Прецизионный анализ и синтез биомедицинских изображений





Главным условием эффективности медицинского искусственного интеллекта становится не колоссальный объем выборки, а безупречное качество и глубина разметки данных – огромных массивов информации, историй болезней, тысяч снимков КТ и МРТ и др. И если на входе алгоритм получает зашумленную, неточную или некорректно размеченную информацию, на выходе неизбежно формируется искаженная клиническая картина. Но как обеспечить эталонное качество данных, когда реальная клиника полна хаоса, артефактов и шумов? Своим «прецизионным» видением проблемы делится ведущий научный сотрудник лаборатории анализа биомедицинских изображений ОИПИ НАН Беларуси, кандидат технических наук Василий КОВАЛЕВ.

Василий Алексеевич, ваша лаборатория обучает нейросети уже более 13 лет. С чего все начиналось и как эволюционировала индустрия за это время? Стало проще, сложнее или, может быть, страшнее?

– Изменилось абсолютно все. Возникли принципиально новые программные и технические средства для обучения. Колоссально развились нейронные сети: они усложнились, получили другую архитектуру, стали в разы эффективнее и намного требовательнее. Да и задачи теперь несопоставимо масштабнее и затратнее с вычислительной точки зрения. Ну а там, где растут технические мощности, неизбежно увеличиваются и финансовые аппетиты проектов. Мы физически больше не можем работать на том оборудовании, которое было актуально в начале пути. Существующие сегодня модели на порядок мощнее, но для их обучения требуются просто гигантские массивы качественных данных. Если раньше практически 100% задач сводилось к банальной классификации, например по принципу «больной/здоровый», то с появлением класса генеративных нейронных сетей, способных создавать объекты после соответствующего обучения, ситуация кардинально изменилась. Мы перешли от простого распознавания образов к их цифровому моделированию и делаем это очень давно. Анализ, интерпретация и обработка медицинских изображений – сфера крайне чувствительная к инновациям. Все технологические новинки появляются у нас одними из первых.

Но ведь на этом прогресс не остановился? Что происходит в индустрии сейчас?

– После генерации изображений произошла еще одна крупная революция в развитии искусственного интеллекта. И наша лаборатория, конечно, не осталась в стороне от появившихся больших языковых моделей (LLM). Они открыли совершенно другой этап нашей работы, который в корне меняет подход к анализу медицинских данных.

Правильно ли я понимаю, что это гигантские системы, которые физически невозможно запустить на обычном гаджете?

– Как правило, они огромны. Хотя существующие технологии позволяют портировать некоторые нейросети на локальные устройства. Конечно, на телефоне это будет скорее игрушка. Но на хорошем, мощном современном домашнем ПК запустить такую модель вполне реально. Главное их отличие будет в интерфейсе и масштабе. Общение с ИИ идет не только через клавиши, а и голосом. Более того, эти сети невероятно сложны. Их обучали и обучают на колоссальном объеме разнотипных данных – изображениях, звуках, исторических архивах, представленных на разных языках. В общем, туда загрузили все, что можно найти в Интернете, и даже больше. Например, профессиональные медицинские базы данных – на них модели тоже активно учились. Современные LLM, по сути, интегрируют внутри себя все предыдущие архитектуры сетей.

Если оценивать этот масштабный технологический сдвиг, в чем принципиальное отличие нового подхода к анализу информации от прежних IT-моделей?

– Раньше мы работали с так называемыми унимодальными нейронными сетями. Они умели взаимодействовать только с одним типом данных: со звуком, текстом, с медицинскими сигналами или изображениями. Затем наступила эра многомодальных нейросетей. Это как раз то направление, над которым сейчас активно работает команда нашей лаборатории, когда объединяются изображение и текст.

Как это выглядит на практике, какие реальные задачи в медицине помогает решать?

– Сеть способна автоматически генерировать текстовое описание того, что изображено на снимке. Возьмем диагностику легких, которой мы занимаемся очень давно. По медицинскому протоколу рентгеновское и/или томографическое изображение грудной клетки должен изучить специально обученный врач-радиолог, у нас его чаще называют рентгенологом. Он профессионально оценивает изображение и подробно описывает, что видит: например, затемнение в определенной доле легкого или мелкие нодулы – новообразования, которые могут быть крайне агрессивными и указывать на рак легких. При этом не ставит окончательный диагноз, а формирует детальное описание для истории болезни, на основе которого пациента отправляют на дальнейшие обследования. И вот этот сложнейший процесс первичного описания снимка мы теперь можем автоматизировать и усилить с помощью нейросетей.

