

# АЛГОРИТМЫ КЛАССИФИКАЦИИ ОБЪЕКТОВ СЕТЕЙ «ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ» НА ОСНОВЕ ЖАДНЫХ АЛГОРИТМОВ

Козлов А.С.<sup>1</sup>, Дудник С.В.<sup>2</sup>, Култазин Н.М.<sup>3</sup> Email: Kozlov17158@scientifictext.ru

<sup>1</sup>Козлов Александр Сергеевич - старший системный администратор,  
филиал

Корпорация "Алайн Текнолоджи Ресерч энд Девелопмент, Инк";

<sup>2</sup>Дудник Сергей Викторович - ведущий эксперт,  
департамент инфраструктурных решений,

Сбербанк,

г. Москва;

<sup>3</sup>Култазин Нурлан Муратович - инженер инфраструктуры,  
Астанинская международная биржа, г. Нур-Султан, Республика Казахстан

**Аннотация:** рассмотрены особенности работы с сенсорными сетями сервисов Интернета вещей как инфраструктуры мониторинга непрерывных объектов. Указаны базовые подходы, которые позволяют улучшить показатели точности и энергоэффективности систем данного типа. Предложена методика оптимизации алгоритмов, которые используются для определения границ непрерывных объектов в сети «Интернета вещей». На основе соотношения граничных узлов разработан подход по классификации области вокруг граничного узла и подобласти с нисходящей вероятностью возникновения события. Показано, что оптимизация жадного алгоритма может быть применена для выборочной активации определенного числа соседних узлов сети «Интернета вещей» в рамках соответствующих подобластей. Соответственно, данный подход позволяет уточнить границы объектов в соответствии с данными датчиков активированных узлов сети «Интернета вещей». Построена математическая модель, которая позволяет достичь лучшей точности обнаружения объектов, при меньшей нагрузке на аппаратную платформу.

**Ключевые слова:** Интернет вещей, сенсорные сети, обнаружение границ, жадные алгоритмы, непрерывный объект диагностирования, ресурсоемкость.

## CLASSIFICATION ALGORITHMS FOR THE INTERNET OF THINGS NETWORK OBJECTS BASED ON GREEDY ALGORITHMS

Kozlov A.S.<sup>1</sup>, Dudnik S.V.<sup>2</sup>, Kultazin N.M.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Kozlov Aleksandr Sergeevich - Senior. System Administrator,  
EMEA RUSSIAN REGION

"ALIGN TECHNOLOGY RESEARCH AND DEVELOPMENT INCORPORATED";

<sup>2</sup>Dudnik Sergei Victorovich - Leading Expert,  
DEPARTMENT OF INFRASTRUCTURE SOLUTIONS,  
SBERBANK,  
MOSCOW;

<sup>3</sup>Kultazin Nurlan Muratovich - Infrastructure Engineer,  
ASTANA INTERNATIONAL EXCHANGE, NUR-SULTAN, REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

**Abstract:** the peculiarities of the sensor networks of the Internet of Things service processing as an infrastructure for monitoring continuous objects are considered. Basic approaches that improve the accuracy and energy efficiency of this type of systems are indicated. A technique for optimizing the algorithms that are used to determine the boundaries of continuous objects in the Internet of Things network is proposed. Based on the correlation of the boundary nodes, an approach has been developed to classify the area around the boundary node and subregion with a downward probability of the occurrence of an event. It is shown that greedy algorithms optimization can be applied to selectively activate a certain number of neighboring nodes of the Internet of Things network within the corresponding subdomains. Accordingly, this method allows clarifying the boundaries of objects in accordance with the sensor data of the activated nodes of the Internet of Things network. Developed mathematical model allows achieving better accuracy of object detection, with less load on the hardware platform.

**Keywords:** Internet of things, sensor networks, boundary detection, greedy algorithms, continuous objects, resource consumption.

