



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

(21) PI 0918308-6 A2



(22) Data do Depósito: 10/11/2009

(43) Data da Publicação Nacional: 04/08/2020

(54) **Título:** MÉTODO PARA PLANEJAR UM TRAJETO DE ACORDO COM UMA APLICAÇÃO CIRÚRGICA, E, SISTEMA PARA PLANEJAR UM TRAJETO DE ACORDO COM A APLICAÇÃO CIRÚRGICA

(51) **Int. Cl.:** A61B 17/34; A61B 19/00; A61B 17/00.

(30) **Prioridade Unionista:** 29/12/2008 US 61/141,070.

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

(72) **Inventor(es):** KAREN IRENE TROVATO; ALEKSANDRA POPOVIC.

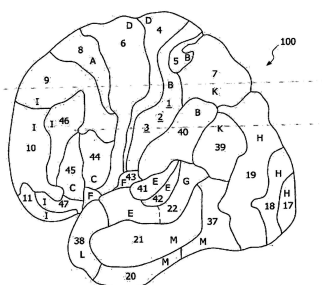
(86) **Pedido PCT:** PCT IB2009054993 de 10/11/2009

(87) **Publicação PCT:** WO 2010/076673 de 08/07/2010

(85) **Data da Fase Nacional:** 24/06/2011

(57) **Resumo:** MÉTODO PARA PLANEJAR UM TRAJETO DE ACORDO COM UMA APLICAÇÃO CIRÚRGICA, E, SISTEMA PARA PLANEJAR UM TRAJETO DE ACORDO COM A APLICAÇÃO CIRÚRGICA. Um método para planejar um trajeto de acordo com a aplicação cirúrgica incorporando uma técnica de avaliação de lesão estrutural (112) e/ou uma técnica de expansão geométrica (113) para a estrutura de nó espacial de configuração que representa um espaço de configuração discretizado de uma região anatômica (100). A técnica de avaliação de lesão estrutural (112) inclui a geração de avaliação de lesões estruturais indicativa de uma avaliação de lesão em potencial para uma ou mais áreas anatômicas críticas da região anatômica (100). A técnica de expansão geométrica (113) inclui uma aplicação da estrutura de nó espacial de configuração envolvendo um ou mais nós de configuração de espaço livre geometricamente circunvizinhos ao nó alvo que serve como nós de semente substitutos.

A	Campos de visão frontal	B	Somatosensorial
C	Broca's	D	Motor
E	Audição	F	??
G	Wernicke's	H	Visão
I	Cognição	K	Visual-parietal
L	Emoção	M	Visual-temporal



MÉTODO PARA PLANEJAR UM TRAJETO DE ACORDO COM UMA
APLICAÇÃO CIRÚRGICA, E, SISTEMA PARA PLANEJAR UM TRAJETO DE
ACORDO COM A APLICAÇÃO CIRÚRGICA

A presente invenção refere-se a um método e a um
5 sistema para computar um trajeto para um dispositivo
minimamente invasivo para atingir um alvo enquanto se evita
estruturas críticas e se minimiza a lesão às estruturas. Este
trajeto pode ser utilizado tanto para controlar um
dispositivo (por exemplo, um broncoscópio ou uma agulha
10 chanfrada) ou pode ser utilizado para construir um
dispositivo (por exemplo, uma cânula localizada).

Estas aplicações de planejamento de trajeto podem
ser realizadas utilizando a estrutura ensinada por Karen I.
Trovato, *A* Planning in Discrete Configuration Spaces of*
15 *Autonomous System*, University of Amsterdam, 1996.

Especificamente, uma aplicação de planejamento de
trajeto deve ser caracterizada por um conjunto de parâmetros-
chave. Cada parâmetro tem uma ou mais faixas de valores de
parâmetro válidos que são discretizados para um cálculo
20 computacional mais fácil. Uma combinação de todas as
possíveis faixas de parâmetro é denominada espaço de
configuração, e cada estado do espaço de configuração provê
uma configuração única para cada um destes parâmetros. Uma
vez que o espaço de configuração é um espaço discretizado,
25 cada estado do espaço de configuração pode ser considerado
um 'nó' em um gráfico N-dimensional (frequentemente $N = 2$ ou
3, porém algumas vezes maior). Os termos 'estado' e 'nó' são
aqui utilizados de forma intercambiável.

Uma vizinhança envolve um conjunto de transições em
30 potencial com base nas capacidades principais do sistema ou
dispositivo, tipicamente dentro de uma determinada faixa. Uma
transição de um estado no espaço de configuração para outro
estado de 'vizinhança' pode ser realizada por um evento ou

movimento físico. As 'vizinhanças' também podem ser determinadas com base na física ou em 'regras do jogo'. Assim, a vizinhança pode incluir todas as posições de um cavalo em um movimento em um tabuleiro de xadrez vazio.

5 A cada transição é atribuído um custo imposto para mudança entre um estado 'inicial' e um estado de vizinhança. Portanto, a combinação dos estados no espaço de configuração com as transições da vizinhança entre eles pode ser imaginado como um gráfico com os estados como nós e as transições como
10 bordas direcionadas de custo ponderado.

Para muitas aplicações de planejamento de trajeto, há restrições que definem estados ilegais, geralmente devido a limitações mecânicas, interação com obstáculos ou regras impostas. Assim, pode haver uma ou mais regiões proibidas
15 identificáveis de nós no espaço de configuração. Isto pode ser obtido de várias formas. Por exemplo, as transições em um nó de configuração proibido podem ser removidas, indicando um movimento ilegal. Alternativamente, os nós podem ser marcados
20 como ilegais, ou as transições no nó podem ter custo infinito (inatingível e alto), denotado pelo símbolo ∞ . Cada técnica realiza o trajeto para evitar obstáculos.

Estados ilegais também possuem um efeito descendente. Por exemplo, a vizinhança de movimentos de um carro pode ser um arco de deslocamento para frente, em um
25 quarto de volta. Se um estado ao longo da curva for bloqueado por um canto (um obstáculo), então não somente a transição no canto proibido, porém as transições além do canto também são proibidas.

Uma posição 'objetivo' (ou alvo) pode ser mapeada
30 em um ou mais nós 'objetivos' equivalentes no espaço de configuração discretizado. Podem existir múltiplos nós 'objetivos' uma vez que a formulação de parâmetros que expressam o sistema pode ter mais que uma solução que descreve

o sistema 'objetivo'. Por exemplo, ambas as configurações do nosso lado esquerdo e do nosso lado direito podem atingir o mesmo local. O sistema 'inicial' é simplesmente transformado em um nó inicial específico, que é geralmente o estado atual (ou seja, o status) do sistema ou dispositivo.

Encontrar a série mais desejável de eventos que vão de um nó de sistema atual (inicial) até um 'objetivo' desejado é o mesmo que encontrar um trajeto ideal de transições do nó atual para o nó 'objetivo' que incorre um custo mínimo enquanto evita todos os nós ilegais. É também ensinado que o trajeto pode ser computado tanto do início para o objetivo, como do objetivo para o início. Em ambos os casos, a conexão de transições forma um trajeto resultante. O planejamento de trajeto geralmente tem um critério para sucesso algumas vezes denominado uma métrica variante de espaço, uma métrica de custo ou uma função objetiva (por exemplo, uma mais rápida, mais curta, menos cara, etc.). Portanto, a série ~~desejável de eventos~~ pode ser encontrada pelo planejamento de um trajeto utilizando-se os nós de espaço de configuração, a vizinhança de transições, os custos, as regiões proibidas, e o 'objetivo', e definindo-se ou configurando-se um 'nó inicial'. Um método de busca de gráfico, por exemplo, A*, oferece um mecanismo eficiente para determinar o trajeto ideal.

Como será ainda aqui explicado, a presente invenção provê uma métrica (medição) de quantificação de lesão estrutural e uma expansão geométrica de nó-alvo que expande a utilização da estrutura da matéria ensinada por Trovato. Por exemplo, um conjunto cinematicamente viável de cânulas localizadas pode ser computado com base em um trajeto ideal para o dispositivo que minimiza a lesão às estruturas críticas durante uma cirurgia minimamente invasiva.

Uma forma da presente invenção é um método para

planejar um trajeto de acordo com uma aplicação cirúrgica que incorpora uma técnica de avaliação de lesão estrutural. O método envolve uma construção de uma estrutura de espaço de configuração dentro de um meio de armazenamento de dados, a
5 estrutura de espaço de configuração representa um espaço de configuração discretizado de uma região anatômica de um corpo, incluindo nós de configuração de espaço livre e nós de configuração proibidos. O método envolve ainda uma geração de uma avaliação de lesão estrutural para cada nó de
10 configuração de espaço livre, sendo a avaliação de lesão estrutural indicativa de uma avaliação de lesão em potencial para uma ou mais áreas anatômicas da região anatômica representada pelo(s) nó(s) de configuração proibido(s) tendo um custo de avaliação estrutural infinito.

15 ~~Em uma segunda forma da presente invenção, o método de planejamento incorpora a técnica de expansão geométrica. Especificamente, o método envolve ainda uma ampliação da estrutura de nó espacial de configuração conforme construída dentro do meio de armazenamento de dados com valores de~~
20 ~~parâmetro que quantificam cada nó da estrutura de nó espacial de configuração, onde a ampliação da estrutura de nó espacial de configuração inclui uma expansão geométrica de um nó-alvo envolvendo um ou mais nós de configuração de espaço livre geometricamente circunvizinhos ao nó-alvo que serve como~~
25 ~~nó(s) de 'semente' substituto(s).~~

As formas acima e outras formas da presente invenção, bem como as várias características e vantagens da presente invenção ficarão mais evidentes a partir da seguinte descrição detalhada de várias configurações da presente
30 invenção lidas com os desenhos anexos. A descrição detalhada e os desenhos são meramente ilustrativos da presente invenção e não limitativos, sendo o escopo da presente invenção definido pelas reivindicações anexas e seus equivalentes.

A FIG. 1 ilustra exemplos de áreas de Brodmann do cérebro como conhecidas na técnica.

A FIG. 2 ilustra um exemplo de vizinhança não-holonômica para cânula localizada como conhecida na técnica.

5 A FIG. 3 ilustra um diagrama de blocos de uma técnica de avaliação de lesão estrutural crítica e uma técnica de expansão geométrica de nó-alvo de acordo com a presente invenção.

10 A FIG. 4 ilustra um fluxograma representativo de um método de planejamento de trajeto de acordo com a presente invenção.

A FIG. 5 ilustra exemplos de vasculatura e ventrículos cerebrais como conhecidos na técnica.

15 A FIG. 6 ilustra um exemplo de detecção de estruturas críticas dentro de um cérebro de acordo com a presente invenção.

A FIG. 7 ilustra um fluxograma representativo de um método de computação ponderada de acordo com a presente invenção.

20 A FIG. 8 ilustra um exemplo de escala ponderada de acordo com a presente invenção.

A FIG. 9 ilustra um exemplo de mapa de obstáculo de acordo com a presente invenção.

25 A FIG. 10 ilustra um exemplo de mapa de obstáculo dilatado de acordo com a presente invenção.

A FIG. 11 ilustra um exemplo de mapa de distância de obstáculo de acordo com a presente invenção.

A FIG. 12 ilustra um exemplo de mapa ponderado empírico de acordo com a presente invenção.

30 A FIG. 13 ilustra um exemplo de mapa de avaliação de lesão estrutural de acordo com a presente invenção.

A FIG. 14 ilustra um fluxograma representativo de um método de expansão geométrica de nó-alvo de acordo com a

presente invenção.

A FIG. 15 ilustra um exemplo de expansão geométrica bidimensional de um nó-alvo de acordo com a presente invenção.

5 A FIG. 16 ilustra um fluxograma representativo de algoritmo A* para a determinação de um trajeto ideal de um nó de 'semente' para um 'objetivo' utilizando parâmetros de estado de acordo com a presente invenção.

