

Квантовое Десятилетие

Руководство по достижению осведомленности, готовности и преимуществ

Четвертое издание

Чем IBM может помочь

Партнерство в области квантовых вычислений между поставщиками технологий и дальновидными организациями расширяется. Их цель — не что иное, как разработка вариантов использования квантовых вычислений и соответствующих приложений, которые решают ранее неразрешимые проблемы реального мира. Квантовая сеть IBM — это глобальная экосистема, состоящая из более чем 210 компаний из списка Fortune 500, ведущих академических учреждений, стартапов и национальных исследовательских лабораторий, поддерживаемых квантовыми компьютерами IBM, учеными, инженерами и консультантами. Участники сотрудничают, чтобы ускорить развитие квантовых вычислений, которые могут привести к созданию первых коммерческих приложений. Организации, присоединяющиеся к IBM Quantum Network, могут экспериментировать с тем, как их важные проблемы соотносятся с реальным квантовым компьютером. Они могут получить доступ к более чем 100 кубитам IBM Quantum переработчики для изучения практических проблем, важных для отраслей. Посетите <https://www.ibm.com/quantum> для получения дополнительной информации.

Институт ценности бизнеса IBM

Институт IBM for Business Value (IBV) предоставляет надежные, основанные на технологиях бизнес-аналитики, объединяя опыт отраслевых мыслителей, ведущих ученых и профильных экспертов с глобальными исследованиями и данными о производительности. Портфолио интеллектуального лидерства IBV включает глубокие исследования, сравнительный анализ и сравнение производительности, а также визуализацию данных, которые поддерживают принятие бизнесрешений в разных регионах, отраслях и технологиях. Для получения дополнительной информации следуйте за нами на

LinkedIn по адресу <https://ibm.co/ibv-linkedin>. Чтобы получать последние аналитические данные по электронной почте, посетите сайт ibm.com/ibv.

Оглавление

Предисловие	5
Введение	7
Перспектива: Основы понимание экспоненциальной мощи квантовых вычислений.....	7
Осведомленность	9
Готовность	9
Преимущество	10
Перспектива: Головокружительные факты о квантовых вычислениях (которые вам, возможно, не обязательно знать).....	10
Перспектива: Три типа проблем, созданных для квантовых вычислений.....	11
Информация	11
Решение мировых проблем	11
Вега в 1000 кубитов.....	11
Будущее гибридного облака.....	11
Сила экосистем	11
Глава Первая: Квантовое осознание и эпоха открытий.....	12
Аргументы в пользу квантового десятилетия.....	12
Повышенная срочность решения больших проблем.....	12
Квантовый переломный момент	13
Перспектива:	17
Классические вычисления. Проблема с законом Мура	17
Вудсайд Энерджи: Внедрение квантовых ядер в классические рабочие процессы машинного обучения.....	17
IBM, Токийский университет и Чикагский университет сотрудничают в разработке квантово-центрического суперкомпьютера на 100 000 кубитов.....	18
Открытые экосистемы масштабируются	20
Квантовая клеточно-центрическая терапия: Новаторские новые исследования в области здравоохранения и наук о жизни.....	20
От анализа к открытию.....	21
IBM и Кливлендская клиника: Использование квантовых возможностей для решения ключевых проблем здравоохранения.....	22
Предприятие, ориентированное на открытия	23
Вопросы, которые стоит задать.....	24
Информация	24
Сила квантовой грамотности	24
Скрытая возможность рабочего процесса.....	24
Не делайте это в одиночку	24
Глава вторая	25
Квантовая готовность и сила экспериментирования.....	25
Эксперименты по замыслу: применение квантовой грамотности к реальным проблемам	25
Цепочка поставок услуг IBM: Квантовый поиск более точного прогнозирования спроса	27
Квантовые рабочие процессы.....	28
OLED-экраны: Более яркие и эффективные дисплеи благодаря квантовому моделированию.....	29
Интеллектуальный рабочий процесс: добавление квантовой мощи.....	29
Перспектива: Интеллектуальные рабочие процессы как основа ускорения квантовых вычислений	31
1 Внедряйте новейшие технологии, включая искусственный интеллект и машинное обучение, чтобы изменить способы работы.	31
2 Получение значения из данных	31
3. Развертывание через гибридное облако.....	31
4. Оцените подпроцессы, которые лучше всего подходят для ускорения квантовых вычислений.....	31
Трек талантов экосистемы квантовых вычислений	32
Какова ваша бизнес-проблема?.....	32
Какие ведущие мировые организации и мыслители связаны с квантовыми вычислениями и проблемами вашего бизнеса?.....	33
Каково оптимальное соотношение консультантов и штатного персонала?	33
Организации, готовые к квантовым технологиям	34
Что общего между QRO?.....	34
Вопросы, которые стоит задать.....	35
Информация	36
Процесс, а не пункт назначения.....	36
Три класса задач, в которых Quantum преуспевает	36
«Матрица приоритетов» квантовых вычислений.....	36
Глава третья.....	37
Квантовое преимущество и поиск ценности для бизнеса.....	37

Перспектива:	40
Физика высоких энергий и новые пути к квантовому преимуществу	40
Квантовые вычисления в лучшем виде: Три класса проблем	41
Квантовое моделирование природных процессов	41
Исследования IBM.....	41
Изучение молекулярного моделирования воды	41
Проблемы поиска и графа	42
Алгебраические задачи.....	42
ЭксонМобил: Исследование использования квантовых вычислений для оптимизации глобальных путешествий	43
Продолжающиеся поиски квантового ускорения	43
Исследователи IBM Quantum и Калифорнийского университета в Беркли: Выигрышный алгоритм квантового машинного обучения	44
E.ON: Укращение рисков с помощью стратегий квантовых вычислений	45
Компания "Уэллс-Фарго: Сотрудничество с IBM для исследования моделирования последовательностей.....	46
IBM и Боинг: Продвижение квантово-химических исследований механизма коррозии путем объединения гибридных классических и квантовых ресурсов.....	46
IBM и JSR: Исследование того, как квантовые вычисления могут повлиять на будущее производства компьютерных чипов	47
Приоритизация вариантов использования для повышения ценности бизнеса	47
Проверенная система определения приоритетов.....	48
Классификация приложений квантовых вычислений.....	49
Early Bloomer (Раннее развитие).....	50
Late Bloomer (Позднее развитие)	50
Wild Card (Темная лошадка)	50
Mature Industry (Зрелая отрасль).....	50
Перспектива	51
Применение матрицы приоритетов квантовых вычислений.....	51
Наметить путь к ценности бизнеса.....	52
Вопросы, которые стоит задать.....	53
Квантовое десятилетие: Отраслевые руководства.....	54
Приложения квантовых вычислений: Авиакомпании.....	54
Вариант использования: Устранение сбоев в работе авиакомпаний (IROPS).....	54
Вариант использования: Улучшение контекстных персонализированных услуг для клиентов авиакомпаний	55
Вариант использования: Оптимизация планирования сети авиакомпаний по всему миру	56
Приложения квантовых вычислений: Банковское дело и финансовые рынки	57
Вариант использования: Таргетинг и прогнозирование	57
Вариант использования: Профилирование рисков	58
Вариант использования: Оптимизация торговли	58
Приложения квантовых вычислений: Химия и нефть	59
Вариант использования: Разработка химической продукции, включая катализаторы и поверхностно-активные вещества	59
Вариант использования: Оптимизация маршрутизации сырья, переработки и вывода продукции на рынок	59
Вариант использования: Расширение добычи пласта.....	60
Приложения квантовых вычислений: Электроника	60
Вариант использования: Разработка материалов	60
Вариант использования: Дизайн продукта	61
Вариант использования: Умное производство	62
Приложения квантовых вычислений: Правительство.....	63
Вариант использования: Готовность к чрезвычайным ситуациям и реагирование	64
Вариант использования: Оптимизация транспортных систем.....	64
Вариант использования: Выявление мошенничества в социальных программах.....	65
Приложения квантовых вычислений: Здравоохранение.....	66
Вариант использования: Диагностическая помощь.....	66
Вариант использования: Страховые премии и цены	67
Вариант использования: Точная медицина.....	68
Приложения квантовых вычислений: Страхование	69
Вариант использования: Классификация клиентов и рисков	70
Вариант использования: Анализ концентрации рисков	70
Вариант использования: Защита от катастроф и смертности	71
Приложения квантовых вычислений: Естественные науки	72
Вариант использования: Создание точных медицинских методов лечения путем связывания геномов и результатов	72
Вариант использования: Улучшение результатов лечения пациентов за счет повышения эффективности открытия низкомолекулярных лекарств	74

Вариант использования: Разработка новых биологических продуктов на основе предсказаний сворачивания белков	74
Приложения квантовых вычислений: Логистика	75
Вариант использования: Доставка последней мили	76
Вариант использования: Управление сбоями	77
Вариант использования: Устойчивые морские маршруты	77

Предисловие

Дарио Хиль - Старший вице-президент и директор IBM Research

Сначала была теория.

Чарли Беннетт впервые написал слова «квантовая теория информации» в своем блокноте в 1970 году. Пол Бениофф, Ричард Фейнман, Юрий Манин и другие пионеры квантовых вычислений начала 1980-х годов использовали математику и теоретическую квантовую механику для аргументации своей точки зрения. Их послание было ясным:

Компьютер — это физическая система. Если вы хотите эффективно вычислять «невычислимое», вам нужно переосмыслить, как выполнять вычисления. Квантовая механика предлагает богатую вычислительную модель, поэтому нам пришлось построить квантовый компьютер.

Затем появились кубиты. Именно так, с появлением первого двухкубитного квантового компьютера в 1998 году, теория начала превращаться в реальность. Кубиты — это строительные блоки квантового компьютера, и сегодня в IBM мы делаем их из крошечных сверхпроводящих схем, которые ведут себя как атомы. Они могут находиться в линейных комбинациях нескольких состояний, могут взаимодействовать и быть запутанными — так что, когда один кубит меняет свое состояние, его запутанный партнер тоже это делает.

Звучит ошеломляюще, и это так.

Это странная, но чудесная область квантовой механики, и нам удалось использовать ее возможности. Именно эти способности кубитов запутывать и интерферировать должны позволить будущим квантовым компьютерам выполнять более мощные вычисления, чем когда-либо смогут делать традиционные компьютеры.

Сейчас мы быстро приближаемся к разработке практических приложений, демонстрирующих квантовое преимущество — когда квантовые и классические компьютеры вскоре смогут превзойти использование только классических компьютеров в значимой задаче. Мы ожидаем увидеть это достижение в этом десятилетии. Наши системы квантовых вычислений продолжают улучшаться по масштабу, качеству и скорости работы. У нас есть все более мощные инструменты для объединения классических и квантовых методов, которые позволяют нам выполнять еще более сложные вычисления. В течение многих лет исследователи, разработчики и другие эксперты в предметной области из промышленности и научных кругов были частью растущей рабочей силы, готовой к квантовым технологиям, используя квантовые компьютеры IBM через облако для изучения новых приложений и формулирования практических задач, которые будут иметь решающее значение для достижения квантового преимущества. .

Я призываю и других присоединиться к ним.

Исследуя возможности квантовых компьютеров сегодня, мы формируем мир завтрашнего дня. Независимо от того, работаете ли вы в банке, химической компании, авиакомпании или производственном гиганте, квантовые вычисления могут дать вашей отрасли преимущество. Вскоре квантово-ориентированный суперкомпьютер можно будет использовать для поиска ранее недоступных решений моделирования природы и структуры данных, которые помогут нам находить новые материалы, более эффективно извлекать информацию из данных или точно прогнозировать риски.

Прочтите «Квантовое десятилетие», чтобы узнать, как вы тоже можете быть готовыми к квантовым технологиям и как эта передовая технология может помочь вам и вашему бизнесу процветать, когда квантовые компьютеры достигнут зрелости.

Потому что этот момент ближе, чем ты думаешь

Информация: Приоритеты постпандемического мира

Поскольку целые отрасли сталкиваются с большей неопределенностью, бизнес-модели становятся более чувствительными и зависимыми от новых технологий. Квантовые вычисления способны расширить масштабы и сложность бизнес-задач, которые мы можем решить.

Интеграция квантовых вычислений, искусственного интеллекта и классических вычислений в рабочие процессы гибридного облака приведет к самой значительной компьютерной революции за последние 60 лет. Квантовые рабочие процессы радикально изменят работу предприятий.

Предприятия перейдут от анализа данных к поиску новых способов решения проблем. В сочетании с гиперавтоматизацией и открытой интеграцией это в конечном итоге приведет к новым бизнес-моделям.

Будущее вычислений

Интеграция квантовых вычислений, искусственного интеллекта и классических вычислений в рабочие процессы гибридного облака приведет к самой значительной компьютерной революции за последние 60 лет. Квантовые рабочие процессы радикально изменят работу предприятий.

Предприятие, ориентированное на открытия

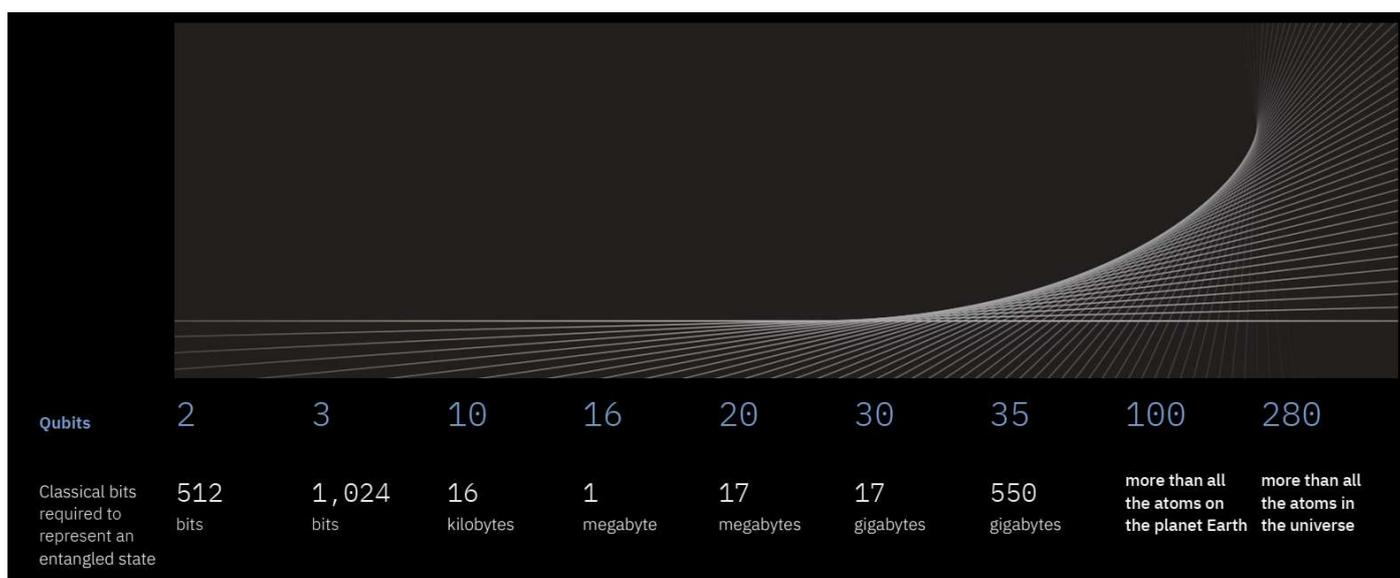
Предприятия будут переходить от анализа данных к поиску новых способов решения проблем. В сочетании с гиперавтоматизацией и открытой интеграцией это в конечном итоге приведет к появлению новых бизнес-моделей.

Введение

На протяжении десятилетий квантовые вычисления рассматривались как футуристическая технология: они изменили бы всё, если бы когда-нибудь перешли от фантастического к практическому. Даже в последние годы, несмотря на миллиарды долларов инвестиций в исследования и широкое освещение в СМИ, реальные лица, принимающие решения, иногда отвергают эту область как слишком загадочную, далекую, далекую задачу для ученых и теоретиков. По мере продвижения к квантовому десятилетию — десятилетию, когда предприятия начинают видеть ценность квантовых вычислений для бизнеса — эта перспектива быстро становится анахронизмом.

Потому что квантовые вычисления достигают зрелости, и лидеры, которые не понимают квантовое десятилетие и не адаптируются к нему, могут оказаться на шаг – или, точнее, на годы – позади. В ближайшие несколько лет мы предвидим глубокую компьютерную революцию, которая может существенно разрушить устоявшиеся бизнес-модели и пересмотреть целые отрасли. Исторически кризисы были стимулом как для новых технологий, так и для их широкого внедрения. Первая мировая война положила начало фабричным процессам, которые действуют до сих пор. Холодная война ускорила создание в конце 1960-х годов Сети агентств перспективных исследовательских проектов (ARPANET), предшественника Интернета. А пандемия COVID-19 привела к росту потребности в гибкости, отказоустойчивости и ускорении цифровой зрелости. Мы ожидаем, что квантовые вычисления в сочетании с существующими передовыми технологиями окажут существенное влияние на развитие науки и бизнеса. Ускоряя поиск решений больших глобальных проблем, квантовые вычисления могут вызвать позитивные изменения, значительно более резкие, чем технологические волны прошлых десятилетий.

Перспектива: Основы понимание экспоненциальной мощи квантовых вычислений



Кубиты и Классические биты, необходимые для представления запутанного состояния

В энной степени
Сила экспоненциального роста

Классические компьютерные биты могут хранить информацию как 0, так и 1. То, что физический мир поддерживает фиксированную структуру, соответствует классической механике. Но когда учёные смогли исследовать субатомную материю, они начали видеть более вероятностные состояния: эта материя приобретала множество возможных свойств в разных условиях. Область квантовой физики возникла для изучения и понимания этих явлений.

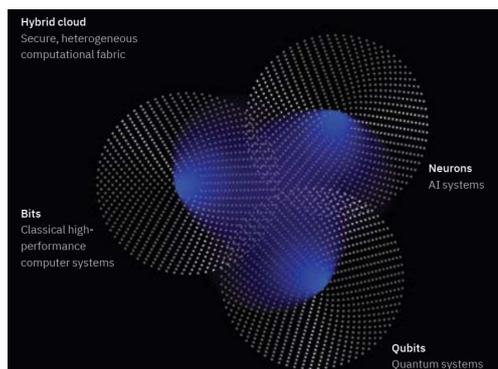
Сила квантовых вычислений основана на двух краеугольных камнях квантовой механики: интерференции и запутанности. Принцип интерференции позволяет квантовому компьютеру отменять нежелательные решения и улучшать правильные решения. Запутанность означает, что объединенное состояние кубитов содержит больше информации, чем кубиты по отдельности. Вместе

эти два принципа не имеют классической аналогии, и их моделирование на классическом компьютере потребует экспоненциальных ресурсов. Например, как показано на рисунке выше, для представления сложности 100-кубитного квантового компьютера потребуется больше классических битов, чем атомов на планете Земля.

Строительные блоки квантовых вычислений уже появляются. Системы квантовых вычислений работают в облаке в беспрецедентных масштабах, компиляторы и алгоритмы быстро совершенствуются, сообщества специалистов, владеющих квантовыми технологиями, растут, а ведущие поставщики аппаратного и программного обеспечения публикуют технологические планы¹. Применимость технологии больше не является вопросом. теория, а реальность, которую нужно понять, разработать стратегию и спланировать. И хорошие новости: шаги, которые вам следует предпринять для подготовки к будущему внедрению квантовых технологий, начнут приносить пользу вашему бизнесу уже сейчас.

Квантовые вычисления не заменят классические вычисления, они расширят и дополнят их. Но даже для задач, которые квантовые компьютеры могут решить лучше, нам все равно понадобятся классические компьютеры. Поскольку ввод и вывод данных по-прежнему будет классическим, квантовым компьютерам и квантовым программам потребуется сочетание классической и квантовой обработки.

Именно достижения в области традиционных классических вычислений, а также достижения в области искусственного интеллекта приводят к самой важной революции в области вычислений со времен закона Мура, произошедшей почти 60 лет назад. Квантовые вычисления завершают триединство технологий: пересечение классических битов, кубитов и ИИ «нейроны». Синергия, создаваемая этой триадой, а не только квантовыми вычислениями, определяет будущее вычислений (см. рисунок 1).



Гибридное облако

Безопасная гетерогенная вычислительная структура

Биты

Классические высокопроизводительные компьютерные системы

Нейроны

системы искусственного интеллекта

Кубиты

Квантовые системы

РИСУНОК 1

Самая захватывающая компьютерная революция за 60 лет

Конвергенция трех основных технологий

«Время между первой промышленной революцией и второй составило около 80 лет, а от второй до третьей около 90 лет. Но время между третьим и четвертым этапом сократилось примерно до 45 лет благодаря прорывам, вызванным полупроводниковыми технологиями, такими как Интернет вещей (IoT), искусственный интеллект (ИИ), машинное обучение, виртуальная реальность и 4G. Я ожидаю, что время перехода к Индустрии 5.0 будет ускорено примерно до 30 лет благодаря квантовым вычислениям и множеству других потрясений».

Фаза 1

Осведомленность

Парадигма вычислений развивается от эпохи аналитики к эпохе открытий

Фаза 2

Готовность

Ускорение цифровой трансформации в контексте подготовки к квантовым вычислениям

Этап 3

Преимущество

Где квантовые компьютеры в сочетании с классическими системами могут работать значительно лучше, чем только классические системы

РИСУНОК 2

Путь к квантовому преимуществу

Использование фундаментального подхода к цифровой трансформации

Институт IBM Business Value (IBV) активно участвовал в проведении более дюжины отраслевых и практических исследований квантовых вычислений, включая исследователей квантовых вычислений IBM, а также клиентов, партнеров и ученых. Этот отчет о квантовом десятилетии предоставляет руководителям стратегии подготовки к предстоящей трансформации бизнеса с использованием квантовых вычислений. В нем определены наиболее важные факторы, темы и действия, которые необходимо предпринять в этот важный переломный момент.

Что делает это квантовое десятилетие? Как будет выглядеть квантовый мир? И что могут и должны сделать дальновидные лидеры и организации сейчас, чтобы эффективно обучать и позиционировать себя? Ключевые выводы связаны с тремя этапами организационной эволюции: осведомленностью, готовностью и преимуществом (см. рисунок 2).

Осведомленность

Согласно исследованию генеральных директоров IBV, проведенному в 2021 году, 89% из более чем 3000 опрошенных руководителей не назвали квантовые вычисления ключевой технологией для достижения бизнес-результатов в течение следующих двух-трех лет⁴. В краткосрочной перспективе это понятно. Учитывая прорывной потенциал этой технологии в этом десятилетии, руководителям следует начать мобилизацию ресурсов для усвоения ранних знаний и начать путь к квантовым технологиям уже сейчас. Руководители, игнорирующие квантовый потенциал, идут на существенный риск, поскольку последствия будут намного серьезнее, чем упущение возможностей ИИ десять лет назад.

Фаза 1 сценария квантовых вычислений требует широкого признания того, что ландшафт меняется. Основной сдвиг — это вычислительная парадигма, которая развивается от эпохи аналитики (оглядываясь на установленные данные и извлекая из них уроки) к эпохе открытий (смотря вперед и создавая более точные модели для моделирования, прогнозирования и оптимизации). Существует реальный потенциал для поиска решений, которые ранее были невозможны.

Готовность

Предприятия пока не могут использовать квантовые вычисления для решения больших проблем. Но квантовые вычисления нарушили сроки и превзошли ожидания на каждом этапе разработки. Лидерам организаций уже пора изучить, как появление этой новой технологии может изменить планы и ожидания. Фаза 2 включает в себя исследование важных вопросов: как можно разрушить и изменить вашу бизнес-модель? Как квантовые вычисления могут улучшить ваши текущие рабочие процессы в области искусственного интеллекта и классических вычислений? Что является «убийственным приложением» квантовых вычислений для вашей отрасли? Как вы можете расширить возможности квантовых вычислений вашей организации — внутри компании или через экосистемы? Сейчас самое время поэкспериментировать и поработать с планированием сценариев. Найдите или развивайте таланты, которые свободно владеют квантовыми вычислениями и способны обучать внутренних заинтересованных сторон возможностям, а также сотрудничайте с ресурсами «глубоких технологий» квантовых вычислений.

Но не менее важен и другой важный вопрос: что вашей организации необходимо создать сейчас, чтобы применять квантовые вычисления, когда они будут готовы к производству? Действительно, закладка фундамента для квантовых вычислений также означает улучшение вашей классической компьютерной игры. Повышенные навыки работы с данными, искусственным интеллектом и облачными технологиями необходимы для обеспечения необходимой благодатной почвы для квантовых вычислений. Ускорение цифровой трансформации в контексте готовности к квантовым вычислениям обеспечит прагматичный путь вперед, одновременно обеспечивая значительные преимущества уже сейчас. В конце концов, квантовые вычисления не побеждают классические вычисления. Троица квантовых вычислений, классических вычислений и искусственного интеллекта образует прогрессивное, итеративное партнерство, в котором они более эффективны вместе, чем по отдельности.

Преимущество

Фаза 3, «Квантовое преимущество», возникает, когда вычислительная задача, представляющая интерес для бизнеса или науки, может быть выполнена более эффективно, с меньшими затратами или с лучшим качеством с помощью квантовых компьютеров. Это тот момент, когда квантовые компьютеры в сочетании с классическими системами могут работать значительно лучше, чем только классические системы. По мере того, как аппаратные, программные и алгоритмические достижения в области квантовых вычислений объединяются, что позволяет значительно повысить производительность по сравнению с классическими вычислениями, во всех отраслях появятся новые возможности для получения преимуществ. Но определение приоритетов правильных вариантов использования — тех, которые могут действительно преобразовать организацию или отрасль — имеет решающее значение для достижения квантовой ценности бизнеса.

Достижение Quantum Advantage не произойдет в одночасье. Но хотя это преимущество может прогрессировать в течение месяцев и лет, оно все равно может привести к экспоненциальному прогрессу в использовании и обучении. Грядут перемены: от изучения создания новых материалов до персонализированного медицинского лечения и радикальных сдвигов в бизнес-моделях во всей экономике. Организации, которые расширяют свои классические вычислительные возможности и активно изучают потенциал трансформации отрасли, будут иметь наилучшие возможности воспользоваться квантовым преимуществом.

Перспектива: Головокружительные факты о квантовых вычислениях (которые вам, возможно, не обязательно знать)

Мягко говоря, многое в квантовых вычислениях противоречит здравому смыслу. Хотя вам действительно необходимо понимать мощь и потенциал квантовых вычислений для разработки стратегий и оценки вариантов использования, хорошая новость заключается в том, что вам не нужно быть квантовым физиком или теоретиком — для этого нужны ваши партнеры и экосистемы. И все же интересные факты для размышления:

Факт первый. Квантовые вычисления используют фундаментальный принцип квантовой механики — физическая система в определенном состоянии все еще может вести себя случайным образом. Система находится в суперпозиции, которая представляет собой линейную комбинацию двух или более состояний.

Факт второй. Биты классических вычислений — это либо 0, либо 1. Но в квантовых вычислениях квантовые биты или кубиты могут находиться в бесконечном количестве состояний одновременно, являясь суперпозицией 0 и 1. Подумайте о монете. Если вы подбросите монету, она либо вверх, либо вниз. Но если раскрутить монету, ее размерные возможности возрастают в геометрической прогрессии.

Факт третий. Аналогично, в двоичной логике вещи либо «есть», либо «нет». Квантовые компьютеры не имеют этого ограничения, что позволяет более точно отражать реальность.

Факт четвертый. Суперпозиции не являются квантовыми по своей сути. Например, когда несколько музыкальных тонов одновременно создают звук, окружающий воздух находится в суперпозиции. Уникальность квантовой механики заключается в том, что в некоторых случаях, когда вы измеряете квантовую суперпозицию, вы получаете случайные результаты, даже если состояние системы является определенным.

Факт пятый. Измерение классического бита ничего не меняет. Если бит равен 0, он измеряется как 0, и то же самое относится и к 1. Но если кубит находится в квантовой суперпозиции, его измерение превращает его в классический бит, отражающий 0 или 1.

Факт шестой. Запутанность — это свойство квантовой системы, в которой два кубита, находящиеся далеко друг от друга, ведут себя индивидуально случайным образом, но при этом необъяснимым образом коррелируют. Два запутанных кубита, измеренные по отдельности, могут дать случайные результаты. Но когда вы смотрите на систему в целом, состояние одной зависит от другой. Объединенная система содержит больше информации, чем отдельные части. Трудно уложить голову? Сам Эйнштейн называл это «жутким действием на расстоянии».

Факт седьмой. Квантовые компьютеры могут использовать интерференцию для устранения путей, ведущих к неправильным решениям, и улучшения путей, содержащих правильное решение.

Факт восьмой. Из-за шума кубиты теряют свои квантово-механические свойства, поэтому их необходимо изолировать от любого источника шума. Существуют разные способы создания кубитов. Ведущим способом является использование сверхпроводимости для создания устройств с квантово-механическими свойствами, которыми можно управлять по своему желанию. Но чтобы кубиты работали, их необходимо хранить в «суперхолодильнике» при чрезвычайно низких температурах от 10 до 20 милликельвинов — холоднее, чем в космическом вакууме.

Перспектива: Три типа проблем, созданных для квантовых вычислений.

В ближайшей и среднесрочной перспективе квантовые вычисления могут оказаться особенно эффективными в решении трёх типов проблем:

Моделирование - такие как моделирование процессов и систем, происходящих в природе;

Поиск и график - включающий поиск лучшего или «оптимального» решения в ситуации, когда существует множество возможных ответов;

Алгебраические задачи - включая приложения для машинного обучения.

Информация

Решение мировых проблем

От открытия новых лекарств до управления финансовыми рисками и реорганизации цепочек поставок – существует острая необходимость ускорить решение все более сложных социальных, макроэкономических и экологических проблем в глобальном масштабе.

Веха в 1000 кубитов

Аппаратное обеспечение квантовых вычислений находится на пути к масштабированию со 127 кубитов в 2021 году до 1000 кубитов к 2023 году и переходу к практическим квантовым вычислениям, характеризующимся системами, выполняющими схемы с исправлением ошибок, и широким распространением к 2030 году. Облачные среды разработки с открытым исходным кодом сделают использование квантовых компьютеров «без трения».

Будущее гибридного облака

Многие квантовые программы предполагают взаимодействие между классическим и квантовым оборудованием. Но эти взаимодействия приводят к задержкам или задержкам, которые необходимо уменьшить для оптимизации пропускной способности. Это делает гибридные облака наиболее жизнеспособным будущим для квантовых вычислений.

Сила экосистем

Экосистемы квантовых вычислений — с возможностями для совместных инноваций и разработки с открытым исходным кодом — быстро становятся благодатной почвой для обучения пользователей применению квантовых вычислений для решения реальных проблем.

Глава Первая: Квантовое осознание и эпоха открытий

Когда появляются новые технологии, их может быть сложно понять полностью, особенно когда они настолько сложны, как квантовые вычисления. Но развитие базового понимания имеет решающее значение для надлежащего согласования как технологий, так и бизнес-стратегий.

В этой главе мы объясним аргументы в пользу квантовых вычислений — что происходит сейчас, чтобы создать переломный момент — а затем исследуем, как триада классических вычислений, искусственного интеллекта и квантовых вычислений выведет нас из эпохи аналитики, основанной на добыче данных для понимания того, что определяется ускоренными экспериментами и открытиями. Мы также обрисовываем последствия для предприятий в среде, ориентированной на открытия.

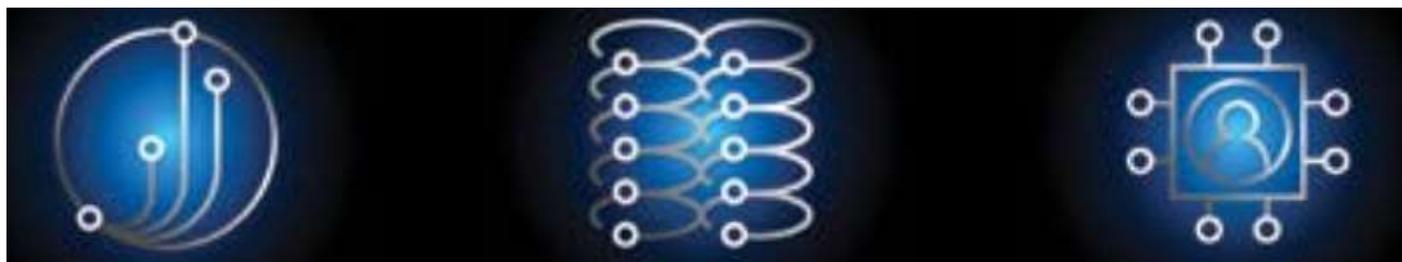
Аргументы в пользу квантового десятилетия

Квантовое десятилетие будет обусловлено растущим давлением на решение крупнейших деловых и социальных вычислительных проблем, траекторией к практическим квантовым вычислениям к концу десятилетия и экосистемами разработчиков, которые смогут использовать эту мощь для решения реальных, трудноразрешимых проблем (см. Рисунок 3).

