

УДК 621.391

Разработка имитационной модели двухранговой сети MANET

Волков А.С.,* Муратчаев С.С. , Кульпина Ю.А.*****

Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники», площадь Шокина, 1, Москва, Зеленоград, 124498, Россия

**e-mail:leshvol@mail.ru*

***e-mail:said.muratchaev@gmail.com*

****e-mail:kulpinaulia37@gmail.com*

Статья поступила 03.12.2019

Аннотация

Децентрализованные мобильные сети MANET (MobileAd-hocNetwork) – радиосети с топологией без базовых станций способные к самоорганизации. Работа посвящена исследованию улучшений характеристик сетей MANET. Главным образом рассматривается концепция двухранговой сети MANET. Предполагается, что преобразование одноранговой сети MANET к двухранговой топологии даст улучшение работы сети в части таких параметров, как пропускная способность и средняя задержка.

Разработанная имитационная модель двухранговой топологии позволяет достичь выигрыша в среднем на 15-30% по сравнению с классическим представлением сетей MANET в параметрах пропускной способности и средней задержки сети. Основываясь на результатах работы модели, можно сделать выводы о

целесообразности улучшения качества связи посредством внедрения двухранговой топологии в сети MANET.

Ключевые слова: MANET, протоколы маршрутизации, двухранговые сети, adhoc.

Введение

В настоящее время стремительно развиваются мобильные сети связи, узким классом которых являются мобильные adhocсети[1]. Недостатком таких сетей является сложность масштабирования, которая возрастает пропорционально скорости и неравномерности движения узлов в сети. Известные алгоритмы маршрутизации частично решают задачу по снижению служебного трафика в рамках одного сегмента сети MANET.

Переход к двухуровневому представлению в рамках одного сегмента сети MANET позволит применять разные алгоритмы маршрутизации на каждом из уровне, что снизит объем служебного трафика. В данной работе рассмотрена разработка имитационной модели двухуровневой сети MANET, где на каждом из уровней применяется рекомендованный алгоритм маршрутизации.

Постановка задачи

Двухранговая сеть MANET состоит из стандартных узлов связи и станций привязки как показано на рис.1. Стандартные узлы строят маршрут внутри сети используя реактивный протокол маршрутизации AODV. Первый радиointерфейс станций привязки используется для обмена информацией внутри подсети MANET на

основе протокола маршрутизации AODV, второй интерфейс – для общения между подсетями с помощью OLSR, при этом мощность на передачу у радиointерфейсов такого узла выше, чем у обычных узлов, имеющих только один интерфейс для связи внутри подсети.

Узлы в двухранговой сети MANET можно классифицировать по их функционалу. Станции привязки – узлы, имеющие большие возможности, в том числе несут основную ответственность за передачу данных внутри подсети и связь между подсетями. На них развернуто два сетевых интерфейса, работающих по разным протоколам маршрутизации: AODV внутри подсетей и OLSR между станциями привязки. Обычные узлы – являются основой подсетей и работают по протоколу AODV [3, 4, 5].

Разработка имитационной модели двухранговой сети MANET проводится в среде NS3 [6]. Выходные данные модели представляются в виде файлов с расширением «.flowmon» и «.pcap» [7].

Имитационная модель двухранговой сети MANET

На рис.1 приведен сегмент взаимодействия подсетей в двухранговой сети MANET.

