

(19)



Евразийское
патентное
ведомство

(21) 202290850

(13) A1

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ

(43) Дата публикации заявки
2022.08.11

(51) Int. Cl. G06T 7/187 (2017.01)
G06T 7/11 (2017.01)
A61B 8/08 (2006.01)
G06N 3/08 (2006.01)

(22) Дата подачи заявки
2020.09.11

(54) СИСТЕМЫ И СПОСОБЫ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ МАРКИРОВКИ И ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

(31) 62/899,554

(72) Изобретатель:

(32) 2019.09.12

Лу Аллен, Кук Мэттью, Айинде
Бабаджиде, Пагулатос Николаос,
Паилоор Рамачандра (US)

(33) US

(86) PCT/US2020/050536

(87) WO 2021/050976 2021.03.18

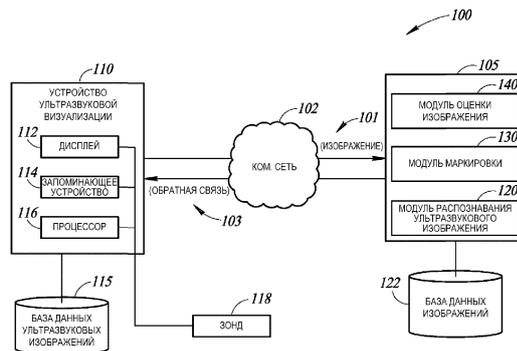
(74) Представитель:

(71) Заявитель:

ЭКОНАУС, ИНК. (US)

Медведев В.Н. (RU)

(57) Предложены системы и способы автоматизированной маркировки и оценки качества ультразвуковых изображений. Ультразвуковая система включает в себя устройство ультразвуковой визуализации, выполненное с возможностью получения ультразвуковых изображений пациента. Модуль распознавания и маркировки анатомической структуры принимает полученные ультразвуковые изображения с устройства ультразвуковой визуализации и автоматически распознает анатомические структуры в полученных ультразвуковых изображениях. Модуль распознавания и маркировки анатомической структуры автоматически маркирует анатомические структуры на изображениях информацией, которая идентифицирует анатомические структуры. Полученные ультразвуковые изображения и маркированные анатомические структуры отображаются на дисплее устройства ультразвуковой визуализации.



A1

202290850

202290850

A1

ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

2420-573578EA/061

СИСТЕМЫ И СПОСОБЫ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ МАРКИРОВКИ И ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Предпосылки создания изобретения

Область техники

Настоящее изобретение в целом относится к системам и способам ультразвуковой визуализации и, в частности, к сетям на основе искусственного интеллекта для ультразвуковой визуализации и оценке ультразвуковых изображений, а также системам и способам автоматического распознавания и маркировки анатомических структур в полученных ультразвуковых изображениях и для оценки качества полученных ультразвуковых изображений.

Описание предшествующего уровня техники

Ультразвуковая визуализация обычно выполняется в клинических условиях обученными экспертами по ультразвуковой визуализации. Для диагностической ультразвуковой визуализации конкретные проекции органа или другого тканевого или органического элемента (например, текучие среды, кости, суставы и т. п.) являются клинически значимыми. Такие проекции могут быть predeterminedены клиническими стандартами в виде проекций, которые должны быть захвачены специалистом по ультразвуковым исследованиям, в зависимости от органа-мишени, диагностической цели и т. п.

Качество полученных ультразвуковых изображений варьируется в зависимости от множества факторов, включая, например, расположение зонда, параметры визуализации (*например*, глубина, сила и т. д.) и так далее. Для клинического применения (*например*, для диагностики) ультразвуковые изображения обычно должны иметь подходящее качество изображения. Вообще, клиническим специалистам нужно значительное обучение для оценки диагностического качества ультразвуковых изображений. Такие изображения могут быть получены в режиме реального времени во время захвата изображения или могут быть получены ранее. В обоих случаях клинические специалисты должны понимать уровень диагностического качества ультразвуковых изображений. Аналогичным образом, в обстановке обучения и тренингов специалисты по ультразвуковым исследованиям должны оценить диагностическое качество изображений, полученных студентами и новыми пользователями, и это занимает у них очень много времени.

Кроме того, для клинических медицинских работников, как правило, требуется значительная подготовка для распознавания анатомических структур, присутствующих в ультразвуковом изображении. Это особенно сложно во время захвата ультразвукового изображения в реальном времени, в течение которого ультразвуковые изображения непрерывно меняются в режиме реального времени, когда положение и ориентация зонда перемещаются относительно представляющего интерес органа.

Хотя традиционные системы ультразвуковой визуализации могут подходить для

большинства пациентов в лечебном учреждении или аналогичных клинических условиях, такие системы требуют значительной подготовки для работы и надлежащего захвата клинически желаемых проекций. Это повышает общую стоимость такой ультразвуковой визуализации и дополнительно ограничивает доступность ультразвуковой визуализации пациентам, поскольку только хорошо обученные специалисты могут надлежащим образом управлять традиционными устройствами ультразвуковой визуализации.

Краткое изложение сущности изобретения

В настоящем изобретении предложены системы и способы, которые облегчают автоматическую разметку ультразвуковых изображений и автоматическую оценку качества ультразвуковых изображений. В частности, системы и способы, предложенные в настоящем документе, пригодны для распознавания анатомических структур в полученных ультразвуковых изображениях и для маркировки распознанных анатомических структур информацией, которая идентифицирует анатомические структуры. Метки могут отображаться на экране устройства вместе с полученным ультразвуковым изображением, например, метки могут быть наложены на ультразвуковое изображение в положениях или областях, которые соответствуют положениям или областям распознанных анатомических структур. Кроме того, системы и способы, предложенные в настоящем документе, пригодны для автоматической оценки качества полученных ультразвуковых изображений, а оценка может отображаться или иным образом быть представлена пользователю. В некоторых вариантах осуществления оценка может применяться, чтобы помочь пользователю в получении изображений более высокого качества, таких как ультразвуковых изображений, представляя клинически требуемую проекцию органа или другой части тела.

В различных вариантах осуществления, методики машинного обучения применяются для автоматической оценки качества диагностики ультразвуковых изображений, что решает проблемы: (i) новых и неопытных пользователей, не разбирающихся в диагностическом качестве изображений во время получения, и (ii) квалифицированных инструкторов, которые должны тратить значительное количество времени на оценку диагностического качества изображений, полученных новыми/неопытными пользователями. В вариантах осуществления, предложенных в настоящем документе, применяются усовершенствованные подходы к машинному обучению для автоматической оценки диагностического качества ультразвуковых изображений, причем оценка может быть основана на общепризнанных шкалах качества изображения или критериях, предоставленных клиническим сообществом.

В различных вариантах осуществления проблема правильной идентификации анатомических структур в ультразвуковых изображениях решается путем применения алгоритмов машинного обучения для автоматического выполнения распознавания и маркировки таких анатомических структур либо в режиме реального времени во время получения, либо после него, либо в обоих случаях. Усовершенствованные подходы к машинному обучению применяют в различных вариантах осуществления не только для

распознавания ключевых анатомических структур на изображении, но и для определения их локализации, *т. е.* для определения положения в изображении, где присутствует каждая анатомическая структура.

По меньшей мере в одном варианте осуществления предложена ультразвуковая система, которая включает в себя устройство ультразвуковой визуализации и схему распознавания и маркировки анатомической структуры. Устройство ультразвуковой визуализации получает ультразвуковые изображения пациента. Схема распознавания и маркировки анатомической структуры принимает полученные ультразвуковые изображения, автоматически распознает одну или более анатомических структур в принятых ультразвуковых изображениях и автоматически маркирует одну или более анатомических структур на изображениях информацией, которая идентифицирует одну или более анатомических структур. Устройства ультразвуковой визуализации содержат дисплей, который отображает полученные ультразвуковые изображения и одну или более маркированных анатомических структур.

По меньшей мере в одном варианте осуществления предложен способ, включающий в себя: прием ультразвуковых изображений, полученных посредством устройства ультразвуковой визуализации с помощью схемы распознавания и маркировки анатомической структуры; автоматическое распознавание одной или более анатомических структур в принятых ультразвуковых изображениях с помощью схемы распознавания и маркировки анатомической структуры; автоматическую маркировку одной или более анатомических структур в полученных ультразвуковых изображениях информацией, идентифицирующей одну или более анатомических структур с помощью схемы распознавания и разметки анатомической структуры; и отображение полученных ультразвуковых изображений и одной или более маркированных анатомических структур.

По меньшей мере в одном варианте осуществления ультразвуковая система включает в себя схему оценки ультразвукового изображения, выполненную с возможностью приема ультразвуковых изображений от устройства ультразвуковой визуализации и на автоматическую оценку качества изображения полученных ультразвуковых изображений. Включает в себя дисплей, выполненный с возможностью одновременного отображения полученных ультразвуковых изображений и индикации оценки качества изображения.

Краткое описание некоторых видов графических материалов

На фигуре 1 представлена блок-схема, иллюстрирующая автоматизированную систему маркировки и оценки качества ультразвуковых изображений в соответствии с одним или более вариантами осуществления настоящего изобретения.

На фигуре 2 представлена блок-схема, иллюстрирующая обучение схемы машинного обучения системы, показанной на фигуре 1, в соответствии с одним или более вариантами осуществления настоящего изобретения.

На фигуре 3 представлена блок-схема, иллюстрирующая нейронную сеть, которая может быть реализована посредством схемы машинного обучения в соответствии с одним

или более вариантами осуществления настоящего изобретения.

На фигуре 4 представлено схематическое изображение устройства ультразвуковой визуализации в соответствии с одним или более вариантами осуществления настоящего изобретения.

На фигуре 5 представлена проекция, иллюстрирующая автоматически маркированное ультразвуковое изображение в соответствии с одним или более вариантами осуществления настоящего изобретения. и

На фигурах 6А и 6В представлены проекции, иллюстрирующие ультразвуковые изображения, включающие в себя оценки, указывающие на качество ультразвуковых изображений в соответствии с одним или более вариантами осуществления настоящего изобретения.

Подробное описание

В настоящем изобретении представлены несколько вариантов осуществления систем и способов автоматической маркировки и оценки качества ультразвуковых изображений, а также системы и способы распознавания ультразвуковых изображений. Системы и способы, предложенные в настоящем документе, могут быть особенно полезны для ультразвуковой визуализации, выполняемой неопытными специалистами по ультразвуковым исследованиям и/или для ультразвуковой визуализации с помощью портативного или мобильного устройства для ультразвуковой визуализации, которая может быть выполнена в нетрадиционных клинических условиях. Применяя подходы искусственного интеллекта, системы и способы, предложенные в настоящем документе, способны автоматически распознавать и маркировать анатомические структуры в пределах полученных ультразвуковых изображений. Метки могут отображаться с ультразвуковым изображением, *например*, наложенными на соответствующие анатомические структуры на изображении. Подходы искусственного интеллекта также применяются в системах и способах, предложенных в настоящем документе, для автоматической оценки качества полученных ультразвуковых изображений, а в некоторых вариантах осуществления определенная оценка качества изображения может применяться для направления пользователя к получению конкретного ультразвукового изображения, такого как конкретная клинически желаемая или стандартная проекция.

