

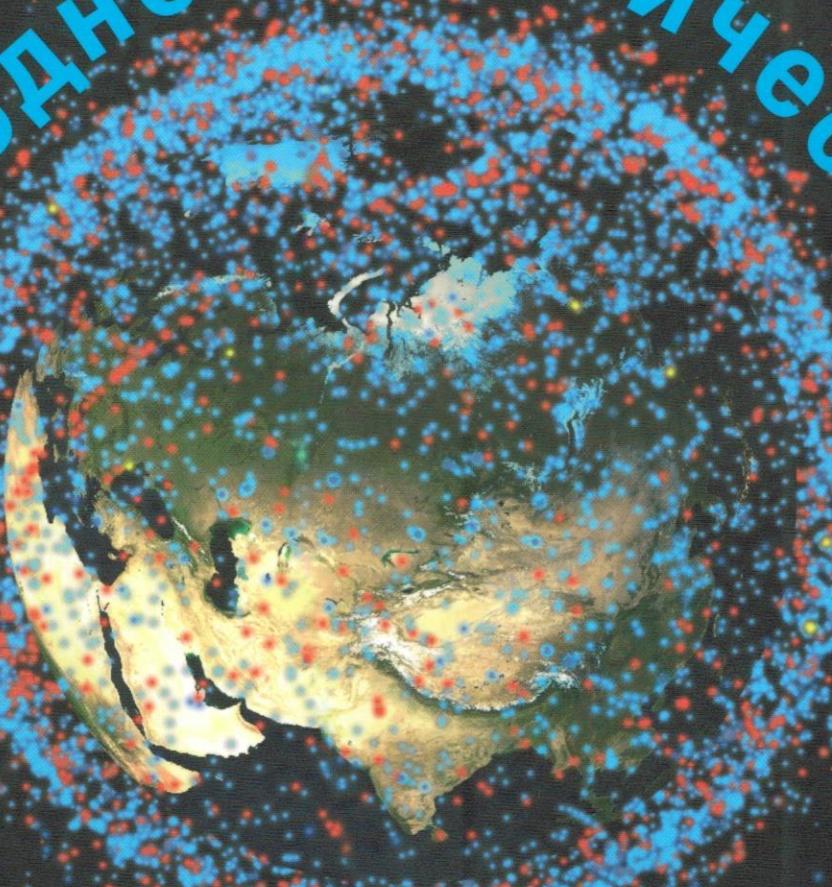
ежемесячный научно-технический журнал по проводной
и радиосвязи, телевидению, радиовещанию

5/2017 ISSN 0013-5771



ЭЛЕКТРОСВЯЗЬ

Международное космическое право



В НОМЕРЕ:



МОНИТОРИНГ

Отрасль подводит итоги



ТЕМА НОМЕРА

Отечественная школа
космического права



ЮБИЛЕЙ

Старт «Орбиты»

Международное космическое право

Регулирование использования
РЧС НГСО-системами

Сети связи

Сети 5G как основа
цифровой экономики

Подход к преобразованию норм QoS наложенной сети в нормы QoS беспроводной сенсорной сети

А.А. Дворников, аспирант НИУ «Высшая школа экономики»; advornikov@hse.ru

УДК 004.771+004.738+ 004.735+004.725.7

Аннотация. Приведен анализ работ по обеспечению QoS в беспроводных сенсорных сетях и в наложенных сетях. Разработан подход к преобразованию норм QoS наложенной сети в нормы QoS беспроводной сенсорной сети таким образом, чтобы основные приложения беспроводной сенсорной сети сохраняли свой функционал. Решение предназначено для разработки программных и аппаратных средств организации наложенных каналов и наложенных сетей для внешних клиентов через беспроводную сенсорную сеть. Рассматривается пример организации наложенной сети экстренной передачи текстовых сообщений поверх беспроводной сенсорной сети стандарта LoRaWAN.

Ключевые слова: беспроводная сенсорная сеть, наложенный канал, наложенная сеть, QoS, норма характеристики, преобразование норм, экстренная передача текстовых сообщений.

