

Метод агрегирования данных для распределенных туманных вычислений в сетях автотранспорта

Х. А. Ясир

Санкт-Петербургский
государственный
университет
телекоммуникаций
им. проф. М.А. Бонч-Бруевича
eng-hu@mail.ru

З. А. Аль-Кереа

Санкт-Петербургский
государственный
университет
телекоммуникаций
им. проф. М.А. Бонч-Бруевича
eng-za@mail.ru

А. С. Мутханна

Санкт-Петербургский
государственный
университет
телекоммуникаций
им. проф. М.А. Бонч-Бруевича
ammarexpress@gmail.com

Аннотация. В статье мы представляем адаптивное решение на основе программно-конфигурируемых сетей (SDN) для эффективной агрегации данных в сетях автотранспорта. Предлагается использовать динамическую модель распределения ресурсов для оптимизации размещения туманных узлов в соответствии с плотностью трафика в реальном времени и доступными данными. Благодаря программируемости SDN система получает контекстно-зависимую конфигурацию, автоматическое масштабирование туманных узлов и маршрутизацию данных на основе приоритетов. Результаты моделирования показали, что они значительно снижают задержки, использование ресурсов и восстановление после сбоев по сравнению с традиционными статическими методами.

Ключевые слова: сети автотранспорта, SDN, динамическое распределение ресурсов, агрегация данных

I. ВВЕДЕНИЕ

Современные сети автотранспорта требуют низкой задержки и высокой надежности для таких приложений, как предотвращение столкновений, улучшение трафика и информационно-развлекательные сервисы. Хотя облачные системы обладают значительной вычислительной мощностью, присущая этим системам задержка ограничивает скорость реагирования в режиме реального времени [1]. Граничные и туманные вычисления преодолевают это ограничение за счет распределения ресурсов; однако существующим архитектурам туманных систем для транспортных средств не хватает достаточной адаптивности, чтобы эффективно реагировать на изменяющиеся сетевые условия [2].

Предыдущие работы по сбору данных о транспортных средствах [1–3] часто основывались на развертывании стационарных туманных узлов или реактивных моделей, ориентированных на облако, что приводило к неоптимальному использованию ресурсов и задержке времени отклика. Недавние попытки [4–6] интегрировать SDN с системами туманных вычислений для повышения программируемости, не решают проблему масштабируемого развертывания туманных узлов или определения приоритетов данных с учетом контекста.

В этой статье предлагается подход на основе SDN, которая динамически распределяет ресурсы туманных узлов и определяет приоритетность потоков данных на основе требований приложения. Основные вклады включают:

1. Программируемая архитектура SDN для сети автотранспорта, обеспечивающая централизованное управление агрегацией данных, масштабированием туманных узлов и маршрутизацией.

2. Адаптивная архитектура туманных узлов, которая регулирует инфраструктуру туманных узлов в зависимости от плотности движения транспортных средств и критичности данных.

3. Проверка производительности с помощью моделирования, демонстрирующая снижение задержки на 68 % и ускорение восстановления после сбоев на 64 % по сравнению со статическими подходами.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Эволюция сбора данных в автомобильных сетях была обусловлена тремя основными направлениями исследований: традиционными автомобильными протоколами связи, интеграцией туманных вычислений и усовершенствованиями программно-конфигурируемых сетей (SDN). Каждая парадигма решает различные задачи, но оставляет серьезные пробелы, которые мотивируют необходимость в адаптивных, учитывающих контекст решениях.

Традиционный сбор данных о транспортных средствах: Ранние протоколы были ориентированы на использование V2V и V2I коммуникаций для сбора данных в целях обеспечения безопасности и управления дорожным движением. Цуркану и др. [7] внедрили протокол передачи данных с несколькими переходами, использующий IEEE 802.11p, который динамически адаптируется к плотности трафика, но использует один придорожный модуль (RSU) в качестве приемника данных, что создает узкие места в часы пик. Цзяо и др. [8] гибридизирован IEEE 802.11p с сотовой связью, используя SDN для оптимизации путей распространения. Хотя это уменьшало зависимость от удаленных облачных серверов, их реактивный подход приводил к задержкам при реконфигурации маршрутов, особенно в динамичных городских условиях. В этих методах

приоритет отдавался масштабируемости, но отсутствовали механизмы для определения приоритетов данных в реальном времени или ресурсосберегающего развертывания туманных узлов [8].