УДК 004.942

### Введение

Активное внедрение и развитие сенсорных сетей лежащих в основе концепции Интернета вещей (Internet of Things, IoT) связано с широким распространением смарт-устройств, а также с появлением

методик и технических средств раннего оповещения (early warning), анализа данных, агрегирования знаний и дистанционного мониторинга сети, которые наблюдаются последние два десятилетия [1, 2]. В общем случае сенсорная сеть IoT рассматривается как инфраструктура, которая обеспечивает совместную работу функциональных элементов IoT (датчиков и исполнительных устройств), а также автоматически выделяет на основе ключевых функций адаптивные подсети [3-7]. Указанный подход рассматривается как наиболее эффективный в области мониторинга набора параметров комплексных систем, что указывает на **актуальность данного исследования** с точки зрения решения практических задач (автоматизация научного исследования, контроль технологического процесса, мониторинг системы «умный дом» и др.). В то же время предложенный подход может быть рассмотрен и с точки зрения внесения вклада в решение фундаментальных вопросов информационных технологий (Information Technologies, IT), что касается развития концепции IoT.

**Анализ последних публикаций** в данной области показал приоритет исследований, которые базируются на изучении наиболее значимых задач, которые решаются в рамках активно финансируемых проектов, таких как: обнаружение границ утечки газа, мониторинг природоохранных объектов, организация городского трафика и так далее. [8-10]. Проведенные исследования указывают на высокую эффективность алгоритмов планаризации, которые позволяют точно определить границу на основе расположения граничных узлов [11]. Однако, на определенном уровне сложности инфраструктуры IoT точность данных алгоритмов существенно падает, поэтому с учетом прогнозирования дальнейшего развития указанной концепции, такой подход не может быть положен в основу построения общей методологии работы с сенсорными сетями. С другой стороны, как было показано, системы на основе жадных алгоритмов способны с высокой точностью находить границы объектов набора данных для сенсорных сетей любой сложности за счет применения методики анализа данных датчиков на расстоянии одного сетевого сегмента от аномального узла [12]. Таким образом, на основе методологии применения жадных алгоритмов могут быть обнаружены все аномальные узлы системы, но в ряде случаев жадный алгоритм приводит к избыточному обнаружению в процессе циклического выполнения команд программного кода и, соответственно, характеризуется избыточной ресурсоемкостью.

В качестве альтернативного подхода можно рассмотреть гибридные методы, которые объединяют работу с устойчивыми и подвижными узлами [13], однако такие методы являются технологически сложными на этапе их внедрения и ресурсоемкими в сопровождении, а значит, ряде случаев их применение неоправданно. Более эффективным решением является методика обнаружения границы непрерывного объекта, которая базируется на оптимизированном жадном алгоритме (Optimized Greedy Algorithm, OGA), в рамках которого анализ датчиков на расстоянии одного сетевого сегмента от аномального узла проводится только для неполных соседних узлов [13].

Проведенный анализ показал отсутствие единой классификации узлов сенсорных сетей и их подобластей, которая может быть проведена на базе позиционных отношений между граничным узлом и ближайшими соседними узлами, что было выделено как **нерешенная часть** общего задания. Соответственно, **целью данного исследования** стало построение универсальной методологии оптимизации группы жадных алгоритмов через внедрение выборочной активации соседних узлов сенсорной сети с одним скачком в рамках соответствующих подобластей. Подразумевается, что подобный подход должен дать возможность в достаточной мере уточнить границы непрерывных объектов инфраструктуры IoT в соответствии с данными датчиков активированных узлов при адекватной нагрузке на соответствующую аппаратную платформу.

## 1. Принципы построения сенсорной сети IoT

При построении математической модели классификатора сенсорной сети IoT ключевым является определение непрерывного объекта, т.е. объекта, процессы которого протекают непрерывно и, соответственно, переменные, которые описывают выходные величины, также являются непрерывными. В свою очередь, жадным алгоритмом называется алгоритм, функции которого ограничиваются принятием локально оптимальных решений на каждом этапе цикла, в соответствии с допущением, что конечный результат также окажется оптимальным. Если структура задачи, решаемой при помощи жадного алгоритма, задается матроидом (подмножеством множества независимых элементов) то при помощи жадного алгоритма можно получить глобально оптимальное решение как экстремум целевой функции.

