

УДК 004.057.4, 004.94

А.А. Павлов¹, И.О. Датъев^{1,2}

¹Институт информатики и математического моделирования технологических процессов
Кольского НЦ РАН

² ФГБОУ ВО «Мурманский арктический государственный университет»

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ПАРАМЕТРОВ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ БЕСПРОВОДНЫХ МНОГОШАГОВЫХ СЕТЕЙ

Аннотация

В статье представлены разработанные модели, предназначенные для проведения исследований, в которых рассматривалось влияние различных параметров на качество передачи данных в беспроводных многошаговых сетях. На основе результатов проведенных имитационных экспериментов сделаны выводы о необходимости учета определенных параметров при разработке метрик и протоколов маршрутизации.

Ключевые слова:

беспроводные многошаговые сети, имитационное моделирование, протоколы маршрутизации, NS-3.

A.A. Pavlov, I.O. Datyev

RESEARCH OF INFLUENCE THE DIFFERENT PARAMETERS ON CHARACTERISTICS DATA COMMUNICATION OF WIRELESS MULTIHOP NETWORKS

Abstract

The article presents the simulation models developed for research the various factors influence on multihop wireless networks data transmission. Based on the results of simulation experiments the authors have been made conclusions about the necessity of taking into account certain factors during the development of the metrics and routing protocols.

Keywords:

multihop wireless networks, simulation, routing protocols, NS-3.

Введение

В настоящее время беспроводные многошаговые сети являются объектом исследования ученых всего мира и актуальным средством решения задач передачи информации в регионах с неразвитой информационно-коммуникационной инфраструктурой (что, например, характерно для Арктических районов). Наиболее известными видами беспроводных многошаговых сетей являются следующие: MANET [1] – децентрализованные самоорганизующиеся сети, состоящие из мобильных устройств; MESH [2] – это распределенная, одноранговая, ячеистая сеть; LLN [11] – класс сети, в которой на узлы сети наложены некоторые ограничения (память, вычислительная мощность, заряд батареи); VANET [12] – автомобильные беспроводные самоорганизующиеся сети предназначены для повышения эффективности и безопасности дорожного движения; FANET [3] – т.н. «летающие» беспроводные самоорганизующиеся сети, узлами которых, как правило, являются беспилотные летательные аппараты.

Примерами конкретных ситуаций развертывания многошаговых беспроводных сетей могут служить: различного рода экспедиции (разведывательные, экспериментальные, исследовательские), военные и спасательные операции с применением различной техники (роботы, дроны), организация связи на закрытых горных выработках.

На данный момент сети типа MANET обладают рядом общепринятых недостатков, которые мешают их широкому применению:

- проведение реального тестирования поведения сети большого размера, вследствие ее нераспространённости;
- ограниченность ресурса источника питания мобильных узлов;
- сложность маршрутизации данных, вследствие постоянного изменения топологии;
- сложность связи устройств, посредством существующих стандартов Wi-Fi.

Группы ученых всего мира занимаются решением вышеперечисленных проблем. Но существует проблема, которой на сегодняшний день не уделяется достаточное внимание: влияние различных параметров (размер пакета, мощность сигнала, скорость сигнала и других), представленных в данной статье, на качество передачи данных в беспроводных многошаговых сетях. Целью данной работы являлось исследование влияния выбранных параметров на качество передаваемых данных посредством разработки и применения имитационных моделей.

Протоколы маршрутизации данных

В беспроводных сетях используются протоколы маршрутизации, которые по принципу работы можно разделить на [4]:

1. Проактивные или табличные (англ. proactive, table-driven). Периодически рассылают по сети служебные сообщения с информацией обо всех изменениях в ее топологии. Каждый узел строит таблицу маршрутизации, откуда при необходимости передачи сообщения какому-либо узлу считывается маршрут к этому адресату.

2. Реактивные или работающие по запросу (англ. reactive, on-demand). Составляют маршруты до конкретных узлов лишь при возникновении необходимости в передаче им информации. Для этого узел-отправитель широковещательно рассылает по сети сообщение-запрос, которое должно дойти до узла-адресата.

