

Министерство образования и науки Российской Федерации  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ  
Н.Г.ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра дискретной математики  
и информационных технологий

**Беспроводные сети MANET и особенности  
маршрутизации в них**

АВТОРЕФЕРАТ МАГИСТЕРСКОЙ РАБОТЫ

Магистра 2 курса 271 группы  
направления 09.04.01 «Информатика и вычислительная техника»  
факультета компьютерных наук и информационных технологий  
Аль-Аззави Али Ш. Махмуд

Научный руководитель

к. ф.-м.н., доцент

\_\_\_\_\_

подпись, дата

А.Д. Панферов

Заведующий кафедрой

к. ф.-м.н., доцент

\_\_\_\_\_

подпись, дата

Л.Б. Тяпаев

Саратов 2017

## **ВВЕДЕНИЕ**

Сети и сетевые технологии являются в настоящее время обязательным элементом любой промышленной или бытовой инфраструктуры. Они обеспечивают непрерывное взаимодействие пользователей и различных объектов друг с другом в едином информационном пространстве (Интернет вещей).

Информационные сети в современном понимании начинались с проводных технологий. Важным этапом было внедрение беспроводных решений, позволивших обеспечить мобильность пользователей. Но классические проводные и беспроводные сети обязательно строятся вокруг специализированной сетевой инфраструктуры, без которой они не могут функционировать. Развитие технологий беспроводной передачи данных постепенно поставило вопрос о самоорганизующихся сетях, которым была бы не нужна опорная инфраструктура. Соответствующие идеи разрабатываются и реализуются и для локальных сетевых технологий, и для глобальных сетей (например, в рамках инициативы G5). Мобильные самоорганизующиеся сети (Mobile Ad hoc Network - MANET) понимаются как набор мобильных узлов, которые могут общаться без какой-либо дополнительной инфраструктуры и централизованной организации маршрутизации. Каждый узел в MANET работает как маршрутизатор, обеспечивая пересылку пакетов информации для других мобильных узлов. Существует много вариантов протоколов маршрутизации для таких сетей. Успешность их применения в различных условиях сильно различается.

Моей задачей было изучить существующие протоколы маршрутизации в таких сетях и оценить их применимость в конкретных условиях. В этой работе я сравню DSR, DSDV и AODV протоколы маршрутизации в MANET сетях. В качестве сферы их применения будет рассмотрен общественный городской транспорт. Планируется, что оценки будут выполнены на модели

беспроводной сети для связи подвижного состава с центром управления, работающей с использованием принципов самоорганизации.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Самоорганизующиеся сети.** В настоящее время становятся популярны самоорганизующиеся сети. С ними мы можем встретиться, например, при использовании беспроводных технологий управления и сбора данных с датчиков в «умных домах». Без их использования трудно говорить о полноценном IoT (Internet of things – интернете вещей).

В отличие от классических сетей с фиксированной инфраструктурой (абонентское оборудование, стационарные базовые станции, коммутаторы, маршрутизаторы и др.) в самоорганизующихся сетях функции поддержки работоспособности сети и передачи сообщений лежит на её абонентах [1]. Каждый узел системы участвует в процедурах ретрансляции сообщений других абонентов и служебной информации. В этом суть самоорганизующихся сетей - предоставление абоненту возможности доступа к различным сетевым услугам посредством передачи и приёма «своего» трафика через соседних абонентов.

Такие сети обладают рядом преимуществ:

- Высокая отказоустойчивость. Не существует базовых станций, которые могут выйти из строя. Место потерянного узла может занять любой другой ближайший абонент сети;
- Возможность оптимального покрытия обслуживаемой территории. Абоненты могут наиболее эффективно занять местоположения для покрытия максимально возможной площади;
- Снижение требований к передающим узлам устройства по мощности, что ведет к удешевлению устройства в целом. Дальность действия каждого устройства должна быть больше или равна расстоянию до ближайшего абонента, а не до базовой станции [2].

Минусы самоорганизующихся сетей:

- Большое количество служебного трафика;

- Сложность первоначального запуска системы;
- Сложность разработки транспортных и сетевых протоколов.

