

МЕТОД МАРШРУТИЗАЦИИ ТРАФИКА В СЕТИ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ НА ОСНОВЕ МИНИМУМА ВЕРОЯТНОСТИ КОЛЛИЗИЙ

А.Е. Кучерявый¹, О.А. Махмуд¹, А.И. Парамонов^{1*}

¹Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича,
Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация

*Адрес для переписки: alex-in-spb@yandex.ru

Информация о статье

УДК 004.7

Статья поступила в редакцию 31.05.2019

Ссылка для цитирования: Кучерявый А.Е., Махмуд О.А., Парамонов А.И. Метод маршрутизации трафика в сети Интернета Вещей на основе минимума вероятности коллизий // Труды учебных заведений связи. 2019. Т. 5. № 3. С. 37–44. DOI:10.31854/1813-324X-2019-5-3-37-44

Аннотация: В статье рассматривается анализ основных подходов к выбору маршрутов в сетях Интернета Вещей и предлагается метод выбора маршрутов с учетом вероятности коллизий, что позволяет сформировать логическую структуру сети. Предлагаемый метод использует оценки вероятности коллизий для различных участков и реализуют выбор маршрута как задачу минимизации этой вероятности на всем множестве доступных маршрутов. Метод основан на использовании алгоритма поиска кратчайших путей в графе. Предлагаемый метод был реализован средствами имитационного моделирования, с помощью которых была получена оценка его эффективности, для сетей с высокой плотностью узлов по отношению к методам, основанным на оценке длины маршрута.

Ключевые слова: Интернет Вещей, коллизия, маршрут, самоподобный трафик, простейший поток, имитационное моделирование.

Введение

Развитие концепции Интернета Вещей приводит к интенсивному росту количества различных устройств, подключенных к сетям связи [1, 2]. Она направлена на дальнейшее развитие инфокоммуникационной системы в части охвата тех сфер деятельности человека, которые еще не были вовлечены в процесс информационного обмена, т. е. перейти на уровень «умных» вещей, «умных» домов и в целом интеллектуального мира [1–5]. При этом технологии доступа к сети могут быть самыми различными. Это могут быть как устройства, поддерживающие стандарты сетей сотовой связи и беспроводного широкополосного доступа, так и специализированные стандарты, ориентированные на построение беспроводных сенсорных сетей (БСС) [3, 4]. Плотность таких устройств может быть очень высока. Согласно прогнозу (исходя из данных на 2020 г.), количество устройств Интернета Вещей может возрасти к 2022 г. до 32 миллиардов. Потенциально такие устройства смогут находиться как в зоне обслуживания сетей подвижной связи, так и вне их. Задача их функционирования состоит в доставке данных к средствам обработки или команд управления в обратном направлении. В связи с ши-

роким разнообразием целевых назначений и технологий структуры построения сетей могут быть различны.

В частности, для организации сетей могут использоваться различные технологии самоорганизации, позволяющие строить mesh и ad hoc сети. Использование этих технологий позволяет существенно расширить возможности сетей в части расширения зоны обслуживания, легкости развертывания, обеспечения надежности и живучести. Задача самоорганизации включает в себя подзадачу выбора маршрутов для пропуска трафика между узлами сети [5]. От способа ее реализации существенно зависят характеристики сети (пропускная способность, задержка доставки данных, потери пакетов и др.). Работа по выбору маршрута связана с передачей дополнительного трафика в сети связи, а также к потерям времени доступности узлов сети [6, 7]. Это снижает качество ее параметров функционирования. Поэтому целесообразно эту работу сводить к минимуму. В частности, этому может способствовать качество получаемых в результате маршрутов.

Выбор структуры сети и путей пропуска трафика является одной из основных проблем перспектив-

ных сетей связи, в задачи которых входит и обслуживание трафика Интернета Вещей. Известно множество работ, посвященных вопросам выбора структуры и маршрутизации трафика.

Так, в работе [8] предложен метод оценки связности БСС. В [9] были получены результаты сравнения протоколов маршрутизации для БСС и выбора конкретного протокола для построения сенсорной сети в зависимости от плотности узлов. В [10] представлен анализ протокола RPL с точки зрения IoT с учетом следующих эталонных показателей: надежность, мобильность, неоднородность ресурсов и масштабируемость. В работе [11] приведены результаты исследований в области оптимизации маршрутов в сетях Интернета Вещей. В [12–14] были рассмотрены способы выбора маршрута по критерию минимальной длины, а в данной работе предлагается выбрать – по критерию минимальной вероятности коллизий. Также в ряде работ рассматривались методы обеспечения связности для D2D-коммуникаций (*от англ. Device to Device* – устройство-устройство), которые обеспечивают выбор по минимальному затуханию или максимальному отношению сигнал/шум).

В данной работе предлагается метод выбора маршрута в сети по его показателю качества, за который принимаем минимум коллизий (вероятность коллизий). Этот показатель для БСС позволяет также косвенно учесть вероятность потерь кадров и полосу пропускания.

