

УДК 004.724.4

DOI: [10.26102/2310-6018/2019.27.4.003](https://doi.org/10.26102/2310-6018/2019.27.4.003)

ВЕРИФИКАЦИЯ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ АЛГОРИТМА МАРШРУТИЗАЦИИ ADAPTIVE RATE FULL ECHO, РАЗРАБОТАННОЙ В СРЕДЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ANYLOGIC

Ю.А. Шилова

*Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Пермь, Россия
e-mail: marissaspiritte@mail.ru*

Резюме: Широкое распространение беспроводных сетей с ячеистой топологией и обменом точка-точка актуализирует задачу разработки алгоритмов, повышающих эффективность маршрутизации в таких сетях. Важной особенностью данных сетей является их построение на базе устройств, имеющих ограниченное время работы батареи этих устройств. Поскольку уровень заряда батареи является одним из важных факторов, влияющих на сеть в целом, разработка алгоритмов, способных при построении маршрута учитывать данный фактор, также является актуальной задачей. Ранее автором был разработан новый алгоритм маршрутизации Adaptive Rate Full Echo, в основе которого лежит алгоритм Q-Routing, использующий один из методов машинного обучения, в частности, обучение с подкреплением. Кроме того, в предыдущих работах автора была представлена имитационная модель в системе имитационного моделирования Anylogic, в которой выполнялось моделирование работы разработанного алгоритма. Верификация и проверка имитационной модели является необходимым условием корректности и достоверности получаемых в ней данных. В данной статье представлены результаты проверки адекватности разработанной имитационной модели алгоритма Adaptive Rate Full Echo путем сравнения результатов моделирования с результатами натуральных испытаний.

Ключевые слова: ad hoc сеть, маршрутизация, алгоритм, время доставки, имитационное моделирование, верификация имитационной модели, время потери сетью связности.

Для цитирования: Шилова Ю.А. Верификация имитационной модели алгоритма маршрутизации Adaptive Rate Full Echo, разработанной в среде имитационного моделирования anylogic. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2019;7(4). URL: https://moit.vivt.ru/wp-content/uploads/2019/11/Shilova_4_19_1.pdf DOI: 10.26102/2310-6018/2019.27.4.003

VERIFICATION OF THE SIMULATION MODEL OF THE ADAPTIVE RATE FULL ECHO ROUTING ALGORITHM DEVELOPED IN THE ANYLOGIC SIMULATION ENVIRONMENT

Y.A. Shilova

*Perm National Research Polytechnic University,
Perm, Russia*

Abstract: The mesh topology and point-to-point exchange wireless networks actualize the task of developing algorithms that increase the efficiency of routing these networks. An important feature of these networks is to use the limited battery life devices. The algorithm development taking into account battery level is an urgent task as this factor is one of the important factors affecting the network as a whole. Previous articles the author developed a new Adaptive Rate Full Echo routing algorithm, which is based on the Q-Routing algorithm, using the reinforced machine learning methods. In addition the previous author works a simulation model was presented in the Anylogic simulation system, where the developed algorithm simulation results were performed. The simulation model Verification is a

necessary condition for the correctness and reliability of the data received in it. This article presents the results of checking the adequacy of the developed simulation model of the Adaptive Rate Full Echo algorithm by comparing the simulation results with the results of field tests.

Keywords: special network, routes, algorithm, delivery time, simulation, verification of the simulation model, network loss time connectivity.

For citation: Shilova Y.A. Verification of the simulation model of the Adaptive Rate Full Echo routing algorithm developed in the Anylogic simulation environment. *Modeling, Optimization and Information Technology*. 2019;7(4). URL: https://moit.vivt.ru/wp-content/uploads/2019/11/Shilova_4_19_1.pdf DOI: 10.26102/2310-6018/2019.27.4.003 (In Russ).

Введение

В век современных технологий, которые проникают всё глубже в каждую из областей жизни, появление новых беспроводных устройств, постоянно расширяющих свой функционал, как в области реализации физических, так и в области сетевых функций, является одним из распространенных направлений. Такие устройства могут собирать и передавать информацию о пользователях на сервера, облачные хранилища данных, а также предоставлять пользователю возможность общения с другими людьми через различные приложения, передавая данные по сети. Большинство из этих устройств работают на аккумуляторах, уровень заряда которых снижается в процессе использования устройства. Поэтому для организации взаимодействия между этими устройствами используются беспроводные сети с ячеистой топологией и обменом точками, которые являются одним из развивающихся в настоящее время направлений сетей. В беспроводных сетях передача информации осуществляется через цепочки, которые выстраиваются между узлами в процессе работы сети и называются маршрутами. Эффективность маршрутизации в таких сетях зависит от разных факторов, поэтому разработка алгоритмов маршрутизации, учитывающих несколько факторов и позволяющих более эффективно передавать информацию по сети, является актуальной задачей.

