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

(11) BR 112013015818-2 B1

(22) Data do Depósito: 05/12/2011

(45) Data de Concessão: 03/08/2021

(54) Título: SISTEMA E MÉTODO PARA VISUALIZAR UM FLUXO DENTRO DE UM VOLUME DE UMA IMAGEM TRIDIMENSIONAL, ESTAÇÃO DE TRABALHO, APARELHO DE AQUISIÇÃO DE IMAGEM

(51) Int.Cl.: G06T 15/08; G06T 19/20; G06T 7/00.

(30) Prioridade Unionista: 22/12/2010 EP 10196398.1.

(73) Titular(es): KONINKLIJKE PHILIPS N.V..

(72) Inventor(es): JAVIER OLIVAN BESCOS.

(86) Pedido PCT: PCT IB2011055468 de 05/12/2011

(87) Publicação PCT: WO 2012/085720 de 28/06/2012

(85) Data do Início da Fase Nacional: 21/06/2013

(57) Resumo: SISTEMA E MÉTODO PARA VISUALIZAR UM FLUXO DENTRO DE UM VOLUME DE UMA IMAGEM TRIDIMENSIONAL, USO DE UM SISTEMA, ESTAÇÃO DE TRABALHO, APARELHO DE AQUISIÇÃO DE IMAGEM E PRODUTO DE PROGRAMA DE COMPUTADOR PARA SER CARREGADO POR UMA DISPOSIÇÃO DE COMPUTADOR A invenção refere-se a um sistema (SYS) para visualizar um fluxo dentro de um volume de uma uma imagem tridimensional (3D), o sistema compreendendo uma primeira unidade de transferência (U30) para aplicar uma primeira função de transferências, que atribui uma propriedade interpretável a cada localização de uma primeira pluralidade de localizações dentro do volume, com base em um padrão de fluxo atribuído à dita localização; uma segunda unidade de transferência (U40) para aplicar uma segunda função de transferência, que atribui uma propriedade interpretável a cada localização de uma segunda pluralidade de localizações dentro do volume, com base em um valor de imagem 3D atribuída à dita localização; e uma unidade de mistura (U50) para computar uma imagem 2D com base na propriedade interpretável atribuída a cada localização da primeira pluralidade de localizações e na propriedade interpretável atribuída a cada localização da segunda pluralidade de localizações, em que a imagem 2D visualiza o padrão de fluxo e a imagem (...).

SISTEMA E MÉTODO PARA VISUALIZAR UM FLUXO DENTRO DE UM VOLUME DE UMA IMAGEM TRIDIMENSIONAL, ESTAÇÃO DE TRABALHO, APARELHO DE AQUISIÇÃO DE IMAGEM

CAMPO DA INVENÇÃO

A invenção refere-se à visualização de padrões de campo de vetor ou de fluxo tridimensional. Em particular, a invenção refere-se à visualização de padrões de fluxo ou de campo de vetor com base na série de tempos dos conjuntos de dados da imagem.

HISTÓRICO DA INVENÇÃO

A visualização de fluxo é um tópico que recebeu bastante atenção no passado. Muitos métodos de visualização de dados de fluxo foram desenvolvidos, incluindo, por exemplo, visualização de dinamização direta (Alexander Köhn, Jan Klein, Florian Weiler, Heinz-Otto Peitgen, "A GPU-based Fiber Tracking Framework using Geometry Shaders", Proc. SPIE, Vol. 7261, 72611J, 2009), dinamização por *ray-casting* (Thomas Frühauf , "Raycasting vector fields", IEEE Visualization Proceedings, 1996) ou de traço de partícula (Jens Krüger, Peter Kipfer, Polina Kondratieva, Rüdiger Westermann, "A Particle System for Interactive Visualization of 3D Flows", IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, Vol. 11, No. 6, 11, 2005). Esses métodos geram primitivas geométricas, como pontos ou caminhos, campos de vetor de fluxo ou caminhos de partícula, que podem ser visualizadas com técnicas de gráfico de computador convencionais.

A principal deficiência das atuais soluções é que elas não provêem maneiras de visualizar intuitivamente os padrões de fluxo específicos. Geralmente, muitos padrões de fluxo diferentes são misturados na mesma imagem, contribuindo para a confusão do usuário, especialmente quando o usuário

não for familiarizado com a matemática envolvida na análise do fluxo.

SUMÁRIO DA INVENÇÃO

Seria vantajoso ter um sistema capaz de visualizar intuitivamente os padrões de fluxo.

Assim, em um aspecto, a invenção provê um sistema para visualizar um fluxo dentro de um volume de uma imagem tridimensional (3D), o sistema compreendendo:

- uma primeira unidade de transferência para aplicar uma primeira função de transferência, que atribui uma propriedade interpretável a cada localização de uma primeira pluralidade de localizações dentro do volume, com base em um padrão de fluxo atribuída à dita localização;

- uma segunda unidade de transferência para aplicar uma segunda função de transferência, que atribui uma propriedade interpretável a cada localização de uma segunda pluralidade de localizações dentro do volume, com base em um valor da imagem 3D atribuída à dita localização; e

- uma unidade de mistura para computar a imagem 2D com base na propriedade interpretável atribuída a cada localização da primeira pluralidade de localizações e na propriedade interpretável atribuída a cada localização da segunda pluralidade de localizações, em que a imagem 2D visualiza o padrão de fluxo e a imagem 3D.

Os padrões de fluxo atribuídos a cada localização da primeira pluralidade de localizações podem ser obtidos, por exemplo, de um arquivo de entrada. Alternativamente, eles podem ser derivados de dados de imagem, em particular, dados de imagem 4D, por meio de geometria diferencial, utilizando o operador de gradiente ou o operador de tensor de estrutura, por exemplo. A unidade de mistura pode ser adaptada para computar uma propriedade interpretável em cada localização de uma terceira pluralidade de localizações dentro do volume com

base na propriedade interpretável atribuída a cada localização da primeira e da segunda pluralidade de localizações, e para computar a imagem 2D com base na propriedade interpretável computada em cada localização da terceira pluralidade de localizações utilizando qualquer técnica de interpretação de volume adequada conhecida na técnica, por exemplo, a técnica de interpretação de volume direta. Alternativamente, o sistema pode ser adaptado para computar uma primeira imagem 2D com base na propriedade interpretável atribuída a cada localização da primeira pluralidade de localizações e uma segunda imagem 2D com base na propriedade interpretável atribuída a cada localização da segunda pluralidade de localizações, e para exibir de maneira alternante a primeira e a segunda imagem 2D ou para fundir a primeira e a segunda imagem 2D.

Em uma realização, o sistema ainda compreende uma unidade de padrão para computar o padrão de fluxo em cada localização da primeira pluralidade de localizações.

Em uma realização do sistema, em cada localização da primeira pluralidade de localizações, o padrão de fluxo é computado com base na curvatura e/ou torção de uma curva de fluxo associada ao fluxo na dita localização. A curvatura e torção determinam exclusivamente a geometria de curva, uma vez que são invariantes em relação à re-parametrização de curva.