В различных вариантах осуществления системы и способы, предложенные в настоящем документе, могут дополнительно применяться для определения того, точно ли полученные ультразвуковые изображения изображают или представляют желаемую проекцию органа пациента или других тканей, часть тела или представляющую интерес область у пациента.

Системы и способы, предложенные в настоящем документе, могут предоставлять пользователю обратную связь, например, для указания определенного качества полученных ультразвуковых изображений, а также для указания того, была ли захвачена желаемая проекция органа пациента, других тканей или части тела. В некоторых вариантах осуществления ультразвуковые изображения отображаются вместе с метками,

которые наносят на распознанные анатомические структуры в ультразвуковых изображениях.

На фигуре 1 представлена блок-схема автоматизированной системы 100 маркировки и оценки качества ультразвуковых изображений (которая может упоминаться в настоящем документе как ультразвуковая система 100) в соответствии с вариантами осуществления настоящего изобретения. Как показано на фигуре 1, ультразвуковая система 100 включает в себя устройство 110 ультразвуковой визуализации, коммуникационную сеть 102, схему 105 машинного обучения и базу данных 122 изображений. Каждый из них может быть включен в одно ультразвуковое устройство, такое как ручное или портативное устройство; или может представлять собой множество устройств, функционально соединенных или выполненных с возможностью соединения друг с другом. Как будет более подробно описано в данном документе схема 105 машинного обучения может включать в себя модуль 120 распознавания ультразвукового изображения, модуль 130 распознавания и маркировки анатомической структуры и модуль 140 оценки ультразвукового изображения, каждый из которых может включать в себя программируемую и/или аппаратную схему, выполненную с возможностью выполнения функций или действий соответствующих модулей, как описано в настоящем документе.

Устройство 110 ультразвуковой визуализации представляет собой любое ультразвуковое устройство, выполненное с возможностью получения ультразвуковых изображений пациента и может по крайней мере в некоторых вариантах осуществления представлять собой, например, портативное устройство ультразвуковой визуализации. Устройство 110 ультразвуковой визуализации может включать в себя дисплей 112, память 114 и один или более процессоров 116. Устройство 110 ультразвуковой визуализации функционально связано с ультразвуковым зондом 118.

Запоминающее устройство 114 может представлять собой или включать в себя любой машиночитаемый носитель данных, включая, например, постоянное запоминающее устройство (ПЗУ), оперативное запоминающее устройство (ОЗУ), флэш-память, жесткий диск, оптическое запоминающее устройство, магнитное запоминающее устройство, электрически стираемое программируемое постоянное запоминающее устройство (ЭППЗУ), органические носители данных и т. п.

Процессор 116 может представлять собой любой компьютерный процессор, выполненный с возможностью выполнения команд (*например*, хранящихся в запоминающем устройстве 114) для выполнения функций устройства 110 ультразвуковой визуализации, как описано в настоящем документе.

Ультразвуковой зонд 118 приводится в действие посредством устройства 110 ультразвуковой визуализации для передачи сигналов в целевую область у пациента и приема эхо-сигналов, возвращающихся из целевой области в ответ на передаваемые сигналы. Во время работы пользователь ультразвукового устройства 110 может удерживать зонд 118 в таком положении и под таким углом по отношению к телу

пациента, чтобы получить желаемое ультразвуковое изображение. Сигналы, полученные зондом (*т. е.* эхо-сигналы) передаются в устройство 110 ультразвуковой визуализации, и могут формировать, или быть обработаны, чтобы сформировать, ультразвуковое изображение целевой области пациента. Кроме того, ультразвуковые изображения могут быть предоставлены на дисплее 112, который может отображать ультразвуковые изображения и/или любую другую соответствующую информацию пользователю.

Ультразвуковые изображения, полученные устройством 110 ультразвуковой визуализации, могут быть переданы в схему 105 машинного обучения посредством коммуникационной сети 102. Ультразвуковые изображения из устройства 110 ультразвуковой визуализации предоставляются в схему 105 машинного обучения, как показано ссылочной позицией 101. Коммуникационная сеть 102 может применять один или более протоколов для обмена данными посредством одной или более физических сетей, включая локальные сети, беспроводные сети, специальные линии, внутрикорпоративные сети, Интернет и т. п.

В одном или более вариантах осуществления схема 105 машинного обучения (включающая в себя, например, модуль 120 распознавания ультразвукового изображения, модуль 130 распознавания и маркировки анатомических структур и модуль 140 оценки ультразвукового изображения) может быть обеспечена в устройстве 110 ультразвуковой визуализации, или локальная копия схемы 105 машинного обучения и/или информация об ультразвуковых изображениях, хранящаяся в базе данных 122 изображений, может содержаться внутри устройства 110 ультразвуковой визуализации, при этом устройство 110 ультразвуковой визуализации имеет доступ к удаленно расположенной (например, сохраненной на одном или более серверных компьютерах или в «облаке») схеме 105 машинного обучения.

Схема 105 машинного обучения может представлять собой или включать в себя любую электрическую схему, выполненную возможностью выполнения описанных в настоящем документе способов распознавания ультразвуковых изображений, маркировки изображений и оценки изображений. В некоторых вариантах осуществления схема 105 машинного обучения может включать в себя или выполняться компьютерным процессором, микропроцессором, микроконтроллером и т. п., выполненным с возможностью выполнения различных функций и операций, описанных в настоящем документе в отношении схемы 105 машинного обучения. Например, схема 105 машинного обучения может быть выполнена компьютерным процессором, избирательно активируемым или перенастроенным хранящейся компьютерной программой, или может представлять собой специально сконструированную вычислительную платформу для выполнения функций и операций, описанных в настоящем документе. В некоторых вариантах осуществления схема 105 машинного обучения может быть выполнена с возможностью выполнения программных команд, хранящихся в любом машиночитаемом носителе данных, включая, например, постоянное запоминающее устройство (ПЗУ), оперативное запоминающее устройство (ОЗУ), флэш-память, жесткий диск, оптическое

запоминающее устройство, магнитное запоминающее устройство, электрически стираемое программируемое постоянное запоминающее устройство (ЭПЗУ), органические носители данных и т. п.

Схема 105 машинного обучения принимает ультразвуковые изображения, полученные от устройства 110 ультразвуковой визуализации, и автоматически оценивает качество каждого из полученных ультразвуковых изображений и автоматически маркирует одну или более анатомических структур в принятых ультразвуковых изображениях. Например, в некоторых вариантах осуществления изобретения модуль 130 распознавания и маркировки анатомической структуры (который может быть включен в часть схемы 105 машинного обучения) автоматически распознает анатомические структуры в ультразвуковых изображениях и автоматически связывает метки с распознанными анатомическими структурами. В некоторых вариантах осуществления изобретения показаны метки, связанные с распознанными анатомическими структурами, (*например*, на дисплее 112) наложены на ультразвуковое изображение или встроены в него в области, в которой показаны соответствующие анатомические структуры.

В некоторых вариантах осуществления изобретения модуль 140 оценки ультразвукового изображения (который может быть включен как часть схемы 105 машинного обучения) автоматически оценивает качество изображения для каждого из полученных ультразвуковых изображений.

В некоторых вариантах осуществления изобретения модуль 120 распознавания ультразвукового изображения (который может быть включен как часть схемы 105 машинного обучения) автоматически определяет, представляет ли одно или более из полученных ультразвуковых изображений клинически желаемую проекцию органа или другого аспекта, области или части тела пациента.

Каждый из модулей 120 распознавания ультразвукового изображения, модуля 130 распознавания и маркировки анатомической структуры и модуля 140 оценки ультразвукового изображения, может быть реализован с помощью вычислительной системы, которая применяет искусственный интеллект, на основании базы данных 122 изображений, для выполнения функций этих модулей, как описано в настоящем документе (*например*, определение того, представляют ли полученные ультразвуковые изображения клинически желаемую проекцию, распознаны и отмечены ли анатомические структуры на ультразвуковых изображениях и оценено ли качество ультразвуковых изображений). Некоторые или все функции модуля 120 распознавания ультразвукового изображения, модуля 130 распознавания и маркировки анатомической структуры и модуля 140 оценки ультразвукового изображения, описанные в настоящем документе, могут выполняться автоматически модулем 120 распознавания ультразвукового изображения, модулем 130 распознавания и маркировки анатомической структуры и модулем 140 оценки ультразвукового изображения, например, в ответ на прием полученных ультразвуковых изображений.

Термин «искусственный интеллект» в настоящем документе применяется для

широкого описания любых вычислительных систем и способов, которые могут усваивать знания (*например*, на основе обучающих данных) и применять такие знания для адаптации своих подходов к решению одной или более проблем. Машины искусственного интеллекта могут применять, например, нейронную сеть, глубинное обучение, сверточную нейронную сеть и Байесовские способы машинного обучения, такие как распознавание изображений, распознавание и метки анатомической структуры, а также оценка качества изображения. Кроме того, искусственный интеллект может включать в себя одну или комбинацию следующих вычислительных методов: ограничивающая программа, нечеткая логика, классификация, традиционный искусственный интеллект, символьная манипуляция, теория нечетких множеств, эволюционное вычисление, кибернетика, анализ данных, приблизительные рассуждения, оптимизация без производных, деревья принятия решения и/или мягкие вычисления. При применении одного или более вычислительно-интеллектуальных способов схема 105 машинного обучения (*например*, включая модуль 120 распознавания ультразвукового изображения, модуль 130 распознавания и маркировки анатомической структуры и модуль 140 оценки ультразвукового изображения) может научиться адаптироваться в неизвестной и/или изменяющейся среде для лучшей производительности.

База данных 122 изображений может включать в себя множество информации, облегчающей анализ изображения в отношении принятых ультразвуковых изображений, посредством модуля 120 распознавания ультразвукового изображения, модуля 130 распознавания и маркировки анатомической структуры и модуля 140 оценки ультразвукового изображения.

В некоторых вариантах осуществления изобретения база данных 122 изображений может содержать информацию, относящуюся к различным изображениям проекций различных органов. Например, база данных 122 изображений может включать в себя информацию, связанную с клинически стандартными или желаемыми проекциями сердца. Клинически стандартные проекции сердца могут включать в себя, например, надгрудинную, подреберную, парастернальную проекции по длинной и короткой осям, апикальную двухкамерную, апикальную трехкамерную, апикальную четырехкамерную и апикальную пятикамерную проекции. Кроме того, информация, связанная с клинически стандартными видами, может представлять собой информацию, связанную с трехмерной проекцией, двухмерной проекцией в поперечном сечении и/или набором двухмерных проекций в поперечном сечении.

База данных 122 изображений может храниться в любом машиночитаемом носителе данных, доступном для схемы 105 машинного обучения, включая, например, любой из модуля 120 распознавания ультразвуковой изображения, модуля 130 распознавания и маркировки анатомической структуры и модуля 140 оценки ультразвукового изображения.

