

Инфокоммуникационные технологии и системы Infocommunication Technologies and Systems

Научная статья
УДК 004.75
doi: 10.14529/ctcr220105

ГИБРИДНАЯ МОДЕЛЬ ЭФФЕКТИВНОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ДАННЫХ В БЕСПРОВОДНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СЕТЯХ С ДИНАМИЧЕСКОЙ ТОПОЛОГИЕЙ VANET

Ирина Павловна Болодурина¹, Любовь Сергеевна Гришина²,
Артур Юрьевич Жигалов³, Денис Игоревич Парфёнов⁴

^{1, 2, 3, 4} Оренбургский государственный университет, г. Оренбург, Россия

¹ prmat@mail.osu.ru

² grishina_ls@inbox.ru

³ leroy137.artur@gmail.com

⁴ parfenovdi@mail.ru

Аннотация. В настоящий момент системы информирования о дорожном движении требуют агрегирования больших данных для предоставления рекомендаций транспортным средствам в действующих условиях, что приводит к повышению комфорта пользователей. Основным инструментом повышения уровня безопасности стало своевременное информирование участников движения о текущей ситуации на дороге, погодных условиях и т. п. В этом случае если объект сети будет подвержен атаке и данные при передаче будут заменены, то по всей зоне видимости сегмента VANET возможно раскрытие конфиденциальной информации, создание аварийных ситуаций и т. д. В этой связи наиболее остро встает вопрос обеспечения безопасности, в том числе при передаче трафика, и проведения дополнительного анализа больших данных об аномалиях и проводимых несанкционированных действиях. **Цель исследования.** Разработать гибридную модель эффективного размещения исходных и промежуточных данных в беспроводных транспортных сетях с динамической топологией VANET, являющуюся по сути структурным представлением программно-конфигурируемой сети и инструментов проведения граничных вычислений, с возможностью оптимально относительно времени анализировать данные узлов сети и выявлять аномалии. **Методы.** Рассмотренный подход Edge computing состоит в расположении вычислительных мощностей в географически распределенных вычислительных устройствах ближе к конечным пользователям. Программно-конфигурируемые сети SDN передают часть функций управления и физической передачи с маршрутизаторов и коммутаторов, уменьшая нагрузку. В рамках данного исследования разработан алгоритм RD – протокол передачи и обработки промежуточных данных. Для проведения кластеризации ТС на сегменте сети использован метод обучения без учителя DBSCAN. Предварительный анализ аномального трафика проведен на основе моделей нейронных сетей RNN с кратковременной памятью. **Результаты.** Разработанная гибридная модель эффективного размещения исходных и промежуточных данных позволяет быстрее реагировать на несанкционированные действия. **Заключение.** Результаты, полученные в ходе проведенного исследования, подтверждают необходимость внедрения и масштабирования гибридной модели с граничными вычислениями на практике.

Ключевые слова: VANET, гибридная модель, программно-конфигурируемые сети, граничные вычисления, метод DBSCAN, нейронные сети RNN

Благодарности: Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-57-53019, гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки ведущих научных школ Российской Федерации (НШ-2502.2020.9), а также стипендии Президента Российской Федерации молодым ученым и аспирантам (СП-3652.2021.5).

Для цитирования: Гибридная модель эффективного представления данных в беспроводных транспортных сетях с динамической топологией VANET / И.П. Болодурина, Л.С. Гришина, А.Ю. Жигалов, Д.И. Парфёнов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». 2022. Т. 22, № 1. С. 65–76. doi: 10.14529/ctcr220105.

HYBRID MODEL OF EFFECTIVE DATA REPRESENTATION IN WIRELESS TRANSPORT NETWORKS WITH DYNAMIC VANET TOPOLOGY

Irina P. Bolodurina¹, Lyubov S. Grishina², Artur Yu. Zhigalov³, Denis I. Parfenov⁴

^{1, 2, 3, 4} Orenburg State University, Orenburg, Russia

¹ prmat@mail.osu.ru

² grishina_ls@inbox.ru

³ leroy137.artur@gmail.com

⁴ parfenovdi@mail.ru

Abstract. At the moment, traffic information systems require the aggregation of big data to provide recommendations to vehicles in the current conditions, which leads to an increase in user comfort. The main tool for improving the level of safety was timely informing traffic participants about the current situation on the road, weather conditions, etc. In this case, if the network object is subjected to an attack and the data is replaced during transmission, then the disclosure of confidential information, the creation of emergency situations, etc. is possible throughout the visibility zone of the VANET segment. In this regard, the most urgent issue is ensuring security, including when transmitting traffic, and conducting an additional analysis of big data about anomalies and ongoing unauthorized actions. **Aim.** To develop a hybrid model for the efficient placement of source and intermediate data in wireless transport networks with a dynamic VANET topology, which represents a structural representation of a software-configurable network and edge computing tools, with the ability to optimally analyze data from network nodes and identify anomalies. **Methods.** The considered Edge computing approach consists in locating computing capacities in geographically distributed computing devices closer to end users. Software-configurable SDN networks transfer part of the control and physical transmission functions from routing and switches, reducing the load. Within the framework of this study, an RD algorithm has been developed – a protocol for transmitting and processing intermediate data. To carry out clustering of vehicles on a network segment, the DBSCAN unsupervised learning method was used. Preliminary analysis of abnormal traffic was carried out on the basis of RNN neural network models with short-term memory. **Results.** The developed hybrid model of efficient placement of initial and intermediate data makes it possible to react faster to unauthorized actions. **Conclusion.** The results obtained in the course of the study confirm the need to implement and scale a hybrid model with boundary calculations in practice.

Keywords: VANET, hybrid model, software-defined networks, Edge computing, DBSCAN method, RNN neural networks

Acknowledgments: The study was carried out with the financial support of the Russian Foundation for Basic Research within the framework of scientific project No. 20-57-53019, the grant of the President of the Russian Federation for state support of the leading scientific schools of the Russian Federation (NSh-2502.2020.9), as well as the scholarship of the President of the Russian Federation for young scientists and graduate students (SP-3652.2021.5).

