

УДК 004.724.4

DOI 10.22213/2413-1172-2019-2-65-72

ВЛИЯНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА «СКОРОСТЬ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЭХО» НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ МАРШРУТИЗАЦИИ АЛГОРИТМА ADAPTIVE RATE FULL ECHO

Ю. А. Шилова, аспирант, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия

А. А. Южаков, доктор технических наук, профессор, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия

И. И. Безукладников, кандидат технических наук, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия

М. В. Кавалеров, кандидат технических наук, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия

В предыдущих статьях авторами был предложен алгоритм маршрутизации Adaptive Q-routing Full Echo, в котором каждый узел использует два типа коэффициентов обучения – основной и дополнительный – и дополнительные коэффициенты обучения для каждого узла в зависимости от оценок среднего времени задержки изменяются динамически. Дополнительный коэффициент обучения обновляется на каждом шаге моделирования для каждого узла в отдельности.

В основе расчета дополнительных коэффициентов лежит параметр «скорость распространения эхо», поэтому исследование влияния данного коэффициента на эффективность работоспособности алгоритма является важной частью достижения наибольшей эффективности маршрутизации. Результаты влияния коэффициента «скорость распространения эхо» на эффективность маршрутизации приведены для двух структур сетей – сети Литтмана и академической сети NASK – и проанализированы по трем параметрам: длительность обучения, максимальное значение средней задержки и установившееся значение средней задержки. Для дополнительного параметра обучения коэффициент подбирался в порядке убывания целочисленных степеней числа 10 в сторону отрицательной оси, начиная со степени 0 и заканчивая степенью 6, с дополнительными промежуточными значениями, равными половине интервала между двумя ближайшими степенями. При сравнении полученных результатов для двух структур сетей были получены как сходные закономерности для критерия установившегося среднего значения, так и отличающиеся для остальных двух критериев.

Дальнейшее направление исследования заключается в формировании структур сетей и их характеристик, для которых определенные значения коэффициентов «скорость распространения эхо» будут давать схожие результаты.

Ключевые слова: сеть *ad-hoc*, время доставки, обучение с подкреплением, моделирование, *q*-маршрутизация.

Введение

В настоящее время информационные технологии с каждым днем занимают всё больший процент времени в жизни практически каждого человека. Смартфон, планшет, ноутбук, различные «умные» гаджеты и другие электронные устройства окружают любого – от младенца до людей старшего поколения. Несколько подобных устройств, находящихся в пределах дальности связи друг друга, организуются в так называемые динамические сети *ad-hoc*. Для обмена информацией между

всеми этими техническими «радостями жизни» необходима не только эффективная маршрутизация. Она также должна быть умной и быстрой, так как данные элементы трудно назвать стационарными устройствами.

В динамических самоорганизующихся сетях, развитие которых повышается с каждым годом, выделяют несколько групп протоколов маршрутизации. К одной из этих групп относятся адаптивные протоколы маршрутизации, основанные на методе обучения с подкреплением [1, 2]. Протокол Q-Routing, представленный в 1994 г.

в работах [3, 4], является первым таким протоколом, разработанным для динамических самоорганизующихся сетей. Позднее предлагались различные модификации данного алгоритма с целью улучшения эффективности маршрутизации: Full Echo Q-routing, Dual Q-routing [5], Predictive Q-routing [6], Ant-Based Q-Routing [7] Policy-Gradient Q-Routing [8], Gradient Ascent Q-Routing [9], K-Shortest Paths Q-routing [10], Simulated Annealing Based Hierarchical Q-routing [11], CMAC-Based Q-Routing [12], Q-probabilistic routing [13], Enhanced Confidence Based Q-routing [14]. Приведенные алгоритмы учитывают три параметра, влияющих на временную задержку, возникающую при передаче данных по сети: время, затрачиваемое на нахождение в очереди узла, передающего пакет; время, затрачиваемое на передачу между двумя узлами, входящими в маршрут пакета, которые на момент расчета формулы являются промежуточным отправителем и получателем пакета; оценку от промежуточного узла, принимающего пакет, которая используется для определения времени, требуемого для оставшегося маршрута.

Авторами данной статьи ранее также были предложены свои модификации алгоритма Q-Routing: Adaptive Q-Routing Full Echo [15, 16], Adaptive Q-Routing со случайным эхо и памятью маршрутов [17, 18], эксперименты на которых показали эффективность предложенных дополнений. Цель данной работы – провести исследование влияния одной из составляющих этих алгоритмов, влияющих на эффективность маршрутизации, в частности параметра «скорость распространения эхо».

