

УДК 621.39

<https://doi.org/10.31854/2307-1303-2025-13-1-1-13>

EDN: DYOMML

Метод динамического выбора подканалов в гетерогенных средах Интернета вещей

Парамонов А. И., Хоанг Ф. Н.✉

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича,
Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация

В статье рассматривается задача динамического выбора подканалов в гетерогенных сетях Интернета вещей с учетом изменений параметров сети и ограниченных вычислительных ресурсов устройств. Предметом исследования являются гетерогенные сети Интернета вещей, использующие различные технологии передачи данных. В исследовании применяется метод обучения с подкреплением для динамического выбора подканалов на основе анализа исторических данных и текущего состояния сети, также используется алгоритм перетягивания каната для распределения ресурсов между подканалами. Основные результаты. Разработан метод динамического выбора подканалов, который позволяет учитывать вероятность успешной передачи данных, частоту использования подканала и вероятность отказов, обеспечивая баланс между эффективностью передачи и вычислительными затратами. Практическая значимость результатов заключается в повышении производительности и надежности гетерогенных сетей Интернета вещей при высокой нагрузке и ограниченных ресурсах устройств.

Ключевые слова: гетерогенные сети, канал связи, Интернет вещей, алгоритм перетягивания каната, обучение с подкреплением

1. Введение

Интернет вещей (ИВ) – это одна из наиболее активно развивающихся технологий, оказывающих значительное влияние на различные аспекты нашей жизни. По оценкам экспертов отрасли, количество устройств, подключенных к сети, уже превысило число жителей планеты, и эта тенденция продолжает набирать обороты [1–2]. Развитие ИВ обусловлено внедрением разнообразных технологий, от умных домов и городов до промышленного интернета и систем здравоохранения [3].

Основной особенностью сетей ИВ является их гетерогенность – устройства различного назначения, использующие разнообразные технологии передачи данных, которые должны эффективно взаимодействовать друг с

Библиографическая ссылка на статью:

Парамонов А. И., Хоанг Ф. Н. Метод динамического выбора подканалов в гетерогенных средах Интернета вещей // Информационные технологии и телекоммуникации. 2025. Т. 13. № 1. С. 1–13. DOI: 10.31854/2307-1303-2025-13-1-1-13. EDN: DYOMML

Reference for citation:

Paramonov A., Hoang Ph. N. Method for Dynamic Subchannel Selection in Heterogeneous Internet of Things Environments // Telecom IT. 2025. Vol. 13. Iss. 1. PP. 1–13. (in Russian). DOI: 10.31854/2307-1303-2025-13-1-1-13. EDN: DYOMML

другом в едином сетевом пространстве [4]. Однако с ростом плотности подключенных устройств, перед разработчиками сетей встают новые вызовы, такие как управление ограниченными сетевыми ресурсами, обеспечение надежности связи и поддержание минимального уровня задержек при передаче данных [5–7].

Современные сети ИВ, особенно в условиях высокой плотности узлов, требуют применения гибких и адаптивных подходов к управлению ресурсами, поскольку статические методы, используемые в традиционных системах связи, часто оказываются недостаточно эффективными. Одним из перспективных решений данной проблемы является применение гетерогенных сетевых подканалов для распределения нагрузки между устройствами. Разнообразие доступных технологий связи (радиочастотные, акустические и оптические каналы), открывает возможности для улучшения характеристик сети, таких как производительность и надежность [8–10].

Тем не менее, эффективное использование гетерогенных каналов требует разработки новых методов выбора каналов и распределения нагрузки, учитывающих динамическое изменение условий сети. В данной работе предложен *подход, основанный на алгоритме усиленного обучения и модели перетягивания каната*, который позволяет адаптироваться к текущему состоянию сети и обеспечить оптимальное использование ресурсов. Основной целью исследования является повышение эффективности передачи данных, снижение вычислительных затрат и обеспечение надежности связи в условиях ограниченных сетевых ресурсов [11–13].

2. Анализ и постановка задачи

Гетерогенные сети ИВ представляют собой сложную среду передачи данных, в которой устройства одновременно используют несколько подканалов для обмена информацией. Эти подканалы могут базироваться на различных технологиях связи, таких как радиоканалы, акустические и оптические подканалы. Каждый подканал имеет свои физические характеристики, включая пропускную способность, уровень энергопотребления, надежность и устойчивость к помехам. Однако изменчивость условий сети и ограниченные вычислительные ресурсы устройств создают значительные вызовы для эффективного управления передачей данных. На рисунке 1 представлена модель такой сети.

