

РАЗРАБОТКА ПРОТОТИПА АРХИТЕКТУРЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО МИКРОКОНТРОЛЛЕРА ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ПРИЛОЖЕНИЙ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ

Ю. Т. Зырянов¹, Д. Ш. Калхиташвили², С. П. Хрипунов³

¹ Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия

² Российская академия народного хозяйства и государственной службы
при Президенте Российской Федерации, Москва, Россия

³ Институт проблем управления имени В. А. Трапезникова РАН, Москва, Россия

¹ zut-tmb@mail.ru, ² davidkalkhitashvili@gmail.com, ³ hsp61@yandex.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* В рамках современной парадигмы цифровой трансформации общества и бурного роста количества цифровых технологий внедрение Интернета вещей (IoT) происходит во все сферы жизни человека. Данные технологии применяются в промышленном секторе экономики и в частной жизни. Разработка и внедрение Интернета вещей – это парадигма, заключающаяся в разработке связанных между собой технических объектов при помощи различных методов и протоколов связи, с передачей данных в облачный центр. Данная технология имеет ряд ограничений: в виде объема памяти, электрического заряда и низкой эффективности процессора. Второе ограничение – отсутствие алгоритмов машинного обучения. В связи с этим требуются новые методы и инженерные подходы для решения данной проблемы. Цель статьи – разработка архитектуры прототипа микроконтроллера для контроля технического состояния информационно-измерительных и управляющих систем на основе концепции Интернета вещей и алгоритмов машинного обучения для обработки многопоточных источников данных. *Материалы и методы.* В качестве объекта исследования выступает архитектура микроконтроллера Интернета вещей. Для решения поставленной задачи применен метод системного подхода. *Результаты.* Разработана архитектура интеллектуального микроконтроллера с использованием шины для шлюзов, а также с применением технологии MEMS и алгоритмов машинного обучения. *Выводы.* Данный подход позволяет обрабатывать многопоточные данные в динамическом режиме с применением алгоритмов машинного обучения, используемые в парадигме Интернета вещей, для разработки алгоритмов контроля технического состояния информационно-измерительных и управляющих систем.

Ключевые слова: приложения Интернета вещей, информационно-измерительные и управляющие системы, алгоритмы машинного обучения, архитектура интеллектуального микроконтроллера

Для цитирования: Зырянов Ю. Т., Калхиташвили Д. Ш., Хрипунов С. П. Разработка прототипа архитектуры интеллектуального микроконтроллера при реализации приложений интернета вещей // Надежность и качество сложных систем. 2024. № 3. С. 118–123. doi: 10.21685/2307-4205-2024-3-13

DEVELOPMENT OF A PROTOTYPE OF INTELLIGENT MICROCONTROLLER ARCHITECTURE WHEN IMPLEMENTING INTERNET OF THINGS APPLICATIONS

Yu.T. Zyryanov¹, D.Sh. Kalkhitashvili², S.P. Khripunov³

¹ Tambov State Technical University, Tambov, Russia

² Russian Academy of National Economy and Public Administration
under the President of the Russian Federation, Moscow, Russia

³ Institute of Management Problems named after V.A. Trapeznikov RAS, Moscow, Russia

¹ zut-tmb@mail.ru, ² davidkalkhitashvili@gmail.com, ³ hsp61@yandex.ru

Abstract. *Background.* Within the framework of the modern paradigm of the digital transformation of society and the rapid growth of the number of digital technologies, the introduction of the Internet of things (IoT) occurs in all spheres of human life. These technologies are used in the industrial sector of the economy and in private life. The development and implementation of the Internet of Things is a paradigm that consists of the development of interconnected technical objects using various communication methods and protocols, with data transferred to a cloud center.

This technology has a number of limitations: in the form of memory capacity, electrical charge and low processor efficiency. Second limitation: lack of machine learning algorithms. In this regard, new methods and engineering approaches are required to solve this problem. Purpose of the article – development of a microcontroller prototype architecture for monitoring the technical condition of information, measuring and control systems (IMS) based on the concept of the Internet of Things and machine learning algorithms for processing multi-threaded data sources. *Materials and methods*: the object of research is the architecture of the Internet of Things microcontroller. To solve the problem, a systematic approach method was used. *Results*. An intelligent microcontroller architecture has been developed using a gateway bus, as well as using MEMS technology and machine learning algorithms. *Conclusions*. This approach allows you to process multi-threaded data in a dynamic mode using machine learning algorithms, used in the Internet of Things paradigm to develop algorithms for monitoring the technical condition of automated control systems.