Облачные вычисления в автомобильных сетях: переход к периферийно-ориентированным архитектурам, направленным на снижение задержек, вызванных облаком. Лай и др. [9–10] впервые применили сбор данных с помощью туманных вычислений, развернув туманные узлы в RSU, используя пороговые значения, основанные на весе, для запуска сбора данных по конкретным событиям. Однако их реактивная модель требовала длительных этапов проверки событий, что задерживало доставку важных данных. Недавние исследования, такие как Chaqfeh и др. [3], предложили облачные платформы для пакетной обработки, но упустили из виду необходимость детального определения приоритетов данных в режиме реального времени. Общим ограничением для всех этих проектов является статическое развертывание узлов fog, которые не могут адаптироваться к пространственно-временным изменениям трафика, что приводит к недостаточному использованию ресурсов во внепиковые часы и заторам в часы пик.

Автомобильные решения с поддержкой SDN: программируемость SDN была использована для повышения гибкости сети. Нобре и др. [4] разработали архитектуру SDN для автомобильных сетей, централизовав управление для оптимизации маршрутизации и разгрузки задач. Хуан и др. [5] расширили это, включив функции безопасности для передачи данных из тумана в транспортное средство. Хотя эти платформы улучшили гибкость сети, они не учитывали динамическое масштабирование узлов тумана или контекстно-зависимую маршрутизацию данных. Например, система Jiao для сбора прогнозирующих данных на основе SDN [11–12] фокусировалась на эффективности пропускной способности, но обрабатывала все данные единообразно, игнорируя неоднородные требования к задержкам в приложениях, критически важных для безопасности, и в приложениях, требующих большего комфорта [13].

Нерешенные проблемы:

1. Инфраструктура статического тумана: существующие развертывания предполагают фиксированное количество узлов тумана, игнорируя требования к ресурсам, обусловленные трафиком.

2. Унификация данных: Большинство протоколов одинаково передают данные, устойчивые к задержкам, и данные в режиме реального времени, что снижает оперативность реагирования для приложений, обеспечивающих безопасность.

3. Отказоустойчивость: Механизмы восстановления при сбоях в работе туманных узлов остаются недостаточно разработанными, что может привести к потере данных во время простоев.

В данной статье устраняет эти пробелы с помощью целостной структуры SDN/VFN, которая:

- Динамически масштабирует туманные узлы, используя стохастическую модель плотности трафика.

- Реализована маршрутизация с учетом приоритетов, позволяющая различать потоки данных в реальном времени и с учетом задержек.
- Интегрировано автоматическое восстановление после сбоев с помощью миграции данных, управляемой SDN.

Обобщая информацию из этих областей, наш подход продвигает передовые технологии в области адаптивных, устойчивых автомобильных сетей [14–15].

III. АРХИТЕКТУРА СИСТЕМЫ

Предлагаемая архитектура состоит из трех уровней:

1. Пограничный уровень: Транспортные средства, оснащенные датчиками и агентами SDN, образуют кластеры. В каждом головном узле (CH) кластера находится локальный контроллер SDN для координации внутри кластера.

2. Уровень тумана: RSU и припаркованные транспортные средства действуют как туманные узлы, управляемые региональными контроллерами SDN.

3. Облачный уровень: Глобальный контроллер SDN контролирует общесетевые политики, развертывание туманных узлов и миграцию данных.

Динамическая плоскость управления SDN:

- Настраивает параметры агрегации данных (например, тип данных, приоритет).
- Настраивает развертывание туманного узла, используя модель стохастического распределения.
- Направляет данные по протоколам, основанным на кратчайшем пути или приоритете.

IV. СИСТЕМА АГРЕГИРОВАНИЯ ДАННЫХ НА ОСНОВЕ SDN

A. Инициализация политики

Глобальный контроллер SDN определяет:

1. Профили данных: категории (безопасность, удобство) и типы (в режиме реального времени, с устойчивостью к задержкам).

2. Параметры туманного узла: количество узлов по умолчанию, емкость хранилища и назначения кластеров.