Предпосылки к исследованию

В предыдущих статьях авторами был предложен алгоритм маршрутизации Adaptive Q-routing Full Echo. Он является продолжением алгоритма Full Echo Q-routing, процесс обмена сообщениями в котором можно кратко описать следующим образом.

Пусть $P(s, d)$ – пакет, сформировавшийся в узле s и направляемый в узел d . Рассмотрим узел под названием x , который собирается послать пакет $P(s, d)$ одному из соседних узлов. У этого узла x имеется таблица Q -значений $Q_x(y, d)$, где каждое значение является оценкой того, как много времени ему потребуется, чтобы доставить пакет $P(s, d)$ к узлу d , если пакет $P(s, d)$ будет передан соседнему узлу y . Узел x всегда выбирает соседа y с минимальным

значением $Q_x(y, d)$. Другими словами, узел выбирает ячейку с минимальным значением среди всех ячеек строки, соответствующей узлу d , и столбец, в котором находится эта ячейка, соответствует узлу y .

После отправки пакета $P(s, d)$ узлу y , узел x получает от узла y оценку t для определения времени, требуемого для оставшегося маршрута:

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

где $N(y)$ – количество всех соседей узла y .

Затем узел x обновляет свое Q -значение $Q_x(y, d)$ согласно следующей формуле:

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

где η – коэффициент обучения; q – время, затрачиваемое на нахождение в очереди узла x ; s – время, затрачиваемое на передачу между узлами x и y .

При передаче пакета узлу y узел x также отправляет запросы всем своим остальным соседям, когда каждый из которых возвращает ему текущую оценку t , и все эти оценки используются при обновлении значений $Q_x(y, d)$.

В алгоритме Adaptive Q-routing Full Echo существует два основных направления, в которых заключаются отличия от вышеуказанного алгоритма. Во-первых, каждый узел использует два типа коэффициентов обучения – основной η и дополнительный η_2 . Во-вторых, данный алгоритм динамически изменяет дополнительные коэффициенты обучения для каждого узла в зависимости от оценок среднего времени задержки. Эти оценки используются в качестве механизма обратной связи для корректировки процесса обучения в каждом узле. Узел обновляет эти Q -значения согласно формуле (2), используя основной коэффициент η , если Q -значение относится к соседнему узлу, который принимает пакет с данными; в противном случае используется коэффициент η_2 . Дополнительный коэффициент η_2 позволяет исследовать другие возможные маршруты от узла, особенно при переходных изменениях в сети, когда увеличивается среднее время задержки. Если среднее время задержки уменьшается, то это обычно говорит о том, что маршруты в сети стали наиболее эффективными, поэтому исследование сети на возможные маршруты может быть снижено; в соответствии с этим дополнительный коэффициент также может быть уменьшен. Снижение

величины дополнительного коэффициента позволяет значительно уменьшить колебания алгоритма Full Echo Q-routing.

Дополнительный коэффициент обучения обновляется на каждом шаге моделирования для каждого узла в отдельности согласно следующей формуле:

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

где T_{est} – оценка среднего времени задержки; T_{max} – оценка максимального среднего времени задержки; k – предопределенный параметр «скорость распространения эхо», используемый алгоритмом.

В расчетной формуле задержки используется коэффициент k , который показывает, во сколько раз дополнительный коэффициент η_2 будет отличаться от основного коэффициента η . На базе данного алгоритма были предложены такие модификации, как Adaptive Q-routing Random Echo, Adaptive Q-routing Random Echo with Routing Memory. Каждый из предложенных алгоритмов имеет некоторые отличия от базового

алгоритма Q-routing, например, сохранение маршрутов, пройденных пакетом, или случайные моменты передачи служебных сообщений о текущем состоянии определенного узла. Однако во всех предложенных алгоритмах используются дополнительные коэффициенты, в основе расчета которых лежит параметр «скорость распространения эхо», поэтому исследование влияния данного коэффициента на эффективность работоспособности алгоритма является также важной частью достижения наибольшей эффективности маршрутизации. Кроме того, в предыдущих статьях все эксперименты проводились на сетке Литтмана. Поэтому результаты влияния коэффициента k на эффективность маршрутизации будут приведены для сети Литтмана и так называемой академической сети NASK по трем параметрам: длительность обучения, максимальное значение средней задержки и установившееся значение средней задержки.