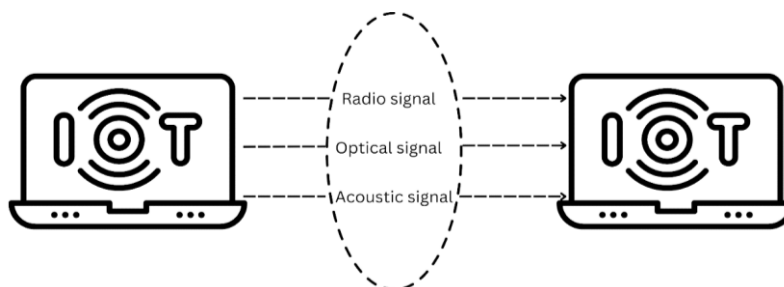


Рис. 1. Модель гетерогенной мультисканальной сети Интернета вещей

Основная проблема заключается в создании механизма динамического выбора подканалов, который позволит одновременно повысить надежность передачи данных, минимизировать энергопотребление и обеспечить адаптацию к изменяющимся условиям сети. Традиционные статические подходы к выбору подканалов не могут справиться с динамикой гетерогенных сетей ИВ. Такие подходы часто основываются на начальной оценке характеристик подканалов (пропускной способности, уровне шума или энергопотреблении) и предполагают, что эти параметры остаются неизменными в процессе эксплуатации сети. Примерами таких методов могут служить алгоритмы, выбирающие подканалы на основе ранжирования по заранее известным метрикам, или подходы, основанные на фиксированных правилах распределения ресурсов между устройствами. В таблице 1 представлен сравнительный анализ методов выбора подканалов, основанный на их ключевых характеристиках и результатах, полученных в ходе исследования. В данной работе рассматриваются и сравниваются несколько известных методов принятия решений: метод серого реляционного анализа (GRA, аббр. от англ. Grey Relational Analysis), метод TOPSIS (аббр. от англ. Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution), метод анализа иерархий (АНП, аббр. от англ. Analytic Hierarchy Process) и метод эвристических алгоритмов. Изменение уровня шума, количества активных узлов и характеристик среды передачи требуют разработки методов, способных учитывать как текущие состояния сети, так и историческую информацию о производительности подканалов.

Таблица 1 – Сравнительный анализ методов выбора подканалов

Критерий	Алгоритм перетягивания каната	GRA	TOPSIS	АНП	Эвристические алгоритмы
Адаптивность к изменениям	Высокая, обновляется динамически	Низкая	Средняя	Фиксированные веса	Средняя
Балансировка нагрузки	Автоматическая	Нет	Ограниченная	Только анализ	Возможна, локальные оптимумы
Эффективность при большом количестве подканалов	Хорошая, масштабируемый	Сложность растет	Ограничения в вычислениях	Неэффективен	Гибкий, зависит от эвристики
Вычислительная сложность	Высокая, требует обновлений	Низкая	Средняя	Высокая	Низкая
Масштабируемость	Подходит для больших сетей ИВ	Ограничена	Сложность растет	Ограничена	Гибкая
Автоматизация выбора	Полностью автономная	Требует статических данных	Ручная настройка	Зависит от экспертов	Частичная
Эффективность при низких ресурсах	Можно упростить для ИВ	Высокая	Средняя	Слишком затратный	Гибкий

Для решения этой задачи требуется механизм, который будет анализировать производительность подканалов по таким параметрам, как частота их использования, вероятность успешной передачи данных и количество отказов. При этом необходимо учитывать ограниченные ресурсы устройств ИВ, чтобы минимизировать вычислительные издержки и энергетические затраты. Также важно, чтобы механизм был адаптивным, то есть мог быстро реагировать на изменения условий сети, обеспечивая баланс между исследованием новых подканалов и использованием уже известных решений.

В данном исследовании предлагается алгоритм перетягивания каната, который представляет собой метод обучения с подкреплением, адаптированный для задач динамического управления ресурсами в гетерогенных сетях ИВ. Алгоритм принимает решения, используя накопленные статистические данные. Среди них – частота успешного использования, вероятность ошибок и общая эффективность подканала. Особенностью метода является возможность учитывать как текущие состояния подканалов, так и их историческую производительность, что обеспечивает более точные и обоснованные решения.

Предполагается, что количество доступных подканалов равно K . В каждом цикле зондирования каждое устройство *оценивает текущее состояние выбранного подканала и обновляет параметры доступа*, адаптируясь к текущим условиям сети. Это позволяет добиться *оптимального распределения радиоресурсов и повысить общую эффективность передачи данных*.

