CB-GFL: федеративное обучение с углеродным бюджетом и блокчейн-аудитом для медицинских приложений

Источник: Frontiers in Digital Health

Оригинал: https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fdgth.2026.1961099

блокчейн | защита данных | онкология/кардиология (прогноз) | оптимизация | устойчивое развитие | федеративное обучение

Искусственный интеллект (ИИ) в сфере здравоохранения усложнил задачи защиты данных пациентов, обеспечения производительности предсказаний и экологической устойчивости в системах федеративного обучения (FL). Платформа для устойчивых приложений в здравоохранении, Carbon-Budgeted Green Federated Learning (CB-GFL), объединяет выбор клиентов с учетом углеродного следа, аудит на основе блокчейна и энергоэффективное совместное обучение.

В рамках этой системы интегрированы: (i) стратегия выбора клиентов, учитывающая углеродный бюджет, сформулированная как задача оптимизации рюкзак 0–1 с гарантией жадного приближения примерно 63,2%; (ii) слой аудита на основе блокчейна, состоящий из трех смарт-контрактов: Carbon Budget Ledger (Углеродный бюджетный реестр), Energy Verification Contract (Контверт верификации энергии) и Incentive/Penalty Contract (Контракт поощрений/штрафов), защищенный неизменяемыми записями на основе хеш-функции SHA-256; и (iii) модель ансамблевого обучения, сочетающая LightGBM, XGBoost и Gradient Boosting с ресемплированием SMOTEENN.

Все эксперименты проводились в смоделированной среде федеративного обучения, где клиенты выполнялись на одной машине. CB-GFL достиг AUC = 0,9113 на бенчмарке UCI 4-site (4 больницы, 3 страны, n = 920), превысив порог 0,90, и AUC = 0,7138 на наборе данных Framingham, что соответствует клиническому золотому стандарту в диапазоне 0,70–0,75.

В сбалансированной рабочей точке экспериментальные результаты показывают 83,61% точности классификации, 82,34% взвешенного показателя F1, 0,7138 AUC-ROC, 0,2771 MCC и 72,07% чувствительности в конфигурации скрининга. Предложенная система обеспечивает 100% соблюдение углеродного бюджета и 74-блочный защищенный от изменений журнал аудита блокчейна для обеспечения энергетической ответственности.

Сравнение с 11 алгоритмами-бенчмарками показывает, что реалистичные предсказательные качества набора данных составляют 0,14–0,29. Кроме того, пятикратная перекрестная проверка показывает стабильную обобщающую способность со средней точностью 84,25% ± 1,03%. Результаты показывают, что CB-GFL поддерживает устойчивое внедрение ИИ и конфиденциальное, учитывающее углеродный след, аудируемое федеративное здравоохранение на основе ИИ.

Перевод выполнен: 31.10.2026 | ai4med.ru

Машинный перевод. Рекомендуем сверять с оригиналом при клиническом использовании.