

# УПРАВЛЕНИЕ СЛОЖНЫМИ СИСТЕМАМИ

DOI: 10.18137/RNU.V9I187.23.01.P.12

УДК 65.012.122

А.А. Золкин, Т.Г. Айгумов, В.С. Тормозов, Ю.В. Гуменникова

---

## ПРИМЕНЕНИЕ СМЕШАННОГО ПОДХОДА ДЛЯ СИНТЕЗА ЦИФРОВЫХ ЭКОСИСТЕМ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

---

**Аннотация.** Рассмотрены новые методы синтеза цифровых систем экологического мониторинга с применением методологии машинного обучения. Предложено применение смешанного аппаратного и программно-аппаратного подходов для реализации релейно-контакторной логики, что расширяет возможности мониторинга и поддержки принятия решений в отношении компонентов информационно-измерительных систем. Обоснована важность применения MS-триггеров и логистической регрессии при анализе стабильности работы датчиков и мониторинга их характеристик. Исследована роль схмотехнических составляющих, предлагаемых к внедрению в системах экологического мониторинга. Уделено внимание специфике анализа уже измеренных данных, устройству памяти информационно-измерительных систем.

**Ключевые слова:** цифровые экосистемы, конечные автоматы, моты, линейная регрессия, цифровые измерения, датчики, машинное обучение, киберфизические системы, информационно-измерительные системы, сенсоры, ROC-анализ.

A.L. Zolkin, T.G. Aygumov, V.S. Tormozov, Yu.V. Gumennikova

---

## MIXED APPROACH FOR SYNTHESIZING MACHINE LEARNING DIGITAL ECOSYSTEMS

---

**Abstract.** The article discusses new methods for synthesizing digital environmental monitoring systems using machine learning methodology. The authors propose an application of mixed hardware and software-hardware approach to the implementation of relay-contact logic, which expands possibilities of monitoring and support of decision-making in relation to components of information-measuring systems. The article shows the importance of using MS triggers and logistic regression in analyzing the stability of the sensors and monitoring their characteristics, investigates the role of schematic engineering components proposed for implementation in environmental monitoring systems. Special attention is paid to the specifics of the analysis of already measured data, the memory device of information and measuring systems.

**Keywords:** digital ecosystems, finite automata, motes, linear regression, digital measurements, sensors, machine learning, cyber-physical systems, information and measurement systems, sensors, ROC analysis.

### *Введение*

Одной из проблем современных информационно-измерительных систем является недостаточная степень приведения функциональных требований к законодательной метрологии [1–3]. Это объясняется тем, что большая часть исполнительных устройств (актуаторов), пассивных и активных датчиков разрабатывается и производится в Китайской Народной Республике.

Подлинность устройств и их метрологических характеристик ставится под сомнение ввиду общих особенностей рынка данных устройств. Сертифицированное оборудование

**Золкин Александр Леонидович**

кандидат технических наук, доцент кафедры информатики и вычислительной техники, Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, город Самара. Сфера научных интересов: автоматика и автоматизация; информатика и вычислительная техника; прикладная информатика; программирование; транспорт. Автор более 300 опубликованных научных работ. ORCID: 0000-0001-5806-9906.

Электронный адрес: alzolkin@list.ru

**Айгумов Тимур Гаджиевич**

кандидат экономических наук, доцент, заведующий кафедрой программного обеспечения вычислительной техники и автоматизированных систем, Дагестанский государственный технический университет, город Махачкала. Сфера научных интересов: прикладная информатика; программирование. Автор более 30 опубликованных научных работ. ORCID: 0000-0002-8737-0228.

Электронный адрес: 915533@mail.ru

**Тормозов Владимир Сергеевич**

старший преподаватель кафедры программного обеспечения вычислительной техники и автоматизированных систем, Тихоокеанский государственный университет, город Хабаровск. Сфера научных интересов: искусственный интеллект; распознавание образов; цифровая обработка изображений. Автор более 20 опубликованных научных работ. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5628-858X>.

