

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

(21) **PI0709421-3 A2**

(22) Data de Depósito: 29/03/2007
(43) Data da Publicação: 12/07/2011
(RPI 2114)



* B R P I O 7 0 9 4 2 1 A 2 *

(51) *Int.Cl.:*
G06K 9/00 2006.01
A61B 19/00 2006.01
A61B 18/18 2006.01

(54) Título: **SISTEMA DE MEDIAÇÃO DE POSIÇÃO DE UMA FERRAMENTA MANUAL, MÉTODO PARA GUIAR A EXTREMIDADE DISTAL DE UMA FERRAMENTA E ATADURA**

(30) Prioridade Unionista: 30/03/2006 US 60/787.149,
18/10/2006 US 60/852.403, 01/02/2007 US 60/887.605

(73) Titular(es): **ACTIVIEWS LTD**

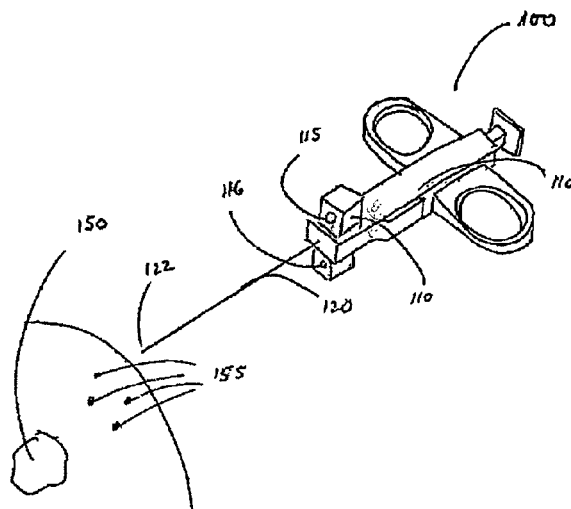
(72) Inventor(es): **PINHAS GILBOA**

(74) Procurador(es): **ANTONIO MAURICIO PEDRAS ARNAUD**

(86) Pedido Internacional: **PCT IL2007000416 de 29/03/2007**

(87) Publicação Internacional: **WO 2007/113815 de 11/10/2007**

(57) **Resumo:** SISTEMA DE MEDIÇÃO DE POSIÇÃO DE UMA FERRAMENTA MANUAL, MÉTODO PARA GUIAR A EXTREMIDADE DISTAL DE UMA FERRAMENTA E ATADURA Um sistema de medição de posição de uma ferramenta manual em relação a um corpo com seis graus de liberdade emprega uma câmera afixada por ligação mecânica à ferramenta, de modo que esta última se movimenta junto com a porção proximal da ferramenta e tenha um campo de visão que inclua a extremidade distal da ferramenta. O sistema de processamento processa as imagens a partir da câmera para determinar a posição de pelo menos parte da ferramenta. Através de pontos fiduciais de referência opticamente identificáveis definidos na superfície externa do corpo, a projeção da posição de ponta da ferramenta em um plano contendo o alvo pode ser obtida e representada junto com a posição alvo, daí facilitando a guiagem da ferramenta para o alvo.





"SISTEMA DE MEDIÇÃO DE POSIÇÃO DE UMA FERRAMENTA MANUAL, MÉTODO PARA GUIAR A EXTREMIDADE DISTAL DE UMA FERRAMENTA E ATADURA".

Campo e Histórico da Invenção

- 5 A presente invenção se relaciona a um sistema de seguimento óptico, e, particularmente, a um sistema e método de medição e guiagem óptica de posição de uma ferramenta rígida ou semiflexível para um alvo. Frequentemente utilizam-se ferramentas de agulha na
- 10 medicina para prover tratamentos locais. Em geral, estes procedimentos são executados por médicos e radiologistas, especialistas em imageamento para guiagem e controle de procedimentos terapêuticos e diagnósticos. Nestes procedimentos, as agulhas são inseridas no corpo de um
- 15 paciente controladas por um dispositivo de imageamento. Como a energia usada na fluorscopia e CT é raio X - uma energia ionizante e prejudicial a organismos vivos - foram desenvolvidos sistemas de guiagem por imagem para ferramentas de navegação para um alvo com base em dados
- 20 CT pré-operativos. Tais sistemas de navegação medem a localização do corpo e da ferramenta com seis graus de liberdade, e, subtraindo a localização da ferramenta da localização do corpo, localiza-se a ferramenta em relação ao corpo. No início do procedimento, são registrados os
- 25 dados CT e do corpo alinhando suas coordenadas. Isto é feito fazendo coincidir pelo menos três pontos fiduciais identificados nos dados CT e no corpo. Na maior parte destes sistemas, utiliza-se uma dentre duas tecnologias para determinar a localização de corpo e ferramenta:
- 30 seguidores ópticos e seguidores eletromagnéticos. Nos seguidores ópticos, o sistema usa duas câmaras espaçadas para monitorar três ou mais fontes de luz identificáveis no objeto seguido, e calcula a localização e orientação do objeto seguido por triangulação em até
- 35 seis graus de liberdade. Em seguidores eletromagnéticos, um transmissor tendo uma pluralidade de antenas transmite uma pluralidade de campos magnéticos quase-estático.

Um receptor tendo uma pluralidade de antenas recebe os sinais, e, com base nestes sinais, calcula a localização do receptor em relação ao transmissor.

5 Nestes sistemas, as posições de ferramenta e corpo são determinadas em um sistema de referência de coordenadas intermediário externo à ferramenta e corpo. Em sistemas eletromagnéticos, as coordenadas de referência são definidas por antenas transmissoras, e em seguidores ópticos, as coordenadas de referência são definidas por
10 câmaras. Subtraindo as coordenadas da ferramenta das coordenadas do corpo é derivada a localização direta da ferramenta nas coordenadas do corpo. Como cada determinação de posição inerentemente adiciona algum erro de localização ao processo, o uso de um sistema
15 intermediário de coordenadas para determinar a posição da ferramenta em relação ao corpo é menos preciso que uma posição da ferramenta obtida por medição direta no sistema de coordenadas do corpo.

A patente U.S. 6.216.029 de Paltieri descreve um método
20 de direcionamento de uma agulha sem usar as mãos para um alvo localizado em um volume do corpo. Neste, o dispositivo de imageamento é um scanner manual ultrasom. Sensores de localização eletromagnéticos são implementados nos transdutores e no cabo da ferramenta.
25 Ambas localizações sendo determinadas em relação a um arranjo de coordenadas de referência definido pelo sistema de seguimento eletromagnético.

Os sistemas de guiagem por imagem descritos acima são providos para guiar ferramentas rígidas para um alvo.
30 No entanto, agulhas tendem a curvar em virtude de seu tamanho. Particularmente, quando as agulhas são inseridas sob a pele em direção a um alvo, e, de modo geral, as forças necessárias para manipular e avançar agulhas provocam deflexão. Como nestes sistemas os sensores de
35 localização são afixados à parte proximal da agulha, a medição da orientação da porção proximal sem compensação de deflexão, produz um erro de localização

para a ponta distal da agulha e, por conseguinte, um erro em sua trajetória em direção ao alvo.

Muitos órgãos internos são cobertos por membranas, tal como pleura e peritônio. Estas membranas se mantêm
5 no lugar pelo vácuo formado entre a membrana e os órgãos. Se a membrana for perfurada, o ar vaza para o interstício entre a membrana e o órgão externo, e afoga a membrana. No pulmão, isto se chama pneumotórax, que ocorre muito freqüentemente, em cerca de 30% dos procedimentos de
10 coleta de biópsia torácica por agulha.

Por conseguinte, requer-se um sistema e/ou método de medição e guiagem óptica de posição de uma ferramenta rígida ou semiflexível para um alvo, medindo a posição da ferramenta diretamente em coordenadas fixas no corpo.
15 Também é vantajoso prover um sistema ou método de guiagem de uma agulha para um alvo que inclua uma compensação de deflexão. Espera-se que este sistema vantajosamente evite complicações, tal como pneumotórax.

Sumário da Invenção

20 A presente invenção se relaciona a um sistema e método de medição e guiagem óptica de posição de uma ferramenta rígida ou semiflexível para um alvo.

De acordo com os ensinamentos da presente invenção, provê-se um sistema de medição da posição de ferramenta
25 manual em relação a um corpo tendo pelo menos cinco graus de liberdade, qual sistema compreendendo:

a)- uma ferramenta rígida ou semiflexível tendo uma extremidade distal para inserção em um corpo e uma porção proximal para manipulação manual pelo lado de fora do
30 corpo;

b)- uma câmara para gerar imagens;

c)- uma ligação mecânica que liga a câmara à ferramenta, de modo que:

i) a câmara se movimente junto com a porção proximal da ferramenta; e
35

ii) a câmara seja direcionada com um campo de visão que inclua pelo menos parte da extremidade distal da

ferramenta; e

d- um sistema de processamento que recebe dados da câmara e que é configurado para processar as imagens da câmara e determinar a posição de pelo menos parte da
5 ferramenta.

De acordo com um aspecto adicional da invenção, provê-se um arranjo de marcadores configurado para ser aplicado a uma superfície externa do corpo, de modo a prover uma pluralidade de pontos fiduciais. O sistema de
10 processamento determina a posição em relação a esta pluralidade de pontos fiduciais.

De acordo com um aspecto adicional da presente invenção, o arranjo de marcadores é implementado em uma única atadura tendo uma pluralidade de pontos fiduciais.

15 De acordo com um aspecto adicional da presente invenção, a pluralidade de pontos fiduciais inclui pelo menos um jogo de quatro pontos fiduciais, a citada atadura sendo configurada para manter o jogo de quatro pontos fiduciais substancialmente em um plano comum.

20 De acordo com um aspecto adicional da presente invenção, a atadura inclui uma pluralidade de marcadores configurada para ser prontamente detectada por um sistema de imageamento não-óptico.

De acordo com um aspecto adicional da presente invenção,
25 os marcadores coincidem com os pontos fiduciais na atadura.

De acordo com um aspecto adicional da presente invenção, a atadura é configurada para delinear um ponto de penetração da extremidade distal da ferramenta no corpo.

30 De acordo com um aspecto adicional da presente invenção, a pluralidade de pontos fiduciais inclui um primeiro jogo de pontos fiduciais e um segundo jogo de pontos fiduciais, o segundo jogo opticamente distinguível do primeiro jogo, o primeiro jogo de pontos fiduciais sendo
35 mais proximamente espaçado que o segundo jogo de pontos fiduciais.

De acordo com um primeiro aspecto da presente invenção,

o sistema de processamento é adicionalmente configurado para derivar uma posição de ponta corrente da extremidade distal da ferramenta, qual procedimento inclui calcular a estimativa de flexão da ferramenta e empregar a estimativa de flexão para determinar a posição de ponta corrente.

De acordo com um aspecto adicional da presente invenção, a câmara e pelo menos parte do sistema de processamento são implementados em um chip processador comum.

De acordo com os ensinamentos da presente invenção, provê-se um método de guiagem de uma extremidade distal de uma ferramenta rígida ou semiflexível para um alvo em um corpo, a ferramenta tendo uma porção proximal para manipulação manual pelo lado de fora do corpo, o método compreendendo as etapas de:

- a)- determinar uma relação espacial entre uma pluralidade de pontos fiduciais de referência definida na superfície externa do corpo e alvo;
- b)- prover uma câmara mecanicamente instalada afixada à porção proximal da ferramenta; e
- c)- durante a inserção da ferramenta no corpo:
 - i) obter imagens da câmara da superfície externa do corpo incluindo uma pluralidade de pontos fiduciais;
 - ii) derivar das posições dos pontos fiduciais nas imagens uma projeção de ponta corrente correspondente substancialmente a um ponto de intersecção entre uma extrapolação da extremidade distal da ferramenta tomada na direção de face da extremidade distal com um plano contendo o alvo substancialmente perpendicular à direção de face da extremidade distal da ferramenta; e
 - iii) representar graficamente pelo menos a posição do alvo e a projeção de ponta corrente.