For citation: Bolodurina I.P., Grishina L.S., Zhigalov A.Yu., Parfenov D.I. Hybrid model of effective data representation in wireless transport networks with dynamic VANET topology. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics*. 2022;22(1):65–76. (In Russ.) doi: 10.14529/ctcr220105.

Введение

В последнее время проблемы формирования безопасной среды на дорогах и при этом предоставления доступной и многофункциональной «умной» среды с полной интеграцией беспроводных устройств привели к созданию беспроводных транспортных сетей с динамической топологией VANET [1]. Основным инструментом повышения уровня безопасности стало своевременное информирование участников движения о текущей ситуации на дороге, погодных условиях и т. п. Анализ актуальных исследований в области обеспечения безопасного движения транспортных средств (ТС) в беспроводных сетях VANET показал, что необходима разработка эффективных протоколов/алгоритмов распространения данных [2, 3]. Наиболее продвинутые системы на сегодняшний день используют протоколы распространения данных на основе разделения карт (DPMS) [4] или протоколы Geocast [5]. В этом случае реализуется связь «один ко мно-

гим» между объектами движения, при этом ТС осуществляет многоадресное распространение данных в определенное подмножество объектов, которые находятся в заданной географической области.

Системы информирования о дорожном движении требуют агрегирования больших данных для предоставления рекомендаций транспортным средствам в действующих условиях дорожного движения, что приводит к повышению комфорта пользователей. В этом случае если объект сети будет подвержен атаке и данные при передаче будут заменены, то по всей зоне видимости сегмента VANET возможно раскрытие конфиденциальной информации, создание аварийных ситуаций и т. д. В этой связи наиболее остро встает вопрос обеспечения безопасности, в том числе при передаче трафика, и проведения дополнительного анализа больших данных об аномалиях и проводимых несанкционированных действиях.

В рамках данной работы рассмотрен вопрос построения гибридной модели эффективного размещения исходных и промежуточных данных в беспроводных транспортных сетях с динамической топологией VANET, являющейся по сути структурным представлением программно-конфигурируемой сети и инструментов проведения граничных вычислений, с возможностью оптимально относительно времени анализировать данные узлов сети. Кроме того, проведен анализ производительности и эффективности использования данной модели при несанкционированных аномальных действиях объектов сети.

1. Обзор исследований

Исследованием вопросов безопасной передачи данных в сетях с динамической топологией VANET занимаются ученые по всему миру. Повышение надежности каналов и защищенности трафика сети рассматривается с точки зрения внедрения соответствующих протоколов передачи данных. Рассмотрим ряд научных исследований, посвященных разработке подходов к эффективному размещению данных в беспроводных транспортных сетях.

В работе [6] авторами рассмотрено применение технологии автономных вычислений в сетях VANET с помощью протокола ADM. Представленный подход позволяет осуществлять передачу информации в зависимости от плотности сети и уровня приоритета сообщений с высокой надежностью и автономностью. Протокол ADM использует предварительно вычисленные стратегии передачи данных с помощью эволюционного алгоритма. Для каждого узла сети динамически подбираются собственные параметры передачи данных в зависимости от плотности сети и уровня приоритета сообщения. Результаты проведенных экспериментов показали, что ADM превосходит два других метода протокола широкополосной передачи – Smart-flooding и Simple flooding в качестве передачи за счет меньшего среднего числа коллизий в зависимости от числа узлов сети. Авторы работы рассматривают адаптацию алгоритма ADM для нескольких уровней приоритетов сообщений при увеличении количества источников передачи информации.

Авторами работы [7] предложена модель приоритизации данных от транспортных средств для ускорения анализа больших данных. Для определения приоритета сообщения для транспортных средств используется кластеризация. Предложенная модель использует алгоритм, основанный на выделении базовых точек в сети транспортных средств, для ускорения работы алгоритма кластеризации и повышения эффективности количества передачи информации только транспортным средствам в зоне релевантности с минимальными накладными расходами. Применение предложенного алгоритма в реальных условиях сократило время кластеризации, что позволяет приложениям для защиты от атак проводить обнаружение в режиме реального времени.

Исследование [8] посвящено изучению текущего состояния технологий VANET, а также вопросам развертывания данных беспроводных сетей в реальном мире. Авторы выделяют особое внимание разработке приложений, специфичных для VANET, которые обеспечивают какую-то конкретную функцию и основу для надлежащей поддержки ТС. Кроме того, представлена концепция их классификации: общего назначения, помощи водителю, обеспечения безопасности, рекламные приложения, а также развлекательные приложения. Большинство приложений облегчают вождение и обеспечивают безопасность. Исходя из представленных особенностей доступной информации трафика, следует выделять характеристики данных приложений для анализа состояния объекта сети.

В работе [9] авторы провели сравнительный анализ актуальных сетевых угроз и методов обеспечения безопасности протоколов маршрутизации для сетей с динамической топологией. Авторы делают акцент о важности комбинированного применения подходов к защите передачи информации. Рассмотрена проблема сетевых атак, связанных со злонамеренным ухудшением качества маршрутов, а также проблема «эгоистичности», когда редко учитываются социальные характеристики узлов сети, что позволяет внутренним нарушителям игнорировать сотрудничество с другими узлами. Авторами предложены рекомендации по определению оптимального порогового значения уровней репутации или комплексной метрики маршрутов в различных сценариях, а также выбор порогового значения для минимизации количества ошибок первого и второго рода для обеспечения эффективности и безопасности маршрутизации. Проведено исследование зависимости модели обеспечения безопасности маршрутизации от архитектуры, назначения и свойств рассматриваемой динамически организуемой сети.

Различные методы распространения данных и проблемы, связанные с ними, представлены в работе [10]. Авторы отмечают, что тип приложений VANET и присущие им характеристики, такие как различная плотность сети, быстрое перемещение транспортных средств, делают распространение данных довольно сложным. Главными особенностями VANET выступают высокая динамическая топология, частая отключенная сеть, моделирование и прогнозирование мобильности, коммуникационная среда, жесткие ограничения задержки, взаимодействие с бортовыми датчиками. Наиболее актуальным направлением исследований авторы выделяют разработку метода распространения данных, который обеспечивает приемлемую производительность при различных приложениях и с изменяемой архитектурой VANET.