Em uma realização do sistema, o padrão de fluxo assume um dentro um número finito de padrões, também mencionado como classes de padrão. A utilização de classes de padrão ajuda o usuário a se concentrar nos padrões de fluxo de interesse, definidos por variações dos valores de curvatura e torção, por exemplo.

Em uma realização do sistema, a propriedade interpretável atribuída a cada localização da primeira ou da

segunda pluralidade de localizações compreende uma cor e opacidade ou transparência.

Em uma realização, o sistema ainda compreende uma interface de usuário adaptada para receber uma entrada de usuário para definir a primeira e/ou segunda função de transferência. Com isso, o usuário é capaz de definir padrões de fluxo e tecidos de interesse a serem visualizados na imagem 2D.

O técnico no assunto perceberá que o sistema da invenção pode ser utilizado para visualizar um campo de vetor de velocidade associada ao fluxo. Isso resulta do fato de que cada fluxo descrito por curvas de fluxo define um campo de vetor exclusivo e, vice-versa, cada campo de vetor define um fluxo exclusivo descrito por curvas de fluxo.

Em um aspecto adicional, é provida uma estação de trabalho compreendendo o sistema da invenção.

Em um aspecto adicional, é provido um aparelho de aquisição de imagem compreendendo o sistema da invenção.

Em um aspecto adicional, é provido um método de visualização de um fluxo dentro de um volume de uma imagem tridimensional (3D), o método compreendendo:

- uma primeira etapa de transferência para aplicar uma primeira função de transferência, que atribui uma propriedade interpretável a cada localização de uma primeira pluralidade de localizações dentro do volume, com base em um padrão de fluxo atribuída à dita localização;

- uma segunda etapa de transferência para aplicar uma segunda função de transferência, que atribui uma propriedade interpretável a cada localização de uma segunda pluralidade de localizações dentro do volume, com base em um valor da imagem 3D atribuída à dita localização; e

- uma etapa de mistura para computar uma imagem 2D com base na propriedade interpretável atribuída a cada

localização da primeira pluralidade de localizações e na propriedade interpretável atribuída a cada localização da segunda pluralidade de localizações.

Em uma implementação, o método ainda compreende uma etapa de classificação de padrão para computar o padrão de fluxo em cada localização da primeira pluralidade de localizações.

Em uma implementação do método, em cada localização da primeira pluralidade de localizações, o padrão de fluxo é computado com base na curvatura e/ou torção de uma curva de fluxo associada ao fluxo na dita localização.

Em um aspecto adicional, a invenção provê um produto de programa de computador para ser carregado por uma disposição de computador, compreendendo instruções para visualizar um fluxo dentro de um volume de uma imagem tridimensional (3D), a disposição de computador compreendendo uma unidade de processamento e uma memória, o produto de programa de computador, após ser carregado, provendo a dita unidade de processamento da capacidade de realizar as etapas do método da invenção.

Será apreciado pelos técnicos no assunto que duas ou mais das realizações, implementações e/ou aspectos mencionados acima da invenção podem ser combinados de qualquer maneira considerada útil.

Modificações e variações do sistema, da estação de trabalho, do aparelho de aquisição de imagem, do método e/ou do produto de programa de computador, que correspondam às modificações e variações do sistema ou do método, podem ser realizadas por um técnico no assunto, com base na descrição.

A invenção é definida nas reivindicações independentes. As realizações vantajosas são definidas nas reivindicações dependentes.

BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

Esses e outros aspectos da invenção são aparentes a partir de e serão elucidadas por meio de implementações e realizações doravante descritas e com referência aos desenhos anexos, em que:

A Figura 1 apresenta um diagrama de blocos de uma realização exemplar do sistema;

A Figura 2 apresenta oito curvas de fluxo exemplares, cada curva de fluxo representando uma classe de padrão de fluxo diferente;

A Figura 3 ilustra uma primeira função de transferência exemplar que atribui cores às classes de padrão de fluxo;

A Figura 4 apresenta uma imagem 2D computada pelo sistema, de acordo com a invenção;

A Figura 5 apresenta esquematicamente um fluxograma exemplar do método;

A Figura 6 apresenta esquematicamente uma realização exemplar do aparelho de aquisição de imagem; e

A Figura 7 apresenta esquematicamente uma realização exemplar da estação de trabalho.

Números de referência idênticos são utilizados para denotar partes semelhantes ao longo de todas as Figuras.

DESCRIÇÃO DETALHADA DAS REALIZAÇÕES

A Figura 1 apresenta esquematicamente um diagrama de blocos de uma realização exemplar do sistema SYS para visualizar um fluxo dentro de um volume de uma imagem tridimensional (3D), o sistema compreendendo:

- uma primeira unidade de transferência U30 para aplicar uma primeira função de transferência, que atribui uma propriedade interpretável a cada localização de uma primeira pluralidade de localizações dentro do volume, com base em um padrão de fluxo atribuída à dita localização;

- uma segunda unidade de transferência U40 para

aplicar uma segunda função de transferência, que atribui uma propriedade interpretável a cada localização de uma segunda pluralidade de localizações dentro do volume, com base em um valor da imagem 3D atribuída à dita localização; e

- uma unidade de mistura U50 para computar uma imagem 2D com base na propriedade interpretável atribuída a cada localização da primeira pluralidade de localizações e na propriedade interpretável atribuída a cada localização da segunda pluralidade de localizações.

A realização exemplar do sistema SYS ainda compreende:

- uma unidade de padrão U20 para computar o padrão de fluxo em cada localização da primeira pluralidade de localizações;

- uma unidade de controle U60 para controlar o funcionamento do sistema SYS;

- uma interface de usuário U65 para comunicação entre o usuário e o sistema SYS; e

- uma unidade de memória U70 para armazenar dados.

Em uma realização do sistema SYS, há três conectores de entrada U81, U82 e U83 para os dados de entrada. O primeiro conector de entrada U81 é disposto para receber dados que vêm do meio de armazenamento de dados, como, entre outros, um disco rígido, uma fita magnética, uma memória flash ou um disco óptico. O segundo conector de entrada U82 é disposto para receber dados que vêm de um dispositivo de entrada de usuário como, entre outros, um mouse ou uma tela sensível ao toque. O terceiro conector de entrada U83 é disposto para receber dados que vêm de m dispositivo de entrada de usuário, como um teclado. Os conectores de entrada U81, U82 e U83 são conectados a uma unidade de controle de entrada U80.

Em uma realização do sistema SYS, há dois

conectores de saída U91 e U92 para os dados de saída. O primeiro conector de saída U91 é disposto para saída dos dados a um meio de armazenamento de dados, como um disco rígido, uma fita magnética, uma memória flash ou um disco óptico. O segundo conector de saída U92 é disposto para saída dos dados a um dispositivo de exibição. Os conectores de saída U91 e U92 recebem os respectivos dados por meio de uma unidade de controle de saída U90.

Um técnico no assunto entenderá que há muitas maneiras de conectar dispositivos de entrada aos conectores de entrada U81, U82 e U83 e os dispositivos de saída aos conectores de saída U91 e U92 do sistema SYS. Essas maneiras compreendem, entre outros, uma conexão cabeada ou sem fio, uma rede digital, como, entre outros, uma Rede de Área Local (LAN) e uma Rede de Área Ampla (WAN), a Internet, uma rede de telefones digital e uma rede de telefones análoga.

