



GE HealthCare

Роль искусственного интеллекта в ускорении количественного анализа в эхокардиографии

Публикация

Кристин МакЛауд
(Kristin McLeod)

Ведущий специалист по наукам
о данных в ультразвуковых
исследованиях сердца и сосудов

vivid

gehealthcare.com

Роль искусственного интеллекта в ускорении количественного анализа в эхокардиографии

Введение

Востребованность эхокардиографии растет, рутинная нагрузка на врача увеличивается

Низкое качество влечет за собой убытки, а стандартизация способствует повышению качества

Внедрение ИИ поможет команде врачей объединить знания и уменьшить зависимость от оператора

Сегодня ИИ играет важную роль

- 1/ Что такое искусственный интеллект и как он может увеличить эффективность клинического процесса?
- 2/ Что лучше — моментальное обучение или непрерывное?
- 3/ Практические методы самообучения
- 4/ AI Auto Measure — Spectrum Recognition
- 5/ AI Auto Measure — 2D
- 6/ AI View Recognition
- 7/ AFI ЛЖ на базе ИИ

Заключение

Введение

Востребованность эхокардиографии растет, рутинная нагрузка на врача увеличивается

Ишемическая болезнь сердца и инсульт — наиболее распространенные причины смерти во всем мире в течение последних 15 лет¹. В 2016 году они стали причиной 17,9 млн смертей. Ожидается, что к 2050 году 40,5% населения США будет страдать от того или иного сердечно-сосудистого заболевания (ССЗ)².

Эхокардиография — один из наиболее широко применяющихся методов исследования в кардиологии и стандарт диагностики, ведения и наблюдения пациентов в динамике при подозрении на болезни сердца или при уже подтвержденном диагнозе. Востребованность эхокардиографии постоянно растет, при этом кардиологи и специалисты УЗ-диагностики тратят много времени на настройку параметров и повторные измерения во время исследования, что влечет за собой большое количество нажатий на клавиши. В исследовании было показано, что 90% специалистов УЗ-диагностики страдают от проявления профессиональных заболеваний опорно-двигательного аппарата (WRMSD)³.

Сокращение штата вследствие заболеваний и растущее число УЗ-исследований приводит к увеличению нагрузки на специалистов УЗ-диагностики и к прямым и косвенным издержкам работодателей до 120 млрд долларов США ежегодно².

Низкое качество влечет за собой убытки, а стандартизация способствует повышению качества

Ультразвуковое исследование в кардиологии обеспечивает врача ценной информацией в неотложных и угрожающих жизни состояниях, что помогает спасать человеческие жизни. Возможности визуализации, состояние пациента, используемое ультразвуковое оборудование, методики и протоколы, а также опыт и уровень навыков оператора — все это влияет на процесс получения изображений. Задача становится еще труднее, если учитывать и другие факторы, например тип конституции пациента, который также влияет на качество изображений, точность измерений и вариативность между операторами⁴.

Хотя исторически сложилось так, что только кардиолог способен проводить и анализировать исследование и интерпретировать его результаты, при возникновении неотложных и угрожающих жизни состояний специалист указанной высокой квалификации может оказаться недоступным⁵.

Стандартизация порядка проведения исследования увеличивает вероятность благоприятного исхода⁶.

Внедрение ИИ поможет бригаде врачей объединить знания и уменьшить межоператорскую вариабельность

В недавнем информационном сообщении компании McKinsey говорится, что искусственный интеллект (ИИ) имеет потенциал для трансформации системы оказания медицинской помощи⁷.

Повышение эффективности системы здравоохранения позволит обеспечить большее число людей медицинской помощью более высокого качества и облегчит труд врачей, позволяя им тратить время непосредственно на медицинское обслуживание и предотвращая профессиональное выгорание.

Специалисты компании GE HealthCare верят, что ИИ помогает быстрее получить медицинскую помощь, поскольку он сокращает продолжительность диагностики и обеспечивает превентивное управление системой здравоохранения, перераспределяя ресурсы в те области, где они наиболее необходимы. Мы внедрили возможности ИИ во все системы линейки Vivid™ Ultra Edition, поэтому специалисты в любом учреждении теперь могут пользоваться всеми его преимуществами в повседневной практике.