В рамках исследования [11] представлен новый протокол агрегирования данных информационных систем дорожного движения, называемый Smart Directional Data Aggregation (SDDA), способный уменьшить перегрузку сети при одновременном получении высокоточной информации об условиях движения на больших участках дорог. Авторы ввели три уровня фильтрации: фильтрация всех сообщений FCD, интеграция метода подавления на этапе сбора информации, агрегирование отфильтрованных данных и их последующее распространение. Проведенные эксперименты подтвердили высокую эффективность SDDA: достижение низкого коэффициента перегрузки, а также высокой точности агрегирования.

Таким образом, обзор проведенных исследований показал, что разработка гибридной модели эффективного размещения исходных и промежуточных данных в беспроводных транспортных сетях с динамической топологией VANET является актуальной проблемой, требующей разработки подробного структурного представления программно-конфигурируемой сети и внедрения инструментов проведения граничных вычислений для повышения общей производительности вычислений.

2. Беспроводные транспортные сети с динамической топологией VANET

Автомобильные беспроводные сети с динамической топологией VANET получили широкое признание для обеспечения большего удобства и эффективности для водителей с многочисленными приложениями, начиная от безопасности, эффективности транспорта и заканчивая информацией и развлечениями.

В VANET задействовано множество источников информации (рис. 1) для обеспечения многофункциональной среды интеллектуальных транспортных систем (ИТС), таких как транспортные средства, оснащенные бортовыми блоками OBU (onboard unit), придорожные блоки RSU (roadside unit), базовые станции BS (base station), транспортная инфраструктура (светофоры, камеры видеонаблюдения), данные GPS и другие.

Транспортные средства (OBU) оснащены приложениями и датчиками с возможностью обработки, системой локализации, такой как глобальная система позиционирования GPS, и радиопередатчиком для беспроводного доступа к автомобильной среде. Кроме того, OBU также оборудованы широкополосным радиопередатчиком, таким как WiMax / 3G / 4G LTE, для связи с базовой станцией сотовой связи. Прямая беспроводная связь от транспортного средства к транспортному средству позволяет обмениваться данными даже там, где нет инфраструктуры связи, такой как базовые станции сотовых телефонов или точки доступа беспроводных сетей.

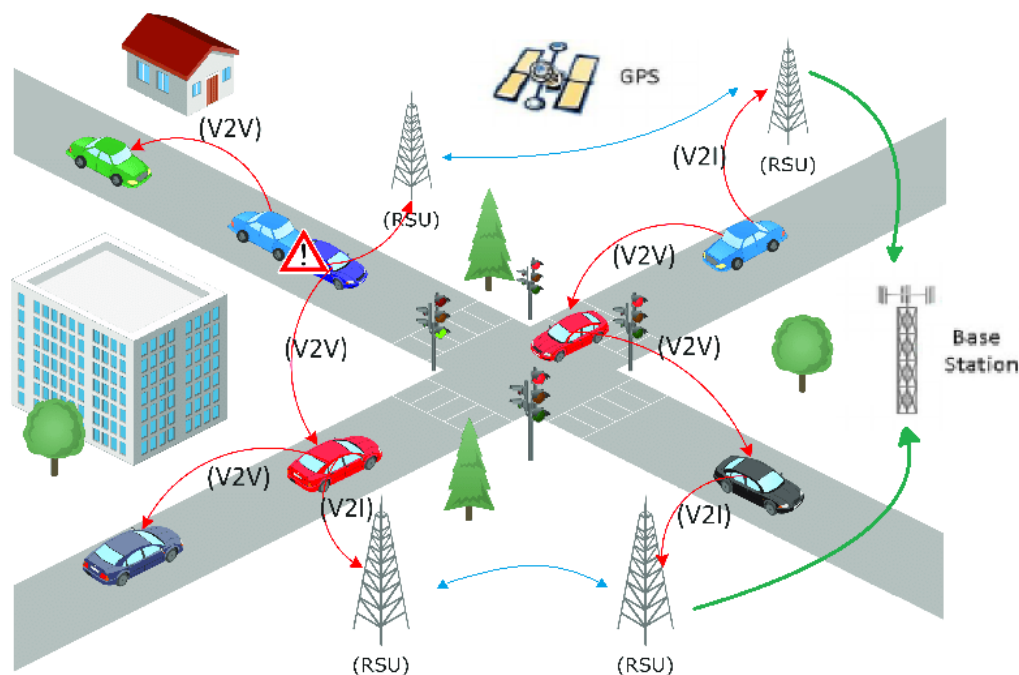


Рис. 1. Интеллектуальная транспортная система VANET
Fig. 1. Intelligent transport system VANET

RSU устанавливаются вдоль дорожных сетей и представляют собой стационарную инфраструктуру, такую как системы видеонаблюдения, сетевые камеры, камеры контроля полосы движения, светофор, датчики и т. д. Каждый кластер RSU подключен к станции управления RSU (RSUC) для хранения и обработки данных перед отправкой в единую облачную инфраструктуру VANET.

При этом обработка данных в облаках может давать длительные задержки. Это связано с тем, что центры обработки данных расположены достаточно далеко от конечных устройств. В связи с этим актуальной задачей является перенос части вычислительных операций ближе к конечным устройствам. Данную идею реализует концепция граничных вычислений MEC с помощью программно-конфигурируемых сетей SDN.

Основная идея Edge computing состоит в расположении вычислительных мощностей в географически распределенных вычислительных устройствах. Таким образом, на границе будут обработаны данные, чувствительные к задержкам, а данные более тяжелого трафика будут обработаны в облаке. Программно-конфигурируемые сети SDN снимут часть функций управления и физической передачи с маршрутизаторов и коммутаторов, уменьшая нагрузку. Управление всей сетью будет реализовано на центральном контроллере.

Таким образом, с помощью Edge computing и SDN разрабатываемая гибридная модель эффективного представления данных VANET будет иметь минимальные задержки.

