

**IoT-УПРАВЛЕНИЕ АГРОТЕХНОЛОГИЯМИ: ОСОБЕННОСТИ
ПОСТРОЕНИЯ РЕЛЯЦИОННОЙ МОДЕЛИ ХРАНЕНИЯ СЕНСОРНЫХ
ДАННЫХ НА ПРОЦЕССИНГОВОМ УРОВНЕ**
**IoT MANAGEMENT OF AGRICULTURAL TECHNOLOGIES: FEATURES
OF BUILDING A RELATIONAL MODEL FOR STORING SENSORY DATA
AT THE PROCESSING LEVEL**

Новикова Т.П., к.т.н., доцент

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

г. Воронеж, Россия

Новиков А.И., д.т.н., доцент

Чесноков Ю.В., д.б.н., член-корреспондент РАН

Агрофизический научно-исследовательский институт

г. Санкт-Петербург, Россия

Arthur.Novikov@agrophys.ru

Novikova T.P., Associate Professor

FSBEI HE «Voronezh State University of Forestry and Technologies
named after G.F. Morozov»

Voronezh, Russian Federation

Novikov A.I., Doctor of Technical Sciences, leading researcher

Chesnokov Yu.V., Doctor of Biology Sciences, Professor, Corresponding

Member of the Russian Academy of Sciences

Agrophysical Research Institute

St. Petersburg, Russia

Аннотация: IoT-управление информационным потоком в русле взаимодействия полевых и аналитических работ в автоматизированном и роботизированном режимах, являются в современном научном ландшафте преобладающим. Раскрытие особенностей формирования реляционной структуры базы данных для хранения данных, получаемых с сенсорных устройств в полевых условиях, позволит снизить затраты на обработку и последующий анализ информации на процессинговом уровне IoT-управления.

Summary: IoT-information flow management in line with the interaction of field and analytical work in automated and robotic modes, are prevalent in the modern scientific landscape. Disclosure of the features of forming a relational database structure for storing data received from sensor devices in the field will reduce the cost of processing and subsequent analysis of information at the processing level of IoT management.

Ключевые слова: агротехнологии, агромониторинг, интернет вещей, архитектура интеллектуального узла управления, точное земледелие, отношения в наборах данных, автоматизация, управление, почва, растение, атмосфера.

Keywords: agrotechnology, agromonitoring, Internet of things, architecture of an intelligent control node, precision agriculture, relationships in datasets, automation, management, soil, plant, atmosphere, surface layer.

IoT-управление агромониторингом (от точного земледелия и анализа QTL культуры [1,2] до дифференциации технологических воздействий [3]) в современных научных исследованиях позиционируется как процесс взаимодействия в рамках концепции интернета вещей (IoT) между информационными Системами Управления Мониторингом Агротерриторий (СУМА) с целью прогнозирования последствий действия агротехнологий и планирования мероприятий по повышению продукционной способности агрокультур. Взаимодействие между информационными IoT-системами СУМА, как правило, осуществляется на пяти информационных уровнях:

1. Сенсорный (или аппаратный) уровень

1.1. Подуровень формирования сигналов (как, правило, аналоговых) установленными в зоне детектирования параметров системы «почва – растение – приземный слой атмосферы» датчиками различного физического принципа действия [4]: емкостного, индуктивного, потенциометрического, термического, вибрационного и др.;

1.2. Подуровень приведения детектирующего аналогового сигнала от датчиков в форму, удобную для передачи на процессинговый уровень, путем аналого-цифрового преобразования [5] (АЦП).

1.3. Подуровень приема и приведения управляющего цифрового сигнала от процессингового уровня в форму, удобную для исполнительных устройств, путем цифро-аналогового преобразования (ЦАП).

1.4. Подуровень исполнения преобразованного ЦАП управляющего цифрового сигнала от процессингового уровня актуаторами в автоматическом ре-

жиме (например, создание потенциального запаса энергии на насосной установке для последующего адресного микрокапельного орошения или распыливания).

