

Проблемы и задачи исследований в области интеллектуальных граничных вычислений для сетей автотранспорта

Ахмед Аль-Анси, М. А. Виноцкий, Е. В. Дусталев, А. Е. Кучерявый

*Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций
им. проф. М.А. Бонч-Бруевича*

ahmedalansi16@gmail.com, m.vinitsky48@gmail.com, evgenyustalev@gmail.com, akouch@sut.ru

Аннотация. Использование интеллектуальных граничных вычислений и методов искусственного интеллекта позволит обеспечить низкие задержки и повысить эффективность управления транспортными системами. Однако, объединение интеллектуальных транспортных систем и граничных вычислений сталкивается с множеством вызовов, таких как: ограниченность ресурсов граничных узлов и сложность управления распределёнными вычислениями. В данной статье рассматриваются проблемы и направления исследований в области интеллектуальных граничных вычислений для сетей автотранспорта, а также обозначены перспективные направления их решения.

Ключевые слова: транспортные граничные вычисления, интеллектуальные транспортные системы, распределение ресурсов, IEC, V2X, 6G

I. ВВЕДЕНИЕ

Развитие интеллектуальных транспортных систем и переход к сетям связи нового поколения формируют принципиально новые требования к обработке данных и управлению автотранспортом. В условиях роста числа подключенных транспортных средств, распространения технологий V2X и усложнения дорожной инфраструктуры традиционные централизованные модели вычислений, основанные на облачных платформах, оказываются недостаточно эффективными из-за высоких задержек, перегрузки сетей и ограниченной адаптивности к динамическим условиям дорожной среды.

Одним из ключевых направлений эволюции сетевых архитектур становится концепция интеллектуальных граничных вычислений (Intelligent Edge Computing, IEC) [1], предполагающая перенос вычислительных ресурсов и алгоритмов искусственного интеллекта ближе к источникам данных, таких как транспортные средства и узлы дорожной инфраструктуры [2].

Современные исследования демонстрируют, что интеграция edge computing с механизмами программно-определяемых сетей и распределённого машинного обучения позволяет формировать иерархические вычислительные среды, в которых функции анализа, прогнозирования и управления распределяются между устройствами, граничными узлами и облаком. Такой подход открывает возможности для реализации сложных сценариев взаимодействия в сетях автотранспорта. При этом, переход к интеллектуальным граничным вычислениям в транспортных сетях сопровождается рядом нерешенных проблем, связанных с ограниченностью ресурсов граничных узлов,

необходимостью обеспечения надежной и защищенной коммуникации, сложностью маршрутизации сервисов, оркестрации ресурсов распределенных вычислений и управлением качеством обслуживания в условиях высокой динамики сети. Также, объектами исследований являются вызовы, возникающие при интеграции разнородных устройств, обеспечении совместимости протоколов и реализации механизмов коллективного обучения без передачи чувствительных данных.

В связи с этим актуальной научной задачей является систематизация проблем и определение направлений исследований в области интеллектуальных граничных вычислений для сетей автотранспорта, включая разработку архитектурных решений, методов распределенного управления и алгоритмов обработки данных, обеспечивающих требуемый уровень эффективности, надежности и безопасности.

II. ОБЗОР ТЕХНОЛОГИИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ГРАНИЧНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

Отличительными особенностями IEC являются близость к конечным пользователям, поддержка мобильности и высокая плотность географического размещения серверов IEC. IEC расширяет возможности сетей 5G, поскольку снижает задержку и повышает эффективность использования пропускной способности. К основным характеристикам IEC, согласно официальному документу ETSI [3], относятся близость к пользователю, сверхнизкая задержка, высокая пропускная способность и виртуализация. Локальное размещение: IEC может работать в автономных средах (например, IEC может работать изолированно от остальной сети) и иметь доступ к локальным ресурсам. Близость к пользователю: как правило, серверы IEC размещаются рядом с конечными пользователями устройств, поэтому IEC может собирать данные от пользователей для различных целей, таких как анализ данных и/или обработка больших данных с применением искусственного интеллекта. Такой подход позволяет реализовывать множество сценариев для автомобильных сетей в рамках концепции V2X, где транспортные средства представляют собой распределенную инфраструктуру с возможностью коммуникации и предоставления вычислительных ресурсов. Так как ключевым требованием для реализации множества сервисов обеспечения транспортной безопасности является задержка на распространение – IEC является технологией, позволяющей реализовывать сервисы с указанной задержкой.

