

# ПРИМЕНЕНИЕ ВЕКТОРНЫХ МОДЕЛЕЙ ЯЗЫКА В СИСТЕМАХ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

**А.А. Кулинич**

*Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН*

Россия, 117997, Москва, Профсоюзная ул., 65

E-mail: alexkul@rambler.ru

**Ключевые слова:** неструктурированные данные, семиотическая модель, векторная модель языка, обратная задача, интерпретация решений, Word2Vec, ruGPT, ruBERT.

**Аннотация:** Рассмотрена математическая модель системы поддержки принятия решений в условиях неопределенности. Модель основана на семиотической модели ситуации. Предложены методы решения обратной задачи для поиска формальных решений достижения цели. Для интерпретации решений предложено применить векторные модели языка, полученные путем обучения нейронных сетей большим корпусом текста. Рассмотрены примеры интерпретации решений с помощью векторных моделей языка и проанализированы их возможности для принятия решений.

## 1. Введение

Принятие решений в социальных, политических, экономических и организационных системах основывается на системном анализе. Принято выделять «жесткий» и «мягкий» системный анализ. При «жестком» системном анализе считается, что все параметры объекта принятия решений точно измерены и представлены в числовом виде. Известна структура объекта и модель, описывающая его функционирование. Субъективные оценки параметров, также представлены в числовом виде, а поведение субъектов ситуации принятия решений детерминированы. Субъективные оценки и личностный фактор, включенные «жесткую» модель, несмотря на ее математическую строгость, создают проблемы при принятии решений.

«Мягкий» системный анализ основывается на принципе ограниченной рациональности [1], который утверждает, что в силу ограниченных когнитивных ресурсов лиц создающих модель объекта, можно создать упрощенную системную модель с гипотетической структурой, а параметры модели могут иметь лингвистические значения [2]. Построение модели в рамках «мягкого» системного анализа основано на изучении литературы, экспертных оценках, т.е. исходными данными являются неструктурированные данные – свободный текст. Модель описывает объект на ограниченном естественном языке, который предлагает эксперт.

Известным математическим аппаратом «мягкого» системного анализа являются когнитивные карты [3, 4]. Результаты моделирования, в такой модели представлены на экспертном ограниченном естественном языке и интерпретируются самим экспертом в терминах его знаний, которых может быть недостаточно для получения нового решения. Интерпретация должна включать знания о предметной области релевантные решению, но находящиеся за пределами ограниченного экспертного языка и упрощенной модели ситуации. Получить такие интерпретации можно на основе

обработки неструктурированных данных с использованием методов обработки естественного языка.

В настоящее время значительное количество информации представлено в виде неструктурированных данных. Лингвисты и специалисты в области обработки естественного языка используют эти ресурсы для разработки словарей, тезаурусов и др., создание которых основано на автоматической или ручной разметке большого количества текстов разнообразной тематики. Создается структурированное представление о языке в виде его системных моделей. Например, известен национальный корпус русского языка (НКРЯ) [5], включающий более двух миллиардов слов, толково-комбинаторный словарь, поддерживающий теорию «Смысл-Текст» [6], ассоциативный словарь русского языка [7], позволяющий построить ассоциативно-вербальную сеть русского языка. Вся эта структурированная лингвистическая информация результат многолетнего труда лингвистов-теоретиков имеет комбинаторную сложность создания. Возможно, именно поэтому все эти лингвистические ресурсы не покрывают все возможные ситуации принятия решений.

Использование этих лингвистических ресурсов для автоматической обработки естественного языка требует интерфейс к словарям с развитой системой запросов и возможность встраивания их в прикладные системы поддержки принятия решений. Интернет ресурс НКРЯ дает ограниченный доступ к своим ресурсам и не имеет интерфейса для встраивания в прикладные системы. Это же касается и ассоциативного словаря русского языка. Толково-комбинаторный словарь представлен в формате pdf файла, что не способствует автоматизации его использования.

В настоящее время в системах обработки естественного языка находят применение векторные модели языка, полученные путем обучения нейронной сети большим корпусом текста [8]. Такие модели предсказывают вероятность совместного употребления слов в виде контекстного вектора, включающего слова предметной области и вероятности их совместного употребления. В таких векторных моделях языка определены операции с контекстными векторами слов, что позволяет выделять из векторной модели семантические отношения, необходимые для поддержки принятия решений. Нейронная сеть, обученная большим корпусом текста, сохраняет лексические и семантические отношения текста и считается векторной моделью языка.