2. *Сетевой уровень.*

2.1. Подуровень оптимизации передачи данных, например, с помощью кластеризации полученных от датчиков данных по принципу C-LEACH [6] (Central Low-energy adaptive clustering hierarchy) – выбора базовой станции [7], ключевых узлов передачи с наименьшим расстоянием между ними, создание кластеров и выбора порядка соединения между ними.

2.2. Подуровень выбора протокола передачи данных между кластерами и, в конечном итоге, на процессинговый уровень, в системы хранения (базы данных) и обработки сенсорных данных, на котором осуществляется выбор между Wi-Fi, Zigbee, LoRa, GPRS, NRF, Bluetooth или другими альтернативными протоколами [8,9], предпочтительно поддерживающие непрерывную синхронизацию между системами облачного хранения [10].

3. *Процессинговый уровень.*

3.1. Подуровень управления сенсорными данными [11].

3.2. Подуровень хранения (локального или облачного) сенсорных данных.

3.3. Подуровень обработки и анализа данных с применением локального специализированного ПО или использованием облачных платформ.

4. *Пользовательский (интерфейсный) уровень.*

4.1. Подуровень доступа к сенсорным полевым данным в реальном времени с модулем визуализации.

4.2. Подуровень принятия решений с использованием интегрированных систем поддержки принятия решения [12,13].

4.3. Подуровень управления актуаторами.

5. *Уровень защиты информации.*

Все эти уровни заслуживают отдельного рассмотрения в каждом конкретном исследовании. Тем не менее, рассмотрим частный случай организации хранения полевых данных на соответствующем подуровне информационной IoT-системы СУМА. На текущий момент недостаточно полно рассмотрены вопросы о реляционной структуре хранения данных, аккумулируемых в поле на аппаратном уровне датчиками (или интегральной системой датчиков), недостаточно полно раскрыта информация о рисках планирования и электронной компонентной базы [14].

Пусть необходимо хранить данные, поступающие от системы датчиков, интегрированных в едином интеллектуальном сенсорном модуле (ЕИСМ). Единый модуль желательно использовать в атмосферном исполнении с допуском работоспособности в широком диапазоне температуры, влажности и осадков, а также электромагнитных помех от ЛЭП. Единый модуль должен быть выполнен с возможностью локальной установки для сбора параметров как для конкретной единичной агрокультуры, так и на определенной площади по обширному спектру параметров: температуры и влажности почвы, кислотности почвы, температуры и влажности воздуха, уровня естественной освещенности, уровня газообразных веществ (например, VOC, NO₂, C₂H₅CH, CO и др.), выделяемых растениями и (или) присутствующих в приземном слое атмосферы. Тогда алгоритм технологического процесса сбора и передачи данных можно представить следующим образом.

ЕИСМ на аппаратном уровне управления считывает данные со своих датчиков, собирая информацию о системе «почва – растение – приземной слой атмосферы», далее на сетевом уровне проверяет, доступна ли точка доступа для передачи данных по выбранному согласно целям и задачам протоколу передачи. В случае положительного ответа от принимающего кластера, ЕИСМ загружает преобразованные путем АЦП данные с датчиков на удаленный сервер для дальнейшей обработки и анализа на процессинговом уровне. Если принимающий узел связи недоступен, ЕИСМ имеет возможность хранить данные локально (ПЗУ или флэш-карта) для последующей загрузки после восстановления связи с узлом связи на сетевом уровне управления, при этом активируется подпрограмма таймера повторных соединений. После установления связи с удаленным кластером ЕИСМ отправляет сенсорные данные, которые на процессинговом уровне управления формируются для хранения в базу данных, реализованную на платформе SQLServer. После размещения в БД данные могут быть переданы на пользовательский уровень управления, где с помощью веб-интерфейса, после применения алгоритма визуализации, отслеживаются в режиме реального времени.

Классическая реляционная структура информационной базы [15] для облачного хранения сенсорных данных базируется на двух таблицах – таблице с данными от единичных комплексных датчиков «ЕИСМ_1», «ЕИСМ_2», «ЕИСМ_3» и так далее по числу узлов, а также на таблице с данными каждой конкретной персоны «Справочник_Пользователей», привлекаемой к анализу

данных, организованной с использованием алгоритмов аутентификации на уровне защиты информации.

