



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

(21) BR 112019023740-2 A2



(22) Data do Depósito: 07/05/2018

(43) Data da Publicação Nacional: 26/05/2020

(54) **Título:** DISPOSITIVO DE IMAGEAMENTO INTERVENTIVO, E MÍDIA DE ARMAZENAMENTO NÃO TRANSITÓRIO

(51) **Int. Cl.:** G06T 7/30.

(30) **Prioridade Unionista:** 11/05/2017 US 62/504,571.

(71) **Depositante(es):** KONINKLIJKE PHILIPS N.V..

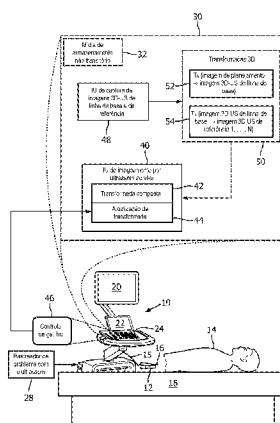
(72) **Inventor(es):** JOCHEN KRUECKER.

(86) **Pedido PCT:** PCT EP2018061636 de 07/05/2018

(87) **Publicação PCT:** WO 2018/206473 de 15/11/2018

(85) **Data da Fase Nacional:** 11/11/2019

(57) **Resumo:** A presente invenção se refere a um dispositivo de imageamento de ultrassom (10) dotado de uma sonda de ultrassom (12) que captura uma imagem de ultrassom ao vivo que é, então, mostrada com um contorno (62) ou uma imagem de referência (60) registrada com a imagem de ultrassom ao vivo com o uso de uma transformada composta (42). Para atualizar a transformada composta, o dispositivo de imageamento de ultrassom captura uma imagem de ultrassom tridimensional de linha de base (3D-US) (66) marcada com uma orientação de linha de base correspondente da sonda de ultrassom determinada por um rastreador de sonda, e uma ou mais imagens 3D-US de referência (70), cada uma marcada com uma orientação de referência correspondente. As transformadas (54) são computadas para registrar espacialmente cada imagem 3D-US de referência com a imagem 3D-US de linha de base. É determinada uma imagem 3D-US de referência mais próxima cuja orientação correspondente é a mais próxima de uma orientação atual da sonda de ultrassom, conforme determinado pelo rastreador de sonda. A transformada composta é atualizada para incluir a transformada que faz o registro espacial da imagem 3D-US de referência mais próxima com a imagem 3D-US de linha de base.



DISPOSITIVO DE IMAGEAMENTO INTERVENTIVO, E MÍDIA DE
ARMAZENAMENTO NÃO TRANSITÓRIO

CAMPO

[001] A presente invenção se refere de modo geral a técnicas cirúrgicas guiadas por imageamento, como técnicas de biópsia, técnicas de braquiterapia e similares, para realizar imageamento por ultrassom de modo a fornecer orientação de imageamento em tais procedimentos cirúrgicos e similares.

ANTECEDENTES

[002] Os procedimentos cirúrgicos guiados por imageamento são usados para diversos propósitos, como procedimentos de extração de amostra de tecido (por exemplo biópsia), procedimentos de ablação por laser alvo e procedimentos de braquiterapia (nos quais sementes radioativas são entregues aos locais alvo). O imageamento por ultrassom (US) é uma modalidade de orientação por imageamento comum em procedimentos cirúrgicos, como procedimentos de biópsia retal de próstata ou de braquiterapia. Nesses procedimentos, uma sonda ultrassônica retal é empregada e uma grade pode ser usada para alinhar a agulha de biópsia ou outro instrumento interventivo. Para se obter imageamento em tempo real (próximo), o imageamento bidimensional (2D) US (comumente denominado imageamento 2D-US "ao vivo") é comumente empregado. O imageamento ao vivo 3D-US também pode ser empregue se a velocidade de imageamento for suficiente. Para registrar as imagens de US ao vivo no espaço, o rastreamento da sonda ultrassônica é executado, por exemplo, por rastreamento eletromagnético (EM), rastreamento óptico (se a sonda é externa ao

paciente), e assim por diante. Adicionalmente, uma imagem de referência US pré-operatória tridimensional (3D) é capturada para fornecer um contorno da próstata ou outra(s) característica(s) anatômica(s) de interesse no espaço 3D. Em alguns procedimentos, uma imagem de planejamento tridimensional (3D) é adquirida por outra modalidade, como imageamento por ressonância magnética (IRM) ou tomografia computadorizada (CT), o contorno é feito na imagem de planejamento e a imagem 3D-US de referência é usada como um intermediário para registrar a imagem de planejamento (ou o contorno definido na imagem de planejamento) à imagem 2D-US ao vivo. No último caso, a imagem de planejamento é geralmente adquirida antes do procedimento cirúrgico por imageamento guiado para fornecer informações para identificação de tumores ou outros objetivos de biópsia, contornando o órgão da próstata.

[003] Algumas abordagens ilustrativas são apresentadas na Patente Americana nº 8.885.897 de Xu et al. Em uma tal abordagem ilustrativa, uma imagem 3D-US de linha de base preoperatória é comparada com uma imagem de diagnóstico 3D (por exemplo, 3D-IRM) para determinar uma transformada de referência que registra as imagens de volume 3D-US e 3D-IRM de referência. Durante o procedimento cirúrgico, imagens 2D-US (ou 3D-US) ao vivo são capturadas. Uma ou um grupo de imagens de US ao vivo são comparadas com a imagem 3D-US de referência para determinar uma transformada de correção de movimento. Um ajuste de imagem opera sobre a imagem 3D-IRM com a transformada de referência e a transformada de correção de movimento para gerar uma imagem 3D-IRM corrigida de movimento que é exibida

juntamente com (por exemplo fundida com) a exibição da imagem de US ao vivo. Desta forma, o movimento de tecido (por exemplo distorção ou mudança) que pode ter ocorrido entre a captura da imagem 3D-IRM e o subsequente imageamento US ao vivo é compensado.

[004] A seguir, serão revelados sistemas e métodos novos e aprimorados.

SUMÁRIO DA INVENÇÃO

[005] Em um aspecto revelado, um dispositivo de imageamento interventivo inclui uma sonda de ultrassom, um dispositivo de imageamento por ultrassom conectado de modo operacional com a sonda de ultrassom para executar o imageamento por ultrassom com o uso da sonda de ultrassom, um visor, um rastreador de sonda (28) operacional para rastrear a orientação da sonda de ultrassom. O dispositivo inclui ainda um processador eletrônico conectado de modo operacional ao dispositivo de imageamento por ultrassom, ao rastreador de sonda e ao visor. Uma mídia de armazenamento não transitório armazena instruções legíveis e executáveis pelo processador de dados eletrônico para operar o dispositivo de imageamento por ultrassom para capturar uma imagem de ultrassom ao vivo e para operar o visor para exibir a imagem de ultrassom ao vivo juntamente com uma imagem de contorno ou referência que é registrada com a imagem de ultrassom ao vivo com o uso de uma transformada composta, e para executar outras operações incluindo: operar o dispositivo de imageamento por ultrassom para adquirir uma imagem de linha de base de ultrassom tridimensional (3D-US) etiquetada com uma orientação de linha de base correspondente da sonda de ultrassom medida pelo rastreador

de sonda para a imagem 3D-US de linha de base; operar o dispositivo de imageamento por ultrassom para capturar uma ou mais imagens 3D-US de referência, cada uma marcada com uma orientação de referência correspondente da sonda de ultrassom determinada pelo rastreador de sonda para a imagem 3D-US de referência; calcular uma transformada para registrar espacialmente cada imagem 3D-US de referência com a imagem 3D-US de linha de base; determinar uma imagem 3D-US de referência mais próxima cuja orientação correspondente está mais próxima de uma orientação atual da sonda de ultrassom determinada pelo rastreador de sonda; e atualizar a transformada composta para incluir a transformada e registrar espacialmente a imagem 3D-US de referência mais próxima à imagem 3D-US de linha de base.

[006] Em um outro aspecto revelado, uma mídia de armazenamento não transitório armazena instruções legíveis e executáveis por um processador eletrônico que está em comunicação operacional com um dispositivo de imageamento por ultrassom com uma sonda de ultrassom, com um visor e com um rastreador por sonda operacional para rastrear a orientação da sonda de ultrassom. As instruções são legíveis e executáveis pelo processador eletrônico para executar um método de imageamento ao vivo que inclui: operar o dispositivo de imageamento por ultrassom para capturar uma imagem de ultrassom ao vivo; registrar espacialmente um contorno ou uma imagem de referência com a imagem de ultrassom ao vivo com o uso de uma transformada composta; mostrar, no visor, a imagem de ultrassom ao vivo juntamente com o contorno ou a imagem de referência espacialmente registrada; e ajustar a transformação composta. O ajuste é

realizado pelas operações de: operar o dispositivo de imageamento por ultrassom para capturar uma imagem de ultrassom tridimensional (3D-US) de linha de base marcada com uma orientação de linha de base correspondente da sonda de ultrassom determinada pelo rastreador de sonda para a imagem 3D-US de linha de base; operar o dispositivo de imageamento por ultrassom para capturar uma ou mais imagens 3D-US de referência, cada uma marcada com uma orientação de referência correspondente da sonda de ultrassom determinada pelo rastreador de sonda para a imagem 3D-US de referência; calcular um conjunto de transformadas $\{T_{1,i}\}_{i=1,\dots,N}$ para registrar espacialmente as imagens 3D-US de referência com a imagem 3D-US de linha de base, em que N é o número de imagens 3D-US de referência e a transformada $T_{1,i}$ registra espacialmente a imagem 3D-US de referência indexada por i com a imagem 3D-US de linha de base; determinar a orientação de referência que está mais próxima da orientação atual da sonda de ultrassom determinada pelo rastreador de sonda; e atualizar a transformada composta para um produto de pelo menos uma transformada $T_{1,k}$ e uma transformada $T_{2,k}$ em que k indexa a imagem 3D-US de referência mais próxima determinada pela qual a transformada $T_{1,k}$ registra espacialmente a imagem 3D-US de referência mais próxima determinada indexada por k com a imagem 3D-US de linha de base e a transformada $T_{2,k}$ registra espacialmente a imagem 3D-US de referência mais próxima determinada com a imagem de ultrassom ao vivo.

