УДК 004.057.4 **DOI:** 10.31673/2412-9070.2020.065355

О. В. ЗІНЧЕНКО, канд. техн. наук, доцент;
О. С. ЗВЕНІГОРОДСЬКИЙ, канд. техн. наук, доцент;
М. Ю. БЕРЕЗІВСЬКИЙ, аспірант;
М. М. РИЖАКОВ, аспірант,
Державний університет телекомунікацій, Київ

МЕТОДИКА ПОРІВНЯННЯ ТА ОЦІНЮВАННЯ ПРОТОКОЛІВ МАРШРУТИЗАЦІЇ МЕРЕЖ АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ

Широке використання автомобілів у повсякденному житті і зростання міст, зумовлене урбанізацією населення, значною мірою сприяло перевантаженості дорожнього руху, а також підвищило ймовірність виникнення аварій. Ці факти стали приводом для розроблення додатків, які допомагають водієві автомобіля приймати рішення і забезпечують безпеку всіх пасажирів.

Окрім того, такі програми можуть допомогти водієві уникнути затори під час вибору маршруту, підвищити ефективність транспортного засобу, сприяючи зниженню забруднення навколишнього середовища. Що ж до розважальної зони, створення системи зв'язку між транспортними засобами може надати багато переваг пасажирам, дозволяючи їм обмінюватися музикою, відео або навіть кооперувати з людьми в різних транспортних засобах і взаємодіяти з наявними на дорогах інформаційними точками. Особливості такого класу мереж зумовили потребу розроблення і впровадження спеціалізованих протоколів маршрутизації.

Ключові слова: VANET; протоколи маршрутизації; критерії оцінювання якості; інтелектуальні транспортні системи.

Вступ

Вирішенням, здатним забезпечити зв'язок між транспортними засобами, є розгортання спеціальної автомобільної мережі (VANET) [1]. Для мереж VANET характерним є те, що їх можна сформувати будь-де, оскільки такі мережі меншою мірою залежать від фіксованої інфраструктури, яка зазвичай створюється через розгортання точок доступу або базових станцій [2].

У мережах VANET за передавання радіосигналу відповідають *On Board Unit* (**OBU**) — бортові одиниці, переважно невеликі, портативні. Оскільки досяжність радіосигналів обмежена, то кожен вузол може безпосередньо зв'язуватися тільки з іншими вузлами, які перебувають у межах зони їх передавання сигналу. Однак якщо вузлу знадобиться передати інформацію іншим вузлам, розміщеним за межами цієї зони, то такі вузли мають взаємодіяти між собою, діючи як маршрутизатори, пересилаючи інформацію від вихідного вузла до вузла призначення [3].

VANET, як окремий випадок мобільних одноранговых мереж, також характеризується високою мобільністю вузлів (транспортних засобів), нерівномірним розподілом транспортних засобів та лімітованим зв'язком між вузлами через обмеження, що накладаються топологією автомагістралей і/або міських доріг.

У VANET, як і в більшості мереж, за зв'язок між вузлами має відповідати модель взаємодії відкритих систем (OSI). Цей стандарт поділено на сім рівнів, які визначають загальні принципи роботи мережі. В автомобільних мережах найбільшу кількість стандартів мають фізичний, канальний і мережний рівні.

Що стосується фізичного рівня і рівня каналу передавання даних, радіочастотний зв'язок має використовувати стандарт виділеного зв'язку близької дії (DSRC) [5], що працює на частоті 5,9 ГГц. Схема безпроводового доступу в транспортних засобах (WAVE) [6], розроблена Інститутом інженерів з електротехніки та електроніки (IEEE), має працювати в смузі частот, визначеній DSRC. WAVE формує нове сімейство з чотирьох протоколів, призначених для зв'язку між транспортними засобами, під назвою IEEE 1609 (IEEE 1609.1, IEEE 1609.2, IEEE 1609.3 і IEEE 1609.4). IEEE 1609.3, наприклад, визначає протоколи мережного рівня.

WAVE побудований з урахуванням специфікацій американського DSRC і ділить частотний спектр на сім каналів по 10 МГц кожний. Оскільки шаблон розробляється для мереж VANET, він має зважати на швидкість вузла, радіус передавання сигналу і швидкість передавання даних. Таким чином, можна виокремити такі характеристики: швидкість вузлів до 190 км/год, радіус передавання до 1 км (за відсутністю завад) і швидкість передавання від 6 до 27 Мбіт/с. WAVE також визначає MAC рівень OBU, який підтримує високу швидкість переміщення вузлів і мінімальну затримку. Отже, рівень MAC має узгоджуватися з адаптацією рівня MAC IEEE 802.11e.

