

УДК 004.942
DOI: 10.15827/0236-235X.125.141-145

Дата подачи статьи: 06.08.18
2019. Т. 32. № 1. С. 141–145

Моделирование передачи сообщений между движущимися объектами в транспортной среде

С.В. Рудометов¹, к.т.н., научный сотрудник, rsu@academ.org

О.Д. Соколова¹, к.т.н., старший научный сотрудник, olga@rav.sccc.ru

¹ Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН,
г. Новосибирск, 630090, Россия

В последние годы проводится множество исследований в области развития беспроводных сетей, связывающих транспортные средства. Для связи автомобилей друг с другом, а также для их соединения с придорожным оборудованием используются беспроводные сети, разработанные по принципу мобильных самоорганизующихся сетей, – Vehicular Ad Hoc Network (VANET).

В статье рассматривается моделирование движения на участке транспортной сети и передачи сообщений от одного узла, расположенного на движущемся объекте, другим узлам. Для проведения имитационного моделирования движения транспортных средств и распространения сообщений использовалась система имитационного моделирования Manufacturing and Transportation Simulation System (MTSS), ранее разработанная одним из авторов статьи. Система MTSS позволяет визуально строить имитационные модели технологических систем и проводить различные имитационные эксперименты с этими моделями.

В статье описывается моделирование с помощью MTSS сети передачи данных, которая состоит из приемопередающих устройств, установленных на движущихся объектах (автомобилях) или на стационарных объектах, расположенных вдоль трассы. Исследуется передача данных в этой сети – распространение сообщений между автомобилями (например, сообщение о чрезвычайной ситуации). Рассмотрены два варианта участка транспортной сети – прямолинейный (шоссе) и участок в виде квадрата с перекрестками дорог. Приведены данные экспериментов, показывающие, что на прямолинейном участке роль интерференции при передаче сообщения не столь значительна, как на участке с перекрестками дорог.

Ключевые слова: имитационное моделирование, современные сети передачи данных, транспортная среда.

Имитационное моделирование является одним из основных инструментов при исследовании функционирования современных сетей – как передачи данных, так и транспортных и др. Всегда существует необходимость использования высокоуровневых средств, которые позволяют построить адекватную модель сложной системы (например, сеть с подвижными объектами) и рассчитать необходимые параметры объектов для оптимального функционирования системы. В последнее время много публикаций посвящено исследованиям инструментальных средств автоматизации процесса имитационного моделирования сложных систем. В [1] описывается процесс моделирования путем многовариантных распределенных вычислений, что позволяет существенно сократить время решения задачи. Моделированию передачи данных в беспроводных сетях и оценке уязвимости различных алгоритмов к разрушающим воздействиям посвящена статья [2].

Моделирование современных сетей передачи данных

Современные сети с подвижными объектами (например, сети с узлами на движущихся автомобилях Vehicle ad hoc networks, VANET) имеют свою специфику – постоянно меняющееся в пространстве местоположение приемопередающих устройств, изменение характеристик передачи радиосигнала из-за различных условий на местности [3–5]. Для моделирования передачи данных в таких сетях необходим симулятор,

который моделирует и движение транспортных сетей, и распространение сообщений в сети с меняющейся топологией. В ряде публикаций на тему моделирования современных сетей [5–7] описаны примеры использования известных систем имитационного моделирования OMNeT, ns-2, ns-3, AnyLogic. Наиболее подходящей системой для имитационного моделирования транспортных потоков считается SUMO (рис. 1).