ВВЕДЕНИЕ

Поставлена задача организации наложенных сетей (overlay networks) поверх беспроводных сенсорных сетей (Wireless Sensor Networks), обеспечивающих качество обслуживания (Quality of Service, QoS). Основной приоритет – сохранение первичных функций базовой беспроводной сенсорной сети.

Беспроводная сенсорная сеть как технология построения сетей сбора данных и управления физическими объектами основана на применении узлов с маломощными приемопередатчиками и небольшим радиусом действия. Они покрывают значительные территории за счет механизмов ретрансляции и использования автономных источников питания. За последние 10 лет данная технология нашла применение в ряде бытовых [1, 2] и промышленных [1–4] систем, продолжает развиваться, в частности, в рамках парадигмы интернета вещей (Internet of Things, IoT) [1].

Качество обслуживания – совокупность характеристик услуги электросвязи, которые определяют ее возможности удовлетворять установленные и предполагаемые потребности пользователя сети [5], широко применяется в традиционных сетях, но в беспроводных сенсорных сетях используется редко. В то же время существует довольно большая теоретическая база по обоснованию QoS в беспроводных сенсорных сетях [6–8]. Требования к характеристике QoS (нормы QoS) – требование к QoS со стороны сетевого приложения [5].

Наложенная сеть представляет собой телекоммуникационную сеть, построенную поверх уже существующей телекоммуникационной, где один или более узлов этой базовой сети являются также узлами наложенной сети. Наложенные сети широко применяются в традиционных телекоммуникационных системах, где в качестве базовой сети используется глобальная сеть

интернет. Задача обеспечения QoS в наложенных сетях описана в [9–13].

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Все существующие работы на тему обеспечения QoS на разных уровнях модели OSI [6] можно разделить на категории в соответствии с уровнем модели OSI, на котором реализуется обеспечение качества обслуживания:

- каналный уровень;
- сетевой уровень;
- транспортный уровень;
- многоуровневый QoS.

Достиоинства и недостатки обеспечения QoS на каждом уровне напрямую зависят от функций уровня модели OSI. Если три первые категории обеспечения QoS описаны подробно, то на категорию многоуровневых, где задействовано более одного уровня одновременно, приходится меньшее количество работ.

Исследования, связанные с обеспечением QoS в наложенных сетях, ориентированы на такие сети, где в качестве базовой выступают классические телекоммуникационные сети. В частности, разработан протокол QRON (QoS-Aware Routing in Overlay Networks) для поиска пути наложенного канала в базовой сети [10]. Его главная особенность – использование «брюкеров наложенной сети» (overlay broker), расположенных на узлах наложенной сети. Протокол выполняет балансировку трафика наложенного канала, используя для этого разные маршруты в наложенной сети. Качество обслуживания, заданное приложением для наложенного канала, сохраняется вне зависимости от загруженности и качества связи каналов базовой сети.

В работе [11] рассматривается проблема предоставления запрошенной пропускной способности наложенной

ных каналов, ориентированных на предоставление услуг клиенту, изучается вопрос предоставления платных телеком-услуг с использованием наложенных каналов. В техническом отчете [12] представлены результаты исследования по обеспечению QoS в наложенных сетях и предложена архитектура IQORA, предназначенная для организации масштабируемого и эффективного качества обслуживания в наложенных сетях, предложен ряд решений сложных задач обеспечения QoS с использованием маршрутизации в наложенной сети, механизма самодиагностики и самовосстановления. Даны численные оценки эффективности для ряда технологий и видов трафика, разработана платформа для тестирования предложенных решений и программное обеспечение для проектирования наложенных сетей. В [13] оценивается эффективность платформы для протоколов маршрутизации в наложенных сетях ORP (Overlay Routing Protocol), при этом ключевым критерием является возможность обеспечения QoS на данной платформе с минимальным приростом служебных данных.

Анализ источников позволяет сделать вывод, что создана теоретическая база для обеспечения качества обслуживания как в беспроводных сенсорных сетях, так и в наложенных сетях. Необходимо разработать подход к преобразованию норм QoS наложенной сети в нормы QoS беспроводной сенсорной сети.