Электронный адрес: 007465@pnu.edu.ru

**Гуменникова Юлия Валериевна**

кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры высшей математики, Самарский государственный университет путей сообщения, город Самара. Сфера научных интересов: математический анализ; дифференциальные уравнения; интернет вещей; прикладная информатика. Автор более 50 опубликованных научных работ. SPIN-код: 8010-2714.

Электронный адрес: gumennikov@yandex.ru

не представлено в том ценовом сегменте, который предлагают неавторизованные онлайн-магазины. Неоднородность градации уровня точности измерений предлагаемых и общедоступных даташитов электронных компонентов – большая проблема для современных хозяйств. Еще двадцать лет назад это было нишевой составляющей, аналогом технического хобби, известного в узком кругу энтузиастов, увлекающихся телеметрией и обработкой. Сегодня модель «Интернета всего» (более известная как интернет вещей) демонстрирует автохтонный характер распространения принципа измерений и их обработки. Введение результатов значений от датчиков до конечных потребителей играет значительную роль в информационной и техногенной безопасности.

Не меньшую роль играет и образ программирования микропроцессоров, чистота кода, время опроса. Нерегулятивная роль отношений, связанная с профессиональной некомпетентностью обслуживающего персонала и метрологической халатностью культуры производства и обслуживания, может приводить даже к трагическим последствиям. Например, несоответствие стабильности энергоснабжения датчика газа может не только привести к резкому выходу его из строя ранее определенного времени работы на отказ,

но и привести к неправильным решениям микропроцессорной системы как устройства управления и устройства принятия решений.

#### *Методы исследования*

Информационная энтропия, выраженная отсутствием четкой стандартизации знаний о первичной (эксплуатационной) калибровке, условиях использования, может быть исключена рядом предлагаемых априорных принципов. Например, в процесс измерений необходимо внедрить тот компонент, который будет отвечать за анализ входных и выходных данных, а также за их обработку. Но сначала нужно исключить дребезг контактов, присущий простым электронным ключам и группам переключательных устройств. Однотактные устройства в целом имеют слабовыраженную устойчивость под влиянием долговременной работы [4]. В связи с этим предлагается цифровое схемотехническое решение – в качестве альтернативы замена современных переключателей MS-триггером.

#### *Результаты исследования*

Использование триггеров обосновано возможностью хранения предыдущего состояния, возможностью прямого управления, то есть внешним вмешательством. Обоснование такой возможности управления устройством связано с независимым инструментом анализа процесса считывания информации датчиками рассматриваемой информационно-измерительной экологической системы.

Кроме того, использование триггеров вписывается в общую модель релейно-контактных систем, которые имеют достаточно широкое использование ввиду их надежности в неблагоприятных экологических и климатических условиях [5].

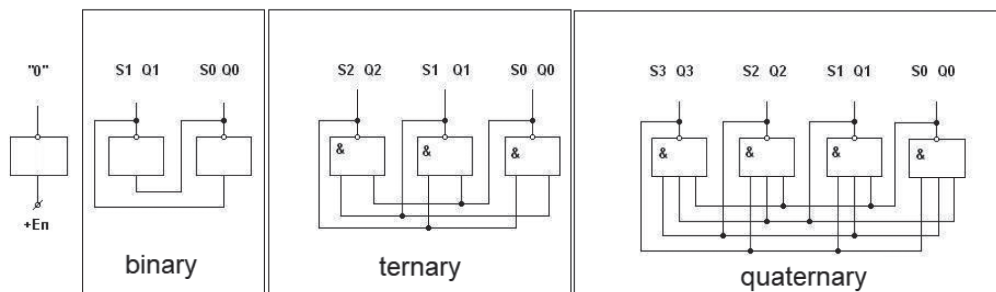
Важным преимуществом этих устройств, работающих в бинарной логике, является возможность построения триггеров с любым количеством устойчивых состояний, что упрощает интеграцию мультимедийных выходных или переключательных устройств, которых в экологических системах множество.

