

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **045741**

(13) **B1**

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента
2023.12.21

(51) Int. Cl. *A61B 5/02* (2006.01)
A61B 5/31 (2021.01)

(21) Номер заявки
202392460

(22) Дата подачи заявки
2023.09.29

(54) **СПОСОБ НЕИНВАЗИВНОЙ ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ И ГОЛОВНОГО МОЗГА ПАЦИЕНТОВ**

(43) **2023.12.20**

(56) CN-A-112022144
RU-A-2016146176
CN-A-113768516
US-A1-20160135702
WO-A1-2019161507

(96) **2023000159 (RU) 2023.09.29**
(71)(72)(73) Заявитель, изобретатель и патентовладелец:

**БОЛИБОК НИКОЛАЙ
ВЛАДИМИРОВИЧ (RU)**

(74) Представитель:
Луцковский М.Ю., Корниец Р.А. (RU)

(57) Предложен способ неинвазивной диагностики состояния сердечно-сосудистой системы и головного мозга пациентов, относящийся к области медицины. Техническим результатом заявляемого изобретения является снижение инвазивности диагностики патологий сердечно-сосудистой системы и головного мозга пациентов с обеспечением требуемой точности диагностики, который достигается за счет того, что способ неинвазивной диагностики состояния сердечно-сосудистой системы и головного мозга пациентов характеризуется тем, что первоначально производят запись обучающей выборки результатов диагностики состояния сердечно-сосудистой системы параллельно получаемых с электрокардиографии и в результате регистрации параметров состояния беспроводных каналов связи, далее проводят запись обучающей выборки результатов диагностики головного мозга параллельно получаемых с электроэнцефалограммы и в результате регистрации параметров состояния беспроводных каналов связи, далее проводят обучение модели машинного обучения, которая в результате позволяет по зарегистрированным параметрам состояния беспроводных каналов связи диагностировать состояние сердечно-сосудистой системы и головного мозга.

B1

045741

045741

B1

Описание изобретения

Изобретение относится к области медицины, а именно к способам неинвазивной диагностики состояния сердечно-сосудистой системы и головного мозга пациентов.

Из уровня техники известен способ обучения сети обнаружения аномалий электрокардиограммы и способ и устройство раннего предупреждения об аномалиях электрокардиограммы [CN112022144 (A), опубл. 04.12.2020], характеризуется тем, что включает следующие этапы: получение сигналов электрокардиограммы пациентов с аномальной электрокардиограммой и сигналов электрокардиограммы без аномалий, извлечение обучающих данных из полученных сигналов электрокардиограммы, обучение бинарной нейронной сети путем принятия обучающих данных и использования обученной бинарной нейронной сети в качестве сети обнаружения аномалий электрокардиографии, причем для каждого сетевого уровня в сети обнаружения аномалий электрокардиографии значения и веса узлов сетевого уровня являются двоичными данными, и выполняется двоичная операция на значениях и весах узлов сетевого уровня, чтобы получить значение узла следующего сетевого уровня.

Недостатками аналога являются:

в данном техническом решении для получения обучаемых данных используются инвазивные методы диагностирование, которые усложняют процедуры непрерывной диагностики состояния организма пациентов;

в данном техническом решении диагностика аномалий производится только по данным электрокардиограммы, что не дает достаточной точности проведения диагностики;

отсутствует дообучение нейронной сети в случае выявления новых данных, которые были не учтены в обучающей выборке при обучении нейронной сети.

Наиболее близким по технической сущности является способ и система неинвазивной скрининговой оценки физиологических параметров и патологий [RU2016146176A, опубл. 24.05.2018], включающий следующие шаги: формируют обучающую и тестовую выборки записей пациентов, имеющих заданную патологию или физиологические параметры, зависящие от сердечной деятельности пациентов, включающие записи о пациентах разного пола и возраста, причем каждая запись содержит, по крайней мере, одно кардиологическое отведение ЭКГ-сигнала и информацию о пациенте; получают записи из обучающей выборки, причем для каждой записи производят обработку, по крайней мере, одного кардиологического отведения ЭКГ-сигнала, а также рассчитывают параметры variability сердечного ритма и усредненного кардиоцикла; обучают искусственную нейронную сеть выявлению заданной патологии или физиологических параметров, используя записи обучающей и тестовой выборки, сопоставляя параметры обработанного ЭКГ-сигнала, рассчитанные параметры variability сердечного ритма и усредненного кардиоцикла, информацию о пациентах; сохраняют связи и веса обученной искусственной нейронной сети; получают по крайней мере, одно кардиологическое отведение ЭКГ-сигнала и информацию о пациенте; производят обработку полученного, по крайней мере, одного кардиологического отведения ЭКГ-сигнала, рассчитывают параметры variability сердечного ритма и усредненного кардиоцикла; определяют физиологические параметры или наличие заданной патологии, при помощи обученной нейронной сети, используя параметры обработанного ЭКГ-сигнала, рассчитанные параметры variability сердечного ритма и усредненного кардиоцикла, информацию о пациенте.