На рис. 1 представлено графическое пояснение, что имеется в виду под длительностью обучения, максимальным и установившимся значениями средней задержки.

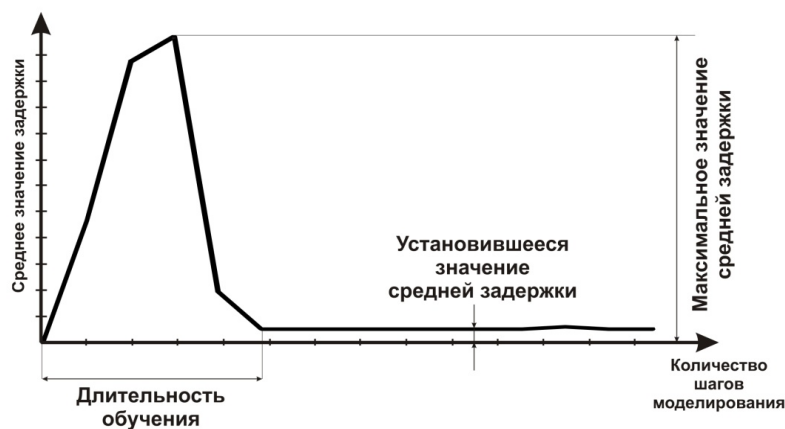


Рис. 1. Графическое представление параметров сравнения

Fig. 1. The comparison parameter graphic presentation

Результаты моделирования

Имитационное моделирование с помощью простого сетевого симулятора, написанного на языке C++. Модельное время при является безразмерной величиной и определяется количеством шагов моделирования, на каждом из которых имитируется прием и передача данных в сети. В случае реальной сети его размерность будет зависеть от производительности оборудования, на котором будет выполняться предложенный алгоритм. Для проведения моделирования основной коэффициент обучения η был вы-

бран 0,9, так как в предыдущих исследованиях данное значение было определено наиболее эффективным для рассматриваемого алгоритма. Среднее время задержки рассчитывалось с постоянным интервалом (200 шагов моделирования). Узлы источники и получатели пакетов в сети выбирались случайным образом. Пакеты создавались в соответствии с распределением Пуассона с параметром λ . Этот параметр также указывает на загрузку сети. Поскольку эксперименты проводились для двух разных структур сети, необходимо уточнить, что для обеих сетей

$\lambda = 1$ относится к низкой загрузке, к высокой – $\lambda = 3,0$ для сети Литтмана, $\lambda = 2,0$ – для сети NASK. Для дополнительного параметра обучения коэффициент подбирался в порядке убывания целочисленных степеней числа 10 в сторону отрицательной оси, начиная со степени 0 и заканчивая степенью 6, с дополнительными промежуточными значениями, равными половине интервала между двумя ближайшими степенями.

На рис. 2 показано влияние коэффициента k на производительность алгоритма Adaptive Q-routing Full Echo при высокой нагрузке для сети Литтмана из 36 узлов. Значения, представленные на графиках, получены путем определения медианы из 10 экспериментов генерации случайной последовательности. В случае низкой загрузки сети графики при разных значениях коэффициента «скорость распространения эхо» различаются незначительно. Результаты экспериментов по трем вышеперечисленным критериям с разными значениями коэффициента «скорость распространения эхо» для низкой ($\lambda = 1$) и высокой ($\lambda = 3$) загрузок сети представим в табл. 1.

Анализируя данные, представленные в табл. 1 можно сделать следующие выводы. В случае низкой загрузки сети Литтмана значение коэффициента «скорость распространения эхо» не

оказывает влияния ни на длительность обучения, ни на максимальную среднюю задержку, ни на установившуюся среднюю задержку. Это говорит о том, что все узлы могут передавать сведения о состоянии собственной оценки, при этом нагрузка в сети не будет стремиться к пограничному значению. В случае высокой загрузки сети видно, что по критерию длительности обучения алгоритм Adaptive Rate Full Echo при коэффициентах k меньше $5 \cdot 10^{-4}$ приводит сеть к установившемуся состоянию, которое на 1000 шагов моделирования наступает быстрее в отличие от коэффициентов k больше $5 \cdot 10^{-4}$. Однако хотелось бы отметить, что несмотря на более быструю сходимость при малых коэффициентах через некоторые промежутки времени сеть начинает переобучаться, и возникают «вредные осцилляции», которые переводят сеть в неустойчивое состояние на некоторое время – это свойство снижает эффективность маршрутизации, так как в процессе переобучения будут возникать задержки при передаче, потери пакетов. Коэффициент $k = 5 \cdot 10^{-4}$ является серединой между значениями коэффициента k , при которых сеть переходит в состояние переобучения, а при которых нет, поэтому длительность обучения при данном значении на порядок выше.

