



(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ

(43) Дата публикации заявки  
2019.12.30

(51) Int. Cl. G06T 7/10 (2017.01)  
G06T 7/11 (2017.01)

(22) Дата подачи заявки  
2018.01.09

(54) СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ДАННЫХ 3D МОДЕЛИ ИЗ МНОЖЕСТВА КОМПОНЕНТОВ ОБЪЕКТА

(31) 1700352.6

(32) 2017.01.09

(33) GB

(86) PCT/GB2018/050050

(87) WO 2018/127715 2018.07.12

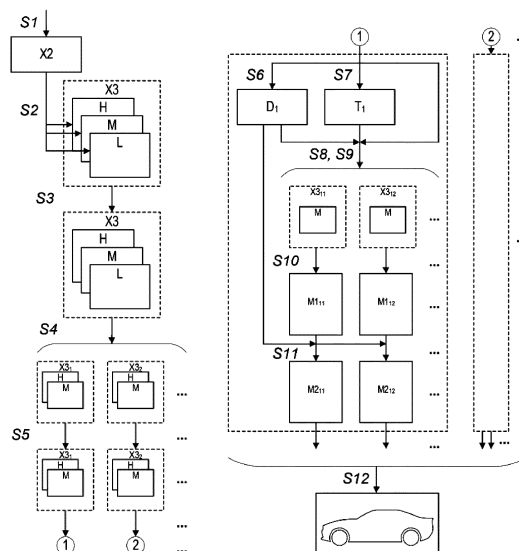
(71) Заявитель:  
КЕАСОФТ ГЛОБАЛ ХОЛДИНГЗ  
ЛИМИТЕД (GB)

(72) Изобретатель:  
Вачапарампил Мэтью, Панирселвам  
Мадасами, Агхианнан Сангитх, Али  
Мохамед Аббас, Джебадас Джонсон  
(GB)

(74) Представитель:  
Медведев В.Н. (RU)

(57) Настоящая заявка среди прочего относится к способу, включающему получение рентгеновских данных (X2) для многокомпонентного объекта; обработку рентгеновских данных (X2) для получения по меньшей мере первого и второго 3D представлений (X3-H, X3-M) объекта с соответствующими первым (H) и вторым (M) разрешениями, причем первое разрешение (H) выше второго разрешения (M); идентификацию множества областей (X3<sub>11</sub>, X3<sub>12</sub>, ...) второго 3D представления (X3-M), причем каждая область (X3<sub>11</sub>, X3<sub>12</sub>, ...) соответствует одному из множества компонентов объекта, посредством по меньшей мере идентификации множества исходных областей второго 3D представления (X3-M), причем каждая исходная область имеет значения пикселей в одном из множества диапа-

зонов (T<sub>i</sub>) значений пикселей; и выборочного регулирования каждой из упомянутого множества исходных областей на основании сравнения между исходной областью и одним или более элементами (D<sub>i</sub>), выявленными из одного или более 2D сечений по меньшей мере части объекта, полученных из первого 3D представления (X3-H); и получение для каждого из упомянутого множества компонентов 3D модели (M2<sub>11</sub>, M2<sub>12</sub>, ...) компонента на основании соответствующей области (X3<sub>11</sub>, X3<sub>12</sub>, ...) и/или на основании одного или более элементов (D<sub>i</sub>), выявленных из одного или более 2D сечений по меньшей мере части объекта, полученных из первого 3D представления (X3-H).



**СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ДАННЫХ 3D МОДЕЛИ ИЗ МНОЖЕСТВА  
КОМПОНЕНТОВ ОБЪЕКТА**

**Область изобретения**

Настоящая заявка среди прочего относится к способам и системам для получения данных трехмерной (3D) модели множества компонентов объекта, такого как автомобиль.

**Предпосылки изобретения**

Имеется значительный интерес к (конкурентной) оценке/сравнительному анализу сложных объектов, таких как автомобили, которые могут содержать, например, более чем 10000 компонентов.

Подобные объекты можно физически разобрать, но это обычно разрушительно, требует значительного ручного труда, и в процессе разборки теряется информация, например, о 3D расположении компонентов.

Для анализа отдельных компонентов или относительно небольших их количеств широко используют системы рентгеновской компьютерной томографии (КТ), например, для обнаружения трещин и т.д. Однако, применению подобных систем для эффективного анализа готовых сложных объектов, таких как автомобили, по меньшей мере частично препятствуют значительные трудности обработки вовлеченных данных.

**Сущность изобретения**

Согласно первому аспекту настоящего изобретения предоставлен способ, включающий:

получение рентгеновских данных для многокомпонентного объекта;

обработку рентгеновских данных для получения по меньшей мере первого и второго (с пиксельной структурой) 3D представлений объекта с соответствующими первым и вторым разрешениями, причем первое (например, «высокое») разрешение выше второго (например, «среднее») разрешения;

идентификацию множества областей второго 3D представления, причем каждая область соответствует одному из множества компонентов объекта, посредством по меньшей мере:

– идентификации множества исходных областей второго 3D представления (среднего разрешения), причем каждая исходная область имеет значения пикселей в одном из множества диапазонов значений пикселей (или эквивалентных); и

– выборочного регулирования каждой из упомянутого множества исходных областей на основании сравнения между исходной областью и одним или более

элементами (например, краями), выявленными из одного или более 2D сечений по меньшей мере части объекта, полученных из первого 3D представления (высокого разрешения); и

получение для каждого из множества компонентов 3D модели (например, CAD модели) компонента на основании соответствующей области и/или на основании одного или более элементов (например, размеров), выявленных из одного или более 2D сечений по меньшей мере части объекта, полученных из первого 3D представления (высокого разрешения).

Таким образом, способ может обеспечить эффективный и действенный метод оценки сложных изделий, таких как автомобили.

Способ может дополнительно включать: сборку 3D моделей из упомянутого множества компонентов для получения покомпонентной 3D модели объекта.

Способ может включать:

разделение первого и второго 3D представлений на множество рабочих областей (например, соответствующих подузлов объекта); и

идентификацию упомянутого множества областей в каждой из упомянутого множества рабочих областей.

Способ может включать:

разделение первого и второго 3D представлений на основании третьего 3D представления объекта с третьим (например, «низким») разрешением, более низким, чем второе разрешение.

Обработка рентгеновских данных может включать пошаговое увеличение разрешения, и при этом первое представление (высокого разрешения) получают на более позднем этапе, чем второе представление (среднего разрешения) и т.д.

Идентификация каждой из упомянутого множества исходных областей может включать определение диапазона значений пикселей, относящихся к конкретному материалу в объекте (например, конкретной стали и т.д.).

Способ может включать:

определение плоскости для каждого из упомянутого одного или более 2D сечений;

определение каждого из упомянутого одного или более 2D сечений; и

выявление одного или более элементов из каждого из упомянутого одного или более 2D сечений.

По меньшей мере одна плоскость может соответствовать средней плоскости подузла объекта.

Выявление одного или более элементов из каждого из упомянутого одного или

более 2D сечений может включать выявление векторных графиков из 2D сечения.

Упомянутые один или более элементов может содержать:

края и/или области компонентов в 2D сечения; и/или

размеры компонентов в 2D сечении.

Выборочное регулирование каждой из упомянутого множества исходных областей может включать определение того, содержит ли исходная область два или более компонента. Определение того, содержит ли исходная область два или более компонента может включать определение того, пересекает ли исходная область какие-либо края и/или занимает любые две или более областей.

Выборочное регулирование каждой из упомянутого множества исходных областей может включать выборочное разделение исходной области на две или более промежуточные области или области. Разделение может быть основано на краях и/или областях.

Получение 3D модели каждого из множества компонентов может включать:

Определение того, соответствует ли компонент компоненту первого типа; и

в ответ на положительное определение получение 3D модели компонента на основании:

– заданной 3D модели для компонента первого типа; и

– одного или более размеров компонента, полученных из упомянутого одного или более 2D сечений.

Получение 3D модели каждого из упомянутого множества компонентов может включать:

преобразование первого 3D представления в промежуточную 3D модель (например, STL модель), при этом промежуточная 3D модель соответствует сетчатой модели.

Получение 3D модели каждого из упомянутого множества компонентов может включать:

Определение того, соответствует ли компонент компоненту второго типа; и

в ответ на положительное определение преобразование промежуточной 3D модели (STL модели) в 3D модель (CAD модель) компонента.

Рентгеновские данные могут быть получены с использованием по меньшей мере рентгеновских лучей с энергией примерно 9 МэВ. Множество компонентов в объекте могут соответствовать по меньшей мере 10000 компонентам.

Согласно дополнительному аспекту настоящего изобретения предусмотрена компьютерная программа для осуществления способа.

Согласно дополнительному аспекту настоящего изобретения предусмотрена структура данных, содержащая покомпонентную 3D модель объекта, полученную путем осуществления способа.

Согласно дополнительному аспекту настоящего изобретения предоставлен невременный машиночитаемый носитель, содержащий компьютерную программу и/или структуру данных.

Согласно дополнительному аспекту настоящего изобретения предоставлена вычислительная система, выполненная с возможностью осуществления способа. Вычислительная система может содержать по меньшей мере один процессор и по меньшей мере одну память, содержащую код компьютерной программы, причем по упомянутой меньшей мере одна память и код компьютерной программы выполнены с возможностью совместно по меньшей мере с помощью по меньшей мере одного процессора заставлять вычислительную систему осуществлять способ. Может быть предусмотрена система, содержащая: устройство, выполненное с возможностью выдачи рентгеновских данных; и вычислительную систему, выполненную с возможностью получения рентгеновских данных.

#### **Краткое описание чертежей**

Далее в качестве примера будут описаны некоторые варианты осуществления настоящего изобретения со ссылкой на сопровождающие чертежи, на которых:

На фиг. 1 представлена система для получения данных 3D модели множества компонентов объекта.

На фиг. 2 представлено вычислительное устройство, которое может образовывать часть системы с фиг. 2.

На фиг. 3 представлен способ, который может выполняться системой с фиг. 1.

На фиг. 4 представлен поток данных, связанных со способом с фиг. 3.

На фиг. 5 представлены срезы 3D рентгеновских данных низкого разрешения (a), среднего разрешения (b) и высокого разрешения (c), которые могут быть получены на втором этапе способа с фиг. 3.