Любая сенсорная сеть IoT может быть описана на базе трех функциональных элементов (рис. 1):

- базовая станция (base station, BS) как узел беспроводного доступа сенсорной сети IoT, обеспечивающий приём и передачу данных;
- ретрансляционный узел (relay node, RN);
- конечный узел (terminal node, TN).

В такой структуре сети ретрансляционные узлы собирают данные датчиков, приходящие от соответствующих конечных узлов и передают их на базовую станцию, а также обмениваются данными

между собой с целью выявления аномальных узлов и контроля границ. Особенности функционирования сенсорной сети IoT, представленной такой моделью, также могут быть описаны тремя пунктами:

1. Работа системы в режиме ожидания, при котором RN в сети периодически активируются для обнаружения события подлежащего мониторингу. Граничные параметры обнаружения события определяются набором граничных узлов на уровне BS при помощи адаптации специализированных методик (например, алгоритмов выпуклой оболочки).

2. Классификация области вокруг каждого граничного узла как подобластей нисходящей вероятности обнаружения события через позиционные отношения с соседними узлами. Данный подход позволяет уменьшить общий показатель ресурсоемкости системы.

3. Начальное определение границ непрерывных объектов циклически обновляется за счет учета новых данных датчиков соседних узлов находящихся на расстоянии одного сетевого сегмента. В результате для BS происходит переход от частично нечеткой границы к четкой границе.