3. Гибридные (англ. hybrid). Данные протоколы комбинируют механизмы проактивных и реактивных протоколов. Как правило, они разбивают сеть на множество подсетей, внутри которых функционирует проактивный протокол, а взаимодействие между ними осуществляется реактивными методами.

DSDV [13] - основан на идее классического алгоритма маршрутизации Беллмана-Форда с некоторыми улучшениями. *DSDV* проактивный, дистанционно векторный алгоритм. Каждый узел поддерживает таблицу маршрутизации, в котором перечислены все доступные направления, количество маршрутизаторов («прыжков») до конечного пункта и номер версии. Узлы периодически передают свои таблицы маршрутизации ближайшим соседям.

Узел также передает свою таблицу маршрутизации, если в ней произошло изменение с момента последнего отправленного обновления. Основная задача алгоритма в том, чтобы исключить возможность создания циклических маршрутов. Для минимизации объема трафика, протокол предусматривает обмен полными таблицами маршрутизации только при серьезных изменениях в топологии сети. В большинстве случаев отправляются более мелкие дополнительные обновления.

AODV [14] - Протокол *AODV* (Ad hoc On-Demand Distance Vector) использует критерий формирования и поддержки маршрута по требованию аналогично протоколу *DSR*, а также механизм пошаговой маршрутизации и периодической рассылки широковещательных посылок-запросов как у *DSDV*. Узел-источник перед отправкой информационного пакета узлу-получателю проверяет свои таблицы маршрутизации на наличие установленного маршрута до адресата и при его отсутствии рассылает всем узлам в зоне вещания пакет для установления маршрута (route request – RREQ). При этом *AODV* минимизирует число необходимых передач путем формирования маршрута на основе опроса, в отличие от поддержания полного списка маршрутов, как в алгоритме *DSDV*. Однако в *AODV* в начале коммутации требуется больше времени на установку маршрута, чем во многих других протоколах.

OLSR [15] - Протокол *OLSR* (Optimized Link-State Routing) обеспечивает уменьшение общей загрузки сети путём минимизации количества ретрансляций в сети за счёт механизма формирования набора многоточечных узлов-ретрансляторов, охватывающих как минимум 2 узла принадлежащих маршруту. Соединения между ними определяются с помощью периодической рассылки HELLO-пакетов, содержащих информацию об всех соседних узлах, а также состояние их связей. Маршрут представляет собой последовательность хопов до места назначения через многоточечные ретрансляции в сети, при этом источник имеет информацию только о следующем шаге пересылки сообщения.

Модели для тестирования влияния параметров на качество связи в сетях класса MANET

Моделирование проводилось в среде NS-3 [5]. В качестве базового протокола был выбран протокол *OLSR*. Цель работы заключается в выявлении тех параметров, которые могут оказывать значительное влияние на качество беспроводной связи по технологии MANET.

Эксперименты проводились в одинаковых условиях с изменением следующих параметров: размер пакета, мощность сигнала, скорость узлов, количество корреспондирующих пар.

Выбранные параметры редко встречаются в научных работах в качестве величин, оказывающих существенное влияние на качество передачи данных в многошаговых беспроводных сетях. В основном работы ученых направлены на создание универсальных и эффективных протоколов маршрутизации [5-10].

Полученную информацию можно применить при создании или улучшении существующих протоколов и метрик маршрутизации. В качестве результирующих характеристик, на которые влияют исходные параметры, были выбраны: средняя задержка и коэффициент потерь пакетов.

Таблица 1

Параметры модели

Модель	Случайная, линия, матрица
Мощность сигнала	5-30 dB
Количество узлов	15-40
Скорость узлов	2 – 15 m\с
Размер пакетов	64, 256, 512, 1024, 2000
Битрейт	5000-2000000 bps
Стандарт Wi-Fi	802.11b, 802.11n
Размеры территорий	1500x1500 m
Количество передающих пар узлов	1-7
Модуляция	DsssRate11mbps
Модель распространения сигнала	FriisPropagationLossModel
Модель задержки сигнала	ConstantSpeedPropagationDelayModel, RandomSpeedPropagationDelayModel

Модель, использующая случайное перемещение узлов

Для тестирования влияния различных параметров на качество связи авторами была разработана имитационная модель, реализующая случайное движение узлов сети. Все узлы сети ad-hoc использовали одинаковый протокол динамической маршрутизации и располагались случайным образом на площадке 1,5 км². Кроме этого, каждый узел перемещался в произвольном направлении. Обязательным условием было использование одинаковых координат и векторов перемещения для разных экспериментов при моделировании рассматриваемой сети и одних пар узлов.