Keywords: Internet of Things applications, information-measuring and control systems, machine learning algorithms, intelligent microcontroller architecture

For citation: Zyryanov Yu.T., Kalkhitashvili D.Sh., Khripunov S.P. Development of a prototype of intelligent microcontroller architecture when implementing Internet of things applications. *Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh sistem = Reliability and quality of complex systems*. 2024;(3):118–123. (In Russ.). doi: 10.21685/2307-4205-2024-3-13

Введение

В последнее время ведется активная работа по разработке концептуальных идей, связанных с интернет-вещами, а также их воплощения, а также созданию различных подходов с их использованием. В научной литературе представлены инженерные решения технических объектов и их элементов на уровне аппаратной среды [1–6]. Разрабатываются различные компоненты данных технических объектов и усвершенствуются готовые решения. Необходимо отметить, что основной задачей интернет-вещей является процесс обмена данных с облачными центрами. Иными словами, Интернет вещи выполняет роль маршрутизатора: от сенсорных устройств передают данные в облачный центр, после чего получают обратно сигнал о выполнении той или иной функции, после чего микроконтроллер данного устройства подает электромагнитный сигнал на движущее устройство [7]. Такой принцип работы не позволяет в полной мере называть данную категорию технических объектов – «умными устройствами», так как они не выполняют интеллектуальных функций внутри себя, а выполняют роль ретранслятора сигнала для исполнительного устройства (системы). Предлагается внедрить алгоритмы машинного обучения (технологии MEMS) [8–10] как один из приемов, позволяющих увеличить производительность данного микроконтроллера, а также внедрения шлюзов, объединенных сетевой шиной для динамической обработки данных.

Результаты исследования

В качестве объекта исследования использована архитектура программной среды интернет-вещей, представленная на рис. 1.



Рис. 1. Архитектура ASIS программной среды микроконтроллера

Типовая архитектура программной среды микроконтроллера имеет три уровня: восприятия, связи и пользовательский.

Уровень восприятия получает данные с датчиков и передает их пользователю, уровень связи осуществляет процесс передачи данных с помощью протоколов связи, а пользовательский уровень представлен для анализа полученных данных и принятия решения о выборе выполняемой функции (рис. 2).



Рис. 2. Упрощенная схема AS-IS принципа работы «интеллектуального» микроконтроллера

С учетом ограничений вычислительных мощностей и объема электрического заряда батареи были проанализированы разработки микроконтроллеров с использованием шлюзов, позволяющих оптимизировать вычислительные мощности на процесс обмена данными с другими микропроцессорами и облачным центром. Основываясь на данных анализа по процессу «беспроводного» обмена данными, был выделен подход к применению общей сетевой и локальных шин, позволяющий снизить нагрузку на процессор (рис. 3).

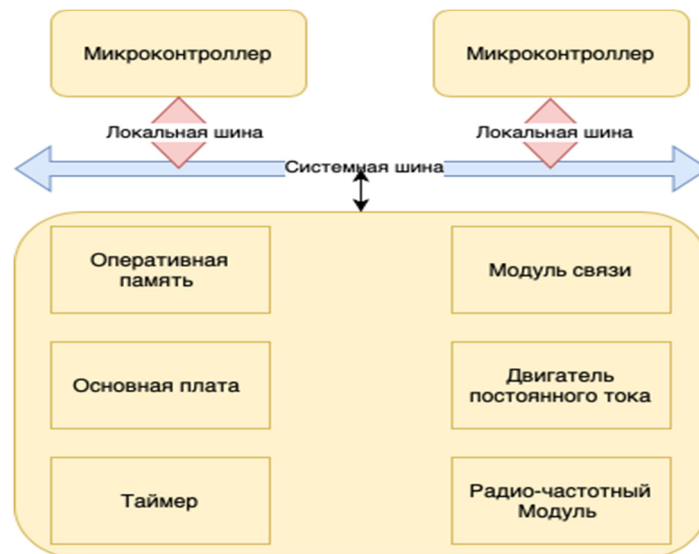


Рис. 3. Архитектура «интеллектуального» микроконтроллера

Использование шин необходимо также для обеспечения работы с динамическими потоками данных. Однако применение шины в свою очередь повлияло на архитектуру программного уровня микроконтроллера. После изменений, вызванных применением шины, архитектура интеллектуального микроконтроллера включает в себя [11, 12]: основную плату, модуль связи, двигатель постоянного тока, оперативную память, радиочастотный модуль, таймер.