90%
специалистов УЗ-диагностики страдают от профессиональных заболеваний опорно-двигательного аппарата

120+
млрд долларов США составляют прямые и косвенные издержки работодателей ежегодно

Возможности ИИ во всех системах линейки Vivid Ultra Edition

Сегодня ИИ играет важную роль

Двумерная визуализация (В-режим) и спектральный доплеровский режим остаются основными инструментами эхокардиографии и на сегодняшний день наиболее широко используются для диагностики разнообразных сердечно-сосудистых заболеваний. Сегодня в системах Vivid искусственный интеллект играет значительную роль для оптимизации количественного анализа в этих режимах визуализации.

1. Что такое искусственный интеллект и как он может увеличить эффективность клинического процесса?

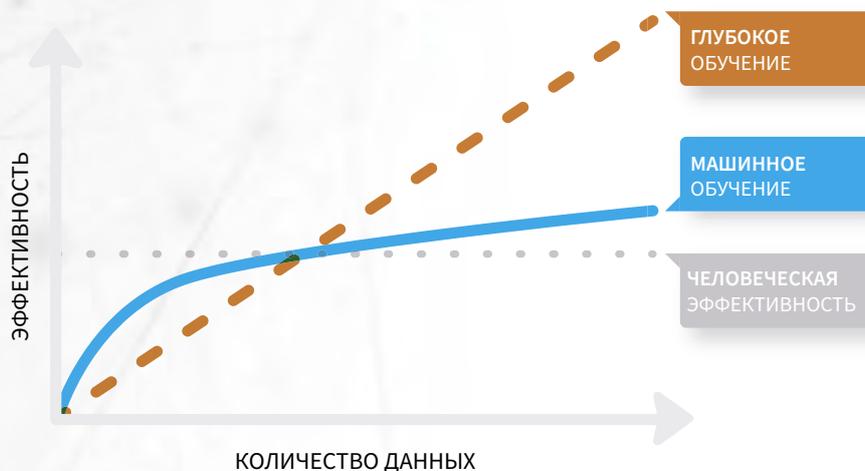
Искусственный интеллект — это не имеющий строгого определения термин, который используется для обозначения алгоритмов различного типа (см. глоссарий в конце буклета для получения более детальной информации). В настоящем информационном буклете под **глубоким обучением** мы понимаем способность компьютера к **самообучению** в отсутствие непосредственных указаний.

Изющество данного подхода состоит в том, что компьютер обучается на данных подобно человеку, который приобретает опыт при сопоставлении объектов и меток, например, когда изучает иностранный язык. Поэтому чем больше данных «видит» компьютер, тем лучше он научится и станет эффективнее.

Алгоритмы глубоких искусственных нейронных сетей по эффективности превосходят более старые алгоритмы машинного обучения, поскольку в последних параметры данных, которые будет обрабатывать компьютер, выбирает человек. Однако в эхокардиографии, как и в медицине в целом, некоторые связи и важные параметры все еще не обнаружены. Поэтому методы самообучения потенциально могут расширить границы того, что известно на сегодняшний день. Данные хранят историю.

В то же время очень важным является понимание внутренней структуры алгоритмов, поэтому прозрачность их разработки и ясное видение того, как они достигают результата, необходимо для его правильной интерпретации и достоверности. Ниже специально для этой цели приведено описание алгоритмов.

Рис. 1.
Глубокое обучение позволяет значительно увеличить точность и надежность с течением времени, так как алгоритм «видит» больше данных.



2. Что лучше — моментальное обучение или непрерывное?

По своему устройству алгоритмы самообучения со временем становятся более эффективными. Однако, чтобы убедиться в том, что обучение идет в правильном направлении, требуется контроль.

В системы Vivid встроены алгоритмы моментального контроля. Таким образом, эффективность алгоритма становится известной и контролируемой. Самообучение проводится в процессе разработки, и алгоритм внедряется в систему (моментально) перед выпуском продукта. Таким образом, системы Vivid не обучаются непрерывно во время работы. Алгоритмы с непрерывным обучением могут начать работать неправильно при получении данных, которые добавляют путаницу, например из-за различий при проведении исследования разными пользователями.

Алгоритмы получают новые данные в контролируемых условиях. Пилот «Формулы-1» не может обучать подростка вождению, так же и на обучение системы не должен влиять никакой «водитель».

3. Практические методы самообучения

Подходы к самообучению определяются данными. Тщательный подбор данных — основополагающий фактор при разработке точных и надежных алгоритмов.