На фиг. 6 представлены срезы 3D рентгеновских данных для объекта (a), подузла (b) и компонента (c). 3D рентгеновские данные для подузла могут быть получены на четвертом этапе способа с фиг. 3.

На фиг. 7 представлено 2D изображение подузла (a) и соответствующие данные края и области для подузла (b), которые могут быть получены на шестом этапе способа с фиг. 3.

На фиг. 8 представлены данные размеров, которые могут быть получены на шестом

этапе способа с фиг. 3.

На фиг. 9 представлены поперечные срезы подузла ( $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$ ), подузла с одним компонентом, выбранным на основании пороговых значений, которые могут быть определены на седьмом этапе способа с фиг. 3 ( $b_1$ ,  $b_2$ ,  $b_3$ ), и подузла с пятью разными выбранными компонентами ( $c_1$ ,  $c_2$ ,  $c_3$ ).

На фиг. 10 с двух разных точек зрения представлены данные исходной 3D модели для компонента, которые могут быть получены на десятом этапе способа с фиг. 3.

На фиг. 11 представлены данные итоговой 3D модели для множества компонентов, каждая из которых могут быть получены на одиннадцатом этапе способа с фиг. 3. Также с двух разных точек зрения представлен подузел компонентов.

### **Подробное описание некоторых вариантов осуществления изобретения**

#### Система

Далее со ссылкой на Фиг. 1 будет описана система 1. Как будет объяснено, система 1 может быть использована для получения данных покомпонентной 3D модели сложных объектов.

Система 1 выполнена с возможностью проведения рентгеновского КТ сканирования. Система 1 содержит источник 2 рентгеновского излучения, управляемую компьютером поворотную платформу 3 и детектор 4. Обследуемый объект 5, такой как автомобиль, может быть помещен на поворотную платформу 3.

Система 1 также содержит вычислительную систему 6, которая содержит первое устройство  $7_1$ , второе устройство  $7_2$  и одно или более третьих устройств  $7_3$  (далее называемые устройствами захвата изображения, реконструкции изображения и 3D моделирования, соответственно).

Источник 2 выполнен с возможностью создания рентгеновского излучения 11, которое направлено к объекту 5. В некоторых примерах рентгеновское излучение 11 имеет энергию до по меньшей мере 9 МэВ. В некоторых примерах система 1 выполнена с возможностью проведения КТ сканирования с помощью конусообразного пучка, в котором рентгеновские лучи 11 расходятся и образуют конус.

Поворотная платформа 3 по меньшей мере функционально соединена с устройством  $7_1$  захвата изображения и действует под его управлением.

Детектор 4 содержит сцинтиллятор 4a и линейную диодную матрицу 4b. Сцинтиллятор 4a принимает рентгеновское излучение 11, которое взаимодействует с объектом 5. Сцинтиллятор 4a преобразует принятое рентгеновское излучение 11 в видимый свет 12. Каждый из диодов в матрице 4b может принимать видимый свет 12 и в ответ на него создает электрический сигнал (напряжения). Электрические сигналы из

диодов в матрице 4b усиливаются, мультиплексируются и преобразуются в цифровой сигнал 13. Цифровой сигнал 13 подается в вычислительную систему 6.

### Устройства

Со ссылкой на Фиг. 2 далее будут описаны более подробно устройства 7<sub>1</sub>, 7<sub>2</sub>, 7<sub>3</sub> захвата изображения, реконструкции изображения и 3D моделирования. Каждое из устройств 7<sub>1</sub>, 7<sub>2</sub>, 7<sub>3</sub> являются аналогичными и в этом абзаце просто называются устройство 7. Устройство 7 содержит контроллер 7a, который содержит один или более процессоров 7b (на фиг. 2 обозначенных «Р»). Контроллер 7a обменивается данными с другими компонентами 7d–7f устройства 7 по системной шине 7c. Устройство 7 содержит один или более интерфейсов 7d обмена данными (например, интерфейс Ethernet) для обмена данными, например, с другими устройствами. Устройство 7 содержит память 7e, включая энергозависимую память, например, RAM, и энергонезависимую память, например, ROM. Энергозависимая память используется контроллером 7a для временного хранения данных, например, при управлении работой других компонентов устройства 7 или переноса данных между компонентами. Устройство 7 содержит запоминающее устройство 7f, например, твердотельное запоминающее устройство и/или запоминающее устройство в виде жесткого диска. На запоминающем устройстве 7f среди прочего хранятся машиночитаемые команды или программное обеспечение («S») 15 и данные («D») 16, используемые программным обеспечением 4, включая данные, относящиеся к объекту 5. В некоторых случаях устройство 7 может содержать один или более пользовательских интерфейсов (не показано), обеспечивающих получение устройством входных данных от пользователей и предоставление им выходных данных.

Программное обеспечение 15 выполнено с возможностью осуществления описанного ниже способа. Как будет понятно, этапы способа могут быть полностью автоматическими, или они могут быть частично автоматическими, а также можно предусмотреть определенное взаимодействие с пользователем. Для получения результатов на этапах можно задействовать известные алгоритмы. Для получения результатов на этапах можно задействовать известные методы машинного обучения/искусственной нейронной сети.

### Способ

Далее со ссылкой на Фиг. 3 и 4 будет описан способ, который может выполнять система 1. Фиг. 3 соответствует технологической схеме, а Фиг. 4 соответствует схеме потока данных.

#### *Первый этап*

На первом этапе S1 получают двухмерные (2D) рентгеновские данные

(обозначенные на Фиг. 3 и 4 «X2»).

Объект 5 помещают на поворотную платформу 3 и поворачивают вокруг единственной оси вращения, в то время как получают серию 2D рентгеновских изображений.

Чтобы сохранять правильную геометрию изображений, скорость вращения поворотной платформы 3 синхронизируют с линейным временем выдержки детектора 4. Скорости вращения могут соответствовать линейным скоростям в диапазоне от 0,005 до 0,01 метров в секунду. Области с более плотными материалами (например, с высокопрочными материалами), области с большим числом разных компонентов с разными плотностями, области с более сложными компонентами и т.д. можно визуализировать при более низких скоростях вращения. Таким образом, получают большую плотность 2D рентгеновских изображений, что может быть полезно при идентификации подобных деталей.

Первый этап S1 выполняют с помощью или под управлением устройства 7<sub>1</sub> захвата изображений.

#### *Второй этап*

На втором этапе S2 2D рентгеновские данные используют, т.е. обрабатывают для получения 3D рентгеновских данных («X3») с множеством разрешений.

Второй этап S2 (или реконструкция изображения) включает использование, например:

- алгоритмов реконструкции области Фурье, например, как описано в S. Smith, «The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing», California Technical Pub (1997), Ch. 25;

- алгоритмов Френеля, например, как описано в M. Liebling и M. Unser «Comparing algorithms for reconstructing digital off-axis Fresnel holograms», Proc. SPIE 6016, Three-Dimensional TV, Video, and Display IV, 60160M (November 15, 2005); doi:10.1117/12.631039.

В отличие от типичного одностадийного процесса реконструкцию изображения выполняют в три этапа, что приводит к получению 3D рентгеновских данных с тремя различными разрешениями (далее называемыми «низкое разрешение», «среднее разрешение» и «высокое разрешение»). В частности, 2D рентгеновские данные исходно обрабатывают с использованием алгоритмов для получения 3D рентгеновских данных низкого разрешения. Затем данные подвергают дополнительной обработке для получения 3D рентгеновских данных среднего разрешения. Затем данные подвергают еще большей обработке для получения данных высокого разрешения.



Полученные на втором этапе S2 3D рентгеновские данные, таким образом, содержат 3D изображения объекта 5 высокого («Н»), среднего («М») и низкого («L») разрешения.

Каждое 3D изображение соответствует 3D сеткам 3D пикселей (или, другими словами, вокселей) и/или набору 2D изображений (далее называемых срезами), соответствующих разным срезам через объект 5.

Как будет объяснено более подробно ниже, существует значение, связанное с каждым пикселем/вокселем (далее называемое значение пикселей), которое относится к ослаблению рентгеновского излучения соответствующей области объекта 5 и, следовательно, относится к любому материалу в этой области. Значение пикселей может быть визуально представлено интенсивностью оттенков серого.

Разрешение может соответствовать размеру пикселя/вокселя. 3D рентгеновские данные низкого разрешения имеют обычное разрешение примерно 1000 микрометров (мкм), среднего разрешения примерно 600 мкм, а высокого разрешения примерно 150 мкм. Однако одно или более разрешений могут отличаться от этих обычных значений. Например, разрешения могут быть в диапазонах  $>750$  мкм (низкое разрешение), 350–750 мкм (среднее разрешение) и  $<350$  мкм (высокое разрешение).

В этом абзаце со ссылкой на Фиг. 5 показаны примерные срезы 3D рентгеновских данных низкого разрешения (a), 3D рентгеновских данных среднего разрешения (b) и 3D рентгеновских данных высокого разрешения (c).

Как будет объяснено более подробно ниже, данные низкого разрешения используют для операций обработки данных, относящихся к 3D изображениям всего объекта 5. Данные низкого разрешения особенно подходят для подобных операций, потому что они относительно небольшие. Для обычного объекта 5 данные низкого разрешения имеют размер примерно 200 гигабайт (ГБ), данные среднего разрешения имеют размер примерно 600 ГБ, а данные высокого разрешения имеют размер примерно 1000 ГБ.

Данные среднего разрешения имеют меньший шум, чем данные высокого разрешения. Таким образом, использование данных среднего разрешения, а не данных высокого разрешения для получения данных исходной 3D модели (см. Ниже) приводит к уменьшению количества ошибочных элементов сетки, вызванных шумом. Это, в свою очередь, облегчает точность захвата элементов объекта 5. Таким образом, данные среднего разрешения используют для получения данных исходной 3D модели, в то время как данные высокого разрешения используют для получения, например, данных краев, данных размеров и т.д. (см. ниже).

3D рентгеновские данные предпочтительно сохраняют, передают и т.д. в виде цифровой визуализации и обмена данными в медицине (DICOM). Хотя можно использовать другие форматы, DICOM имеет несколько преимуществ, например, относящихся к простоте манипулирования данными.