[007] Em um outro aspecto revelado, é apresentado um método de imageamento por ultrassom ao vivo. Um dispositivo de imageamento por ultrassom é operado para

capturar uma série temporal de imagens de ultrassom ao vivo com o uso de uma sonda de ultrassom.

[008] A imagem de referência ou contorno é registrada espacialmente com a série temporal de imagens de ultrassom ao vivo com o uso de uma transformada composta. A série temporal das imagens de ultrassom ao vivo é exibida juntamente com a imagem de referência ou contorno espacialmente registrada. A transformada composta é ajustada por operações que incluem: operar o dispositivo de imageamento por ultrassom para capturar uma imagem de ultrassom tridimensional (3D-US) de linha de base marcada com uma orientação de linha de base correspondente da sonda de ultrassom determinada por um rastreador de sonda para a imagem 3D-US de linha de base; operar o dispositivo de imageamento por ultrassom para capturar uma ou mais imagens 3D-US de referência, cada uma marcada com uma orientação de referência correspondente da sonda de ultrassom determinada pelo rastreador de sonda para a imagem 3D-US de referência; calcular um conjunto de transformadas $\{T_{1,i}\}_{i=1,\dots,N}$ para registrar espacialmente as imagens 3D-US de referência com a imagem 3D-US de linha de base, em que N é o número de imagens 3D-US de referência e a transformada $T_{1,i}$ registra espacialmente a imagem 3D-US de referência indexada por i com a imagem 3D-US de linha de base; determinar a orientação de referência que está mais próxima da orientação atual da sonda de ultrassom determinada pelo rastreador de sonda; e atualizar a transformada composta para um produto de pelo menos uma transformada $T_{1,k}$ e uma transformada $T_{2,k}$ em que k indexa a imagem 3D-US de referência mais próxima determinada pela qual a transformada $T_{1,k}$ registra espacialmente a imagem

3D-US de referência mais próxima determinada indexada por k com a imagem 3D-US de linha de base e a transformada $T_{2,k}$ registra espacialmente a imagem 3D-US de referência mais próxima determinada com a imagem de ultrassom ao vivo. A transformada composta atualizada é usada no registro espacial do contorno ou da imagem de referência com imagens de ultrassom ao vivo da série temporal de imagens de ultrassom ao vivo capturadas após a imagem de ultrassom ao vivo atual.

[009] Uma vantagem reside no fornecimento de imageamento por ultrassom ao vivo (US) no contexto de uma imagem 3D-US de linha de base e/ou uma imagem anteriormente adquirida por 3D-IRM ou outra imagem de planejamento, com melhor correção imagem 3D-US de linha de base ou imagem 3D-IRM para movimento no tecido que possa ter ocorrido antes ou durante o procedimento cirúrgico guiado por imagem.

[0010] Uma outra vantagem reside em fornecer imageamento US ao vivo no contexto de um ou mais contornos de órgãos ou outras características de imagem delineadas em uma imagem 3D-US de linha de base e/ou uma imagem anteriormente adquirida por 3D-IRM ou outra imagem de planejamento, com melhor correção de característica(s) de imagem(ns) para movimento no tecido que possa ter ocorrido antes ou durante o procedimento cirúrgico guiado por imagem.

[0011] Uma outra vantagem reside em fornecer uma orientação de imageamento US ao vivo para um procedimento cirúrgico guiado por imagem com robustez aprimorada contra deformação de tecido produzida mediante o reposicionamento da sonda de ultrassom.

[0012] Uma outra vantagem reside em fornecer uma orientação de imageamento US ao vivo para um procedimento

cirúrgico guiado por imagem com precisão aprimorada quando a sonda é movida para diferentes orientações para fornecer uma perspectiva de visualização ideal para a visualização do procedimento cirúrgico.

[0013] Uma outra vantagem reside no fornecimento de um ou mais dos benefícios anteriormente mencionados com imageamento US ao vivo rápido concomitante e, conseqüentemente, orientação aprimorada de imagem ao vivo para um procedimento cirúrgico guiado por imagem.

[0014] Uma dada modalidade pode fornecer nenhuma, uma, duas, mais, ou todas as vantagens anteriormente mencionadas, e/ou pode fornecer outras vantagens, como ficará evidente ao versado na técnica mediante a leitura e o entendimento da presente revelação.

BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

[0015] A invenção pode ser colocada em prática em vários componentes e várias disposições de componentes, e em várias etapas e disposições de etapas. Os desenhos são apenas para propósitos ilustrativos das modalidades preferenciais e não devem ser interpretados como limitadores da invenção.

[0016] A Figura 1 mostra diagramaticamente um sistema ilustrativo de biópsia de próstata guiado por ultrassom (US).

[0017] A Figura 2 mostra imagens representativas com correção de movimento de tecido adequadamente produzidas pela porção guiada por US do sistema de biópsia de próstata guiada por US da Figura 1.

[0018] A Figura 3 mostra diagramaticamente a aquisição e o processamento das imagens US de referência e

de linha de base 3D realizadas pelo sistema de biópsia de próstata guiado por US da Figura 1.

[0019] A Figura 4 mostra diagramaticamente o imageamento por US ao vivo realizado em apoio a um procedimento cirúrgico de biópsia de próstata através de uma porção guiada por US do sistema de biópsia de próstata guiado por US da Figura 1.

DESCRIÇÃO DETALHADA

[0020] A precisão e a robustez da compensação de movimento baseada em registro de imagem dependem da similaridade das imagens sendo registradas. Em alguns procedimentos cirúrgicos guiados por US, a orientação da sonda ultrassônica pode ser ajustada pelo cirurgião durante o procedimento para fornecer um ponto de vantagem preferencial para a visualização da cirurgia. Isso pode criar deformações de tecido substancialmente diferentes quando comparadas com a imagem US de linha de base, e assim fazer o registro entre as imagens 3D-US de linha de base e US ao vivo obtidas com diferentes provocações de orientação de sonda. Esse registro é especialmente difícil no caso de imagens 2D-US ao vivo devido a informação de imagem reduzida na imagem 2D-US sobre a qual o registro é baseado.

[0021] As abordagens apresentadas na presente invenção em reconhecimento deste problema fornecem uma pluralidade de imagens 3D-US de referência capturadas com diferentes orientações da sonda de ultrassom. Uma delas é designada como a imagem de US de linha de base. Cada imagem 3D-US de referência e imagem 3D-US de linha de base é marcada com sua orientação de sonda, ou seja, com a orientação da sonda de ultrassom no momento em que a imagem 3D-US de

referência ou a imagem de linha de base foi capturada. Cada imagem 3D-US de referência é registrada espacialmente com a imagem 3D-US de linha de base. Se uma modalidade de imagem de planejamento diferente é também fornecida (por exemplo, uma imagem 3D-IRM ou uma imagem 3D-TC), esta é espacialmente registrada com a imagem de linha de base designada utilizando-se o registro de imagem espacial de modalidade transversal. À medida que o procedimento interventivo (por exemplo, cirúrgico) avança, este é monitorado com o uso do dispositivo de imageamento por ultrassom, que captura imagens de US ao vivo a uma taxa suficiente para fornecer imageamento em tempo real (próximo) da próstata ou outra área cirúrgica. Geralmente, as imagens de US ao vivo são imagens bidimensionais (2D), embora imagens 3D-US ao vivo sejam contempladas se a velocidade de captura 3D-US for suficiente (por exemplo se uma sonda de 3D-US for empregada).

[0022] Inicialmente, a imagem 3D-US de linha de base é usada para a sobreposição do(s) contorno(s) cirurgicamente relevante(s) (por exemplo contorno de próstata) e/ou para fundir a imagem US ao vivo com a imagem de planejamento ou uma imagem 3D-US contextual. Alternativamente, à medida que o sistema de rastreamento rastreia a sonda de orientação durante o imageamento por US ao vivo, essa orientação pode ser usada para inicialmente selecionar a imagem de linha de base ou referência 3D-US mais próxima para esse propósito. Se uma imagem 3D-US de referência é selecionada, então a sobreposição do(s) contorno(s) relevantes(s) e/ou da imagem 3D fundida implica em uma transformação espacial utilizando tanto uma transformada entre a imagem US ao vivo e a imagem 3D-US de

referência mais próxima quanto a transformada gerada inicialmente entre a imagem 3D-US de referência e a imagem 3D-US de linha de base.

[0023] Este rastreamento ao vivo com sobreposição de contorno e/ou fusão de imagem 3D continua à medida que o procedimento interventivo prossegue. No entanto, se o cirurgião ajustar o posicionamento da sonda US em uma quantidade grande o suficiente, a transformada empregada se tornará cada vez mais imprecisa, uma vez que a similaridade presumida entre a sonda de orientação usada para capturar a imagem US ao vivo e a imagem de linha de base ou referência 3D-US mais próxima se tornará cada vez mais dissimilar. Em continuidade a isso, o cirurgião poderá esperar a existência cada vez maior de um alinhamento insatisfatório entre a imagem US ao vivo e a imagem 3D fundida e/ou de contorno(s) sobreposta(s). Neste ponto, o cirurgião pode pressionar um gatilho ou outra entrada de usuário para iniciar uma atualização do registro espacial. Neste procedimento de atualização, o sistema de rastreamento determina a orientação da sonda atual para imageamento por US, e essa orientação é comparada com as orientações de sonda US marcadas das imagens de linha de base e referência 3D-US para selecionar a imagem 3D-US mais próxima. As transformadas são adequadamente atualizadas (por exemplo, uma nova imagem 3D-US de referência mais próxima é selecionada, a transformada entre a nova imagem 3D-US de referência e a imagem 3D-US de linha de base é escolhida para uso subsequente, e posteriormente a imagem US ao vivo é registrada com a nova imagem 3D-US de referência mais próxima.