Нарастающее давление для решения экспоненциальных задач

Квантовые технологии на переломном этапе

Масштабирование квантовых экосистем



- Открытие новых материалов
- Управление сложными финансовыми рисками
- Реинжиниринг цепочек поставок для обеспечения устойчивости

- Аппаратное масштабирование со 127 кубитов в 2021 году до 1000 кубитов в 2023 году.
- Разработка программного обеспечения для беспрепятственных квантовых вычислений
- Алгоритмические улучшения и повышение качества, емкости и разнообразия схем

- Открытые инновации способствуют совместному обучению
- Пользователи обучены применять квантовые вычисления для решения реальных проблем.
- Миллиарды подключений к сервисам IBM Quantum в день

РИСУНОК 3

Что делает это квантовое десятилетие?

Три фактора, которые двигают нас вперед

Повышенная срочность решения больших проблем.

Представьте себе открытие новых материалов для солнечных батарей, которые помогут нам более эффективно получать чистую энергию. Или точное моделирование деталей самолета за считанные минуты, а не годы. Представьте себе разработку лекарств, которая иногда может длиться десятилетиями и приносит свои плоды через месяцы.

Эти проблемы все чаще попадают в амбициозную, меняющуюся отрасль науки, основанную на данных. В этой области корпоративные открытия основываются на данных и искусственном

интеллекте, ускоряя циклы исследований, которые позволяют организациям агрегировать знания, решать вопросы и совершенствовать операции и предложения.

Проблемы планетарного масштаба, такие как изменение климата, мировой голод и возможность новых пандемий, требуют мощных новых инструментов для достижения прорывов. Квантовые вычисления могут помочь ускорить решение этих сложных вычислительных проблем, с которыми сталкивается бизнес и общество.

Информация, необходимая нам для значительных прорывов в решении глобальных проблем, может существовать, но нам не хватает вычислительной мощности, чтобы использовать ее продуктивно. Чтобы понять, почему, требуется некоторая предыстория.

Классические вычисления уже давно открыли эпоху аналитики. Существующие системы полагаются на хранение и манипулирование отдельными вычислительными битами (сохраненными в двоичной форме как 1 или 0), которые помогают нам обрабатывать огромные объемы данных. Квантовые компьютеры работают принципиально по-другому с помощью так называемых квантовых битов или кубитов, которые могут представлять информацию, используя больше измерений (см. «Головокружительные факты о квантовых вычислениях» на стр. 10). Используя свойства квантовой механики, квантовые компьютеры превосходно справляются с задачей оценки множества вариантов, которые хорошо сочетаются с этими свойствами, и исследования проблем, которые до сих пор были неразрешимыми.

Квантовый переломный момент

Квантовые вычисления не новы. Это было предметом теорий и экспериментов с тех пор, как оно было впервые постулировано Полом Бениоффом, Ричардом Фейнманом и другими в начале 1980-х годов. В 1990-е годы проводились предварительные математические и алгоритмические работы; 2000-е годы были сосредоточены на физическом представлении кубитов; а в 2010-х годах было продемонстрировано, что многокубитные системы жизнеспособны и доступны в облаке (см. рисунок 4).

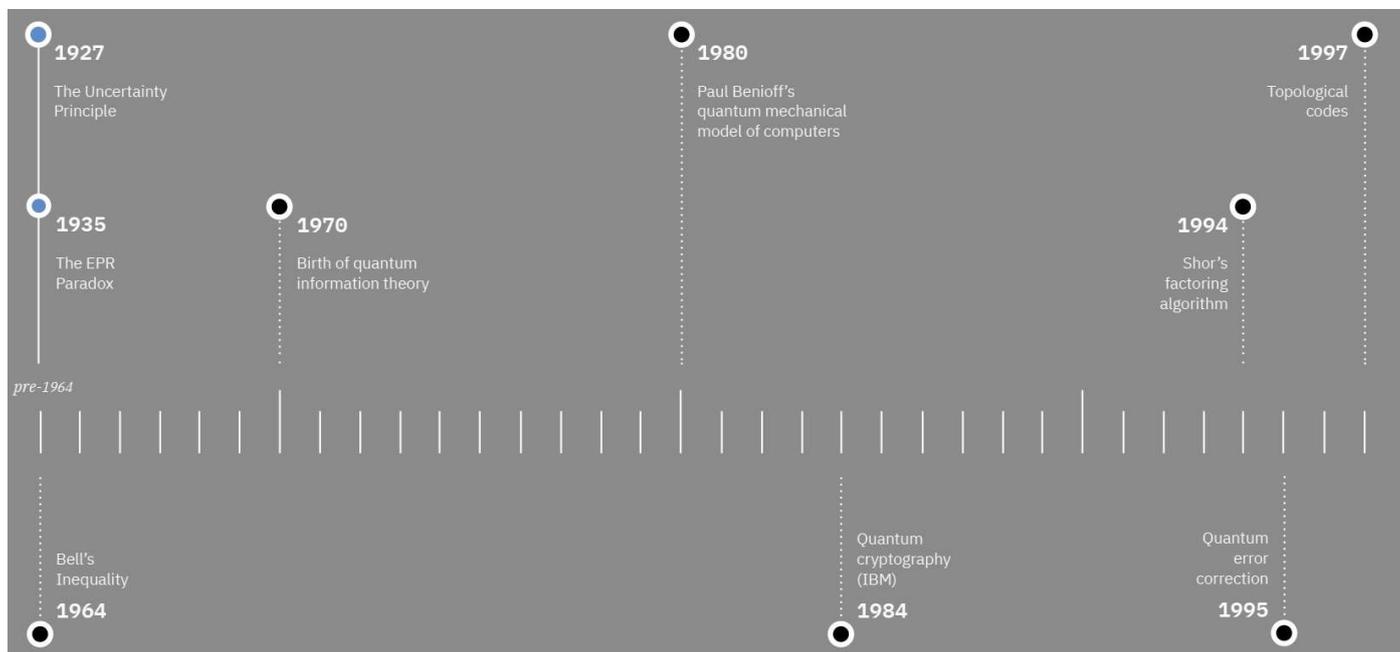


РИСУНОК 4

Квантовый скачок

Исторические вехи в квантовых вычислениях

1927 - Принцип неопределенности

1935 - Парадокс ЭПР

1964 — «Неравенство Белла»

1970 – Рождение квантовой теории информации.

1980 — Квантово-механическая модель компьютеров Пола Бениоффа.

1984 — Квантовая криптография (IBM).

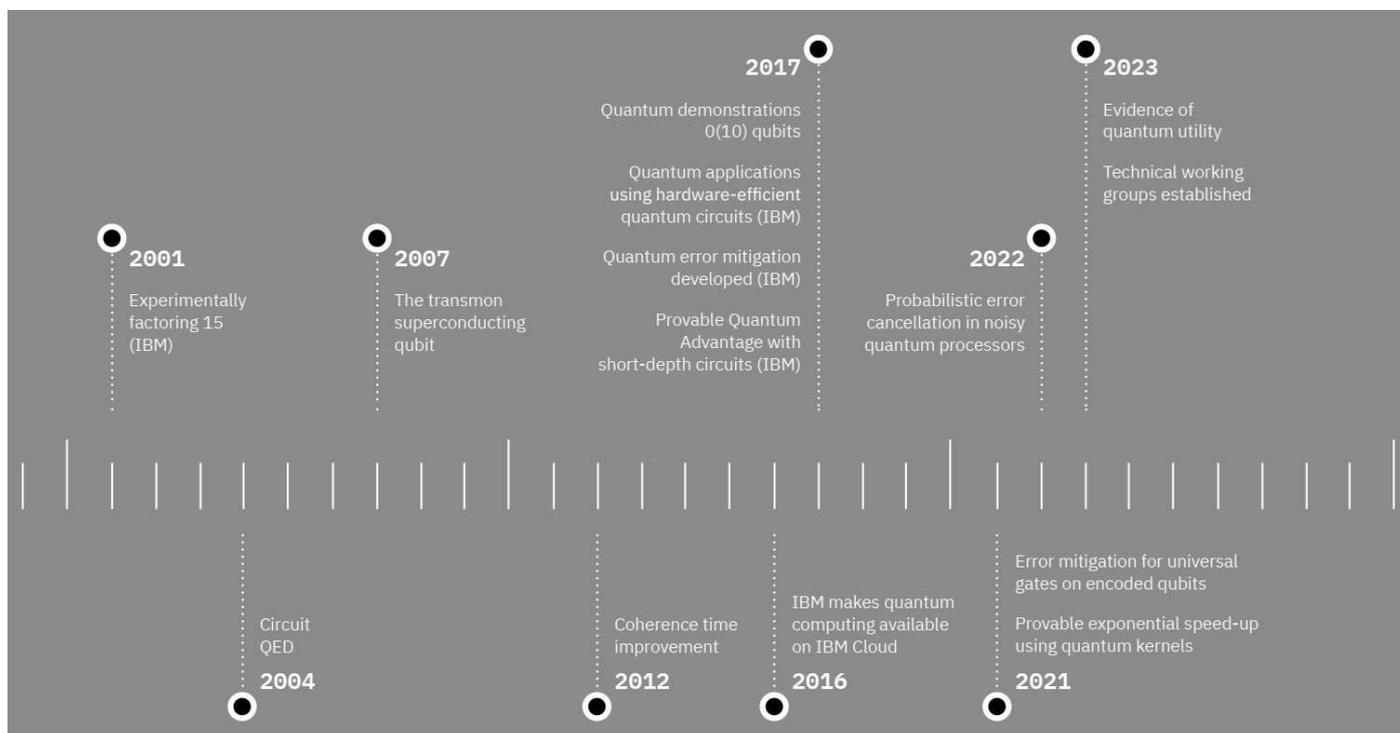
1994 – Алгоритм факторизации Шора

- 1995 — Квантовая коррекция ошибок
- 1997 - Топологические коды
- 2001 — Экспериментальный факторинг 15 (IBM)
- 2004 - Схема QED
- 2007 — Трансмонный сверхпроводящий кубит
- 2012 - Улучшение времени согласованности
- 2016 г. — IBM делает квантовые вычисления доступными в IBM Cloud.
- 2017 г. - Квантовые демонстрации 0(10) кубитов; Квантовые приложения с использованием аппаратно-эффективных квантовых схем (IBM); Разработано средство уменьшения квантовых ошибок (IBM); Доказуемое квантовое преимущество с схемами малой глубины (IBM)
- 2021 г. — Устранение ошибок универсальных вентилях на закодированных кубитах; Доказуемое экспоненциальное ускорение с использованием квантовых ядер
- 2022 - Вероятностное подавление ошибок в шумных квантовых процессорах
- 2023 г. – Доказательства квантовой полезности; Созданы технические рабочие группы

Развитие квантовых вычислений достигло переломного момента. В 2020 году новейшим достижением в области квантовых вычислений стала система IBM с 65 кубитами. Это число удвоилось до 127 кубитов в 2021 году, утроилось до более чем 400 кубитов в 2022 году и снова более чем удвоилось до более чем 1000 кубитов в 2023 году.

Но для полного раскрытия своего потенциала квантовым компьютерам потребуются сотни тысяч – возможно, даже миллионы – высококачественных кубитов. И хотя число кубитов часто используется в качестве вехи, оно не раскрывает всей истории. Это всего лишь один из компонентов более широкой картины. Например, квантовые ученые и инженеры разрабатывают способы объединения процессоров разных типов в масштабируемые модульные системы, которые смогут преодолеть существующие сегодня ограничения.

Сочетание классических и квантовых методов распараллеливания и многочиповых квантовых процессоров позволяет масштабировать квантовые вычисления с помощью модульного оборудования и сопутствующей управляющей электроники и криогенной инфраструктуры. Продвижение модульности как в программном, так и в аппаратном обеспечении будет ключом к достижению масштабов, значительно опережающих наших конкурентов в этом десятилетии.



- 2001- Экспериментальный факторинг (IBM).
- 2007- Трансмонный сверхпроводящий кубит.
- 2004 – Контур QED
- 2012 - Улучшение времени согласованности
- 2016 г. — IBM делает квантовые вычисления доступными в IBM Cloud.

2017 - Квантовые демонстрации 0 (10) кубитов, Квантовые приложения с использованием аппаратно-эффективных квантовых схем (IBM), разработка квантового уменьшения ошибок (IBM), Доказуемое квантовое преимущество с схемами малой глубины (IBM)

2021 - Устранение ошибок для универсальных вентилях на закодированных кубитах Доказуемое экспоненциальное ускорение с использованием квантовых ядер

2022- Вероятностное подавление ошибок в шумном квантовом процессоре.

2023 г. – Доказательства квантовой полезности Созданы технические рабочие группы.

С этой целью дорожная карта IBM по квантовым вычислениям открывает эпоху квантово-ориентированных суперкомпьютеров и прокладывает путь к беспрепятственным квантовым вычислениям (см. рисунок 5). Квантово-ориентированный суперкомпьютер будет включать в себя квантовые процессоры, классические процессоры, сети квантовой связи и классические сети, которые будут работать вместе в рамках интеллектуальной квантовой платформы оркестровки программного обеспечения, чтобы полностью изменить способ выполнения вычислений.

2019 год: Запуск квантовой схемы в IBM Cloud

2020 год: Демонстрация и создание прототипов квантовых алгоритмов и приложений.

2021 год: Запускайте квантовые программы в 100 раз быстрее с помощью Qiskit Runtime

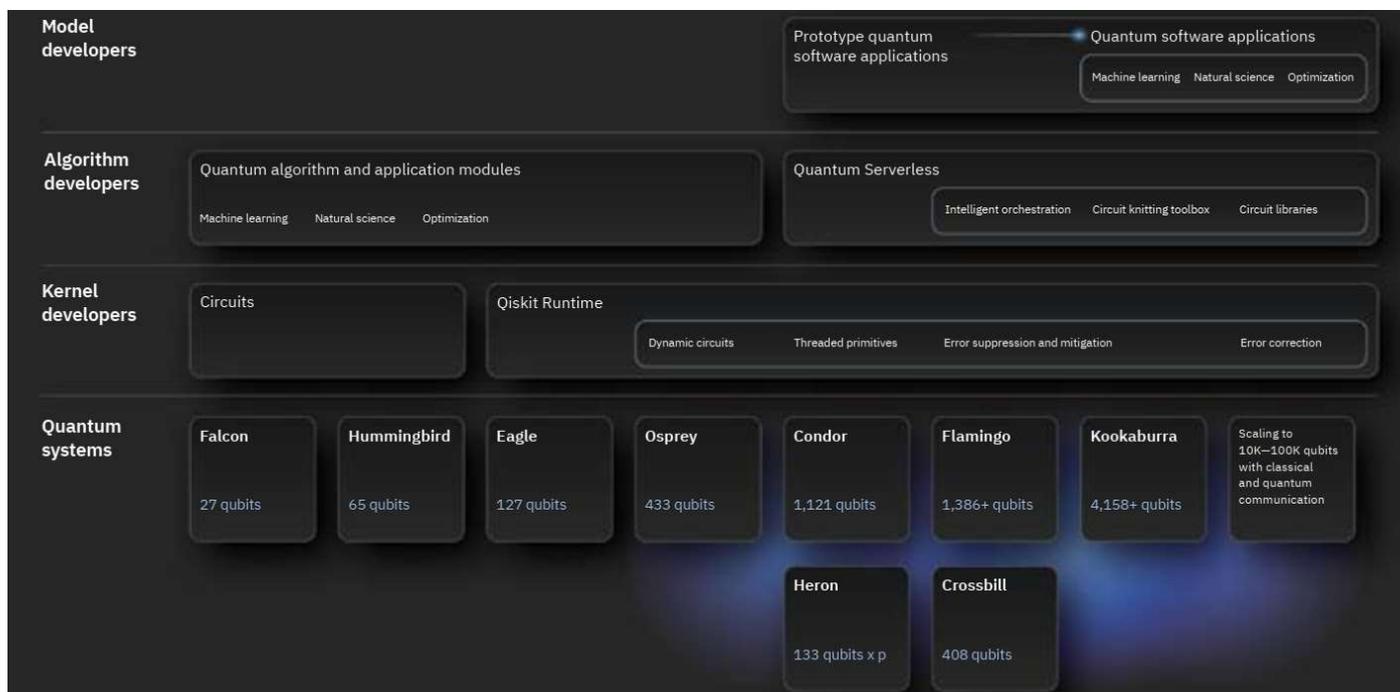
2022 год: Добавлены динамические схемы в Qiskit Runtime, чтобы разблокировать больше вычислений.

2023 год: Улучшение приложений с помощью эластичных вычислений и распараллеливания Qiskit Runtime

2024 год: Повышена точность Qiskit Runtime с помощью масштабируемого устранения ошибок.

2025 год: Масштабирование квантовые приложения с помощью набора инструментов для создания схем, управляющего Qiskit Runtime

2026+: Повышение точности и скорости квантовых рабочих процессов за счет интеграции исправления ошибок в Qiskit Runtime.



Разработчики моделей:

Прототипы квантовых программных приложений

Квантовые программные приложения

Машинное обучение Естественные науки Оптимизация

Разработчики алгоритмов:

Квантовый алгоритм и прикладные модули

Машинное обучение Естественные науки Оптимизация

Квантовый бессерверный

Разработчики ядра

Схемы

Среда выполнения

Динамические схемы Резьбовые примитивы Подавление и смягчение ошибок Исправление ошибки

Квантовые системы (Масштабирование до 10–100 тыс. кубитов с помощью классической и квантовой связи)

Сокол 27 кубитов

Колибри 65 кубитов

Орел 127 кубитов

Оспрей 433 кубита

Кондор 1121 кубит

Фламинго 1386+ кубитов

Кукабарра 4158+ кубитов

Цапля 133 кубита x p

Кроссбилл 408 кубитов

РИСУНОК 5

Дорожная карта IBM по квантовым вычислениям

Недавний прогресс и перспективы

Квантовоцентрический суперкомпьютер может стать важной технологией, помогающей решить самые сложные мировые проблемы. Это может открыть новые, большие и мощные вычислительные пространства для отраслей промышленности во всем мире и создать полезные приложения раньше, чем многие ожидают, исходя исключительно из отказоустойчивой точки зрения.

Помимо масштаба, необходимы и другие атрибуты. В 2019 году IBM разработала метрику квантового объема (QV) для измерения вычислительной мощности квантового компьютера. QV адресован высоко техническим проблемам, включая ошибки вентиля и измерения, перекрестные помехи, возможность подключения устройств и эффективность компилятора. Другие поставщики начинают сообщать о своем прогрессе в повышении качества вычислений с помощью QV.

IBM успешно удваивает QV каждый год. Фактически, в 2020 году IBM удвоила эту цифру трижды.

Это уровень роста, соответствующий закону Мура, даже несмотря на то, что сам закон Мура для традиционных вычислений ослабевает (см. «Перспектива», «Классические вычисления – проблемы с законом Мура»).

По мере того, как квантовые вычисления развиваются и начинают решать практические проблемы, больший объем работы, которую системы квантовых вычислений могут выполнить за данную единицу времени, заслуживает большего внимания. Реальные рабочие нагрузки будут включать в себя квантово-классические взаимодействия — полные программы, которые вызывают квантовый процессор в качестве ускорителя для определенных задач, или алгоритмы, требующие множественных вызовов квантового процессора.

Следовательно, система времени выполнения, обеспечивающая эффективную квантово-классическую связь, будет иметь решающее значение для достижения высокой производительности.

Такое взаимодействие во время выполнения заложено в предложении IBM по тесту «Операций на уровне схемы в секунду» (CLOPS). CLOPS — это показатель, коррелирующий с тем, насколько быстро квантовый процессор может выполнять схемы. В частности, этот показатель измеряет скорость, с которой процессор может выполнять параметризованная модельная схема того же типа, которая используется для измерения квантового объема.

Одной из ключевых целей продуктивного использования квантового оборудования является поддержка множества схем с возможностью создания более сложных схем, включая, например, динамические схемы.

Динамические схемы используют классические инструкции с очень малой задержкой, которые могут использовать информацию, полученную в результате измерений, происходящих во время схемы, для определения будущих компонентов схемы. Это позволяет создавать более эффективные квантовые схемы и является фундаментальной возможностью, необходимой для квантовой коррекции ошибок. Квантовая коррекция ошибок может защитить квантовую информацию, используя несколько физических кубитов для кодирования информации в одном логическом кубите. Квантовые

компьютеры должны иметь возможность запускать разнообразные схемы для эффективного решения множества задач (см. практический пример «Woodside Energy» на стр. 21).

Перспектива:

Классические вычисления. Проблема с законом Мура

В 1965 году Гордон Мур заметил, что количество транзисторов на определенной площади кремниевого компьютерного чипа удваивается каждый год. Он предсказал, что такое удвоение плотности будет продолжаться и в будущем, хотя позже временные рамки были пересмотрены до 18–24 месяцев.

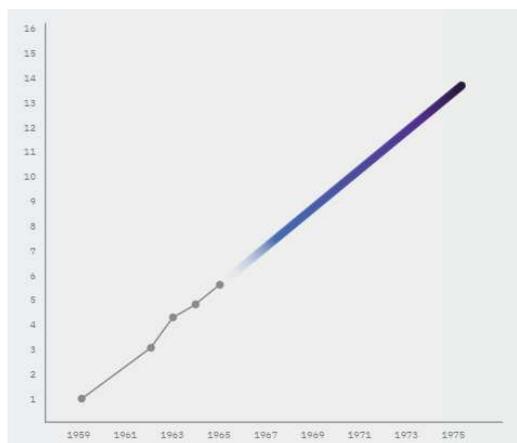
Чтобы закон Мура просуществовал так долго, разработчики и инженеры чипов постоянно уменьшали размер функций чипов.

Самые передовые лаборатории сегодня экспериментируют с чипами размером всего 5 нанометров. (Нанометр равен одной миллиардной метра.) Эти характеристики настолько малы, что некоторые из них приходится измерять в отдельных атомах.

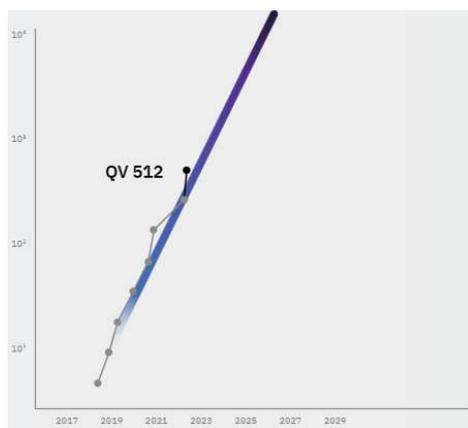
Но теперь физические ограничения создают серьезные препятствия для закона Мура. Некоторые лидеры индустрии микросхем указывают на огромные затраты и усилия, необходимые для его поддержания. По одной из оценок, с 1971 года исследовательские усилия, направленные на то, чтобы закон Мура соблюдался, увеличились в 18 раз. А оборудование, необходимое для создания современных чипов, становится все более дорогим. Например, новый завод по производству чипов Samsung, строящийся в Техасе, будет стоить более 25 миллиардов долларов.

На что все это указывает: замедление развития классических вычислений только повышает важность интеграции квантовых вычислений с классическими системами.

Log количества вычислений на интегрированную функцию



Квантовый объем (QV)



Удвоение масштабирования квантового объема в 2 раза в год

Вудсайд Энерджи: Внедрение квантовых ядер в классические рабочие процессы машинного обучения

В классическом машинном обучении алгоритмы иногда используют ядра (меры сходства между двумя частями данных) для решения задач классификации или регрессии. Обычно ядра используются для увеличения размерности данных для их разделения, тем самым повышая точность алгоритма. Недавно исследователи IBM доказали существование квантовых ядер, обеспечивающих суперполиномиальное преимущество перед всеми возможными классическими двоичными классификаторами и требующих только доступа к классическим данным.

Исследователи из Woodside Energy, ведущего производителя природного газа в Австралии, увидели интересную возможность сотрудничества с квантовыми исследователями IBM. Могут ли квантовые ядра быть практически внедрены в отраслевые рабочие процессы классического машинного обучения?

В рамках исследования квантовых вычислений команды хотели понять, как определить эти ядра с помощью квантовых схем и уменьшить количество ресурсов квантовых вычислений, необходимых для их оценки. Это включало в себя связь свойств квантовых схем со свойствами ядер и оценку того, насколько хорошо эти ядра работают.

Общепринятый способ использования квантовых ядер в классических рабочих процессах машинного обучения требует одного запроса к квантовому процессору для вычисления каждого значения ядра.

Вместо того, чтобы оценивать каждое значение таким образом, чтобы сократить количество обращений к квантовому компьютеру и сделать его более практичным, команда начала исследование, объединяющее квантовые ядра с классическими алгоритмами завершения матрицы, которые отвечают на следующий вопрос: получение набора значений ядра, рассчитанного с использованием квантового компьютера, смогут ли исследователи использовать эту информацию с классическим алгоритмом, чтобы точно предсказать, какой может быть невычисленная величина?

Исследование этого подхода подняло несколько важных вопросов, в том числе: может ли использование современных методов завершения снизить количество требуемых запросов, тем самым сделав использование квантовых ядер более практичным и более быстрым? Дают ли эти ядра полезные преимущества компании Woodside Energy, например повышение точности классификации в их наборах отраслевых данных?

Можно ли сделать прогнозы, связывающие свойства квантовых схем с легкостью, с которой могут быть построены квантовые ядра?

Woodside Energy считает это исследование «первопроходческим проектом», который закладывает основу для последующих экспериментов.

Компания продолжает эту линию мышления, исследуя литературу о других семействах квантовых схем, используемых в качестве строительных блоков для других приложений. В дальнейшем дополнительные данные могут помочь Вудсайду уточнить свои прогнозы относительно управляемости квантовых ядер и того, где они могут быть наиболее полезны. Один из потенциальных вариантов использования: применение этой технологии для петрофизического анализа данных каротажа скважин.

IBM, Токийский университет и Чикагский университет сотрудничают в разработке квантово-центрического суперкомпьютера на 100 000 кубитов

В мае 2023 года IBM объявила о 10-летней инициативе стоимостью 100 миллионов долларов совместно с Токийским университетом и Чикагским университетом по разработке квантовоцентрического суперкомпьютера на базе 100 000 кубитов. Эта система на 100 000 кубитов послужит основой для решения задач, которые, возможно, никогда не смогут решить даже самые продвинутые суперкомпьютеры сегодняшнего дня.

Например, эта впечатляющая квантовая система может открыть совершенно новое понимание химических реакций и динамики молекулярных процессов. Эти идеи могут расширить исследования изменения климата за счет моделирования более эффективных методов улавливания углерода. Что также может быть возможно: открытие новых материалов для изготовления аккумуляторов для электромобилей и энергетических сетей и разработка более энергоэффективных удобрений.

Эти усилия выведут пресловутую деревню в глобальный масштаб — они требуют сотрудничества и активации талантов и ресурсов в различных отраслях и исследовательских институтах. Сотрудничая с Чикагским университетом, Токийским университетом и более широкой глобальной экосистемой IBM, IBM посвятит большую часть следующего десятилетия разработке и совершенствованию базовых технологий для этой системы, а также проектированию и созданию необходимых компонентов в большом масштабе.

Разработка этого квантово-ориентированного суперкомпьютера потребует инноваций на всех уровнях вычислительного комплекса. Он будет использовать модульность и коммуникацию, а также использовать уровень промежуточного программного обеспечения для квантовых вычислений, чтобы плавно интегрировать квантовые и классические рабочие процессы через гибридное облако.

Конструкция должна решить задачу интеграции высокопроизводительных вычислений и квантовых процессоров, а также открыть новые горизонты в области квантовой связи и вычислительных технологий.

В основу этой системы войдут вехи, которые IBM уже обозначила в своей дорожной карте квантового развития (см. стр. 18). Это включает в себя возможность масштабировать и соединять растущее число квантовых процессоров посредством квантовых и классических межсоединений, а также технологию уменьшения ошибок для полного использования шумных, но мощных квантовых процессоров.

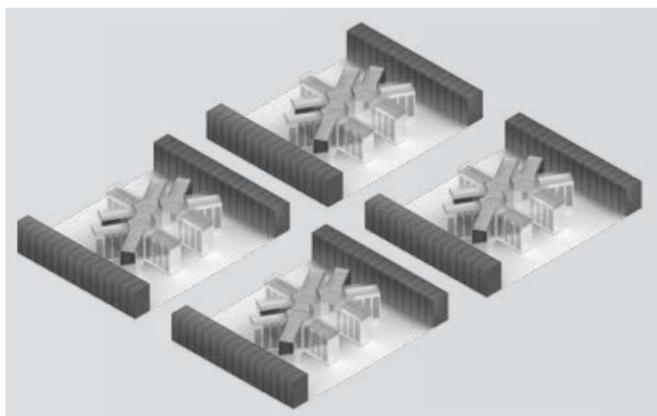
IBM работает над внедрением трех краеугольных камней своей необходимой архитектуры для квантово-ориентированных суперкомпьютеров:

— **Новый 133-кубитный процессор IBM Heron.** Этот процессор представляет собой полную модернизацию предыдущих поколений квантовых процессоров IBM с новым двухкубитным вентиляем, обеспечивающим более высокую производительность. Он также будет совместим с будущими расширениями, позволяющими модульным подключенным процессорам увеличивать размер компьютера.

— **Внедрение IBM Quantum System Two.** Новая флагманская система спроектирована как модульная и гибкая, позволяющая внедрять элементы масштабирования в ее базовые компоненты, включая классическую управляющую электронику и криогенную проводную инфраструктуру высокой плотности.

— **Внедрение промежуточного программного обеспечения для Quantum.** Набор инструментов для запуска рабочих нагрузок как на классических, так и на квантовых процессорах. Сюда входят инструменты для декомпозиции, параллельного выполнения и реконструкции рабочих нагрузок, позволяющие создавать эффективные решения в масштабе.

IBM планирует работать с университетскими партнерами и своей всемирной квантовой экосистемой, чтобы разработать способы соединения своих квантовых процессоров посредством квантовых межсоединений. Эта работа будет направлена на обеспечение высокоэффективных и высокоточных межпроцессорных квантовых операций и создание надежной, гибкой и доступной инфраструктуры компонентов системы, позволяющей масштабировать до 100 000 кубитов.



Квантовоцентрические суперкомпьютеры

Концепт-рендеринг квантово-центрического суперкомпьютера IBM Quantum на 100 000 кубитов, который, как ожидается, будет развернут к 2033 году.

Но скорость и мощь квантовых вычислений сами по себе не определяют квантовое десятилетие.

Экспоненциальное увеличение количества кубитов впечатляет, но если эта грубая вычислительная сила окажется недоступной и неприменимой для решения реальных задач, мы вернемся к абстрактной теории.

К счастью, сила квантов доступна. Исторически сложилось так, что если вам нужна была вычислительная мощь, вам приходилось создавать или устанавливать и обслуживать машины самостоятельно. Но теперь, благодаря облаку, стали доступны даже самые сложные квантовые компьютеры.

Фактически, программист может сидеть за своим ноутбуком и создавать квантовую схему, используя квантовые вентили. Когда программное обеспечение отправляет схему через облако на квантовый компьютер, машина преобразует эти вентили в микроволновые импульсы. В свою очередь, импульсы управляют физическими кубитами, которые творят чудеса в решении рассматриваемой проблемы. Результаты возвращаются — переводятся обратно в классические биты — программисту. Этот простой интерфейс — это то, что откроет возможности квантовых вычислений для современных сообществ разработчиков.

Открытые экосистемы масштабируются

Десять лет назад эксперты по квантовым вычислениям были преимущественно докторами наук. физики в лабораториях — ценный товар, которого все еще не хватает. Но начинают появляться сообщества разработчиков, не обязательно докторов наук или других физиков. В эти сообщества входят, среди прочего, химики, инженеры-электрики и математики. Они изучают и применяют квантовые концепции даже в классических вычислительных средах.