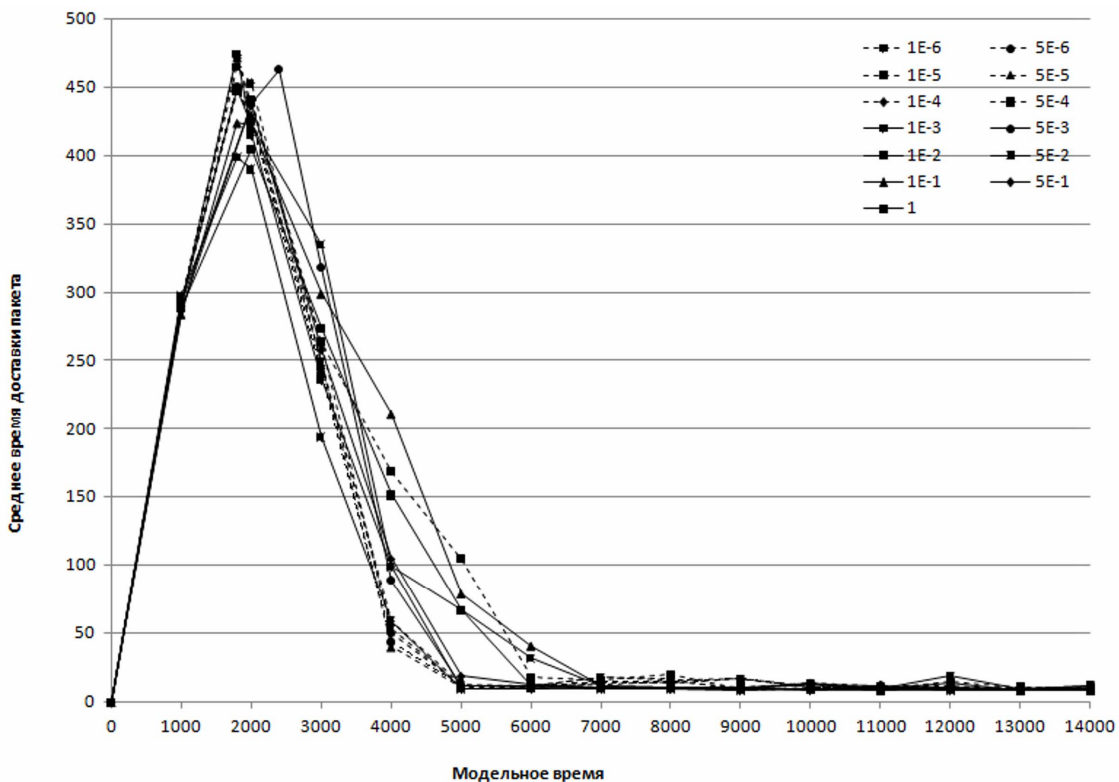


Рис. 2. Влияние коэффициента k на параметры сравнения для сети Литтмана при загрузке сети $\lambda = 3$

Fig. 2. The k coefficient effect on the Littman network comparison parameters the network load $\lambda = 3$

Таблица 1. Влияние коэффициента k на параметры сравнения для сети Литтмана

Table 1. The k coefficient effect on the Littman network comparison parameters

k	$\lambda = 1$			$\lambda = 3$		
	длительность обучения	максимальная средняя задержка	установившаяся средняя задержка	длительность обучения	максимальная средняя задержка	установившаяся средняя задержка
1E-6	1000	56	6	5800	465	12
5E-6	1000	56	6	5800	450	13
1E-5	1000	56	6	5800	450	12
5E-5	1000	56	6	5800	472	12
1E-4	1000	56	6	5800	472	13
5E-4	1000	56	6	8200	447	11
1E-3	1000	56	6	6800	474	10
5E-3	1000	56	6	6800	463	12
1E-2	1000	56	6	6800	449	12
5E-2	1000	56	6	6800	399	10
1E-1	1000	56	6	6800	424	11
5E-1	1000	56	6	6800	438	11
1	1000	56	6	6800	405	10

При рассмотрении значений максимальной средней задержки видно, что разница между максимальным и минимальным значением находится в пределах ста, однако наименьшую задержку алгоритм показал при коэффициенте $k = 5 \cdot 10^{-2}$. Относительно установившейся средней задержки в сети видно, что разница между полученными значениями составляет 2-3 пункта, поэтому можно сказать, что значение коэф-

фициента k слабо влияет на данный показатель в сети выбранной структуры.