Принято выделять следующие типы беспроводных самоорганизующихся сетей:

Ad-hoc — сети (от лат. ad hoc – для данного случая)

Сети ячеистой топологии (англ. Mesh Topology Network)

Беспроводные сенсорные сети (англ. WSN — Wireless Sensor Network).

Для использования в самоорганизующихся сетях классические протоколы маршрутизации приходится существенно модифицировать. Основная причина в принципиально большей динамичности таких сетей. Вводится новый критерий классификации по принципу организации поиска маршрута в изменчивой топологии и выделяют три класса протоколов:

- проактивные,
- реактивные
- комбинированные.

В проактивных протоколах при изменении топологии сети иницируется широковещательная рассылка сообщений об этих изменениях. При этом все маршруты хранятся в памяти каждого узла, и он может воспользоваться ими в любой момент. В виду того, что, фактически, каждый узел имеет граф связности сети, возможно построение кратчайшего маршрута, к примеру, по алгоритму Дейкстры.

К проактивным относятся протоколы DSDV, TBRPF, FSR и OLSR.

В реактивных протоколах маршрутизации маршруты существуют только тогда, когда они необходимы. Иными словами, они действительны лишь во время передачи данных. Если возникает необходимости передать данные, узел-источник начинает широковещательную рассылку сообщения-зонда. В процессе его обработки, промежуточные узлы добавляют маршрут к узлу-источнику (обратный маршрут), и продолжают его широковещательную рассылку. Когда сообщение-зонд доходит до узла назначения, формируется сообщение-подтверждение, которое отправляет его по уже сформированному

обратному маршруту. К протоколам с реактивной маршрутизацией относятся AODV, DSR, LMR и TORA.

**Сетевой симулятор NS-2.** В качестве инструмента исследования мною был выбран симулятор NS-2 [3]. Можно сказать, что это симулятор, оказавший существенное влияние на развитие современных сетевых технологий и Интернета в целом. Он использовался в качестве инструмента для изучения работы больших сетей, для обнаружения свойств предлагаемых к использованию в глобальных сетях протоколов, для Выявления проблем и тестирования предложенных решений. Он также использовался в качестве инструмента проверки для предлагаемых аналитических моделей и алгоритмов.

Симулятор NS-2 использовался и используется в практической работе IETF (Технической рабочей группе Интернет). Он сыграл важную роль в бодготовке многих RFC, являющихся стандартами для сети Интернет.

В соответствии с духом развития Интернет и первых поколений протоколов для него симулятор NS-2 был распространен как бесплатное программное обеспечение с открытым исходным кодом. Открытость вообще характерная черта работы IETF. В отличие от практики работы многих других органов и организаций в области стандартизации, например, стандарты IETF доступны в онлайн-овом режиме и бесплатны [4].

Открытый исходный код симулятора NS позволил тысячам студентов, инженеров и исследователей вносить дополнения и исправления. Это позволило NS-2 эффективно развиваться, всегда соответствовать постоянно обновляемым рекомендациям IETF и оставаться широко доступным инструментом для инноваций. Эффективность симулятора NS во многом объясняется широким спектром скриптов и патчей, разработанными и предоставленными многими пользователями по всему миру.

Разработка NS-2 финансировалась DARPA в рамках проектов VINT (Virtual InterNetwork Testbed) с 1997 по 2000 год, SAMAN (Simulation

Augmented by Measurement and Analysis for Networks) и NSF CONSER (Collaborative Simulation for Education and Research) с 2000 по 2004 гг.

Приведем некоторые примеры, иллюстрирующие участие симулятора NS-2 в разработке протоколов и в работе собственно IETF. Уже в 1996 году, когда был выпущен NS-2, С.Флойд опубликовал основанную на симуляции с его использованием работу, посвященную сравнению различных ранних версий TCP [4]. В 1998 году был опубликован RFC 2415 «Simulation Studies of Increased Initial TCP Window Size» непосредственно основанный на имитационном исследовании влияния начального размера окна TCP на эффективность его работы в различных условиях. Все симуляции в этой работе выполнялись с использованием NS-2. Симулятор продемонстрировал свою эффективность и в исследованиях, посвященных работе IETF над проблемами работы TCP через спутниковые каналы связи большой протяженности [5].