Em uma realização, o sistema SYS compreende uma unidade de memória U70. O sistema SYS é disposto para receber dados de entrada de dispositivos externos por meio de qualquer um dos conectores de entrada U81, U82, e U83 e para armazenar os dados de entrada recebidos na unidade de memória U70. O carregamento dos dados de entrada na unidade de memória U70 permite o acesso rápido às partes de dados relevantes pelas unidades do sistema SYS. Os dados de entrada compreendem a imagem 3D. Opcionalmente, os dados de entrada podem compreender entrada de usuário para definir a primeira e/ou segunda função de transferência, por exemplo. A unidade de memória U70 pode ser implementada por dispositivos, como, entre outros, um arquivo registrador de uma CPU, uma memória cache, um chip de Memória de Acesso Aleatório (RAM), um chip de Memória de Somente Leitura (ROM), e/ou uma unidade de disco rígido e um disco rígido. A unidade de memória U70 ainda pode ser disposta para armazenar os dados de saída. Os

dados de saída compreendem a imagem 2D visualizando os padrões de fluxo de interesse. A unidade de memória U70 também pode ser disposta para receber dados de e/ou liberar dados às unidades do sistema SYS compreendendo a unidade de padrão U20, a primeira unidade de transferência U30, a segunda unidade de transferência U40, a unidade de mistura U50, a unidade de controle U60, e a interface de usuário U65, por meio de um barramento de memória U75. A unidade de memória U70 é ainda disposta para tornar os dados de saída disponíveis a dispositivos externos por meio de qualquer um dos conectores de saída U91 e U92. O armazenamento de dados das unidades do sistema SYS na unidade de memória U70 pode aprimorar de maneira vantajosa desempenho das unidades do sistema SYS, assim como a taxa de transferência dos dados de saída das unidades do sistema SYS a dispositivos externos.

Em uma realização, o sistema SYS compreende uma unidade de controle U60 para controlar o sistema SYS. A unidade de controle U60 pode ser disposta para receber dados de controle de e prover dados de controle para as unidades do sistema SYS. Por exemplo, após computar os padrões de fluxo na primeira pluralidade de localizações dentro do volume, a unidade de padrão U20 pode ser disposta para prover dados de controle, "os padrões de fluxo estão computados", à unidade de controle U60, e a unidade de controle U60 pode ser disposta para prover dados de controle, "uso da primeira função de transferência para computar a propriedade interpretável na primeira pluralidade de localizações dentro do volume", à primeira unidade de transferência U30. Alternativamente, as funções de controle podem ser implementadas em outras unidades do sistema SYS.

Em uma realização do sistema SYS, o sistema SYS compreende uma interface de usuário U65 para permitir a comunicação entre um usuário e o sistema SYS. A interface de

usuário U65 pode ser disposta para receber uma entrada de usuário compreendendo o nome do arquivo compreendendo os dados da imagem 3D e o nome do arquivo compreendendo os padrões de fluxo em cada localização da primeira pluralidade de localizações dentro do volume. Opcionalmente, a interface de usuário pode receber uma entrada de usuário para selecionar um modo de operação do sistema, como, por exemplo, para selecionar ou modificar a primeira e/ou segunda função de transferência. A interface de usuário pode ser ainda disposta para exibir a imagem 2D. Um técnico no assunto entenderá que mais funções podem ser vantajosamente implementadas na interface de usuário U65 do sistema SYS.

O sistema SYS pode ser disposto para receber a primeira e/ou segunda pluralidade de localizações dentro do volume. Alternativamente, o sistema SYS pode ser disposto para definir a primeira e/ou segunda pluralidade de localizações. A primeira e/ou segunda pluralidade de localizações dentro do volume pode ser substancialmente idêntica à pluralidade de voxels substancialmente compreendidos no volume. Alternativamente, a primeira e/ou segunda pluralidade de localizações dentro do volume pode compreender um subconjunto de voxels substancialmente compreendidos no volume. O sistema SYS ainda pode ser disposto para computar a propriedade interpretável em cada voxel dentro do volume, ou seja, em cada localização de uma terceira pluralidade de localizações exemplar, com base no valor da propriedade interpretável em cada localização da primeira e/ou segunda pluralidade de localizações, utilizando, por exemplo, técnicas de interpolação ou regressão.

O técnico no assunto conhecerá muitos métodos de definição da pluralidade de localizações dentro do volume e computação de incertezas. O escopo das reivindicações não

deve ser interpretado limitado à utilização de qualquer método específico.

Em uma realização, o sistema SYS compreende uma unidade de padrão U20 para computar o padrão de fluxo em cada localização da primeira pluralidade de localizações, essa primeira pluralidade de localizações compreende localizações de todos os voxels, por exemplo, de centros de voxel, dentro do volume da imagem 3D. O fluxo é descrito pelo campo de vetor exclusivamente definido pelo fluxo. O campo de vetor define um vetor de campo de fluxo para cada voxel dentro do volume. Na medicina, os vetores de campo de fluxo sanguíneo podem ser computados do fluxo sanguíneo medido utilizando tomografia de vetor por Doppler de ultrassom, tomografia por RM ou PET. Alternativamente, o fluxo sanguíneo no coração ou ramificações de vaso sanguíneo pode ser simulado utilizando modelos de fluxo sanguíneo (vide, por exemplo, *Three-dimensional finite element modeling of blood flow in the coronary arteries*, PhD Thesis by Kim, Hyun Jin, STANFORD UNIVERSITY, 2009). Uma vez que o campo de vetor de fluxo é obtido, para cada voxel, a curvatura e torção da curva de fluxo que cruza o centro do voxel são calculados. Os valores calculados de curvatura e torção são utilizados para definir classes de padrão de fluxo.

Alternativamente, o sistema SYS pode ser disposto para receber uma entrada compreendendo um descritor do padrão de fluxo (por exemplo, curvatura e torção) em cada localização da primeira pluralidade de localizações.

Em uma realização, as classes de padrão de fluxo são definidas com base nos valores de curvatura e torção. As nove classes de padrão de fluxo a seguir podem ser utilizadas:

A: curvatura constante, torção zero (as curvas de fluxo são círculos);

B: curvatura positiva constante, torção constante não zero (as curvas de fluxo são espirais de raio constante)

C: curvatura negativa constante, torção constante não zero (as curvas de fluxo são espirais de raio constante, invertidos em relação aos espirais em B);

D: curvatura constante, torção variável (o fluxo em espiral "acelera" no eixo z);

E: curvatura crescente, torção zero (o fluxo em um plano, mas que converge em direção a um ponto);

F: curvatura decrescente, torção zero (fluxo em um plano, mas que diverge de um ponto);

G: curvatura crescente, torção não zero (as curvas de fluxo são espirais de raio variante);

H: curvatura decrescente, torção não zero (as curvas de fluxo são espirais de raio variante); e

I: qualquer outra curvatura e torção.