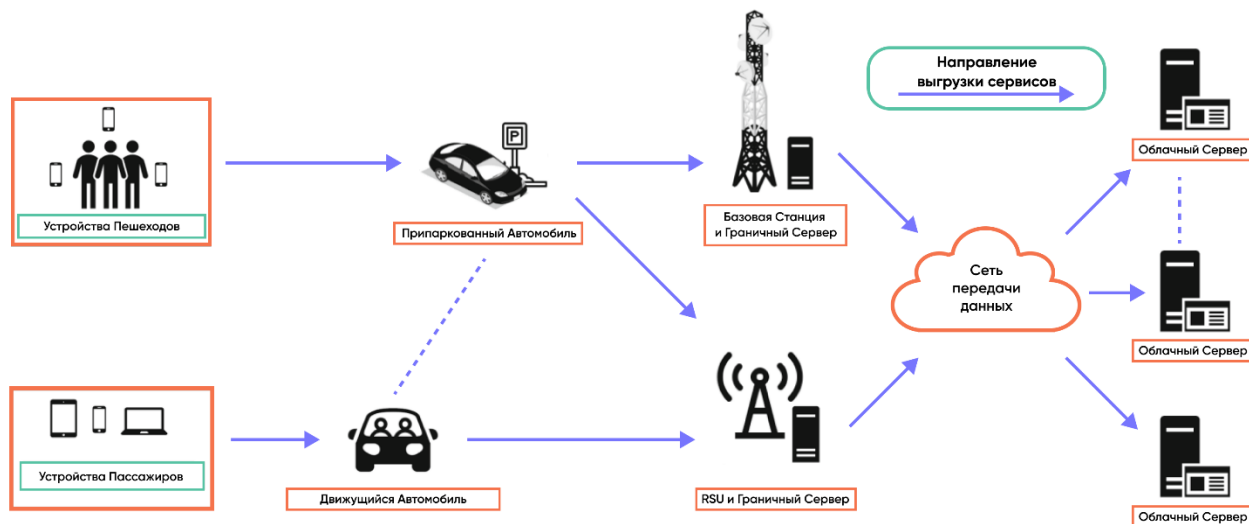


Рис. 1. Архитектура сети транспортных граничных вычислений

III. ВЫЗОВЫ В ОБЛАСТИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ГРАНИЧНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

Однако для внедрения ИЕС в инфраструктуру предоставления сервисов V2X есть ряд вопросов, которые необходимо рассмотреть:

- **Открытость сети:** основные проблемы связаны с открытостью периферийных устройств мобильных сетей, когда операторы мобильной связи будут вынуждены контролировать всю отраслевую цепочку и бизнес-риски, связанные с поставщиками оборудования.
- **Множество сервисов и процессов.** Разработчики интеллектуальных транспортных систем такие как разработчики приложений, поставщики контента, операторы OTT и производители сетевого оборудования, будут вынуждены внедрять универсальную систему с кластерами серверов ИЕС. Все участники процесса сталкиваются с необходимостью внедрения новых бизнес-моделей и цепочек создания ценности.
- **Надежность и отказоустойчивость.** При интеграции интеллектуальных сетей в базовую станцию мобильной связи необходимо обеспечить надежность сервера ИЕС и гарантировать, что интеграция между ними не повлияет на доступность мобильной сети.
- **Конфиденциальность и безопасность.** Интеграция периферийных интеллектуальных вычислений и других коммуникационных систем порождает множество проблем, связанных с безопасностью и конфиденциальностью пользователей и организаций. Например, угрозы безопасности, связанные с кибератаками, требуют более пристального внимания к защите конфиденциальности при анализе данных различных пользователей.

