

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ
РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
РОССИЙСКАЯ АССОЦИАЦИЯ НЕЙРОИНФОРМАТИКИ
МОСКОВСКИЙ ИНЖЕНЕРНО-ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ)
ИНСТИТУТ ОПТИКО-НЕЙРОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ РАН

НАУЧНАЯ СЕССИЯ МИФИ–2007

НЕЙРОИНФОРМАТИКА–2007

**IX ВСЕРОССИЙСКАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ
КОНФЕРЕНЦИЯ**

**ЛЕКЦИИ
ПО НЕЙРОИНФОРМАТИКЕ
Часть 2**

По материалам Школы-семинара
«Современные проблемы нейронинформатики»

Москва 2007

УДК 001(06)+004.032.26 (06) Нейронные сети
ББК 72я5+32.818я5
М82

НАУЧНАЯ СЕССИЯ МИФИ–2007. IX ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «НЕЙРОИНФОРМАТИКА–2007»: ЛЕКЦИИ ПО НЕЙРОИНФОРМАТИКЕ. Часть 2. – М.: МИФИ, 2007. – 148 с.

В книге публикуются тексты лекций, прочитанных на Школе-семинаре «Современные проблемы нейроинформатики», проходившей 24–26 января 2007 года в МИФИ в рамках IX Всероссийской конференции «Нейроинформатика–2007».

Материалы лекций связаны с рядом проблем, актуальных для современного этапа развития нейроинформатики, включая ее взаимодействие с другими научно-техническими областями.

Ответственный редактор
Ю. В. Тюменцев, кандидат технических наук

ISBN 5–7262–0708–4 © *Московский инженерно-физический институт
(государственный университет), 2007*

Содержание

<i>В. Л. Введенский. Построение смыслового пространства языка человека</i>	121
Введение	122
Базовый словарный состав языка	124
Строение корней слов индоевропейских языков	127
Пространство близости языков	129
Множество корней глаголов	131
Усвоение языка детьми	138
Пространство смысловой близости слов	139
Заключение	145
Литература	146

В. Л. ВВЕДЕНСКИЙ
Курчатовский институт,
Москва
E-mail: vvedensky@imp.kiae.ru

ПОСТРОЕНИЕ СМЫСЛОВОГО ПРОСТРАНСТВА ЯЗЫКА ЧЕЛОВЕКА

Аннотация

В работе подробно изложен нетрадиционный подход к проблеме представления человеческого языка в форме, приемлемой для компьютера. В языке человека ключевым, является смысл применяемых слов, но формализация категории смысла считается неосуществимой задачей. И все же мы полагаем, что такая возможность имеется. Смысл выражения — это то, что должен передать переводчик, а не просто заменить слова одного языка на слова другого. В качестве объекта исследования мы взяли множество словарей разных языков, полагая, что содержание словарных статей отражает смысл соответствующих слов. Мы обнаружили, что устройство лексиконов разных языков подчиняется строгим математическим закономерностям, опираясь на которые, можно установить способ представления языка в мозге человека. Рассматривалось множество глаголов европейских языков, и оказалось, что звуковая форма корней этих слов в разных языках позволяет упорядочить их в виде плотноупакованной структуры на двумерной поверхности. Это указывает на способ представления звучания глаголов на коре мозга, где очевидно имеется компактная область, кодирующая звучание. Видимо именно она поражается при инсультах, приводящих к нарушению речи. Если же упорядочить множество глаголов по смыслу, то их также можно распределить на двумерной поверхности, однако они образуют не плотное пятно, а группируются в своеобразную дендритную структуру. Глаголы представлены на двумерной поверхности коры, по крайней мере, в двух областях, строение которых существенно различно. Мы полагаем, что полученные результаты могут быть полезны для разработки систем речевого контакта с компьютером.

V. L. VVEDENSKY
Kurchatov Institute,
Moscow, Russia
E-mail: vvedensky@imp.kiae.ru

CONSTRUCTION OF THE MENTAL SPACE OF THE HUMAN LANGUAGE

Abstract

An unorthodox approach to the problem of implementation of human language in computer is presented. The meaning of words is the crucial feature of the human language. Formalization of meaning or sense is considered unfeasible, though we believe that this can be done. The main goal for any interpreter is to reproduce the meaning of an utterance, but not to convert the words used into other language. We took dictionaries of many languages as the object for our study since we believe that they reflect the sense of the words included. It turns out that the lexicons of different languages are built in accordance with quite strict mathematical rules, which provide insight into the organization of language in the human brain. We performed a scrutiny of the manifold of verbs of several European languages and did show that the phonetic form of the roots is such that one can organize them into a densely packed two-dimensional array. The phonation of verb roots is probably presented on the cortical surface in such a way. Most probably, just this area is damaged, when the speech is affected as a result of local cerebral hemorrhage. If the meanings of the verbs are taken as a classification factor, these words can also be arranged over the two-dimensional surface, though as a dendrite structure. The verbs seem to be presented in two different areas in the cortex, which have different structures. We believe that these findings can be useful for the design of the computer speech interface.

Введение

Широкое проникновение в современную жизнь компьютерной техники в виде интернета и мобильных телефонов настоятельно требует удобного для широкого круга людей способа управления этими устройствами. Традиционная клавиатура и мышь (или джойстик) неудобны для приборов все уменьшающихся в размерах, особенно для мобильных телефонов или карманных компьютеров. Здесь ограничивающим фактором является размер

пальца и острота зрения. Разумной альтернативой может служить управление голосом в необходимых случаях. Функция голосового набора телефонного номера уже встроена в большинство мобильных телефонов, однако надо заметить, что качество этой функции не вызывает восторга у пользователей. Телефон (по сути дела компьютер) чаще всего «не понимает» что было произнесено, особенно в условиях шума или других разговоров вокруг. Для человека же понять какой номер назван не составляет труда, даже если это жаргонное «две дюжины полста». Похоже у людей имеется какой-то «встроенный» механизм, позволяющий решать задачу распознавания речи с легкостью недостижимой для самых сложных компьютеров [1]. Несмотря на то, что компьютеры достигли уровня позволяющего обыгрывать ведущих гроссмейстеров в шахматы, их способности в распознавании речи не вышли за рамки ясельного возраста у людей, хотя эту задачу стараются решить уже более тридцати лет [2]. Основы применяемых ныне методов распознавания речи изложены в обзоре [3].