Материалы и методы

Разработка и выпуск беспроводных устройств, для которых свойственно перемещение в пространстве, привели к развитию беспроводных динамических самоорганизующихся сетей. В предыдущих работах автора [1-3] был выполнен обзор существующих алгоритмов маршрутизации в динамических самоорганизующихся сетях, в частности, таких алгоритмов как Full Echo Q-routing [4], Dual Q-routing [5], Predictive Q-routing [6], Ant-Based Q-routing [7] Policy-Gradient Q-routing [8], и представлен алгоритм маршрутизации Adaptive Rate Full Echo, построенный на базе алгоритма Q-routing, являющегося основоположником данного направления. В основе перечисленных алгоритмов лежит машинное обучение, в частности, метод обучения с подкреплением [9-10].

Кратко принцип работы алгоритма Q-routing можно описать следующим образом: каждый из узлов сети хранит Таблицу Q-значений, каждое значение в которой является оценкой времени, требуемого на передачу пакета $P(s, d)$ от узла s к узлу d , через промежуточный соседний узел u . Допустим, пакет $P(s, d)$ находится в узле x . Выбор промежуточного узла определяется выбором минимального значения из строки Q-Таблицы узла x , которая соответствует идентификатору узла-получателя d . После передачи пакета промежуточному узлу u , узел x ожидает от него оценку времени, необходимого для передачи пакета далее по маршруту:

$$t = \min_{z \in N(y)} Q_y(z, d) \quad (1)$$

где: z – следующий узел, которому будет передан пакет узлом y ,
 d – узел-получатель,
 $N(y)$ – количество всех соседей узла y .

При получении оценки от узла y узел x обновляет значение $Q_x(y, d)$ в своей Q-таблице по формуле 2:

$$Q_x(y, d) = Q_x^{old}(y, d) + \eta(q + s + t - Q_x^{old}(y, d)) \quad (2)$$

где η – коэффициент обучения;

q – время, затрачиваемое на нахождение в очереди узла x ;

s – время, затрачиваемое на передачу между узлами x и y .

Одним из основных отличий разработанного алгоритма является наличие дополнительных коэффициентов обучения η_2 для остальных узлов, которым не предназначен пакет. Каждый из этих коэффициентов рассчитывается по формуле 3.

$$\eta_2 = \frac{T_{est}}{T_{max}} \cdot \eta \cdot k \quad (3)$$

где: η – коэффициент обучения,

T_{est} – оценка среднего времени задержки,

T_{max} – оценка максимального среднего времени задержки,

k – предопределенный параметр «скорость распространения эхо», используемый алгоритмом.

Более подробное описание и принцип работы базового алгоритма Q-routing представлено в статьях других авторов [4, 5], а также в предыдущих статьях [1-3, 11] автора, в которых также описан разработанный алгоритм и способы вычисления значений T_{est} , T_{max} и k .

Поскольку беспроводные устройства имеют ограниченный заряд батареи, одним из важных факторов, влияющих на работу сети, становится время потери сетью связности, так как при нулевом заряде батареи узлы перестают участвовать в процессе формирования сети, что может привести к полному её разрушению. Поэтому другое основное отличие предложенного алгоритма Adaptive Rate Full Echo заключается в возможности учета алгоритмом параметра «уровень заряда батареи» устройства при выборе промежуточного узла, которому будет передан пакет.

Для проверки разработанного алгоритма с точки зрения повышения эффективности маршрутизации за счет сокращения среднего времени доставки пакетов между отправителями и получателями, уменьшения максимального времени обучения и снижения длительности обучения в процессе конфигурирования и переконфигурирования сети, а также увеличения длительности сохранения параметра «уровень заряда батареи» каждого отдельно взятого узла, автором была разработана имитационная модель алгоритма Adaptive Rate Full Echo в среде имитационного моделирования Anylogic [12]. Результаты экспериментов, полученные с помощью разработанной модели, были представлены автором в статье [13]. Однако использование такой модели возможно лишь в том случае, если разработанная модель является корректной. Поэтому целью исследования, представленного в данной статье, является

верификация разработанной имитационной модели путем сравнения результатов, полученных с помощью имитационного моделирования алгоритма Adaptive Rate Full Echo с результатами имитационного моделирования других авторов, а также с результатами натуральных экспериментов.

Результаты экспериментов

Для верификации модели по критериям: среднее время доставки пакетов в сети, длительность обучения в процессе обучения сети, максимальное время доставки пакетов по сети в процессе обучения, условия эксперимента были взяты из статей Литтмана [4] и Кумара [5]: коэффициент обучения $\eta=0,9$, сеть состоит из 36 узлов, два уровня нагрузки: низкий (интенсивность создания пакетов в сети составляет 0,5 пакета в мсек.) и высокий (интенсивность создания пакетов в сети составляет 3 пакета в мсек.), создание пакетов происходит в случайных узлах. Дополнительный коэффициент обучения η_2 обновлялся согласно формуле 3 с предопределенным коэффициентом k равным 1. Результаты моделирования представлены на Рисунке 1 (а, б).

