

- applications. *IEEE Access*, 2016, vol. 4, pp. 5640–5648. DOI: 10.1109/ACCESS.2016.2604364
10. Vishnevsky V., Larionov A., Frolov S. Design and scheduling in 5G stationary and mobile communication systems based on wireless millimeter-wave mesh networks. *Distributed Computer and Communication Networks*, 2014, vol. 279, pp. 11–27. DOI: 10.1007/978-3-319-05209-0_2
11. Vishnevsky V.M. et al. Applying graph-theoretic approach for time-frequency resource allocation in 5G mm wave backhaul network. *Advances in Wireless and Optical Communications (RTUWO)*, 2016, pp. 221–224. DOI: 10.1109/RTUWO.2016.7821888
12. Leland W.E. et al. On the self-similar nature of Ethernet traffic. *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 1994, vol. 2, no. 1, pp. 1–15.
13. Tsybakov B.S. Model of telegraphy based on a self-similar random process. *Radiotekhnika*, 1999, no. 5, pp. 24–31. (In Russ.)

Received 28.11.2023

УДК 621.391: 621.39

ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ГРУППОВОГО ПУАССОНОВСКОГО ПОТОКА В ИМИТАЦИОННОМ МОДЕЛИРОВАНИИ СОВРЕМЕННОГО ВИДЕОТРАФИКА

Лихтциндер Б.Я.¹, Привалов А.Ю.²

¹ Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Самара, РФ

² Самарский национальный исследовательский университет имени С.П. Королева, Самара, РФ
E-mail: b.lihtcinder@psuti.ru, privalov1967@gmail.com

Рассматривается возможность использования группового пуассоновского потока для имитационного моделирования современного видеотрафика в отношении аппроксимации статистических характеристик первого и второго порядка создаваемой трафиком очереди в буфере передачи. Предложен способ определения параметров аппроксимирующего группового пуассоновского потока, заключающийся в одновременной минимизации отклонения зависимостей математического ожидания очереди и дисперсии очереди от нагрузки канала, вычисленной по формулам для аппроксимирующего потока от аналогичных зависимостей реального трафика. В качестве аналитических формул для математического ожидания и дисперсии очереди используются формулы, полученные с помощью интервального метода для системы массового обслуживания с одним прибором и постоянным временем обслуживания. Качество аппроксимации проверяется имитационным моделированием прохождения группового пуассоновского потока с вычисленными параметрами через данную систему массового обслуживания.

Ключевые слова: система массового обслуживания, групповой пуассоновский поток, очереди с постоянным временем обслуживания, имитационное моделирование

Введение

В настоящее время математическими моделями, наиболее адекватно описывающими трафик современных сетей телекоммуникаций, считаются модели самоподобного трафика [1–6; 9; 10]. Действительно, с помощью таких моделей можно одновременно приблизить сразу несколько важных статистических характеристик трафика как первого, так и более высоких порядков [3]. Однако главным недостатком этих моделей является весьма высокая сложность, затрудняющая использование их на практике.

В связи с этим представляется актуальным подход, который бы использовал для аппроксимации характеристик реального трафика более простые и легкие для анализа модели, близкие к моделям, считающимся классическими. Пусть даже такие модели смогут одновременно аппроксимировать не слишком широкий набор статисти-

ческих характеристик реального трафика, а только наиболее важные из них, но за счет простоты модели это может быть полезно на практике, в частности в имитационном моделировании.

В данной работе применяется именно такой подход, при этом аппроксимируются зависимости первого и второго момента очереди, создаваемой трафиком, от загрузки канала. Такие характеристики выбраны для аппроксимации потому, что именно они важны во многих задачах имитационного моделирования, например в задачах определения размеров буферов для хранения транзитных пакетов в узлах сети или задачах прохождения выделенного потока через загруженную сеть, где необходимо моделировать очереди, создаваемые остальными потоками (как фон для движения выделенного потока).

В качестве простой модели для очереди, образуемой реальным трафиком, используется

очередь, создаваемая пуассоновским потоком с групповым прибытием. Он отличается от классического (ординарного) пуассоновского потока только тем, что у классического потока заявки прибывают строго по одной, а у группового – пачками, размеры которых являются одним из параметров модели.

В качестве реального трафика, очереди которого аппроксимируются, используется видеотрафик, так как именно в видеотрафике пачечность, являющаяся причиной сильной коррелированности, и в конечном счете самоподобия, является весьма сильной.

