

Квантово-классическая двухканальная сеть глубокого обучения для объяснимой классификации болезни Паркинсона

Источник: Frontiers in AI — Medicine

Оригинал: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/frai.2026.1807209>

болезнь Паркинсона

глубокое обучение

диагностика

квантовое машинное обучение

нейробиология

Введение

Болезнь Паркинсона (PD — Parkinson's disease) представляет собой прогрессирующее нейродегенеративное расстройство, вызванное потерей дофаминергических нейронов в **черной субстанции (substantia nigra)**, которое проявляется моторными и немоторными симптомами примерно у 2–3% населения мира старше 60 лет. Раннее обнаружение затруднено, так как симптомы выражены слабо и часто неотличимы от процессов нормального старения. Шкала оценки **MDS-UPDRS** (Movement Disorder Society-Unified Parkinson's Disease Rating Scale), являющаяся текущим клиническим стандартом, требует значительных временных затрат, субъективна и требует участия опытных клиницистов. Большинство вычислительных подходов являются унимодальными и не используют комбинацию изображений и структурированных клинических данных.

Методы

Мы предлагаем гибридную квантово-классическую двухканальную мультимодальную сеть, которая классифицирует пациентов с **PD** и здоровых лиц по нарисованным от руки спиралевидным и извилистым паттернам.

Первый канал, **Topological Visual-Spatial Feature Encoder Network (TVSFE)** (Сеть кодирования топологических визуально-пространственных признаков), использует CNN (сверточную нейронную сеть) на основе **ghost module** с блоками **Cross-Dimensional Attention Bottleneck (CDAB)** (узкое место перекрестного пространственного внимания), включающими **coordinate attention** (координатное внимание), **squeeze-and-excitation** (сжатие и возбуждение) и **triplet attention** (тройное внимание), за которыми следует квантовая вариационная схема с **amplitude embedding** (амплитудным эмбедингом). Второй канал, **Variational Quantum Feature Mapping Network (VQFMN)** (Вариационная сеть квантового отображения признаков), кодирует структурированные клинические и демографические данные через вращательные гейты **RY** и слои с сильной запутанностью. Выходные данные обоих каналов объединяются (конкатенируются) и проходят через полносвязные слои для классификации.

Результаты

На тестовом наборе данных **HandPD** модель достигла точности (**accuracy**) 97,28%, прецизионности (**precision**) 96,60%, полноты (**recall**) 96,62% и F1-меры (**F1-score**) 96,54%, превзойдя все сравниваемые базовые модели на основе CNN, трансформеров и машинного обучения (ML). Пятикратная перекрестная проверка показала среднюю точность 96,58%. На наборе данных **NewHandPD** показатели точности, прецизионности, полноты и F1-меры составили 95,45%.

Обсуждение

Квантово-классическое слияние превосходит как одномодальные, так и полностью классические варианты. Метод **Grad-CAM** локализует пространственные области изображения, определяющие классификацию, а анализ чувствительности на основе пертурбаций (возмущений) определяет среднеквадратичное отклонение (**RMS — Root Mean Square**) и возраст как наиболее влиятельные структурированные признаки. Сочетание этих методов делает логику модели прослеживаемой на уровне модальностей, что крайне важно для принятия клинических решений.

Перевод выполнен: 13.04.2026 | ai4med.ru

Машинный перевод. Рекомендуем сверять с оригиналом при клиническом использовании.