Cada classe é atribuída de propriedades interpretável por meio de uma primeira função de transferência, também mencionada como função de transferência de padrão de fluxo. A Figura 3 ilustra essa função de transferência de padrão de fluxo exemplar. Utilizando codificação de cor RGB com 256 valores de cor, a função atribui a cor verde (0, 255, 0), à classe A, a cor verde-água (0, 255, 255) à classe B, e (0, 0, 0) a todas outras classes. Ainda, a função atribui opacidade 100% às duas classes A e B, e opacidade 0% a todas outras classes. Assim, a função de transferência de padrão de fluxo apresentará padrões de fluxo visualizados de classe A e B e não apresentarão padrões de fluxo de qualquer outra classe. Ao redefinir as funções de transferência, outras classes de padrão de fluxo podem ser exibidas.

Alternativamente, a função de transferência de padrão de fluxo pode mapear continuamente os valores de

curvatura $k \in [k_1, k_2]$ em valores de cor verde (0, C(k), 0) e o valor de opacidade de 100% e/ou valores de torção $t \in [t_1, t_2]$ em valores de cor azul (0, 0, T(k)) e o valor de opacidade de 100%, em que $k_1 = k_2$, $k_1 < k_2$, e t_1, t_2, $t_1 < t_2$, denotam os finais dos intervalos dos valores de curvatura e torção para visualização, e 100% denota a opacidade. Se $k \notin [k_1, k_2]$ ou $t \notin [t_1, t_2]$, os valores de cor (0,0, 0) e o valor de opacidade de 0 é atribuída pela função de transferência de padrão de fluxo a esse par (k, t). Alternativamente, a opacidade do padrão de fluxo pode ser linearmente dependente do vetor de gradiente de imagem de magnitude na primeira pluralidade de localizações. Os vetores de gradiente de imagem são computados com base no campo escalar definido pelas intensidades de imagem dentro do volume de imagem 3D. Nesse caso, os padrões de fluxo seriam visíveis somente nas margens das estruturas dentro do volume 3D, por exemplo, na margem dos vasos sanguíneos e não fora ou dentro das estruturas, pois fora ou dentro das estruturas, o gradiente é próximo a zero e, assim, a opacidade do padrão de fluxo correspondente também é próximo a zero. O técnico no assunto conhecerá outras maneiras de definir a função de transferência de padrão de fluxo útil para o sistema SYS da invenção.

A segunda unidade de transferência U40 é disposta para computar uma propriedade interpretável em cada localização de uma segunda pluralidade de localizações dentro do volume da imagem 3D. A propriedade interpretável é computada por meio de uma segunda função de transferência, também mencionada como função de transferência de imagem, com base no valor da imagem 3D atribuído à dita localização. Se o conjunto de voxels e a segunda pluralidade de localizações forem diferentes, os valores da propriedade interpretável

computados em cada localização da segunda pluralidade de localizações são utilizados para derivar a propriedade interpretável em cada voxel da imagem 3D utilizando, por exemplo, técnicas de interpolação ou regressão. O técnico no assunto saberá como construir e/ou onde encontrar outras funções de transferência para computar uma propriedade interpretável em cada localização da segunda pluralidade de localizações dentro do volume da imagem 3D. Essas funções de transferência exemplares podem ser encontradas, por exemplo, em *Multidimensional Transfer Functions for Interactive Volume Rendering* by Joe Kniss et al., IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, Vol. 8, No. 3, July-September 2002, pages 270-285.

A interpretação de volume direta (DVR) utilizando as propriedades interpretáveis computadas pelo padrão de fluxo e funções de transferência de imagem é aplicada para computar a imagem 2D final para exibir em uma tela. O técnico no assunto saberá como implementar a DVR. Um resumo da DVR pode ser encontrado, por exemplo, em uma apresentação em PowerPoint, disponível em http://www.cse.ohio-state.edu/~hwshen/788/volume.ppt.

Em uma realização, a unidade de mistura U50 do sistema SYS pode ser adaptada para computar uma primeira imagem 2D com base na propriedade interpretável resultante do padrão de fluxo em cada voxel e uma segunda imagem 2D com base na propriedade interpretável resultante do valor de imagem em cada voxel. A primeira e a segunda imagens 2D podem ser fundidas entre si utilizando, por exemplo, mistura de imagem 2D. Alternativamente, a primeira e a segunda imagem 2D podem ser exibidas de maneira alternante por um período de tempo predeterminado, por exemplo, um período entre 0,1 e 1,0 segundos. Essa realização é particularmente útil para ilustrar incertezas de sequências temporais de imagens.

Em uma realização, a propriedade interpretável computada utilizando a função de transferência de padrão de fluxo e a propriedade interpretável computada utilizando a função de transferência de imagem são misturadas em cada voxel. A DVR é, então, utilizada para computar a imagem 2D com base nas propriedades interpretáveis misturadas resultantes.

Em uma realização, o arranjo 3D compreendendo coordenadas de voxel e a propriedade interpretável correspondente computada utilizando a função de transferência de padrão de fluxo, e o arranjo 3D compreendendo coordenadas de voxel e a propriedade interpretável correspondente computada utilizando a função de transferência de imagem são misturados ao adicionar os valores de propriedade interpretável correspondentes. A DVR é, então, utilizada para comparar a imagem 2D com base nas propriedades interpretáveis resultantes. A Figura 4 apresenta uma imagem 2D computada pelo sistema SYS utilizando esse método. As classes de padrão de fluxo apresentadas na Figura 2 e a função de transferência de padrão de fluxo ilustrada na Figura 3 e descrita acima são utilizadas para computar a imagem 2D. A superfície laranja é interpretada com interpretação de volume convencional aplicada a um conjunto de dados de RM anatômicos da bifurcação da carótida 40. Essa imagem adiciona contexto anatômico importante à visualização de padrão de fluxo. A interpretação de volume de padrão de fluxo, de acordo com uma realização do sistema SYS, produz um conjunto de imagens em forma de nuvem retratadas em azul (classe A) e verde (classe B).

Um técnico no assunto perceberá que o sistema da invenção pode ser uma ferramenta valiosa para auxiliar um médico em muitos aspectos de seu trabalho. Ainda, embora as realizações do sistema sejam ilustradas utilizando aplicações

médicas do sistema, aplicações não médicas do sistema também são contempladas.

Os técnicos no assunto ainda entenderão que outras realizações do sistema SYS também são possíveis. É possível, entre outras coisas, redefinir as unidades do sistema e redistribuir suas funções. Embora as realizações descritas se apliquem a imagens médicas, outras aplicações do sistema, não relacionadas a aplicações médicas, também são possíveis.

As unidades do sistema SYS podem ser implementadas utilizando um processador. Normalmente, suas funções são realizadas sob o controle de um produto de programa de software. Durante a execução, o produto de programa de software é normalmente carregado em uma memória, como uma RAM, e executado dela. O programa pode ser carregado de uma memória de base, como uma ROM, disco rígido ou armazenamento magnético e/ou óptico, ou pode ser carregado por meio de uma rede, como a Internet. Opcionalmente, um circuito integrado específico por aplicação pode prover a funcionalidade desejada.