Серьезные затруднения на пути создания систем автоматического распознавания речи заставляют пристальнее взглянуть на то, как устроены механизмы, осуществляющие функцию языка в мозге человека [4]. Наиболее характерно, что говоря с человеком, нам важно не распознавание, а понимание речи. То есть следует не просто узнать произнесенные слова (некоторые вообще не нужны для понимания), а определить передаваемый смысл даже очень короткого сообщения. Понятие смысла (Рус — *смысл, значение*; Ger — *Sinn, Bedeutung*; Eng — *sense, meaning*; Fra — *sens*; Gre — *εννοια, νοημα, σημασια*, откуда — семантика) не рассматривается в общепринятых ныне подходах к созданию систем речевого контакта с компьютером. Собственно говоря, не ясно, как его можно ввести в математической форме. В настоящей статье мы и хотим изложить подход к описанию понятия смысла. Исходной точкой является известное требование к любому переводчику, чтобы он переводил смысл высказывания, а не произнесенные слова. Хорошие переводчики с этим справляются, то есть для них смысл — это вполне практическая вещь. Да и обычные люди легко могут сказать, что некоторые слова близки по смыслу, причем одно ближе, а другое дальше. В русском языке изменение приставки в слове может или слабо, или радикально повлиять на смысл слова. Возникает ощущение, что в пространстве слов имеется некоторая метрика, позволяющая описать такое пространство.

Множество слов (тезаурус, лексикон) некоторого языка часто рассматривается как граф, где слова являются узлами, соединенными связями, от-

ражающими семантические отношения [5, 6, 7]. Слова английского языка, в количестве около 100 тысяч, могут быть представлены как абстрактные математические объекты и анализ показывает, что их можно разместить в пространстве невысокой размерности. Такой результат вытекает из рассмотрения множества блужданий по этой сети, которым можно сопоставить речь человека. Любое предложение является траекторией в таком пространстве. Основная масса связей локальна, но встречаются и связи между сильно удаленными объектами во вмещающем пространстве. Наши дальнейшие результаты согласуются с этими утверждениями, но имеют значительно более конкретную форму. Представление в виде графа иногда может быть чрезвычайно неадекватным, характерным примером тому является знаменитая римская дорожная карта *Tabula Peutingeriana*. На ней изображена вся Римская империя от Ирландии до Индии с указанием множества городов и сетью дорог между ними, отмеченными числом дневных переходов. Она в общем-то точна, но очертания морей и суши искажены так, что практически неузнаваемы. Зато ее удалось разместить на свитке длина которого во много раз больше ширины. Его удобно скручивать в рулон. Если же не задаваться такой утилитарной целью, то даже имеющиеся сведения о расстояниях между городами могут дать правильные сведения о строении земли, морей и суши. Данные заключенные в графе могут быть использованы для определения свойств вмещающего его пространства. Так из расписания авиарейсов в большом международном аэропорту, без каких-либо дополнительных данных можно установить, что Земля — это шар. Примерно эту задачу мы и поставили себе, пытаясь из данных собранных в словарях (лексиконах) разных языков определить свойства структур в мозге человека осуществляющих функцию языка.

Базовый словарный состав языка

В своем подходе мы старались использовать те возможности, которые предоставляет учет близости по смыслу различных слов языка. У слова есть как бы две ипостаси: его звучание и его значение, причем и то и другое во многих случаях очень нечетко определено с формальной точки зрения, в частности, при описании фонограмм речи или при выборе конкретного синонима из списка. Это не создает проблем для людей, но пока является почти непреодолимым препятствием для систем автоматического распознавания речи или перевода на другой язык.

Для целей анализа было бы разумно как-то выделить наиболее существенное ядро языка, максимально отражающее его базовые свойства, как с точки зрения звучания, так и по организации смысловых связей. Можно, например, рассматривать наиболее часто встречающиеся в речи или текстах слова, частотное распределение которых следует закону Ципфа [8] (или Зифа, по-американски). Однако оказывается, что большинство часто встречающихся слов выполняют в языке чисто служебные функции (артикли, предлоги и т. п.), тогда как многие редко употребляемые слова, например указывающие на опасность, несомненно очень важны.

Мы полагаем, что для выделения смыслового ядра языка важную роль может сыграть китайская система изображения слов с помощью иероглифов, которые отражают не звучание слов, а их смысловое содержание. Китайцы записывают отдельные слова с помощью одного, двух или трех иероглифов, иногда даже больше. Можно допустить, что многовековая практика использования этой системы привела к тому, что наиболее экономно, то есть используя лишь один символ, изображаются понятия наиболее существенные для языка. Оказывается, что единичных иероглифов, передающих конкретное понятие всего около 1000 [9, 10]. Большинство иероглифов используется только в сочетаниях. Переводы основных иероглифов в значительной степени совпадают со словами, включающими основные корни большинства европейских языков (вероятно и остальных тоже). В европейских языках имеются 1300–1800 слов, которые соответствуют понятиям, описываемым единичными китайскими иероглифами, превышение 1000 объясняется существованием синонимов. Одному иероглифу могут соответствовать несколько переводов на европейский язык, причем обратный перевод на китайский может обозначаться и совсем другим иероглифом. То же самое относится и к переводам основных слов с одного европейского языка на другой. Полученный базовый список слов отражает сильно связанную и взаимозависимую систему понятий. Слова европейских языков богато используют аффиксы (приставки, суффиксы, окончания) или сателлиты для передачи вариантов смысла, однако оказывается, что в базовом списке количества корней и слов не очень отличаются. Похоже на то, что усложнение слов приставками или сателлитами (встать: *get up* — Eng; *stehen Sie auf* — Ger) находит отражение в использовании комбинаций иероглифов.

Интересно сравнить список английских переводов 1000 основных понятий со списком 1000 наиболее часто употребляемых английских слов.

