



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
G09B 23/28 (2019.02)

(21) (22) Заявка: 2018117791, 14.05.2018

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
14.05.2018

Дата регистрации:
12.04.2019

Приоритет(ы):
(22) Дата подачи заявки: 14.05.2018

(45) Опубликовано: 12.04.2019 Бюл. № 11

Адрес для переписки:
420107, Респ. Татарстан, г. Казань, ул.
Петербургская, 50, корп. 23, оф. 43, ООО
"ЭНСИМ"

(72) Автор(ы):

Хуснутдинов Альберт Рафикович (RU),
Горбунов Максим Анатольевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Общество с ограниченной ответственностью
"ЭНСИМ" (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 2642913 C2 29.01.2018. RU
2534948 C2 10.12.2014. US 8543338 B2
24.09.2013. US 2011026793 A1 03.02.2011.
ЯТЧЕНКО А.М. и др., Построение 3D
модели кровеносных сосудов по серии КТ
изображений печени", Труды 19-й
Международной конференции по
компьютерной графике и зрению, 5-9
октября 2009 г. Москва: МГУ им. М.В.
Ломоносова, 2009. С. 344-347.

(54) Способ и система предоперационного моделирования медицинской процедуры

(57) Реферат:

Группа изобретений относится к области медицины и раскрывает способ создания персонализированной модели анатомической трубчатой структуры на основе данных медицинского исследования пациента. Предложен способ построения траектории анатомической трубчатой структуры на основе данных медицинских изображений, характеризующийся тем, что: принимают данные медицинского исследования пациента, принимают информацию о маркерной точке внутри трубчатой структуры и диапазоне плотностей ткани внутри трубчатой структуры, определяют текущее направление для построения, путем нахождения максимального расстояния от маркерной точки до границ трубчатой структуры, которые определяются диапазоном плотностей ткани внутри трубчатой структуры, вычисляют исходную точку для построения, путем вычисления центральной точки внутри трубчатой структуры, производят пошаговое построение траектории трубчатой

структуры, включающее на каждом шаге: вычисление, на основе исходной точки и текущего направления для построения, новой точки для построения трубчатой структуры, вычисление нового направления для построения, путем нахождения вектора между исходной и новой точкой, сохраняют информацию об исходной точке и ее связи с новой точкой; производят дальнейшее пошаговое построение траектории анатомической трубчатой структуры, при этом новая точка и новое направление являются исходной точкой и текущим направлением соответственно для следующего шага построения траектории трубчатой структуры. Также предложен способ предоперационного моделирования хирургической процедуры, содержащий этапы, на которых осуществляют построение модели анатомической трубчатой структуры на основе данных медицинского исследования пациента, и передают, и используют данную модель для моделирования медицинской

процедуры, причем построение модели анатомической трубчатой структуры содержит следующие шаги: принимают данные медицинского исследования пациента, размещают эти данные в виртуальном пространстве, при этом центр каждого вокселя является точкой в этом пространстве и определяет плотность ткани в этой точке; принимают информацию о маркерных точках и диапазоне плотностей ткани внутри анатомической трубчатой структуры; производят построение траекторий трубчатых структур на основе каждой маркерной точки и диапазона плотностей ткани внутри трубчатой структуры; формируют модель трубчатой структуры, определяя области пересечения траекторий трубчатых структур и усредняя точки траекторий в этих областях, и вычисляя контуры трубчатых

структур в каждой точке траектории. Также предложена система предоперационного моделирования хирургической процедуры, содержащая: по крайней мере, одно устройство обработки команд; по крайней мере, одно устройство хранения данных; одну или более компьютерных программ, загружаемых в, по крайней мере, одно вышеупомянутое устройство хранения данных и выполняемых на, по крайней мере, одном из вышеупомянутых устройств обработки команд, при этом одна или более компьютерных программ содержат инструкции для выполнения любого из способов. Группа изобретений обеспечивает способ построения модели анатомической трубчатой структуры на основе данных медицинского исследования пациента. 3 н.п. ф-лы, 6 ил.

R U 2 6 8 4 7 6 0 C 1

R U 2 6 8 4 7 6 0 C 1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(19) **RU** (11) **2 684 760**⁽¹³⁾ **C1**
(51) Int. Cl.
G09B 23/28 (2006.01)

(52) CPC
G09B 23/28 (2019.02)

(21) (22) Application: **2018117791, 14.05.2018**

(24) Effective date for property rights:
14.05.2018

Registration date:
12.04.2019

Priority:
(22) Date of filing: **14.05.2018**

(45) Date of publication: **12.04.2019** Bull. № 11

Mail address:
**420107, Resp. Tatarstan, g. Kazan, ul.
Peterburgskaya, 50, korp. 23, of. 43, OOO
"ENSIM"**

(72) Inventor(s):
**Khusnutdinov Albert Rafikovich (RU),
Gorbunov Maksim Anatolevich (RU)**

(73) Proprietor(s):
**Obshchestvo s ogranichennoj otvetstvennostyu
"ENSIM" (RU)**

(54) **METHOD AND SYSTEM FOR PRE-OPERATIVE MODELING OF MEDICAL PROCEDURE**

(57) Abstract:

FIELD: medicine.