Появились экосистемы, способствующие открытым инновациям и обучающие разработчиков программного обеспечения применению квантовых вычислений для решения реальных проблем. IBM создала одно такое сообщество с открытым исходным кодом, Qiskit, для создания необходимых инструментов и библиотек разработки кода для квантовых разработчиков. Сообщество также предлагает повышение квалификации тысячам квантовых студентов. Миллиарды квантовых схем запускаются ежедневно через IBM Quantum Services с использованием настоящих квантовых компьютеров.

Квантовая клеточно-центрическая терапия: Новаторские новые исследования в области здравоохранения и наук о жизни

Квантовые вычисления оставляют свой след в таких областях, как криптоанализ, естественнонаучное моделирование и оптимизация. Тем не менее, еще многое предстоит узнать о потенциале моделирования квантовых вычислений в сфере здравоохранения и наук о жизни (HCLS).

Квантовые инструменты вскоре смогут пойти гораздо дальше в решении некоторых проблем HCLS и вычислительных проблем. Квантовые алгоритмы используют существенно другую парадигму вычислений, которая потенциально может более эффективно представлять биологические данные и учиться на их основе. Это может позволить исследователям открыть новые горизонты биологических исследований и сделать возможным биомедицинские открытия.

В частности, рассмотрите терапевтический дизайн и открытия. Эта область исследований традиционно фокусируется на идентификации лекарств и оптимизации их взаимодействия. Хотя алгоритмы, применимые к квантовой теории, существуют, исследователи обычно используют классические подходы. Эта стратегия привела к одобрению многих новых терапевтических средств (например, низкомолекулярных ингибиторов, химиотерапевтических препаратов и методов лечения антителами) для лечения множества заболеваний.

Однако с 1950-х годов затраты на исследования и разработки одного нового одобренного препарата удваивались каждые девять лет. Для многих заболеваний эффективные методы лечения остаются неуловимыми. Фактически, подходы, ориентированные на цель, возможно, достигают точки убывающей отдачи.

Но есть надежда. Исследователи добились значительного прогресса в области квантовой клеточно-ориентированной терапии. Пространственно-временные данные отдельных клеток, клеточных линий, изображения, профиль лекарств и клинические данные анализируются с помощью четырех технологий квантовых вычислений, которые могут фиксировать различные аспекты клеточного поведения.

Эти технологии включают в себя:

- Квантовые сверточные нейронные сети (QCNN) для изучения оптимального дизайна внутриклеточного сигнального домена T-клеточного химерного антигенного рецептора (CAR) на основе ограниченных экспериментальных данных.

- Гибридные нейронные сети с классическими квантовыми графами (GNN) для моделирования микроокружения опухоли на основе пространственных данных отдельных клеток.
- Реакция на возмущение одной ячейки с использованием квантового условно оптимального транспорта (ОТ)
- Квантово-расширенный топологический анализ данных (QTDA) для выявления топологических признаков реакции на возмущение отдельной ячейки.

Результаты каждой области исследований могут быть ценными сами по себе, и их также можно комбинировать различными способами, чтобы получить информацию, которая может дать исследователям возможность предлагать новые варианты лечения, которые оптимизируют клеточный контекст и улучшают терапевтический ответ.

Например, путем разработки всестороннего понимания того, как ведут себя раковые клетки, и моделирования этого поведения как по отдельности, так и в совокупности, можно разработать планы лечения. Эти новые методы лечения потенциально могут быть разработаны для того, чтобы манипулировать раком и его опухолевым микроокружением, переводя их в более терапевтически отзывчивое состояние. Или лечение может перевести опухоль в ленивую фазу, которая превратит болезнь в более управляемое хроническое состояние.

Квантовые вычисления могут послужить движущей силой этого клеточно-ориентированного подхода к терапевтическому дизайну. Этот вариант использования иллюстрирует лишь один пример того, как квантовые вычисления могут внести существенный вклад в HCLS.

От анализа к открытию

Достижения в области квантовых вычислений были значительными, но каковы их практические последствия? Как они повлияют на нашу способность решать сложные проблемы в больших масштабах?

На заре своего развития наука была эмпирической и теоретической. Люди наблюдали и измеряли такие явления, как движение объектов; выдвинул гипотезы и предсказания о том, почему они произошли; и проверял их неоднократно. Компьютеры – а со временем искусственный интеллект и суперкомпьютеры – изменили ситуацию, открыв эпоху аналитики. Теперь мы можем принимать огромные объемы данных и разрабатывать модели поведения систем. Теперь мы также можем моделировать химические системы, перемещать отдельные атомы и моделировать, как некоторые материалы будут вести себя или реагировать при миллионах применений.

Но некоторые проблемы остаются вне нашей досягаемости. Хотя мы можем смоделировать химическую систему, эти классические модели хорошо подходят для задач, где у нас уже есть данные. Эти модели не основаны на физических принципах поведения молекул и поэтому являются неточными. У нас нет инструментов для устранения этих недостатков. Какими бы мощными ни были классические вычисления, они имеют фундаментальные ограничения перед лицом экспоненциальных задач (см. рисунок 6).

1-я парадигма	2-я парадигма	3-я парадигма	4-я парадигма	5-я парадигма
Эмпирическая наука	Теоретическая наука	Вычислительная наука	Наука, основанная на больших данных	Квантово-ускоренное открытие
Наблюдения	Научные законы	Симуляторы	Большие данные	Научные знания в масштабе
Экспериментирование	Физика	Молекулярная динамика	Машинное обучение	Гипотезы, созданные ИИ
Доренессанс	Биология	Механистические модели	Узоры	Автономное тестирование
	Химия		Аномалии	
	~1600-е годы	~1950 г.	Визуализация	~2020 г.
			~2000	

РИСУНОК 6

Прогресс сквозь века

Путь к квантово-ускоренным открытиям

Увеличение скорости, автоматизации и масштаба

IBM и Кливлендская клиника: Использование квантовых возможностей для решения ключевых проблем здравоохранения

IBM и Cleveland Clinic, некоммерческий академический медицинский центр, который объединяет клиническую и больничную помощь с исследованиями и образованием, объявили о запланированном 10-летнем партнерстве по созданию Discovery Accelerator. Кливлендская клиника и IBM будут стремиться продвигать открытия в области здравоохранения и наук о жизни посредством высокопроизводительных вычислений с использованием технологий гибридного облака, искусственного интеллекта и квантовых вычислений.

С помощью Discovery Accelerator исследователи планируют использовать передовые вычислительные технологии для генерации и анализа данных, которые помогут улучшить исследования в новом Глобальном центре исследований патогенов и здоровья человека. Ожидается, что исследования будут сосредоточены на таких областях, как геномика, транскриптомика отдельных клеток, здоровье населения, клиническое применение, а также открытие химических веществ и лекарств.

В марте 2023 года клиника Кливленда и IBM представили первый квантовый компьютер, поставленный в частный сектор и полностью предназначенный для здравоохранения и наук о жизни. Машина IBM Quantum System One расположена в Научно-исследовательском институте Лернера в главном кампусе клиники Кливленда и поможет исследователям разрабатывать методы решения серьезных проблем со здоровьем. Эта квантовая программа будет разработана для взаимодействия с университетами, правительством, промышленностью, стартапами и другими организациями. Он будет использовать глобальное предприятие Кливлендской клиники в качестве основы новой квантовой экосистемы для наук о жизни, ориентированной на развитие квантовых навыков и выполнение миссии центра.

В дополнение к локальной системе IBM Quantum System One Кливлендская клиника получит доступ к текущему парку квантовых систем IBM, состоящему из более чем 20 систем, доступных через облако. С запуском квантовой системы IBM нового поколения, содержащей более 1000 кубитов, клиника Кливленда станет местом установки первой частной локальной системы.

Вот тут-то и появляются квантовые вычисления в сочетании с классическими компьютерами и искусственным интеллектом. Эта триада способна совершать открытия радикально более быстрыми темпами. Подумайте об удивительном влиянии исследований мРНК, одноцепочечной молекулы РНК, которая комплементарна одной из цепей ДНК гена. Это исследование ускорило разработку вакцины против COVID-19: расшифровка вируса для создания вакцины заняла всего несколько недель, за которыми последовали месяцы клинических испытаний и широкое распространение в течение года. Однако это стало возможным только потому, что у нас уже были десятилетние исследования мРНК, которые можно было использовать.

С помощью квантовых вычислений подобные открытия сами по себе могут быть сжаты, особенно если начинать с чистого листа, что значительно ускорит разработку и эффективность вакцин и облегчит боль будущих пандемий.

Многие из наших лучших практик в здравоохранении остаются приблизительными: мы экстраполируем информацию из больших массивов данных и применяем ее к отдельным людям. Во многих отношениях мы все еще используем методы проб и ошибок — конечно, более сложные, но вряд ли подходы, адаптированные к каждому конкретному человеку. Возможности квантовых вычислений обещают в конечном итоге создать персонализированную медицину, соответствующую геному человека (см. тематическое исследование «IBM и Кливлендская клиника»).

Председатель и главный исполнительный директор IBM Арвинд Кришна стоит рядом с внутренней частью квантового компьютера на предприятии IBM в Покипси, штат Нью-Йорк, где находится первый центр квантовых вычислений IBM.

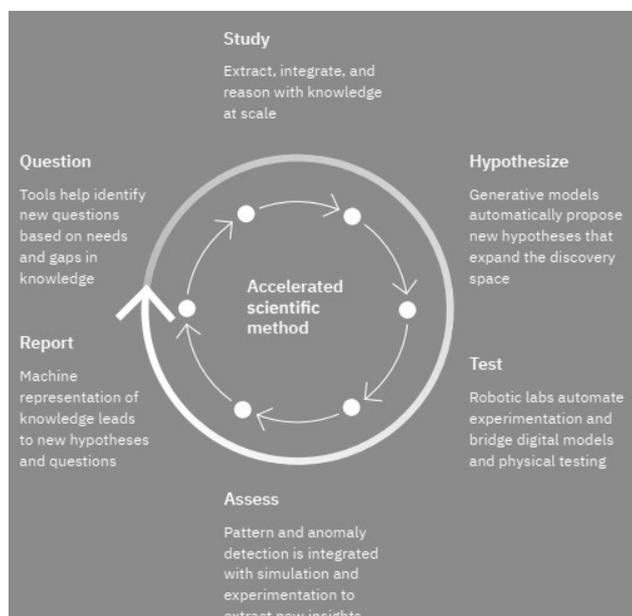
Эта мечта может стать реальностью, если расширить возможности проведения экспериментов. Возможно, вы помните, как в детстве изучали основы научного метода: последовательность, которая начинается от наблюдения к вопросу, гипотезе, эксперименту, результатам и, наконец, выводу. С

помощью классических вычислений мы смогли ускорить этот процесс. Триада классических, искусственных и квантовых вычислений может усилить научный метод (см. рисунок 7).

Беспрецедентная способность моделировать сложные системы ускорит способность извлекать, интегрировать и проверять, чтобы мы могли делать выводы. Мы уже используем ИИ для автоматической генерации гипотез и роботизированные лаборатории для автоматизации физических экспериментов.

Расширение возможностей квантовых вычислений расширит возможности, которые можно оценить перед переходом к физическим экспериментам, и в результате ускорит весь процесс открытия. «Впервые цикл научного метода замыкается», — говорится в «Перспективе науки и технологий на 2021 год» от IBM Research. «Каждый прорыв — это шаг к реализации мечты об открытии как самодвижущегося, непрерывного и бесконечного процесса.

Ускорение открытий и более быстрое воплощение знаний в практику сделают возможными всевозможные новые скачки. Здравоохранение – это только одна область применения. Другой сценарий: квантовые вычисления можно использовать для поиска новых материалов. Эти возможности могут повысить эффективность солнечных панелей, ветряных турбин и продлить срок службы батарей. Как мы увидим в руководствах по отраслям на стр. 91, приложений для конкретных отраслей бесчисленное множество.



Вопрос: Инструменты помогают выявить новые вопросы, основанные на потребностях и пробелах в знаниях.

Изучение: Извлекайте, интегрируйте и анализируйте знания в масштабе

Выдвижение гипотезы: Генеративные модели автоматически предлагают новые гипотезы, которые расширяют пространство открытий.

Тестирование: Роботизированные лаборатории автоматизируют эксперименты и объединяют цифровые модели и физические испытания.

Оценка: Обнаружение закономерностей и аномалий интегрировано с моделированием и экспериментированием для получения новых идей.

Отчет: Машинное представление знаний приводит к новым гипотезам и вопросам

РИСУНОК 7

Масштабирование научного метода

От вопросов к гипотезам и отчетам

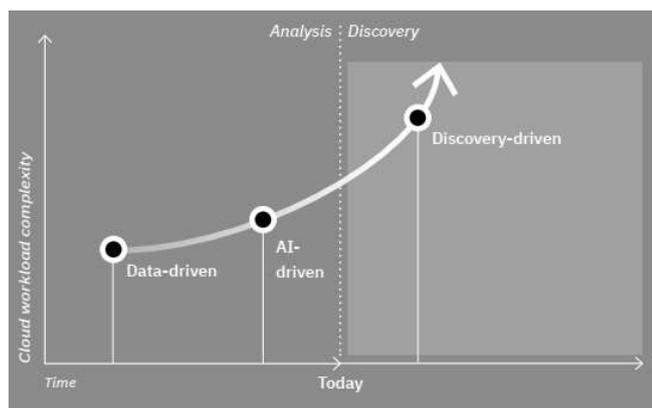
Предприятие, ориентированное на открытия

С организационной точки зрения, в результате квантового десятилетия появится новый тип предприятия, ориентированного на открытия (см. рисунок 8). Точно так же, как облако все больше виртуализирует традиционное предприятие, внедрение квантов откроет новые возможности.

Вычислительная триада произведет революцию в том, как предприятия управляют и эксплуатируют рыночные бизнес-платформы, основанные на интеллектуальных (или управляемых искусственным интеллектом) рабочих процессах. Изучая, как работают люди, ИИ уже может помочь определить наиболее эффективные рабочие процессы. Затем задачи можно перенаправить в традиционные или квантовые системы — один или несколько квантовых компьютеров, работающих с классической вычислительной системой, — в зависимости от того, какой вариант является лучшим. Как только информационные технологи установят рабочий процесс, пользователю не нужно знать, где и как выполняются вычисления. Никаких специальных знаний в области квантовых вычислений не потребуется.

Всего десять лет назад те, кто оценил потенциал ИИ и предпринял шаги, чтобы подготовиться к нему и внедрить все, что они могли, сейчас являются лидерами. Сегодня мы переживаем квантовое

десятилетие, и мы ускоряем его темпы. открытия, предприятия всех видов должны уделять пристальное внимание.



Характеристики предприятия

Бизнес-аналитика, инновации, ориентированные на потребителя

Интеллектуальный рабочий процесс, инновации ориентированные на предприятия

Научный метод в масштабе, внешние и внутренние данные

Включающие технологии

Сетевые вычисления, ориентированные на приложения потребителя в публичном облаке

ИИ и автоматизация, критически важные рабочие процессы в облаке

Сложный рабочий процесс в гибридном облаке

РИСУНОК 8

Новая норма

Развивающееся предприятие, ориентированное на открытия

Вопросы, которые стоит задать

Вопрос первый

Как бы ваша команда, ваши руководители и совет директоров определили аргументы в пользу квантовых вычислений?

Вопрос второй

Какие шаги вы предпринимаете, чтобы стать или конкурировать с предприятием, ориентированным на открытия и включающим квантовые вычисления?

Вопрос третий

Как вы обучаете себя и своих ключевых специалистов возможностям квантовых вычислений?

Вопрос четвертый

Какие жизнеспособные экосистемы позволяют получить доступ к мощным и масштабируемым возможностям квантовых вычислений в облаке?

Информация

Сила квантовой грамотности

Вы можете развивать партнерские отношения и присоединяться к экосистемам для получения «глубоких» квантовых ноу-хау. Что вам действительно нужно в вашей команде, так это грамотность в области квантовых вычислений — свободное владение, которое может помочь вам проводить эксперименты и определять преимущества для вашей организации.

Скрытая возможность рабочего процесса

Чтобы получить больше пользы от квантовых вычислений, необходимо изучить рабочие процессы на предмет возможностей квантовых вычислений и способов взаимодействия с классическими системами. Но для подготовки потребуется нечто большее, чем просто грамотность в области квантовых вычислений и экспериментирование. Это требует подготовки вашего классического предприятия к глубокой интеграции квантовых вычислений в новые способы работы и новые бизнес-модели.

Не делайте это в одиночку

Скорость, с которой квантовые вычисления совершенствуются и расширяются, мешает многим компаниям идти в ногу со временем. Будучи частью экосистемы квантовых вычислений, вы можете получить доступ к технологиям и талантам, которые в противном случае были бы недоступны.

Глава вторая

Квантовая готовность и сила экспериментирования

«Нет сомнений в том, что технология квантовых вычислений будет готова к использованию в этом десятилетии. К 2030 году будет несколько квантовых машин с миллионами кубитов», — говорит Кристиан Видбрук, генеральный директор Xanadu Quantum Technologies. — Вопрос в том, готовы ли вы?

Короткий ответ: «Может быть, если вы начнете действовать сейчас». Готовность к квантовым вычислениям — это постоянно развивающееся состояние, которое зависит от вашего общего подхода к инновациям и инвестиций в них, а также от новых талантов и навыков, а также от общей цифровой зрелости. Эта готовность включает в себя принятие вами таких передовых технологий, как автоматизация, искусственный интеллект и гибридное облако; ваша готовность анализировать, экспериментировать и совершенствовать развивающиеся вычислительные возможности; сложность ваших рабочих процессов; и ваши организаторские способности.

Также учитывается ваша отрасль и местоположение. Отрасли колеблются в своей готовности к квантовым вычислениям в зависимости от конкурентного давления и концентрации, потребностей в росте и инновациях, а также потенциала квантовых вычислений для решения отраслевых вычислительных задач. Страны и регионы могут различаться в зависимости от географического контекста, главным образом в отношении инвестиций, образования и навыков, регулирования и доступности экосистем. И сами экосистемы должны достичь готовности предоставить реальную поддержку. Но тем не менее партнерство с оптимальной экосистемой может быть хитрым способом смягчить колебания готовности, независимо от вашего местоположения или отрасли.

Подумайте об этом так: получение преимущества в освоении такой технологии, как квантовые вычисления, аналогично силе сложных процентов. Подождав пару лет и позволив ранним последователям уйти, вы можете получить экспоненциальное преимущество.

Эксперименты по замыслу: применение квантовой грамотности к реальным проблемам

Обнадеживающие новости: для того, чтобы начать работу, вам не нужна степень доктора философии в области квантовых вычислений. Да, мир кубитов, суперпозиции и запутанности может оказаться скользкой дорогой, которую лучше доверить квантовым экспертам, а для создания новой интеллектуальной собственности действительно требуется квалификация на уровне доктора философии. Но за счет развития партнерских отношений и присоединения к экосистемам для «глубоких технологий» квантовых вычислений это можно преодолеть. Что вам действительно нужно в вашей команде, так это грамотность в области потенциала квантовых вычислений — свободное владение, которое может помочь оценить преимущества для вашей организации.

Самое интересное и сложное — это применить эту грамотность к бизнес-задачам. Каковы текущие ограничения в вашей отрасли? Копай глубже. Какие ограничения вызывают эти ограничения? Как устранение этих, казалось бы, непреодолимых барьеров изменит вашу отрасль? Где сегодня есть камни преткновения в том, как вы мобилизуете вычислительные процессы и рабочие процессы проектирования? Куда ваша отрасль и организация пойдут через 10 лет?

Сложные проблемы реального мира могут оказаться неразрешимыми до тех пор, пока мы не перейдем к отказоустойчивым квантовым вычислениям — кульминации квантового десятилетия. Это класс квантовых вычислений, в котором вы можете запускать квантовые программы общего назначения, скомпилированные как на квантовых, так и на классических ресурсах.

Отказоустойчивые компьютеры включают процедуры, которые помогают предотвратить умножение и распространение ошибок, позволяя им запускать квантовые схемы сколь угодно близко к исправлению, даже если их физические компоненты неисправны.

Мы уже учимся тому, как квантовые вычисления могут способствовать нашему пониманию проблем — причём больших проблем. Это помогает исследователям изучать разработку новых материалов. Со временем это может способствовать разработке экологически чистых и эффективных удобрений

для поддержки глобальной цепочки поставок продовольствия. На подлинно космическом уровне он может сыграть ключевую роль в исследовании загадок того, как устроена наша Вселенная.

Но давайте подумаем о более короткой перспективе. Чтобы достичь квантовой готовности, вам необходимо определить искусство возможного уже сейчас посредством определения проблемы, экспериментирования и итерации. Это может включать один или комбинацию нескольких подходов, используемых независимо или вместе (см. Рисунок 9).

— **Пирамидальный подход.** Существенные проблемы отрасли по своей природе сложны. Этот подход предполагает итеративное экспериментирование и обучение с использованием классических методов декомпозиции и эвристических методов для получения множества потенциальных решений. Затем квантовые процессы определяют подмножество оптимальных решений, которые, согласно этой аналогии, поднимаются на вершину пирамиды. Другими словами, классические подходы могут предоставить хороший набор вариантов решения, а затем квантовые системы могут быть оптимизированы. Это позволяет уточнить более крупные наборы решений и выйти за рамки более мелких теоретических вариантов, которые не имеют каких-либо серьезных последствий.

— **Подход «анализируй и извлекай».** Для полного решения сложной задачи может потребоваться миллион кубитов. На данный момент стратегия должна включать в себя извлечение частей, которые можно решить с помощью классических вычислений, и резервирование других сегментов для квантовых вычислений и их экстремальной вычислительной мощности. Это похоже на рассеечение. Проблема подвергается анализу на различных этапах: подготовка, деконструкция, затем решение каждой деконструированной части.

На данный момент это обычно делается для того, чтобы согласовать классические вычисления с пониманием данных, декомпозицией и вычислениями, с которыми они могут справиться; квантовые возможности соответствуют специализированным вычислениям. Кроме того, этот процесс деконструкции и реконструкции проблемы разными способами помогает увидеть ее по-другому — с точки зрения, которая может выявить еще большую конечную ценность квантовых вычислений.

— **Базовый подход к сравнительному анализу.** И классические, и квантовые вычисления далеки от статичности. Они постоянно совершенствуются и развиваются, особенно квантовые вычисления. Эксперименты могут одновременно сравнивать проблемы с классическими и квантовыми возможностями, а затем повторно запускать их с использованием улучшенного оборудования, программного обеспечения, алгоритмов, возможностей исправления ошибок и т. д. Выделение и выявление этих конкретных улучшений квантовых вычислений и стратегическое применение их к более широкому набору задач может помочь повысить квантовую готовность и путь к квантовому преимуществу.

Потенциал квантовых вычислений огромен, даже если сами концепции являются эзотерическими. Но экспериментирование и повторение квантовых вычислений может продемонстрировать силу нестандартного концептуализации (см. практический пример «Цепочка поставок услуг IBM»). По мере того, как вы оцениваете сценарии и разрабатываете эксперименты для своей отрасли, создание осязаемой дорожной карты квантовой готовности может очень сильно спустить эзотерику на землю. Крайне важно экспериментировать с современным аппаратным обеспечением для квантовых вычислений, скорее всего, через экосистему.

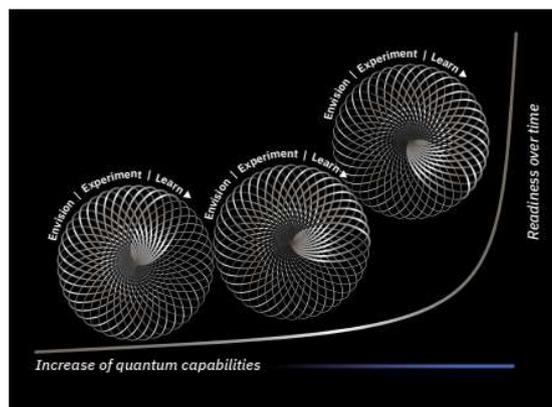


РИСУНОК 9

Фантазируйте, экспериментируйте, учитесь

Экспериментальные подходы для прикладного обучения

Цепочка поставок услуг IBM: Квантовый поиск более точного прогнозирования спроса

Предсказание будущего – возможно ли это? В разных отраслях организации прилагают все усилия во многих областях: прогнозирование спроса, прогнозирование запасов, прогнозирование мощности и многое другое.

Но классические вычислительные методы прогнозирования могут страдать от низкой точности. Например, для прогнозирования спроса задача согласования цепочек поставок с быстро меняющимся спросом является сложной. Даже последовательное улучшение прогнозов всего на 1% может иметь значительный финансовый эффект. В сфере услуг существует более крупная составляющая независимого спроса, обусловленная переменными характеристиками отказов. Имея это в виду, исследователи IBM готовят демонстрацию, в которой сочетаются квантовые и классические вычислительные методы, чтобы сделать прогнозирование спроса более эффективным.

С этой целью исследователи сотрудничают с IBM Services Supply Chain (SSC), организацией, отвечающей за обслуживание центров обработки данных путем хранения и доставки запасных частей, заменяемых на месте. Товарно-материальные запасы IBM SSC на миллионы долларов включают более 2000 различных деталей, размещенных на 114 складах, расположенных по всей территории США. В зависимости от серьезности проблемы доставка должна произойти в один из четырех определенных временных интервалов: два часа, четыре часа, один день или два дня. В результате задача прогнозирования IBM SSC состоит в том, чтобы предсказать, сколько деталей потребуется, когда и где.

Исследователи использовали двухэтапный подход к этому сценарию. Первый заключался в применении классификации моделей спроса с примерами моделей, которые включают в себя:

Быстрый - Спрос постоянный

Медленный - Спрос непостоянен, с периодами времени, когда спрос равен нулю.

Неактивный - Спрос становится неактивным

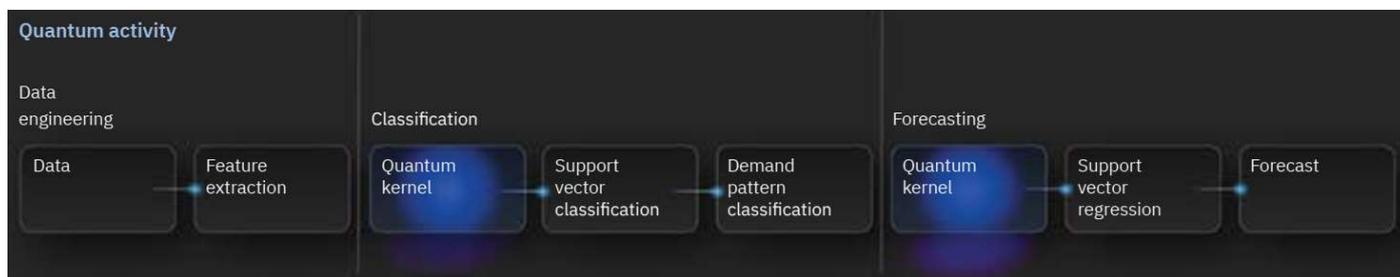
Редкий - Несколько заказов или разовый заказ.

Затем исследователи применили соответствующий алгоритм прогнозирования структуры спроса. И классификация, и прогнозирование могут быть выполнены с использованием комбинации классического и квантового методов (см. рисунок ниже). Классические и квантовые вычисления работают вместе как одна команда, причем квантовые выполняют тяжелую вычислительную часть рабочего процесса.

Модели квантового машинного обучения обладают потенциалом большей обобщаемости, а это означает, что алгоритмы прогнозирования могут достичь большей точности на новых данных. Хотя классические вычисления могут выполнить эти рабочие процессы без квантовых вычислений, по мере того, как исследователи совершенствуют свои методы, они приближаются к пониманию роли, которую могут играть квантовые вычисления. Это будет иметь важное значение в таких областях, как профилактическое обслуживание, где датчики Интернета вещей все чаще становятся источником данных. А для технического обслуживания, связанного с безопасностью, например деталей

самолетов, повышение производительности и точности моделей квантового машинного обучения может стать необходимостью.

Как и во многих экспериментах с квантовыми вычислениями, эта работа по классификации и прогнозированию является одновременно фундаментальной и развивающейся, предоставляя исследователям IBM платформу для изучения квантовых алгоритмов и возможностей бизнес-прогнозирования. По завершении исследователи получают осязаемую демонстрацию, которая отображает бизнес-проблему на квантовых вычислениях. И это поможет проиллюстрировать важный момент: классические и квантовые вычисления не являются конкурентами. Скорее, это взаимодополняющие технологии, которые вместе могут быть более эффективными.



Квантовая активность

Инженерия данных

Данные Извлечение признаков

Классификация

Квантовое ядро Классификация опорных векторов

Классификация моделей спроса

Прогнозирование

Квантовое ядро Поддержка векторной регрессии Прогноз

Сочетание классического и квантового

Рабочий процесс прогнозирования

Квантовые рабочие процессы

Мыслить масштабно и поэтапно может быть быстрым путем к квантовому преимуществу, особенно при интеграции квантовых вычислений в ваши рабочие процессы.

Рабочий процесс, по сути, представляет собой дерево задач с функциями, охватывающими адаптивное взаимодействие с клиентами и поставщиками, упреждающую поддержку принятия решений руководителями, целевое обучение сотрудников и другие приложения искусственного интеллекта. Однако рабочие процессы могут столкнуться с трудностями при комплексном своевременном вычислении больших объемов сложных данных. образом. В результате предприятия могут быть вынуждены использовать расчетные приближения даже перед лицом насущных требований рынка. Примеры могут включать рабочие процессы, включающие сложные сети, такие как распределение, транспорт, связь или логистика.

Применение квантовых вычислений почти всегда связано с ускорением процесса или подпроцесса в рамках рабочего процесса. Чтобы получить больше пользы от квантовых вычислений, необходимо изучить рабочие процессы на предмет возможностей квантовых вычислений и способов взаимодействия с классическими системами (см. практический пример «OLED-экраны» на стр. 42).

Такая оценка квантовых вычислений требует широкого внимания к трансформации отрасли. Как квантовые вычисления могут сотрудничать с классическими вычислениями в конкретном контексте? Какие подразделы рабочего процесса лучше всего подходят для квантовых вычислений? Интеллектуальный анализ, необходимый для оценки рабочих процессов классических и квантовых вычислений, может привести к новому взгляду на сам рабочий процесс, а также на потенциальный диапазон результатов, которые дают квантовые вычисления. Квантовые вычисления могут способствовать вычислениям, которые приводят к неожиданным прорывам, обеспечивая новую эффективность, более четкие методологии и более значимые способы взаимодействия как с внутренними, так и с внешними заинтересованными сторонами.

OLED-экраны: Более яркие и эффективные дисплеи благодаря квантовому моделированию

Что стоит между людьми и их телефонами? Экраны, также известные как плоские дисплеи. Но эти дисплеи являются одними из самых энергоемких компонентов смартфонов, что часто ограничивает срок службы батареи.

Новые, усовершенствованные материалы позволяют создавать более яркие дисплеи, более эффективные и менее энергозатратные. Но разработка этих новых материалов требует трудоемких и трудоемких традиционных лабораторных методов исследования. Процесс охватывает несколько этапов разработки, включая идентификацию материала, разработку процесса, прототипирование устройства и квалификационные испытания.

Традиционно прогресс в этой области был медленным. Что касается дисплеев на органических светодиодах (OLED), то с момента первого сообщения о наблюдении электролюминесценции в органических молекулах (1963 г.) до первого коммерчески доступного на рынке дисплея OLED (1997 г.) прошло 34 года.

Но квантовые компьютеры могут способствовать ускорению темпов. Квантовые вычисления могут помочь коммерциализировать новые материалы за счет более быстрого и точного молекулярного моделирования как материалов, так и их взаимодействия с производственными процессами и условиями эксплуатации. Эти новые материалы позволяют производить более яркие, экономичные и недорогие дисплеи, что может ускорить их коммерциализацию, позволяя компаниям быстрее предлагать более привлекательные и конкурентоспособные продукты.

Моделирование материалов с помощью классических вычислений в настоящее время имеет ограниченное применение при разработке новых материалов. Время, необходимое для точного моделирования молекулярных сценариев достаточной сложности, быстро выходит за рамки практических временных рамок. В результате без точного компьютерного моделирования приходится использовать трудоемкие и дорогостоящие экспериментальные методы.

Благодаря подходу квантовых вычислений квантовое моделирование можно использовать в рабочем процессе для более реалистичного моделирования материалов и их взаимодействия с работой устройства, производственными процессами и условиями эксплуатации. Более сложное и более точное моделирование материалов на молекулярном уровне может позволить проводить продуктивные эксперименты на компьютере, сокращая дорогостоящие и громоздкие лабораторные исследования и производственные разработки.