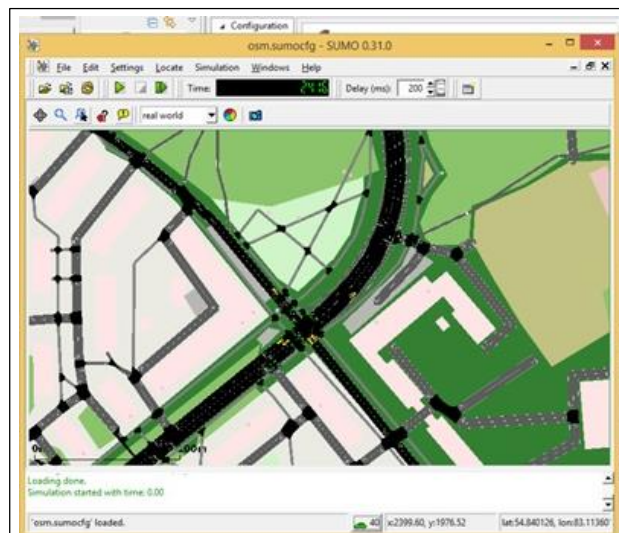


Рис. 1. Моделирование движения транспорта в системе SUMO

Fig. 1. Traffic modeling in the SUMO system

Симулятор имеет графические инструменты для создания моделей, пользовательский интерфейс удобен для демонстрации, для моделирования передачи данных возможна симуляция потребляемой мощности и канала.

Обзор причин, по которым затрудняется имитационное моделирование сетей VANET существующими системами, приведен в [7]. Авторы подробного исследования отмечают, что для VANET существует множество симуляторов, но ни один из них не может обеспечить полное решение задач – это связано, главным образом, с тем, что они опираются на два симулятора для имитации функционирования сети, а именно имитацию трафика движения транспорта и моделирование процессов передачи данных в сети. Симуляторы трафика используются для моделирования транспортных средств, сетевые симуляторы – для сетевых протоколов и приложений. Для решения задачи моделирования функционирования VANET требуется система, использующая эти симуляторы вместе. Во многих случаях формат моделей мобильности, генерируемых симулятором трафика, не может быть обработан сетевым симулятором. Например, сетевые симуляторы, такие как ns-2, не могут напрямую принимать файлы из других симуляторов трафика.

Вследствие этого использование существующих систем имитационного моделирования сталкивается с проблемой: если рассматривать VANET как компьютерную сеть (учитывая, что каждый автомобиль оснащен мини-компьютером или просто приемопередающим устройством), то эта сеть – сеть передачи данных с очень быстро меняющейся топологией. Если же рассматривать моделирование сети VANET как модели движения машин, то для решения задачи разработки протоколов обмена в сети VANET потребуется доработать упомянутые выше симуляторы для моделирования передачи данных.

Задача распространения сообщений между участниками движения

Основная задача при передаче данных в сетях VANET – распространение мгновенных сообщений (например, сообщение об аварии). Один из участников движения начинает передачу сообщения широкоэмитальным способом. После получения сообщения некоторые из автомобилей начинают ретранслировать его дальше (рис. 2).

Рассмотрим задачу моделирования распространения мгновенных сообщений на участке городской транспортной сети. Примем следующие условия для проведения имитационного моделирования. Задана транспортная сеть с дорогами, на которых случайным образом расположены движущиеся объекты (известны их маршруты и скорость движения), а также стационарные объекты (например, мониторинговые придорожные устройства). В начальный момент времени

один из объектов начинает рассылку короткого сообщения о чрезвычайной ситуации в конкретном месте участка транспортной сети. Известен радиус действия передающего устройства, сообщение получают все приемопередатчики на автомобилях, находящихся в момент трансляции в зоне доступности сигнала, далее они транслируют это сообщение другим участникам движения. Цель моделирования – определить, какой процент движущихся объектов от общего числа транспортных средств на участке сети получают распространяемое сообщение за определенное время.

Для решения поставленной задачи необходимо:

- создать имитационную модель как модель транспортных средств, движущихся по участкам дорог; некоторые автомобили в этой модели оснащены приемопередающими радиоустройствами с заданными характеристиками: частота, мощность передатчика, чувствительность, количество каналов и др.;
- учитывать, что данные, которые передаются между узлами, расположенными на автомобилях, обрабатываются устройством в автомобиле за некоторое короткое время;
- передачу сообщений между узлами определять в соответствии с протоколами передачи данных.