Второй этап S2 выполняют с помощью устройства 7<sub>2</sub> реконструкции изображений.

#### *Третий этап*

На третьем этапе S3 обрабатывают 3D рентгеновские данные с множеством разрешений. Это предпочтительно включает использование известных алгоритмов для повышения резкости изображений, уменьшения помех на изображениях (например, вызванных увеличением жесткости пучка), улучшения контраста изображений и т.д.

Третий этап S3 и последующие этапы S4...S12 выполняют с помощью устройств 7<sub>3</sub> 3D моделирования.

#### *Четвертый этап*

На четвертом этапе S4 3D рентгеновские данные делят на множество подгрупп («X3<sub>1</sub>...X3<sub>M</sub>»).

В этом абзаце со ссылкой на Фиг. 6 типичный объект 5 содержит множество (например, несколько сот или более) подузлов или эквивалентов, и каждый подузел содержит множество (например, несколько десятков или более) компонентов. Соответственно, типичный объект 5 содержит более 10000 компонентов, как упоминалось выше. Например, в качестве одного из своих подузлов автомобиль 5 содержит угловой модуль 51, а угловой модуль 51 в качестве одного из своих компонентов содержит колодку 52 тормозного диска.

Каждая из упомянутого множества подгрупп предпочтительно соответствует другому из подузлов в объекте 5. Однако 3D рентгеновские данные можно разделить любым подходящим образом, причем каждая подгруппа предпочтительно содержит множество (например, несколько десятков или более) компонентов.

Четвертый этап S4 предпочтительно включает выбор множества 3D областей, каждая из которых содержит другой из подузлов объекта 5. Подобная 3D область может быть кубоидной или может иметь любую другую подходящую форму (например, цилиндрическую). Два или более множеств 3D областей могут перекрывать друг друга.

Четвертый этап S4 предпочтительно выполняют с использованием рентгеновских данных низкого разрешения для всего объекта 5. Его можно выполнять любым подходящим образом, например, на основании возможности подключения, заданных правил и т.д.

Каждая из 3D областей обычно будет включать в себя («дополнительные») части

объекта 5, которых нет в соответствующем подузле. Эти дополнительные части предпочтительно игнорируют при обработке соответствующей подгруппы.

Каждая подгруппа предпочтительно содержит 3D-рентгеновские данные среднего и высокого разрешения (т.е. не низкого разрешения).

Четвертый этап S4 обеспечивает параллельное выполнение обработки, связанной с получением данных итоговой 3D модели (т.е. CAD данных) для множества подузлов. Это также облегчает точность захвата элементов объекта 5, потому что каждый подузел имеет уровень сложности, который особенно подходит для описанной в данном документе обработки.

Всякий раз при разделении (например, на этапах S4 и S8) или изменении данных с одного типа на другой (например, на этапах S6, S10 и S11) данные, описывающие положения соответствующих элементов (вокселей, линий/кривых, поверхностей и т.д.) соответствующим образом сохраняют, например, на основании глобальной системы координат (или эквивалента). Среди прочего, это облегчает последующую (повторную) сборку данных.

#### *Пятый этап*

Пятый–одиннадцатый этапы S5–S11 способа выполняют для каждой подгруппы/соответствующего подузла (далее называемых просто подгруппа и подузел, соответственно). Это можно делать параллельно, как упоминалось выше.

На пятом этапе S5 подгруппу («X3<sub>i</sub>») обрабатывают по аналогии с третьим этапом S3. В этом случае обработку можно оптимизировать для конкретной подгруппы. Например, качество 3D изображения можно улучшить в сложных областях, таких как запрессованные компоненты, сварные компоненты, болтовые компоненты и т.д.

#### *Шестой этап*

На шестом этапе S6 получают 2D данные («D<sub>i</sub>»), относящиеся к подузлу.

В этом абзаце со ссылкой на Фиг. 7(a) шестой этап S6 включает получение 2D изображения 21 подузла из 3D рентгеновских данных высокого разрешения в подгруппе. 2D изображение 21 соответствует (поперечному) сечению подузла. Образующую сечение плоскость можно определить любым подходящим образом. Например, плоскостью может быть средняя плоскость подузла, например, делящая подузел на две практически симметричные части.

В этом абзаце со ссылкой на Фиг. 7(b) шестой этап S6 затем включает определение 2D данных 22. Это включает определение набора линий/кривых 22a (далее называемых данные краев), соответствующих краям элементов подузла (например, компонентов) на 2D изображении 21. Данные 22a краев могут быть определены любым подходящим

образом, например, с использованием алгоритмов обнаружения краев. Характер линий/кривых также можно определенным образом ограничить, например, чтобы образовать замкнутые петли. Предпочтительно, определение 2D данных 22 также включает идентификацию набора 22b областей (далее называемых данные областей), образованных, например, ограниченных данными 22a краев. Предпочтительно, отдельные области определяют, как соответствующие при необходимости тому же самому компоненту. Это можно выполнить любым подходящим образом, например, на основании сходства/симметрии, заданных правил и т.д.

В этом абзаце со ссылкой на Фиг. 8 шестой этап S6 также включает определение набора размеров 22c (далее называемых данные размеров) элементов подузла (например, компонентов) на 2D изображении 21'. Это можно выполнить любым подходящим образом. Например, данные 22c размеров могут быть выявлены из параметров линии/кривой, содержащихся в данных 22a краев. Данные 22c размеров могут включать в себя расстояния между параллельными краями и т.д.

2D данные 22 могут быть определены для одного 2D изображения 21 (т.е. одного поперечного сечения) или для множества 2D изображений 21 (т.е. множества поперечных сечений).

2D данные иногда в данном документе называются элементами.

#### *Седьмой этап*

седьмой и восьмой этапы S7, S8 выполняют в отношении рентгеновских данных среднего разрешения в подгруппе, т.е. 3D изображения подузла среднего разрешения.

На седьмом этапе S7 определяют множество пар пороговых значений («T<sub>p</sub>»). Множество пар пороговых значений далее называются пороговые данные.

Каждая пара пороговых значений предпочтительно соответствует верхнему пределу и нижнему пределу диапазона интенсивностей оттенков серого. Интенсивность оттенков серого соответствует (согласно конкретному картированию) значению пикселей и, следовательно, относится к материалу в области, связанной с пикселем. Следующие материалы обычно будут иметь следующие значения пикселей (в единицах Хаунсфилда, HU):

- Сталь: 12–18 HU
- Алюминий: 25–35 HU
- Пластмасса: 72–81 HU

Разные компоненты объекта 5, как правило, изготавливают из разных материалов и поэтому имеют интенсивности оттенков серого/значения пикселей в разных диапазонах. Даже когда разные компоненты номинально изготовлены из одного и того же материала,

все же можно обнаружить различия в интенсивности оттенков серого/значениях пикселей из-за небольших различий между материалами.

Если каждый из компонентов подузла связан с иным (т.е. другим и не перекрывающимся) диапазоном интенсивностей оттенков серого, то путем определения подходящих пар пороговых значений, каждый из компонентов подузла может быть выбран отдельно. Однако в некоторых случаях может быть можно только определить пары пороговых значений, соответствующих двум или более компонентам.

Это может быть особенно важно, например, для запрессованных компонентов, защелкивающихся компонентов, сварных конструкций и других подобных соединенных компонентов.

Пороговые данные предпочтительно определяют так, чтобы обеспечить возможность отдельного выбора максимального числа компонентов. Пороговые данные могут быть определены любым подходящим образом. Например, пороговые значения могут быть определены на основании распределения (гистограммы) интенсивностей оттенков серого на 3D изображении подузла. Как будет объяснено более подробно ниже, исходные пороговые данные также можно скорректировать на основании 2D данных 22.

В этом абзаце со ссылкой на Фиг. 9 показан набор трех поперечных срезов (a1, a2, a3) 3D изображения примерного подузла (углового модуля). Следующие три среза (b1, b2, b3) показывают выбор на основе порогового значения одного из компонентов (шарнира). Три следующие среза (c1, c2, c3) показывают пять разных выборов на основе порогового значения пяти разных компонентов.

#### *Восьмой этап*

Восьмой–одиннадцатый этапы S8–S11 способа выполняют для каждого компонента подузла (далее называемого просто компонент).

На восьмом этапе S8 подгруппу делят на дополнительную подгруппу («X3<sub>ij</sub>»). Дополнительная подгруппа содержит 3D рентгеновские данные для компонента и далее называется подгруппа компонентов.

Восьмой этап S8 включает использование конкретной пары пороговых значений для разделения подгруппы на исходную подгруппу, которая может включать в себя компонент или группу компонентов.

Затем восьмой этап S8 включает выборочное разделение исходной подгруппы с использованием 2D данных 22. Это включает определение того, содержит ли исходная подгруппа более чем один компонент. Это можно выполнить любым подходящим образом. Например, данные 22a краев и/или данные 22b областей можно сравнить с подходящим срезом 3D рентгеновских данных для определения того, имеется ли

значительный материал, пересекающий край или занимающий две области. В ответ на положительное определение делят исходную подгруппу. Это можно выполнить любым подходящим образом, например, на основании соответствующих кривых/линий в данных 22а краев, проходящих соответствующим образом в трех измерениях.

Пороговые данные можно (глобально или локально) регулировать с учетом 2D данных 22.

Исходные подгруппы, соответствующие двум несоединенным 3D областям, можно разделить простым образом.

Соответственно, на восьмом этапе S8 получают подгруппу компонентов, т.е. содержащую 3D рентгеновские данные для одного компонента.

#### *Девятый этап*

На девятом этапе S9 проверяют подгруппу компонентов. Это предпочтительно включает определение одной или более ошибок путем сравнения 2D данных 22 (например, данных 22b областей и/или данных 22c размеров) с элементами подходящего среза подгруппы компонентов. Если ошибка превышает максимальную допустимую ошибку, то способ предпочтительно возвращается на предыдущий этап S8, который повторяется с использованием иных параметров.

#### *Десятый этап*

На десятом этапе S10 3D рентгеновские данные в подгруппе компонентов преобразуют в данные исходной 3D модели («M1<sub>ij</sub>»).

