

АЛГОРИТМ ОБНАРУЖЕНИЯ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ПРОТИВОРЕЧИЙ МЕЖДУ SMART-СТАНДАРТАМИ НА ОСНОВЕ КЛАСТЕРИЗАЦИИ И ОЦЕНКИ EMD

Проказин М.Р.

МИРЭА – Российский технологический университет, Москва

Ключевые слова: умные стандарты, нормативные документы, машинное обучение, языковые модели, эмбединги, кластеризация, выявление противоречий, цифровая трансформация, формальная верификация, автоматизация стандартизации, искусственный интеллект, обработка естественного языка, цифровизация нормативных документов.

Аннотация. В статье рассматривается подход к выявлению противоречий между нормативными документами на естественном языке с использованием методов искусственного интеллекта. Внедрение «умных» стандартов, которые позволяют машинам автоматически понимать и применять нормативные требования, является важным этапом цифровой трансформации, однако на практике интеграция таких стандартов с традиционными нормативными документами неизбежна. При этом наличие противоречий между разными стандартами существенно усложняет их автоматическое применение и вызывает сбои в работе информационных систем. Автором предлагается новый подход к автоматизированному выявлению потенциальных противоречий, основанный на кластеризации текстовых данных с последующим анализом дисперсии эмбедингов нормативных положений. Используется модель больших языковых эмбедингов «text-embedding-ada-002», что позволяет преобразовать тексты в семантические векторные представления. Далее применяются методы кластеризации и количественный анализ внутрикластерной дисперсии, а также метрика оптимального транспорта (Earth Mover's Distance) для оценки различий между группами нормативных положений. Проведённые эксперименты на синтетических данных показали, что предложенный подход способен выявлять более 70% искусственно внесённых противоречий, однако выявлено значительное количество ложноположительных результатов, обусловленных влиянием различий в структуре и мета-данных документов. Полученные предварительные результаты демонстрируют возможность автоматизированного выделения областей потенциальных противоречий для последующего экспертного анализа. Практическая значимость работы заключается в создании программного решения, позволяющего автоматизировать поиск противоречий в больших массивах нормативной документации и обеспечить корректность взаимодействия как между системами, так и между человеком и машиной. Материалы статьи будут полезны разработчикам интеллектуальных систем автоматизации нормативной документации и специалистам, занимающимся цифровой трансформацией в сфере стандартизации.

ALGORITHM FOR DETECTING POTENTIAL CONTRADICTIONS BETWEEN SMART STANDARDS BASED ON CLUSTERING AND EMD EVALUATION

Prokazin M.R.

MIREA – Russian Technological University, Moscow

Keywords: SMART standards, regulatory documents, machine learning, language models, embeddings, clustering, contradiction detection, digital transformation, formal verification, standardization automation, artificial intelligence, natural language processing, digitization of regulatory documents.

Abstract. This article discusses an approach to detecting contradictions between regulatory documents written in natural language using artificial intelligence methods. The implementation of SMART standards, which allow machines to automatically understand and apply regulatory requirements, is an essential phase in digital transformation. However, in practice, integration between these SMART standards and traditional regulatory documents is inevitable. Contradictions between various standards significantly complicate their automatic application and cause disruptions in information systems. The author proposes a novel approach for automated detection of potential contradictions based on the clustering of textual data followed by embedding variance analysis of regulatory provisions. The approach utilizes the large language embedding model "text-embedding-ada-002" to convert texts into semantic vector representations. Subsequently, clustering methods and quantitative analysis of intracluster variance, as well as the Earth Mover's Distance metric, are applied to evaluate differences between groups of regulatory provisions. Experiments conducted on synthetic data demonstrated that the proposed method successfully identifies over 70% of artificially introduced contradictions, although a substantial number of false-positive results were noted due to structural and metadata differences between documents. These preliminary results indicate the feasibility of automatically identifying areas of potential contradiction for subsequent expert analysis. The practical significance of this work lies in developing a software solution capable of automating contradiction detection in large arrays of regulatory documentation, thereby ensuring correct interaction between systems, as well as between humans and machines. The article materials will be valuable to developers of intelligent automation systems for regulatory documentation and specialists involved in digital transformation within the standardization domain.