Относительно легко обучить алгоритм эффективной работе с теми же данными, на которых и проводилось обучение, например протестировать его на данных, полученных в той же клинике. Однако задача заключается в том, чтобы разработать алгоритм, который был бы эффективным (точным) при любых входных данных (надежным).

Тестирование на точность и надежность осуществляется при обучении алгоритма на данных, полученных в одной или нескольких клиниках, к которым затем добавляются данные из других, предпочтительно нескольких, клиник.



Рис. 2.
Алгоритм, обученный на данных одной или нескольких клиник, должен работать так же хорошо и с данными, полученными в других клиниках.

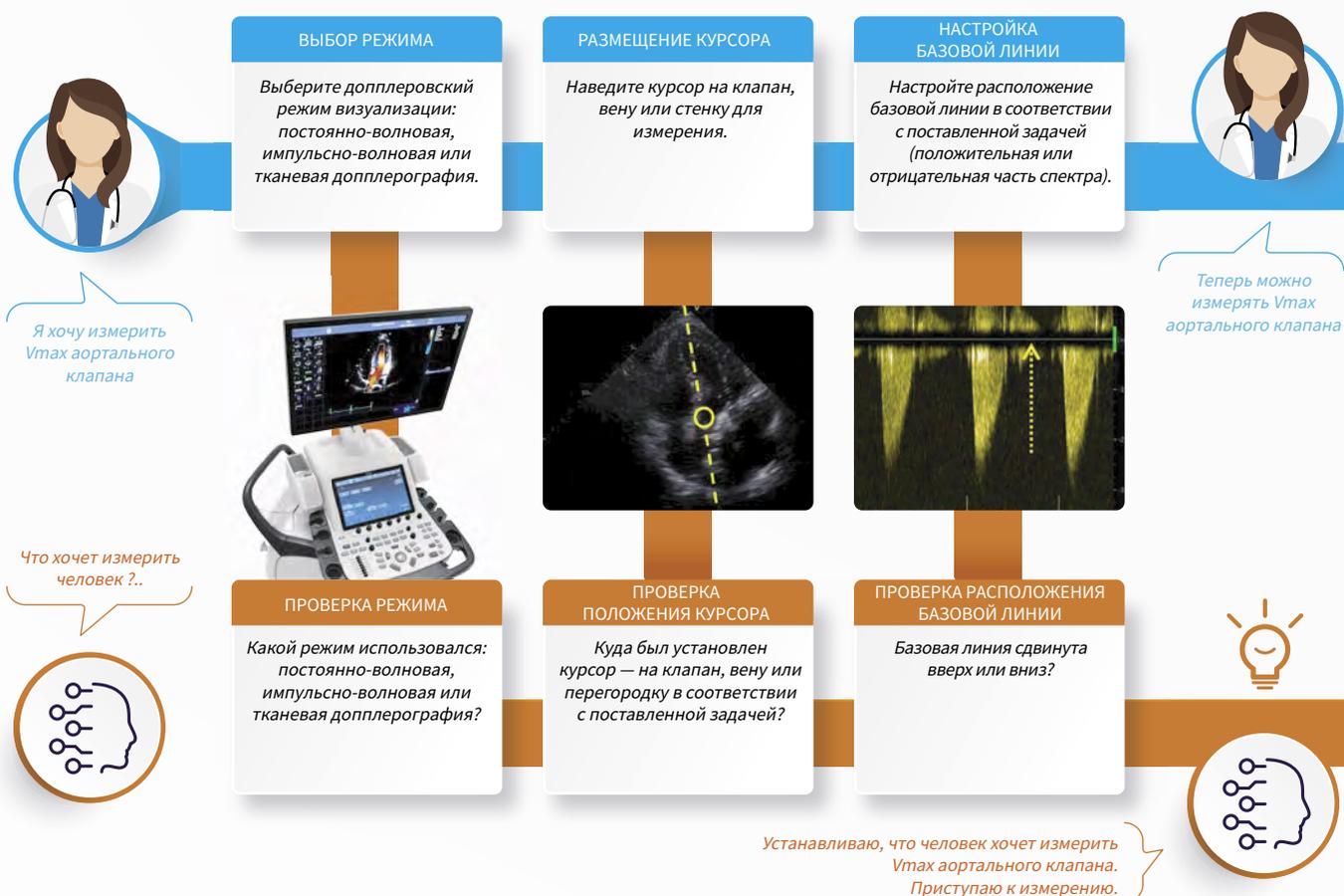
Полуавтоматизированное выявление нужных измерений