[0024] Desta forma, o movimento (por exemplo a deformação de tecido diferencial) causado pelo cirurgião reposicionando a sonda ultrassônica é levado em consideração com maior precisão. Isso é feito de uma maneira computacionalmente eficiente, tendo em vista que o registro de modalidade transversal computacionalmente custoso entre a imagem de planejamento (por exemplo, imagem 3D-IRM ou 3D-TC) e a imagem de linha de base US não é recalculado e, da mesma forma, as transformadas menos custosas (mas ainda de algum modo custosas) entre as imagens 3D-US de referência e a imagem 3D-US de linha de base não são recalculadas.

[0025] Em algumas modalidades variantes, contrariamente a esta última vantagem, pode haver uma opção (por exemplo selecionável pelo cirurgião ou automaticamente desencadeada por um valor inaceitável de uma métrica de qualidade de registro espacial) para capturar uma ou mais imagem(ns) de referência adicional(is) 3D-US e/ou para voltar a adquirir uma imagem 3D-US de referência anteriormente capturadas e para calcular (ou recalculando) a(s) transformada(s) entre a(s) nova(s) imagem(ns) 3D-US de referência adquiridas e a imagem 3D-US de linha de base. Essa abordagem variante, se empregada, fornece um mecanismo de correção de movimento maior (por exemplo, maior deformação do tecido) ou para o reposicionamento da sonda de US em uma posição distante de qualquer uma das orientações das imagens 3D-US de referência mediante a atualização da(s) imagem(ns) 3D-US de referência.

[0026] Com referência à Figura 1, é mostrado um dispositivo de imageamento interventivo ilustrativo adequado para implementar o supracitado. Um dispositivo de imageamento

por ultrassom (US) 10 pode, por exemplo, ser um sistema de imageamento de ultrassom EPIQ™ disponível junto à Koninklijke Philips N.V., Amsterdã, Holanda, ou pode ser outro sistema de imageamento por ultrassom comercial ou criado de modo personalizado. O dispositivo de imageamento por ultrassom 10 é operacionalmente conectado a uma sonda de ultrassom 12 para realizar o imageamento por ultrassom com o uso da sonda de ultrassom; A sonda de US ilustrativa é uma sonda de ultrassom retal 12 que é inserida no reto 14 de um paciente. (A metade inferior do paciente é recortada de modo diagramático na Figura 1 para revelar a sonda 12 inserida que, do contrário, ficaria visualmente obstruída. Tipicamente, o paciente está deitado no lado ou voltado para cima com as pernas erguidas e fixadas em uma extensão da mesa. A escolha ilustrativa de uma sonda ultrassônica retal 12 é uma escolha convencional para monitoramento por US de um procedimento de próstata; de modo mais genérico, as abordagens de imagens interventivas reveladas podem ser usadas com outros tipos de sondas de US e/ou para monitorar outros tipos de procedimentos cirúrgicos interventivos como, por exemplo a sonda de US pode ser uma sonda de US transcutânea usada em procedimento de monitoramento de fígado ou mama. A sonda de ultrassom 12 ilustrativa está conectada com o sistema de imageamento de ultrassom 10 por meio de cabos 15. A sonda de ultrassom retal 12 ilustrativa para uso em um procedimento de próstata inclui um conjunto integrado de agulhas para biópsia 16 para coletar amostras de biópsia. De modo mais genérico, qualquer tipo de técnica de biópsia guiada por imagem pode ser empregado, como por exemplo, uma biópsia orientada por ultrassom transretal com o uso da sonda integral 12, 16 conforme ilustrado, onde a

sonda de ultrassom é inserida no reto e acessa a próstata através da parede retal; ou uma biópsia transperineal, onde a sonda de ultrassom é passada para dentro do reto, mas a agulha de biópsia passa através do períneo para acessar a próstata (opcionalmente, com o uso de uma placa de grade estereotática ou similar); e assim por diante. Em alguns procedimentos intervencionais, a agulha de biópsia ou outro(s) instrumento(s) interventivo(s) não pode(m) ser conectado(s) com a sonda. Para o procedimento de biópsia de próstata transretal ilustrativo, o paciente 14 fica de lado (conforme indicado diagramaticamente na Figura 1) sobre uma cama ou suporte de paciente 18 diagramaticamente indicado com travesseiros ou outros suportes adequados (não mostrados). O sistema de imageamento de ultrassom 10 ilustrativo inclui um visor 20 para exibir imagens de ultrassom e um ou mais componentes de interface de usuário, como um visor de interface de usuário 22 e painel de controle do usuário 24, incluindo dispositivos de entrada de usuário, como um teclado, botões dedicados, um bola de rastreamento, um mouse ou outro dispositivo apontador, e assim por diante. Alternativa ou adicionalmente, um dispositivo apontador, um ou ambos os componentes de visor 20, 22 podem ser um visor sensível ao toque que possibilita a entrada de dados pelo usuário pressionando um local no visor 20.

[0027] Com referência contínua à Figura 1, o dispositivo de imageamento interventivo inclui adicionalmente um rastreador de sonda 28 que é operacional à orientação de rastreamento da sonda US. O rastreador de sonda 28 pode, por exemplo, compreender um rastreador eletromagnético (EM) como o sistema de rastreamento Aurora® EM disponível junto à

Northern Digital Inc. (NDI, Ontário, Canadá). Um rastreador EM emprega sensores EM em componentes de rastreamento, por exemplo, um ou mais sensores EM (não mostrados) são adequadamente montados sobre ou na sonda ultrassônica 12 para permitir o rastreamento de sua posição e orientação. Em outras modalidades, o rastreador de sonda pode compreender um sensor de giroscópio, uma máquina de medição de coordenadas (CMM) que tem uma extremidade fixada à sonda US e uma base presa a um ponto de referência, e assim por diante. Em outras modalidades contempladas, nas quais a sonda US é visível, por exemplo uma sonda de US transcutânea disposta em posição externa do paciente, o rastreador de sonda 28 pode usar rastreamento óptico com o uso de refletores ópticos ou similares montados sobre a sonda de US 12 ou uma câmera de alcance. Uma fibra óptica de detecção de formato e localização, na qual retículos de difração de Bragg de fibra, dispersão de Raleigh ou similares são usados, determina um formato, posição ou orientação de uma fibra óptica e, a partir destes dados, uma posição ou orientação da sonda de ultrassom, pode também ser usada. Esses são exemplos meramente ilustrativos. Nos exemplos ilustrativos aqui descritos, o rastreador de sonda 28 é um rastreador EM.

[0028] Com referência contínua à Figura 1, o dispositivo de imageamento interventivo inclui, adicionalmente, um processador eletrônico 30 que é conectado de modo operacional ao dispositivo de imageamento por US 10 e ao visor 20, 22, e com uma mídia de armazenamento não transitório 32 que armazena instruções legíveis e executáveis pelo processador de dados eletrônicos 30 para operar o dispositivo de imageamento por ultrassom 10 para executar as

operações apresentadas na presente invenção. O processador eletrônico 30 pode ser incorporado como um microprocessador ou microcontrolador do dispositivo de imageamento US 10 (conforme indicado diagramaticamente na Figura 1) e/ou como o microprocessador ou microcontrolador de um computador ou outro dispositivo de processamento eletrônico de dados separados, e assim por diante. A mídia de armazenamento não transitório 32 pode, a título de ilustração não limitadora, incluir uma unidade de disco rígido ou outra mídia de armazenamento magnético, uma memória flash, memória apenas de leitura (ROM) ou outra mídia de armazenamento eletrônico, um disco óptico ou outra mídia de armazenamento óptico, várias combinações dos mesmos, e assim por diante.

[0029] A Figura 1 adicionalmente revela diagramaticamente as operações de um processo de formação de imagem de ultrassom ao vivo realizadas pelo processador eletrônico 30 que executa as instruções lidas a partir da mídia de armazenamento não transitório 32. Este processo inclui fornecer uma interface de usuário (IU) para imageamento de ultrassom ao vivo 40, em que uma imagem de ultrassom ao vivo é capturada com o uso do dispositivo de imageamento de ultrassom 10 e da sonda US 12. A imagem de ultrassom ao vivo é exibida no visor 20. Para fornecer contexto, a imagem de ultrassom ao vivo é exibida junto com uma imagem de contorno ou referência que é registrada com a imagem de ultrassom ao vivo usando uma transformada composta 42. Por exemplo, para fornecer imageamento interventivo em apoio a um procedimento de biópsia de próstata, o contexto pode ser um planejamento 3D-IRM da próstata (ou uma imagem 3D-TC, e assim por diante), ou pode ser um contorno da

próstata desenhado em um tal 3D-IRM. A transformada composta 42 pode ser atualizada ocasionalmente por um processo de atualização de transformada 44, descrito com mais detalhes em outro lugar na presente invenção. Em algumas modalidades, o processo de atualização de transformada 44 é acionado por um gatilho 46 operável pelo cirurgião ou outro usuário. Por exemplo, o painel de controle de usuário 24 ou algum outro controle de entrada de usuário pode operar como o gatilho 46 para acionar as atualizações do registro espacial 42 utilizado para registrar espacialmente o(s) contorno(s) anatômico(s) e/ou uma imagem de referência 3D fundida à imagem de ultrassom ao vivo. Deve-se considerar que o gatilho 46 pode assumir várias formas, como um controle remoto manual sem fio por infravermelho ou rádio com o sistema de imageamento de ultrassom 10, uma tecla virtual mostrada no visor da interface de usuário 22 (que nesse caso seria sensível ao toque), uma chave acionadora dedicada no painel de controle 24, e assim por diante.