Принципы отбора в эти списки существенно различны, однако имеются примерно 300 общих слов. Это наиболее востребованные базовые слова:

again, all, and, ask, back, bad, ball, band, bank, bar, be, beat, beauty, bed, bell, best, bind, bird, bite, black, blind, blood, blow (huff), blue, board, boat, bone, book, both, bottom, box, break, bright, broad, brother, burn, buy, call, can, cat, catch, change, circle, climb, close, cloth, cloud, cold, color, come, cook, cool, corner, cost, cover, cow, cry, curve, cut, dark, day, death, deep, dig, divide, do, dog, door, draw, dream, drink, drive, drop, dry, duck, each, early, east, eat, edge, egg, eight, empty, end, every, eye, face, fall, family, far, fast, fat, feed, feel, field, find, fine, fire, fish, five, flow, flower, fly, foot, force, four, fresh, full, get, give, go, gold, good, grab, grass, half, hand, hang, hard, have, he, head, hear, heart, heat, heavy, high, hit, hold, hole, home, horn, horse, i, ice, iron, key, kill, lake, large, late, laugh, lay, learn, leave, left, leg, light (ray), like, line, listen, little, long, look, love, low, main, make, man, may, me, measure, meat, meet, middle, milk, mix, moon, more, mountain, mouth, much, near, neck, new, nine, north, not, nude, number, one, only, pain, paint, pair, pass, pick, piece, plait, play, point, poor, post, pour, power, press, pretty, pull, push, put, quick, rain, read, red, rich, ride, ring, river, road, rock, roll, room, root, rope, round, row, rub, run, rupture, sail, salt, sand, save, saw, say, sea, seize, sell, send, set, seven, sharp, she, sheet, shell, ship, shoe, shore, short, shoulder, side, sign, silver, sing, sit, six, skin, sky, sleep, slip, slow, small, smell, smoke, snow, soft, soon, sound, south, speak, spell, spin, spot, star, steam, steel, step, stick, still, stone, straight, stream, stretch, string, suck, sugar, summer, sweet, take, talk, tall, tear, tell, ten, that, thick, thin, thing, think, this, three, through, throw, tie, time, tire, tone, too, touch, tree, try, tube, turn, two, use, very, view, wake, wall, want, warm, wash, watch, water, wave, weak, well, white, who, will, wind, window, wing, word, write, year, yellow, yes, you.

Для любого другого языка можно составить список слов, отражающий те же понятия. Их набор дает представление о том ядре языка, изучением которого мы занимаемся.

Наиболее важными для целей смыслопередачи являются корни слов (по крайней мере, в европейских языках и схожих с ними). Корни выделены тем, что осуществляют связь слов с образами-понятиями, поступающими через органы чувств, в то время как аффиксы и служебные слова — это внутренние объекты вербальной системы. Заметим, что в приведенном выше списке из 300 базовых, наиболее часто употребляемых английских слов,

не применяются приставки и сателлиты, такие как *propose*, *report*, *withdraw* или *set up*.

Слово (корень) может быть разбит на фонемы, описывающие произношение, и на основании частоты встречаемости фонем в разных анализируемых списках можно получить важные результаты [11, 12]. Однако, более пристальный анализ показывает, что для описания кодировки набора базовых понятий с помощью корней слов их полезно структурировать несколько иным образом.

Строение корней слов индоевропейских языков

Разложение на отдельные фонемы отражает звучание слова, однако оно плохо описывает изменчивость слова. Так не очень ясно, какие фонемы нужно использовать в словах *С_оБАКА* или *САПО_г*. Во многих случаях возникают вопросы, одна это фонема или две, наиболее характерный пример — латинская *X*. Если же не придерживаться разбиения на единичные фонемы, то подавляющее число индоевропейских корней имеет однотипную структуру. Корень начинается комплексом согласных (или одной), в середине находится комплекс, включающий R, L, V, J в комбинации с гласными (или просто гласная, хотя она может и отсутствовать, например, в чешском языке), и заканчивается опять комплексом согласных. Центральный комплекс обладает повышенной лабильностью, легко изменяясь как внутри языка, так и при переходе к родственному языку: *M(oLo)K{o}* – *M(Le)Ч{ный}* – *M(Le)K{o}* (Pol) – *M(iL)K* (Eng). При этом R, L, V и J могут входить и в «гласные», и в «согласные» комплексы.

Иногда какой-либо компонент этой «троицы» может отсутствовать, например, в английских словах *go-* или *-eat*.

Все корни из базового списка, даже те, которые не следуют доминирующей схеме, могут быть разложены на такие элементы и вероятность их использования в корнях слов может быть определена. Результат для 13 языков (английский, голландский, немецкий, шведский, латышский, французский, итальянский, румынский, греческий, польский, чешский, русский и болгарский) показан на рис. 1 [13]. Обращает на себя внимание поразительное совпадение частот применения фонологических элементов в разных родственных языках, так, что на графиках трудно выделить кривые относящиеся к конкретному языку. Порядок символов свой для каждого языка и может служить компактной, стабильной характеристикой этого