Далее проверим, какие значения коэффициента «скорость распространения эхо» характерны для сети NASK, в которой количество узлов больше и связи установлены более разнообразно. На рис. 3 представлены результаты выполнения алгоритма в сети NASK при разных значениях коэффициента «скорость распространения эхо».

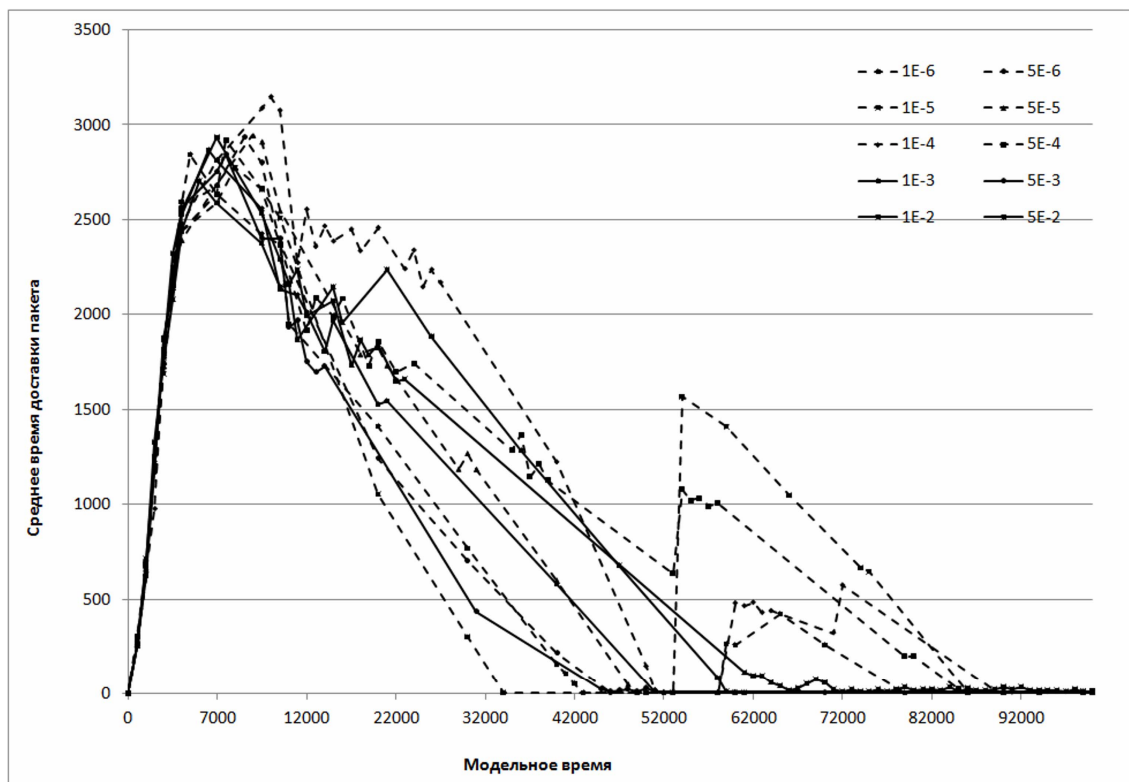


Рис. 3. Влияние коэффициента k на параметры сравнения для сети NASK при загрузке сети $\lambda = 2$

Fig. 3. The k coefficient effect on the NASK network comparison parameters the network load $\lambda = 2$

В исходной статье [19], из которой была взята структура сети NASK, авторами было показано, что максимальная загрузка составляет $\lambda = 2$, по-

этому в табл. 2, в которой представлены результаты экспериментов, значения по трем критериям при высокой загрузке рассматриваются при $\lambda = 2$.