IV. НЕРЕШЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ

Согласно результатам исследований в области межмашинного взаимодействия существует ряд

проблем. Эти проблемы относятся к категории нерешенных, и требуют дальнейшего изучения.

- **Стандартный протокол:** ИЕС – это современная технология, которая проходит этапы внедрения и требует стандартизации, основанной на сотрудничестве представителей отрасли и исследователей в рамках фокус группы для создания единой согласованной платформы [4].
- **Эффективное развертывание:** Задержку можно свести к минимуму за счет оптимизации использования пропускной способности при эффективном развертывании ИЕС. Однако задача оптимизации может оказаться непростой задачей из-за зависимости от сложных системных компонентов.
- **Мобильность и прозрачность.** Предоставление бесперебойных услуг клиентам, которые «всегда в пути», еще одна сложная задача в среде ИЕС с ее прозрачным процессом миграции и разнородностью платформ, которым необходимо обеспечить эстафетную передачу между базовыми станциями высокомообильных объектов.
- **Гетерогенность и масштабируемость.** Поскольку в устройствах используются различные технологии доступа, в том числе 4G, 5G, Wi-Fi и Wi-Max, необходимо обеспечить бесперебойную работу ИЕС. Это также предполагает обеспечение масштабируемости для различных платформ с различным количеством пользователей [5,6].
- **Доступность и безопасность.** Доступность ресурсов часто зависит от мощности сервера и беспроводного доступа для обеспечения стабильного обслуживания. Помимо доступности, защита данных и приложений от любых хакерских атак должна обеспечиваться физическими мерами, так как высока вероятность атак с подменой.
- **Взаимодействие между облачными системами fog.** В любой сквозной системе необходимо учитывать три различных аспекта, когда речь заходит о проблемах взаимодействия шлюзов

и/или узлов fog. Различия в способах коммуникации, то есть в способах связи между шлюзом/узлами туманной сети и облачным сервисом (публичным или частным), а также в способах связи между шлюзом/узлом туманной сети и периферийными сетями/объектами/сенсорными сетями или между самими шлюзами/узлами туманной сети, чтобы они могли обмениваться данными без подключения к облаку.

- Управление данными: к обязательным требованиям управления данными относятся (но не ограничиваются ими) [7]:

1. Нормализация данных, то есть объединение, согласование и обогащение данных из различных источников (объектов, устройств и датчиков) в единую модель данных с понятными обозначениями.

2. Фильтрация и запросы к данным, чтобы приложения и аналитические системы могли эффективно получать доступ к связанным данным и использовать их.

3. Интеграция с периферийной аналитикой. Задачей сбора данных является анализ, получение новых практических выводов, принятие решений и их реализация. Преобразование данных в различные представления и форматы для интеграции с экосистемой (Интернета вещей). Сбор абстрактных данных и/или метаданных для подготовки к локальному анализу или их передаче в облачные сервисы [7].

Кроме того, необходимо решить множество новых задач, чтобы создать экосистему, в которой все участники сети (то есть пользователи интернета вещей, поставщики услуг/инфраструктуры и операторы мобильной связи) смогут пользоваться ИЕС сервисами. Эти задачи можно сформулировать следующим образом [7]:

- Распределенное управление ресурсами. Распределение ресурсов является важной задачей для успеха ИЕС из-за ограниченности ресурсов, растущего числа приложений и значительного увеличения мобильного трафика [8,9]. Многоцелевая оптимизация распределения ресурсов отличается в разных ситуациях из-за разнообразной природы приложений, разнородных серверов ИЕС, различных требований/характеристик пользователей и характеристик подключения каналов. При большом количестве пользователей беспроводной канал будет работать с перебоями, и конкуренция между пользователями за вычислительные ресурсы станет чрезвычайно острой [10]. Несмотря на то, что централизованный подход может обеспечить конкурентоспособную производительность, он страдает от низкой вычислительной сложности и огромных затрат на отчетность. Поэтому централизованный подход не подходит для распределенных систем управления энергопотреблением. Кроме того, может отсутствовать выделенная магистральная сеть для обмена информацией и разгрузки учетных записей, а если она и есть, то беспроводное соединение может быть перегружено из-за большого объема передаваемых данных.