Для добавления функции применения алгоритмов машинного обучения в работу микроконтроллера и для повышения эффективности обработки потока данных использовалась технология МЭМС (microelectromechanical systems MEMS).

После того, как данные подходы были применены, в архитектуру программной среды добавляется уровень управления (рис. 4).

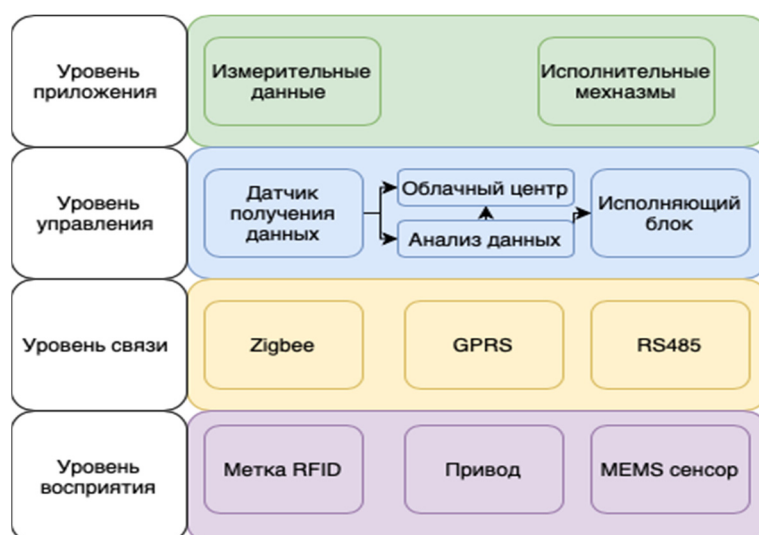


Рис. 4. Архитектура TOBE программной среды «интеллектуального» микроконтроллера

Таким образом, полученная архитектура программной среды с использованием алгоритмов машинного обучения и применение меток RFID [13] придают техническому объекту атрибуты интеллектуального информационно-измерительного устройства (рис. 5).

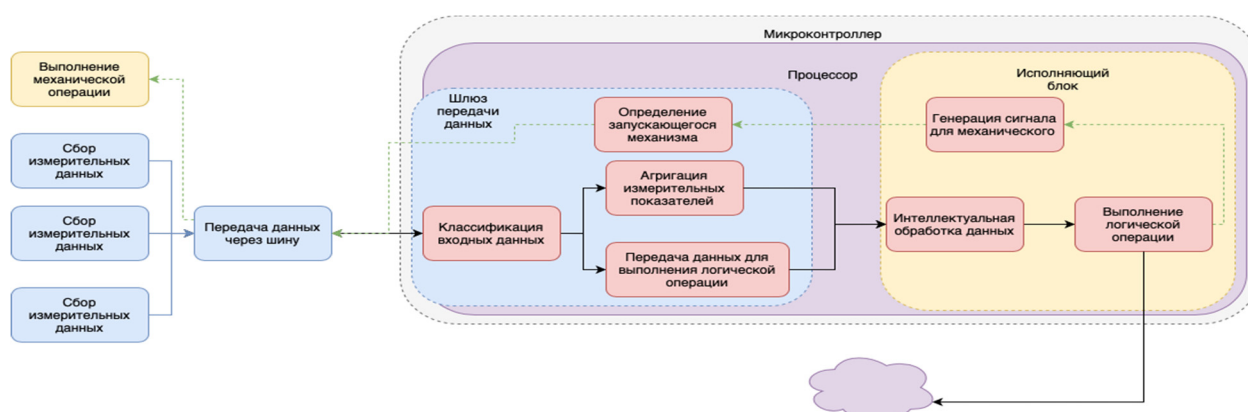


Рис. 5. Упрощенная схема То-Ве принципа работы «интеллектуального» микроконтроллера

В связи с тем, что данное устройство собирает данные из внешней среды, обрабатывает данные и выполняет логические операции, а после посылает сигналы исполнительным системам – это позволяет действовать данной системе автономно.

В табл. 1 представлена сравнительная характеристика функциональных возможностей рассматриваемых архитектур.