De acordo com um aspecto adicional da presente invenção, a pluralidade de pontos fiduciais da superfície externa do corpo é definida aplicando um arranjo de marcadores à superfície externa do corpo.

De acordo com um aspecto adicional da presente invenção,

o arranjo de marcadores é implementado em uma única atadura com uma pluralidade de pontos fiduciais.

De acordo com um aspecto adicional da presente invenção, a pluralidade de pontos fiduciais inclui pelo menos um
5 jogo de quatro pontos fiduciais, sendo que a atadura é configurada de modo a manter o jogo de quatro pontos fiduciais substancialmente em um plano comum.

De acordo com um aspecto adicional da presente invenção, determina-se a relação espacial entre os pontos fiduciais
10 de referência e o alvo através de um sistema de imageamento óptico, sendo que a atadura inclui uma pluralidade de marcadores que é prontamente detectada por um sistema de imageamento não-óptico.

De acordo com um aspecto adicional da presente invenção,
15 os marcadores coincidem com os pontos fiduciais na atadura.

De acordo com um aspecto adicional da presente invenção, a inserção da ferramenta no corpo é feita através da atadura.

De acordo com um aspecto adicional da presente invenção,
20 a atadura é configurada para delinear um ponto de penetração da extremidade distal da ferramenta no corpo.

De acordo com um aspecto adicional da presente invenção, um ponto de penetração da extremidade distal da
25 ferramenta no corpo deriva do processamento das imagens de câmara feito durante a execução do método.

De acordo com um aspecto adicional da presente invenção, a pluralidade de pontos fiduciais inclui um primeiro jogo de pontos fiduciais incluindo um primeiro marcador
30 opticamente distinto e um segundo jogo de pontos fiduciais incluindo um segundo marcador opticamente distinto, o segundo marcador opticamente distinto sendo distinguível do primeiro marcador opticamente distinto, o primeiro jogo de pontos fiduciais sendo mais próximo
35 do ponto de penetração que o segundo jogo de pontos fiduciais.

De acordo com um aspecto adicional da presente invenção,

o sistema de imageamento não-óptico é um sistema de imageamento de sistema de tomografia computadorizada.

De acordo com um aspecto adicional da presente invenção, o sistema de imageamento não-óptico é um sistema de
5 imageamento de ressonância magnética.

De acordo com um aspecto adicional da presente invenção, o sistema de imageamento não-óptico é um fluorscópio; a relação espacial entre os pontos fiduciais de referência e o alvo é determinada a partir das imagens
10 derivadas ao longo de pelo menos duas direções de visão não-paralelas.

De acordo com um aspecto adicional da presente invenção, a ferramenta tem um corpo alongado com uma direção de alongamento, sendo que a câmara é mecanicamente afixada
15 à porção proximal da ferramenta, de modo a ser adjacente ao corpo alongado, e um campo de visão que inclui a direção de alongamento.

De acordo com um aspecto adicional da invenção, antes de inserir a ferramenta no corpo, deve se realizar um
20 procedimento de calibração de comprimento incluindo:

- a) encostar a extremidade distal da ferramenta no ponto de referência localizado em uma relação espacial definida com respeito aos pontos fiduciais;
- b) derivar a posição de câmara corrente; e
- 25 c) derivar da posição de câmara corrente e da posição do ponto de referência a distância da extremidade distal à câmara.

De acordo com um aspecto adicional da presente invenção, a posição de ponta corrente da extremidade distal da
30 ferramenta é obtida, qual procedimento inclui calcular, a partir de uma combinação da posição de câmara corrente e do ponto de penetração da ferramenta no corpo, a estimativa de flexão da ferramenta, e empregar esta estimativa para determinar a posição de ponta corrente.

35 De acordo com um aspecto adicional da presente invenção, a representação gráfica resulta sobreposta à imagem obtida a partir da câmara.

De acordo com um aspecto adicional da presente invenção, a representação gráfica adicionalmente inclui uma indicação visual associada a cada ponto fiducial indicando que o correspondente ponto fiducial na imagem
5 está sendo seguido com sucesso.

De acordo com um aspecto adicional da presente invenção, a representação gráfica adicionalmente indica a distância da extremidade distal ao alvo.

De acordo com um aspecto adicional da presente invenção,
10 a representação gráfica adicionalmente representa a posição de ponta corrente.

Adicionalmente, de acordo com os ensinamentos da invenção, provê-se um método de guiagem da extremidade distal de uma ferramenta semiflexível para um alvo em um
15 corpo, a ferramenta tendo uma porção proximal para manipulação manual pelo lado de fora do corpo. Qual método compreende as etapas de:

- a) empregar um sistema de seguimento para monitorar a posição corrente da porção proximal da ferramenta;
- 20 b) determinar a localização da penetração da ferramenta no corpo;
- c) derivar, a partir da posição corrente da porção proximal da ferramenta e da localização de penetração, uma estimativa de flexão da ferramenta e, portanto,
25 a posição de ponta corrente da ferramenta no corpo;
- d) representar graficamente pelo menos:
 - i)- a posição do alvo; e
 - ii)- a intersecção de uma extrapolação a partir da extremidade distal da ferramenta tomada na direção de
30 face da extremidade distal com um plano contendo o alvo e substancialmente perpendicular à direção de face da extremidade distal.

Ademais, de acordo com os ensinamentos da invenção, provê-se uma atadura a ser aplicada à pele incluindo um
35 sistema de guiagem óptico para guiar a extremidade distal de uma ferramenta rígida ou semiflexível para um alvo em um corpo. A ferramenta tendo uma porção proximal para

manipulação manual pelo lado de fora do corpo. Qual atadura compreende:

- a) uma superfície inferior para aderir à pele;
- b) uma superfície superior provida com um jogo de pelo
- 5 menos quatro pontos fiduciais opticamente detectáveis;
- c) uma pluralidade de elementos geradores de contraste configurados para prover pontos de alto contraste durante operação de um sistema de imageamento não-óptico; e
- d) uma configuração de inserção configurada para
- 10 delinear o ponto de penetração da extremidade distal da ferramenta no corpo.

Ademais, de acordo com os ensinamentos da invenção, provêm-se elementos opacos a rádio implementados como substância opaca a rádio, qual substância é adicionada

15 ao corante empregado para formar os pontos fiduciais.

Descrição Resumida dos Desenhos

A presente invenção será descrita somente exemplarmente, com referência aos desenhos anexos, nos quais:

A figura 1 mostra uma representação isométrica esquemática ilustrando os princípios do sistema, de

20 acordo com a presente invenção;

A figura 2 mostra uma representação isométrica esquemática de um sistema de seguimento formado e operativo de acordo com os ensinamentos da presente

25 invenção;

As figuras 3a e 3b mostram respectivamente uma vista esquemática e a correspondente imagem de câmara ilustrando um método de guiagem de agulha para um alvo, sem ocorrer flexão da agulha;

30 As figuras 4a e 4b mostram respectivamente uma vista esquemática e a correspondente imagem de câmara, ilustrando erros que surgem da flexão da agulha;

As figuras 5a e 5b mostram respectivamente uma vista esquemática e a correspondente imagem de câmara,

35 similarmente às figuras 4a e 4b, mas ilustrando a compensação de erro por flexão;

A figura 6 mostra uma representação esquemática do

sistema de coordenadas usado para descrever o cálculo matemático empregado em uma implementação preferida da invenção;

5 As figuras 7a e 7b mostram estágios que exemplificam telas de uma fase de planejamento do procedimento ilustrado, usando uma caixa de plástico como amostra;

A figura 8 mostra uma vista lateral de duas agulhas tendo uma câmara miniatura, de acordo com a presente invenção;

10 As figuras 9a e 9b mostram imagens de amostra de uma câmara miniatura da presente invenção mostrando uma vista distorcida incorreta e subseqüentemente a versão correta da mesma vista;

As figuras 10a a 10d mostram representações da invenção em diferentes estágios durante a execução do procedimento exemplar no mesmo objeto das figuras 7a e 7b;

15 A figura 11 mostra uma vista lateral esquemática ilustrando uma técnica preferida para corrigir a direção de face de uma ponta distal de ferramenta, de acordo com os ensinamentos da presente invenção.

20 Descrição das Configurações Preferidas

A presente invenção se relaciona a um sistema e método de medição e guiagem óptica de posição de uma ferramenta rígida ou semiflexível para um alvo.

25 Os princípios e operação de sistema e método, de acordo com a presente invenção, serão mais bem entendidos em conexão com os desenhos e a descrição.

De modo geral, a presente invenção provê um sistema de medição de posição de uma ferramenta manual em relação a um corpo tendo pelo menos cinco graus de liberdade.

30 O sistema operando com uma ferramenta rígida ou semiflexível tendo uma extremidade distal para inserção em um corpo e uma porção proximal para manipulação manual pelo lado de fora do corpo. Uma câmara geradora de imagens é afixada por uma ligação mecânica à ferramenta, 35 de modo que a câmara se movimente junto com a porção proximal da ferramenta e seja direcionada com um campo de visão incluindo a extremidade distal da ferramenta.

Um sistema de processamento em comunicação com a câmara é configurado para processar imagens da câmara para determinar a posição de pelo menos parte da ferramenta. A presente invenção também provê um método para guiar a

5 extremidade distal de uma ferramenta quer rígida ou semiflexível para um alvo em um corpo. Em termos gerais, o método inclui determinar uma relação espacial entre uma pluralidade de pontos fiduciais de referência opticamente identificável definida na superfície externa do corpo e

10 no alvo. Então, uma câmara mecanicamente afixada à porção proximal da ferramenta é usada durante a inserção da ferramenta no corpo para obter imagens da superfície externa do corpo, incluindo a pluralidade de pontos fiduciais. As imagens então são processadas para produzir

15 uma projeção de ponta corrente, a partir das posições dos pontos fiduciais, que corresponda substancialmente a um ponto de intersecção entre uma extrapolação a partir da extremidade distal da ferramenta tomado na direção da extremidade distal com um plano contendo o alvo e

20 substancialmente perpendicular à direção de face da extremidade distal da ferramenta. Então, provê-se uma representação gráfica mostrando pelo menos a posição do alvo e da projeção de ponta corrente, daí facilitando a guiagem da ferramenta para o alvo.

25 Neste estágio, já deve ser aparente àqueles habilitados na técnica que o sistema e método da presente invenção provê grandes vantagens em relação à técnica anterior. Especificamente, montando a câmara diretamente na ferramenta, evita-se o uso de uma estrutura adicional de

30 referência externa à ferramenta e ao corpo. Esta e outras vantagens da invenção serão aparentes através da descrição que se segue.

Com respeito aos desenhos, o arranjo básico do aparelho de acordo com a invenção pode ser visto na figura 1.