В этой работе исследована возможность применения векторных моделей языка в системах поддержки принятия решений в условиях неопределенности.

## 2. Семиотическая модель ситуации

Для поддержки процесса поиска решений строится семиотическая модель [9], в которой определено имя моделируемой ситуации –  $d$  и множество имен ее параметров  $\{f_i\}$ ,  $i=1, \dots, N$ . Для параметров  $f_i$  задано упорядоченное множество лингвистических значений,  $Z=\{Z_i\}$ , т.е.  $Z_i=\{z_{i1}, \dots, z_{iq}\}$ ,  $z_{iq+1} \succ z_{iq}$ ,  $q=0 \dots n-1$ . Вектор параметров ситуации в момент времени  $t$ ,  $Z(t)=(z_{1e}, \dots, z_{nq})$  называется ее состоянием. Для начального состояния  $Z(0)$  ( $t=0$ ) определено имя базового понятия  $d^0=d$ ,  $Z(0) \leftrightarrow d^0$ . Причинно-следственные отношения на множествах значений  $\times_i Z_i$  всех параметров заданы системой конечно-разностных уравнений:  $W:Z(t) \rightarrow Z(t+1)$ , где  $Z(t) \in \times_i Z_i$ .

Пространство состояний  $SS=\times_i Z_i$  системы интерпретируется как семантическое пространство, в котором эксперт определяет область  $SS(d^0)$  базового понятия  $d^0$  как прямое произведение  $\varepsilon$ -окрестностей всех его параметров, т.е.  $SS(d^0)=(z_1(0) \pm \varepsilon_1) \times \dots \times (z_n(0) \pm \varepsilon_n)$ . Далее семантическое пространство структурируется на

рекурсивно вложенные области возможных состояний  $SS(d^H) \subset SS$ , имеющие имена  $d^H$ ,  $SS(d^H) \Leftrightarrow d^H$ , т.е.  $SS(d^H) \subset SS$ ,  $SS(d^0) \subset SS(d^H)$ ,  $H=1, \dots, 3^N$ , где  $N$ -число признаков понятия  $d^0$ . Все области помечены именами  $d^H$  и по вложению областей состояний  $SS(d^H)$  образуют частично упорядоченное множество имен  $\{d^H\}$  классов состояний  $CF=(\{d^H\}, \leq)$ , которое называется концептуальным каркасом предметной области [9]. В концептуальном каркасе определено имя базового понятия  $d^0$ , а остальные имена  $d^H$  - это математические символы обозначающие имя класса состояний [9].

Для поддержки процесса поиска решений в семиотической модели решается обратная задача. Ее решения позволяют изменить вектор начального состояния  $Z(0) \Leftrightarrow d^0$  на целевой вектор параметров  $U_{goal}$ . Формально решение этой задачи запишется так:  $U=W^T \circ U_{goal}$ , где  $\circ$  процедура обратного вывода [10].

Решение обратной задачи – это множество решений  $U=\{U_i\}$ , где  $U_i=(u_{1e}^i, \dots, u_{nq}^i)$  – вектор управляющих воздействий,  $u_{ij} \in Z_i$ . Решения будем представлять в виде точек с координатами элементов векторов  $U_i$  в структурированном семантическом пространстве  $SS$ . Тогда, решения представляются в разных областях  $SS(d^H)$  с именами классов состояний  $d^H$ . Решения обратной задачи  $U$  представляем в виде частично упорядоченного множества имен  $\{d^{H*}\}$  классов решений  $CF^*=(\{d^{H*}\}, \leq)$ ,  $CF^* \subset CF$  [9].

Решения будем представлять составным именем на ограниченном естественном языке по правилу [9]:  $d_i^H = d^0 \& z_i^*$ , где  $z_i^* = f_i \& Z$ , где  $f_i$  - имя параметра,  $Z=(\text{большой, малый})$  - оценка значения,  $Z= \text{«большой»}$ , если  $u_{1e}^i > z_i(0)$ ,  $Z= \text{«малый»}$ , если  $u_{1e}^i < z_i(0)$ .

### 3. Поддержка принятия и интерпретации решений

Получаемые решения в виде составных имен классов решений отражают ограниченный язык автора этой модели. Для представления решения в альтернативных языковых формах решения интерпретируются с помощью векторных моделей языка, получаемых в результате обучения нейронных сетей текстовым корпусом.