4. AI Auto Measure — Spectrum Recognition (Автоматизированное распознавание спектра на базе ИИ)

Инструменты для полуавтоматических измерений на основе спектрального доплера уже несколько лет доступны в пакете Cardiac Auto Doppler систем Vivid. Традиционно пользователь проводил измерения самостоятельно, открывая меню и выбирая необходимое измерение на изображении. Чтобы избежать необходимости выбора измерений, алгоритм на базе ИИ был обучен полуавтоматизированному выявлению соответствующих измерений, обеспечивая быстрый переход системы от сканирования к измерениям.

Подход

Разработка подхода к решению этой задачи отражает способ, которым ее решал бы человек. Итак, она сводится к следующему. Пусть у нас есть изображение, полученное в спектральном доплеровском режиме. Как мы можем вычислить нужное измерение? Скорее всего, мы бы посмотрели на двумерное изображение, чтобы увидеть, на какой клапан или перегородку указывал курсор в доплеровском режиме. Затем мы бы воспользовались этой информацией в сочетании с режимом визуализации — постоянно-волновая (CW), импульсно-волновая (PW) или тканевая доплерография (TVD), — а также расположением базовой линии, которая показывает, какую часть спектра (положительную или отрицательную) хотел бы увидеть пользователь. Информация о режиме визуализации и расположении базовой линии всегда хранится в файле доплерографии, поэтому ее не нужно угадывать. Остается только обнаружить, на какой клапан или стенку в доплеровском режиме установил курсор пользователь.



Таким образом, подход к решению задачи состоял в том, чтобы обучить алгоритм на базе ИИ по двумерным изображениям в полуавтоматизированном режиме. Он должен был научиться устанавливать, в каком месте производится регистрация в спектральном доплеровском режиме (определенный клапан, или сосуд, или стенка желудочка). Для решения этой задачи применялся прямой подход: двумерные изображения «скармливали» нейронной сети глубокого обучения. Помимо основного изображения на входе в нейросеть был добавлен еще один слой изображения, отвечающий за положение доплеровского контрольного объема (Doppler gate location). Мы протестировали несколько наиболее продвинутых архитектур нейросетей, чтобы подобрать оптимальную подходящую конфигурацию для достижения наилучшей точности.

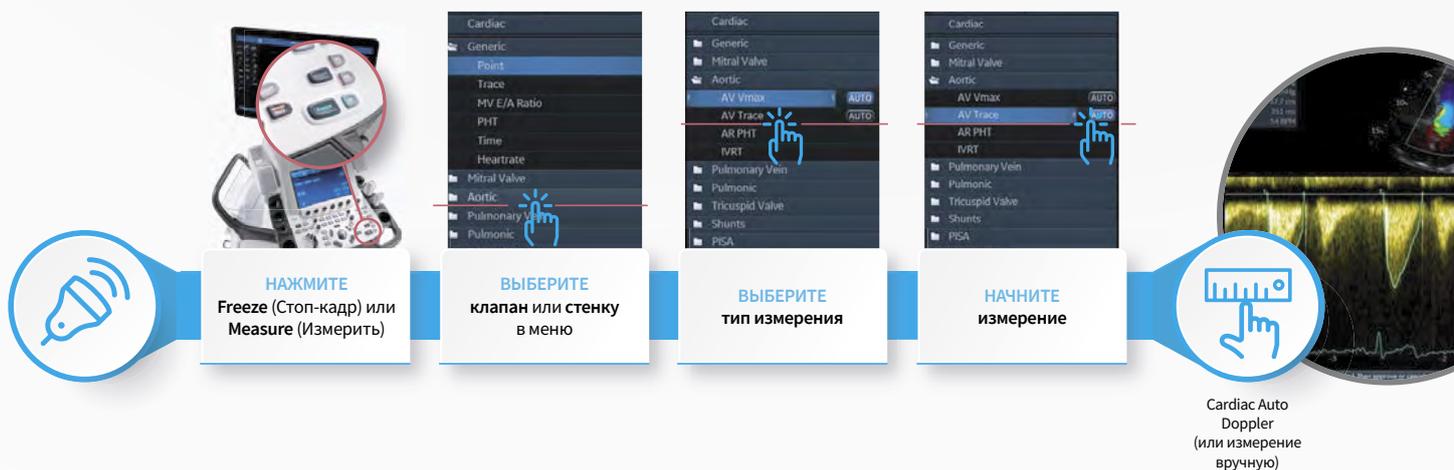
Данный алгоритм был протестирован на верификационных данных, состоящих из тысяч изображений, полученных в клиниках по всему миру. При этом для обучения алгоритма были отобраны изображения из разных клиник. Таким образом, точность достигла значения 98%, а воспроизводимость — 100%⁸.