35 Uma ferramenta manual 100 compreende uma extremidade proximal 110 e uma extremidade distal 122. A extremidade distal é guiada para o alvo 150 para prover um tratamento

a ser feito pela ferramenta no alvo. Um módulo de seguimento 110 é rigidamente montado na extremidade proximal da ferramenta preferivelmente em seu cabo. O módulo de seguimento provê a localização da ponta 5 distal 122 da ferramenta 120, pelo menos com relação à posição, preferivelmente também na direção relativa ao alvo 150. A determinação da localização da ferramenta em relação ao corpo é feita diretamente entre o módulo de seguimento e o corpo, sem precisar uma medição 10 intermediária entre a ferramenta e um sistema intermediário de referência. Em uma primeira configuração preferida para o módulo de seguimento 110, é incluída uma câmara 115, enquanto que em uma segunda configuração preferida também é adicionada uma segunda câmara 116. 15 As câmaras são usadas para formar imagens e identificar, de modo não-ambíguo, a pluralidade de marcadores de referência 155, incluída ou adjacente ao alvo 150. Concomitantemente, as câmaras captam imagens de pelo menos parte da ferramenta 120. 20 Preferivelmente, as câmaras 115 e 116 são câmaras do tipo chip autônomo único, tal como uma câmara CMOS, permitindo implementar a câmara e pelo menos parte do sistema de processamento em um chip processador comum. Neste caso, o chip processador deve conter todos os componentes 25 eletrônicos para produzir um sinal de vídeo, tipicamente: um gerador de relógio (clock), um gerador de sincronismo (timing), seletores de colunas e fileiras, e/ou registradores de variação (shift), um controlador de saída, mecanismos de compensação de exposição, 30 se requerido, controle de ganho e deslocamento (offset), se requerido, e outros circuitos eletrônicos necessários para permitir que a câmara de um chip produza sinais de vídeo. O termo "vídeo" aqui é usado em senso amplo, se referindo a qualquer tipo de sinal de câmara para 35 prover um fluxo de imagens incluindo sinal analógico, sinal digital, sinal digital comprimido, etc., e não necessariamente implicando em sinais produzidos em uma

razão (frame rate) de vídeo contínuo. Embora a câmara
 possa ser projetada e construída com tecnologia CCD
 usando componentes eletrônicos periféricos,
 preferivelmente a câmara é feita em tecnologia CMOS
 5 por causa da característica de combinar células sensoras
 e lógicas no mesmo chip. A lente da câmara
 preferivelmente é feita com uma única lente de plástico.
 A configuração preferida do aparelho de seguimento é
 mostrada esquematicamente na figura 2. O sinal de saída
 10 de vídeo das câmaras é transmitido a um coletor (grabber)
 de quadro 210. A transmissão do sinal de vídeo pode ser
 feita por cabo, mas em uma configuração preferida também
 pode ser sem-fio. Os sinais digitalizados pelo coletor de
 quadro 210 são transmitidos ao computador 200, que dá
 15 a posição do módulo de seguimento 110 em relação ao
 objeto seguido, e determina instruções de guiagem
 representadas na tela 230. Em outra configuração,
 um conversor analógico-para-digital é incorporado
 à câmara, e digital a transmissão de dados ao computador,
 20 que preferivelmente é um notebook PC.
 Um sistema de coordenadas no contexto matemático
 empregado em um exemplo preferido ilustrado da invenção
 é descrito na figura 6. O objeto seguido define um
 sistema cartesiano 610. O objeto é visto por uma lente
 25 que define um sistema de coordenadas 620. A lente projeta
 o ponto objeto 612 a um ponto de imagem 632 definido no
 sistema de coordenadas de imagem 630. O ponto 612
 é definido no sistema de coordenadas 610 pelo vetor
 $x(x, y, z)$ e no sistema de coordenadas 620 pelo vetor
 30 $k(k, l, m)$. A projeção deste ponto no plano da imagem
 é o vetor (p, k, f) . Define-se a transformação do objeto
 para o sistema de coordenadas de lente, como translação
 pelo vetor $k_0(k_0, l_0, m_0)$ e rotação pela matriz ortogonal
 3x3 T . A transformação entre objeto e sistema de
 35 coordenadas de lente sendo:

$$k = \begin{bmatrix} k \\ l \\ m \end{bmatrix} = (T \cdot x + k_0) = \begin{bmatrix} T_{11} & T_{12} & T_{13} \\ T_{21} & T_{22} & T_{23} \\ T_{31} & T_{32} & T_{33} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} k_0 \\ l_0 \\ m_0 \end{bmatrix} \quad (1)$$

A imagem do ponto 612 no plano focal da primeira câmara sendo:

$$\begin{bmatrix} p_a \\ q_a \\ f_a \end{bmatrix} = s_a \cdot k \quad (2)$$

5

onde f_a sendo o comprimento focal da lente da primeira câmara e s_a sua ampliação. Se implementada uma segunda câmara, a uma distância D_k na direção de eixo geométrico k , a imagem do ponto 612 no plano focal da lente da

10

segunda câmara sendo:

$$\begin{bmatrix} p_b \\ q_b \\ f_b \end{bmatrix} = (s_b / s_a) \cdot \begin{bmatrix} p_a \\ q_a \\ f_a \end{bmatrix} + s_b \cdot \begin{bmatrix} D_k \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (3)$$

onde f_b sendo o comprimento focal da lente da primeira câmara, e s_b sua ampliação, e T uma matriz ortogonal, o produto da multiplicação de pontos da fileiras (ou colunas) da matriz resultando:

15

$$T_{m,1:3} \cdot T_{n,1:3} = 1 \text{ para } m=n$$

$$0 \text{ para } m \neq n$$

(4)

20 Sendo suficiente determinar somente 4 elementos da matriz T para dar os valores do resto da matriz usando (4). A determinação de seis graus de liberdade (localização e orientação) da câmara é feita usando pontos marcadores de referência conhecidos e medindo as correspondentes

25 coordenadas de imagem e resolvendo a conversão k_0 e rotação T usando (1) a (4). Há sete incógnitas a serem resolvidas. Se apenas uma única câmara for usada, quatro marcadores de referência 612 de posição conhecida no sistema de coordenadas de objeto, devem ser usadas.

30 Quatro marcadores de referência serão suficientes, por

que para cada referência há dois dados de imagem linearmente independentes (p_i e q_i) que resulta $4 \times 2 = 8$ equações independentes para as 7 incógnitas. Com uma câmara adicional, provê-se um deslocamento entre as duas
5 imagens dos marcadores de referência, provendo dois pontos de vista diferentes. Fica fácil mostrar que para qualquer uma destas referências, estes deslocamentos ocorrem na direção do movimento entre as câmaras. Assim, para cada referência, há somente um dado medido
10 linearmente independente, e, portanto, três referências, de um total de $3 \times 3 = 9$ equações medidas linearmente independentes, serão suficientes para resolver o conjunto de equações.

Os marcadores de referência provêm "Pontos Fiduciais" que podem ser quaisquer componentes identificáveis, tal como pontos ou curvas visivelmente identificáveis quer por forma, cor, ou textura. Os marcadores de referência podem ser balizas aparentes do objeto ou objetos especialmente adicionados, tal como objetos ou
20 gravações. Outras opções incluem marcadores iluminados que podem ser fontes de luz ou refletoras de luz que refletem a luz a partir de uma fonte de luz próxima das câmaras ou de algum outro lugar. A opção de marcadores ativamente iluminados permite uma codificação
25 de sinal para simplificar a análise de vídeo. Para fontes ativas, cada marcador pode ser distintamente codificado para prover uma identificação não-ambígua dos marcadores. Opcionalmente, para evitar ambigüidades entre os diferentes pontos fiduciais, um ou mais pontos fiduciais
30 de cada jogo podem ser distinguíveis dos demais, tal como por forma ou cor diferente. Alternativamente, um marcador adicional, tal como uma seta ou similar, pode ser provido para determinar, de modo único, a orientação do jogo de pontos fiduciais. Em certos casos, descobriu-se ser
35 suficiente prover uma indicação ao usuário, através de qual indicação o dispositivo deve ser preso em relação à orientação da atadura para garantir que o sistema não

gire de uma extensão que provoque uma ambigüidade no processamento de imagem.

Mais preferivelmente, um arranjo de marcadores é implementado como uma única atadura afixada
5 à superfície do corpo tendo uma pluralidade de pontos fiduciais. Em certas configurações preferidas, para simplificar a análise matemática para calcular a posição, a atadura é configurada de modo a manter um jogo de quatro pontos fiduciais, por exemplo, empregando uma
10 atadura rígida ou de flexibilidade restrita que se curve somente em uma direção por vez. Deve ser notado que a coplanaridade dos pontos de referência não é um requisito de sistema, e, se houver potência de processamento disponível, pode se tornar supérflua.

15 Em uma configuração preferida da invenção, a localização de referências é conhecida nas coordenadas de objeto, por exemplo, por uma calibração feita antes da fase de navegação do procedimento. A calibração pode ser feita mecanicamente, ou determinada com base em dados de
20 imageamento, tal como dados CT.

A identificação das referências na saída de vídeo da câmara pode ser determinada por métodos de processamento de imagem. Tais métodos são bem conhecidos na técnica e, portanto, acessíveis àqueles habilitados na técnica para
25 produzir um código de software necessário para operar no computador 200 e determinar as coordenadas dos marcadores de referência a partir do vídeo.

Scanners tridimensionais (3D) para formar imagens no interior de um corpo são bem conhecidos, por exemplo,
30 fluorscopia de raio-X, tomografia computadorizada (CT), imageamento de ressonância magnética (MRI), tomografia de emissão de posição (PET), e ultrassom. De acordo com uma configuração preferida da invenção, uma atadura aplicada à superfície do corpo para prover pontos fiduciais
35 ópticos também provê uma pluralidade de marcadores configurados que são prontamente detectáveis por um sistema de imageamento não-óptico e facilitam o registro

da posição da atadura em relação ao alvo. Tipicamente, isto requer o uso de um material adequado para gerar aspectos de alto-contraste na tecnologia de imageamento usada. Por exemplo, os marcadores usados em scanners CT

5 são preferivelmente providos com minúsculas esferas de chumbo. As esferas podem ser incorporadas em um disco plástico chato. O posicionamento das esferas em qualquer lugar na atadura deve ser feito de modo que estas assumam um relacionamento espacial conhecido em relação aos

10 pontos fiduciais ópticos, de modo suficiente para permitir seu registro. Mais preferivelmente, a posição dos marcadores no sistema de imageamento não-óptico coincide com os pontos fiduciais ópticos, de modo que o sistema de imageamento não-óptico derive diretamente dos

15 dados escaneados. Por exemplo, de acordo com uma opção preferida, marcadores coloridos são impressos nas esferas, assim as coordenadas das citadas esferas são determinadas nos dados escaneados e na imagem a partir das câmaras. Alternativamente, os marcadores podem ser

20 implementados com corantes de contraste apropriados, facilmente visíveis em imagens CT (ou MRI) por "silk screen". Por exemplo, a adição de iodo ao corante funciona para torná-lo visível em um imageamento CT. As coordenadas dos marcadores então são usadas como

25 pontos fiduciais para registrar a orientação da câmara e os dados de volume CT, que permite direcionar a ferramenta para um alvo determinado nos dados CT. A matemática usada para registro de um sistema de coordenadas em outro por pontos fiduciais comuns é

30 bem conhecido na técnica ("Medical Image Registration" de Hajnal Hill and Hawkes, CRC press, 2001).

Outras técnicas podem ser usadas alternativamente às técnicas de imageamento 3D, tal como CT ou MRI para determinar a posição relativa entre os pontos fiduciais e

35 o alvo. Por meio de exemplo não-limitante, duas vistas não-paralelas de um fluoroscópio (dispositivo de imageamento bidimensional) foram obtidas para determinar

a posição relativa do alvo e marcadores na atadura. Em cada vista, a posição do fluorscópio, com seis graus de liberdade, é determinada a partir da posição dos marcadores na atadura, como visto a partir da vista do fluorscópio, de modo similar a um processamento óptico de pontos fiduciais, e a posição alvo sendo marcada. A intersecção das linhas que corresponde à posição alvo, em duas vistas não-paralelas, provê a localização do alvo em relação à atadura.

Um parâmetro empregado no cálculo da localização e direção da ponta de ferramenta é o ponto de penetração da ferramenta no corpo. Em princípio, o ponto de penetração pode ser escolhido pelo usuário em uma localização arbitrária na superfície do corpo no campo de visão da câmara, qual localização pode ser determinada por processamento da imagem da câmara 115. Na prática, tipicamente se preferindo fazer uso da atadura para determinar o ponto de penetração mais facilmente e/ou mais precisamente que de outra forma seria possível.