SUBSTANCE: group of inventions refers to medicine and discloses a method of creating a personalized model of an anatomical tubular structure based on patient's medical examination data. Disclosed is a method of constructing an anatomical tubular structure trajectory based on medical image data, characterized by that: receiving patient's medical examination data, receiving information on marker point inside tubular structure and range of fabric densities inside tubular structure, determining current direction for construction, by finding maximum distance from marker point to borders of tubular structure, which are determined by the tissue density range inside the tubular structure, calculating the initial point for construction, by calculating the central point inside the tubular structure, step-by-step construction of the trajectory of the tubular structure, comprising at each step: calculating, based on the initial point and the current direction for construction, a new point for constructing the tubular structure, calculating a new direction for constructing, by finding a vector between a source and a new point, storing information on the initial point and its association with the new point; step-by-step

construction of an anatomical tubular structure trajectory is carried out, wherein the new point and the new direction are the initial point and the current direction, respectively, for the next step of constructing the trajectory of the tubular structure. Also disclosed is a preoperative modeling method of a surgical procedure, comprising steps of constructing an anatomical tubular structure model based on the patient's medical examination data, and transmitting, and using this model to simulate a medical procedure, wherein constructing an anatomical tubular structure model comprises the following steps: receiving patient medical examination data, placing said data in a virtual space, wherein the center of each voxel is a point in that space and determines the tissue density at that point; receiving information on marker points and tissue density range inside an anatomical tubular structure; constructing trajectories of tubular structures based on each marker point and a range of tissue densities inside the tubular structure; model of tubular structure is formed, determining areas of intersection of trajectories of tubular structures and averaging points of trajectories in these areas, and calculating contours of tubular structures at each point of trajectory. Also disclosed is

RU 2 684 760 C 1

RU 2 684 760 C 1

a surgical procedure preoperative modeling system comprising: at least one command processing device; at least, one data storage device; one or more computer programs loaded into at least one of said storage devices and executed on at least one of said command processing devices, wherein one or more computer

programs contain instructions for performing any of the methods.

EFFECT: group of inventions provides a method for constructing an anatomical tubular structure model based on patient's medical examination data.

3 cl, 6 dwg

R U 2 6 8 4 7 6 0 C 1

R U 2 6 8 4 7 6 0 C 1

Изобретение относится к области медицины и раскрывает способ создания персонифицированной модели анатомической трубчатой структуры (кровеносных сосудов, бронх и др.) на основе данных медицинского исследования пациента, и систему для компьютерного моделирования медицинской процедуры с использованием модели анатомической трубчатой структуры пациента. Изобретение может быть использовано для предоперационной подготовки, планирования или репетиции хирургической операции в виртуальной среде с использованием модели анатомических трубчатых структур реального пациента.

Известный уровень техники

Известен патент RU2642913 (C2), опубликован 29.02.2018, «Система и способ создания индивидуальной для пациента модели анатомической структуры на основе цифрового изображения». Способ моделирования медицинской процедуры с визуальным контролем, в котором: принимают, при помощи вычислительного устройства, данные медицинского изображения, относящиеся к конкретному пациенту; принимают, при помощи вычислительного устройства, метаданные анамнеза болезни, относящиеся к медицинским карточкам конкретного пациента, не включающие данные медицинского изображения; создают, при помощи вычислительного устройства, индивидуальную для пациента цифровую визуальную модель анатомической структуры конкретного пациента на основе данных медицинского изображения и метадаанных анамнеза болезни, при этом указанная индивидуальная для пациента цифровая визуальная модель демонстрирует моделируемое индивидуальное для пациента физиологическое поведение на основе указанных метадаанных анамнеза болезни, а моделируемое индивидуальное для пациента физиологическое поведение включает взаимодействие, и/или реакцию, и/или ответную реакцию; причем индивидуальная для пациента цифровая визуальная модель включает трехмерную (3D) анатомическую модель анатомической структуры; и индивидуальную для пациента цифровую визуальную модель отображают на дисплее; и используют индивидуальную для пациента цифровую визуальную модель при моделировании медицинской процедуры с визуальным контролем, при этом моделирование включает приложение силовой обратной связи к физическому медицинскому инструменту, с которым работает врач, использующий моделирование, при этом моделируемое индивидуальное для пациента физиологическое поведение включает взаимодействие индивидуальной для пациента цифровой визуальной модели с физическим медицинским инструментом, учитывающее метаданные анамнеза болезни. В данном патенте не описывается способ построения модели анатомической структуры на основе данных медицинского исследования, ссылаясь на патент описанный ниже.