Введение

Цифровая трансформация затрагивает сферу стандартизации, продвигая идею машиночитаемых нормативных документов («умных» стандартов). SMART-стандарты представляют собой стандарты, содержание которых формализовано в структурированном виде, что обеспечивает их автоматизированную обработку и интеграцию в информационные системы [1]. В частности, предполагается, что машиноинтерпретируемый формат SMART-стандартов позволит реализовать автоматическую проверку соблюдения требований нормативных документов [1]. Однако для успешной автоматизации критически важно отсутствие противоречий между различными нормативными документами. Противоречивые или дублирующие друг друга требования в стандартах могут привести к неоднозначности в их применении и затруднить соблюдение или сертификацию продукции под различные нормы. Например, один стандарт может требовать определенный метод испытаний продукта, тогда как другой стандарт фактически запрещает применение этого метода – подобные коллизии ставят исполнителя в затруднительное положение. Поэтому актуальной является задача раннего выявления и устранения потенциальных противоречий между нормативными документами, особенно при переходе к их цифровым «умным» формам.

Цель настоящего исследования – разработка алгоритма автоматизированного поиска потенциальных противоречий между SMART-стандартами. Предлагаемый метод основан на сравнении семантического содержания положений стандартов с помощью методов кластеризации и количественной оценки различий между ними с использованием метрики Earth Mover's Distance (EMD). Ниже приводится описание методики и результаты ее предварительной проверки.

Метод поиска потенциальных противоречий

Использование структуры SMART-стандарта (XML). Каждый SMART-стандарт подготовлен в виде XML-документа, содержащего формализованные информационные объекты – разделы, требования, определения, таблицы и др. Эти типы элементов и их семантика определены соответствующими стандартами серии SMART [2]. Из XML-структуры стандарта выделяются фрагменты, несущие основные нормативные положения и требования (например, отдельные пункты стандарта, содержащие императивные формулировки). Такие фрагменты рассматриваются как единицы информации для дальнейшего анализа.

Преобразование данных в эмбединги. Для каждого выделенного положения вычисляется векторное представление (эмбединг), отражающее его семантическое содержание. В качестве эмбединга можно использовать распределенное представление текста – например, путем усреднения эмбедингов слов или применения предобученной нейронной языковой модели. Это позволяет представить текст положения стандарта как точку в многомерном пространстве признаков. В таком пространстве семантически близкие положения будут расположены ближе друг к другу, а положения с разным смыслом – дальше.

Кластеризация положений стандартов. На множестве эмбедингов всех рассмотренных стандартов выполняется кластеризация с целью сгруппировать схожие по смыслу положения. Применяется алгоритм плотностной кластеризации HDBSCAN [3], способный выявлять кластеры произвольной формы и отделять «шумовые» точки (единичные положения, не имеющие близких аналогов). Важным преимуществом HDBSCAN является отсутствие необходимости задавать число кластеров заранее, что удобно при анализе большого корпуса стандартов с неизвестной структурой групп схожих требований. Для повышения эффективности и качества кластеризации предварительно может использоваться снижение размерности признакового пространства методом UMAP – этот алгоритм нелинейной проекции сохраняет локальную близость точек и облегчает разделение групп схожих положений. В результате кластеризации формируются группы положений, в каждой из которых собраны фрагменты из одного или нескольких стандартов, максимально близкие по тематике и формулировкам друг к другу.

Оценка потенциальных противоречий с помощью EMD. Завершающий этап алгоритма направлен на оценку того, насколько существенно различаются между собой положения разных стандартов внутри каждого кластера. Если кластер содержит положения лишь одного стандарта, он не может свидетельствовать о междокументном противоречии и отбрасывается. Для каждого кластера, содержащего фрагменты из двух и более стандартов, производится попарное сравнение стандартов. Мы представляем положения каждого стандарта в данном кластере как отдельное множество точек (подмножество эмбедингов, принадлежащих этому стандарту). Затем вычисляется расстояние Earth Mover's Distance между этими двумя множествами эмбедингов. Метрика EMD определяется как минимальная «работа» по преобразованию одного распределения в другое [3] и широко применяется для измерения дистанций

между распределениями (например, между гистограммами признаков изображений). По сути, EMD измеряет, насколько далеко «расположены» друг от друга два облака точек (две выборки положений) в пространстве признаков. В контексте нашего алгоритма EMD служит мерой степени расхождения в содержании схожих по тематике фрагментов разных стандартов. Если EMD между положениями двух стандартов в пределах одного кластера превышает заданный порог, то делается вывод, что соответствующие положения, хотя и тематически близки, существенно различаются по смыслу. Такой кластер помечается как содержащий потенциальное противоречие. Отметим, что на данном этапе мы выявляем именно потенциальные противоречия – итоговая интерпретация (подтверждение или опровержение противоречия) может потребовать анализа эксперта, однако алгоритм позволяет сузить круг подозрительных фрагментов для такого анализа.