Assim, preferivelmente a inserção da ferramenta no corpo é feita através da atadura. Em uma implementação particularmente preferida, a própria atadura é configurada de modo a delinear o ponto de penetração da extremidade distal da ferramenta no corpo. Isto pode ser conseguido provendo uma abertura pré-formada, pela qual a ferramenta pode ser inserida. Desta maneira, uma vez registrada a localização dos marcadores na atadura com respeito ao alvo, a posição do ponto de inserção resulta imediatamente conhecida. Em implementações alternativas, o ponto de penetração da extremidade distal da ferramenta no corpo pode ser obtido processando as imagens da câmara durante o procedimento. Neste caso, a atadura facilita vantajosamente o cálculo com base no processamento de imagem do ponto de penetração. O ponto de penetração pode ser determinado fazendo a ponta da ferramenta contatar o local imediatamente antes da penetração, ou pode ser determinado ou feito mais

precisamente por cálculos efetuados após a penetração, enquanto a ferramenta avança.

De acordo com uma metodologia particularmente preferida, no início do procedimento, uma fita coordenadora ou uma
5 atadura feita de bloco ou camada de material contendo marcadores fiduciais é afixada à pele do paciente acima do alvo. Procede-se então a um scan CT (ou uma outra técnica de imageamento). Os locais dos marcadores e alvo são determinados e supridos ao computador 200,
10 por exemplo, através de pen drive USB 220. Com base nos dados, a navegação da ferramenta em direção ao alvo pode ser determinada.

Durante a navegação, deve ser aplicada uma compensação para deflexão de ferramenta. Os termos "deflexão"
15 "flexão" e "curvamento" aqui são usados de modo intercambiável e se referem a uma deformação elástica temporária da ferramenta, que introduz um certo grau de curvatura em relação ao estado sem tensão da ferramenta. O exemplo a seguir descreve um exemplo preferido de um
20 módulo de compensação para um sistema de seguimento de uma única câmara. Nas figuras 3a e 3b, provê-se um cenário de ferramenta não-defletida. O módulo de câmara 110 é montado na ferramenta 100 pelo lado proximal em local e direção para pelo menos parcialmente a
25 ferramenta 120 ser vista pela câmara, junto com pelo menos quatro marcadores 310 a 313. Assume-se aqui que a geometria do eixo geométrico da ferramenta e sua extensão no sistema de coordenadas da câmara sejam conhecidas de antemão, quer por projeto ou calibração.
30 Especificamente, com respeito à extensão da ferramenta, esta pode ser vantajosamente determinada no início do procedimento, tocando a ponta distal da ferramenta em qualquer ponto na superfície da atadura e atuando o sistema para determinar a distância da câmara
35 à atadura. Uma vez que a atadura é estéril, isto não acarreta nenhum problema em termos de procedimento. Outros parâmetros de calibração preferivelmente podem ser

pré-armazenados em um meio de armazenamento de dados, como será discutido mais adiante. Então, localização e orientação do módulo de imageamento 110 em relação à atadura coordenadora resultam determinadas.

5 A localização da ponta distal 112 da ferramenta pode ser determinada pela trajetória ao longo de seu eixo geométrico 322. A ponta provê a imagem da câmara, como mostrado por linha tracejada 322 e cruz 301. Se não houver deflexão, o movimento da ponta será igual ao
10 movimento da câmara. Quando a ferramenta deflete, como nas figuras 4a e 4b, sem prover uma compensação, introduzem-se erros. Uma vez determinada a trajetória da ferramenta em relação à câmara e uma vez alterada a orientação da câmara pela deflexão da extremidade
15 proximal da ferramenta, o eixo geométrico determinado da ferramenta 322 deixa de coincidir com o eixo geométrico efetivo da parte distal da ferramenta. Em consequência, a cruz 301 que representa a ponta de ferramenta (ou qualquer outra localização ao longo da direção da
20 agulha, tal como a trajetória da agulha no plano do alvo) é representada em lugar errado na tela. Em situação de erro, em particular com agulhas flexíveis, freqüentemente resulta uma navegação mal sucedida que perde o alvo.

Vários modelos podem ser usados para implementar
25 a correção de flexão de ferramenta. Com exemplo não-limitante, as correções podem ser determinadas assumindo que o ponto 320, onde a ferramenta entra no corpo, se encontra no plano 300 da atadura coordenadora. Através das equações 1 a 4, são conhecidos os parâmetros de
30 localização e orientação do plano 300. A trajetória da ferramenta no corpo, a localização de ponta e a intersecção com o plano alvo são determinadas como trajetória na direção da citada direção tangente, como nas figuras 5a e 5b.

35 Deve ser notado que diversos diferentes modelos poderão ser usados para calcular a deflexão da ferramenta com base em qualquer combinação de localização efetiva de

penetração, ponto teórico de entrada não-defletida, extensão da ferramenta fora do corpo, e quaisquer outros parâmetros medidos, e então obter a direção de face da ponta distal. Na prática, descobriu-se um cálculo particularmente simples e altamente efetivo para direção de face correta da ponta distal para uma ampla gama de implementações. Este cálculo será descrito com referência à figura 11.

Especificamente, no caso ilustrado, a ferramenta penetra no corpo em uma posição conhecida 320 na área da atadura. A trajetória teórica não-fletida da ferramenta é dada pela linha tracejada 322, enquanto o eixo geométrico óptico da câmara é dado pela linha tracejada 324. Estes eixos geométricos tipicamente são aproximadamente paralelos e definidos pelos dados de calibração supridos com o sistema. Um vetor de deflexão 326 é definido como o vetor a partir da trajetória de ferramenta não-fletida 322 para o ponto de penetração 320, em plano perpendicular ao eixo geométrico óptico 324. Para calcular a direção corrigida da ferramenta no corpo, uma posição teórica corrigida de ferramenta no corpo é determinada corrigindo a posição de cabo de ferramenta corrente por um vetor de correção 328 que corresponde a um valor em escala do vetor de deflexão 326 na direção oposta. O fator de escala pode ser uma constante ou variável, tal como, por exemplo, ser função da extensão de ferramenta fora do corpo. A direção de face estimada da ponta de ferramenta então é tomada para ser a linha 330 passando da posição de ferramenta teórica corrigida através do ponto efetivo de inserção.

Tipicamente, descobriu-se ser efetivo um fator de escala constante para o vetor de correção 328 na faixa de 1 a 3. Descobriu-se que normalmente não é crítico que a correção seja uma correção total. Na verdade, em certos casos, tentar prover uma correção total de deflexão pode resultar em sobre-compensação pelo usuário e/ou ampliação de erros de medição de posição. Em várias implementações

práticas, resultados altamente efetivos foram obtidos usando um fator de escala de cerca de 1,5.

A compensação de deflexão da ferramenta em um sistema de seguimento compreendendo duas câmaras é muito similar, com a simplificação de o arco da ferramenta defletida poder ser determinado diretamente a partir de pares de imagens estereoscópicas, determinando a localização de pontos ao longo do da ferramenta usando a equação (3).

Em outra configuração preferida da invenção, a atadura coordenadora é implementada como fita de material flexível, um lado da mesma tendo uma camada de adesivo para aderir à pele do paciente. O material flexível, preferivelmente um polímero, tal como nylon ou poli(cloreto de vinila) (PVC), incluindo minúsculos marcadores. Como antes, estes marcadores são preferivelmente implementados usando materiais que provêem alto contraste em uma técnica de imageamento não-óptico para registro. Se CT, estes marcadores devem ser opacos a rádio, por exemplo, incluir minúsculas esferas de chumbo, tipicamente com diâmetro de 1,0 a 2,0 mm. Adicionalmente, pontos fiduciais ópticos, tal como "gravações", são impressos na superfície. Estas gravações podem assumir a forma de linhas, círculos, ou outras formas, ou serem opticamente distinguíveis. Estas gravações poderiam ser impressas quer em uma única cor ou em várias cores, para facilitar sua diferenciação por segmentação de cor. Em conjunto, as gravações definem o sistema de coordenadas para conduzir a ferramenta para o alvo. Os marcadores incorporados são usados para registrar a localização da ferramenta ao volume CT. As gravações incorporadas são arranjadas para permitir que a localização dos marcadores seja determinada a partir das imagens da câmara.

O tamanho da área vista pelo equipamento óptico do dispositivo de seguimento é função do campo de visão (FOV) e da distância da fita à lente. À medida que aumenta a distância entre a câmara e a fita, a área

coberta pelo equipamento óptico também aumenta. Para preservar a precisão do sistema é preferível que os pontos fiduciais fiquem tão afastados quanto possível. Durante a inserção da ferramenta no corpo, a câmara

5 se aproxima da fita, de modo que seu campo de visão cubra uma área cada vez menor. Mais preferivelmente, para otimizar a distribuição de pontos fiduciais na posição inicial e nos estágios finais de penetração, dois ou mais jogos de pontos fiduciais, determinados por jogos

10 opticamente distintos de componentes, são implementados em diferentes espaçamentos, um jogo mais proximamente espaçado de modo a fechar para uma área menor e o outro jogo mais espaçado de modo a abrir para uma área maior. De acordo com um aspecto opcional adicional, certas

15 localizações na atadura podem ser designadas para localizações de controle associadas a funções específicas. O sistema então monitora se o operador do sistema trouxe a ponta da ferramenta em contato (ou pelo menos para perto) com uma das localizações de controle e,

20 se trouxe, realizar a correspondente função de sistema alocado. Exemplos de funções de controle de sistema que podem ser alocados a localizações na atadura deste modo incluem, mas não se limitam a, iniciar a recalibração de extensão de ferramenta, mudar modos ou outros parâmetros

25 de tela inserindo dados em tempo real, ou alterar um parâmetro operacional do sistema e desligar. A prática de tocar a ferramenta contra uma localização na atadura, como interface de usuário, é vantajosa no contexto da presente invenção, uma vez que o operador não precisa

30 tocar qualquer computador não-estéril ou desviar sua atenção do procedimento.

O sistema pode ser usado para direcionar qualquer ferramenta fina e longa, tal como agulha, apontador, etc.. A ferramenta pode ser "rígida" ou "semiflexível".

35 No contexto, o termo "rígido" é usado para uma ferramenta que não sofra flexão em condições normais de uso em uma extensão que significativamente impacte a precisão de

guiagem da ferramenta para o alvo. No contexto, o termo "semiflexível" é usado para uma ferramenta que em condição normal deflete sem substancialmente mudar de forma. Numericamente, o termo "semiflexível" pode se referir a qualquer ferramenta alongada que em uso normal mantém a curvatura induzida por flexão, em um raio maior que duas vezes sua extensão e tipicamente pelo menos três vezes sua extensão.

Em uma configuração da invenção, a geometria da ferramenta deve ser conhecida de antemão. Em outra configuração, sua geometria é determinada durante o procedimento a partir das imagens. Embora na configuração descrita, a porção distal da ferramenta fique parcialmente oculta, a invenção também é aplicável a casos onde a porção distal é vista durante toda a operação. Nesta configuração, a localização da ponta distal da ferramenta deve ser opcionalmente determinada diretamente a partir da imagem de vídeo.

Em uma configuração preferida da invenção, as imagens são mostradas na tela de computador. Em outra configuração da invenção, utilizam-se óculos para permitir uma visão tridimensional conferindo uma percepção de profundidade à imagem. Em algumas configurações da invenção, com base na localização e nos ângulos da ferramenta em relação ao corpo, podem ser produzidas imagens virtuais 3D do corpo a partir de dados escaneados em 3D, quais imagens são mostradas na tela do computador para mostrar a trajetória da ferramenta em órgãos do corpo.