3. Решение задачи

В процессе передачи данных в гетерогенных сетях ИВ каждое устройство должно динамически выбирать оптимальный подканал для передачи данных. Выбор подканала должен основываться не только на текущем состоянии сети, но и на накопленной информации о ее производительности, что повышает точность принимаемых решений.

Частота выбора подканала отражает, как часто устройство выбирает подканал k к моменту времени t . Этот параметр обновляется по следующему выражению:

$$N_k(t) = \begin{cases} 1 + \beta N_k(t-1), & \text{если } k = k^* \\ \beta N_k(t-1), & \text{если } k \neq k^* \end{cases} \quad (1)$$

где коэффициент затухания β ($0 \leq \beta \leq 1$) определяет вес исторических данных при обновлении частоты выбора подканала (чем меньше значение β , тем сильнее влияние недавнего опыта на текущее состояние обучения); k^* – выбранный подканал для текущей передачи.

Накопленное вознаграждение подканала отражает общую эффективность подканала, определяемую разностью между частотой выбора и частотой отказов. Данный параметр показывает, насколько эффективно подканал используется для передачи данных:

$$R_k(t) = \begin{cases} 1 + \beta R_k(t-1), & \text{если } k = k^* \text{ и при получении АСК} \\ \beta R_k(t-1), & \text{в противном случае} \end{cases}, \quad (2)$$

где АСК (*аббр. от англ. Acknowledgement*) – кадр-подтверждение.

Вероятность успешного использования подканала определяется соотношением:

$$p_k(t) = \frac{R_k(t)}{N_k(t)} = \begin{cases} \frac{1 + \beta R_k(t-1)}{1 + \beta N_k(t-1)}, & k = k^* \text{ и при получении АСК} \\ \frac{\beta R_k(t-1)}{1 + \beta N_k(t-1)}, & k = k^* \text{ и при отсутствии АСК} \\ \frac{\beta R_k(t-1)}{\beta N_k(t-1)}, & k \neq k^* \end{cases} \quad (3)$$

С увеличением количества испытаний вклад каждого успешного или неудачного выбора подканала в обновленное значение p_k снижается. Поскольку беспроводная среда изменяется динамически, влияние устаревшей информации о прошлых успехах или неудачах должно снижаться.

Плотность вероятности успешного использования подканала описывается функцией бета-распределения:

$$f(p_k(t); \gamma, \delta) = \frac{p_k^{\gamma-1}(t)(1-p_k(t))^{\delta-1}}{B(\gamma, \delta)}. \quad (4)$$

Бета-функция $B(\gamma, \delta)$, выступающая в качестве нормировочного коэффициента, обеспечивает корректную интеграцию функции плотности вероятности:

$$B(\gamma, \delta) = \int_0^1 p^{\gamma-1}(1-p)^{\delta-1} dp, \quad (5)$$

где γ и δ ($\gamma, \delta \geq 1$) – параметры бета-распределения, связанные с историческими данными.

На рисунке 2 представлены результаты моделирования плотности вероятности успешного использования одного подканала, выполненного на основе бета-распределения. Моделирование проводилось для одного подканала, параметры которого определялись на основе исторических данных и текущих состояний. Это позволило более точно оценить производительность подканала в динамических условиях сети.

Бета-распределение позволяет учитывать неопределенность и динамическое изменение производительности подканала, что делает его эффективным инструментом анализа, так как принимает во внимание и успешные передачи, и отказы, происходившие на протяжении всего времени работы сети. В ходе моделирования параметры γ и δ бета-распределения адаптировались в зависимости от

частоты успешного использования подканала и частоты отказов, что позволило динамически учитывать изменения производительности подканала. Поскольку качество подканала изменяется со временем, необходимо адаптивное обновление оценочных значений, чтобы учесть динамику сети. Для этого вводится параметр обучения, который снижает влияние предыдущего опыта на текущую оценку (Q -значение).

