

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ И МАШИННОЕ ОБУЧЕНИЕ/ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND MACHINE LEARNING

DOI: <https://doi.org/10.60797/COMP.2025.8.1>

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС СИСТЕМЫ СБОРА И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Научная статья

Колмогорова С.С.^{1,*}

¹ORCID : 0000-0001-8032-0095;

¹ Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), Санкт-Петербург, Российская Федерация

¹ Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова, Санкт-Петербург, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (ss.kolmogorova[at]mail.ru)

Аннотация

Системы программных модулей для сбора данных становятся все более распространёнными, при этом используются различные методы их построения. В статье рассмотрены разные способы взаимодействия конечных узлов сбора — комплексов датчиков, а также выбран наилучший вариант с учётом заданных ограничений и предпосылок. Разработана иерархическая структура информационного взаимодействия в системе сбора как в целом, так и на каждом прикладном уровне. Предложенная иерархия, основанная на выбранном способе взаимодействия комплексов датчиков, даёт возможность создавать энергоэффективные и отказоустойчивые системы для сбора и обработки данных с больших территорий. Кроме того, реализованы механизмы адаптивного управления потоком данных, что позволяет оптимизировать нагрузку на сеть и улучшить качество информации, поступающей к централизованным обработчикам. Практическая реализация таких систем повысит надёжность мониторинга в различных областях, включая экологический контроль, промышленную автоматику и интеллектуальные городские инфраструктуры.

Ключевые слова: автоматизация процесса измерений, интернет вещей, обработка сигналов датчика, программа обработка, электрометрические измерения.

SOFTWARE PACKAGE FOR ENVIRONMENTAL DATA COLLECTION AND PROCESSING SYSTEM

Research article

Kolmogorova S.S.^{1,*}

¹ORCID : 0000-0001-8032-0095;

¹ Saint Petersburg State Electrotechnical University "LETI" named after V.I. Ulyanov (Lenin), Saint-Petersburg, Russian Federation

¹ Saint Petersburg State Forestry University named after S.M. Kirov, Saint-Petersburg, Russian Federation

* Corresponding author (ss.kolmogorova[at]mail.ru)

Abstract

Software module systems for data collection are becoming increasingly widespread, with various methods being used to develop them. The article examines different ways in which end collection nodes (sensor complexes) interact, and selects the best option, taking into account the specified constraints and prerequisites. A hierarchical structure of information interaction in the collection system has been developed, both as a whole and at each application level. The suggested hierarchy, based on the selected method of interaction between sensor complexes, makes it possible to create energy-efficient and fault-tolerant systems for collecting and processing data from large areas. In addition, adaptive data flow management mechanisms have been implemented, which allows optimising the load on the network and improving the quality of information sent to centralised processors. The practical application of such systems will increase the reliability of monitoring in various areas, including environmental control, industrial automation, and smart city infrastructures.

Keywords: automation of measurement processes, Internet of Things, sensor signal processing, processing software, electrometric measurements.

Введение

При создании систем технического и экологического мониторинга [1] с применением сенсорных устройств обеспечивается постоянное слежение за состоянием объектов в зоне наблюдения. Цифровизация привела к тому, что современные управляющие системы и комплексы приобретают всё более высокий уровень интеграции. В работе [2] рассматривается с точки зрения практической задачи организации децентрализованной «облачной» информационной системы с использованием сенсоров как элементов интернета вещей (IoT).

К числу контролируемых параметров относятся, например, определение концентраций различных газов в воздухе, концентрация веществ на поверхности почвы и водных объектов, и другие показатели [2]. Сенсорные сети включают множество разнообразных типов датчиков: сейсмические, магнитные, тепловые, визуальные, инфракрасные, акустические и радиационные, что обеспечивает мониторинг широкого спектра экологических условий. В разработанном прототипе узлы сенсоров размещены и интегрированы с применением радиочастотных и оптических систем передачи. Связующие узлы между сенсорами обеспечивают взаимодействие для распределённой передачи

данных, что позволяет обходить препятствия на пути сигнала, такие как деревья и камни, ограничивающие прямую видимость между беспроводными датчиками. В работе [3] при создании прикладного программного обеспечения для оценки объектов окружающей среды применяется подход, соединяющий данные во временном и пространственном измерениях.