Como mencionado, o conteúdo da tela preferivelmente inclui a representação da posição alvo e uma projeção de ponta corrente ao longo da direção de face da extremidade distal projetada em um plano contendo o alvo e substancialmente perpendicular à direção de face. O plano da projeção é um plano contendo o alvo e perpendicular ao eixo geométrico óptico da câmara, mas como as deflexões são relativamente pequenas, novos planos de projeção serão considerados contidos no escopo de terminologia

substancialmente perpendicular à direção de face.

Em adição à posição alvo e à projeção de ponta corrente, vários outros itens são preferivelmente mostrados na tela para facilitar a navegação da ferramenta para o alvo.

- 5 De acordo com uma primeira configuração preferida, a representação gráfica da posição alvo e a projeção de ponta corrente são representadas em tela se sobrepondo à imagem da câmara. Descobriu-se que isto é muito útil para ajudar o usuário a manter sua orientação espacial.
- 10 Opcionalmente, uma indicação visual pode ser mostrada na tela associada a cada ponto fiducial, indicando que o correspondente ponto fiducial na imagem está sendo seguido com sucesso. Outros itens que opcionalmente podem ser representados incluem uma indicação de distância
- 15 da extremidade distal ao alvo, tal como uma distância numérica em milímetros, e a representação da posição de ponta corrente.

- Um exemplo de processo de navegação de uma agulha para um alvo é mostrado nas figuras 7 a 10. Uma caixa de
- 20 plástico vazia é usada como corpo, os alvos sendo colados à base e uma fita coordenadora colada à tampa. Em primeiro lugar, o corpo (caixa) é escaneado com scanner CT. Os dados escaneados são alimentados a um programa de computador. Usando este programa, as posições
- 25 dos pontos fiduciais (figura 7a) e alvos (figura 7b) são marcadas. Uma câmara miniatura é afixada por meio de um adaptador simples a uma agulha, como nos exemplos na figura 8. Frequentemente, as lentes da câmara distorcem a imagem, como visto na figura 9a, que então
- 30 precisa ser corrigida, como visto na figura 9b. As figuras 10a a 10d mostram telas de navegação do sistema. A informação sendo representada sobre a imagem 1300 original da câmara. A fita 1330 inclui 8 marcadores impressos - 4 marcadores verdes 1310 e 4 marcadores azuis
- 35 1314. O uso de cores primárias facilita a identificação dos marcadores durante o processamento de imagem, e, pelo menos em aplicações médicas, preferivelmente se evita a

cor vermelha para não confundir com sangue no campo de visão. Como visto, outros tipos de marcadores opticamente distinguíveis poderão ser usados. Os marcadores azuis são mais proximamente espaçados em uma região mais ampla

5 abrangida por marcadores verdes. Um eixo de agulha 1120 é visto entrando na fita coordenadora no furo pré-definido 1320. Na figura 10a, a agulha não flete, então seu eixo geométrico 1322 coincide com o eixo geométrico 1120 da agulha. O alvo 1302 é representado por 2 discos

10 concêntricos coloridos, um anel externo azul calibrado para representar um disco com diâmetro de 10 mm medido no plano alvo, um disco interno verde, do disco com diâmetro de 5 mm, ambos centrados no alvo. A distância entre a ponta da agulha e o alvo também sendo

15 representada na caixa de texto 1332.

Apontar a agulha para um dos alvos, como na figura 10b, automaticamente seleciona o alvo, o que é indicado pela mudança de verde para amarelo. Durante a guiagem, o sistema determina a deflexão do eixo geométrico da

20 agulha. A figura 10c mostra uma situação onde o eixo geométrico 1120 está defletido. Com a deflexão, a trajetória prevista da agulha 1322 (em linha tracejada) não coincide com a imagem do eixo geométrico. O reticulado 1301 é preferivelmente representado com um

25 tamanho em função da distância, daí dando uma noção de profundidade, à medida que a distância da ponta ao alvo diminui e o tamanho do reticulado aumenta (ou vice-versa). Quando a agulha é inserida no corpo, a distância da câmara à fita se reduz, por conseguinte reduzindo a

30 área da fita coberta pelo campo de visão. Em consequência, como na figura 10d, os marcadores verdes saem do campo de visão da câmara, deixando apenas marcadores azuis para guiar a ferramenta. Quando a ponta da agulha chega no plano do alvo, a forma representada

35 passa de cruz para estrela (1341 na figura 10d), indicando não haver necessidade de um avanço adicional. Para estimar a deflexão da agulha, outras tecnologias de

seguimento diferentes das descritas poderão ser igualmente usadas, tipicamente usando uma solução conceitual similar com base no cálculo da diferença entre o ponto de entrada real e o ponto de entrada não defletido teórico. Tais tecnologias incluem incorporar, mas não se limitando a este, um sensor de localização na extremidade proximal da ferramenta e um outro sensor de posição adjacente com o ponto de entrada efetivo da ferramenta no corpo. Outro método possível seria prever uma deflexão fora do corpo, escaneando as coordenadas marcadas ao longo do eixo da agulha fora do corpo, e prever a partir daí a trajetória no corpo. Tal processo de escaneamento pode ser feito por scanner, tal como um scanner estereoscópico óptico.

Prevendo a trajetória da agulha no corpo, os dados CT podem ser usados para avaliar parâmetros na trajetória prevista, tal como flexibilidade e densidade, e usá-los para estimar a deflexão da agulha.

Mais recentemente foi desenvolvida fluoroscopia CT para procedimentos cirúrgicos. Nestes scanners, a imagem de uma única fatia é produzida em modo contínuo, permitindo uma utilização similar a um dispositivo de imageamento de fluoroscopia de raio-X em tempo real. O sistema da invenção apresenta diversas vantagens em relação à fluoroscopia CT para guiar uma ferramenta para um alvo. Em primeiro lugar, provê-se uma navegação contínua em tempo real sem raio X, e ademais, permite a navegação de ferramenta em qualquer direção, e também em direção perpendicular às fatias CT, diferentemente da fluoroscopia CT que requer que a trajetória inteira seja feita em uma única fatia CT.

Este sistema e método provêem a navegação da ferramenta a partir de qualquer lado do corpo de um paciente, e independentemente de sua orientação, permitindo uma navegação de baixo para cima, de modo vantajoso para qualquer procedimento particular.

A distorção de lente da câmara pode ser preferivelmente

corrigida por polinomiais, como bem conhecido na técnica. Cada lente tem uma distorção própria a ser corrigida individualmente. Em uma configuração preferida, estes polinomiais são contidos em uma memória integrada
5 à câmara ou supridos separados ou em uma memória na própria câmara. Estas correções preferivelmente também incluem correções de calibração para qualquer variação de alinhamento de câmara em relação à ferramenta, por tolerâncias de fabricação. Quando a câmara estiver
10 conectada ao sistema, os polinomiais são lidos e supridos a um algoritmo. A imagem da câmara sendo corrigida individualmente por estes polinomiais.

Deve ser apreciado por aqueles habilitados na técnica que a descrição acima foi dada apenas a guisa de exemplo,
15 e que muitas outras configurações serão possíveis dentro do escopo da mesma, qual escopo sendo definido apenas pelas reivindicações anexas.

REIVINDICAÇÕES

- 1- Sistema de medição de posição de uma ferramenta manual, em relação a um corpo, tendo pelo menos cinco graus de liberdade, caracterizado pelo fato de
5 compreender:
- a) uma ferramenta rígida ou semiflexível tendo uma extremidade distal para inserção no corpo, e uma porção proximal para manipulação manual pelo lado de fora do corpo;
 - 10 b) uma câmara para gerar imagens;
 - c) uma ligação mecânica afixando a citada câmara à citada ferramenta, de modo que:
 - i) a citada câmara se desloque junto com a porção proximal da citada ferramenta; e
 - 15 ii) a citada câmara seja direcionada com um campo de visão incluindo pelo menos parte da citada extremidade distal da citada ferramenta; e
 - d) um sistema de processamento em comunicação de dados com a citada câmara e configurado para processar imagens
20 a partir da citada câmara para determinar a posição de pelo menos parte da citada ferramenta.
- 2- Sistema, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de compreender um arranjo de marcadores configurado para ser aplicado a uma superfície
25 externa do corpo e prover uma pluralidade de pontos fiduciais, o citado sistema de processamento determinando a citada posição com respeito aos citados pontos fiduciais.
- 3- Sistema, de acordo com a reivindicação 2, caracterizado pelo fato de o citado arranjo de marcadores ser implementado como uma única atadura portando a citada pluralidade de pontos fiduciais.
30
- 4- Sistema, de acordo com a reivindicação 3, caracterizado pelo fato de a citada pluralidade de pontos
35 fiduciais incluir pelo menos um jogo de quatro pontos fiduciais, a citada atadura sendo configurada de modo a manter o citado jogo de quatro pontos fiduciais

substancialmente em um plano comum.

5- Sistema, de acordo com a reivindicação 3, caracterizado pelo fato de a citada atadura incluir uma pluralidade de marcadores configurada para ser prontamente detectada por um sistema de imagem não-óptico.

6- Sistema, de acordo com a reivindicação 5, caracterizado pelo fato de os citados marcadores coincidirem com os citados pontos fiduciais na citada atadura.

7- Sistema, de acordo com a reivindicação 3, caracterizado pelo fato de a citada atadura ser configurada para delinear um ponto de penetração da extremidade distal da ferramenta no corpo.

8- Sistema, de acordo com a reivindicação 7, caracterizado pelo fato de a citada pluralidade de pontos fiduciais incluir um primeiro jogo de pontos fiduciais e um segundo jogo de pontos fiduciais opticamente distinguível do citado primeiro jogo de pontos fiduciais, o citado primeiro jogo de pontos fiduciais sendo disposto mais proximamente espaçado que o citado segundo jogo de pontos fiduciais.

9- Sistema, de acordo com a reivindicação 3, caracterizado pelo fato de o citado sistema de processamento ser adicionalmente configurado para derivar a posição de ponta corrente da extremidade distal da ferramenta, a citada derivação incluindo calcular a estimativa de flexão da ferramenta e empregar a citada estimativa de flexão para determinar a citada posição de ponta corrente.

10- Sistema, de acordo com a reivindicação 3, caracterizado pelo fato de a citada câmara e pelo menos parte do citado sistema de processamento ser implementada em um chip de processamento comum.

11- Método para guiar a extremidade distal de uma ferramenta, rígida ou semiflexível para um alvo em um corpo, a ferramenta tendo uma porção proximal para

manipulação manual pelo lado de fora do corpo, caracterizado pelo fato de compreender as etapas de:

- a)- determinar uma relação espacial entre uma pluralidade de pontos fiduciais opticamente identificáveis definida na superfície externa do corpo e do alvo;
- b)- prover uma câmara mecanicamente afixada à porção proximal da ferramenta; e
- c)- durante a inserção da ferramenta no corpo:
 - 10 i)- derivar da câmara imagens da superfície externa do corpo, incluindo a pluralidade de citados pontos fiduciais;
 - ii)- derivar das posições dos citados pontos fiduciais nas citadas imagens uma projeção de ponta corrente que
15 corresponda substancialmente com o ponto de inserção entre uma extrapolação a partir da extremidade distal do corpo tomada na direção de face da extremidade distal com um plano contendo o alvo e substancialmente perpendicular à direção de face da extremidade distal da ferramenta; e
 - 20 iii)- representar graficamente pelo menos a posição do alvo e a projeção de ponta corrente.
- 12- Método, de acordo com a reivindicação 11, caracterizado pelo fato de a citada pluralidade de pontos fiduciais na superfície externa do corpo ser definida
25 aplicando à superfície externa do corpo um arranjo de marcadores.
- 13- Método, de acordo com a reivindicação 12, caracterizado pelo fato de o citado arranjo de marcadores ser implementado como uma atadura tendo a citada
30 pluralidade de pontos fiduciais.
- 14- Método, de acordo com a reivindicação 13, caracterizado pelo fato de a citada pluralidade de pontos fiduciais incluir pelo menos um jogo de quatro pontos fiduciais, a citada atadura sendo configurada de modo
35 a manter o citado jogo de quatro pontos fiduciais substancialmente em um plano comum.
- 15- Método, de acordo com a reivindicação 13,

caracterizado pelo fato de a citada relação espacial entre os citados pontos fiduciais de referência e o alvo ser determinada com um sistema de imageamento não-óptico, a citada atadura incluindo uma pluralidade de marcadores configurada para ser prontamente detectada pelo citado sistema de imagem não-óptico.