Основной проблемой прототипа является то, что в данном способе используются инвазивные методы получения обучающих данных, которые ограничивают возможности непрерывной диагностики состояния организма пациентов, обучение нейронной сети производится на обучающей выборке, составленной только по ЭКГ, что не позволяет более точно диагностировать патологии. Кроме того, в данном способе отсутствует возможность дообучения нейронной сети на новые данные, не учтенные при формировании обучающей выборки для обучения нейронной сети. Также стоит отметить, что применение нейронной сети, как одного из аппаратов машинного обучения, не всегда дает стабильный и точный результат диагностики патологий, что подтверждается ошибками первого и второго рода распознавания.

Задачей изобретения является устранение недостатков прототипа.

Техническим результатом изобретения является снижение инвазивности диагностики патологий сердечно-сосудистой системы и головного мозга пациентов с обеспечением требуемой точности диагностики.

Указанный технический результат достигается за счет того, что способ неинвазивной диагностики состояния сердечно-сосудистой системы и головного мозга пациентов характеризуется тем, что первоначально производят запись обучающей выборки результатов диагностики состояния сердечно-сосудистой системы, сформированной на основе регистрации электрофизиологических сигналов, параллельно получаемых с электрокардиографии и в результате регистрации параметров состояния беспроводных каналов связи, далее проводят запись обучающей выборки результатов диагностики головного мозга, сформированной на основе регистрации электрофизиологических сигналов, параллельно получаемых с электроэнцефалограммы и в результате регистрации параметров состояния беспроводных каналов связи, далее проводят обучение модели машинного обучения, в рамках которого осуществляют обучение модели машинного обучения вначале на диагностику состояния сердечно-сосудистой системы путем обучения на сопоставление результатов диагностики пациента по электрофизиологическим сигналам, полученным с

электрокардиографии, с результатами зарегистрированных параметров состояния беспроводных каналов связи, в результате чего модель машинного обучения обучается по результатам регистрируемых параметров состояния беспроводных каналов связи диагностировать состояние сердечно-сосудистой системы, а затем на диагностику состояния головного мозга по сопоставлению результатов диагностики пациента по электрофизиологических сигналам, полученным с электрокардиографии с результатами зарегистрированных параметров состояния беспроводных каналов связи, в результате чего модель машинного обучения обучается по зарегистрированным параметрам состояния беспроводных каналов связи диагностировать состояние головного мозга, затем с помощью обученной модели машинного обучения на этапе обучения модели машинного обучения производят диагностику состояния сердечнососудистой системы и головного мозга, на котором диагностируют состояние сердечно-сосудистой системы и головного мозга по регистрируемым параметрам состояния беспроводных каналов связи.

В частности, для записи обучающей выборки результатов диагностики состояния сердечно-сосудистой системы проводят регистрацию RSSI и CSI параметров состояния беспроводных каналов связи.

В частности, для записи обучающей выборки результатов диагностики состояния головного мозга проводят регистрацию RSSI и CSI параметров состояния беспроводного канала связи.

В частности, если обученная модель машинного обучения на входе получает зарегистрированные параметры состояния беспроводных каналов связи, по которым обученная модель машинного обучения не выдает результат диагностики состояния сердечно-сосудистой системы и головного мозга пациента, то данные зарегистрированные параметры состояния беспроводных каналов связи подаются на переобучение модели машинного обучения.

Осуществление изобретения

Способ регистрации электрофизиологических сигналов состояния сердечнососудистой системы и головного мозга пациентов характеризуется тем, что первоначально производят запись обучающей выборки результатов диагностики состояния сердечно-сосудистой системы 1, сформированной на основе параллельной регистрации электрофизиологических сигналов, получаемых с электрокардиографии, выполненной с использованием электрокардиографа, и получаемых в результате регистрации RSSI и CSI параметров состояния беспроводных каналов связи, получаемых со смарт-устройств, таких как смартфон, смарт-часы, смарт Wi-Fi роутер, а также RSSI параметров состояния беспроводных каналов связи, получаемых с репитера сотовой связи и канала связи базовой станции, далее проводят запись обучающей выборки результатов диагностики головного мозга 2, сформированной на основе параллельной регистрации электрофизиологических сигналов, получаемых с электроэнцефалограммы, выполненной с использованием электроэнцефалографа, и RSSI и CSI параметров состояния беспроводного канала связи, получаемых с Bluetooth-устройств, установленных в правый и левый беспроводной наушник, вставленных в уши пациента, например беспроводные наушники apple airpods. При этом при формировании обучающей выборки для обоих случаев учитываются различные сценарии поведения пациентов, разные состояния здоровья сердечно-сосудистой системы и головного мозга (без патологий, с различными патологиями), а также учитываются половой признак и возраст пациентов, в том числе для формирования обучающей выборки результатов диагностики состояния сердечно-сосудистой системы учитываются данные по состоянию сердечно-сосудистой системы плода в утробе матери и непосредственно самой беременной женщины.