10 A FIG. 17 ilustra um exemplo de conjunto de pontos de entrada "seguros" para a biopsia de cérebro como conhecida na técnica.

A FIG. 18 ilustra um diagrama de blocos de um sistema de acordo com a presente invenção.

A presente invenção consiste em 3 (três) princípios
15 inventivos principais.

Primeiro, um espaço de configuração discretizado para aplicações de planejamento de trajeto conforme relacionados a cirurgias minimamente invasivas pode ser intensificado criando-se uma 'avaliação de lesão estrutural' que provê uma estimativa de custo ou penalidade aumentada
20 pelo cruzamento de áreas anatômicas específicas (por exemplo, estruturas anatômicas críticas dentro de uma região anatômica e pontos de entrada frágeis na região anatômica). Esta pode ser armazenada no próprio espaço de configuração ou é preferencialmente armazenado em uma estrutura separada ou
25 como uma função. A avaliação de lesão estrutural facilitará o planejamento de trajeto dentro de uma região anatômica que minimiza a lesão geral.

Por exemplo, com relação à cirurgia cerebral, o deslocamento através dos pontos de entrada frágeis ao longo
30 do crânio (por exemplo, a têmpora) é indesejável uma vez que este trajeto exigirá uma subsequente cirurgia reconstrutiva. Além disso, qualquer lesão às estruturas críticas do cérebro

(por exemplo, vasos sanguíneos, ventrículos, hipófise, pontes e nervos ópticos) pode significar a perda da vida ou de funções essenciais à vida. Mesmo que sejam áreas pequenas, elas poderiam ter um baixíssimo custo. A utilização de uma
5 avaliação de lesão estrutural ajuda no planejamento da cirurgia minimamente invasiva ao minimizar, se não impedir, qualquer lesão às estruturas críticas e pontos de entrada frágeis. Como será posteriormente explicado, para um algoritmo A*, os valores de avaliação de lesão estrutural
10 podem ser utilizados com a métrica de custo e com valores heurísticos de parâmetro para busca em um espaço de configuração discretizado que evita obstáculos, mas que também mantém um espaçamento seguro destes obstáculos.

Segundo, um ponto ou área de entrada preferido pode
15 ser destacado, dado o alvo e a avaliação de lesão estrutural, por exemplo, as áreas de Brodmann no mapa cerebral 100 mostrado na FIG. 1. Em casos como o planejamento para o cérebro, onde uma perfuração com broca pode ser feita em diversos locais, é fundamental identificar o local inicial
20 apropriado com base no alvo, de modo a minimizar a lesão geral, porém é realizável com as ferramentas atuais.

Terceiro, aplicações de planejamento de trajeto anteriores foram definidas para dispositivos incluindo cânulas localizadas, agulhas flexíveis e broncoscópios. As
25 cânulas localizadas se estendem sequencialmente, da maior para a menor, e são curvadas em diferentes direções para penetrar fundo na região anatômica. O método de configuração destes dispositivos é descrito na Publicação Internacional WO 2008/032230 intitulada "Configuração de Cânula Ativa para
30 Cirurgia Minimamente Invasiva" por Karen I. Trovato. Uma vez que as cânulas localizadas não possuem articulações motorizadas ao longo de seu comprimento, nem 'fios de marionete' para controle, elas podem ser muito pequenas,

sendo úteis em aplicações cerebrais, bem como em muitos outros procedimentos minimamente invasivos. A flexibilidade de outros dispositivos, por exemplo, um broncoscópio e agulhas chanfradas é descrito na Publicação Internacional WO 5 2007/042986 intitulada "Sistema de Planejamento de Trajeto com Ferramenta 3D, Simulação e Controle" de Karen I. Trovato et al. Para alguns dispositivos e aplicações, a orientação de abordagem para um alvo pode não ser facilmente identificável ou selecionável.

10 Um problema comum é como criar múltiplas orientações de abordagem a um alvo, por exemplo, o centro de um tumor, sem a lenta entrada manual, enquanto se mantém um espaço de configuração 3D para planejamento 6D. Em um exemplo simples, a orientação de abordagem pode ser formada pela 15 direção a partir de vizinhos adjacentes até um nó de 'semente'. A direção de busca é, portanto, definida na direção oposta (da 'semente' para os vizinhos adjacentes). Essa "expansão geométrica" provê uma variedade simples e realizável de orientações enquanto abrange todas as direções 20 circunvizinhas. Se estas vizinhança estiverem dentro de uma precisão aceitável para representar o alvo, elas podem ser utilizadas como 'sementes' substitutas, tendo custo zero e a orientação definida para iniciar a busca A*, uma vez que não estão em um local de custo proibido ou infinito. 25 Evidentemente, podem ser utilizadas vizinhanças geométricas de muitos formatos e tamanhos e não somente aquelas que estão imediatamente adjacentes, no entanto, devem definir movimentos ou ações finais viáveis. Por fim, a vizinhança geométrica utilizada para definir a orientação das 'sementes' 30 substitutas não necessariamente precisam corresponder à vizinhança utilizada durante a busca A*.

Por exemplo, a FIG. 2 ilustra uma vizinhança não-holomônica 101 de arcos que podem ser utilizados para

computar uma série de cânulas localizadas para atingir um local alvo dentro de uma região anatômica de um corpo como conhecido na técnica. Uma busca da vizinhança 101 é tipicamente expandida em um algoritmo A* com base em uma
5 única orientação que leva a um único nó-alvo. No entanto, uma expansão geométrica da presente invenção facilitaria uma busca da vizinhança em um algoritmo A* com base em múltiplas orientações que circunvizinham um único nó-alvo. O resultado pode ser uma rota curvada através da região anatômica que vai
10 desde o nó-alvo até o ponto de entrada ideal permitido. Os técnicos no assunto reconhecerão que esta expansão geométrica com a avaliação de lesão estrutural acima mencionada permite a geração de um trajeto cinematicamente viável para dispositivos (por exemplo, um broncoscópio ou uma agulha
15 chanfrada), e para a construção de uma cânula localizada cinematicamente viável que minimiza a lesão de estruturas sensíveis ou pontos de entrada frágeis durante uma cirurgia minimamente invasiva.

Deve ficar entendido pelos técnicos no assunto que
20 a descrição a seguir das FIGS. 3-18 é provida para fins de ilustração dos princípios inventivos acima mencionados da presente invenção em termos gerais com exemplos específico ainda que diretos e não limitativos da prática destes princípios. Em particular, detalhes desnecessários de
25 funções e operações conhecidas podem ser omitidos da descrição dos princípios da invenção de modo a não prejudicar o entendimento da presente invenção. No entanto, um técnico no assunto compreenderá como colocar em prática os princípios da presente invenção a qualquer tipo de aplicação de planejamento
30 de trajeto (por exemplo, planejamento de trajeto com ferramenta cirúrgica, planejamento de trajeto com veículo, sistema planejamento econômico de trajeto, etc.) e compreenderá ainda que existem diversas variações que

permanecem dentro do espírito da presente invenção e do escopo das reivindicações anexas.

A FIG. 3 ilustra uma fase de configuração 110 e uma fase de planejamento de trajeto 111 para qualquer tipo de aplicação de planejamento de trajeto, em particular para planejar um trajeto cirúrgico de um instrumento dentro de um paciente durante uma cirurgia minimamente invasiva ou para planejar a construção de uma cânula localizada. Em termos gerais, a fase de configuração 110 pode minimamente envolver (1) a construção de uma estrutura de nó espacial de configuração que representa um espaço de configuração discretizado incluindo diversos estados (nós) caracterizados por um ou mais parâmetros, (2) uma identificação de uma vizinhança que inclui todas as ações permitidas que causam mudanças ou transições entre estados (nós) no espaço de configuração discretizado, e (3) uma formulação de uma métrica que representa o custo de transição de um estado para um estado de vizinhança conforme definido pela "vizinhança". Além disso, em termos gerais, a fase de planejamento de trajeto 111 pode minimamente envolver (1) uma identificação ou definição de um nó de 'semente' dentro do espaço de configuração discretizado, e (2) uma utilização do nó de 'semente' para iniciar uma propagação de ondas de custo através da estrutura de nó espacial de configuração com base na métrica para encontrar a série mais desejável de eventos entre um nó inicial e um nó objetivo.

A presente invenção introduz uma técnica de avaliação de lesão estrutural 112 e uma técnica de expansão geométrica 113 que pode individualmente ou coletivamente ser incorporadas na fase de configuração 110 e na fase de planejamento de trajeto 111 da aplicação de planejamento de trajeto. Em termos gerais, a estrutura de nó espacial de configuração inclui diversos nós, estando cada nó em um local

discreto diferente no espaço de configuração discretizado como caracterizado pelo(s) parâmetro(s); a técnica 112 permite o uso de valores de avaliação de lesão estrutural que explicitamente quantificam a avaliação de lesão em potencial 5 das estruturas anatômicas da região anatômica do corpo, ao passo que a técnica 113 prevê o uso de uma ou mais vizinhanças de espaço livre geometricamente adjacentes de um nó-alvo como nós de 'semente' substitutos durante a realização de uma busca através do espaço livre do espaço de 10 configuração discretizado.

Uma configuração exemplar das técnicas 112 e 113 conforme mostradas nas FIGS. 4-18 será agora descrita para facilitar uma melhor compreensão dos princípios da presente invenção, por meio da qual os técnicos no assunto reconhecerão 15 os vários benefícios da presente invenção.

A. MÉTODO DE PLANEJAMENTO DE TRAJETO INCORPORANDO
UMA AVALIAÇÃO DE RISCO ESTRUTURAL E EXPANSÃO GEOMÉTRICA

A FIG. 4 ilustra um fluxograma 120 representativo de um método de planejamento de trajeto da presente invenção. 20 O objetivo deste método é adquirir um conjunto prático de valores de custo, dos estados de um espaço de configuração discretizado durante a fase de configuração 110 (FIG. 3) de uma aplicação de planejamento de trajeto para facilitar uma busca ideal durante a fase de planejamento de trajeto 111 (FIG. 3) da aplicação de planejamento de trajeto. Este 25 objetivo é subsequentemente descrito aqui no contexto de uma incorporação da técnica de avaliação de lesão estrutural 112 e da técnica de expansão geométrica 113 da presente invenção. Assim, uma descrição de processos bem conhecidos de 30 planejamento de trajeto realizados durante as fases 110 e 111 é provido somente conforme necessário para facilitar a compreensão das técnicas 112 e 113 da presente invenção.

Com referência à FIG. 4, a fase de configuração 110

inclui um estágio S121 e um estágio S122 do fluxograma 120.

O estágio 121 abrange a detecção de áreas anatômicas dentro de uma região anatômica de um corpo para o qual é essencial minimizar ou impedir qualquer lesão às estruturas.

5 Essas áreas críticas incluem, entre outras, pontos de entrada frágeis na região anatômica e estruturas frágeis dentro de uma região anatômica susceptível à lesão por um instrumento utilizado durante uma cirurgia minimamente invasiva na região, por exemplo, a vasculatura/ventrículos cerebrais 130 mostrados
10 na FIG. 5. Em uma configuração do estágio S121, uma detecção de áreas críticas pode ser realizada a partir de imagens da região anatômica manualmente ou com base em um atlas. Por exemplo, uma detecção manual pode envolver uma tomografia computadorizada, uma ressonância magnética ou imagem similar
15 que seja manualmente segmentada ou com algoritmos semi-automáticos conhecidos em vista de um número moderado de estruturas críticas que são simples de delinear.