Таблица 2

Изменение размера пакетов

Размер пакета (bytes)	Средняя задержка (ms)	Коеф-т потерь (%)
64	1247.8	22.2336
256	675.3	5.69019000
1024	732.299	43.956
2000	889.186	62.3656

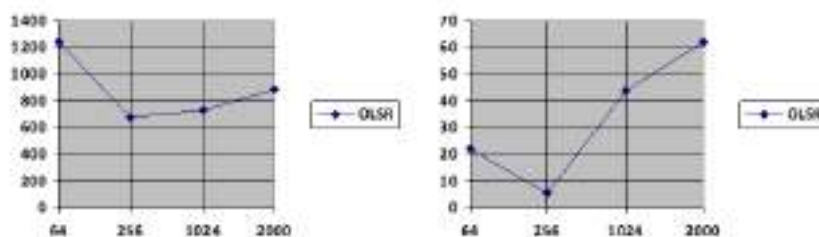


Рис. 1. Графики зависимости средней задержки (слева) и количества потерянных данных (справа) от размера пакета

На основе результатов эксперимента можно сделать вывод, что наилучшие характеристики производительности достигаются при средних значениях размеров пакетов. При малом размере передаваемых пакетов возрастает как само количество пакетов, так и объемы служебного трафика. Частая смена маршрута происходит за счет того, что узлы находятся в движении (скорость узлов 27 км/ч). Поэтому большое число пакетов приходится отсылать разными маршрутами, что создает большую нагрузку на сеть. При большой величине пакета требуется большее время на его передачу и прием, что влечет снижение производительности сети в условиях постоянного перемещения узлов. Поэтому, для различных скоростей перемещения узлов необходимо учитывать, и, по возможности, устанавливать размер пакета в наибольшей степени соответствующий другим параметрам сети.

Таблица 3

Изменение скорости узлов

Скорость узлов (m/s)	Средняя задержка (ms)	Коэф-т потерь (%)
1,8	1123.08	19.0672
2.7	921.419	13.1687
7,5	675.3	5,69019000
15	746.06	42.524

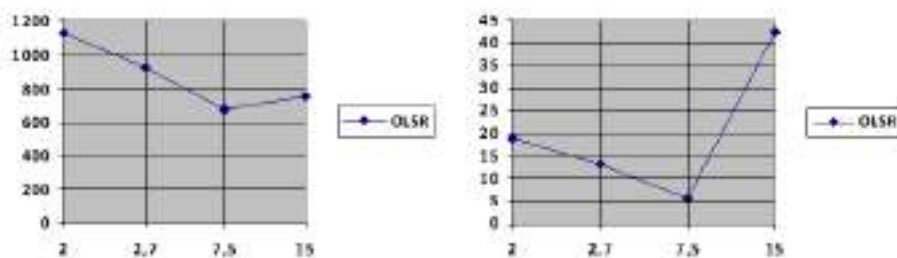


Рис. 2. Графики зависимости средней задержки (слева) и количества потерянных данных (справа) от скорости движения узлов

Во время экспериментов при низких или слишком высоких скоростях перемещения узлов протокол OLSR показывает наихудшие результаты. Плохие результаты OLSR конкретно в этой серии экспериментов при низких скоростях перемещения узлов объясняются нарушением связности сети, вследствие небольшого количества узлов, размещенных на территории достаточно большой площади (1,5 x 1,5 км) и малой мощностью передатчиков этих узлов. По результатам экспериментов, наилучший показатель обеспечивается на скорости 7.5 м/с (27км/ч).