При этом важной особенностью при построении реляционной модели [11] данных будет являться наличие отношения (реляции) типа «один-ко-многим» между сенсорными данными таблиц «ЕИСМ_1», «ЕИСМ_2»... «ЕИСМ_n» (n – количество датчиков) и данными отдельных пользователей в таблице «Справочник_Пользователей». Это означает, что, хотя у пользователя может быть много показаний датчиков, каждое измерение датчика связано с одним пользователем. Поле «ИД_Пользователя» в таблице «Справочник_Пользователей» является первичным ключом с атрибутом отношения «один», а поле «ИД_Пользователя» в таблице «ЕИСМ_1» внешним ключом с атрибутом «многие». Выполнение данного условия гарантирует, что каждое показание датчиков ЕИСМ связано с определенным пользователем.

Таблица «Справочник_Пользователей» может содержать множество полей основными из которых являются следующие: ключевое поле «ИД_Пользователя», поле для хранения электронной почты «Email_Пользователя», поле для хранения пароля «Пароль_Пользователя», поле для хранения сведения об устройстве доступа, с которого персона запрашивает доступ к БД, «ИД_УстройствоЗапроса», а также поля с уникальным именем пользователя для однозначной идентификации в системе «Никнейм_Пользователя». С другой стороны, в таблице «ЕИСМ_1» существуют основные четыре поля: «ИД_Пользователя», «ИД_ЕИСМ1», «Координаты_ЕИСМ» и «Дата_Время_Показаний», указывающие, соответственно, на конкретного пользователя, на узел ЕИСМ, который развернул и собрал показания датчиков, на географическое местоположение устройства (широта, долгота, высота НУМ), на фиксированные дату и время, когда были сняты показания датчиков. Остальные поля отводятся под хранение цифровых данных, аккумулярованных с соответствующих датчиков, количество таких полей зависит от количества датчиков в каждом узле ЕИСМ.

Таким образом, правильная организация хранения сенсорных данных, использование алгоритмов их кластеризации [16] при формировании аналитических запросов на процессинговом уровне IoT-управления, позволит сократить затраты на использование информационного пространства облачных серверов, а также ускорить процесс обработки данных для своевременного планирования управляющего воздействия на актуаторы и последующего SWOT-, статистиче-

ского или других видов анализа откликов на используемый технологический прием.

Список литературы

1. Картирование QTL у яровой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) в контролируемых условиях агроэкобиополигона / Ю. В. Чесноков, Г. В. Мирская, Е. В. Канаш [и др.] // Физиология растений. – 2017. – Т. 64, № 1. – С. 55-68. – DOI: 10.7868/S0015330316060026.

2. Чесноков, Ю. В. Биохимические маркеры в генетических исследованиях культурных растений: применимость и ограничения / Ю. В. Чесноков // Сельскохозяйственная биология. – 2019. – Т. 54, № 5. – С. 863-874. – DOI: 10.15389/agrobiology.2019.5.863rus.

3. Комаров, А.А. Анализ пространственных распределений урожайности для обоснования дифференциации агротехнологии / А. А. Комаров, Ю. Г. Захарян, А. Д. Кирсанов // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2017. – № 47. – С. 48-57.

4. Karothia, R. Internet of thing (IoT) enabled smart sensor node (SSN) to measure the soil and environmental parameters for smart farming / R. Karothia, M.K. Chattopadhyay // CSI Transactions on ICT. –2024. –№ 4 (12).– С. 119-135.– DOI: 10.1007/s40012-024-00402-8.

5. How to increase the analog-to-digital converter speed in optoelectronic systems of the seed quality rapid analyzer / S.V. Sokolov, V.V. Kamensky, A.I. Novikov, V. Ivetić // Inventions. – 2019. – Vol. 4, No. 4. – P. 61. – DOI: 10.3390/inventions4040061.