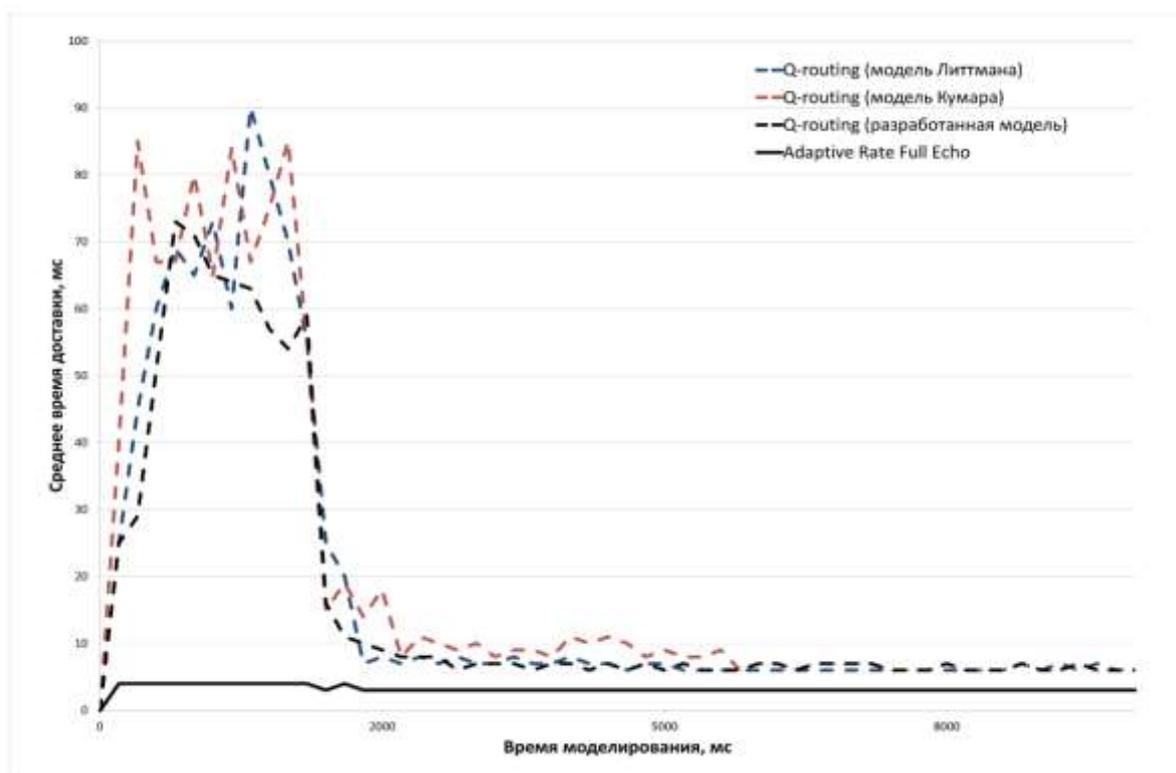


Рисунок 1а – Результаты моделирования при низкой нагрузке в сети

Анализируя представленные на Рисунке 1 результаты, можно сделать следующие выводы:

Скорость обучения разработанного алгоритма Adaptive Rate Full Echo по высоте стала в два раза ниже, чем у базового алгоритма Q-routing даже в условиях высокой загрузки. При этом сеть через определенный промежуток переходит в установившийся

режим. При низкой загрузке алгоритм Adaptive Rate Full Echo буквально за несколько миллисекунд переводит сеть в установившийся режим.