1. Постановка задачи

Задача выбора маршрута является одной из задач построения некой оптимальной логической структуры сети. Будем полагать, что имеется n узлов (источников трафика Интернета Вещей), которые распределены некоторым образом в зоне обслуживания и образуют гомогенную структуру, характеристики которой неизменны для любого фрагмента зоны обслуживания. При этом связь источника с получателем трафика может быть организована как напрямую, так и через транзитные узлы, в качестве которых могут выступать любые узлы-источники трафика. В зависимости от технологии реализации канала трафик соседних (смежных) узлов может приводить к задержкам, потерям кадров и снижению полосы пропускания. Рост задержки, потерь и снижение полосы пропускания являются следствием занятости канала (среды распространения, участка радиочастотного спектра) передаваемыми сигналами. Если применяемый стандарт не реализует механизмов предотвращения конфликтов, то занятость канала приводит к коллизии.

Как правило, под коллизией понимают ситуацию, при которой на вход приемника одновременно поступают два или более сигналов от различных передатчиков; в результате наложения сигналов ни одно из принимаемых сообщений не оказывается

успешно принятым и все передаваемые на этом интервале элементы данных (кадры) оказываются потерянными. Теоретически возможно, что некоторые данные могут быть приняты, однако вероятность этого крайне мала, и далее этот случай не рассматривается. Многие современные стандарты беспроводной связи реализуют механизмы предотвращения коллизий, которые обеспечивают снижение их вероятности путем анализа состояния среды передачи и определенного алгоритма выделения времени на передачу, но естественным образом приводит к задержкам передачи, т. е. использованию ресурса времени. Таким образом, вероятность коллизии, даже при использовании механизма их предотвращения, характеризует использование (занятость) среды передачи.

Вероятность коллизий прямо или косвенно отражает качество канала связи или всего маршрута. Показатели полосы пропускания, потерь пакетов и задержки непосредственно связаны с этой вероятностью. Поэтому далее будем использовать ее как метрику для выбора маршрута в сети связи.

2. Модель узла сети и метод выбора маршрута

Будем считать, что узел может быть оснащен антенным, радиопередающим и/или радиоприемным устройствами. Все узлы, возможно кроме шлюзовых, имеют типовое оснащение. Зона связи узла представляет собой круг радиуса r с центром в точке его размещения. Для большинства стандартов, применяемых для организации сетей Интернета Вещей, скорость передачи данных зависит от условий приема сигнала, однако, для упрощения задачи будем полагать, что скорость передачи данных в пределах зоны связи неизменна (не зависит от расстояния до узла). Такой подход часто оправдан, т. к. при проектировании сети стараются максимально повысить ее пропускную способность и расположения узлов выбирают таким образом, чтобы условия связи обеспечивали максимально достижимую скорость. Каждый из узлов во время передачи данных занимает среду передачи, размеры которой ограничены зоной интерференции, и в данной модели также представляет собой круг радиуса R . Обычно $R \geq r$. Одновременная передача данных двумя и более узлами приводит к потере данных (коллизии), в том числе, когда приемный узел находится в зоне интерференции хотя бы одного из конфликтующих узлов.

Пусть среднее время передачи кадра равно τ , а интенсивность передачи кадров λ . При оценке вероятности коллизии будем рассуждать следующим образом. Коллизия происходит тогда, когда за время передачи кадра будет начата или закончена еще хотя бы одна передача. Иными словами, когда интервал передачи кадра пересечется еще с одним или более интервалами передачи (рисунок 1). Данная модель аналогична модели ALOHA, описанной, например, в работах [15–17].

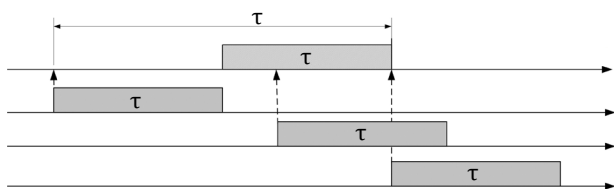


Рис. 1. Пример события коллизии

Из рисунка видно, что для того, чтобы произошло наложение на рассматриваемый кадр одной и более передач, достаточно, чтобы эти передачи были начаты за интервал времени, равный 2τ , т. е. во время передачи рассматриваемого кадра или не позднее, чем за время τ до начала рассматриваемого кадра. Таким образом, вероятность коллизии равна вероятности начала одной или более передач кадров за интервал времени 2τ :

$$p_c = p_{\geq 1}(2\tau) = 1 - p_0(2\tau). \quad (1)$$

Если трафик можно описать моделью простейшего потока, то вероятность коллизии можно вычислить, подставив в (1) формулу для вероятности распределения Пуассона $p_k(x) = \frac{(\lambda x)^k}{k!} e^{-\lambda x}$. Тогда вероятность коллизий узла для 2D-модели, при допущении, что зона связи узла представляет собой круг радиуса R , можно определить как:

$$p_c = 1 - e^{-\lambda 2\tau}. \quad (2)$$

Аналогичный результат можно было получить, рассматривая функцию распределения интервалов времени между моментами начала передачи кадров в простейшем потоке. Все кадры, передача которых была начата на интервале 2τ , будут повреждены. Среднее количество поврежденных в результате коллизии кадров будет равно $m = 2\lambda \tau p_c$. Интенсивность коллизий может быть определена как $\eta = \lambda p_c$, где $\lambda = \sum_{i=1}^k \lambda_i$ – интенсивность передачи (кадров) i -ым узлом в зоне связи (кадров/с); k – количество узлов в зоне связи.