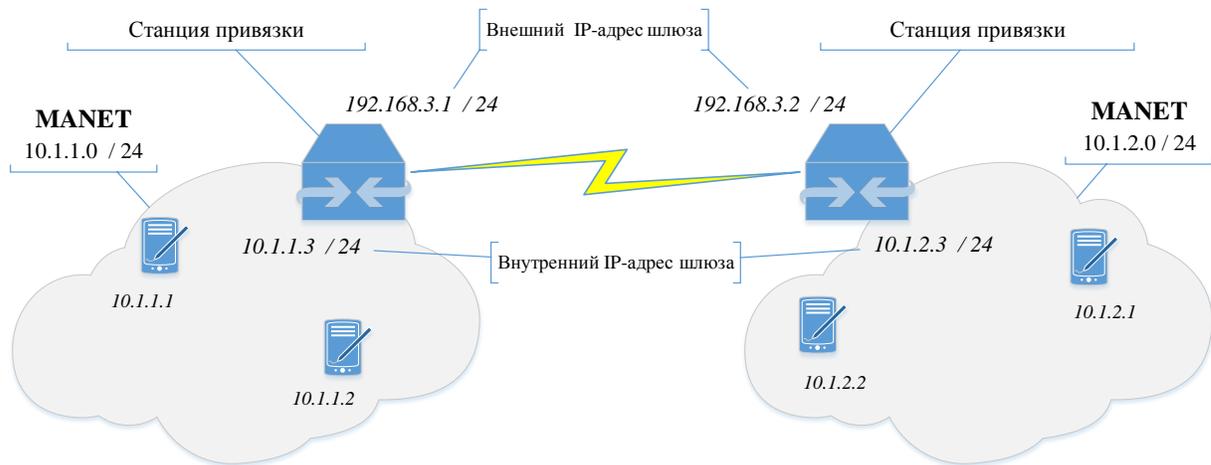


Рисунок 1 – Сегмент взаимодействия подсетей в двухранговой сети MANET

Была взята сеть из шести узлов: два узла с IP-адресами 10.1.1.1 и 10.1.1.2 в первой подсети, два узла с IP-адресами 10.1.2.1 и 10.1.2.2 во второй подсети и две станции привязки с двумя интерфейсами, где интерфейс станций на протоколе OLSR имеет IP-адреса 192.168.3.1 и 192.168.3.2 соответственно, а интерфейс станций, работающих на протоколе AODV – 10.1.1.3 и 10.1.2.3 соответственно. Все узлы имеют маску 255.255.255.0.

На рис.2 – рис.4, показано, что данные проходят через станции привязки от одной подсети в другую.

1122	103.965762	10.1.1.2	10.1.1.1	UDP	576 49153 → 9 Len=512
1123	103.966688		00:00:00_00:00:02 (...)	802.11	14 Acknowledgement, Flags=0.....
1124	103.974905	10.1.1.2	10.1.1.1	UDP	576 49153 → 9 Len=512
1125	103.975831		00:00:00_00:00:02 (...)	802.11	14 Acknowledgement, Flags=0.....
1126	103.984048	10.1.1.2	10.1.1.1	UDP	576 49153 → 9 Len=512
1127	103.984974		00:00:00_00:00:02 (...)	802.11	14 Acknowledgement, Flags=0.....
1128	103.990562	10.1.1.3	10.1.1.255	OLSR v1	92 OLSR (IPv4) Packet, Length: 28 Bytes
1129	103.993191	10.1.1.2	10.1.1.1	UDP	576 49153 → 9 Len=512
1130	103.994117		00:00:00_00:00:02 (...)	802.11	14 Acknowledgement, Flags=0.....
1131	104.002334	10.1.1.2	10.1.1.1	UDP	576 49153 → 9 Len=512
1132	104.003260		00:00:00_00:00:02 (...)	802.11	14 Acknowledgement, Flags=0.....
1133	104.003610	10.1.1.2	10.1.1.255	AODV	84 Route Reply, D: 10.1.1.2, O: 10.1.1.2 Hcnt=0 DSN=0 Lifetime=2000
1134	104.011477	10.1.1.2	10.1.1.1	UDP	576 49153 → 9 Len=512
1135	104.012403		00:00:00_00:00:02 (...)	802.11	14 Acknowledgement, Flags=0.....
1136	104.020620	10.1.1.2	10.1.1.1	UDP	576 49153 → 9 Len=512
1137	104.021546		00:00:00_00:00:02 (...)	802.11	14 Acknowledgement, Flags=0.....
1138	104.029762	10.1.1.2	10.1.1.1	UDP	576 49153 → 9 Len=512
1139	104.030688		00:00:00_00:00:02 (...)	802.11	14 Acknowledgement, Flags=0.....
1140	104.038905	10.1.1.2	10.1.1.1	UDP	576 49153 → 9 Len=512

Рисунок 2 – Передача пакетов данных в первой подсети

517	101.900844	192.168.3.2	192.168.3.1	UDP	576 49153 → 9 Len=512
518	101.900854		00:00:00_00:00:08 (...)	802.11	14 Acknowledgement, Flags=0.....
519	101.909987	192.168.3.2	192.168.3.1	UDP	576 49153 → 9 Len=512
520	101.909997		00:00:00_00:00:08 (...)	802.11	14 Acknowledgement, Flags=0.....
521	101.919130	192.168.3.2	192.168.3.1	UDP	576 49153 → 9 Len=512
522	101.919140		00:00:00_00:00:08 (...)	802.11	14 Acknowledgement, Flags=0.....
523	101.922166	192.168.3.2	192.168.3.255	OLSR v1	92 OLSR (IPv4) Packet, Length: 28 Bytes
524	101.928273	192.168.3.2	192.168.3.1	UDP	576 49153 → 9 Len=512
525	101.928283		00:00:00_00:00:08 (...)	802.11	14 Acknowledgement, Flags=0.....
526	101.937416	192.168.3.2	192.168.3.1	UDP	576 49153 → 9 Len=512
527	101.937426		00:00:00_00:00:08 (...)	802.11	14 Acknowledgement, Flags=0.....
528	101.946558	192.168.3.2	192.168.3.1	UDP	576 49153 → 9 Len=512
529	101.946568		00:00:00_00:00:08 (...)	802.11	14 Acknowledgement, Flags=0.....
530	101.955701	192.168.3.2	192.168.3.1	UDP	576 49153 → 9 Len=512
531	101.955711		00:00:00_00:00:08 (...)	802.11	14 Acknowledgement, Flags=0.....
532	101.964844	192.168.3.2	192.168.3.1	UDP	576 49153 → 9 Len=512
533	101.964854		00:00:00_00:00:08 (...)	802.11	14 Acknowledgement, Flags=0.....
534	101.973987	192.168.3.2	192.168.3.1	UDP	576 49153 → 9 Len=512
535	101.973997		00:00:00_00:00:08 (...)	802.11	14 Acknowledgement, Flags=0.....