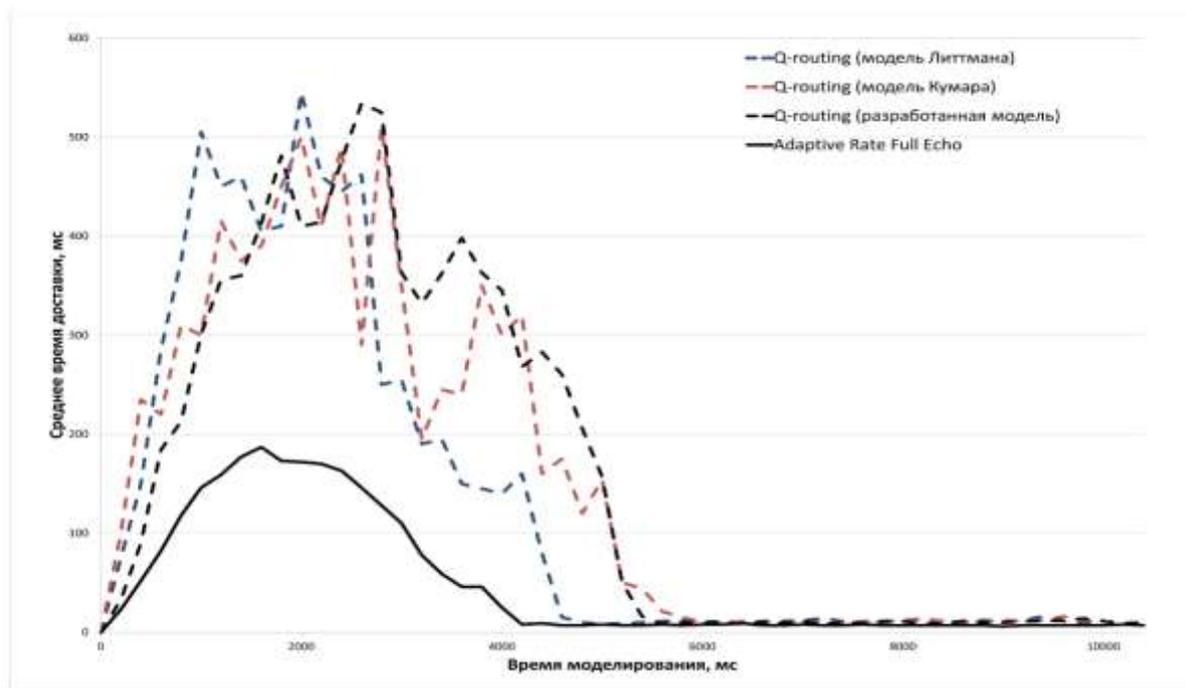


Рисунок 16 – Результаты моделирования при высокой нагрузке в сети

При высокой нагрузке исследуемый алгоритм Adaptive Rate Full Echo сохраняет свои преимущества по сравнению с базовым алгоритмом, как по критерию максимального времени задержки при обучении сети, так и по критерию времени длительности обучения.

Вторым шагом была сверка результатов имитационного моделирования с результатами натуральных экспериментов с точки зрения показателя время потери сетью связности. Условия экспериментов были аналогичны условиям предыдущих испытаний. Для всех экспериментов показатель скорости обучения брался равным 0,9, значение заряда батареи, начальное значение которого составляло 100% для всех узлов сети, снижалось на 0,01% при каждой передаче пакета с данными.

Когда заряд батареи какой-либо узла становился равным 0, данный узел переставал функционировать (выпадал из сети). Все пакеты, находящиеся в нем на момент разрядки, удалялись из сети вместе с узлом. В рассмотренных экспериментах, полная потеря связности сетью определялась выполнением двух условий через операцию конъюнкции. Первое условие истинно, когда уровень заряда батареи 14 или 15 узла достигает нулевого значения. Второе условие становится истинным при достиженбии нулевого уровня заряда батареи хотя бы одним из узлов каждого из двух множеств. В первое множество входят узлы № 0, № 1, № 2, № 6, № 12, во второе – узлы № 3, № 4, № 5, № 11, № 17.

Расчетные значения в экспериментах алгоритма Q-routing без учета уровня заряда батареи были получены путем определения среднего значения из 10 экспериментов генерации случайной последовательности. Выборка из этих 10 значений представлена в

Таблице 1, единицы измерения каждого из значений экспериментов равны единицам модели, в данном случае мсек.

Таблица 1 – Выборка 10 экспериментов потери связности сети без учета заряда батареи в расчетной формуле алгоритма

№ эксперимента	Время потери сетью связности при интенсивности создания пакетов в сети (λ)						
	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5
1	16295	3185	2660	2512	2181	1634	1396
2	16787	3135	2625	2534	2254	1636	1398
3	16043	3148	2644	2502	2208	1612	1426
4	16511	3181	2693	2564	2166	1591	1433
5	16094	3169	2660	2522	2170	1629	1466
6	16450	3113	2640	2548	2255	1638	1486
7	16184	3155	2618	2557	2210	1655	1480
8	16138	3108	2697	2529	2199	1616	1399
9	16276	3172	2639	2570	2236	1570	1481
10	16132	3100	2705	2538	2185	1568	1406
Среднее значение	16291	3146	2658	2537	2206	1614	1437

Расчетные значения в экспериментах алгоритма Adaptive Rate Full Echo с учетом уровня заряда батареи были получены аналогично. Выборка из этих 10 значений представлена в Таблице 2, единицы измерения аналогичны единицам измерения предыдущего испытания.