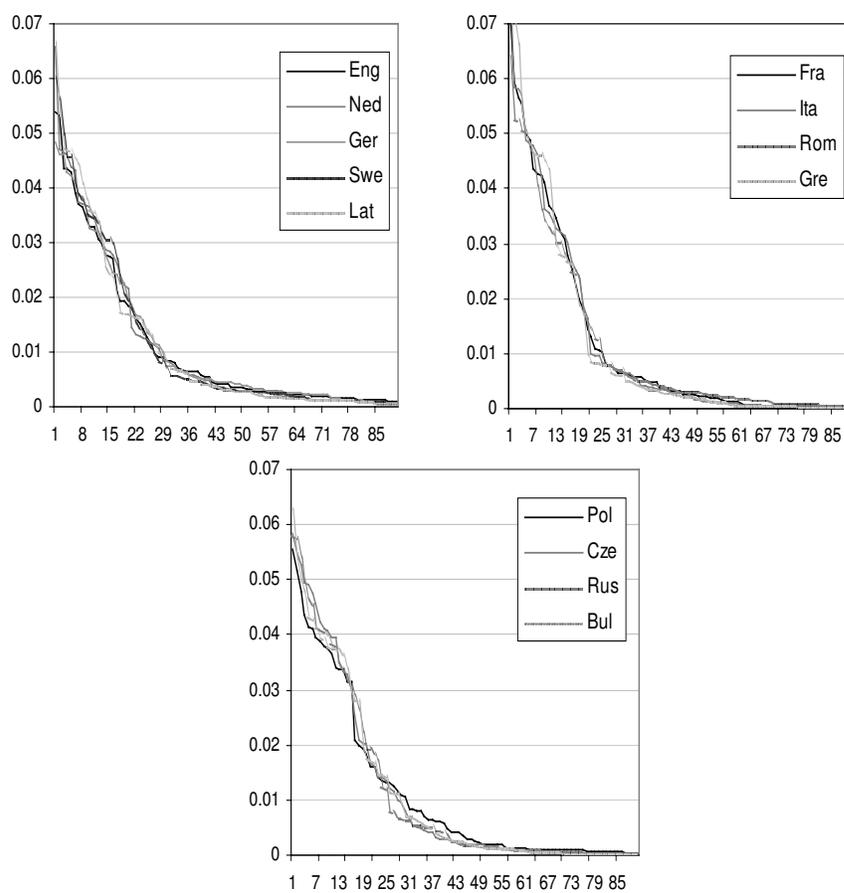


Рис. 1. Вероятность использования фонем и их комбинаций в списке корней слов, описывающих около 1000 основных понятий в разных языках. По горизонтальной оси указан ранг или номер символа в упорядоченном списке. Порядок фонем и их групп в этом списке свой для каждого языка, причем существуют фонемы характерные лишь для одного или нескольких языков. Первые 25 символов для русского языка таковы: К О Т П Е А Р С Л Д Б У В М Н Г И Ч Ст Ш З Х Ж Й Ы. Представлены три группы европейских языков, внутри которых наблюдается высокая степень совпадения данных, так что можно охарактеризовать их особенности.

языка. Фактически это естественный алфавит языка и создается впечатление, что известный нам порядок букв в греческом алфавите (содержащем и гласные, и согласные), лежащем в основе европейских алфавитов, и был в свое время естественным, то есть отражал частоту применения букв при написании основных слов языка. Порядок символов очень устойчив к изменению состава базового списка. Случайный выбор любых 500 слов из полного списка дает ту же последовательность, отклонения начинаются только тогда, когда список становится короче 300 слов. Такое аккуратное совпадение зависимостей для столь, казалось бы, нечеткой системы, каковой представляется человеческий язык, указывает на достаточно строгие математические закономерности, которые формируют лексикон языка. Можно поставить себе задачу установить, какие же причины лежат в основе этих строгих закономерностей.

Пространство близости языков

Полученные весьма аккуратные результаты для групп европейских языков заставляют обратиться к вопросу о том, как количественно оценить близость разных языков между собой. Это необходимо для того, чтобы использовать данные разных языков для извлечения информации об устройстве кодирующей системы языка человека и выделения универсальных черт, не зависящих от конкретного национального языка. Эта задача рассматривается в исследованиях по глоттохронологии [14, 15], то есть в науке, изучающей процессы эволюции и расхождения языков. Обычно берется некоторый набор слов-понятий, чаще всего так называемый список Сводеша из 200 слов [14], и для любой пары языков определяется количество слов, общность которых узнаваема. Например, сходные (но далеко не тождественные) для большинства европейских языков: Рус — *сидеть*, Eng — *sit*, Ger — *sitzen*, Ned — *zitten*, Swe — *sitta*, Lat — *sēdēt*, Pol — *siedzieć*, Ita — *sedere*, Rom — *sedea*. Эти слова как бы сохранились, после того, как из общего праязыка возникли новые языки. Процент сохранившихся слов в списке считается мерой давности расхождения языков. На основании этих данных удается построить генеалогическое дерево языков [15].

Если применить такую же процедуру для нашего списка базовых слов, который почти в 10 раз больше списка Сводеша, можно существенно улучшить точность определения «взаимных расстояний» между родственными языками. Вот проценты общих слов для некоторых пар языков,

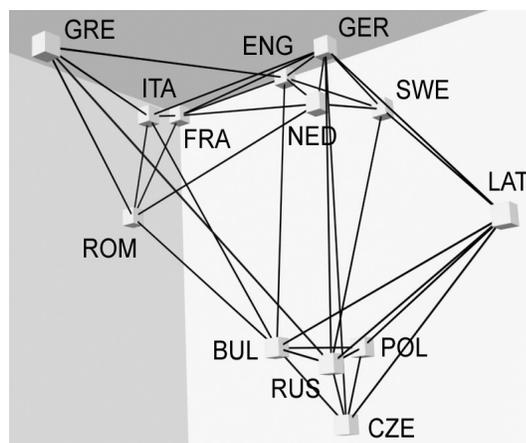


Рис. 2. Трехмерное представление пространства близости для 13 европейских языков. Длина каждой линии соединяющей пару языков пропорциональна логарифму процента общих слов в базовом списке, описывающем 1000 главных понятий. Размер кубика дает представление о точности определения расстояний.

полученные из анализа нашего списка: болгарский/русский 70%, польский/чешский 62%, русский/латышский 30%, латышский/шведский 21%, чешский/немецкий 14%, немецкий/голландский 69%, шведский/английский 47%, английский/французский 45%, французский/итальянский 71%, итальянский /румынский 54%, румынский /болгарский 22% [16]. В качестве меры расстояния между парой языков можно принять величину логарифма процента общих слов в базовом списке из примерно полутора тысяч слов. Если все слова совпадают, то расстояние равно нулю, а если нет общих слов, то языки бесконечно удалены друг от друга. Система взаимных расстояний оказывается самосогласованной и все рассмотренные нами европейские языки могут быть размещены в трехмерном пространстве

Сам факт того, что языки удается распределить в трехмерном пространстве, говорит о многом. Языки не только рассеяны по большим пространствам и головам говорящих на них людей, но могут помещаться и в одной голове полиглота. Эти люди могут часто и легко переходить с одного языка на другой, что требует какой-то перестройки в их мозгу. Похоже, что

для этого достаточно изменения всего трех, может слегка больше, нейронных параметров, определяющих положение конкретного языка в этом «пространстве близости». А уже сохранение общих базовых слов в этих языках является следствием их взаимного расположения в некотором пространстве, формирующем систему языка.