Рисунок 3 – Передача пакетов данных между станциями

1069	104.013254	10.1.2.1	10.1.2.255	AODV	84 Route Reply, D: 10.1.2.1, O: 10.1.2.1 Hcnt=0 DSN=0 Lifetime=2000
1070	104.013944	10.1.2.2	10.1.2.1	UDP	576 49153 → 9 Len=512
1071	104.014870		00:00:00_00:00:05 (...)	802.11	14 Acknowledgement, Flags=0.....
1072	104.023087	10.1.2.2	10.1.2.1	UDP	576 49153 → 9 Len=512
1073	104.024013		00:00:00_00:00:05 (...)	802.11	14 Acknowledgement, Flags=0.....
1074	104.032230	10.1.2.2	10.1.2.1	UDP	576 49153 → 9 Len=512
1075	104.033156		00:00:00_00:00:05 (...)	802.11	14 Acknowledgement, Flags=0.....
1076	104.041373	10.1.2.2	10.1.2.1	UDP	576 49153 → 9 Len=512
1077	104.042299		00:00:00_00:00:05 (...)	802.11	14 Acknowledgement, Flags=0.....
1078	104.050516	10.1.2.2	10.1.2.1	UDP	576 49153 → 9 Len=512
1079	104.051441		00:00:00_00:00:05 (...)	802.11	14 Acknowledgement, Flags=0.....
1080	104.059658	10.1.2.2	10.1.2.1	UDP	576 49153 → 9 Len=512
1081	104.060584		00:00:00_00:00:05 (...)	802.11	14 Acknowledgement, Flags=0.....
1082	104.068801	10.1.2.2	10.1.2.1	UDP	576 49153 → 9 Len=512
1083	104.069727		00:00:00_00:00:05 (...)	802.11	14 Acknowledgement, Flags=0.....
1084	104.077944	10.1.2.2	10.1.2.1	UDP	576 49153 → 9 Len=512
1085	104.078870		00:00:00_00:00:05 (...)	802.11	14 Acknowledgement, Flags=0.....
1086	104.087087	10.1.2.2	10.1.2.1	UDP	576 49153 → 9 Len=512
1087	104.088013		00:00:00_00:00:05 (...)	802.11	14 Acknowledgement, Flags=0.....
1088	104.096230	10.1.2.2	10.1.2.1	UDP	576 49153 → 9 Len=512
1089	104.097156		00:00:00_00:00:05 (...)	802.11	14 Acknowledgement, Flags=0.....
1090	104.105373	10.1.2.2	10.1.2.1	UDP	576 49153 → 9 Len=512
1091	104.106299		00:00:00_00:00:05 (...)	802.11	14 Acknowledgement, Flags=0.....
1092	104.114516	10.1.2.2	10.1.2.1	UDP	576 49153 → 9 Len=512
1093	104.115441		00:00:00_00:00:05 (...)	802.11	14 Acknowledgement, Flags=0.....
1094	104.123658	10.1.2.2	10.1.2.1	UDP	576 49153 → 9 Len=512
1095	104.124584		00:00:00_00:00:05 (...)	802.11	14 Acknowledgement, Flags=0.....
1096	104.132801	10.1.2.2	10.1.2.1	UDP	576 49153 → 9 Len=512
1097	104.133727		00:00:00_00:00:05 (...)	802.11	14 Acknowledgement, Flags=0.....
1098	104.141944	10.1.2.2	10.1.2.1	UDP	576 49153 → 9 Len=512
1099	104.142870		00:00:00_00:00:05 (...)	802.11	14 Acknowledgement, Flags=0.....
1100	104.151087	10.1.2.2	10.1.2.1	UDP	576 49153 → 9 Len=512
1101	104.152013		00:00:00_00:00:05 (...)	802.11	14 Acknowledgement, Flags=0.....
1102	104.152390	10.1.2.3	10.1.2.255	OLSR v1	92 OLSR (IPv4) Packet, Length: 28 Bytes
1103	104.160230	10.1.2.2	10.1.2.1	UDP	576 49153 → 9 Len=512

Рисунок 4 – Передача пакетов данных во второй подсети

Как видно из приведенных выше рисунков, в сети происходит передача информации между узлами, причем с использованием протоколов AODV и OLSR. На рис.2 представлена первая подсеть с сетевым адресом 10.1.1.0. Видно, что станция

привязки с IP-адресом 10.1.1.3 также участвует в обмене данными. На рис.3 представлена передача пакетов между станциями с сетевым адресом 192.168.3.0. Связь между этими узлами осуществляется только по протоколу OLSR. На рис.4 представлена вторая подсеть с сетевым адресом 10.1.2.0, где происходит передача данных аналогично первой подсети.