Приближение с использованием аналитических выражений

Рассматривается Пуассоновский поток с параметром λ независимых событий, i -тое ($i = 1, 2, \dots$) из которых есть одновременное прибытие B_i пакетов для передачи, где B_i – независимые одинаково распределенные случайные величины. Все пакеты одинакового размера, они поступают в буфер и передаются оттуда по каналу постоянной битовой скорости. Таким образом, мы рассматриваем систему массового обслуживания (СМО) типа G/D/1 с групповым Пуассоновским потоком на входе.

В работе [7] с помощью интервального метода [8] для системы G/D/1 были получены формулы для математического ожидания очереди (обобщение формулы Поллачека–Хинчина) и для вторых моментов очереди, а именно:

$$\bar{q} = \frac{D(m) + 2R(q_{i-1}, m_i)}{2(1-\rho)} - \frac{\rho}{2},$$

$$\bar{q}^2 = \frac{\bar{q}}{1-\rho} (D(m) + (1-\rho)^2) + \frac{\bar{m}^3 - 3\bar{m}^2 + 2\rho}{3(1-\rho)},$$

$$D(q) = \bar{q}^2 - (\bar{q})^2.$$

где m – случайная величина, равная количеству заявок, приходящих в систему в течении случайно выбранного интервала обслуживания одной заявки, ρ – коэффициент загрузки прибора (канала связи), $D(m)$ – ее дисперсия, $R(q_{i-1}, m_i)$ – корреляция между величиной очереди перед началом некоторого интервала обслуживания заявки и количеством заявок, поступивших во время этого обслуживания, q – очередь, $D(q)$ – дисперсия очереди.

Там же для группового пуассоновского потока получено, что:

$$\bar{m} = \rho = \lambda \tau \bar{B},$$

$$\begin{aligned} \bar{m}^2 &= \lambda \tau \bar{B}^2 + (\lambda \tau \bar{B})^2, \\ \bar{m}^3 &= \lambda \tau \bar{B}^3 + 3(\lambda \tau) \bar{B} \bar{B}^2 + (\lambda \tau \bar{B})^3, \\ D(m) &= \lambda \tau \bar{B}^2, \mu_3(m) = \lambda \tau \bar{B}^3. \end{aligned}$$

где τ – время обслуживания заявки, $\mu_3(m)$ – третий центральный момент m , B – размер пачки заявок.

Используя то, что в пуассоновском потоке отсутствует корреляция текущей очереди с будущим входным потоком, для моментов очереди несложно получить, что:

$$\bar{q}(\rho) = \frac{\rho(\bar{B}^2 - \bar{B}(1-\rho))}{2\bar{B}(1-\rho)}, \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \bar{q}^2(\rho) &= \frac{\rho(\bar{B}^2 - \bar{B}(1-\rho))}{2\bar{B}(1-\rho)} \times \\ &\times \left(\rho \frac{\bar{B}^2}{\bar{B}} + (1-\rho)^2 \right) + \\ &+ \frac{\rho^3 - 3\rho^2 + 2\rho}{3(1-\rho)} + \frac{\rho \bar{B}^3 - 3\rho \bar{B}^2(1-\rho)}{3\bar{B}(1-\rho)}, \quad (2) \end{aligned}$$

$$D(q(\rho)) = \bar{q}^2(\rho) - (\bar{q}(\rho))^2. \quad (3)$$

Далее для используемых трасс реального видеотрафика методом имитационного моделирования, когда данная трасса является входным потоком в систему G/D/1, были найдены эмпирические оценки средней очереди и дисперсии очереди для ряда значений ρ :

$$q^*(\rho_i), i = 1, \dots, N \text{ и } D^*(\rho_j), j = 1, \dots, M.$$

Различные значения ρ получены путем изменения скорости обслуживания (скорости передачи данных по каналу).

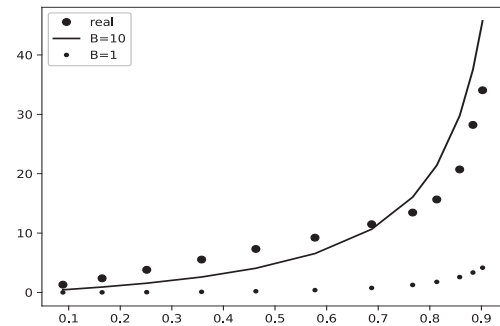


Рисунок 1. Зависимость средней очереди от загрузки прибора, трафик H264

В качестве распределения размера пачки в групповом пуассоновском потоке был взят простейший случай постоянного размера пачки $B = \text{const}$, и методом взвешенных наименьших квадратов определено значение B , при котором значение целевой функции (4) минимально.