Известен патент US8543338 (B2), опубликован 24.09.2013, «System and method for performing computerized simulations for image-guided procedures using a patient specific model», в котором описывается способ построения 3d-модели анатомической структуры. Процесс включает в себя идентификацию части данных изображения как набора вокселей (маски), которые представляют желаемый объем анатомической структуры. Обработка данных может дополнительно включать в себя создание поверхностей этого объема, также называемое пограничным представлением (B-per). Эти поверхности обычно представлены многоугольными сетками. Обработка может дополнительно включать в себя вычисление центральных линий трубчатых участков полученной многоугольной сетки, например кровеносных сосудов, кишечника или толстой кишки. Недостатком способа является процесс сегментации анатомических структур, при котором необходимо из общего массива данных медицинского исследования выделить области, принадлежащие разным анатомическим структурам. Анатомические структуры (органы

человека) обладают примерно одинаковой плотностью тканей, что затрудняет проведение сегментации путем фильтрации по плотности ввиду частичной потери данных медицинского исследования.

Известна статья «Построение 3D модели кровеносных сосудов по серии КТ изображений печени», авторов Артем М. Ятченко, Андрей С. Крылов, Андрей В. Гаврилов, Иван В. Архипов, Труды 19-й Международной конференции по компьютерной графике и зрению, 5-9 октября 2009 г. Москва: МГУ им. М.В. Ломоносова, 2009. С. 344-347. В статье описывается способ построения модели кровеносных сосудов печени. Способ включает в себя бинаризацию данных исследования пациента, которая позволяет выделить набор вокселей принадлежащих кровеносным сосудам печени из общего массива данных исследования. Проводят скелетизацию полученной воксельной модели, путем удаления всех граничных, не значимых вокселей. На основе полученного скелета кровеносных сосудов строится граф кровеносных сосудов, определяется толщина сосудов. Граф кровеносных сосудов используется для построения 3д-модели сосудов.

Технической задачей настоящего изобретения является создание способа построения модели анатомической трубчатой структуры на основе данных медицинского исследования пациента.

Раскрытие сущности изобретения

Предлагаемым вариантом осуществления настоящего изобретения является способ предоперационного моделирования хирургической процедуры, содержащий этапы на которых осуществляют построение модели анатомической трубчатой структуры на основе данных медицинского исследования пациента и передают и используют данную модель для моделирования медицинской процедуры, при этом построение модели анатомической трубчатой структуры содержит следующие шаги: принимают данные медицинского исследования пациента, размещают эти данные в виртуальном пространстве, при этом центр каждого вокселя является точкой в этом пространстве и определяет плотность ткани в этой точке; принимают информацию о маркерных точках и диапазоне плотностей ткани внутри анатомической трубчатой структуры; производят построение траекторий трубчатых структур на основе каждой маркерной точки и диапазона плотностей ткани внутри трубчатой структуры; формируют модель трубчатой структуры, определяя области пересечения траекторий трубчатых структур и усредняя точки траекторий в этих областях, и вычисляя контуры трубчатых структур в каждой точке траектории.

Способ построения траектории анатомической трубчатой структуры на основе данных медицинских изображений характеризуется тем, что: принимают данные медицинского исследования пациента, принимают информацию о маркерной точке внутри трубчатой структуры и диапазоне плотностей ткани внутри трубчатой структуры, определяют текущее направление для построения, путем нахождения максимального расстояния от маркерной точки до границ трубчатой структуры, которые определяются диапазоном плотностей ткани внутри трубчатой структуры, вычисляют исходную точку для построения, путем вычисления центральной точки внутри трубчатой структуры, производят пошаговое построение траектории трубчатой структуры, включающее на каждом шаге: вычисление, на основе исходной точки и текущего направления для построения, новой точки для построения трубчатой структуры, вычисление нового направления для построения, путем нахождения вектора между исходной и новой точкой, сохраняют информацию об исходной точке и ее связи с новой точкой; производят дальнейшее пошаговое построение траектории анатомической трубчатой структуры, при этом новая точка и новое направление являются исходной

точкой и текущим направлением соответственно для следующего шага построения траектории трубчатой структуры.

Техническое решение может быть выполнено в виде системы предоперационного моделирования медицинской процедуры содержащей: по крайней мере, одно устройство обработки команд; по крайней мере, одно устройство хранения данных; одну или более компьютерных программ, загружаемых в, по крайней мере, одно вышеупомянутое устройство хранения данных и выполняемых на, по крайней мере, одном из вышеупомянутых устройств обработки команд, при этом одна или более компьютерных программ содержат следующие инструкции: принимают данные медицинского исследования пациента, размещают эти данные в виртуальном пространстве, при этом центр каждого вокселя является точкой в этом пространстве и определяет плотность ткани в этой точке, принимают информацию о маркерных точках и диапазоне плотностей ткани внутри анатомической трубчатой структуры, производят построение траекторий трубчатых структур на основе каждой маркерной точки и диапазона плотностей ткани внутри трубчатой структуры, вычисляют контуры трубчатых структур в каждой точке каждой траектории, путем определения точек на границе трубчатой структуры, лежащих в плоскости поперечного сечения трубчатой структуры, формируют модель анатомической трубчатой структуры, определяя области пересечения траекторий трубчатых структур и связывая точки пересекаемых траекторий в этих областях, передают и используют данную модель для моделирования медицинской процедуры.