**Моделирование беспроводной самоорганизующейся сети.** В качестве объекта моделирования мною была выбрана мобильная самоорганизующаяся сеть для общественного транспорта. В городе Дияля (Иракская Республика), в котором я проживаю, развитию общественного транспорта уделяется большое внимание и рассматриваются различные варианты совершенствования маршрутной сети, особенно в историческом центре города.

Различные системы связи как для водителей, так и для обслуживания пассажиров в современном транспорте являются обязательным элементом инфраструктуры. В случае электротранспорта (трамваи или троллейбусы) информационный сигнал может передаваться через токонесущие провода или шины. Пропускная способность каких служебных каналов очень невелика. Их возможностей может быть достаточно для технологических целей. Но обеспечить современные цифровые коммуникации, даже для нужд только обслуживающего персонала, невозможно.

По этой причине я рассматриваю в качестве исследуемой модели беспроводную сеть, функционирующую на канальном уровне с использованием тех же протоколов, что и сети WiFi. Узлы сети размещаются на стационарных остановочных пунктах транспортной системы и подвижном составе. Моделируется процесс обмена данными между двумя единицами подвижного состава (например, трамваями), движущимися по заданному маршруту с заданным графиком движения. Маршрут движения замкнут и состоит из нескольких прямых отрезков. Схема используемого при моделировании маршрута представлена на Рис.1.

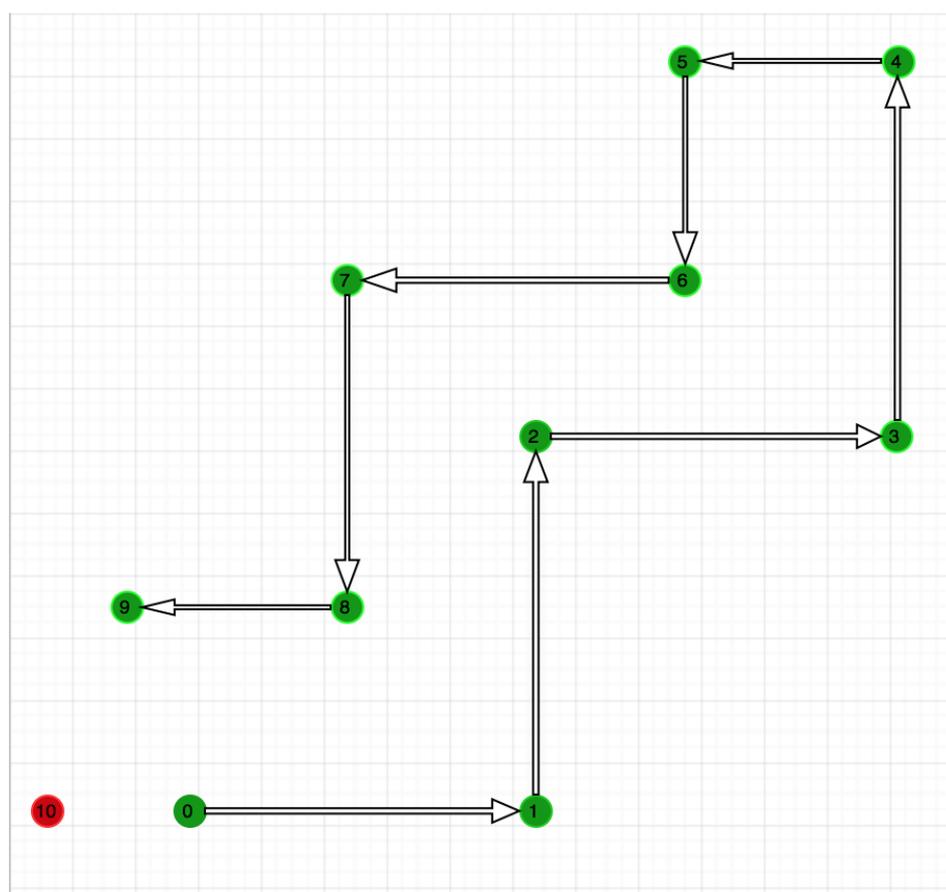


Рис. 1. Схема маршрута для моделирования

Поскольку дальность действия беспроводной технологии ограничена и существенно меньше диаметра маршрута, трамваи не могут постоянно поддерживать между собой соединение по прямому каналу. Если они оказываются слишком далеко друг от друга, сеть должна маршрутизировать трафик через узлы, размещенные на остановках. Пространственная конфигурация в моделируемой сети меняется динамически. Маршрут

передачи трафика должен постоянно меняться. Собственно для таких ситуаций (мобильных самоорганизующихся сетей) и разрабатываются специальные версии протоколов маршрутизации. Как они будут работать в заданных условиях мне и предстоит выяснить.