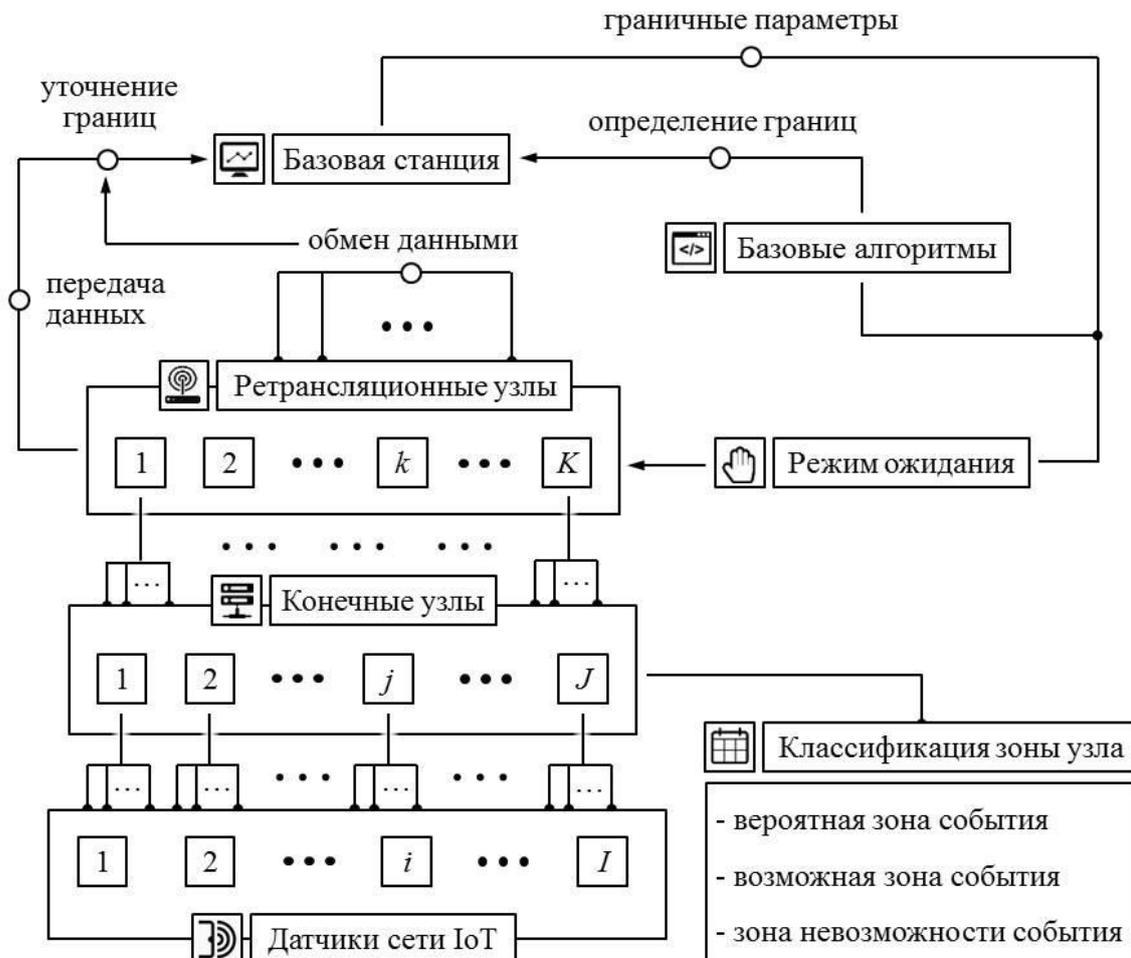


Рис. 1. Базовая модель организации классификатора сенсорной сети IoT

Представленная схема является универсальным способом моделирования процесса функционирования сенсорной сети IoT, на основе которой за счет применения надлежащего математического аппарата можно оптимизировать процедуру классификации данных поступающих от датчиков с точки зрения точности и нагрузки на аппаратную платформу системы.

## 2. Математическая модель классификатора сенсорной сети IoT на базе жадного алгоритма

Таким образом, на математическом уровне модель сенсорной сети IoT может быть определена через запись в реляционной системе управления базами данных (СУБД), которая включает в себя полные наборы данных об узлах сети (включая BS, RN и TN), а также связях, которые их объединяют. Аналогичным образом каждый узел сенсорной сети определяется через запись реляционной СУБД, которая включает в себя такие компоненты как:

- уникальный идентификатор узла (id);
- радиус зоны покрытия узла (cr);
- уровень зарядки узла (engy);

- географическое положение узла, автоматически полученное через систему GPS и состоящее из значений долготы и широты ( $loc$ );
- статус узла ( $stat$ ), данный показатель может принимать значения «активный» или «неактивный»;
- тип узла ( $typ$ ), данный показатель может принимать значения «BS», «RN» или «TN»;
- показатель принадлежности терминального узла ретрансляционному узлу ( $hid$ ) с соответствующим  $id$ ;
- набор данных терминального узла, полученный от датчика ( $val$ );
- пороговое значение, определяющее аномальный узел ( $trd$ ).

В соответствии с предложенной моделью все узлы сенсорной сети могут быть разделены на нормальные ( $normal\ node$ , NN), граничные ( $boundary\ node$ , BN) и аномальные ( $abnormal\ node$ , AN). Именно AN определяют структуру непрерывного объекта, который отслеживается сенсорной сетью. Данные о NN сохраняются системой только в том случае, если они граничат, по меньшей мере, с одним AN или BN. В процессе работы системы набор узлов циклически обновляется путем получения новых данных от датчиков.

Полный набор аргументов целевых функций модели сенсорной сети включает в себя следующие элементы (рис. 2):

- размер записи  $N_m$  (бит);
- $k$  — количество RN;
- количество TN  $j(k)$ , которые обрабатываются  $k$ -ым RN;
- $E_{RN}$  — полное количество электроэнергии, потребляемое RN;
- $E_{TN}$  — полное количество электроэнергии, потребляемое TN;
- количество электроэнергии, потребляемое системой, в расчете на бит передаваемой информации  $E_T$  (Вт/бит);
- количество электроэнергии, потребляемое RN, в расчете на бит собранной информации  $E_{RN-A}$  (Вт/бит);
- среднее расстояние  $\bar{D}_{RN-BS}$  от RN до BS;
- среднее расстояние  $\bar{D}_{RN-TN}$  от RN до TN, который обрабатывается данным RN;
- показатели широты  $x$  и долготы  $y$  узла.