— — — — — Ao contrário, para áreas críticas não detectáveis para a geração de imagem, um registro entre dados específicos
20 segmentados do paciente e um atlas anatômico/funcional pode ser utilizado. A FIG. 6 ilustra uma segmentação exemplar e um registro de um plano de corte de uma imagem de um cérebro. Especificamente, na cirurgia cerebral, uma ressonância magnética é geralmente utilizada tanto para o diagnóstico
25 como para o planejamento. Um algoritmo automático ou segmentação manual pode detectar os principais tipos de tecido, por exemplo, massa branca, massa cinzenta, dura-máter, vasos sanguíneos, fluido cerebrospinal, crânio e pele. No entanto, para um trajeto minimamente invasivo, outras
30 estruturas, não visíveis na ressonância magnética, essas áreas de Brodmann 100 conforme mostradas na FIG. 1, podem ser utilizadas para definir a lesão estrutural que leva ao comprometimento funcional. Para tanto, uma segmentação manual

ou (semi)-automática de áreas visíveis em uma imagem por ressonância magnética de seção transversal 140 de um cérebro humano resulta em uma imagem segmentada 141 que é registrada de uma maneira deformável em um atlas 143 conhecido detalhado em seção transversal do cérebro humano para resultar em uma
 5 imagem identificada 142. Esse atlas conhecido é o atlas Talairach (ref.: Lancaster JL, Woldorff MG, Parsons LM, Liotti M, Freitas CS, Rainey L, Kochunov PV, Nickerson D, Mikiten SA, Fox PT, "Automated Talairach Atlas labels for
 10 functional brain mapping". Human Brain Mapping 10:120-131, 2000), um conjunto de 1004 diferentes rótulos neurológicos, indicando cada pixel do atlas cerebral. Se um registro entre o atlas 143 e a imagem segmentada 141 for realizado, é estabelecida uma transformação entre cada voxel na imagem 141
 15 do paciente e cada voxel do modelo do atlas 143. Portanto, cada elemento da imagem 141 do paciente é marcado com base em sua função neurológica. As estruturas não-neurológicas (por exemplo, CSF ou vasos sanguíneos) são marcadas no processo de segmentação.

20 O estágio S122 abrange a avaliação de lesão estrutural para cada nó de configuração de espaço livre que representa áreas não-críticas da região anatômica como sendo seguro ou de risco. Em termos gerais, o custo de cada nó de configuração proibido que representa as áreas críticas
 25 detectadas (obstáculos e pontos de entrada frágeis) da região anatômica corresponde a uma área anatômica crítica tendo um custo de risco infinito. Contrariamente, o custo de risco de cada nó de configuração de espaço livre seguro tem um risco zero de lesão estrutural, enquanto cada nó de configuração de
 30 espaço livre com risco tem um risco estimado de lesão estrutural variando desde um custo finito diferente de zero até um custo infinito. Em suma, um custo de nó de configuração proibido é $C = \infty$, um custo de nó de configuração

de "espaço livre seguro" é $C = 0$ e um custo de nó de configuração de espaço livre com risco é $C \leq \infty$.

Em uma configuração do estágio S122, os custos associados a cada nó de configuração de espaço livre podem ser definidos por um usuário, derivado dos nós de configuração proibidos ou de uma combinação de custos de conjunto individual e dos nós de configuração proibidos, ou podem ser definidos por um programa de computador, por exemplo, a partir de um processo de segmentação automática. Por exemplo, para uma aplicação neurocirúrgica, os custos conjuntos podem ser formados combinando-se (por exemplo, adicionado ou determinado a média): a) um custo para pontos ou áreas críticas próximas (por exemplo, a distância de áreas anatômicas críticas) e b) um custo não-proibido de risco.

A FIG. 7 ilustra um fluxograma 150 representativo de um método de computação de custo da presente invenção que será descrito como um exemplo simplificado 2D de imagem identificada (por exemplo, imagem identificada 142 mostrada na FIG. 6) e uma escala de custo codificado por cor mostrada na FIG. 8 variando desde um custo zero com codificação branca até um custo infinito com codificação preta. Um estágio S151 do fluxograma 150 abrange a geração de um mapa de obstáculo de base derivado de nós de configuração proibidos de uma imagem identificada, por exemplo, um mapa de obstáculo 160 mostrado na FIG. 9 tendo nós infinitos de coloração preta associados a áreas proibidas. Um estágio S152 do fluxograma 150 abrange a geração de um mapa de obstáculo dilatado derivado de zonas de segurança estabelecidas em torno das áreas proibidas. Por exemplo, um mapa de obstáculo dilatado 161 mostrado na FIG. 10, tendo nós de segurança infinitos de codificação preta associados às áreas proibidas, tem uma proteção adicional de nós de configuração de espaço livre de infinito em volta dos nós originais de configuração

proibidos. As bordas brancas em torno dos nós originais de configuração proibidos são somente para ajudar a separar visualmente os nós de configuração de espaço livre de infinito recém adicionados dos nós originais de configuração proibidos. Um estágio S153 do fluxograma 150 abrange a geração de um mapa de distância de obstáculo derivado da distância até as áreas de custo infinito mais próximas. Por exemplo, um mapa de distância de obstáculo 162 mostrado na FIG. 11 possui nós finitos de coloração cinza diminuindo de valor conforme os nós de configuração de espaço livre são distanciados de qualquer zona crítica protegida.

Um estágio S154 do fluxograma 150 abrange a geração de um mapa de dados empíricos a partir da imagem identificada, sendo os dados empíricos indicativos da sensibilidade física de cada área anatômica crítica (obstáculos e pontos de entrada frágeis) a um estímulo externo (instrumentos cirúrgicos/ferramentas). Por exemplo, um mapa de ponderação empírica 163 mostrado na FIG. 12 tendo zero ou nós finitos de coloração cinza correspondente à sensibilidade física em cada um dos nós de configuração de espaço livre como empiricamente determinado por um usuário ou por um processo de segmentação automática.

Um estágio S155 do fluxograma 150 abrange uma combinação do mapa de distância de obstáculo e do mapa de dados empíricos com base em uma combinação (por exemplo, uma soma e/ou uma determinação de média) de nós correspondentes. Por exemplo, na FIG. 13, um mapa de custo 164 possui áreas codificadas por cor com valores coletivamente derivados das áreas proibidas e de dados empíricos de maneira a evitar as áreas proibidas ao máximo possível para assim minimizar, se não evitar, qualquer lesão estrutural às estruturas anatômicas associadas às áreas proibidas.

Enquanto os técnicos no assunto reconhecerão que o

fluxograma 150 conforme mostrado facilitará uma altíssima segurança aos pontos e áreas proibidos, segue uma descrição de configurações alternativas do fluxograma 150 que podem ser implementadas na prática.

5 Em uma primeira configuração alternativa do fluxograma 150, o estágio de mapeamento de obstáculo dilatado S152 pode ser omitido conforme indicado pela seta tracejada de vai desde o estágio de mapeamento de obstáculo de base S151 até o estágio de mapeamento de distância de obstáculo
10 S153.

 Em uma segunda configuração alternativa do fluxograma 150, o estágio de mapeamento de distância de obstáculo S153 pode ser omitido conforme indicado pela seta tracejada que vai desde o estágio de mapeamento de obstáculo
15 dilatado S152 até o estágio de mapeamento de combinação S155.

 Em uma terceira configuração alternativa do fluxograma 150, tanto o estágio de mapeamento de obstáculo dilatado S152 como o estágio de mapeamento de distância de obstáculo S153 podem ser omitidos conforme indicado pela seta
20 tracejada que vai desde o estágio de mapeamento de obstáculo de base S151 até o estágio de mapeamento de combinação S155.

 Em uma quarta configuração alternativa do fluxograma 150, os estágios de mapeamento de obstáculo S151-S153 podem ser omitidos, por meio do que o estágio de
25 mapeamento ponderado empírico S154 é exclusivamente utilizado para a computação do custo de avaliação de lesão estrutural.

 Em uma quinta configuração alternativa do fluxograma 150, o estágio de mapeamento ponderado empírico S154 pode ser omitido individualmente ou com um ou mais dos
30 estágios de mapeamento de obstáculo S151-S153, por meio dos quais o(s) estágio(s) de mapeamento de obstáculo remanescente(s) é(são) utilizado(s) para computação do custo de avaliação de lesão estrutural.

Com referência novamente à FIG. 4, a fase de planejamento de trajeto 111 inclui os estágios S123-S126 do fluxograma 120.

O estágio S123 abrange um ponto-alvo identificado pelo usuário ou por computador, por exemplo, um tumor centróide, e um conjunto identificado pelo usuário ou por computador de um ou mais pontos/áreas aceitáveis de inserção de ferramenta para o procedimento cirúrgico aplicável. Por exemplo, uma única área de inserção de um instrumento cirúrgico (por exemplo, uma cânula localizada) no pulmão pode ser a seção transversal da traquéia em um plano de corte de tomografia computadorizada específica. Alternativamente, uma ou mais áreas de inserção podem ser selecionadas para entrada do instrumento cirúrgico a partir de qualquer área não-frágil do crânio. Um trajeto viável somente existe se for possível atingir a partir da entrada até o alvo com custo geral aceitável. Um médico, que avalia a relação risco/benefício, deve determinar os limites de "aceitabilidade".

O estágio S124 abrange uma propagação desde o ponto-alvo até o(s) ponto(s) de inserção e/ou área(s) de inserção por meio de um algoritmo A*. Em uma configuração do estágio S124, um fluxograma 170, conforme mostrado na FIG. 14, e um fluxograma 190, conforme mostrado na FIG. 16, são realizados.

Com referência à FIG. 14, o fluxograma 170 é representativo de um método de expansão geométrica da presente invenção. Um estágio S171 do fluxograma 170 abrange uma identificação de um nó-alvo correspondente ao ponto-alvo selecionado dentro de uma região anatômica, e um estágio S172 do fluxograma 170 abrange uma expansão geométrica do nó-alvo para identificar nós de configuração de espaço livre geometricamente circunvizinhos. Um ou mais destes nós de configuração de espaço livre geometricamente circunvizinhos

pode servir como nós de 'semente' substitutos, com orientação definida pelo ângulo formado entre o nó-alvo e o nó de configuração de espaço livre que é geometricamente circunvizinho em uma execução do fluxograma 190 como será
5 subsequente aqui explicado.

A FIG. 15 ilustra uma condição inicial padrão 180 do nó-alvo centralizado em um espaço bidimensional ("2D") simplificado que é definido por um ponto e uma orientação (por exemplo, -50° , 0° , 0°). Alternativamente, o nó-alvo pode
10 ser substituído pelo conjunto de nós de configuração de espaço livre geometricamente circunvizinhos, onde cada nó aponta para fora para definir a direção da busca que é transformada em uma condição inicial expandida 181 do nó-alvo centralizado tendo cada vizinhança de espaço livre
15 geometricamente circunvizinha definida por um ponto, uma orientação, uma linha e um custo.

Com referência à FIG. 16, o fluxograma 190 é representativo de um algoritmo A* para a determinação de um trajeto ideal desde cada nó de 'semente' expandido até um
20 ponto de inserção/área 'objetivo' utilizando valores de parâmetro discretos implícitos ou preferencialmente explícitos com base em uma vizinhança 101 conforme mostrado na FIG. 2. Para a técnica de expansão geométrica, cada nó de 'semente' é um nó de espaço livre substituto geometricamente
25 circunvizinho ao nó-alvo tendo um custo de avaliação de lesão estrutural abaixo de infinito ou um limiar de lesão crítica menor que infinito.

Na prática, um primeiro nó de 'semente' expandido é colocado no grupo para iniciar a propagação da onda de custo,
30 ou A*. O grupo é uma árvore binária balanceada que mantém o menor valor de custo na raiz. O nó de menor custo retirado do grupo é denominado 'inicial', na etapa S191 do fluxograma 190. Em aplicações de robótica e aplicações de planejamento

de trajeto anteriores, o trajeto foi geralmente gerado utilizando objetivos como os nós de 'semente'. Nestas aplicações, o custo de um nó ($g(n)$, descrito posteriormente) foi denominado 'custo_para_objetivo'. Nesta aplicação, revisamos a terminologia para a denominação mais geral 'custo_para_semente', porém devem ser considerados como equivalentes. Existem algoritmos bem conhecidos para gerenciar estruturas diversas, incluindo grupos.