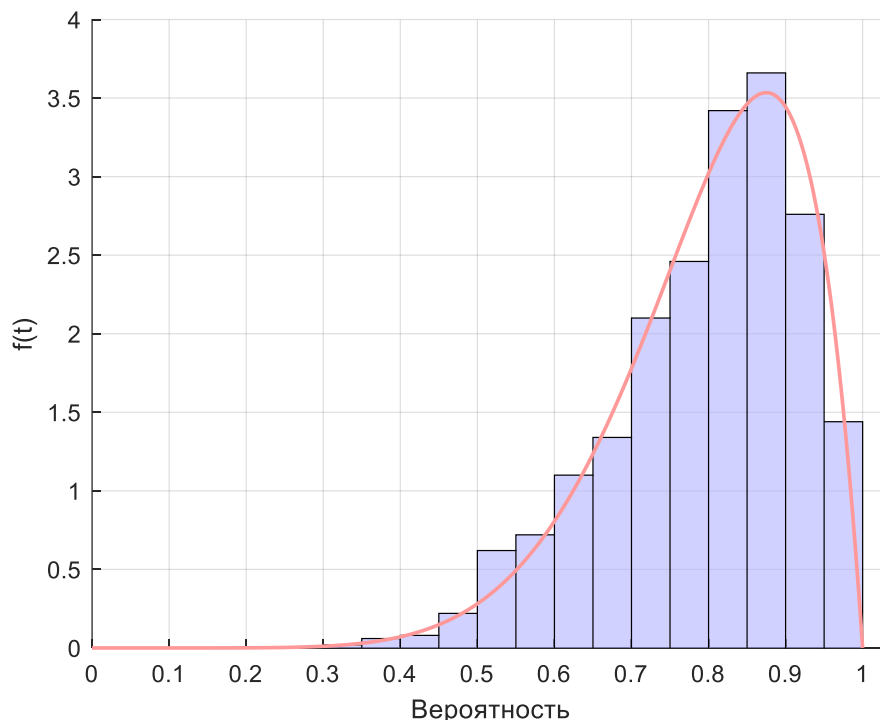


Рис. 2. Плотность вероятности успешного использования подканала

Обновление оценочного Q -значения для подканала k в момент времени t выполняется следующим образом:

$$Q_k(t) = \alpha Q_k(t - 1) - \Delta Q_k(t), \quad (6)$$

где α ($0 < \alpha \leq 1$) – коэффициент обучения, регулирующий степень влияния нового вознаграждения на оценку; ΔQ_k – представляет собой изменение вознаграждения на текущем шаге времени и определяется в зависимости от успешности передачи данных:

$$\Delta Q_k(t) = \begin{cases} +1, & \text{когда } k = k^* \text{ и при получении АСК} \\ -\omega(t), & \text{когда } k = k^* \text{ и при отсутствии АСК.} \\ 0, & \text{когда } k \neq k^* \end{cases} \quad (7)$$

Штрафной коэффициент $\omega(t)$ регулирует снижение оценки в случае неудачной передачи. При его *высоком значении* разница в производительности между двумя лучшими подканалами минимальна. В этом случае алгоритм про-

должает исследование, так как разница между возможными выборами незначительна. При *низком значении* $\omega(t)$ один подканал явно превосходит остальные, что способствует его более частому выбору.

Выбор значения штрафа $\omega(t)$ играет ключевую роль в стратегии адаптации алгоритма – отражает различие между двумя наиболее эффективными подканалами. С учетом (3) он определяется следующей формулой:

$$\omega(t) = \frac{p_{1st}(t) + p_{2st}(t)}{2 - p_{1st}(t) - p_{2st}(t)}, \quad (8)$$

где $p_{1st}(t)$ и $p_{2st}(t)$ – вероятности успешного использования двух лучших подканалов в текущий момент времени.

Обобщенная оценка эффективности подканала учитывает не только его собственную историческую производительность, но и влияние других подканалов, а также элемент случайности для поддержания баланса между исследованием и эксплуатацией. Формально, она выражается следующим образом:

$$X_k(t) = Q_k(t - 1) - \frac{1}{K - 1} \sum_{k' \neq k} Q_{k'}(t) + osc_k(t), \quad (9)$$

где $\frac{1}{K-1} \sum_{k' \neq k} Q_{k'}(t)$ – влияние других подканалов, учитывающее относительную производительность подканала k по сравнению с остальными; $osc_k(t)$ – стохастический компонент, предотвращающий чрезмерную эксплуатацию одного подканала и способствующий адаптивному распределению ресурсов:

$$osc_k(t) = A \cos \left(\frac{2\pi t}{n} + \frac{2(k-1)\pi}{n} \right), \quad (10)$$

где A – амплитуда колебаний, определяющая максимальное отклонение случайного компонента; n – временной параметр, задающий периодичность колебаний.