На Рисунке 1 показаны триггеры, выполненные на базе логических элементов «И – НЕ» с двумя, тремя и четырьмя устойчивыми состояниями без потери скорости срабатывания и переключения.

MS-триггер является синхронным двухступенчатым триггером со статическим управлением. Схемотехнически он выполняется на двух триггерах – на М (основном) и S (вспомогательном). М-триггер воспринимает входную информацию, S-триггер фиксирует состояние триггера в целом. При этом оба триггера могут быть однотипными, например, RS- или D-триггерами, или различными. Данное свойство универсальности очень удобно на этапе производства таких устройств.

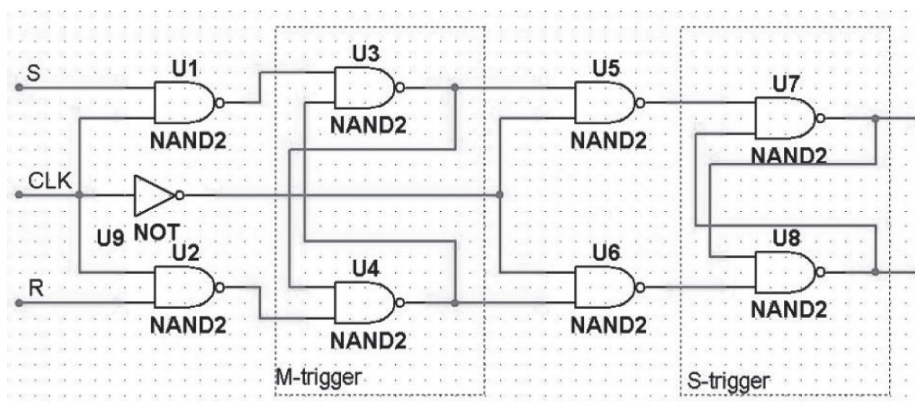
Управляющая связь между MS-триггером осуществляется двумя синхронными сериями либо посредством запрещающего инвертора [6]. Функциональная схема синхронного двухступенчатого RS-триггера с управлением, выполненным по типу MS-триггера, где в качестве М- и S-триггера используется синхронный статический RS-триггер, представлена на Рисунке 2.

При значении важного для нас тактового входа  $CLK = 1$  информация принимается в М-триггер, но не проходит в S-триггер. При обратном значении (0) информация из М-триггера переписывается в S-триггер. Данную особенность функционирования релейного устройства можно использовать в следующих целях: для анализа предыдущего выходного значения датчика температуры/влажности/газоанализатора, буферизированного в S-триггере.



**Рисунок 1.** Демонстрация масштабируемости числа устойчивых состояний на базе триггерных устройств

Источник: Триггер. Триггеры с любым числом устойчивых состояний. <https://ru.wikipedia.org/Триггер> (дата обращения: 11.01.2023).



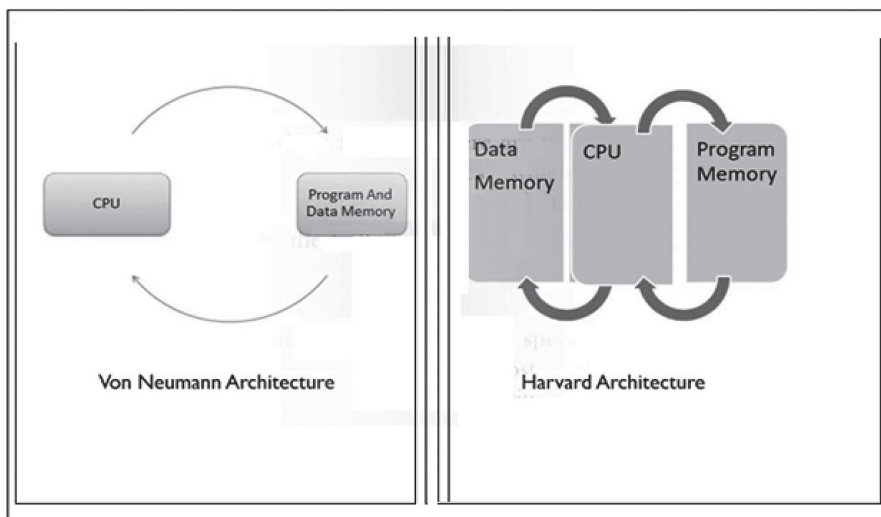
**Рисунок 2.** MS-триггер с инвертором на базе RS-триггеров, выполненных на основе логических элементов «И – НЕ»