A etapa S191 abrange ainda a aquisição da informação detalhada de espaço de configuração do nó 'inicial', preferencialmente os valores de parâmetro discretos explícitos do nó inicial. Isto permitirá a antecipação desejada da propagação de onda de custo sem qualquer impacto negativo sobre as capacidades de velocidade e memória de um sistema que executa o fluxograma 190.

Uma etapa S192 do fluxograma 190 abrange um teste de um "critério de interrupção". Há muitos testes que podem ser realizados para determinar se o processo pode parar. O "critério de interrupção" pode incluir, entre outros, (1) um teste se o grupo está vazio e (2) um teste se o nó ('inicial') atual é um de pontos de inserção identificados ou se pertence a uma das áreas de inserção. Este critério de interrupção garante que há uma conexão viável entre a inserção e o alvo, e que o valor é um mínimo para aquele local. Isto permite que a busca termine antes que todo o espaço seja preenchido, ainda que, no entanto, não proporcione um trajeto ideal entre o 'inicial' e o 'objetivo'. Um terceiro critério de interrupção customizado para a presente invenção envolve uma apresentação de uma superfície codificada por cor de um ponto de inserção ou área de inserção atingido anteriormente selecionado por um usuário com base no custo para se atingir o ponto de inserção ou área de inserção, por meio do que uma seleção de um ponto de

entrada por um usuário é considerada uma seleção de um trajeto ideal entre o 'inicial' e o 'objetivo'.

Se o 'critério de interrupção' for atendido, então o fluxograma 190 é concluído. Caso contrário, se o "critério de interrupção" não for atendido, então a etapa S193 do fluxograma 190 abrange uma geração da vizinhança de transições permissíveis. As vizinhanças do nó 'inicial' são calculadas com base nas orientações do nó 'inicial' dadas por seu alfa, teta e fi, bem como seu local 'inicial' x, y, z. A vizinhança resulta da rotação da vizinhança nominal por alfa, teta e fi, e então da translação da vizinhança já girada em relação ao local x, y, z do nó 'inicial'. Os métodos de rotação e translação de pontos são bem conhecidos pelos técnicos no assunto.

A vizinhança resultante é então submetida à translação e rotação até o local do nó atual em expansão.

Uma vez que as vizinhanças do nó 'inicial' atual são computadas, o fluxograma 190 passa para a etapa S194 onde a próxima linha (T) da vizinhança é escolhida, se houver. Se não houver mais linhas, então o fluxograma 190 retorna para a etapa S191. Caso contrário, se houver uma linha (T), então o fluxograma 190 passa para a etapa S195 para escolher a próxima vizinhança (n') ao longo da linha (T), se houver. A posição e orientação da vizinhança n' é computada em relação à posição e à orientação do nó 'inicial' para a atual linha.

Se não houver mais vizinhanças ao longo desta linha (T), então o fluxograma 190 retorna para a etapa S194. Se houver outra vizinhança (n), então o fluxograma 190 passa para a etapa 196 para testar o valor de custo da vizinhança. Se o custo for infinito, ou se houver outra indicação de que a vizinhança não pode ser passada, então o fluxograma 190 retorna para a etapa S194. Outra indicação pode ser de que a vizinhança tem um valor de custo maior que algum limiar

predeterminado, que é menor que o infinito, porém muito alto para passar. Este limiar pode ser, por exemplo, uma função da atual distância percorrida (no nó 'inicial').

Se a vizinhança não tiver custo infinito e puder ser passada, o fluxograma 190 passa para a etapa S197 para calcular o novo custo proposto $g(n')$ para a nova vizinhança, n' . No algoritmo A*, dois custos são computados. O primeiro é denominado ' $g(n')$ '. Este é o custo do melhor trajeto (até o momento) até o nó n' , que chega de um 'nó inicial' ou 'nó precursor', geralmente denotado como n , sem um prime (''). A função $g(n')$ inclui o custo para atingir o nó inicial, mais o custo de transição desde o nó inicial até n' , mais qualquer lesão estrutural que possa surgir da transição do inicial para n' . Ao planejar um trajeto para a cânula localizada, o comprimento do trajeto é geralmente o custo de transição. A lesão estrutural ocorrida devido ao percurso do inicial até n' pode ser calculada como a soma do custo da lesão estrutural de cada estado intermediário, contando os estados além de n (uma vez que n já foi contado), até o final e incluindo n' . Isto pode ser computado de uma forma alternativa, onde a lesão estrutural total considera o tamanho do tubo conforme este atravessa cada voxel (elemento de volume), de modo que o volume integral arrastado pelo tubo seja ponderado por várias regiões de lesão estrutural, por exemplo. Portanto, pode-se esperar que um tubo com 3 mm de diâmetro gere o dobro de lesão de um tubo de 1,5 mm de diâmetro. Outra alternativa pode ocorrer quando o custo mais importante for a lesão estrutural total independente da distância. Neste caso, o custo da transição pode ser somente uma estimativa da lesão estrutural sem o custo incorrido para a distância.

O segundo valor computado em A* é $f(n')$, que, em termos mais simples, é o 'melhor cenário' para um trajeto que

primeiro percorre através do 'inicial' (por qualquer trajeto que chegue da 'semente'), e então percorre através de n' (incluindo as penalidades), e por fim procede idealmente (diretamente) até o ponto de entrada utilizando uma função

5 heurística, $h(n')$. Como é conhecido dos técnicos no assunto, existem muitas possíveis heurísticas. Um custo otimista da heurística pode ser zero, por exemplo, no entanto, esta heurística não informada não orienta a busca. Outra heurística comumente utilizada é a linha reta, ou distância

10 Euclidiana 'como o corvo voa', ou em outras palavras, a 'distância a percorrer'. Ainda, outra estimativa pode ser o custo total da lesão estrutural na distância remanescente com o atual tubo dimensionado. Ao escolher uma heurística que seja otimista, o custo total de $f(n')$ representa então a

15 "desejabilidade" de um trajeto que passa por n' . Em suma,

$$g(n') = g(\text{'inicial'}) + \text{transição}(\text{'inicial'}, n') + C(\text{'inicial'}, n')$$

$$f(n') = g(n') + h(n')$$

Os custos de $g(n')$ e $f(n')$ são geralmente

20 armazenados com outros dados para o nó n' .

O fluxograma 190 passa então para a etapa S198 para comparar o custo $F(n')$ recém-calculado com o custo pré-existente em n' , $F(n')$. Se o custo $F(n')$ recém-calculado for maior que o custo $F(n')$ pré-existente, então o custo é maior

25 para atingir n por meio do nó 'inicial' do que o que foi anteriormente determinado (ou seja, não há melhora), e o fluxograma 190 retorna para a etapa S195. Se o custo calculado $F(n')$ for menor que o custo $F(n')$ pré-existente, então este valor representa uma melhora em relação às direções

30 anteriores, onde o fluxograma 190 passa da etapa S198 para a etapa S199. A etapa S199 adiciona o nó adjacente ao próximo conjunto de possíveis nós para abertura (expansão) na sequência. Este conjunto pode ser armazenado em um grupo, por

exemplo, e o conjunto classificado por uma classificação de grupo. Se o nó adjacente já estiver no grupo, então os valores do nó são atualizados e o grupo é novamente classificado. O nó x , que possui o menor custo $f(x)$, portanto, identifica o nó
 5 mais desejável para explorar (expandir) na sequência.

A etapa S199 abrange ainda a designação do novo custo_para_semente a n , bem como a posição específica (por exemplo, x, y, z) e a orientação (por exemplo, α, θ e ϕ). em um espaço 6D, a posição e a orientação são
 10 representadas com uma posição 3D (x, y, z) e 3 ângulos (α, θ, ϕ). Se um conjunto de movimentos permissíveis for capturado em uma vizinhança estrutura com discreto deslocamento angular (por exemplo, a FIG. 2), o problema é reduzido para 5D, uma vez que a 6ª dimensão é capturada pela
 15 vizinhança. Portanto, uma pose é definida com posição 3D (x, y, z) e 2 ângulos (θ, ϕ). Ao vetor revisado é designado um apontador para 'inicial', pois este utiliza o melhor caminho até o nó de 'semente'. Opcionalmente, porém preferencialmente, o número e o tipo da linha também são
 20 armazenados. Estes são utilizados para determinar as dimensões do tubo para evitar obstáculos, bem como opções de curvatura. Além disso, o número de linha mapeia diretamente para os parâmetros de controle utilizados para controlar dispositivos tais como um broncoscópio, ou mapeia diretamente
 25 até a seleção do tubo e sua orientação relativa aos tubos localizados adjacentes.

Com referência novamente à FIG. 4, o estágio S125 abrange a provisão de um conjunto de locais de entrada, incluindo a identificação especial de um local ideal de modo
 30 que um médico possa selecionar um ponto de entrada preferido, por exemplo, os pontos de entrada 240-250 conforme mostrados na FIG. 17 e ensinados pelo conjunto de pontos de entrada "seguros" típicos para biopsia de cérebro. Fonte: Sekhar,

Fessler. Atlas of Neurosurgical Techniques. Chapter 33: Stereotactic Biopsy (Schwartz and Sisti), pp. 422-429. Por exemplo, o trajeto planejado pode ser provido entre um alvo e 4 pontos de entrada equivalentes de mínimo custo no crânio. 5 Pode haver também 10 outros locais destacados, com seus respectivos custos mais elevados. O médico pode escolher um destes pontos, que deve estar em um local de interrupção adequado ou sujeito a um critério de interrupção.

Com base no ponto selecionado, o trajeto será 10 extraído, o que determina o conjunto de parâmetros de controle ou a configuração do dispositivo ou o trajeto intencionado desde o ponto selecionado até o alvo. Opcionalmente, este trajeto pode ser apresentado dentro de uma imagem 3D da região anatômica durante o estágio S126.

15 B.- SISTEMA DE PLANEJAMENTO DE TRAJETO INCORPORANDO UMA AVALIAÇÃO DE RISCO ESTRUTURAL E/OU EXPANSÃO GEOMÉTRICA

Com referência agora à FIG. 18, é ilustrado um sistema 200 para uma aplicação de planejamento de trajeto de acordo com a presente invenção. O sistema 200 inclui um 20 dispositivo de processamento de dados 210 e um meio de armazenamento de dados 220. O dispositivo de processamento de dados 210 emprega uma unidade de configuração 211 e uma unidade de planejamento 212 como unidades fisicamente separadas ou integradas para implementar a técnica de 25 avaliação de lesão estrutural e/ou a técnica de expansão geométrica da presente invenção conforme anteriormente aqui explicado com relação às FIGS. 3-17. Em termos gerais, a unidade de configuração 211 realiza todas as tarefas necessárias para construir uma estrutura de dados de espaço de 30 configuração ("CSDS") e outras estruturas/funções apropriadas para a aplicação em particular de planejamento de trajeto dentro do meio de armazenamento de dados 220 de qualquer tipo (por exemplo, RAM), e a unidade de planejamento 212 propaga

ondas de custo conforme necessário para preencher a estrutura de nó espacial de configuração com os valores de custo em função dos valores de parâmetro de acordo com as características de avaliação de lesão estrutural e/ou expansão geométrica da presente invenção conforme desejado para a aplicação em particular de planejamento de trajeto. O resultado é um trajeto ideal 230 em um formato adequado para a aplicação em particular de planejamento de trajeto.

O método ou sistema é utilizado para criar um trajeto. Este trajeto pode ser utilizado de várias formas. O trajeto pode tanto controlar um dispositivo, por exemplo, um broncoscópio ou agulha chanfrada. Alternativamente, pode ser utilizado para construir um dispositivo, por exemplo, uma cânula localizada. Por fim, pode ser exibido em uma tela ou sobreposto em uma imagem 3D e exibido em óculos 3D.