Выражение (9) учитывает не только эффективность конкретного подканала, но и его относительное положение среди других подканалов. Кроме того, стохастический компонент $osc_k(t)$ добавляет случайность в процесс выбора, предотвращая заикливание на уже определенных подканалах. Это позволяет системе: (1) *адаптироваться к изменяющимся условиям передачи данных*, корректируя предпочтения в зависимости от текущего состояния сети; (2) *перераспределять ресурсы динамически* между подканалами, избегая чрезмерной эксплуатации одного канала и предоставляя возможность менее загруженным каналам участвовать в передаче данных; (3) *поддерживать баланс между изучением новых возможностей и использованием наилучшего подканала*.

На рисунке 3 представлена динамика обобщенной оценки эффективности для трех подканалов, обозначенных соответственно синим, красным и желтым

цветами. График иллюстрирует изменчивость показателей эффективности подканалов во времени, что является следствием адаптивного характера алгоритма выбора подканалов. Динамика показателей $X_k(t)$ свидетельствует о способности системы реагировать на изменения условий передачи данных и перераспределять ресурсы между подканалами. Временные всплески значений $X_k(t)$ свидетельствуют о периодах успешной передачи данных, получении подтверждений (АСК) и повышении оценки соответствующего подканала.

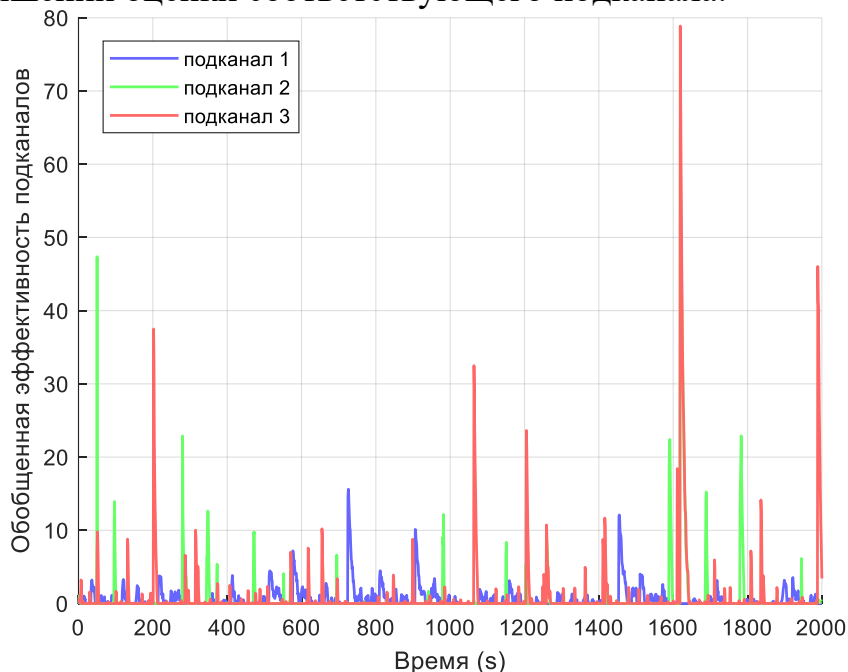


Рис. 3. Изменение производительности подканалов по времени

Например, периодические всплески эффективности одного из подканалов (см. рисунок 3) указывают на успешную передачу данных и получение подтверждений, что повышает общую оценку данного подканала. Вместе с тем, учитывается историческая производительность и влияние остальных подканалов, что способствует равномерному распределению ресурсов и предотвращает перегрузку одного канала. Стохастический компонент $osc_k(t)$ регулирует вероятность выбора менее загруженных подканалов, улучшая устойчивость алгоритма к динамическим изменениям в сети.

Выбор оптимального подканала k^* осуществляется на основе обобщенной оценки эффективности по следующему критерию:

$$k^* = \arg \max_{k \in K} X_k(t + 1). \quad (11)$$

Предложенный метод учитывает как текущее состояние сети, так и накопленный исторический опыт, что позволяет формировать обоснованную стратегию выбора подканала. Использование данных о предыдущей эффективности передачи обеспечивает выбор подканала с наилучшей ожидаемой производитель-

ностью. Динамическое обновление оценок предотвращает заикливание на локальных оптимумах, позволяя системе адаптироваться к изменяющимся условиям передачи данных.

