

УТВЕРЖДАЮ:



Профессор Томского государственного  
университета систем управления и  
радиоэлектроники, доктор технических  
наук, профессор  
Шеляпов Александр Александрович

«16» сентября 2016 г.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

федерального государственного бюджетного образовательного учреждения  
высшего образования

«Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники»

Диссертация «Гибридные алгоритмы анализа данных на основе компактных и точных нечетких систем типа Такаги-Сугено» выполнена на кафедре комплексной информационной безопасности электронно-вычислительных систем.

В период подготовки диссертации соискатель Сарин Константин Сергеевич работал в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники» на кафедре комплексной информационной безопасности электронно-вычислительных систем в должности ассистента.

В 2002 г. окончил государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники» по специальности «Автоматизированные системы обработки информации и управления».

Удостоверение о сдаче кандидатских экзаменов выдано в 2016 г. федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего образования «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники».

Научный руководитель — Ходашинский Илья Александрович, доктор технических наук, профессор кафедры комплексной информационной безопасности электронно-вычислительных систем, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники».

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

#### **Оценка выполненной соискателем работы.**

Диссертация К.С. Сарина является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение задачи построения нечетких систем типа Такаги-Сугено, сопоставимых по точности и содержащих меньшее количество правил по сравнению с системами, формируемыми с помощью известных решений.

#### **Актуальность темы и направленность исследования.**

В диссертационной работе Сарина К.С. исследуются решения по построению нечетких систем типа Такаги-Сугено, представляющих собой класс интеллектуальных систем, применяемых в области анализа данных.

Подобные системы, строящиеся на основе экспериментальных данных, позволяют решать широкий круг задач аппроксимации. Однако использование нечетких систем, в том числе типа Такаги-Сугено, связано с известной проблемой избыточности нечетких правил, характерной для известных методов и алгоритмов их построения. Такая избыточность приводит к вычислительной сложности вывода и снижению интерпретируемости, но известные решения по построению нечетких систем преимущественно сосредоточены на достижении точности вывода, а не простоты самих систем.

Таким образом, диссертационное исследование Сарина К.С., направленное на разработку подходов к построению нечетких систем, содержащих меньшее количество нечетких правил и не уступающих по точности системам, построенным с помощью известных решений, является актуальным.

#### **Утверждение темы диссертации.**

Тема утверждена решением совета факультета безопасности Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники от «28» апреля 2014 г., протокол № 1.

#### **Личное участие автора в получении результатов, изложенных в диссертации.**

Постановка решенных в диссертации задач была сделана научным руководителем доктором технических наук профессором И.А. Ходашинским, который указал основные направления исследования и принимал участие в обсуждении результатов. Доказательство и обоснование полученных в диссертации результатов, математические выкладки, вычислительные эксперименты выполнены лично автором. В совместных публикациях научному руководителю И.А. Ходашинскому принадлежит постановка задач и указания основных направлений исследования, а основные результаты, выкладки и эксперименты выполнены диссертантом.

#### **Степень достоверности результатов проведенных исследований.**

Достоверность полученных результатов обеспечена строгостью применения математических методов, результатами проведенных численных экспериментов, которые сопоставлены с результатами, полученными другими авторами, а также внедрением результатов работы в практику.

#### **Научной новизной обладают следующие положения:**

1. Алгоритм кусочно-линейной инициализации для генерации структур нечетких систем типа Такаги-Сугено, отличительной особенностью которого является построение нечетких правил систем на основе итерационно формируемых кластеров линейной формы. Данный алгоритм позволил повысить точность аппроксимации на некоторых реальных наборах данных до 44% по сравнению с системами, построенными с помощью общеизвестного алгоритма на основе FCRM кластеризации.

2. Алгоритм динамического разбиения входного пространства, который формирует нечеткие системы типа Такаги-Сугено с функциями принадлежности треугольного типа и отличается тем, что в нем ведется поиск участка пространства данных, оказывающего большее влияние на увеличение ошибки аппроксимации системы. Данный алгоритм позволил повысить точность нечетких систем на некоторых наборах данных до 9.7% по сравнению с общеизвестным алгоритмом равномерного разбиения входного пространства.

3. Гибридный алгоритм оптимизации параметров нечетких систем типа Такаги-Сугено, основанный на композиции алгоритма «кукушкин поиск», алгоритма

градиентного спуска и рекуррентного алгоритма наименьших квадратов. Сочетание данных алгоритмов обеспечило построение более точных нечетких систем по сравнению с их использованием по отдельности.

4. Методика построения компактных и точных систем типа Такаги-Сугено, учитывающая компромисс между точностью аппроксимации и простотой формируемых систем за счет использования трех информационных статистических критериев: AIC (Akaike Information Criterion), BIC (Bayesian Information Criterion), HQC (Hannan-Quinn Information Criterion). Данная методика позволила увеличить точность формируемых систем до 11,5% на некоторых наборах реальных данных по сравнению с известными решениями и уменьшить количество нечетких правил.