Первым этапом задание модели для NS2 является размещение в пространстве десяти неподвижных узлов сети (нод), ассоциируемых с условным «депо», откуда будет начинаться движение, и остановками. Для каждой из них задаются три пространственные координаты в выбранной системе координат. Единица измерения расстояний по каждой из осей 1 м. Обращаю внимание, что NS2 может моделировать трехмерные пространственные конфигурации. Мы приближенно считаем место расположения маршрута плоским и для всех узлов сети (и для подвижных тоже) полагаем третью пространственную координату всегда равной 0.

На следующем этапе необходимо задать параметры трамваев, движущихся по маршруту. Их всего два. Их маршрут начинается из условного «депо» и состоит из прямолинейных отрезков, соединяющих остановки. Скорость движения постоянна и составляет 15 м/с.

Все выше приведенное определяет только кинематику нашей модели. Теперь зададим требования к работе сети:

```
# Set a TCP connection between nodes (Trains)
set tcp9 [new Agent/TCP/Newreno]
$tcp9 set class_ 2
set sink9 [new Agent/TCPSink]
$ns attach-agent $node_(10) $tcp9
$ns attach-agent $node_(11) $sink9
$ns connect $tcp9 $sink9
set ftp9 [new Application/FTP]
$ftp9 attach-agent $tcp9
$ns at 00.0 "$ftp9 start"
```

Приведенный код определяет, что с момента начала симуляции ( $T = 0.0$ ) node\_(10) должна установить TCP соединение с node\_(11) и поддерживать его на протяжении симуляции.

Были проведены симуляции с использованием протоколов маршрутизации DSR, DSDV, AODV. В первом случае связь между травваями не была установлена и симуляция прервалась в самом начале. Протоколы DSDV и AODV обеспечили установление связи и её поддержание, но DSDV не смог обеспечить устойчивую связь на всем протяжении маршрута. На некоторых интервалах симуляции связь пропадала полностью, хотя потом и восстанавливалась. И только AODV смог обеспечить непрерывное поддержание связи, хотя её качество и менялось во времени.

На приведенном Рис. 2 представлена зависимость от времени темпа доставки пакетов на адресуемый узел 11. Мы видим, что как и в предыдущем