Данные исходной 3D модели предпочтительно соответствуют данным стереолитографии (STL) и далее называются просто данные STL. Данные STL описывают набор треугольных поверхностей, которые можно использовать для образования одной или более замкнутых треугольных поверхностей сетки и, следовательно, одного или более 3D объектов, ограниченных этими поверхностями.

3D рентгеновские данные в подгруппе компонентов преобразуют в данные STL с использованием известных методов.

Способ также предпочтительно включает этап (не показано), на котором данные STL обрабатывают, например, для уточнения сеток, удаления ошибочных элементов сетки и т.д.

В этом абзаце со ссылкой на Фиг. 10 в качестве примера показаны данные STL для компонента (т.е. шарнира).

#### *Одиннадцатый этап*

На одиннадцатом этапе S11 получают данные итоговой 3D модели («M2<sub>ij</sub>») для компонента.

Это выполняют с использованием данных STL, полученных на предыдущем этапе S10, и 2D данных 22, полученных на шестом этапе S6.

Данные итоговой 3D модели предпочтительно соответствуют данным системы автоматизированного проектирования (CAD) и далее называются просто данные CAD. Данные CAD предпочтительно используют изображение границ для отображения твердого тела (например, компонента) в виде совокупности соединенных элементов поверхности. Эти элементы поверхности точно отображают, например, с использованием неоднородных рациональных В-сплайнов (NURBS) (см. Данные STL).

Одиннадцатый этап S11 предпочтительно включает определение того, относится ли компонент к первому типу или второму типу:

- первый тип включает в себя стандартные компоненты, такие как болты и так далее. Первый тип также может включать в себя компоненты с относительно простыми элементами. Например, компонент 62<sub>9</sub>, показанный на фиг. 11 (т.е. ступица), обычно является цилиндрическим симметричным с относительно простым поперечным сечением.
- Компоненты второго типа являются нестандартными и/или относительно сложными, такие как компонент 62<sub>1</sub>, показанный на фиг. 11 (т.е. шарнир).

Определение можно провести на основании того, соответствуют ли данные STL каким-либо сохраненным данным, представляющим компоненты первого типа (далее называемые стандартные компоненты), или нет.

Если компонент относится к первому типу, то данные CAD получают в основном из 2D данных 22. Например, конкретный стандартный компонент может быть создан из сохраненной общей модели, например, с использованием относительно небольшого числа параметров (например, размеров), которые могут быть получены из данных 22с размеров.

Если компонент относится ко второму типу, то данные CAD получают с использованием данных STL и 2D данных 22. В частности, набор поверхностей (например, поверхностей NURBS) создают на поверхности компонента, представленного данными STL. По меньшей мере некоторые из размеров этих поверхностей предпочтительно затем корректируют с использованием данных 22с размеров.

Как упоминалось выше, предыдущий этап S11 (и другие) выполняют в отношении каждого подузла в объекте 5 и каждого компонента в каждом подузле. Соответственно, получают данные CAD для каждого из компонентов в объекте 5.

В этом абзаце со ссылкой на Фиг. 11 в качестве примера показаны данные CAD для множества разных компонентов 62<sub>1</sub>...62<sub>16</sub> подузла 61 (т.е. углового модуля).

#### *Двенадцатый этап*

На двенадцатом этапе S12 собирают данные CAD для каждого из компонентов в

объекте 5, получая тем самым данные CAD для объекта 5.

Как упоминалось выше, при разделении данных и т.д. данные, описывающие положения соответствующих элементов, должным образом сохраняли, тем самым облегчая сборку. Тем не менее, могут потребоваться дополнительные этапы. Например, из-за отдельной обработки для разных подузлов, точное повторное соединение подузлов может потребовать дополнительных операций, например, на основании общих точек привязки и т.д.

### Обзор

В частности со ссылкой на Фиг. 4 некоторые этапы и признаки способа представляют собой:

- получение рентгеновских данных (X2) для многокомпонентного объекта;
- обработку рентгеновских данных (X2) для получения по меньшей мере первого и второго 3D представлений (X3–Н, X3–М) объекта с соответствующими первым (Н) и вторым (М) разрешениями, причем первое разрешение (Н) выше второго разрешения (М);
- идентификацию множества областей ( $X3_{11}$ ,  $X3_{12}$ , ...) второго 3D представления (X3–М), причем каждая область ( $X3_{11}$ ,  $X3_{12}$ , ...) соответствует одному из множества компонентов объекта за счет по меньшей мере:
- идентификации множества исходных областей второго 3D представления (X3–М), причем каждая исходная область имеет значения пикселей в одном из множества диапазонов ( $T_i$ ) значений пикселей; и
- выборочного регулирования каждой из упомянутого множества исходных областей на основании сравнения между исходной областью и одним или более элементами ( $D_i$ ), выявленными из одного или более 2D сечений по меньшей мере части объекта, полученных из первого 3D представления (X3–Н); и
- получение для каждого из упомянутого множества компонентов 3D модели ( $M2_{11}$ ,  $M2_{12}$ , ...) компонента на основании соответствующей области ( $X3_{11}$ ,  $X3_{12}$ , ...) и/или на основании одного или более элементов ( $D_i$ ), выявленных из одного или более 2D сечений по меньшей мере части объекта, полученных из первого 3D представления (X3–Н).

### Другие модификации

Понятно, что можно сделать много других модификаций вышеописанных вариантов осуществления.

Например, может отличаться вычислительная система 6, и, например, может быть любое число вычислительных устройств, каждое из которых может быть таким, как описано выше в отношении Фиг. 2, или может иметься облачная вычислительная система,



вычислительный кластер и т.д. Вычислительная система 6 может работать вместе для выполнения способа любым подходящим образом. Данные можно перемещать и сохранять в вычислительной системе 6 любым подходящим образом.

3D рентгеновские данные с множеством разрешений могут иметь меньше (т.е. два) разных разрешений. Например, подгруппы могут быть получены без использования данных низкого разрешения. 3D рентгеновские данные с множеством разрешений могут иметь большее число разных разрешений. Например, некоторые этапы способа и/или некоторые компоненты могут выиграть от использования разрешений, которые отличаются от описанных выше. Например, в некоторых случаях могут быть полезны данные сверхвысокого разрешения.

Способ может включать меньше этапов. Например, могут быть пропущены некоторые или все из третьего, четвертого, пятого, девятого, одиннадцатого и двенадцатого этапов S3, S4, S5, S9, S11, S12. Способ может включать дополнительные этапы, например, дополнительные этапы обработки или проверки.

Вместо пар пороговых значений, образующих отдельные диапазоны, для выбора одного компонента можно использовать наборы пороговых значений, образующих множество диапазонов.

Вместо разделения 3D рентгеновских данных на подгруппы компонентов, а затем преобразования их в данные STL, 3D рентгеновские данные (например, для подузла) можно преобразовать в данные STL, а затем данные STL можно разделить.

Способ может быть предназначен просто для получения данных исходной 3D модели (например, STL), т.е. не данных итоговой 3D модели (например, CAD).

## ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

### 1. Способ, включающий:

получение рентгеновских данных для многокомпонентного объекта;

обработку рентгеновских данных для получения по меньшей мере первого и второго 3D представлений объекта с соответствующими первым и вторым разрешениями, причем первое разрешение выше второго разрешения;

идентификацию множества областей второго 3D представления, причем каждая область соответствует одному из множества компонентов объекта, посредством по меньшей мере:

– идентификации множества исходных областей второго 3D представления, причем каждая исходная область имеет значения пикселей в одном из множества диапазонов значений пикселей; и

– выборочного регулирования каждой из упомянутого множества исходных областей на основании сравнения между исходной областью и одним или более элементами, выявленными из одного или более 2D сечений по меньшей мере части объекта, полученных из первого 3D представления; и

получение для каждого из множества компонентов 3D модели компонента на основании соответствующей области и/или на основании одного или более элементов, выявленных из одного или более 2D сечений по меньшей мере части объекта, полученных из первого 3D представления.

### 2. Способ по п. 1, дополнительно включающий:

сборку 3D моделей из упомянутого множества компонентов для получения покомпонентной 3D модели объекта.

### 3. Способ по п. 1 или 2, включающий:

разделение первого и второго 3D представлений на множество рабочих областей; и  
идентификацию упомянутого множества областей в каждой из упомянутого множества рабочих областей.

### 4. Способ по п. 3, включающий:

разделение первого и второго 3D представлений на основании третьего 3D представления объекта с третьим разрешением, более низким, чем второе разрешение.

5. Способ по любому предыдущему пункту, причем обработка рентгеновских данных включает пошаговое увеличение разрешения, и причем первое представление получают на более позднем этапе, чем второе представление.

6. Способ по любому предыдущему пункту, причем идентификация каждой из упомянутого множества исходных областей включает определение диапазона значений

пикселей, относящихся к конкретному материалу в объекте.

7. Способ по любому предыдущему пункту, включающий:  
определение плоскости для каждого из упомянутого одного или более 2D сечений;  
определение каждого из упомянутого одного или более 2D сечений; и  
выявление одного или более элементов из каждого из упомянутого одного или более 2D сечений.

8. Способ по п. 7, причем по меньшей мере одна плоскость соответствует средней плоскости подузла объекта.

9. Способ по п. 7 или 8, причем выявление одного или более элементов из каждого из упомянутого одного или более 2D сечений включает выявление векторных графиков из 2D сечения.

10. Способ по любому предыдущему пункту, причем упомянутый один или более элементов включают в себя:

края и/или области компонентов в 2D сечении; и/или  
размеры компонентов в 2D сечения.

11. Способ по любому предыдущему пункту, причем выборочное регулирование каждой из упомянутого множества исходных областей включает определение того, содержит ли исходная область два или более компонента.

12. Способ по п. 11 при зависимости от п. 10, причем определение того, содержит ли исходная область два или более компонента, включает определение того, пересекает ли исходная область какие-либо края и/или занимает любые две или более области.

13. Способ по любому предыдущему пункту, причем выборочное регулирование каждой из упомянутого множества исходных областей включает выборочное разделение исходной области на две или более промежуточные области или области.

14. Способ по п. 13 при зависимости от п. 10, причем разделение основано на краях и/или областях.