#### **Практическая значимость диссертации и использование полученных результатов.**

Практическая значимость диссертационной работы Сарина К.С. подтверждается использованием полученных в ней результатов в деятельности ООО «Электронные источники» для решения следующих практических задач:

1. Прогнозирование плотности тока в пучке электронов форвакуумного плазменного источника. Была определена зависимость плотности тока в пучке электронов от таких параметров как ускоряющее напряжение, давление остаточного газа, ток разряда, радиальная координата от экстрактора, вертикальная координата от экстрактора. Полученная зависимость позволила определить оптимальные настройки источника для исключения дефектов на обрабатываемых поверхностях материалов.

2. Прогнозирование вероятности зажигания разряда в форвакуумном плазменном источнике. Была определена зависимость зажигания разряда в источнике от таких параметров как ускоряющее напряжение, давление остаточного газа, длительность поджигающего импульса и толщина диэлектрика. Выявление данной зависимости позволило настроить параметры источника таким образом, чтобы образовывался разряд.

Кроме того, разработанные Сариним К.С. алгоритмы генерации структуры нечетких систем и оптимизации параметров используются в учебном процессе факультета безопасности и включены в одну лекцию и два практических занятия дисциплины «Базы данных и экспертные системы».

Алгоритмы и методика использованы при выполнении проекта РФФИ 16-07-00034 «Методы и инструментальные средства построения самообучающихся систем, основанных на нечетких правилах» 2016–2018г.

#### **Теоретическая ценность научной работы.**

1. Полученные в работе Сарина К.С. алгоритмы и методика построения нечетких систем типа Такаги-Сугено вносят вклад в развитие интеллектуального анализа данных на основе нечетких систем.

2. Гибридный алгоритм оптимизации параметров применим не только к оптимизации параметров нечетких систем, но и в качестве алгоритма глобальной параметрической идентификации.

3. Итерационный подход к формированию кластеров, использованный в алгоритме кусочно-линейной инициализации, может применяться в кластерном анализе для построения кластеров, определяемых линейной зависимостью входных данных от выходных.

**Ценность научных работ соискателя, полнота изложения материалов диссертации в опубликованных работах.**

По результатам исследований опубликовано 13 печатных работ, из которых в рекомендованных ВАК РФ периодических изданиях – 4. Четыре работы опубликованы в научных изданиях, индексируемых базой данных SCOPUS. Получено 2 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ (номера свидетельств: №2015619581, №2015619582).

*Работы, опубликованные в ведущих рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК при Министерстве образования и науки Российской Федерации:*

1. Ходашинский И.А. Идентификация параметров нечетких аппроксиматоров и классификаторов на основе алгоритма «кукушкин поиск» / И.А. Ходашинский, Д.Ю. Минина, К.С. Сарин // *Автометрия*. – 2015. – Том 51, №3. – С.27-34.

2. Сарин К.С. Нечеткий аппроксиматор значения плотности тока в пучке электронов форвакуумного плазменного источника / К.С. Сарин, А.В. Медовник, И.А. Ходашинский // *Доклады ТУСУР*. – 2015. – № 4 (38). – С. 161–165.

3. Ходашинский И. А. Об одном методе инициализации нечетких систем типа Такаги-Сугено / И.А. Ходашинский, К.С. Сарин, С.А. Черепанов // *Автометрия*. – 2016. – Том 52, №2. – С.61-70.

Hodashinsky I.A. Initialization method for fuzzy Takagi-Sugeno systems / I.A. Hodashinsky, K.S. Sarin, S.A. Cherepanov // *Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing*. – Vol. 52, № 3. – P. 266-273. doi:10.3103/S8756699016030080 (SCOPUS)

4. Ходашинский И.А., Сарин К.С. Методика построения компактных и точных нечетких систем типа Такаги-Сугено // *Доклады ТУСУР*. – 2016. –Т. 19, № 1. – С. 50–56.

*Другие работы, опубликованные по теме диссертации:*

5. Сарин К.С., Ходашинский И.А. Метод кусочно-линейной инициализации нечетких систем типа Такаги-Сугено // *Робототехника и искусственный интеллект: матер. VI Всерос. науч.-техн. конф. с международным участием. Сиб. федер. ун-т. – Красноярск: Центр информации, ЦНИ «Монография». – 2014. – С. 147–152.*

6. Hodashinsky I.A Takagi-Sugeno fuzzy systems structure identification based on piecewise linear initialization / I.A. Hodashinsky, K.S. Sarin, D.D. Zykov // *Proceedings of the 2015 International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON)*. Omsk: Omsk State Technical University. Russia, Omsk, May 21–23, 2015. – P. 1-4. IEEE Catalog Number: CFP15794-CDR. ISBN: 978-1-4799-7102-2. DOI: 10.1109/SIBCON.2015.7147261. (SCOPUS)

7. Сарин К.С., Ходашинский И.А. Три алгоритма генерации структуры нечеткой системы типа Такаги-Сугено // *Материалы докладов Всероссийской конференции с международным участием Знания-Онтологии-Теории (ЗОНТ-2015)*. Российская академия наук, Сибирское отделение; Институт математики им. С.Л. Соболева. – 2015. – С. 124-132.