После выбора оптимального подканала выполняется обновление ключевых метрик, определяющих эффективность сети. В частности, корректируется частота использования каждого подканала, что позволяет учитывать накопленный опыт и прогнозировать его дальнейшую применимость. Кроме того, обновляется вероятность успешной передачи данных, что способствует адаптивной настройке стратегии выбора и обеспечивает оптимальное распределение ресурсов. Такой механизм повышает надежность системы, минимизируя задержки и снижая риск потери пакетов. Алгоритм динамического выбора подканалов, основанного на методе обучения с подкреплением (скрипт 1) функционирует в несколько этапов: сначала анализируются накопленные исторические данные о подканалах, затем оценивается текущее состояние сети, включая загруженность подканалов и доступные ресурсы. На основе этих данных вычисляются вероятности успешной передачи информации и частота использования каждого подканала, после чего обновляется стратегия выбора, обеспечивая адаптацию системы к изменяющимся условиям работы.

Скрипт 1. Алгоритм для решения задачи динамического выбора подканалов

```
1: Начало
2: Ввод исходных данных: параметры  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$ ,  $A$ , максимальная итерация  $T$ 
3: Инициализация  $Q_k(\theta)$ ,  $R_k(\theta)$ ,  $N_k(\theta)$ 
4: While  $t < T$  do:
5:     Выбрать подканал  $k^* = \operatorname{argmax} X_k(t)$  ( $\forall k \in K$ )
6:     if подканал оценивается как свободный then:
7:         Передать кадр данных через подканал  $k^*$ 
8:          $N_{k^*}(t)++$ 
9:         if кадр данных передан и получен соответствующий кадр ACK then:
10:            Передача данных прошла успешно
11:             $\Delta Q_{k^*}(t) = +1$ 
12:             $R_{k^*}(t)++$ 
13:         else:
14:            Передача данных не удалась
15:             $\Delta Q_{k^*}(t) = -\omega(t)$ 
16:         end if
17:         Обновление  $Q_k(t)$  задается уравнением (6)
18:         Обновление  $p_{k^*}(t + 1)$  задается уравнением (3)
19:         Обновление  $X_k(t + 1)$  задается уравнением (9)
20:         Обновление  $\omega(t + 1)$  задается уравнением (8)
21:     else #если подканал занят
22:         Переход к следующему временному шагу
23:          $t++$ 
24:     end if
25:     #После всех обновлений, система может перейти в режим сна
26:     if нет данных для передачи или включен энергосберегающий режим then:
27:         К режиму сна
28:     end if
29: end while
```

4. Эффективность

Результаты моделирования, представленные на рисунке 4, демонстрируют сравнительную оценку задержки передачи данных при использовании предлагаемого метода выбора подканала и метода случайного выбора. В качестве основного критерия эффективности рассматривается средняя задержка, обратно пропорциональная эффективности подканала:

$$D = \frac{1}{Q_k(t) + \epsilon}, \quad (12)$$

где ϵ – малая величина, предотвращающая деление на ноль.

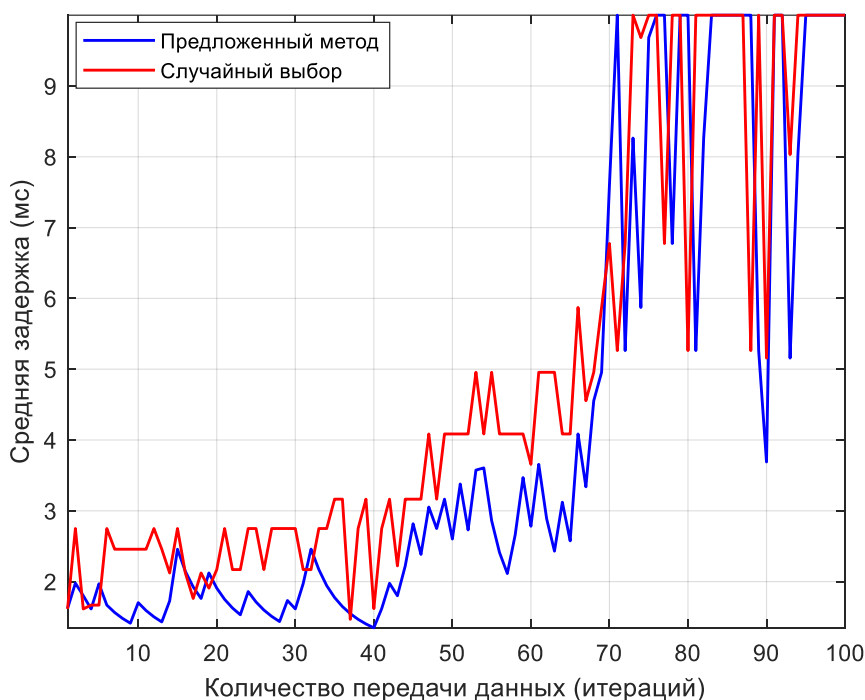


Рис. 4. Эффективность предлагаемого метода выбора подканала в сравнении со случайным выбором