15. Способ по любому предыдущему пункту, причем получение 3D модели каждого из упомянутого множества компонентов включает:

определение того, соответствует ли компонент компоненту первого типа; и  
в ответ на положительное определение получение 3D модели компонента на основании:

– заданной 3D модели для компонента первого типа; и  
– одного или более размеров компонента, полученных из упомянутого одного или более 2D сечений.

16. Способ по любому предыдущему пункту, причем получение 3D модели

каждого из множества компонентов включает:

преобразование первого 3D представления в промежуточную 3D модель, причем промежуточная 3D модель соответствует сетчатой модели.

17. Способ по п. 16, причем получение 3D модели каждого из упомянутого множества компонентов включает:

определение того, соответствует ли компонент компоненту второго типа; и

в ответ на положительное определение преобразование промежуточной 3D модели в 3D модель компонента.

18. Способ по любому предыдущему пункту, причем рентгеновские данные получают с использованием по меньшей мере рентгеновских лучей с энергией примерно 9 МэВ, и/или причем упомянутое множество компонентов в объекте соответствует по меньшей мере 10000 компонентов.

19. Компьютерная программа для осуществления способа по любому предыдущему пункту.

20. Структура данных, содержащая покомпонентную 3D модель объекта, полученную путем осуществления способа по любому предыдущему пункту.

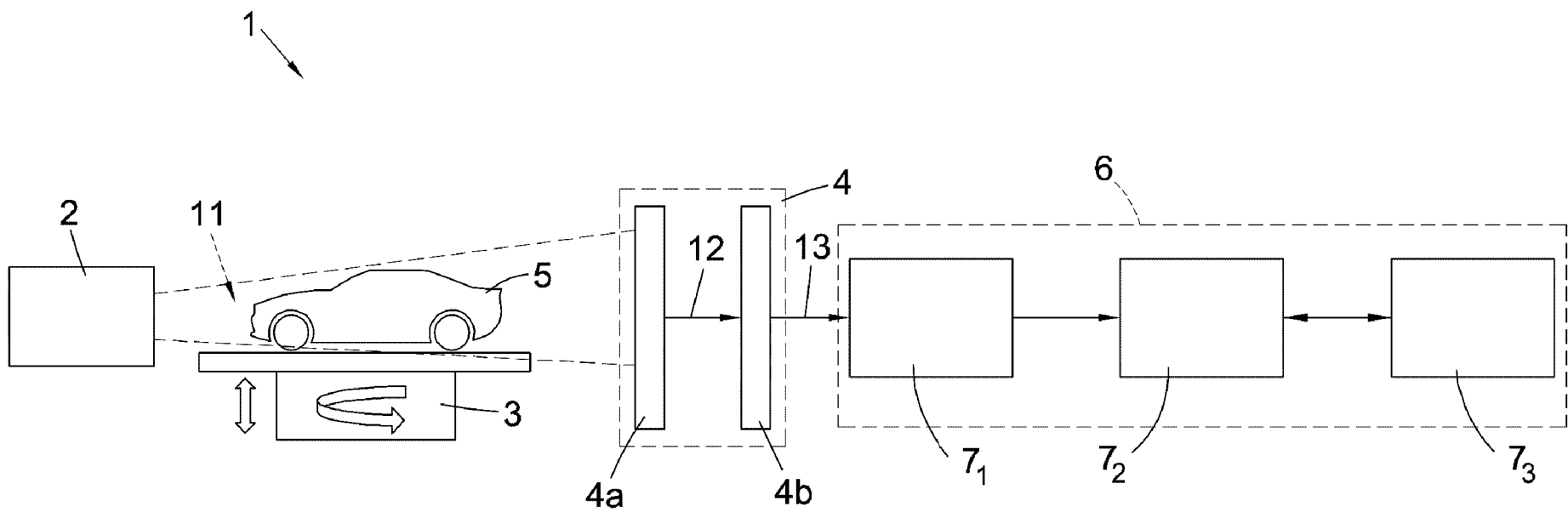
21. Невременный машиночитаемый носитель, содержащий компьютерную программу по п. 19 и/или структуру данных по п. 20.

22. Вычислительная система, выполненная с возможностью осуществления способа по любому из пп. 1–18.

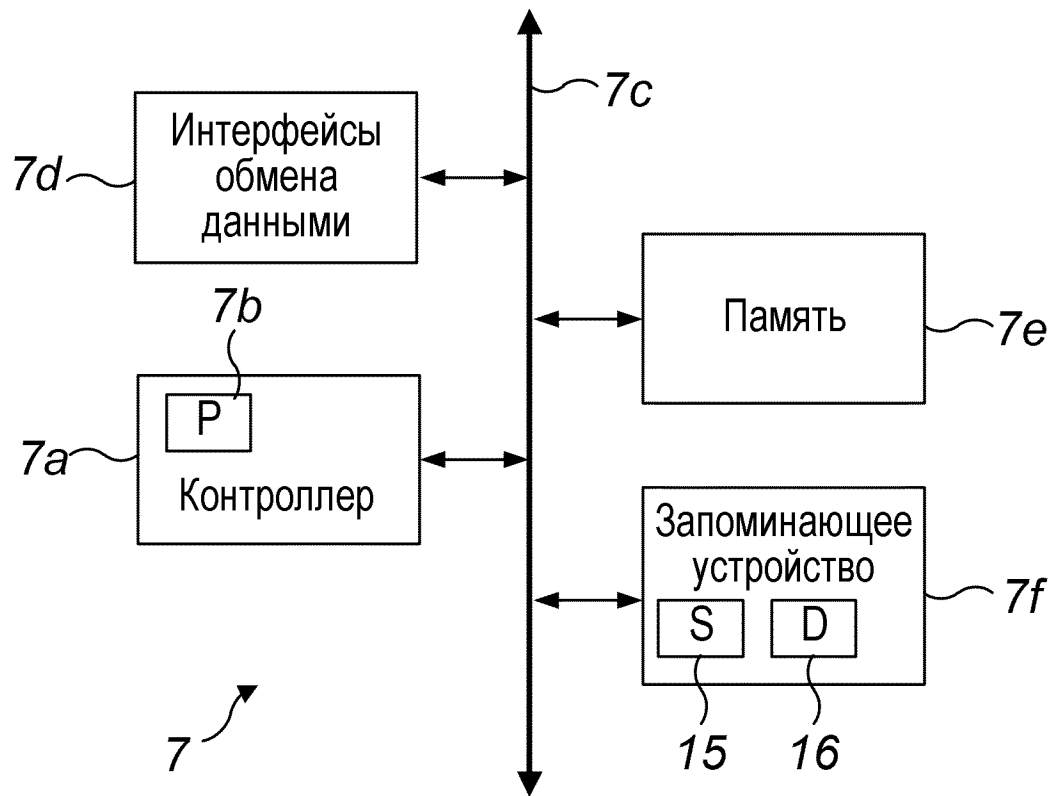
23. Система, содержащая:

устройство, выполненное с возможностью обеспечения рентгеновских данных; и

вычислительную систему по п. 22, выполненную с возможностью получения рентгеновских данных.