В работе [4] описывается программная реализация, разработанная для автоматизированной системы управления экологической безопасностью, которая объединяет разнородную информацию об окружающей среде с различных датчиков, обеспечивая эффективный сбор, обработку и хранение экологических данных в облачной системе.

В работе [5] анализируется концепция сенсорных сетей, ставшая реализуемой благодаря сочетанию технологий микроэлектромеханических систем, беспроводной связи и цифровой электроники. Особое внимание уделено описанию архитектуры коммуникаций, а также алгоритмам и протоколам для таких сетей.

В работе [6] обсуждается текущее состояние технологий беспроводных датчиков и стандартов беспроводной связи. Эти технологии обладают высоким потенциалом применения в различных областях, таких как экологический мониторинг, точное земледелие и системы отслеживания.

На сегодняшний день существует широкий спектр технологий, обеспечивающих беспроводную передачу данных на значительные расстояния [7]. Несмотря на разнообразие таких технологий, при проектировании чаще всего учитывается работа сети устройств в условиях ограниченных ресурсов, включая отсутствие постоянного и стабильного электропитания, а также необходимость покрытия больших территорий.

Отдельно стоит отметить, что в работе [8] изучается интеграция множества датчиков в систему беспроводной передачи данных для умных контейнеров, а в [9] рассматривается технология модуляции маломощных сетей передачи данных с низкой скоростью и большой дальностью действия, основанная на многоуровневой протокольной структуре. Стоит выделить работу [10], в которой рассматривается разработка интеллектуальных программных инструментов для анализа и визуализации данных мониторинга окружающей среды, интеграции анализа больших данных и глубокого обучения для улучшения обработки данных, повышения точности и эффективности мониторинга и управления окружающей средой.

Задача настоящей работы заключается в разработке программного комплекса для системы сбора и обработки данных окружающей среды, обеспечивающего интеграцию и эффективное взаимодействие разнородных сенсорных узлов на базе беспроводных технологий. Необходимо создать архитектуру программного обеспечения, способного собирать, передавать, хранить и анализировать экологические данные в распределённой «облачной» системе с учётом ограниченных ресурсов и разнообразия типов датчиков. Итоговой целью является повышение точности и оперативности мониторинга экологического состояния и создание основы для автоматизированного управления и оценки объектов окружающей среды.

Система пространственного сбора данных (далее система) окружающей среды должна отвечать требованиям:

- 1) энергоэффективность — продолжительная работоспособность от ограниченного источника питания;
- 2) отказоустойчивость — устойчивость к внешним факторам (погодные условия);
- 3) дешевизна и взаимозаменяемость компонентов;
- 4) масштабируемость — эффективная работа на территориях любых размеров.

Программная часть системы — программное обеспечение, которое описывает функционал системы и предоставляет пользователю интерфейс для взаимодействия с системой.

Аппаратная часть — это сеть устройств, реализующая программную часть, которая служит для получения информации из окружающей среды: комплекс датчиков (КД) — устройство, выполняющее первичный сбор данных об окружающей среде, обладающее модулем связи и работающие на автономном питании.

Основные результаты

Для наглядного объяснения структуры сети было использовано представление через различные уровни абстракции (рисунок 1). Каждый из уровней анализируется независимо от расположенных ниже, что позволяет выделить особенности их функционирования. При этом архитектура взаимодействия элементов внутри каждого слоя сохраняет общий тип, однако состав компонентов отличается. Связь между уровнями осуществляется посредством специальных интерфейсов. Все элементы, расположенные выше так называемого «интерфейсного канала», а именно первичные датчики, в рамках данной работы не рассматриваются. Оборудование, используемое в рассматриваемой сети, обладает схожими характеристиками и строится из аналогичных частей, за единственным исключением — главный ретранслятор дополнительно оснащается модулем для подключения к внешней сети. Функциональные различия между устройствами обусловлены спецификой их конфигурации — например, коллектор представляет собой тот же КД, но с доступом к команде по приему данных с определённых узлов. В данном контексте коллектор выполняет функцию интерфейса, обеспечивающего взаимодействие с верхним уровнем.