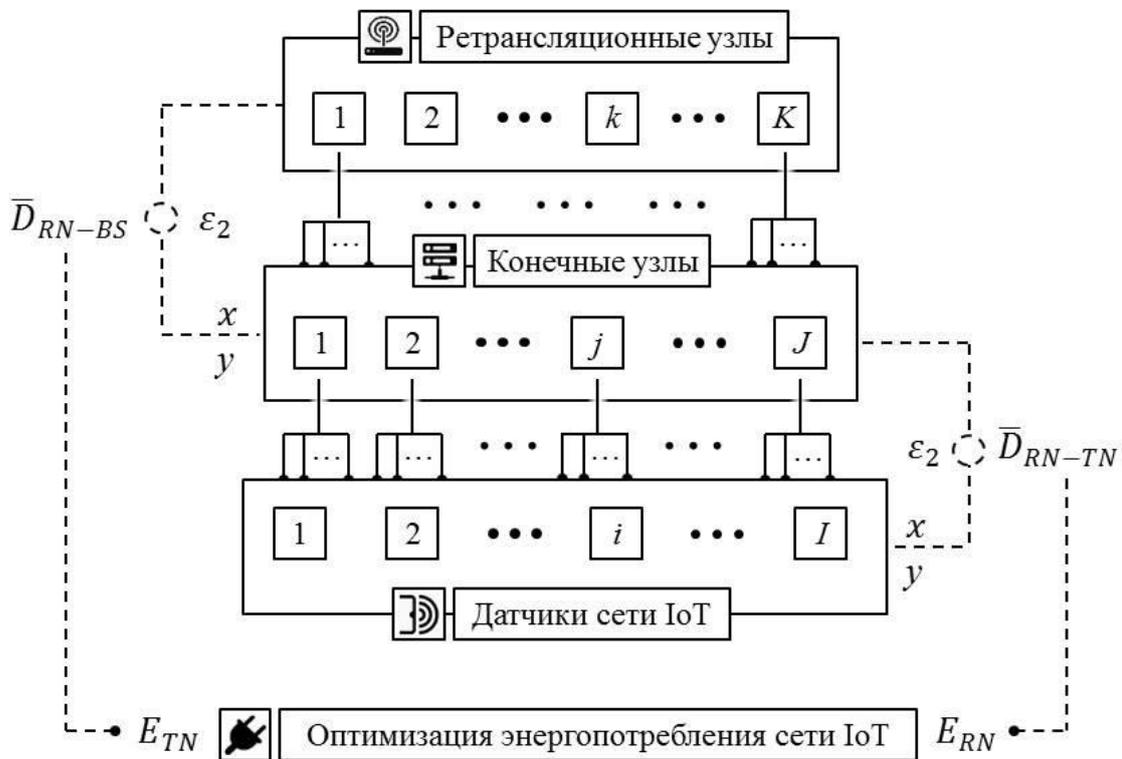


Рис. 2. Схема расчета и оптимизации энергопотребления сенсорной сети IoT

Апробация предложенной математической модели может быть проведена на основе метода определения рассеяния энергии сигнала [14]. Расчет энергопотребления RN, таким образом, может быть проведен следующим образом (рис. 2):

$$E_{RN} = \sum_k \sum_j \left( N_m \cdot ((E_{RN} + E_{RN-A}) \cdot (j(k) + 1) + \varepsilon_1 \cdot (\bar{D}_{RN-BS})^4) \right), \quad (1)$$

а расчет энергопотребления при передаче данных от TN к RN, который его обрабатывает:

$$E_{TN} = \sum_k \sum_j \left( N_m \cdot (E_{RN} + \varepsilon_2 \cdot (\bar{D}_{RN-TN})^2) \right), \quad (2)$$

где  $\varepsilon_1$  и  $\varepsilon_2$  — коэффициенты передачи и усиления узла, а  $\bar{D}_{RN-BS}$  и  $\bar{D}_{RN-TN}$  определяются через значения  $x$  и  $y$  каждого узла.