Далее непосредственно проводят обучение модели машинного обучения 3, в рамках которого осуществляют обучение модели машинного обучения вначале на диагностику состояния сердечно-сосудистой системы путем обучения на сопоставление результатов диагностики пациента по электрофизиологических сигналам, полученным с электрокардиографии, с результатами зарегистрированных RSSI и CSI параметров состояния беспроводных каналов связи, в результате чего модель машинного обучения обучается по результатам регистрируемых RSSI и CSI параметров состояния беспроводных каналов связи диагностировать состояние сердечнососудистой системы, а затем на диагностику состояния головного мозга, к примеру, нервных заболеваний, нарушений сна, по сопоставлению результатов по электрофизиологических сигналам, полученным с электрокардиографии, с результатами зарегистрированных RSSI и CSI параметров состояния беспроводного канала связи, в результате чего модель машинного обучения обучается по зарегистрированным RSSI и CSI параметрам состояния беспроводного канала связи диагностировать состояние головного мозга.

Затем с помощью обученной модели машинного обучения на этапе обучения модели машинного обучения 3 производят диагностику состояния сердечнососудистой системы и головного мозга 4, на котором диагностируют состояние сердечно-сосудистой системы по регистрируемым RSSI и CSI параметрам состояния беспроводных каналов связи, получаемых со смарт-устройств, таких как смартфон, смарт-часы, смарт Wi-Fi роутер, а также на основе регистрации RSSI параметров состояния беспроводных каналов связи, получаемых с репитера сотовой связи и канала связи базовой станции, а затем диагностируют состояние головного мозга по результатам регистрации RSSI и CSI параметров состояния беспроводного канала связи Bluetooth. В случае, если обученная модель машинного обучения на этапе обучения модели машинного обучения 3 на этапе диагностики состояния сердечнососудистой системы и голов-

го мозга 4 на входе получает зарегистрированные параметры состояния беспроводных каналов связи, по которым обученная модель машинного обучения не выдает результат диагностики состояния сердечно-сосудистой системы и головного мозга пациента, то данные зарегистрированные параметры состояния беспроводных каналов связи подаются на переобучение модели машинного обучения 5.

Технический результат изобретения снижение инвазивности диагностики патологий сердечно-сосудистой системы и головного мозга пациентов с обеспечением требуемой точности диагностики достигается за счет того, что запись обучающих выборок результатов диагностики состояния сердечно-сосудистой системы и головного мозга, сформированной на основе регистрации электрофизиологических сигналов, параллельно получаемых с электрокардиографии и электроэнцефалограммы, и соответствующих параметров беспроводных каналов связи, позволяет существенно повысить качество обучение модели машинного обучения и, как следствие, обеспечение требуемой точности диагностики состояния сердечно-сосудистой системы и головного мозга, при этом такой подход к обучению модели машинного обучения и в впоследствии диагностики состояния сердечно-сосудистой системы и головного мозга, производящаяся на основе зарегистрированных параметров беспроводных каналов связи, позволяет снизить инвазивность при проведении диагностики при обеспечении требуемой точности диагностики, а также расширить возможности проведения диагностики неинвазивными методами, так как используемые для регистрации параметров беспроводных каналов связи смарт-устройства могут всегда быть надеты на пациентах. Кроме того, сохранение требуемой точности при соблюдении подходов в неинвазивной диагностике достигается за счет переобучения модели машинного обучения в случаях, когда в ходе диагностики регистрируются параметры беспроводных каналов связи, которые были не учтены при обучении модели машинного обучения.

Примеры достижения технического результата.