Среди векторных моделей языка выделяются статические и динамические модели. Статические модели это дистрибутивные семантические модели, основанные на изучении окружения слов текста без использования сведений об их лексическом или грамматическом значении. Для обучения дистрибутивно семантической модели создается корпус текста предметной области. Это множество предложений, в которых все слова нормализуются: существительные представляются в именительном падеже, единственного числа, глаголы в форме инфинитива, удаляются стоп слова (предлоги, союзы, и т.д.). Создается обучающая выборка, включающая все последовательности слов каждого предложения в окружении 3-10 слов. В результате обучения этой выборкой каждому слову присваивается контекстный вектор, который характеризует вероятность совместной встречаемости слов в корпусе текста. Множество контекстных векторов формирует векторное пространство, в котором определено семантическое расстояние между словами и операции с контекстными векторами слов. При таком подходе разрушается синтаксическая структура текста, но векторное пространство сохраняет семантику предметной области, т.к. лингвистические единицы, встречающиеся в схожих контекстах, имеют близкие контекстные векторы.

Для экспериментов использовалась статическая векторная модель word2vec [9]. Корпус текста скачивался из Интернета с сайтов, включающих имя базового понятия  $d^0 = \text{«Бизнесмены»}$ . В результате обучения был получен словарь предметной области,  $Vc=\{v_i\}$ ,  $i = 1, \dots, q$ , и множество контекстных векторов  $R_w^*=(v_1/r_{p1}, \dots, v_q/r_{pq})$ ,  $p = 1, \dots, q$ , которые характеризуют вероятность  $(r_{pi})$  совместного употребления слов  $(v_1, \dots, v_q)$  с другими словами предметной области.

В технологии word2vec определены операции с векторами слов, позволяющие определить вероятность совместного употребления сочетания отдельных слов с другими словами предметной области.

Для интерпретации в обученную модель (w2v) подставлялось составное имя класса решений  $d^H$ , т.е.  $w2v:(d^H) \rightarrow R_w^*$ . В результате составное имя класса решений  $d^H$ , включающее имена параметров модели связывается ассоциативно-вербальной сетью со словами из словаря предметной области, включенными в контекстный вектор  $R_w^*$ .

Например, для составного имени «Недовольные бизнесмены» с помощью обученной векторной модели в ассоциативно вербальной сети были получены два новых класса решений: «Вредные бизнесмены» и «Недоверчивые бизнесмены» [9].

Статические векторные модели языка представляют собой вероятностную форму системной модели языка, поскольку позволяют извлечь из векторной модели различные элементы системных моделей языка, разработанных лингвистами.

Статические векторные модели не позволяют получить контекст совместного употребления слов, который позволяет понять смысл имени класса решения. Контекст совместного употребления слов извлекается из корпуса текста с применением лексико-синтаксических шаблонов, которые позволяют сформировать словарь гиперонимов – гипонимов предметной области [9]. В словарь включены предложения, в которых были выделены родовидовые отношения. Структура словаря определена в виде кортежа:  $\langle \text{HYPER}, \text{HYPO}, \text{Contex} \rangle$ , где HYPER, HYPO – это гипоним и гипероним, Contex – это предложение, в котором эти родовидовые отношения были обнаружены.

Имена классов решений находим в пересечение гиперонимов из словаря и слов в векторе решения  $R_w^*$ :  $\langle (V \cap \text{HYPER}); \text{Context} \rangle$ , где  $V = \{v_i\} \in R_w^*$ . Пересечение  $(V \cap \text{HYPER})$  дает множество имен классов решений и их контекст (Context).

Для класса «Недоверчивые бизнесмены» был получен следующий контекст: «Ну да, а наши нынешние бизнесмены не доверяют никому и ничему - ни своим партнерам, ни государству, ни чьим-либо обещаниям».

В динамических моделях для обучения используется целое предложение или абзац. Динамические модели используют нейросетевые архитектуры на основе трансформеров. Это многослойные сети глубокого обучения, в каждый слой которого встроен механизм внимания, который вычисляет важность каждого слова в предложении. Считается, что обученная нейросеть выделяет синтаксическую структуру предложений. Словарь такой нейросети состоит из слов, которые подставляются в синтаксическую структуру, выделенную нейросетью, получая новое предложение.