На рис. 3 представлен новый порядок действий, сочетающий AI Auto Measure — Spectrum Recognition со спектральными доплеровскими измерениями (вручную или автоматизированных при использовании Cardiac Auto Doppler [автодоплера в кардиологии]).

ТОЧНОСТЬ
98%
10

ВОСПРОИЗВОДИМОСТЬ
100%
10

ТЕКУЩИЙ ПОРЯДОК ДЕЙСТВИЙ



ПОРЯДОК ДЕЙСТВИЙ AI AUTO MEASURE SPECTRUM RECOGNITION



Рис. 3. В порядке действий при использовании алгоритма AI Auto Measure — Spectrum Recognition не нужно указывать на нужный клапан или стенку и далее проводить само измерение (верхний ряд, установка вручную), что оптимизирует рабочий процесс.

5. AI Auto Measure — 2D (Автоматизированные 2D-измерения на базе ИИ)

Одно из известных ограничений на измерения в режиме двумерной эхокардиографии — вариабельность между пользователями. Измерения левого желудочка занимают много времени и довольно трудоемки, поскольку непросто отличить анатомические структуры правой части сердца от перегородки и заднюю стенку от сосочковых мышц левого желудочка. Более того, в повседневной практике врачи не всегда одинаково следуют рекомендациям по проведению этих измерений. Поэтому в систему внедрена глубокая искусственная нейронная сеть (ИНС), которая распознает характерные точки на изображении. По ним производятся следующие измерения левого желудочка:

- толщина межжелудочковой перегородки (IVS);
- внутренний диаметр левого желудочка (LVID);
- толщина задней стенки левого желудочка (LVPW).

1 Выберите кадр с конечной диастолой

2 Измерьте перегородку

3 Измерьте внутренний диаметр

4 Измерьте заднюю стенку

5 Выберите кадр с конечной систолой

6 Измерьте внутренний диаметр

IVSd 0.9 cm
LVIDd 4.4 cm
LVPWd 0.7 cm
IVSs 1.2 cm
LVIDs 3.0 cm
LVPWs 1.2 cm
EF(Teich) 59
EF(Cube) 67
%FS 31

Нажмите на кнопку автоматизированного измерения

Подход

Для решения данной задачи был разработан алгоритм на основе глубокой искусственной нейронной сети, который предсказывает конечную точку каждого измерения (обнаружение ориентиров). На двумерное одноканальное (серошкальное) изображение была наложена система координат с осями x и y. Затем изображение поступало на сверточный слой, который обеспечивал сверточной нейронной сети пространственный контекст (см. рис. 5). Мы протестировали несколько наиболее продвинутых архитектур нейросетей, чтобы подобрать оптимальную, которая обладала бы наибольшей точностью. Алгоритм был протестирован на сотнях изображений. Его эффективность сравнима, а в некоторых случаях даже лучше, чем у человека. При этом сохраняется стопроцентная воспроизводимость.

6. AI View Recognition (Автоматизированное распознавание проекций на базе ИИ)

Основная задача AI View Recognition — автоматизированное распознавание стандартных двумерных плоскостей сканирования и хранение полученной метки в файле изображения для оптимального использования в дальнейшем, например при определении того, подходит ли изображение для данного измерения, как приведено выше, или при автоматизированном выборе тройки соответствующих апикальных проекций для анализа деформации, как будет описано далее. Теперь алгоритм может распознавать большинство стандартных плоскостей сканирования.

Подход

Для решения этой задачи применялся прямой подход: двумерные кинопетли в стандартных проекциях с соответствующими метками изображения загружали в глубокую искусственную нейронную сеть. Мы протестировали несколько наиболее продвинутых архитектур нейросетей, чтобы подобрать оптимальную, которая обладала бы наибольшей точностью. Одноканальное изображение в оттенках серого подавалось на вход нейросети.