На фигуре 2 представлена блок-схема, иллюстрирующая обучение схемы 105 машинного обучения в соответствии с одним или более вариантами осуществления. В

различных вариантах осуществления изобретения обучение схемы 105 машинного обучения может включать в себя отдельное или одновременное обучение каждого из модуля 120 распознавания ультразвукового изображения, модуля 130 распознавания и маркировки анатомической структуры и модуля 140 оценки ультразвукового изображения. Более того, в некоторых вариантах осуществления каждый из модуля 120 распознавания ультразвукового изображения, модуля 130 распознавания и маркировки ультразвуковой структуры и модуля 140 оценки ультразвукового изображения, может быть реализован в виде отдельных моделей машинного обучения. А в других вариантах осуществления некоторые или все из модуля 120 распознавания ультразвукового изображения, модуля 130 распознавания и маркировки анатомической структуры и модуля 140 оценки ультразвукового изображения, могут быть реализованы в одной и той же модели машинного обучения.

Схема 105 машинного обучения может быть обучена на основе обучающих изображений 210. Обучающие изображения 210 могут включать в себя любую информацию об ультразвуковом изображении. Например, обучающие изображения 210 могут включать в себя информацию об изображении, применяемую для обучения модуля 120 распознавания ультразвукового изображения, такую как множество данных об ультразвуковом изображении, связанных с известными проекциями органа, такого как сердце. В качестве дополнительного примера обучающие изображения 210 могут представлять собой клинически желаемые изображениями, *например*, надгрудинные проекции сердца. В таком случае обучающие изображения 210 могут представлять собой ультразвуковые изображения, которые были предварительно определены (*например*, лечащим врачом) в качестве корректного представления клинически желаемой надгрудинной проекции сердца. Каждое такое обучающее изображение 210 может иметь несколько различных характеристик (*например*, изображения более высокого качества, изображения более низкого качества, размытые изображения, изображения, полученные под слегка разными углами и т. д.), однако каждое такое обучающее изображение 210 может быть предварительно определено как корректное представление клинически желаемой проекции сердца или другой анатомической структуры.

Более того, обучающие изображения 210 могут включать в себя не только информацию об изображении, связанную с клинически стандартными или желаемыми проекциями, но также могут включать информацию об изображении, связанную с неклинически стандартными или желаемыми проекциями. Соответственно, модуль 120 распознавания ультразвукового изображения может принимать, например, проекцию сердца, которая не является репрезентативной для любой конкретной клинически желаемой проекции (*например*, надгрудинную, подреберную, парастернальную проекции по длинной и короткой осям, апикальную двухкамерную, апикальную трехкамерную, апикальную четырехкамерную и апикальную пятикамерную проекции). В таком случае модуль 120 распознавания ультразвукового изображения может, тем не менее, быть обучен распознаванию изображения как проекции сердца, и может дополнительно

распознавать изображение, которое является изображением где-то между, например, апикальной двухкамерной проекцией и апикальной трехкамерной проекцией. Клинически стандартное изображение 3-камерной апикальной проекции обычно получают, например, путем вращения зонда ультразвуковой визуализации приблизительно на 60° против часовой стрелки относительно апикальной двухкамерной проекции. Ультразвуковые изображения, полученные с помощью зонда под углом вращения где-то между, например, 5° и 55° против часовой стрелки, учитывая апикальную двухкамерную проекцию, могут быть определены как не представляющие клинически желаемые проекции сердца. Модуль 120 распознавания ультразвукового изображения может быть обучен обучающим изображениям 210, демонстрирующими множество известных, но не клинически желаемых изображений сердца (например, где-то между, например, апикальной двухкамерной проекцией и апикальной трехкамерной проекцией) и, таким образом, может распознавать такие проекции (*например*, модуль распознавания ультразвукового изображения может распознавать проекцию, представляющую собой угол наклона зонда 118 на 35° против часовой стрелки относительно апикальной двухкамерной проекции). В некоторых вариантах осуществления изобретения при распознавании ультразвукового изображения, содержащего известный неклинически желаемый вид, пользователю может быть предоставлено указание переместить ультразвуковой зонд таким образом, чтобы в конечном итоге получить клинически желаемую проекцию.

В некоторых вариантах осуществления обучающие изображения 210 могут включать в себя информацию об изображении, применяемую для обучения модуля 130 распознавания и маркировки анатомической структуры. Например, обучающие изображения 210 могут включать в себя множество информации об ультразвуковом изображении, связанной с известными анатомическими структурами, такими как конкретные органы (*например*, сердце) или конкретные части органов (*например*, левый желудочек, правый желудочек, левое предсердие, правое предсердие, митральный клапан, трехстворчатый клапан, клапан аорты и т. д.). Кроме того, обучающие изображения 210 могут включать в себя информацию об изображении, связанную с такими известными анатомическими структурами с различных проекций. Анатомические структуры могут выглядеть очень по-разному среди разных проекций, *например*, левый желудочек может выглядеть отличным от ультразвуковых изображений, полученных с различных проекций (*например*, апикальной проекции LV, парастернальной проекции LV по длинной оси, парастернальной проекции LV по длинной оси). Следовательно, ультразвуковые изображения, представляющие известные анатомические структуры (*например*, левый желудочек) в различных проекциях могут быть представлены в виде обучающих изображений 210, которые можно применять для обучения модуля 130 распознавания и маркировки анатомической структуры для распознавания не только анатомической структуры, но и конкретной проекции, предоставленной ультразвуковым изображением.

В некоторых вариантах осуществления изобретения обучающие изображения 210 могут включать в себя информацию об изображении, применяемую для обучения модуля

140 оценки ультразвукового изображения. Например, обучающие изображения 210 могут включать в себя множество ультразвуковых изображений различного качества (*например*, изображения более высокого качества, изображения более низкого качества, размытые изображения и т. д.). Качество обучающих изображений 210, применяемых для обучения модуля 140 оценки ультразвукового изображения, может быть оценено, например, специалистом, таким как врач или другой клиницист. Характеристики обучающих изображений 210 могут быть оценены на основе любой системы оценки. В некоторых вариантах осуществления изобретения качество обучающих изображений 210 могут быть оценено на основе стандартной оценочной системы, такой как таблица оценок «Американского колледжа врачей скорой помощи» (АСЕР - англ.: American College of Emergency Physicians), представленная в таблице 1 ниже. Каждое из обучающих изображений 210 может быть обозначено конкретной оценкой (*например*, от 1 до 5) врачом или другим клиницистом, при этом обозначенная оценка, представляет качество обучающего изображения 210.

Критерии оценки	1	2	3	4	5
Таблица оценки качества изображений АСЕР	Не распознаваемые структуры, не могут быть собраны объективные данные	Минимально распознаваемые структуры, недостаточно для диагностики	Минимальные критерии для диагностики соблюдены, структуры распознаваемы, но с некоторыми техническими или другими недостатками	Минимальные критерии для диагностики соблюдены, все структуры хорошо визуализированы, и диагностика легко поддерживается	Минимальные критерии для диагностики соблюдены, все структуры визуализированы с превосходным качеством изображения, диагностика полностью поддерживается

[Таблица 1: Таблица оценки качества изображений АСЕР]

Другие входные обучающие данные 220 могут быть дополнительно обеспечены в модуле 120 распознавания ультразвукового изображения для обучения. Другие входные обучающие данные 220 могут включать в себя, например, вводимые вручную входные данные для регулировки или иного управления моделью распознавания изображений, разработанной в модуле 120 распознавания изображений, посредством процесса обучения.

Применение обучающих изображений 210, схема 105 машинного обучения

(включая модуль 120 распознавания ультразвукового изображения, модуль 130 распознавания и маркировки анатомической структуры и модуль 140 оценки ультразвукового изображения) может реализовывать процесс итеративного обучения. Обучение может быть основано на широком спектре правил обучения или обучающих алгоритмах. Например, правила обучения могут включать в себя одно или более из следующего: алгоритм обратного распространения, рекуррентное обучение в реальном времени, постструктурное обучение, контролируемое обучение, интерполяция, взвешенная сумма, усиленное обучение, обучение на временных разностях, неконтролируемое обучение и/или записываемое обучение.

Обучающий алгоритм обратного распространения представляет собой пример способа обучения искусственных нейронных сетей, который может применяться, например, с искусственной нейронной сетью 300, показанной на фигуре 3. Обратное распространение обычно включает две фазы: распространение и обновление веса. В фазе распространения вводят входной обучающий шаблон, распространяющийся через нейронную сеть для генерации выходной активационной функции распространения. Затем результат выходной активационной функции распространения проходит обратно через нейронную сеть с применением мишени обучающего шаблона для создания дельты (*m. e.*, разности между входными и выходными значениями) всех выходных и скрытых нейронов. В фазе обновления веса для каждого весового синапса, как правило, выполняют следующие стадии: 1. Умножение его выходной дельты и входной активации, чтобы получить градиент веса; 2. Вычитание отношения (процентного значения) градиента из веса. Фазы распространения и обновления веса повторяют по желанию до тех пор, пока производительность сети не будет удовлетворительной.

В результате обучения модуль 120 распознавания ультразвукового изображения, модуль 130 распознавания и маркировки анатомической структуры и модуль 140 оценки ультразвукового изображения могут научиться изменять свое поведение в ответ на обучающие изображения 210 и получать или генерировать данные 230 ультразвукового изображения. Данные 230 ультразвукового изображения могут представлять собой любую информацию, на основе которой модуль 120 распознавания ультразвукового изображения, модуль 130 распознавания и маркировки анатомической структуры и модуль 140 оценки ультразвукового изображения могут определять соответствующий ответ на новые данные или ситуации. Например, данные 230 ультразвукового изображения могут представлять собой взаимосвязь между ультразвуковыми изображениями и одним или более проекциями органа (*например*, одну или более функций, которые описывают одну или более проекций органа на основе параметров ультразвукового изображения, коэффициентов, весовой информации, параметров, связанных с иллюстративной нейронной сетью, показанной на фигуре 3, или любой такой переменной), которые могут применяться модулем 120 распознавания ультразвукового изображения для распознавания ультразвуковых изображений. Кроме того, данные 230 ультразвукового изображения могут представлять собой взаимосвязь между полученными данными

ультразвукового изображения из множества различных проекций и распознанными анатомическими структурами, представленными в полученных данных ультразвукового изображения. Дополнительно, данные 230 ультразвукового изображения могут представлять собой взаимосвязь между полученными данными ультразвукового изображения и качеством изображения из полученных данных ультразвукового изображения.

Данные 230 ультразвукового изображения могут храниться в базе данных 122 ультразвуковых изображений.

На основании обучающих изображений 210 модуль 120 распознавания ультразвукового изображения, модуль 130 распознавания и маркировки анатомической структуры и модуль 140 оценки ультразвукового изображения могут научиться изменять свое поведение и могут применять данные, содержащиеся в базе данных 122 изображения, для изменения способа выполнения определений указанными модулями относительно новых входных данных, например, данных ультразвукового изображения, принятых от устройства 110 ультразвуковой визуализации.

