

DOI: 10.58168/TBiEc2025_247-252

УДК 631.171 : (631.58 + 681.518.3)

IoT-УПРАВЛЕНИЕ АГРОТЕХНОЛОГИЯМИ: ОСОБЕННОСТИ СЕНСОРНОГО УРОВНЯ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖАНИЯ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ЮВЕНИЛЬНОГО РАСТЕНИЯ

IoT-CONTROL OF AGRICULTURAL TECHNOLOGIES: FEATURES OF THE SENSORY LEVEL OF THE SYSTEM FOR MAINTAINING THE LIFE CYCLE OF A JUVENILE PLANT

Новиков А.И., д.т.н., ведущий научный сотрудник ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт», Санкт-Петербург, Россия

Новикова Т.П., к.т.н., доцент ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», Воронеж, Россия

Чесноков Ю.В., д.б.н., член-корреспондент РАН, ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт», Санкт-Петербург, Россия

Novikov A.I., doctor of Technical Sciences, leading researcher, Agrophysical Research Institute, St. Petersburg, Russia,

Novikova T.P., candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov», Voronezh, Russia

Chesnokov Yu.V., doctor of Biology Sciences, Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Agrophysical Research Institute, St. Petersburg, Russia

Аннотация: управление сигналами, формирующимися датчиками на сенсорном уровне IoT-системы поддержания жизненного цикла ювенильного растения, сопряжено с возможным временным отсутствием каналов передачи данных. Раскрытие особенностей функционирования сенсорного пула, сочетающего как возможности сбора, так и предварительного хранения данных, позволит свести к минимуму темпоральные риски использования данной системы.

Abstract: the control of signals generated by sensors at the sensory level of the IoT-system for maintaining the life cycle of a juvenile plant is associated with the possible temporary absence of data transmission channels. Disclosure of the functioning features of the sensor pool, combining both data collection and pre-storage capabilities, will minimize the temporal risks of using this system.

Ключевые слова: восстановление агролесного ландшафта, управление агротехнологиями, агромониторинг, интернет вещей, сенсорный уровень управления, сенсорный пул, автоматизация, почва, растение, атмосфера.

Keywords: agrotechnology, agromonitoring, Internet of Things, smart farming, sensory control layer, sensory pool, soil, plant, surface layer.

Функционирование и физический смысл любой IoT-системы поддержания

жизненного цикла [1,2] ювенильного растения [3], в принципе, невозможно без аппаратного уровня управления [4,5], представляющего, как правило, базис архитектуры «Sensor to Cloud Framework (SCF) [6,7]». Данный уровень SCF-управления можно разбить на несколько подуровней (как правило, четыре, но может быть и другое количество), один из которых присутствует постоянно. Условно обозначим его ПФС – подуровень формирования сигналов сенсорами различного физического принципа действия. Базовая конструкция сенсора, как правило, состоит из: чувствительного элемента, реагирующего на изменение параметров лим-факторов (солнечной радиации, влажности, температуры, давления и других лимитирующих факторов); управляющего элемента в виде электронной компонентной базы [9,10], формирующей аналоговый сигнал; питающего элемента (источника электрической энергии); защитного элемента (корпуса), обеспечивающего степени защиты по IP от твердых пылевых частиц не менее 2, от влаги не менее 4.

Точность детектирования параметров абиотических (засуха, переувлажнение, холод, экстремальная жара, засоленность и др.) и биотических лим-факторов системы «почва – растение – приземный слой атмосферы» зависит от мест установки сенсора относительно ювенильного растения [6], от расположения сенсоров относительно друг друга [11], от расположения базовой станции формирования и передачи сигналов [12]. Немаловажным фактором оценки отклика ювенильного растения на стрессоры представляется тип (используемый физический принцип) сенсора, в зависимости от которого чувствительный элемент реагирует на изменение оптических характеристик листовой поверхности растения, на изменение концентрации в воздухе вблизи растения летучих соединений [13,14], изменение влажности почвы, или другие изменения.