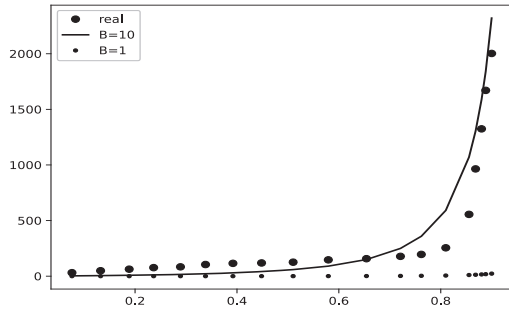


Рисунок 2. Зависимость дисперсии очереди от загрузки прибора, трафик H264

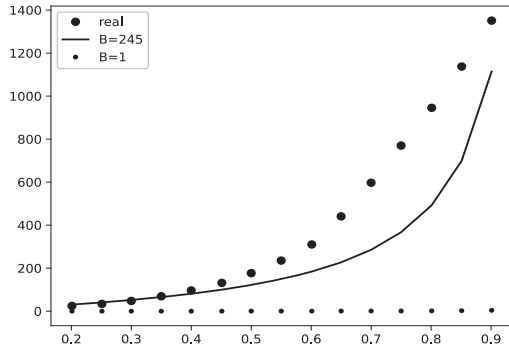


Рисунок 3. Зависимость средней очереди от загрузки прибора, трафик vid

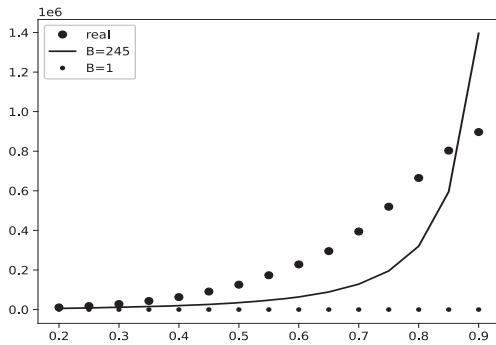


Рисунок 4. Зависимость дисперсии очереди от загрузки прибора, трафик vid

$$J(B) = \sum_{i=1}^N \frac{(\bar{q}^*(\rho_i) - \bar{q}(\rho_i))^2}{\bar{q}^*(\rho_i)} + \sum_{j=1}^M \frac{(D^*(\rho_j) - D(\rho_j))^2}{D^*(\rho_j)}. \quad (4)$$

При вычислении целевой функции используются формулы (1)–(3) при условии $B = \text{const}$.

На рисунках 1 и 2 приведены для средней очереди и дисперсии очереди, точки, полученные из реального трафика, использовавшиеся в функции (4), графики зависимостей (1) и (2) для B , минимизирующего функцию (4) и для сравнения графики для ординарного пуассоновского потока. В этом эксперименте использовался трафик от видеокодека стандарта H264. На рисунках 3 и 4

приведены результаты аналогичного эксперимента с видеотрафиком типа vid.

Видно, что групповой пуассоновский поток гораздо лучше приближает рассматриваемые характеристики реального трафика, чем ординарный пуассоновский поток. Точность аппроксимации зависит от вида видеотрафика.

Отметим, что кроме простейшего случая постоянного размера пачки, мы проводили аналогичные эксперименты для случая, когда размер пачки мог иметь два различных значения: одно с вероятностью p , а другое с вероятностью $1-p$, и минимизация целевой функции (4) проводилась по этим двум размерам и вероятности p . Однако значимого улучшения результатов не было получено.

Проверка результатов с помощью имитационного моделирования

Для проверки были сгенерированы групповые пуассоновские потоки с найденными параметрами, и, используя их в качестве входных в систему G/D/1, получены эмпирические зависимости средней и дисперсии очереди. Результаты приведены на рисунках 5 и 6 для кодека H264 и на рисунках 7 и 8 для видеотрафика vid. Видно, что эмпирические зависимости, найденные по трассам имитационного эксперимента, практически совпадают с теоретическими, вычисленными по формулам (1)–(3).