Полученные в статической модели языка имена новых классов решений и их контекст далее исследовались с помощью динамических моделей языка. Для экспериментов используются предобученные векторные модели (ruBERT, ruGPT) и библиотеки Transformers [11]. Рассмотрим примеры решения векторными моделями языка вопросно-ответной задачи и задачи генерация текста.

Пример вопросно-ответной системы на основе векторной модели `rugpt_medium_turbo_instructed` следующий:

Вопрос: *Почему бизнесмены вредные?*

Ответ: *Бизнесмены, которые наносят вред своим клиентам и окружающей среде, могут быть опасными для общества. Они могут использовать незаконную рекламу или мошеннические схемы в своей работе, а также нарушать экологические нормы.*

Эта векторная модель дает ответ, опираясь на «знания», которые содержатся в динамической векторной модели языка. Полученный контекст для класса решений «Вредные бизнесмены» позволяет понять его смысл, не применяя лексико-синтаксические шаблоны.

Пример применения векторной модели языка (rugpt3large\_based\_on\_gpt2) для генерации текста. С помощью этой модели получим пояснение для полученных ранее имен новых классов решений: «Вредные бизнесмены» и «Недоверчивые бизнесмены». Векторная модель продолжает тему этих классов решений после слова «это»:

1. Вредные бизнесмены *это те, кто не может или не хочет работать.*
2. Недоверчивые бизнесмены *это те, кто не верит в успех.*

Рассмотрим контекст класса решений «Недоверчивые бизнесмены», но в конце предложение добавим фразу «потому, что». Часть предложения до этой фразы считается темой, а векторная модель языка должна продолжить эту тему.

Тема и ее развитие: Ну да, а наши нынешние бизнесмены не доверяют никому и ничему - ни своим партнерам, ни чьим-либо обещаниям «потому, что» *не знают, что с ними будет завтра.*

Развитие темы, сгенерированное векторной моделью языка следует после фразы «потому, что». Трудно комментировать «творчество» векторной модели языка, однако, для активизации мыслительной деятельности в поисках решений сгенерированный текст может активизировать интеллектуальную деятельность для получения решения.

## 4. Заключение

Исследована возможность интерпретации формальных решений обратной задачи, полученных в семиотической модели ситуации с помощью статических и динамических векторных моделей языка. Статические векторные модели языка позволяют получить с помощью лексико-синтаксических шаблонов имена классов решений и контекст их употребления. Динамические векторные модели языка решают большое количество языковых задач, однако, некоторые решения выглядят некорректными. Однако, в задачах поиска решений в «мягком» системном анализе контр фактические и абсурдные идеи не отвергаются. Такие решения принимаются к рассмотрению, например в методах мозгового штурма, синектики поскольку они стимулируют мышление и могут привести к появлению нетривиальных решений.

## Список литературы

1. Саймон Г. А. Рациональность как процесс и продукт мышления // THESIS. 1993. Вып. 3. С. 16-38
2. Checkland P.B. Systems Thinking, Systems Practice. New York: Wiley, 1981. 330 P.
3. Axelrod R. The Structure of Decision: Cognitive Maps of Political Elites. Princeton University Press, 1976.
4. Kosko B. Fuzzy thinking: the New Science of Fuzzy Logic. Hyperion, 1993. 336 p.
5. Национальный корпус русского языка <https://ruscorpora.ru/> (дата обращения 19.12.2023)
6. Мельчук И.А. и др. Толково-комбинаторный словарь современного русского языка: Опыты семантико-синтаксического описания русской лексики. М.: Глобал Ком: Языки славянской культуры, 2016. 544 с.
7. Караулов Ю. Н. и др. Русский ассоциативный словарь. М.: АСТ-Астрель, 2002.
8. Mikolov T. et al. Distributed representations of words and phrases and their compositionality // In: Advances in Neural Information Processing Systems: 27th Annual Conference on Neural Information Processing Systems. Proc. Dec. 5-8, 2013, Lake Tahoe, Nevada, United States. p. 3111-3119.
9. Kulinich A.A. Semiotic Model of Mental Space // Pattern Recognit. Image Anal. 2023. Vol. 33. P. 373-382, <https://doi.org/10.1134/S1054661823030239>
10. Pedrycz W. Fuzzy models and relational equations // Math. Modeling. 1987. № 9. P. 427-434.
11. <https://huggingface.co/models/>.