Embora diversas configurações da presente invenção tenham sido ilustradas e descritas, deverá ser compreendido pelos técnicos no assunto que os métodos e o sistema, conforme aqui descritos, são ilustrativos e várias alterações e modificações podem ser feitas e equivalentes podem ser substituídos por seus elementos sem sair do real escopo da presente invenção. Além disso, muitas modificações podem ser feitas para adaptar os ensinamentos da presente invenção para o planejamento de trajeto sem sair de seu escopo central. Portanto, o objetivo é que a presente invenção não seja limitada às configurações particulares reveladas como o melhor modo contemplado de realizar a presente invenção, mas sim que a presente invenção inclua todas as configurações que estejam dentro do escopo das reivindicações anexas.

REIVINDICAÇÕES

1.MÉTODO PARA PLANEJAR UM TRAJETO DE ACORDO COM UMA APLICAÇÃO CIRÚRGICA, o método caracterizado por compreender:

- (110) construção de uma estrutura de nó espacial de configuração dentro de um meio de armazenamento de dados (220), a estrutura de nó espacial de configuração incluindo nós de configuração de espaço livre e nós de configuração proibidos que representam um espaço de configuração discretizado de uma região anatômica (100) de um corpo; e
- (S122) geração de uma avaliação de lesão estrutural para cada nó de configuração de espaço livre, sendo que a avaliação de lesão estrutural indica uma avaliação do lesão em potencial a pelo menos uma área anatômica crítica da região anatômica (100) representada pelos nós de configuração proibidos, cada nó de configuração proibido tendo um custo de avaliação de lesão estrutural infinito.

2. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado em que os nós de configuração de espaço livre incluem pelo menos um dentre:

- um nó de configuração de espaço livre seguro tendo um custo zero de avaliação de lesão estrutural;
- um nó de configuração de espaço livre com risco tendo um custo finito de avaliação de lesão estrutural; e
- um nó de configuração de espaço livre com risco tendo um custo infinito de avaliação de lesão estrutural.

3. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado em que pelo menos uma área anatômica crítica inclui pelo menos um dentre:

- uma estrutura anatômica crítica dentro de uma região anatômica (100); e
- um ponto de entrada frágil na região anatômica (100).

4. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 1,

caracterizado em que a geração de uma avaliação de lesão estrutural para cada nó de configuração de espaço livre inclui:

5 geração de uma imagem identificada (142) da região anatômica (100) incluindo pelo menos uma área proibida da região anatômica (100); e

 computação do custo de avaliação de lesões estruturais para cada nó de configuração de espaço livre associado à imagem identificada (142).

10 5. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 4, caracterizado em que a geração da imagem identificada (142) da região anatômica (100) inclui:

 registro de pelo menos uma imagem da região anatômica (100) do paciente com um atlas (143) da região
15 anatômica (100).

 6. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 4, caracterizado em que a computação do custo de avaliação de lesões estruturais para cada nó de configuração de espaço livre associado à imagem identificada (142) inclui:

20 geração de um mapa de obstáculo de base (160) derivado de cada área proibida da região anatômica (100) associado à imagem identificada (142), cada nó de configuração de espaço livre do mapa de obstáculo de base (160) tendo um custo de avaliação de lesão estrutural menor
25 que infinito.

 7. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 6, caracterizado em que a computação do custo de avaliação de lesões estruturais para cada nó de configuração de espaço livre associado à imagem identificada (142) inclui
30 adicionalmente:

 geração de um mapa de obstáculo de base dilatado (161) derivado de pelo menos uma zona de segurança estabelecida em torno de cada área proibida da região

anatômica (100), cada nó de configuração de espaço livre do mapa de obstáculo de base dilatado (161) dentro de pelo menos uma zona de segurança tendo um custo de avaliação de lesão estrutural infinito.

5 8. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 4, caracterizado em que a computação do custo de avaliação de lesões estruturais para cada nó de configuração de espaço livre associado à imagem identificada (142) inclui adicionalmente:

10 geração de um mapa de distância de obstáculo (162) derivado de uma distância até uma área proibida mais próxima da região anatômica (100).

 9. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 4, caracterizado em que a computação do custo de avaliação de
15 lesões estruturais para cada nó de configuração de espaço livre associado à imagem identificada (142) inclui adicionalmente:

 geração de um mapa ponderado empírico (163) derivado de uma sensibilidade física empírica de cada área
20 proibida da região anatômica (100) associado à imagem identificada (142).

 10. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por compreender adicionalmente:

 ampliação da estrutura de nó espacial de
25 configuração conforme construída dentro do meio de armazenamento de dados (220) com valores de valores de avaliação de lesão estrutural que quantificam cada nó da estrutura de nó espacial de configuração.

 11. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 10,
30 caracterizado em que a ampliação da estrutura de nó espacial de configuração inclui uma função de custo de uma distância total de transições cumulativas entre nós ao longo do trajeto.

12. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 10, caracterizado em que a ampliação da estrutura de nó espacial de configuração inclui uma função de custo de um instrumento associado à aplicação cirúrgica envolvendo pelo menos uma
5 dimensão do instrumento.

13. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 10, caracterizado em que a ampliação da estrutura de nó espacial de configuração inclui uma expansão geométrica de um nó-alvo envolvendo pelo menos um nó de configuração de espaço livre
10 geometricamente circunvizinho ao nó-alvo que serve como um nó de 'semente' substituto.

14. SISTEMA PARA PLANEJAR UM TRAJETO DE ACORDO COM A APLICAÇÃO CIRÚRGICA, o sistema caracterizado por compreender:

15 ~~um meio de armazenamento de dados (220); e~~
um dispositivo de processamento de dados (210) em comunicação elétrica com o meio de armazenamento de dados (220) para construir uma estrutura de nó espacial de configuração dentro do meio de armazenamento de dados (220),
20 a estrutura de nó espacial de configuração incluindo nós de configuração de espaço livre e nós de configuração proibidos que representam um espaço de configuração discretizado de uma região anatômica (100) de um corpo,

em que o dispositivo de processamento de dados
25 (210) é operável para gerar uma avaliação de lesão estrutural para cada nó de configuração de espaço livre, a avaliação de lesão estrutural sendo indicativa de uma avaliação de lesão em potencial a pelo menos uma área anatômica crítica representada pelos nós de configuração proibidos, cada nó de
30 configuração proibido tendo um custo de avaliação de lesão estrutural infinito.

15. SISTEMA, de acordo com a reivindicação 14, caracterizado em que o dispositivo de processamento de dados

(210) é adicionalmente operável para ampliar a estrutura de nó espacial de configuração conforme construída dentro do meio de armazenamento de dados (220) com valores de parâmetro que quantificam cada nó da estrutura de nó espacial de configuração de acordo com um nó-alvo e uma área de entrada da região anatômica (100),

em que a ampliação da estrutura de nó espacial de configuração inclui uma expansão geométrica do nó-alvo envolvendo pelo menos um nó de configuração de espaço livre geometricamente circunvizinho ao nó-alvo que serve como um nó de 'semente' substituto.

A	Campos de visão frontal	B	Somatossensorial
C	Broca's	D	Motor
E	Audição	F	??
G	Wernicke's	H	Visão
I	Cognição	K	Visual-parietal
L	Emoção	M	Visual-temporal

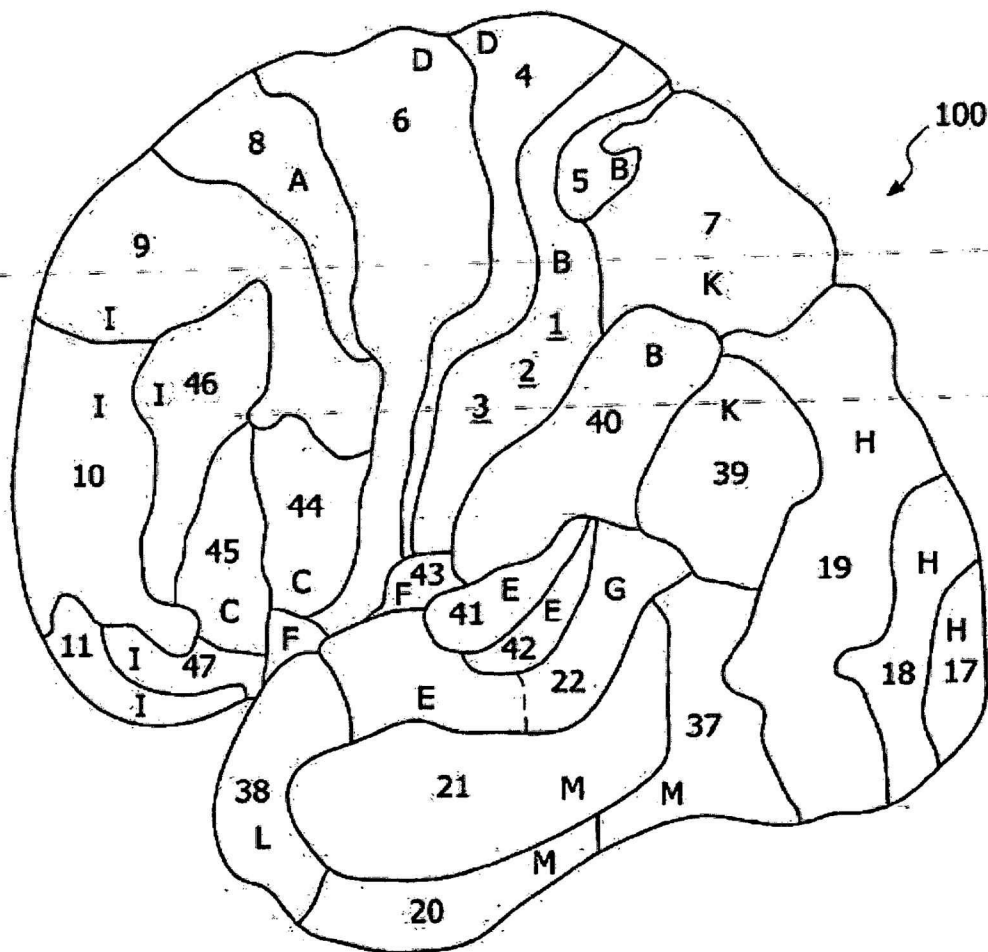


FIG. 1

(Técnica anterior)

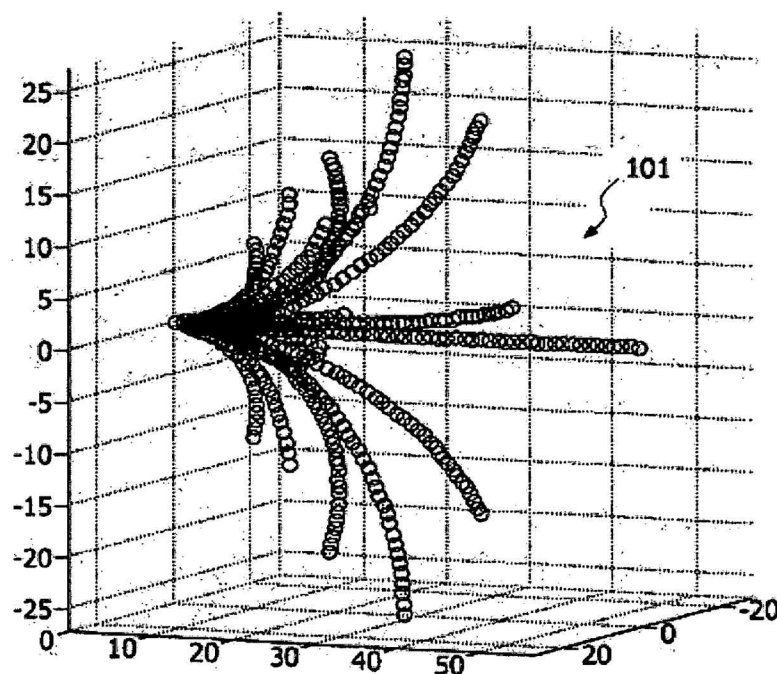


FIG. 2
(Técnica anterior)