[0030] Geralmente, a IU 40 implementada pelo processador eletrônico 30 opera o dispositivo de imageamento de ultrassom 10 para capturar e exibir uma série temporal de imagens de ultrassom ao vivo com o contorno sobreposto ou a imagem de referência fundida registrada com cada imagem de ultrassom ao vivo com o uso da transformada composta. As imagens de ultrassom ao vivo da série temporal são, de preferência, capturadas em uma taxa suficientemente rápida (por exemplo, "taxa de quadros" em analogia a um visor de vídeo) de modo que a IU de imageamento ao vivo 40 fornece ao cirurgião uma visão em tempo quase real da agulha de biópsia ou outro instrumento interventivo penetrando a próstata ou

outro alvo cirúrgico. Em alguns dispositivos de imageamento de ultrassom, as imagens de ultrassom ao vivo são imagens de ultrassom ao vivo bidimensionais (2D) capturadas com o uso da sonda US 12 que tem uma matriz de transdutor de ultrassom unidimensional. Em outras modalidades que empregam uma sonda US com uma matriz de transdutores de ultrassom 2D capaz de capturar rapidamente uma imagem 3D-US, é contemplado que as imagens de ultrassom ao vivo sejam imagens de ultrassom ao vivo 3D.

[0031] Para fornecer contexto, a IU de imageamento ao vivo 40 implementada pelo processador eletrônico 30 exibe adicionalmente um contorno ou imagem de referência juntamente com a imagem de ultrassom ao vivo. Por exemplo, um contorno da próstata pode ser sobreposto na imagem de ultrassom ao vivo exibida representando a próstata e/ou uma imagem de planejamento pode ser 3D IRM fundido com a imagem de ultrassom ao vivo, por exemplo, com o uso de combinação do canal alfa ou similares. Entretanto, o registro espacial de modalidade transversal do 3D-IRM, 3D-TC ou outra imagem de planejamento não ultrassônica com a imagem de ultrassom ao vivo é um processo computacionalmente intensivo. Além disso, no caso de uma imagem de ultrassom 2D ao vivo, a exatidão de tal registro espacial pode ser limitada pela informação espacial capturada pela imagem de ultrassom ao vivo 2D (a informação espacial de uma imagem de ultrassom ao vivo 2D é limitada a um plano no espaço). Para aliviar essas dificuldades, uma imagem de linha de base de ultrassom tridimensional (3D-US) é capturada com o uso de uma interface de usuário (IU) para captura de imagem 3D-US 48. A operação da IU para captura de imagem 3D-US 48 depende do tipo específico

da sonda ultrassônica 12 que está sendo empregada. Se a sonda ultrassônica 12 incluir uma matriz de transdutores de ultrassom 2D, então ela pode capturar uma imagem 3D-US diretamente. Se a sonda ultrassônica 12 incluir apenas uma matriz de transdutores de ultrassom lineares, então IU para captura de imagem 3D-US 48 pode instruir o usuário a varrer a sonda US 12 por meio de uma distância espacial para fornecer dados de eco do ultrassom tridimensional para gerar a imagem 3D-US. Conforme descrito em outra parte na presente invenção, a IU para captura de imagem 3D-US 48 é usada para obter uma imagem 3D-US de linha de base e uma ou mais das imagens 3D-US de referência com diferentes orientações da sonda ultrassônica 12 usadas para a captura das várias imagens de linha de base e 3D-US de referência.

[0032] Deve ser entendido que o rastreador de sonda 28 é fornecido, por exemplo, como um rastreador de sonda EM que rastreia a posição e a orientação da sonda ultrassônica 12 por meio de medição de posições espaciais de um ou mais sensores EM dispostos sobre ou na sonda US 12. Cada imagem de ultrassom ao vivo é marcada com uma orientação correspondente da sonda ultrassônica 12 medida pelo rastreador de sonda 28 para a tal imagem de ultrassom ao vivo. Da mesma forma, cada imagem 3D-US de linha de base ou 3D-US de referência é marcada com uma orientação de linha de base ou de referência correspondente, respectivamente, da sonda ultrassônica 12 medida pelo rastreador de sonda 28 para essa imagem de linha de base ou 3D-US de referência. A orientação da sonda ultrassônica 12 correspondente a uma imagem US é a orientação da sonda ultrassônica 12 medida pelo rastreador de sonda 28 para a imagem US. Esta orientação

correspondente é medida pelo rastreador de sonda 28 para a imagem de US, por exemplo, medida durante a captura dos dados de imagem de US ou pouco antes ou logo após a captura da imagem de US, enquanto a orientação da sonda ultrassônica 12 permanece como aquela usada na captura de imagem de US. Cada imagem US é marcada com a orientação correspondente da sonda ultrassônica 12 medida pelo rastreador de sonda 28 para a imagem de US. O termo "marcada" representa que a orientação correspondente medida pelo rastreador de sonda 28 para a imagem de US é associada à imagem de US no armazenamento de dados de modo que o processador eletrônico 30 que executa as instruções da mídia de armazenamento não transitório 32 possa recuperar a orientação correspondente e reconhecer que esta seja a orientação da sonda ultrassônica 12 usada na captura da imagem de US correspondente. A marcação pode, por exemplo, ser uma marcação de imagem direta, por exemplo, a orientação pode ser armazenada como metadados contidos em um cabeçalho do arquivo de dados da imagem de US, ou pode ser indireta, por exemplo, armazenada em uma tabela, planilha ou similares, que indexa as imagens US e inclui uma coluna, campo ou similares, para armazenar a orientação correspondente medida pelo rastreador de sonda 28 para cada imagem de US.

[0033] A IU para captura de imagem 3D-US 48 é usada para capturar imagens 3D-US com diferentes orientações da sonda ultrassônica 12, que são usados para gerar um conjunto de transformadas 3D 50 usadas (em parte) para construir a transformada composta 42. Mais particularmente, a IU para captura de imagem 3D-US 48 é usada para se obter uma imagem 3D-US de linha de base marcada com uma orientação de linha de base correspondente medida pelo rastreador de sonda

28 para a imagem 3D-US de linha de base. Um processo de registro de imagem espacial de modalidade transversal é então aplicado para gerar uma transformada 3D 52, designada sem perda de generalidade como T_0 aqui, que registra uma imagem de planejamento 3D (por exemplo, uma imagem 3D-IRM, 3D-TC, imagem de tomografia por emissão de pósitrons 3D, e assim por diante) com a imagem 3D-US de linha de base. Esse registro de imagem de modalidade transversal é computacionalmente custoso e/ou opcionalmente pode implicar na recepção de dados inseridos pelo usuário como a designação de pontos de referência correspondentes na imagem de planejamento e na imagem 3D-US de linha de base, respectivamente, ou no contorno de características correspondentes na imagem de planejamento e na imagem 3D-US de linha de base, respectivamente. Entretanto, o registro de imagem de modalidade transversal é geralmente realizado apenas uma vez para um dado procedimento cirúrgico.

[0034] Se a sonda ultrassônica 12 fosse mantida em uma posição fixa durante todo o procedimento cirúrgico, então esta seria suficiente para adquirir uma única imagem 3D-US de linha de base e gerar a transformada T_0 52 que registra a imagem de planejamento 3D com a imagem 3D-US de linha de base. A transformada composta 42 seria então um produto da transformada T_0 e uma segunda transformada que registra a imagem 3D-US de linha de base com a imagem de ultrassom ao vivo. (Note que o termo "produto", como usado aqui neste contexto, representa uma combinação funcional de T_0 e a segunda transformada. Isso pode ser obtido de várias maneiras, por exemplo, mediante a aplicação de T_0 a uma imagem e depois a aplicação da segunda transformada à imagem).

[0035] No entanto, durante o procedimento cirúrgico, o cirurgião pode eleger uma nova posição para a sonda US 12 de modo a se obter uma vantagem diferente de imageamento de ultrassom em tempo real do instrumento interventivo e órgão alvo (por exemplo, a agulha de biópsia penetrando a próstata no caso de um procedimento de biópsia de próstata). Deste modo, a sonda US reposicionada pode produzir movimento, por exemplo uma alteração na deformação do tecido produzida pela sonda US 12. Tal movimento (por exemplo deformação diferente de tecido em comparação com a orientação de linha de base da sonda ultrassônica 12) não é, em geral, contabilizado com exatidão pela imagem 3D-US de linha de base.

[0036] Para resolver este problema, nas abordagens reveladas, a IU para captura de imagem 3D-US 48 é adicionalmente utilizada para capturar uma ou mais imagens 3D-US de referência, cada uma marcada com uma orientação de referência correspondente medida pelo rastreador de sonda 28 para essa imagem 3D-US de referência. Sem perder a generalidade, o número de imagens 3D-US de referência que são capturadas é indicado na presente invenção como N , onde N é um número inteiro maior ou igual a um. O processo de registro de imagem espacial é então aplicado para gerar um conjunto de transformadas 3D 54, designado, sem perda de generalidade, como $\{T_{1,i}\}_{i=1,\dots,N}$ aqui, onde N é novamente o número de imagens 3D-US de referência e a transformada $T_{1,i}$ registra espacialmente a imagem 3D-US de referência indexada por i com a imagem 3D-US de linha de base. (Nota, onde o índice apropriado é evidente, a transformada empregada pode ser designada pela abreviação T_1). Como esta é uma mesma modalidade de registro espacial (ultrassom-ultrassom), esta possui custo

computacional relativamente baixo e pode, em algumas modalidades, ser realizada com o uso de processos de detecção de características automatizados (por exemplo, detectores de canto ou outras abordagens de segmentação de gradiente de imagem) para identificar recursos correspondentes nas imagens de linha de base e 3D-US de referência, respectivamente, de modo que o registro de imagem possa ser implementado de forma totalmente automatizada. Alternativamente, as entradas de usuário podem ser empregadas, por exemplo com o delineamento das características correspondentes e/ou dos contornos correspondentes.