Эти рабочие процессы моделирования материалов на основе квантовых вычислений могут создать стратегические конкурентные преимущества продукта, такие как более яркие дисплеи с меньшим энергопотреблением. И потенциальные финансовые выгоды значительны. Увеличение выручки всего на 1% в год может означать дополнительные 320 миллионов долларов для рынка OLED-дисплеев.

Интеллектуальный рабочий процесс: добавление квантовой мощи

В IBM мы определяем интеллектуальные рабочие процессы как расширенные комплексные системы, которые за счет масштабного применения технологий определяют качество обслуживания клиентов и влияют на экономические результаты. Эти рабочие процессы более обширны, чем простые процессы, и традиционно в них используются такие технологии, как автоматизация, блокчейн, искусственный интеллект, 5G, облачные и периферийные вычисления для достижения исключительных результатов. Исследования IBM показывают, что использование этих классических вычислительных технологий в рабочих процессах может утроить преимущества. Использование мощи квантовых вычислений может улучшить этот показатель в геометрической прогрессии (см. рисунок 10).

Фактически, мы приближаемся к революции, которая приведет к созданию высокоразнородных сред. Классические, искусственные и квантовые вычисления будут все чаще интегрироваться в интеллектуальные рабочие процессы, управляемые в гибридном облаке.

Если вы оцениваете квантовые вычисления в контексте интеллектуальных рабочих процессов, вот аналогия. Процессы функционируют как организационная основа. Но интеллектуальные рабочие процессы служат нервной системой организации — короче говоря, они взаимосвязаны и взаимозависимы. Эти рабочие процессы отличаются от простых процессов, поскольку они извлекают информацию из экосистемы, воспринимают и определяют соответствующую реакцию, а также отправляют обратную связь другим рабочим процессам. Здесь превосходят квантовые вычисления с их способностью оценивать множество вариантов.

Интеллектуальные рабочие процессы — это творчески созданные модели с новым подходом к данным и инновационным технологиям. Создание этих рабочих процессов, а также расширение необходимых возможностей искусственного интеллекта, данных и облачных технологий может принести пользу вашему бизнесу уже сейчас, пока вы закладываете основу для квантовых технологий (см. «Перспектива», «Интеллектуальные рабочие процессы» на стр. 46). Другие соображения включают в себя реальность того, что квантовые вычисления могут взломать шифрование Ривеста-Шамира-Адлемана (RSA) и шифрование эллиптических кривых (ECC), а также необходимость перехода к существующей квантовобезопасной криптографии.

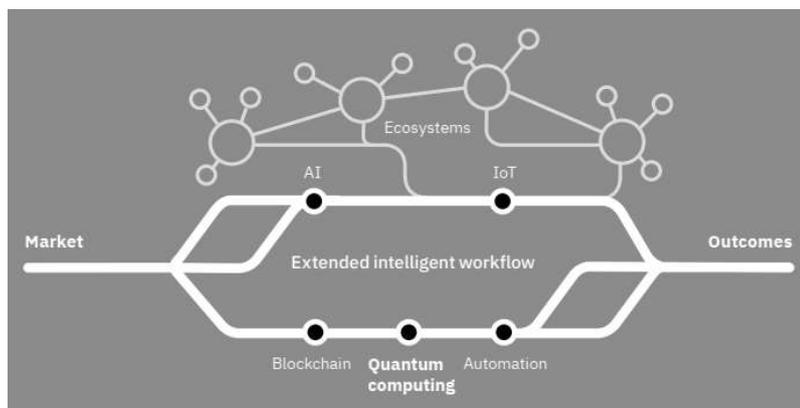


РИСУНОК 10

Бустерный выстрел

Интеллектуальные рабочие процессы на основе квантовых вычислений

По самому своему определению интеллектуальные рабочие процессы по своей сути основаны на сочетании технологий, и это сочетание может и должно включать квантовые вычисления.

Интеллектуальные рабочие процессы процветают в открытой, слабосвязанной архитектуре, которая объединяет приложения и технические подходы. Их способность использовать гибридные среды имеет решающее значение, поскольку большинство организаций получают доступ к квантовым вычислениям в облаке, а не разрабатывают инфраструктуру самостоятельно. Даже если ваша организация использует более упрощенный процессный подход, создание некоторых фундаментальных интеллектуальных рабочих процессов может стать отличным переходом к квантовым вычислениям.

В рамках интеллектуального рабочего процесса квантовые вычисления поначалу можно интуитивно рассматривать как ускоритель — технологию, дополняющую классические вычисления там, где требуется дополнительная мощность. Но на самом деле квантовые вычисления являются катализатором глубоких революций в отраслевых бизнес-моделях, которые могут породить прорывные услуги и способы потребления.

Чтобы эти революции произошли, предприятиям необходимо разработать стратегический компас, который направляет их к оптимальным возможностям. Им также необходимо укрепить способность применять квантовые вычисления в классической бизнес-среде с точки зрения технологий, процессов и людей. Короче говоря, предприятиям необходимо создать квантово-восприимчивую инфраструктуру, и когда технология будет полностью реализована, они будут готовы

Перспектива: Интеллектуальные рабочие процессы как основа ускорения квантовых вычислений

Разработка интеллектуальных рабочих процессов может помочь вам подготовиться к использованию квантовых вычислений, а их свойства, улучшающие бизнес, уже сейчас могут принести организационные преимущества. Четыре приведенных ниже шага описывают широкую основу для внедрения новых технологий, обработки данных и внедрения гибридной облачной среды. Имея эту инфраструктуру, организации могут перейти к анализу подпроцессов для поиска возможностей ускорения квантовых вычислений.

1 Внедряйте новейшие технологии, включая искусственный интеллект и машинное обучение, чтобы изменить способы работы.

Применяйте другие новейшие технологии для создания высокодинамичных и интеллектуальных рабочих процессов, которые радикально меняют способы выполнения работы и создают новые возможности. В частности, укрепить возможности искусственного интеллекта и машинного обучения, которые исключительно хорошо сочетаются с квантовыми вычислениями.

2 Получение значения из данных

Используйте тщательно отобранные данные в интеллектуальных рабочих процессах для анализа наиболее важных пулов ценностей. Установите надежное управление, чтобы вызвать доверие к вашим данным и моделям искусственного интеллекта, чтобы решения могли приниматься на переднем крае организации. Определите компоненты подпроцесса исключительной сложности, для которых можно извлечь выгоду из квантовых алгоритмов.

3. Развертывание через гибридное облако.

Используйте переход к гибриднему облаку, чтобы получать доступ к данным и использовать их по-новому, внедрять интеллектуальные рабочие процессы и модернизировать приложения открытым и безопасным способом. Используйте эту гибкость, чтобы искать возможности для экспериментов с облачными квантовыми вычислениями.

4. Оцените подпроцессы, которые лучше всего подходят для ускорения квантовых вычислений.

Присоединяйтесь к экосистеме квантовых вычислений с открытым исходным кодом. Такое сообщество обеспечивает доступ к квантовым вычислениям в управляемом масштабе, обеспечивая «лабораторию» для экспериментов с низким уровнем обязательств. Использование классических и квантовых вычислений должно быть организовано так, чтобы квантовые вычисления наиболее эффективно дополняли классические функции.

Чтобы добраться до этой точки, необходимы ключевые способности (см. рис. 11). Ни один из них не касается освоения самой квантовой технологии. Скорее, они направлены на повышение корпоративных навыков, технических возможностей и перспективных стратегий, которые позволят революции квантовых вычислений пустить корни и процветать.

Хорошие новости: применение прагматичного, гибкого и итеративного подхода к квантовым вычислениям сейчас — это не просто получение будущих наград. Эта стратегия может начать приносить значительные бизнес-преимущества уже сегодня. Например, создание современной динамической модели доставки и открытой инновационной платформы с помощью гибридного облака может принести значительную прибыль на вашем классическом предприятии. Параллельно они расширяют ваши возможности беспрепятственной интеграции квантовых вычислений, когда они готовы к производству.

Улучшив свою классическую вычислительную среду, а также инвестируя в эксперименты и рабочие процессы, готовые к использованию квантовых технологий, вы сможете ускорить свой путь к квантовому преимуществу.

Стратегия

Способность конвертировать информацию о рынке квантовых вычислений в полезную информацию о возможностях и угрозах.

Умение извлекать выгоду для бизнеса из квантовых стратегий, возможностей и инновационных инициатив.

Опыт обеспечения безопасности и защиты интеллектуальной собственности (ИС) или технологий квантовых вычислений. Влияние правил и стандартов, связанных с предполагаемым использованием квантовых вычислений.

Технологии

Платформа DevSecOps для создания, тестирования, развертывания и обновления приложений квантовых вычислений.

Уровень развития искусственного интеллекта и других передовых вычислительных моделей для поддержки рабочих процессов, адресуемых квантовыми вычислениями.

Гибридная облачная архитектура, обеспечивающая оркестровку и взаимодействие квантово-классических рабочих нагрузок.

Операции

Управление и надзор, помогающие обеспечить успешное выполнение дорожной карты квантовых вычислений.

Стратегия и культура талантов для создания высокопроизводительной команды

Инновационные процессы, создающие квантовое решение, отвечающее потребностям бизнеса.

Гибкие практики, которые приводят к высокой скорости НИОКР и итеративному проектированию решений.

РИСУНОК 11

На твердой земле

Закладываем основу для квантовых вычислений

Трек талантов экосистемы квантовых вычислений

В этой глобальной, сложной экономике ни один бизнес не может делать все сам. Мы полагаемся на партнеров, специальный опыт и экосистемы, чтобы использовать лучшее из того, что доступно, а также использовать и демонстрировать нашу собственную дифференцирующую добавленную стоимость.

Скорость, с которой квантовые вычисления совершенствуются и расширяются, мешает многим компаниям идти в ногу со временем, а стоимость «действия в одиночку» может оказаться непомерно высокой. Будучи частью экосистемы квантовых вычислений, вы можете обеспечить доступ к этой технологии, когда иначе это было бы невозможно. И эти экосистемы также открывают окно для лучшего понимания последствий квантовых вычислений и того, как они связаны с проблемами вашего бизнеса.

Чтобы точно определить, в чем заключаются эти бизнес-проблемы и какую роль могут сыграть квантовые технологии, требуется опыт. Организации могут стремиться создать собственную команду по квантовым вычислениям, если это может быть необходимо. Но экосистемы обеспечивают ценное дополнение или даже замену — для собственных специалистов в области квантовых вычислений, особенно глубоко технического характера.

Из-за ограниченной доступности попытки создать или внедрить навыки квантовых вычислений внутри компании очень сложны. Но самые развитые экосистемы уже накапливают таланты.

Учет следующих вопросов может помочь эффективно согласовать экосистемы с потребностями в талантах.

Какова ваша бизнес-проблема?

Возможно, у вас еще нет опыта, чтобы объяснить вашу проблему с точки зрения квантовых возможностей, но у вас, несомненно, более широкий взгляд на вещи. Ваша проблема — это задача моделирования, основанная на химии? Или вы ищете квантовые алгоритмы, улучшающие машинное обучение? Может быть, ваша главная забота — безопасность в квантовую эпоху? Перспективные экосистемы наиболее эффективны, когда они уже работают над вариантами использования, соответствующими вашей конкретной проблеме, и включают в себя экспертов, которые понимают проблемы вашей отрасли.

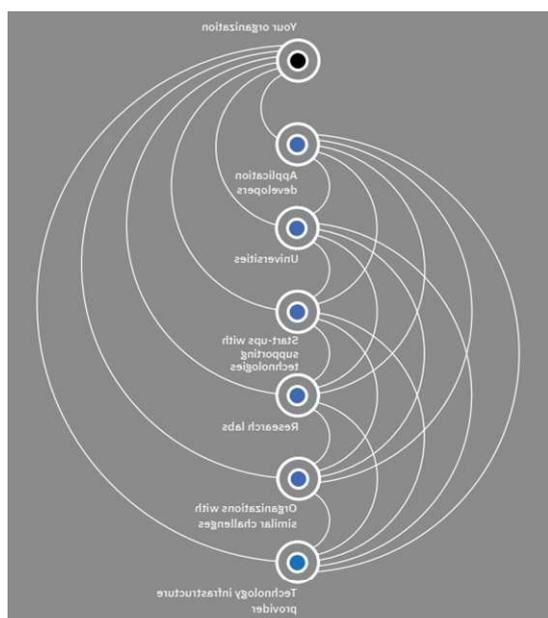
Какие ведущие мировые организации и мыслители связаны с квантовыми вычислениями и проблемами вашего бизнеса?

Из-за быстрых темпов инноваций в области квантовых вычислений вам нужны партнеры, которые находятся в авангарде научных прорывов и их применения для решения бизнес-задач (см. рис. 12). Разница между партнерством с игроками уровня 1 и уровня 2 может означать разницу между участием в соревновательном сценарии «победитель получает все» или остаться позади.

Каково оптимальное соотношение консультантов и штатного персонала?

Подходящая для вас экосистема квантовых вычислений содержит правильное сочетание участников экосистемы, концентрирующихся на проблемах вашего бизнеса вместе с вашими отраслевыми и техническими специалистами, в том числе:

- Поставщик технологий квантовых вычислений, который предлагает легкий доступ к облачным системам квантовых вычислений, среде программирования с открытым исходным кодом, образовательным ресурсам, таким как учебные пособия и исследовательские работы, исследователям квантовых вычислений, консультантам по квантовым вычислениям, технической поддержке и совместному сообществу, активно участвующему в решение проблем квантовых вычислений.
- Разработчики квантовых вычислений, которые понимают разработку приложений для квантовых вычислений с использованием открытого исходного кода и имеют доступ к библиотекам разработки приложений, а также имеют доступ к реальному оборудованию для квантовых вычислений.
- Академические партнеры и университеты, проводящие соответствующие исследования в области квантовых вычислений и готовящие многообещающих экспертов по квантовым вычислениям, которых вы в конечном итоге можете нанять в свою команду.



Ваша организация
Разработчики приложений
Университеты
Стартапы с поддерживающими технологиями
Исследовательские лаборатории
Организации с похожими проблемами
Поставщик технологической инфраструктуры

РИСУНОК 12

Где твои суперспособности?

Сбор правильного сочетания компонентов экосистемы

Если развитие хотя бы некоторых собственных талантов является приоритетом, первым шагом может стать поиск общественных платформ. Эти «практические» экосистемы предоставляют разработчикам доступ к инструментам для создания и запуска алгоритмов квантовых вычислений на реальном оборудовании квантовых вычислений. Например, сообщество квантовых вычислений IBM предлагает инфраструктуру Qiskit Penseource. Такие платформы открыты как для студентов (критической аудитории), так и для ИТ-команд организаций.

Менее «глубокий технологический» вариант — сформировать небольшие команды, чтобы начать выявлять проблемы — будь то прорывы, меняющие отрасль, или ускорители рабочих процессов, — в которых квантовые вычисления могут сыграть роль. Членам команды не нужны знания квантовых вычислений на уровне доктора философии, но им нужна достаточная грамотность в области

квантовых вычислений, чтобы оценить возможности квантовых вычислений с учетом потребностей отрасли и организации (см. Рисунок 13).

Когда вы нанимаете специалистов в области квантовых вычислений, какой талант является оптимальным? Исследователи из Рочестерского технологического института и Университета Колорадо в Боулдере предоставили несколько интересных выводов. Они опросили менеджеров более чем 20 компаний, занимающихся квантовыми технологиями в США, и ответы выявили два общих пути.

Компоненты квантового стека	Требуются навыки
Технический сервис	Общая технологическая экспертиза
Приложения	Архитектура и разработка приложений
Используйте библиотеки для конкретных случаев	Знание отрасли/предметной области
Библиотеки производительности	Алгоритмы квантовых вычислительных систем
Компиляторы и оптимизаторы	Продвинутая математика, знание систем квантовых вычислений
Язык ассемблера и драйверы	Квантовая физика, экспертиза систем квантовых вычислений
Аппаратное обеспечение квантовых вычислений	Квантовая физика, химия, инженерия

РИСУНОК 13

Сложены для успеха

Какие компоненты и навыки могут помочь вам достичь грамотности в области квантовых вычислений?

Во-первых, организации заявили, что ищут кандидатов, обладающих квантовым «сознанием». Это включало в себя широкое понимание концепций квантовых вычислений и способность обсуждать и применять эти концепции — то, что мы называем квантовой грамотностью. Потенциальным клиентам не обязательно требовались глубокие знания уравнений и теории. Наши эксперты IBM отмечают, что эта квантовая грамотность часто может быть переквалификацией, случаем изучения квантовых вычислений в достаточном объеме, чтобы расширить знания в предметной области и выяснить, как интегрировать квантовые вычисления в этой области.

Во-вторых, кандидаты, имевшие практические лабораторные навыки, имели преимущество перед теми, у кого их не было. В интервью 2021 года один отраслевой эксперт IBM подсчитал, что существует всего 3000 квалифицированных квантовых работников, и эту базу необходимо удвоить или утроить. Другие исследования показывают, что к 2025 году менее 50 процентов рабочих мест в сфере квантовых вычислений будут заполнены, если не будут предприняты значительные меры.

Приобретение такого уровня глубоко технических навыков может оказаться непростой задачей, особенно в условиях конкуренции с университетами, стартапами и поставщиками. Эта «нехватка талантов» может повысить привлекательность развивающихся экосистем с их собственными талантливыми квантовыми командами.

Организации, готовые к квантовым технологиям

Организации, готовые к квантовым технологиям (Quantum-ready organizations - QRO), входят в число 10% лучших по готовности к квантовой стратегии, операциям и технологиям. Напротив, наименее готовые организации составляют нижние 10%.

Что общего между QRO?

Чтобы это выяснить, мы опросили 565 руководителей высшего звена в 15 странах и 13 отраслях, которые несут основную ответственность за технологическую и инновационную стратегию.

- QRO используют экосистемы в качестве катализатора готовности. 41% QRO сосредоточены на одной системе квантовых вычислений.
- QRO участвуют в квантовых экосистемах для доступа.

- 63% аппаратное обеспечение.
- 66% образовательные программы,
- 71% варианты использования
- 38% — моделирование является наиболее финансируемой областью использования.
- 63% - Алгебраические задачи имеют самую высокую активность вариантов использования.
- QRO лучше понимают проблему дефицита навыков
- По сравнению с наименее подготовленными организациями, QRO:
 - почти в 5 раз эффективнее в развитии внутренних квантовых навыков
 - почти в 2 раза эффективнее привлекать таланты в области STEM
 - более чем в 2 раза эффективнее партнерство с академическими учреждениями
 - В 1,5 раза эффективнее сотрудничество с исследовательскими лабораториями
 - почти в 3 раза эффективнее в программах стажировок
- Ожидается, что 23% технологической рабочей силы расширят свои навыки, чтобы получить квантовые знания в течение следующих 3 лет.
- QRO — технологические новаторы.
 - 9 из 10 QRO превосходят своих коллег в гибкости
 - 7 из 10 QRO превосходят своих конкурентов в инновациях
- Организации, готовые к квантовым технологиям, выполняют на 48 % больше рабочих нагрузок искусственного интеллекта, чем их наименее готовые коллеги.
- Инвестиции в облака в начале этого периода сильно повлияют на их готовность. Сегодня QRO занимает 28% своих рабочих изделий в гибридном облаке.
- QRO тратят разумно.
 - 8 из 10 QRO превосходят своих конкурентов по эффективности и прибыльности
 - QRO почти в 5 раз эффективнее распределяют квантовые затраты.
- 55 % квантовых инвестиций QRO направляются на исследования и эксперименты, участие в экосистеме и перепроектирование рабочих процессов.

IBM Quantum System Two задумана как строительный блок квантовоцентрических суперкомпьютеров. IBM Quantum System Two использует модульную архитектуру, позволяющую объединять несколько систем для увеличения вычислительной мощности. Квантовую связь также можно использовать для дальнейшего увеличения вычислительной мощности вместе с промежуточным программным обеспечением гибридного облака для плавной интеграции квантовых и классических рабочих процессов.

Вопросы, которые стоит задать

Вопрос первый

Как устранение, казалось бы, непреодолимых барьеров может изменить вашу отрасль?

Какие эксперименты по квантовым вычислениям вы могли бы проводить сейчас для достижения этих целей?

Вопрос второй.

Как квантовые вычисления могут сочетаться с классическими вычислениями в рамках конкретного рабочего процесса?

Какие подразделы рабочего процесса лучше всего подходят для квантовых вычислений?

Как эта оценка меняет перспективы и возможности, связанные с вашими процессами?

Вопрос третий

Интеллектуальные рабочие процессы, в которых используются такие технологии, как автоматизация, блокчейн, искусственный интеллект, 5G, облако и периферия, создают идеальную среду для подключения квантовых вычислений.

Как создание этого фонда может принести пользу вашему бизнесу сейчас?

Вопрос четвертый

Какие шаги вы можете предпринять для повышения грамотности в области квантовых вычислений в вашей организации?

С какими экосистемами вы можете сотрудничать, чтобы получить опыт в области «глубоких технологий» в области квантовых вычислений?

Информация

Процесс, а не пункт назначения

Когда квантовые вычисления демонстрируют свое превосходство над традиционными вычислениями в решении конкретной задачи, это и есть квантовое преимущество. Это происходит постепенно, волнами, которые одновременно прогрессируют и останавливаются, но в конечном итоге продвигают технологию вперед.

Три класса задач, в которых Quantum преуспевает

Квантовые вычисления особенно эффективны при моделировании природы; алгебраические проблемы, включая машинное обучение, дифференциальные уравнения и работу с матрицами; и проблемы квантового поиска и графов.

«Матрица приоритетов» квантовых вычислений

Оценка потенциального влияния приложений квантовых вычислений на бизнес может оказаться сложной задачей. Мы покажем вам, как оценить, какие потенциальные приложения квантовых вычислений лучше подходят для обеспечения оптимальных преимуществ для бизнеса.

Глава третья

Квантовое преимущество и поиск ценности для бизнеса

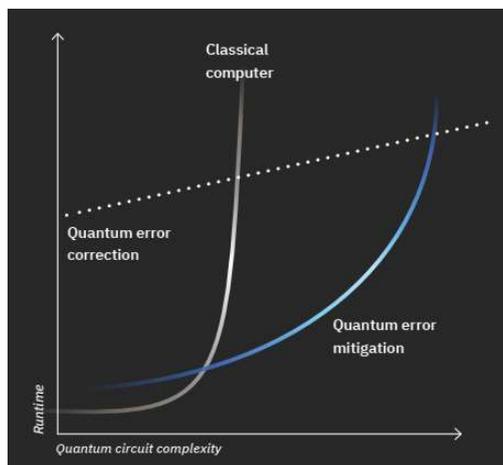
Квантовое преимущество, возникает, когда вычислительная задача, представляющая интерес для бизнеса или науки, может быть выполнена более эффективно, с меньшими затратами или с лучшим качеством с помощью квантовых компьютеров. Это тот момент, когда квантовые компьютеры в сочетании с классическими системами могут работать значительно лучше, чем только классические системы.

Но «Квантовое преимущество» — это не драматичное и внезапное событие. Это будет более неоднозначно, оно будет происходить волнами, которые будут как прогрессировать, так и останавливаться, но в конечном итоге продвигать технологию к достижению конкретной бизнес-ценности. Каждый вариант использования имеет свой собственный уникальный график реализации Quantum Advantage. Конкретная система квантовых вычислений или партнер по экосистеме, с которым вы работаете, также может повлиять на этот график и преимущества. К счастью, Quantum Advantage может извлечь выгоду из эффекта домино, при котором успех в одном варианте использования может распространяться на другие.

Оценивая время, необходимое для достижения квантового преимущества, полезно немного разобраться в существующих системах и в том, куда мы движемся. Сегодняшние кубиты подвержены ошибкам из-за аппаратных ограничений и «шуму» из окружающей среды. Если сверхпроводящие кубиты, живущие при температуре, близкой к абсолютному нулю, не защищены от шума, сохраняя их в вакууме, вибрации или паразитные фотоны, попадающие в устройство, могут разрушить вычисления. То же самое касается тепла и воздействия окружающей среды. Помните, что квантовые вычисления основаны на физике квантовой механики, и это модель взаимодействий на уровне атомов, электронов и фотонов. Связь с окружающей средой может нарушить то, что мы делаем в нашей системе.

Точнее, кубиты в квантовом оборудовании называются физическими кубитами. В настоящее время варианты использования квантовых вычислений возможны благодаря доступным нам типам алгоритмов, но мы ограничены их реализацией с использованием зашумленных физических кубитов. Хотя мы ожидаем, что можно будет достичь самых ранних примеров квантового преимущества с помощью физических кубитов, нам нужно будет перейти к логическим кубитам, чтобы достичь полной ценности квантовых вычислений. Логические кубиты создаются путем объединения программного обеспечения с сотнями физических кубитов для реализации коррекции ошибок. С помощью этого типа кубита можно как обнаружить, так и исправить ошибки, возникающие из-за шума, влияющего на базовое оборудование. Внедрение квантовой коррекции ошибок является важнейшей целью этого десятилетия.

Действительно, широко распространено мнение, что необходимо создать отказоустойчивые квантовые процессоры, прежде чем можно будет реализовать какие-либо квантовые алгоритмы с проверенным суперполиномиальным ускорением. Однако недавние достижения в методах, которые мы в широком смысле называем смягчением квантовых ошибок, могут создать более плавный и непрерывный путь к этой цели. На этом пути прогресс в области когерентности кубитов, точности вентиля и скорости приводит к измеримым преимуществам в вычислениях, что сродни устойчивому прогрессу, исторически наблюдаемому с классическими компьютерами. На рисунке 14 показано время квантового выполнения как функция сложности квантовой схемы для классических компьютеров, квантовых компьютеров с коррекцией ошибок и квантовых компьютеров с уменьшением ошибок. Устранение квантовых ошибок может заполнить пробел до того, как квантовая коррекция ошибок приведет к практическому сокращению времени выполнения.



Classical computer - Классический компьютер
 Quantum error correction - Квантовая коррекция ошибок
 Quantum error mitigation - Уменьшение квантовых ошибок
 Quantum circuit complexity - Сложность квантовой схемы
 Runtime - Время выполнения

РИСУНОК 14

На пути к отказоустойчивости

Уменьшение квантовых ошибок как временная стратегия

В последние годы два метода уменьшения ошибок общего назначения — экстраполяция с нулевым шумом (ZNE) и вероятностное подавление ошибок (PEC) — позволили нам оценить точные значения ожидания от шумных квантовых схем малой глубины даже до введения отказоустойчивости.

Метод ZNE устраняет последующие порядки шума, влияющие на математическое ожидание зашумленной квантовой схемы, путем экстраполяции результатов измерений при различной силе шума.

PEC уже может обеспечить бесшумную оценку квантовых схем на шумных квантовых компьютерах, о чем свидетельствуют теоретические и экспериментальные достижения. Эти достижения затем преобразуются в большие объемы схем, которые можно запускать на шумном оборудовании, при этом обеспечивая превосходные ожидаемые значения.

Эти идеи вышли за рамки простой теории. В июне 2023 года IBM Quantum и Калифорнийский университет в Беркли продемонстрировали, что шумные квантовые компьютеры могут превзойти ожидания и быстрее принести пользу благодаря достижениям в аппаратном обеспечении IBM Quantum и новым методам устранения ошибок.

Две организации объединили усилия, чтобы определить, смогут ли современные шумные и склонные к ошибкам квантовые компьютеры помочь вычислить точные результаты для конкретных видов проблем. А исследователи IBM использовали процессоры IBM Quantum для изучения важных вычислений и реалистичных приложений.

Исследователи поочередно выполняли сложное физическое моделирование на 127-кубитном процессоре IBM Quantum Eagle и использовали самые современные методы классической аппроксимации Калифорнийского университета в Беркли на суперкомпьютерах, расположенных в Национальной лаборатории Лоуренса Беркли и Университете Пердью. Каждый метод проверялся на основе точного классического расчета методом грубой силы.

По мере того как моделирование становилось все более сложным, исследователи наблюдали, как работают обе вычислительные системы — квантовая и классическая. Обе команды были уверены, что квантовый компьютер дает ответы более точные, чем классические методы, даже когда моделирование превосходит методы грубой силы.

На этом уровне вычислений все меняется, причем быстро. Никто не утверждает, что сегодняшние квантовые компьютеры последовательно превосходят классические компьютеры. Фактически, другие классические специализированные компьютеры вскоре смогут давать правильные ответы на те самые вычисления, которые были проверены. Но учтите следующее: научный танец квантовых компьютеров, управляющих сложной схемой, и классических компьютеров, проверяющих квантовые результаты, приносит пользу как классическим, так и квантовым. И, что немаловажно, это убеждает пользователей в полезности квантовых компьютеров в ближайшем будущем.

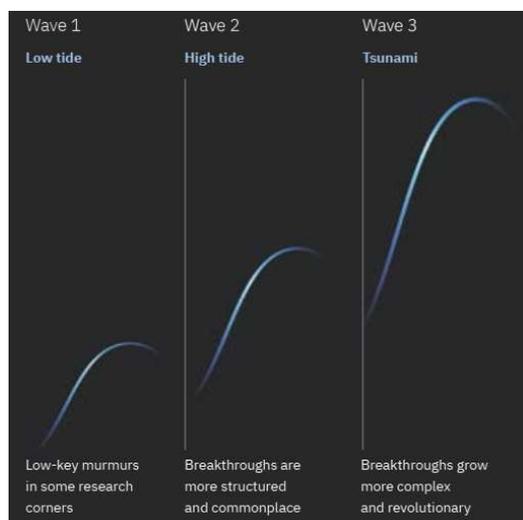
Процессор IBM Quantum Eagle теперь успешно запускает некоторые из самых длинных и сложных схем на сегодняшний день, предоставляя результаты, которые достаточно точны, чтобы быть полезными. И это исследование подтверждает модель вычислений, которая является основным

аспектом алгоритмов, разработанных для квантовых устройств ближайшего будущего. Мощь этих процессов в сочетании с методами устранения ошибок и парком процессоров IBM, насчитывающим более 100 кубитов, позволит пользователям IBM Quantum исследовать приложения в системах, которые потенциально могут превзойти сегодняшние классические методы.

Исследование IBM Quantum-UC в Беркли подчеркивает важный вопрос, который будет звучать в течение всего квантового десятилетия: поскольку результаты квантовых вычислений действительно превосходят результаты классических вычислений, как вы их оцениваете? Они уже давно прошли проверку традиционными методами и традиционными компьютерами. При проведении теоретических исследований этот вопрос может быть не таким важным. Но в сценариях, которые влияют на реальное здоровье и безопасность, это непростой вопрос.

По необходимости нам нужно отойти от классической проверки (она просто не выдержит) и перейти к использованию нескольких «разновидностей» квантовых вычислений. Это может означать сравнительный анализ различных режимов самих квантовых компьютеров или даже разных экосистем. Проверка и количественная оценка результатов могут в конечном итоге повысить надежность и точность одних систем над другими. Это еще один фактор, который может повлиять на волны квантового преимущества.

В IBM мы видим, как эти волны разделяются на три фазы (см. рис. 15).



Волна 1
Отлив
В некоторых исследовательских уголках сдержанный ропот
Волна 2
Прилив
Прорывы становятся более структурированными и обычными.
Волна 3
Цунами
Прорывы становятся все более сложными и революционными

РИСУНОК 15
Три волны
От отлива до цунами

— **Первая волна** — это отлив и сдержанность. В некоторых отраслевых и академических исследовательских кругах могут быть разногласия, но общие результаты не получили широкой огласки. Те, кто дальновидно поэкспериментирует с этой технологией, могут увидеть ценность, а затем способы улучшения, а затем применения в других областях и новые алгоритмы.

— **Вторая волна** — это прилив. Прорывы более структурированы и банальны. Разговоры о квантовых вычислениях набирают популярность. Все больше организаций присоединяются к экосистемам, экспериментируют со средами облачных сервисов квантовых вычислений и с растущим успехом тестируют квантовые вычисления.

— **Третья волна? Вот и пришло цунами.** Много может измениться, и отрасли трансформируются. Квантовое машинное обучение выходит на первый план, а открытия становятся все более сложными и революционными. Именно здесь квантовое десятилетие достигает апогея с сильным всплеском квантовых вычислений с коррекцией ошибок.

В конечном счете, третья волна дает квантовое преимущество организациям, конечным пользователям и обществу в целом. Как можно производить самолеты из менее коррозионных металлов и летать более безопасно при меньшем обслуживании?