6. Тун, Ю. Разработка алгоритма повышения эффективности протокола маршрутизации C-LEACH / Ю. Тун, Т.П. Новикова, С.А. Евдокимова // Моделирование систем и процессов. – 2022. – Т. 15, № 2. – С. 93-99. – DOI: 10.12737/2219-0767-2022-15-2-93-99.

7. Разработка модели оптимизации выбора площадки базовой станции на основе алгоритма PMET-PSO / Т.П. Новикова, Н.В. Панина, Е.А. Аникеев, Ч. Цзяньцун // Моделирование систем и процессов. – 2022. – Т. 15, № 4. – С. 61-69. – DOI: 10.12737/2219-0767-2022-15-4-61-69.

8. Feng, X. Study of Wireless Communication Technologies on Internet of things for Precision Agriculture / X.Feng, F.Yan, X.Liu // Wirel. Pers. Commun. 2019. – Vol. 108. – Pp. 1785-1802.–DOI:<https://doi.org/10.1007/s11277-019-06496-7>.

9. Avşar, E. Wireless communication protocols in smart agriculture: a review on applications, challenges and future trends / E.Avşar, M.N. Mowla // Ad. Hoc. Netw. – 2022. – Vol. 136. – S. 102982. –DOI: <https://doi.org/10.1016/j.adhoc.2022.102982>.

10. Новикова, Т. П. Облачные технологии – становление и перспективы развития / Т. П. Новикова, В. В. Лядов, М. В. Назаренко // Моделирование систем и процессов. – 2013. – № 1. – С. 37-39.

11. Новикова, Т. П. Управление данными / Т. П. Новикова. – Воронеж : Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 2022. – 106 с. – ISBN 978-5-7994-0982-1.

12. Новикова, Т. П. Информационные системы управления / Т.П. Новикова, С. А. Евдокимова. – Воронеж : Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 2016. – 148 с. – ISBN 978-5-7994-0749-0.

13. Справочная информационная система FLR-library для адаптивного лесовосстановления: информационная модель / Т.П. Новикова, А.И. Новиков, В.И. Лисицын, Е. П. Петрищев // Лесотехнический журнал. – 2023. – Т. 13, № 4.1(52). – С. 114-124. – DOI: 10.34220/issn.2222-7962/2023.4/7.

14. Беляева, Т.П. Алгоритм управления рисками проектов планирования и реализации электронной компонентной базы / Т.П. Беляева, В.К. Зольников, О.Н. Черкасов // Гетеромагнитная микроэлектроника. – 2011. – № 11. – С. 116-124.

15. Новикова, Т.П. Разработка алгоритма и модели функционирования информационной системы для малого сельскохозяйственного предприятия / Т.П. Новикова, Т.В. Новикова, А.И. Новиков // Моделирование систем и процессов. – 2020. – Т. 13, № 4. – С. 53-58. – DOI: 10.12737/2219-0767-2021-13-4-53-58.

16. Евдокимова, С.А. Применение алгоритмов кластеризации для анализа клиентской базы магазина / С.А. Евдокимова, А.В. Журавлев, Т.П. Новикова // Моделирование систем и процессов. – 2021. – Т. 14, № 2. – С. 4-12. – DOI: 10.12737/2219-0767-2021-14-2-4-12.

References

1. QTL mapping in spring soft wheat (*Triticum aestivum* L.) under controlled conditions of agroecobiopolygon / Yu.V. Chesnokov, G. V. Mirskaya, E. V. Kanash [et al.] // Plant Physiology. – 2017. – Vol. 64, No. 1. – pp. 55-68. – DOI: 10.7868/S0015330316060026.