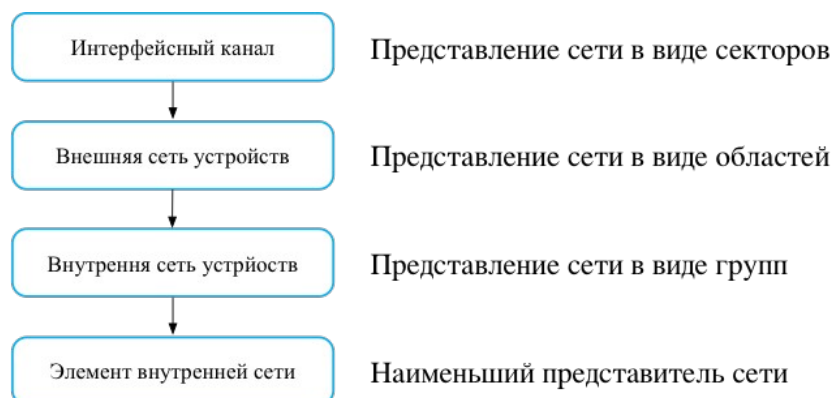


Рисунок 1 - Уровни иерархии системы
DOI: <https://doi.org/10.60797/COMP.2025.8.1.1>

2.1. Прикладная программа сбора и обработки данных

Программное обеспечение прототипа реализует сбор данных и ее первичную обработку до вида структурированных данных, также передачу в облако либо запись данных на носитель информации. Автономность комплекса и энергоэффективность, помимо аппаратного обеспечения также определяется программным кодом (см. ниже). Для каждого типа устройства прописывается своим прикладное программное обеспечение: конфигурация подключенных датчиков; формирование опроса каждого датчика; расписание передачи данных; расписание суточной или календарной активности; параметры доступа к внешнему ресурсу; настройки связи; параметры электропитания; привязка к координатам GPS положения устройств в составе комплекса и локаций.

Отдельный фрагмент кода прикладного программного обеспечения микроконтроллера общего сбора данных представлен на листинге:

```

#include <SPI.h>
#include <nRF24L01.h>
#include <RF24.h>
#include <Adafruit_Sensor.h>
#include <DHT.h>
#include <DHT_U.h>
#include <MQ135.h>
#define DHTPIN PA1
#define DHTTYPE DHT22
#define PHOTOPIN PA2
#define MQ135PIN PA3
MQ135 mq135_sensor = MQ135(MQ135PIN);
DHT_Unified dht(DHTPIN, DHTTYPE);
RF24 radio(PB0, PA4);
const uint64_t address = 0xF0F0F0F0E1LL; //Not final
float data[5];
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  delay(1000);
  radio.begin();
  radio.setChannel(27);
  radio.setDataRate(RF24_1MBPS);
  radio.setPALevel(RF24_PA_MAX);
  radio.openWritingPipe(0xAABBCCDD11LL);
}
void loop() {
  getDHTData();
  getPhotoData();
  getMQData();
  delay(1000);
  radio.write( &data , sizeof(data) );
}
void getDHTData() {
  sensor_t sensor;
  dht.begin();
  sensors_event_t event;
  dht.temperature().getEvent(&event);
  data[0] = event.temperature;
  delay(1000);
  dht.humidity().getEvent(&event);
  data[1] = event.relative_humidity;
  delay(1000);
}
void getPhotoData() {

```

```
data[2] = analogRead(PHOTO PIN);
delay(1000);
}
void getMQData() {
data[3] = mq135_sensor.getPPM();
delay(1000);
}
```

Моделированные значения согласуются с прототипом цифровой системы сбора и обработки данных с устройствами предупреждения безопасности и не имеет ложных положительных или ложных отрицательных результатов во время испытаний поведенческой модели программных модулей электромагнитного анализа первичной обработки данных на платформе [11].