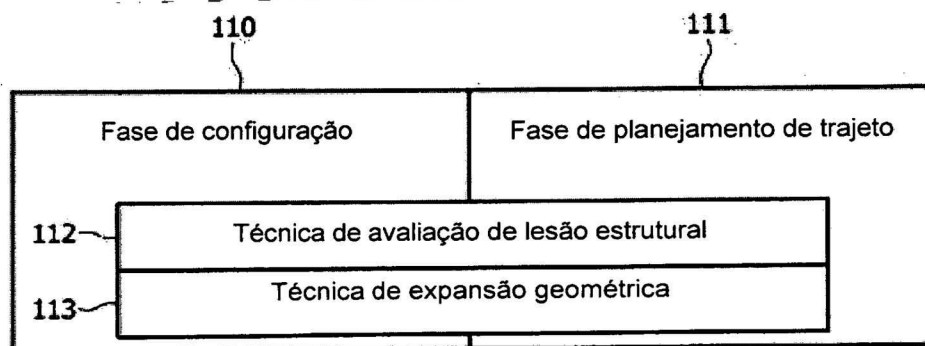


FIG. 3

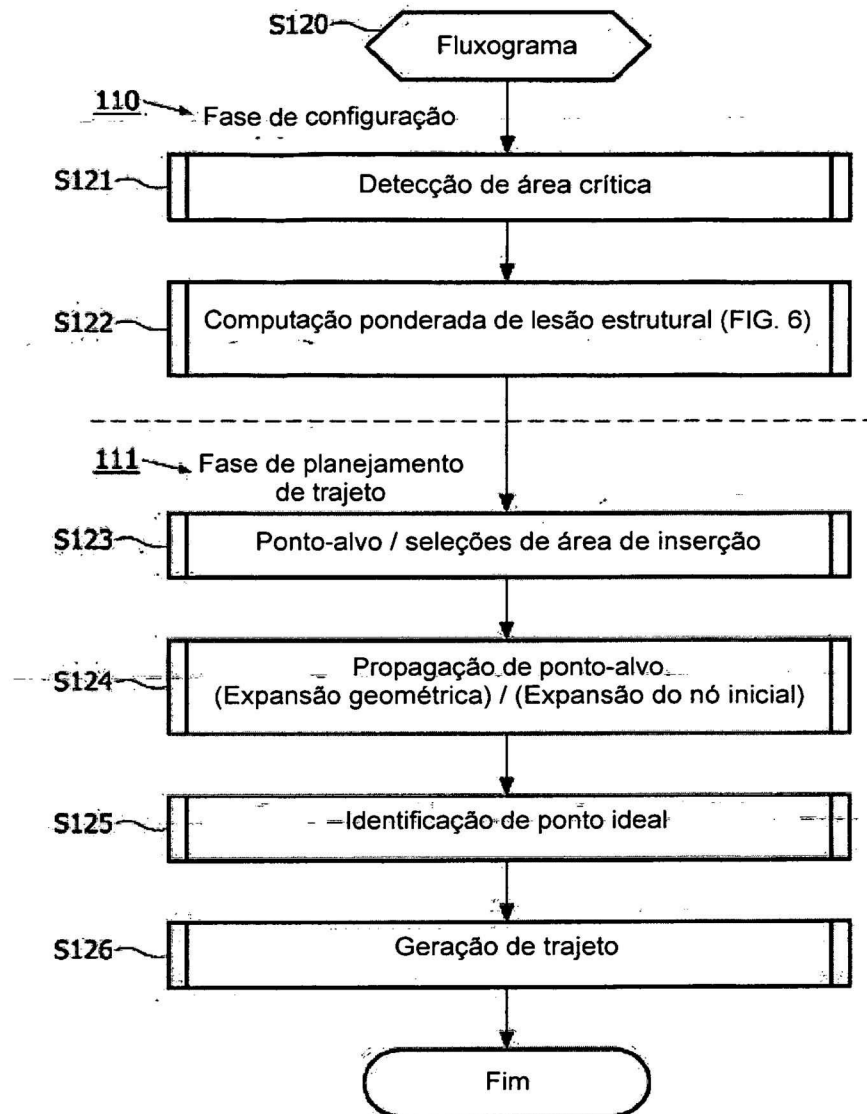


FIG. 4

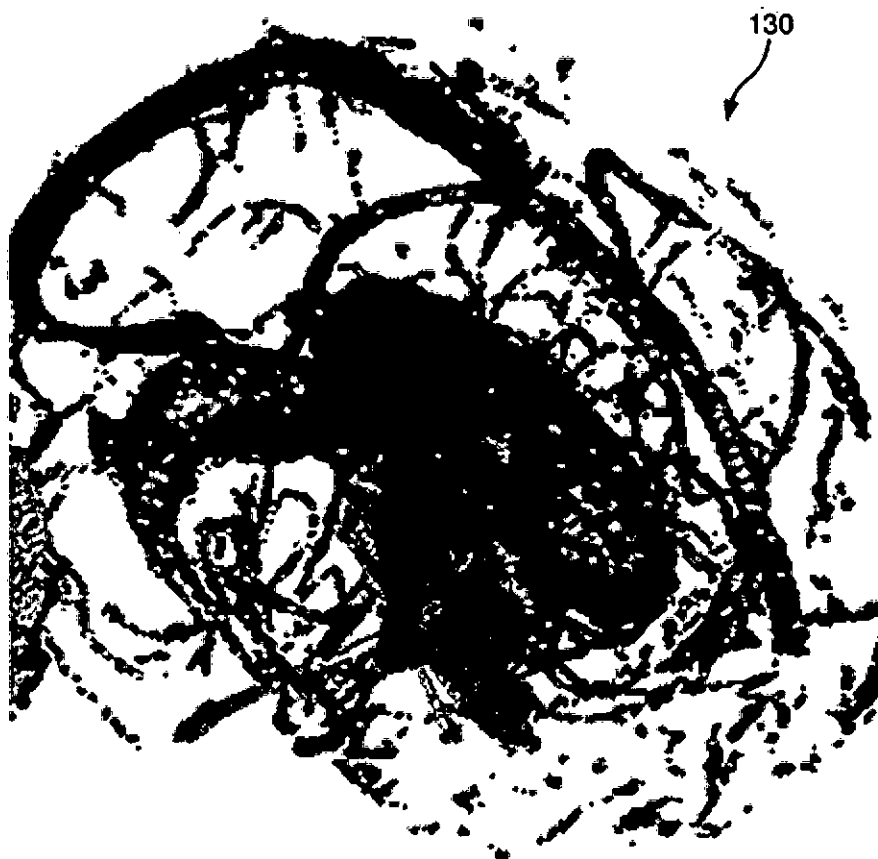


FIG. 5
(Técnica anterior)