Краткое описание чертежей

На фиг. 1 схематично изображена воксельная модель размещенная в виртуальном пространстве.

На фиг. 2 изображен срез КТ и маркированная точка на кровеносном сосуде.

На фиг. 3 схематично изображен процесс нахождения исходной точки и направления для построения траектории трубчатой структуры.

На фиг. 4 схематично изображен процесс пошагового построения траектории трубчатой структуры

На фиг. 5 схематично изображены области пересечения траекторий трубчатой структуры.

На фиг. 6 схематично изображен процесс нахождения финального контура трубчатой структуры.

Осуществление изобретения

Ниже будут рассмотрены некоторые термины, которые в дальнейшем будут использоваться при описании технического решения.

Компьютерная томография (КТ) - метод неразрушающего послойного исследования внутреннего строения предмета. Метод основан на измерении и сложной компьютерной обработке разности ослабления рентгеновского излучения различными по плотности тканями. В настоящее время рентгеновская компьютерная томография является основным томографическим методом исследования внутренних органов человека с использованием рентгеновского излучения.

Компьютерная томография сохраняет в файлах рентгеновскую плотность, которая зависит от физической плотности тканей. Для количественной оценки рентгеновской плотности используется шкала Хаунсфилда, диапазон плотностей тканей составляет -1024 до +3071 HU. Средние показатели по шкале Хаунсфилда: воздух -1000 HU, жир -120 HU, вода 0 HU, мягкие ткани +40 HU, кости +400 HU и выше.

Воксел (англ. Voxel - образовано из слов: объемный (англ. volumetric) и пиксель (англ. pixel)) - элемент объемного изображения, содержащий значение элемента растра в

трехмерном пространстве. Воксели являются аналогами двумерных пикселей для трехмерного пространства. Воксельные модели часто используются для визуализации и анализа медицинской и научной информации.

5 Современные томографы сохраняют данные об исследовании пациента в специальном формате DICOM. DICOM-файл содержит информацию об интенсивности или плотности тканей в конкретном срезе, в каждой точке среза. Срезы могут производиться в трех плоскостях: сагиттальной, фронтальной, горизонтальной. DICOM файлы объединяются в серию и представляют набор последовательных срезов органа или участка тела. Данные в серии, все точки (воксели) каждого среза в серии, представляют собой 3х
10 мерный массив, где каждый элемент массива хранит координаты точки (воксела) и плотность ткани. Загрузка, обработка, использование информации хранящейся в DICOM-файлах не представляет технической сложности исходя их текущего уровня техники.

15 Данные медицинского исследования пациента, содержащиеся в DICOM файле, назовем воксельной моделью пациента.

Для реализации способа построения модели трубчатой структуры воксельную модель пациента размещают в виртуальном пространстве. На фиг. 1 схематично изображена воксельная модель размещенная в виртуальном пространстве. Воксел 1 (фиг. 1), в воксельной модели пациента, это объем пространства, характеризующийся одинаковой
20 плотностью ткани в пределах этого объема. С учетом технических возможностей КТ воксел может иметь минимальные размеры, зависящие от шага среза и от площади среза, чем больше площадь исследованной области пациента, тем больше размер воксела 1, с учетом фиксированного разрешения томографа. Таким образом, напрямую из воксельной модели пациента невозможно получить точные данные о плотности ткани
25 в произвольной точке пространства, поскольку все точки, находящиеся в объеме воксела, будут иметь одинаковую плотность ткани в пределах этого объема, что приводит к менее точным результатам.

Для решения этой проблемы воксельную модель размещают в виртуальном пространстве (фиг. 1), при этом центр каждого воксела 3 является точкой в этом
30 пространстве, и содержит значение плотности ткани в этой точке. Для определения плотности ткани в произвольной точке 2 воксельной модели, например, между двумя вокселями, вычисляют среднее арифметическое значение плотности ткани соседних центральных точек 3 вокселей (интерполяция плотностей ближайших центров вокселей). Таким образом, размещение воксельной модели в виртуальном пространстве позволяет
35 уйти от ограничений воксельной модели, при этом использовать всю ее информацию для вычисления плотности ткани в произвольной точке 2 пространства.