16- Método, de acordo com a reivindicação 15, caracterizado pelo fato de os marcadores coincidirem com os citados pontos fiduciais na citada atadura.

17- Método, de acordo com a reivindicação 13, caracterizado pelo fato de a inserção da ferramenta no corpo ser feita através da citada atadura.

18- Método, de acordo com a reivindicação 17, caracterizado pelo fato de a citada atadura ser configurada para delinear um ponto de penetração da extremidade distal para dentro do corpo.

19- Método, de acordo com a reivindicação 17, caracterizado pelo fato de o ponto de penetração da extremidade distal da ferramenta no corpo ser obtida do processamento das citadas imagens a partir da câmara durante a execução do método.

20- Método, de acordo com a reivindicação 17, caracterizado pelo fato de a citada pluralidade de pontos fiduciais incluir um primeiro jogo de pontos fiduciais incluindo um primeiro marcador opticamente distinto e um segundo jogo de pontos fiduciais incluindo um segundo marcador opticamente distinto, este último sendo distingüível do citado primeiro marcador opticamente distinto, o citado primeiro jogo de pontos fiduciais sendo mais próximo do citado ponto de penetração que o citado segundo jogo de pontos fiduciais.

21- Método, de acordo com a reivindicação 11, caracterizado pelo fato de o sistema de imagem não-óptico ser um sistema de tomografia computadorizado.

22- Método, de acordo com a reivindicação 11, caracterizado pelo fato de o sistema de imagem não-óptico ser um sistema de imagem de ressonância magnética.

- 23- Método, de acordo com a reivindicação 11, caracterizado pelo fato de o sistema de imageamento não-óptico ser um fluorscópio, e a relação espacial entre os citados pontos fiduciais de referência e o alvo ser determinada a partir de imagens obtidas ao longo de pelo menos duas direções de visualização não-paralelas.
- 24- Método, de acordo com a reivindicação 11, caracterizado pelo fato de a ferramenta ter um corpo alongado com uma direção de alongamento, a citada câmara sendo mecanicamente afixada à porção proximal da ferramenta de modo a ser adjacente ao corpo alongado, provendo um campo de visão que inclua a direção de alongamento.
- 25- Método, de acordo com a reivindicação 11, caracterizado pelo fato de adicionalmente compreender, antes da inserir a ferramenta no corpo, a etapa de executar um procedimento de calibração incluindo:
- a)- encostar a citada extremidade distal da ferramenta em um ponto de referência localizado em relação espacial definida com os citados pontos fiduciais;
 - b)- derivar a posição de câmara corrente; e
 - c)- derivar, a partir da posição de câmara corrente e da posição do citado ponto de referência, a distância da citada extremidade distal à câmara.
- 26- Método, de acordo com a reivindicação 11, caracterizado pelo fato de adicionalmente compreender derivar a posição de ponta corrente da extremidade distal da ferramenta, a citada derivação incluindo calcular, a partir de uma combinação da posição de câmara corrente e do ponto de penetração da ferramenta no corpo, uma estimativa de flexão da ferramenta, e empregar a citada estimativa de flexão para determinar a citada posição de ponta corrente.
- 27- Método, de acordo com a reivindicação 11, caracterizado pelo fato de a citada representação gráfica ser sobreposta à imagem da câmara.
- 28- Método, de acordo com a reivindicação 27,

caracterizado pelo fato de a citada representação gráfica adicionalmente incluir uma indicação visual associada a cada ponto fiducial indicando que o correspondente ponto fiducial na imagem está sendo seguido com sucesso.

5 29- Método, de acordo com a reivindicação 11, caracterizado pelo fato de a citada representação gráfica adicionalmente incluir a indicação da distância da extremidade distal ao alvo.

10 30- Método, de acordo com a reivindicação 11, caracterizado pelo fato de a citada representação gráfica adicionalmente incluir a posição de ponta corrente.

31- Método para guiar a extremidade distal de uma ferramenta, semiflexível para um alvo em um corpo, a ferramenta tendo uma porção proximal para manipulação manual pelo lado de fora do corpo, caracterizado pelo
15 fato de compreender as etapas de:

a)- empregar um sistema de seguimento de posição para monitorar a posição corrente da porção proximal da ferramenta;

20 b)- determinar a localização de penetração da ferramenta no corpo;

c)- derivar, a partir da citada posição corrente da porção proximal da ferramenta e da citada localização de penetração, uma estimativa de flexão da ferramenta, e daí
25 a posição corrente da ponta da extremidade distal da ferramenta no corpo; e

d)- representar graficamente pelo menos:

i)- a posição do alvo; e

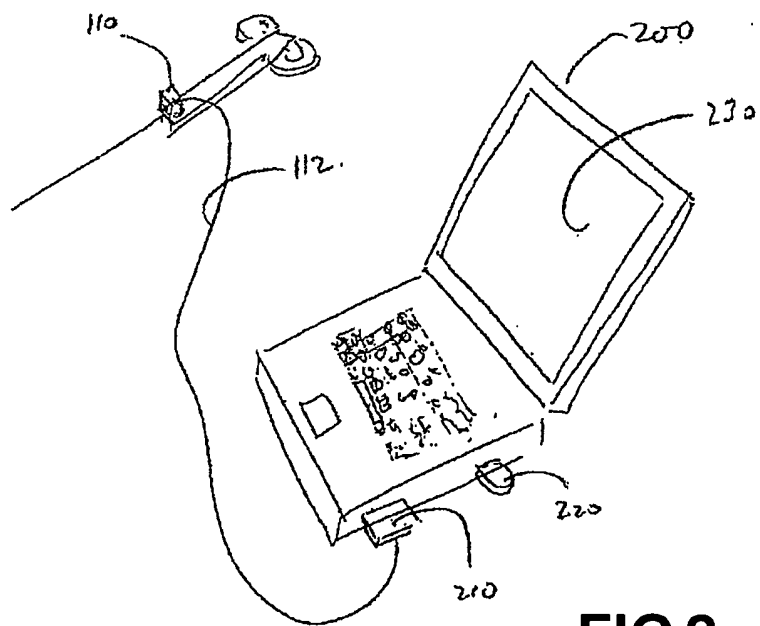
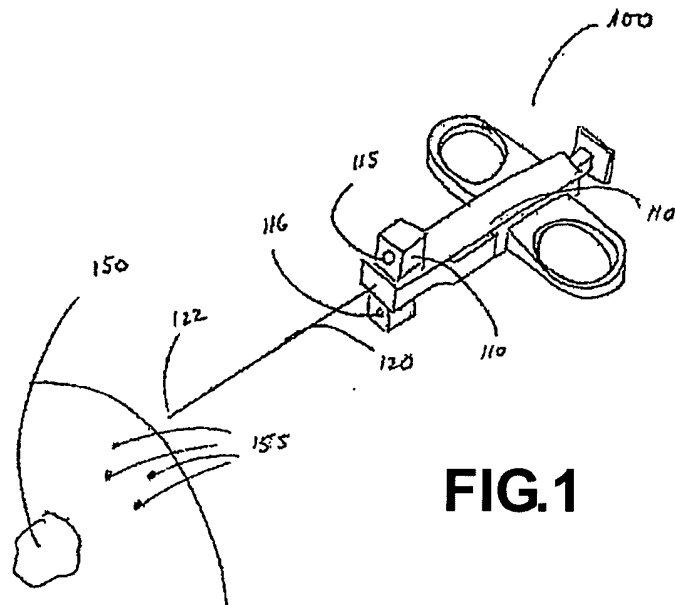
30 ii)- a intersecção de uma extrapolação a partir da extremidade distal da ferramenta tomada em uma direção de face da extremidade distal com um plano contendo o alvo e substancialmente perpendicular à direção de face da extremidade.

32- Atadura, a ser aplicada à pele para uso em conjunto
35 com um sistema de guiagem para guiar a extremidade distal de uma ferramenta rígida ou semiflexível para um alvo em um corpo, a ferramenta tendo uma porção proximal para

manipulação manual pelo lado de fora do corpo, caracterizada pelo fato de compreender:

- a)- uma superfície inferior para colar à pele;
 - b)- uma superfície superior provida com um jogo de pelo
5 menos quatro pontos fiduciais opticamente detectáveis;
 - c)- uma pluralidade de elementos geradores de contraste configurados para prover pontos de alto contraste na operação de um sistema de imageamento não-óptico;
 - d)- uma configuração de inserção configurada para
10 delinear um ponto de penetração da extremidade distal da ferramenta no corpo.
- 33- Atadura, de acordo com a reivindicação 32, caracterizada pelo fato de os citados elementos geradores de contraste serem implementados como elementos opacos a
15 rádio.
- 34- Atadura, de acordo com a reivindicação 33, caracterizada pelo fato de os citados elementos opacos a rádio serem implementados na forma de uma substância opaca a rádio adicionada a um corante, empregada
20 para formar os citados pontos fiduciais.