Архитектура VANET должна обеспечивать связь между близлежащими транспортными средствами, а также между транспортными средствами и придорожным оборудованием, что приводит к следующим типам связей (рис. 2). Основными типами связей (рис. 3) являются «ТС – инфраструктура» (V2I) или «инфраструктура – ТС» (I2V), а также «ТС – ТС» (V2V):

- V2V позволяет организовывать прямую автомобильную связь без поддержки фиксированной инфраструктуры и может в основном использоваться для приложений безопасности, защиты и распространения;

- V2I позволяет ТС связываться с придорожной инфраструктурой в основном для приложений сбора информации и данных;

- гибридная связь позволяет объединять как V2V, так и V2I. В этом случае ТС может связываться с придорожной инфраструктурой либо в режиме одиночного, либо множественного перехода, в зависимости от расстояния.

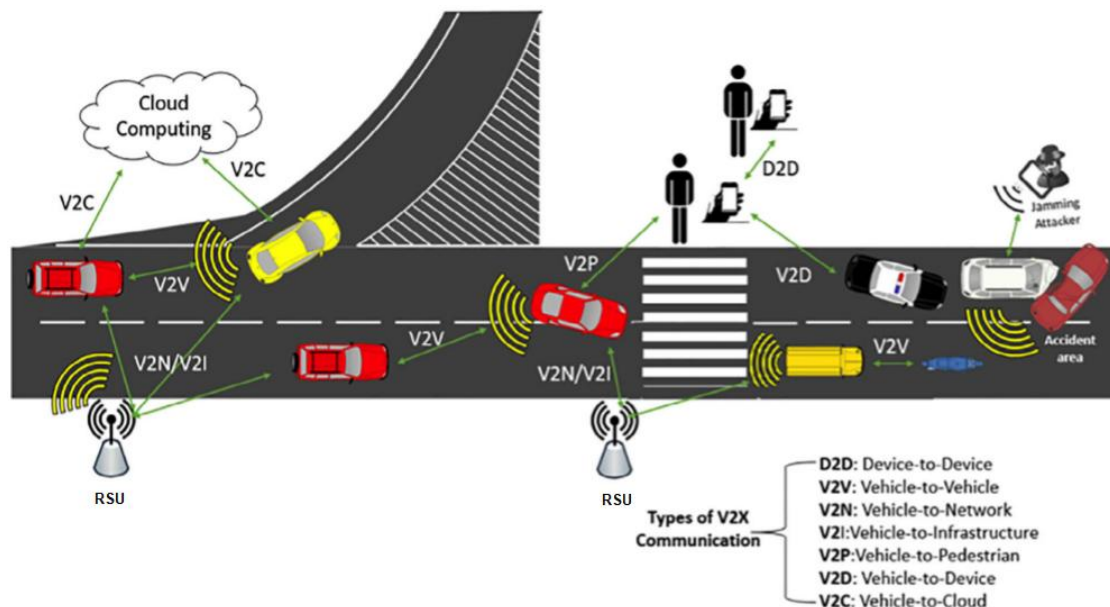


Рис. 2. Интеллектуальная транспортная система VANET
Fig. 2. Types of links in VANET infrastructure

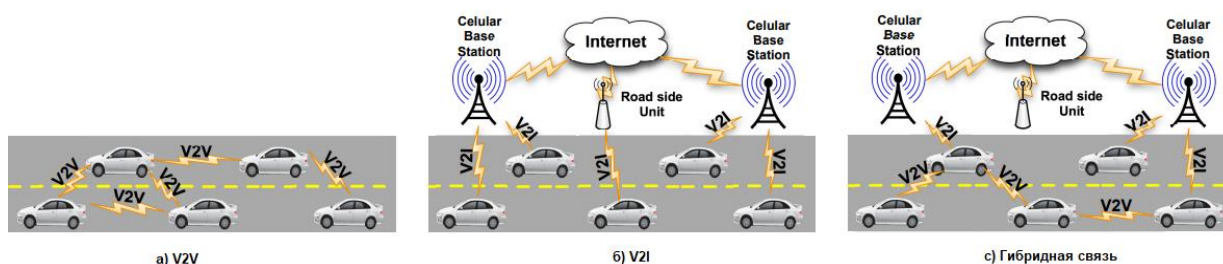


Рис. 3. Основные типы передачи данных в VANET
Fig. 3. Basic types of data transfer in VANET

При разработке архитектуры системы необходимо учитывать, как данные будут передаваться в сети, а для VANET основным источником информации служат приложения AU (application unit). AU – это устройства ТС, выполняющие функции обеспечения коммуникационных возможностей OBU. AU может быть специализированным устройством для приложений безопасности или обычным устройством, таким как персональный цифровой помощник (PDA).

Приложения AU имеют различные требования, такие как пропускная способность, задержка, безопасность и надежность. Системы VANET, как правило, поддерживают ряд приложений, включая дорожные сигналы, улучшение зрения, погодные условия, безопасность и развлечения. Большинство приложений может быть разделено на две категории: приложения, связанные с безопасностью, и приложения, связанные с комфортом.

Гибридная модель эффективного размещения данных VANET должна отражать реалистичную связь между ТС и сервером, которая представлена на рис. 4. Отметим, что приложения для подключенных ТС обмениваются информацией посредством мобильной связи с серверами. Каждое ТС или сервер работают в изолированной среде. Модель вычислительной сети представляет собой взаимодействие контейнеров ТС и контейнера сервера. Приложения в этой модели разделены на 2 типа.

1. Пользовательское приложение: генерирует трафик, связанный с развлекательными услугами, доступными в ТС.
2. Автомобильное приложение: связано с работой ТС, например, телеметрией или обновлением.

