

АННОТАЦИЯ

диссертационного исследования Ерболовой Асель Серикановны
на тему: «Исследование структур естественного языка в задаче идентификации ботов»,
представленной на соискание степени доктора философии (PhD) по специальности:
6D075100 – «Информатика, вычислительная техника и управление»

Актуальность исследования обусловлена стремительным развитием технологий обработки естественного языка (NLP) и искусственного интеллекта (ИИ). В условиях увеличения объёмов текстов, создаваемых как людьми, так и автоматизированными системами, такими как боты, создаваемых автоматизированными системами, усилением рисков дезинформации в цифровой среде и деградации моделей искусственного интеллекта, что определяет необходимость разработки необходимо разработать эффективных методов идентификации текстов ботов для обеспечения информационной безопасности, мониторинга цифрового контента и устойчивости ИИ-систем.. Применение современных подходов к анализу и классификации текстов подчеркивает важность данной работы.

Предложенные в работе методы и подходы являются актуальными по нескольким причинам. Во-первых, исследование внутренних размерностей языковых фрактальных структур в сочетании с анализом семантических траекторий позволяет сформировать целостное представление о языковых закономерностях и способствует более глубокому пониманию динамики и структуры языковых систем.

Во-вторых, использование топологического анализа данных открывает новые возможности для изучения языковой системы и может повысить качество идентификации ботов. Это крайне важно в условиях нарастания угроз от автоматизированных систем манипуляции мнением и дезинформации. Таким образом, данная работа подчеркивает значимость и сложность естественного языка, предлагая эффективные методы и подходы к его анализу, что может существенно улучшить функционирование информационных систем в современном цифровом обществе.

Целью исследования является разработка методов для исследований структур языка, а также адаптация их для идентификации текстов, созданных людьми и сгенерированных ботами.

Для достижения данной цели решались следующие **основные задачи**:

1. Разработка характеристик языковых объектов и анализ их статистических свойств для выявления отличий между текстами, написанными людьми, и текстами, сгенерированными ботами.
2. Адаптация методов анализа хаотичности временных рядов для оценки сложности семантических траекторий текстов на естественном языке.
3. Адаптация методов оценки внутренних размерностей сложных геометрических объектов к исследованию языковых фрактальных структур.
4. Адаптация методов топологического анализа данных для изучения семантического пространства естественного языка, для выявления "дыр" для различных n-грамм (слова, биграммы, триграммы). Проведения сравнительного анализа характеристик крупномасштабных структур естественного языка в максимально широком круге языков.
5. Разработка классификационных моделей для идентификации текстов, созданных ботами, на основе выявленных языковых признаков и экспериментальная проверка их эффективности.

Объект исследования – языковые характеристики и структура естественного языка, эффективные при различении текстов, созданных людьми, и текстов, генерируемых автоматизированными системами (ботами).

Предмет исследования – методы крупномасштабной структуры естественного языка, её геометрических свойств, а также разработка методов идентификации текстов,

созданных людьми, и текстов, сгенерированных автоматизированными системами (ботами).

Методы исследования, использованные в работе: статистические методы (тесты на различия, анализ распределений); методы анализа хаотичности сематической траектории для естественных языков; численные методы оценки внутренней размерности (геометрические и фрактальные методы n -грамм); топологический анализ данных (персистентная гомология); методы идентификации ботов (классификационные модели, разделение выборки).

Научная новизна полученных результатов состоит в следующем:

1. Проведён анализ естественных языков как самоорганизованно-критичных систем на выборке множества языков. Установлена уникальность языка эсперанто, демонстрирующего гауссово распределение, в отличие от естественных языков. Показано, что статистические характеристики степенных распределений, включая параметры степенного закона, служат надёжными метриками для анализа и классификации языковых систем.