На фигуре 3 представлена блок-схема, иллюстрирующая один пример искусственной нейронной сети 300, которая может быть реализована посредством схемы 105 машинного обучения в соответствии с одним или более вариантами осуществления. В некоторых вариантах осуществления каждый из модуля 120 распознавания ультразвукового изображения, модуля 130 распознавания и маркировки анатомической структуры и модуля 140 оценки ультразвукового изображения может быть реализован с помощью нейронной сети, такой как нейронная сеть 300, показанная на фигуре 3. Искусственные нейронные сети (ANN - англ.: artificial neural networks) представляют собой модели искусственного интеллекта, которые применяются для оценки или приблизительного определения функций, которые могут зависеть от большого количества входных данных, и которые обычно неизвестны. Такие нейронные сети обычно включают в себя систему взаимосвязанных «нейронов», которые обмениваются информацией между собой. Соединения имеют числовые весовые коэффициенты, которые могут быть настроены на основании опыта, и, таким образом, нейронные сети адаптируются к входным данным и способны к обучению.

Искусственная нейронная сеть 300, показанная на фигуре 3, содержит три слоя: входной слой 310, содержащий входные нейроны i_1 через i_3 , скрытый слой 320, содержащий нейроны h_1 скрытого слоя через h_4 и выходной слой 330, включающий выходные нейроны f_1 и f_2 . Несмотря на то что нейронная сеть 300, показанная на фигуре 3, имеет три слоя, следует понимать, что в нейронную сеть 300 могут быть включены дополнительные слои для достижения оптимального обучения и производительности схемы 105 машинного обучения. Аналогичным образом, нейроны в каждом слое показаны в иллюстративных целях, и следует понимать, что каждый слой может включать в себя больше, даже значительно больше нейронов, чем показано на фигуре 3.

Нейронная сеть 300 может быть обучена путем предоставления обучающих

изображений 210 на входной слой 310. Как отмечалось в соответствии с фигурой 2, обучающие изображения могут включать в себя данные ультразвукового изображения, содержащие широкий спектр известных характеристик, включая, например, различные проекции органов, различные известные анатомические структуры в различных проекциях визуализации, различного качества изображения или оценки и т. д. Посредством обучения нейронная сеть 300 может генерировать и/или модифицировать скрытый слой 320, который представляет собой взвешенные соединения, которые сопоставляют обучающие изображения 210, предоставленные на входном слое 310, с известными выходными данными на выходном слое 330 (*например*, классификация изображения в качестве конкретной проекции сердца, распознавание конкретной анатомической структуры на изображении, классификация изображения, имеющего конкретное качество изображения). Отношения между нейронами входного слоя 310, скрытого слоя 320 и выходного слоя 330, сформированные в ходе обучающего процесса и которые могут включать в себя отношения соединения веса, в настоящем документе обычно упоминаются как «данные ультразвукового изображения» и могут храниться, например, в базе данных 122 ультразвуковых изображений.

После того как нейронная сеть 300 была достаточно обучена, нейронной сети 300 могут быть предоставлены не обучающие ультразвуковые изображения на входном слое 310 (*т. е.*, ультразвуковые изображения пациента, полученные с помощью устройства 110 ультразвуковой визуализации). Применяя данные ультразвуковых изображений, хранящихся в базе данных 122 ультразвуковых изображений (которая может включать в себя, например, взвешенную информацию о соединении между нейронами нейронной сети 300), нейронная сеть 300 может создавать определения относительно принятых данных ультразвукового изображения на выходном слое 330. Например, нейронная сеть 300 может определять, представляют ли полученные ультразвуковые изображения одно или более клинически желаемых или неклинически желаемых проекций органа; может дополнительно распознавать одну или более анатомических структур на полученных ультразвуковых изображениях; может автоматически маркировать распознаваемые анатомические структуры на изображениях; и может дополнительно автоматически определять и назначать оценки качества принятым ультразвуковым изображениям.

Нейронная сеть 300, изображенная на фигуре 3, представлена как только один пример, из различных возможных вариантов осуществления схемы 105 машинного обучения, где применяется искусственный интеллект для создания определения относительно полученных данных ультразвукового изображения. Например, схема 105 машинного обучения (включая один или более из модуля 120 распознавания ультразвукового изображения, модуля 130 распознавания и маркировки анатомической структуры и модуля 140 оценки ультразвукового изображения) может реализовывать любую из нейронных сетей, глубинное обучение, сверточную нейронную сеть и Байесовские способы машинного обучения для выполнения определений относительно полученных ультразвуковых изображений пациента.

Кроме того, модуль 120 распознавания ультразвукового изображения может быть обучен с помощью различных обучающих изображений 210 и/или множества последовательностей обучающих изображений 210 для создания различных определений, относящихся к принятым данным ультразвукового изображения. Например, модуль 120 распознавания ультразвукового изображения может быть обучен или иным образом настроен на определение того, соответствует ли полученное ультразвуковое изображение одному или более клинически стандартным или желаемым проекциям. Кроме того, модуль 120 распознавания ультразвукового изображения может определять, представляет ли полученное ультразвуковое изображение неклинически желаемую проекцию (и может распознавать такую неклинически желаемую проекцию в виде конкретной проекции или угла конкретного органа или других тканей пациента), и может дополнительно определять на основании последовательности принятых ультразвуковых изображений, приближаются ли изображения к клинически желаемой проекции органа или отдаляются от нее. Например, если качество полученных ультразвуковых изображений улучшается от одного изображения к другому (*например*, на основании оценки качества, обеспечиваемой модулем 140 оценки ультразвукового изображения), модуль 120 распознавания ультразвукового изображения может определить, что пользователь движется к получению клинически желаемой проекции органа или другой анатомической структуры. На основании распознавания приближаются ли изображения к клинически желаемой проекции органа или отдаляются от клинически желаемой проекции, и/или на основании распознавания фактически захваченного изображения, система может затем быть настроена на возможность предоставления пользователю обратной связи для того, чтобы помочь пользователю захватить требуемую проекцию органа, например, путем указания направления, в котором пользователь может переместить зонд и/или повернуть на угол, или ориентацию, в которой пользователь может отрегулировать зонд.

Например, как описано выше, модуль 120 распознавания ультразвукового изображения может быть обучен с помощью обучающих изображений 210, демонстрирующих множество известных, но не клинически желаемых проекций сердца (таких как проекции в пределах между апикальным двухкамерным и апикальным трехкамерным проекциями изображения), и, таким образом, может распознавать такие проекции (*например*, модуль 120 распознавания ультразвукового изображения может распознавать проекцию, представляющую собой угол наклона зонда 118 на 35° против часовой стрелки относительно апикальной двухкамерной проекции). Также, модуль 120 распознавания ультразвукового изображения может быть обучен последовательностью распознанных, но не клинически стандартных или желаемых, проекций сердца. Например, модуль 120 распознавания ультразвукового изображения может быть обучен распознавать ультразвуковые изображения, показывая проекцию сердца на каждом градусе с вращением против часовой стрелки от 0° до 60° относительно апикальной двухкамерной проекции (*т. е.*, каждый градус между апикальной двухкамерной и трехкамерной проекциями). Кроме того, модуль 120 распознавания ультразвукового изображения может

быть обучен распознаванию последовательности или прогрессированию таких неклинически желаемых проекций по направлению к клинически желаемой проекции или от нее (*например*, обучающие изображения 210 могут включать в себя последовательность ультразвуковых изображений, отражающую вращение зонда 118 по направлению от апикальной двухкамерной проекции к апикальной трехкамерной проекции и обратно). Таким образом, модуль 120 распознавания ультразвукового изображения может быть обучен распознаванию так, что полученные ультразвуковые изображения, не являющиеся репрезентативным для конкретной клинически желаемой проекции, могут быть постепенно сдвинуты существенно ближе к клинически желаемой проекции или от нее.

Кроме того, модуль 120 распознавания ультразвукового изображения может быть обучен так, чтобы модуль 120 распознавания ультразвукового изображения мог определить, представляют ли полученные ультразвуковые изображения любую из множества клинически желаемых проекций органа. Такие клинически желаемые проекции органа могут включать, например, надгрудинную, подреберную, парастермальную проекции по длинной и короткой осям, апикальную двухкамерную, апикальную трехкамерную, апикальную четырехкамерную и апикальную пятикамерную проекции сердца.

Как показано на фигуре 1, схема 105 машинного обучения (включающая в себя любой из модуля 120 распознавания ультразвукового изображения, модуля 130 распознавания и маркировки анатомической структуры и модуль 140 оценки ультразвукового изображения) может обеспечивать сигнал обратной связи (указанный, например, посредством ссылочной позиции 103) к устройству 110 ультразвуковой визуализации на основании анализа схемой 105 машинного обучения полученных ультразвуковых изображений, как подробно описано ниже.

На фигуре 4 схематически представлено устройство 110 ультразвуковой визуализации в соответствии с одним или более вариантами осуществления. Устройство 110 ультразвуковой визуализации может включать в себя дисплей 112, пользовательский интерфейс 410, содержащий один или более элементов 412 ввода, один или более визуальных элементов 420 обратной связи, звуковой элемент 430 обратной связи и/или тактильный элемент 440 обратной связи.

Пользовательский интерфейс 410 позволяет пользователю управлять или иным образом обмениваться данными с устройством 110 ультразвуковой визуализации. Могут быть предусмотрены различные типы входных данных пользователя, например, посредством элементов 412 пользовательского ввода, которые могут представлять собой кнопки или аналогичные элементы пользовательского ввода. Дополнительно или альтернативно дисплей 112 может представлять собой сенсорный дисплей, а пользовательский ввод может быть принят через дисплей 112. С помощью устройства 110 ультразвуковой визуализации, пользователь может выбрать (*например*, посредством элементов 412 ввода и/или дисплея 112) или иным образом вводить желаемую проекцию органа, которая должна быть визуализирована у пациента. Например, пользователь может

выбрать одну проекцию (*например*, подреберную проекцию сердца) из множества клинически желаемых проекций, которые хранятся в устройстве 110 ультразвуковой визуализации и представлены пользователю. Устройство 110 ультразвуковой визуализации может передавать выбранную проекцию в модуль 120 распознавания ультразвукового изображения, а модуль 120 распознавания ультразвукового изображения может быть выполнен с возможностью определения того, предоставляют ли полученные ультразвуковые изображения выбранную проекцию. Таким образом, модуль 120 распознавания ультразвукового изображения может получать доступ к соответствующим данным ультразвукового изображения (*например*, данным, правилам или взаимосвязям, связанным с подреберной проекцией сердца) в базе данных 122 изображения таким образом, что полученные ультразвуковые изображения могут сравниваться с информацией, соответствующей выбранному изображению, или обрабатываться на ее основе. Альтернативно, пользователь может выбрать режим работы, в котором система направляет пользователя путем захвата одного или ряда стандартных проекций органа, такого как сердце, как описано выше. В таком режиме система может сначала выбрать желаемую проекцию органа, подлежащего визуализации, а затем подтвердить пользователю, когда требуемое изображение захвачено, и/или направлять пользователя к требуемой проекции на основании первоначального захвата изображения. Например, когда модуль 120 распознавания ультразвукового изображения определяет, что полученное ультразвуковое изображение представляет конкретную выбранную проекцию органа, система 100 (*например*, посредством устройства 110 ультразвуковой визуализации) может дать указание пользователю (*например*, посредством визуальной, звуковой или тактильной обратной связи), которое подтверждает получение выбранной проекции. С другой стороны, если модуль 120 распознавания ультразвукового изображения определяет, что полученное ультразвуковое изображение не представляет конкретную выбранную проекцию органа, система 100 может дать указание пользователю (*например*, посредством визуальной, звуковой или тактильной обратной связи), которое направит пользователя к получению выбранной проекции, например, путем указания на движение пользователя зонда 118 для получения выбранной проекции. Индикация движения пользователя зонда 118 может включать, например, указание конкретного направления и/или количества вращательного или поступательного движения зонда 118, чтобы получить выбранную проекцию.