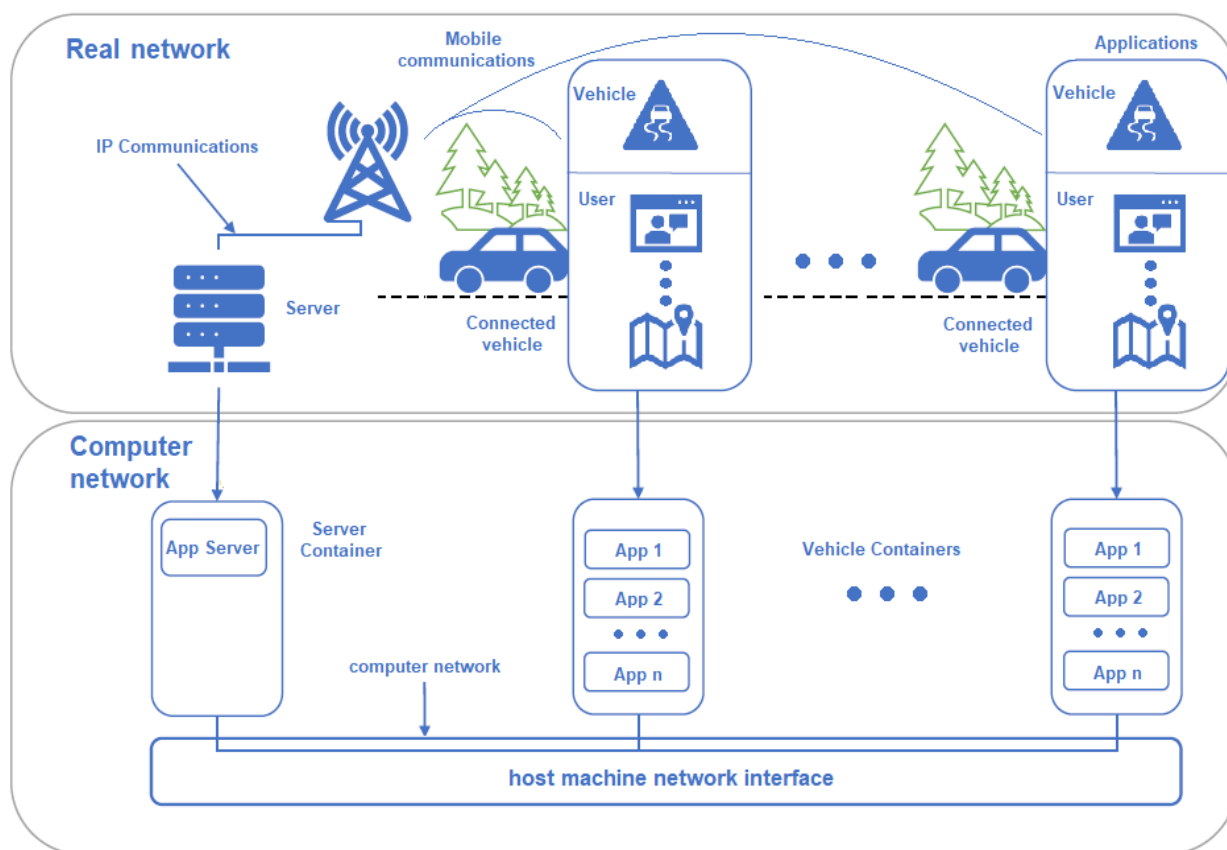


Рис. 4. Архитектура взаимодействия ТС и их приложений в сети VANET
Fig. 4. Architecture of interaction between vehicles and applications in VANET

Таким образом, архитектура и принципы взаимодействия ТС в сети VANET позволяют внедрить в модель размещения исходных и промежуточных данных подходы программно-конфигурируемых сетей и инструменты проведения граничных вычислений для повышения общей эффективности и производительности вычислений.

3. Гибридная модель эффективного размещения данных VANET

Рассмотрим процесс безопасной передачи данных в сети VANET. Пусть исходные данные приложений AU поступают посредством связей V2V, V2I и I2V в RSU и далее на сервер. Отметим, что при обработке данных непосредственно на сервере возникает значительная задержка между отправлением данных и получением конечного результата. В этой связи эффективнее использовать концепцию граничных вычислений для того, чтобы перенести ядро процесса первичной обработки ближе к конечным пользователям.

В рамках данной гибридной модели размещения и передачи данных VANET предполагается проведение граничных вычислений на контроллере RSU (рис. 5). Данный подход позволит анализировать трафик сегментов сети с меньшей задержкой, своевременно выявлять аномалии сети и обеспечивать безопасность передачи данных на более высоком уровне.

Согласно представленной концепции передачи данных, помимо исходных данных всех доступных приложений OBU выделим наиболее значимые признаки для промежуточного анализа данных. На основе протокола передачи промежуточных данных (алгоритм RD) OBU будут разделены по кластерам на основе метода обучения без учителя DBSCAN [12], а далее данные с одного кластера будут переданы в ближайший контроллер RSU для предварительного анализа аномального трафика на основе моделей нейронных сетей RNN [13] с кратковременной памятью для анализа поступающего трафика как временных рядов. Результаты проведенных исследований трафика позволят быстрее реагировать на несанкционированные действия, а полученная информация далее будет передана на сервер в качестве дополнительных данных.