8. Hodashinsky I. A. Identification of the parameters of fuzzy approximators and classifiers based on the cuckoo search algorithm / I.A. Hodashinsky, D. Yu. Minina, K.S. Sarin // *Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing*. – 2015. – V. 51, №. 3. – P. 234-240. ISSN: 8756-6990. DOI 10.3103/S8756699015030048 (SCOPUS)

9. Сарин К.С. Нечеткая система типа Такаги-Сугено прогнозирования вероятности зажигания разряда в форвакуумном диапазоне давлений / К.С. Сарин, А.В. Медовник, Д.Д. Зыков // *Сборник научных трудов XII Международной конференции студентов и молодых ученых. Национальный исследовательский*

Томский политехнический университет. – Томск, 2015. – С. 1533-1535.

10. Ходашинский И.А. Алгоритмы структурной идентификации компактных и точных нечетких систем / И.А. Ходашинский, И.В. Горбунов, К.С. Сарин, С.Р. Субханкулова // Информационные и математические технологии в науке и управлении. – 2016. – Т. 27, №1 – С. 82-93.

11. Hodashinsky I.A. Takagi-Sugeno Fuzzy System to Predict Discharge Ignition Probability in the Foreline Pressure Rang / I.A. Hodashinsky, A.V. Medovnic, K.S. Sarin, D.D. Zykov // Key Engineering Materials. – 2016. – Vol. 683. – P. 576-582. (SCOPUS)

12. Сарин К.С., Медовник А.В. Нечеткая имитационная система выбора оптимальных значений плотности тока в пучке электронов форвакуумного плазменного источника // Сборник научных трудов XIII Международной конференции студентов и молодых ученых «Перспективы развития фундаментальных наук». Национальный исследовательский Томский политехнический университет. Томск. – 2016. – Том 7. – С. 120-122.

13. Сарин К.С. Гибридная технология построения компактных и точных нечетких систем типа Такаги-Сугено // Материалы международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР-2016», Томск, 25–27 мая 2016 г. – Томск: В-Спектр, 2015: – Ч. 3. – С. 233-236.

*Свидетельства о регистрации программы:*

1. Программа структурной идентификации нечетких систем типа Такаги-Сугено методом динамического разбиения входного пространства: свидетельство № 2015619581 Рос. Федерация: / Сарин К.С., Ходашинский И.А.; правообладатель ФГБОУВПО ТУСУР. – 2015.

2. Программа структурной идентификации нечетких систем типа Такаги-Сугено методом кусочно-линейной инициализации: свидетельство № 2015619582 Рос. Федерация: / Сарин К.С., Ходашинский И.А.; правообладатель ФГБОУВПО ТУСУР. – 2015.

#### **Соответствие содержания диссертации избранной специальности.**

Диссертационная работа Сарина К.С. по своему содержанию соответствует профилю специальности 05.13.17 — «Теоретические основы информатики», в частности, по следующим пунктам:

3. исследование информационных структур, разработка и анализ моделей информационных процессов и структур;

5. разработка и исследование моделей и алгоритмов анализа данных, обнаружения закономерностей в данных и их извлечения разработка и исследование методов и алгоритмов анализа текста, устной речи и изображений;

13. применение бионических принципов, методов и моделей в информационных технологиях.

Диссертация «Гибридные алгоритмы анализа данных на основе компактных и точных нечетких систем типа Такаги-Сугено» Сарина Константина Сергеевича рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.17 — «Теоретические основы информатики».

Заключение принято на заседании научно-технического семинара «Интеллектуальные системы моделирования, проектирования и управления» кафедры комплексной информационной безопасности электронно-вычислительных систем факультета безопасности федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Томский государственный

университет систем управления и радиоэлектроники».

Присутствовало на заседании – 18 чел. Результаты голосования: «за» – 18 чел., «против» – 0, «воздержалось» – 0, протокол № 294 от «17» сентября 2016 г.

Председатель семинара,  
канд. техн. наук, доцент,  
декан факультета безопасности

Е. М. Давыдова

Ученый секретарь семинара,  
канд. техн. наук,  
доцент каф. БИС

О.О. Евсютин