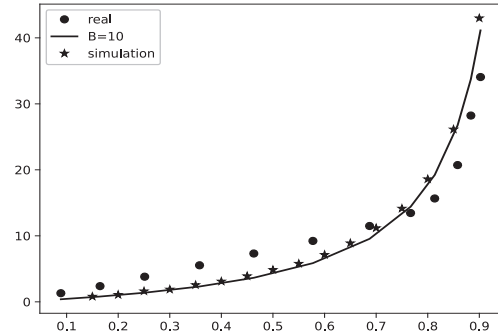


Рисунок 5. Зависимость средней очереди от загрузки прибора, трафик H264

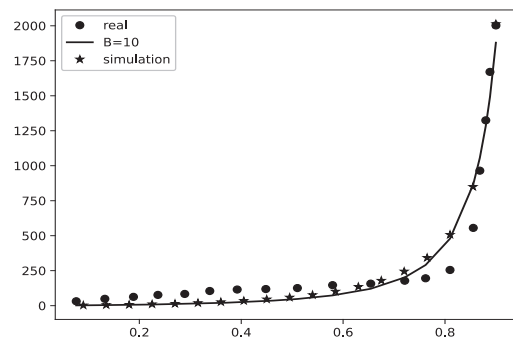


Рисунок 6. Зависимость дисперсии очереди от загрузки прибора, трафик H264

Некоторое различие для дисперсии очереди в области больших нагрузок для трафика vid связано с медленным установлением стационарного состояния при размере пачки, равном 245: в экспериментах использовалась трасса, содержащая моменты прихода 160 000 пакетов, и при этом стационарное состояние при больших нагрузках еще не вполне установилось.

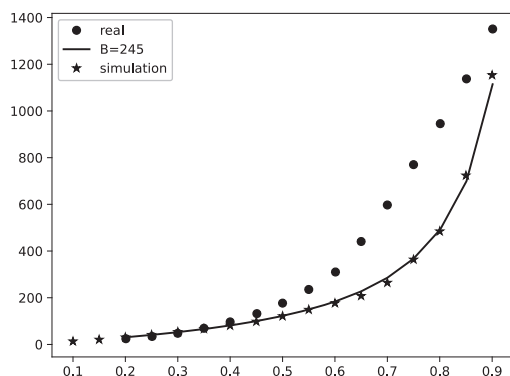


Рисунок 7. Зависимость средней очереди от загрузки прибора, трафик vid

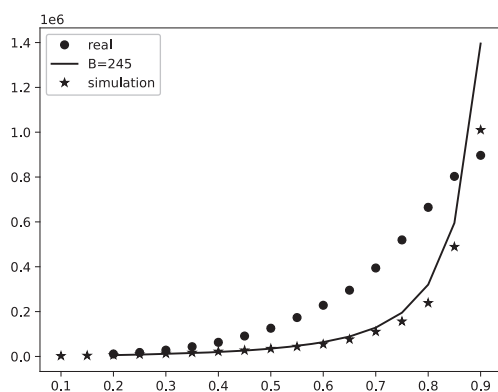


Рисунок 8. Зависимость дисперсии очереди от загрузки прибора, трафик vid

Заключение

Групповой пуассоновский поток может быть использован в имитационном моделировании для аппроксимации очередей реального видеотрафика. При этом одновременно можно аппроксимировать такие статистические параметры очереди, как математическое ожидание и дисперсию.

С практической точки зрения, такое приближение может рассматриваться как хорошее приближение всего распределения очереди, хотя точность приближения зависит от вида видеотрафика. В работе предложен простой метод оценки параметра группового потока, обеспечивающий наилучшее приближение при данном подходе.