Результаты моделирования (см. рисунок 4) показали, что предлагаемый метод демонстрирует значительно меньшую задержку передачи данных в большинстве случаев по сравнению с методом случайного выбора. В ходе моделирования использовалась сеть с тремя подканалами ($K = 3$) и 100 итерациями передачи данных ($T = 100$). Снижение задержки обусловлено тем, что предложенный метод накапливает статистическую информацию о каждом подканале и выбирает наиболее эффективные варианты на основе предыдущего опыта. Это позволяет динамически адаптироваться к изменяющимся условиям сети и избегать подканалов с высокой задержкой.

Среднее процентное уменьшение задержки вычисляется по следующей формуле:

$$P_{\text{avg}} = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \left(\frac{|D_2 - D_1|}{D_2} 100 \% \right), \quad (13)$$

Предложенный метод снижает задержку в среднем на 26.5 % по сравнению со случайным выбором подканалов. А метод случайного выбора не использует накопленную информацию, что приводит к частым выборам подканалов с низкой эффективностью, а, следовательно – к увеличению задержки передачи.

Графический анализ результатов (см. рисунок 4) подтверждает, что предлагаемая стратегия стабильно снижает задержку в большинстве итераций, обеспечивая более предсказуемую и надежную передачу данных. Таким образом, предложенный метод является более эффективным решением для балансировки задержки в гетерогенных сетях ИВ.

5. Выводы

Во-первых, предложенный метод динамического выбора подканалов в гетерогенных сетях ИВ демонстрирует высокую эффективность в условиях ограниченных вычислительных ресурсов и изменяющихся параметров сети. В частности, результаты моделирования показали, что предложенный метод снижает задержку в среднем на 26.5 % по сравнению со случайным выбором подканалов.

Во-вторых, применение алгоритма перетягивания каната, основанного на методах обучения с подкреплением, обеспечивает адаптивность системы, позволяя учитывать как текущие условия сети, так и накопленные исторические данные.

В-третьих, разработанный подход способствует оптимальному распределению ресурсов между подканалами, снижая вычислительные затраты и повышая надежность передачи данных.

В-четвертых, анализ показал, что метод поддерживает баланс между вероятностью успешной передачи, частотой использования подканалов и уровнем отказов, что способствует улучшению общей производительности сети.

В-пятых, практическая значимость предложенного метода заключается в его применимости для управления ресурсами в гетерогенных сетях ИВ с высокой нагрузкой, что повышает их устойчивость и эффективность в реальных условиях эксплуатации.

Литература

1. Кучерявый А. Е., Киричек Р. В., Маколкина М. А., Парамонов А. И., Дунайцев Р. А. и др. Новые перспективы научных исследований в области сетей связи на 2021–2024 годы // Информационные технологии и телекоммуникации. 2020. Т. 8. № 3. С. 1–19. DOI: 10.31854/2307-1303-2020-8-3-1-19. EDN: XDGHAO
2. Кучерявый А. Е. Триллионные сети // Телекоммуникации. 2013. № S7. С. 19–22. EDN: REKFXF
3. Noaman M., Khan M. S., Abrar M. F., Ali S., Alvi A., et al. Challenges in integration of heterogeneous internet of things // Scientific Programming. 2022. DOI: 10.1155/2022/8626882