Таблица 1

Сравнительная характеристика функциональных возможностей рассматриваемых архитектур

Архитектура	Интеллектуальный микроконтроллер	Стандартный микроконтроллер
Обработка динамических потоков данных	Да	Только их передача и получение готового результата
Наличие алгоритмов машинного обучения	Да	Полное отсутствие
Способ взаимодействия с иными микроконтроллерами	Анализ входных данных и передача результата	Передача входных данных в облачный центр
Участие человека в принятии решения	Не требуется	Требуется активное участие человека
Наличие человеческого фактора	Отсутствует	Присутствует

Заключение

В результате исследования проведен анализ литературы, связанный с разработкой элементов для Интернета вещей, были проанализированы архитектуры Интернета вещей. Модифицирована существующая архитектура, которая позволяет производить обработку многопоточных данных с помощью интеллектуального шлюза в динамическом режиме. Предложенная архитектура позволяет применять алгоритмы машинного обучения для обработки многопоточных источников данных, полученных от сенсорных сетей, что в свою очередь за счет автоматизации процесса позволяет уменьшить расходы на содержание оператора управляющей системы, а также снижает уровень опасности при обслуживании такого оборудования, как электрогенераторы, атомные реакторы, теплоэлектростанции и др.

Список литературы

1. Li Deyi, Du Yi. *Artificial Intelligence with Uncertainty*. New York : Chapman and Hall, 2007. 376 p. doi: 10.1201/9781584889991
2. Наим М. Выбор распределенного шлюза для связи M2M в когнитивных сетях 5G // IEEE. 2017. № 31. С. 94–100.
3. Чен Ч. Х. Беспроводной биомеметический датчик для обнаружения активных белков на основе наномеханики // IEEE Transactions on Biological Engineering. 2009. № 56. С. 462–470.
4. Чен Ч. Х. Шлюз периферийных вычислений промышленного Интернета вещей с использованием нескольких совместных микроконтроллеров // IEEE. 2018. № 32. С. 24–32.
5. Банайе Ф. Анализ производительности многопоточного шлюза Интернета вещей // IEEE Internet Things J. 2018. № 6. С. 3143–3155.
6. Кан Б. Интернет всего: крупномасштабный автономный шлюз Интернета вещей // IEEE Transactions on computing systems. 2017. № 3. С. 206–214.
7. Интеллектуальный контроллер АТС. URL: <https://energy-utilities.com>
8. Буржуа Дж., Гольдштейн С. С. Распределенные интеллектуальные МЭМС: достижения и перспективы // Материалы Международной конференции по инновациям в области ИКТ (Охрид, Македония, 12–15 сентября 2012 г.). Берлин ; Гейдельберг : Springer, 2012. С. 15–25.
9. Белокопытов М. Л., Ушанев К. В. Модель интеллектуализированной системы контроля и диагностирования бортовой аппаратуры космических аппаратов на этапе их испытаний и применения // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2023. № 1. С. 62–69. doi: 10.21685/2307-5538-2023-1-8
10. Вийкари В., Сеппа Х. Концепция RFID Mems-датчика, основанная на интермодуляционных искажениях // IEEE Sens. J. 2009. № 9. С. 1918–1923.
11. Лазареску М. Т. Разработка платформы WSN для долгосрочного мониторинга окружающей среды для приложений Интернета вещей // IEEE J. Emerging and Selected Topics in Circuits and Systems. 2013. № 3. С. 45–54.
12. Григорьян Л. Р., Богатов Н. М., Григорьян Р. Л. Применение микроконтроллеров в программно-конфигурируемом измерительном тракте коммутационно-тактовой фазоизмерительной аппаратуре // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2023. № 1. С. 45–55. doi: 10.21685/2307-5538-2023-1-6
13. Уэлбурн Э. Создание Интернета вещей с использованием RFID: опыт экосистемы RFID // IEEE Internet Computing. 2009. № 13. С. 48–55.