Мы постараемся применить согласованность родственных языков между собой для извлечения сведений об устройстве языка.

Множество корней глаголов

Попробуем сузить круг рассматриваемых слов, для этого ограничимся только теми словами, которые описывают действия, то есть глаголами русского языка. Из них выделим те, которые обладают высокой стабильностью, то есть такие, которые имеют аналоги в родственных болгарском и польском языках. Эти языки «окружают» русский в пространстве близости, показанном на рис. 2. Различие направлений проявляется в том, что заметная часть корней у русского языка общая с болгарским языком, но не с польским, и наоборот. Оказывается, что общих корней глаголов около 400.

Набор стабильных глагол-образующих корней может быть разложен на начальные, срединные и конечные комплексы, обычно это просто согласная, гласная и опять согласная. Затем сосчитаем количество этих символов в базовых словах. Результат показан на рис. 3. Из вида графика напрашивается схема образования корней показанная на вставке.

Действительно, для наиболее часто встречающегося в первой позиции звука *П* имеются комбинации с наиболее часто применяемыми в конце корня *д*, *н*, отсутствие согласной (—), *т*: *ПАДать*, *ПИНать*, *ПИ-ть*, *ПЫТать*. В общем, комбинирование согласных в корнях следует этой «треугольной» идеализированной схеме, однако есть важное расхождение. Общее число стабильных корней около 400, а эта схема дает лишь около 200. Величины можно уравнять введением дополнительных «столбцов и строк», что даст большее число пересечений. В русском языке есть такие слова как *КОПать*, *КАПать*, *КУПить* и *КИПеть*, которые могут располагаться на пересечении двух столбцов *К* и двух строк *П*.

И после этой процедуры остаются еще ряд комбинаций отсутствующих и лишних внутри треугольника, а также имеются комбинации из «редких» согласных, располагающиеся вне треугольника.

Эти «дефекты» можно устранить или упорядочить, перемещая их на

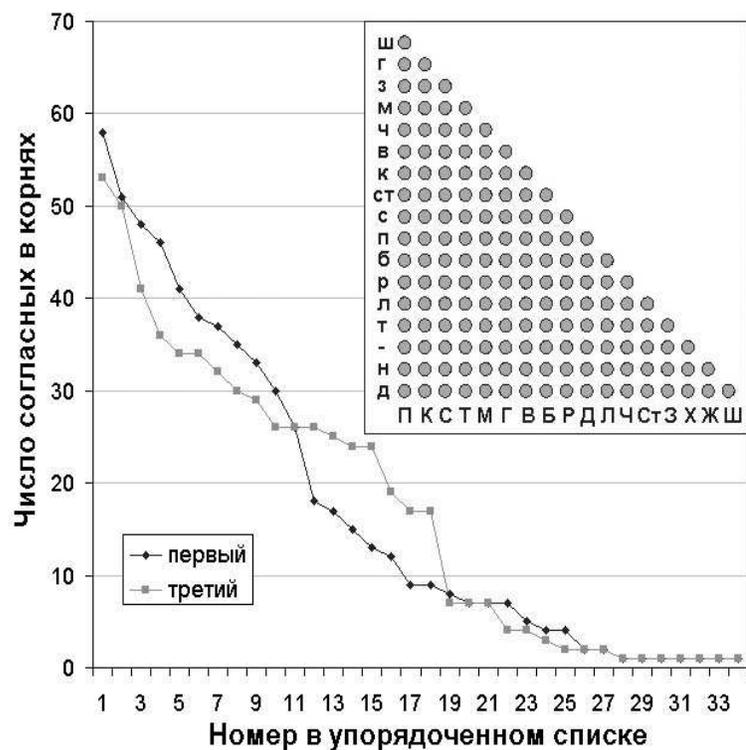


Рис. 3. Общее число согласных в стабильных глагол-образующих корнях русского языка в первой и третьей позиции. Порядок первых 17 согласных показан на вставке. Начальные согласные — по горизонтали, согласные в третьей позиции — по вертикали. Серые кружки изображают набор возможных комбинаций дающих распределение соответствующее графику. Это идеализированная ситуация, о реальных комбинациях — в тексте.

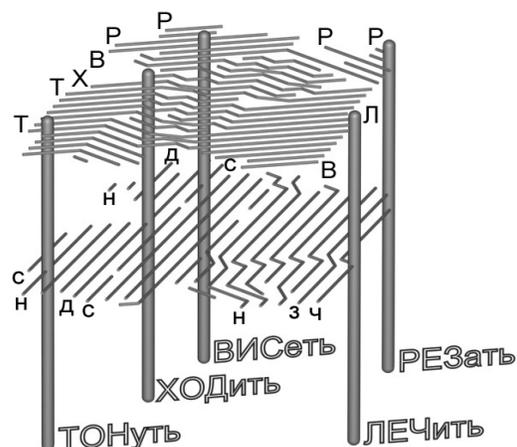


Рис. 4. Колончатая система стабильных глагол-образующих корней русского языка. Колонки плотно заполняют пространство ограниченное системой линий, показаны лишь некоторые из слов. Полоски идущие справа налево соответствуют определенной согласной в начале корня, некоторые из них обозначены. Полоски идущие поперек соответствуют заключительным согласным корня.

границы треугольника путем перестановок строк и столбцов.

При этом треугольник (точнее фигура, в которую он превращается) деформируется, а столбцы и строки могут искривляться, сохраняя свою непрерывность. Образуется система скрещенных полос, пересечения которых соответствуют сочетаниям согласных, в корнях стабильных базовых глаголов. Множество корней глаголов может быть сведено в плотноупакованную систему колонок, как это показано на рис. 4 [17].