Литература

1. On the self-similar nature of ethernet traffic (extended version) / W.E. Leland [et al.] // IEEE/ACM Transactions on Networking. 1994. Vol. 2, no. 1. P. 1–15.
2. Yunhua R. Evaluation and estimation of second-order self-similar network traffic // Computer Communications. 2004. Vol. 27, no. 9. P. 898–904. DOI: 10.1016/j.comcom.2004.02.003
3. Privalov A., Tsarev A. Analysis and simulation of WAN traffic by self-similar traffic model with OMNET // Proceedings of the 10th International Wireless Communications and Mobile Computing Conference. 2014. P. 629–634.
4. Millan N.G., Urrutia S.E., Guzmán V.M. A simple multifractal model for self-similar traffic flows in high-speed computer networks // Computacion y Sistemas. 2019. Vol. 23, no. 4. P. 1517–1521.
5. Sarla P., Reddy D.M., Krishna T.V. Analytical study of self-similar type traffic data-queueing techniques // AIP Conference Proceedings. 2020. Vol. 2246, no. 1, P. 29–35.
6. Georgantas D., Baziana P. Traffic burstiness study of an efficient bandwidth allocation MAC scheme for WDM datacenter networks // 2023 IEEE International Mediterranean Conference on Communications and Networking (MeditCom). 2023. P. 169–174.
7. Likhtsinder B.J., Privalov A.Y., Moiseev V.I. Batch-poissonian arrival models of multiservice network traffic // Problems of Information Transmission. 2023. Vol. 59, no. 1. P. 71–79.
8. Лихтциндер Б.Я. Трафик мультисервисных сетей доступа (интервальный анализ и проектирование). М.: Горячая линия – Телеком, 2018. 290 с.
9. Vishnevskii V.M., Dudin A.N. Queueing systems with correlated arrival flows and their applications to modeling telecommunication networks // Automation and Remote Control. 2017. Vol. 78, no. 8. P. 1361–1403. DOI: 10.1134/S000511791708001X
10. Appenzeller G., Keslassy I., McKeown N. Sizing router buffers // Processing 2004 Conference on Applications, Technologies, Architectures, and Protocols for Computer Communications (SIGCOMM'04). Portland, USA, 2004. P. 281–292. DOI: 10.1145/1015467.1015499

Получено 26.11.2023

Лихтциндер Борис Яковлевич, д.т.н., профессор, профессор кафедры сетей и систем связи Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики. 443010, Российская Федерация, г. Самара, ул. Л. Толстого, 23. Тел. +7 846 333-47-69. E-mail: lixt@psuti.ru

Привалов Александр Юрьевич, д.т.н., профессор, профессор кафедры прикладной математики и физики Самарского национального исследовательского университета имени С.П. Королева. 443086, Самара, Московское шоссе, 34. Тел. +7 846 332-56-07. E-mail: privalov1967@gmail.com

USE OF GROUP POISSON FLOW IN SIMULATION MODELING OF MODERN VIDEO TRAFFIC

Lichtzinder B.Ya.¹, Privalov A.Yu.²

¹ *Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, Samara, Russian Federation*

² *Samara National Research University, Samara, Russian Federation*

E-mail: b.lihtcinder@psuti.ru, privalov1967@gmail.com

The possibility of using a group Poisson flow for simulation modeling of modern video traffic is considered in relation to the approximation of the first and second order statistical characteristics of the queue created by the traffic in the transmission buffer. A method is proposed for determining the parameters of an approximating group Poisson flow, which consists of simultaneously minimizing the deviation of the dependencies of the mathematical expectation of the queue and the dispersion of the queue on the channel load, calculated using the formulas for the approximating flow, from similar dependencies of real traffic. As analytical formulas for the mathematical expectation and queue dispersion, formulas obtained using the interval method for a queuing system with one device and constant service time are used. The quality of the approximation is checked by simulation of the passage of a group Poisson flow with calculated parameters through a given queuing system.

Keywords: *queuing system, group Poisson flow, queues with constant service time, simulation modeling*

DOI: 10.18469/ikt.2023.21.3.02

Likhttsinder Boris Yakovlevich, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, 23, L. Tolstoy Street, Samara, 443010, Russian Federation; Professor of Networks and Communication Systems Department, Doctor of Technical Science. Tel. +7 846 333-47-69. E-mail: lixt@psuti.ru

Privalov Alexander Yurievich, Samara National Research University, 34, Moskovskoye shosse, Samara, 443086, Russian Federation; Professor of Applied Mathematics and Physics Department, Doctor of Technical Science. Tel. +7 846 332-56-07. E-mail: privalov1967@gmail.com

References

1. Leland W.E. et al. On the self-similar nature of ethernet traffic (extended version). *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 1994, vol. 2, no. 1, pp. 1–15.
2. Yunhua R. Evaluation and estimation of second-order self-similar network traffic. *Computer Communications*, 2004, vol. 27, no. 9, pp. 898–904. DOI: 10.1016/j.comcom.2004.003
3. Privalov A., Tsarev A. Analysis and simulation of WAN traffic by self-similar traffic model with OMNET. *Proceedings of the 10th International Wireless Communications and Mobile Computing Conference*, 2014, pp. 629–634.
4. Millan N.G., Urrutia S.E., Guzmán V.M. A simple multifractal model for self-similar traffic flows in high-speed computer Networks. *Computacion y Sistemas*, 2019, vol. 23, no. 4, pp. 1517–1521.
5. Sarla P., Reddy D.M., Krishna T.V. Analytical study of self-similar type traffic data-queuing techniques. *AIP Conference Proceedings*, 2020, vol. 2246, no. 1, pp. 29–35.
6. Georgantas D., Baziana P. Traffic burstiness study of an efficient bandwidth allocation MAC scheme for WDM datacenter networks. *2023 IEEE International Mediterranean Conference on Communications and Networking (MeditCom)*, 2023, pp. 169–174.
7. Likhttsinder B.J., Privalov A.Y., Moiseev V.I. Batch-poissonian arrival models of multiservice network traffic. *Problems of Information Transmission*, 2023, vol. 59, no. 1, pp. 71–79.