Для обучения алгоритма были промаркированы наиболее часто получаемые проекции: парастернальная, апикальная и подреберная. В некоторых случаях, когда это не отражалось на функциональности системы, разбиение на более мелкие классы не проводилось. Поэтому такие проекции были отмечены одной меткой, что увеличивало эффективность. Итоговые метки проекций: парастернальная, апикальная и подреберная.

Данный алгоритм был протестирован на верификационных данных, состоящих из тысяч изображений, полученных в клиниках по всему миру. При этом для обучения алгоритма были отобраны изображения из разных клиник. Таким образом, точность достигла значения 99%, а воспроизводимость — 100%⁸.

ТОЧНОСТЬ
99%

ВОСПРОИЗВОДИМОСТЬ
100%



7. AFI ЛЖ на базе ИИ (Автоматизированная визуализация функции левого желудочка)

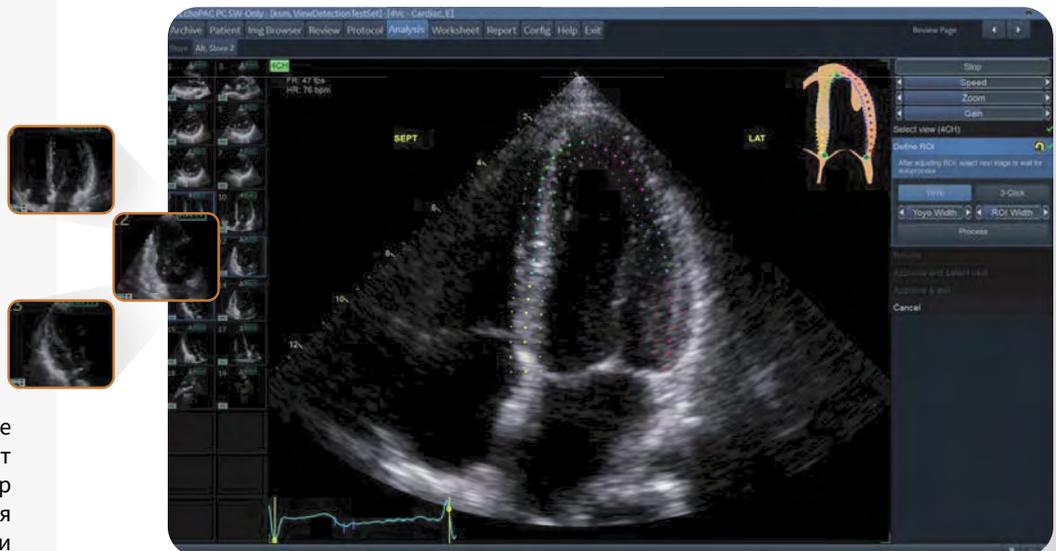
Как было написано выше, AI View Recognition служит для усовершенствования процесса AFI ЛЖ. Для полного анализа деформации ЛЖ требуется три апикальные проекции (четырёхкамерная, по длинной оси ЛЖ и двухкамерная). Эти изображения должны быть сопоставимы по частоте сердечных сокращений и частоте кадров, поскольку для полного анализа функции ЛЖ необходимо сочетать вычисления деформации по разным проекциям. Сопоставление значений деформации для изображений, которые существенно отличаются по частоте сердечных сокращений и частоте кадров, не будет иметь физиологической значимости.

Алгоритм AI View Recognition распознает апикальные проекции и, сочетая информацию о проекции с частотой сердечных сокращений и частотой кадров, автоматически выбирает тройку апикальных проекций, подходящих для анализа AFI ЛЖ.

ЗАПУСК AFI

ВЫБОР
ПРОЕКЦИИ

ОБРАБОТКА
ПРОЕКЦИИ



AFI ЛЖ на базе ИИ осуществляет предварительный выбор и маркировку проекций для последующей обработки

Заключение

Алгоритмы систем линейки Ultra Edition помогают уменьшить усталость оператора

Алгоритмы на базе нейронных сетей и ИИ разработаны, чтобы обеспечить воспроизводимость результатов и сделать получение информации быстрее, чем при традиционном измерении вручную. Их использование сокращает необходимость ручного обозначения и может уменьшить усталость оператора и риск развития профессиональных заболеваний опорно-двигательного аппарата.