A Figura 5 apresenta um fluxograma exemplar do método M de visualização de um fluxo dentro de um volume de uma imagem tridimensional (3D). O método M começa com uma etapa de padrão S20 para computar o padrão de fluxo em cada localização da primeira pluralidade de localizações. Após a etapa de padrão S20, o método M continua para uma primeira etapa de transferência S30 para aplicar uma primeira função de transferência, que atribui uma propriedade interpretável a cada localização de uma primeira pluralidade de localizações dentro do volume, com base em um padrão de fluxo atribuído à dita localização, e para uma segunda etapa de transferência S40 para aplicar uma segunda função de transferência, que atribui uma propriedade interpretável a cada localização de uma segunda pluralidade de localizações dentro do volume, com

base em um valor da imagem 3D atribuído à dita localização. A primeira e segunda etapas de transferência podem ser realizadas independentemente entre si, concomitantemente ou em qualquer outra ordem. Após as duas etapas de transferência S30 e S40, o método M continua para uma etapa de mistura S50 para computar uma imagem 2D com base na propriedade interpretável atribuída a cada localização da primeira pluralidade de localizações e na propriedade interpretável atribuída a cada localização da segunda pluralidade de localizações. Após computar a imagem 2D, o método termina.

Um técnico no assunto pode mudar a ordem de algumas etapas, adicionar algumas etapas opcionais (por exemplo, uma etapa para determinar de maneira interativa a primeira e/ou segunda função de transferência) ou realizar algumas etapas concomitantemente, utilizando os modelos de encadeamento, sistemas de múltiplos processadores ou múltiplos processos sem desviar do conceito, conforme pretendido pela presente invenção. Opcionalmente, duas ou mais etapas do método M podem ser combinadas em uma etapa. Opcionalmente, uma etapa do método M pode ser dividida em uma pluralidade de etapas.

A Figura 6 apresenta esquematicamente uma realização exemplar do aparelho de aquisição de imagem IAA que emprega o sistema SYS da invenção, o dito aparelho de aquisição de imagem IAA compreendendo uma unidade de aquisição de imagem IAA10 conectada por meio de uma conexão interna com o sistema SYS, um conector de entrada IAA01 e um conector de saída IAA02. Essa disposição aumenta vantajosamente as capacidades do aparelho de aquisição de imagem IAA, provendo o aparelho de aquisição de imagem IAA de capacidades vantajosas do sistema SYS.

A Figura 7 apresenta esquematicamente uma realização exemplar da estação de trabalho WS. A estação de trabalho compreende um barramento de sistema WS01. Um

processador WS10, uma memória WS20, um adaptador de entrada/saída (E/S) de disco WS30 e uma interface de usuário WS40 são conectados de maneira operante ao barramento de sistema WS01. Um dispositivo de armazenamento de disco WS31 é acoplado de maneira operante ao adaptador de E/S de disco WS30. Um teclado WS41, um mouse WS42 e uma tela WS43 são acoplados de maneira operante à interface de usuário WS40. O sistema SYS da invenção, implementado como um programa de computador, é armazenado no dispositivo de armazenamento de disco WS31. A estação de trabalho WS00 é disposta para carregar o programa e dados de entrada na memória WS20 e executar o programa no processador WS10. O usuário pode inserir informações à estação de trabalho WS00, utilizando o teclado WS41 e/ou o mouse WS42. A estação de trabalho é disposta para saída de informações ao dispositivo de exibição WS43 e/ou ao disco WS31. Um técnico no assunto entenderá que há diversas outras realizações da estação de trabalho WS conhecidas na técnica e que a presente realização serve para o objetivo de ilustrar a invenção e não deve ser interpretada como limitação da invenção a essa realização em particular.

Deve ser observado que as realizações mencionadas acima ilustram ao invés de limitar a invenção e que os técnicos no assunto serão capazes de projetar realizações alternativas sem desviar do escopo das reivindicações anexas. Nas reivindicações, quaisquer sinais de referência colocados entre parênteses não devem ser construídos como limitantes da reivindicação. A palavra "compreendendo" não exclui a presença de elementos ou etapas não listados na reivindicação ou na descrição. A palavra "um" ou "uma" antecedendo um elemento não exclui a presença de uma pluralidade desses elementos. A invenção pode ser implementada por meio de hardware compreendendo diversos elementos diferentes e por meio de um computador programado. Nas reivindicações do

sistema que enumeram diversas unidades, diversas dessas unidades podem ser realizadas por um e pelo mesmo registro de hardware ou software. O uso das palavras primeiro(a), segundo(a), terceiro(a) etc., não indica qualquer ordem. Essas palavras devem ser interpretadas como nomes.

REIVINDICAÇÕES

1. SISTEMA (SYS) PARA VISUALIZAR UM FLUXO DENTRO DE UM VOLUME DE UMA IMAGEM TRIDIMENSIONAL (3D), sendo o sistema caracterizado por compreender:

– uma primeira unidade de transferência (U30) configurada para aplicar uma primeira função de transferência, em que a primeira função de transferência atribui uma propriedade interpretável a cada localização de uma primeira pluralidade de localizações dentro do volume baseado em uma classe de padrão de fluxo atribuída à cada localização da primeira pluralidade de localizações; a classe de padrão de fluxo sendo atribuída de uma pluralidade de classes de padrão de fluxo para classificar o fluxo para cada localização da primeira pluralidade de localizações;

– uma segunda unidade de transferência (U40) configurada para aplicar uma segunda função de transferência, em a segunda função de transferência que atribui uma propriedade interpretável a cada localização de uma segunda pluralidade de localizações dentro do volume, baseada em um valor da imagem 3D atribuída à cadalocalização da segunda pluralidade de localização; e

– uma unidade de mistura (U50) configurada para computar uma imagem 2–D com base na propriedade interpretável atribuída a cada localização da primeira pluralidade de localizações e na propriedade interpretável atribuída a cada localização da segunda pluralidade de localizações

em que a pluralidade de classes de padrão de fluxo são definidas por faixas de curvatura e valores de torção, cada pluralidade das classes de padrão de fluxo tem uma faixa diferente de curvatura e valores de torção.

2. SISTEMA (SYS), de acordo com a reivindicação 1, caracterizado em que a unidade de mistura (U50) é adicionalmente configurada para computar uma primeira imagem

2D com base na propriedade interpretável atribuída a cada localização da primeira pluralidade de localizações e uma segunda imagem 2D com base na propriedade interpretável atribuída a cada localização da segunda pluralidade de localizações, e em que a unidade de mistura é além disso configurada para pelo menos uma exibir a primeira e a segunda imagens 2D alternadamente e exibir a primeira e a segunda imagem 2D fundidas, a primeira e segunda imagens 2-D sendo fundidas juntas pela unidade de mistura.

3. SISTEMA (SYS), de acordo com a reivindicação 1, caracterizado em que a unidade de mistura (U50) é adicionalmente configurada para computar uma propriedade interpretável em cada localização de uma terceira pluralidade de localizações dentro do volume, baseado na propriedade interpretável atribuída a cada localização da primeira e da segunda pluralidade de localizações, e em que a unidade de mistura é então configurada paracomputar a imagem 2D com base na propriedade interpretável computada em cada localização da terceira pluralidade de localizações.