Таблица 4

Влияние мощности сигнала передатчика на задержку и потери данных

Мощность сигнала (dB)	Средняя задержка (ms)	Кэф-т потерь (%)
5	2531.06	90.2606
6	2282.08	66.941
10	675.3	5,69019000
20	146.566	0

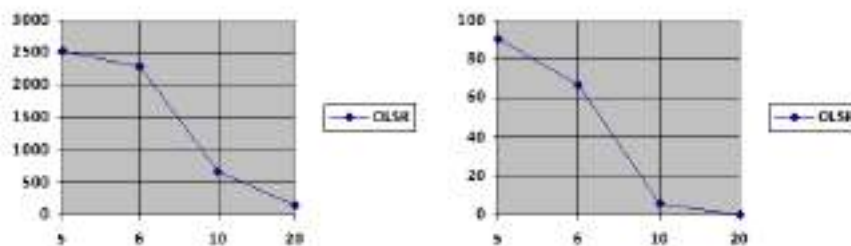


Рис. 3. Графики зависимости средней задержки (слева) и количества потерянных данных (справа) от мощности сигнала

Мощность сигнала передатчика оказывает одно из самых больших влияний на результаты моделирования из всех проведенных экспериментов. За счет усиления сигнала значительно сокращается количество шагов, которые должны пройти данные до адресата. В среднем от 6-9 шагов до 1-2. Это сильно разгружает устройства и позволяет быстрее и качественнее передавать данные. При увеличении значения мощности до 20 dB такая сеть может быть использована для передачи данных без каких-либо серьезных задержек или помех.

Таблица 5

Изменение количества пар передающих узлов

Количество пар	Средняя задержка (ms)	Кэф-т потерь (%)
1	633.467	11.206
2	683.1	8.39419
3	710.031	21.97925

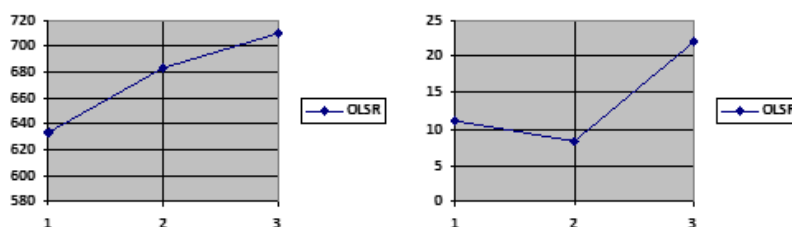


Рис. 4. Графики зависимости средней задержки (слева) и количества потерянных данных (справа) от количества передающих пар узлов

Увеличение количества передающих пар так же оказывает существенное влияние на значения выходных параметров. В большей степени это обусловлено ограничениями физического, канального уровней, в частности, методов доступа к среде передачи.

Модель «Матрица»

Для дальнейших исследований разработана модель, реализующая топологию «матрица». В этой модели узлы сети размещаются подобно элементам матрицы на расстоянии 200 метров друг от друга (как по горизонтали, так и по вертикали). При такой топологии, каждый узел имеет не более восьми связей на пересечении секторов. Данная топология позволяет получать большое количество различных маршрутов между корреспондирующими парами. Источник информации размещается на правой нижней вершине полученной «матрицы», а приемник – в верхней левой. Данный подход позволяет получить максимальное число маршрутов между корреспондирующей парой, а также наибольшее количество транзитных узлов в рассматриваемой топологии.

Таблица 6

Влияние мощности сигнала на задержку и потери данных

Мощность сигнала (dBm)		Средняя задержка (ms)	Потери (%)		Средняя задержка (ms)	Потери (%)		Средняя задержка (ms)	Потери (%)
6	Olsr	0,430404	0	Aodv	0,442038	0,03052	Dsdv	3,54894	0
7,5	Olsr	0,433148	0	Aodv	0,481576	0,03434	Dsdv	4,71028	0
20	Olsr	0,430313	0	Aodv	0,430192	0	Dsdv	2,10556	0