Как медицинская отрасль может лучше персонализировать диагностику, лечение и фармацевтические препараты? (См. практический пример «IBM и клиника Кливленда»)

Для сравнения: некоторые эксперты полагают, что квантовые вычисления — это то, чем был ИИ в 2010 году. Благодаря экспоненциальному характеру технологии квантовые вычисления могут развиваться еще быстрее.

Однако потребуются инвестиции в тщательно продуманные варианты использования, чтобы выявить «убийственные приложения» квантовых вычислений по отраслевым областям. Чтобы получить представление об оценке коммерческого потенциала квантовых вычислений для вашей отрасли, мы рассмотрим, как квантовые вычисления могут помочь в решении конкретных классов проблем, а также методический подход к определению приоритетов вариантов использования. Мы также включили обширный набор отраслевых руководств с описанием отраслевых вариантов использования и сценариев - подробные руководства о том, что могут означать для вас квантовые вычисления.

В конечном итоге Quantum Advantage сводится к результатам.

Перспектива:

Физика высоких энергий и новые пути к квантовому преимуществу

Физика высоких энергий (НЕР) исследует, из чего состоит мир и как он работает, пытаясь понять, начиная от мельчайших земных частиц и заканчивая внешними царствами космоса. Излишне говорить, что эта область изобилует сложными вычислительными задачами.

Тем не менее, эти же самые проблемы дают исследователям НЕР бесценную возможность оценить потенциал квантовых вычислений и получить квантовое преимущество. С теоретической стороны это сообщество исследует модельные системы, которые трудно или невозможно решить с помощью классических методов. Что касается экспериментов, НЕР сталкивается с огромными трудностями с данными, например, с вычислительными проблемами после модернизации Большого адронного коллайдера, крупнейшего и самого мощного в мире ускорителя частиц.

В июле 2023 года, что стало важным событием, ЦЕРН, Европейская организация ядерных исследований; Deutsches Elektronen-Synchrotron (DESY); и IBM возглавили публикацию документа, обновляющего квантовые вычисления НЕР, а также обрисовывающего примеры теоретических и экспериментальных эталонных приложений, которые могут быть решены в не столь отдаленном будущем.

В документе обобщены результаты работы рабочей группы «Квантовые вычисления для НЕР» (QC4НЕР), которая была созвана тремя организациями. QC4НЕР собрал экспертов по НЕР из академических и исследовательских институтов четырех континентов. Эти люди не только являются мировыми экспертами в теоретических и экспериментальных аспектах НЕР, но и увлечены квантовыми вычислениями.

QC4НЕР исследовал классы проблем и соответствующие квантовые алгоритмы, которые могут привести к квантовому преимуществу с помощью краткосрочных, шумных квантовых устройств, в частности, с использованием сверхпроводящих устройств IBM. Цель группы: предоставить набор физически релевантных вариантов использования, которые могут превратиться в интересные демонстрации. Это подчеркивается задачей IBM 100x100 — в 2024 году компания планирует предложить инструмент, способный вычислять несмещенные наблюдаемые для схем со 100 кубитами и операциями с вентилями глубиной 100 за разумное время выполнения.

В статье исследуются две основные области: теоретические методы и алгоритмы моделирования проблем НЕР и методы машинного обучения для анализа экспериментальных результатов, а также моделирования детекторов и генерации событий.

Основное внимание уделяется исследованию того, как квантовые вычисления могут ускорить или улучшить различные этапы анализа и цепочки обработки данных, определяя новые возможности для Quantum Advantage. В настоящее время большая часть работ в этой области сосредоточена на разработке и оптимизации алгоритмов квантового машинного обучения, реализуемых либо в виде квантовых нейронных сетей (вариационные алгоритмы), либо в виде ядерных методов.

Однако оценка производительности алгоритмов машинного обучения на данных NER требует осторожности: реалистичные приложения предъявляют требования, с которыми современные квантовые устройства не могут легко справиться. Наиболее критическая проблема связана с размером и сложностью выборки данных. Предпочтительным сегодня является гибридный подход: классический этап извлечения признаков и/или уменьшения размерности используется для приведения классических входных данных к размеру, который можно реалистично внедрить в шумное квантовое оборудование ближайшего будущего.

В частности, обучаемые методы позволяют осуществлять сквозную оптимизацию сокращенного представления данных (известного как «скрытое представление»), их внедрение в квантовые состояния и сам квантовый алгоритм.

Эти шаги позволили разработать и реализовать квантовые алгоритмы для большинства задач типичной цепочки обработки данных, хотя и в меньших масштабах. Но есть и хорошие новости: доступ к квантовому оборудованию 100x100 в сочетании с методами сокращения данных, вероятно, позволит нынешним прототипам достичь гораздо более реалистичных размеров.

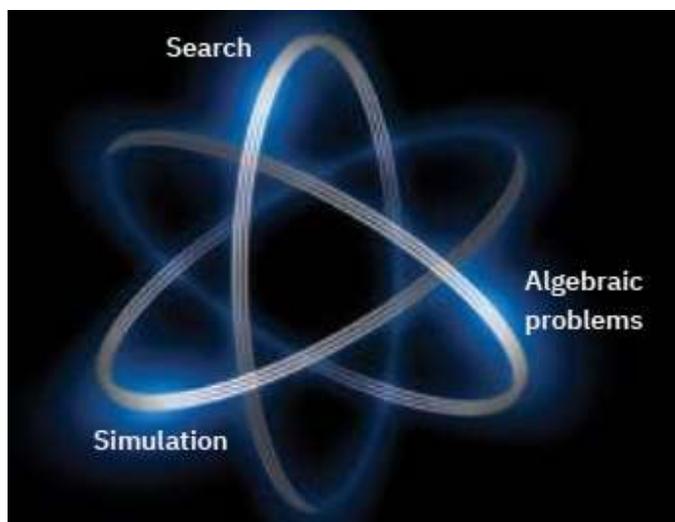
Квантовые вычисления в лучшем виде: Три класса проблем

Что может означать коммерциализация квантовых вычислений для вашей организации? Какие типы проблем лучше всего подходят для Quantum Advantage?

В краткосрочной и среднесрочной перспективе квантовые вычисления могут принести бизнес-преимущества в трех областях: моделирование, поиск и алгебраические задачи (см. рисунок 16).

Квантовое моделирование природных процессов

Поскольку квантовая механика описывает, как работает природа на фундаментальном уровне, квантовые вычисления хорошо подходят для моделирования процессов и систем, происходящих в природе (см. тематическое исследование «Исследователи IBM: изучение молекулярного моделирования воды»).



Simulation - Моделирование

Химия
Фармацевтика
Материалы
Электрические батареи

Search - Поиск

Выборка
Путешествия и транспорт
Логистика/цепочка поставок
Сетевая инфраструктура
Управление воздушным движением
Планирование работы

Algebraic problems - Алгебраические задачи

Адаптивное взаимодействие поставщиков и клиентов
Поддержка при принятии решения
Обучение

РИСУНОК 16

Там, где резина встречается с дорогой

Ожидаемое использование квантовых вычислений

Исследования IBM

Изучение молекулярного моделирования воды

Будущее — это не только квантовые вычисления. Скорее, именно конвергенция квантовых вычислений, классических вычислений и искусственного интеллекта способна преобразовать. Сочетание классических и квантовых вычислений нетривиальными способами, обменивая одно на другое, может расширить возможности любого из них по отдельности и увеличить возможности имеющихся ресурсов.

Описанные здесь методы использовали классические и квантовые ресурсы для выявления квантовых корреляций и удвоения размера системы, которую можно моделировать на квантовом оборудовании.

Используя симметрию проблемы, исследователи IBM разработали метод разделения квантовых схем на более мелкие, охватывающий наиболее сложные аспекты вычислений и требующий лишь вдвое меньше кубитов, чем полная схема. Эта стратегия позволила им не только уменьшить количество необходимых кубитов, но и сделать необходимые квантовые схемы более мелкими. Каждая меньшая схема запускалась отдельно на квантовом компьютере, а результаты объединялись с использованием классических методов постобработки.

Исследователи протестировали этот метод на молекулярном моделировании воды. В этом случае части проблем, которые трудно моделировать, можно было бы свести к 10 орбиталам или волновым функциям. Эти орбитали можно представить на пяти кубитах процессора IBM Quantum, чтобы вычислить энергию основного состояния молекулы с помощью наиболее точного на сегодняшний день моделирования.

Подобные методы имеют потенциал для масштабирования, делая в два раза больше доступных ресурсов, компенсируя квантовые и классические вычисления для расширения вычислительного охвата систем квантовых вычислений. Этот метод может оказаться продуктивным в рабочих процессах поиска материалов.

Проблемы поиска и графа

Искусство решения задач оптимизации включает в себя поиск «лучшего» или оптимального решения в ситуации, когда существует множество возможных ответов. Возьмем пример построения графика доставки посылок. Математически существует более 3,6 миллионов возможных комбинаций для планирования 10 доставок в соседних временных интервалах. Но какой график представляет собой оптимальное решение, учитывая такие переменные, как требования получателей к срокам, потенциальные задержки и срок годности транспортируемых товаров? Даже при применении методов аппроксимации количество возможностей по-прежнему слишком велико для изучения классическим компьютером (см. тематическое исследование «ExxonMobil»).

В результате классические компьютеры сегодня используют множество сокращений для решения задач оптимизации значительного размера. К сожалению, их решения часто неоптимальны. К компаниям, которые могут извлечь выгоду из квантовой оптимизации поиска и графов, относятся:

- Телекоммуникационные компании модернизируют сетевую инфраструктуру
- Медицинские работники оптимизируют лечение пациентов
- Правительства улучшают управление воздушным движением
- Организации, разрабатывающие графики работы сотрудников
- Университеты планируют занятия.

Хотя никто еще не представил математического доказательства, подтверждающего, что квантовые вычисления обеспечат экспоненциальное ускорение решения задач поиска и построения графиков, исследователи работают над демонстрацией этого эвристически. Дальновидные компании уже изучают возможность решения задач оптимизации с использованием квантовых вычислений в своем стремлении опередить конкурентов. Их предусмотрительность может оказаться оправданной после того, как будут подтверждены первые демонстрации квантового преимущества в оптимизации.

Алгебраические задачи

Алгебраические задачи включают линейные системы уравнений, дифференциальные уравнения, необходимые для решения отраслевых задач, задачи машинного обучения и операции над матрицами. Математические проблемы, такие как некоторые методы машинного обучения и ценообразования опционов в финансах, включают отображение и оценку функций в многомерном пространстве параметров.

Состояние кубитов в квантовом компьютере само по себе представляет собой сложное многомерное пространство, способное исследовать аспекты данных, недоступные классическим компьютерам.

Фактически, симбиоз искусственного интеллекта и квантовых вычислений начинает порождать благотворный цикл развития в обеих областях. Например, квантовые алгоритмы могут улучшить машинное обучение в области кластеризации данных. Но машинное обучение можно использовать для лучшего понимания квантовых систем. Другие предприятия, которые могут получить выгоду в этой области, включают компании по производству потребительских товаров и розничные компании, адаптирующие маркетинговые предложения (см. исследование, «Исследователи IBM Quantum и Калифорнийского университета в Беркли»)

ЭксонМобил: Исследование использования квантовых вычислений для оптимизации глобальных путешествий

Как управлять десятками тысяч торговых судов, пересекающих океаны и доставляющих потребительские товары, которые мы используем в повседневной жизни? Примерно 90% мировой торговли зависит от морских перевозок. Ежедневно здесь курсируют более 50 000 судов, перевозящих до 200 000 контейнеров каждый, перевозя товары на сумму 14 триллионов долларов.

В международном масштабе оптимизация такого масштаба морских маршрутов не под силу классическим компьютерам. Исследовательские группы из ExxonMobil и IBM используют этот сценарий, чтобы выяснить, как эффективно отображать проблемы оптимизации на квантовых компьютерах.

В 2019 году ExxonMobil стала первой энергетической компанией, присоединившейся к IBM Quantum Network — консорциуму организаций, которым предоставляется доступ к передовым системам и инструментам квантовых вычислений. ExxonMobil использовала возможности сети для изучения методов, которые отображают маршруты торговых судов по всему миру с помощью квантовых компьютеров.

Преимущество квантовых алгоритмов основано на их способности уменьшать количество неправильных решений и одновременно усиливать правильные. Используя модуль квантовой оптимизации Qiskit, компания ExxonMobil приступила к тестированию различных квантовых алгоритмов. В зависимости от аспектов проблемы некоторые эвристические квантовые алгоритмы работали немного лучше, чем другие, а оптимизация на основе вариационного квантового собственного решателя (VQE) работала лучше в зависимости от выбора анзаца (с точки зрения физики это обоснованное предположение или предположение).

Эти исследования можно легко применить к другим отраслям и случаям использования, которые связаны с ограничениями по времени. Сценарии могут включать доставку товаров, услуги совместного использования автомобилей или утилизацию городских отходов.

Продолжающиеся поиски квантового ускорения

Выявление проблем, которые могут решить квантовые вычисления, — это яркая область текущих исследований, и в четвертом издании «Квантового десятилетия» мы исследуем ее дальше. Как квантовые вычисления могут обеспечить вычислительное преимущество в трёх основных областях, которые мы только что обсудили, каждая из которых имеет разные сроки и перспективы ускорения?

Квантовое моделирование естественных процессов включает в себя вычисление свойств квантово-механических систем (например, энергетики), встречающихся в естественных науках, таких как химия, физика, биология, материаловедение и т. д. Электронные конфигурации, необходимые для описания материалов, растут комбинаторно и часто имеют неклассические корреляции или запутанность.

Квантовые вычисления могут эффективно представлять состояние запутанности — критическое квантовомеханическое свойство, для представления которого с помощью классического компьютера требуется экспоненциально больше вычислительных ресурсов. Моделирование эволюции во времени на квантовых компьютерах обходится полиномиально дорого. Экспоненциальное ускорение, как правило, не гарантируется для решения наземных и тепловых состояний или любой системы. Однако существует твердое убеждение, что экспоненциальное ускорение будет характерной чертой природных систем с локальными взаимодействиями.

В задачах поиска и построения графов используются квантовые алгоритмы с квадратичным ускорением, такие как оценка и усиление амплитуды, или эвристические алгоритмы, использующие квантовый гамильтониан. Несмотря на то, что доступные в настоящее время алгоритмы не обеспечивают экспоненциального ускорения поиска и оптимизации, их можно применять в финансовой или логистической отраслях, где даже небольшое ускорение может принести существенную экономию.

Исследователи IBM Quantum и Калифорнийского университета в Беркли: Выигрышный алгоритм квантового машинного обучения

Машинное обучение в среде квантовых вычислений интригует исследователей. За последние несколько лет они предложили алгоритмы квантового машинного обучения, которые обещали квантовое ускорение по сравнению с их классическими аналогами. Большинство этих алгоритмов обучения предполагали доступ к данным как когерентным квантово-механическим состояниям, однако мир оперирует классическими данными.

Исследователи из IBM Quantum и Калифорнийского университета в Беркли изучили возможность найти схемы, которые сложны для классических компьютеров, и использовать их для обеспечения преимуществ в задачах машинного обучения, требующих только доступа к классическим данным.

В случае контролируемого машинного обучения исследователи в этом случае изучают отображение данных в пространства более высоких измерений или пространства признаков для работы с ними, а пространство состояний нескольких кубитов само по себе богато и многомерно. Другими словами, квантовая среда естественным образом переносит данные в эти высокие измерения.

Исследователи использовали квантовые схемы для сопоставления классических данных с многомерным пространством нескольких кубитов и для оценки квантового ядра, которое является мерой сходства между частями данных. Оцененное ядро затем использовалось в классической машине опорных векторов для расчета опорных векторов, разделяющих данные.

В конце 2020 года исследователи представили строгое доказательство квантового преимущества схемы карты квантовых признаков по сравнению со всеми возможными двоичными классическими классификаторами, требующими доступа только к классическим данным. Это может быть полезно в таких приложениях, как прогнозирование, предсказание свойств на основе особенностей данных или анализ рисков. Впервые у нас есть формальное теоретическое доказательство квантового преимущества в машинном обучении.

Алгебраические задачи используют большое пространство параметров, доступ к которому можно получить с помощью квантовых вычислений. С помощью метода ядра (меры сходства между двумя частями данных) пользовательские данные могут быть представлены и сопоставлены с квантово-расширенным пространством признаков посредством нелинейного отображения с помощью квантовой схемы. Это позволяет пользователям выявлять связи в данных с помощью простой линейной классификации.

Экспоненциальное ускорение было доказано для подходов с квантовым ядром. Это говорит о том, что применение метода квантового ядра может расширяться в области, которые выигрывают от подходов машинного обучения, но где структура данных слишком сложна для классических методов классификации. Нелинейные дифференциальные уравнения включены в эту категорию, поскольку они основаны на взаимозависимых решениях, не подчиняющихся принципу суперпозиции.

Точное моделирование проблем электронной структуры с помощью квантовых компьютеров часто требует глубоких квантовых схем для учета всех вкладов в энергию корреляции, даже для небольших молекулярных систем с сильными корреляциями. Существуют семейства квантовых схем, которые представляют собой квантовые ядра. Эти ядра, хотя их трудно смоделировать с помощью классических компьютеров, можно смоделировать на квантовых компьютерах с меньшей глубиной по сравнению с проблемой электронной структуры. Такая точка зрения предполагает, что путь к квантовому преимуществу может быть короче для приложений машинного обучения.

Все еще впереди: тщательное сравнение анализа времени выполнения задач химии и машинного обучения, которые должны обеспечить квантовое преимущество.

Короче говоря, мы определили несколько вариантов использования, которые могут принести огромную пользу промышленности и могут извлечь выгоду из дополнительных вычислительных мощностей, которые предоставляют квантовые компьютеры. Приложения, которые больше всего выиграют от квантовых компьютеров, — это те, которые несут наибольший потенциал для квантового преимущества, поскольку они могут обеспечить наибольшее ускорение вычислений по сравнению с классическими методами.

Двумя наиболее многообещающими областями прикладных исследований Quantum Advantage являются обработка данных сложной структуры и моделирование природы. Третья область — поиск и оптимизация — может обеспечить скромные улучшения по сравнению с классическими подходами. Несмотря на это, это остается приоритетной областью исследований из-за огромного количества вариантов использования, которые выиграют от даже скромных достижений и темпов инноваций.

Композиции схем и уменьшенная глубина, связанные с алгоритмами квантового машинного обучения, могут позволить им конкурировать с классическими аналогами, прежде чем с теми, которые используются при моделировании природы. Ряд новых алгоритмических методов, которые используют квантовые и классические компоненты и предусматривают уменьшение ошибок, позволяют исследовать квантовые вычисления, применимые к этим вариантам использования сегодня, и настраивают пользователей на будущее.

Е.ON: Укрощение рисков с помощью стратегий квантовых вычислений

Е.ON, базирующаяся в Германии, является одним из крупнейших операторов энергетических сетей и инфраструктуры в Европе. Компания управляет электростанциями, объектами возобновляемой генерации, электросетями и пунктами зарядки электромобилей по всему континенту. Фирма поставила цель сократить выбросы на 55% к 2030 году.

Обслуживание 47 миллионов клиентов в 15 разных странах сопряжено с трудностями, особенно с учетом того, что Е.ON, как ожидается, к 2030 году подключит 6 миллионов дополнительных возобновляемых активов к своей сетевой инфраструктуре в Германии.

Чтобы лучше управлять изменчивостью, Е.ON нуждался в более эффективном способе анализа рисков, связанных с погодой. Решение должно будет управлять обширными симуляциями Монте-Карло, охватывающими множество мест, контрактов, дней, а также колебаний погоды и цен. Снижение рисков таким образом имело важное значение для бизнес-модели Е.ON и задачи обеспечения доступных цен на электроэнергию.

Компания работала с IBM над включением в это начинание стратегии квантовых вычислений. Например, Е.ON использовала квантово-нелинейные преобразования для расчета валовой прибыли энергетических контрактов, при этом нелинейные функции температуры аппроксимировались квантовыми разложениями Тейлора. Кроме того, компания провела анализ рисков с использованием оценки квантовой амплитуды для использования динамических схем. Е.ON также интегрировала квадратичное ускорение в классические методы Монте-Карло и оптимизировала требования к аппаратным ресурсам. Стратегии оказались успешными и принесли следующие преимущества:

- Планирование и принятие решений в режиме реального времени
- Более тонкая диверсификация рисков
- Более частая переоценка портфельных рисков для пересмотра договоров хеджирования

В целом компания рассматривает квантовые вычисления как технологический переломный момент, особенно в области машинного обучения (улучшение классических алгоритмов машинного обучения), моделирования (анализ рисков, ускоренные методы Монте-Карло и системное моделирование) и комбинаторной оптимизации (логистика, планирование, и разбиение графа).

Компания "Уэллс-Фарго: Сотрудничество с IBM для исследования моделирования последовательностей

Вы можете быть удивлены, узнав, где исследуются идеи практических приложений, использующих революционную технологию квантовых вычислений. В одном месте эта работа происходит? В банке — Уэллс Фарго. Глобальная финансовая организация является членом IBM Quantum Network, сотрудничества, которое позволяет ее разработчикам получать доступ к парку квантовых компьютеров IBM через облако.

«Wells Fargo — замечательный отраслевой партнер IBM Quantum Network», — говорит Дарио Хиль, старший вице-президент IBM и директор по исследованиям IBM. «Их квантовые исследователи сотрудничают с нами, чтобы иметь возможность исследовать варианты использования и приложения, такие как выборка и оптимизация, а также машинное обучение с использованием квантовых вычислений — и все это в попытке увидеть ценные результаты квантовых вычислений. Это замечательное сотрудничество, которое нам удалось осуществить».

Например, Ванио Марков, заслуженный инженер Wells Fargo, работал с IBM над тестированием и внедрением новых генеративных моделей машинного обучения, используя квантовые возможности для потенциального улучшения нашей технологии искусственного интеллекта. В частности, совместные команды Wells Fargo и IBM исследовали проблему последовательного моделирования, вдохновленную вариантом использования прогнозирования движения средней цены. Эволюция цен активов на сегодняшних биржах обусловлена взаимодействием ордеров спроса и предложения, размещенных в электронной двусторонней очереди, известной как книга лимитных ордеров.

Одной из важных статистических характеристик, связанных с книгой лимитных ордеров, является средняя цена, которая представляет собой среднее значение самой низкой цены заявки на покупку и самой высокой цены заявки на покупку в любой данный момент. В рамках одного из подходов Wells Fargo реализовала стохастические генераторы, известные как квантовые скрытые марковские модели (QHMM).

Каждая скрытая марковская модель определяет язык стохастических процессов. Подобно моделям большого языка (LLM), наиболее популярному виду генеративного ИИ на основе языка, цель состоит в том, чтобы сгенерировать последовательность наиболее вероятных токенов или наблюдаемых символов с учетом определенного начального состояния.

В одном примере мы можем рассмотреть два символа: 0 и 1. В любой момент времени символ 1 наблюдается, если цена выросла, а символ 0 наблюдается, если цена снизилась или осталась неизменной. Мы доказываем, что QHMM являются более эффективными определениями языков стохастических процессов по сравнению с эквивалентными классическими скрытыми марковскими моделями (HMM).

IBM и Боинг: Продвижение квантово-химических исследований механизма коррозии путем объединения гибридных классических и квантовых ресурсов.

Разработка коррозионностойких материалов — важнейшая задача, которая может облегчить обслуживание самолетов, но проведение экспериментов с этими новыми материалами часто очень дорого или непрактично. Численное моделирование представляет собой гораздо более практичную альтернативу для исследователей, желающих моделировать и изучать молекулярные системы, из которых состоят экспериментальные материалы. Однако классические компьютеры способны создавать лишь приблизительные модели молекулярных систем, и эти приближения становятся еще менее точными, когда речь идет о молекулярных системах больших размеров.

Квантовые компьютеры, напротив, обладают потенциалом для точного моделирования даже невероятно сложных молекулярных систем. Однако эти системы могут быть слишком большими для того, чтобы наше нынешнее поколение квантового оборудования могло моделировать их все одновременно. Вот почему исследователи используют класс методов, называемых «связыванием цепей», чтобы разбить эти более крупные молекулярные системы на более мелкие задачи моделирования.

Например, такой метод вязания схем, как квантовое встраивание, позволяет сосредоточить усилия квантового компьютера на легко поддающемся разделению всей задачи моделирования. Когда исследователи сочетают вязание схем с классическими методами предварительной и последующей обработки, такими как выбор активного пространства, который служит для определения части химической системы, которая активна во время химических реакций, они могут экстраполировать свои решения, чтобы понять свойства всей системы.

Исследователи из IBM и Boeing совместно разработали автоматизированные методы выбора активного пространства, подходящие для изучения не только коррозии, но и всех видов химических реакций, происходящих на поверхностях. Используя методы локального встраивания с обозначенными активными пространствами, исследователи смогли использовать вариационные квантовые алгоритмы для изучения расщепления молекулы воды на поверхности магния. На момент завершения это исследование представляло собой один из первых случаев использования квантовых алгоритмов для исследования поверхностных реакций.

IBM и JSR: Исследование того, как квантовые вычисления могут повлиять на будущее производства компьютерных чипов

Сегодняшние компьютеры меньше и мощнее, чем когда-либо, — так назвал это знаменитый инженер и бизнесмен Гордон Мур. Еще в 1965 году он предсказал, что мир может удваивать количество транзисторов, упакованных в один компьютерный чип, каждые два года в течение как минимум десятилетия. Это предсказание сбылось — и на гораздо большее время, чем просто десятилетие. С тех пор умные инженеры последовательно достигают рубежа, который раз в два года известен как «Закон Мура».

Неизменная точность закона Мура во многом обусловлена замечательным химическим трюком. В 1980-х годах команда IBM открыла новый метод печати транзисторов на чипах с использованием специального светочувствительного материала, называемого фоторезистом. Этот метод вскоре стал обычным явлением: японская технологическая компания JSR Corporation стала одним из ведущих мировых производителей фоторезиста. Теперь исследователи из IBM и JSR работают вместе, чтобы увидеть, как квантовые вычисления могут продвинуть эту область еще дальше.

Фоторезист представляет собой смесь длинных струнообразных молекул и светочувствительных молекул, которые формируют рисунок схемы на полупроводниках под действием светового облучения. Такие компании, как JSR, постоянно разрабатывают новые и улучшенные молекулы фоторезиста, но этот процесс является дорогостоящим и отнимает много времени. Современным суперкомпьютерам сложно моделировать квантовые явления молекулярных систем, поэтому трудно предсказать, как поведет себя новый фоторезист, пока исследователи не протестируют его в реальных условиях.

Квантовые компьютеры, использующие законы квантовой механики для выполнения вычислений, могли бы быть гораздо более эффективными. Технологии еще предстоит пройти долгий путь развития, но в статье 2022 года исследователи из IBM и JSR Corporation использовали оборудование IBM Quantum для моделирования небольших молекул, имитирующих части фоторезиста. Продолжение исследований в этой области может стать ключом к обеспечению того, чтобы закон Мура продолжал звучать правдоподобно в течение длительного времени.

Приоритизация вариантов использования для повышения ценности бизнеса

Оценка потенциального влияния приложений квантовых вычислений на бизнес может оказаться сложной задачей, особенно с учетом сложности этой новой технологии. Вашей организации нужен способ оценить, какие потенциальные приложения квантовых вычислений лучше подходят для обеспечения оптимальных преимуществ для бизнеса.

«Матрица приоритетов» квантовых вычислений помогает решить эту дилемму. Руководители различных дисциплин вашей организации —

включая стратегию, операции, инновации, ИТ и риски, — могут оценить потенциальное влияние квантовых вычислений на свои области, определить приоритетность приложений квантовых

вычислений и впоследствии измерить квантовое преимущество по мере того, как ваша организация переходит от раннего внедрения к массовым квантовым вычислениям.

Наша матрица приоритетов разделяет приложения квантовых вычислений на четыре отдельные категории:

- 1 Early Bloomer (Раннее развитие) - приложения являются наиболее возможными для реализации сегодня.
- 2 Late Bloomer (Позднее развитие) - приложения обещают значительное квантовое преимущество в будущем.
- 3 WildCard (Темная лошадка) - приложения могут в конечном итоге принести или не принести явные преимущества для бизнеса.
- 4 Mature Industry (Зрелая отрасль) - приложения могут обеспечить конкурентное преимущество в масштабе бизнеса

Проверенная система определения приоритетов

Наша матрица приоритетизации квантовых вычислений помогает руководителям оценивать каждое приложение в трех измерениях (см. рис. 17):

Квантовое ускорение

Теоретическая способность обеспечить технологическое преимущество над классическими вычислительными решениями (ось Y).

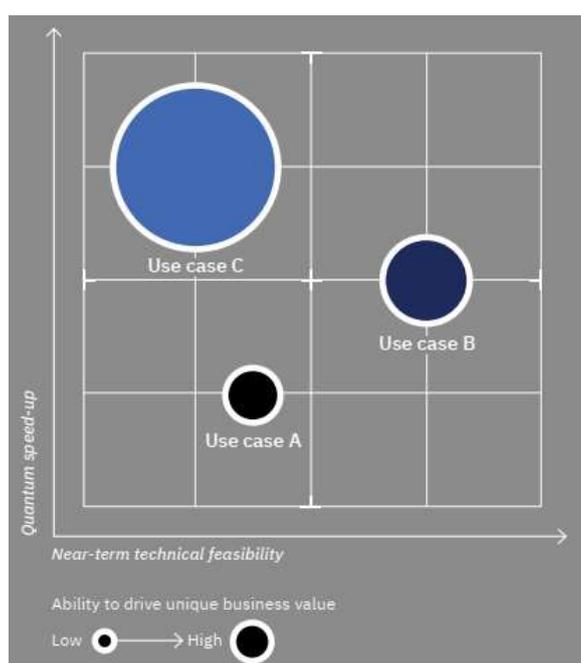
Ближайшая техническая осуществимость

Оперативная готовность (ось X).

Относительное потенциальное влияние на бизнес в зависимости от варианта использования

Способность обеспечить уникальную ценность бизнеса для конкретного предприятия (размер пузырька).

Такая приоритизация приложений квантовых вычислений обеспечивает комплексный обзор портфолио, визуально отображая компромиссные решения, принимаемые организацией. В результате вы можете принимать более обоснованные решения о внедрении квантовых вычислений в вашей организации на основе стратегических приоритетов, таких как следование стратегии выхода на рынок, подход оптимизации затрат или действия в качестве революционного новатора отрасли.



Квантовое ускорение (вертикальная ось)
Ближайшая техническая осуществимость (горизонтальная ось)
Вариант использования А
Вариант использования С
Вариант использования В
Способность создавать уникальную ценность для бизнеса от низкой (маленький пузырек) до высокой (большой пузырек)

РИСУНОК 17

Система квантовых приоритетов

Визуальное представление компромиссного решения

Ось Y: квантовое ускорение

В целом, Quantum Advantage обещает эффективное решение конкретных бизнес-задач, решение которых в настоящее время невозможно (или непомерно дорого) из-за сегодняшних вычислительных ограничений. Соответственно, когда приложение находится на оси Y матрицы приоритетов квантовых вычислений, Ожидается, что конкретный алгоритм квантовых вычислений обеспечит теоретическую величину улучшения по сравнению с классическим решением. Квантовое преимущество отдельного приложения может проявляться по-разному. Одним из примеров является более быстрое время выполнения для поиска желаемого решения или лучшего подхода к решению проблемы, обеспечивающего большую точность.

Ось X: техническая осуществимость в краткосрочной перспективе

Ось X системы определения приоритетов квантовых вычислений отображает технические требования к квантовому оборудованию и программному обеспечению, необходимые для успешного выполнения каждого идентифицированного приложения. Ключевым аспектом этого является ожидаемый кубит и требования к производительности. На размещение по оси X также влияют дополнительные аспекты аппаратного и программного обеспечения квантовых вычислений, такие как конструкция чипа и алгоритма, взаимосвязь кубитов, количество вентилях и кубитов, используемых в коде, а также эффективность компилятора.

Несмотря на то, что технологии квантовых вычислений находятся в зачаточном состоянии, некоторые алгоритмы, такие как алгоритм квантовой аппроксимированной оптимизации (QAOA) или квантовые машины опорных векторов (QSVM), продемонстрировали потенциал для лучшей работы в квантовых системах ближайшего будущего из-за их более короткой схемы. требования к глубине, в то время как другим алгоритмам потребуются зрелые системы квантовых вычислений для решения более сложных задач.

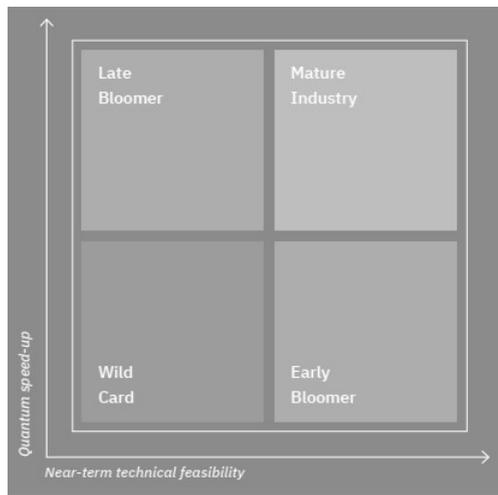
Размер пузырька: влияние на бизнес

Третье измерение матрицы приоритетов квантовых вычислений адаптировано к размеру бизнес-влияния, которое каждое приложение, по прогнозам, окажет на конкретное предприятие. Это измерение включает бизнес-показатели, выбранные каждой организацией исключительно. В рамках процесса отбора каждой отдельной компании важно понимать, что оценка воздействия на бизнес — это больше, чем просто измерение экономических результатов.

Показатели должны представлять собой сочетание рыночных результатов и конкурентных последствий, а также финансового воздействия. Например, в зависимости от стратегических целей организации это измерение может включать меры по улучшению цепочки создания стоимости, операционному совершенствованию, разрушению рынка и/или инновациям, росту доли рынка, получению доходов, снижению затрат и/или снижению рисков.

Классификация приложений квантовых вычислений

Как отмечалось ранее, использование матрицы приоритетов квантовых вычислений определяет четыре категории приложений квантовых вычислений: «Раннее развитие», «Позднее развитие», «Темная лошадка» и «Зрелая отрасль» (см. рисунок 18). Определение разнообразного сочетания этих типов приложений подготавливает вашу организацию к быстрому реагированию на прорывные достижения в области технологий квантовых вычислений (см. «Перспектива», «Применение матрицы приоритетов квантовых вычислений»).



Квантовое ускорение (вертикальная ось)
 Ближайшая техническая осуществимость (горизонтальная ось)
 Early Bloomer – Раннее развитие
 WildCard – Темная лошадка
 Late Bloomer - Позднее развитие
 Mature Industry - Зрелая индустрия

РИСУНОК 18

Категории приложений квантовых вычислений
 Быстрое реагирование благодаря разнообразным приложениям

Early Bloomer (Раннее развитие)

Заявки Early Bloomer не представляют никакой сложности. Поскольку их решения являются эвристическими, компании могут экспериментировать и использовать их для развития талантов. Поскольку приложения Early Bloomer работают с использованием существующих технологий, их внедрение является важным шагом для организаций, изучающих использование квантовых вычислений. Использование этих приложений помогает понять, как интегрировать квантовые вычисления в ваши текущие бизнес-процессы и создать импульс для дальнейшего внедрения квантовых вычислений. Внедрение приложений Early Bloomer на начальном этапе может иметь решающее значение для поддержания актуальности на рынке, поскольку они могут установить основные требования, необходимые для сохранения конкурентоспособности.

Late Bloomer (Позднее развитие)

Ось X системы определения приоритетов квантовых вычислений отображает технические требования к квантовому оборудованию и программному обеспечению, необходимые для успешного выполнения каждого идентифицированного приложения. Ключевым аспектом этого является ожидаемый кубит и требования к производительности. На размещение по оси X также влияют дополнительные аспекты аппаратного и программного обеспечения квантовых вычислений, такие как конструкция чипа и алгоритма, взаимосвязь кубитов, количество вентилях и кубитов, используемых в коде, а также эффективность компилятора.

Несмотря на то, что технологии квантовых вычислений находятся в зачаточном состоянии, некоторые алгоритмы, такие как алгоритм квантовой аппроксимированной оптимизации (QAOA) или квантовые машины опорных векторов (QSVM), продемонстрировали потенциал для лучшей работы в квантовых системах ближайшего будущего из-за их более короткой схемы. требования к глубине, в то время как другим алгоритмам потребуются зрелые системы квантовых вычислений для решения более сложных задач.

Wild Card (Темная лошадка)

Заявки «Wild Card» в настоящее время не демонстрируют прямого пути для предоставления существенного квантового преимущества «позднецветущим» странам, и они не так технически осуществимы, как сегодня приложения «раннецветущих». Хотя они могут или не могут когда-либо сработать, их оценка поможет вам лучше понять, как атрибуты квантовых вычислений могут быть применены к будущему успеху вашей организации. Эти дальние удары не следует полностью сбрасывать со счетов. По мере развития квантовых технологий некоторые «дикие карты» могут трансформироваться в «ранние» или «позднецветущие».

Mature Industry (Зрелая отрасль)

Приложения в зрелой отрасли — конечная цель предприятий, использующих квантовые вычисления. Хотя ни одно приложение еще не продемонстрировало квантовое преимущество в масштабах бизнеса, в будущем — если квантовые компьютеры достигнут достаточного масштаба, а приложения

квантовых вычислений продемонстрируют конкурентоспособную ценность — некоторые из них дадут бизнес-преимущество, трансформируя операционные модели компаний и отраслевые цепочки создания стоимости. Некоторые приложения, уже находящиеся в разработке, могут уже сейчас поставить своих создателей на путь значительного успеха на рынке.

Перспектива

Применение матрицы приоритетов квантовых вычислений

Чтобы проиллюстрировать, как работает матрица приоритетов квантовых вычислений, давайте возьмем фактическое исследование применения квантовых вычислений, проведенное организацией, торгующей финансовыми услугами. Это финансовое учреждение определило четыре потенциальных применения квантовых вычислений, которые являются сложными в вычислительном отношении для обычных машин:

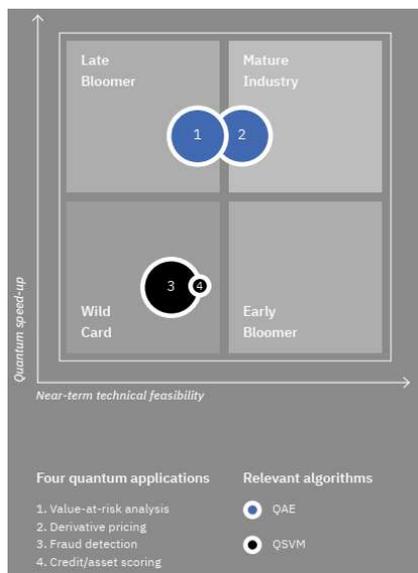
1. **Анализ стоимости под риском** - Усиление снижения рисков путем разработки более точных моделей моделирования рисков. .
2. **Производные цены** - Улучшение цен на финансовые активы с использованием моделирования рыночных сценариев.
3. **Обнаружение мошенничества** - Улучшение выявления нерегулярных схем для выявления мошеннических транзакций и мошенников.
4. **Кредитный/активный скоринг**- Укрепление статистического анализа, который сегментирует финансовую платежеспособность клиентов и рейтинг облигаций.

Каждое из этих потенциальных приложений может быть решено с помощью специального алгоритма квантовых вычислений, который помогает определить уровень квантового ускорения и степень технической осуществимости (см. рисунок):

— Анализ стоимости, подверженной риску, и ценообразование производных инструментов решаются с помощью алгоритма моделирования, называемого оценкой квантовой амплитуды (QAE), для оценки сценариев. Этот тип алгоритма обеспечивает квадратичное ускорение при одновременном повышении качества решения, хотя квантовая коррекция ошибок может уменьшить это преимущество. Однако для этого требуются зрелые системы квантовых вычислений. Приложения, связанные с этим алгоритмом, обычно называются «поздними».

—Обнаружение мошенничества и оценка кредитоспособности/активов решаются с помощью алгоритмов машинного обучения для классификации и прогнозирования (QSVM). Этот тип алгоритма может работать на квантовых системах ближайшего будущего и может повысить точность. Однако выгоду необходимо доказать по мере увеличения мощности квантовой системы, обычно соответствующие приложения размещаются в качестве подстановочных знаков.

Коммерческая ценность этих приложений, которые в совокупности могут принести индустрии финансовых услуг, может превысить 10 миллиардов долларов в первый год их запуска. Улучшение обнаружения мошенничества и сокращение денежных потерь от отмывания денег могут принести более половины этой суммы.



Квантовое ускорение (вертикальная ось)

Ближайшая техническая осуществимость (горизонтальная ось)

Early Bloomer – Раннее развитие

WildCard – Темная лошадка

Late Bloomer - Позднее развитие

Mature Industry - Зрелая индустрия

Четыре квантовых приложения

1. Анализ стоимости под риском

2. Производное ценообразование

3. Обнаружение мошенничества

4. Кредитный/активный скоринг

Соответствующие алгоритмы

QAE

QSVM

Квантовая расстановка приоритетов на практике

Четыре финансовых приложения

Наметить путь к ценности бизнеса

Мы наметили пять шагов по разработке портфеля квантовых вычислений для вашей организации.

Первый шаг

Определите, какие навыки квантовых вычислений необходимы вашей организации.

Определите, стоит ли приобретать их напрямую, нанимать консультанта и/или присоединиться к существующей экосистеме квантовых вычислений, чтобы получить к ним доступ.

Шаг второй

Определить потенциальные приложения квантовых вычислений.

Выберите бизнес-задачи или возможности, которые могут извлечь выгоду из уникальных возможностей квантовых вычислений, например те, которые ограничены ресурсами или огромными оптимизационными расчетами.

Шаг третий

Поместите каждое приложение в матрицу приоритетов квантовых вычислений.

Оценить технологический профиль каждого предлагаемого приложения, как с точки зрения потенциального квантового ускорения, так и с точки зрения краткосрочной технической осуществимости, на основе современного оборудования для квантовых вычислений и алгоритма.

Шаг четвертый

Определите ожидаемый эффект для бизнеса.

Оцените масштаб прогнозируемого влияния на бизнес, проанализировав потенциальное конкурентное преимущество каждого приложения и ожидаемые финансовые выгоды, характерные для вашей организации.

Шаг пятый

План квантового внедрения.

Определите, купите ли вы квантовый компьютер или получите доступ к новейшим технологиям квантовых вычислений в рамках партнерского соглашения. Спланируйте влияние квантовых вычислений на ваши внутренние рабочие процессы, включая потенциальную реорганизацию процессов и корректировку распределения ресурсов.

Вопросы, которые стоит задать

Вопрос первый

В каком положении, по вашему мнению, находится ваша организация во время каждой из «трех волн» Quantum Advantage?

Вопрос второй

Подумайте о своих неразрешимых отраслевых проблемах, которые мы обсуждали во второй главе. Как моделирование, поиск и алгебраические варианты использования влияют на их разрешение?

Вопрос третий

Возьмите на тест-драйв матрицу расстановки приоритетов квантовых вычислений.

Каковы были результаты?

Были ли сюрпризы

Квантовое десятилетие: Отраслевые руководства

Как мы уже говорили, квантовое преимущество возникает, когда вычислительная задача, критически важная для науки или бизнеса, может быть выполнена более эффективно, с меньшими затратами или с лучшим качеством с помощью квантовых компьютеров. Именно здесь квантовые компьютеры и классические системы могут превзойти то, что классические системы могут делать по отдельности.

По мере сближения аппаратных, программных и алгоритмических достижений в области квантовых вычислений, обеспечивающих значительное повышение производительности по сравнению с классическими вычислениями, во всех отраслях появятся новые возможности для получения преимуществ.

В этом разделе мы предоставляем информацию о квантовом внедрении в девяти конкретных отраслях: авиалинии, банковское дело и финансовые рынки, химическая и нефтяная промышленность, электроника, правительство, здравоохранение, страхование, науки о жизни и логистика. Каждый раздел содержит отраслевые наблюдения и примеры использования, которые помогут вам в вашем квантовом путешествии.

Хотя достижение Quantum Advantage может занять некоторое время, оно все равно может привести к экспоненциальным достижениям в использовании и обучении, которые могут принести пользу вашему бизнесу и отрасли уже сейчас.

Приложения квантовых вычислений: Авиакомпании

Хотя организации в секторе путешествий и транспорта пострадали от пандемии COVID-19 больше всего, бизнес восстановился. Бронирование международных поездок на 2023 год выросло на 40% с 2022 года по май 2023 года. Это на 2% меньше, чем в 2019 году, но все же значительный рост.

Некоторые организации рассматривали кризис как возможность не только выжить, но и развиваться и становиться сильнее. Поскольку туристический бизнес продолжает процветать, отрасли необходимо готовиться к росту, изучая новые технологии и решения для получения преимуществ первопроходца.

Квантовые вычисления — одна из таких технологий. Квантовые вычисления открывают двери к новым возможностям во всех отраслях, главным образом за счет более высокой скорости вычислений, большей точности действий, основанных на данных, а также создания новых алгоритмов и системных возможностей для решения проблем, которые классические системы не могут решить. Возможности квантовых вычислений могут сыграть решающую роль в решении сложных бизнес-задач авиакомпаний.

Ниже приведены три варианта использования, в которых Quantum Advantage может изменить подход авиакомпаний к оптимизации операций и улучшению качества обслуживания клиентов.

Вариант использования: Устранение сбоев в работе авиакомпаний (IROPS)

Пандемии, ураганы, землетрясения, эксплуатационные проблемы, технические проблемы и другие проблемы могут нанести ущерб расписаниям авиакомпаний и кадровому обеспечению.

Восстановление после таких сбоев — одна из самых сложных проблем, с которыми сталкиваются авиакомпании. Текущие решения фрагментированы и в первую очередь ориентированы на оперативную информацию, при этом меньше внимания уделяется запасам, максимизации прибыли или даже влиянию на обслуживание и удовлетворенность клиентов.

В настоящее время авиакомпании преодолевают эти сбои (известные как управление нерегулярными операциями (IROPS)), используя неоптимальные алгоритмы на классических компьютерах. Из-за ограничений современных компьютеров каждый конкретный элемент, такой как экипаж, слоты и оборудование, управляется последовательным и разрозненным образом. Восстановление всей системы может занять неделю или больше, что ставит под угрозу удовлетворенность пассажиров, а последствия второго порядка для других рейсов и аэропортов могут привести к увеличению расходов авиакомпании.

Технические ограничения существующих решений IROPS в первую очередь связаны с:

1. Отсутствие прозрачности данных для включения всех соответствующих данных в устранение сбоев.

2. Фрагментация разработки решения. Различные части проблемы IROPS — флот, экипаж, пассажиры, прогнозируемое воздействие — решаются отдельно в несколько этапов с использованием разных инструментов, что приводит к неоптимальным и неэффективным решениям.

Это второе ограничение — фрагментация разработки решений, — где квантовые вычисления могут помочь. Из-за огромных масштабов IROPS и связанной с этим сложности лежащей в основе глобальной задачи математической оптимизации решение одного-единственного сбоя в работе современных компьютеров может занять годы или даже столетия. Благодаря усовершенствованиям квантовых алгоритмов и более совершенным схемам исправления ошибок авиакомпании смогут:

— Повышать точность и скорость моделирования сценариев, позволяющих количественно оценить влияние потенциальных решений на будущие рейсы и пассажиров, и делать это вовремя, чтобы отреагировать на сбой. Алгоритмы квантовых вычислений уже доказали свою эффективность при выборе лучших сценариев в симуляциях Монте-Карло, используемых в банковском деле и финансах.

— Предоставить аналитикам центра управления операциями инструмент моделирования, чтобы они могли заранее протестировать сценарии перед крупным событием, которое может нарушить операции, например, при управлении воздушным движением или приостановке работы экипажа или задержке доставки самолетов. Ввиду сложности этих вопросов сегодня их можно решать только для каждой функциональной области отдельно, что препятствует разработке комплексных решений.

— Предоставьте консультативные инструменты агентам по обслуживанию клиентов и автоматизированным системам обслуживания клиентов, используя квантовое машинное обучение, чтобы рекомендовать лучшие подходы к разрешению IROPS. Например, алгоритм квантовых вычислений мог бы посоветовать агентам, как лучше всего компенсировать каждому конкретному клиенту, чье путешествие было прервано, исходя из личных предпочтений в отношении денег, жилья, повышения класса обслуживания или других удобств. Представьте, как могла бы повыситься удовлетворенность клиентов, если бы вы могли сделать это сегодня.

Таким образом, квантовые возможности могут значительно сократить время восстановления и снизить стоимость нерегулярных операций, одновременно смягчая их негативное воздействие на пассажиров.

Вариант использования: Улучшение контекстных персонализированных услуг для клиентов авиакомпаний

Для мировой туристической индустрии одним из важнейших действий по выживанию и восстановлению является восстановление доверия клиентов путем создания персонализированных услуг, в которых особое внимание уделяется мерам по охране здоровья и безопасности.

В частности, для авиакомпаний важно дифференцировать услуги, улучшать качество обслуживания клиентов и получать дополнительные доходы за счет индивидуальных предложений. Обеспечение персонализированного взаимодействия с клиентами и услуг требует четырех конкретных шагов:

1. Сбор и извлечение данных, включая данные о клиентах и данные о транзакциях.
2. Выполнение обработки данных для создания функций данных о клиентах.
3. Обучение моделям сегментации клиентов на основе особенностей клиентов и контекста пути.
4. Оценка и определение лучших предложений в зависимости от индивидуальных условий путешествия клиентов.

Сегодняшние системы персонализированных предложений часто не оправдывают своих обещаний, главным образом из-за ограничений на этапе сегментации клиентов. Текущие методы сегментации часто полагаются на основные характеристики клиентов, такие как демографические данные и данные о продажах, но не включают контекстные данные, что снижает релевантность рекомендуемого предложения. В современных системах также отсутствует многомерная сегментация, позволяющая эффективно улавливать контекстуальные различия в предпочтениях, намерениях и поведении путешественников. Одной из причин отсутствия контекстных функций

является недостаточная вычислительная мощность и масштаб для обработки большого количества элементов данных, необходимых для построения сложных моделей сегментации.

«Сегмент одного» — это стратегия персонализации, для которой масштабируемость, вероятно, является самой большой проблемой. По мере развития цифрового маркетинга организации, вероятно, увидят увеличение числа пользователей, для которых им необходимо создавать персонализированный опыт. Одно дело персонализировать целевую страницу для одного сегмента клиентов, но совершенно другая задача, когда у вас сотни персон, несколько географических регионов, дюжина сайтов и тысячи мест, где необходима персонализация. На этом этапе стратегии персонализации должны масштабироваться, чтобы быть осуществимыми.

Квантовые вычисления могут решить эти проблемы, улучшая процесс персонализации за счет:

— Поддержки более широкой сегментации клиентов, включение более сложных функций клиентов для многомерной сегментации пассажиров и обеспечение более высокой специфичности контекстного профилирования для улучшения персонализированных предложений.

— Повышение точности моделей машинного обучения, которые обеспечивают понимание и интерпретацию результатов, чтобы помочь маркетологам или агентам по обслуживанию клиентов лучше понять причинно-следственные связи между данными клиентов и довольными пассажирами.

— Потенциально позволяющая идентифицировать значительно большее количество точно настроенных клиентских сегментов, которые не поддаются управлению классическими компьютерами, благодаря улучшенным возможностям машинного обучения.

Если авиакомпании смогут использовать квантовые вычисления, чтобы раскрыть потенциал контекстной и динамической персонализации, эта персонализация может помочь увеличить дополнительный доход, улучшить качество обслуживания клиентов и поддержать дифференциацию услуг.

Вариант использования: Оптимизация планирования сети авиакомпаний по всему миру

Оптимизация сети, от планирования полетов и распределения парка до расписания работы экипажей, лежит в основе деятельности авиакомпаний и существенно влияет на эксплуатационные расходы. Но, несмотря на значительные усилия, направленные на оптимизацию этого процесса, все еще существуют важные ограничения. В основном они связаны с пошаговым подходом, который приводит к локальной оптимизации подпроцессов, развернутых с помощью изолированных инструментов поддержки принятия решений. Эти инструменты создают неоптимальные, локальные и нескоординированные решения.

Например, планирование маршрута самолета часто не включает в себя планирование экипажа. Точно так же планирование работы экипажа не включает время блоков, а планирование времени блоков не учитывает планирование топлива, что часто имеет пагубные последствия. Кроме того, сетевое планирование обычно не координирует оптимизацию решения с управлением доходами (RM) и ценообразованием, в результате чего ежедневно происходят два основных процесса с одной и той же целью — оптимизация прибыли — но с разными моделями и параметрами.

Такой несинхронизированный подход приводит к худшим решениям с точки зрения общих затрат, прибыли и адаптации к изменениям. Это также вызывает путаницу во время ключевых операционных обновлений, таких как введение новых типов самолетов или открытие новых маршрутов. В то время как RM или ценообразование оптимизируют предложения на основе расписания, мощности и конфигурации самолета, сетевое планирование может непреднамеренно изменять эти параметры на основе оптимизации прибыли. Основная причина, по которой авиакомпании выбирают этот путь распределенного решения, заключается в сложности, необходимой для решения проблемы оптимизации глобальной сети за один шаг. Решить проблему с помощью современных классических компьютеров практически невозможно.

В будущем квантовые компьютеры, работающие совместно с классическими компьютерами, должны позволить сети авиакомпаний совместно оптимизировать парк самолетов, расписание, блокировку/выходы на посадку, экипаж и топливо, при этом динамически координируя свои

действия с RM, ценообразованием, целевыми затратами, продажами и расходами. управление взаимоотношениями с клиентами (CRM). Это связано с тем, что алгоритмы квантовой оптимизации смогут искать решения более широко и эффективно. Чтобы наилучшим образом использовать будущие квантовые возможности, авиакомпаниям необходимо изменить способ управления сетевыми операциями, используя более централизованные операционные модели и более тесную интеграцию данных. Ожидаемые результаты могут стать собственным конкурентным преимуществом для авиакомпаний, использующих квантовые технологии.

Приложения квантовых вычислений: Банковское дело и финансовые рынки

Индустрия финансовых услуг имеет опыт успешного применения физики для решения самых сложных проблем. Например, модель Блэка-Шоулза-Мертон использует концепцию броуновского движения для определения цены финансовых инструментов, таких как европейские опционы колл, с течением времени⁸¹.

Применение новых квантовых технологий для решения финансовых проблем, особенно тех, которые связаны с неопределенностью и ограниченной оптимизацией, также должно оказаться чрезвычайно выгодным для первопроходцев. Представьте себе, что вы можете производить расчеты, раскрывающие более выгодные арбитражные возможности, которые не могут увидеть конкуренты. Помимо этого, использование поведенческих данных для повышения вовлеченности клиентов и обеспечения более быстрого реагирования на волатильность рынка (например, расчет внутрисдневных и ночных рисков) — это лишь некоторые из конкретных преимуществ, которые мы ожидаем от квантовых вычислений.

Хотя широкие коммерческие приложения могут остаться еще через несколько лет, квантовые вычисления, как ожидается, создадут революционные продукты и услуги, которые, вероятно, решат очень конкретные бизнес-задачи в течение трех-пяти лет. Квантовые вычисления могут также позволить организациям финансовых услуг реорганизовать операционные процессы, такие как решения фронт-офиса и бэк-офиса по управлению клиентами; управление казначейством, торговля и управление активами; и оптимизация бизнеса, включая управление рисками и соблюдение требований.

Конкретные варианты использования квантовых вычислений для банковских и финансовых рынков можно разделить на три основные категории: таргетирование и прогнозирование, профилирование рисков и оптимизация портфеля.

Вариант использования: Таргетинг и прогнозирование

Сегодняшние клиенты финансовых услуг требуют персонализированных продуктов и услуг, которые быстро предвосхищают их меняющиеся потребности и поведение. 25% малых и средних финансовых учреждений теряют клиентов из-за предложений, в которых качество обслуживания клиентов не является приоритетом.

Модели поведения клиентов сложны, и недостающие аспекты этих отношений могут помешать финансовым учреждениям предоставлять упреждающие рекомендации по продуктам с оптимальным выбором функций. Это может привести к невозможности реализовать возможности расширения текущей доли клиентов в кошельке или охвата 1,7 миллиарда взрослых во всем мире, не имеющих доступа к банковским услугам.

Аналогичная проблема существует и при обнаружении мошенничества. По некоторым оценкам, финансовые учреждения теряют до 10 миллиардов долларов в год из-за плохой практики управления данными, а общие потери от мошенничества в 2020 году достигли 56 миллиардов долларов. Системы определения мошенничества остаются сильно не точными возвращая 80% ложноположительных результатов, из-за чего финансовые учреждения чрезмерно избегают риска. Чтобы обеспечить надлежащий кредитный рейтинг, процесс адаптации клиентов может занять до 12 недель. В сегодняшних условиях, когда 70% банковских операций осуществляется в цифровом формате, потребители просто не желают ждать так долго. Финансовые учреждения, слишком медленно взаимодействующие с новыми клиентами, теряют их из-за более ловких конкурентов.

Для таргетинга клиентов и прогнозного моделирования квантовые вычисления могут изменить правила игры. Ожидается, что возможности квантовых компьютеров по моделированию данных окажутся превосходными в поиске закономерностей, выполнении классификаций и прогнозировании, которые сегодня невозможны из-за проблем, связанных со сложными структурами данных.

Вариант использования: Профилирование рисков

Учреждения финансовых услуг находятся под растущим давлением необходимости сбалансировать риски, более эффективно хеджировать позиции и проводить более широкий спектр стресс-тестов для соответствия нормативным требованиям. Управление ликвидностью, ценообразование на деривативы и измерение риска могут быть сложными, а расчеты трудными для выполнения, что затрудняет правильное управление стоимостью риска в сделках.

Сегодня моделирование Монте-Карло — предпочтительный метод анализа влияния риска и неопределенности в финансовых моделях — ограничено масштабированием ошибки оценки. Моделирование всех рисков в финансовом учреждении может быть непомерно трудным и может включать в себя портфели из множества вариантов, требующие большого количества образцов и часов для завершения.

Заглядывая в будущее, мы ожидаем постоянных волн перекрывающихся поправок к правилам, директивам и стандартам, таким как Базель III и его редакции. Они потребуют гораздо большего набора стрессовых сценариев управления рисками. В результате ожидается, что в ближайшие годы затраты на соблюдение требований вырастут более чем вдвое, включая нормативные штрафы и возмещение ущерба в случае несоблюдения⁹⁰.

В условиях более сложных требований к профилированию рисков и растущих нормативных препятствий исследования и прорывы в области квантовых вычислений могут ускорить эти очень длинные симуляции сценариев рисков с более высокой точностью, одновременно проверяя больше результатов.

Вариант использования: Оптимизация торговли

Сложность торговой деятельности на финансовых рынках стремительно растет. Например, модель корректировки стоимости деривативов, зонтичная корректировка X-стоимости (XVA), значительно усложнилась и теперь включает кредит (CVA), дебет (DVA), финансирование (FVA), капитал (KVA) и маржу. (MVA).

Из-за более строгих требований к прозрачности в нормативных актах к торговле применяются более строгие процессы проверки, что влияет на расчеты управления рисками, которые должны согласовывать кредитные риски контрагентов с использованием кредитных лимитов портфелей деривативов. Кроме того, изменились существенные инвестиционные системы и инструменты. Например, прогнозируется, что к 2024 году объем биржевых фондов облигаций (ETF) достигнет 2 триллионов долларов США, а инвестиции в окружающую среду, социальную сферу и управление (ESG) набирают обороты: в 2019 году в эту классификацию активов было инвестировано 35 триллионов долларов США.

В этой сложной торговой среде инвестиционные менеджеры изо всех сил пытаются учесть реальные ограничения, такие как волатильность рынка и изменения в жизни клиентов, в оптимизации портфеля. В идеале финансовые менеджеры хотели бы смоделировать большое количество потенциальных сценариев и вариантов инвестирования, чтобы проверить чувствительность при оценке ожидаемой доходности. В настоящее время поиск лучшей стратегии ребалансировки, которая бы учитывала движения рынка, существенно ограничен вычислительными ограничениями и транзакционными издержками.

Квантовые технологии могут помочь преодолеть сложность современной торговой среды. Возможности комбинаторной оптимизации квантовых вычислений могут позволить инвестиционным менеджерам улучшить диверсификацию портфеля, ребалансировать портфельные инвестиции, чтобы более точно реагировать на рыночные условия и цели инвесторов, а также более экономично оптимизировать процессы торговых расчетов для крупных портфелей.

Приложения квантовых вычислений: Химия и нефть

На химическую промышленность приходится около 7% мирового внутреннего продукта (или 5,7 триллиона долларов США), а также около 120 миллионов рабочих мест. Разработка новых химических продуктов требует дорогостоящих и трудоемких лабораторных работ. Сегодня классическое химическое моделирование может помочь в проведении лабораторных испытаний, но точность расчетов снижается по мере увеличения сложности молекулярных взаимодействий.

При попытке расчета энергии в квантово-механической системе, такой как большие молекулы, вычисление всех различных параметров, включая движение электронов, становится невозможным на обычных компьютерах. В результате моделирование многих промышленно важных молекул становится все более неточным или просто отнимает слишком много времени, чтобы ждать точного решения.

Определение электронной структуры молекул необходимо для понимания реакционной способности молекулы. По мере того, как молекулы увеличиваются в размерах за пределы водорода (H_2), математические описания молекул, которые точно отражают электрон-электронные взаимодействия, ядерные эффекты и т. д., становятся все более сложными. Фактически, когда полный расчет взаимодействия конфигурации выполняется классически, алгоритмы имеют экспоненциальное масштабирование. Однако из-за природы квантовых алгоритмов было предсказано, что химические расчеты будут полиномиально масштабироваться, что является многообещающим шагом на пути к возможности выполнять точные расчеты с молекулами, которые в настоящее время недоступны.

Например, простой углеводород нафталин ($C_{10}H_8$) можно смоделировать с помощью ~116 кубитов, но для того, чтобы сделать то же самое, потребуется классический компьютер с 1034 битами. Для сравнения: 1034 бита в 7,1 миллиарда раз превышают общий объем данных, по прогнозам, будут храниться в электронном виде к 2025 году — возможно, 175 зеттабайт⁹.

Вариант использования: Разработка химической продукции, включая катализаторы и поверхностно-активные вещества.

В этом сценарии использования химические и нефтяные компании используют квантовые компьютеры для ускорения открытия и разработки новых химических методов и материалов. Прототипы квантовых компьютеров, поддерживаемые классическими компьютерами, уже выполняют моделирование квантовой химии.

В 2017 году в статье на обложке журнала Nature были показаны изображения небольших неорганических солей гидрида лития (LiH) и гидрида бериллия (BeH_2), смоделированные на основе общедоступных квантовых компьютеров IBM. Применение тех же самых вариационных методов для решения задач в химической и нефтяной промышленности может скоро станут возможными, например, применение идей к новым катализаторам для сокращения выбросов или поверхностно-активным веществам для улучшения добычи полезных ископаемых. Эти возможности, среди прочего, заставили некоторых считать химию «убийственным приложением» для квантовых вычислений.

Вариант использования: Оптимизация маршрутизации сырья, переработки и вывода продукции на рынок.

Возможно, это удивительно, но аналогичные подходы (с использованием гамильтонианов), используемые в молекулярном моделировании, могут быть перепрофилированы для решения широкого спектра задач оптимизации: от транспортировки и логистики цепочек поставок до оптимизации инвестиционных портфелей.

В этом сценарии использования квантовые вычисления могут повысить прибыльность химического и нефтяного бизнеса за счет определения оптимальных комбинаций маршрутизации сырья, переработки и вывода продукта на рынок. Воздействие на нефтеперерабатывающий завод можно рассматривать как предполагаемую ежегодную потерю бизнеса из-за падения октанового числа. Утечки октана и давления паров приводят к ежегодным потерям более 4,9 миллиардов долларов в США и более 4,2 миллиардов долларов в Европейском Союзе.

Вариант использования: Расширение добычи пласта

В 1856 году Анри Дарси, французский инженер, пытавшийся спроектировать систему фильтрации воды для города Парижа, провел простой эксперимент, пропуская воду через трубку, наполненную песком. Его наблюдения привели к закону Дарси, который лег в основу всей области моделирования пластов и технологии добычи.

Однако современные разработки в области нанопористых нетрадиционных коллекторов приводят к нарушению закона Дарси. Одним из результатов является то, что глобальная нефтяная иерархия изменилась, и США стали ведущим производителем энергии в мире. Квантовые вычисления могут открыть новое поколение понимания недр и моделирования резервуаров, позволяя исследовать физику молекулярного масштаба в плотных коллекторах.

В нетрадиционных коллекторах жидкая нефть течет так, как если бы она имела высокую проницаемость, подобную газу, с преимущественной добычей короткоцепных углеводородов и оставлением после себя длинных цепочек. Физика несовместима с традиционным пониманием динамики подземных потоков.

Использование квантовых компьютеров для моделирования взаимодействия молекул нефти, воды и газа с поверхностью горных пород на молекулярном уровне может помочь объяснить физику, лежащую в основе разрыва между потоками Дарси и не-Дарси. В этом случае выгода будет существенной.

Например, если бы количество скважин можно было сократить всего лишь на 10%, чистый денежный поток 32 крупнейших производителей нетрадиционной нефти в Северной Америке изменился бы с чистого убытка в 1 миллиард долларов (январь - сентябрь 2018 г.) до положительного денежного потока в размере 8 миллиардов долларов США (по оценке в 6 миллионов долларов США на скважину).

Приложения квантовых вычислений: Электроника

Электронная промышленность сталкивается с растущим множеством проблем: стоимость предприятий по производству полупроводников последнего поколения достигает 25 миллиардов долларов. стабилизируется. А поскольку за последние 50 лет проектирование и производство становились все более трудными, улучшение показателей отрасли замедлилось.

Короче говоря, нынешний путь развития отрасли становится все более сложным, рискованным и дорогостоящим. И это будет ощущаться не только в электронике: как передовая технология электроника используется практически во всех отраслях¹⁰⁵. Реакция электронной промышленности на сегодняшние вызовы может повлиять практически на каждый сектор мировой экономики.

Квантовые вычисления — это принципиально новая парадигма вычислений, которая может предложить электронной промышленности мощный инструмент, помогающий решить некоторые из ее самых больших проблем. Три варианта использования иллюстрируют потенциал квантовых вычислений для электронной промышленности: разработка материалов, дизайн продуктов и более разумное производство.

Вариант использования: Разработка материалов

Совершенствование конструкции и производства, которое привело к революции в электронике за последние 50 лет, замедляется. Самые мощные в мире суперкомпьютеры ежегодно увеличивали свою производительность на 80%. Сейчас это 40%. Отчасти это связано с тем, что эра простого уменьшения размера транзистора для повышения производительности компьютера подходит к концу.

Электронная промышленность искала другие способы повышения вычислительной производительности, включая новые материалы, такие как медные межсоединения и химически усиленные фоторезисты, пионером которых была IBM. Но классическим компьютерам трудно моделировать материалы. В результате при разработке материалов приходится полагаться на трудоемкие и дорогостоящие традиционные лабораторные методы исследования.

Возьмем такой пример: плоские дисплеи, основные интерфейсы между нами и нашими смартфонами, потребляют электроэнергию и быстро разряжают батареи. Более эффективный дисплей мог бы быть возможен с более эффективным излучателем света. Однако для этого потребуются новые материалы, разработка которых займет много времени. Что касается органических светодиодов (OLED), которые сейчас широко распространены в смартфонах, то от первой статьи об этой технологии до первого OLED-дисплея прошло 35 лет.

Давайте также рассмотрим двумерные дихалькогениды переходных металлов (ДМД) — атомно тонкие материалы, которые вызвали значительный интерес из-за их потенциала для повышения производительности транзисторов при одновременном снижении энергопотребления. Химию и физику ДВНЧ лучше всего описывать с помощью квантовой механики, которая сложна для классических компьютеров, но естественным образом подходит для квантовых компьютеров.

Одна из причин того, что разработка материалов занимает столь долгий путь: классические компьютеры испытывают трудности с моделированием материалов. Простое представление материала в классическом компьютере является сложной задачей. Чтобы точно представить одну молекулу из одного семейства излучателей света, классическому компьютеру потребуется 10106 бит. Это во много раз превышает количество атомов во Вселенной (около 1084). Напротив, квантовый компьютер мог бы представить ту же молекулу, используя всего 354 логических кубита. Более того, квантовый компьютер может манипулировать этим компактным представлением излучателя света, чтобы предсказывать интересные свойства, такие как его электронная структура и цвет, который он генерирует.

Квантовые возможности моделирования новых материалов имеют широкое применение. IBM использует квантовые компьютеры для моделирования более экологически чистых химикатов для производства электроники. А IBM сотрудничала с Mercedes-Benz Daimler для выполнения квантового моделирования химического состава аккумуляторов.

Другой показательный пример: современные излучатели света имеют внутренний КПД до 25%. IBM, JSR и Mitsubishi объединились для моделирования OLED-излучателей света с потенциалом 100% внутренней эффективности. OLED-дисплей, изготовленный из этих излучателей, может иметь существенные преимущества в энергоэффективности — и ценные рыночные преимущества. Рост рынка OLED-дисплеев всего на 1% принесет 320 миллионов долларов в год.

Вариант использования: Дизайн продукта

Проектирование и производство в электронной промышленности являются сферами острой конкуренции. Цель: продукты, которые всегда работают лучше, стоят дешевле и не содержат ошибок. Это требует времени, однако команда, которая первой выводит свой продукт на рынок, получает значительные преимущества.

Квантовая оптимизация может помочь командам разработчиков продуктов быстрее разрабатывать высокопроизводительные конструкции. В электронике это имеет множество применений. Представьте себе, что вам нужно найти самый быстрый маршрут для перемещения пакетов данных по сети. Или рассчитать наиболее выгодную номенклатуру продукции и график производства для завода по производству электроники. Или определение кратчайшего маршрута подключения 10 миллиардов транзисторов на чипе.

Решение подобных задач оптимизации уже давно бросает вызов классическим компьютерам. Но поиск оптимального решения может привести к огромным рыночным преимуществам. Микропроцессор с более короткими проводами может одновременно привести как к снижению энергопотребления, так и к повышению производительности вычислений. На рынке процессоров для приложений для смартфонов, который особенно чувствителен к энергопотреблению, увеличение доли рынка на 1% приведет к дополнительным 290 миллионам долларов в год.

Одна из проблем, которые эти проблемы оптимизации ставят перед классическими компьютерами: существует слишком много возможных решений. Например, чтобы найти кратчайший путь всего лишь между 10 точками, необходимо найти лучшее решение среди более чем трех миллионов возможных путей. Однако квантовые компьютеры могут дополнить классические методы, более

эффективно находя решение этих задач оптимизации. Это может помочь командам разработчиков продуктов быстрее находить более эффективные конструкции и быстрее выводить на рынок более качественный продукт.

Способность квантового компьютера находить оптимизационные решения на самом деле является выражением его способности к поиску. Хорошим примером этой возможности является проверка проекта. Представьте себе, что два дня в неделю вы тратите на работу, а остальные три дня проверяете свою работу. На проверку уходит больше времени, чем на выполнение — это медленный и неэффективный процесс.

И тем не менее, слишком часто именно это и происходит с электронным дизайном. Микрочипы, например, стали настолько сложными, что большая часть времени производственного цикла (60%) тратится на проверку микросхем, чем на их фактическое проектирование. К сожалению, выпущенный чип с необнаруженной ошибкой может нанести огромный удар по прибыли компании.

Программное обеспечение теперь является частью почти каждого продукта. И, как и микрочипы, программное обеспечение стало настолько сложным, что полная проверка невозможна. Для некоторых продуктов, таких как музыкальный проигрыватель, программная ошибка может просто доставлять неудобства. Но для других продуктов, таких как биомедицинские устройства, необнаруженные программные ошибки могут стать буквально вопросом жизни и смерти. Одно исследование показывает, что 64% отзывов биомедицинских устройств происходят из-за ошибок программного обеспечения — основной причины отзывов биомедицинских устройств.

Мощный метод проверки проекта использует решатели логической выполнимости, также известные как решатели SAT. Как и многие другие задачи оптимизации, решение SAT может оказаться сложной задачей для классических компьютеров. Квантовые методы решения SAT изучаются для поиска больших и сложных пространств проектирования и повышения вероятности обнаружения неизвестных ошибок. Цель состоит в том, чтобы помочь командам разработчиков быстрее проверять проекты, разрабатывать более надежный продукт и доводить его до финиша. Быстрее.

Вариант использования: Умное производство

Инициативы «умных» заводов и цифровая трансформация становятся все более приоритетными для производственных операций, обеспечивая конкурентоспособность и устойчивость в 2020-х годах. ИИ может сыграть центральную роль в этой трансформации, но классический ИИ достигает своих пределов.

Один пример: чтобы поддерживать низкие затраты и высокую производительность, предприятия по производству электроники должны быстро и точно выявлять дефектную продукцию. Классический искусственный интеллект используется для проверки продукции и обеспечивает такие преимущества, как скорость и последовательность процесса. Но его точность еще далека от идеала. Инспекционный ИИ имеет высокий уровень ложноположительных результатов, а это означает, что он слишком часто помечает продукты как плохие, хотя на самом деле они хорошие. Нет смысла иметь сверхбыструю машину, если она часто ошибается.

Для кремниевых пластин автоматический оптический контроль имеет уровень ложноположительных результатов в диапазоне от 10% до 15%, что слишком высоко. Потеря 10% пластин на пятинанометровом предприятии будет потерей, эквивалентной 8 миллиардам долларов в год.

Способность классического ИИ отличать хорошие продукты от плохих достигла фундаментальных пределов. В одном анализе лучший уровень ошибок при классификации изображений в наборе данных ImageNet составил 11% при затратах в 1 миллион долларов. Чтобы добиться полностью автоматизированной проверки продуктов с помощью ИИ, уровень ошибок должен быть ниже 1%. Но если мы экстраполируем текущие тенденции в классическом искусственном интеллекте, снижение уровня ошибок с 11% до 1% будет стоить 100 миллиардов долларов. (Это не опечатка: 100 миллиардов долларов.) Более того, в результате этого процесса будет производиться в миллион раз больше углекислого газа, чем выбрасывает вся планета.

Но теперь мы можем заглянуть за рамки классических вычислений. Мы можем увидеть потенциал квантовых вычислений для создания более умного ИИ.

Когда исследователи IBM сравнили квантовые нейронные сети с классическими с тем же числом степеней свободы, они продемонстрировали, что — на некоторых наборах данных — квантовые нейронные сети могут быть более точными и обучаться быстрее, чем классические нейронные сети. Более того, модели квантового машинного обучения имеют потенциал для достижения более низкого уровня ошибок при меньшем количестве данных.

Более точный ИИ, который может учиться быстрее, используя меньше данных, имеет множество возможных применений. В сетях передачи данных более точный ИИ может более надежно выявлять угрозы безопасности. В биомедицинской электронике более точный ИИ может помочь медицинским бригадам более надежно идентифицировать опухоли на изображениях МРТ. В электронном проектировании ИИ, который обучается быстрее, используя меньше данных, может быстрее выявлять лучшие конструкции, особенно на новых узлах процесса, когда проектных данных недостаточно. А для производителей электроники, которым приходится каждый год внедрять новые производственные процессы для обновления продукции, время и данные являются ценными и редкими товарами. Квантовый искусственный интеллект может помочь этим производителям электроники быстрее выводить на рынок новые продукты с большей доходностью и меньшими затратами.

Приложения квантовых вычислений: Правительство

В условиях экономической нестабильности, геополитической нестабильности, экстремальных погодных явлений и быстро меняющейся демографической ситуации спрос на государственные услуги резко возрос. Между тем, многие правительства часто занимали позицию реагирования и изо всех сил пытались адаптироваться к быстро меняющимся экономическим, социальным и технологическим проблемам.

Квантовые вычисления могут помочь правительствам решить самые сложные и важные проблемы. Ярким примером является изменение климата, которое ставит под угрозу общественную безопасность, способствуя водовороту экстремальных погодных условий, пандемий и лесных пожаров. На устойчивость социальных программ оказывают давление растущие затраты и спрос. Глобализация расширяет возможности путешествий и торговли, создавая нагрузку на транспортные системы повсюду.

Способность решать сложные проблемы с лучшими результатами за небольшую часть времени и ресурсов предоставляет правительствам огромные возможности, которые могут эффективно использовать возможности квантовых вычислений. Мы уже начали видеть, как появляются варианты использования, которые могут принести пользу правительствам. По мере развития этих возможностей и продолжения экспериментов мы ожидаем, что приложения квантовых вычислений будут продолжать расти и приносить пользу правительственным сегментам.

Ниже приведены три варианта использования, в которых Quantum Advantage может изменить правила игры для правительств, стремящихся решить свои самые сложные проблемы. К ним относятся возможность более точно моделировать меры реагирования на стихийные бедствия, ускорять выявление мошенничества в социальных программах и более эффективно управлять транспортными системами.

Актуальность квантовых вычислений в правительственных сегментах

Инфраструктура и услуги гражданам	Социальные программы	Управление доходами, налогами и таможней	Образование	Общественная безопасность и правосудие	Оборона и разведка	
X	X	X		X	X	Готовность к чрезвычайным ситуациям и реагирование
X					X	Оптимизация транспортных систем
	X					Выявление мошенничества в социальных программах
X	X	X		X	X	Прогностическое обслуживание нового поколения
	X		X		X	Ускорение научных открытий
				X	X	Квантовая расшифровка для национальной безопасности

Вариант использования: Готовность к чрезвычайным ситуациям и реагирование

Изменение климата привело к более частым и сильным ураганам и торнадо, увеличило число инфекционных заболеваний и привело к увеличению количества пересохших земель, подверженных пожарам. 3,7 миллиона домов в США находятся под угрозой лесных пожаров и ситуация ухудшается. В США риск очень крупных пожаров может возрасти в шесть раз к середине века. У прибрежных регионов есть свои проблемы: эксперты предсказывают, что ураганы станут более интенсивными.

Готовность к чрезвычайным ситуациям и реагирование на них – по сути, спасение жизней граждан – являются одной из наиболее важных функций правительства. Лесные пожары на острове Мауи в августе 2023 года служат трагическим напоминанием об этой растущей угрозе человечеству. Планирование реагирования на лесные пожары требует анализа как текущего состояния, так и того, как лесной пожар развивается в ответ на конкретные действия (например, прокладывание противопожарных полос или распыление антипиренов) и природные условия, такие как ветер и дождь.

Этот тип анализа сценариев требует машинного обучения для анализа изображений на предмет интересующих особенностей и оптимизации для определения наилучшего курса действий. Ускорение таких вычислений может позволить специалистам по планированию реагирования быстрее анализировать более широкий спектр сценариев, и именно здесь в игру вступают квантовые вычисления.

Например, одна из задач состоит в том, чтобы объединить снимки и полевые исследования и определить, что может сгореть. Как правило, это не область с обширными статистическими историческими данными. Кроме того, выполнение классификаций на компьютерах, которые плохо обучаются, утомительно. При бустинге выбирается случайная выборка данных, снабжается моделью и последовательно обучается. Каждая модель компенсирует слабость предыдущей. Поиск оптимального состава слабых учащихся за счет ускорения целочисленного программирования — одна из областей, где квантовые компьютеры могут оказаться полезными.

Анализу изображения могут помочь метки пикселей, которые определяют функциональные роли пикселей в изображении как в статическом, так и в динамическом контексте. Это отражает проблему минимизации энергии, которую можно выразить как квадратичную неограниченную двоичную оптимизацию (QUBO), решаемую с помощью квантовых вычислений. А для планирования активов во времени и пространстве отправной точкой может стать квадратичная задача о назначениях.

Квантовые вычисления могут иметь явные преимущества перед классическими вычислениями, ускоряя вычисления, лежащие в основе анализа сценариев, и предоставляя планировщикам более своевременную информацию об ожидаемых результатах различных вариантов действий. Например, базирующаяся в Токио компания Sigma-I использовала квантовое облако для разработки маршрутов эвакуации в случае цунами. В случае лесных пожаров выгоды могут быть огромными: улучшение реагирования США даже на 1% могло бы помочь предотвратить экономические потери в размере 2 миллиардов долларов.

Вариант использования: Оптимизация транспортных систем

По мере роста населения и экономики мира транспортная инфраструктура испытывает нагрузку, иногда до предела. По оценкам Организации Объединенных Наций, к 2050 году численность населения планеты составит 9,7 миллиарда человек, то есть рост составит 21%. Учитывая, что с 1980 по 2000 год на каждого человека, прибавленного к мировому населению, было приобретено 1,2 автомобиля, в будущем нас ждут все более перегруженные дороги, заторы и задержки неизбежны. Фактически, пробки вызывают ежегодные потери производительности в экономике США на 121 миллиард долларов.

Маршрутизация движения пассажирских и грузовых перевозок представляет собой сложную задачу планирования движения, которая в настоящее время ограничена вычислительными мощностями классических компьютеров. Но это может измениться. Например, управление дорожным движением когда-нибудь сможет увидеть такие инновации, как миллионы датчиков, встроенных в дороги, и эти

датчики будут подключены к квантовым компьютерам. Эти компьютеры могли каждую секунду регулировать каждый светофор, сокращая необходимость резервного копирования.

Квантовые компьютеры могут улучшить оптимизацию сложных задач по маршрутизации, сокращая время простоя транспортных средств, минимизируя задержки, уменьшая загрязнение окружающей среды и сокращая потери энергии. Как? Путем ускорения оптимизационных вычислений, управляющих транспортными системами. Это может помочь уменьшить заторы и улучшить транспортировку горожан и посетителей.

Например, выбор маршрута может быть выполнен как формулировка минимизации энергии, потенциально реализуемая с помощью алгоритма квантовой аппроксимированной оптимизации (QAOA). Карты прогнозирования расхода можно улучшить с помощью квантовой оценки амплитуды (QAE). Оптимизацией времени сигнала трафика можно управлять в различных средах линейного программирования, собирая еще один класс задач минимизации энергии для квантовых компьютеров со структурами, подобными квадратичной неограниченной двоичной оптимизации (QUBO).

В 2023 году IBM начала сотрудничество с крупным провинциальным транспортным агентством. IBM предоставляет обучающие материалы и индивидуальное обучение, чтобы помочь агентству расширить свои внутренние знания и возможности в области квантовых вычислений. Обучение варьируется от общего обучения квантовым вычислениям для бизнес-аудитории до более детальных технических возможностей. В конечном итоге IBM поможет агентству выбрать вариант использования и поможет создать живое доказательство концепции.

Подобные мероприятия имеют огромный потенциал, поскольку даже минимальный прогресс приносит большие результаты. Например, в США каждый 1% улучшения эффективности маршрутизации трафика приносит годовую производительность на 1,2 миллиарда долларов.

Вариант использования: Выявление мошенничества в социальных программах

Многие из приложений, возникающих на основе квантовых технологий для решения финансовых проблем, особенно тех, которые имеют дело с неопределенностью и ограниченной оптимизацией, могут оказаться важными для правительств в обнаружении мошенничества и преступной деятельности, а также в управлении рисками.

По мере роста и старения населения страны нагрузка на государственные социальные услуги будет увеличиваться. Уже сейчас в США совокупные ежегодные расходы Medicare, Medicaid и Программы медицинского страхования детей (CHIP) составляют 1,07 триллиона долларов США.

Помимо решения проблем расширения возможностей для удовлетворения растущего спроса на услуги, правительства сталкиваются с еще одной важной проблемой: мошенничеством. Финансовые последствия мошенничества для правительств и граждан, которых они обслуживают, огромны: затраты только Medicare и Medicaid составляют колоссальные 100 миллиардов долларов. Это значительно увеличивает затраты, однако выявление мошенничества затруднено из-за огромного объема транзакций.

Квантовые вычисления могут помочь в реализации устойчивых социальных программ за счет уменьшения мошенничества, что позволит этим социальным программам лучше сосредоточиться на здоровье и благополучии бенефициаров.

Обнаружение мошенничества с помощью квантовых вычислений может быть полезно, в частности, при разработке функций — процессе извлечения характеристик, свойств и атрибутов из необработанных данных — и разработке классификаторов. Ожидается, что алгоритм квантовой аппроксимационной оптимизации (QAOA) — гибридный квантово-классический алгоритм — будет давать лучшие приближенные решения, чем любой существующий классический алгоритм. А разработка классификаторов потенциально может выиграть от квантовой обработки информации.

В целом, квантовые вычисления могут повысить устойчивость социальных программ с помощью квантово-усовершенствованного машинного обучения и получить преимущество перед чисто классическим вычислительным подходом. Экономия впечатляет: на каждый 1% увеличения уровня

предотвращения мошенничества в программах Medicare и Medicaid программы окупают 1 миллиард долларов.

Приложения квантовых вычислений: Здравоохранение

Данные о здравоохранении, такие как информация из клинических испытаний, реестры заболеваний, электронные медицинские записи (ЭМК) и медицинские устройства, растут со среднегодовым темпом роста 36%. Эти данные все чаще помогают решать проблемы, связанные с «четверной целью». » здравоохранения: лучшее здоровье, снижение затрат, улучшение качества обслуживания пациентов и улучшение трудовой жизни медицинских работников. В то же время потребители медицинских услуг принимают больше решений и им приходится ориентироваться во все более сложной системе.

Значительные инвестиции делаются для предоставления правильных данных и ценной информации на местах оказания медицинской помощи. Как игроки отрасли, так и новые игроки пытаются создать цифровой опыт, который будет способствовать здоровому и профилактическому поведению. Несмотря на это, учет экспоненциальных возможностей такого разнообразия новых данных расширяет возможности классических вычислительных систем.

Квантовые вычисления потенциально могут обеспечить большую вычислительную мощность и скорость. Однако для этого необходим другой образ мышления, новый и востребованный набор навыков, особая ИТ-архитектура и новые корпоративные стратегии. Эта технология также имеет непосредственные последствия для безопасности. Безопасность является областью, имеющей особое значение для здравоохранения, учитывая обязанности и проблемы сектора в области конфиденциальности данных.

В здравоохранении, как и в других отраслях, использование квантовых компьютеров совместно с классическими компьютерами, вероятно, даст существенные преимущества, которые не могут обеспечить одни лишь классические вычисления. В результате сейчас идет гонка за квантовыми приложениями.

Три ключевых потенциальных варианта использования квантовых вычислений играют центральную роль в продолжающейся трансформации отрасли здравоохранения: диагностическая помощь, страховые премии и ценообразование, а также точная медицина.

Вариант использования: Диагностическая помощь

Ранняя, точная и эффективная диагностика обычно приводит к лучшим результатам и снижению затрат на лечение. Например, при ранней диагностике рака толстой кишки выживаемость увеличивается в 9 раз, а стоимость лечения снижается в 4 раза. В то же время для широкого спектра состояний текущая диагностика сложна и дорогостояща. Даже однажды диагноз был установлен, оценки показывают, что он ошибочен в 5–20% случаев.

Методы медицинской визуализации, такие как КТ, МРТ и рентгеновское сканирование, за последнее столетие стали важнейшим диагностическим инструментом для практикующих врачей.

Компьютерные методы обнаружения и диагностики медицинских изображений быстро развиваются. В то же время многие из этих изображений страдают от шума, низкого разрешения и низкой воспроизводимости.

Одной из причин этих проблем является необходимость соблюдения строгих протоколов безопасности. Квантовые вычисления могут улучшить анализ медицинских изображений, включая этапы обработки, такие как обнаружение границ и сопоставление изображений. Эти улучшения значительно улучшат диагностику с помощью изображений.

Кроме того, современные диагностические процедуры могут включать в себя методы анализа отдельных клеток. В частности, данные проточной цитометрии и секвенирования отдельных клеток обычно требуют передовых аналитических методов, особенно при рассмотрении возможности объединения наборов данных, полученных различными методами.

Одной из проблем является классификация клеток на основе их многочисленных физических и биохимических характеристик. Это приводит к тому, что пространство признаков, то есть

абстрактное пространство, в котором живут переменные-предикторы, становится большим (многомерным). Такая классификация важна, например, для отличия раковых клеток от нормальных.

Подходы к квантовому машинному обучению, такие как квантовые машины опорных векторов, могут улучшить классификацию и могут способствовать развитию методов диагностики отдельных клеток.

Более того, обнаружение и характеристика биомаркеров может потребовать анализа сложных наборов данных «-омики», таких как геномика, транскриптомика, протеомика и метаболомика. Это может повлечь за собой большое пространство признаков, а также множество взаимодействующих признаков, приводящих к взаимозависимости, корреляциям, и закономерности, которые сложно обнаружить с помощью традиционных вычислительных методов. Дальнейшее распространение понимания биомаркеров до уровня человека, естественно, требует еще более сложного моделирования. Эти характеристики позволяют предположить, что квантовые вычисления могут помочь обнаружить биомаркеры, возможно, даже для отдельных людей.

Благодаря квантовым вычислениям поставщики медицинских услуг смогут улучшить диагностику, одновременно устраняя необходимость в повторяющихся инвазивных диагностических тестах. Они могут быть в состоянии постоянно контролировать и анализировать состояние здоровья людей. Помимо помощи пациентам, такие улучшения могут также принести пользу страховым компаниям и поставщикам медицинских услуг за счет снижения затрат на лечение в результате более ранней диагностики. Возможно, даже станет возможным провести метаанализ более сложных диагностических процедур, чтобы определить, какую процедуру следует выполнять и когда. Это может помочь еще больше сократить расходы и позволить планам здравоохранения и правительствам принимать больше решений на основе данных для поставщиков услуг и отдельных лиц.

Вариант использования: Страховые премии и цены

Определение взносов на медицинское страхование – сложный процесс. В процессе разработки общей стратегии ценообразования план медицинского страхования должен учитывать ряд факторов (признавая, что правила в некоторых странах, таких как США, могут ограничивать количество факторов, используемых для расчета страховых взносов).

К ним относятся сложные взаимозависимости, такие как уровень здоровья населения и риски заболеваний, пригодность лечения и стоимость, а также степень риска, которую план медицинского страхования желает и может принять на основе корпоративной стратегии и правил. Хотя планы здравоохранения уже добились значительного прогресса в этой области, применяя классические методы науки о данных, создание более детализированных моделей с меньшими неопределенностями остается сложной задачей.

Одной из ключевых областей, в которой квантовые вычисления могут помочь оптимизировать ценообразование, является анализ рисков. Использование знаний о риске заболеваний на уровне населения и объединение их с квантовыми моделями риска, которые могут более эффективно рассчитывать финансовый риск, может позволить планам здравоохранения достичь улучшенных моделей риска и ценообразования.

Еще одним важным рычагом, с помощью которого квантовые вычисления могут способствовать принятию решений о ценообразовании, является улучшенное обнаружение мошенничества. В настоящее время только в США мошенничество в сфере здравоохранения обходится в сотни миллиардов долларов. Классические методы интеллектуального анализа данных уже помогают обнаруживать и сокращать мошенничество в сфере здравоохранения; тем не менее, необходимы более эффективные в вычислительном отношении методы. Квантовые алгоритмы могли бы обеспечить превосходную классификацию и обнаружение закономерностей и, таким образом, помочь выявить аномальное поведение и исключить мошеннические медицинские заявления. Ожидается, что это позволит планам медицинского страхования дополнительно оптимизировать стратегии ценообразования и предлагать сниженные страховые взносы в качестве результат снижения затрат, связанных со схемами предотвращения потерь и мошенничества.

Усовершенствованные методы расчета цен позволят снизить средние премии, а также лучше адаптировать варианты премий. Сложность здравоохранения отражается в проблемах, связанных с упрощением понимания стратегий ценообразования. Новые правила, требующие прозрачности и снижения средних затрат на здравоохранение, делают оптимизацию моделей ценообразования еще более важной.

Вариант использования: Точная медицина

Целью прецизионной медицины является адаптация подходов к профилактике и лечению к конкретному человеку. Из-за сложности биологии человека индивидуализированная медицина требует принятия во внимание аспектов, которые выходят далеко за рамки стандартной медицинской помощи.

Фактически, относительный вклад медицинской помощи в результаты лечения составляет от 10% до 20%; Остальные 80–90% составляют поведение, связанное со здоровьем, социально-экономические факторы и аспекты окружающей среды. С точки зрения вычислений взаимозависимости и корреляции между этими различными факторами создают огромные проблемы в отношении оптимизации эффективности лечения.

В результате многие существующие методы лечения не достигают желаемого эффекта из-за индивидуальной изменчивости. Например, только треть пациентов реагируют на медикаментозную терапию рака. В некоторых случаях последствия медикаментозной терапии могут быть катастрофическими; только в Европе ежегодно из-за побочных реакций на лекарства умирают до 200 000 человек.

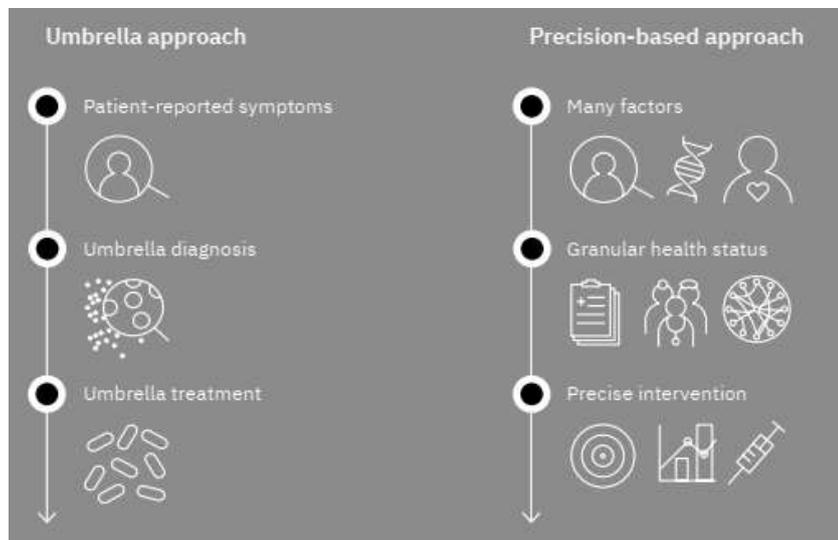
Ключевым аспектом адаптации медицинских подходов является проактивность. Как уже упоминалось, раннее лечение и профилактические вмешательства, как правило, значительно улучшают результаты и оптимизируют затраты. Классическое машинное обучение уже показало некоторые перспективы в прогнозировании риска будущих заболеваний для ряда групп пациентов на основе ЭМК. Тем не менее, проблемы остаются из-за характеристик EHR и других данных, важных для здоровья, включая уровень шума, размер соответствующего пространства функций и сложность взаимодействия между функциями. Это предполагает, что контролируемые и неконтролируемые методы квантового машинного обучения могут позволить более ранние, более точные и более детальные прогнозы риска. непрерывная виртуальная диагностика на основе текущих потоков данных от отдельных лиц.

Однако знания индивидуального риска заболевания недостаточно. Не менее важно знать, как эффективно оказать медицинскую помощь конкретному человеку. Одним из направлений в этом направлении является изучение чувствительности к лекарствам на клеточном уровне. Например, принимая во внимание геномные особенности раковых клеток и химические свойства лекарств, уже исследуются модели, которые могут предсказать эффективность противораковых лекарств на детальном уровне. Квантовое машинное обучение может способствовать дальнейшим прорывам в этой области. области и, в конечном итоге, позволяют создавать модели причинно-следственной связи для наркотиков.

Цель точной медицины высока: выявление и объяснение взаимосвязей между вмешательствами и лечением, с одной стороны, и результатами, с другой, для обеспечения наилучшего медицинского действия на индивидуальном уровне. Традиционно диагностика состояния пациента в значительной степени основывалась на симптомах, сообщаемых пациентом, что отнимает много времени и приводит к комплексному диагнозу и соответствующему лечению, которое часто оказывается безуспешным.

Сейчас мы движемся к созданию условий, в которых можно будет получить информацию на основе дополнительных данных, важных для здоровья, для эффективного получения постоянного и точного состояния здоровья наряду с персонализированными вмешательствами (см. Рисунок 19). Хотя мы еще далеки от осознания этого, квантовые вычисления могут ускорить наш прогресс на пути к такой новой структуре.

Эта структура позволит медицинским организациям оптимизировать и персонализировать свои услуги на протяжении всего процесса оказания медицинской помощи. Более того, приверженность лечению и участие пациентов также являются ключевыми факторами при принятии решения о следующем лучшем медицинском вмешательстве для конкретного человека. Расширенное компьютерное моделирование может решить и эту область. Например, анализ данных о соблюдении режима лечения позволяет оптимизировать время вмешательства для отдельных лиц. В конечном итоге управление здоровьем населения на таком уровне детализации может стать возможным.



Зонтичный подход
Симптомы, сообщаемые пациентом
Зонтичная диагностика
Зонтичное лечение
Прецизионный подход
Многие факторы
Подробное состояние здоровья
Точное вмешательство

РИСУНОК 19

Квантовые вычисления могут ускорить переход от общей диагностики и лечения до точного вмешательства в состояние здоровья.

Приложения квантовых вычислений: Страхование

Страховщики во всем мире сталкиваются с растущим давлением, чтобы оставаться конкурентоспособными и дифференцированными в условиях быстрых технологических инноваций и более высокой макроэкономической волатильности. Для принятия правильных бизнес-решений необходимы сложные модели и вычислительные методы в беспрецедентных масштабах, но многие из основных проблем сегодня остаются неразрешимыми и неуловимыми. Квантовые компьютерные технологии потенциально могут проложить путь к поиску решений, с которыми не смогут справиться даже суперкомпьютеры.

В разных сферах страхования андеррайтеры оценивают более широкий спектр рисков, используя реальные данные в режиме реального времени из таких источников, как сложные платформы искусственного интеллекта и распределенные датчики. Страховщикам требуются продукты и маркетинговые стратегии, которые более точно ориентированы на потребности клиентов, сохраняя при этом возможность устанавливать на них точную, справедливую и объяснительную цену.

Традиционным методам ценообразования не хватает способности быстро реагировать на меняющиеся рыночные условия и легко учитывать нетехнические факторы ценообразования. Ожидается, что модели ценообразования на основе искусственного интеллекта значительно сократят время, необходимое для внедрения новых систем ценообразования, включая более гибкие модели, основанные на использовании, сокращая время выхода на рынок с месяцев до недель.

Управление рисками является еще одной проблемой. Страховщикам требуются улучшенные инструменты для изучения и балансировки концентрации рисков, достижения эффективного распределения капитала и удовлетворения требований нормативных требований. В условиях постоянно растущего количества данных и ограничений точное моделирование крупномасштабных рисков и последствий катастрофических событий представляет собой сложную вычислительную задачу.

Квантовые вычисления имеют хорошие возможности для создания новой ценности в вычислительно интенсивных операциях, которые страховые компании выполняют в рамках основных бизнес-функций андеррайтинга, рисков, претензий и благосостояния. Квантовое машинное обучение, оптимизация и методы линейной алгебры могут быть интегрированы в традиционные рабочие процессы, чтобы начать использовать больший вычислительный масштаб и получить более точные

результаты. Кроме того, квантовые вычисления превосходно справляются с поиском закономерностей в данных, генерируемых искусственным интеллектом: эти две технологии дополняют друг друга.

Применяя квантовые вычисления, страховщики могут рассчитывать на использование инноваций 21-го века, связанных с рисками. Мы рассмотрим три потенциальных варианта использования: классификацию клиентов и рисков, анализ концентрации рисков и прогнозирование катастроф и смертности.

Вариант использования: Классификация клиентов и рисков

Андеррайтеры традиционно составляют профили клиентов и связанных с ними рисков на основе демографических категорий, которые легко проследить, но при этом потенциально упускают более глубокие объясняющие факторы и создают пробелы в рисках. Маркетологи страховых продуктов обычно располагают скудными и неполными данными, которые можно использовать при принятии решения о том, как убедить потребителей покупать продукты, связанные с риском.

Принимая во внимание более детальные риски, страховщики могут способствовать открытию новых критериев андеррайтинга и рейтинга продуктов. Более высокая точность в процессах андеррайтинга и ценообразования может привести к лучшему распределению рисков и улучшению комбинированных коэффициентов. Более персонализированные предложения также могут ускорить процесс адаптации и стимулировать рост продаж. Страховщики уже планируют значительные инвестиции в ИИ: 55% руководителей страховых компаний называют ИИ основной технологией, которая поможет им добиться результатов в бизнесе.

Объединив инструменты искусственного интеллекта с квантовыми технологиями, страховщики смогут более эффективно бороться за новых клиентов. Они могут использовать более сложные и гибкие модели ценообразования и маркетинговые стратегии, которые точно учитывают потребности и аппетиты потенциальных клиентов к риску.

Методы квантового машинного обучения можно применять для создания более эффективных и точных карт данных на основе разреженных, слабо связанных данных, чтобы находить новые убедительные идеи и корреляции. Квантовые алгоритмы могут обеспечить большую точность результатов классификации и более надежно определить влияние отдельных характеристик рейтинга.

Сегодня эти идеи нелегко обнаружить с помощью интенсивных вычислительных подходов из-за сложности факторов, в которых необходимо найти закономерности. Простых эвристических методов недостаточно для адекватного получения полной картины соответствующих факторов риска.

Методы квантового машинного обучения потенциально могут привести к более быстрому обучению данных, обеспечить большую точность в задачах классификации и регрессии и позволить выполнять вычисления с большим количеством функций. Квантовое машинное обучение использует гибридный классический и квантовый подход к фундаментальным вычислениям в области искусственного интеллекта; он сочетает в себе лучшее из обоих вычислительных миров в революционных рабочих процессах, которые могут вывести на рынок привлекательные новые продукты.

Страховщики могли бы получить больше элементов риска из данных более высокого разрешения, определить новые целевые микросегменты и выйти на рынок с продуктами, которые разработаны для повышения потребительской ценности на протяжении всей жизни, но которым трудно подражать конкурентам.

Вариант использования: Анализ концентрации рисков

Клиенты постоянно ищут персонализированные полисы, которые удовлетворят их потребности сегодня и завтра. Страховщики мотивированы продавать полисы, соответствующие образу жизни, амбициям и эмоциональному состоянию застрахованного, с соответствующими покупателями. Из-за нормативных ограничений текущие модели ценообразования в значительной степени статичны; это создает трудности, особенно при внесении своевременных корректировок, которые не позволяют рынкам с высоким уровнем риска создавать избыточное давление на резервы. Кроме того,

управление маркетинговыми усилиями по привлечению прибыльного и точно оцененного нового бизнеса является операционной сложной задачей.

Полная модель, балансирующая ценообразование за риск, книгу концентрации бизнеса и динамику распределения, может улучшить управление рисками по всей книге. Более продвинутые инструменты искусственного интеллекта приведут к улучшению политики или рекомендаций для пассажиров, а также к возможностям перекрестных продаж, которые повысят конкурентоспособность и устойчивость бизнеса. Стратегия выхода на рынок может постоянно корректироваться.

Благодаря лучшему моделированию агенты и дистрибьюторы получают больше поддержки для развития нового бизнеса с использованием более актуальных и эффективных продуктов. Использование анализа данных потенциально может повысить доходы клиентов на целых 60%. Более детальные модели ценообразования, основанные на улучшенном статистическом моделировании, могут привести к тому, что клиенты смогут лучше адаптировать решения к своим потребностям.

Концентрация рисков со временем может стать все более проблематичной, если ее не уделять должного внимания; потенциально это может привести к чрезмерному риску и трудностям в устранении последствий ухода с рынка. Разработка политики является сложной задачей из-за ограниченности информации от клиентов, сложности имеющихся в распоряжении функций и райдеров, а также сложности передачи риска понятным образом клиенту.

Методы квантовой оптимизации потенциально могут решить сложные проблемы оптимизации, связанные с разработкой политики, ценообразованием и концентрацией рисков. Определенные виды проблем потенциально могут привести к квадратичному ускорению вычислений или даже лучше. Методы квантовой оптимизации могут решить многие проблемы, которые потребляют слишком много классических вычислительных ресурсов, чтобы даже попытаться их решить. Они также могут итеративно улучшать решение, чтобы найти решение, близкое к оптимальному, с более высокой достоверностью, чем это может быть достигнуто сегодня.

Ожидается, что увеличение продаж и прибыли может последовать за применением квантовых методов для оптимизации конфигураций продуктов, поиска прибыльных и соответствующих моделей ценообразования и формулирования желаемой концентрации рисков в рамках бизнеса.

Вариант использования: Защита от катастроф и смертности

Страховщикам необходимо с уверенностью определить общую подверженность рискам своей деловой книги и спрогнозировать вероятность и последствия катастрофических убытков. Они должны оценивать непрерывные изменения основного риска, судебную среду и возникающие тенденции риска. Такие воздействия могут быть широкомасштабными и серьезными.

Одним из примеров является предполагаемое глобальное воздействие изменения климата на валовой внутренний продукт (ВВП): ожидается, что к 2050 году ВВП упадет на 18%, если не будут приняты меры по смягчению последствий. Способность правильно выполнять резервирование на основе точных прогнозов будет информировать стратегии андеррайтинга, ребалансировки портфеля контрактов и перестрахования.

Используемые сегодня модели риска требуют больших вычислительных ресурсов и подвержены значительным отклонениям в постоянно меняющейся среде рисков. Заметные риски варьируются от угроз климату и здоровью и, как следствие, ущерба и перерывов в работе бизнеса до социальных изменений, вызванных технологическим прогрессом. Корректировка этих моделей, возможно, потребует использования больших объемов данных из разных источников, включая Интернет вещей. Обычно проведение сценарного анализа таких объемных данных требует слишком много времени и средств; вероятности рисков и их последующие последствия могут меняться слишком быстро и непредсказуемо.

Ожидается, что моделированию катастроф, смертности и управления благосостоянием во многом поможет улучшение вычислительных мощностей. Актуарии и аналитики обычно нуждаются в моделировании, требующем масштабируемых вычислений.

Ожидается, что обработка больших и сложных моделей станет преимуществом квантовых вычислений. Алгоритмы оценки квантовой амплитуды могут обеспечить квадратичное преимущество в производительности по сравнению с аналогичными методами моделирования Монте-Карло, выполняемыми сегодня (в ограниченных количествах). Это может привести к тому, что ночные вычисления будут перенесены на внутридневные. Альтернативно, квантовый алгоритм может дать более точные результаты, чем классический Монте-Карло, что повысит уверенность в анализе.

Вычислительное преимущество, ожидаемое от квантовых вычислений, позволит планировать сценарии риска чаще и давать более точные результаты, чем когда-либо прежде. Более высокие результаты приведут к более эффективному распределению капитала, более высокой оптимизации рисков портфеля активов и большей уверенности в способности соответствовать нормативным требованиям.

Приложения квантовых вычислений: Естественные науки

В науках о жизни основные проблемы включают понимание взаимосвязей между последовательностями, структурой и функциями, а также того, как биополимеры взаимодействуют друг с другом, а также с небольшими органическими молекулами, которые являются естественными для организма или созданы в качестве лекарств. Такие проблемы сложны в вычислительном отношении и лежат в основе геномного анализа, разработки лекарств и прогнозирования сворачивания белков.

В результате сейчас наблюдается междисциплинарная гонка за квантовыми приложениями. Вполне возможно, что в течение пяти лет квантовые вычисления будут широко использоваться новыми категориями специалистов и разработчиков для решения проблем, которые когда-то считались неразрешимыми.

Такие тенденции, как распространение эффективного недорогого секвенирования и наступление эры «-омики», приводят к тому, что компании в области медико-биологических наук ищут способы воспользоваться разнообразием новых источников данных. Кроме того, индустрия наук о жизни входит в число тех, в которых люди могут наиболее непосредственно ощутить будущие преимущества квантовых вычислений.

Ожидается, что исследование и реализация вариантов использования квантовых вычислений в сочетании с дальнейшим научным прогрессом в области оборудования и алгоритмов квантовых вычислений позволят в ближайшие годы перейти от потенциала к реальности. Квантовые вычисления потенциально могут обеспечить целый ряд революционных вариантов использования в науках о жизни. К ним относятся:

- Создание точных медицинских методов лечения путем связывания геномов и результатов.
- Улучшение результатов лечения пациентов за счет повышения эффективности открытия низкомолекулярных лекарств.
- Разработка новых биологических продуктов на основе предсказаний сворачивания белков.

Вариант использования: Создание точных медицинских методов лечения путем связывания геномов и результатов

15-летние инвестиции в размере 2,7 миллиарда долларов США в точное секвенирование генома человека и последующее снижение затрат на секвенирование помогли начать эру «-омики». Соответственно, понимание первичных последовательностей больше не является основным ограничением для ученых.

Вместо этого фокус исследований сместился в сторону использования новых вычислительных инструментов для углубления нашего понимания того, как геномные последовательности преобразуются в функции. Однако при использовании традиционных методов эта задача чрезвычайно сложна из-за размера человеческого генома (около 3 миллиардов пар оснований ДНК), различий, существующих в разных популяциях, и широкого спектра последствий для здоровья.

Потенциальные возможности на стыке геномики и квантовых вычислений включают:

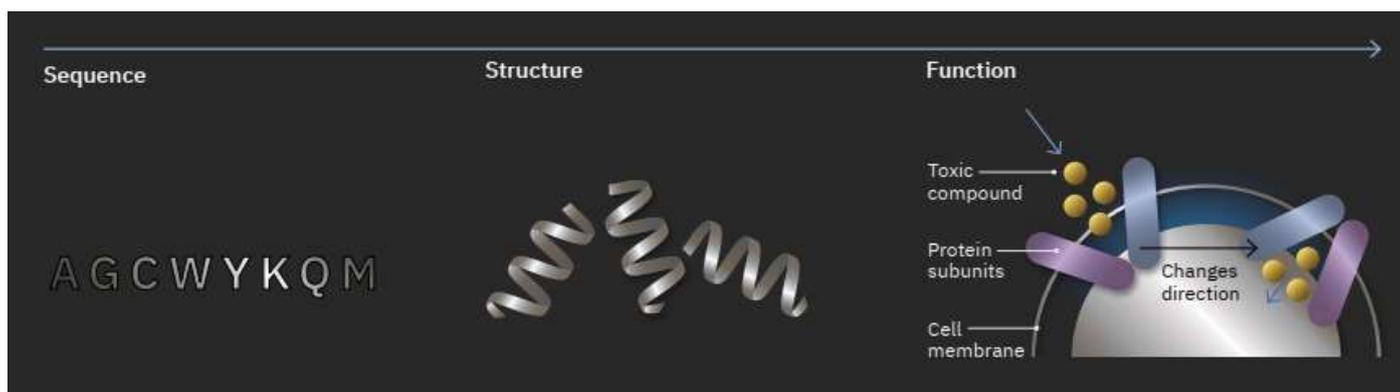
— Открытие и предсказание мотивов: Последовательности ДНК, РНК и аминокислот сформировались под воздействием эволюционного давления. Одной из биоинформатических задач является выявление мотивов в этих последовательностях, таких как паттерны, которые активируют или ингибируют экспрессию генов и, таким образом, помогают нам лучше понять механизмы регуляции генов.

Классические алгоритмы идентификации мотивов требуют больших вычислительных затрат, поскольку требуют исчерпывающего поиска всех возможных комбинаций заданной длины. Применение алгоритмов квантовой оптимизации может улучшить наше понимание связывания факторов транскрипции и сборки генома *de novo*.

— Полногеномные исследования ассоциаций (GWAS): Целью GWAS является поиск ассоциаций между выбранным признаком или заболеванием и отдельными мутациями в ДНК. Современные методы по своей сути являются многомерными и сложными в вычислительном отношении. Это подчеркивает возможность квантовых вычислений значительно сузить списки генов-кандидатов, которые необходимо экспериментально проверить. Квантовые вычисления также могут способствовать прогрессу в разработке генных сетей и графовых моделей.

— Предсказание структуры *de novo*: С бурным ростом информации и технологий секвенирования существует растущий пробел в понимании того, как последовательность преобразуется в структуру и, в конечном итоге, в функцию (см. Рисунок 20). Несмотря на сложные методы, такие как модели гомологии, классические подходы к предсказанию структуры *de novo* часто плохо масштабируются. Например, пространство поиска потенциальных конфигураций белка увеличивается экспоненциально с размером белка, что делает подходы грубой силы невозможными. Квантовые вычисления могут радикально улучшить предсказания структуры молекул РНК, белков, комплексов ДНК-белок и других конструкций.

Такие достижения могут в конечном итоге помочь реализовать концепцию мощных моделей цифровых двойников. Органические цифровые двойники могут использоваться в фармакогеномном тестировании для прогнозирования реакции человека на определенные лекарства с течением времени, что поможет разработке точных медицинских методов лечения. Дополнительные неорганические цифровые двойники могут быть созданы для оптимизации исследовательских или медицинских учреждений путем сравнительного стресс-тестирования таких аспектов, как процедуры, уровень укомплектования персоналом, планировка учреждений и оборудование. Достижение того дня, когда медицинская бригада сможет сказать пациенту: «Основываясь на вашем геноме, мы уверены, что это будет конкретный результат вашего лечения», больше не может показаться чисто утопической целью.



Последовательность
Состав
Функция
Токсическое соединение
Белковые субъединицы
Клеточная мембрана
Меняет направление

РИСУНОК 20

Догма о последовательности-структуре-функции лежит в основе биологических исследований

Вариант использования: Улучшение результатов лечения пациентов за счет повышения эффективности открытия низкомолекулярных лекарств

Разработка и открытие низкомолекулярных лекарств всегда представляли собой сложный процесс оптимизации. Его цель: улучшение результатов лечения пациентов за счет разработки новой молекулы, активной против мишени, связанной с заболеванием, и одновременного снижения активности против тысяч других мишеней в организме, чтобы избежать побочных эффектов и опасной токсичности.

Для достижения этой цели обычно в ходе экспериментальных и вычислительных процессов проверяются от 200 000 до >10⁶ соединений, а несколько тысяч производятся и тестируются с помощью необходимого набора анализов. Здесь уже давно играют роль компьютеры, в основном за счет сходства и классификации. подходы для поддержки скрининга и детальной трехмерной структуры, а также энергетических расчетов для поддержки более точного целевого проектирования.

Квантовые вычисления имеют множество потенциальных применений при открытии лекарств. Эта технология может помочь оценить большее количество молекул-кандидатов и оценить их более точно, используя, например, методы классификации, подобные тем, которые используются при поиске свинцов и нецелевых скринингах. И это может повлиять на классификацию, связанную с поиском свинцов и моделированием отклонений от цели при оптимизации свинцов, а также на физическое моделирование, выполняемое при оптимизации свинцов, когда доступна трехмерная структура белка или хорошая модель.

Возможность изучать больше потенциально фармакологически активных молекул, помимо примерно 10⁷ органических и неорганических веществ, о которых на сегодняшний день сообщалось в научной литературе, важна. Фактически, общее число возможных соединений на основе углерода, молекулярные массы которых аналогичны массам живых систем, составляет около 10⁶⁰. Таким образом, остается еще много порядков неизведанного химического пространства для изучения, что явно представляет собой область большого потенциала. Это открывает возможности, например, для лучшей оценки сверхбольших библиотек малых органических молекул, которые теперь доступны для покупки с синтезом «по требованию».

Особенно точная оценка возможна посредством молекулярно-динамического моделирования комплексов белок-лиганд. Здесь квантовые вычисления могут предложить значительные преимущества для реализации гибридных подходов квантовой и молекулярной механики, а также для разработки основных параметров классического силового поля. Такие достижения будут применимы как к оптимизации свинца, так и к растущей области вычислительной химии процессов, например, при моделировании ферментативной реактивности и стереоселективности для поддержки биокатализа в производстве лекарств.

Вариант использования: Разработка новых биологических продуктов на основе предсказаний сворачивания белков

В отличие от низкомолекулярных препаратов, в случае биологических препаратов лекарством является белок или другая макромолекула. Биологические препараты, такие как антитела, инсулин и многие вакцины, используются на протяжении десятилетий. В последние годы фармацевтические компании все чаще нацеливают биологические препараты на лечение ряда заболеваний. Проектирование трехмерной структуры биологических препаратов важно для их функциональности, специфичности и стабильности.

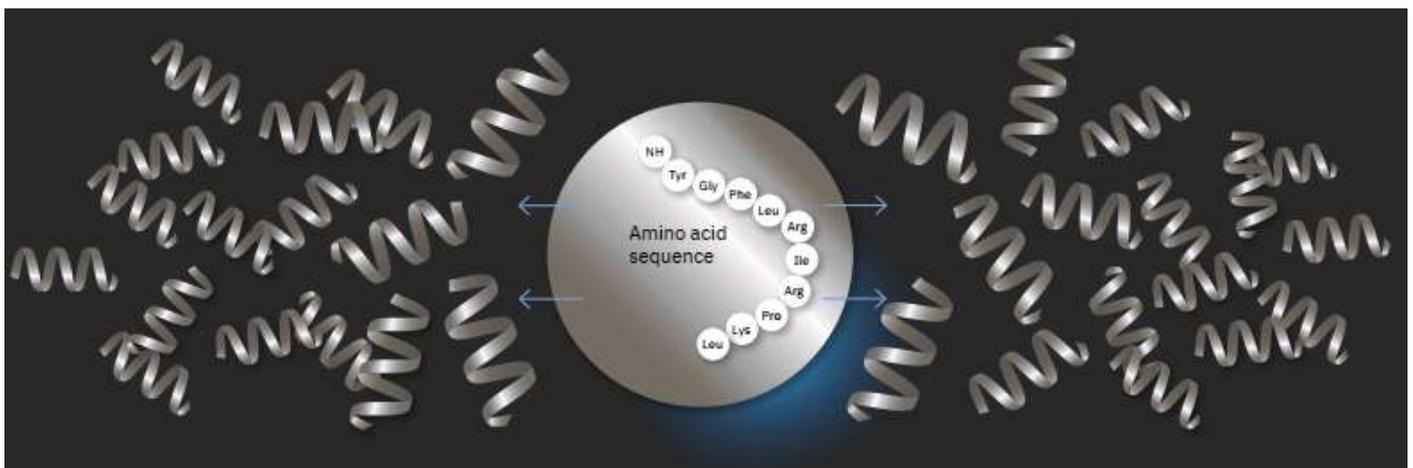
Реальные случаи моделирования белков включают исследование огромного количества возможных моделей сворачивания, как показано в парадоксе Левинталя (см. рисунок 21). Экспоненциальный рост потенциальных конформаций с увеличением длины цепи делает задачу сложной для классических компьютеров. Например, в одной модели цепочка из 20 аминокислот имеет 10⁹ потенциальных конформаций, а цепи из 60 и 100 аминокислот имеют 10²⁸ и 10⁴⁷ конформаций соответственно. Более того, в рамках

По определению биологического продукта, белок должен содержать более 40 аминокислот.

Хотя многие белки можно адекватно смоделировать по аналогии с известными структурами, важной и сложной целью проектирования является гипервариабельная петля НЗ в определяющей комплементарности области антител. Эта петля обычно содержит 3–20 остатков, но иногда она намного длиннее, и ее точное представление было предметом многочисленных исследований.

Квантовые вычисления потенциально способны решить многие из этих вычислительных задач — например, оценить большое количество возможных структур и определить наиболее вероятную из них. Недавняя публикация продемонстрировала, что квантовые вычисления могут определить пептид в двух общих конформациях, представленных на решетке: альфа-спираль и бета-лист — и использовал квантовый алгоритм для поиска. Также было показано, что квантовые вычисления могут радикально улучшить расчет силовых полей белков. По мере увеличения квантового объема способность квантовых вычислений выявлять дополнительные конформации соответственно возрастет. Недавний прогресс в предсказании структуры белка с помощью классических сетей глубокого обучения предполагает, что квантовые алгоритмы могут быть особенно ценными при изучении полипептидов с неприродными аминокислотами, где подходящие данные для обучения машинному обучению весьма ограничены.

Наконец, как и все потенциальные квантовые приложения, обсуждавшиеся ранее, квантовые вычисления могут обеспечить дальнейшие варианты использования в смежных областях. Например, биологические препараты, как правило, гораздо менее стабильны, чем низкомолекулярные лекарства. Оптимизация самой цепочки поставок биологических препаратов — от приготовления до отправки и, в конечном итоге, транспортировки в аптеки, больницы и даже дома — это сложный процесс, который также можно улучшить с помощью квантовых вычислений.



Аминокислотная последовательность

РИСУНОК 21

Парадокс Левинтала

Даже белок, содержащий всего 100 аминокислот, имеет около 1047 потенциальных конформаций. В действительности, однако, многие белки восстанавливают свою нативную структуру за считанные секунды.

Приложения квантовых вычислений: Логистика

В эпоху глобализации и международной торговли эффективное управление транспортом и логистикой имеет жизненно важное значение для здоровья экономики и общества в целом. Как показали события, связанные с пандемией COVID-19, сбои в логистике могут иметь катастрофические последствия как для операций между предприятиями, так и для поведения потребителей. В сегодняшнем взаимосвязанном цифровом мире стратегии логистики и цепочек поставок, пожалуй, важнее, чем когда-либо, и более сложны.

До пандемии среднестатистический потребитель не особо задумывался о том, как перевозятся продукты, которые он употреблял или ел, — он просто считал само собой разумеющимся, что продуктовые полки пополнены и все, что он хочет, уже доступно. Сейчас «цепочка поставок» стала

общепринятым жаргоном, и истории о сбоях доминируют в циклах новостей, поскольку нехватка мощностей, рост транспортных расходов и ускорение онлайн-торговли продолжают создавать проблемы.

Общей целью логистического предприятия является постоянная оптимизация операций — сложная задача, которую легче сказать, чем сделать. Даже во времена большей стабильности управление логистикой представляет собой сложную дисциплину, включающую сеть движущихся частей и систем, начиная от планирования логистики и заканчивая производством и поставками, хранением и распределением, а также транспортировкой/отгрузкой.

Организации полагаются на модели оптимизации логистики, которые помогают им сократить общие затраты, одновременно удовлетворяя ограничения по мощности и удовлетворяя спрос за счет эффективных закупок, производства, хранения, распределения и транспортировки. И чем больше информации участвует в уравнении логистики, тем лучше. Однако больше информации также означает более сложные модели, которые требуют экспоненциального увеличения вычислительной мощности. Сегодняшние поставщики логистических услуг сталкиваются со сложностями, которые расширяют границы их технологий. В масштабе эти проблемы сложно решить с помощью только классических вычислительных технологий.

Квантовые вычисления могут превратиться в мощный инструмент, который поможет решить некоторые из крупнейших сегодняшних проблем, связанных с транспортом и логистикой. Объединение возможностей квантовых вычислений с классическими компьютерами может помочь организациям решить ряд важных логистических задач. Мы рассматриваем три потенциальных варианта использования: доставка последней мили, управление сбоями и устойчивые морские маршруты.

Вариант использования: Доставка последней мили

Поскольку ожидания клиентов в отношении быстрого выполнения омниканальных заказов продолжают расти, оптимизация мультимодальных перевозок, особенно последней мили, является обязательной. Доставка последней мили, одна из самых горячих тем в мировой логистике, представляет собой огромную конкурентную возможность, чему способствует стремительный рост электронной коммерции. По прогнозам, к 2032 году рынок доставки последней мили, оцениваемый в 40,7 млрд долларов США в 2022 году, вырастет до 86,2 млрд долларов США²⁰¹.

Доставка «последней мили», возможно, самый дорогой и сложный этап в цепочке поставок, стала еще сложнее в условиях текущих потрясений. Пандемия еще больше способствовала развитию электронной коммерции. Изменение потребительских привычек и непредсказуемость спроса становятся все более обычным явлением. Способность быстро меняться имеет решающее значение для удовлетворения ожиданий потребителей. Однако существующие системы остаются фрагментированными и статичными и способны проводить лишь ограниченную оптимизацию крупномасштабных логистических сетей.

Чтобы подчеркнуть масштаб и сложность этой проблемы, вспомните, что в 2021 году средний ежедневный объем доставки UPS по всему миру составлял 25,2 миллиона посылок. Модели оптимизации такого размера расширяют границы классических вычислений и в то же время указывают на возможности квантовых вычислений.

Классические решения по доставке «последней мили» основаны на эвристике и требуют ограниченных входных данных. Реагировать на частые изменения и сдвиги спроса сложно и медленно. Пространство состояний многих задач оптимизации доставки «последней мили» становится сложнее в геометрической прогрессии с размером входных данных. Это приводит к решениям с большим разрывом в оптимальности (разрыв между приближенным решением и оптимальным решением) и длительным временем выполнения, а также иллюстрирует ограничения классических вычислений.

Исследования показывают, что квантовые алгоритмы обладают потенциалом для решения более крупных и сложных логистических задач. Эти алгоритмы могут способствовать более эффективному

поиску решений, открывая двери для открытия более прибыльных маршрутов доставки и лучшего управления автопарком.

Поддерживая глобальную оптимизацию маршрутизации и более частую повторную оптимизацию, квантовые компьютеры могут помочь значительно сократить расходы на грузовые перевозки «от двери до двери», а также повысить удовлетворенность клиентов. Прогресс в доставке «последней мили» может изменить правила игры в логистической отрасли: даже улучшение производительности на 1% может привести к ежегодной экономии в 400 миллионов долларов по всему миру.

Вариант использования: Управление сбоями

Хотя пандемия Covid-19 стала сильным потрясением для глобальных цепочек поставок, она стала лишь одним из таких потрясений за долгую историю – и уж точно не последним. Способность быстро и эффективно реагировать на дестабилизирующие события и управлять ими будет оставаться критически важной для логистических предприятий.

Лидеры отреагировали на изменения, внедрив интеллект и гибкость в свои цепочки поставок в стремлении радикально повысить производительность и устойчивость. Решения на основе данных являются ключом к этому сдвигу; 73% руководителей говорят, что признают стратегическую ценность данных, а 64% используют данные для выявления новых возможностей.

Возможность более точно моделировать последствия сбоев в логистике имеет решающее значение, что приводит к более быстрому реагированию и сокращению времени восстановления. Однако сложности управления международными парками самолетов, поездов, кораблей и грузовиков и обслуживания миллионов предприятий и потребителей расширяют пределы существующих систем управления сбоями.

Классические системы в основном основаны на правилах и состоят из ручных и специальных процессов. Разрозненные и последовательные, они дают ограниченную информацию для принятия безупречных решений по восстановлению. Они неоптимально обращаются с персоналом, оборудованием и материалами отдельно. Восстановление всей системы может занять от недели до более двух месяцев. Кроме того, сложные среды с многочисленными элементами и зависимостями могут порождать огромное количество сценариев сбоев. Однако в настоящее время моделирование обычно пытается найти только наиболее возможные сценарии, а не рассматривать все компоненты.

Квантовые вычисления могут способствовать более эффективному принятию решений за счет моделирования большего количества сценариев сбоев и количественной оценки их воздействия на различные части сети. Квантовые компьютеры, выполняющие анализ рисков и последствий, возможно, смогут сократить количество сценариев моделирования «что, если», необходимых для достижения наилучшего результата в пределах допустимых временных окон. Это может помочь сократить время восстановления, снизить затраты и уменьшить влияние на эксплуатацию и обслуживание клиентов. Кроме того, квантовое машинное обучение может обеспечить более точную классификацию и прогнозирование сбоев.

Улучшения в управлении сбоями могут иметь трансформационные последствия для транспорта и логистики, а также помочь сократить в среднем 184 миллиона долларов, потерянных во всем мире из-за сбоев в цепочках поставок.

Вариант использования: Устойчивые морские маршруты

Поскольку 90% мирового объема торговли осуществляется морем, оптимизация контейнерных перевозок является важным приоритетом морской логистики. Повышенные тарифы на морские перевозки за последние два года превратили глобальные контейнерные перевозки в рынок стоимостью 150 миллиардов долларов. Из-за дисбаланса в мировой торговле многие контейнеры отправляются пустыми, и эта практика становится все более дорогостоящей. Например, доставка 40-футового контейнера из Азии в Европу стоит от 15 000 до 20 000 долларов США по сравнению с 2 000 долларов США в 2019 году.

Классический подход к операциям по контейнерным перевозкам представляет собой сочетание человеческой интуиции и специальных решений по оптимизации. Хотя в некоторых портах и

терминалах применяется имитационное моделирование, решения зачастую носят локальный характер и требуют ограниченного ввода данных. Из-за нехватки данных многие решения о контейнерных перевозках принимаются «инстинктивно».

Учитывая непредвиденные обстоятельства, включающие в себя большой флот, а также неопределенности, такие как погода и колебания спроса, многие задачи оптимизации морских перевозок не могут быть точно решены с помощью классических компьютеров. Создание полезного решения даже для небольшой проблемы занимает много часов.

Однако квантовые алгоритмы могут обеспечить более точное моделирование. Более точное прогнозирование спроса и улучшение маршрутизации запасов в глобальном масштабе могут обеспечить более рациональные и устойчивые морские операции. Помимо удовлетворения социальных потребностей в улучшении качества воздуха и сокращении выбросов углекислого газа, усовершенствования в перестановке контейнеров могут сэкономить миллионы долларов в год.