[0037] A transformada composta 42 compreende, então, um produto de ao menos uma transformada $T_{1,k}$ e uma transformada $T_{2,k}$. (Mais uma vez, o termo "produto" como usado aqui neste contexto, representa uma combinação funcional de $T_{1,k}$ e $T_{2,k}$, por exemplo, pela aplicação de $T_{1,k}$ para a imagem 3D-US de linha de base e então a aplicação de $T_{2,k}$ para a imagem 3D-US de linha de base após a sua transformação por $T_{1,k}$). Isso pode ser obtido de várias maneiras, por exemplo mediante a aplicação de T_0 a uma imagem e depois a aplicação da segunda transformada à imagem). O índice k indexa aqui uma imagem 3D-US de referência cuja orientação de referência correspondente deve ser próxima à orientação atual da sonda ultrassônica 12 utilizada na aquisição da imagem de ultrassom atual ao vivo. Dessa forma, $T_{1,k}$ registra espacialmente a imagem 3D-US de linha de base para a imagem 3D-US de referência indexada por k . A transformada $T_{2,k}$ registra espacialmente a imagem 3D-US de referência indexada por k com a imagem de ultrassom ao vivo. Dessa forma, o produto das transformadas $T_{1,k}$ e $T_{2,k}$ opera para registrar espacialmente a

imagem 3D-US de linha de base à imagem de ultrassom ao vivo atual. Se o contorno ou a imagem de referência a ser exibida juntamente com a imagem de ultrassom ao vivo é a imagem de planejamento 3D ou um contorno desenhado na imagem de planejamento 3D, então a transformada composta 42 inclui adicionalmente a transformada T_0 , por exemplo, a transformada composta 42 compreende o produto da transformada T_0 , transformada $T_{1,k}$, e a transformada $T_{2,k}$. (Mais uma vez, o termo "produto", como usado aqui neste contexto, representa uma combinação funcional de T_0 , $T_{1,k}$ e $T_{2,k}$, por exemplo pela aplicação de T_0 para a imagem de planejamento ou a um contorno desenhado na imagem de planejamento para transformada ao quadro espacial da imagem 3D-US de linha de base, e então pela aplicação de $T_{1,k}$ para transformada ao quadro espacial de imagem 3D-US de referência indexado por k , e então a aplicação de $T_{2,k}$ para transformada ao quadro espacial da imagem de ultrassom ao vivo).

[0038] (Em algumas modalidades, é contemplado que o contorno de referência ou a imagem de referência a ser exibida juntamente com a imagem de ultrassom ao vivo pode ser a imagem 3D-US de linha de base ou um contorno desenhado na imagem de linha 3D-US de referência. Nesse caso, a transformada composta 42 não incluiria T_0 , e até mesmo em tais modalidades, pode não haver imagem de planejamento 3D adquirida por uma modalidade diferente de ultrassom.)

[0039] Com a estrutura descrita acima com referência à Figura 1, a atualização da transformada composta 42, para levar em conta um reposicionamento da sonda ultrassônica 12, acarreta na determinação da orientação de referência mais próxima da sonda ultrassônica 12 para uma

orientação atual da sonda ultrassônica 12 medida pelo rastreador de sonda 28. Na transformada composta 42, $T_{1,k}$ é atualizado ao se estabelecer que k é igual ao índice da imagem 3D-US de referência com a orientação de referência mais próxima. Para exibir imagens ao vivo subsequentes à essa atualização, $T_{2,k}$ é construída para registrar espacialmente as imagens 3D-US de referência indexadas pelo k atualizado com a imagem de ultrassom ao vivo. A transformada T_0 (caso utilizada) não é modificada por esta atualização, evitando, assim, vantajosamente o custo computacional de recalcular a transformada T_0 .

[0040] Com referência à Figura 2, o efeito de uma tal atualização é mostrado. Na Figura 2, a imagem à esquerda representa uma imagem 3D-US de linha de base de uma próstata com um contorno sobreposto. Neste exemplo ilustrativo, o contorno é desenhado na imagem 3D-US de linha de base, mas alternativamente pode ser um contorno desenhado em uma imagem de planejamento 3D, como um 3D-IRM e transformado para a estrutura espacial da imagem 3D-US de linha de base com o uso da transformada T_0 . Na Figura 2, a imagem intermediária representa uma imagem de ultrassom ao vivo 2D com o contorno da Figura 1, transformado pela transformada $T_{1,k}$ e $T_{2,k}$ para a estrutura espacial da imagem de ultrassom 2D ao vivo. Entretanto, conforme visto na Figura 2, há uma grande disparidade entre o contorno e os limites da próstata na imagem de ultrassom ao vivo 2D (indicados pelas setas na Figura 2, imagem intermediária). Na Figura 2, a imagem à direita mostra a mesma imagem de ultrassom ao vivo 2D com um contorno que é atualizado pela atualização da transformada composta para empregar a transformada $T_{1,k}$ com k atualizado

para a imagem 3D-US de referência mais próxima. A Figura 2 também indica a aplicação de sucessivas transformadas T_0 , T_1 e T_2 adequadas para implementar a transformada composta que compreende o produto da transformada T_0 , T_1 e T_2 .

[0041] Pode ser observado que em um caso limite, pode ser que a orientação de referência mais próxima para a orientação atual da sonda ultrassônica 12 é, na verdade, a orientação de linha de base correspondente à imagem 3D-US de linha de base, ao invés de qualquer uma das imagens 3D-US de referência. Neste caso, a transformada T_1 pode ser omitida ou, a partir de um ponto de vista alternativo, a transformada T_1 pode ser ajustada para uma transformada unitária de modo que a aplicação de uma transformada unitária T_1 nas imagens 3D-US de linha de base resulte numa mesma imagem 3D-US de linha de base sem modificação.

[0042] A orientação de linha de base é preferencialmente escolhida para ser a orientação mais comumente usada na realização do procedimento cirúrgico. Por exemplo, no caso de uma biópsia de próstata, a orientação de linha de base pode ser preferencialmente uma orientação axial. Os volumes de referência adicionais (imagens 3D-US de referência) são obtidos na mesma região de interesse como a imagem 3D-US de linha de base, mas com diferentes orientações de sonda que podem induzir diferentes deformações do tecido e, assim, diferentes aparências de imagens. Os volumes de referência são registrados para o volume de linha de base de modo a mapear voxels de imagem no volume de referência para voxels de imagem no volume de linha de base. Visto que esses são registros volumétricos,

uma quantidade significativa de informações de imagem pode ser vantajosamente usada para registro, que possibilita determinar as transformadas $\{T_{1,i}\}_{i=1,\dots,N}$ 54 de forma precisa e robusta, apesar das diferenças de deformação induzidas entre os volumes.

[0043] Ainda com referência à Figura 1 e referência adicional à Figura 3, é descrito um processo executado adequadamente pelo processador eletrônico 30 que executa instruções lidas a partir da mídia de armazenamento não transitório 32 para gerar a transformada 3D 50. O processo 3D recebe uma imagem de planejamento 60, e, opcionalmente, também recebe um ou mais contornos de características 62 desenhados na imagem de planejamento 60 (se tais contornos são para ser sobrepostos sobre a imagem de ultrassom ao vivo). Uma operação 64 executada pela IU para captura de imagem 3D-US 48 captura uma imagem 3D-US de linha de base 66 marcada com uma orientação de linha de base correspondente da sonda de US 12 medida pelo rastreador de sonda 28 para a imagem 3D-US de linha de base 66. Uma operação 68 executada pela IU para captura de imagem 3D-US 48 captura uma ou mais das imagens 3D-US de referência 70 (por exemplo, N tais imagens) cada uma marcada com uma orientação de referência correspondente da sonda US 12 medida pelo rastreador de sonda 28 para essa imagem 3D-US de referência. (Deve-se considerar que as operações 64, 68 podem ser realizadas com ordens variadas). Uma operação 72 aplica um registro de imagem de modalidade transversal para registrar a imagem de planejamento 60 (e, portanto, o contorno 62, se desenhado na imagem de planejamento 62) com a imagem 3D-US de linha de base 66. Isso gera a transformada

T₀ 52. Uma operação 74 aplica um registro de imagem de mesma modalidade (ultrassom-ultrassom) para registrar a imagem 3D-US de linha de base 66 com cada imagem 3D-US de referência das uma ou mais imagens 3D-US de referência 70. Isto gera o conjunto de transformadas $\{T_{1,i}\}_{i=1,\dots,N}$ 54.

[0044] Ainda com referência à Figura 1 e referência adicional à Figura 4, é descrito um processo executado adequadamente pelo processador eletrônico 30 que executa instruções lidas a partir da mídia de armazenamento não transitório 32 para executar o imageamento de ultrassom ao vivo incluindo a atualização 44 da transformada composta 42 em resposta à ativação do controle de ativação 46. No exemplo da Figura 4, as imagens de ultrassom ao vivo são presumidas como sendo imagens de ultrassom ao vivo 2D. Em uma operação 80, uma imagem de ultrassom ao vivo 2D inicial é capturada e marcada com sua orientação correspondente da sonda US 12. Em uma operação 82, a imagem de ultrassom ao vivo 2D é espacialmente registrada com a imagem 3D-US de referência mais próxima (ou de linha de base) para gerar uma transformada T₂ 84, e a imagem de ultrassom ao vivo 2D é exibida em uma operação 86 juntamente com o contorno ou imagem de referência. Depois disso, uma série temporal de imagens ao vivo 2D é gerada por interação das etapas 82, 84, 86, 88. À medida que esta série temporal de imagens ao vivo é realizada, o usuário pode escolher reposicionar a sonda US12 fazendo com que a imagem 3D-US mais próxima inicialmente escolhida deixe de ser suficientemente precisa (por exemplo, conforme mostrado na Figura 2, imagem intermediária). Quando o usuário reconhecer esta precisão degradante, ele poderá ativar o gatilho de atualização 46 que é detectado em uma operação 90. Em uma

operação 92, a orientação atual da sonda US 12 conforme medida pelo rastreador de sonda 28, é comparada com as orientações de referência e a orientação de linha de base, e a orientação de referência mais próxima (indexada aqui por k , sem perda de generalidade) é selecionada. O fluxo então passa de volta para a operação 82 de modo a continuar o imageamento de ultrassom ao vivo com o uso da imagem 3D-US de referência mais próxima indexada por k (por exemplo, a transformada T_1 é atualizada para o índice k e a transformada T_2 é atualizada para $T_{2,k}$ através do registro da imagem de ultrassom ao vivo 2D e da imagem 3D-US de referência mais próxima indexada por k).