Система имитационного моделирования Manufacturing and Transportation Simulation System

Для проведения имитационного моделирования движения транспорта и распространения сообщений между участниками движения использовалась система имитационного моделирования Manufacturing and Transportation Simulation System (MTSS) [8, 9]. Система MTSS позволяет визуально строить имитационные модели технологических систем и проводить различные имитационные эксперименты с этими моде-

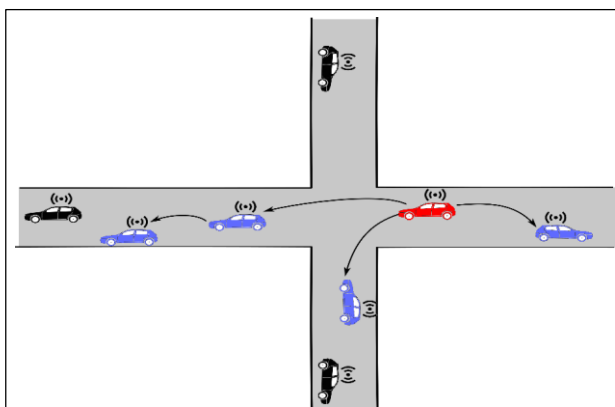


Рис. 2. Передача сообщения на участке транспортной сети (широковещательная трансляция сообщения от автомобиля)

Fig. 2. Message transmission on a transport network segment (a broadcasting transmission from a car)

лями. В среде MTSS была создана библиотека для решения задач с подвижными объектами.

Сеть передачи данных между движущимися транспортными средствами будем считать технологической системой, состоящей из приемопередающих устройств, установленных на движущихся объектах (автомобилях) или на стационарных объектах, расположенных вдоль трассы (например в светофорах). Каждое такое приемопередающее устройство может посылать сигналы (источник), принимать радиосигналы (приемник), ретранслировать радиосигналы (ретранслятор), обрабатывать сигналы. Каждое транспортное средство имеет свой маршрут (начальная и конечная точки, список узлов на карте города), движется с разрешенной скоростью, следуя указаниям дорожных знаков. Стационарные передатчики располагаются рядом с дорогой и могут только передавать сигналы (не являются ретрансляторами).

При моделировании движения машин были использованы данные открытого сервиса Open Street Map [10] (сервис свободно доступен, постоянно пополняется и содержит избыточное количество сведений о дорогах). При обращении к Open Street Map можно получить список путей в виде набора точек, сведений о типе покрытия, количестве полос. Основная *элементарная модель* (ЭМ) – автомобиль. Каждая такая ЭМ может создаваться как вручную, так и автоматически. ЭМ содержит модель приемопередающего устройства и служит единственным элементом для транспортировки и учета основного «продукта» имитационной модели, а именно пакета данных. Каждый пакет имеет уникальный идентификатор, что позволяет отслеживать его в системе.

Рассматривались различные ситуации движения автомобилей – на участке транспортной сети (квадрат 1 км × 1 км) и на прямолинейном участке трассы (более 10 км). Для моделирования процесса передачи данных генерируется достаточно большое количество транспортных средств (500–1 000 шт.). Начальное расположение автомобилей – случайным образом, с использованием стандартного класса Random языка Java, с проверкой критерия расстояния (не менее 6 м).

Условия распространения сообщения широковещательным методом от одного источника с заданным радиусом действия:

- сообщение получают машины, находящиеся в зоне распространения сигнала;
- каждая машина начинает трансляцию полученного сообщения после некоторой случайной, малой, задержки на обработку данных; задержка – пуассоновское распределение с большим значением λ ;
- каждый пакет имеет уникальный идентификатор, что позволяет отслеживать его в системе.

Передача радиосигнала имитируется с использованием формулы затухания радиосигнала:

$$L = X \log \left(\frac{4\pi df}{c} \right), \text{ где } X \text{ – коэффициент ослабления,}$$

принятый равным 20 (для открытых пространств); d – расстояние от точки передачи; f – частота сигнала; c – скорость света. Из формулы следует, что с увеличением частоты передаваемого сигнала увеличивается и его затухание. Так, при распространении в открытом пространстве с частотой 2,4 ГГц сигнал ослабевает на 60 дБ при удалении от источника на 10 м. Если же частота равна 5 ГГц, ослабление сигнала при удалении на 10 м составит уже 66 дБ. Данная формула совместно со сведениями о мощности и частоте передатчиков в качестве параметра модели (протоколы VANET создаются, в частности, на основе стека Wi-Fi частоты 5,8 ГГц) позволяют достаточно точно имитировать затухание радиосигнала.