Воспроизводимые результаты измерений, снижение операторозависимости

Алгоритмы линейки Ultra Edition на базе ИИ обеспечивают воспроизводимость и повторяемость результатов измерений независимо от опыта оператора. При этом точность составляет 99%, а выявляемость — 98%.

Преимущества искусственного интеллекта линейки Ultra Edition

Компьютер с алгоритмами линейки Ultra Edition на базе ИИ становится полноценной частью команды врачей. Эти алгоритмы разработаны, чтобы избавить врачей и техников от трудоемких и кропотливых действий при получении измерений. Они помогают им сосредоточить все внимание на процедуре и тратить каждую секунду на самое главное — пациента — без вреда своему здоровью.

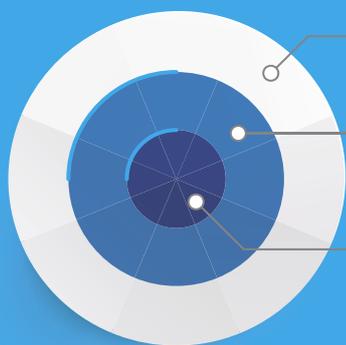
до **80%**
МЕНЬШЕЕ
КОЛИЧЕСТВО
НАЖАТИЙ⁸

99%
ТОЧНОСТЬ⁹

98%
ВЫЯВЛЯЕМОСТЬ¹⁰

100%
ВОСПРОИЗВОДИМОСТЬ¹¹

vivid



ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ / САМООБУЧЕНИЕ

Машины, запрограммированные обучаться на основе данных

МАШИННОЕ ОБУЧЕНИЕ

Машины, способные обучаться на основе заданных свойств данных

ГЛУБОКОЕ ОБУЧЕНИЕ

Алгоритмы глубокой искусственной нейронной сети, способные обучаться непосредственно на основе данных без прямого указания, на каких особенностях данных необходимо сфокусироваться

Искусственный интеллект: обобщающее понятие, которое относится к общепринятому представлению об имитации процесса обучения человека. При этом компьютер запрограммирован обрабатывать данные похожим на процесс обучения человека образом.

Самообучение: способность обучаться без прямых указаний.

Обучение с учителем / без учителя / с частичным привлечением учителя: запрограммированный алгоритм обучения выявлению связей между кластерами данных посредством предварительной маркировки данных (обучение с учителем), или при помощи автоматического разделения кластеров данных на основе исследования их структуры (обучение без учителя), или сочетание обоих способов (обучение на некотором количестве промаркированных данных и переход к обучению на объектах, не имеющих метки класса).

Обучение с подкреплением: запрограммированный алгоритм обучения оптимальным действиям, которые приведут к конечной цели путем получения обратной связи при каждом периодическом действии.

Машинное обучение: алгоритм для обучения поиску связей (и выбросов) данных с использованием обучения с учителем, без учителя, с частичным привлечением учителя или обучения с подкреплением.

Искусственная нейронная сеть: архитектура этапов обработки данных, имитирующая работу нейронной сети головного мозга человека, сочетающая в себе несколько слоев, осуществляющих обработку данных на разных уровнях детализации. Искусственная нейронная сеть, состоящая из более чем двух слоев, называется глубокой нейронной сетью.

Глубокая искусственная нейронная сеть: подмножество алгоритмов машинного обучения, которые автоматически выделяют важные параметры данных (при этом их не обучают выявлять какие-либо определенные параметры). Набор алгоритмов, которые позволяют компьютеру находить существенную информацию в данных без явного указания направления поисков, что обеспечивает значительное увеличение качества, поскольку компьютер может заметить невидимые человеку связи в данных. Повсеместное распространение алгоритмов глубокого обучения произошло вследствие повышения производительности компьютеров, которые теперь могут обеспечить работу искусственных нейронных сетей, становящихся все более глубокими. Это потенциально позволяет выявить детали данных, скрытые от других алгоритмов.

Алгоритм: предопределенная последовательность вычислений.

Данные верификации: данные, которые используются для проверки точности алгоритма. Должны использоваться данные, полученные в учреждениях, отличных от тех, в которых были собраны данные, использовавшиеся для обучения алгоритма. Это делается для обеспечения пересечения групп пациентов, а также для того чтобы убедиться, что алгоритм обучен для работы с данными из любых клиник, а не только из определенных учреждений.