Клиент, который не является узлом беспроводной сенсорной сети, но желает воспользоваться ее телеком-услугами, выполняет запрос на приграничный узел, с которым может связаться своими телекоммуникационными средствами. В задачи приграничного узла входит проверка возможности построения наложенного канала связи и маршрута, поддержка взаимодействия с узлами беспроводной сенсорной сети, преобразование и согласование норм QoS наложенной сети и беспроводной сенсорной сети, связь с внешним клиентом, который получает телеком-услугу прозрачно и без использования дополнительных протоколов.

С учетом того что имеются механизм обеспечения качества обслуживания в беспроводной сенсорной сети и механизм обеспечения качества обслуживания в наложенной сети, предлагается разработать подход к преобразованию норм QoS наложенной сети в нормы QoS беспроводной сенсорной сети. Он отличается тем, что действует нормы QoS сетей разных типов, а также позволяет организовывать работу наложенных каналов и сетей поверх беспроводной сенсорной сети с сохранением качества работы ее приложений.

НОРМЫ QoS

Ключевым понятием предложенного подхода являются нормы QoS, определяющие требования приложений или класса приложений (это разновидность телеком-приложений, имеющих общие нормы QoS) к телеком-среде. Набор норм качества обслуживания может различаться в зависимости от реализации механизма,

обеспечивающего QoS.

В IP-сетях общепринятыми являются следующие базовые нормы QoS [14–17]:

1. Средняя пропускная способность (average throughput) канала связи, ниже которой качество предоставления телеком-услуги считается неудовлетворительным и возможны проблемы в работе приложения.
2. Максимальная задержка при передаче пакета (maximum delay) – максимальный временной интервал, необходимый для передачи пакета от узла отправителя до узла назначения, не приводящий к ухудшению работы приложения.
3. Максимальный процент потерь пакетов (maximal packet loss), не приводящий к ухудшению качества в работе приложения.
4. Максимальный процент ошибочных пакетов (acceptable packet error rate), т.е. переданных с искажениями, не приводящий к ухудшению в работе приложения.
5. Максимальное изменение задержки при передаче пакетов (maximum delay jitter) – характеристика, отражающая разброс задержки в телеком-канале для разных пакетов, который не приводит к ухудшению в работе приложения.

Возможно наличие и других норм, применимых для специализированных механизмов QoS, в том числе минимальное качество связи в беспроводном канале, минимальная остаточная энергия на узле, максимальная длина маршрута и др.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ НОРМ QoS

Введем определение норм QoS наложенной сети:

$$C_o = \{m_{o_1}, \dots, m_{o_n}\}: n \in \mathbb{N}, m_o = (\tau, d, \zeta, l, e, a), \quad (1)$$

где C_o – все возможные классы приложений QoS в наложенной сети; n – количество норм QoS в наложенной сети;

$\tau \in \mathbb{R}^+ \cup \{\emptyset\}$ – средняя пропускная способность канала, необходимая приложением класса;

$d \in \mathbb{R}^+ \cup \{\emptyset\}$ – максимальная задержка при передаче пакета, допустимая в работе приложений класса;

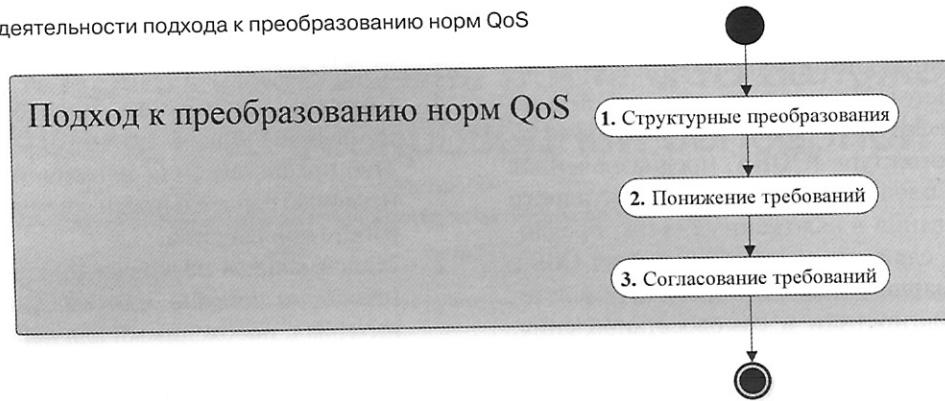
$\zeta \in \mathbb{R}^+ \cup \{\emptyset\}$ – изменение задержки, допустимое в работе приложений класса;