Мережний рівень, крім того, визначає правила маршрутизації пакетів. Процес маршрутизації пакетів — це служба, що відповідає за виявлення і збереження маршрутів між вихідними і кінцевими вузлами, а протоколи маршрутизації керують такою службою. Протоколи маршрутизації можна

© О. В. Зінченко, О. С. Звенігородський, М. Ю. Березівський, М. М. Рижаков, 2020

класифікувати за такими параметрами: типом архітектури та режимом роботи. Режим роботи охоплює тип маршрутизації, яку можна поділити на топологічну, географічну, гнучку і поширювальну.

Основна ***мета цієї статті*** — розроблення методики оцінювання та порівняння протоколів маршрутизації мереж VANET.

Основна частина

Щоб оцінити продуктивність протоколів маршрутизації для мереж автомобільного транспорту, зазвичай застосовують особливі методи [5]. Для мережі, яка використовує досліджуваний протокол маршрутизації, розробляється сценарій її роботи. Такий сценарій включає в себе елементи мережної топології, зокрема розміщення джерел трафіку, а також вибір вузлів — кінцевих приймачів трафіку.

Мережа VANET чутлива до зміни таких умов її роботи: кількості пристроїв у мережі — N; змін діаметра мережі; щільності мережі; періоду появи нових даних — T; обсягу даних, які необхідно передати.

Сьогодні в процесі оцінювання продуктивності однорангових мереж використовуються такі універсальні для всіх мереж такого типу показники:

♦ *коефіцієнт доставляння пакетів* — відношення кількості доставлених пакетів до кількості відправлених. Такий коефіцієнт використовується для оцінювання втрат пакетів, дозволяючи оцінити максимальну пропускну здатність мережі;

♦ *накладні витрати під час маршрутизації*. Тут оцінювальною величиною є загальна кількість службових пакетів, генерованих протоколом маршрутизації за час моделювання;

♦ *оптимальність знайденого шляху*. У цьому разі для оцінювання протоколу використовується різниця між довжиною знайденого і оптимального маршрутів. Такий параметр дає можливість оцінити, наскільки протокол ефективно використовує ресурси мережі;

♦ *середня затримка передавання пакета*. Включає в себе всі можливі затримки, зокрема очікування в чергах, затримки на канальному рівні.

Описані показники не дають змогу комплексно оцінити якість передавання даних для досліджуваного протоколу маршрутизації в мережах VANET.

Це пов'язано з таким:

• для оцінювання використовуються кілька приватних значень, без об'єднання їх в єдиний комплексний критерій;

• сценарій роботи мережі погано формалізовано і потребує індивідуальної реалізації в кожному конкретному випадку.

Виходячи з цього, потрібно розробити критерії оцінювання якості передавання даних у мережах автомобільного транспорту.

Такими критеріями можуть бути:

1. Критерій максимального відсотка втрат пакетів:

$$\max_{i=1} \frac{L_i}{S_i} \to \min,$$

де L_i — кількість втрачених пакетів, відправлених вузлом i. Під втраченим пакетом розуміємо будь-який пакет, який не доставлено вчасно. Отже, для VANET має бути визначено максимальний час доставляння пакета, після закінчення якого дані втрачають свою актуальність у зв'язку зі зміною дорожньої ситуації; S_i — кількість пакетів, відправлених вузлом i.

Критерій максимального відсотка втрат пакетів дасть можливість визначити якість передавання мультимедійних даних.

2. Критерій максимального часу доставляння пакета:

$$\max_{i=1,\ldots,N} \left(T_{i\to b}(t)\right) \to \min,$$

де $T_{i\to b}(t)$ — час передавання пакета від вузла i до придорожньої одиниці (*Roadside Unit* — **RSU**) у момент часу t; T — кількість вузлів мережі.

Такий критерій актуальний для VANET як для системи реального часу (наприклад, OBU визначає положення автомобіля в просторі і розсилає цю інформацію сусіднім транспортним засобам.

3. Критерій максимального середнього часу доставляння:

$$\max_{i=1,\ldots,N} \left(M(T_{i\to b})\right) \to \min,$$

де $M(T_{i\to b})$ — математичне сподівання часу передавання пакета від вузла i до RSU. Час передавання пакета включає в себе час безпосереднього передавання, а також усі затримки, зокрема час ініціалізації передавання канальним рівнем, очікування в чергах вузлів-маршрутизаторів тощо. Цей критерій має враховувати тільки успішно доставлені пакети.

Основу методики оцінювання і порівняння протоколів маршрутизації для мереж VANET становить метод комплексного оцінювання якості передавання даних. Імітаційна модель дає змогу дістати значення критеріїв якості передавання даних, які будуть у подальшому використовуватися для оцінювання продуктивності досліджуваної мережі.

Таким чином, пропонована методика полягає в такому:

1. Вибір критерію якості.

2. Визначення основних характеристик мережі: кількості OBU та RSU, бітової швидкості передавання тощо. Ці характеристики необхідні для імітаційного моделювання розглянутої мережі.

3. Вибір моделі джерела корисних даних. Для цього аналізуються умови роботи мережі (стан дорожньої інфраструктури). Для конкретної мережі потрібна програмна реалізація джерела даних.