#### Выводы

В результате анализа сенсорных сетей IoT были определены базовые подходы, которые позволяют улучшить показатели точности и энергоэффективности сложных систем. Предложена методика оптимизации жадных алгоритмов определения границ непрерывных объектов, соответствующим событиям, происходящим в сети. Показано, что оптимизация жадного алгоритма может быть применена для выборочной активации ограниченного числа соседних узлов сети в рамках соответствующих подобластей. Данный подход позволяет уточнить границы объектов в соответствии с данными датчиков активированных узлов сети. Построена математическая модель, которая позволяет достичь высокой точности обнаружения объектов при меньшей нагрузке на аппаратную платформу и предложена схема расчета и оптимизации энергопотребления.

#### Список литературы / References

1. Kavitha B.C., Vallikannu R. IoT based intelligent industry monitoring system. In: 2019 6th International Conference on Signal Processing and Integrated Networks (SPIN), 2019. Pp. 63–65.
2. Diao J., Zhao D., Tang J., Cheng Z., Zhou Z., 2019. Continuous Objects Detection Based on Optimized Greedy Algorithm in IoT Sensing Networks. Security, Privacy, and Anonymity in Computation, Communication, and Storage Lecture Notes in Computer Science, 265–278. doi: 10.1007/978-3-030-24900-7\_22.
3. Xiong S., Ni Q., Wang X., Su Y. A connectivity enhancement scheme based on link transformation in IoT sensing networks. IEEE Internet Things J., 2017. 4(6), 2297–2308.
4. Yates D.J., Xu J., 2010. Sensor Field Resource Management for Sensor Network Data Mining. Intelligent Techniques for Warehousing and Mining Sensor Network Data, 280–304. doi: 10.4018/978-1-60566-328-9.CH013.
5. Wu Y., Rowe A., 2011. Logic-Based Programming for Wireless Sensor-Activator Networks, 2011 IEEE/ACM Second International Conference on Cyber-Physical Systems. doi: 10.1109/ICCPS.2011.31.
6. Ahmadi H., Bouallegue R., 2015. Comparative study of learning-based localization algorithms for Wireless Sensor Networks: Support Vector regression, Neural Network and Naïve Bayes. 2015 International Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC). doi: 10.1109/IWCMC.2015.7289314.
7. Qihua W., Ge G., Lijie C., Xufeng X., 2015. Scheduling strategy for Hidden Markov Model in wireless sensor network. 2015 34th Chinese Control Conference (CCC). doi: 10.1109/CHICCC.2015.7260879.
8. Ni J., Li Z., Xie S., Jia C., 2018. Toxic Gas Leak Monitoring Alarm System Based on Wireless Sensor Network. 2018 37th Chinese Control Conference (CCC). doi: 10.23919/CHICCC.2018.8483568.
9. Chao C., Jiao S., Zhang S., Liu W., Feng L., Wang Y. TripImputor: realtime imputing taxi trip purpose leveraging multi-sourced urban data. IEEE Trans. Intell. Transp. Syst., 2018. 99, 1–13.
10. Nguyen D., Phung P.H., 2017. A Reliable and Efficient Wireless Sensor Network System for Water Quality Monitoring. 2017 International Conference on Intelligent Environments (IE). doi: 10.1109/IE.2017.34.
11. Shu L., Chen Y., Sun Z., Tong F., Mukherjee M. Detecting the dangerous area of toxic gases with wireless sensor networks. IEEE Trans. Emerg. Top. Comput., 2017.
12. Lei F., Yao L., Zhao D., Duan Y. Energy-efficient abnormal nodes detection and handlings in wireless sensor networks. IEEE Access 5, 2017. 3393–3409.
13. Diao J., Zhao D., Tang J., Cheng Z., Zhou Z., 2019. Continuous Objects Detection Based on Optimized Greedy Algorithm in IoT Sensing Networks. Security, Privacy, and Anonymity in Computation, Communication, and Storage Lecture Notes in Computer Science, 265–278. doi: 10.1007/978-3-030-24900-7\_22.
14. Heinzelman W.B., Chandrakasan A.P., Balakrishnan H. An application specific protocol architecture for wireless microsensor networks. IEEE Trans. Wirel. Commun., 2002. 1 (4), 660–670.