$l \in \mathbb{R} \cup \{\emptyset\}, l \in [0, \dots, 1]$ – максимальная доля потерянных в телекоммуникационном канале пакетов, допустимая для приложений класса, выраженная числом от 0 (потери недопустимы) до 1 (потери безразличны);

$e \in \mathbb{R} \cup \{\emptyset\}, e \in [0, \dots, 1]$ – максимальная доля пакетов, переданных с искажениями, допустимая для приложений класса, выраженная числом от 0 (искажения недопустимы) до 1 (искажения безразличны);

a – множество дополнительных норм качества обслуживания в наложенной сети; факт отсутствия любой нормы или множества норм обозначается символом \emptyset .

Рисунок 1
UML-диаграмма деятельности подхода к преобразованию норм QoS



Введем определение норм QoS беспроводной сенсорной сети:

$$C_w = \{m_{w_1}, \dots, m_{w_f}\}: f \in \mathbb{N}, m_w = (\tau', d', \zeta', l', e', b), \quad (2)$$

где C_w – все возможные классы приложений QoS беспроводной сенсорной сети; m – количество норм QoS в беспроводной сенсорной сети;

$\tau' \in \mathbb{R}^+ \cup \{\emptyset\}$ – средняя пропускная способность канала, необходимая приложениям класса;

$d' \in \mathbb{R}^+ \cup \{\emptyset\}$ – максимальная задержка при передаче пакета, допустимая для приложений класса;

$\zeta' \in \mathbb{R}^+ \cup \{\emptyset\}$ – изменение задержки, допустимое для приложений класса;

$l' \in \mathbb{R} \cup \{\emptyset\}, l' \in [0, \dots, 1]$ – максимальная доля потерянных пакетов в телеком-канале, допустимая для приложений класса; выражается числом от 0 (потери недопустимы) до 1 (потери безразличны);

$e' \in \mathbb{R} \cup \{\emptyset\}, e' \in [0, \dots, 1]$ – максимальная доля переданных с искажениями пакетов, допустимая для приложений класса; выражается числом от 0 (искажения недопустимы) до 1 (искажения безразличны);

b – множество дополнительных норм качества обслуживания в беспроводной сенсорной сети.

Пусть $F_w = \{s_{w_1}, \dots, s_{w_n}\}$ – множество всех возможных состояний беспроводных сенсорных сетей, где s_w – множество характеристик, которое передает состояние беспроводной сенсорной сети. Набор характеристик зависит от реализации механизма QoS беспроводной сенсорной сети и может быть любым. Как правило, он описывает загруженность узлов беспроводной сенсорной сети и их внутренние параметры, состояние связей в беспроводной сенсорной сети. Например, отобразить состояние беспроводной сенсорной сети можно при помощи статического сетевого графа на конкретный момент времени.

Тогда задача преобразования норм QoS наложенной сети в нормы QoS беспроводной сенсорной сети может быть представлена в общем виде:

$$z = f(x \in C_o, y(t) \in F_w): z \in C_w, \quad (3)$$

где f – функция преобразования норм QoS наложенной сети (x) в нормы QoS беспроводной сенсорной сети (z) с учетом состояния беспроводной сенсорной сети (y) в момент времени t выполнения функции. Задача считается решенной, если найдено значение функции f .

ПОДХОД К ПРЕОБРАЗОВАНИЮ НОРМ QoS

Поиск значения функции f довольно сложен, поэтому вычисления происходят поэтапно (рис. 1).