Оказывается, что начальные и конечные согласные являются хорошими систематизирующими факторами для множества корней и можно думать, что они наиболее важны при построении слов и, вероятно, для их распознавания. Важность согласных была продемонстрирована в экспериментах по чтению искаженного текста [18], обратите внимание на название статьи]. В старых текстах зачастую опускали гласные, без заметного ущерба для чтения. Это характерно и для арабского языка. Эксперименты по распознаванию речи, в которой отдельные фонемы маскировались шумом [19],

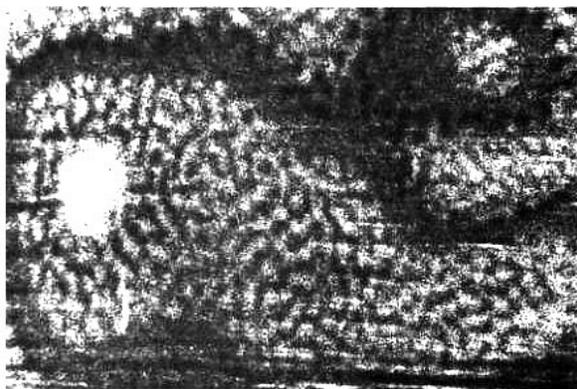
показали, что согласные играют главную роль для определения смысла произнесенного слова, тогда как гласные, в значительной степени, несут информацию, позволяющую идентифицировать говорящего и особенности произношения. Наблюдения за двумя пациентами с определенным типом афазии показали, что гласные и согласные по-разному представлены в мозге человека и существенно различные механизмы вовлечены в их обработку [20].

Вид и размер полученной сети корней глаголов (измеренный числом полос) наводит на мысль о связи множества корней с характерными структурами, обнаруженными в коре мозга при изучении зрительной системы обезьян [21], рис. 5. Заметим, что такие структуры выявляются только при функциональных тестах — просто так их не видно на внешне однородной поверхности коры. Обезьяне предъявляют некоторый зрительный стимул и при этом в зрительный нерв впрыскивают радиоактивное вещество, которое связывается лишь в областях коры, связанных с глазом, видящим стимул. Так проявляются чередующиеся полосы доминирования правого и левого глаза. Характерный шаг такой полосатой структуры 0.4 мм — он определяется диаметром колонок, состоящих из групп нейронов и эти «столбики», высотой около 2 мм, ориентированы перпендикулярно поверхности коры больших полушарий мозга. Цепочки колонок образуют полосы, которые плотно заполняют участок коры. Полный размер отдельной «полосатой области» в зрительной системе обезьяны-макака составляет 10–15 мм, то есть число полосок примерно тоже, что и для множества стабильных корней.

У человека и в другой области коры этот размер может быть несколько другим. Аналогичную, но более сложную структуру образуют полосы доминирования ориентации предъявляемого стимула. В качестве стимула обычно используются решетки из черных и белых полос (типа кода на ценнике товара в супермаркете) расположенные вертикально или наклоненные на 30, 60 и 90 градусов. В этом случае области доминирования накладываются друг на друга. Это как раз тот случай, что мы имеем для корней глаголов. Основой для такого «чередующегося» представительства в коре является характер прорастания аксонов от клеток-детекторов ориентации в высшие отделы зрительной коры, где они порождают упорядоченные полосатые узоры. Характер узоров определяется генетическими факторами. В случае человеческой речи детекторы, по-видимому, настроены на отдельные фонемы или группы фонем, они-то попеременно представлены в высших отделах коры.



(a)



(b)

Рис. 5. Полосатые структуры доминирования стимула в зрительной коре обезьяны (из книги *Hubel D. H. Eye, Brain, and Vision*). Светлые и темные полосы на фото **(a)** относятся к областям связанным с правым и левым глазом. Более сложные структуры на фото **(b)** образованы областями доминирования зрительных стимулов ориентированных вертикально и под углом в 30 градусов. Однородно темные области не связаны с доминированием тех или иных детекторов зрительных стимулов.

Придя к такому результату, попробуем расширить область анализа, распространив наш подход на другие языки и сняв ограничение, связанное со стабильностью глагольного корня. Для этого обратимся к английскому языку и выделим корни всех слов, применимых в качестве глаголов. В этом отношении английский язык отличается тем, что многие слова могут применяться в той же самой форме для разных частей речи: *a CUT, to CUT, CUT into pieces*.

Мы проанализировали большинство глаголов английского языка, а также немецкого, французского, итальянского и русского. В качестве исходного набора была взята дюжина наиболее важных и употребительных английских глаголов: *TAKE, GET, SET, GO, PUT, RUN, MAKE, MOVE, HOLD, COME, DO, TURN*. Затем с помощью электронных словарей [22] в полуавтоматическом режиме, они были переведены на дюжину европейских языков, а потом обратно на английский. Это дает существенно более длинный список. За пару шагов количество глаголов достигает 300, и может быть увеличено дальше. Таким образом был составлен список из примерно 2400 корней английских глаголов, и одновременно из 1300–1800 корней немецких, французских, итальянских и русских глаголов. Разница происходит из-за того, что в этих языках многие корни употребляются лишь для существительных, но не для глаголов. Полученный список практически исчерпывает глаголы, включенные в английский словарь, содержащий примерно 50 тысяч слов. Оказалось, что основная масса этих корней может быть сведена в плотноупакованную двумерную структуру, показанную на рис. 6. Такие же двумерные плотноупакованные структуры построены и для немецкого, французского и итальянского языков. Аналогичный вид имеет и множество корней всех русских глаголов, взятых из словаря морфем русского языка [23], согласующийся с картинкой, показанной на рис. 4. Похоже, что стабильные глаголы образуют как бы «скелет» этой системы. Интуитивно чувствуется, что глаголы всех из рассмотренных нами (около 20) европейских языков могут быть сведены в такую плотноупакованную двумерную систему, а скорее всего, это относится и ко всем человеческим языкам. Конкретное построение такой структуры может отличаться, например, для тоновых языков типа китайского, но двумерный характер, по нашему мнению, должен сохраниться. Не оставляет впечатление, что на рис. 6 изображен просто участок коры мозга, заполненный колонками нейронов. Одна колонка — один корень. Где-то рядом должна быть еще одна, предположительно двумерная, существенно меньшая по размеру область, содержащая приставки. Они играют важнейшую роль в процессе глаголо-