2. Представлены результаты анализа семантических траекторий на естественных языках, которые показывают хаотическую природу указанной структуры. Кластерный анализ выявил типологические кластеры, коррелирующие с энтропией и сложностью, подчеркивая значимость хаоса для языковой динамики.

3. Разработаны методы оценки внутренней размерности естественных языков, выявляющие их мультифрактальную природу и указывающие на инвариантность размерностей, устойчивую к изменениям методов извлечения векторных представлений.

4. Разработан метод выявления “дыр” в языке на основе методов топологического анализа данных. Применение методов расчёта персистентных гомологий первого порядка выявило крупномасштабные особенности естественного языка и позволило исключить артефакты выборки.

5. Предложены высокоэффективные алгоритмы классификации текстов, разделяющих тексты, созданные людьми, и сгенерированные ботами, достигающие свыше 96% для большинства языков.

Практическое значение полученных результатов состоит в том, что разработаны методы идентификации ботов для эффективного различения текстов, написанных людьми, и сгенерированных автоматизированными системами. Разработанные методы анализа языковых характеристик, таких как энтропия и сложность семантических траекторий, позволяют значительно повысить точность и эффективность систем автоматической идентификации ботов, что особенно важно в условиях растущей автоматизации контент-генерации и распространения дезинформации.

Предложенные методы топологического анализа данных и персистентной гомологии могут быть использованы для изучения структурных особенностей текстов, открывая возможности для анализа и классификации в различных областях. Проведенный сравнительный анализ естественных языков может быть полезен, способствуя переосмыслению классификаций языков с учетом их крупномасштабных структур.

Основные положения, выносимые на защиту

1. Модель естественных языков как самоорганизованно-критичных систем, применённая для сравнительного анализа широкого круга языков.

2. Модель анализа семантических траекторий для оценки хаотической природы языка, сравнительный анализ языков.

3. Модель анализа языковых фрактальных структур (внутренние размерности и “дырки”) для выявления мультифрактальности и подтверждения лингвистических родственных гипотез.

4. Классификационная модель для идентификации текстов, написанных людьми и сгенерированных ботами, подтвердившая практическую значимость методов.

Публикации и апробация работы

Основные результаты диссертационной работы были представлены на научных семинарах Северо-Казахстанский университет имени Манаша Козыбаева (кафедра «Информационно-коммуникационные технологии»), а также Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики» и опубликованы в 7 печатных работах, в том числе: 1 статья в изданиях, рекомендованных КОКШВО МНВО РК; 1 публикация в материалах международных конференций; 5 статей в журналах, индексируемых в базе данных Scopus, с процентилем от 39 до 80.

- статьи в рецензируемых научных журналах с ненулевым импакт- фактором, входящих в базы Web of Science Core Collection, Scopus:

1. Gromov V.A., Borodin N.S., and Yerbolova A.S., A Language and Its Dimensions: Intrinsic Dimensions of Language Fractal Structures// *Complexity Volume 2024*, <https://doi.org/10.1155/2024/8863360>, (Indexed in Scopus, Q1)

2. Gromov V.A., Dang Q.N., Kogan A.S., Yerbolova A.S., Spot the bot: the inverse problems of NLP. *PeerJ Computer Science* 10:e2550, 2024, <https://doi.org/10.7717/peerj-cs.2550>, (Indexed in Scopus, Q1)

3. Gromov V.A., Dang Q.N., Yerbolova A.S., Language and Its Holes: the First Order Homologies of the Large-scale Geometrical Structure of a Natural Language// *Complexity*, 2025 (1) Article ID 9659172, <https://doi.org/10.1155/cplx/9659172>, (Indexed in Scopus, Q2)

4. Yerbolova A.S., Tomashchuk K.K., Kogan A.S., Dang Q.N., Skrynnikova I.V., and Gromov V.A., Relative Chaoticity of Natural Languages// *Complexity*, Volume 2026, <https://doi.org/10.1155/cplx/5519690>, (Indexed in Scopus, Q2)