Этап 1. Структурные преобразования – удаление несуществующих норм QoS в C_w при их переносе из x (3) в z_r (3) и синтез несуществующих в C_o (3) норм QoS, которые есть в K_w , без потери смысла исходных норм QoS при помощи преобразующей функции f_{sc} . Преобразующая функция f_{sc} не является частью работы и зависит от реализации для конкретных сетевых протоколов и стандартов:

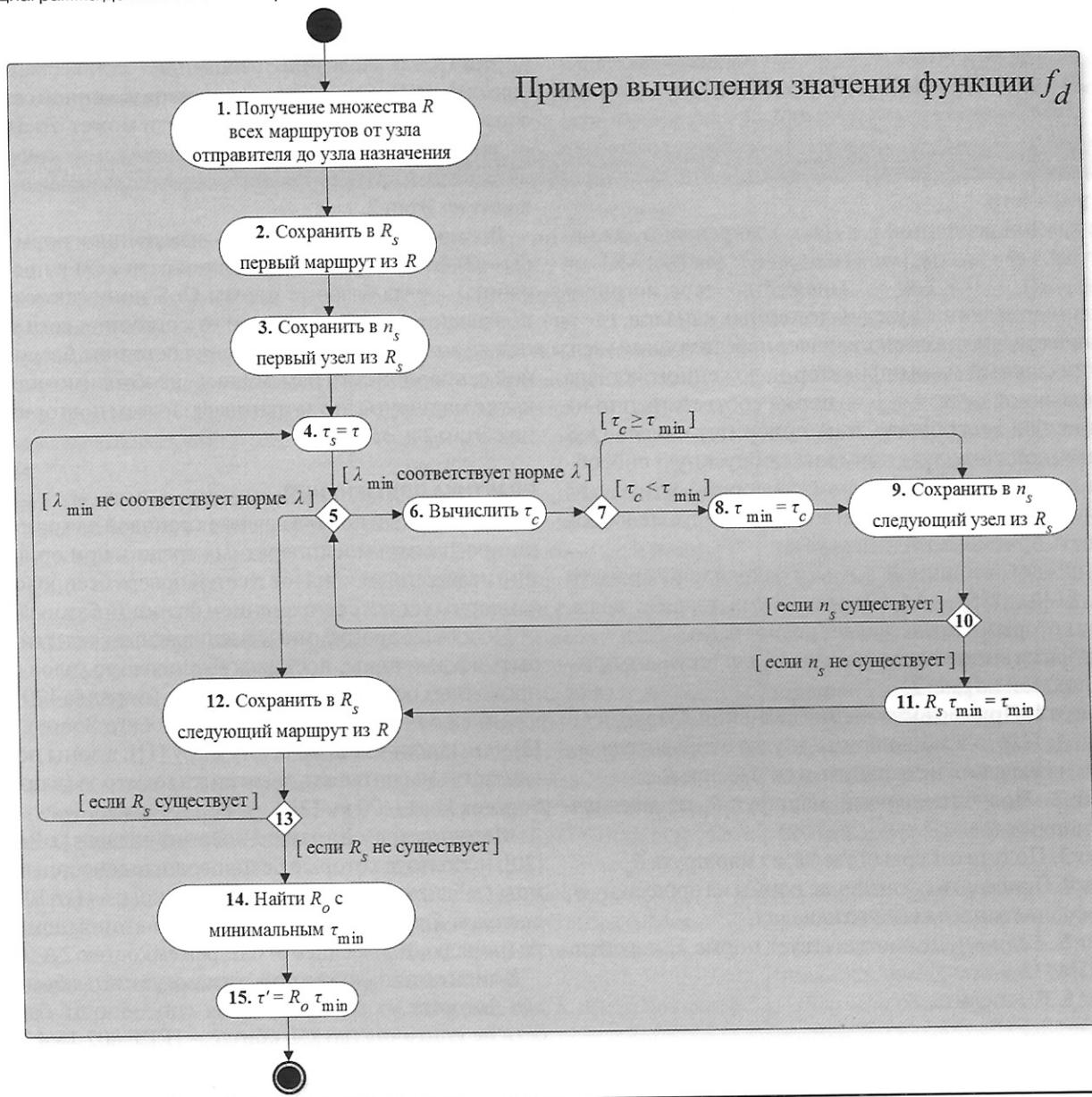
$$z_r = f_{sc}(x \in C_o): z_r \in C_w. \quad (4)$$

Пример: преобразующая функция f_{sc} для решения задачи организации наложенной сети передачи текстовых сообщений в чрезвычайных ситуациях поверх беспроводной сенсорной сети на базе LoRaWAN.