Результаты тестирования

Проведенные с помощью системы MTSS тестирования показали, что основной проблемой при такой передаче сообщения (и в такой модели) является интерференция. На рисунке 3а показан результат передачи сообщения при условии наличия 20 каналов передачи данных. При этом в работе [11] опубликованы сведения, что в различных реализациях VANET (например, в странах Европы, а также в США и в Японии) определены только от 4 до 7 каналов.

Рисунок 3б демонстрирует передачу данных между автомобилями в случае, когда движение происходит вдоль прямолинейной трассы. Как и в предыдущей модели, один автомобиль начинает широковещательную передачу некоторого сообщения, затем это сообщение передается дальше. Все участники движения получали сигнал «по цепочке», и в отличие от предыдущего примера (рис. 3а) интерференция не оказывала существенного влияния на прохождение сигнала (график прямой, без выраженных «горбов»): все 110 машин получили и обработали широковещательный сигнал почти мгновенно.

Заключение

В работе представлена новая библиотека имитационного моделирования на основе системы MTSS. Она позволяет комплексно решать проблему имитации передачи сообщений подвижными приемопередающими модулями ограниченной мощности (как следствие – ограниченного радиуса действия), создавая различные имитационные визуально-интерактивные модели различных участков дорожной инфраструктуры (на основе данных сервиса Open Street Map [10]). В качестве результатов моделирования представлено влияние интерференции на распространение радиосигналов в плотной конфигурации сети VANET (например, большая загруженность на дороге в 8–10 рядов). Показано, что для дорог с меньшей шириной влияние интерференции незначительно. Следует заметить, что во многих публикациях по исследованиям сетей VANET [7]

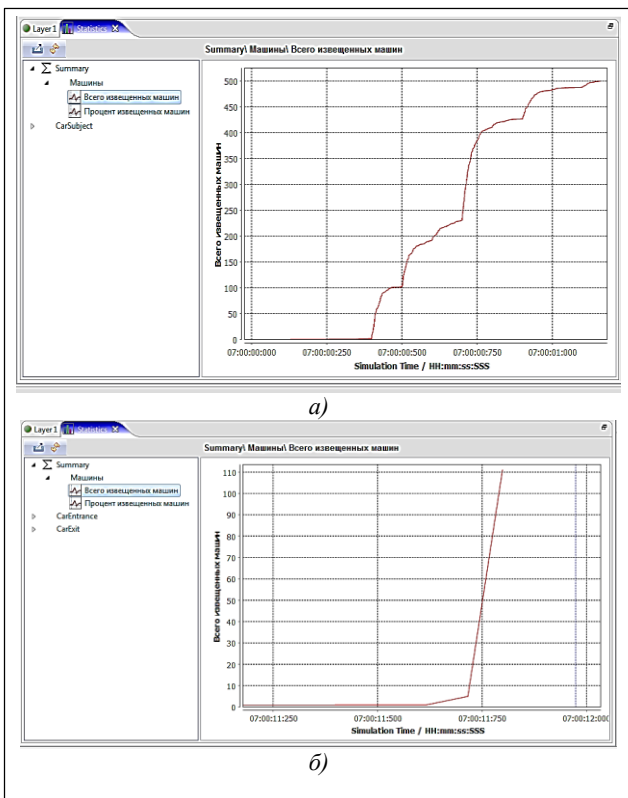


Рис. 3. Статистика получения сообщения участниками движения: а) машины движутся на участке транспортной сети с перекрестками дорог, б) машины движутся вдоль прямолинейной трассы

Fig. 3. Statistics of message receiving by traffic participants: a) cars move in a transport network with road intersections, b) cars move along a straight path

отмечается проблема конфликтов на уровне канала из-за чрезмерного количества широкоэмитальных пакетов (broadcast storm problem) при одновременной трансляции сообщения сразу несколькими передатчиками. Проведенные с помощью системы MTSS тестирования широкоэмитальной рассылки сообщений на различных топологиях подтверждают эту проблему.