Использование модели простейшего потока весьма удобно, но не всегда оправдано, так как в большинстве случаев потоки трафика в современных сетях существенно отличаются от простейшего. Как показывают результаты исследований, чаще всего трафик в БСС обладает свойствами самоподобного процесса [18]. Поэтому при описании таких процессов используют распределение Парето для моделирования интервалов времени между моментами поступления кадров (пакетов):

$$F(t) = P(X < x) = 1 - \left(\frac{t_m}{t}\right)^k, \quad x_m > 0, \quad k > 0$$

$$M(x) = \frac{kt_m}{k-1}, \quad k > 1.$$

Тогда вероятность того, что интервал времени будет менее 2τ , равна:

$$p_c = p(X < 2\tau) = 1 - \left(\frac{t_m}{2\tau}\right)^k. \quad (3)$$

Отличие свойств трафика от свойств простейшего потока естественным образом отражается на функционировании рассматриваемой модели, поскольку вероятность коллизий будет определяться уже не распределением Пуассона. Модель с распределением Парето позволяет оценить степень влияния этого отличия на вероятность коллизий.

Вероятность коллизии характеризует канал связи между узлами сети: чем она меньше, тем доступен больший ресурс канала, следовательно, вероятна большая пропускная способность канала. На рисунке 2 приведены зависимости вероятности коллизии от использования канала для двух моделей потоков: простейшего и потока, интервалы времени между заявками в котором подчинены распределению Парето.

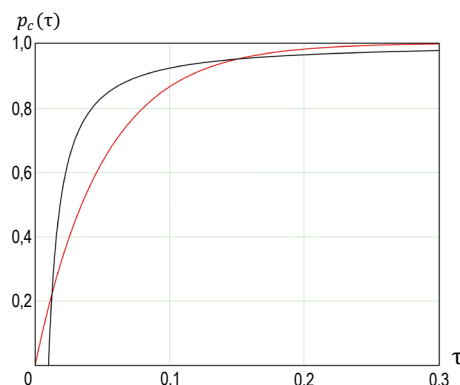


Рис. 2. Зависимость вероятности коллизий от использования канала

Как видно из графиков, в области средних нагрузок вероятность коллизии выше для потока второго типа. В области малых и больших значений нагрузки вероятность коллизии выше для модели простейшего потока. Если трафик проходит через маршрут из n независимых участков, то вероятность потери данных (кадра) из-за коллизий для всего маршрута будет равна:

$$p_c = 1 - \prod_{i=1}^m (1 - p_{ci}). \quad (4)$$

где p_{ci} – вероятность коллизии на i -ом участке маршрута, определяемая как было показано выше.

Задачу поиска маршрута с минимальной вероятностью коллизий можно сформулировать как:

$$P = \operatorname{argmin}_{r \in \Omega} (p_c), \quad (5)$$

где Ω – все множество возможных маршрутов.

Как видно из (2–3), вероятность коллизии тем больше, чем больше интенсивность трафика (использование канала). Таким образом, при выборе маршрута можно руководствоваться как величиной вероятности коллизии (потери кадра из-за коллизии), так и величиной интенсивности трафика в зоне связи. Для поиска маршрута, согласно

критерию (5), может быть использован любой алгоритм поиска кратчайшего пути во взвешенном графе. Для этого сеть должна быть описана графом $G(V, E)$ с множеством вершин $V = \{v_{ij}\}$, $i, j = 1 \dots n$, которые соответствуют узлам сети и множеством ребер (дуг) E , релевантным потенциально возможным связям (каналам) между узлами сети. Узлы характеризуются зоной связи (в данном случае, радиусом R), в центре которого находится данный узел. Узлы сети описываются их координатами (x_i, y_i) и расстояниями между ними:

$$D = \{d_{ij}\}, i, j = 1 \dots n, \quad d_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}.$$

Ребра между узлами существуют, если расстояние между узлами меньше R , иначе можно записать: $E = \{e_{ij}\}$, $i, j = 1 \dots n$; $v_j \in R_i \Rightarrow \exists e_{ij}$.

Каждому из ребер графа приписан весовой коэффициент $C = \{c_{ij}\}$, $i, j = 1 \dots n$, определяющий метрику, по которой производится выбор маршрута. В данном случае в качестве весов ребер (или дуг) должны быть выбраны логарифмы вероятности

коллизий, оценка которой может быть получена согласно (2) или (3) в зависимости от рассматриваемой модели потока:

$$c_{ij} = -\log(1 - p_{ij}), \quad i, j = 1 \dots n, \quad (6)$$

где p_{ij} – вероятность коллизий в маршруте между узлами i и j .

3. Анализ результатов моделирования

На рисунке 3 приведены результаты имитационного моделирования. Параметры модели: область обслуживания – квадрат со стороной 200 м; узлы размещены случайным образом (координаты x и y – случайные числа, подчиненные равномерному закону распределения); количество узлов – 200; радиус связи узла равен радиусу интерференции и составляет 60 м. Результат выбора «кратчайшего» пути (пути наименьших коллизий) с использованием критерия (5) представлен на рисунке 3б. На рисунке 3а для сравнения приведен результат выбора пути по критерию наименьшей длины.