На фиг. 2 изображен срез КТ 4 и маркированная точка 5 на кровеносном сосуде. С помощью изображения среза КТ 4 в виртуальном пространстве задается маркерная точка 5 внутри интересующей трубчатой структуры (кровеносных сосудов, бронх или
40 др.). В качестве примера, построение модели трубчатой структуры осуществляется на кровеносных сосудах. Маркерные точки позволяют выделить интересующие, с точки зрения дальнейшего предоперационного моделирования, анатомические трубчатые структуры.

Далее определяют диапазон плотностей тканей внутри трубчатой структуры, выход
45 за пределы этого диапазона означает выход за пределы трубчатой структуры. Диапазон плотностей ткани внутри трубчатой структуры зависит от методов исследования пациента и интересующей анатомической структуры, так, например: для КТ исследования без рентгено-контрастного вещества диапазон плотности крови в сосудах

будет примерно от -160 до 50 HU (по шкале Хаунсфилда), а с применением рентгено-контрастного вещества от 300 до 400 HU; для бронхов диапазон плотностей будет примерно от -1000 (воздух) до -800 HU.

Построение траектории трубчатой структуры

5 Координаты маркерной точки 5 и диапазон плотностей ткани внутри трубчатой структуры являются исходной информацией для построения траектории трубчатой структуры, само построение происходит в виртуальном пространстве, в котором размещена воксельная модель пациента.

10 Определяют текущее направление для построения 8 (фиг. 3), путем нахождения максимального расстояния от маркерной точки 5 до границ трубчатой структуры. В примере данной реализации (фиг. 3) нахождение максимального расстояния от маркерной точки 5 до границ трубчатой структуры осуществляется построением трех попарно перпендикулярных осей 6, точкой пересечения которых является маркерная точка 5, и нахождением на этих осях точек 7, лежащих на границе трубчатой структуры.
15 Границы трубчатой структуры определяются диапазоном плотностей ткани внутри трубчатой структуры, при этом точки (не показаны) на каждой оси 6 смещают с определенным шагом, начиная с маркерной точки 2, и вычисляют плотность ткани в каждой точке смещения (не показаны). Точка 7 расположена вблизи границы трубчатой структуры, если плотность ткани в точке смещения вышла за пределы диапазона
20 плотностей ткани внутри трубчатой структуры. При этом плотность ткани в произвольной точке пространства вычисляется как среднее арифметическое плотностей ткани центров ближайших вокселей.

Ось, на которой лежат точки на границе трубчатой структуры 7, наиболее удаленные от маркерной точки 5, соответствует продольному направлению трубчатой структуры
25 и принимается за текущее направление 8 для построения траектории.

Исходная точка для построения 9, в примере данной реализации, вычисляется путем усреднения точек 7 на границе трубчатой структуры лежащих на двух «коротких» осях 6 (фиг. 3). В предпочтительной реализации исходная точка 9 для построения должна быть приближена к центру трубчатой структуры, от этого зависит направление для
30 построения на следующем шаге построения траектории.

Пошаговое построение траектории анатомической трубчатой структуры производят на основе информации об исходной точке 9 и текущем направлении для построения траектории 8 (фиг. 4), вычисленных на предыдущем шаге.

Вычисляют новую точку для построения траектории трубчатой структуры (фиг. 4).
35 Для этого вычисляют шаговую точку 10, лежащую на прямой, соответствующей текущему направлению для построения 8, при этом расстояние от исходной точки 9 до шаговой точки 10 задается заранее или вычисляется в процессе построения. Затем, в плоскости перпендикулярной текущему направлению для построения 8 и проходящей через шаговую точку 10, вычисляются точки на границе трубчатой структуры 7, которые
40 определяют контур анатомической трубчатой структуры. Центральная точка контура определяется путем вычисления среднеарифметического значения координат всех точек 6 сглаженного контура. Центральная точка контура принимается за новую точку 11 для построения траектории анатомической трубчатой структуры.

За новое направление 12 для построения траектории трубчатой структуры
45 принимается вектор из исходной 9 в новую точку 11.

Сохраняют информацию об исходной точке 9 и ее связи с новой точкой 11 для построения.

Производят дальнейшее пошаговое построение траектории анатомической трубчатой

структуры, при этом новая точка 11 и новое направление 12 являются исходной точкой и текущим направлением соответственно для следующего шага построения траектории.

Построение траектории трубчатой структуры прекращается при выполнении граничных условий, к которым относится: 1) в случае вычисления новой точки 11 для построения, выход координат точки за пределы воксельной модели, 2) в случае выхода шаговой точки 10 за пределы трубчатой структуры, которые определяются плотностью ткани в шаговой точке.

В результате построения траектории одной анатомической трубчатой структуры вычисляется множество точек, связанных друг с другом и лежащих внутри интересующей трубчатой структуры.

Модель анатомической трубчатой структуры строится на основе множества вычисленных траекторий трубчатых структур. Построение модели включает объединение траекторий трубчатых структур проходящих через общий объем в пространстве, определение областей 14 пересечения траекторий и усреднение точек 15 пересекаемых траекторий в этих областях 14 (фиг. 5).