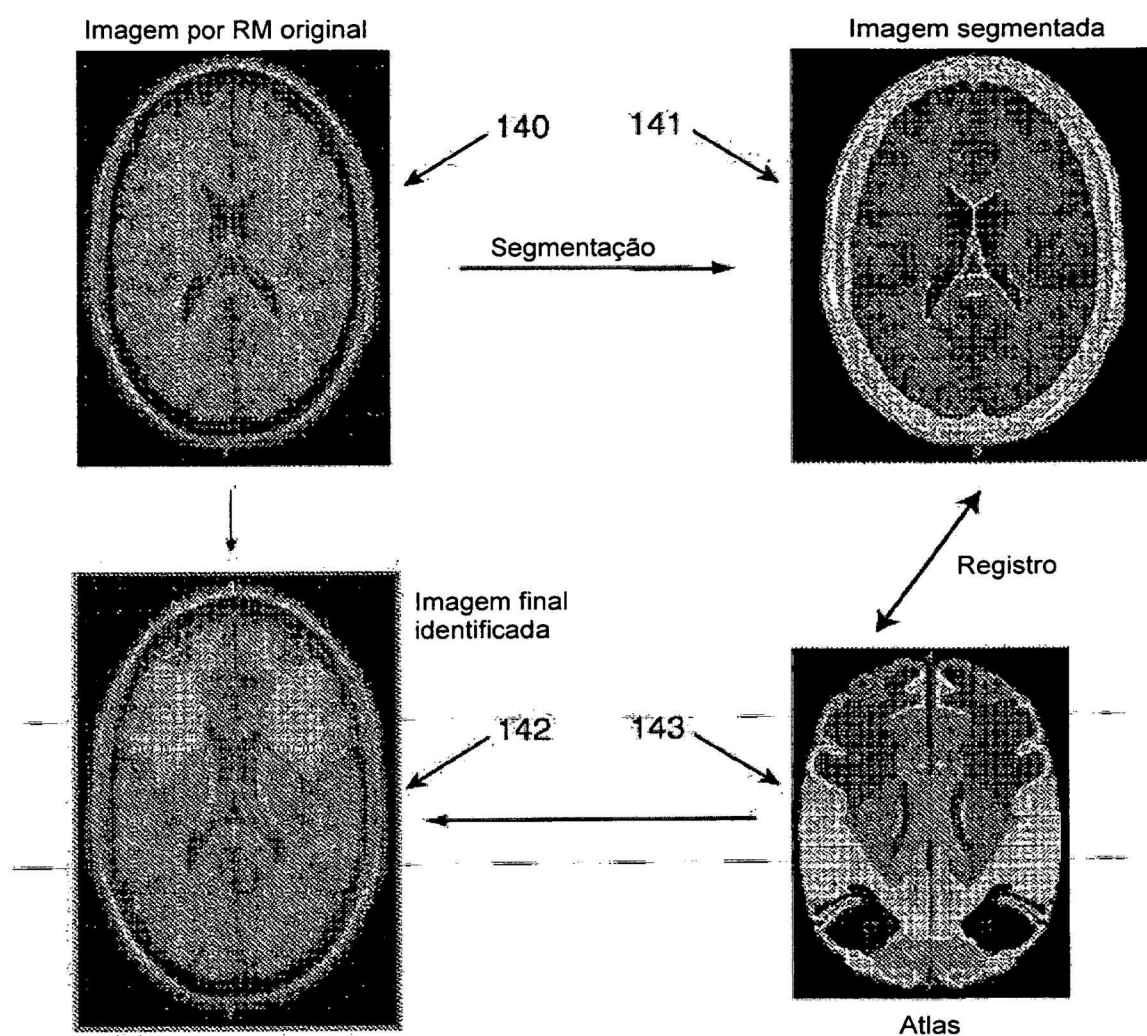


FIG. 6

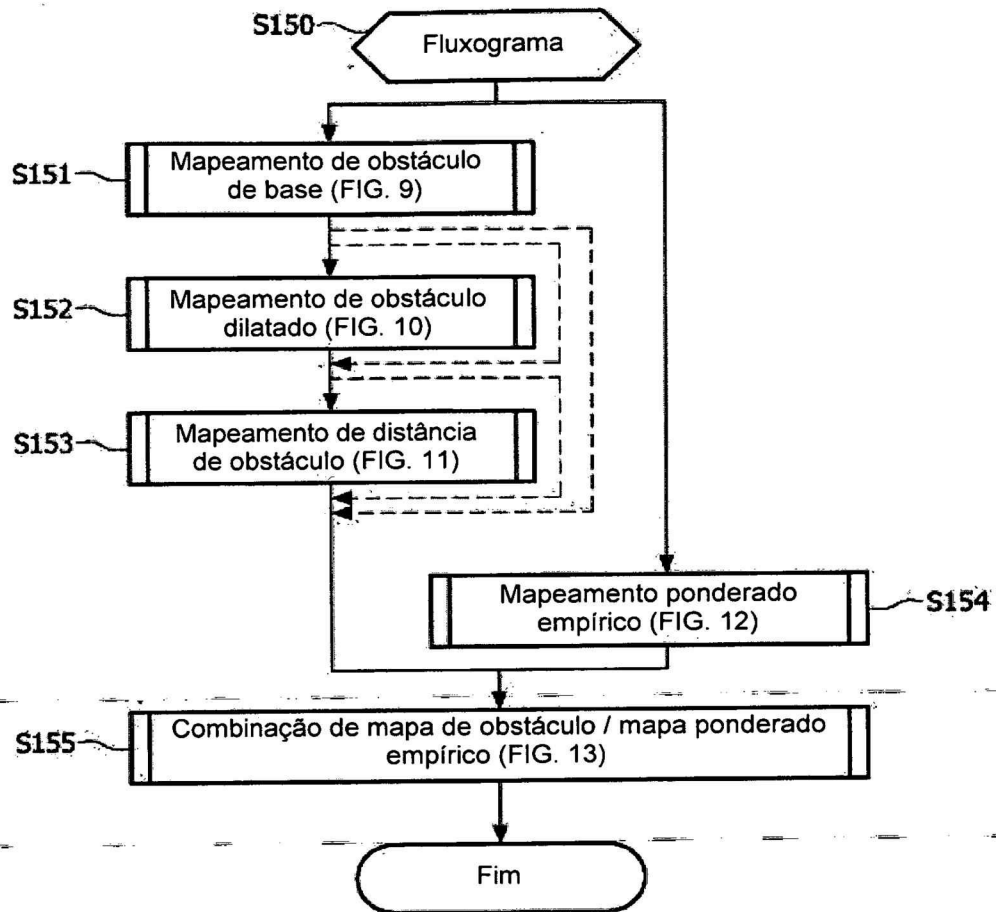


FIG. 7

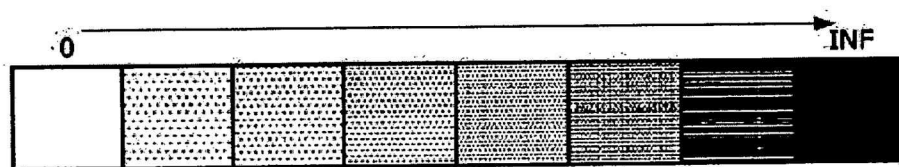
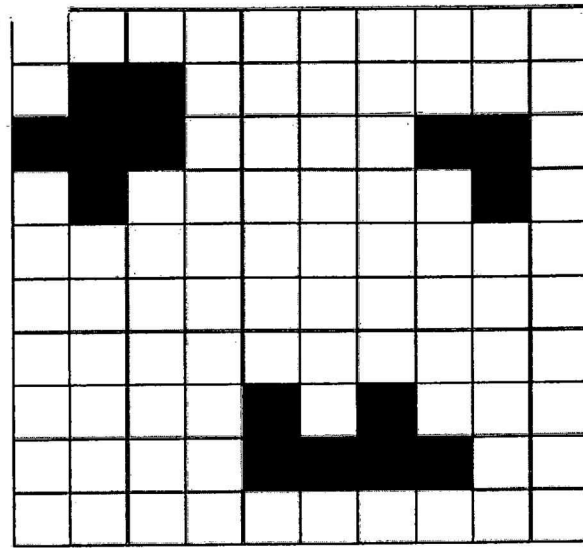
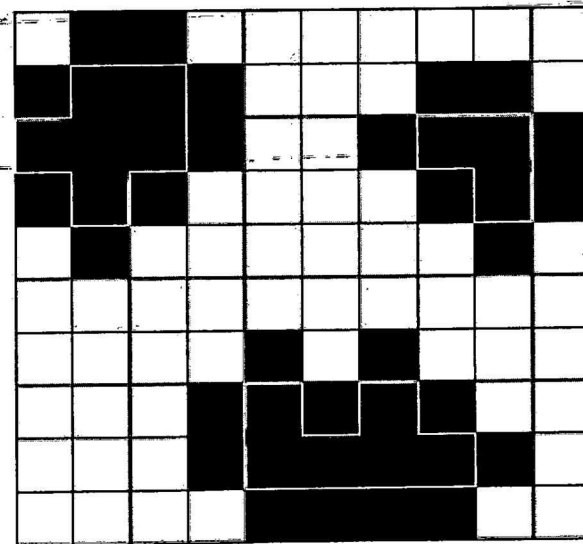