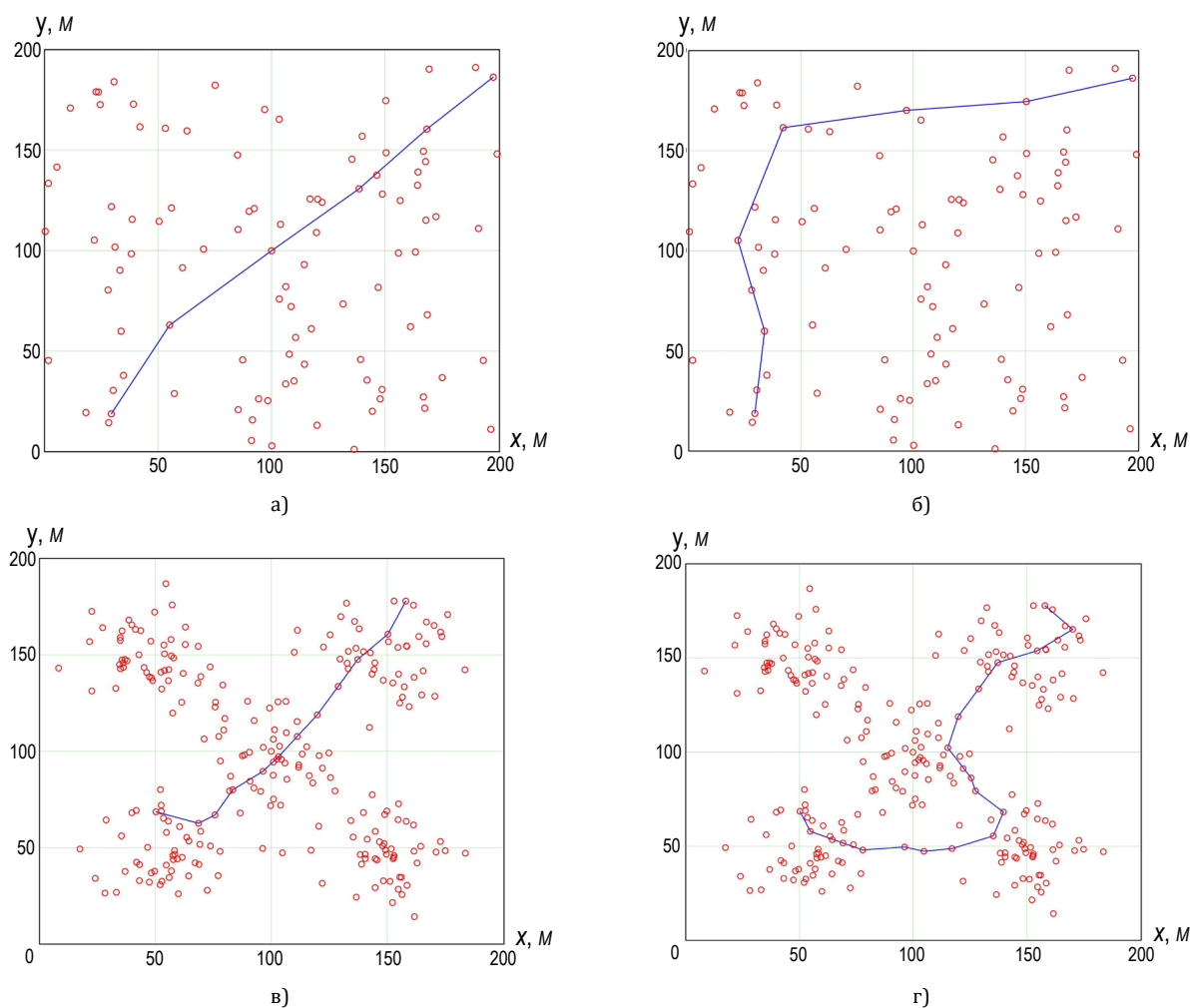


Рис. 3. Результат выбора «кратчайшего» пути при равномерном (а, б) и мультимодальном (в, г) распределении узлов сети по критериям наименьшей длины (слева) и минимальной вероятности коллизий (справа)

При моделировании были сделаны следующие допущения. Производимый в узле трафик равномерно распределялся между всеми узлами сети (от каждого узла к каждому). В качестве модели генерируемого узлами трафика использовалось распределение Парето (3), а все потоки рассматривались как стационарные. Вероятность коллизий оценивалась согласно моделям (3–4) на основе данных о трафике.

Из приведенного рисунка видно, что маршрут, построенный на основе критерия минимума вероятности коллизий, существенно отличается от маршрута, построенного на основе критерия минимума длины. На рисунках 3в и 3г приведен аналогичный пример для мультимодального распределения узлов в зоне обслуживания (распределение имеет пять центров рассеяния). Можно заметить, что маршрут, выбираемый по минимуму коллизий, стремится «обходить» области с высокой плотностью узлов. Это ожидаемый результат, т. к. в области с высокой плотностью узлов в зону интерференции попадает большее их количество, следовательно, согласно (2) или (3) имеет место большая вероятность коллизий.

Стоит отметить, что полученные результаты согласуются с опубликованными в [19] для сети, построенной с использованием D2D-коммуникаций, где взаимное влияние узлов сети проявляется через снижение отношения сигнал/шум. В среднем, результат поиска дает маршрут с вероятностью коллизий на 20 % меньшей, чем маршрут, найденный по критерию минимальной длины. Эффективность алгоритма зависит от способа размещения узлов сети – приведенные результаты моделирования соответствуют равномерному случайному и мультимодальному распределению узлов сети на территории обслуживания.