Заключение

Наиболее рационально строить систему сбора и обработки данных об окружающей среде на базе гибкой иерархической структуры, которая позволяет назначать и модифицировать функции ретрансляционных (передача информации в пользовательскую ИС) и коллекторных (сбор и объединение данных) компонентов. Для этого следует внедрить ранее описанные уровни иерархии в системе. Такая конфигурация обеспечивает возможность адаптации системы к разным условиям эксплуатации как пользователем, так и автоматическими алгоритмами.

Созданный программный комплекс цифровой системы сбора и анализа данных рассматривает процесс измерений как решение прикладной задачи в рамках децентрализованной «облачной» информационной платформы с использованием датчиков, функционирующих как IoT-компоненты. Человеко-машинный интерфейс данного комплекса обеспечивает возможность удалённого мониторинга контролируемого объекта.

Внедрение интеллектуальных алгоритмов для настройки датчиков под конкретные объекты мониторинга и для обработки получаемых данных расширяет сферу применения программно-аппаратного комплекса. Использование объектно-ориентированных технологий обеспечивает автоматическую адаптацию и оперативную настройку процессов измерений, сбора и анализа информации при минимальных инфраструктурных требованиях к объекту. Эта технология эффективно применяется для контроля электромагнитных полей на разнообразных объектах.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Колмогорова С.С. Электроиндукционные датчики в оценке и контроле характеристик объектов природной среды / С.С. Колмогорова // Экологические системы и приборы. — 2025. — № 8. — С. 3–17. — DOI: 10.25791/esip.8.2025.1537. — EDN QEDZWN.
2. Колмогорова С.С. Профилирование системы сбора и обработки данных окружающей среды / С.С. Колмогорова, Н.О. Романов // Приборы. — 2023. — № 4(274). — С. 14–18. — EDN SYGNXH.
3. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022666361 Российская Федерация. Программные модули децентрализованных беспроводных измерительных систем : № 2022665738 : заявл. 24.08.2022 : опубл. 31.08.2022 / С.С. Колмогорова, Н.О. Романов ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова».
4. Goncharov D.V. Methods, Models and Hardware-Software Complex of Distributed Monitoring Based on IoT and Blockchain Technology / D.V. Goncharov, V.I. Fedorov, O.O. Ivashchuk // 2024 International Russian Smart Industry Conference (SmartIndustryCon). — Sochi, 2024. — P. 196–201. — DOI: 10.1109/SmartIndustryCon61328.2024.10515371.
5. Akyildiz I.F. Wireless Sensor Networks: A Survey / I.F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam [et al.] // Computer Networks. — 2002. — Vol. 38, № 4. — P. 393–422. — DOI: 10.1016/S1389-1286(01)00302-4.
6. Ruiz-Garcia L. A Review of Wireless Sensor Technologies and Applications in Agriculture and Food Industry: State of the Art and Current Trends / L. Ruiz-Garcia, L. Lunadei, P. Barreiro [et al.] // Sensors. — 2009. — № 9. — P. 4728–4750.
7. Andrade-Sanchez P. Performance Assessment of Wireless Sensor Networks in Agricultural Settings / P. Andrade-Sanchez, F.J. Pierce, T.V. Elliot // 2007 ASABE Annual International Meeting. — Minneapolis, 2007.
8. Craddock R.J. Sensor Fusion for Smart Containers / R.J. Craddock, E.V. Stansfield // IEEE Seminar on Signal Processing Solutions for Homeland Security. — London, 2005.
9. Романов Н.О. Применение технологии передачи данных LoRa в лесной отрасли / Н.О. Романов, С.С. Колмогорова // Актуальные вопросы лесного хозяйства : материалы VI международной молодежной научно-практической конференции. — СПб. : Реноме, 2022. — С. 258–263.

