

Структура федеративного машинного обучения с туманными вычислениями и метод выборки пользовательских устройств на основе динамического порога

В.Т. Данг, Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича (СПбГУТ), аспирант кафедры сетей связи и передачи данных; dangvanthang_sut@mail.ru

А.Н. Волков, СПбГУТ, доцент кафедры сетей связи и передачи данных, д.т.н.; artem.nv@sut.ru

УДК 621.391

DOI: 10.34832/ELSV.2026.79.5.002

Аннотация. В статье предлагается структура, объединяющая федеративное машинное обучение и туманные вычисления, а также метод выборки пользовательских устройств на основе динамического порога скорости изменения градиента функции потерь, адаптивно вычисляемого в каждом раунде обучения на основе среднего значения и стандартного отклонения скорости изменения градиента по всем участвующим устройствам. Эффективность разработанного решения подтверждается результатами моделирования на наборах данных MNIST и CIFAR-10. Результаты показывают, что предложенный метод позволяет снизить объем сетевого взаимодействия между устройствами с локальными моделями и центральным сервером до 39% по сравнению со стандартной моделью федеративного обучения при сохранении необходимого уровня сходимости, времени обучения и точности модели.

Ключевые слова: федеративное машинное обучение, туманные вычисления, выборка пользовательских устройств, динамическое пороговое значение.

Для цитирования: Данг, В.Т. Структура федеративного машинного обучения с туманными вычислениями и метод выборки пользовательских устройств на основе динамического порога / В.Т. Данг, А.Н. Волков // Электросвязь. – 2026. – № 5. – С. 13-25.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время интернет вещей (IoT) играет ключевую роль в современных услугах связи, а также интеллектуальных приложениях. IoT стал технологическим фундаментом становления национальных программ цифровой экономики и экономики данных, реализующихся не только в Российской Федерации, но и во многих других странах мира. Интернет вещей скорректировал вектор развития сетей связи, в том числе позволил вести исследования и разработки в таких направлениях, как метавселенные (сетевые вселенные), костюмы телеприсутствия и т.д. По данным компании Cisco, количество подключенных IoT-устройств в 2025 г. составило 75 млрд, что в 2,5 раза превысило аналогичный показатель 2020 года [1]. Интеграция устройств IoT со сложными датчиками привела к их использованию в различных приложениях. Спрос на приложения IoT, чувствительные к временной задержке и качеству сигнала, в настоящее время высок, что требует наличия доступной и устойчиво работающей инфраструктуры. Однако управление разнообразными децентрализованными

данными IoT при предоставлении услуг в соответствии со стандартами с использованием одной лишь облачной инфраструктуры представляется затруднительным. Туманные вычисления представляют собой парадигму распределенных облачных вычислений, где в качестве вычислительных узлов используется граничное сетевое и серверное оборудование, а также пользовательские устройства, включая сети IoT-устройств, что в свою очередь формирует разнообразные гетерогенные вычислительные структуры сети. Технология туманных вычислений реализует принципы облачных вычислений для выполнения обширных распределенных операций, включающих удаленную координацию ресурсов [2]. В то время как традиционные централизованные облачные архитектуры продемонстрировали свою неготовность к услугам реального времени, требующим низкую временную задержку и высокое качество сигнала, например, таким как телеприсутствие и голографическая связь [3, 4].

При использовании стандартных методов машинного обучения (machine learning, ML) наборы