Объединение траекторий трубчатых структур осуществляется в областях 14, где имеет место наложение или пересечение этих траекторий в пространстве (фиг. 5). Для нахождения наложений или пересечений траекторий используется маркировка объема пространства, занимаемого каждой траекторией трубчатой структуры. В примере реализации, маркировка объема пространства выполнена виде сфер 13, расположенных между каждой парой точек 15 траектории (фиг. 5). В областях 14, где имеется пересечение траекторий, позиции точек 15 этих траекторий усредняются.

Вычисление финального контура трубчатой структуры для каждой точки траектории изображено на фиг. 6, зная координаты текущей точки 16 и двух соседних точек 17 траектории определяют нормаль плоскости 18 и плоскость контура 19 трубчатой структуры, которая походит через текущую точку 16. Затем в плоскости контура 19 вычисляют точки на границе трубчатой структуры, которые определяют финальный контур 20 трубчатой структуры.

В итоге модель анатомической трубчатой структуры содержит множество точек траекторий трубчатых структур и контуры трубчатых структур в каждой точке траектории.

Модель анатомической трубчатой структуры может передаваться в системы моделирования хирургической процедуры, и использоваться для построения трехмерной модели анатомической структуры конкретного пациента. Из известного уровня техники известны системы моделирования хирургической процедуры, подробно описанные в патентах RU 2642913, US 8543338. Как правило, эти системы содержат устройство обработки команд, устройство хранения данных, компьютерную программу, загружаемую в устройство хранения данных и выполняемых на устройстве обработки команд. Так же системы моделирования хирургической процедуры могут содержать устройства отслеживания манипуляций имитаторов медицинских инструментов, которыми пользуется хирург в процессе тренировочной хирургической операции. Система моделирования может содержать различные дополнительные устройства ввода и вывода информации (клавиатура, мышь, мониторы и др). Отличие предлагаемой системы моделирования процедуры от подобных решений заключается в способе построения модели анатомической трубчатой структуры конкретного пациента.

(57) Формула изобретения

1. Способ построения траектории анатомической трубчатой структуры на основе

данных медицинских изображений, характеризующийся тем, что: принимают данные медицинского исследования пациента, принимают информацию о маркерной точке внутри трубчатой структуры и диапазоне плотностей ткани внутри трубчатой структуры, определяют текущее направление для построения, путем нахождения максимального расстояния от маркерной точки до границ трубчатой структуры, которые определяются диапазоном плотностей ткани внутри трубчатой структуры, вычисляют исходную точку для построения, путем вычисления центральной точки внутри трубчатой структуры, производят пошаговое построение траектории трубчатой структуры, включающее на каждом шаге: вычисление, на основе исходной точки и текущего направления для построения, новой точки для построения трубчатой структуры, вычисление нового направления для построения, путем нахождения вектора между исходной и новой точкой, сохраняют информацию об исходной точке и ее связи с новой точкой; производят дальнейшее пошаговое построение траектории анатомической трубчатой структуры, при этом новая точка и новое направление являются исходной точкой и текущим направлением соответственно для следующего шага построения траектории трубчатой структуры.

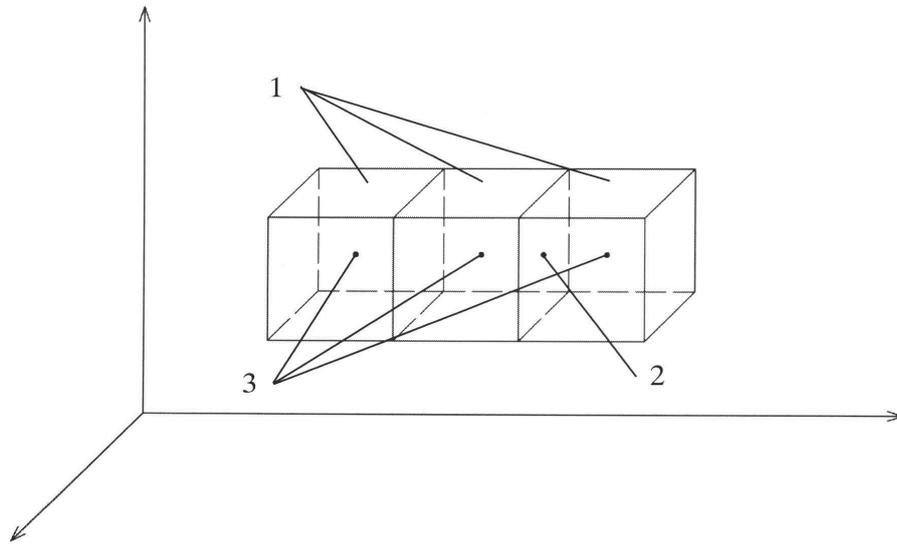
2. Способ предоперационного моделирования хирургической процедуры, содержащий этапы, на которых осуществляют построение модели анатомической трубчатой структуры на основе данных медицинского исследования пациента, и передают, и используют данную модель для моделирования медицинской процедуры, отличающийся тем, что построение модели анатомической трубчатой структуры содержит следующие шаги: принимают данные медицинского исследования пациента, размещают эти данные в виртуальном пространстве, при этом центр каждого вокселя является точкой в этом пространстве и определяет плотность ткани в этой точке; принимают информацию о маркерных точках и диапазоне плотностей ткани внутри анатомической трубчатой структуры; производят построение траекторий трубчатых структур на основе каждой маркерной точки и диапазона плотностей ткани внутри трубчатой структуры способом, описанным в п. 1; формируют модель трубчатой структуры, определяя области пересечения траекторий трубчатых структур и усредняя точки траекторий в этих областях, и вычисляя контуры трубчатых структур в каждой точке траектории.

