

К межцентровому обнаружению рака головы и шеи: исследование многоуровневого выравнивания доменов

Источник: Frontiers in AI — Medicine

Оригинал: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/frai.2026.1882547>

deep learning

domain adaptation

КТ

диагностика

медицинская визуализация

онкология

радиология

Введение

Модели глубокого обучения для обнаружения рака головы и шеи (РГШ) по данным компьютерной томографии (КТ) обладают значительным потенциалом для улучшения ранней диагностики — критически важной приоритетной задачи, учитывая, что 5-летняя выживаемость снижается с 84% при локализованном заболевании до 39% при метастатических случаях. Однако надёжное межцентровое развёртывание остаётся сложной задачей, поскольку производители сканеров, протоколы получения изображений, ядра реконструкции и популяции пациентов варьируются между больницами. Для решения этой проблемы мы предлагаем MDA-Net — многоуровневый фреймворк обобщения доменов для межцентральной 3D КТ-классификации. Окончательная конфигурация MDA-Net преднамеренно разработана как стратегия обобщения на этапе обучения: она не использует батчи целевого домена, метки целевого домена, статистику целевого домена или адаптивные обновления во время инференса. Вместо этого она выполняет единый прямой проход с фиксированными параметрами на каждом невидимом целевом объёме КТ.

Методы

Наш фреймворк интегрирует три взаимодополняющих уровня: (i) уровень входа — взвешенная выборка с обратной частотой, адаптация в частотной области Фурье (FDA) и аугментация Mixup для смягчения дисбаланса классов и диверсификации стилей источников; (ii) уровень признаков — 3D ResNet-18 с улучшенной IBN, DANN и CORAL для обучения инвариантных к стилю и статистически выровненных представлений; и (iii) уровень оптимизации — минимизация с учётом остроты (SAM) и стохастическое усреднение весов (SWA) для стабилизации обучения при возмущении стиля. Мы оцениваем MDA-Net на многоцентровом наборе данных, включающем 1 081 случай из трёх больниц, в рамках строгого протокола с исключением одного центра.

Результаты

На основном целевом домене Фошань MDA-Net улучшает AUC с 0,5121 до 0,5869 и ACC с 0,4829 до 0,6000; обратная валидация на другом удерживаемом центре дополнительно даёт AUC = 0,5887. Наша пошаговая абляция демонстрирует, что IBN обеспечивает наибольший прирост от одного компонента, в то время как FDA и CORAL становятся полезными только в сочетании с SAM, SWA, Mixup и умеренным адверсарным весом $\lambda = 0,1$.

Выводы

Эти результаты позиционируют MDA-Net как исследовательскую, но практичную, сохраняющую конфиденциальность и вычислительно эффективную стратегию обобщения доменов для межцентрового обнаружения РГШ.