Пусть QoS наложенной сети содержит следующие нормы: $m_o = (\tau, d, a)$: $a = (p)$, где $p \in \mathbb{N}, p \in [1, \dots, 15]$ – минимальный относительный приоритет канала связи приложения в механизме QoS наложенной сети, при котором не ухудшается работа приложения; 1 – минимальный приоритет, 15 – максимально возможный приоритет в наложенной сети. Приоритет канала связи механизма QoS наложенной сети не играет роли в механизме QoS беспроводной сенсорной сети.

Пусть QoS беспроводной сенсорной сети содержит следующие нормы: $m_w = (\tau, d, b)$: $b = (\lambda)$, где $\lambda \in \mathbb{N}, \lambda \in [0, \dots, 255]$ – минимальный индикатор качества связи (Link Quality Indicator, LQI) в канале связи беспроводной сети, при котором не ухудшается работа приложения и где 0 означает полное отсутствие связи между узлами, а 255 – наилучшее качество связи между узлами.

Рисунок 2
UML-диаграмма деятельности алгоритма 1



Тогда функция f_{sc} имеет вид

$$f_{sc}(x) = \begin{cases} \tau' = \tau; \\ d' = d; \\ \lambda' = \text{ceil}\left(\lambda_{\min} + \frac{P}{15}[255 - \tau_{\min}]\right); \\ \lambda'_{\min} = \text{const}, \end{cases}$$

где λ_{\min} – минимальный LQI, который можно использовать на практике для передачи данных по беспроводному каналу связи (определяется экспериментально).

Этап 2. Понижение требований – снижение норм QoS, полученных из z_r (4), к нормам, которые может обеспечить беспроводная сенсорная сеть при помощи

преобразующей функции f_d , в зависимости от состояния сети u в момент времени t выполнения функции. Изменениям подвергаются только базовые нормы QoS, которые являются общими для механизма QoS как наклонной сети, так и беспроводной сенсорной сети. Преобразующая функция f_d не является частью работы и зависит от реализации конкретных сетевых протоколов и стандартов:

$$z = f_d(z_r \in C_w, y(t) \in F_w) : z \in C_w. \quad (5)$$

Пример: поиск значения преобразующей функции f_d для решения задачи организации наклонной сети передачи текстовых сообщений в чрезвычайных ситуациях поверх беспроводной сенсорной сети на базе

LoRaWAN.

Пусть статическое состояние беспроводной сенсорной сети описывается графом сети

$$F_w = \{S_{w_1}, \dots, S_{w_n}\} : S_w = (V_w, E_w),$$

где $V_w = \{U_1, U_2, \dots, U_m\}$: $m \in \mathbb{N}, m > 0$ – множество вершин графа сети; $E_w = \{\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n\}$: $n \in \mathbb{N}, n > 0$ – множество ребер графа сети.

За каждой вершиной $v = (Q, \tau_f)$ закреплено два параметра: $Q = \{q_1, \dots, q_w\}$: $q_i = (v, \tau_r, p_r, \tau_a)$: $v \in \mathbb{N}, \tau_r \in \mathbb{R}^+$ и $p_r \in \mathbb{N}, p_r \in [1, \dots, 15]$, $\tau_a \in \mathbb{R}^+$ – множество зарегистрированных через данный узел наложенных каналов, где w – количество наложенных каналов через текущий узел; v – уникальный идентификатор наложенного канала в наложенной сети; τ_r и p_r – норма соответственно на пропускную способность и на приоритет канала QoS наложенной сети; τ_a – норма на пропускную способность канала QoS беспроводной сенсорной сети; $\tau_f \in \mathbb{R}^+$ – неиспользуемая в текущий момент пропускная способность приемопередатчика узла.

За каждой вершиной $\epsilon = (\lambda_m)$ закреплен параметр $\lambda_m \in \mathbb{N}, \lambda \in [0, \dots, 255]$ – LQI между двумя узлами, связь между которыми представляет ребро графа.

Алгоритм вычисления функции f_d для текущего примера показан на рис. 2.

Алгоритм 1. Пример вычисления значения функции f_d .

Шаг 1. Найти все маршруты от узла отправителя до узла назначения и сохранить их в массиве R .

Шаг 2. Получить первый маршрут R_s из массива маршрутов R .

Шаг 3. Получить первый узел n_s из маршрута R_s .