Таблица 2. Влияние коэффициента k на параметры сравнения для сети NASK

Table 2. The k coefficient effect on the NASK network comparison parameters

k	$\lambda = 1$			$\lambda = 2$		
	длительность обучения	максимальная средняя задержка	установившаяся средняя задержка	длительность обучения	максимальная средняя задержка	установившаяся средняя задержка
1E-6	7000	1316	5	44000	2844	8
5E-6	7000	1324	5	46000	2936	9
1E-5	7000	1341	5	34000	2776	8
5E-5	7000	1329	5	50000	2947	8
1E-4	7000	1691	5	52000	3150	9
5E-4	7000	1341	5	86000	2921	9
1E-3	7000	1414	5	52000	2869	8
5E-3	7000	1515	5	51000	2846	15
1E-2	7000	1417	5	77000	2937	24
5E-2	7000	1525	5	60000	2705	11
1E-1	7000	1481	5	Установившийся режим не достигается		
5E-1	7000	1550	5	Установившийся режим не достигается		
1	38000	5093	6	Установившийся режим не достигается		

Как видно из результатов, приведенных в табл. 2, даже при низкой загрузке полученные значения по критериям проверки отличаются от результатов сети Литтмана, однако не по всем критериям. Так, по критериям длительности обучения и установившейся средней задержке при низкой загрузке изменение коэффициента «скорость распространения эхо» не влияет на итоговые результаты за исключением случая $k = 1$, при котором длительность обучения увеличивается в несколько раз. Разница между максимальным и минимальным значениями максимальной средней задержки составляет около 200 единиц, за исключением случая $k = 1$, при котором она также увеличивается в несколько раз. Минимальное значение максимальной задержки достигается в случае $k = 1 \cdot 10^{-6}$.

В случае высокой загрузки при коэффициенте $k > 5 \cdot 10^{-2}$ сеть не находит возможности перейти в устойчивое состояние, в этом случае алгоритм Adaptive Rate Full Echo является неэффективным, однако при остальных значениях коэффициента наблюдается достижение сетью установившегося состояния. По критерию «длительность обучения» полученные результаты в несколько раз превышают значения длительности обучения сети Литтмана, однако прослеживается закономерность в том, что при коэффициентах k меньше $5 \cdot 10^{-4}$ достигается минимальное значение длительности обучения,

и сеть также переходит в состояние переобучения, при коэффициентах k больше $5 \cdot 10^{-4}$ сеть достигает установившегося состояния и остается в нем, а при значении $k = 5 \cdot 10^{-4}$ период длительности обучения оказывается также самым продолжительным. Разница между максимальным и минимальным значением максимальной задержки в сети составляет около 500 единиц, а значения в несколько раз превышают значения, полученные для сети Литтмана, что говорит о более сложной структуре сети. По критерию установившейся средней задержки значения получились в тех же пределах, что и для сети Литтмана.

Заключение

В данной статье было проведено исследование влияния параметра «скорость распространения эхо» на эффективность алгоритма маршрутизации Adaptive Rate Full Echo. При сравнении полученных результатов для двух структур сетей были получены как сходные закономерности для критерия установившегося среднего значения, так и отличающиеся для остальных двух критериев.

Поскольку в данной статье эксперименты проводились только для двух структур сетей, нельзя сделать однозначных выводов по значениям коэффициента k , при которых алгоритм будет достигать наиболее эффективной маршрутизации по трем выбранным критериям. В связи с этим дальнейшее направление исследова-

дования заключается в формировании структур сетей и их характеристик, для которых определенные значения коэффициентов k будут давать схожие результаты. В конечном итоге это позволит выполнить кластеризацию в пространстве различных видов сетевых структур, указав для каждого кластера рекомендуемые значения параметров алгоритма маршрутизации.