Затем система 100 может повторять этот процесс последовательно для каждого из требуемых стандартных проекций органа, подлежащего визуализации. Таким образом, для каждого из ряда проекций органа, который требуется получить, система 100 может итеративно направлять пользователя к получению конкретной выбранной проекции из ряда проекций и может подтвердить, когда получена каждая выбранная проекция. Альтернативно, в некоторых вариантах осуществления система 100 выполнена с возможностью работы таким образом, чтобы сравнивать любое захваченное изображение с каждым изображением, подлежащему захвату, и подтверждать, когда было захвачено

одно или более из требуемых стандартных проекций, без того, чтобы вначале указать на то, какая проекция была захвачена первой. Например, в некоторых вариантах осуществления вначале не требуется выбрать конкретную проекцию. Вместо этого система 100 может автоматически распознавать, когда конкретная требуемая проекция (*например*, клинически стандартная проекция сердца или т. п.) была получена в ходе сеанса визуализации. После получения конкретной требуемой проекции система 100 (*например*, посредством устройства 110 ультразвуковой визуализации) может автоматически показывать пользователю подтверждение, что желаемая проекция была получена, и пользователь может перейти к исследованию пациента. Аналогичным образом, когда была получена вторая желаемая проекция, система 100 может автоматически показывать пользователю подтверждение, что была получена вторая проекция и т. д. В различных вариантах осуществления система 100 может автоматически хранить ультразвуковые изображения, представляющие желаемые проекции сразу после захвата, например, путем хранения ультразвуковых изображений в базе данных 115 ультразвуковых изображений.

Визуальные элементы 420 обратной связи могут представлять собой любые элементы, которые могут обеспечивать визуальный сигнал пользователю устройства 110 ультразвуковой визуализации, и могут представлять собой, например, одно или более из следующего: световые индикаторы, цвета, формы, значки и т. п., будь то статические или движущиеся. Звуковой элемент 430 обратной связи может представлять собой любой элемент, способный генерировать звуковой сигнал пользователю устройства 110 ультразвуковой визуализации, и может представлять собой, например, динамик для воспроизведения различных тонов или звуков, связанных с отсутствием соответствия и соответствием между захваченным изображением и изображением, подлежащим захвату. Аналогичным образом, тактильный элемент 440 обратной связи может представлять собой любой элемент, способный обеспечивать тактильный сигнал пользователю устройства 110 ультразвуковой визуализации и может представлять собой, например, вибрационное устройство.

Сигналы 103 обратной связи, предоставляемые модулем 120 распознавания ультразвукового изображения, могут указывать на любой из множества результатов, полученных модулем 120 распознавания ультразвукового изображения, в отношении ультразвуковых изображений, полученных от устройства 110 ультразвуковой визуализации.

Например, модуль 120 распознавания ультразвукового изображения может предоставлять сигнал 103 обратной связи, указывающий на то, что текущее или самое последнее полученное ультразвуковое изображение представляет клинически желаемую проекцию органа (*например*, выбранную клинически желаемую проекцию). В следующем примере модуль 120 распознавания ультразвукового изображения может определять, приближаются ли полученные ультразвуковые изображения последовательно к клинически желаемой проекции органа или отдаляются от нее, и обеспечивать сигнал 103

обратной связи, который указывает, приближаются ли полученные ультразвуковые изображения последовательно к клинически желаемой проекции органа или отдаляются от нее, *например*, на основании повышения или снижения качества ультразвуковых изображений модулем 140 оценки ультразвукового изображения или на основании последовательности распознанных изображений или структур, которые, как известно, согласуются с прогрессией изображений, которые указывают на перемещение к клинически желаемой проекции органа или от нее. Этот сигнал обратной связи может включать в себя визуальную или звуковую команду для того, чтобы дать пользователю возможность каким-либо образом перемещать или наклонять зонд, или значок, такой как прямая или изогнутая стрелка(-и), указывающая направление и/или угол перемещения, требуемый зондом, для лучшего подхода к желаемой проекции органа.

Устройство 110 ультразвуковой визуализации принимает сигнал 103 обратной связи, а в ответ может активировать один или более элементов обратной связи (*т. е.* визуальные элементы 420 обратной связи, звуковой элемент 430 обратной связи и/или тактильный элемент 440 обратной связи) для обеспечения эффекта обратной связи пользователю устройства 110 ультразвуковой визуализации. Например, сигнал 103 обратной связи может указывать на то, что текущее или последнее принятое ультразвуковое изображение представляет клинически желаемую проекцию органа. В таком случае эффект обратной связи, обеспечиваемый устройством 110 ультразвуковой визуализации, может включать в себя мигание зеленого индикатора 420а визуального элемента 420 обратной связи, звуковой тон или сигнал от звукового элемента 430 обратной связи и/или вибрационный импульс, обеспечиваемый тактильным элементом 440 обратной связи. Мигающий зеленый индикатор 420а, звуковой тон и/или вибрационный импульс указывает пользователю, что желаемая проекция была получена, и пользователь может, таким образом, сохранить ультразвуковое изображение требуемой проекции (*например*, с помощью одного или более элементов 412 пользовательского ввода) и сохранить изображение в базе данных 115 ультразвуковых изображений.

Дополнительно или альтернативно при определении того, что клинически желаемая проекция органа представлена в полученном ультразвуковом изображении, модуль 120 распознавания ультразвукового изображения может обеспечить (*например*, с помощью сигнала 103 обратной связи), чтобы устройство 110 ультразвуковой визуализации выполнило автоматическое задержание и сохранение ультразвукового изображения в базе данных 115 ультразвуковых изображений. Таблица также может отображаться с соответствующими метками рядом с каждым изображением желаемой проекции, для указания того, была ли желаемая проекция уже захвачена пользователем или пребывает ли желаемое изображение в ожидании охвата для визуализации конкретного пациента. В некоторых вариантах осуществления таблица включает в себя набор ультразвуковых изображений, которые должны быть получены в соответствии с конкретным типом сеанса ультразвуковой визуализации. Набор ультразвуковых изображений может включать в себя, например, множество различных проекций, которые

должны быть получены во время сеанса ультразвуковой визуализации конкретного типа (*например*, сеанс визуализации сердца), такого как одно или более из следующего: надгрудинная, подреберная, парастернальная проекция по длинной и короткой осям, апикальная двухкамерная, апикальная трехкамерная, апикальная четырехкамерная и апикальная пятикамерная позиции сердца. Различные типы сеансов ультразвуковой визуализации могут быть включены в таблицу, такие сеансы как ультразвуковая визуализация или исследования для конкретных патологий (*например*, патологии легких, патологии сердца и т. д.), для конкретных анатомических структур (*например*, легкие, сердце и т. д.) или для любого другого типа сеанса или исследования ультразвуковой визуализации. Каждый из сеансов ультразвуковой визуализации может иметь соответствующий набор желаемых или клинически стандартных проекций, которые должны быть получены, и каждая такая проекция может быть включена в таблицу для конкретного сеанса ультразвуковой визуализации. При получении каждой из набора желаемых или клинически стандартных проекций запись может быть автоматически выполнена в таблице для индикации получения такой проекции.

В вариантах осуществления, где сигнал 103 обратной связи указывает на то, что полученные ультразвуковые изображения последовательно приближаются к желаемой проекции органа или перемещаются от нее, устройство 110 ультразвуковой визуализации может передавать эти данные пользователю, например, путем обеспечения изменения уровня обратной связи, такого как увеличивающаяся (или уменьшающаяся) частота звукового тона, когда получаемое ультразвуковое изображение приближается к желаемой проекции или перемещается от нее; ряд вибрационных импульсов, имеющих увеличивающуюся (или уменьшающуюся) интенсивность, когда получаемое ультразвуковое изображение приближается к желаемой проекции или перемещается от нее; и/или световой сигнал другого цвета или изменение положения световых сигналов, когда получаемое ультразвуковое изображение приближается к желаемой проекции или перемещается от нее (*например*, подсвечивая красные наружные индикаторы 420с, затем желтый промежуточные индикаторы 420b, затем зеленый центральный индикатор 420а, когда полученное ультразвуковое изображение приближается к клинически желаемой проекции).

В некоторых вариантах осуществления изобретения сигнал 103 обратной связи может представлять собой информацию, полученную от модуля 140 оценки ультразвукового изображения или предоставленную им. Например, сигнал 103 обратной связи может указывать на прогнозируемую или установленную оценку полученных ультразвуковых изображений (*например*, оценка от 1 до 5), причем оценка может быть предоставлена пользователю, например, путем отображения оценки вместе с отображаемым ультразвуковым изображением на дисплее 112, или с помощью звукового, визуального, тактильного или другого механизма обратной связи. В некоторых вариантах осуществления изобретения оценка качества изображения, которая может быть представлена посредством сигнала 103 обратной связи, может применяться для

направления пользователя к получению клинически желаемого ультразвукового изображения. Например, сигнал 103 обратной связи может указывать на то, что полученные ультразвуковые изображения имеют плохое или клинически непригодное качество, и пользователь может, таким образом, регулировать или перемещать зонд 118 до получения ультразвуковых изображений подходящего качества изображения.

В некоторых вариантах осуществления прогнозируемая или установленная оценка полученных ультразвуковых изображений, которые определены или иным образом подтверждены для представления определенной проекции анатомической или структуры или органа, может быть автоматически связана с конкретной проекцией и может быть сохранена, например, в таблице.

В некоторых вариантах осуществления сигнал 103 обратной связи может представлять собой информацию, обеспеченную модулем 130 распознавания и маркировки анатомической структуры или модулем 140 оценки ультразвукового изображения в ответ на анализ принятых ультразвуковых изображений с помощью модуля 130 распознавания и маркировки анатомической структуры или модуля 140 оценки ультразвукового изображения. Например, модуль 130 распознавания и маркировки анатомической структуры может распознавать анатомическую структуру в принятых ультразвуковых изображениях и может автоматически предоставлять метку для распознанной анатомической структуры, а метка может отображаться вместе с ультразвуковым изображением, например, на дисплее 112.