Источник: [7].

Так как триггеры – устройства с частой переключательной функцией, некоторые датчики, например, при мгновенной смене температуры, могут отработать ошибочным образом [8].

Таким образом, предлагаемое схмотехническое решение дополняет релейно-контакторную составляющую цепей информационно-измерительных систем и позволяет при определенной конфигурации надежнее диагностировать сбои в оборудовании, основываясь на твердом принципе сохранения предыдущего состояния значения выхода (Рисунок 3).

Получив измененную модель выходных значений, детерминировав ключи системы, необходимо обратиться к неперенным атрибутам любого информационно-аналитического и метрологического обеспечения прикладного использования, задействованного, например, при анализе экологических систем [10]. Мы уже акцентировали внимание на том, что современные системы, отвечающие за измерение параметров, связанных непосредственно с биосферой, тропосферой и гидросферой, во многом далеки от идеала, однако это вовсе не означает, что их нельзя использовать.



**Рисунок 3.** Априорный цикл взаимодействия двух архитектур применительно к электронно-вычислительной технике

*Источник:* [9].

Практически невозможно повлиять на результат измерений, если иметь дело с конечным устройством, оформленным в виде корпуса и имеющим собственную память. Заметим, однако, что все эти устройства имеют один способ организации. Например, если у всех этих устройств есть память, то она разделяемая, есть циклическая программа считывания данных, памяти данных. Чаще всего у датчиков она внешняя. В качестве ее реального аналога выступает более мощная система управления, которая собирает все параметры и программирует [9].

Но зачем сводить весь анализ больших потоков данных в контролирующей системе с разделяемой памятью (чаще всего контроллеры «Умный дом», «Экосистема» имеют гарвардскую архитектуру), как было упомянуто ранее, в буферизированном состоянии, если их можно оформлять в визуальном виде как конечные автоматы и предоставлять пользователю? Однако изменять архитектуру на противоположную довольно трудно. Удобный для анализа принцип объединения памяти данных и памяти программ можно симитировать следующим образом.

Допустим, что опыт измерения температуры объекта или определенный рабочий такт работы тензодатчика произошел. Выходные данные направились по шине данных к одному из дискретных входов управляющего контроллера. Тактирующий вход каждого ключа подключен к выходным или репрограммируемым (свободным) дискретным выходам контроллера системы экологических измерений. Применим, возможно, наиболее логичный вариант классификации выходных данных контроллера формально еще на этапе генерации сигнала в сторону контроллера – модель логистической регрессии.

Логистическая регрессия – классический компонент машинного обучения для решения задачи классификации. ROC-анализ – аппарат для анализа качества моделей. Эти методы активно используются для построения моделей поведения и моделей отклика в различных динамических средах. Логистическую регрессию можно представить в виде однослойной нейронной сети с сигмоидальной функцией активации, скалярные значения ко-

## Применение смешанного подхода для синтеза цифровых экосистем машинного обучения

торой есть коэффициенты логистической регрессии, а значение поляризации – константа регрессионного уравнения.

Чем она хороша? Прежде всего – крайне широкой картой использования и довольно простой вычислительной сложностью в сравнении с другими алгоритмами машинного обучения. По сути она является частным случаем множественной регрессии, имеющей целевую карту в анализе реляции между несколькими независимыми переменными и зависимой переменной. Это случай почти всех современных устройств параметрических измерений, исключая датчики, работающие по принципу 1-Wire.

