

Федеративное глубокое обучение с подкреплением для сетевых пограничных вычислений на основе прогнозирования в мобильных сетях 6G

Х.А.Я. Ясир, Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича (СПбГУТ), аспирант кафедры сетей связи и передачи данных (ССиПД); yasir.hay@sut.ru
А.С.А. Мутханна, СПбГУТ, профессор кафедры ССиПД, д.т.н.; muthanna.asa@sut.ru

УДК 621.391

DOI: 10.34832/ELSV.2026.79.5.006

Аннотация. В статье рассматривается использование федеративного глубокого обучения с подкреплением (*Federated Deep Reinforcement Learning, FDRL*) для оптимизации сетевой нагрузки с применением пограничных вычислений в мобильных сетях 6G. В данной работе рассматриваются 10 граничных узлов, на каждом из которых для определения решения о разгрузке/перераспределении в зависимости от текущих и прогнозируемых характеристик нагрузки и ресурсов используются агенты FDRL (размер пространства состояний $S=5$, размер пространства действий $A=3$). За локальным обучением каждого агента FDRL следует агрегация параметров модели на сервере с использованием метода FDRL, после чего обновленная глобальная политика распределяется по узлам. Моделирование в MATLAB ($E=100$ эпизодов) показывает снижение общей сетевой нагрузки/задержки с 363 мс до 117 мс (снижение на 68%). Эти результаты показывают, что FDRL можно использовать для адаптивной разгрузки в пограничных сетях 6G, учитывая низкие объемы передачи необработанных данных.

Ключевые слова: федеративное глубокое обучение с подкреплением, сети 6G, edge-computing, сетевая нагрузка, оптимизация сетей.

Для цитирования: Ясир, Х.А.Я. Федеративное глубокое обучение с подкреплением для сетевых пограничных вычислений на основе прогнозирования в мобильных сетях 6G / Х.А.Я. Ясир, А.С.А. Мутханна // Электросвязь. – 2026. – №5. – С. 54-60.

ВВЕДЕНИЕ

В течение последних нескольких лет сетевые технологии развиваются достаточно быстро и интенсивно, что последовательно и закономерно приводит к эпохе 6G с гораздо более строгими и более разнородными требованиями к сети, например, с повышенными скоростями передачи данных, высокой пропускной способностью сети, сверхнизкой задержкой и множеством подключенных устройств – подобные требования по сути являются новыми вызовами для исследователей [1, 2]. Существует несколько возможных решений данных задач. Например, может быть использована концепция сетевого сегментирования, ставшая возможной благодаря новым технологиям программно-определяемых сетей и виртуализации сетевых функций. Она направлена на создание множества виртуальных и логически разделенных сетей путем разработки гибких и высокоадаптивных коммуникационных сетей. Концепция сетевого сегментирования значительно продвинулась в соответствии со специфическими требованиями клиентов, а также новыми появляющимися приложениями, и считается фундаментальной технологией для удовлетворения специфических требований в контексте системы 6G. С другой стороны, концепция сетевого

сегментирования, основанная на физических объектах для предоставления персонализированных услуг связи для пользовательского оборудования (user equipment, UE), зависит от физических объектов для создания топологии виртуальной сети и разработки стратегий распределения ресурсов. Она также связана с услугами и пользовательским оборудованием [3, 4]. В этих обстоятельствах, когда обслуживающие срезы UE перемещаются между областями, в текущих сеансах между каждой парой перемещающихся UE и срезов может наблюдаться ухудшение качества обслуживания (QoS) и, таким образом, нарушаться непрерывность обслуживания [1, 5]. Кроме того, динамически меняющиеся запросы от связанных UE также требуют, чтобы срезы быстро корректировали свои ресурсы предоставления, что может привести к проблемам с доступностью ресурсов. Все эти проблемы еще больше усугубятся в сетях 6G из-за постоянно растущего числа подключенных устройств, а также новых сценариев использования, предполагающих высокую степень мобильности [2]. В рассматриваемой парадигме управления сетевыми сегментами (network slice management, NSM) сетевой сегмент состоит из ряда виртуальных сетевых функций (virtualized network function, VNF), способных сво-