FIG. 8



160

FIG. 9



161

FIG. 10

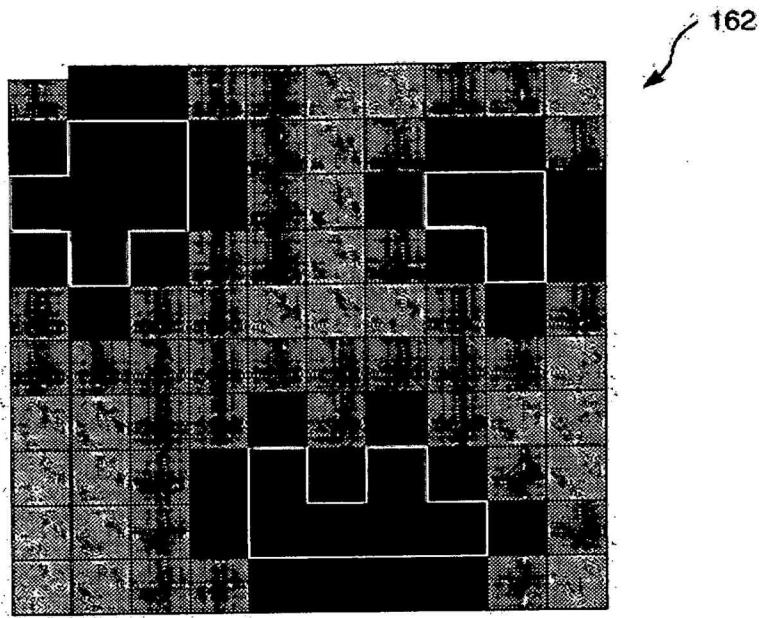


FIG. 11

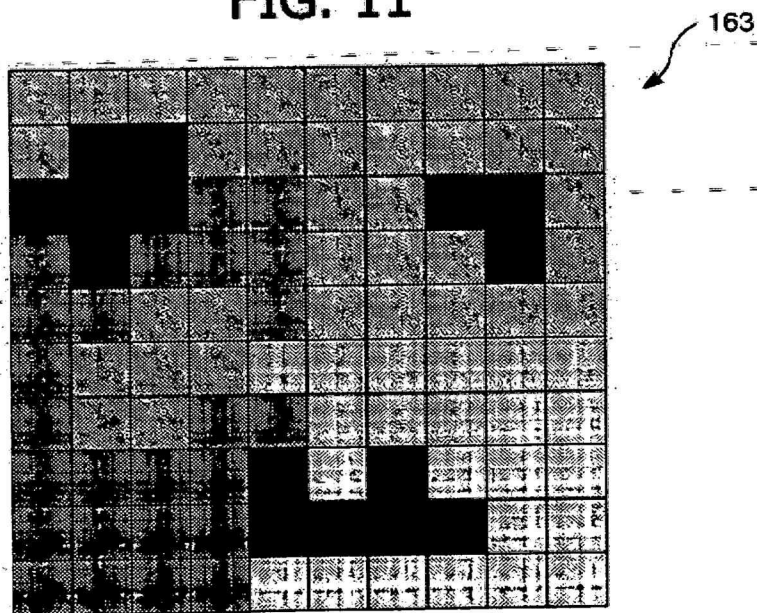


FIG. 12

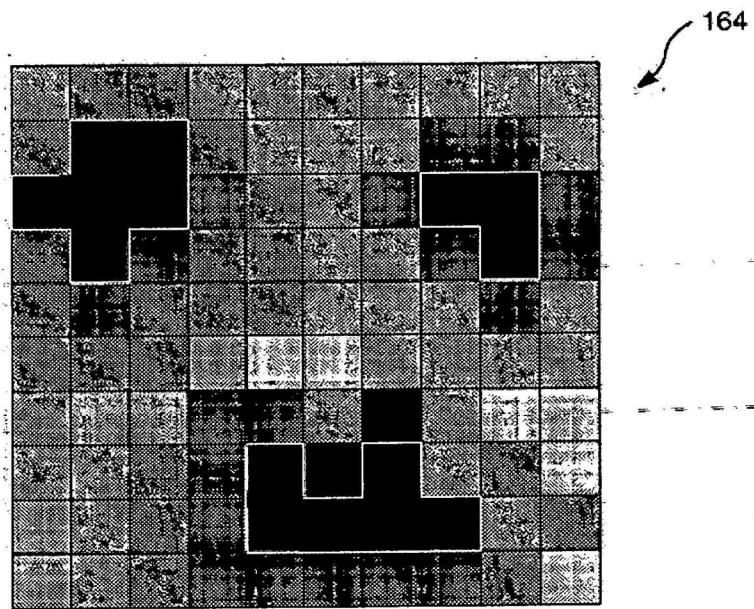


FIG. 13

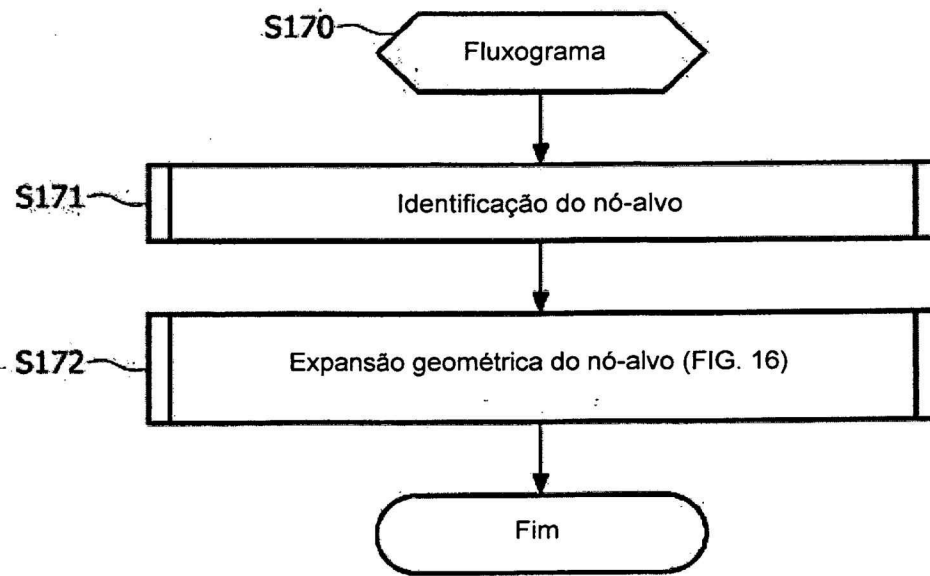


FIG. 14

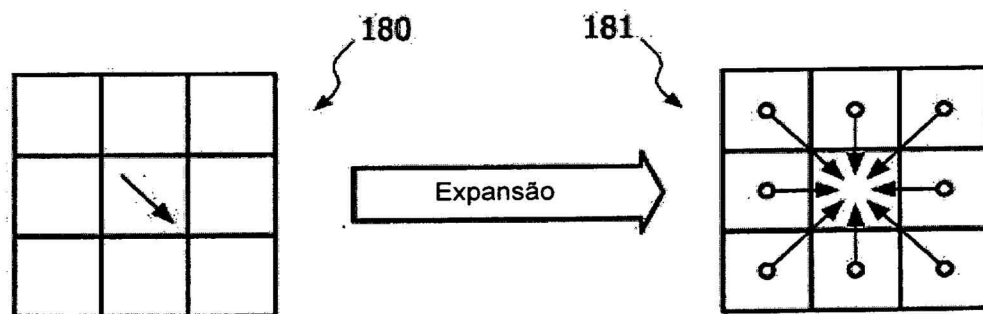


FIG. 15

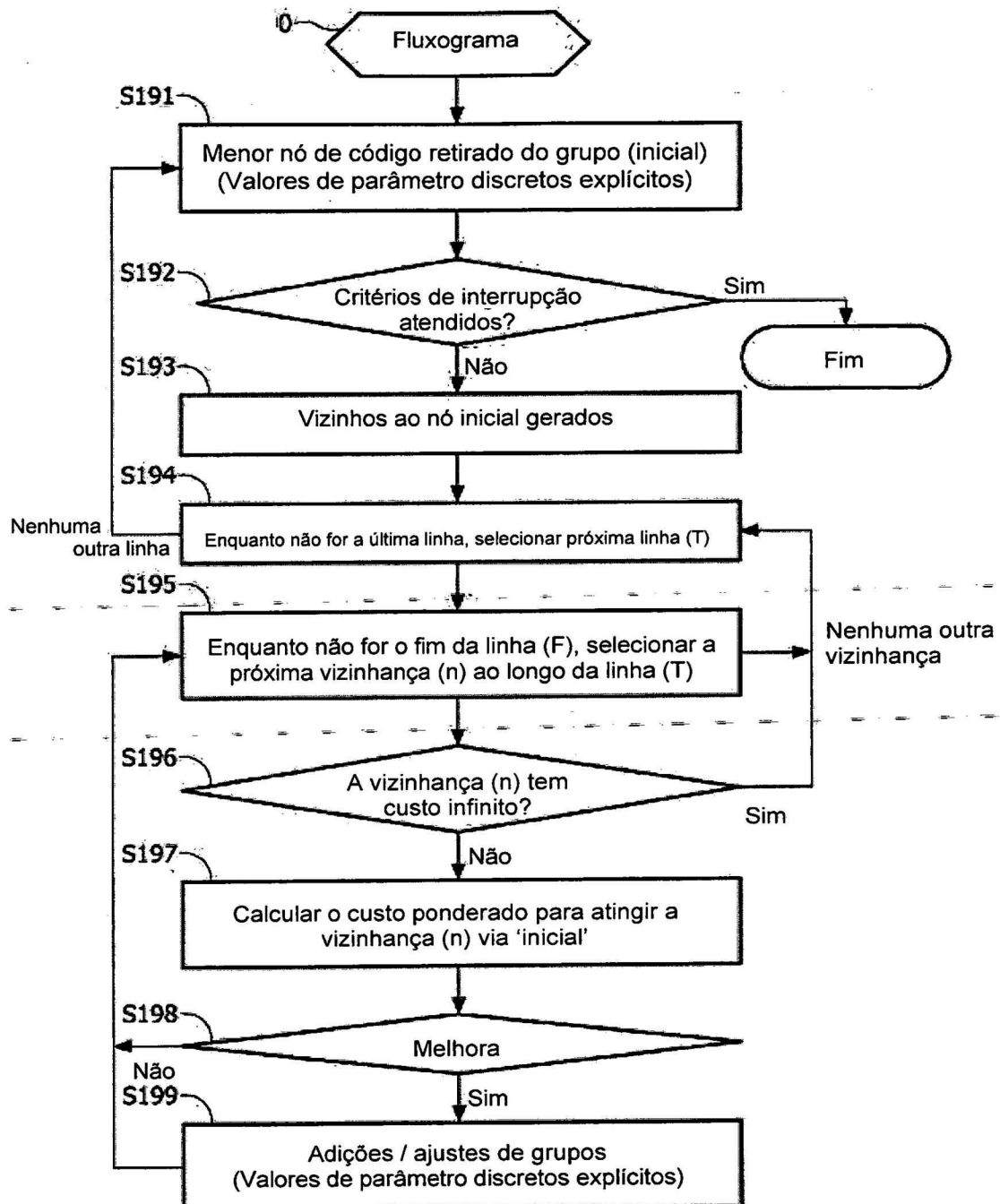


FIG. 16

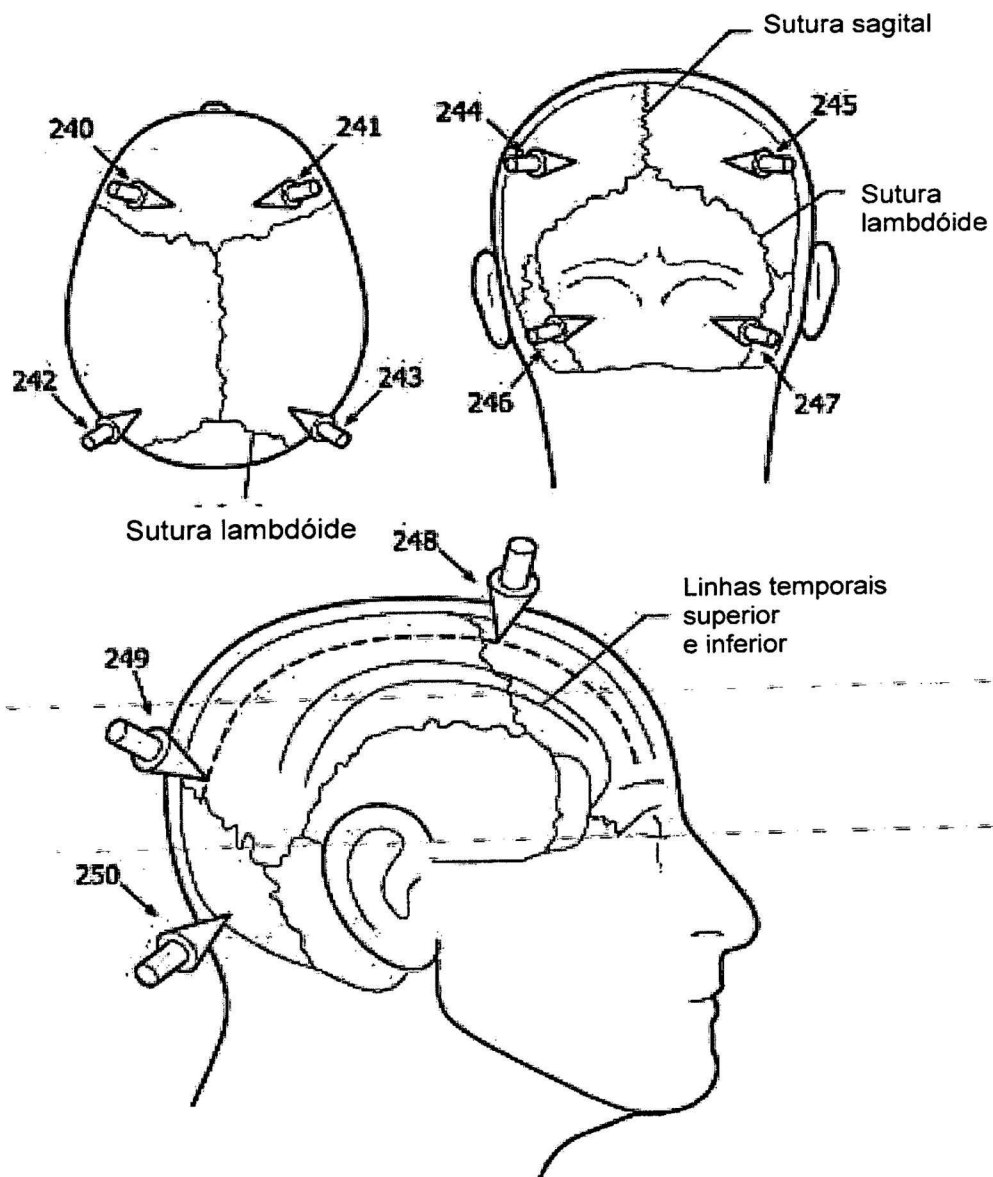
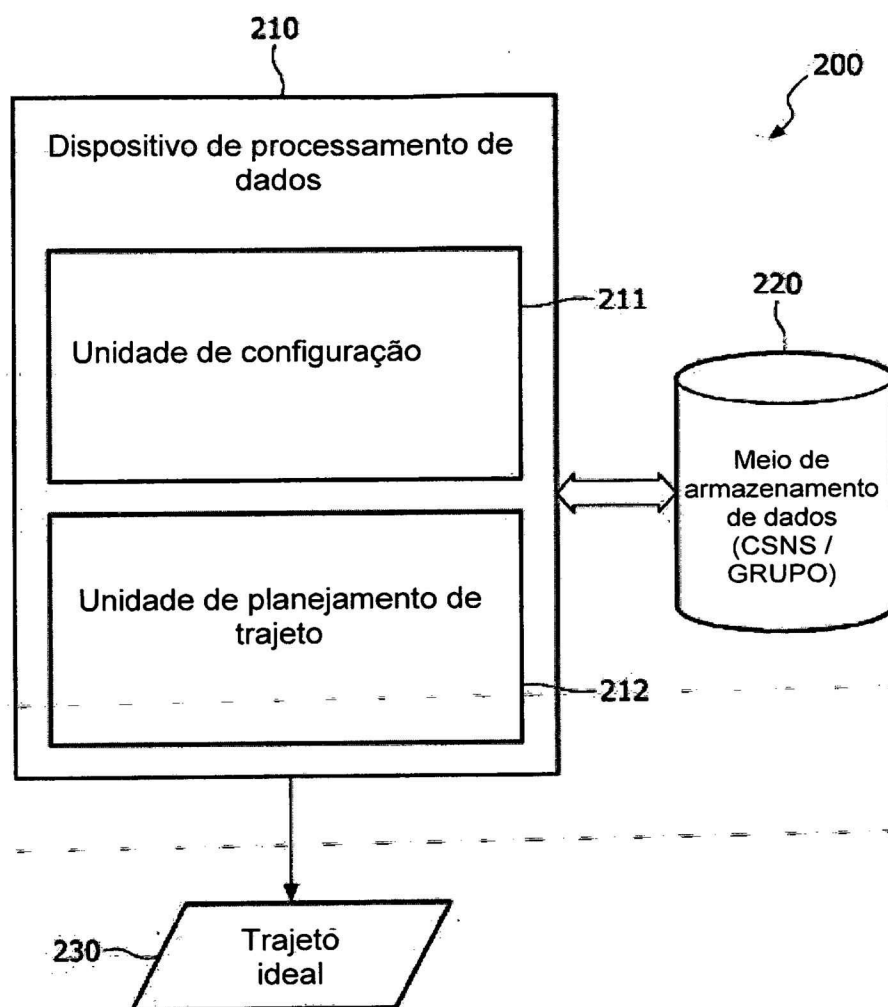


FIG. 17
(Técnica anterior)

**FIG. 18**

RESUMO

MÉTODO PARA PLANEJAR UM TRAJETO DE ACORDO COM UMA APLICAÇÃO CIRÚRGICA, E, SISTEMA PARA PLANEJAR UM TRAJETO DE ACORDO COM A APLICAÇÃO CIRÚRGICA

5 Um método para planejar um trajeto de acordo com a aplicação cirúrgica incorporando uma técnica de avaliação de lesão estrutural (112) e/ou uma técnica de expansão geométrica (113) para a estrutura de nó espacial de configuração que representa um espaço de configuração
10 discretizado de uma região anatômica (100). A técnica de avaliação de lesão estrutural (112) inclui a geração de avaliação de lesões estruturais indicativa de uma avaliação de lesão em potencial para uma ou mais áreas anatômicas críticas da região anatômica (100). A técnica de expansão
15 ~~geométrica~~ (113) ~~inclui uma ampliação da estrutura de nó~~ espacial de configuração envolvendo um ou mais nós de configuração de espaço livre geometricamente circunvizinhos
~~ao nó-alvo que serve como nós de semente substitutos.~~