Для проверки полученных результатов была разработана имитационная модель БСС стандарта IEEE 802.15.4 (рисунок 4) в системе имитационного моделирования Contiki Cooja [20]. Для сравнитель-

ного анализа был выбран протокол маршрутизации RPL в стандартном режиме, т. е. при выборе маршрута по метрике расстояния и в модифицированном режиме по метрике (3). Сеть состояла из 25 узлов. Результаты имитационного моделирования показали, что задержка доставки пакета зависит от использования канала, причем при выборе маршрута по предложенной метрике задержка меньше, чем в случае выбора по расстоянию.

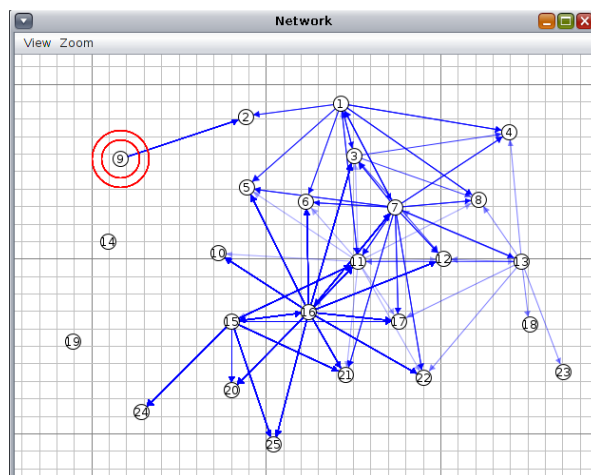


Рис. 4. Имитационная модель в Contiki Cooja

Эффективность метода возрастает с ростом интенсивности трафика, производимого узлами сети. Например, при использовании канала на 0,5 задержка для предлагаемого метода меньше на величину около 25 %, что подтверждает сделанные предположения. Выбранная технология использует механизм предотвращения коллизий. Однако, расчетная оценка согласно модели (3) в данном случае, также была близка к указанному выше значению и при использовании канала 0,5 составила 18 %.

На рисунке 5 приведены зависимости эффективности предложенного метода от интенсивности трафика по отношению к методу, использующему критерий минимального расстояния.

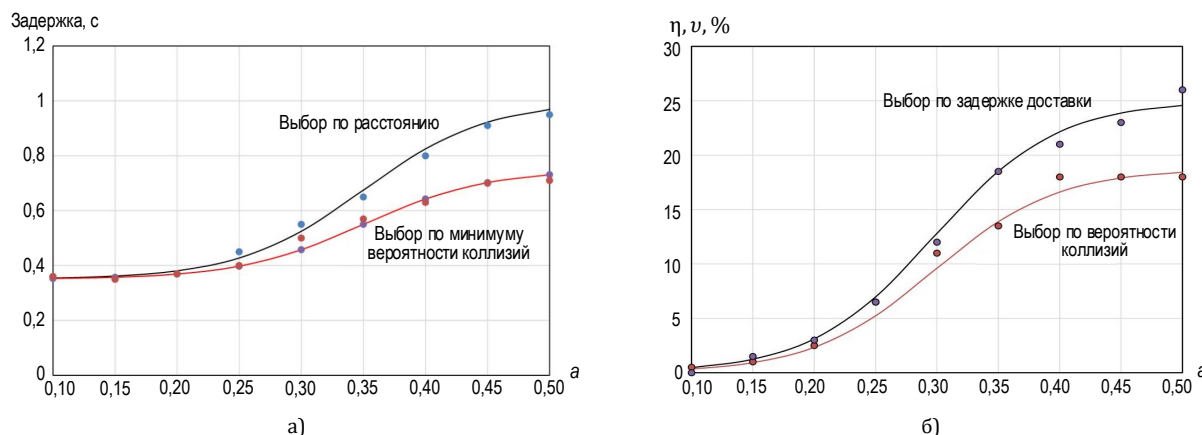


Рис. 5. Зависимость эффективности от нагрузки по задержке (а) и относительная эффективность по задержке и вероятности коллизий (б)

Приведенные на правом графике значения η (черная линия) и ν (красная линия) отражают относительное изменение средней величины задержки и вероятности коллизий, соответственно, при использовании предложенного метода, в зависимости от интенсивности трафика для протокола RPL. Данные зависимости показывают, что эффективность метода возрастает с ростом интенсивности трафика, что является ожидаемым результатом. При увеличении интенсивности близкой к 0,5 рост эффективности замедляется.

Заключение

Построение сетей Интернета Вещей предполагает применение различных технологий и структур, многие из которых требуют решения задачи выбора маршрута пропуска трафика (передачи сообщения). Выбор маршрута в сети может производиться на основе различных критериев и в общем случае является задачей оптимизации, а ее решение позволяет найти маршрут, удовлетворяющий некоторому критерию качества. Таким критерием может быть один или несколько параметров, применяемых для описания качества канала передачи данных.

Анализ основных показателей качества беспроводного канала связи показал, что большинство из них прямо или косвенно связаны с таким показателем как вероятность коллизий. Несмотря на то, что многие применяемые протоколы используют технологии предотвращения коллизий, вероятность коллизии косвенно характеризует использование канала, задержку и его полосу пропускания (пропускную способность).