- Надежность и мобильность. Управление мобильностью и обеспечение надежности в таких условиях в условиях 5G непростая задача. Во-первых, при использовании нескольких небольших серверов мобильность пользователей может приводить к частым сбоям в доставке данных, что влечет за собой перебои в работе сервисов и влияет на общую производительность сети. Кроме того, пользователи (например, транспортные средства) могут перемещаться в новые локации в течение отчетного периода. В таком случае пользователи могут быть не в состоянии получить ответ от используемого сервиса, поскольку они уже вышли из зоны обслуживания своих серверов. Таким образом, эффективные формы дампа вычислений необходимы для завершения работы приложения. Кроме того, динамическое изменение количества пользователей, выполняющих «разгрузку» приводит к случайным помехам в восходящей линии связи и изменению вычислительных ресурсов с течением времени. Наконец, предоставление надежных услуг ИЕС в мобильных средах является действительно сложной задачей из-за изменяющейся во времени динамики беспроводной связи и мобильности пользователей.
- Интеграция в сеть и переносимость приложений. Серверы ИЕС можно размещать в различных точках сети радиодоступа в зависимости от конкретных технологий, а также технических и бизнес-требований. Таким образом, еще одной важной задачей является бесшовная интеграция ИЕС в существующую магистральную сетевую архитектуру и интерфейсы. Наличие ИЕС и поддерживаемых приложений не должно влиять на базовые стандарты сетевого и периферийного оборудования. Согласно [11], ключевым компонентом интеграции ИЕС является способность ИЕС взаимодействовать с сетями 5G для управления трафиком и получения соответствующей управляющей информации. Кроме того, миграция приложений сопряжена с так называемыми требованиями к применимости. Это избавляет разработчиков от необходимости создавать несколько версий различных систем ИЕС.
- Совместное использование ИЕС и Cloud Central. Облачные распределенные центры с обширными вычислительными ресурсами могут обрабатывать большие массивы данных практически мгновенно и поддерживать большое количество пользователей. Однако распределенные ИЕС очень востребованы, поскольку вычисления на периферии сети не только удовлетворяют потребности пользователей, но и сокращают сквозные задержки, вызванные перегрузками и задержками при передаче данных. По сравнению с архитектурой HetNet, иерархическая реализация ИЕС, то есть разделение на пользовательские уровни, терминальные и облачные вычисления, очень

выгодна. Таким образом, поставщик ИЕС также внедряет вычислительные ресурсы в небольшие базовые станции, чтобы использовать преимущества HetNet для диверсификации беспроводной передачи данных и снижения требований к вычислительным ресурсам. Стоит отметить, что распределенная ИЕС может не располагать достаточными вычислительными ресурсами для обработки всех запросов к учетной записи, а полная зависимость от облака создает проблемы при предоставлении критически важных услуг с задержкой. Таким образом, самоочевидно распределять критически важные учетные записи с большим объемом данных и задержками на распределенных серверах ИЕС, одновременно перемещая задачи, требующие больших затрат и устойчивые к задержкам, в центрах обработки данных. Сосуществование распределенной ИЕС и облачного ядра является важной проблемой, и необходимы дополнительные исследования для изучения их взаимодействия.