Таблица 2 – Выборка 10 экспериментов потери связности сети с учетом заряда батареи в расчетной формуле алгоритма

№ эксперимента	Время потери сетью связности при интенсивности создания пакетов в сети (λ)						
	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5
1	18429	3320	2754	2555	2270	1662	1481
2	17487	3294	2795	2648	2251	1692	1500
3	17578	3254	2789	2623	2279	1683	1478
4	18066	3301	2757	2555	2222	1680	1446
5	17008	3294	2808	2580	2210	1613	1492
6	17606	3300	2756	2612	2248	1700	1461
7	17722	3330	2769	2551	2265	1618	1471
8	18424	3345	2830	2589	2206	1643	1496
9	18891	3325	2772	2643	2212	1676	1458
10	17438	3283	2789	2607	2283	1616	1476
Среднее значение	17865	3304	2781	2596	2244	1658	1475

Результаты сравнения двух выборок по всем нагрузкам сети представлены на Рисунке 2.

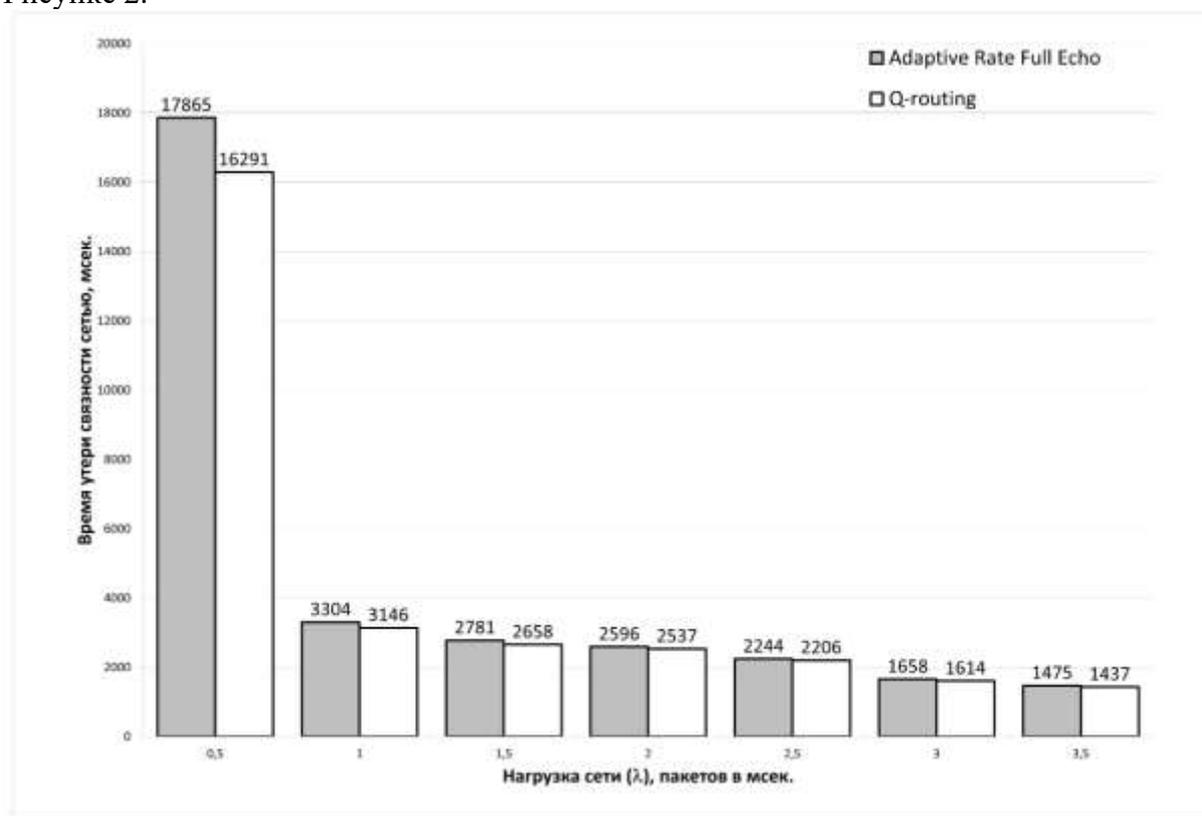


Рисунок 2 – Результаты сравнения времени потери связности сетью

На основе анализа полученных результатов можно сделать следующие выводы. Во-первых, на каждом из значений нагрузки в сети при условии, что заряд батареи в обоих алгоритмах снижается при передаче пакета с данными на 0,01%, а также других условиях экспериментов, описанных выше, разработанный алгоритм Adaptive Rate Full Echo, учитывающий уровень заряда батареи при выборе следующего узла маршрута, показал преимущества по сравнению с базовым алгоритмом Q-routing. Во-вторых, как видно из Рисунка 2, разница между значениями алгоритма Adaptive Rate Full Echo и значениями алгоритма Q-routing уменьшается с увеличением нагрузки в сети, что является одной из предпосылок к дальнейшему исследованию, в частности подбор оптимальных коэффициентов критериев многокритериальной задачи, поставленной в данной работе.