3. Система предоперационного моделирования хирургической процедуры, содержащая: по крайней мере, одно устройство обработки команд; по крайней мере, одно устройство хранения данных; одну или более компьютерных программ, загружаемых в, по крайней мере, одно вышеупомянутое устройство хранения данных и выполняемых на, по крайней мере, одном из вышеупомянутых устройств обработки команд, при этом одна или более компьютерных программ содержат инструкции для выполнения способа по любому из пп. 1-2.

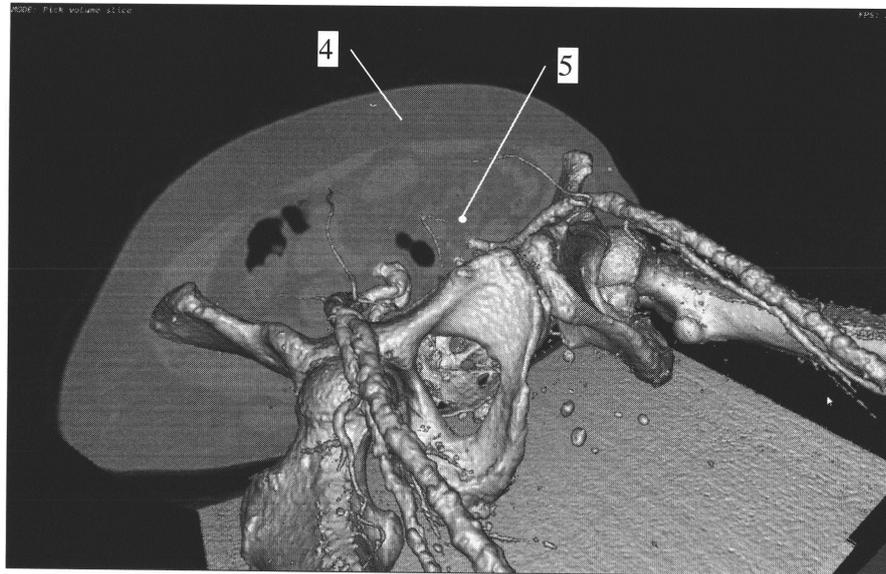
40

45

1

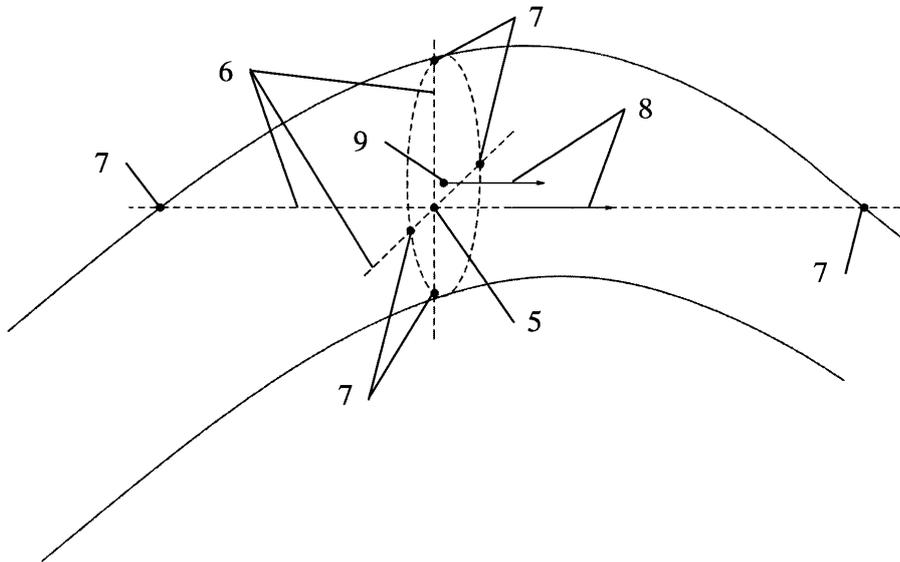


Фиг. 1

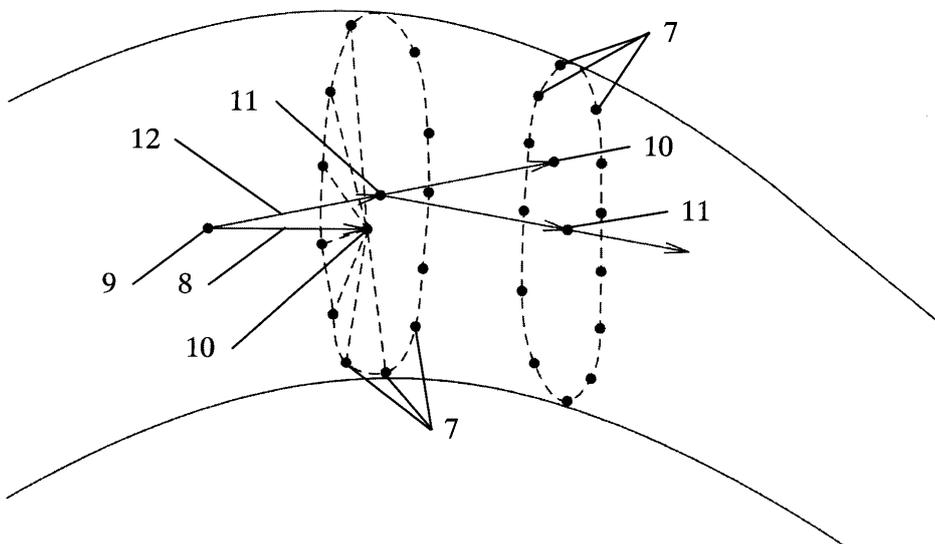


Фиг. 2

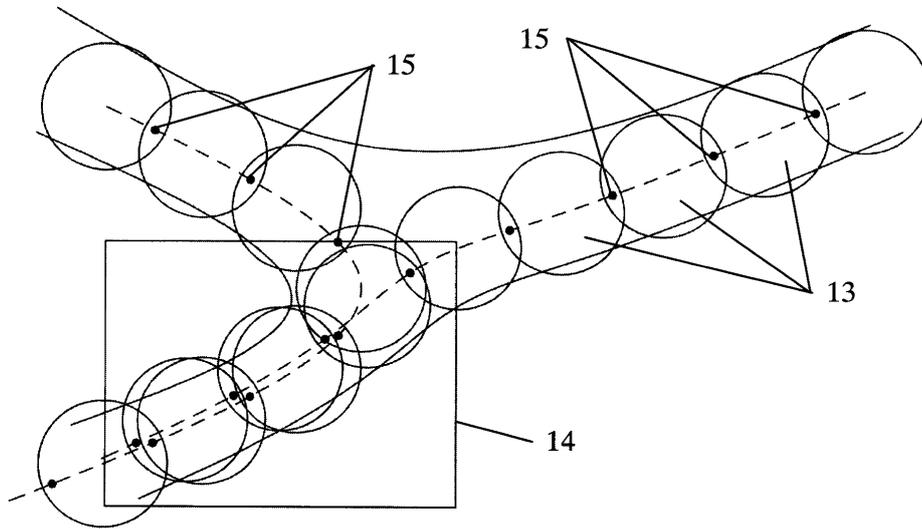
2



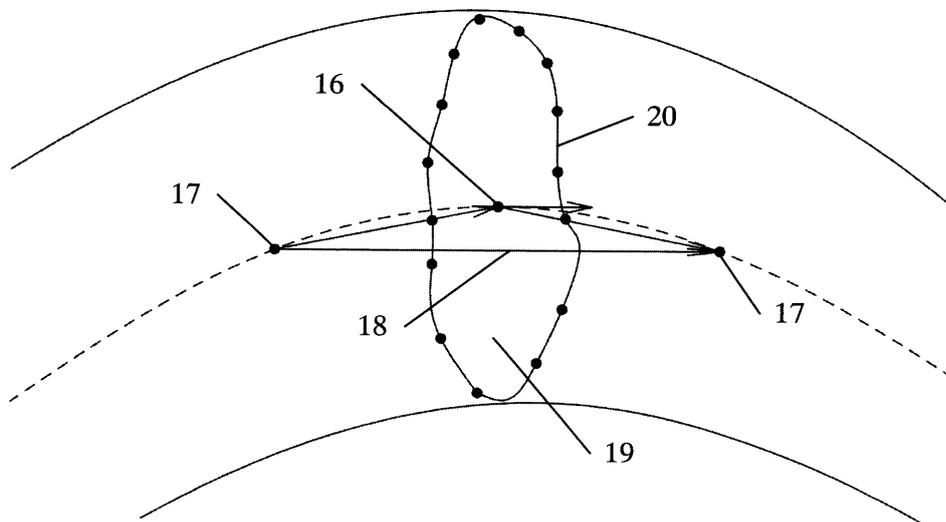
Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5



Фиг. 6