- Сосуществование трафика human-to-human и трафика ИЕС. Интеграция традиционного трафика "от человека к человеку" (H2H) (например, голоса, данных и видео) и трафика ИЕС в сети 5G является сложной задачей из-за большого количества сопряженных IoT-соединений с различными сетями. требования к качеству обслуживания и уникальные характеристики движения ИЕС [12]. Например, система «Интернет вещей» состоит из устройств человеческого типа (human-type devices (HTDs)) и устройств машинного типа (machine-type devices (MTDs)), на которых могут работать различные типы приложений.

V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Интеллектуальные граничные вычисления имеют большой потенциал применения в сетях автотранспорта (V2X) Их разработка и стандартизация остается актуальной задачей, охватывающей многие аспекты: архитектуры, методы взаимодействия, протоколы, сигнализация, обеспечение QoS, тестирование и многое

другое. При этом, разработка методов распределения ресурсов для сетей автотранспорта являются особым объектом стандартизации, нуждающемся в доработках.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Survey on Intelligence Edge Computing in 6G: Characteristics, Challenges, Potential Use Cases, and Market Drivers: Al-Ansi, A., Al-Ansi, A.M., Muthanna, A., Elgendy, I.A., & Koucheryavy, A. (2023). *Electronics*, 12(4), 957.
- [2] Виницкий М.А., Дусталев Е.В., Иванова В.А. Intelligent transport system: key drivers and barriers [Интеллектуальные транспортные системы: ключевые факторы и барьеры] // Вестник факультета социальных технологий и экономики данных. СПбГУТ. Санкт-Петербург, 2024. С. 626-630.
- [3] Patel M., Naughton B., Chan C., Sprecher N., Abeta S., Neal A. Mobile-edge computing introductory technical white paper // White Paper Mobile Edge Computing (MEC) Industry Initiative. 2014. Т.29. С. 854-864.
- [4] Ahmed E., Rehmani M. H. Mobile edge computing: Opportunities, solutions, and challenges // *Future Generation Computer Systems*. 2017. Т. 70. С. 59-63.
- [5] Hung S.H., Shih C.S., Shieh J.P., Lee C.P., Huang Y.H. Executing mobile applications on the cloud: Framework and issues // *Computers & Mathematics with Applications*. 2012. Т. 63. С. 573-587.
- [6] Chun B.G., Ihm S., Maniatis P., Naik M., Patti A. Clonecloud: Elastic execution between mobile device and cloud // *Proceedings of the Sixth Conference on Computer Systems*. Salzburg, Austria, 11-13 April 2011. С. 301-314.
- [7] Pham Q.V., Fang F., Ha V.N., Piran M.J., Le M., Le L.B., Hwang W.J., Ding Z. A survey of multi-access edge computing in 5G and beyond: fundamentals, technology integration, and state-of-the-art // *IEEE Access*. 2020. Т. 8. С. 116974–117017.
- [8] Pham Q.V., Hwang W.J. Resource allocation for heterogeneous traffic in complex communication networks // *IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs*. 2016. Т. 63. С. 959–963.
- [9] Elgendy I.A., Zhang W., Tian Y.C., Li K. Resource allocation and computation offloading with data security for mobile edge computing // *Future Generation Computer Systems*. 2019. Т. 100. С. 531–541.
- [10] Lyu X., Tian H., Sengul C., Zhang P. Multiuser joint task offloading and resource optimization in proximate clouds // *IEEE Transactions on Vehicular Technology*. 2016. Т. 66. С. 3435–3447.
- [11] Kekki S., Featherstone W., Fang Y., Kuure P., Li A., Ranjan A., Purkayastha D., Jiangping F., Frydman D., Verin G. [и др.] MEC in 5G networks // *ETSI White Paper*. 2018. № 28. С. 1–28.
- [12] Levesque M., Aurzada F., Maier M., Joós G. Coexistence analysis of H2H and M2M traffic in FiWi smart grid communications infrastructures based on multi-tier business models // *IEEE Transactions on Communications*. 2014. Т. 62. С. 3931–3942.