10. Bao J. Development of Intelligent Analysis and Visualization Software Tools for Environmental Monitoring Data / J. Bao, J. Li // 2024 International Conference on Power, Electrical Engineering, Electronics and Control (PEEEEC). — Athens, 2024. — P. 763–768. — DOI: 10.1109/PEEEEC63877.2024.00143.
11. Колмогорова С.С. Автоматизированный программно-технический комплекс системы сбора и интеллектуальной обработки данных / С.С. Колмогорова, С.В. Бирюков, А.С. Колмогоров [и др.] // Приборы. — 2022. — № 7(265). — С. 48–55. — EDN PKYAOE.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Kolmogorova S.S. Elektroinduktsionnye datchiki v otsenke i kontrole kharakteristik ob"ektov prirodnoi sredy [Electroinduction sensors in the assessment and control of natural environment object characteristics] / S.S. Kolmogorova // Ekologicheskie sistemy i pribory [Ecological Systems and Devices]. — 2025. — № 8. — P. 3–17. — DOI: 10.25791/esip.8.2025.1537. — EDN QEDZNW. [in Russian]
2. Kolmogorova S.S. Profilirovanie sistemy sbora i obrabotki dannykh okruzhayushchei sredy [Profiling of environmental data collection and processing systems] / S.S. Kolmogorova, N.O. Romanov // Pribory [Devices]. — 2023. — № 4(274). — P. 14–18. — EDN SYGNXH. [in Russian]
3. Svidetel'stvo o gosudarstvennoi registratsii programmy dlya EVM [Certificate of state registration of the computer program] № 2022666361 Russian Federation. Software modules of decentralized wireless measurement systems : № 2022665738 : filed 24.08.2022 : publ. 31.08.2022 / S.S. Kolmogorova, N.O. Romanov ; applicant Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Saint Petersburg State Forest Technical University named after S.M. Kirov". [in Russian]
4. Goncharov D.V. Methods, Models and Hardware-Software Complex of Distributed Monitoring Based on IoT and Blockchain Technology / D.V. Goncharov, V.I. Fedorov, O.O. Ivashchuk // 2024 International Russian Smart Industry Conference (SmartIndustryCon). — Sochi, 2024. — P. 196–201. — DOI: 10.1109/SmartIndustryCon61328.2024.10515371.
5. Akyildiz I.F. Wireless Sensor Networks: A Survey / I.F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam [et al.] // Computer Networks. — 2002. — Vol. 38, № 4. — P. 393–422. — DOI: 10.1016/S1389-1286(01)00302-4.
6. Ruiz-Garcia L. A Review of Wireless Sensor Technologies and Applications in Agriculture and Food Industry: State of the Art and Current Trends / L. Ruiz-Garcia, L. Lunadei, P. Barreiro [et al.] // Sensors. — 2009. — № 9. — P. 4728–4750.
7. Andrade-Sanchez P. Performance Assessment of Wireless Sensor Networks in Agricultural Settings / P. Andrade-Sanchez, F.J. Pierce, T.V. Elliot // 2007 ASABE Annual International Meeting. — Minneapolis, 2007.
8. Craddock R.J. Sensor Fusion for Smart Containers / R.J. Craddock, E.V. Stansfield // IEEE Seminar on Signal Processing Solutions for Homeland Security. — London, 2005.
9. Romanov N.O. Primenenie tekhnologii peredachi dannykh LoRa v lesnoi otrasli [Application of LoRa data transmission technology in the forestry sector] / N.O. Romanov, S.S. Kolmogorova // Aktual'nye voprosy lesnogo khozyaistva [Current Issues of Forestry] : Proceedings of the VI International Youth Scientific and Practical Conference. — Saint Petersburg : Renome, 2022. — P. 258–263. [in Russian]
10. Bao J. Development of Intelligent Analysis and Visualization Software Tools for Environmental Monitoring Data / J. Bao, J. Li // 2024 International Conference on Power, Electrical Engineering, Electronics and Control (PEEEEC). — Athens, 2024. — P. 763–768. — DOI: 10.1109/PEEEEC63877.2024.00143.
11. Kolmogorova S.S. Avtomatizirovannyyi programmno-tekhnicheskii kompleks sistemy sbora i intellektual'noi obrabotki dannykh [Automated software and hardware complex for data collection and intelligent processing systems] / S.S. Kolmogorova, S.V. Biryukov, A.S. Kolmogorov [et al.] // Pribory [Devices]. — 2022. — № 7(265). — P. 48–55. — EDN PKYAOE. [in Russian]