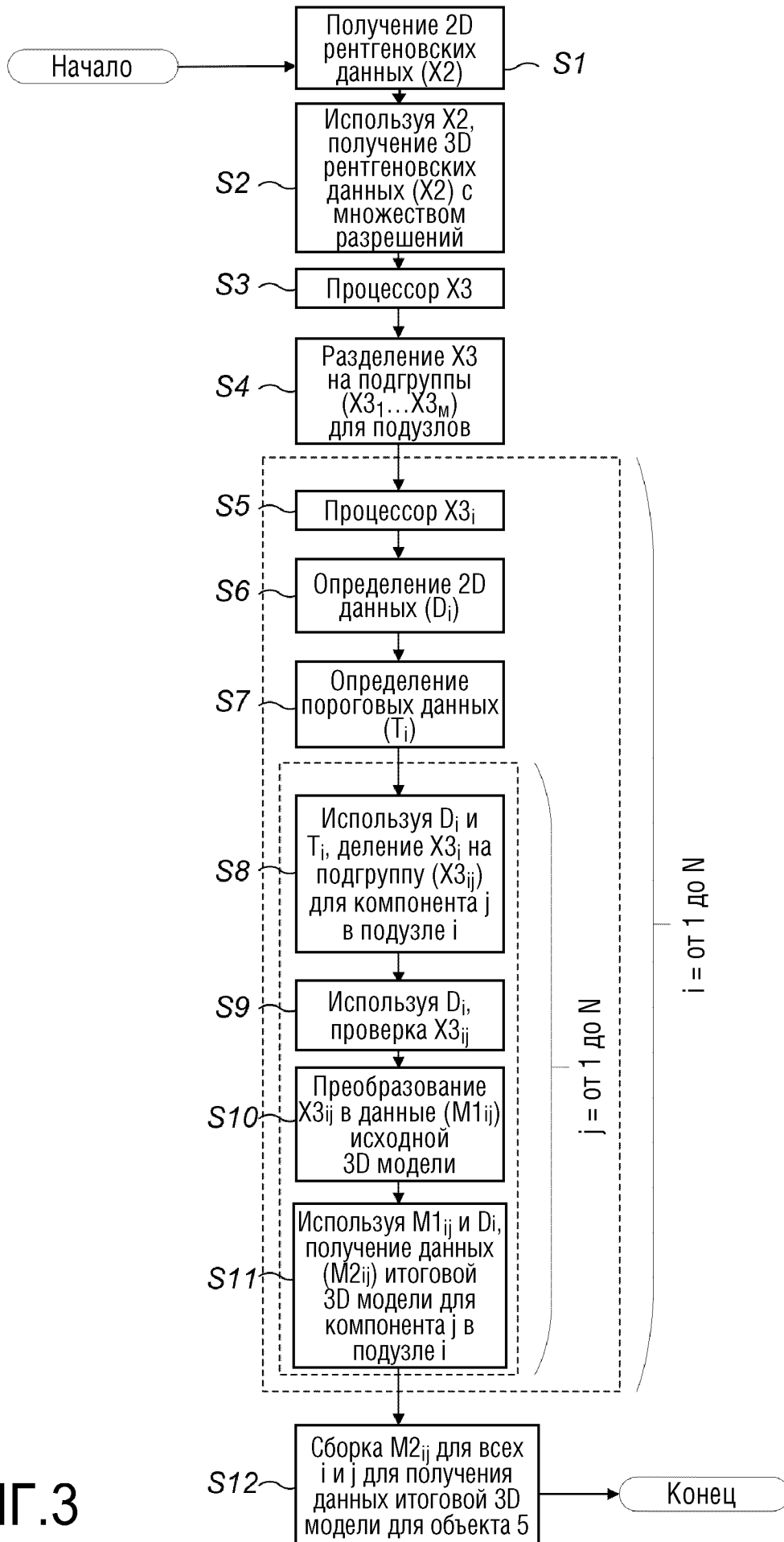


ФИГ.1

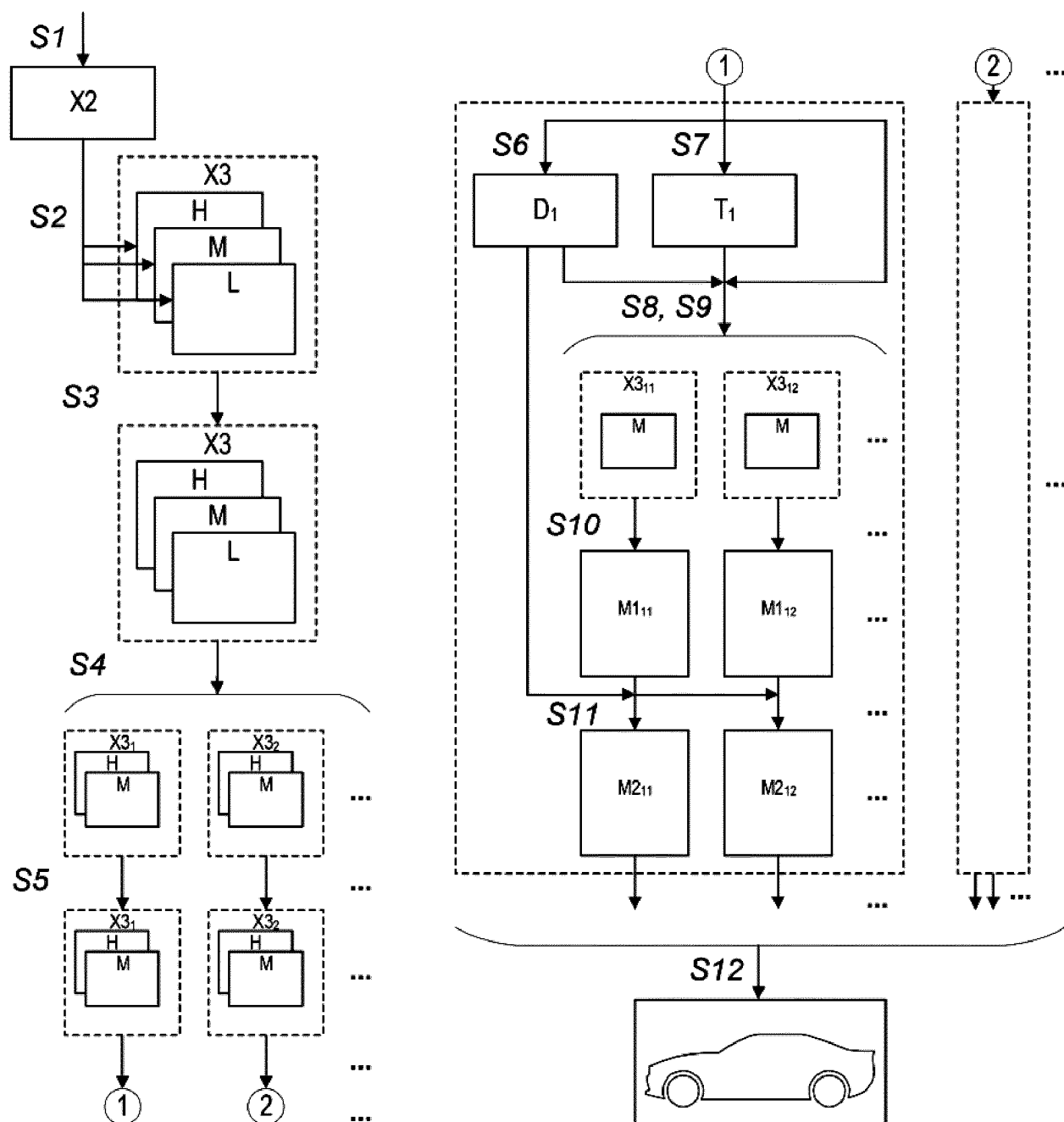


ФИГ.2

3/10



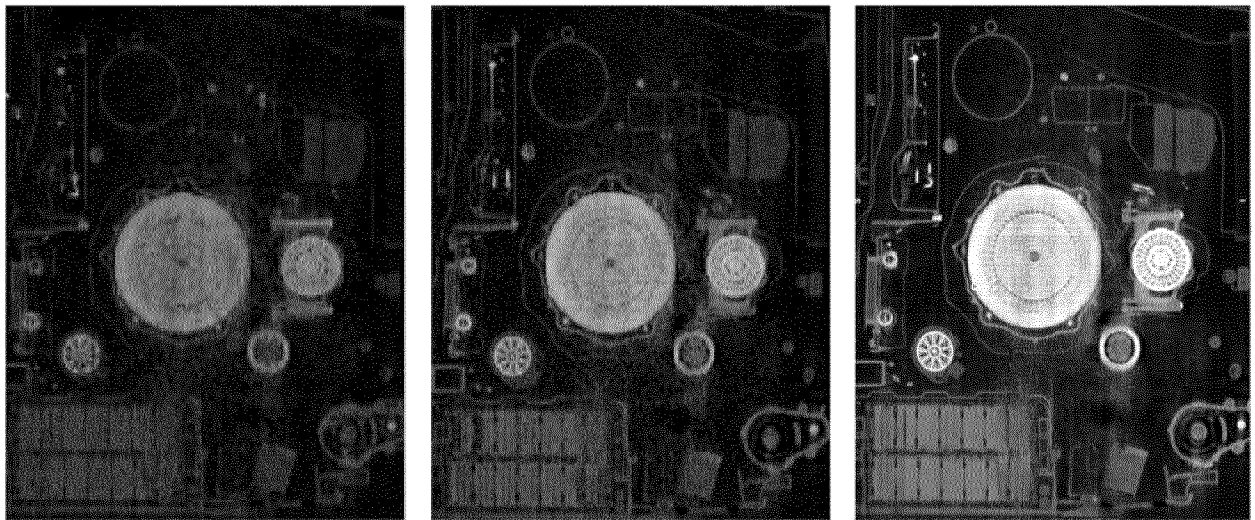
ФИГ.3



ФИГ.4



S2

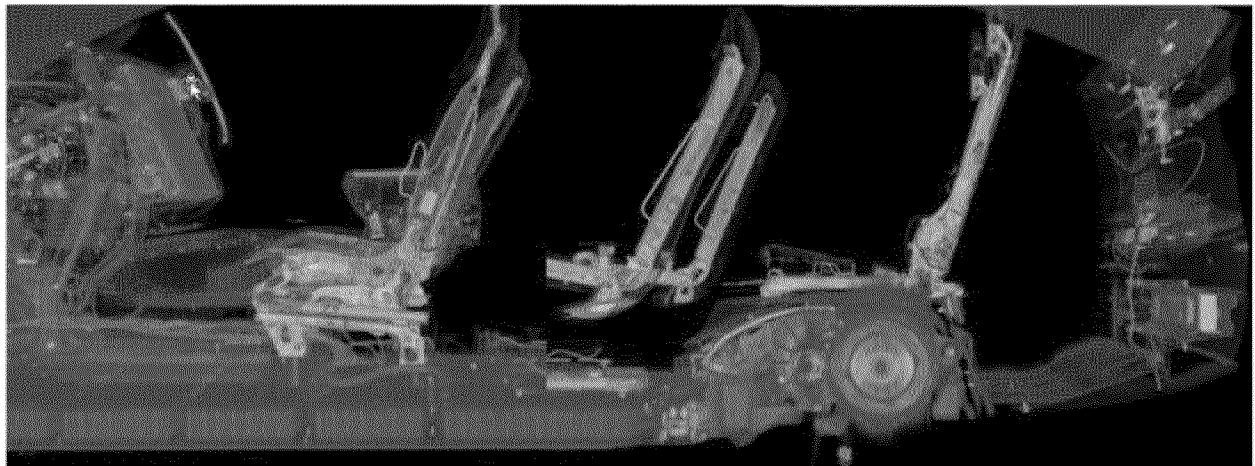


*a*

*b*