Для верификации полученных результатов с точки зрения времени потери сетью связности был разработан экспериментальный стенд для проведения натурных испытаний обоих алгоритмов. Стенд представляет из себя 36 мобильных устройств с операционной системой андроид, организованных в сеть, структура которой представлены в статье [4] с использованием технологии wi-fi для реализации ad hoc сети. Поскольку сигнал от устройства является ненаправленным и распространяется в пределах радиуса действия передатчика, для ограничения связей между отдельными устройствами были использованы дополнительные средства экранирования. Условия проведения натурных экспериментов были аналогичны условиям имитационного моделирования.

В Таблице 3 приведены результаты также десяти натуральных экспериментов, проведенных для определения времени жизнеспособности сети до момента распада сети на две половины.

Таблица 3 – Выборка 10 экспериментов потери связности сети с учетом и без учета заряда батареи

№ эксперимента	Время потери сетью связности при интенсивности создания пакетов в сети (λ)						
	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5
без учета заряда батареи в расчетной формуле алгоритма							
1	15515	3472	2709	2504	2217	1648	1371
2	16250	3447	2658	2515	2140	1693	1412
3	15616	3454	2747	2479	2235	1724	1429
4	15817	3405	2705	2538	2222	1673	1377
5	15748	3429	2720	2507	2205	1700	1379
6	16439	3416	2748	2533	2154	1648	1461
7	16432	3405	2739	2505	2190	1744	1364
8	16422	3474	2730	2479	2213	1695	1411
9	15957	3445	2746	2533	2171	1710	1381
10	15970	3425	2666	2528	2165	1722	1425
Среднее значение	16016	3437	2716	2512	2191	1695	1401
№ эксперимента	Время потери сетью связности при интенсивности создания пакетов в сети (λ)						
	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5
с учетом заряда батареи в расчетной формуле алгоритма							
1	16267	3616	2826	2629	2439	1702	1581
2	16177	3657	2785	2659	2486	1778	1652
3	16401	3645	2797	2635	2474	1717	1586
4	16416	3615	2849	2660	2439	1760	1601
5	16038	3619	2829	2669	2494	1701	1606
6	16385	3684	2838	2612	2418	1750	1649
7	16215	3680	2816	2578	2491	1746	1637
8	16898	3650	2824	2636	2460	1742	1615
9	16898	3325	2772	2643	2212	1676	1458
10	16589	3283	2789	2607	2283	1616	1476
Среднее значение	16428	3577	2813	2633	2420	1719	1586

Результаты сравнения средних значений двух выборок для натуральных экспериментов и экспериментов имитационного моделирования по всем нагрузкам сети и представлены на Рисунке 3.