На фигуре 5 представлена проекция, иллюстрирующая ультразвуковое изображение 500, включающее в себя метки, которые автоматически связаны с помощью модуля 130 распознавания и маркировки анатомической структуры с анатомическими структурами, распознаваемыми модулем 130 распознавания и маркировки анатомической структуры. Модуль 130 распознавания и маркировки анатомической структуры выполнен с возможностью (*например*, путем обучения) распознавания анатомических структур в принятых ультразвуковых изображениях и локализации распознанных структур, *т. е.*, распознавания или определения местоположения распознанных анатомических структур в ультразвуковых изображениях. Обучение модуля 130 распознавания и маркировки анатомической структуры может быть выполнено, например, как описано в настоящем документе, с помощью ранее полученных ультразвуковых изображений, в которых были идентифицированы, локализованы и маркированы анатомические структуры на изображениях, *например*, с помощью экспертной интерпретации ультразвуковых изображений. Таким образом, модуль 130 распознавания и маркировки анатомической структуры может определять правильное расположение меток, *т. е.* расположить в соответствии с установленной позицией на распознанных анатомических структурах на ультразвуковых изображениях. Метки, показанные на фигуре 5, включают в себя метки для правого желудочка (RV), левого желудочка (LV), трехстворчатого клапана (TV), митрального клапана (MV), правого предсердия (RA) и левого предсердия (LA). Эти метки отображаются в положениях отображаемого ультразвукового изображения,

соответствующих структурам, которые идентифицируют метки. Метки, показанные на фигуре 5, представлены как лишь некоторые примеры структур, которые могут быть автоматически распознаны и маркированы модулем 130 распознавания и маркировки анатомической структуры, однако варианты осуществления настоящего изобретения не ограничиваются ими, и в различных вариантах осуществления метки, связанные с любой анатомической структурой, могут быть автоматически установлены и отображены на ультразвуковых изображениях.

По мере изменения проекции в ультразвуковых изображениях, например, из-за перемещения зонда 118 и/или визуализируемого пациента, метки на ультразвуковом изображении 500 также могут изменяться. Например, когда распознанные анатомические структуры появляются или исчезают с отображаемых ультразвуковых изображений, метки, соответствующие распознанным анатомическим структурам, также появляются или исчезают. В качестве другого примера, когда анатомические структуры на последовательно отображаемых ультразвуковых изображениях распознаны как движущиеся внутри отображаемых изображений, модуль 130 распознавания и маркировки анатомической структуры может динамически изменять положение метки в изображениях при перемещении распознанных анатомических структур внутри изображений.

Более того, в некоторых вариантах осуществления выходные данные модуля 130 распознавания и маркировки анатомической структуры временно сглажены в видеопотоках полученных данных ультразвукового изображения. Например, результаты анализа, проведенного с помощью модуля 130 распознавания и маркировки анатомической структуры (*например*, распознавание и маркировка анатомической структуры) могут храниться в кольцевом буфере. В некоторых вариантах осуществления отображенные результаты (*например*, распознавание и маркировка анатомической структуры) представляют собой расчет среднего геометрического от результатов в буфере. Таким образом, влияние выходящих за пределы значений результатов (наличие и/или позиция анатомических структур) распознавания и маркировки анатомических структур может быть уменьшено, и перемещение отображаемых меток на изображениях может быть более сглаженным для уменьшения искажений сигнала или подобных эффектов вследствие перемещения зонда 118, перемещения анатомических структур (*например*, сокращения/расширения сердца) или т. п.

В некоторых вариантах осуществления метки, которые могут быть связаны с распознанными анатомическими структурами, могут быть ограничены на основании проекций полученных ультразвуковых изображений. Например, в некоторых вариантах осуществления модуль 130 распознавания и маркировки анатомической структуры может распознавать не только анатомические структуры, представленные в полученных ультразвуковых изображениях, но может дополнительно определять проекцию, в которой получают ультразвуковые изображения (*например*, апикальная проекция LV, парастернальная проекция LV по длинной оси, парастернальная проекция LV). Как описано выше в настоящем документе, анатомические структуры могут выглядеть очень

разными в различных проекциях ультразвуковой визуализации. Анатомические структуры в различных проекциях могут быть обработаны как отдельные классы для распознавания, например, с помощью модуля 130 распознавания и маркировки анатомической структуры. Таким образом, выходные данные, генерируемые модулем 130 распознавания и маркировки анатомической структуры, могут быть ограничены в плане меток, которые могут быть добавлены или иным образом связаны с распознанными анатомическими структурами в зависимости от проекции ультразвуковых изображений. В некоторых вариантах осуществления после определения конкретной проекции конкретной анатомической структуры модуль 130 распознавания и маркировки анатомической структуры может определять метки для связывания с распознанной анатомической структурой, а определенные метки могут быть ограничены метками внутри конкретного набора меток, которые связаны с конкретной проекцией анатомической структуры.

На фигурах 6А и 6В представлены проекции, иллюстрирующие ультразвуковые изображения, включающие в себя оценки изображений, которые автоматически связываются с ультразвуковыми изображениями с помощью модуля 140 оценки ультразвукового изображения.

На фигуре 6А представлено ультразвуковое изображение 601, качество которого было автоматически оценено как «1», что в некоторых вариантах осуществления может представлять собой изображение низкого качества. В некоторых вариантах осуществления, как описано ранее в настоящем документе, стандартная система оценки, такая как оценка качества АСЕР (см. таблицу 1) может быть применена или реализована при оценке полученных ультразвуковых изображений модулем 140 оценки ультразвукового изображения. Качество изображения «1», показанное на ультразвуковом изображении 601, может представлять собой ультразвуковое изображение, в котором отсутствуют распознаваемые структуры, и при этом не могут быть собраны объективные данные, которые согласуются со стандартом для оценки или балла 1 в таблице оценки качества изображений АСЕР. В некоторых вариантах осуществления модуль 140 оценки ультразвукового изображения выполнен с возможностью добавления аннотации к оцененному ультразвуковому изображению с автоматически определенной оценкой. Например, как показано на фигуре 6А, ультразвуковое изображение 601 включает в себя метку «1», которая указывает на качество изображения ультразвукового изображения 601, определенное модулем 140 оценки ультразвукового изображения. Любая подходящая идентификационная информация может быть применена для отображения определенного качества ультразвукового изображения, включая, например, номер, текстовое описание, цвет (например, красный цвет может указывать на плохое качество изображения; зеленый цвет может указывать на хорошее качество изображения) и т. п.

На фигуре 6В представлено ультразвуковое изображение 602, качество которого было автоматически оценено как «3», что в некоторых вариантах осуществления может представлять собой изображение среднего качества. В некоторых вариантах осуществления, как описано ранее в настоящем документе, стандартная система оценки,

такая как оценка качества АСЕР (см. таблицу 1) может быть применена или реализована при оценке полученных ультразвуковых изображений модулем 140 оценки ультразвукового изображения. Качество изображения «3», показанное на ультразвуковом изображении 601, может представлять собой ультразвуковое изображение, в котором соблюдены минимальные критерии пригодности ультразвукового изображения для диагностики. Структуры распознаваемы, но с некоторыми техническими или другими недостатками, которые согласуются со стандартом для оценки или балла 3 в таблице оценки качества изображений АСЕР.

В некоторых вариантах осуществления пользователь может быть направлен на получение ультразвукового изображения хорошего качества (и в некоторых вариантах осуществления на получение изображения, представляющего клинически желаемую проекцию), посредством применения отображаемых оценок качества изображения. Например, когда ультразвуковое изображение отображается с оценкой качества «1», пользователь может медленно двигать или перемещать зонд, настраивать параметры визуализации зонда (*например*, глубину, коэффициент усиления и т. д.) и т. п. По мере того, как пользователь регулирует зонд, качество изображений может увеличиваться, что используется в качестве обратной связи пользователю, чтобы показать, что пользователь приближается к изображениям более высокого качества.

Хотя схема 105 машинного обучения (включающая в себя модуль 120 распознавания ультразвукового изображения, модуль 130 распознавания и маркировки анатомической структуры и модуль 140 оценки ультразвукового изображения) описана в настоящем документе как отдельный от устройства 110 ультразвуковой визуализации элемент, и доступна через коммуникационную сеть 102, следует понимать, что схема 105 машинного обучения может быть включена в устройство 110 ультразвуковой визуализации. Таким образом, схема 105 машинного обучения (включающая в себя модуль 120 распознавания ультразвукового изображения, модуль 130 распознавания и маркировки анатомической структуры и модуль 140 оценки ультразвукового изображения) может находиться внутри устройства 110 ультразвуковой визуализации и может храниться, например, в запоминающем устройстве 114, а функции и/или функциональные возможности схемы 105 машинного обучения могут выполняться или иным образом реализовываться процессором 116.

В некоторых вариантах осуществления один или более из модуля 120 распознавания ультразвукового изображения, модуля 130 распознавания и маркировки анатомической структуры и модуля 140 оценки ультразвукового изображения могут быть реализованы с помощью одной нейронной сети, которая оптимизирована для работы в режиме реального времени на мобильном устройстве. Например, один или более из модуля 120 распознавания ультразвукового изображения, модуля 130 распознавания и маркировки анатомической структуры и модуля 140 оценки ультразвукового изображения могут быть реализованы посредством одной нейронной сети, выполняемой или хранящейся на устройстве 110 ультразвуковой визуализации, причем устройство 110

ультразвуковой визуализации может представлять собой мобильное устройство, такое как ноутбук или планшетный компьютер, смартфон или т. п.

В некоторых вариантах осуществления модуль 130 распознавания и маркировки анатомической структуры может иметь такое время вывода, что анатомические структуры распознаются внутри каждого из принятых ультразвуковых изображений в пределах интервала времени, так что обработка полученного ультразвукового изображения завершается до получения следующего ультразвукового изображения (*например*, получены и доступны для обработки с помощью модуля распознавания и маркировки анатомической структуры) во время ультразвуковой визуализации в реальном времени. В некоторых вариантах осуществления модуль 130 распознавания и маркировки анатомической структуры может быть выполнен с возможностью распознавания анатомических структур (*например*, обнаружения объекта), а также распознавания конкретного ультразвукового изображения (*например*, классификации проекции) в пределах 25 миллисекунд получения данных ультразвукового изображения. Однако варианты осуществления, представленные в настоящем документе, не ограничиваются ими, и в некоторых вариантах осуществления модуль 130 распознавания и маркировки анатомической структуры выполнен с возможностью распознавания анатомических структур и проекций в ультразвуковых изображениях в интервалах менее или более 25 миллисекунд.

Настоящая заявка испрашивает приоритет согласно предварительной заявке США № 62/899 554, поданной 12 сентября 2019 г., содержание которой полностью включено в настоящий документ посредством ссылки.