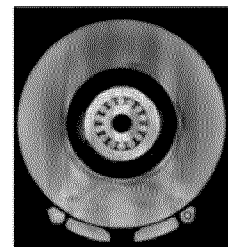
*c*

ФИГ.5



5

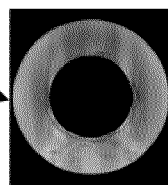
S4



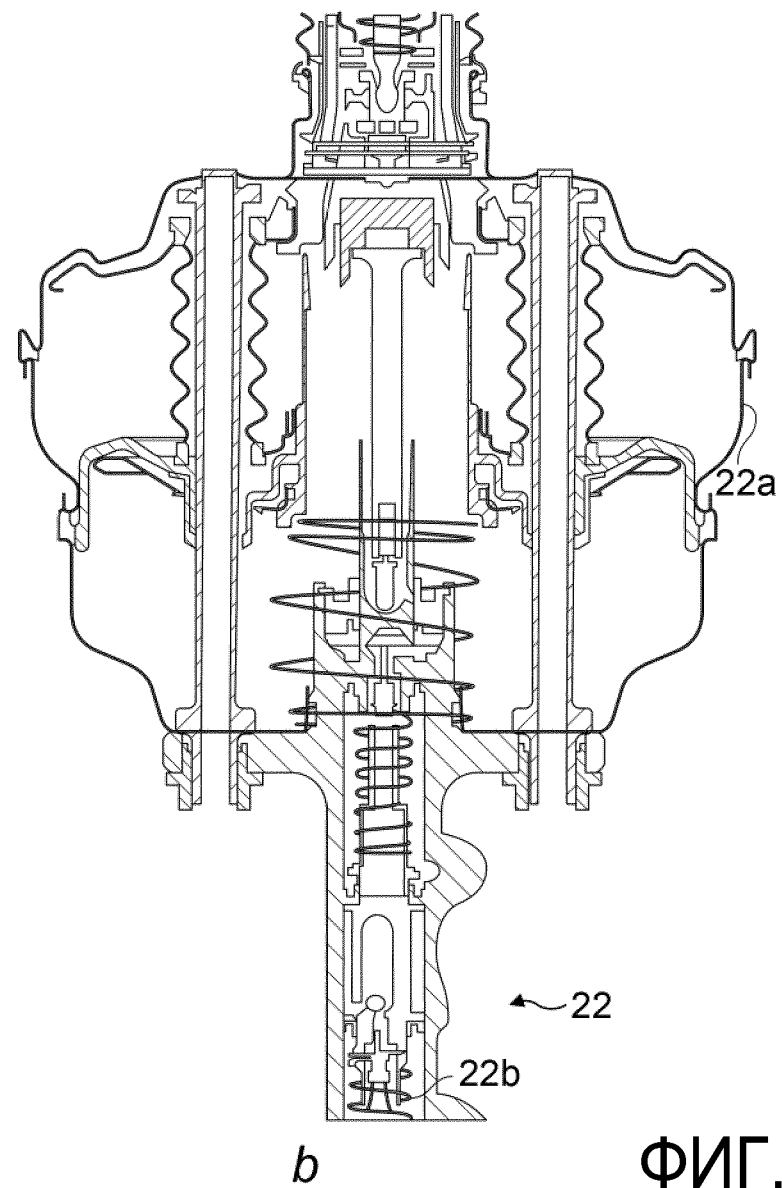
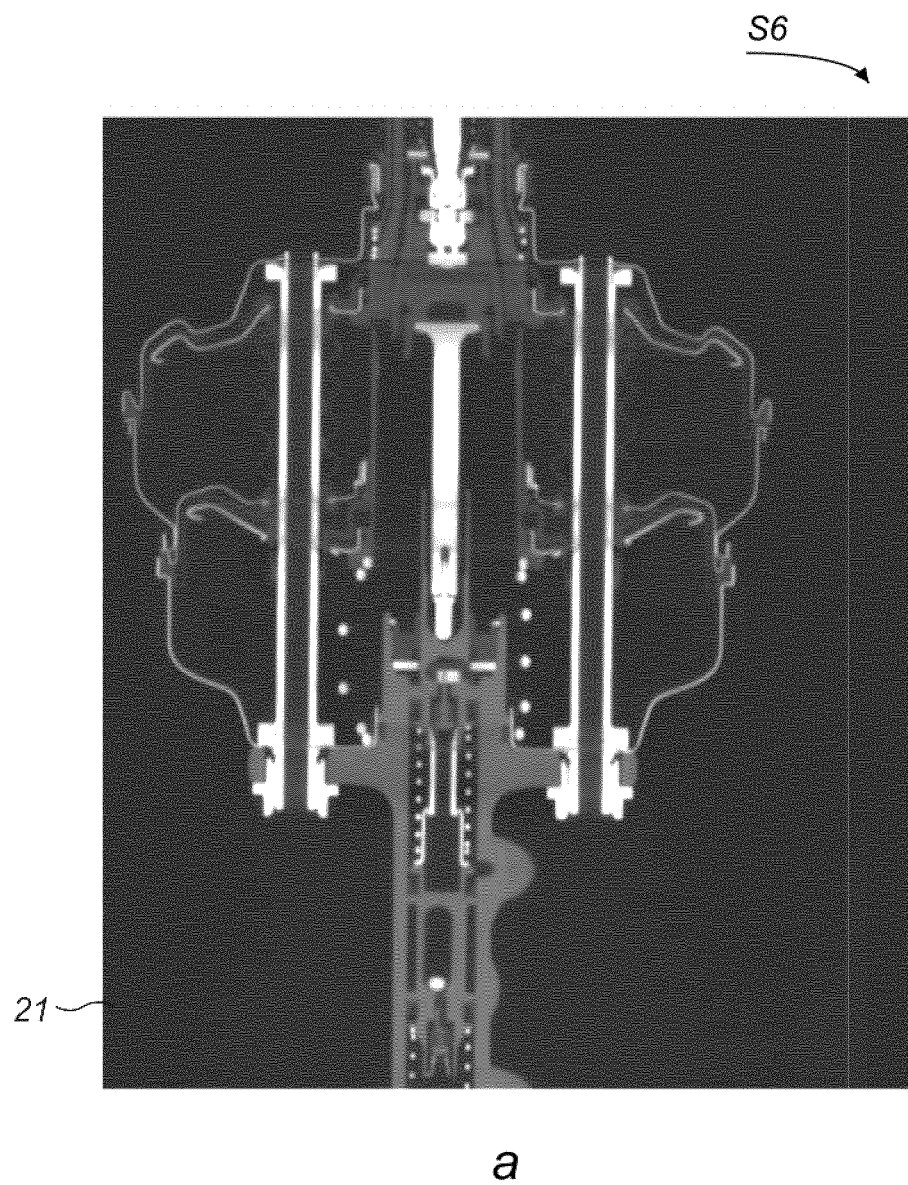
51

ФИГ.6

52

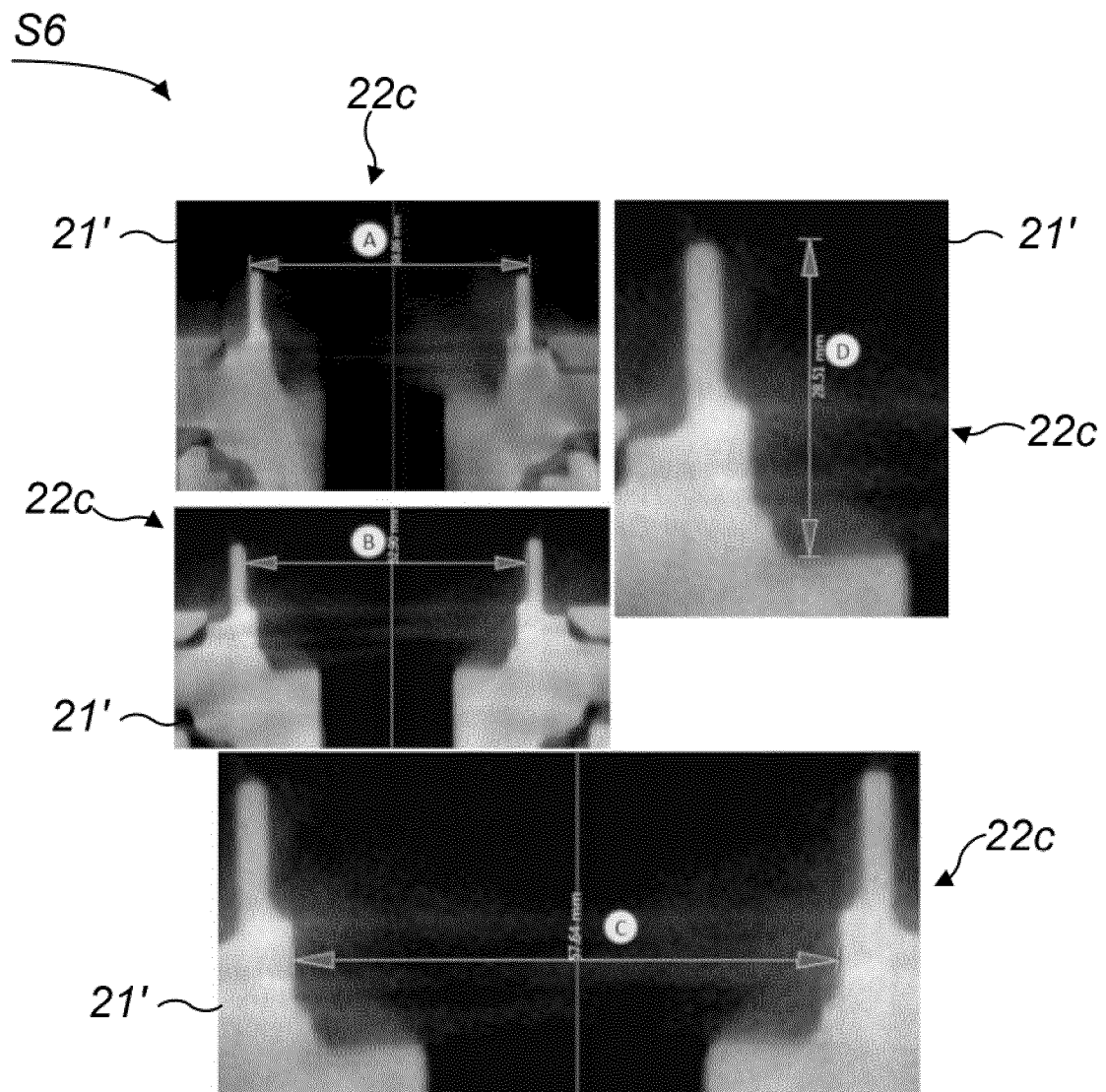


...