Предложенная в работе модель характеризует качество канала на основе вероятности коллизий и может быть использована как для модели простейшего потока, так и для модели самоподобного потока трафика. При наличии данных о свойствах трафика конкретных приложений модель достаточно просто может быть модифицирована заменой выражения (3) на функцию распределения для соответствующего потока.

На основе предложенной модели разработан метод поиска маршрута с минимальной вероятностью коллизий. Для реализации метода может быть использован любой алгоритм поиска кратчайшего пути в графе.

Результаты по отношению к протоколу RPL были проверены в системе имитационного моделирования Contiki Cooja и показали эффективность предлагаемого метода (в части выбора маршрута с лучшими параметрами качества обслуживания трафика) на уровне 25 % по величине задержки доставки и 18 % по вероятности коллизий. Полученные зависимости показали, что его эффективность возрастает при увеличении интенсивности трафика, поэтому данный метод может найти применение при построении сетей Интернета Вещей при соответствующих значениях трафика.

Предлагаемый метод является одним из возможных методов решения задачи маршрутизации. Его эффективность показана как меньшая вероятность коллизий, а также как меньшая величина задержки доставки данных по отношению к методам, основанным на критерии длины маршрута, что подтверждает возможность его применения как альтернативного метода выбора маршрутов.

Список используемых источников

1. Кучерявый А.Е., Парамонов А.И., Кучерявый Е.А. Сети связи общего пользования. Тенденции развития и методы расчета. М.: ФГУП ЦНИИС, 2008. 290 с.
2. Кучерявый А.Е. Интернет Вещей // Электросвязь. 2013. № 1. С. 21–24.
3. Кучерявый А.Е., Прокопьев А.В., Кучерявый Е.А. Самоорганизующиеся сети. СПб: Типография «Любавич», 2011. 312 с.
4. Muthanna A., Prokopiev A., Koucheryavy A. The mixed telemetry/image USN in the overload conditions // Proceedings of the 16th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT, Pyeongchang, South Korea, 16–19 February 2014). Piscataway, NJ: IEEE, 2014. DOI:10.1109/ICACT.2014.6779006
5. Мутханна А.С., Прокопьев А.В., Кучерявый А.Е. Сравнительный анализ протоколов маршрутизации RPL и AODV // II Международная научно-техническая и научно-методическая конференция «Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании» (Санкт-Петербург, Россия, 27–28 февраля 2013). Сборник научных статей. СПб.: СПбГУТ, 2013. С. 167–171.
6. Hoang T., Kirichek R., Paramonov A., Houndonougbo F., Koucheryavy A. Adaptive routing in wireless sensor networks under electromagnetic interference // Proceedings of the 31st International Conference on Information Networking (ICOIN, Da Nang, Vietnam, 11–13 January 2017). Piscataway, NJ: IEEE, 2017. PP. 76–79. DOI:10.1109/ICOIN.2017.7899479
7. Hoang L.T., Kirichek R.V., Paramonov A.I., Koucheryavy A.E. Development of Methods to Maintain the Functionality of Wireless Sensor Networks Under Intentional Electromagnetic Interference Conditions // Electrosvyaz. 2017. № 3. С. 32–38.
8. Paramonov A., Nurilloev I., Koucheryavy A. Provision of Connectivity for (Heterogeneous) Self-organizing Network Using UAVs // Proceedings of the 17th International Conference on Next Generation Wired/Wireless Networking (NEW2AN), 10th Conference on Internet of Things and Smart Spaces (ruSMART), IIId Workshop on Nano-scale Computing and Communications (NsCC), St. Petersburg, Russia, 28–30 August 2017. Lecture Notes in Computer Science. Cham: Springer, 2017. Vol. 10531. PP. 569–576. DOI:10.1007/978-3-319-67380-6_53
9. Paramonov A., Hussain O., Samouylov K., Koucheryavy A., Kirichek R., Koucheryavy Y. Clustering Optimization for Out-of-Band D2D communications // Wireless Communications and Mobile Computing. 2017. Vol. 2017. DOI:10.1155/2017/6747052
10. Makolkina M., Vikulov A., Paramonov A. The Augmented Reality Service Provision in D2D Network // Proceedings of the 20th International Conference on Distributed Computer and Communication Networks (DCCN, Moscow, Russia, 25–29

September 2017). Communications in Computer and Information Science. Cham: Springer, 2017. Vol. 700. PP. 281–290. DOI:10.1007/978-3-319-66836-9_24

11. Nurilloev I., Paramonov A., Koucheryavy A. Connectivity Estimation in Wireless Sensor Networks // Proceedings of the 16th International Conference on Next Generation Wired/Wireless Networking (NEW2AN) and 9th Conference on Internet of Things and Smart Spaces (ruSMART), St. Petersburg, Russia, 26–28 September 2016. Lecture Notes in Computer Science. Cham: Springer, 2016. Vol. 9870. PP. 269–277. DOI:10.1007/978-3-319-46301-8_22

12. Muthanna A., Masek P., Hosek J., Fujdiak R., Hussein O., Paramonov A., Koucheryavy A. Analytical Evaluation of D2D Connectivity Potential in 5G WIRELESS Systems // Proceedings of the 16th International Conference on Next Generation Wired/Wireless Networking (NEW2AN) and 9th Conference on Internet of Things and Smart Spaces (ruSMART), St. Petersburg, Russia, 26–28 September 2016. Lecture Notes in Computer Science. Cham: Springer, 2016. Vol. 9870. PP. 395–403. DOI:10.1007/978-3-319-46301-8_33