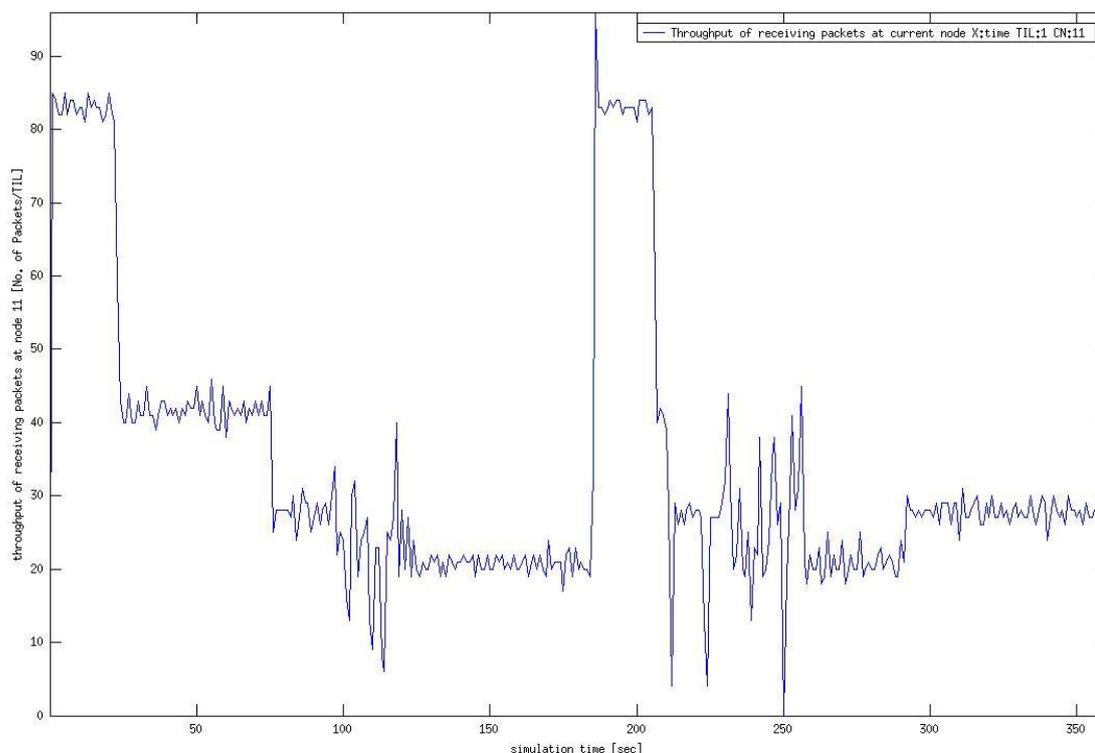


Рис. 2. Темп доставки пакетов на принимающий узел 11 при использовании протокола AODV

случае скорость доставки данных испытывает резкие изменения. Это, очевидно, происходит в те моменты времени, когда старый маршрут перестаёт работать и приходится искать ему замену. Но принципиальным отличием от аналогичного графика для DSDV является отсутствие интервалов с нулевой скоростью доставки. То есть при тех же условиях симуляции AODV обеспечивает непрерывную передачу данных. В условиях симуляции непрерывную работу TCP соединения.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В работе представлены результаты изучения алгоритмов и протоколов маршрутизации пакетов в мобильных самоорганизующиеся сетях. Предметом рассмотрения и изучения были следующие специализированные протоколы маршрутизации: DSR, DSDV и AODV. Для исследования их работы в приближенных к реальности условиям был выбран метод моделирования.

В качестве инструмента моделирования мною использовался сетевой симулятор NS-2. Это мощное средство, позволяющее выполнять детальное моделирование работы сети на всех уровнях OSI. В том числе моделирование работы физического уровня для беспроводной сети с учетом характеристик используемых диапазонов и особенностей распространения сигналов. Симулятор позволяет задавать траектории мобильных узлов сети и скорости их прохождения. Интерфейс симулятора достаточно сложен и потребовались существенные усилия на овладение им. Имеются средства для подробного анализа и визуализации результатов моделирования.

Проделанная работа по освоению NS-2 позволила выполнить моделирование работы беспроводной сети передачи данных для системы общественного транспорта с заданным маршрутом и графиком движения. Целью моделирования было определение работоспособности и характеристик сети при использовании различных динамических протоколов маршрутизации.

Было установлено, что выбор протокола маршрутизации для MANET сети критически важен. В случае неудачного выбора сеть вообще может оказаться неработоспособна. Однако проделанная работа позволяет сделать правильный выбор и обеспечить успешную реализацию системы связи для подвижного состава городской транспортной системы. Были определены необходимые параметры оборудования и архитектуры сети.

### **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Tyagi SS, Chauhan RK. 2010. Performance analysis of proactive and reactive routing protocols for ad hoc networks. *Int J Comput Appl* 2010;1(14).
2. Xi Chen, Siu chung Wong, Chi K. Tse, and Francis C. M. Lau. Oscillation and period doubling in tcp/red system: Analysis and verification. *International Journal of Bifurcation and Chaos*, 18(5):1459–1475, 2008. DOI: 10.1142/S0218127408021105 Cited
3. The Network Simulator - ns-2 <https://www.isi.edu/nsnam/ns>
4. Kevin Fall and Sally Floyd. Simulation-based comparisons of tahoe, reno, and sack tcp. *Computer Communication Review*, 26(3):5–21, July 1996. DOI: 10.1145/235160.235162 Cited on
5. M. Allman, S. Dawkins, D. Glover, J. Griner, D. Tran, T. Henderson, J. Heidemann, J. Touch, H. Kruse, S. Ostermann, K. Scott, and J. Semke. Request for comments rfc-2760: Ongoing tcp research related to satellites. 2000. Cited