Обыватели часто думают, что ИИ устроен просто: нейросеть посмотрела на снимок и сразу поставила окончательный диагноз.

– Это огромное заблуждение. В жизни так не бывает. Диагноз – это слишком серьезная и сложная вещь. Он всегда ставится на основе комплекса совершенно разнотипных данных. Именно поэтому врач отправляет нас и на анализ крови, и на кардиограмму, даже если на сердце нет жалоб. В диагностике важно все. Но вернемся к радиологу: его ключевая функция – профессионально и детально описать снимок. И мы ставим перед нейросетью схожую цель: по изображению грудной клетки сгенерировать полноценное текстовое заключение. Это абсолютно нетривиальная инженерная задача. Мы вышли на качественно новый уровень, где искусственный интеллект одновременно работает с разнородными, мультимодальными данными. Под моим руководством в БГУ дипломные работы на эту тему защищали уже трое студентов. И что самое интересное – пути решения и финальные итоги у всех разные. Стало понятно, что к этой проблеме действительно можно подходить с совершенно разных технологических сторон. Если резюмировать эволюционный процесс в нашей сфере, то его можно описать так: сначала были унимодальные сети для одного типа данных, затем появились гетерогенные, или многомодальные системы, связывающие, например, картинку и текст, и вот сейчас на вершину поднялись большие языковые модели, выступающие в роли универсального мультимодального интеллекта.

Качество данных в медицинских ИИ-системах

Дискуссии о колоссальных возможностях ИИ, обучающегося на терабайтах медицинской информации, не утихают. Однако в IT-индустрии и биомедицинской инженерии существует различная специфика использующихся данных. Как добиться качества диагностических моделей и конечных программных продуктов?

– Ключевая проблема кроется в том, что в этой отрасли не работает классическое индустриальное правило «почти готово». Если обычный материальный объект сделан на 95% или на 99%, его в ряде сфер можно использовать и постепенно доводить до ума. Но если алгоритмическая система или программное обеспечение готовы лишь на 99% – результат фактически равен нулю, а значит, он никому не нужен. Оставшийся процент некачественных данных или критической ошибки в коде полностью парализует систему. Код либо работает идеально и решает задачу, либо бесполезен. Именно поэтому за красивой визуализацией и «шедеврами», выдаваемыми нейросетями, всегда обязан стоять жесткий контроль качества и экспертный аудит.

Сегодня часто звучит тезис, что данные – это новый экономический актив. Но их ценность напрямую зависит от достоверности. Если говорить о медицине, что именно определяет качество этого актива? Ведь за ним стоят не просто сухие цифры в таблицах, а человеческие жизни.

– Данные действительно стали ценнейшим активом, но без должной чистоты они превращаются в «токсичный» капитал. Для нас как профессионалов это фундамент, без которого никакой искусственный интеллект не заработает, сколько бы денег в него ни вложили. Понятие «качество» жестко привязано к типу данных, и начинается оно не в момент анализа, а в момент фиксации – с аппаратуры, которая эти данные снимает. В медицине информация редко записывается со слов пациента. Это всегда показания приборов. Если мы говорим о лучевой диагностике, то ключевой фактор – какая именно установка делала снимок. В Беларуси, например, основная масса рентгеновских аппаратов – это отечественная техника компании «Адани». И это действительно хорошие, надежные машины, с которыми мы успешно работаем уже много лет. Наш уровень здесь весьма неплох. Но качественное «железо» – это лишь половина дела. Огромную роль играет человеческий фактор и культура сбора информации. Под этим я имею в виду в том числе подготовку пациента. Персонал наших поликлиник обучен внимательно следить за стандартами: лаборанты не позволят человеку войти в аппарат с посторонними предметами, например украшениями, которые потом дадут артефакты и брак на снимке. За этим следят очень строго, поэтому на выходе и получается чистый материал. Я видел базы данных коллег из других стран – там ситуация другая. Кроме того, у нас эти данные изначально цифровые. Это принципиальный момент для экономики здравоохранения и обучения ИИ. Мы не занимаемся оцифровкой старого материала. Знаете, как бывает в некоторых зарубежных клиниках, с которыми мы сотрудничаем? Там берут обычную аналоговую пленку и просто переснимают на фотокамеру или мобильный телефон. Формально файл становится цифровым. Но вы же понимаете, какое там качество? Для серьезных алгоритмов такой суррогат непригоден.