Небезынтересным представляется использование сенсоров, построенных на физическом принципе увеличения электрической проводимости системы при увеличении ppm, для детектирования концентрации NO_2 , выделяемого при нитрификации в процессе онтогенеза. Наряду с этим, необходим точный контроль молекул угарного газа, увеличение концентрации которых вблизи растения является индикатором как нежелательных воздействий жесткого излучения на длине волны ниже 380 нм, засоления, тяжелых металлов, так и индикатором начала физиологических процессов: развития ризосферы, прорастания семян, закрытия устьиц на листовых пластинах.

Представляется, что для минимально полноценного агромониторинга физических параметров системы «почва – растение – приземный слой атмосферы» IoT-системе поддержания жизненного цикла ювенильного растения необходимы данные с восьми сенсоров: двух – для детектирования температуры ($-40...+125\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\pm 0.3\text{ }^{\circ}\text{C}$) и относительной влажности ($0...100\text{ \%RH}$, $\pm 3\text{ \%RH}$) приземного слоя атмосферы, двух – для детектирования температуры ($-10...+85\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$) и влажности ($0...100\%$, $\pm 5\%$) почвы на определенной глубине, четырех – для детектирования концентрации летучих веществ ($\text{NO}_2 - 0,1...10,0\text{ ppm}$, $\pm 0.1\text{ ppm}$; $\text{CO} - 5...5000\text{ ppm}$, $\pm 10\text{ ppm}$; $\text{VOC} - 1...500\text{ ppm}$, $\pm 5\text{ ppm}$; $\text{C}_2\text{H}_5\text{CH} - 1...500\text{ ppm}$, $\pm 5\text{ ppm}$) в приземном слое вблизи растения, косвенно характеризующих как рост растения,

так и успешность применения агротехнологий для получения урожая. Совокупность сенсоров можно условно объединить термином «сенсорный пул», который при современном уровне миниатюризации ЭКБ вполне логично объединить в общем корпусе.

Таким образом, SCF-архитектура диктует особенности конструктивно-технологической схемы сенсорного пула:

- наличие АЦП для преобразования сигналов в двоичную систему, воспринимаемую микроконтроллером;
- наличие микроконтроллера для комплектования потоков преобразованных АЦП данных в блоки для временного хранения или отправки, а также для управления процессами передачи данных в облако на процессинговый уровень;
- наличие пылевлагозащищенного корпуса;
- наличие блока распределения энергии, достаточного для питания сенсоров и ЭКБ, устойчивого к воздействию низких-высоких температур, обеспечивающего высокий уровень автономной работы;
- наличие модуля связи;
- наличие модуля временного хранения (EEPROM);
- наличие модуля управления актуаторами (при необходимости).

Список литературы

1. Беляева, Т. П. Интегрированная среда управления производственными процессами на основе ИПИ-технологий / Т. П. Беляева // Моделирование систем и процессов. – 2010. – № 1-2. – С. 18-23. – EDN NXNADH.
2. 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. – EDN QDCYJV.
3. The Root Collar Diameter Growth Reveals a Strong Relationship with the Height Growth of Juvenile Scots Pine Trees from Seeds Differentiated by Spectrometric Feature / P. Tylek [et al.] // Forests. – 2023. – Vol. 14, No. 6. – P. 1164. – DOI 10.3390/f14061164. – EDN ONMQTP.
4. Новикова, Т. П. Состояние и задачи развития интегрированных информационных систем управления / Т. П. Новикова // Наука XXI века: проблемы и перспективы : Материалы Международной научно-практической конференции, Уфа, 29–30 мая 2013 года. – Уфа: Автономная некоммерческая организация "Исследовательский центр информационно-правовых технологий", 2013. – С. 106-108. – EDN SLAJPB.
5. Информационные системы управления / С. А. Евдокимова [и др.]. – Воронеж : Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 2016. – 148 с. – ISBN 978-5-7994-0749-0. – EDN UAVZFU.