2. Chesnokov, Yu. V. Biochemical markers in genetic studies of cultivated plants: applicability and limitations / Yu. V. Chesnokov // *Agricultural Biology*. – 2019. – Vol. 54, No. 5. – pp. 863-874. – DOI: 10.15389/agrobiology.2019.5.863rus.
3. Komarov, A.A. Analysis of spatial distributions of yields to substantiate the differentiation of agricultural technology / A. A. Komarov, Yu. G. Zakharyan, A.D. Kirsanov // *Proceedings of the St. Petersburg State Agrarian University*. – 2017. – No. 47. – pp. 48-57.
4. Karothia, R. Internet of thing (IoT) enabled smart sensor node (SSN) to measure the soil and environmental parameters for smart farming / R. Karothia, M.K. Chattopadhyay // *CSI Transactions on ICT*. - 2024. - No. 4 (12). - C. 119-135. - DOI: 10.1007/s40012-024-00402-8.
5. How to increase the analog-to-digital converter speed in optoelectronic systems of the seed quality rapid analyzer / S.V. Sokolov, V.V. Kamensky, A.I. Novikov, V. Ivetić // *Inventions*. – 2019. – Vol. 4, No. 4. – P. 61. – DOI: 10.3390/inventions4040061.
6. Tun, Yu. Development of an algorithm to improve the efficiency of the C-LEACH routing protocol / Yu. Tun, T.P. Novikova, S.A. Evdokimova // *Modeling of systems and processes*. – 2022. – Vol. 15, No. 2. – pp. 93-99. – DOI: 10.12737/2219-0767-2022-15-2-93-99.
7. Development of a model for optimizing the choice of a base station site based on the PMET-PSO algorithm / T.P. Novikova, N.V. Panina, E.A. Anikeev, C. Jiancong // *Modeling of systems and processes*. – 2022. – Vol. 15, No. 4. – pp. 61-69. – DOI: 10.12737/2219-0767-2022-15-4-61-69.
8. Feng, X. Study of Wireless Communication Technologies on Internet of things for Precision Agriculture / X. Feng, F. Yan, X. Liu // *Wirel. Pers. Commun.* 2019. - Vol. 108. – Pp. 1785-1802. - DOI: <https://doi.org/10.1007/s11277-019-06496-7>.
9. Avşar, E. Wireless communication protocols in smart agriculture: a review on applications, challenges and future trends / E. Avşar, M.N. Mowla // *Ad. Hoc. Netw.* – 2022. – Vol. 136. – S. 102982. - DOI: <https://doi.org/10.1016/j.adhoc.2022.102982>.
10. Novikova, T. P. Cloudy technologies – formation and development prospects / T. P. Novikova, V. V. Lyadov, M. V. Nazarenko // *Modeling of systems and processes*. - 2013. – No. 1. – Pp. 37-39.

11. Novikova, T. P. Data management / T. P. Novikova. Voronezh : Voronezh State Forestry Engineering University named after G.F. Morozov, 2022. 106 p. ISBN 978-5-7994-0982-1.

12. Novikova, T.P. Information Management Systems / T.P. Novikova, S. A. Evdokimova. –Voronezh : Voronezh State Forestry Engineering University named after G.F. Morozov, 2016.– 148 p.– ISBN 978-5-7994-0749-0.

13. The FLR-library reference information system for adaptive reforestation: an information model / T.P. Novikova, A.I. Novikov, V.I. Lisitsyn, E. P. Petrishchev // Forestry Engineering Journal. – 2023. – Vol. 13, No. 4.1(52). – pp. 114-124. – DOI: 10.34220/issn.2222-7962/2023.4/7.

14. Belyaeva, T.P. Risk management algorithm for projects planning and implementing an electronic component database / T.P. Belyaeva, V.K. Zolnikov, O.N. Cherkasov // Heteromagnetic microelectronics. - 2011. – No. 11. – pp. 116-124.

15. Novikova, T.P. Development of an algorithm and a model for the functioning of an information system for a small agricultural enterprise / T.P. Novikova, T.V. Novikova, A.I. Novikov // Modeling of systems and processes. – 2020. – Vol. 13, No. 4. – Pp. 53-58. – DOI: 10.12737/2219-0767-2021-13-4-53-58.

16. Evdokimova, S.A. Application of clusterization algorithms for the analysis of the customer base of the store / S.A. Evdokimova, A.V. Zhuravlev, T.P. Novikova // Modeling of systems and processes. – 2021. – Vol. 14, No. 2. – Pp. 4-12. – DOI: 10.12737/2219-0767-2021-14-2-4-12.