Различные варианты осуществления, описанные выше, могут комбинироваться для получения дополнительных вариантов осуществления. Эти и другие изменения могут вноситься в варианты осуществления в соответствии с приведенным выше подробным описанием. В целом термины, используемые в приведенной ниже формуле изобретения, не могут ограничивать формулу изобретения рамками конкретных вариантов осуществления, описанных в спецификации и формуле изобретения. Однако они представляют собой дополнение к содержанию формулы изобретения и относятся ко всем возможным вариантам осуществления в совокупности с полным объемом эквивалентов, к которым относится формула изобретения. Соответственно, формула изобретения не ограничивается настоящим описанием.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Ультразвуковая система, содержащая:
 - устройство ультразвуковой визуализации, выполненное с возможностью получения ультразвуковых изображений пациента; и
 - схему распознавания и маркировки анатомической структуры, выполненную с возможностью:
 - приема полученных ультразвуковых изображений от устройства ультразвуковой визуализации;
 - автоматического распознавания одной или более анатомических структур на полученных ультразвуковых изображениях; и
 - автоматической маркировки одной или более анатомических структур на полученных ультразвуковых изображениях информацией, которая идентифицирует одну или более анатомических структур,
 - причем устройство ультразвуковой визуализации содержит дисплей, выполненный с возможностью отображения полученных ультразвуковых изображений и маркированных одной или более анатомических структур.
2. Ультразвуковая система по п. 1, в которой устройство ультразвуковой визуализации выполнено с возможностью отображения информации, идентифицирующей одну или более анатомических структур в позициях на отображаемых ультразвуковых изображениях, которые соответствуют позициям одной или более анатомических структур.
3. Ультразвуковая система по п. 1, в которой схема распознавания и маркировки анатомической структуры дополнительно выполнена с возможностью:
 - автоматического распознавания проекции принятых ультразвуковых изображений,
 - причем схема распознавания и маркировки анатомической структуры выполнена с возможностью автоматической маркировки одной или более анатомических структур на основе выбора метки из группы меток, связанных с распознанной проекцией.
4. Ультразвуковая система по п. 3, в которой схема распознавания и маркировки анатомической структуры выполнена с возможностью автоматического распознавания одной или более анатомических структур в принятых ультразвуковых изображениях и автоматического распознавания проекции каждого из полученных ультразвуковых изображений до того, как следующее ультразвуковое изображение будет получено от устройства ультразвуковой визуализации.
5. Ультразвуковая система по п. 1, в которой схема распознавания и маркировки анатомической структуры дополнительно выполнена с возможностью:
 - определения множества меток для одной или более анатомических структур в каждом из множества последовательно полученных ультразвуковых изображений; и
 - автоматической маркировки одной или более анатомических структур на изображениях на основе усреднения определенной характеристики из множества меток.
6. Ультразвуковая система по п. 1, дополнительно содержащая схему оценки

ультразвукового изображения, выполненную с возможностью:

приема полученных ультразвуковых изображений от устройства ультразвуковой визуализации; и

автоматической оценки качества полученных ультразвуковых изображений.

7. Ультразвуковая система по п. 6, в которой дисплей выполнен с возможностью отображения указания оценки качества полученных ультразвуковых изображений.

8. Ультразвуковая система по п. 7, в которой указание оценки качества изображения включает по меньшей мере одно из следующего: число, указывающее на качество изображения, текстовое описание, указывающее на качество изображения, или цвет, указывающий на качество изображения.

9. Ультразвуковая система по п. 7, в которой указание оценки качества изображения представляет собой целое число от 1 до 5.

10. Ультразвуковая система по п. 6, в которой схема оценки ультразвукового изображения дополнительно выполнена с возможностью:

предоставления пользователю обратной связи на основании оцененного качества изображения, причем обратная связь выполнена с возможностью направления пользователя к получению выбранной проекции одной или более анатомических структур.

11. Ультразвуковая система по п. 6, в которой схема оценки ультразвукового изображения реализована по меньшей мере частично с помощью схемы машинного обучения, включающей по меньшей мере одну искусственную нейронную сеть.

12. Ультразвуковая система по п. 1, в которой схема распознавания и маркировки анатомической структуры реализована по меньшей мере частично с помощью схемы машинного обучения, включающей по меньшей мере одну искусственную нейронную сеть.

13. Способ, включающий в себя:

прием с помощью схемы распознавания и маркировки анатомической структуры ультразвуковых изображений, полученных с помощью устройства ультразвуковой визуализации;

автоматическое распознавание одной или более анатомических структур в принятых ультразвуковых изображениях с помощью схемы распознавания и маркировки анатомической структуры;

автоматическую маркировку одной или более анатомических структур в полученных ультразвуковых изображениях информацией, идентифицирующей одну или более анатомических структур с помощью схемы распознавания и разметки анатомической структуры; и

отображение полученных ультразвуковых изображений и маркированных одной или более анатомических структур.

14. Способ по п. 13, в котором отображение полученных ультразвуковых изображений и маркированных одной или более анатомических структур включает

отображение информации, идентифицирующей одну или более анатомических структур в позициях на отображаемых ультразвуковых изображениях, которые соответствуют позициям одной или более анатомических структур.

15. Способ по п. 13, дополнительно включающий в себя:

автоматическое распознавание полученных ультразвуковых изображений с помощью схемы распознавания и маркировки анатомической структуры,

причем автоматическая маркировка включает в себя автоматическую маркировку одной или более анатомических структур на основе выбора метки из группы меток, связанных с распознанной проекцией.

16. Способ по п. 13, дополнительно включающий в себя:

автоматическую оценку качества полученных ультразвуковых изображений с помощью схемы оценки ультразвукового изображения.

17. Способ по п. 16, дополнительно включающий в себя:

отображение указания оценки качества полученных ультразвуковых изображений.

18. Ультразвуковая система, содержащая:

схему оценки ультразвукового изображения, выполненную с возможностью:

приема ультразвуковых изображений от устройства ультразвуковой визуализации;

и

автоматической оценки качества полученных ультразвуковых изображений; и

дисплей, выполненный с возможностью одновременного отображения полученных ультразвуковых изображений и указания качества изображения.

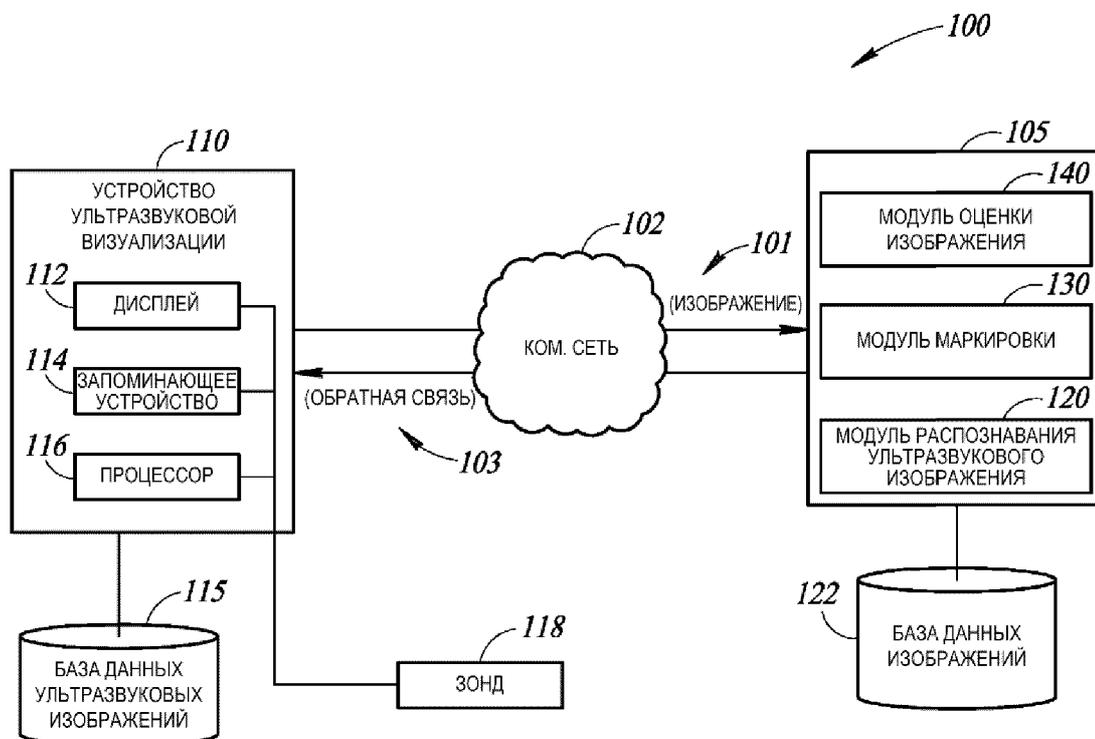
19. Ультразвуковая система по п. 18, в которой указание качества изображения представляет собой целое число от 1 до 5.

20. Ультразвуковая система по п. 18, в которой схема оценки ультразвукового изображения дополнительно выполнена с возможностью:

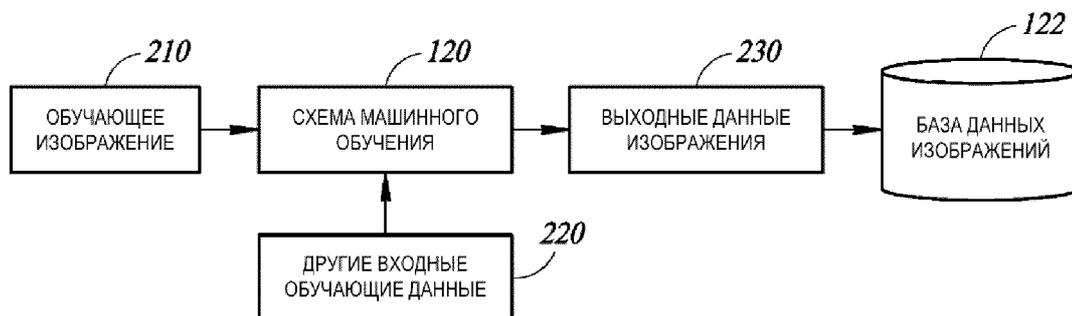
предоставления обратной связи пользователю устройства ультразвуковой визуализации на основании оцененного качества изображения, причем обратная связь выполнена с возможностью направления пользователя к получению выбранной проекции одной или более анатомических структур.