Библиотека MTSS может применяться как самостоятельный программный продукт для решения задач

визуализации прохождения радиосигналов в различной дорожной обстановке на различных участках городских трасс, а также для исследования различных протоколов передачи данных, специфичных для функционирования сетей VANET.

Работа выполнена в рамках программы фундаментальных исследований СО РАН (проект № 0315-2016-0006) и при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Новосибирской области (проект № 17-47-540977 р_а).

Литература

1. Феоктистов А.Г., Башарина О.Ю. Автоматизация имитационного моделирования сложных систем в распределенной вычислительной среде // Программные продукты и системы. 2015. № 3. С. 75–79.
2. Шахов В.В., Юргенсон А.Н., Соколова О.Д. Моделирование воздействия атаки Black Hole на беспроводные сети // Программные продукты и системы. 2017. Т. 30. № 1. С. 34–39.
3. Zeadally S., Hunt R., Chen Y.-S., Irwin A., Hassan A. Vehicular Ad Hoc Networks (VANETS): status, results, and challenges. Springer, 2012, vol. 50, no. 4, pp. 217–241. DOI 10.1007/s11235-010-9400-5.
4. Karagiannis G., Altintas O., Ekici E., Heijenk G., Jarupan B., Lin K., Weil T. Vehicular networking: a survey and tutorial on requirements architectures challenges standards and solutions. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2011, vol. 13, pp. 584–616. DOI: 10.1109/SURV.2011.061411.00019.
5. Sarah Madi, Hend Al-Qamzi. A survey on realistic mobility models for Vehicular Ad Hoc Networks (VANETs). Proc. 10th IEEE Intern. Conf. Networking Sensing and Control (ICNSC), 2013, pp. 333–339. DOI: 10.1109/ICNSC.2013.6548760.
6. Sommer C., Dietrich I. and Dressler F. Realistic simulation of network protocols in VANET scenarios. Mobile Networking for Vehicular Environments. 2007, pp. 139–143.
7. Julio A. Sanguesa, Manuel Fogue, Piedad Garrido, Francisco J. Martinez, Juan-Carlos Cano, and Carlos T. Calafate. A survey and comparative study of broadcast warning message dissemination schemes for VANETs. Mobile Information Systems, 2016, Art. ID 8714142. DOI: http://dx.doi.org/10.1155/2016/8714142.
8. Рудометов С.В. Визуально-интерактивная система имитационного моделирования технологических систем // Вестн. СибГУТИ, 2011. № 3. С. 14–27.
9. Рудометов С.В. Система имитационного моделирования MTSS. URL: http://fap.sbras.ru/node/2325 (дата обращения: 25.01.2018).
10. Open Street Map. URL: http://www.openstreetmap.org (дата обращения: 25.01.2018).
11. Elias C. Eze, Sijing Zhang, Enjie Liu, Joy C. Eze. Advances in vehicular ad-hoc networks (VANETs): challenges and road-map for future development. Intern. J. of Automation and Computing. 2016, vol. 13, iss. 1, pp. 1–18.

Simulation of messages transmission between moving objects in a transport environment

S.V. Rudometov¹, Ph.D. (Engineering), Research Associate, rsw@academ.org
O.D. Sokolova¹, Ph.D. (Engineering), Senior Researcher, olga@rav.sscs.ru

¹Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics SB RAS, Novosibirsk, 630090, Russian Federation

Abstract. In recent years, there have been a lot of research in the development of wireless networks connecting vehicles. To connect vehicles to each other, as well as to connect them with roadside equipment, there are wireless networks that have are based on the principle of mobile ad hoc networks (Vehicular Ad Hoc Network (VANET)).