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

7. Облачные технологии – становление и перспективы развития / В. В. Лядов [и др.] // *Моделирование систем и процессов*. – 2013. – № 1. – С. 37-39. – EDN RBPJFR.

8. 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. – EDN ORGGBP.

9. Novikova, T. P. Economic evaluation of mathematical methods application in the management systems of electronic component base development for forest machines / T. P. Novikova, A. I. Novikov // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science : International scientific and practical conference "Forest ecosystems as global resource of the biosphere: calls, threats, solutions" (Forestry-2019), Voronezh, 23–24 октября 2019 года*. Vol. 392. – Voronezh: IOP Publishing Ltd, 2019. – P. 012035. – DOI 10.1088/1755-1315/392/1/012035. – EDN DDRBRQ.

10. Soulis K. X., Elmaloglou S., Dercas N. Investigating the effects of soil moisture sensors positioning and accuracy on soil moisture based drip irrigation scheduling systems // *Agricultural Water Management*. 2015. 148. P. 258–268. DOI 10.1016/j.agwat.2014.10.015.

11. Разработка модели оптимизации выбора площадки базовой станции на основе алгоритма PMET-PSO / Н. В. Панина [и др.] // *Моделирование систем и процессов*. – 2022. – Т. 15, № 4. – С. 61-69. – DOI 10.12737/2219-0767-2022-15-4-61-69. – EDN XLVOIM.

12. How to increase the analog-to-digital converter speed in optoelectronic systems of the seed quality rapid analyzer / S. V. Sokolov [et al.] // *Inventions*. – 2019. – Vol. 4, No. 4. – P. 61. – DOI 10.3390/inventions4040061. – EDN DKXPHX.

13. Kashyap B, Kumar R (2021) Sensing Methodologies in Agriculture for Monitoring Biotic Stress in Plants Due to Pathogens and Pests, *Inventions*, vol. 6, no. 2, p. 29, Apr. <https://doi.org/10.3390/inventions6020029>.

14. Lobell DB, Di Tommaso S, Burney JA (Jun. 2022) Globally ubiquitous negative effects of nitrogen dioxide on crop growth. *Sci Adv* 8(22). <https://doi.org/10.1126/sciadv.abm9909>.

References

1. Belyaeva, TP Integrierte Umgebung für die Verwaltung von Produktionsprozessen basierend auf IPI-Technologien / TP Belyaeva // *Modellierung von Systemen und Prozessen*. – 2010. – Nr. 1-2. – S. 18–23. – EDN NXNADH.

2. Novikova, TP Entwicklung eines Algorithmus und Modells für die Funktionsweise eines Informationssystems für ein kleines landwirtschaftliches Unternehmen / TP Novikova, TV Novikova, AI Novikov // *Modellierung von Systemen und Prozessen*. – 2020. – Band 13, Nr. 4. – S. 53–58. – DOI 10.12737/2219-0767-2021-13-4-53-58. – EDN QDCYJV.

3. Das Wachstum des Wurzelhalsdurchmessers weist eine starke Beziehung zum Höhenwachstum junger Waldkiefern aus Samen auf, die durch spektrometrische Merkmale differenziert wurden / P. Tylek [et al.] // *Forests*. – 2023. – Vol. 14, No. 6. – S. 1164. – DOI 10.3390/f14061164. – EDN ONMQTP.

4. Novikova, T. P. Stand und Aufgaben der Entwicklung integrierter Informationsmanagementsysteme / T. P. Novikova // *Wissenschaft des 21. Jahrhunderts: Probleme und Perspektiven: Proceedings der Internationalen wissenschaftlich-praktischen Konferenz*, Ufa, 29.–30. Mai 2013. – Ufa: Autonome gemeinnützige Organisation „Forschungszentrum für Informations- und Rechtstechnologien“, 2013. – S. 106–108. – EDN SLAJPB.