Интерпретация данных и концепция Second Opinion

Когда врач анализирует массив информации – снимки МРТ, КТ, анализы крови, – как именно функционирует ИИ? Существует ли какой-то эталонный базис для верификации решений?

– У ИИ есть условный цифровой эталон нормы и тысяч патологий, на которых модель долго обучали. Она сопоставляет содержимое анализируемого кадра с терабайтами других изображений, выявляя даже микроскопические аномалии. Однако такая система нужна не для замены человека, а исключительно для реализации концепции «второго мнения». Никакой искусственный интеллект не ставит диагноз. Это дело только врача, несущего полную юридическую и уголовную ответственность за его точность. Прямое автоматическое назначение лечения машиной невозможно. Если в качестве эталонных данных, на которых учили модель, была хотя бы одна ошибка, система может пойти по ложному следу.

Насколько практикующие белорусские врачи ментально и профессионально готовы доверять подсказкам ИИ, велик ли барьер скепсиса и консерватизма со стороны отечественного медицинского сообщества?

– Медицинский ИИ – это высокотехнологичный цифровой ассистент, инструмент подсказки, обеспечивающий то самое независимое «второе мнение». Замена врача искусственным интеллектом – опасная иллюзия. Нейросеть способна обнаружить на снимке крошечный очаг патологии, который человеческий глаз может пропустить из-за банальной усталости в конце смены. Но компьютер полностью лишен клинического мышления, живой интуиции и способности видеть пациента целиком, со всеми его индивидуальными особенностями. К тому же ответственность за жизнь человека всегда несет доктор, который может воспринимать подсказки алгоритма, но в любом случае за ним остается финальный диагноз. Если говорить о готовности белорусских врачей доверять подсказкам ИИ, то барьер и скепсис действительно есть, но я бы не связывал это с консерватизмом. Скорее всего, это нормальная, здоровая профессиональная осторожность. Главный принцип медицины – «не навреди», поэтому врач просто не имеет права верить красивой компьютерной программе на слово. Ему нужны жесткие доказательства и четкое понимание того, почему робот принял именно такое решение. Сейчас ситуация на местах меняется очень быстро. Например, у нового поколения медиков недоверия практически нет, для них цифровые помощники – это естественная рабочая среда. На базе наших РНПЦ и медицинских вузов мы видим огромный интерес к технологиям со стороны молодых специалистов. Да и у опытных докторов сомнения мгновенно исчезают, когда ИИ за секунды находит скрытый очаг, сам размечает сложнейшие снимки и берет на себя тонну рутинной работы. Доктора начинают видеть в ИИ не конкурента, который хочет их заменить, а надежного, точного и очень быстрого коллегу.

Приватность и преодоление разрыва между симуляцией и реальностью

Чтобы полностью исключить риск утечек, мировая медицина все чаще переходит на «синтетику» – искусственные медицинские снимки и карты. Планирует ли ваша научная команда создавать и коммерциализировать такие генеративные модели, чтобы поставлять безопасные учебные базы для наших разработчиков, например IT-решений?

– Переход на синтетические данные – закономерная тенденция, обусловленная колоссальной чувствительностью медицинской тайны. Действительно, утечка реального КТ-снимка или карты пациента несет огромные репутационные, правовые и этические риски. Технологии генеративно-состязательных и диффузионных моделей позволяют создавать клинически точные деперсонализированные симуляции. Что касается планов нашей научной команды в ОИПИ, то мы активно движемся в направлении разработки безопасных верифицированных массивов данных, однако наш подход к «синтетике» носит более глубокий, прецизионный характер. Генерация радиологических изображений или электронных карт ради простой продажи IT-компаниям – тупиковый путь. Наша цель гораздо шире – сформировать национальную экосистему доверенных медицинских данных, которая обеспечит технологический суверенитет и безопасность как для разработчиков, так и для практического здравоохранения.