Из этого можно заключить, что имитационная модель двухранговой сети MANET функционирует как задумано, обмениваясь данными между подсетями с помощью двух протоколов на разных рангах сети.

На рис.5 представлена топология двухранговой сети MANET.

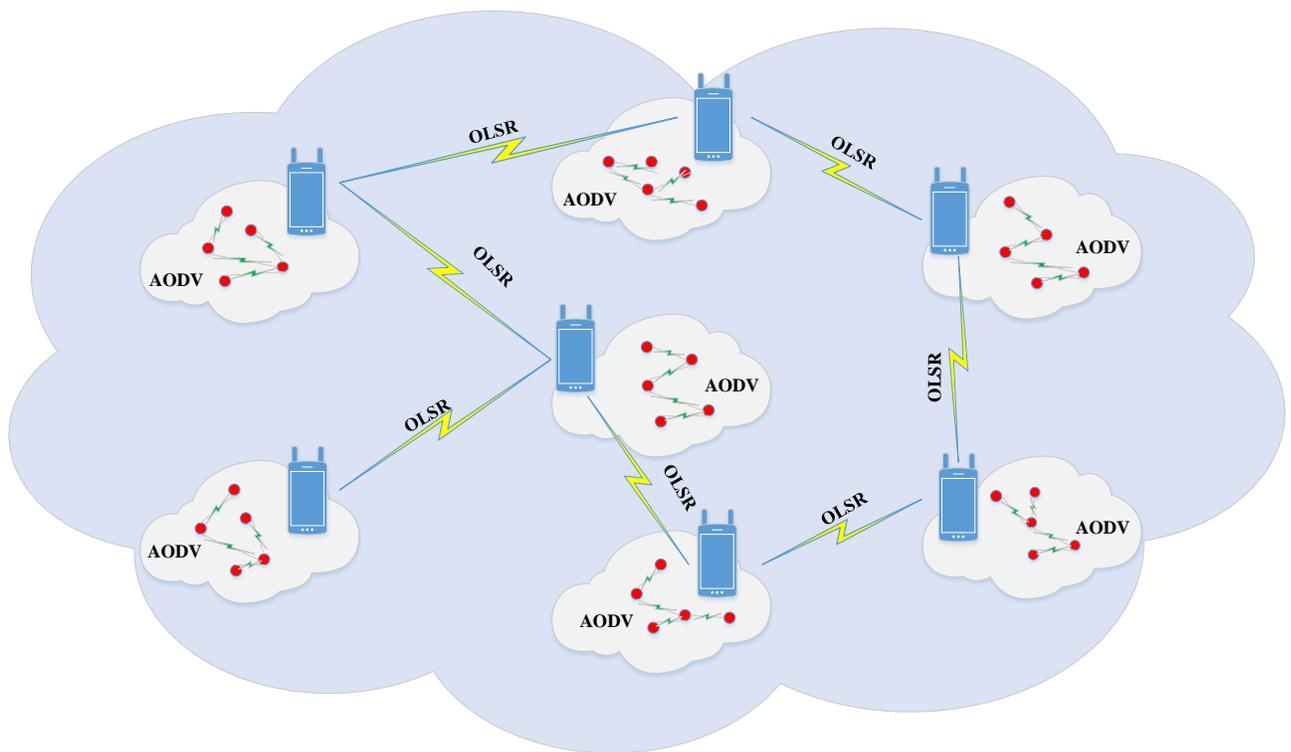


Рисунок 5 – Передача пакетов данных во второй подсети

Двухранговая сеть MANET состоит из семи подсетей по пятьдесят узлов и семи станций привязки для каждой из подсети. Станции привязки являются частью подсетей, и их траектория движения ограничена данной подсетью.

Результаты работы имитационной модели

Результатом моделирования являются сформированные файлы с расширением «.pcap» и «.flowmon» хранящие в себе статистику передаваемых пакетов данных по сети. На их основе были построены графики пропускной способности служебного и полезного трафика на интервале времени работы сети [8].

Далее представлены графики пропускной способности для разных конфигураций сети MANET [9, 10], состоящей в сумме из 350 узлов. Время моделирования начиналось от 100 секунд до 1000 секунд. Скорость передачи данных [11, 12] была взята 512 кбит/с. Размер пакета составлял 512 байт.

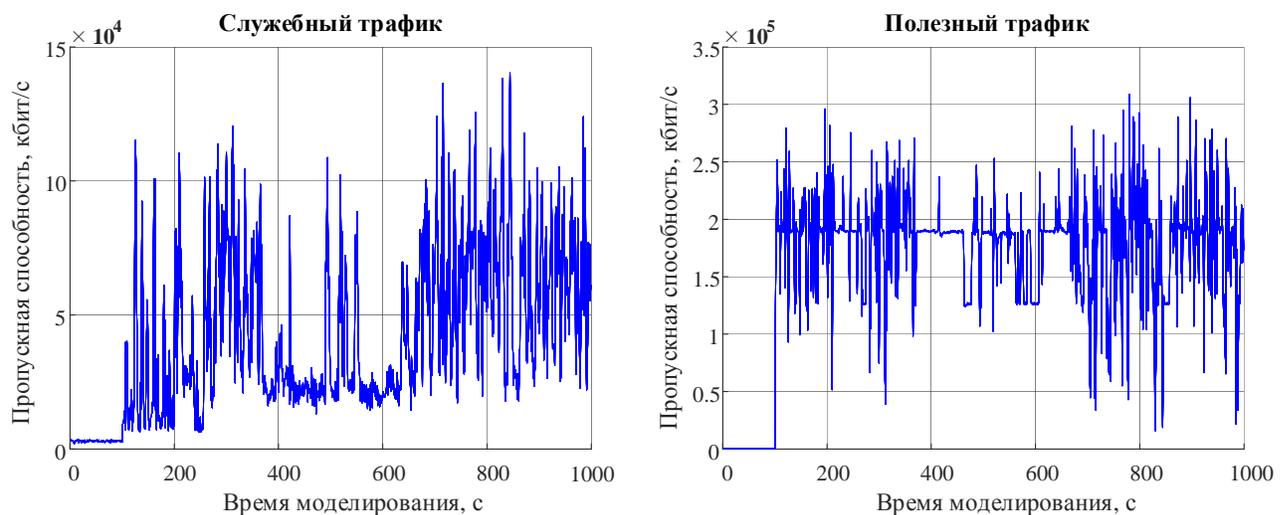


Рисунок 6 – Пропускная способность одноранговой сети MANET

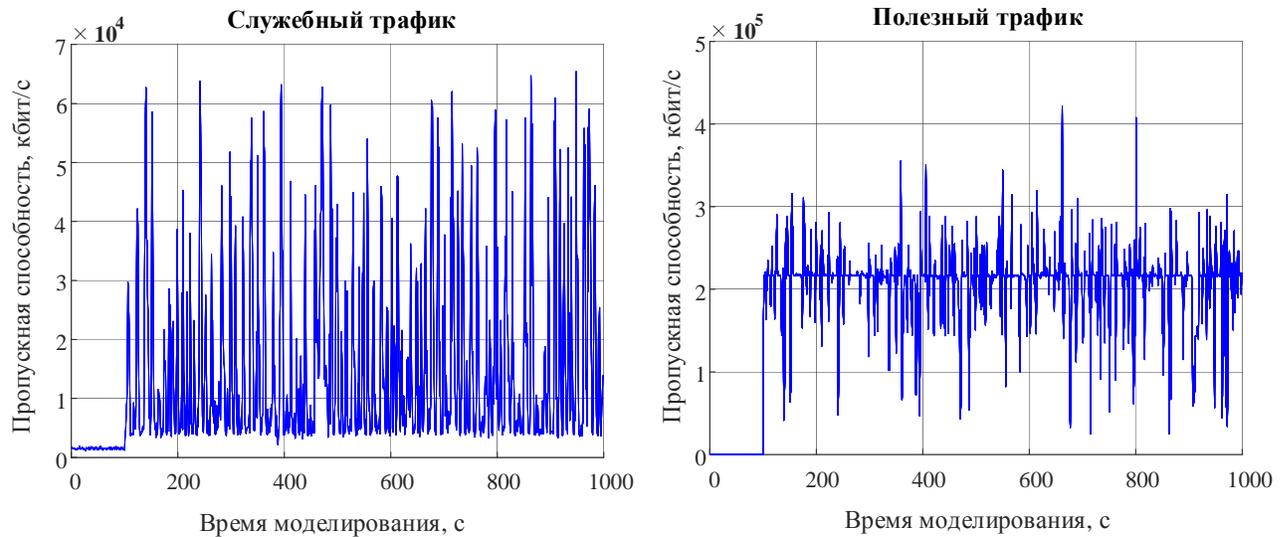


Рисунок 7 – Пропускная способность двухранговой сети MANET

На графике, представленном на рис.6, видно, что на интервале времени, равном 440 с, происходили провалы при передаче полезной информации. В этот же момент времени резко возрастал служебный трафик. Это обусловлено тем, что устройства отдалились друг от друга, и связь в эти моменты времени ухудшилась, а для ее восстановления устройства активно обменивались служебными данными[13]. Значения в точке минимума зависимости пропускной способности достигает 20 Мбит/с для десяти потоков. Этот факт является следствием отдаления устройств на критичные расстояния друг от друга. Возрастание пропускной способности после провала характеризуется последующим сближением устройств, что соответствует улучшению связи [14]. Для данного сценария максимально достижимая пропускная способность полезного трафика достигает значения 300 Мбит/с, при этом служебный трафик соответствовал 137 Мбит/с.

Исследование результатов позволило получить следующие характеристики сетевого взаимодействия:

- средняя задержка: 273 мс;
- пропускная способность сети: 213 Мбит/с;
- доля потерянных пакетов: 33%;
- среднее время установления маршрута: 74 мс.

На графике, представленном на рис.7, прослеживается такая же закономерность, что на интервале времени 400 секунд, происходили провалы при передаче полезной информации [15]. В этот же момент времени резко возрастал служебный трафик. Значения в точке минимума зависимости пропускной способности достигает 177 Мбит/с суммарно для десяти потоков. Для данного сценария максимально достижимая пропускная способность полезного трафика достигает значения 420 Мбит/с, при этом служебный трафик соответствовал 127 Мбит/с.

Исследование результатов позволило получить следующие характеристики сетевого взаимодействия:

- средняя задержка: 109,5 мс;
- пропускная способность сети: 276 Мбит/с;
- доля потерянных пакетов: 21%;
- среднее время установления маршрута: 49 мс.

Таким образом, пропускная способность сети возросла при использовании двухранговой сети MANET с таким же суммарным количеством узлов, как и в одноранговой сети MANET.

Для выявления средней задержки было проведено имитационное моделирование при различных значениях параметра «DataRate» или «скорости передачи данных»[16]. Диапазон значения изменялся от 64 кбит/с до 45 Мбит/с. Для построения графика зависимости средней задержки от скорости передачи данных использовались файлы трассировки с расширением «.flowmon». На основе полученных результатов построен график представленный на рис.8.

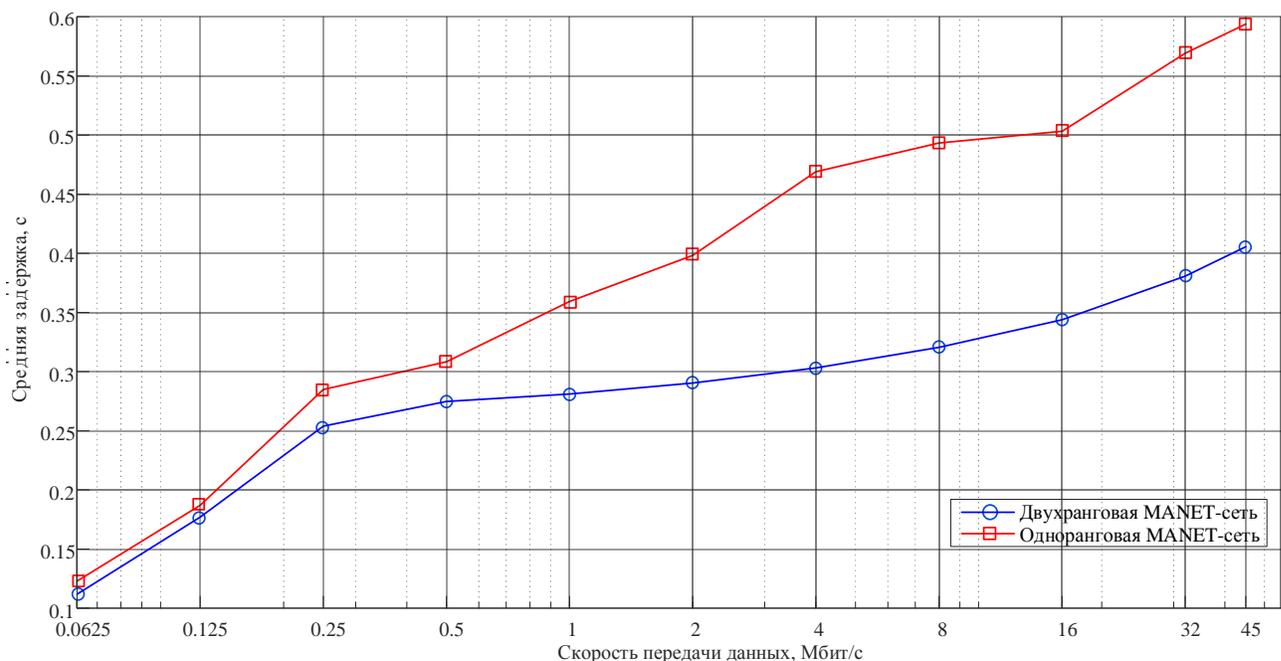


Рисунок 8 – Средняя задержка одноранговой и двухранговой сети MANET

На рис.8 представлена зависимость средней задержки от скорости передачи данных в сети для двух конфигураций – одноранговой и двухранговой сети MANET с одинаковыми входными параметрами. Как видно из графика задержка возрастает с

увеличением скорости передачи данных, однако для двухранговой сети MANET эти значения в среднем меньше на 30%, чем для стандартной сети.

Для того, чтобы узнать процент доставки пакетов в одноранговой и двухранговой сетях MANET и отобразить результаты графически, необходимо использовать те же файлы с результатами моделирования для выявления средней задержки[17,18]. Отличие состоит в том, что необходимо работать с другими данными из «.flowmon» файла. В данном случае необходимы значения переменных txPackets и rxPackets – количество переданных и полученных пакетов соответственно. Далее на рис. 9 представлен график зависимости PDR [19,20] (процент доставки пакетов) от скорости передачи данных.

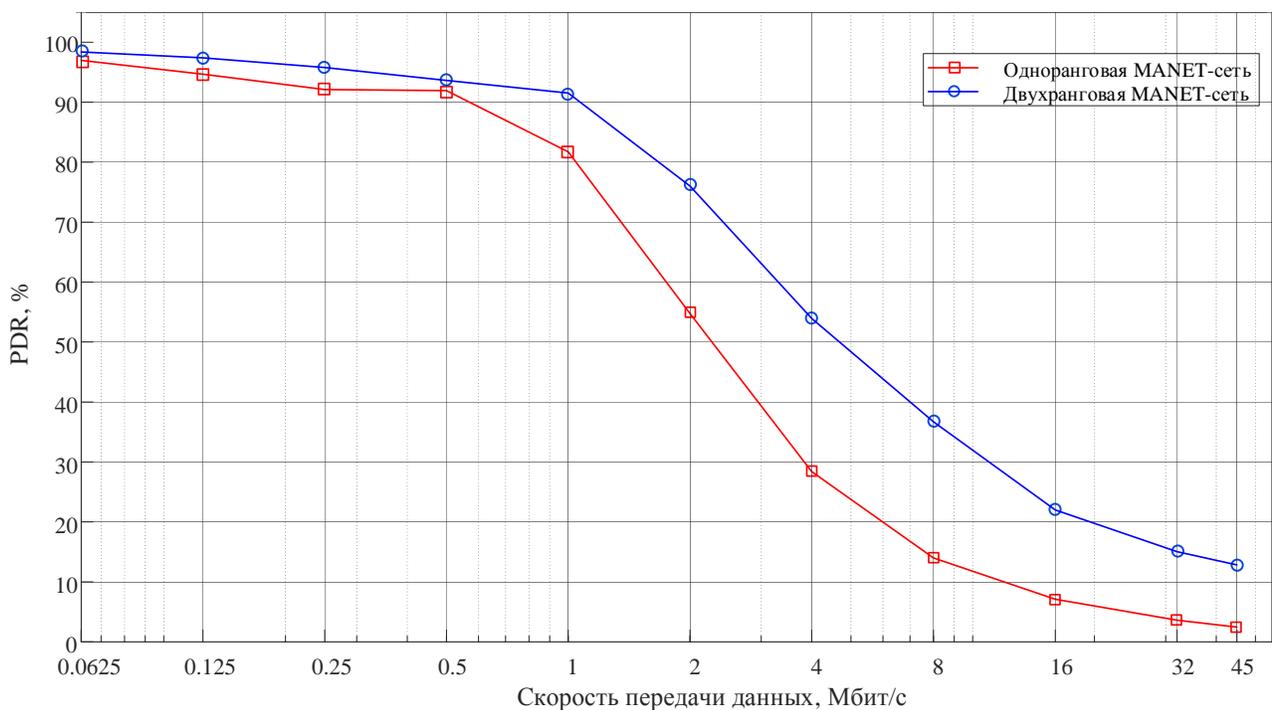


Рисунок 9 – Процент доставки пакетов в одноранговой и двухранговой сетях

MANET

На рис.9 представлена зависимость коэффициента полученных пакетов от скорости передачи данных в сети для двух конфигураций – одноранговой и двухранговой сетей MANET с одинаковыми входными параметрами. Как видно из графика коэффициент уменьшается с увеличением скорости передачи данных, однако для двухранговой сети MANET эти значения выше в среднем выше на 16%, чем для стандартной сети MANET.

Заключение

Таким образом, проводилась оценка результатов моделирования разработанной модели двухранговой сети MANET в среде NS-3. Моделирование проводилось в три этапа. Первый этап – моделирование одноранговой сети MANET, состоящей из 350 узлов. По результатам имитационного моделирования был построен график пропускной способности на интервале времени работы сети для одноранговой и двухранговой сетей MANET. Также были получены значения средней задержки, пропускной способности, доли потерянных пакетов и среднее время установления маршрута. Второй этап – моделирование двухранговой сети MANET. Третий этап – моделирование одноранговой и двухранговой сети MANET с постепенным изменением значения скорости передачи данных. Получены два графика: зависимость значения средней задержки и зависимость коэффициента доставки пакетов от скорости передачи данных.

При анализе результатов моделирования, были выявлены следующие улучшения характеристик для двухранговой сети MANET при сравнении с

одноранговой топологией: коэффициент PDR выше в среднем на 16%, пропускная способность выше на 23%, а средняя задержка меньше на 30%.

Библиографический список

1. Mobile Ad hoc Networking (MANET): Are Not A Fundamentally Flawed Architecture, available at: <https://www.cs.rutgers.edu/~rmartin/teaching/fall04/cs552/papers/012.pdf>
2. Таненбаум Э., Уэзеролл Д. Компьютерные сети. – СПб.: Питер, 2012. – 970 с.
3. Описание работы протокола AODV и его реализация в программе NS-3. URL: <https://www.nsnam.org/docs/models/html/aodv.html>
4. A.K. Gupta, H. Sadawarti, A.K. Verma. Performance analysis of AODV, DSR & TORA Routing Protocols // IACSIT International Journal of Engineering and Technology, April 2010, vol. 2, no.2 pp. 226 – 231.
5. Описание работы протокола OLSR и его реализация в программе NS-3. URL: <https://www.nsnam.org/docs/models/html/olsr.html>
6. Supriya Singla, Sushma Jain. Performance Comparison of Routing Protocols of MANET in Real World Scenario using NS3 // International Journal of Computer Applications, 2014, no. 99 (14), pp. 17 – 23. DOI: [10.5120/17441-8223](https://doi.org/10.5120/17441-8223)
7. Описание структуры модели в программе NS-3. URL: <https://www.nsnam.org/docs/release/3.25/tutorial/singlehtml/index.html>

8. Бородин В.В., Петраков А.М., Шевцов В.А. Анализ эффективности передачи данных в сети связи группировки беспилотных летательных аппаратов // Труды МАИ. 2015. № 81. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=57894>
9. Реализация модели MANET-сети в программе NS-3. URL: https://www.nsnam.org/doxygen/manet-routing-compare_8cc_source.html
10. NS-3 Network Simulator. NS-3 Manual. Release ns-3-dev. 2017, 169 p. URL: <https://www.nsnam.org/docs/manual/ns-3-manual.pdf>
11. Бородин В.В., Петраков А.М., Шевцов В.А. Моделирование служебного канала передачи маршрутной информации адаптивной летающей сети связи // Электросвязь. 2016. № 11. С. 41 - 45.
12. M. Fazeli, H. Vaziri. Assessment of Throughput Performance Under OPNET Modeler Simulation Tools in Mobile Ad Hoc Networks (MANETs) // 2011 Third International Conference on Computational Intelligence, Communication Systems and Networks, Bali, 2011, pp. 328 - 331. DOI: [10.1109/CICSyN.2011.75](https://doi.org/10.1109/CICSyN.2011.75)
13. Rahman M.U., Abbas S. Simulation-based analysis of MANET routing protocols using group mobility model // 2016 International Conference on Inventive Computation Technologies (ICICT), Coimbatore, 2016. DOI: [10.1109/INVENTIVE.2016.7823290](https://doi.org/10.1109/INVENTIVE.2016.7823290)
14. Sainy S.K., Chaudhary R.R., Kumar A. Performance evaluation of routing protocols based on different models in MANET // 2016 IEEE International Conference on Recent Trends in Electronics, Information & Communication Technology (RTEICT), Bangalore, 2016, pp. 1666 - 1670. DOI: [10.1109/RTEICT.2016.7808116](https://doi.org/10.1109/RTEICT.2016.7808116)

15. K.C.K. Naik, C. Balaswamy, P.R. Reddy. Performance Analysis of OLSR Protocol for MANETs under Realistic Mobility Model // 2019 IEEE International Conference on Electrical, Computer and Communication Technologies (ICECCT), Coimbatore, India, 2019, vol. 8, issue 2, available at: <https://www.ijrte.org/wp-content/uploads/papers/v8i2/B1938078219.pdf>
16. Rath M. Group based analysis of AODV related protocols in MANET // 2016 6th International Conference - Cloud System and Big Data Engineering (Confluence), Noida, 2016, pp. 548 - 553. DOI:[10.1109/CONFLUENCE.2016.7508180](https://doi.org/10.1109/CONFLUENCE.2016.7508180)
17. Noor Alleema N, Sivakumar D. Study and analysis of opportunistic routing protocols in MANET // 2015 IEEE Technological Innovation in ICT for Agriculture and Rural Development (TIAR), Chennai, 2015, pp. 139 - 143. DOI: [10.1109/TIAR.2015.7358546](https://doi.org/10.1109/TIAR.2015.7358546)
18. N. Kumari, S.K. Gupta, R. Choudhary, S.L. Agrwal, New performance analysis of AODV, DSDV and OLSR routing protocol for MANET // 2016 3rd International Conference on Computing for Sustainable Global Development (INDIACom), New Delhi, 2016, pp. 33 - 35.
19. K.C.K. Naik, C. Balaswamy, P.R. Reddy. Performance Analysis of OLSR Protocol for MANETs under Realistic Mobility Model // 2019 IEEE International Conference on Electrical, Computer and Communication Technologies (ICECCT), Coimbatore, India, 2019, pp. 1-5.

20. Chaba Y., Singh Y., Joon M. Simulation based performance analysis of on-demand routing protocols in MANETs // 2010 Second International Conference on Computer Modeling and Simulation, Sanya, Hainan, 2010, pp. 80-83. DOI: 10.1109/ICCMS.2010.392