13. Dao N., Koucheryavy A., Paramonov A. Analysis of Routes in the Network Based on a Swarm of UAVs // Kim K. J., Joukov N. (eds.) Information Science and Applications (ICISA). Lecture Notes in Electrical Engineering. Singapore: Springer, 2016. Vol. 376. PP. 1261–1271. DOI:10.1007/978-981-10-0557-2_119

14. Kirichek R., Paramonov A., Vladiko A., Borisov E. Implementation of the Communication Network for the Multi-Agent Robotic Systems // International Journal of Embedded and Real-Time Communication Systems. 2016. Vol. 7. Iss. 1. PP. 48–63. DOI:10.4018/IJERTCS.2016010103.

15. Abramson N. THE ALOHA SYSTEM: Another Alternative for Computer Communications // Proceedings of the American Federation of Information Processing Societies (AFIPS) Fall Joint Computer Conference (Houston, USA, 17–19 November 1970). New York: ACM, 1970. PP. 281–285. DOI:10.1145/1478462.1478502

16. Abramson N. The Throughput of Packet Broadcasting Channels // IEEE Transactions on Communications. 1977. Vol. 25. Iss. 1. PP. 117–128. DOI:10.1109/TCOM.1977.1093713

17. Banzal S. Data and Computer Network Communication. Boston: Firewall Media, 2007.

18. Paramonov A., Koucheryavy A. M2M Traffic Models and Flow Types in Case of Mass Event Detection // Proceedings of the 14th International Conference on Next Generation Wired/Wireless Networking (NEW2AN) and 7th Conference on Internet of Things and Smart Spaces (ruSMART), St. Petersburg, Russia, 27–29 August 2014. Lecture Notes in Computer Science. Cham: Springer, 2014. Vol. 8638. PP. 294–300. DOI:10.1007/978-3-319-10353-2_25

19. Бородин А.С., Парамонов А.И. Маршрутизация трафика в сети беспроводной связи, построенной на базе D2D-технологий // Электросвязь. 2019. № 2. С. 38–44.

20. Contiki: The Open Source OS for the Internet of Things. URL: <http://www.contiki-os.org/start.html> (дата обращения: 18.07.2019)

* * *

TRAFFIC ROUTING METHOD FOR THE INTERNET OF THINGS BASED ON THE MINIMUM OF COLLISIONS PROBABILITY

A. Koucheryavy¹ , O.A. Mahmood¹ , A. Paramonov¹ 

¹The Bonch-Bruевич Saint-Petersburg State University of Telecommunications, St. Petersburg, 193232, Russian Federation

Article info

The article was received 31 May 2019

For citation: Koucheryavy A., Mahmood O.A., Paramonov A. Traffic Routing Method for the Internet of Things Based on the Minimum of Collisions Probability. *Proceedings of Telecommunication Universities*. 2019;5(3):37–44. (in Russ.) Available from: <https://doi.org/10.31854/1813-324X-2019-5-3-37-44>

Abstract: *The article discusses the analysis of the main approaches to the route choices in the networks of the Internet of Things and suggests a method of choosing routes taking into account the probability of collisions, which allows to create a logical network structure. The proposed method is based on the seeking algorithm of the quickest route on the graph. This method was implemented by means of simulation modeling, with the help of which was estimated the effectiveness for networks with high density of units comparing with the methods, which are based on the evaluation of the length of the route.*

Keywords: *Internet of things, collision, route, self-similar traffic, simple flow, simulation.*