У пациента Екатерины, 55 лет, на этапе регистрации RSSI и CSI параметров беспроводных каналов связи, получаемых со смарт-устройств, а именно со смартфона, смарт-часов, смарт Wi-Fi роутера, а также регистрации RSSI параметров состояния беспроводных каналов связи, получаемых с репитера сотовой связи и канала связи базовой станции, для диагностики состояния сердечно-сосудистой системы и RSSI и CSI параметров состояния беспроводного канала связи, получаемых с Bluetooth-устройств беспроводных наушников, вставленных в уши пациента, для диагностики состояния головного мозга с использованием обученной модели машинного обучения были выявлены следующие патологии сердечно-сосудистой системы, а именно миокардит, гипертония и патологии головного мозга, а именно развитие эпилептической болезни, невротические симптомы, проявляющиеся в панических атаках и нарушении сна. После выявления данных патологий сердечно-сосудистой системы и головного мозга, пациент был продиагностирован на основе анализа ЭКГ и ЭЭГ, в результате чего диагнозы были подтверждены с точностью 97%.

Пациент Елена, 32 года, на восьмом месяце беременности. На этапе регистрации RSSI и CSI параметров беспроводных каналов связи, получаемых со смарт Wi-Fi роутера, для диагностики состояния сердечно-сосудистой системы с использованием обученной модели машинного обучения у плода внутри беременной женщины были зарегистрированы параметры беспроводных каналов связи, по которым было диагностировано нормальное, без отклонений состояние сердечно-сосудистой системы. При этом у матери по зарегистрированным параметрам состояния беспроводных каналов связи была выявлена тахикардия. Разделение параметров беспроводных каналов связи, регистрируемых от внутриутробного плода и непосредственно беременной женщины, производится на основе учета особенностей их электрокардиограмм и параллельно регистрируемых при этом параметров беспроводных каналов связи, которые закладываются при обучении модели машинного обучения. После выявленные с помощью обученной модели машинного обучения состояния сердечно-сосудистой системы плода и беременной женщины были проверены на основе анализа ЭКГ плода и беременной женщины, в результате чего диагнозы были подтверждены с точностью 95%.

Данный пример отражает реализацию заявляемого способа. Для этого была собрана группа пациентов в возрасте от 25 до 65 лет. С помощью данных пациентов производились записи обучающих выборок результатов диагностики состояния сердечно-сосудистой системы и головного мозга, вначале пациентов подключали к электрокардиографу и снимали электрокардиографию на протяжении пять дней по 10 электрокардиографии с периодом снятия каждой один час, в итоге было собрано 50 электрокардиографии, которые были проанализированы и по полученным данным (отклонениям основных зубцов: P, Q, R, S и T). К примеру, у пациента Ивана, 39 лет, были диагностированы следующие патологии сердечно-сосудистой системы, а именно:

1) гипертрофия отделов сердца, что сопровождалось увеличением времени внутреннего отклонения, поскольку в гипертрофированном миокарде возбуждение дольше распространяется на участке от эндокарда к эпикарду, возрастанием амплитуды зубца R, ишемией субэндокардиальных слоев сердца, обусловленная недостатком крови, притекающей по коронарным артериям, нарушением проводимости, отклонением электрической оси сердца в сторону гипертрофированного отдела, так как его масса возрастает из-за роста кардиомиоцитов, изменением электрической позиции сердца; смещением переходной зоны (V3), проявляющееся изменением соотношения зубцов R и S в третьем грудном отведении;

2) стенокардия, что сопровождалось изменениями конечной части желудочкового комплекса QRS: депрессия сегмента S-T; разнообразные изменения зубца T, например, уменьшение амплитуды, двухфазность, изоэлектричность или негативность; очаговый характер указанных изменений: регистрировались в одном или двух отведениях, так как наблюдающаяся гипоксия носит локальный характер, развиваясь в бассейне отдельной ветви коронарной артерии;

3) тахикардия, что сопровождалось повышением частоты сердечных сокращений, при этом ритм сердца составлял 100-150 ударов в минуту, что отражалось повышением автоматизма синусового узла, также отмечалось уменьшение промежутка R-R, поскольку укоротился интервал T-P, сократился отрезок P-Q; степень учащения сердечного ритма была прямо пропорциональна уменьшению Q-T, наблюдалось восходящее смещение сегмента RS-T вниз от изоэлектрической линии.

Параллельно при снятии электрокардиографии регистрировались RSSI и CSI параметры беспроводных каналов связи, которые снимались со смарт-устройств, а именно пассивного Wi-fi роутера, смарт-часов и регистрировались на мобильный телефон: RSSI регистрируемыми параметрами были показатели мощности входящих сигналов, помехи и шумы, поступающих с базовых станций сотовой связи и репитеров, измеряемые в дБм, а CSI регистрируемыми параметрами были параметры сигнала, распространяемые от передатчика к приемнику и отражающие рассеяние, замирание и уменьшения мощности сигнала, а именно параметры мгновенной, статистической CSI.