B. Упреждающая агрегация данных

Транспортные средства непрерывно собирают и предварительно обрабатывают данные. Данные в режиме реального времени (например, предупреждения о столкновениях) передаются по маршрутам с низкой задержкой, в то время как для данных, устойчивых к задержкам (например, уровни загрязнения), используются маршруты с высокой пропускной способностью [16].

C. Динамическое распределение туманных узлов

Стохастическая модель оценивает оптимальные узлы тумана $N_{fog}(t)$

$$N_{fog}(t) = \frac{\lambda \int_0^t \rho(\tau) \cdot (1 - F_L(\tau)) d\tau \cdot Q}{C_{fog}} \quad (1)$$

где λ = частота прибытия транспортных средств, $\rho(\tau)$ = вероятность сбора данных, Q = количество данных на

транспортное средство, а $C_{\text{туман}} =$ пропускная способность узла.

D. Миграция данных с учетом сбоев

Вышедшие из строя туманные узлы запускают автоматический перенос данных в резервные копии, что сводит к минимуму потерю данных.

V. РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Оценка сочетает в себе как аналитические показатели, так и обширное моделирование в среде MATLAB для определения динамического поведения системы в различных дорожных условиях. Наша цель – проверить стохастическую модель, количественно оценить влияние на задержку в сети и продемонстрировать адаптивность развертывания туманных узлов.