Основу метода составляет функция правдоподобия, которую легко вычислить на основе хотя бы нескольких итераций измерений, например, на этапе первичных пусконаладочных мероприятий, и которая выражает плотность вероятности совместного появления результатов выборки для конкретного устройства и передать на тактирующий вход каждого ключа и реле. Фактически это будет означать, что система согласна на запись нового предыдущего состояния [11; 12]. А так как алгоритм регрессии основывается на машинном обучении, то все данные, как подразумевается, будут накапливаться в памяти управляющей системы вместе с параметрами, эмулируя тем самым некое подобие неймановского подхода к архитектуре. На конечном этапе все сводится к тому, что каждое новое значение датчика является одновременно и инструкцией к действию, выражая императив памяти программ, и воли данных.

*Заключение и выводы*

Показаны обстоятельства, которые требуют точечного инструмента для непрерывного анализа стабильности работы устройств, их электрических характеристик; продемонстрирована возможность перехода к более совершенному и уже изученному способу переключательной функциональности; акцентировано прикладное значение буферизации ключевых состояний датчиков для дальнейшей диспетчеризации и мониторинга в резко меняющихся средах.

Таким образом, применение смешанного подхода к реализации релейно-контакторной логики – аппаратного (схемотехнического) и программно-аппаратного (машинный анализ и воздействие на тактирующие входы) – позволяет говорить о дополнительном механизме мониторинга и принятия решений в отношении отдельных компонентов информационно-измерительных систем.

*Литература*

1. Azen R., Walker C.M. *Categorical Data Analysis for the Behavioral and Social Sciences*. Routledge, 2011. 283 p. ISBN 978-1-84872-836-3.
2. Алексенко А.Г. *Основы микросхемотехники*. М. : Советское радио, 1971. 349 с.
3. Cohen V. Howard Aiken : *Portrait of a computer pioneer*. Cambridge, Massachusetts : MIT Press, 2000. 329 p. ISBN 0262531798.
4. Бусленко Н.П., Шрейдер Ю.А. *Метод статистических испытаний (Монте-Карло) и его реализация на цифровых вычислительных машинах*. М. : ФИЗМАТЛИТ, 1961. 226 с.
5. Израэль Ю.А. *Экология и контроль состояния природной среды*. Л. : Гидрометеиздат, 1979. 376 с.
6. Израэль Ю.А. *Глобальная система наблюдений. Прогноз и оценка окружающей природной среды. Основы мониторинга // Метеорология и гидрология*. 1974. № 7. С. 3–8.

7. Антонов А.А., Быковский С.В., Кустарев П.В., Кормилицын К.А., Пинкевич В.Ю. Функциональная схемотехника. Практикум: Учебное пособие. СПб.: Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, 2019. 97 с. EDN: GSWGCT.
8. Теория вероятностей и математическая статистика. Математические модели / В.Д. Мятлев, Л.А. Панченко, Г.Ю. Ризниченко, А.Т. Терехин. М. : Академия, 2009. 320 с. ISBN 978-5-7695-4704-1.
9. Hilbe J.M. Logistic Regression Models. Series: CRC Texts in Statistical Science. New York : Chapman, Hall /CRC. 2009. 656 p. DOI: <https://doi.org/10.1201/9781420075779>
10. Поспелов Д.А. Логические методы анализа и синтеза схем. 3-е изд. М. : Энергия, 1974. 368 с.
11. Zolkin A.L., Munister V.D., Domracheva E.A., Faizullin R.V., Kovaleva K.A. Application of machine learning for optimization of operational processes in industrial drum units // Proceedings of the II International Conference on Advances in Materials, Systems and Technologies, CAMSTech-II 2021, Krasnoyarsk, 29–31 July 2021. Krasnoyarsk, 2022. P. 030001. EDN GOXQZW. DOI: 10.1063/5.0092463
12. Delfani F., Samanipour H., Beiki H., Yumashev A., Akhmetshin E. A robust fuzzy optimisation for a multi-objective pharmaceutical supply chain network design problem considering reliability and delivery time. *International Journal of Systems Science: Operations and Logistics*. 2020. Vol. 9. No. 2. Pp. 1–25. EDN JRFXY. DOI: 10.1080/23302674.2020.1862936