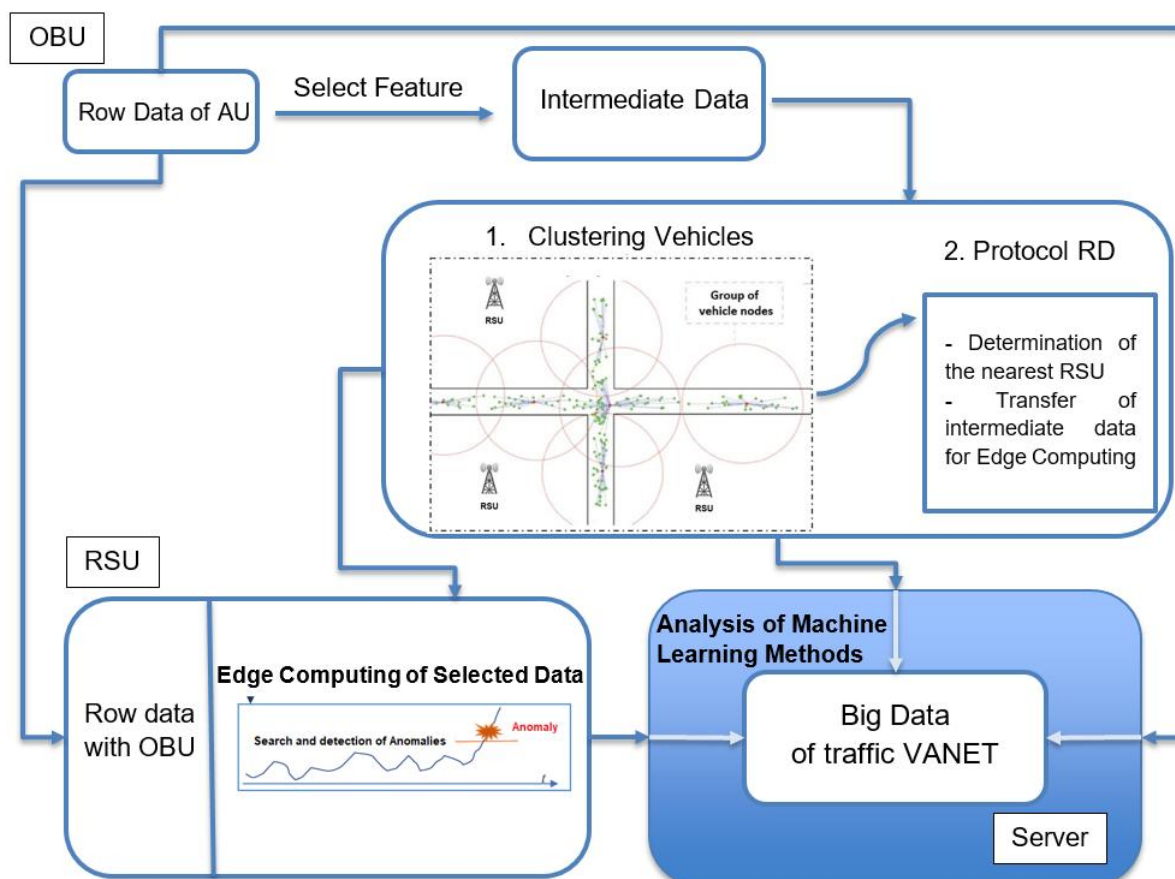


Рис. 5. Гибридная модель эффективного размещения данных VANET
Fig. 5. Hybrid model of efficient VANET data placement

Алгоритм RD

Шаг 0. Инициализировать ϵ – окрестность ТС для связи в схожие кластеры, $\rho(x_1, x_2)$ – метрика расстояний между объектами сети; m – количество объектов сети $\{tc_i\}, i = 1, \dots, m$ в сети VANET, p – количество размещенных RSU $\{rsu_j\}, j = 1, \dots, p$.

Шаг 1. Разбить множество $\{tc_i\}, i = 1, \dots, m$ на p подмножеств по принципу близости ТС на основе алгоритма DBSCAN и соотнести данные подмножества с ближайшими $\{rsu_j\}, j = 1, \dots, p$.

Шаг 2. Передать данные p подмножеств ТС на выделенный контроллер RSU для преобразования данных.

Шаг 3. Параллельный поиск и выявление аномалий трафика на каждом контроллере $\{rsu_j\}, j = 1, \dots, p$ на основе моделей нейронных сетей RNN с кратковременной памятью для анализа поступающего трафика как временных рядов.

Шаг 4. Вывод информации о подозрительных узлах сети.

Реализуем представленную гибридную модель размещения исходных и промежуточных данных в беспроводных транспортных сетях с динамической топологией VANET и представленное структурное взаимодействие программно-конфигурируемой сети и инструментов проведения граничных вычислений и проанализируем общую производительность ИТС.

4. Вычислительные эксперименты

Моделирование дорожного движения выполняется с помощью SUMO 2 [14], а моделирование сети выполняется с помощью OMNeT++ [15] вместе с набором инструментов моделирования физического уровня MiXiM3, что позволяет использовать точные модели для радиопомех, а также затенять использование статических и движущихся препятствий. Модели сетей VANET и их узлы спроектированы с помощью OMNeT++ 5.1.0 для оценки влияния граничных вычислений на общую производительность ИТС. Мощность передачи информации ТС задана 30 мВт, чтобы добиться примерно 300 м диапазона помех.

Модель нейронной сети RNN с кратковременной памятью для анализа поступающего трафика как временных рядов взята LSTM-i из библиотеки PyTorch и предварительно обучена на перегруженном наборе данных трафика с проведенными атаками. Проведем оценку производительности поиска аномалий сети VANET при размещении обученной RNN на сервере и прямой пересылке данных с OBU и при размещении на контроллере RSU и реализации стратегии граничных вычислений. Количество RSU, размещенных на дорогах, равно 20.

Результаты экспериментов исследования времени отклика моделей анализа трафика на аномалии при размещении обработчиков непосредственно на сервере или применении гибридной модели с граничными вычислениями показали, что наиболее эффективной является гибридная модель с более высокой производительностью и средней задержкой не более 176 мс для сети с количеством ТС около 200. При этом для сетей с количеством ТС до 20 средняя задержка моделей отличается не существенно и не превосходит 108 мс (рис. 6).