The paper considers modeling of traffic in the transport network segment and data transmission from one node located on a moving object to other traffic participants. To simulate the movement of vehicles and message transmission, the Manufacturing and Transportation Simulation System (MTSS) is used. The system has been developed earlier by one of the authors. The MTSS allows visual building of simulation models of technological systems and conducting various simulation tests with these models.

The paper considers MTSS simulation. The MTSS includes transceiver devices installed in moving objects (cars) or in stationary objects located along the route. The authors study data transfer in this network - message transmission between cars (for example, an emergency message). The paper considers two options of a transport network segment that are: straight-line (highway) and a square with road intersections. Experimental data show that the interference role in message transmission in a straight-line segment is not as significant as in a segment with road intersections.

Keywords: simulation, modern data transmission networks, transport environment.

Acknowledgements. *The research is a part of the fundamental research program of the SB RAS (project no. 0315-2016-0006). It has been financially supported by RFBR and the Government of the Novosibirsk Region, project no. 17-47-540977.*

References

1. Feoktistov A.G., Basharina O.Yu. Automation of complex systems simulation modeling in a distributed computing environment. *Software & Systems*. 2015, no. 3, pp. 75–79 (in Russ.).
2. Shakhov V.V., Yurgenson A.N., Sokolova O.D. Simulation of a Black Hole attack on wireless networks. *Software & Systems*. 2017, no. 1, pp. 34–39 (in Russ.).
3. Zeadally S., Hunt R., Chen Y.-S., Irwin A., Hassan A. Vehicular Ad Hoc Networks (VANETS): status, results, and challenges. *Telecommunication Systems*. Springer Publ., 2012, vol. 50, no. 4, pp. 217–241. DOI 10.1007/s11235-010-9400-5.
4. Karagiannis G., Altintas O., Ekici E., Heijenk G., Jarupan B., Lin K., Weil T. Vehicular networking: A survey and tutorial on requirements architectures challenges standards and solutions. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*. 2011, vol. 13, pp. 584–616. DOI: 10.1109/SURV.2011.061411.00019.
5. Madi S., Al-Qamzi H. A survey on realistic mobility models for Vehicular Ad Hoc Networks (VANETs). *10th IEEE Intern. Conf. on Networking Sensing and Control (ICNSC)*. 2013, pp. 333–339. DOI: 10.1109/ICNSC.2013.6548760.
6. Sommer C., Dietrich I., Dressler F. Realistic simulation of network protocols in VANET scenarios. *IEEE Mobile Networking for Vehicular Environments*. 2007, pp. 139–143.
7. Sanguesa J.A., Fogue M., Garrido P., Martinez F.J., Cano J.-C., Calafate C.T. A survey and comparative study of broadcast warning message dissemination schemes for VANETs. *Mobile Information Systems*. 2016, art. ID 8714142, 18 p. DOI: <http://dx.doi.org/10.1155/2016/8714142>.
8. Rudometov S.V. Visual and interactive computer simulation system of technological processes. *Vestn. SibGUTI*. 2011, no. 3, pp. 14–27 (in Russ.).
9. Rudometov S.V. *Manufacturing and Transportation Simulation System MTSS*. Available at: <http://fap.sbras.ru/node/2325> (accessed January 25, 2018).
10. *Open Street Map*. Available at: <http://www.openstreetmap.org> (accessed January 25, 2018).
11. Eze E.C., Zhang S., Liu E., Eze J.C. Advances in Vehicular Ad-Hoc Networks (VANETs): Challenges and Road-map for Future Development. *Intern. J. of Automation and Computing*. 2016, vol. 13, iss. 1, pp. 1–18.

Примеры библиографического описания статьи

1. Рудометов С.В., Соколова О.Д. Моделирование передачи сообщений между движущимися объектами в транспортной среде // Программные продукты и системы. 2019. Т. 32. № 1. С. 141–145. DOI: 10.15827/0236-235X.125.141-145.
2. Rudometov S.V., Sokolova O.D. Simulation of messages transmission between moving objects in a transport environment. *Software & Systems*. 2019, vol. 32, no. 1, pp. 141–145 (in Russ.). DOI: 10.15827/0236-235X.125.141-145.