4. Програмна реалізація досліджуваного протоколу. Протокол має бути реалізований відповідно до використовуваної потокової моделі.

5. Дослідження мережі згідно з вибраними параметрами.

6. Порівняння протоколів за результатами імітаційного моделювання на основі вибраного критерію оцінювання.

Висновки

У статті висвітлено основні характеристики та тенденції, що стосуються маршрутизації в мережах автомобільного транспорту.

Було запропоновано критерії комплексного оцінювання якості передавання даних у мережах автомобільного транспорту.

Досліджено методику оцінювання та порівняння протоколів маршрутизації для мереж VANET. Основу методики оцінювання і порівняння протоколів маршрутизації для мереж автомобільного транспорту становить метод комплексного оцінювання якості передавання даних.

Список використаної літератури

1. ***Maowad H., Shaaban E.*** *Efficient routing protocol for vehicular ad hoc networks // Proc. of the First International Conference Computing Signal Processing and Applications (PCSPA), Beijing, China, 2011.*

2. ***Liu L., Wang Z., Jehng W.*** *A geographic source routing protocol for traffic sensing in urban environment // IEEE International Conference on Automation Science and Engineering, Washington, DC, USA, August 2008.*

3. ***Talooki V. N., Ziarati K.*** *Performance comparison of routing protocols for mobile ad hoc networks // Proc. of the Asia-Pacific Conference Communications (APCC 2006), Busan, South Korea, 2006.*

4. ***Jiang D., Delgrossi L.*** *IEEE 802.11p: towards an international standard for wireless access in vehicular environments // Proc. IEEE Vehicular Technology Conference (VTC-Spring), Singapore, May 2008.*

5. ***Bernsen J., Mnivannan D.*** *Unicast routing protocols for vehicular ad hoc networks: A critical comparison and classification // J. of Pervasive and Mobile Computing 5 (2009) P. 1–18.*

6. ***Marum G. A.*** *Wave: a tutorial // IEEE Communications Magazine. 2009. Vol. 47, no. 5. P. 126–133.*

О. В. Зинченко, А. С. Звенигородский, М. Ю. Березовский, Н. Н. Рыжаков

МЕТОДИКА СРАВНЕНИЯ И ОЦЕНКИ ПРОТОКОЛОВ МАРШРУТИЗАЦИИ СЕТЕЙ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА

Широкое использование автомобилей в повседневной жизни и рост городов, вызванное урбанизацией населения, в значительной степени способствовало перегруженности дорожного движения, а также повысило вероятность возникновения аварий. Эти факты послужили поводом для разработки приложений, которые помогают водителю автомобиля принимать решения и обеспечивают безопасность всех пассажиров.

Кроме того, такие программы могут помочь водителю избегать пробок при выборе маршрута, повысить эффективность транспортного средства и способствовать снижению загрязнения окружающей среды. Что же касается развлекательной зоны, то создание системы связи между транспортными средствами может принести много преимуществ пассажирам, позволяя им обмениваться музыкой, видео или даже кооперировать между людьми в различных транспортных средствах и взаимодействовать с информационными точками, существующими на дорогах. Особенности такого класса сетей обусловили необходимость разработки и внедрения специализированных протоколов маршрутизации.

Ключевые слова: VANET; протоколы маршрутизации; критерии оценки качества; интеллектуальные транспортные системы.

O. V. Zinchenko, O. S. Zvenigorodsky, M. Y. Berezivskyi, M. M. Ryzhakov

METHODOLOGY OF COMPARISON AND EVALUATION OF ROUTING PROTOCOLS THE NETWORKS OF AUTOMOTIVE TRANSPORT

The widespread use of cars in everyday life and the growth of cities caused by urbanization of the population have greatly contributed to congestion in road traffic and also increased the likelihood of accidents. These facts prompted the development of applications that help the driver make decisions and ensure the safety of all passengers.

In addition, such programs can help the driver avoid traffic congestion when choosing a route, improve vehicle efficiency and help reduce environmental pollution. As far as the entertainment area is concerned, establishing a vehicle-to-vehicle communication system can bring many benefits to passengers, allowing them to share music, video, or even interact between people in different vehicles and interact with information points that exist on the roads. The peculiarities of this class of networks necessitate the development and implementation of specialized routing protocols.

The main purpose of this article is to develop a methodology for evaluating and comparing VANET routing protocols. The basis of the methodology for evaluating and comparing routing protocols for VANET networks is the method of comprehensive assessment of data quality. The simulation model will allow to obtain the values of the data quality criteria, which will be used in the future to assess the performance of the studied network. Special methods are usually used to evaluate the performance of routing protocols for road transport networks. For the network that uses the studied routing protocol, a scenario of its operation is developed. This scenario includes elements of the network topology, such as the location of traffic sources, as well as the choice of nodes - the final receivers of traffic.

Keywords: VANET; routing protocols; quality assessment criteria; intelligent transport systems.