Библиографические ссылки

1. Sutton R.S. and Barto A.G. Reinforcement learning: An introduction. Cambridge, MIT press, 1998, 328 p.
2. Watkins C., Dayan P. Q-learning. *Machine learning*, 1992, vol. 8, no. 3, pp. 279-292.
3. Boyan J., Littman M. Packet Routing In Dynamically Changing Networks: A Reinforcement Learning Approach. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 1994, pp. 671-678.
4. Kaelbling L.P., Littman M.L., Moore A.W. Reinforcement learning. *A survey Journal of artificial intelligence research*, 1996, vol. 4, pp. 237-285.
5. Kumar S., Miikkulainen R. Dual Reinforcement Q-Routing: An On-Line Adaptive Routing Algorithm. *Artificial neural networks in engineering*, 1997, pp. 231-238.
6. Choi S. and Yeung Dit-Yan. Predictive Q-routing: A memory-based reinforcement learning approach to adaptive traffic control. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 1996, vol. 8, pp. 945-951.
7. Subramanian D., Druschel P., Chen J. Ants and reinforcement learning: A case study in routing in dynamic networks. *IJCAI*, 1997, 2, pp. 832-839.
8. Tao N., Baxter J., Weaver L. A Multi-Agent Policy-Gradient Approach to Network Routing. *ICML*, 2001, vol. 1, pp. 553-560.
9. Peshkin L., Savova V. Reinforcement learning for adaptive routing. *Proc. of the 2002 International Joint Conference on Neural Networks*, 2002, vol. 2, pp. 234-244.
10. Hoceini S., Mellouk A., Amirat Y. K-shortest paths Q-routing: a new QoS routing algorithm in telecommunication networks. *Networking-ICN 2005*. Springer Berlin Heidelberg, 2005, pp. 164-172.
11. Lopez A.M. and Heisterkamp D.R. Simulated Annealing Based Hierarchical Q-Routing: A Dynamic Routing Protocol. *IEEE Eighth International Conference on Information Technology*. New Generations, 2011, pp. 791-796.
12. Chetret D., Tham C.K., Wong L.W.C. Reinforcement learning and CMAC-based adaptive routing for manets. *IEEE International Conference on Networks*, 2004, vol. 2, pp. 540-544.
13. Arroyo-Valles R., Alaiz-Rodríguez R., Guerrero-Curieses A., Cid-Sueiro J. Q-Probabilistic Routing In Wireless Sensor Networks. *IEEE 3rd International Conference on Intelligent Sensors*. Sensor Networks and Information, 2007, pp. 1-6.

14. Desai R., Patil B.P. Enhanced Confidence Based Q-Routing for an Ad Hoc Network. *American Journal of Educational Science* 1.3, 2015, pp. 60-68.

15. Shilova Y., Kavalerov M. and Bezukladnikov I. Full Echo Q-routing with adaptive learning rates: a reinforcement learning approach to network routing. *IEEE NW Russia Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering Conference (EIConRusNW)*, 2016, pp. 341-344.

16. 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. С. 79–93.

17. Kavalerov M., Shilova Y., Likhacheva Y. Adaptive Q-Routing with random echo and route memory. *20th Conference of Open Innovations Association (FRUCT)*. St. Petersburg, 2017, pp. 138-145.

18. Кавалеров М. В. Сетевая маршрутизация на основе обучения с подкреплением в виде адаптивного Q-routing, использующего схему Random Echo, память маршрутов и оценки времени ожидания в очереди соседнего узла // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. 2017. № 6. С. 20–26.

19. Pacut A., Gadomska M., Igielski A. Ant-routing vs. q-routing in telecommunication networks. *Proc. of the 20th ECMS Conference*, May 28th - 31st, 2006, Bonn, Germany, pp. 67-72.

References

1. Sutton R.S. and Barto A.G. Reinforcement learning: An introduction. Cambridge, MIT press, 1998, 328 p.
2. Watkins C., Dayan P. Q-learning. *Machine learning*, 1992, vol. 8, no. 3, pp. 279-292.
3. Boyan J., Littman M. Packet Routing In Dynamically Changing Networks: A Reinforcement Learning Approach. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 1994, pp. 671-678.
4. Kaelbling L.P., Littman M.L., Moore A.W. Reinforcement learning. *A survey Journal of artificial intelligence research*, 1996, vol. 4, pp. 237-285.
5. Kumar S., Miikkulainen R. Dual Reinforcement Q-Routing: An On-Line Adaptive Routing Algorithm. *Artificial neural networks in engineering*, 1997, pp. 231-238.
6. Choi S. and Yeung Dit-Yan. Predictive Q-routing: A memory-based reinforcement learning approach to adaptive traffic control. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 1996, vol. 8, pp. 945-951.
7. Subramanian D., Druschel P., Chen J. Ants and reinforcement learning: A case study in routing in dynamic networks. *IJCAI*, 1997, 2, pp. 832-839.
8. Tao N., Baxter J., Weaver L. A Multi-Agent Policy-Gradient Approach to Network Routing. *ICML*, 2001, vol. 1, pp. 553-560.
9. Peshkin L., Savova V. Reinforcement learning for adaptive routing. *Proc. of the 2002 International Joint Conference on Neural Networks*, 2002, vol. 2, pp. 234-244.