Шаг 4. Присвоить τ_{min} значение нормы на пропускную способность наложенного канала τ .

Шаг 5. Если λ_{min} не соответствует норме λ , перейти на **Шаг 12**.

Шаг 6. Вычислить

$$\tau_A = \frac{\tau}{\sum_{i=1}^m (\tau_r + \tau)} \left(\frac{p}{\sum_{i=1}^m (p_r + p)} \right) \left(\tau_f + \sum_{i=1}^m \tau_a \right),$$

где τ_c – средняя пропускная способность, которую может предложить текущий узел; m – количество наложенных каналов через текущий узел.

Шаг 7. Если $\tau_c \geq \tau_{min}$, перейти на **Шаг 9**.

Шаг 8. Присвоить τ_{min} значение τ_c .

Шаг 9. Получить следующий узел n_s из маршрута R_s .

Шаг 10. Если узел существует, перейти на **Шаг 5**.

Шаг 11. Присвоить маршруту R_s значение τ_{min} .

Шаг 12. Получить следующий маршрут R_o из массива маршрутов R .

Шаг 13. Если маршрут существует, перейти на **Шаг 4**.

Шаг 14. Получить маршрут R_o , у которого τ_{min} максимальен.

Шаг 15. Вернуть $\tau' = \tau_{min}$ маршрута R_o .

В алгоритме 1 для поиска пути в качестве иллюстра-

ции применяется полный перебор маршрутов. На практике можно использовать любой подходящий алгоритм [18, 19] путем введения обобщающего веса.

Этап 3. Согласование требований – согласование базовых норм QoS из $z(5)$ с клиентом наложенной сети. На этом этапе клиент наложенной сети может отказаться от запроса, и тогда работа с его запросом завершается, либо внести свои поправки – в этом случае метод переходит на Этап 2.

Возможно динамическое изменение норм QoS (1)–(2) беспроводной сенсорной сети $z(3)$ в процессе работы, когда базовые нормы QoS понижаются либо повышаются, в зависимости от состояния сети $u(3)$ в новый момент времени t_n . Если состояние беспроводной сенсорной сети изменилось, необходимо оценить, какие маршруты это затрагивает, а затем повторить для них Этап 2 и Этап 3.

ПРАКТИКА ПРИМЕНЕНИЯ

Предложенный подход является основой для разработки программных и аппаратных средств при организации наложенных каналов и сетей поверх беспроводных сенсорных сетей с сохранением функций базовой сети.

Подобные программные и аппаратные средства могут быть эффективны, поскольку количество узлов в беспроводных сенсорных сетях велико (порядка 120 узлов в рамках одной сети на примере проекта Sonoma Dust [3] или 25 млн узлов по всему миру [1]), а зоны покрытия могут насчитывать десятки километров (в проекте Sonoma Dust – 70 км [3]).

Метод интересен в рамках нового стандарта LoRaWAN [20], используя который беспроводные сенсорные сети могут значительно повысить зону покрытия (до 100 км²) с сохранением длительного времени автономной работы (порядка 105 месяцев от батареи емкостью 2 А·ч [20]).

Клиентами наложенной сети могут стать абоненты, для которых малая пропускная способность базовой сети не критична (до 250 кбит/с – IEEE 802.15.4 [1]; до 50 кбит/с – LoRaWAN на территории Европы [20]; до 72,2 Мбит/с – IEEE 802.11 [1]), однако важны ее отказоустойчивость, автономность и зона покрытия. Такими клиентами могут быть службы экстренного реагирования, поисковые, спасательные бригады – все, кому требуются услуги связи тогда, когда иные средства телекоммуникаций выведены из строя либо временно недоступны.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе анализа механизмов QoS в беспроводных сенсорных сетях и наложенных сетях построена математическая модель норм QoS, сформирован подход к преобразованию норм QoS наложенной сети в нормы QoS беспроводной сенсорной сети без нарушения исходных функций беспроводной сенсорной сети.