В этом направлении несколько приоритетов. Во-первых, преодоление «галлюцинаций» нейросетей. Речь идет о том, что если обычный коммерческий

генератор может сделать визуально правдоподобный снимок легких, то для медицинской диагностики этого мало. Мы закладываем в архитектуру ИИ строгие анатомические и физические инварианты, чтобы синтезированные патологии (например, онкологические новообразования на ранних стадиях) имели жесткую клиническую достоверность, а не являлись «фантазией» алгоритма. Во-вторых, для обучения сильных ИИ-решений отечественным IT-компаниям нужны сочетанные данные. Наша команда ориентирована на создание связанных синтетических пакетов: например, искусственный КТ-снимок, подкрепленный сгенерированным текстовым анамнезом и лабораторными показателями несуществующего пациента. В-третьих, любая обучающая база должна пройти полную верификацию со стороны медицинского сообщества. Компьютерная модель никогда не заменит врача в вопросах экспертной оценки. Поэтому синтетические наборы разрабатываются в тесной связке с ведущими медцентрами страны, выступающими главными арбитрами. Коммерциализация таких решений – вопрос времени и готовности нормативно-правовой базы. Но мы четко осознаем, что без безопасных, лишенных персональных рисков обучающих выборок белорусские IT-разработчики медицинского софта не смогут конкурировать на глобальном рынке. ОИПИ НАН Беларуси готов выступить фундаментальным научно-технологическим партнером в этом процессе.

В чем математическая и практическая суть синтетических данных?

– Синтетические данные – это медицинская информация, созданная искусственно с помощью генеративных нейросетей, а не собранная с реальных пациентов. На сгенерированном снимке нет чужого копирайта или личной тайны, его можно свободно передавать исследователям, полностью защищая конфиденциальность граждан. С точки зрения математического анализа, если представить клинические признаки в функциональном пространстве в виде диаграммы рассеяния, мы увидим, что данные здоровых и больных людей образуют пересекающиеся, хаотичные структуры вроде бублика или диска. Найти чистую границу разделения крайне сложно – точность диагностики даже у опытных врачей (тестировали их по туберкулезу) в сложных пограничных задачах составляет в среднем 95%. Предел. Синтез же позволяет искусственно «доставить» недостающие точки на график – генерировать редчайшие, промежуточные патологии, которых физически нет в клинике из-за ограниченности выборки. Мы выравниваем хаотичную выборку до состояния идеальной математической модели, позволяя ИИ успешно обучаться скрытым закономерностям и преодолевать человеческий порог точности диагностики. У нас в лаборатории разработан собственный генератор медицинских изображений. С помощью его решений можно «догенерировать» редкие патологии и «скормить» их нейросети. Как именно она учится внутри, какие конкретно цифры меняет в своих слоях – это внутренняя фундаментальная проблема ИИ. Но мы точно знаем, что если эти пограничные точки будут в обучающей выборке, сеть будет их знать и не ошибется на реальном пациенте.

Насколько прослеживаемы и адекватны решения модели, обученной на таких «виртуальных» пациентах, когда она сталкивается с хаотичными шумами и артефактами реального тонометра на руке человека?

– Вы затронули одну из самых острых и болезненных проблем современной прикладной науки об искусственном интеллекте. В международной инженерной практике этот феномен называют Simulation-to-Real Gap – разрывом между симуляцией и реальностью. Скажу так: без специальной подготовки модель, обученная на «стерильных» виртуальных пациентах, при столкновении с реальным тонометром на руке человека с высокой долей вероятности поведет себя неадекватно, а логика ее решений будет абсолютно непрослеживаемой. Нейросеть копирует физиологию, но не хаос окружающего мира. Например, GAN или диффузионные модели – нейросети-генераторы создают математически красивую, сглаженную симуляцию. Максимум, что туда закладывают разработчики, – стандартный, предсказуемый шум вроде белого или гауссовского. Но живой человек в клинике или дома – это источник физического хаоса. Он может случайно вздохнуть, покашлять, у него может быть тремор рук, микросмещение манжеты тонометра или банальная аритмия. Реальный датчик давления фиксирует этот рваный, нелинейный шум. Сталкиваясь с ним, «чистая» модель слепнет, что в медицине недопустимо. Чтобы вернуть ей адекватность, используют несколько фильтров: физически обоснованный синтез, агрессивный состязательный шум (когда в процессе обучения виртуальный сигнал намеренно «калечат» экстремальными искажениями, принудительно обучая модель игнорировать форму кривой и искать скрытые, инвариантные признаки болезни) и, наконец, гибридный трансфер, когда на

синтетике модель получает «базовое образование», но финальную калибровку и дообучение она обязана проходить на небольшом, но качественном датасете с реальными артефактами живых людей. Выпускать искусственный интеллект к человеку без жесткого стресс-тестирования реальными шумами – это большой медицинский и юридический риск.

Государственные базы данных и мультимодальная интеграция

Василий Алексеевич, вы и ваша команда собрали сложнейший массив данных, полученных от практикующих медиков. Скажите честно: этот колоссальный труд стал частью мирового научного пространства или все же остается сугубо локальным, местечковым продуктом?

– Знаете, слово «местечковый» здесь категорически неприменимо. Нам не просто есть чем гордиться – наши разработки изначально создавались как часть глобального научного контекста. Тот массив верифицированного, глубоко аннотированного скрининга легких, КТ и МРТ, который мы сформировали в сотрудничестве с отечественными медиками, – без преувеличения, актив мирового уровня. В IT-индустрии ценность измеряется уникальностью и точностью выборки. О локальном статусе не говорят, когда на вас ссылаются в высокоцитируемых трудах за рубежом или предлагают написать главы для американских фундаментальных учебников.

Более того, именно в этой части нам очень сильно завидуют зарубежные коллеги. В Беларуси, и конкретно в Минске, данная работа поставлена на столь высокий уровень благодаря специфике нашей системы здравоохранения. Приведу реальный пример. После моего доклада на одной крупной международной конференции ко мне подошел опытный профессор и прямо сказал: «Как же вам повезло!» А секрет этого «везения» кроется в том, что у нас исторически сложилась централизованная государственная система здравоохранения. В той же Германии, например, подобный массив данных для обучения искусственного интеллекта собрать физически невозможно. Там медицинская среда разбита на огромное множество частных и страховых учреждений. Клиника оказывает услугу по страховке, после чего вся информация уходит в ее закрытую коммерческую базу. Эти данные стоят колоссальных денег, принадлежат разным собственникам и наглухо защищены юридическими барьерами. То, что для европейского исследователя является недостижимой роскошью из-за бюрократии и коммерческой тайны сотен мелких клиник, для нас – доступный рабочий массив. Благодаря единым государственным стандартам мы можем аккумулировать колоссальные объемы верифицированной информации со всей страны в одном центре. И это наш главный козырь в мировой гонке медицинских ИИ-технологий. Гордость за то, что белорусская академическая школа способна не просто «догонять» коллег с Запада или Востока, а самостоятельно задавать планку, безусловно, присутствует. Но эти данные – наше национальное достояние, фундамент для создания суверенного медицинского ИИ, и разбазаривать его мы не имеем права.

Еще один мировой тренд современности – это мультимодальный ИИ, который анализирует пациента комплексно: КТ/МРТ + генетический паспорт + текстовый анамнез. Умеют ли ваши алгоритмы уже сейчас работать в связке с цифровыми картами централизованной системы электронного здравоохранения Беларуси или эти IT-платформы пока развиваются изолированно друг от друга?

– Мультимодальность – магистральный путь мирового медицинского искусственного интеллекта. Попытка диагностировать патологию только по одному КТ-снимку без учета лабораторных маркеров и анамнеза – это вчерашний день науки. Если отвечать на ваш вопрос честно и реалистично, то могу сказать, что на текущем этапе наши алгоритмы и централизованная информационная система здравоохранения Республики Беларусь проходят стадию глубокой технологической интеграции, но говорить об их полностью бесшовной автоматической связке в режиме реального времени пока преждевременно. Обе платформы долгое время развивались параллельно, и сейчас мы активно преодолеваем этот разрыв. Здесь важно понимать текущую диспозицию и те вызовы, на которые мы совместно отвечаем. А их немало. Отечественные исследовательские модели уже сейчас технически умеют работать с мультимодальными данными. В рамках научных проектов мы успешно объединяем анализ радиологических изображений (DICOM-файлы) с текстовыми структурированными выписками и биохимическими показателями. Созданные алгоритмы способны сопоставлять динамику изменений на КТ с текстовым описанием симптоматики. Главная проблема заключалась не в математике ИИ, а в стандартизации

входящих потоков данных. Из различных источников известно, что централизованная система электронного здравоохранения Беларуси проделала колоссальный путь. Однако исторически медицинские данные в клиниках накапливались в разнородных, часто изолированных локальных базах – ЛИС, МИС. Чтобы ИИ мог «читать» электронную карту, данные в ней должны быть строго структурированы по международным медицинским протоколам, например HL7 FHIR. Сейчас Минздрав ведет масштабную работу по приведению всех электронных паспортов пациентов к единому цифровому знаменателю. По мере наполнения централизованой системы такими валидированными данными интеграционное окно расширяется.

И, возвращаясь к барьерам безопасности и деперсонализации, – эта платформа содержит строго персональные данные граждан и находится под мощным контуром защиты. Мы не можем просто «подключить» нейросеть к живой базе данных из соображений защиты медицинской тайны. Поэтому интеграция строится по модели защищенных шлюзов. Отрабатываются механизмы, при которых обезличенные деперсонализированные профили из электронной системы здравоохранения могут безопасно передаваться нашим алгоритмам для пакетного анализа и поддержки принятия врачебных решений. Перспектива единого цифрового контура заключается в том, что мы не развиваемся изолированно. ОИПИ НАН Беларуси, РНПЦ медицинских технологий, информатизации, управления и экономики здравоохранения и профильные IT-разработчики двигаются навстречу друг другу. Конечная цель – создание ситуации, когда врач в клинике, открывая электронную карту пациента в ЦИСЗ, будет кликом одной кнопки отправлять запрос на наш ИИ-сервер. Алгоритм мгновенно подтянет рентгеновскую томографию, проанализирует текстовый анамнез, сопоставит их и выдаст врачу комплексное второе мнение. Технологический фундамент для этого уже заложен, сейчас идет тонкая инженерная и нормативная настройка этого процесса.

Должна ли быть этика впереди технологий

Мы много говорили о софте, об анализе снимков и базах данных. Но ведь ИИ стремительно выходит из экранов компьютеров, мобильных телефонов в физический мир. Вас как ученого это беспокоит?

– Все идет к тому, что искусственный интеллект скоро обретет физическое воплощение и будет полноценно жить среди нас. Пугает ли это? В общем-то да, настораживает. Потому что, на мой взгляд, пришло время вернуться к классике и возродить законы робототехники, предложенные фантастом Айзеком Азимовым. Робот в принципе не должен иметь возможности переступить защитный этический барьер, сформулированный человечеством. Но создать такую базу не под силу людям сугубо технологического склада, вроде меня. Это задача для философов и мыслителей, работающих в тесной консультации с практиками. На данном историческом этапе морально-этические нормы должны идти строго впереди технологий, а безумный технологический прогресс – сделать шаг назад.

В свое время Карл Маркс утверждал, что бытие определяет сознание, а прогресс движут материальные ценности. Однако мы подошли к уникальной точке излома, когда развитие должно опираться на утилитарные запросы. Фокус на исключительно земных благах уже привел человечество к череде глобальных кризисов. Представьте, если бы главным мотивом каждого человека были не капиталы, а базовые заповеди: «не убей», «не укради». Мир все равно остался бы несовершенным, но точно не настолько пугающим.

– Похоже, именно из-за засилья материального мышления ученые почти не подают заявки на масштабные этические или философские проекты в области ИИ. В грантовых фондах их попросту высмеют! Там потребуют сугубо прикладной, осязаемый продукт: для химии, растениеводства, промышленного производства и т.д. К сожалению, сейчас все мыслят исключительно сиюминутными экономическими категориями. Но человечеству жизненно необходимо понять: основа нашего выживания лежит не только в том, чтобы просто удовлетворять свои базовые потребности, но и в том, чтобы наш собственный мозг продолжал функционировать и созидать. Иначе эту ключевую функцию перехватит машина. Здесь и возникает главный экзистенциальный вызов: сколько прав мы готовы делегировать алгоритмам? И сколько прав они со временем способны взять сами, без нашего спроса? В эпоху, когда цифровой код обретает плоть, человечеству нужно держать ухо востро.

Жанна КОМАРОВА