1/10



2/10

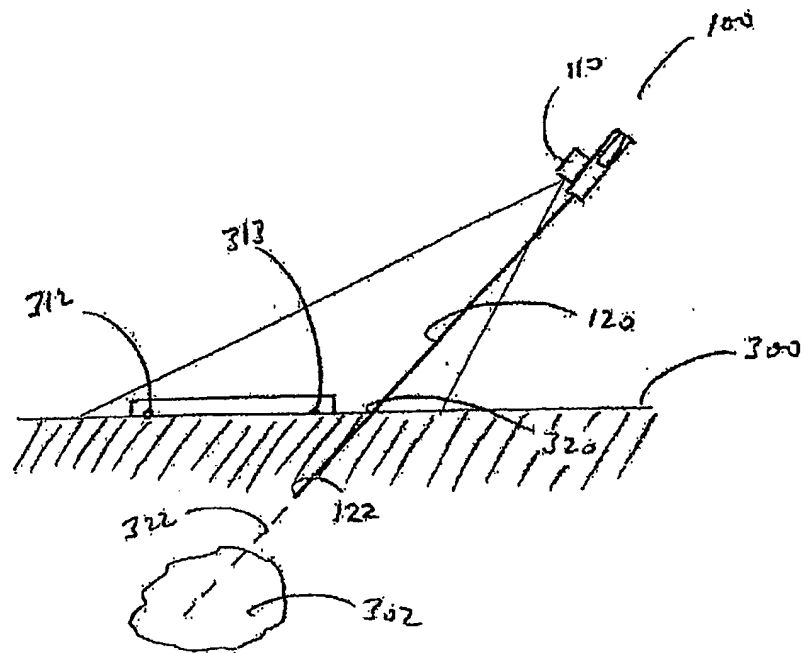


FIG. 3a

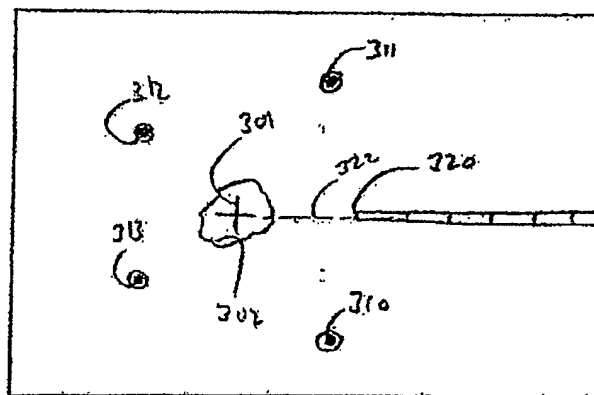


FIG. 3b

3/10

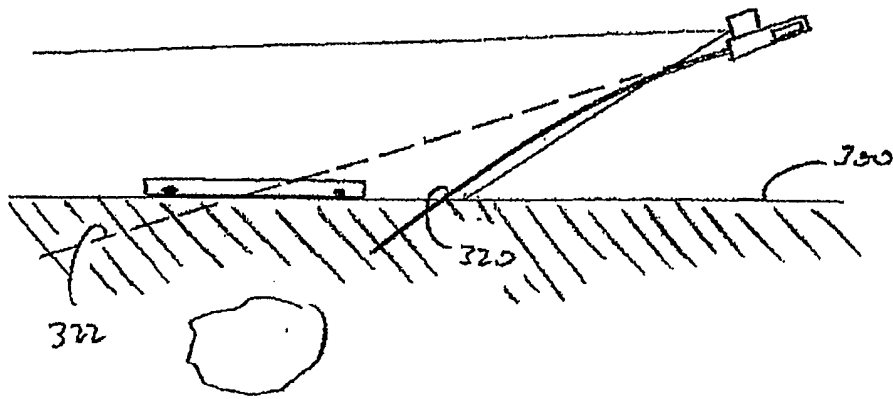


FIG. 4a

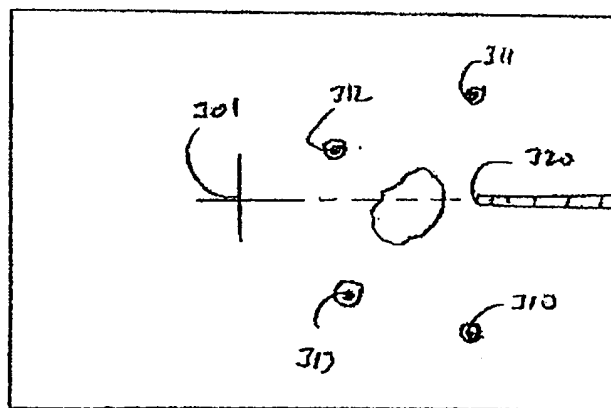


FIG. 4b

4/10

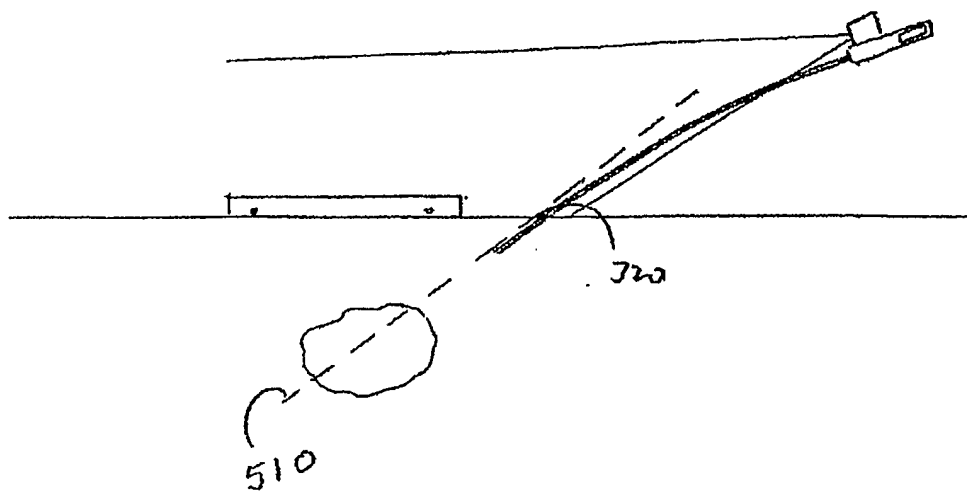


FIG. 5a

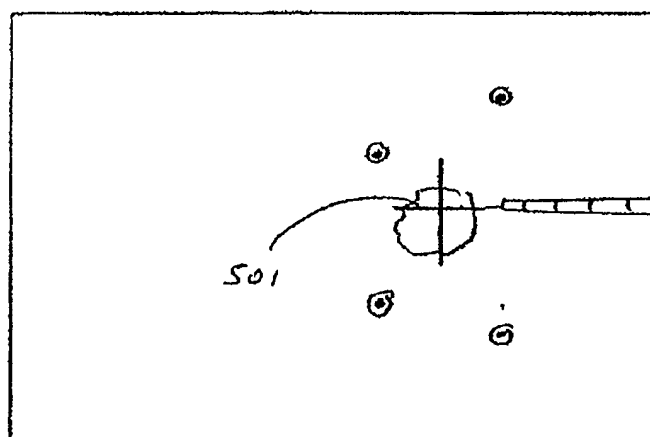


FIG. 5b

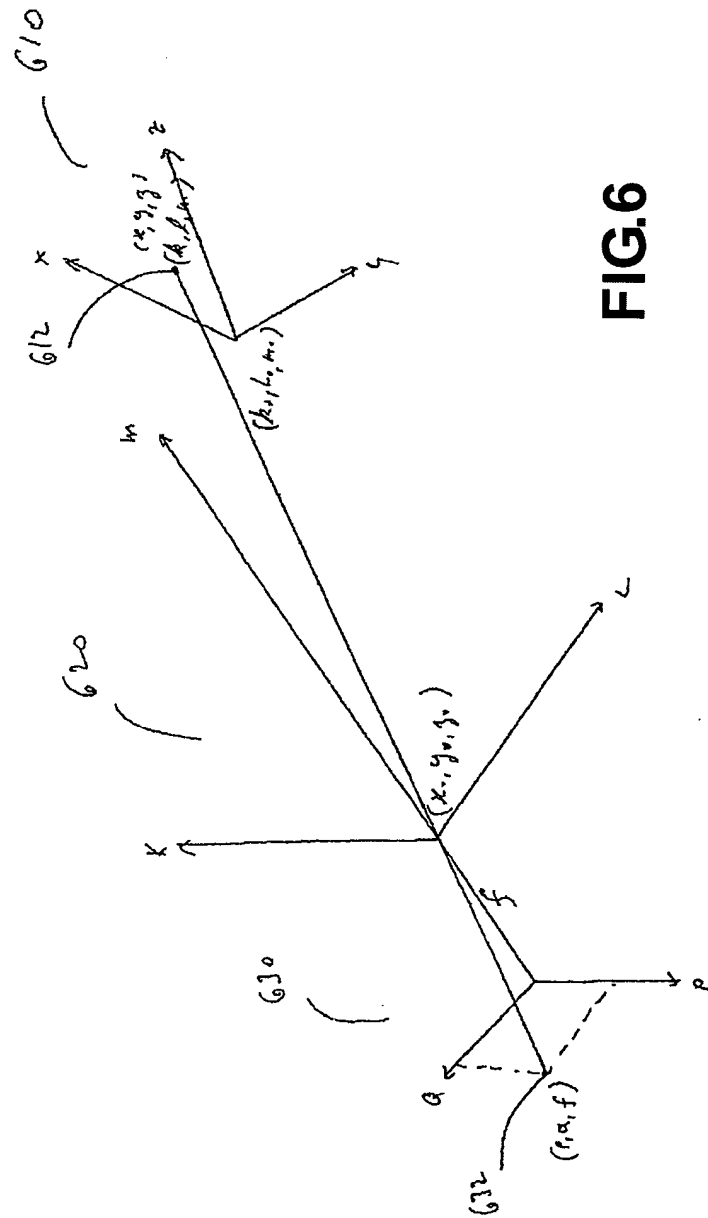


FIG.6

6/10

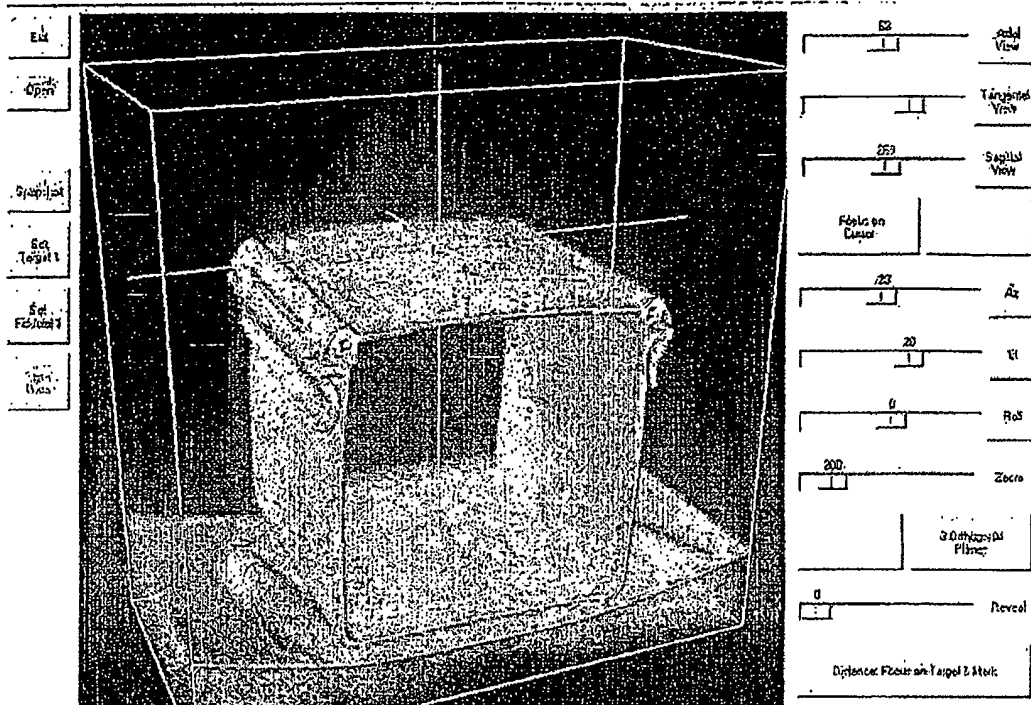


FIG.7a

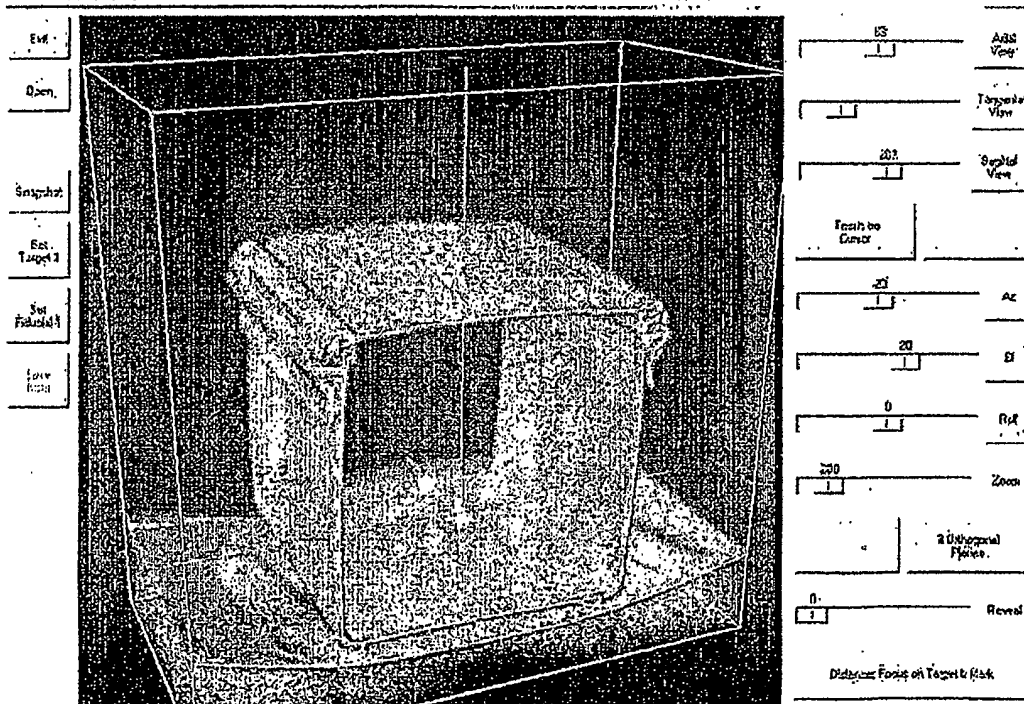


FIG.7b

7/10

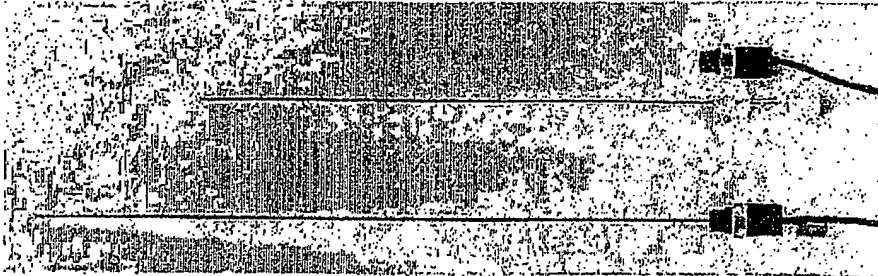


FIG.8

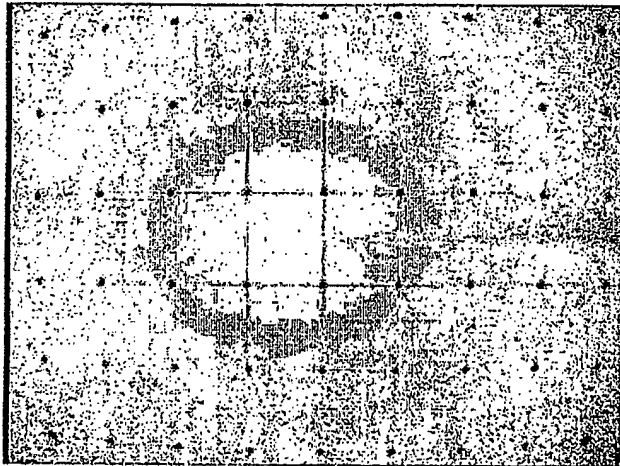


FIG.9a

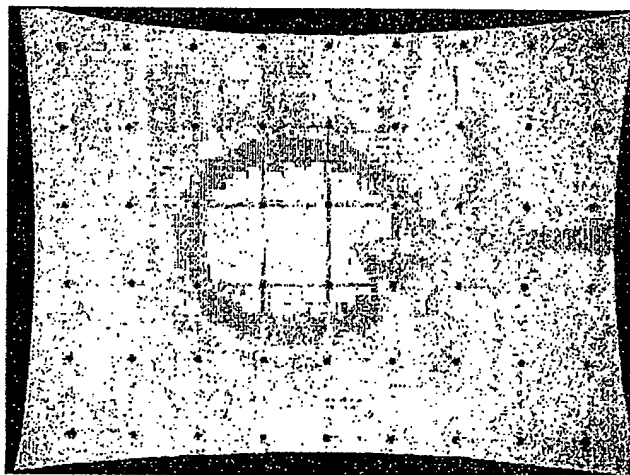


FIG.9b

8/10

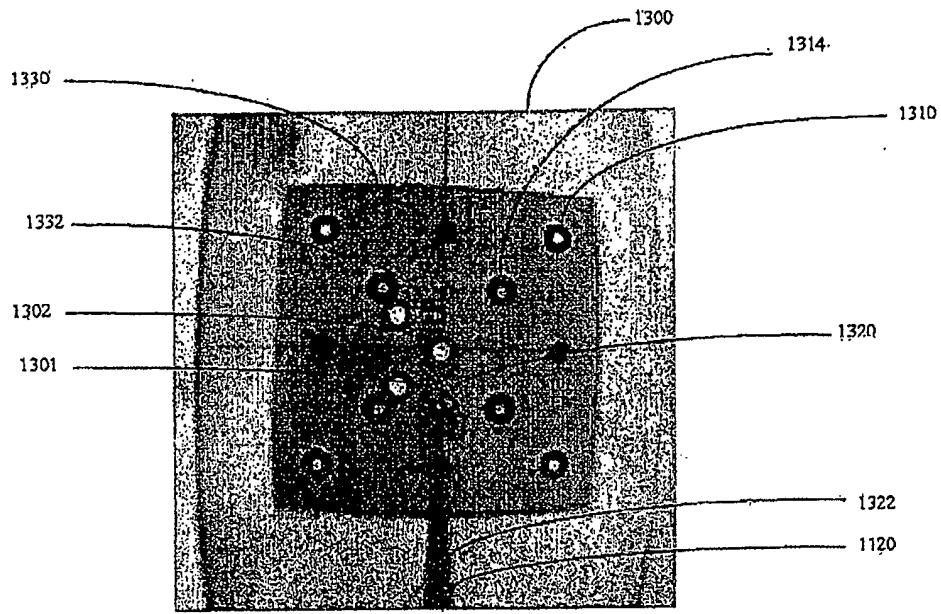


FIG. 10a

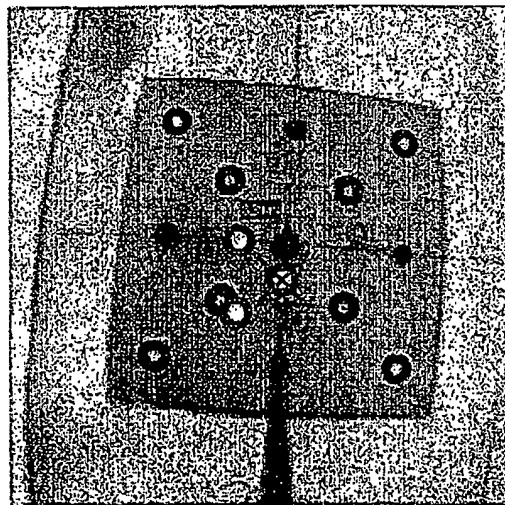


FIG. 10b

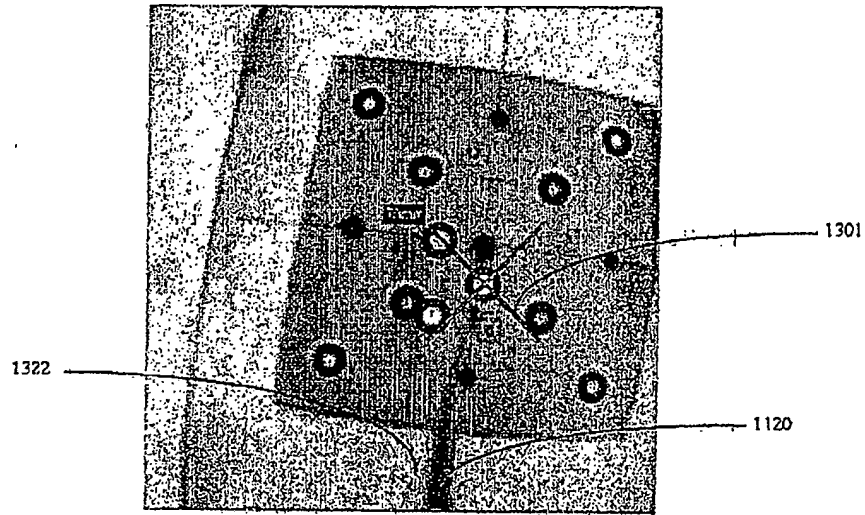


FIG.10c

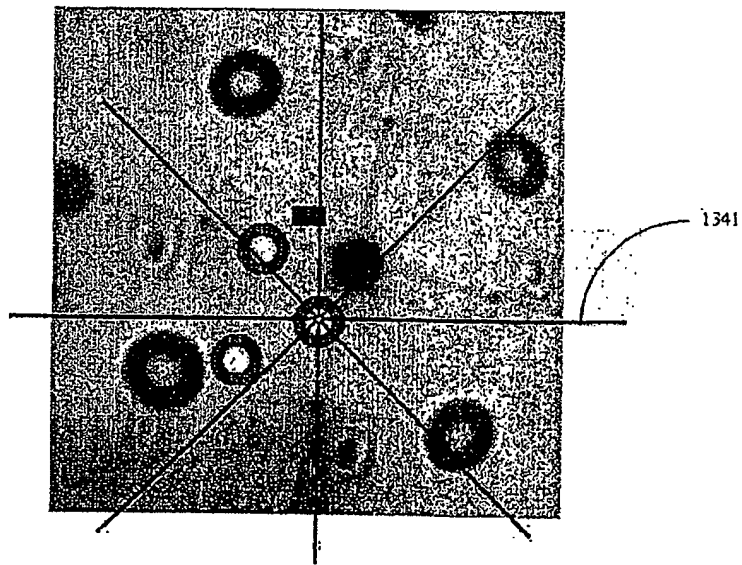


FIG.10d

10/10

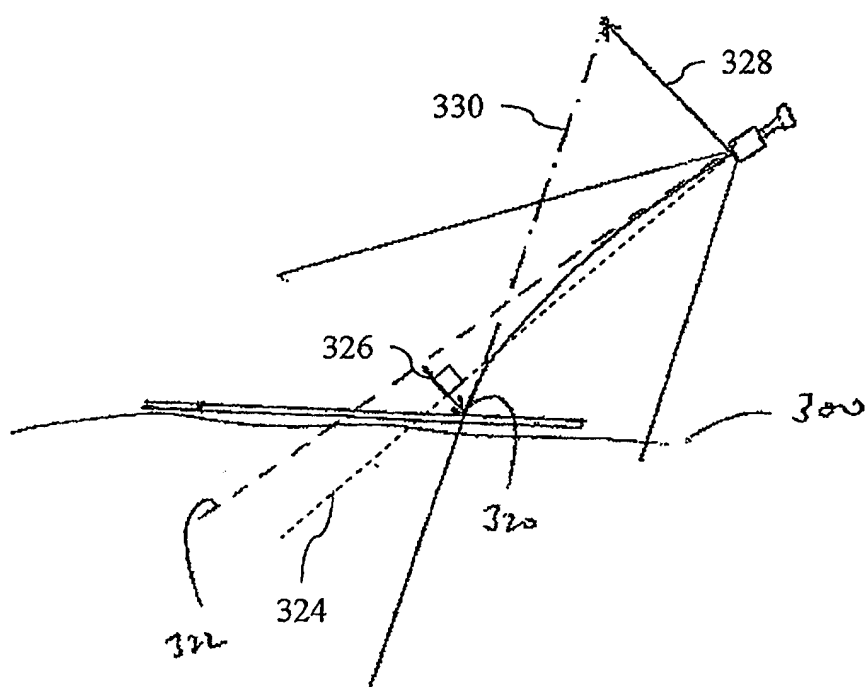


FIG.11

RESUMO

"SISTEMA DE MEDIÇÃO DE POSIÇÃO DE UMA FERRAMENTA MANUAL, MÉTODO PARA GUIAR A EXTREMIDADE DISTAL DE UMA FERRAMENTA E ATADURA".

- 5 Um sistema de medição de posição de uma ferramenta manual em relação a um corpo com seis graus de liberdade emprega uma câmara afixada por ligação mecânica à ferramenta, de modo que esta última se movimente junto com a porção proximal da ferramenta e tenha um campo de visão que
- 10 inclua a extremidade distal da ferramenta. O sistema de processamento processa as imagens a partir da câmara para determinar a posição de pelo menos parte da ferramenta. Através de pontos fiduciais de referência opticamente identificáveis definidos na superfície
- 15 externa do corpo, a projeção da posição de ponta da ferramenta em um plano contendo o alvo pode ser obtida e representada junto com a posição alvo, daí facilitando a guiagem da ferramenta para o alvo.