Предварительные результаты

Для первичной проверки подхода был создан синтетический набор SMART-стандартов, смоделированный по структуре реальных нормативных документов. В него были включены автоматически сгенерированные положения, среди которых намеренно внесены противоречия (пары взаимоисключающих или конфликтующих требований). Применение разработанного алгоритма на этих данных показало обнадеживающие результаты. Было выявлено более 70% искусственно внесенных противоречий уже на этапе кластеризации и последующей оценки EMD. Это свидетельствует о высокой чувствительности метода к наличию расхождений между документами. Однако одновременно наблюдается и значительное число ложноположительных срабатываний: алгоритм нередко обозначает как противоречие такие различия между стандартами, которые по сути не являются конфликтом требований. Например, обнаруживалось, что один стандарт разбивает информацию на несколько узкоспециализированных пунктов, тогда как другой объединяет ту же информацию в одном обобщенном требовании. Формально тексты таких положений отличаются, что и фиксирует алгоритм, однако противоречия в смысле может не быть (требования просто сформулированы с разной степенью детализации). Анализ результатов показал, что большинство ложных срабатываний обусловлено именно различиями в структуре представления и объеме метаданных стандартов, а не реальными противоречиями. Иными словами, метод в текущем виде чувствителен к формальным отличиям, не всегда улавливая, выражают ли эти отличия истинный конфликт требований. Тем не менее, даже в настоящей ранней стадии, более половины (и вплотную к двум третям) внесенных противоречий корректно обнаруживаются алгоритмом, что демонстрирует его потенциал.

Заключение

Проведенное исследование подтвердило принципиальную реализуемость подхода к обнаружению потенциальных противоречий между SMART-стандартами на основе кластеризации их положений и последующей оценки различий с помощью метрики Earth Mover's Distance. Метод способен автоматически выделять группы схожих требований из различных стандартов и

выявлять среди них пары, существенно расходящиеся по смыслу. Таким образом, он может служить эффективным инструментом для предварительного анализа совместимости нормативных документов. Тем не менее, на текущем этапе у метода имеются ограничения. Главный недостаток – повышенное число ложных срабатываний, вызванных чувствительностью алгоритма к формальным различиям в представлении стандартов. Для преодоления этого недостатка в дальнейшем планируется усовершенствовать этапы подготовки и анализа данных: нормализовать структуру входных документов, исключать из рассмотрения служебные элементы и метаданные, не влияющие на смысл требований, и более тщательно настраивать пороговое значение EMD для определения противоречия. Также представляется перспективным внедрение более глубокого семантического анализа с использованием современных моделей обработки естественного языка, способных улавливать тонкие логико-семантические противоречия, которые не сводятся к различиям в словах. В частности, интересно будет проанализировать пары документов, которые по экспертным оценкам могут содержать конфликты (например, между национальными ГОСТ и международными ISO, или между стандартами разных ведомств), чтобы проверить, обнаруживает ли их алгоритм и соответствует ли вывод экспертов. В перспективе, после снижения доли ложных тревог, планируется апробация метода на корпусе реальных стандартов из различных предметных областей. Автоматическое выявление противоречий в нормативных документах может стать важным подспорьем для экспертов при актуализации и гармонизации стандартов, а также повысит доверие к SMART-стандартам как инструменту цифровой трансформации в сфере технического регулирования.

Список литературы

1. ПНСТ 864-2023. Информационные технологии. Умные (SMART) стандарты. Общие положения. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1305126566>.
2. SMART – стандарты. Технологии работы с «умными» стандартами. Первый опыт SMART-стандартизации. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.cksit-rspp.ru/upload/iblock/8b7/84x3zt2gkzm70lj8o4c9a33qjb3qxwg7.pdf>.
3. Stewart G., Al-Khassaweneh M. An implementation of the HDBSCAN* clustering algorithm // Applied Sciences. 2022, vol. 12, no. 5, p. 2405.

Сведения об авторе:

Проказин Михаил Русланович – аспирант.