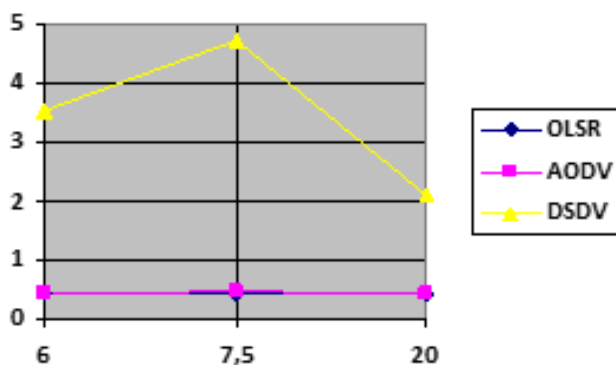


Рис. 5. График зависимости средней задержки от мощности сигнала

В данном примере при изменении мощности сигнала разница в изменении выходных показателей будет являться несущественной. Но можно заметить, что результаты всё же улучшаются с увеличением мощности. Наилучший результат демонстрирует протокол DSDV.

Таблица 7

Влияние размера пакета на задержку и потери данных

Размер пакета (bytes)		Средняя задержка (ms)	Потери (%)		Средняя задержка (ms)	Потери (%)		Средняя задержка (ms)	Потери (%)
128	Olsr	2,90626	0,003825	Aodv	3,61412	0,0362	Dsdv	16,1644	0,003815
1256	Olsr	0,430404	0	Aodv	0,442038	0,0305	Dsdv	3,54894	0
512	Olsr	0,616321	0	Aodv	0,621865	0,0229	Dsdv	2,3879	0

Изменение значения размера пакета оказывало наибольшее влияние на результат моделирования в топологии матрица. Как можно заметить, наилучшие показатели достигаются при значениях 256 и 512 байт. Среди тестируемых протоколов OLSR показывает наилучший результат, что обусловлено статичностью узлов (которая избавляет от необходимости постоянного поддержания таблиц маршрутизации).

Модель «Линия»

Модель «линия» была разработана авторами для оценки эффективности функционирования протоколов динамической маршрутизации при больших длинах маршрутов. Все узлы размещены в одну линию на расстоянии 200 метров друг от друга. Данные передаются между двумя крайними узлами линии (узлами, находящимися на максимальном расстоянии друг от друга).

Таблица 8

Влияние размера пакета на задержку и потери данных

Размер пакета (bytes)		Средняя задержка (ms)	Потери (%)		Средняя задержка (ms)	Потери (%)		Средняя задержка (ms)	Потери (%)
64	Olsr	1082,29	87,7594	Aodv	2018,29	84,7235	Dsdv	430,209	92,5979
128	Olsr	789,501	83,933	Aodv	1654,23	80,2428	Dsdv	1393,04	83,2633
256	Olsr	1240,13	72,7729	Aodv	1907,11	51,1269	Dsdv	1486,6	70,5954
512	Olsr	1304,01	58,373	Aodv	1261,8	54,4967	Dsdv	429,2	86,8823

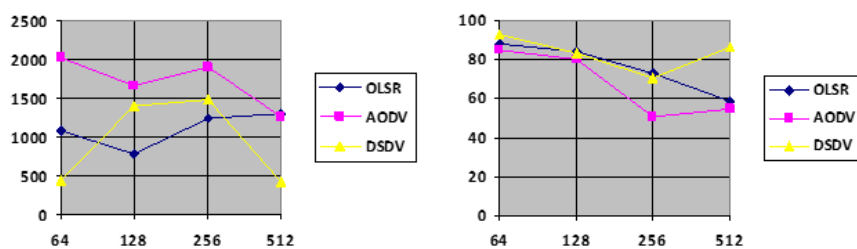


Рис. 6. Графики зависимости средней задержки (слева) и количества потерянных данных (справа) от размера пакета

Можно заметить, что на примере топологии «линия» в экспериментах протокол OLSR показывает наибольшую эффективность с размером пакета 512 байт, в то время как остальные протоколы лучше всего «справляются» с пакетами размером 256 байт.

Так как в прошлом эксперименте (случайное перемещение узлов) лучшие показатели протокола OLSR были получены при значении 256 байт, то можно сделать вывод, что результат будет меняться в зависимости от топологии и мобильности узлов.