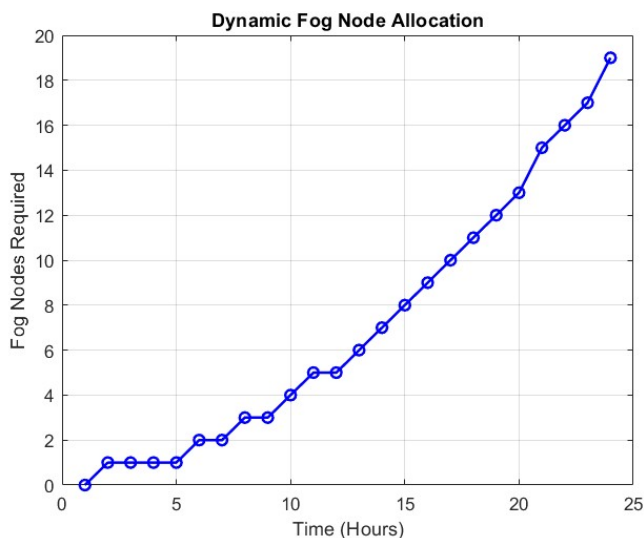


Рис. 1. Динамическое распределение туманных узлов

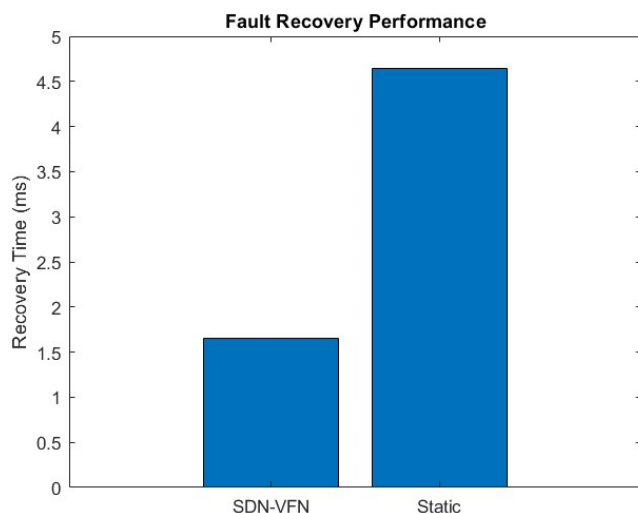


Рис. 2. Задержки и размер Кластера

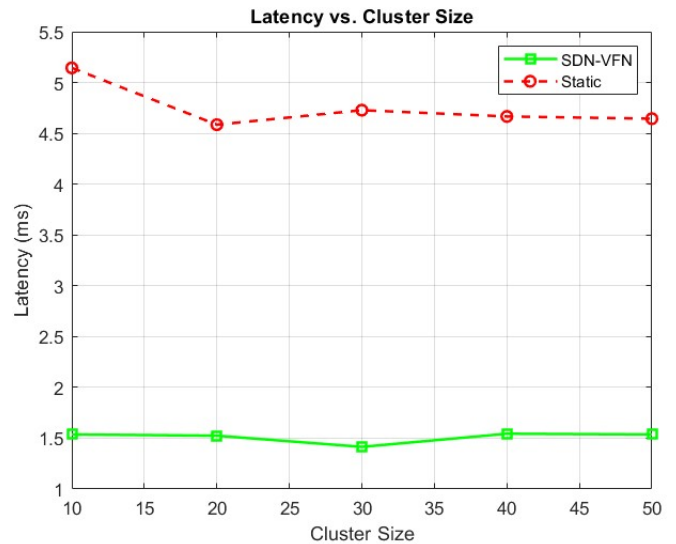


Рис. 3. Производительность восстановления после сбоев

Моделирование в среде MATLAB, показанное на рис. 1–3, подтверждает несколько ключевых выводов:

- Благодаря проактивной маршрутизации резервных копий время восстановления сокращается. Это обеспечивает быстрое восстановление данных без значительных простоев. Кроме того, избыточность системы сводит к минимуму риск потери данных во время непредвиденных отключений.
- Динамическая адаптация: Стохастическая модель динамически корректирует требуемое количество противотуманных станций в соответствии с трафиком в реальном времени и получением данных.
- Сокращение времени ожидания: Упреждающее назначение противотуманных станций приводит к снижению времени ожидания в сети, особенно для приложений, чувствительных ко времени (RTD).
- Устойчивость к изменениям: анализ чувствительности показывает, что система сохраняет стабильную производительность даже при изменении скорости прибытия транспортных средств, обеспечивая масштабируемость и экономическую эффективность.

В целом, эти результаты оценки демонстрируют, что наша система агрегирования данных на основе SDN не только соответствует теоретическим ожиданиям, но и надежно работает в моделируемой городской транспортной среде.

Расширенная оценка, подкрепленная всесторонним моделированием в среде MATLAB и подробным графическим анализом, подтверждает практическую эффективность предложенный метод и дает полезную информацию для внедрения в реальных условиях.

VI. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье представлен метод агрегирования данных для распределенных туманных вычислений в сетях автотранспорта на основе технологии SDN, которая является адаптивной и учитывает контекст. Благодаря интеграции стохастической модели развертывания туманных узлов с динамическим управлением SDN, предлагаемый метод значительно повышает эффективность сбора данных, сокращает задержки и повышает общую устойчивость сети. Результаты моделирования подчеркивают преимущества нашего подхода по сравнению с классическими методами сбора данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Golestan, K., Soua, R., Karray, F., & Kamel, M. S. "Situation Awareness in Connected Cars: Trends and Future Developments."
- [2] Dressler, F., Handle, P., & Sommer, C. "Towards a Vehicular Cloud Using Parked Vehicles."
- [3] Chaqfeh, M., Mohamed, N., Jawhar, I., & Wu, J. "Vehicular Cloud Data Collection for Intelligent Transportation."
- [4] Nobre, J. C., et al. "Vehicular Software-Defined Networking and Fog Computing: Integration and Design."
- [5] Huang, C., Lu, R., & Choo, K.-K. R. "Vehicular Fog Computing: Architectural and Security Challenges."
- [6] Soua, R., et al. "Multi-access Edge Computing for Vehicular Networks."
- [7] Lai, Y., et al. "Data Gathering Framework Based on Fog Computing in VANETs."
- [8] Lai, Y., et al. "Fog-Based Two-Phase Event Monitoring in Vehicular Sensor Networks."
- [9] Pourghebleh, B., & Navimipour, N. J. "Efficient Data Collection in Vehicular Ad Hoc Networks."
- [10] Turcanu, I., et al. "Integrated VANET-based Data Dissemination in Urban Scenarios."
- [11] Drira, R. F., & Ahn. "3G/LTE Adaptive Data Collection in Vehicular Networks."
- [12] Jiao, D. T. Z., & Ding. "Predictive Big Data Collection in Vehicular Networks."
- [13] Ji, X., et al. "SDGR: SDN-Based Geographic Routing in VANETs."
- [14] Yan, G., et al. "Scalable Privacy in Vehicular Networks."
- [15] Codeca, L., et al. "Luxembourg SUMO Traffic Scenario for Vehicular Research."
- [16] Sommer, C., German, R., & Dressler, F. "Network and Road Traffic Simulation for IVC Analysis."