Данный подход предназначен для разработки программных и аппаратных средств, которые обеспечивают

Tel. +7 (495) 647-17-65 | E-mail: elsv@garnet.ru | C منت: www.elsv.ru



НОДАЧНІКА НА КІПХАН «ЕЛЕКТРОСБ»

1. Internet of Things: Wireless Sensor Networks: White Paper / Shu Yinbiao [et al.], - Geneva, Switzerland: International Conference on Computer and Communications [ICCC], 2014. - 78 c.

2. Wireless Sensor Network Based Smart Home: Sensors Selection, Deployment and Monitoring // Debraj Basu [et al.] // Sensors Applications Symposium, - 2013. - SAs, - C. 49-54.

3. Oliviera L.M., Rodriguez J.J. Wireless Sensor Networks: A Survey on Environmental Monitoring // Journal of Communications, - 2011. - T. 6, № 2. - C. 143-151.

4. Kalpana S., Chander J.R., Ahmed S.M. Wireless Sensor Network Routing // Journal of Advanced Engineering of Crop Field // Inter. Remote Monitoring of Crop Field // Inter. Technologies, - 2011. - T. 8, № 2. - C. 243.

5. Pekomethajuan MC3-T.E.800. - Mexalyha-246. - Thomas Hou. Service Overlay Networks: SLAs, QoS and Bandwidth Provisioning // Proceedings of the 10th IEEE International Conference on Network Protocols (ICNP'02). Conference on Network Protocols (ICNP'02).

6. Ballein J., Zagar D., Martinovic G. Quality of Advancing Emerging Sciences and Technologies // Journal of Communications, - 2004. - T. 22, № 1. - C. 29-40.

7. Myabarbe C.B., Tapakaroe E.B. The survey and related patents // Recent Patents on Computer Science, - 2011. - T. 4, № 3. - C. 188-202.

8. Eseykirancho N.N., Tapnaro A.B. Electrotechnical Commission, 2014. - 78 c.

9. Arango M. Providing End-to-End Network QoS via Overlay Networks and Bandwidth Selection Areas in Overlay Networks // IEEE Journal on Selected Areas in Communications, - 2004. - T. 22, № 1. - C. 29-40.

10. Li Z., Mohapatra P. QoS-Aware Routing in Overlay Networks // Sun Microsystems, Florida 33326 USA: Sun Microsystems.

11. Zhenhai Duan, Zhili Zhang, Ywei Thomas Hou. Service Overlay Networks: SLAs, QoS and Bandwidth Provisioning // Proceedings of the 10th IEEE International Conference on Network Protocols (ICNP'02).

12. Cui J.-H., Gokhale S. Towards a Technical Overview of LoRa and LoRAWAN. A technical overview of LoRa and LoRAWAN // Technical Marketing Workinggroup 1.0. - San Ramon, CA, USA: Lorawan, 2015.

13. Ilie D., Popescu A. Unicast QoS routing in overlay networks // University of Connecticut, - 2012. - C. 1-30.

14. Peuhkuuri M. IP Quality of Service in overlay networks. - Springer, 2011. - 22 c.

15. Vined J., Chapman B. Deploying QoS for Cisco IP and Next Generation Networks: Kaufmann Publishing, MA 01803, USA: Morgan Kaufmann Publishers, an imprint of Elsevier, 2009. - 493 c.

16. Marshall A. Quality of Service in Wireless Networks: Trends & Challenges. - Queen's University Belfast, School of Electrical & Electronic Engineering, 2009. - 493 c.

17. Pekomethajuan MC3-T.Y1541. - Mexalya-246. - Pekomethajuan MC3-T.E.800. - Mexalya-

18. Dijkstra E.W. A Note on Two Problems in Asymptotic Costs DirectProbesan, 2006. - 50 c.

19. Bellman R. On a Routing Problem // Quarterly of Applied Mathematics, - 1958. - T. 16, № 1. - C. 67-90.

20. Technical Marketing Workinggroup 1.0. - Technical Marketing Workinggroup 1.0 // Technical Marketing Workinggroup 1.0, - San Ramon, CA, USA: Lorawan, 2015.

сюда Федору «*ξ-100*».

Címa mba noszomogenéha e xođe uccadeođahua (nöpokm № 17-05-0017) e pamarka *Tipospadmi «Hayahpul» fofd Ha-
mkaa ekoù Fedepauu «5-100».*

CETN CR3