Таблица 9

Влияние мощности сигнала на задержку и потери данных

Мощность сигнала (dBm)		Средняя задержка (ms)	Потери (%)		Средняя задержка (ms)	Потери (%)		Средняя задержка (ms)	Потери (%)
6	Olsr	1240,13	72,7729	Aodv	1907,11	51,1269	Dsdv	1486,6	70,5954
7,5	Olsr	1741,23	78,6958	Aodv	NaN	100	Dsdv	1654,43	99,9727
10	Olsr	942,713	65,1891	Aodv	1003,84	76,7008	Dsdv	1003,7	58,0506
20	Olsr	360,461	57,7839	Aodv	95,2154	37,7209	Dsdv	185,138	36,3991

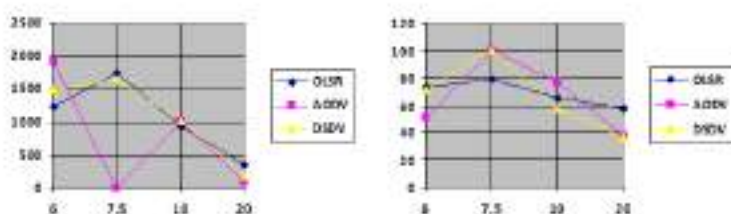


Рис. 7. Графики зависимости средней задержки (слева) и количества потерянных данных (справа) от мощности сигнала

Изменяя мощность передачи сигнала можно заметить, что протоколы демонстрируют совершенно разные результаты. С увеличением мощности сигнала показатели начинают улучшаться, но как можно заметить, не так сильно, как в предыдущем аналогичном эксперименте. А это значит, что для данной топологии мощность сигнала является не такой существенной. Из этого снова можно сделать вывод, что различные параметры по-разному влияют на качество передачи данных при различных условиях.

Таблица 10

Влияние количества узлов в линии на задержку и потери данных

Кол-во узлов		Средняя задержка (ms)	Потери (%)		Средняя задержка (ms)	Потери (%)		Средняя задержка (ms)	Потери (%)
5	Olsr	414,587	41,8358	Aodv	536,411	32,4864	Dsdv	375,215	38,4367
10	Olsr	859,343	65,751	Aodv	1274,99	50,9075	Dsdv	836,049	74,3294
15	Olsr	1240,13	72,7729	Aodv	1907,11	51,1269	Dsdv	1486,6	70,5954
20	Olsr	1252,93	77,5939	Aodv	2173,99	53,9485	Dsdv	1582,97	68,8103
25	Olsr	442,216	87,047	Aodv	2426,56	71,2113	Dsdv	466,861	87,5167
30	Olsr	455,434	87,3043	Aodv	2267,68	66,3813	Dsdv	1991,29	75,9891

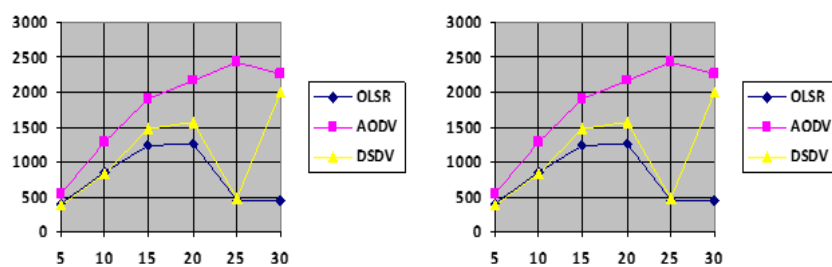


Рис. 8. Графики зависимости средней задержки (слева) и количества потерянных данных (справа) от количества узлов

При увеличении количества узлов в линии все протоколы начинают терять большое количество пакетов, но в двух последних экспериментах у протокола OLSR задержка сокращается. Это связано с тем, что изначально протокол долго устанавливает соединения до адресата и пакеты не успевают «добраться» за отведенное время, вследствие чего помечаются как полностью потерянные.

Заключение

В данной работе были созданы модели для тестирования различных параметров и проведены исследования, показывающие влияние «второстепенных» параметров на качество передачи данных в сетях MANET.