5. Managementinformationssysteme / S. A. Evdokimova [et al.]. – Woronesch: Staatliche Forstingenieuruniversität Woronesch, benannt nach G. F. Morozov, 2016. – 148 S. – ISBN 978-5-7994-0749-0. – EDN UAVZFU.

6. Karothia R., Chattopadhyay M. K. Internet of Things (IoT)-fähiger intelligenter Sensorknoten (SSN) zur Messung von Boden- und Umweltparametern für Smart Farming // *CSI Transactions on ICT*. 2024. Nr. 4 (12). S. 119–135. DOI 10.1007/s40012-024-00402-8.

7. Cloud-Technologien – Entstehung und Entwicklungsperspektiven / V. V. Lyadov [et al.] // *Modellierung von Systemen und Prozessen*. – 2013. – Nr. 1. – S. 37–39. – EDN RBPJFR.

8. Belyaeva, T. P. Algorithmus zum Risikomanagement von Projekten zur Planung und Implementierung einer elektronischen Komponentenbasis / T. P. Belyaeva, V. K. Zolnikov, O. N. Cherkasov // *Heteromagnetische Mikroelektronik*. – 2011. – Nr. 11. – S. 116–124. – EDN ORGGBP.

9. Novikova, T. P. Ökonomische Bewertung der Anwendung mathematischer Methoden in Managementsystemen zur Entwicklung einer elektronischen Komponentenbasis für Forstmaschinen / T. P. Novikova, A. I. Novikov // *IOP-Konferenzreihe: Erd- und Umweltwissenschaften: Internationale wissenschaftliche und praktische Konferenz „Waldökosysteme als globale Ressource der Biosphäre: Herausforderungen, Bedrohungen, Lösungen“ (Forestry-2019)*, Woronesch, 23.–24. Oktober 2019. Band 392. – Woronesch: IOP Publishing Ltd, 2019. – S. 012035. – DOI 10.1088/1755-1315/392/1/012035. – EDN DDRBRQ.

10. Soulis K. X., Elmaloglou S., Dercas N. Untersuchung der Auswirkungen der Positionierung und Genauigkeit von Bodenfeuchtesensoren auf bodenfeuchtebasierte Tropfbewässerungsplanungssysteme // *Landwirtschaftliches Wassermanagement*. 2015. 148. S. 258–268. DOI 10.1016/j.agwat.2014.10.015.

11. Entwicklung eines Optimierungsmodells für die Standortauswahl von Basisstationen basierend auf dem PMET-PSO-Algorithmus / N. V. Panina [et al.] // *Modellierung von Systemen und Prozessen*. – 2022. – T. 15, Nr. 4. – S. 61–69. – DOI 10.12737/2219-0767-2022-15-4-61-69. – EDN XLVOIM.

12. Wie lässt sich die Geschwindigkeit des Analog-Digital-Wandlers in optoelektronischen Systemen des Saatgutqualitäts-Schnellanalysators erhöhen? / S. V. Sokolov [et al.] // *Erfindungen*. – 2019. – Band 4, Nr. 4. – S. 61. – DOI 10.3390/inventions4040061. – EDN DKXPHX.

13. Kashyap B., Kumar R. (2021) Sensormethoden in der Landwirtschaft zur Überwachung von biotischem Stress bei Pflanzen aufgrund von Krankheitserregern und Schädlingen, Erfindungen, Band 6, Nr. 2, S. 29. April. <https://doi.org/10.3390/inventions6020029>.

14. Lobell DB, Di Tommaso S, Burney JA (Juni 2022) Global allgegenwärtige negative Auswirkungen von Stickstoffdioxid auf das Pflanzenwachstum. Sci Adv 8(22). <https://doi.org/10.1126/sciadv.abm9909>.