10. Hoceni S., Mellouk A., Amirat Y. K-shortest paths Q-routing: a new QoS routing algorithm in telecommunication networks. *Networking-ICN 2005*. Springer Berlin Heidelberg, 2005, pp. 164-172.
11. Lopez A.M. and Heisterkamp D.R. Simulated Annealing Based Hierarchical Q-Routing: A Dynamic Routing Protocol. *IEEE Eighth International Conference on Information Technology*. New Generations, 2011, pp. 791-796.
12. Chetret D., Tham C.K., Wong L.W.C. Reinforcement learning and CMAC-based adaptive routing for manets. *IEEE International Conference on Networks*, 2004, vol. 2, pp. 540-544.
13. Arroyo-Valles R., Alaiz-Rodríguez R., Guerrero-Curieses A., Cid-Sueiro J. Q-Probabilistic Routing In Wireless Sensor Networks. *IEEE 3rd International Conference on Intelligent Sensors*. Sensor Networks and Information, 2007, pp. 1-6.
14. Desai R., Patil B.P. Enhanced Confidence Based Q-Routing for an Ad Hoc Network. *American Journal of Educational Science* 1.3, 2015, pp. 60-68.
15. Shilova Y., Kavalerov M. and Bezukladnikov I. Full Echo Q-routing with adaptive learning rates: a reinforcement learning approach to network routing. *IEEE NW Russia Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering Conference (EIConRusNW)*, 2016, pp. 341-344.
16. Shilova Yu.A. [Routing algorithm of the family of q-routing, based on dynamic changes of learning rates according to the estimates of the average delivery time]. *Vestnik Permskogo nauchnogo tsentra*, 2015, no. 2, pp. 79-93 (in Russ.).
17. Kavalerov M., Shilova Y., Likhacheva Y. Adaptive Q-Routing with random echo and route memory. *20th Conference of Open Innovations Association (FRUCT)*. St. Petersburg, 2017, pp. 138-145.
18. Kavalerov M. [Setevaya marshrutizatsiya na osnove obucheniya s podkrepleniem v vide adaptivnogo Q-routing, ispol'zuyushchego skhemu Random Echo, pamyat' marshrutov i otsenki vremeni ozhidaniya v ocheredi sosednego uzla]. *Neirokomp'yutery: razrabotka, primeneniye*, 2017, no. 6, pp. 20-26 (in Russ.).
19. Pacut A., Gadomska M., Igielski A. Ant-routing vs. q-routing in telecommunication networks. *Proc. of the 20th ECMS Conference*, May 28th - 31st, 2006, Bonn, Germany, pp. 67-72.

The Echo Ratio Effect on the Routing Efficiency of Full Rate Echo Algorithm

Yu.A. Shilova, Post-graduate, Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia
A.A. Yuzakov, DSc in Engineering, Professor, Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia
I.I. Bezukladnikov, PhD in Engineering, Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia
M.V. Kavalerov, PhD in Engineering, Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia

In previous papers the authors proposed a routing algorithm called Adaptive Q-routing Full Echo. The algorithm in each node uses two types of learning coefficients: primary and secondary, and the additional learning factors change dynamically for each node depending on the estimated average delay time.

The additional learning factor is updated at each modeling step for each node separately. The additional coefficient calculation is based on the parameter called echo ratio. To study the influence of the coefficients on the algorithm performance is an important step for achieving the greater routing efficiency. The influence of the echo ratio on the routing efficiency are given for two network structures, the Littman network and the NASK academic network. The influence of three parameters has been analyzed: the duration of learning, the maximum value of the average delay, and the steady value of the average delay. For the additional training parameter, the coefficient was chosen in descending order of integer powers of the number 10 towards the negative axis, starting with power 0 and ending with power 6, with additional intermediate values equal to half the interval between two nearest powers. When comparing the results obtained for two network structures, the similar patterns for the steady-state average criterion and different patterns for the other two criteria were obtained.

A further research implies the formation of network structures and their characteristics, for which certain values of the coefficients called echo ratio will give similar results.

Keywords: ad-hoc network, delivery time, reinforcement training, simulation, q-routing.

Получено 18.02.2019

Образец цитирования

Влияние коэффициента «скорость распространения эхо» на эффективность маршрутизации алгоритма Adaptive rate full echo / Ю. А. Шилова, А. А. Южаков, И. И. Безукладников, М. В. Кавалеров // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. 2019. Т. 22, № 2. С. 65–72. DOI 10.22213/2413-1172-2019-2-65-72.

For Citation

Shilova Yu.A., Yuzakov A.A., Bezukladnikov I.I., Kavalerov M.V. [The echo ratio effect on the routing efficiency of full rate echo algorithm]. *Vestnik IzhGTU imeni M. T. Kalashnikova*, 2019, vol. 22, no. 2, pp. 65-72 (in Russ.). DOI 10.22213/2413-1172-2019-2-65-72.