В результате экспериментов было установлено, что такие параметры как размер пакета, мощность сигнала, скорость узлов имеют не меньшее влияние на качество передачи данных, чем количество узлов или выбранный протокол маршрутизации. Немаловажным остается и то, что результаты могут меняться в зависимости от комбинаций значений различных факторов, например, расположение и количество узлов. Стоит отметить, что факторы могут влиять и друг на друга. Например, значения, полученные в ряде экспериментов с изменением размера пакета данных, могут отличаться если провести те же эксперименты, но с другим показателем мощности сигнала или скорости узлов.

Все это значит, что при разработке протоколов или метрик маршрутизации не стоит пренебрегать этими параметрами и учитывать их влияние в планируемых условиях функционирования сети.

Литература

1. Bhushan, S., Saroliya, A., Singh, V. Implementation and Evaluation of Wireless Mesh Networks on MANET Routing Protocols // International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering. -2013. -№ 6. -P.2477-2484.
2. Mesh Networks. - Режим доступа: <http://www.meshnetworks.com/>
3. Md. Hasan Tareque, Md. Shohrab Hossain. On the Routing in Flying Ad hoc Networks // Proceedings of the Federated Conference on Computer Science and Information Systems. - 2015. - №5. -P.1-9.
4. Павлов, А.А., Датъев, И.О. Протоколы маршрутизации в беспроводных сетях / А.А. Павлов, И.О. Датъев // Труды Кольского научного центра РАН. Информационные технологии. –Вып.5. - 5/2014(24). -Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2014. - С.64-75.

5. Manoj Tolani, Rajan Mishra. Effect of Packet Size on Various MANET Routing Protocols / Manoj Tolani, Rajan Mishra // International Journal of Applied Information Systems (IJAIS). - 2012 - C.10-13.
6. Deepika, Pankaj Kumar Verma, Vijay Kumar Impact of Packet Size and Number of Nodes on DSR and AODV Routing Protocols in MANET / Deepika, Pankaj Kumar Verma, Vijay Kumar // International Journal of Computing and Technology. - 2014 - P.66-72.
7. Imad, I. Saada, Majdi, Z. Rashad, Mohamed A. Abu ElSoud. The Effect of Changing the Speed and the Number of Nodes on Packet Delivery Ratio in MANET / Imad I. Saada, Majdi Z. Rashad, Mohamed A. Abu ElSoud // International Journal of Computer Science. - 2013 - C.200-202.
8. Impact of Node Mobility on MANET Routing Protocols Models / ABhavyesh Divecha and others // Journal of Digital Information Management. -2007. –C.19-24.
9. Yasser, Kamal Hassan, Mohamed, Hashim Abd El-Aziz, Ahmed, Safwat Abd El-Radi / Performance Evaluation of Mobility Speed over MANET Routing Protocols // Yasser Kamal Hassan, Mohamed Hashim Abd El-Aziz, Ahmed Safwat Abd El-Radi // International Journal of Network Security. – 2010. - P.128–138.
10. Gnanamanoharan, E., Bensraj, R. Impact of Variable Bit Rate and Packet Size on the Performance Evaluation of Neighbor Aware AODV and DSDV Routing Protocols for MANET's / E. Gnanamanoharan, R. Bensraj // International Journal of Computer Applications. – 2014. - P.43–47.
11. Routing Over Low power and Lossy networks. – Режим доступа: <https://datatracker.ietf.org/wg/roll/charter/>
12. Vehicular ad hoc networks (VANETS): status, results, and challenges / Sherali Zeadally and others // Telecommunication Systems. – 2010. - P.217–241.
13. Highly dynamic Destination-Sequenced Distance-Vector routing (DSDV) for mobile computers / Charles E. Perkins and others // ACM SIGCOMM Computer Communication Review. - 1994. -P. 234-244.
14. Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing. – Режим доступа: <https://www.ietf.org/rfc/rfc3561.txt>
15. Optimized Link State Routing Protocol (OLSR). – Режим доступа: <https://www.ietf.org/rfc/rfc3626.txt>

Сведения об авторах

Павлов Алексей Андреевич - инженер-исследователь, аспирант,
e-mail: pavlov@iimm.ru
Aleksey A. Pavlov - research engineer, postgraduate

Датъев Игорь Олегович – к.т.н., научный сотрудник,
e-mail: datyev@iimm.ru
Igor O. Datyev - Ph.D., researcher associate