

NeuroPlast: обучаемая функция активации, оцененная при дистилляции знаний для классификации медицинских изображений

Источник: Frontiers in AI — Medicine

Оригинал: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/frai.2026.1849571>

CNN

COVID-19

диагностика

дистилляция знаний

классификация изображений

онкология

радиология

функции активации

Глубокие нейронные сети для классификации медицинских изображений почти исключительно полагаются на фиксированные функции активации, такие как ReLU. Мы представляем NeuroPlast — параметрическую функцию активации, четыре дифференцируемых компонента которой (смещённый сигмоид, моделирующий вольтаж-зависимое гейтирование NMDA-типа; гауссово плато, вдохновлённое масштабированием AMPA-рецепторов; возбуждающий выпрямитель; и ингибирующий утечный ток) объединяются через шесть обучаемых параметров. Оцениваются две стратегии смешивания: статический вариант с фиксированными обученными весами и метапластический вариант, в котором коэффициенты смешивания адаптируются для каждого образца через лёгкий squeeze-excite модуль, обусловленный статистикой каналов. NeuroPlast встроен в NADN Ultra — остаточную свёрточную нейронную сеть (CNN) с 13,5 млн параметров и свёрточными блочными модулями внимания (CBAM), обученную полностью с нуля через двухфазный конвейер дистилляции знаний (KD). Учителем выступает тонко настроенная EfficientNet-B0; студент сочетает KD на уровне логитов с опциональными функциями выравнивания на уровне признаков. На четырёх бенчмарках медицинских изображений (MPT опухолей головного мозга, 7 200 изображений, 4 класса; рентген грудной клетки при пневмонии, 5 856 изображений, 2 класса; рак кожи HAM10000, 10 015 изображений, 7

классов; радиография COVID-19, 10 848 изображений, 2 класса), оценённых с помощью пятикратной стратифицированной кросс-валидации с 95% доверительными интервалами, статический вариант с KD достигает точности 99,4–99,5% на рентгенограммах COVID-19 при трёх сдвигах, на уровне предобученной EfficientNet-B0 (99,18%, в пределах шума репликации) и выше ResNet-18 (98,69%). Он закрывает 65% разрыва в точности на MPT опухолей головного мозга (98,29% против 99,13%), достигает 92,5% на рентгене грудной клетки при равномерном правиле балансировки классов и 79,5% на раке кожи при кросс-валидации, сгруппированной по типам поражений. Метапластический вариант достигает 99,28% на рентгенограммах COVID-19, всё ещё выше предобученных базовых моделей, но не стабильно превосходит статическую версию — негативный результат, проанализированный через абляционные эксперименты. На трёх табличных медицинских наборах данных, охватывающих три порядка величины по размеру выборки (от 569 до 253 680), NeuroPlast соответствует пяти устоявшимся функциям активации в пределах $\pm 1,7$ процентного пункта; при 253 тыс. образцов все активации сходятся в пределах 0,09 п.п. Наши результаты показывают, что дистилляция знаний является основным фактором, позволяющим архитектурам, обученным с нуля, приближаться к уровню производительности предобученных моделей на медицинских изображениях; при идентичном конвейере дистилляции NeuroPlast даёт небольшой, но стабильный выигрыш по сравнению с ReLU, GELU, Swish, Mish и PReLU, лидируя на всех четырёх бенчмарках изображений с отрывом менее одного пункта.