5. Yerbolova A.S., Kurmashev I. G., Revealing intrinsic dimensionality patterns in semantic spaces of natural languages using graph algorithms, *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1/2 (138), 2026, <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2026.351509> , (Indexed in Scopus, Q3)

- статьи, опубликованные в научных журналах, рекомендуемых КОКШВО МНВО РК:

6. Ерболова А.С., Громов В.А., Аканова А.С. Семантические методы выявления текстов, сгенерированных системами искусственного интеллекта // Вестник Алматинского университета энергетики и связи No 1(72), 2026

- тезисы и статьи к докладам на международных и республиканских конференциях:

7. Поймай бота: крупномасштабная структура естественного языка // Проектирование будущего. Проблемы цифровой реальности: труды 7-й Международной конференции (15-17 февраля 2024 г., Москва). — М.: ИПМ им. М.В.Келдыша, 2024. — С. 281-312. — <https://keldysh.ru/future/2024/6-3.pdf> <https://doi.org/10.20948/future-2024-6-3>

Внедрение результатов исследования

Результаты диссертационного исследования нашли практическое применение в научно-исследовательской и образовательной деятельности, что подтверждает их теоретическую и прикладную значимость.

Практическая апробация и внедрение результатов диссертационного исследования осуществлены в ряде научных и образовательных организаций. В частности, результаты исследования использованы в научной деятельности Национальный университет обороны Республики Казахстан, где на их основе реализуются подходы к анализу текстовой информации, включая исследование семантической структуры текстов и моделирование смысловых представлений в задачах интеллектуальной обработки данных.

Разработанные методы внедрены в образовательный процесс Карагандинский университет Казпотребсоюза и применяются при проведении учебных занятий, а также в курсовом и дипломном проектировании по направлениям, связанным с анализом данных и искусственным интеллектом.

Отдельные результаты исследования используются в научно-исследовательской деятельности Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики» при решении задач анализа семантических представлений и обработки текстовых данных.

По результатам диссертационного исследования получено авторское свидетельство — Свидетельство о внесении сведений в Государственный реестр прав на объекты, охраняемые авторским правом, № 66441 от 19 января 2026 года «Анализ внутренней размерности семантических пространств естественных языков».

Личный вклад соискателя. Личный вклад автора заключается в разработке методов и алгоритмов, а также в подготовке и публикации научных материалов по теме исследования.

Структура Диссертации. Эта диссертация охватывает полный объем и структуру исследования. Диссертация состоит из введения, четырех разделов, заключения, библиографии и приложений.

Во введении обосновывается актуальность выбранной темы, сформулированы цель и задачи, объект, предмет научно-исследовательской работы. Представленные результаты, выносимые на защиту проведенных исследований, показаны их научная новизна и практическая значимость. Приведены данные об апробации основных результатов исследования.

В первой главе представлен обзор литературы, посвященной естественному языку как сложной системе, включая его фрактальные структуры и методы идентификации текстов, генерируемых ботами. Глава охватывает различные аспекты взаимосвязи языка, семантики и хаотичности, делая акцент на ключевых исследованиях и подходах.

В рамках естественнонаучной парадигмы, проводятся исследования естественного языка как самоорганизованно-критичных систем. Здесь обсуждаются степенные закономерности в текстах, а также психофизиологические и когнитивные факторы, влияющие на появление указанных закономерностей. Также рассматриваются вопросы хаотичности и сложности семантических траекторий текстов. Анализируются исследования, количественные закономерности и принципы, управляющие языковыми процессами, а также методы оценки хаотичности, на основе пермутационной энтропии, и другие статистические подходы.

Важным аспектом является исследование языковой фрактальной структуры и методов оценки их внутренней размерности естественных языков. Здесь проводится анализ современных подходов, в частности подходы, опирающиеся на анализ странных аттракторов, графов данных и персистентной гомологии. Кроме того, обсуждаются исследования по идентификации автоматически сгенерированных текстов. Рассматриваются различные подходы, от анализа простых текстовых характеристик до сложных методов, основанных на семантических пространствах и эмоциональных особенностях текстов.