По доверенности

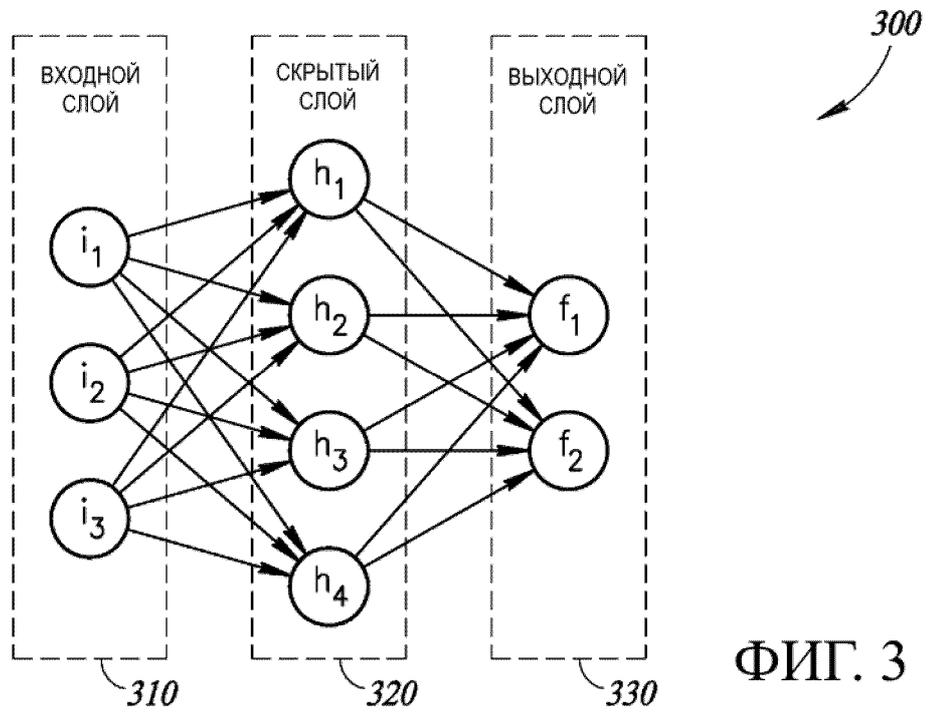
1/4



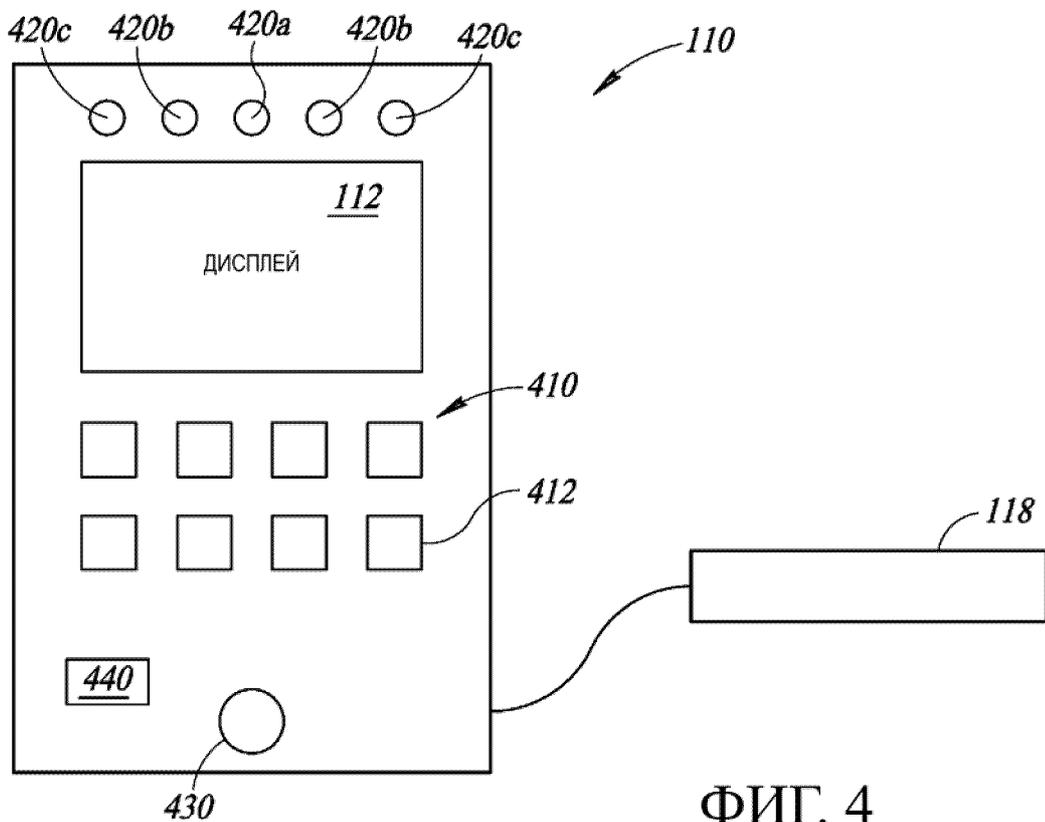
ФИГ. 1



ФИГ. 2

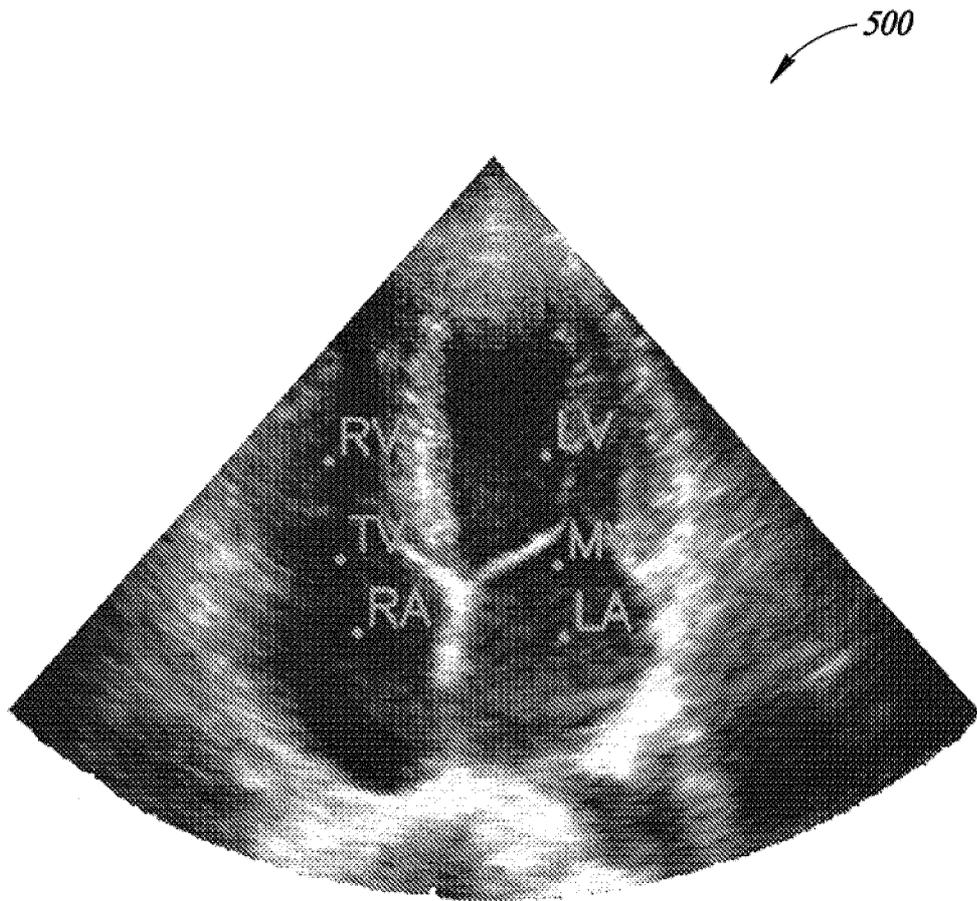


ФИГ. 3



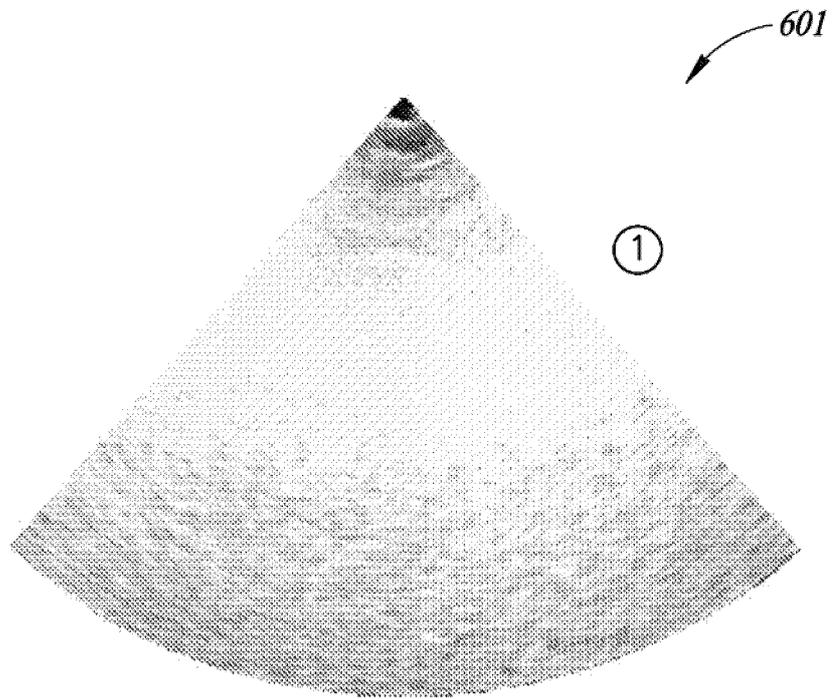
ФИГ. 4

3/4

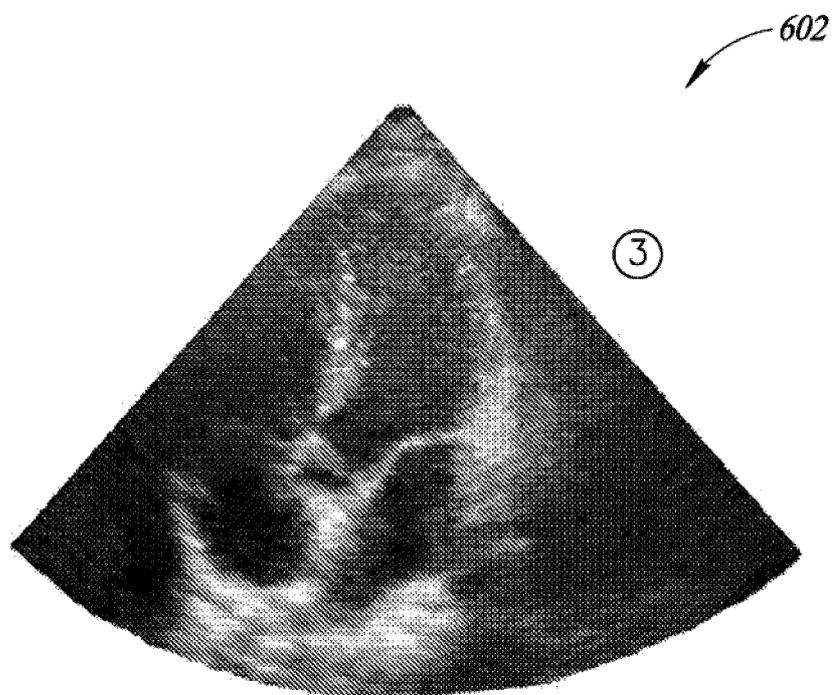


ФИГ. 5

4/4



ФИГ. 6А



ФИГ. 6В