References

1. Koucheryavy A.E., Paramonov A.I., Koucheryavy E.A. *Seti svyazi obshchego polzovaniia. Tendentsii razvitiia i metody rascheta* [Public Communication Networks. Development Trends and Calculation Methods]. Moscow: Central Research Institute of Communications Publ.; 2008. (in Russ.)
2. Koucheryavy A.E. Internet Veshchei [Internet of Things]. *Electrosvyaz*. 2013;1:21–24. (in Russ.)
3. Koucheryavy A.E., Prokoviev A.V., Koucheryavy Y.A. *Samoorganizuiushchiesia seti* [Self-Organizing Network]. St. Petersburg: Lyubavich Printing House; 2011. 312 p. (in Russ.)
4. Muthanna A., Prokoviev A., Koucheryavy A. The mixed telemetry/image USN in the overload conditions. *Proceedings of the 16th International Conference on Advanced Communication Technology (ICTACT)*, 16–19 February 2014, Pyeongchang, South Korea. Piscataway, NJ: IEEE; 2014. Available from: <https://doi.org/10.1109/ICTACT.2014.6779006>
5. Muthanna A., Prokoviev A., Koucheryavy A. The RPL and AODV Routing Protocol Features Comparison. *Proceedings of the 11th International Conference on Infotelecommunications in Science and Education*, 27–28 February 2013, St. Petersburg, Russia. St. Petersburg: The Bonch-Bruевич Saint-Petersburg State University of Telecommunications Publ.; 2013. p.167–171. (in Russ.)
6. Hoang T., Kirichek R., Paramonov A., Houndonougbo F., Koucheryavy A. Adaptive routing in wireless sensor networks under electromagnetic interference. *Proceedings of the 31st International Conference on Information Networking, ICOIN*, 11–13 January 2017, Da Nang, Vietnam. Piscataway, NJ: IEEE; 2017. p.76–79. Available from: <https://doi.org/10.1109/ICOIN.2017.7899479>
7. Hoang L.T., Kirichek R.V., Paramonov A.I., Koucheryavy A.E. Development of Methods to Maintain the Functionality of Wireless Sensor Networks Under Intentional Electromagnetic Interference Conditions. *Electrosvyaz*. 2017;3:32–38.
8. Paramonov A., Nurilloev I., Koucheryavy A. Provision of Connectivity for (Heterogeneous) Self-organizing Network Using UAVs. *Proceedings of the 17th International Conference on Next Generation Wired/Wireless Networking (NEW2AN)*, 10th Conference on Internet of Things and Smart Spaces (ruSMART), 11th Workshop on Nano-scale Computing and Communications (NsCC), 28–30 August 2017, St. Petersburg, Russia. *Lecture Notes in Computer Science*. Cham: Springer; 2017. vol.10531. p.569–576. Available from: https://doi.org/10.1007/978-3-319-67380-6_53
9. Paramonov A., Hussain O., Samouylov K., Koucheryavy A., Kirichek R., Koucheryavy Y. Clustering Optimization for Out-of-Band D2D communications. *Wireless Communications and Mobile Computing*. 2017. vol.2017. Available from: <https://doi.org/10.1155/2017/6747052>
10. Makolkina M., Vikulov A., Paramonov A. The Augmented Reality Service Provision in D2D Network. *Proceedings of the 20th International Conference on Distributed Computer and Communication Networks (DCCN)*, 25–29 September 2017, Moscow, Russia. *Communications in Computer and Information Science*. Cham: Springer; 2017. vol.700. p.281–290. Available from: https://doi.org/10.1007/978-3-319-66836-9_24
11. Nurilloev I., Paramonov A., Koucheryavy A. Connectivity Estimation in Wireless Sensor Networks. *Proceedings of the 16th International Conference on Next Generation Wired/Wireless Networking (NEW2AN) and 9th Conference on Internet of Things and Smart Spaces (ruSMART)*, 26–28 September 2016, St. Petersburg, Russia. *Lecture Notes in Computer Science*. Cham: Springer; 2016. vol.9870. p.269–277. Available from: https://doi.org/10.1007/978-3-319-46301-8_22
12. Muthanna A., Masek P., Hosek J., Fudjak R., Hussein O., Paramonov A., Koucheryavy A. Analytical Evaluation of D2D Connectivity Potential in 5G WIRELESS Systems. *Proceedings of the 16th International Conference on Next Generation Wired/Wireless Networking (NEW2AN) and 9th Conference on Internet of Things and Smart Spaces (ruSMART)*, 26–28 September 2016, St. Petersburg, Russia. *Lecture Notes in Computer Science*. Cham: Springer; 2016. vol.9870. p.395–403. Available from: https://doi.org/10.1007/978-3-319-46301-8_33
13. Dao N., Koucheryavy A., Paramonov A. Analysis of Routes in the Network Based on a Swarm of UAVs. In: Kim K. J., Joukov N. (eds.) *Information Science and Applications (ICISA)*. *Lecture Notes in Electrical Engineering*. Singapore: Springer; 2016. vol.376. p.1261–1271. Available from: https://doi.org/10.1007/978-981-10-0557-2_119
14. Kirichek R., Paramonov A., Vladyko A., Borisov E. Implementation of the Communication Network for the Multi-Agent Robotic Systems. *International Journal of Embedded and Real-Time Communication Systems*. 2016;7(1):48–63. Available from: <https://doi.org/10.4018/IJERTCS.2016010103>
15. Abramson N. THE ALOHA SYSTEM: Another Alternative for Computer Communications. *Proceedings of the American Federation of Information Processing Societies (AFIPS) Fall Joint Computer Conference*, 17–19 November 1970, Houston, USA. New York: ACM; 1970. p.281–285. Available from: <https://doi.org/10.1145/1478462.1478502>
16. Abramson N. The Throughput of Packet Broadcasting Channels. *IEEE Transactions on Communications*. 1977;25(1): 117–128. Available from: <https://doi.org/10.1109/TCOM.1977.1093713>
17. Banzal S. *Data and Computer Network Communication*. Boston: Firewall Media; 2007.
18. Paramonov A., Koucheryavy A. M2M Traffic Models and Flow Types in Case of Mass Event Detection. *Proceedings of the 14th International Conference on Next Generation Wired/Wireless Networking (NEW2AN) and 7th Conference on Internet of Things and Smart Spaces (ruSMART)*, 27–29 August 2014, St. Petersburg, Russia. *Lecture Notes in Computer Science*. Cham: Springer; 2014. vol.8638. p.294–300. Available from: https://doi.org/10.1007/978-3-319-10353-2_25
19. Borodin A.S., Paramonov A.I. Routing of traffic in D2D wireless network. *Electrosvyaz*. 2019;2:38–44. (in Russ.)
20. *Contiki: The Open Source OS for the Internet of Things*. Available from: <http://www.contiki-os.org/start.html> [Accessed 18th July 2019]