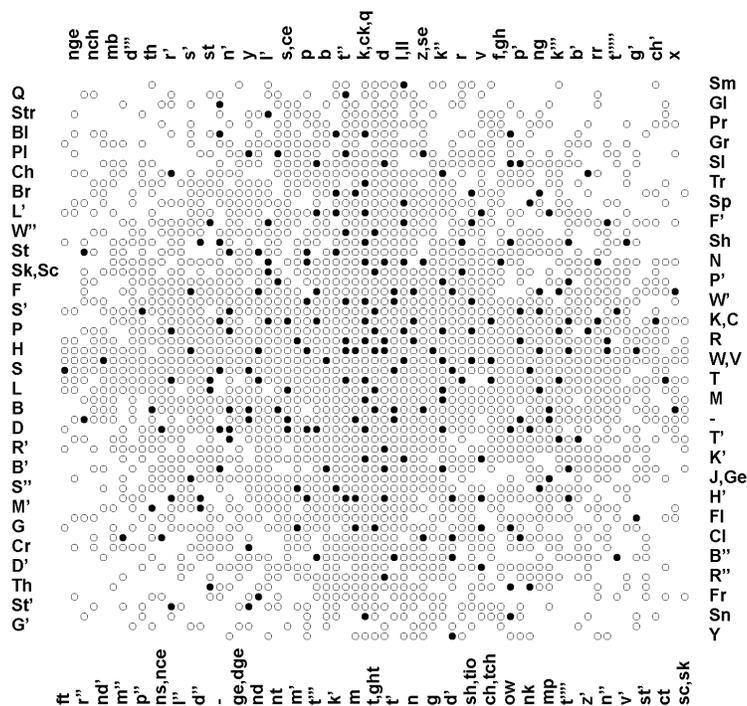


Рис. 6. Множество примерно 2400 английских глаголов и слов, употребляемых в качестве глаголов, представленных в виде точек на двумерной поверхности. Каждый глагол в горизонтальном ряду имеет одну и ту же согласную или комплекс согласных в начале корня. Они обозначены заглавными буквами справа и слева от системы точек. Правая колонка букв соответствует нечетным рядам точек, а левая колонка — четным рядам точек, то есть глаголам. Глаголы упорядочены по тому, как произносятся начальная и конечная согласные, а не как они пишутся. Все точки-глаголы в вертикальных рядах имеют одинаковые согласные или их комплексы в конце корня, они обозначены строчными буквами сверху и снизу попеременно, так же как и для горизонтальных рядов. Одна и та же согласная может соответствовать нескольким строкам или столбцам, например **T** и **T'**, а также от **t** до **t''''**. Отсутствие согласной в некоторой позиции обозначено дефисом (-). Точки, указанные черным цветом, относятся к глаголам, усваиваемым в раннем детстве, ребенком в возрасте примерно двух с половиной лет.

образования и словообразования вообще, по крайней мере, в европейских языках. Последовательная активация отдельных колонок в обеих этих областях должна приводить к восприятию или генерации образа, связанного с действием. Размер этих областей невелик, и даже небольшой инсульт иногда приводит к полному нарушению функции речи, хотя во всем остальном человек вполне нормален. Похоже, именно эта компактная область поражается при локальном нарушении мозгового кровообращения, оставляя в неприкосновенности те области, которые отвечают за смысл произносимых слов. Об этом пойдет речь ниже.

Усвоение языка детьми

Любой язык может быть впервые усвоен лишь в раннем детском возрасте. Многочисленные случаи воспитания детей среди зверей (так называемые Маугли) говорят о том, что при возвращении в среду людей после некоторого возраста, такие дети почти неспособны научиться человеческому языку. Этот факт может быть сопоставлен со структурой показанной на рис. 6. На этом рисунке черными точками указаны корни глаголов применяемых детьми самого младшего возраста, около 30 месяцев от роду, то есть в самом начале усвоения материнского языка [24]. Видно, что они почти полностью используют пространство, которое в дальнейшем заполняется всеми остальными глаголами. Похоже на то, что в коре младенца уже имеется сформированная, генетически предопределенная область, предрасположенная к восприятию слов-глаголов, причем она заполняется в очень быстром темпе. Где-то к шести годам словарь практически полон. Если это время упустить, то «зарезервированная» область, вероятно, начнет использоваться для других целей, и усвоение языка становится почти невозможным. Подобное явление наблюдается у слепых от рождения, те области мозга, которые у зрячих заняты обработкой зрительной информации, у слепых задействованы для других целей.

Структура, показанная на рис. 6, указывает и на возможный механизм, лежащий в основе усвоения слов языка. У ребенка формируются детекторы согласных и гласных фонем, предположительно в слуховой области коры. Аксоны нейронов от этих детекторов прорастают в другую область коры, где конвергируют на определенных колонках, соответствующих корням, а часто это и есть слова. Детские слова «рассыпаны» по всей этой лексической области. В дальнейшем, терминалы аксонов от детекторов фонем пер-

вых и последних согласных разрастаются во взаимно-перпендикулярных направлениях, образуя пересечения, готовые к восприятию нового слова с такой комбинацией согласных. Подобным образом заполняется вся доступная область, имеющая полосатую (стриарную) структуру. «Полосатые» области в зрительной коре обезьян (рис. 5) имеют определенный, сравнительно небольшой размер, как и описанные здесь «лексические» области у человека. Число корней глаголов ограничено, тогда как другие объекты языка, в особенности имена и различные названия, практически неограничены по числу. Скорее всего, они хранятся в совсем другом месте и в другом виде, на что имеются разнообразные указания, имена, например, легко забываются. Хранение разных объектов языка в разных местах коры вполне согласуется с общими принципами устройства мозга, где имеются и первичная, и вторичная моторные области, и даже области более высоких порядков в разных модальностях.