Во второй главе разработан комплекс методов анализа крупномасштабной структуры естественного языка на основе репрезентативного корпуса 52 языков из 18 языковых семей. Показано, что естественные языки могут рассматриваться как самоорганизованно-критичные системы, для которых характерны степенные закономерности распределений. Предложен подход к моделированию текста в виде семантической траектории в пространстве эмбедингов, позволивший установить хаотическую природу языковых данных на основе анализа энтропии и сложности. Разработаны методы оценки внутренней размерности языковых структур и методы топологического анализа семантического пространства, позволяющие выявлять их фрактальные и топологические особенности, включая устойчивые гомологические структуры («дыры») языка. На основе совокупности полученных признаков предложены методы идентификации бот-сгенерированных текстов, показавшие высокую эффективность при использовании алгоритмов машинного обучения.

В третьей главе приведены результаты применения разработанных методов к анализу естественных языков. На основе исследования 52 языков из 18 языковых семей установлено, что естественные языки демонстрируют степенные закономерности распределений, что подтверждает их природу как самоорганизованно-критичных систем, тогда как эсперанто представляет собой исключение, демонстрируя гауссовское распределение. Семантические траектории текстов подтверждают хаотическую природу языков, при этом подавляющее большинство из них обладает хаотическими свойствами. Кластерный анализ выявил типологические группы, коррелирующие с параметрами энтропии и сложности, а также подтверждающие ряд лингвистических гипотез, включая ареальные и типологические закономерности. Полученные оценки внутренней размерности указывают на мультифрактальную природу языков и их устойчивость к выбору методов, что позволяет рассматривать внутреннюю размерность как инвариантную характеристику языка.

Методы топологического анализа позволили выявить устойчивые гомологические структуры семантического пространства («дыры» языка), отражающие глубинные семантические ограничения языковых систем. На основе расстояний языковых единиц до этих структур предложен подход к идентификации текстов, сгенерированных ботами. Экспериментальные результаты показали статистически значимые различия между текстами человека и бота и высокую эффективность классификации.

В четвёртой главе рассматриваются результаты решения задачи идентификации текстов, сгенерированных ботами, на основе разработанных методов. В ходе широкомасштабных вычислительных экспериментов установлено, что эффективность классификации существенно зависит от выбора параметров эмбедингов и характеристик семантических траекторий, при этом оптимальные параметры варьируются в зависимости от языка. Показано, что признаки, основанные на анализе энтропии и сложности, а также кластеризации n -грамм, позволяют эффективно разделять тексты, созданные людьми и автоматизированными системами.

Установлено, что наилучшие результаты достигаются при использовании различных комбинаций признаков и классификаторов для разных языков, что свидетельствует об отсутствии универсальной модели. При этом достигнута высокая точность классификации (F1-оценка выше 0,9 для ряда языков), включая случаи, когда тексты в тестовой выборке были сгенерированы моделями, не использовавшимися на этапе обучения. Показано, что предложенный подход обеспечивает устойчивую идентификацию бот-сгенерированных текстов и обладает обобщающей способностью, что подтверждает его применимость в задачах анализа и фильтрации цифрового контента.

В заключении сформулированы основные результаты проведенного исследования, сделаны выводы о научной и практической значимости работы.

В приложении практические материалы исследования.

Автор выражает искреннюю признательность своему научному консультанту, кандидату технических наук, ассоциированному профессору Ильдару Гусмановичу Курмашеву, а также зарубежному научному консультанту, доктору физико-математических наук, профессору Василию Александровичу Громову за ценные научные рекомендации, постановку исследовательских задач, а также за постоянную поддержку и внимательное руководство в ходе выполнения диссертационной работы.