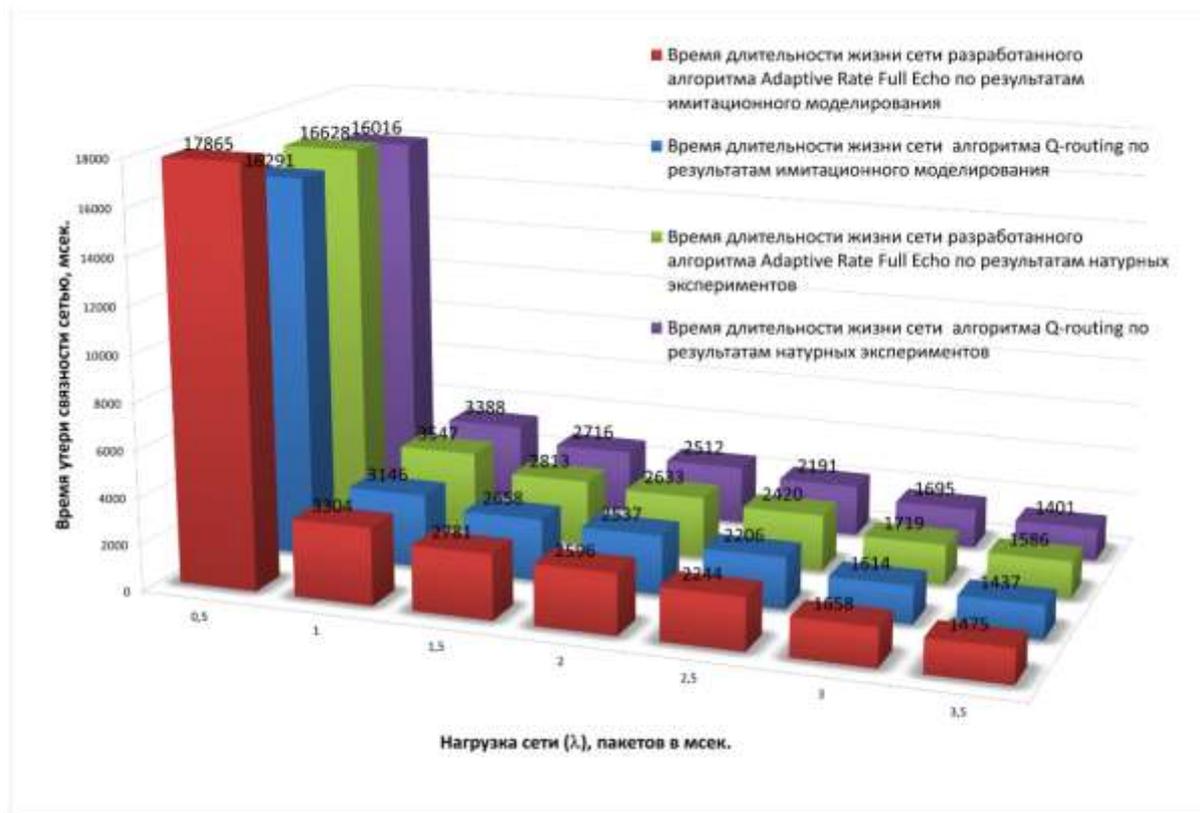


Рисунок 3 – Усредненные результаты натуральных экспериментов и экспериментов имитационного моделирования

На основе анализа результатов, представленных на Рисунке выше, можно сделать вывод, что имитационная модель была разработана корректно и прошла верификацию натурными экспериментами, поскольку значения, полученные с помощью имитационного моделирования, находятся в пределах допустимой погрешности, в частности, не превышают отклонения в $5 \div 8 \%$ от результатов, полученных при моделировании на реальных устройствах. Однако, для получения более достоверной картины и выявления существующих закономерностей необходимо проведение большего количества экспериментов при каждом условии для получения более достоверной картины и выявления закономерности.

Выводы

В данной статье было выполнено сравнение результатов имитационного моделирования алгоритма маршрутизации Adaptive Rate Full Echo и базового алгоритма Q-routing с точки зрения трех критериев, в частности, среднего времени доставки пакетов в сети, времени длительности обучения в процессе автоконфигурирования сети и максимального времени доставки пакетов в процессе обучения сети, полученных с помощью имитационной модели этих алгоритмов, разработанной в системе имитационного моделирования Anylogic, с результатами имитационного моделирования двух других авторов Кумара и Литтамана, которое показало сопоставимость полученных результатов.

Кроме того, в данной статье было выполнено сравнение результатов имитационного моделирования с результатами натуральных экспериментов с точки зрения времени потери сетью связности, разница между значениями которых находится в

пределах $5 \div 8\%$, что подтверждает предположение о корректности и валидности разработанной модели.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шилова Ю.А. Алгоритм маршрутизации семейства Q-routing, основанный на динамическом изменении коэффициентов обучения за счет оценки средней задержки в сети. *Вестник Пермского научного центра*. 2015;(2):79-93.
2. Шилова Ю.А., Кавалеров М.В. Разработка алгоритмов маршрутизации семейства Q-ROUTING для мобильных АДНОС сетей. *Автоматизированные системы управления и информационные технологии: материалы Всерос. науч.-техн. конф.*, 15 мая 2015, Пермь. Пермь: Изд-во ПНИПУ; 2015. с. 441-446.
3. Shilova Y., Kavalеров M., Bezukladnikov I. Full Echo Q-Routing with Adaptive Learning Rates: A Reinforcement Learning Approach to Network Routing. *Proceedings of the 2016 IEEE North West Russia Section Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering Conference, 2016 ElConRusNW*, 2-3 February 2016, St. Petersburg. St. Petersburg: St. Petersburg Electrotechnical Univ. LETI; 2016. p. 365-368.
4. Boyan J., Littman M. Packet Routing In Dynamically Changing Networks: A Reinforcement Learning Approach. *Advances In Neural Information Processing Systems*. 1994:671-678.
5. Kumar S., Miikkulainen R. Dual Reinforcement Q-Routing: An On-Line Adaptive Routing Algorithm. *Artificial neural networks in engineering*. 1997: 231-238.
6. Choi S., Yeung D.Y., Predictive Q-routing: A memory-based reinforcement learning approach to adaptive traffic control. *Advances in Neural Information Processing Systems*. 1996;(8):945-951.
7. Subramanian D., Druschel P., Chen J. Ants and reinforcement learning: A case study in routing in dynamic networks. *IJCAI (2)*; 1997. p. 832-839.
8. Tao N., Baxter J., Weaver L. A Multi-Agent Policy-Gradient Approach to Network Routing. *ICML*, 2001;1. p. 553-560.
9. Sutton R.S., Barto A.G. Reinforcement learning: An introduction. ambridge: MIT press; 1998.
10. Watkins C., Dayan P. Q-learning. *Machine learning*. 1992;8(3):279-292.
11. Шилова Ю.А., Южаков А.А., Безукладников И.И., Кавалеров М.В. Влияние коэффициента «скорость распространения эхо» на эффективность маршрутизации алгоритма AdaptiveRateFullEcho. *Вестник ИжГТУ*. 2019;22(2):65-72.
12. Шилова Ю.А., Кон Е.Л. Моделирование базового протокола Q-Routing в среде Anylogic. *Проблемы техники и технологий телекоммуникаций (ПТуТТ-2016): материалы XVII междунар. науч.-техн. конф.*, 22-24 ноября 2016, Самара. Самара; 2016. с. 131-132.
13. Shilova Y.A. , Bezukladnikov I.I. Influence of the battery life parameter on the Q-routing algorithm results. *2017 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (ElConRus): Proc. of the 2017 IEEE Russia Section Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering Conference (2017 ElConRus)*, 1-3 Febr. 2017, St. Petersburg, Moscow. St. Petersburg: IEEE; 2017. p. 213-217.