[0045] Embora não mostrado na Figura 4, opcionalmente, se forem necessárias orientações de referência adicionais que não foram capturadas no processo de configuração (Figura 3), a produção em série temporal de imageamento de ultrassom ao vivo (por exemplo, iteração das operações 82, 84, 86, 88) pode ser interrompida e uma ou mais imagens de referência adicionais 3D-US com as orientações de referência adicionais podem ser adquiridas e registradas com a imagem 3D-US de linha de base como nas operações 68, 74 da Figura 3. Se o conjunto inicial da transformada é $\{T_{1,i}\}_{i=1,\dots,N}$ 54, então a nova transformada para a orientação de referência adicional pode ser adequadamente representada como $T_{1,N+1}$. Essa nova captura de imagem 3D-US de referência pode ser acionada, por exemplo, se no caso da operação 92, a orientação de referência mais próxima da sonda US 12 for diferente da orientação atual da sonda ultrassônica 12 por mais que uma quantidade limite. Conforme anteriormente observado, se a sonda US 12 tem apenas uma matriz linear de transdutores de ultrassom, a operação do dispositivo de imageamento de

ultrassom para adquirir a nova imagem 3D-US de referência pode incluir uma solicitação de que o usuário manipule manualmente a sonda US 12 para executar uma varredura designada da sonda US 12 durante a captura da nova imagem 3D-US de referência.

[0046] Em modalidades ilustrativas (por exemplo, na Figura 1), a atualização de transformada 44 é disparada manualmente pela operação do gatilho 46 pelo usuário. Em modalidades alternativas, esta é contemplada para disparar automaticamente a atualização de transformada 44 mediante a detecção de uma condição de gatilho. Por exemplo, uma atualização pode ser disparada se, na operação 82, uma métrica de qualidade de ajuste para as imagens espacialmente registradas indicar uma baixa precisão do registro espacial.

[0047] Em implementações ilustrativas da atualização de transformada 44, uma única imagem de ultrassom ao vivo é tomada como a imagem de ultrassom ao vivo atual. Em modalidades alternativas, o método de imageamento de ultrassom ao vivo atual pode compreender uma pluralidade de imagens de ultrassom ao vivo da série temporal de imagens de ultrassom ao vivo capturadas com a mesma orientação atual. Dessa forma, por exemplo a operação de registro 82 pode registrar otimizada a pluralidade de imagens de ultrassom ao vivo com uma melhor média de precisão ao longo da pluralidade de imagens de ultrassom ao vivo. Tal abordagem pode otimizar a exatidão e reduzir a probabilidade de resultados espúrios devido a uma imagem de ultrassom ao vivo 2D fora dos limites ter ruído substancial ou outro(s) artefato(s) de imagem(s).

A invenção foi descrita com referência a modalidades preferenciais. Modificações e alterações podem ocorrer a outros após a leitura e o entendimento da descrição detalhada acima. Pretende-se que a invenção seja interpretada por incluir todas essas modificações e alterações, desde que elas se enquadrem no escopo das reivindicações anexas ou de seus equivalentes.

REIVINDICAÇÕES

1. DISPOSITIVO DE IMAGEAMENTO INTERVENTIVO, caracterizado por compreender:

uma sonda de ultrassom (12);

um dispositivo de imageamento de ultrassom (10) operacionalmente conectado à sonda de ultrassom para fazer imageamento de ultrassom com o uso da sonda de ultrassom;

um visor (20, 22);

um rastreador de sonda (28) operacional para rastrear a orientação da sonda de ultrassom;

um processador eletrônico (30) operacionalmente conectado ao dispositivo de imageamento de ultrassom, ao rastreador de sonda e ao visor; e

uma mídia de armazenamento não transitório (32) que armazena instruções legíveis e executáveis pelo processador eletrônico de dados para operar o dispositivo de imageamento de ultrassom para capturar uma imagem de ultrassom ao vivo e para operar o visor para mostrar a imagem de ultrassom ao vivo juntamente com um contorno (62) ou imagem de referência (60) que é registrada com a imagem de ultrassom ao vivo com o uso de uma transformada composta (42) e para executar operações adicionais que incluem:

operar o dispositivo de imageamento de ultrassom para capturar uma imagem de ultrassom tridimensional (3D-US) de linha de base (66) marcada com uma orientação de linha de base correspondente da sonda de ultrassom determinada pelo rastreador de sonda para a imagem 3D-US de linha de base;

operar o dispositivo de imageamento de ultrassom para capturar uma ou mais imagens 3D-US de referência (70), cada uma marcada com uma orientação de referência

correspondente da sonda de ultrassom determinada pelo rastreador de sonda para a imagem 3D-US de referência;

computar uma transformada (54) para registrar espacialmente cada imagem 3D-US de referência com a imagem 3D-US de linha de base;

determinar uma imagem 3D-US de referência mais próxima cuja orientação correspondente está mais próxima de uma orientação atual da sonda de ultrassom determinada pelo rastreador de sonda; e

atualizar a transformada composta para incluir a transformada e registrar espacialmente a imagem 3D-US de referência mais próxima com a imagem 3D-US de linha de base.

2. DISPOSITIVO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por:

a operação de computar uma transformada (54) para registrar espacialmente cada imagem 3D-US de referência com a imagem 3D-US de linha de base computar um conjunto de transformadas $\{T_{1,i}\}_{i=1,\dots,N}$ em que N é o número de imagens 3D-US de referência e a transformada $T_{1,i}$ registra espacialmente a imagem 3D-US de referência indexada por i com a imagem 3D-US de linha de base; e

a atualização da transformada composta (42) compreender atualizar a transformada composta para um produto de pelo menos uma transformada $T_{1,k}$ e uma transformada $T_{2,k}$ em que k indexa a imagem 3D-US de referência mais próxima determinada e a transformada $T_{2,k}$ registra espacialmente a imagem 3D-US de referência mais próxima determinada com a imagem de ultrassom ao vivo.

3. DISPOSITIVO, de acordo com a reivindicação 2, caracterizado por:

a transformada composta atualizada (42) compreender um produto de uma transformada T_0 com a transformada $T_{1,k}$ e a transformada $T_{2,k}$, sendo que a transformada T_0 registra espacialmente uma imagem de planejamento tridimensional (60) capturada por uma modalidade de imageamento diferente de ultrassom com a imagem 3D-US de linha de base; e

a atualização da transformada composta não atualizar a transformada T_0 .

4. DISPOSITIVO, de acordo com a reivindicação 3, caracterizado pela imagem de planejamento tridimensional (60) capturada por uma modalidade de imageamento diferente de ultrassom compreender uma imagem de ressonância magnética tridimensional (3D-IRM) ou uma imagem de tomografia computadorizada tridimensional (3D-TC).

5. DISPOSITIVO, de acordo com qualquer uma das reivindicações 3 a 4, caracterizado pelo contorno (62) ou a imagem de referência (60) que é mostrada juntamente com a imagem de ultrassom ao vivo compreender um contorno (62) definido na imagem de planejamento e registrado com a imagem 3D-US de linha de base com o uso da transformada T_0 .

6. DISPOSITIVO, de acordo com qualquer uma das reivindicações 2 a 5, caracterizado pelo processador eletrônico (30) operar o dispositivo de imageamento de ultrassom (10) para capturar e mostrar uma série temporal de imagens de ultrassom ao vivo juntamente com o contorno (62) ou a imagem de referência (60) registrada com as imagens de ultrassom ao vivo com o uso da transformada composta (42), e sendo que:

a transformada $T_{2,k}$ da transformada composta atualizada é gerada para as imagens de ultrassom ao vivo capturadas após a

atualização da transformada composta por meio do registro espacial da imagem 3D-US de referência mais próxima determinada indexada por k com a imagem de ultrassom ao vivo.

7. DISPOSITIVO, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 6, caracterizado pela atualização da transformada composta (42) ser iniciada pela detecção da ativação de um gatilho (46) pelo usuário.

8. MÍDIA DE ARMAZENAMENTO NÃO TRANSITÓRIO (32), caracterizada por armazenar instruções legíveis e executáveis por um processador eletrônico (30) que está em comunicação operacional com um dispositivo de imageamento de ultrassom (10) que tem uma sonda de ultrassom (12) e um visor (20, 22) e com um rastreador de sonda (28) operacional para rastrear a orientação da sonda de ultrassom, sendo que as instruções legíveis e executáveis pelo processador eletrônico para executar um método de imageamento ao vivo incluem:

operar o dispositivo de imageamento de ultrassom para capturar uma imagem de ultrassom ao vivo;

registrar espacialmente um contorno (62) ou uma imagem de referência (60) com a imagem de ultrassom ao vivo com o uso de uma transformada composta (42);

mostrar, no visor, a imagem de ultrassom ao vivo juntamente com o contorno ou a imagem de referência espacialmente registrada; e

ajustar a transformada composta através de operações que incluem:

operar o dispositivo de imageamento de ultrassom para capturar uma imagem de ultrassom tridimensional (3D-US) de linha de base (66) marcada com uma orientação de linha de base

correspondente da sonda de ultrassom determinada pelo rastreador de sonda para a imagem 3D-US de linha de base;

operar o dispositivo de imageamento de ultrassom para capturar uma ou mais imagens 3D-US de referência (70), cada uma marcada com uma orientação de referência correspondente da sonda de ultrassom determinada pelo rastreador de sonda para a imagem 3D-US de referência;

computar um conjunto de transformadas $\{T_{1,i}\}_{i=1,\dots,N}$ (54) para registrar espacialmente as imagens 3D-US de referência com a imagem 3D-US de linha de base, em que N é o número de imagens 3D-US de referência e a transformada $T_{1,i}$ registra espacialmente a imagem 3D-US de referência indexada por i com a imagem 3D-US de linha de base;

determinar a orientação de referência que está mais próxima da orientação atual da sonda de ultrassom determinada pelo rastreador de sonda; e

atualizar a transformada composta para um produto de pelo menos uma transformada $T_{1,k}$ e uma transformada $T_{2,k}$ em que k indexa a imagem 3D-US de referência mais próxima determinada pela qual a transformada $T_{1,k}$ registra espacialmente a imagem 3D-US de referência mais próxima determinada indexada por k com a imagem 3D-US de linha de base e a transformada $T_{2,k}$ registra espacialmente a imagem 3D-US de referência mais próxima determinada com a imagem de ultrassom ao vivo.

9. MÍDIA, de acordo com a reivindicação 8, caracterizada por:

a atualização atualizar a transformada composta (42) para um produto de uma transformada T_0 (52) e a transformada $T_{1,k}$ e a transformada $T_{2,k}$ em que a transformada

T_0 registra espacialmente uma imagem de planejamento tridimensional (60) capturada por uma modalidade de imageamento diferente de ultrassom com a imagem 3D-US de linha de base (66); e

o contorno (62) ou a imagem de referência (60) que é mostrada juntamente com a imagem de ultrassom ao vivo ser a imagem de planejamento ou um contorno definido na imagem de planejamento.

10. MÍDIA, de acordo com qualquer uma das reivindicações 8 ou 9, caracterizada pelas operações de operar o dispositivo de imageamento de ultrassom (10) para capturar a imagem de ultrassom ao vivo, registrando espacialmente o contorno (62) ou a imagem de referência (60) com a imagem de ultrassom ao vivo e mostrando a imagem de ultrassom ao vivo juntamente com o contorno ou a imagem de referência espacialmente registrada, serem repetidas iterativamente para capturar e mostrar uma série temporal de imagens de ultrassom ao vivo juntamente com o contorno ou a imagem de referência registradas com as imagens de ultrassom ao vivo com o uso da transformada composta (42).

11. MÍDIA, de acordo com a reivindicação 10, caracterizada pelas operações de operar o dispositivo de imageamento de ultrassom (10) para capturar a imagem 3D-US de linha de base (66), operar o dispositivo de imageamento de ultrassom para capturar a uma ou mais imagens 3D-US de referência e computar o conjunto de transformadas $\{T_{1,i}\}_{i=1,\dots,N}$ (54) serem executadas antes da captura e exibição da série temporal de imagens de ultrassom ao vivo.

12. MÍDIA, de acordo com a reivindicação 11, caracterizada pela atualização da transformada composta (42) ocorrer através de operações que incluem adicionalmente:

interromper a captura e a exibição da série temporal de imagens de ultrassom ao vivo a fim de operar o dispositivo de imageamento de ultrassom (10) para capturar uma nova imagem 3D-US de referência marcada com a orientação de referência correspondente e computar uma nova transformada $T_{1,N+1}$ que registra espacialmente a nova imagem 3D-US de referência com a imagem 3D-US de linha de base (66);

sendo que, se a orientação de referência mais próxima determinada corresponde à nova imagem 3D-US de referência, então, a transformada composta é atualizada para um produto pelo menos da transformada $T_{1,N+1}$ e uma transformada $T_{2,N+1}$, sendo que a transformada $T_{2,N+1}$ registra espacialmente a nova imagem 3D-US de referência com a imagem de ultrassom ao vivo.

13. MÍDIA, de acordo com a reivindicação 12, caracterizada pela operação do dispositivo de imageamento de ultrassom (10) para capturar a nova imagem 3D-US de referência incluir solicitar que um usuário opere manualmente a sonda de ultrassom (12) para executar a varredura designada da sonda de ultrassom (12) durante a captura da nova imagem 3D-US de referência.

14. MÍDIA, de acordo com qualquer uma das reivindicações 8 a 13, caracterizada pelo ajuste da transformada composta (42) ser iniciado pela detecção da ativação de gatilho (46) pelo usuário.

15. MÍDIA, de acordo com qualquer uma das reivindicações 8 a 14, caracterizada pela operação do

dispositivo de imageamento de ultrassom (10) para capturar a imagem de ultrassom ao vivo compreender:

operar o dispositivo de imageamento de ultrassom para capturar a imagem de ultrassom ao vivo que consiste em uma imagem de ultrassom bidimensional.

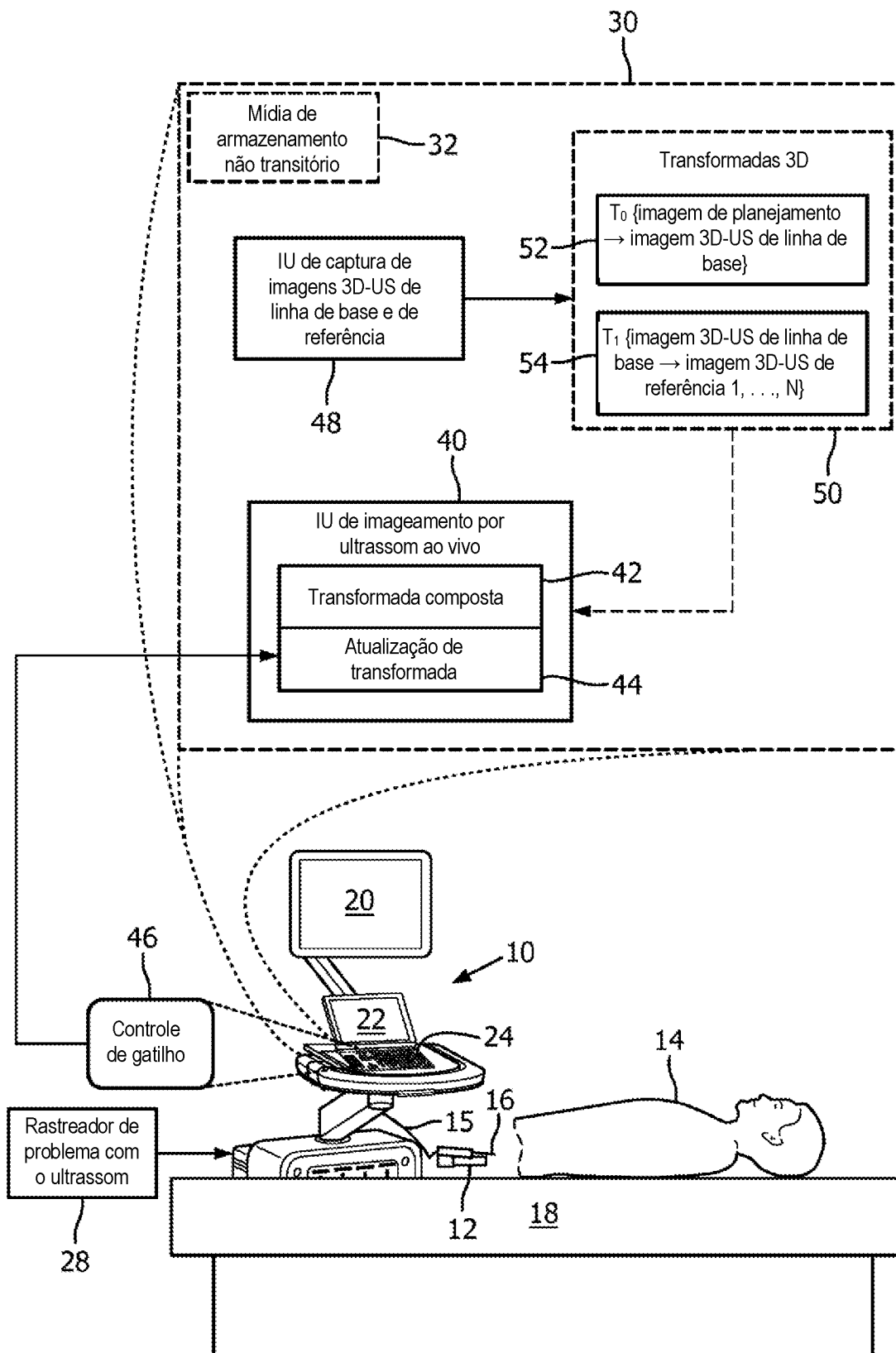


FIG. 1

T_0 → Imagem de US de linha de base 3D
 3D-IRM (ou contorno) →
 T_1 → Imagem de US de referência 3D
 Imagem de linha de base 3D →
 T_2 → Imagem de US ao vivo 2D
 Imagem de referência 3D →

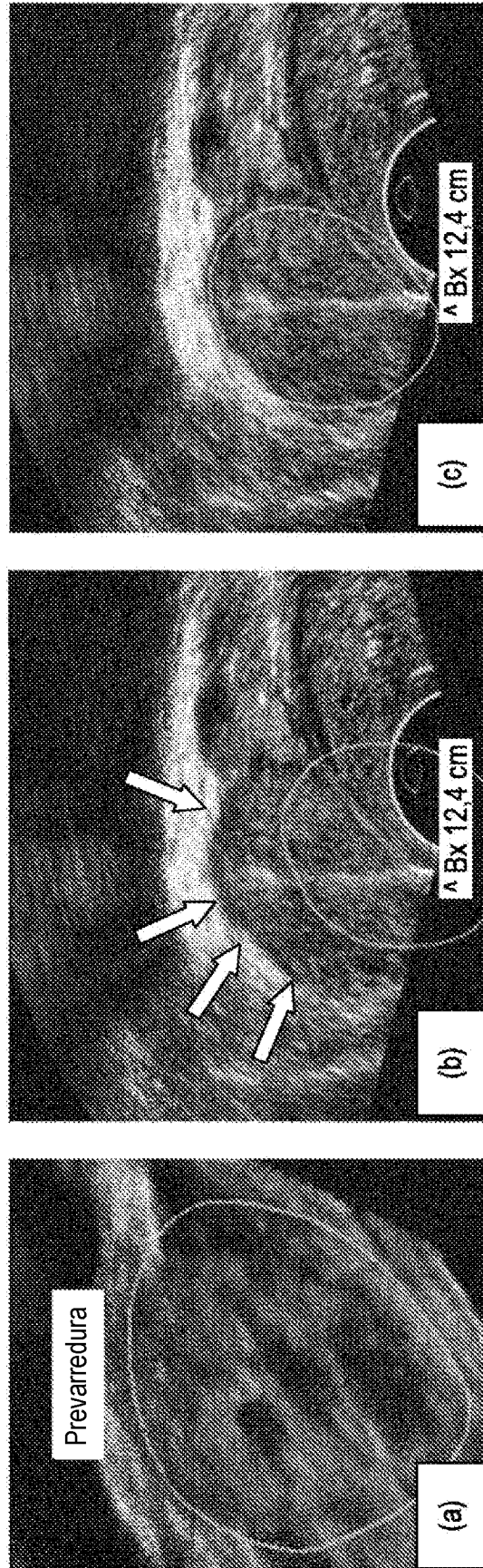


FIG. 2

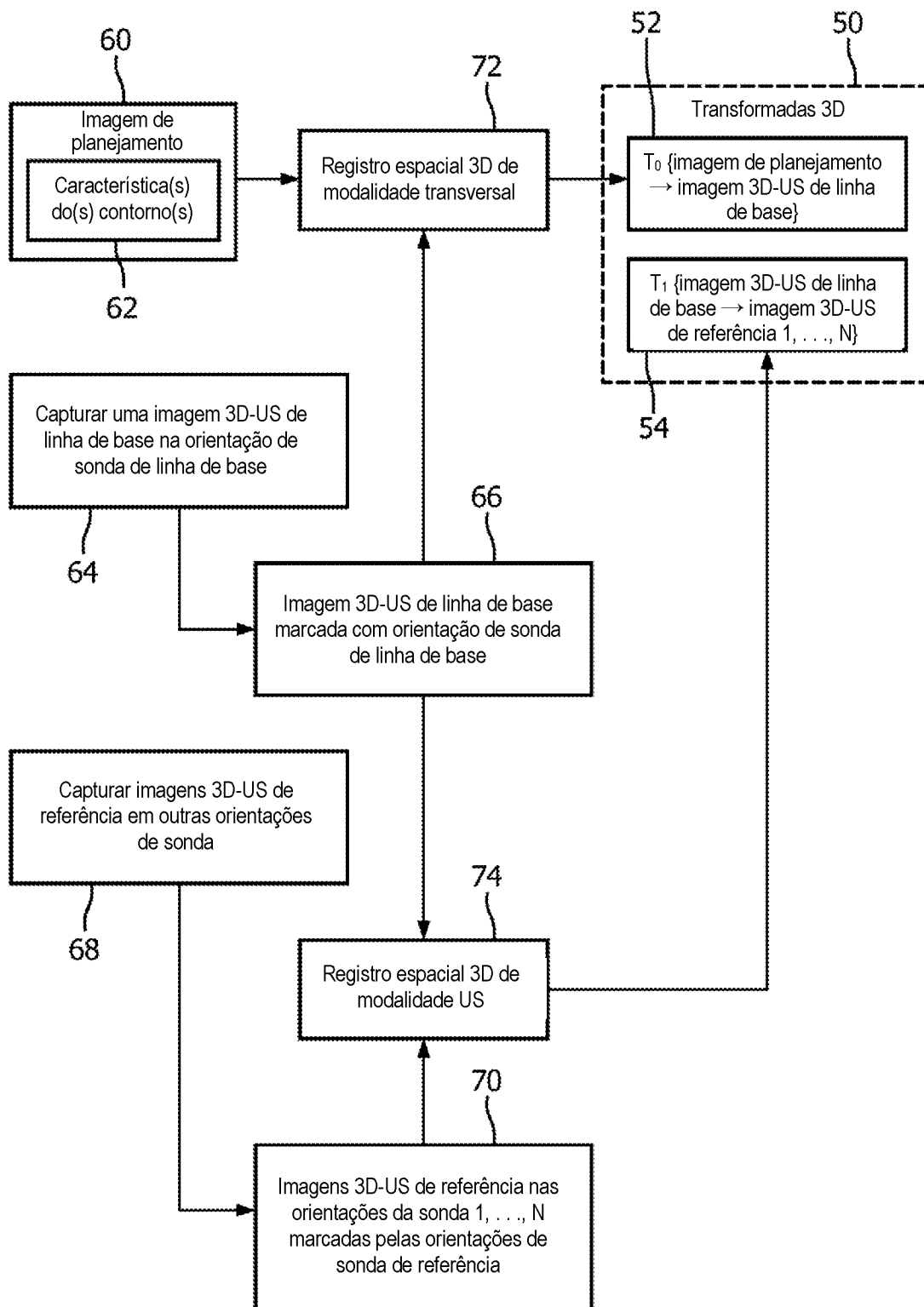


FIG. 3

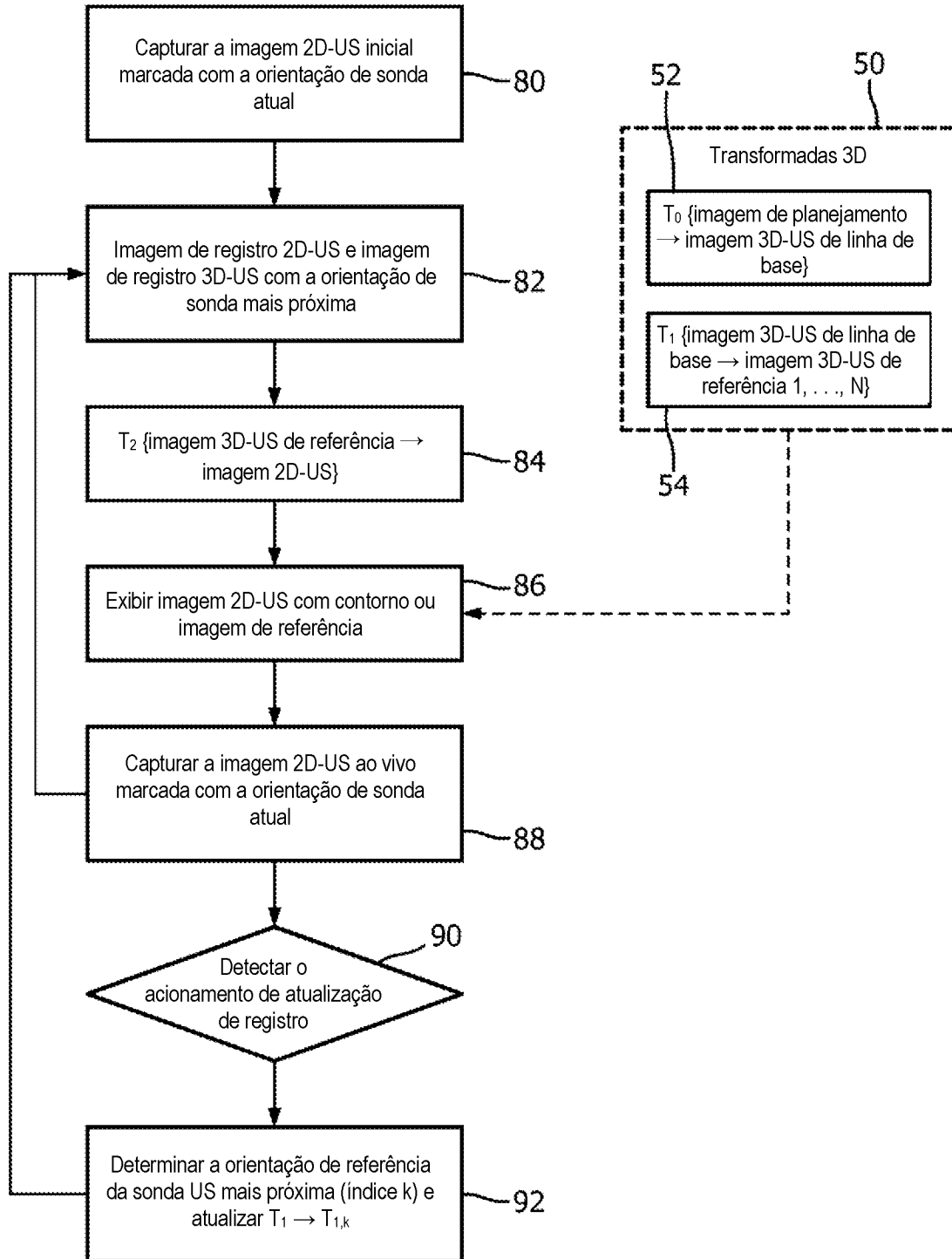


FIG. 4

RESUMO

DISPOSITIVO DE IMAGEAMENTO INTERVENTIVO, E MÍDIA DE ARMAZENAMENTO NÃO TRANSITÓRIO

A presente invenção se refere a um dispositivo de imageamento de ultrassom (10) dotado de uma sonda de ultrassom (12) que captura uma imagem de ultrassom ao vivo que é, então, mostrada com um contorno (62) ou uma imagem de referência (60) registrada com a imagem de ultrassom ao vivo com o uso de uma transformada composta (42). Para atualizar a transformada composta, o dispositivo de imageamento de ultrassom captura uma imagem de ultrassom tridimensional de linha de base (3D-US) (66) marcada com uma orientação de linha de base correspondente da sonda de ultrassom determinada por um rastreador de sonda, e uma ou mais imagens 3D-US de referência (70), cada uma marcada com uma orientação de referência correspondente. As transformadas (54) são computadas para registrar espacialmente cada imagem 3D-US de referência com a imagem 3D-US de linha de base. É determinada uma imagem 3D-US de referência mais próxima cuja orientação correspondente é a mais próxima de uma orientação atual da sonda de ultrassom, conforme determinado pelo rastreador de sonda. A transformada composta é atualizada para incluir a transformada que faz o registro espacial da imagem 3D-US de referência mais próxima com a imagem 3D-US de linha de base.