## References

1. Azen R., Walker C.M. (2011) *Categorical Data Analysis for the Behavioral and Social Sciences*. Routledge, 283 p. ISBN 978-1-84872-836-3.
2. Aleksenko A.G. (1971) *Osnovy mikroskhemotekhniki* [Microcircuit technique fundamentals]. Moscow : Sovetskoe Radio Publisher, 349 p. (In Russian).
3. Cohen B. (2000) *Howard Aiken : Portrait of a computer pioneer*. Cambridge, Massachusetts: MIT Press. 329 p. ISBN 0262531798.
4. Buslenko N.P., Shreider Yu.A. (1961) *Metod statisticheskikh ispytaniy (Monte-Karlo) i ego realizatsiya na tsifrovyykh vychislitel'nykh mashinakh* [Statistical test method (Monte Carlo) and its implementation on digital computers]. Moscow : FIZMATLIT Publisher. 226 p. (In Russian).
5. Izrael Yu.A. (1979) *Ekologiya i kontrol' sostoyaniya prirodnoi sredy* [Ecology and environmental state control]. Leningrad : Gidrometeoizdat Publisher. 376 p. (In Russian).
6. Izrael Yu.A. (1974) *Global'naya sistema nablyudeni. Prognoz i otsenka okruzhayushchei prirodnoi sredy. Osnovy monitoringa* [Global Monitoring System. Forecast and assessment of environment. Fundamental principles of monitoring]. *Meteorologiya i gidrologiya*. No. 7. Pp. 3–8. (In Russian).
7. Antonov A.A., Bykovsky S.V., Kustarev P.V., Kormilitsyn K.A., Pinkevich V.Yu. (2019) *Funktsional'naya skhemotekhnika. Praktikum* [Functional circuitry. Workshop: Tutorial]. St. Petersburg : St. Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics,. 97 p. (In Russian).
8. Myatlev V.D., Panchenko L.A., Riznichenko G.Yu., Terekhin A.T. (2009) *Teoriya veroyatnostei i matematicheskaya statistika. Matematicheskie modeli* [Theory of Probability and Mathematical Statistics. Mathematical models]. Moscow : Academia Publisher, 320 p. ISBN 978-5-7695-4704-1. (In Russian).
9. Hilbe J.M. (2009). *Logistic Regression Models*. Series: CRC Texts in Statistical Science. New York : Chapman, Hall /CRC. 656 p. DOI: <https://doi.org/10.1201/9781420075779>
10. Pospelov D.A. (1974) *Logicheskie metody analiza i sinteza skhem* [Logical methods of analysis and synthesis of schematics]. Moscow : Energiya Publisher, 368 p. (In Russian).

Применение смешанного подхода для синтеза цифровых экосистем машинного обучения

11. Zolkin A.L., Munister V.D., Domracheva E.A., Faizullin R.V., Kovaleva K.A. (2022) Application of machine learning for optimization of operational processes in industrial drum units. In: *Proceedings of the II International Conference on Advances in Materials, Systems and Technologies, CAMSTech-II 2021*, Krasnoyarsk, 29–31 July 2021. Krasnoyarsk. P. 030001. DOI: 10.1063/5.0092463
12. Delfani F., Samanipour H., Beiki H., Yumashev A., Akhmetshin E. (2020) A robust fuzzy optimisation for a multi-objective pharmaceutical supply chain network design problem considering reliability and delivery time. *International Journal of Systems Science: Operations and Logistic*. Vol. 9. No. 2. Pp. 1–25. DOI: 10.1080/23302674.2020.1862936