REFERENCES

1. Shilova Yu.A. Algoritm marshrutizatsii semeystva Q-routing, osnovannyu na dinamicheskom izmenenii koeffitsientov obucheniya za schet otsenki sredney zaderzhki v seti. *Vestnik Permskogo nauchnogo tsentra*. 2015;(2):79-93.

2. Shilova Yu.A., Kavalerov M.V. Razrabotka algoritmov marshrutizatsii semeystva Q-ROUTING dlya mobil'nykh ADHOC setey. *Avtomatizirovannye sistemy upravleniya i informatsionnye tekhnologii: materialy Vseros. nauch.-tekhn. konf.*, 15 maya 2015, Perm'. Perm': Izd-vo PNIPU; 2015. s. 441-446.
3. Shilova Y., Kavalerov M., Bezukladnikov I. Full Echo Q-Routing with Adaptive Learning Rates: A Reinforcement Learning Approach to Network Routing. *Proceedings of the 2016 IEEE North West Russia Section Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering Conference, 2016 ElConRusNW*, 2-3 February 2016, St. Petersburg. St. Petersburg: St. Petersburg Electrotechnical Univ. LETI; 2016. p. 365-368.
4. Boyan J., Littman M. Packet Routing In Dynamically Changing Networks: A Reinforcement Learning Approach. *Advances In Neural Information Processing Systems*. 1994:671-678.
5. Kumar S., Miikkulainen R. Dual Reinforcement Q-Routing: An On-Line Adaptive Routing Algorithm. *Artificial neural networks in engineering*. 1997: 231-238.
6. Choi S., Yeung D.Y., Predictive Q-routing: A memory-based reinforcement learning approach to adaptive traffic control. *Advances in Neural Information Processing Systems*. 1996;(8):945-951.
7. Subramanian D., Druschel P., Chen J. Ants and reinforcement learning: A case study in routing in dynamic networks. *IJCAI (2)*; 1997. p. 832-839.
8. Tao N., Baxter J., Weaver L. A Multi-Agent Policy-Gradient Approach to Network Routing. *ICML*, 2001;1. p. 553-560.
9. Sutton R.S., Barto A.G. Reinforcement learning: An introduction. ambridge: MIT press; 1998.
10. Watkins C., Dayan P. Q-learning. *Machine learning*. 1992;8(3):279-292.
11. Shilova Yu.A., Yuzhakov A.A., Bezukladnikov I.I., Kavalerov M.V. Vliyanie koeffitsienta «skorost' rasprostraneniya ekho» na effektivnost' marshrutizatsii algoritma AdaptiveRateFullEcho. *Vestnik IzhGTU*. 2019;22(2):65-72.
12. Shilova Yu.A., Kon E.L. Modelirovanie bazovogo protokola Q-Routing v srede Anylogic. *Problemy tekhniki i tekhnologiy telekommunikatsiy (PTiTT-2016): materialy XVII mezhdunar. nauch.-tekhn. konf.*, 22-24 noyabrya 2016, Samara. Samara; 2016. c. 131-132.
13. Shilova Y.A. , Bezukladnikov I.I. Influence of the battery life parameter on the Q-routing algorithm results. *2017 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (ElConRus): Proc. of the 2017 IEEE Russia Section Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering Conference (2017 ElConRus)*, 1-3 Febr. 2017, St. Petersburg, Moscow. St. Petersburg: IEEE; 2017. p. 213-217.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ / INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Шилова Юлия Александровна, соискатель ученой степени кандидата технических наук. Аспирант кафедры «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, Российская Федерация.

Yulia A. Shilova, Doctoral Student. The postgraduate student of the Department of Automation and Remote Control, Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation