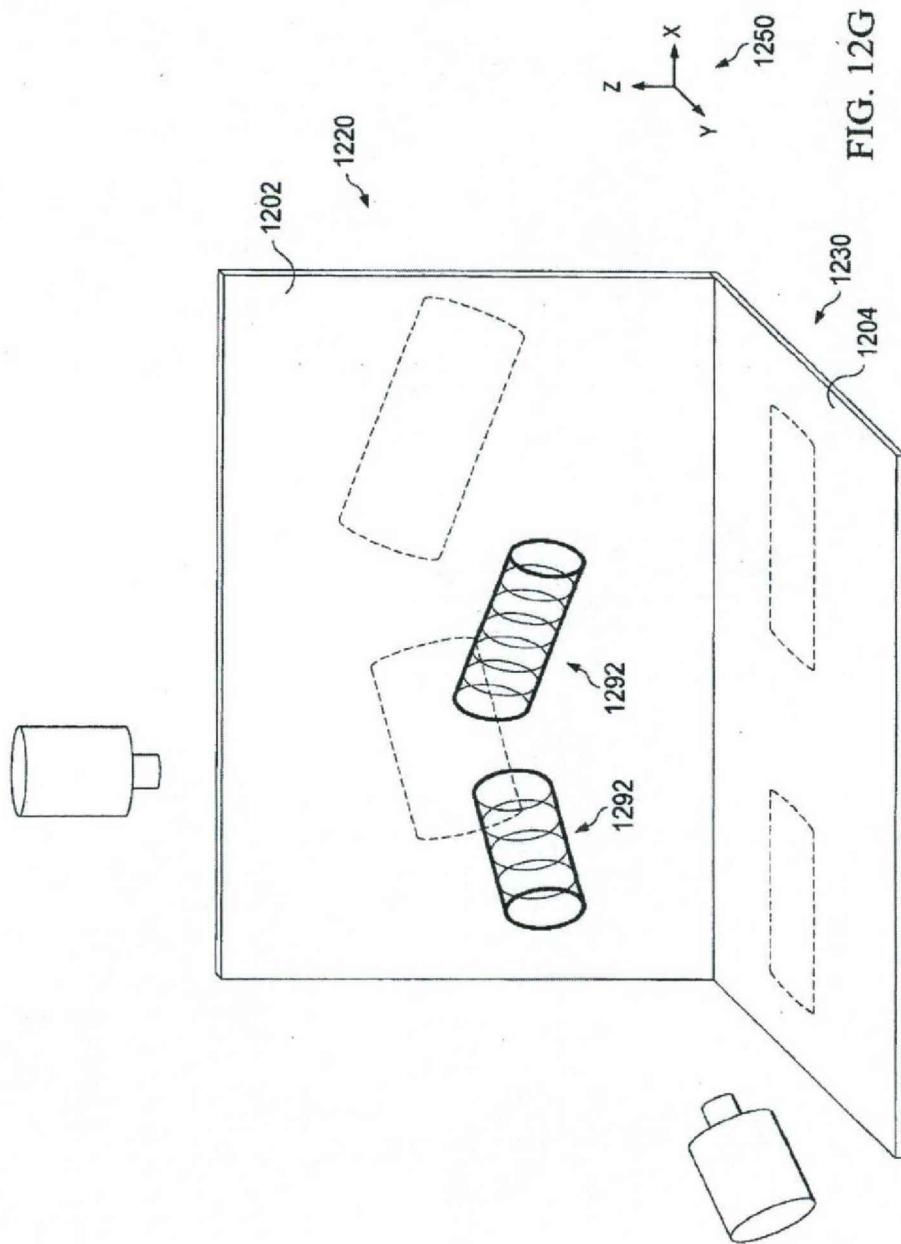
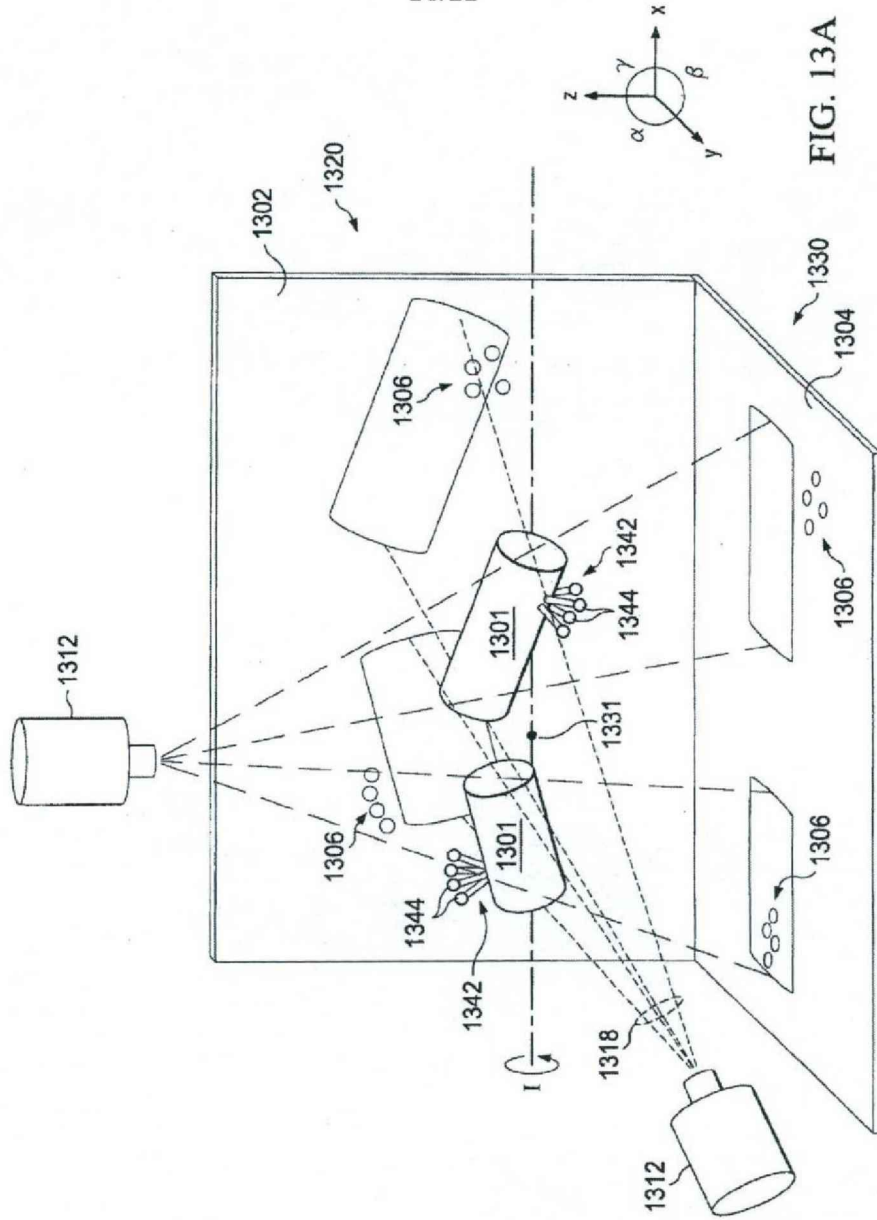


FIG. 12G



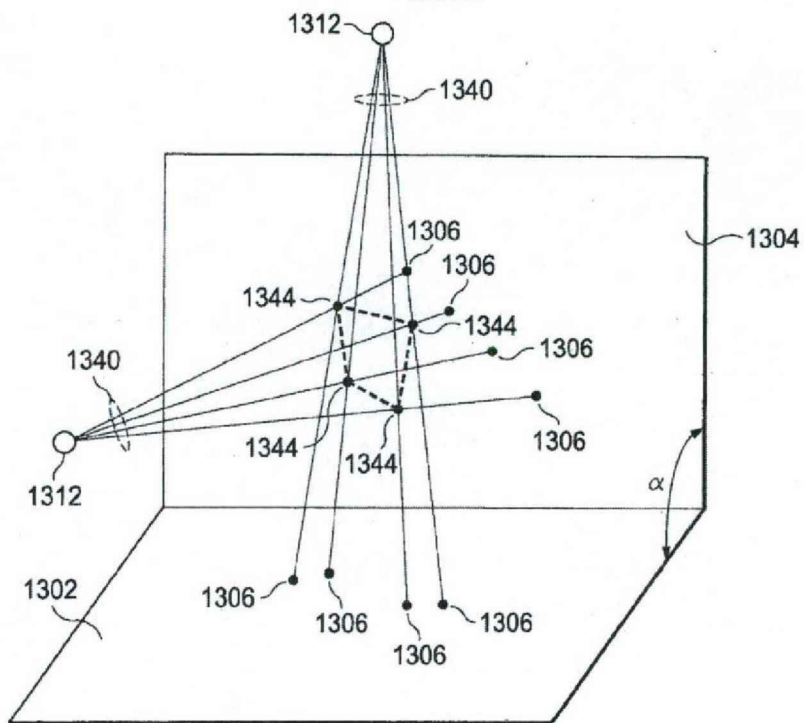


FIG. 13B

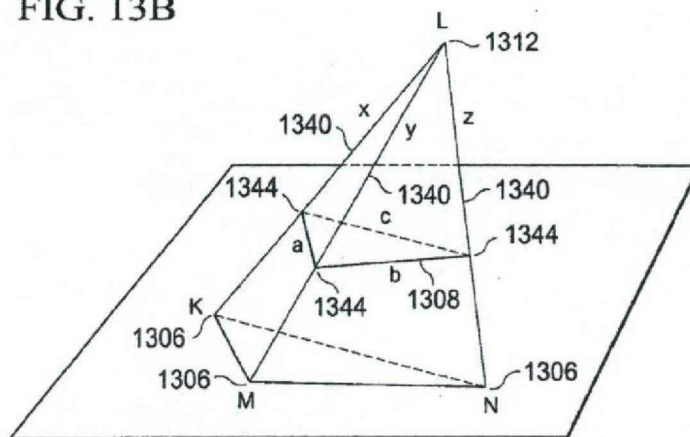


FIG. 13C

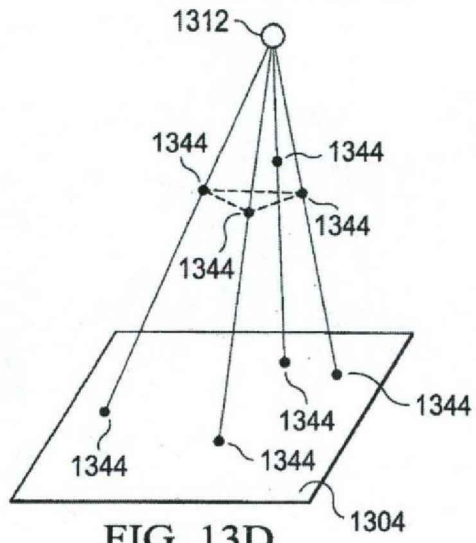


FIG. 13D

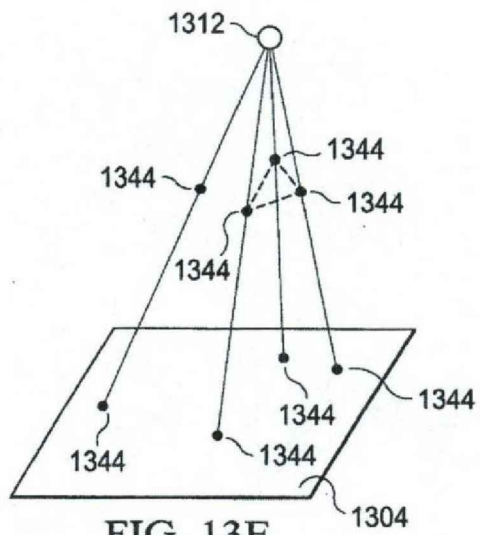


FIG. 13E