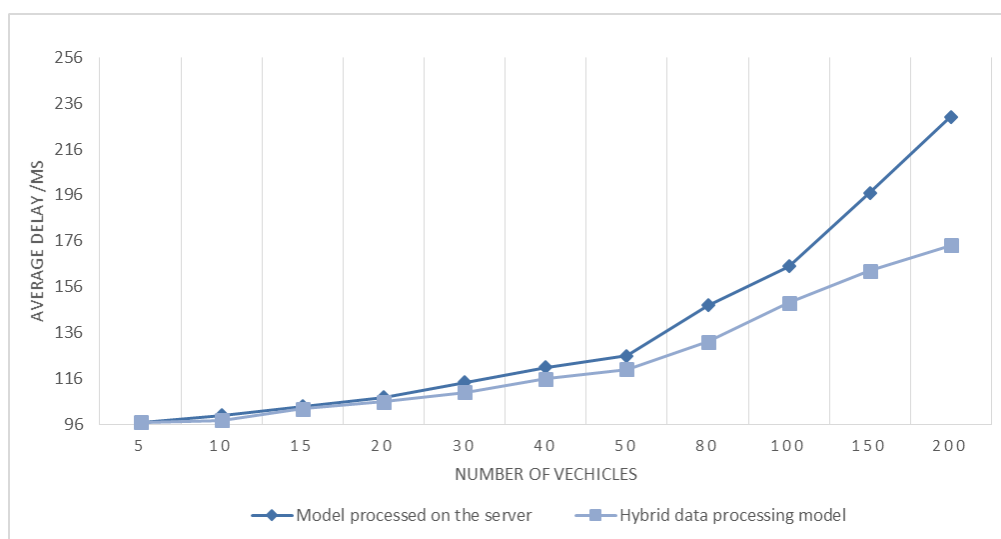


Рис. 6. Зависимость средней задержки в сети при увеличении количества ТС в VANET при различных моделях размещения
Fig. 6. Dependence of the average network latency with an increase in the number of vehicles in the VANET for different placement models

Зафиксируем количество ТС, в сегменте сети VANET равное 100. Исследуем зависимость средней задержки на частоту размещения RSU в этом сегменте (рис. 7).

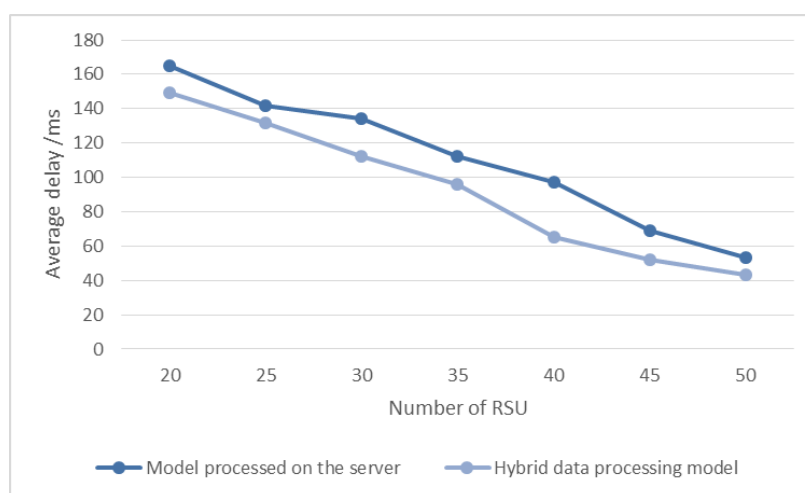


Рис. 7. Зависимость средней задержки в сети при увеличении количества RSU в VANET при различных моделях размещения
Fig. 7. Dependence of the average network latency with an increase in the number of RSUs in the VANET for different placement models

Результаты исследования средней задержки в сети при увеличении количества RSU показали, что при более высокой плотности RSU на сегменте сети VANET передача данных на сервер происходит быстрее, в связи с чем снижается задержка моделей обработки на сервере. Для гибридной модели при возрастании количества RSU возрастает количество устройств с параллельной обработкой данных и снижается уровень задержки в сети. Разработанная гибридная модель с граничными вычислениями имеет наиболее низкие показатели средней задержки в сети, что подтверждает необходимость внедрения и масштабирования данной модели на практике.

Заключение

Таким образом, в рамках данной работы разработана гибридная модель эффективного размещения исходных и промежуточных данных в беспроводных транспортных сетях с динамической топологией VANET, использующая структурное представление программно-конфигурируемых сетей и инструменты проведения граничных вычислений.

Результаты проведенных экспериментов показали, что гибридная модель с граничными вычислениями имеет наиболее низкие показатели средней задержки в сети, что подтверждает высокую эффективность предложенного подхода и необходимость внедрения и масштабирования представленной модели на практике.

Список литературы

1. Tomar R., Prateek M., Sastry G.H. *Vehicular Adhoc Network (VANET) – An Introduction* // *International Journal of Control Theory and Applications*. 2016. Vol. 9, no. 18. P. 8883–8888.
2. Хакимов А.А., Суминов А.В., Мутханна А.С. *Разработка метода организации распределения граничных вычислений в сетях VANET* // *Информационные технологии и телекоммуникации*. 2019. Т. 7, № 2. С. 47–55.
3. Abu Taleb A. *VANET Routing Protocols and Architectures: An Overview* // *Journal of Computer Science*. 2018. Vol. 14. P. 421–434. <https://doi.org/10.3844/jcssp.2018.423.434>.
4. Allani S., Yeferny T.R., Yahia C.S. *DPMS: A Swift Data Dissemination Protocol Based on Map Splitting* // *40th IEEE Annual Computer Software and Applications Conference*. 2016. P. 817–822.
5. Allal S., Boudjit S. *Geocast Routing Protocols for VANETs: Survey and Guidelines* // *2012 Sixth International Conference on Innovative Mobile and Internet Services in Ubiquitous Computing*. 2012. P. 323–328.
6. Mbarek N., Abdou W., Darties B. *Autonomic Computing and VANETs: Simulation of a QoS-based Communication Model* // *Networking Simulation for Intelligent Transportation Systems*. 2017. P. 211–234.
7. Bangui H., Ge. M., Buhnova B., Trang L.H. *Towards faster big data analytics for anti-jamming applications in vehicular ad-hoc network* // *Transactions on Emerging Telecommunications Technologies*. 2021. Vol. 32, no. 10. <https://doi.org/10.1002/ett.4280>.
8. Lee M., Atkison T. *VANET applications: Past, present, and future* // *Vehicular Communications*. 2021. Vol. 28. P. 2214–2096.
9. Никонов В.И., Литвинов Г.А., Щерба Е.В. *Обеспечение безопасности протоколов маршрутизации для телекоммуникационных сетей с динамической топологией* // *Доклады ТУСУР*. 2018. Т. 21, № 3. С. 19–29.
10. Dharmendra S., Pradhan S. *Data Dissemination Techniques in Vehicular Ad Hoc Network* // *International Journal of Computer Applications*. 2010. Vol. 8, no. 10. P. 35–39.
11. Allani S., Chbeir R., Yeferny T., Yahia S. *Smart Directional Data Aggregation in VANETs* // *2018 IEEE 32nd International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA)*. 2018. P. 63–70.
12. Kumar K.M., Mohan Reddy A.R. *A fast DBSCAN clustering algorithm by accelerating neighbor searching using Groups method* // *Pattern Recognition*. 2016. Vol. 58. P. 39–48. <https://doi.org/10.1016/j.patcog.2016.03.008>.
13. Kim J., Kim J., Le T., Kim H. *Long Short Term Memory Recurrent Neural Network Classifier for Intrusion Detection* // *2016 International Conference on Platform Technology and Service*. 2016. P. 1–5.
14. Krajzewicz D. *Traffic Simulation with SUMO – Simulation of Urban Mobility* // *Fundamentals of Traffic Simulation*. 2011. P. 269–293.