Затем пациентов подключили к электроэнцефалографу и снимали электроэнцефалограмму на протяжении пять дней по 10 электроэнцефалограмм с периодом снятия каждой один час, в итоге было собрано 50 электроэнцефалограмм, которые были проанализированы и по полученным данным (частота, амплитуда, степень проявления и зональные различия, α -ритм, β -ритм, θ -колебания, δ -активность, а именно их форма волн, модуляция, асимметрия, склонность к формированию вспышек) у пациента были диагностированы следующие патологии сердечно-сосудистой системы, а именно наличие очага парциальной эпилептиформной активности в лобно-височной области правого полушария, которые сопровождалась следующими параметрами: α -ритм слабомодулирован, фрагментарный, неустойчив по частоте, с амплитудой до 50 мкВ, преобладанием в теменных отделах правого полушария; выраженный очаг δ - и β -активности в правой лобно-височной области; θ -активность незначительно представлена в лобно-центральных отделах; пароксизмальная активность характеризовалась синхронными генерализованными разрядами комплекса острых и медленных волн; гипервентиляция вызывала незначительное усиление дезорганизации ЭЭГ. Параллельно при снятии электроэнцефалографии регистрировались RSSI и CSI параметры беспроводных каналов связи Bluetooth, которые снимались с Bluetooth-устройств вставленных в уши беспроводных наушников apple airpods и регистрировались на смартфон.

На основе полученной обучающей выборки была проведено обучение модели машинного обучения, а именно сверточной нейронной сети. Для чего обучающая выборка, состоящая из наборов данных, включающих показания ЭКГ и ЭЭГ и соответствующих им параметрам беспроводных каналов связи, была разделана на обучающую - 50%, контрольную - 30% и тестовую 20%. В результате чего нейронная сеть обучилась без переобучения с качеством 97% правильного диагностирования диагнозов состояния сердечно-сосудистой системы и головного мозга по параметрам беспроводных каналов связи, используемые в тестовой выборке, которая не участвовала при обучении, а использовалась для оценки качества обучения сверточной нейронной сети.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ неинвазивной диагностики состояния сердечно-сосудистой системы и головного мозга пациентов характеризуется тем, что первоначально производят запись обучающей выборки результатов диагностики состояния сердечно-сосудистой системы, сформированной на основе регистрации электрофизиологических сигналов, параллельно получаемых с электрокардиографии и в результате регистрации параметров состояния беспроводных каналов связи, далее проводят запись обучающей выборки результатов диагностики головного мозга, сформированной на основе регистрации электрофизиологических сигналов, параллельно получаемых с электроэнцефалограммы и в результате регистрации параметров состояния беспроводных каналов связи, далее проводят обучение модели машинного обучения, в рамках которого осуществляют обучение модели машинного обучения вначале на диагностику состояния сердечно-сосудистой системы путем обучения на сопоставлении результатов диагностики пациента по электрофизиологическим сигналам, полученным с электрокардиографии, с результатами зарегистрированных параметров состояния беспроводных каналов связи, в результате чего модель машинного обучения обучается по результатам регистрируемых параметров состояния беспроводных каналов связи диагностировать состояние сердечно-сосудистой системы, а затем на диагностику состояния головного мозга по сопоставлению результатов диагностики пациента по электрофизиологическим сигналам, полученным с электрокардиографии с результатами зарегистрированных параметров состояния беспроводных каналов связи, в результате чего модель машинного обучения обучается по зарегистрированным параметрам состояния беспроводных каналов связи диагностировать состояние головного мозга, затем с помощью обученной модели машинного обучения на этапе обучения модели машинного обучения производят диагно-

стику состояния сердечно-сосудистой системы и головного мозга, на котором диагностируют состояние сердечно-сосудистой системы и головного мозга по регистрируемым параметрам состояния беспроводных каналов связи.

2. Способ по п.1, отличающийся тем, что для записи обучающей выборки результатов диагностики состояния сердечно-сосудистой системы проводят регистрацию RSSI и CSI параметров состояния беспроводных каналов связи.

3. Способ по п.1, отличающийся тем, что для записи обучающей выборки результатов диагностики состояния головного мозга проводят регистрацию RSSI и CSI параметров состояния беспроводного канала связи.

4. Способ по п.1, отличающийся тем, что если обученная модель машинного обучения на входе получает зарегистрированные параметры состояния беспроводных каналов связи, по которым обученная модель машинного обучения не выдает результат диагностики состояния сердечно-сосудистой системы и головного мозга пациента, то данные зарегистрированные параметры состояния беспроводных каналов связи подаются на переобучение модели машинного обучения.