4. SISTEMA (SYS), de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por ainda compreender a unidade de classificação de padrão (U20) configurada para computar a classe de padrão de fluxo em cada localização da primeira pluralidade de localizações.

5. SISTEMA (SYS), de acordo com a reivindicação 4, caracterizado em que, em cada localização da primeira pluralidade de localizações, uma classe de padrão de fluxo é computada é baseado em pelo menos uma curvatura e uma torção de uma curva de fluxo associada ao fluxo em cada localização da primeira pluralidade das localizações.

6. SISTEMA (SYS), de acordo com a reivindicação 1, em que a propriedade interpretável atribuída a cada localização da primeira ou segunda localização é

caracterizada por compreender uma cor e pelo menos uma de uma opacidade e transparência.

7. SISTEMA (SYS), de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por ainda compreender uma interface de usuário (U64; UI) configurado para receber uma entrada de usuário para definir pelo menos uma da primeira e segunda função de transferência.

8. ESTAÇÃO DE TRABALHO (WS), caracterizada por compreender um sistema (SYS), conforme definido na reivindicação 1.

9. APARELHO DE AQUISIÇÃO DE IMAGEM (IAA), caracterizado por compreender um sistema (SYS), conforme definido na reivindicação 1.

10. MÉTODO (M) DE VISUALIZAÇÃO DE UM FLUXO DENTRO DE UM VOLUME DE UMA IMAGEM TRIDIMENSIONAL (3D), sendo o método caracterizado por compreender as etapas:

- aplicar uma primeira função de transferência por uma primeira unidade de transferência, onde a primeira função de transferência atribui uma propriedade interpretável a cada localização de uma primeira pluralidade de localizações dentro do volume, baseado em uma classe de padrão de fluxo atribuída a cada localização da primeira pluralidade de localizações, a classe de padrão de fluxo sendo atribuída de uma pluralidade de classes de padrão de fluxo para classificar o fluxo em cada localização da primeira pluralidade de localizações;

- aplicar uma segunda função por uma segunda unidade de transferência, em que a segunda função de transferência atribui uma propriedade interpretável a cada localização de uma segunda pluralidade de localizações dentro do volume, baseado em um valor da imagem 3D atribuída a cada localização da segunda pluralidade de localizações; e

- computar uma imagem 2D por uma unidade de mistura

com base na propriedade interpretável atribuída a cada localização da primeira pluralidade de localizações e na propriedade interpretável atribuída a cada localização da segunda pluralidade de localizações,

em que a pluralidade das classes de padrão de fluxo são definidas por faixas de curvatura e valores de torção, cada classes de padrão de fluxo tem uma faixa diferente de curvatura e valores de torção.

11. MÉTODO (M), de acordo com a reivindicação 10, caracterizado por ainda compreender uma etapa de computar a classe de padrão de fluxo em cada localização da primeira pluralidade de localizações por uma unidade de classificação de padrão.

12. MÉTODO (M), de acordo com a reivindicação 10, caracterizado em que, em cada localização da primeira pluralidade de localizações, a classe de padrão de fluxo é computada com baseada em pelo menos umacurvatura e uma torção de uma curva de fluxo associada ao fluxo em cada localização da primeira pluralidade de localizações.

13. SISTEMA, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por uma curva de fluxo ser associada ao fluxo em cada localização da primeira pluralidade de localizações, ser definida por um valor de curvatura e um valor de uma curva de fluxo e em que a curva de fluxo está configurada para ser atribuída à classe de padrão de fluxo da pluralidade de classes de padrão de fluxo com base nos valores da curvatura e torção da curva de fluxo estarem dentro dos limites dos valores de curvatura e torção da pluralidade de classes de padrões de fluxo.

14. SISTEMA, de acordo com a reivindicação 5, caracterizado pela classe de padrão de fluxo computado ser designado a uma das pluralidades de classes de padrões de fluxo baseadas no padrão de fluxo calculado estar dentro de

uma faixa dos valores de curvatura e torção da pluralidade de classes de padrão de fluxo.

15. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 10, caracterizado por uma curva de fluxo associada ao fluxo em cada local da primeira pluralidade de locais ser definida por um valor de curvatura e uma torção valor de uma curva de fluxo, e em que o método compreende ainda uma etapa de atribuir a curva de fluxo para a classe de padrão de fluxo da pluralidade de classes de padrão de fluxo com base nos valores de curvatura e torção da curva de fluxo estão dentro dos limites de valores de curvatura e torção da pluralidade de classes de padrões de fluxo.

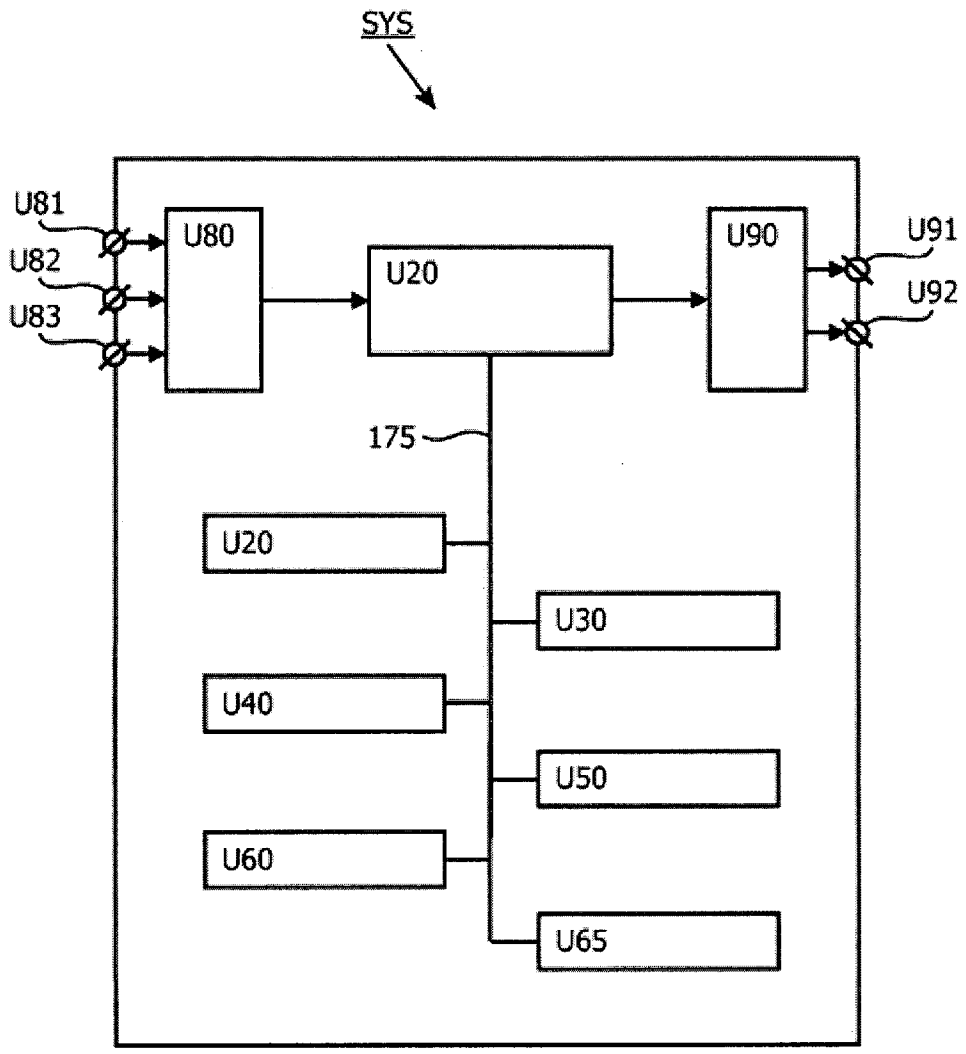


FIG. 1

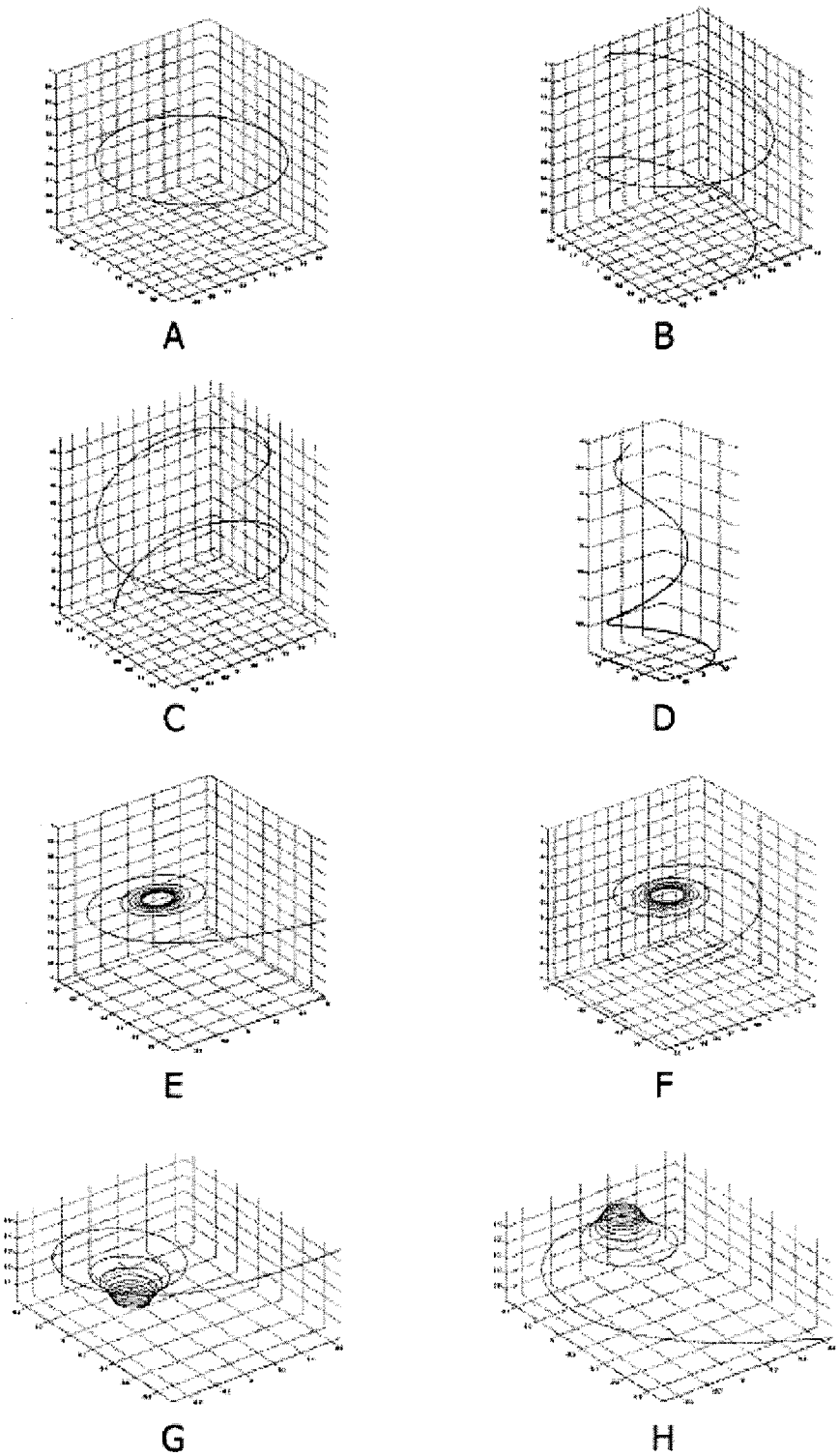


FIG. 2

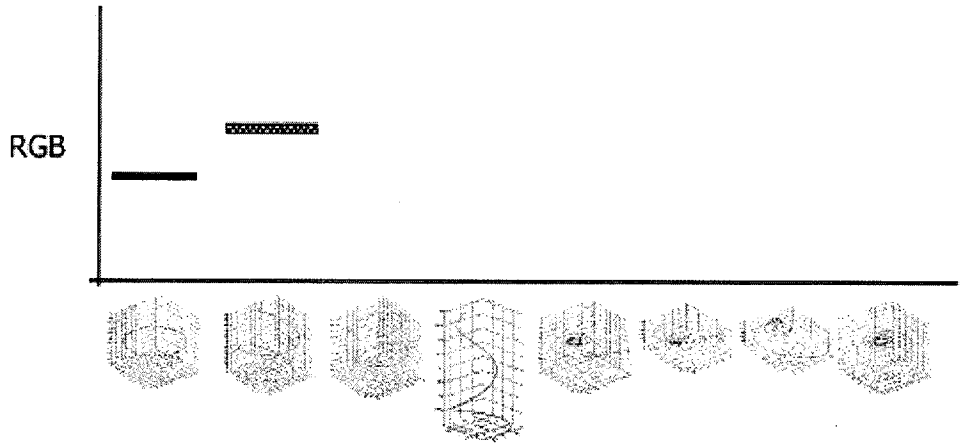


FIG. 3

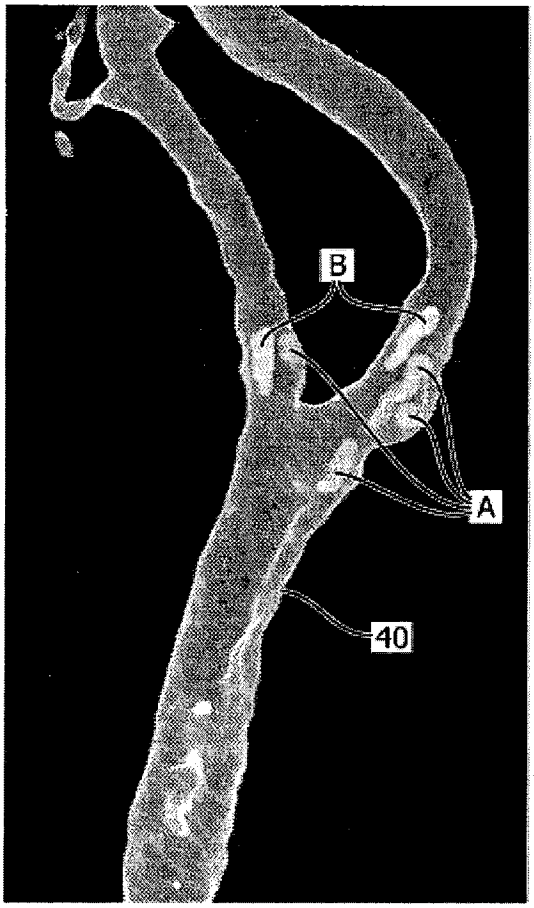


FIG. 4

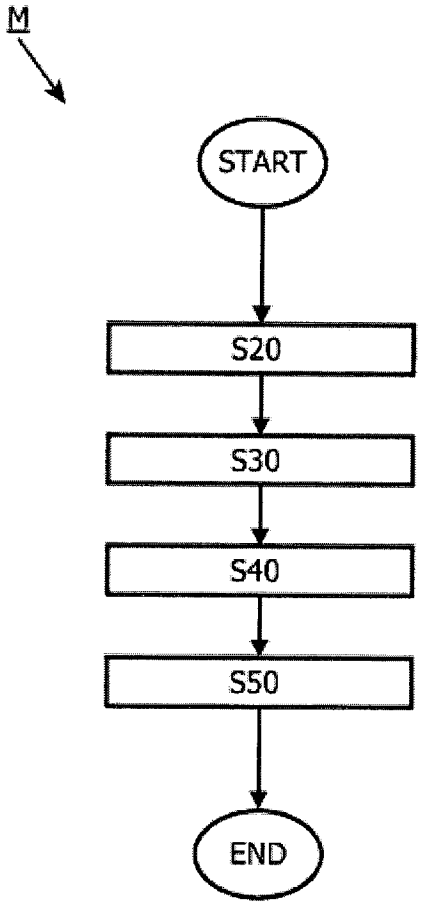


FIG. 5

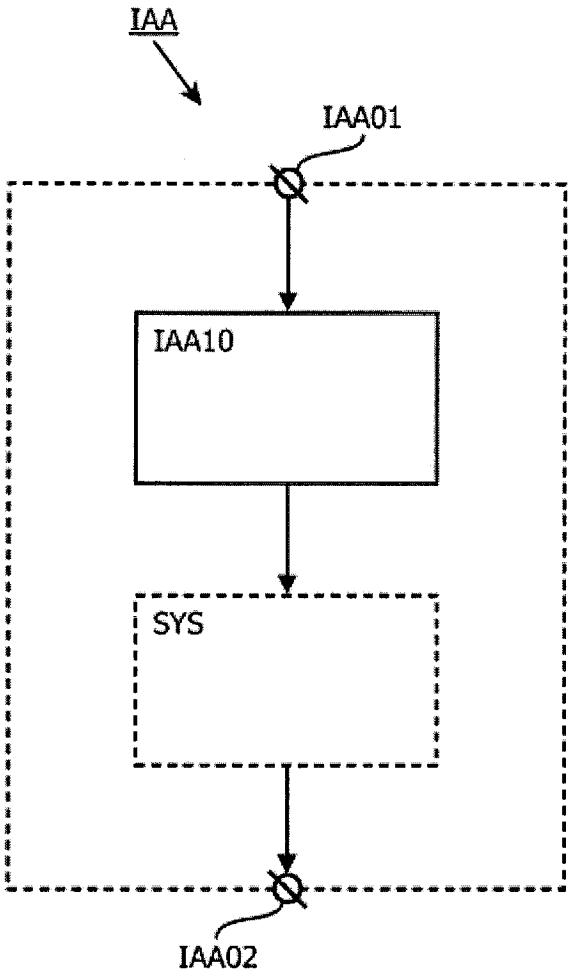


FIG. 6

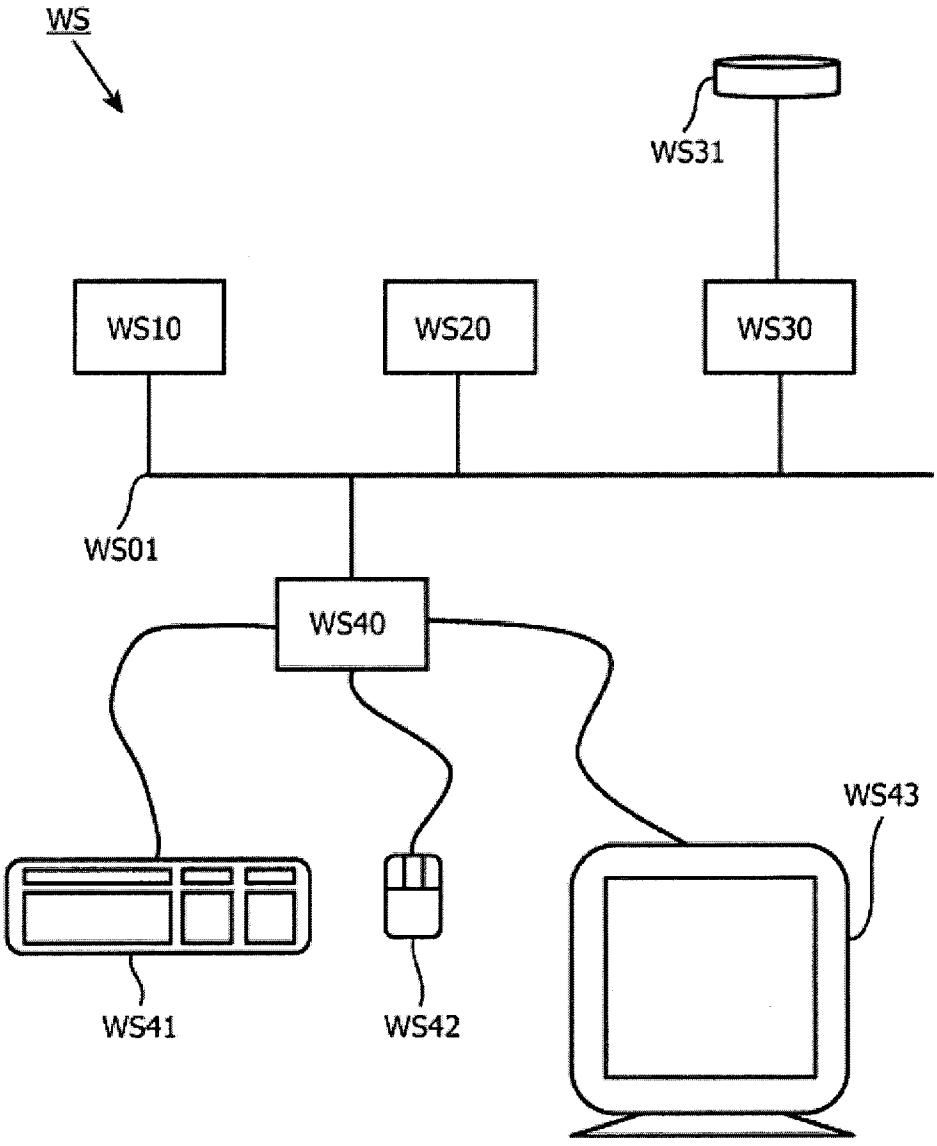


FIG. 7