15. Varga A., Hornig R. An overview of the OMNeT++ simulation environment // *Proceeding Simutools '08 Proceedings of the 1st international conference on Simulation tools and techniques for communications, networks and systems & workshops. 2008. Vol. 60. P. 1–10.*

References

1. Tomar R, Prateek M, Sastry GH. Vehicular Adhoc Network (VANET) – An Introduction. *International Journal of Control Theory and Applications*. 2016;9(18):8883–8888.
2. Khakimov A.A., Suminov A.V., Mutkhanna A.S. [Development of a method for organizing the distribution of edge computing in VANET networks]. *Informatsionnye tekhnologii i telekommunikatsii*. 2019;7(2):47–55. (In Russ.).
3. Abu Taleb A. VANET Routing Protocols and Architectures: An Overview. *Journal of Computer Science*. 2018;14:421–434. <https://doi.org/10.3844/jcssp.2018.423.434>.
4. Allani S., Yeferny T.R., Yahia C.S. DPMS: A Swift Data Dissemination Protocol Based on Map Splitting. In: *40th IEEE Annual Computer Software and Applications Conference*; 2016. P. 817–822.
5. Allal S., Boudjit S. Geocast Routing Protocols for VANETs: Survey and Guidelines. In: *2012 Sixth International Conference on Innovative Mobile and Internet Services in Ubiquitous Computing*; 2012. P. 323–328.
6. Mbarek N., Abdou W., Darties B. Autonomic Computing and VANETs: Simulation of a QoS-based Communication Model. In: *Networking Simulation for Intelligent Transportation Systems*; 2017. P. 211–234.
7. Bangui H., Ge. M., Buhnova B., Trang L.H. Towards faster big data analytics for anti-jamming applications in vehicular ad-hoc network. *Transactions on Emerging Telecommunications Technologies*. 2021;32(10). <https://doi.org/10.1002/ett.4280>.
8. Lee M., Atkison T. VANET applications: Past, present, and future. *Vehicular Communications*. 2021;28:2214–2096.
9. Nikonov V.I., Litvinov G.A., Shcherba E.V. [Securing Routing Protocols for Dynamic Telecommunication Networks]. *Doklady TUSUR*. 2018;21(3):19–29. (In Russ.)
10. Dharmendra S., Pradhan S. Data Dissemination Techniques in Vehicular Ad Hoc Network. *International Journal of Computer Applications*. 2010;8(10):35–39.
11. Allani S., Chbeir R., Yeferny T., Yahia S. Smart Directional Data Aggregation in VANETs. In: *2018 IEEE 32nd International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA)*; 2018. P. 63–70.
12. Kumar K.M., Mohan Reddy A.R. A fast DBSCAN clustering algorithm by accelerating neighbor searching using Groups method. *Pattern Recognition*. 2016;58:39–48. <https://doi.org/10.1016/j.patcog.2016.03.008>.
13. Kim J., Kim J., Le T., Kim H. Long Short Term Memory Recurrent Neural Network Classifier for Intrusion Detection. In: *2016 International Conference on Platform Technology and Service*; 2016. P. 1–5.
14. Krajzewicz D. Traffic Simulation with SUMO – Simulation of Urban Mobility. In: *Fundamentals of Traffic Simulation*; 2011. P. 269–293.
15. Varga A., Hornig R. An overview of the OMNeT++ simulation environment. *Proceeding Simutools '08 Proceedings of the 1st international conference on Simulation tools and techniques for communications, networks and systems & workshops. 2008;60:1–10.*

Информация об авторах

Болодурина Ирина Павловна, д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой прикладной математики, Оренбургский государственный университет, г. Оренбург, Россия; prmat@mail.osu.ru.

Гришина Любовь Сергеевна, аспирант кафедры прикладной математики, Оренбургский государственный университет, г. Оренбург, Россия; grishina_ls@inbox.ru.

Жигалов Артур Юрьевич, аспирант кафедры прикладной математики, Оренбургский государственный университет, г. Оренбург, Россия; leroy137.artur@gmail.com.

Парфёнов Денис Игоревич, канд. техн. наук, доц. кафедры прикладной математики, Оренбургский государственный университет, г. Оренбург, Россия; parfenovdi@mail.ru.

Information about the authors

Irina P. Bolodurina, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Head of the Department of Applied Mathematics, Orenburg State University, Orenburg, Russia; prmat@mail.osu.ru.

Lyubov S. Grishina, postgraduate student of the Department of Applied Mathematics, Orenburg State University, Orenburg, Russia; grishina_ls@inbox.ru.

Artur Yu. Zhigalov, postgraduate student of the Department of Applied Mathematics, Orenburg State University, Orenburg, Russia; leroy137.artur@gmail.com.

Denis I. Parfenov, Cand. Sci. (Eng.), Ass. Prof. of the Department of Applied Mathematics, Orenburg State University, Orenburg, Russia; parfenovdi@mail.ru.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 07.12.2021; одобрена после рецензирования 21.12.2021; принята к публикации 28.12.2021.

The article was submitted 07.12.2021; approved after reviewing 21.12.2021; accepted for publication 28.12.2021.