Моментальное обучение: алгоритм обучается на данных, полученных в определенный момент времени (моментальный снимок) в контролируемых условиях. Суть алгоритма не изменяется, поэтому обеспечивается повторяемость результатов на 100% при использовании данного обновления программного обеспечения.

Непрерывное обучение: встроенная в оборудование функция, которая обеспечивает непрерывное изменение алгоритма в соответствии с поступающими данными в неконтролируемых условиях. Это обеспечивает непрерывные условия как для улучшения эффективности алгоритма, так и для ухудшения его показателей, поскольку алгоритм подстраивается под новые поступающие данные.



GE HealthCare

О компании GE HealthCare

GE HealthCare является одним из ведущих мировых производителей передового медицинского оборудования, фармацевтических препаратов для диагностики, а также интегрированных цифровых решений, сервисов и систем аналитики данных. Наши технологии способствуют повышению эффективности работы врачей, выбору точных методов лечения и, как следствие, сохранению здоровья и улучшению качества жизни пациентов. На протяжении более 100 лет GE HealthCare помогает системам здравоохранения и развивает эмпатичный подход к заботе о пациентах, построенный на связанных между собой передовых технологиях, одновременно упрощающий путь для оказания своевременной медицинской помощи. Вместе мы создаем мир, в котором возможности здравоохранения безграничны. Узнайте больше, посетив www.gehealthcare.ru.

Контактная информация:

123112, г. Москва, Пресненская набережная, д. 10А,
Москва-Сити, бизнес-центр «Башня на Набережной»
Тел.: + 7 495 739 69 31

Горячая линия:

8 800 333 69 67 (бесплатный номер для звонков из регионов РФ)

Библиография

- [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/cardiovascular-diseases-\(cvds\)](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/cardiovascular-diseases-(cvds))
- Forecasting the Future of Cardiovascular Disease in the United State, AHA Policy Statement, 2011, source: CIR.0b013e31820a55f5.
- Work Related Musculoskeletal Disorders In Sonography, SOCIETY OF DIAGNOSTIC MEDICAL SONOGRAPHY, Susan Murphey, <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/8756479317726767>
- Temporal Trends in the Utilization of Echocardiography in Ontario, 2001 to 2009, Blecker et al, JACC: Cardiovascular Imaging Volume 6, Issue 4, April 2013, Pages 515-522, <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2012.10.026>
- Focus cardiac ultrasound core curriculum and core syllabus of the European Association of Cardiovascular Imaging, Neskovic et al, European Heart Journal — Cardiovascular Imaging, Volume 19, Issue 5, May 2018, Pages 475-481, <https://doi.org/10.1093/ehjci/jeu006>
- Quality Measure and Quality Improvement, CMS.gov Centers for Medicare & Medicaid Services, <https://www.cms.gov/Medicare/Quality-Initiatives-Patient-Assessment-Instruments/MMS/Quality-Measure-and-Quality-Improvement>
- Transforming healthcare with AI. The impact on the workforce and organisations <https://www.mckinsey.com/industries/healthcare-systems-and-services/our-insights/transforming-healthcare-with-ai>
- Применимо к алгоритму AI Auto Measure — 2D, показатели на основе внутренней информации компании GE (DOC2367624).
- Применимо к алгоритму AI View Recognition, показатели на основе внутренней информации компании GE (DOC2292732).
- Применимо к алгоритму AI Auto Measure — Spectrum Recognition, показатели на основе внутренней информации компании GE (DOC2292732).
- Применимо к AI Auto Measure — Spectrum Recognition, AI Auto Measure — 2D и AI View Recognition. Подразумевается, что алгоритмы обучены методом моментального обучения, поэтому после выпуска продукта они не изменяются. При повторном предъявлении алгоритму тех же данных в обоих случаях будут получены одинаковые результаты: модели воспроизводимы на 100%.

Описанные технологии могут быть недоступны в вашей стране, уточняйте наличие у регионального представителя GE HealthCare.

© 2023 GE HealthCare

GE является товарным знаком компании General Electric, используемым на основании лицензионного соглашения. Компания GE HealthCare оставляет за собой право вносить изменения в приведенные здесь характеристики и функции, а также снять продукт с производства в любое время без уведомления или обязательств.

GE и VIVID являются товарными знаками компании General Electric, используемыми на основании лицензионного соглашения. Все товарные знаки третьих сторон являются собственностью их соответствующих владельцев.

JV00090RC