8. Likhtsinder B.J. *Traffic of Multiservice Access Networks (Interval Analysis and Design)*. Moscow: Goryachaya liniya – Telekom, 2018, 290 p. (In Russ.)
9. Vishnevskii V.M., Dudin A.N. Queueing systems with correlated arrival flows and their applications to modeling telecommunication networks. *Automation and Remote Control*, 2017, vol. 78, no. 8, pp. 1361–1403. DOI: <https://doi.org/10.1134/S000511791708001X>
10. Appenzeller G., Keslassy I., McKeown N. Sizing router buffers. *Processing 2004 Conference on Applications, Technologies, Architectures, and Protocols for Computer Communications (SIGCOMM'04)*. Portland, USA, 2004. P. 281–292. DOI: 10.1145/1015467.1015499

Received 26.11.2023

СЕТИ СВЯЗИ И МУЛЬТИСЕРВИСНЫЕ УСЛУГИ

УДК 621.391

МЕТОД ОБУЧЕНИЯ С ПОДКРЕПЛЕНИЕМ ДЛЯ ДИНАМИЧЕСКОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИОРИТЕТОВ В TSN

Герасимов В.В.

Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Самара, РФ

E-mail: v.gerasimov@psuti.ru

В этой статье исследуется возможность использования метода обучения с подкреплением для динамического назначения приоритетов в сетях, чувствительных ко времени. Представленный подход целенаправленно оптимизирует процесс управления временными ограничениями в сети. Используя техники обучения с подкреплением, система самостоятельно корректирует приоритеты в зависимости от требований сетевого трафика. Для достижения этой цели предложены две схемы конфигурации, основанные на стандартах TSN (Time-Sensitive Networking): централизованная и распределенная. Рассмотрев эти схемы, выявим их ограничения, необходимые в удовлетворении требований, близких к реальному времени, и обеспечении строгих гарантий качества обслуживания, учитывая ограничения, применяемые к чувствительной ко времени среде. Также в работе выявляется необходимость использования дополнительного оборудования, централизованного контроллера, для перераспределения приоритетов.

Ключевые слова: динамический приоритет, обучение с подкреплением, сети, чувствительные ко времени, крайний срок

Введение

Системы реального времени используют схемы расстановки приоритетов для удовлетворения различных классов трафика с определенными требованиями к качеству обслуживания. Однако в некоторых сценариях, когда передается множество пакетов с высоким приоритетом, пакеты с более низким приоритетом могут не уложиться в установленные сроки, что приведет к значительному снижению производительности планирования. Чрезмерно ранняя отправка потоков с высоким приоритетом не дает никаких дополнительных преимуществ, помимо соблюдения крайнего срока. Вместо этого более эффективно использовать это буферное время для трафика с более низким приоритетом и обеспечивать своевременную доставку передачи трафика с высоким приоритетом. Предлагается адаптивная схема динамического присвоения приоритетов, которая использует метод подкрепленного обу-

чения – reinforcement learning для решения этой проблемы. Она позволяет адаптироваться к изменяющимся условиям сети и постоянно повышать производительность с течением времени. Кроме того, представляю и обсуждаю два потенциальных варианта конфигурации, которые могут быть использованы в рамках предлагаемой схемы.

Интернет вещей (IoT) и сети, чувствительные ко времени (TSN, Time-Sensitive Networking), т.е. протоколы связи в реальном времени, являются основой для будущих критически важных систем и соответствующих приложений, которые требуют ограниченной задержки, а также бесперебойной и безотказной связи. В этом контексте доставка трафика в течение определенного периода времени, называемого крайним сроком, имеет важное значение с потенциально серьезными последствиями, когда пакеты запаздывают. В некоторых критически важных приложениях, таких как бортовые сети, любое несоблюдение этих