

FuzzyFed-CNN: безопасное и объяснимое мультимодальное федеративное обучение для ранней диагностики болезни Альцгеймера

Источник: Frontiers in AI — Medicine

Оригинал: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/frai.2026.1852196>

болезнь Альцгеймера

диагностика

мультимодальное обучение

нейровизуализация

объяснимый ИИ

федеративное обучение

Введение

Болезнь Альцгеймера (AD — Alzheimer's disease) представляет собой прогрессирующее нейродегенеративное состояние, которое оказывает значительное влияние на когнитивные нарушения и качество жизни. Своевременное вмешательство требует ранней и надежной диагностики пациента, однако современные диагностические системы часто сталкиваются с ограничениями, связанными с конфиденциальностью данных, отсутствием интерпретируемости и сложностью объединения гетерогенных клинических и визуализационных данных.

Цель

В предлагаемом исследовании представлена **FuzzyFed-CNN** — объяснимая и ориентированная на конфиденциальность мультимодальная система федеративного обучения (**FL — Federated Learning**), которая объединяет сверточные нейронные сети (**CNN — Convolutional Neural Networks**) и системы нечеткого вывода для улучшения раннего выявления **AD**, а также повышения интерпретируемости модели и конфиденциальности данных.

Методы

Предложенная структура включает извлечение признаков на основе **CNN** с использованием структурных МРТ-сканов в режиме **T1-взвешенного** изображения, а также использование логического вывода на основе нечетких правил с учетом демографических и нейропсихологических признаков, таких как возраст, баллы по шкале **MMSE (Mini-Mental State Examination — краткая шкала оценки психического статуса)** и объем гиппокампа. Эксперименты проводились с использованием подмножества наборов данных **ADNI (Alzheimer's Disease Neuroimaging Initiative)** и **OASIS-3 (Open Access Series of Imaging Studies)**. Обучение осуществлялось в условиях **FL** с использованием алгоритма **FedAvg**. Для оценки эффективности модели использовались метрики точности (**accuracy**), чувствительности (**sensitivity**), специфичности (**specificity**), **F1-score** и **AUC (Area Under the Curve — площадь под кривой)**.

Результаты

Эксперименты показали, что **FuzzyFed-CNN** достигает показателей точности 97,7%, чувствительности 98,0%, специфичности 99,0% и **F1-score** 98,0%. Предложенная структура показала лучшие результаты по сравнению с базовыми моделями, такими как **MobileNet**, **ResNet**, **DenseNet** и **EfficientNet**. Визуализация с помощью **Grad-CAM (Gradient-weighted Class Activation Mapping)** также подтвердила, что модель фокусирует внимание на клинически значимых областях мозга, включая гиппокамп и корковые области.

Заключение

Результаты демонстрируют, что сочетание мультимодального обучения, нечеткого логического вывода и федеративного обучения может быть использовано для достижения значительных улучшений в диагностике **AD** без нарушения конфиденциальности пациентов и с повышением интерпретируемости моделей.

Перевод выполнен: 17.07.2026 | ai4med.ru

Машинный перевод. Рекомендуем сверять с оригиналом при клиническом использовании.