4. Qiu T., Chen N., Li K., Atiquzzaman M., Zhao W. How Can Heterogeneous Internet of Things Build Our Future: A Survey // *IEEE Communications Surveys & Tutorials*. 2018. Vol. 20. Iss. 3. PP. 2011–2027. DOI: 10.1109/COMST.2018.2803740. EDN: YFGIPJ
5. Марочкина А. В., Парамонов А. И. Метод маршрутизации трафика в трехмерной сети Интернета вещей высокой плотности с применением серого реляционного анализа // *Труды учебных заведений связи*. 2023. Т. 9. № 4. С. 75–85. DOI: 10.31854/1813-324X-2023-9-4-75-85. EDN: HOADGI
6. Paramonov A., Koucheryavy A., Tonkikh E., Tatarnikova T. M. High Density Internet of Things Network Analysis // *Internet of Things, Smart Spaces, and Next Generation Networks and Systems: Proceedings of the 20th International Conference NEW2AN 2020, and 13th Conference ruSMART 2020 (St. Petersburg, Russia, 26–28 August 2020)*. Lecture Notes in Computer Science. 2020. Vol. 12525. PP. 307–316. DOI: 10.1007/978-3-030-65726-0_27. EDN: FGGLAB
7. Бушеленков С. Н., Парамонов А. И. Анализ и формирование структуры сети интернета вещей на основе моделей решеток // *Электросвязь*. 2021. № 7. С. 23–28. DOI: 10.34832/ELSV.2021.20.7.002. EDN: JIBLHT
8. Кучерявый А. Е., Окунева Д. В., Парамонов А. И., Хоанг Ф. Н. Методы распределения трафика в гетерогенной сети Интернета вещей высокой плотности // *Труды учебных заведений связи*. 2024. Т. 10. № 2. С. 67–74 DOI: 10.31854/1813-324X-2024-10-2-67-74. EDN: RTNVEU.
9. Ateya A. A., Bushelenkov S., Muthanna A., Paramonov A., Koucheryavy A., Chelloug S. A., Abd El-Latif A. A. Multipath Routing Scheme for Optimum Data Transmission in Dense Internet of Things Mathematics. 2023. Vol. 11. Iss. 19. P. 4168. DOI: 10.3390/math11194168. EDN: ZQDDWQ
10. Koucheryavy A., Paramonov A., Makolkina M., Muthanna A., Vybornova A., et. al. 3 dimension multilayer heterogenous ultra dense networks // *Информационные технологии и телекоммуникации*. 2022. Т. 10. № 3. С. 1–12. DOI: 10.31854/2307-1303-2022-10-3-1-12. EDN: ZPMLSV
11. Nguyen D. D., Nguyen H. X., White L. B. Reinforcement Learning With Network-Assisted Feedback for Heterogeneous RAT Selection // *IEEE Transactions on Wireless Communications*. 2017. Vol. 16. Iss. 19. PP. 6062–6076. DOI: 10.1109/TWC.2017.2718526
12. Kim S. J., Aono M., Hara M. Tug-of-war model for the two-bandit problem: Nonlocally-correlated parallel exploration via resource conservation // *Biosystems*. 2010. Vol. 101. Iss. 1. PP. 29–36. DOI: 10.1016/j.biosystems.2010.04.002. EDN: NWLJZT
13. Kim S. J., Aono M. Amoeba-inspired algorithm for cognitive medium access // *Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE*. 2014. Vol. 5. Iss. 2. PP. 198–209. DOI: 10.1587/nolta.5.198

Статья поступила 12 марта 2025 г.
Одобрена после рецензирования 07 апреля 2025 г.
Принята к публикации 15 апреля 2025 г.

Информация об авторах

Парамонов Александр Иванович – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры сетей связи и передачи данных Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича. E-mail: paramonov@sut.ru

Хоанг Фьюк Ньян – аспирант кафедры сетей связи и передачи данных Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича. E-mail: khoang.fn@sut.ru

<https://doi.org/10.31854/2307-1303-2025-13-1-1-13>

EDN: DYOMML

Method for Dynamic Subchannel Selection in Heterogeneous Internet of Things Environments

A. Paramonov, Ph. N. Hoang 

The Bonch-Bruevich Saint-Petersburg State University of Telecommunications,
St. Petersburg, 193232, Russian Federation

Purpose: The article addresses the task of dynamic subchannel selection in heterogeneous Internet of Things (IoT) networks, considering network parameter changes and the limited computational resources of devices. **The subject of the study:** Heterogeneous IoT networks that utilize various data transmission technologies. **Methods used:** The study employs a reinforcement learning method for dynamic subchannel selection based on the analysis of historical data and the current network state. A tug-of-war algorithm is also used for resource allocation among subchannels. **Results:** A method for dynamic subchannel selection has been developed, which allows for consideration of the probability of successful data transmission, subchannel usage frequency, and failure probability, thereby balancing transmission efficiency and computational costs. **Theoretical/Practical relevance:** The practical significance of the results lies in improving the performance and reliability of heterogeneous IoT networks under high load and with limited device resources.

Key words: heterogeneous networks, communication channel, Internet of Things, tug-of-war algorithm, reinforcement learning.

Information about Authors

Paramonov Alexandr – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Communication Networks and Data Transmission (The Bonch-Bruevich Saint-Petersburg State University of Telecommunications). E-mail: paramonov@sut.ru

Hoang Phuoc Nhan – The postgraduate student at the Department of Communication Networks and Data Transmission (The Bonch-Bruevich Saint-Petersburg State University of Telecommunications). E-mail: khoang.fn@sut.ru