References

1. Li Deyi, Du Yi. *Artificial Intelligence with Uncertainty*. New York: Chapman and Hall, 2007:376. doi: 10.1201/9781584889991
2. Naim M. Choosing a distributed gateway for M2M communication in 5G cognitive networks. *IEEE*. 2017;(31):94–100. (In Russ.)
3. Chen Ch.Kh. Wireless biomemetic sensor for detecting active proteins based on nanomechanics. *IEEE Transactions on Biological Engineering*. 2009;(56):462–470. (In Russ.)
4. Chen Ch.Kh. Gateway of peripheral computing of the industrial Internet of Things using several joint microcontrollers. *IEEE*. 2018;(32):24–32. (In Russ.)
5. Banaye F. Performance analysis of the multithreaded gateway of the Internet of Things. *IEEE Internet Things J*. 2018;(6):3143–3155. (In Russ.)
6. Kan B. Internet of Everything: a large-scale autonomous gateway of the Internet of Things. *IEEE Transactions on computing systems*. 2017;(3):206–214. (In Russ.)
7. *Intellektual'nyy kontroller ATS = Intelligent PBX controller*. (In Russ.). Available at: <https://energy-utilities.com>
8. Burzhua Dzh., Gol'dshteyn S.S. Distributed intelligent MEMS: achievements and prospects. *Materialy Mezhdunarodnoy konferentsii po innovatsiyam v oblasti IKT (Okhrid, Makedoniya, 12–15 sentyabrya 2012 g.)* =

Proceedings of the International Conference on Innovations in the field of ICT (Ohrid, Macedonia, September 12-15, 2012). Berlin; Geydel'berg: Springer, 2012:15–25. (In Russ.)

9. Belokopytov M.L., Ushanev K.V. Model of intellectualized systems monitoring and diagnostics of on-board spacecraft equipment at the stage of their testing and application. *Izmerenie. Monitoring. Upravlenie. Kontrol' = Measurement. Monitoring. Management. Control.* 2023;(1):62–69. (In Russ.). doi: 10.21685/2307-5538-2023-1-8
10. Viykari V., Seppa Kh. The concept of an RFID Mems sensor based on intermodulation distortions. *IEEE Sens. J.* 2009;(9):1918–1923. (In Russ.)
11. Lazaresku M.T. Development of the WSN platform for long-term environmental monitoring for Internet of Things applications. *IEEE J. Emerging and Selected Topics in Circuits and Systems.* 2013;(3):45–54. (In Russ.)
12. Grigor'yan L.R., Bogatov N.M., Grigor'yan R.L. The use of microcontrollers in a software-configurable measuring path of switching-contact phase measuring equipment. *Izmerenie. Monitoring. Upravlenie. Kontrol' = Measurement. Monitoring. Management. Control.* 2023;(1):45–55. (In Russ.). doi: 10.21685/2307-5538-2023-1-6
13. Uelburn E. Creation of the Internet of Things using RFID: the experience of the RFID ecosystem. *IEEE Internet Computing.* 2009;(13):48–55. (In Russ.)

Информация об авторах / Information about the authors

Юрий Трифонович Зырянов

доктор технических наук, профессор, профессор
кафедры конструирования радиоэлектронных
и микропроцессорных систем,
Тамбовский государственный технический
университет
(Россия, г. Тамбов, ул. Советская, 106)
E-mail: zut-tmb@mail.ru

Давид Шалвович Калхиташвили

старший аналитик Дирекции данных,
Российская академия народного хозяйства
и государственной службы
при Президенте Российской Федерации
(Россия, г. Москва, пр-кт Вернадского, 82/2)
E-mail: davidkalkhitashvili@gmail.com

Сергей Петрович Хрипунов

доктор технических наук, профессор, ведущий
научный сотрудник,
Институт проблем управления
имени В. А. Трапезникова
Российской академии наук
(Россия, Москва ул. Профсоюзная, 65)
E-mail: hsp61@yandex.ru

Yuri T. Zyryanov

Doctor of technical sciences, professor,
professor of the sub-department of design
of radioelectronic and microprocessor systems,
Tambov State Technical University
(106 Sovetskaya street, Tambov, Russia)

David Sh. Kalkhitashvili

Senior analyst of the Data Directorate,
Russian Academy of National Economy
and Public Administration
under the President of the Russian Federation
(82/2 Vernadsky avenue, Moscow, Russia)

Sergey P. Khripunov

Doctor of technical sciences, professor,
leading researcher,
Institute of Management Problems
named after V.A. Trapeznikov
of Russian Academy of Sciences
(65 Profsoyuznaya street, Moscow, Russia)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов /

The authors declare no conflicts of interests.

Поступила в редакцию / Received 27.05.2024

Поступила после рецензирования / Revised 30.06.2024

Принята к публикации / Accepted 15.08.2024