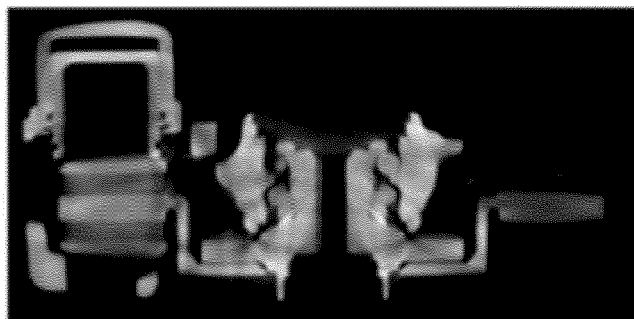
6/10

ФИГ.7

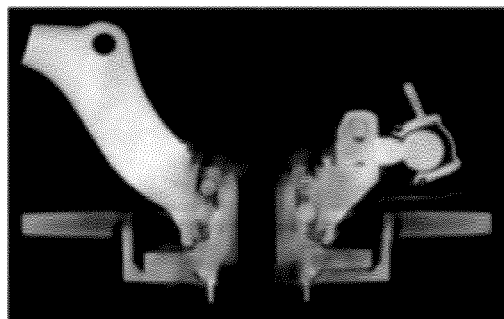


ФИГ.8

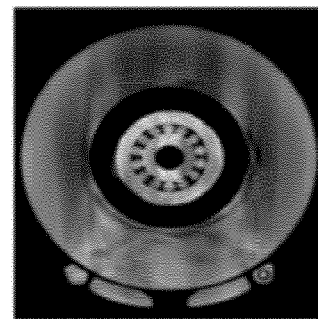
S7



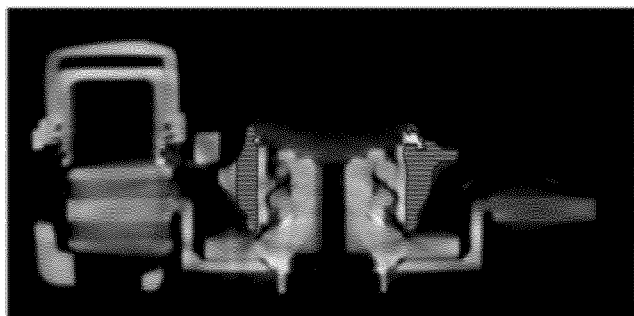
a1



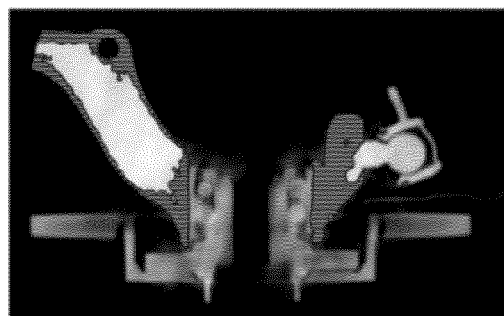
a2



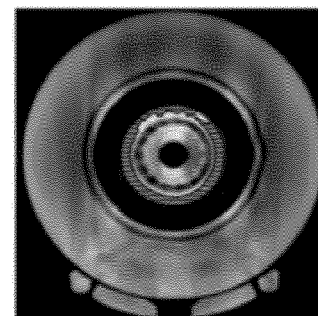
a3



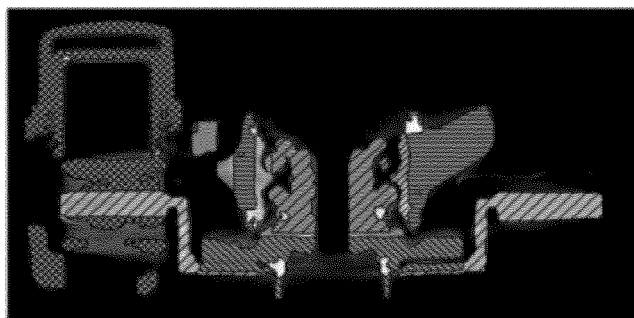
b1



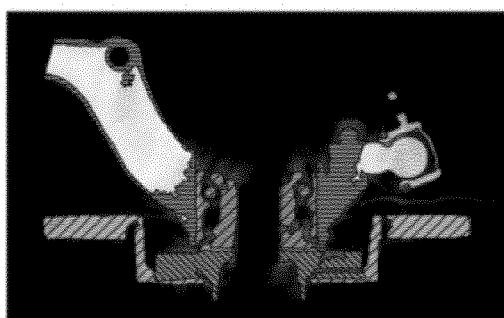
b2



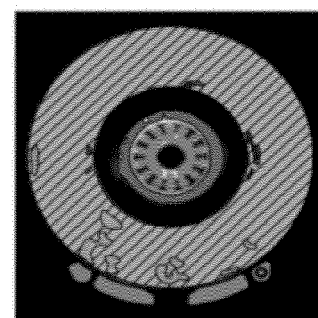
b3



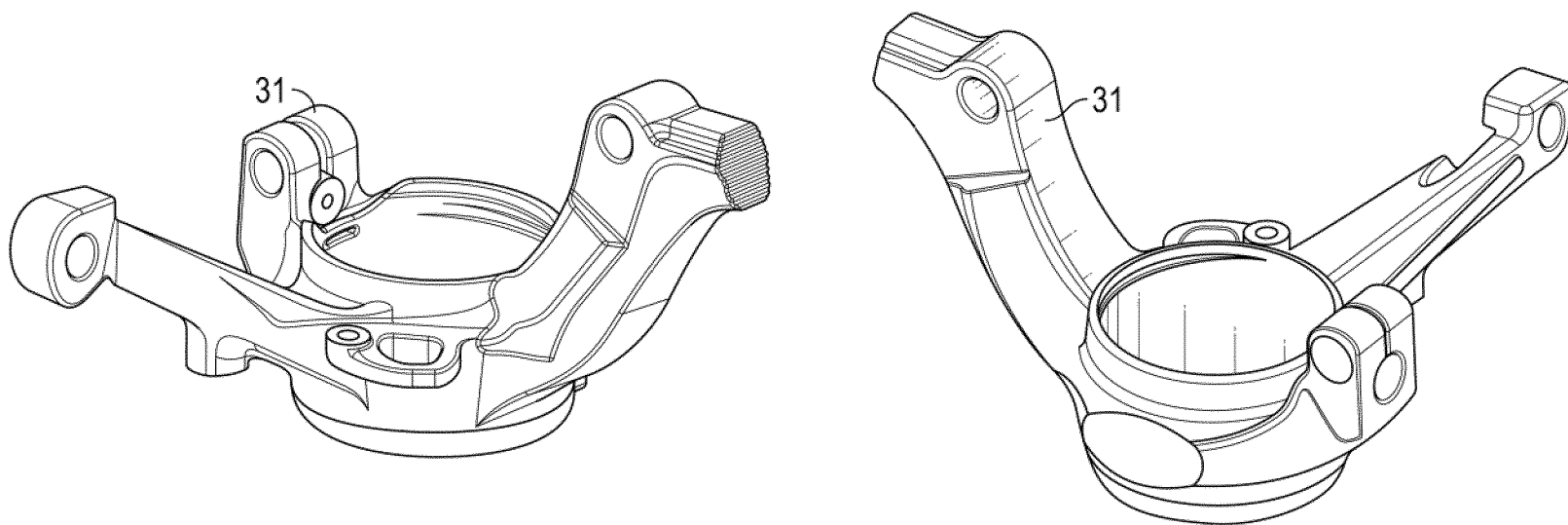
c1



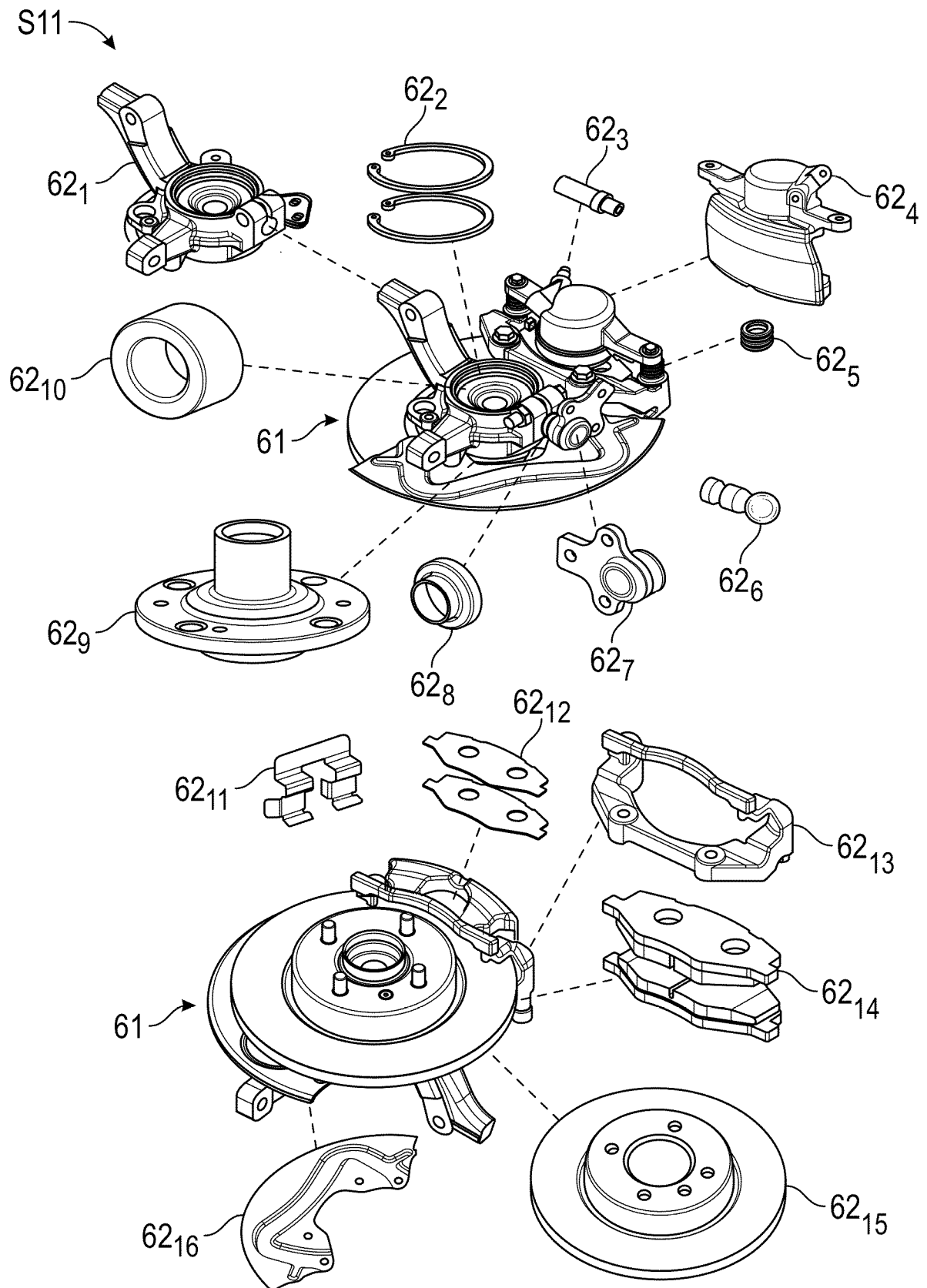
c2



c3



ФИГ.10



ФИГ.11