Пространство смысловой близости слов

Выше мы рассматривали звуковую форму слов в разных языках и показали, что можно сформулировать математические закономерности, описывающие лексикон. Однако слово имеет как бы две ипостаси — звучание и смысл. Можно надеяться, что и для смысловых отношений между словами удастся найти формальное описание. Для этого также можно воспользоваться достаточно большим набором словарей разных языков [22]. Словарные статьи для глаголов (и для других частей речи тоже) обычно содержат целый набор различных вариантов перевода, хотя в конкретном предложении всегда используется лишь один вариант. Фактически, в словарях мы имеем дело с «рейтинговой оценкой» различных вариантов переводов, проведенной составителями словаря на основании их встречаемости в речи или текстах. Оценки очень размытые и неоднозначные, очень и очень часто, например, русский перевод английского слова не содержит этого английского слова в качестве перевода в русско-английской части словаря. Мы имеем дело с очень нечетким (*fuzzy* — русский перевод *нечеткий*, *размытый*, но и *пушистый*) множеством. Однако это не означает, что нельзя провести достаточно строгий анализ содержимого словарей. При этом будем исходить из того, что, как и положено хорошим переводчикам, составители словарей хотели правильно отразить смысл слова при составлении данной словарной статьи. Для того, чтобы по возможности устранить влия-

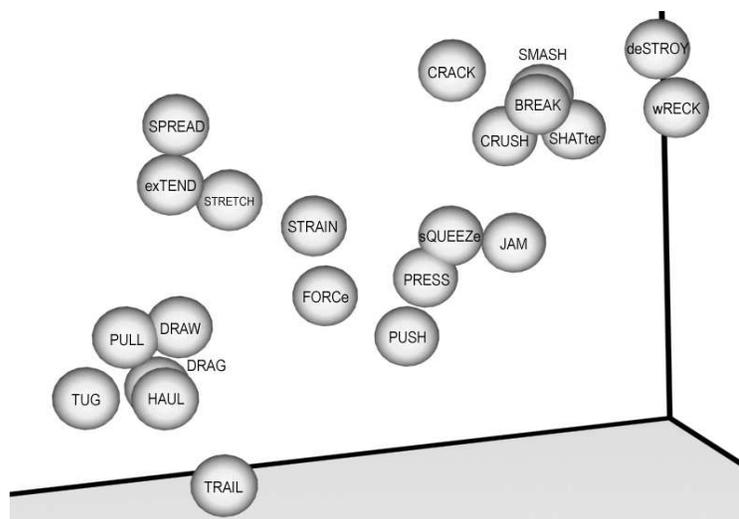


Рис. 7. Трехмерное изображение «пространства близости» английских глаголов. Это лишь часть из заметно большего множества. Расстояние между любой парой глаголов пропорционально проценту общих переводов на другие языки в группе из 14 языков.

ние конкретной национальной культуры обратимся к достаточно большому числу словарей разных языков, хотя в силу технических причин придется ограничиться европейскими языками и европейской культурой.

На базе данных содержащихся в словарях можно обратиться к вопросу о формализации близости по смыслу разных слов, для начала глаголов. Рассмотрим два английских глагола *LINK* и *ATTACH*. Мы можем найти такие переводы на 13 европейских языков (голландский, немецкий, шведский, латышский, французский, итальянский, румынский, греческий, албанский, польский, чешский, русский и болгарский), которые составители сочли нужным включить в словари:

LINK: *соединявам, сцеплять, смыкать, ενώνω, zusammenkommen, wiązać, vincolare, verklammern, verketten, verflechten, verbinden, uni, schakelen, savienot, saldare, saķēdēt, raccorder, legare, länka ihop, koppeln, kojarzyć, înlănțui, förena, congiungere, bashkoj.*

LINK/ATTACH: *связывать, присоединять, привързвам, συνδέω, unire, saistiť, przyczepić, připojit, lier, lidhem, lega, knüpfen, dołączyć, attacher, anettere, aanslaan.*

ATTACH: *спечелвам, прикреплять, прикладывать, привлічам, назначать, задерживать, συνάπτω, κατάσχω, атроφώ, αποσπώ, získat, vë, vastmaken, vastklampen, saisir; pune, przytwierdzać, przyprawiać, přivázat, připevnit, prinde, přiložit, přilepit, pignorare, piestiprināt, piešķirt, pielikt, ngjis, knyta, joindre, hechten, foga, fixa, fissare, festmachen, fästa, binda, bilägga, bie, befestigen, attaccare, atribui, аташа, arrêter; apporre, anschließen, anheften, agăța, adăuga, aanplakken.*

Как видно, есть переводы, отнесенные только к какому-то одному из глаголов, и есть такие, которые, по мнению составителей, одновременно отражают смысл и того и другого. Число общих переводов может быть выбрано в качестве меры близости по смыслу для пары слов. Как и в случае определения меры расстояния между языками, описанном выше, в качестве меры расстояния между словами разумно взять логарифм процента общих переводов для пары слов, например, *LINK* и *ATTACH*. Если все переводы совпадают, то слова тождественны по смыслу, если ни один из языков не находит у себя слова, описывающего и то, и другое слово из рассматриваемой пары, значит эти слова практически бесконечно далеки по смыслу. Наши дальнейшие результаты показывают, что выбор 13 языков близок к минимальному. В этом случае можно устранить языковые вариации и достигнуть приемлемой точности построения пространства близости.

На рис. 7 показан участок пространства близости для 20 английских глаголов — для них достаточно трехмерного пространства [25]. Такие же картинки можно построить для других групп глаголов, близких по числу. Следует отметить, что это распределение не относится исключительно к английскому языку — он чисто технически был выбран в качестве исходного. Любой перевод этих английских слов на другой язык будет помещен в соответствующую точку этого пространства между английскими словами, которые считаются его переводом. Фактически, указанная область изображенного пространства плотно заполнена всеми возможными переводами на 13 выбранных европейских языков, и скорее всего, переводы на любой существующий человеческий язык будут располагаться здесь же. Все это множество слов формирует непрерывную структуру, свойства которой не зависят от конкретного языка. Это своего рода «пространство смысла»,

где можно наблюдать плавное изменение значений слов при движении в разных направлениях по этой структуре. Даже простой взгляд на рис. 7 показывает, что слова не рассыпаны во всех направлениях, а тяготеют к некоторой поверхности в трехмерном пространстве. Для небольших наборов слов даже можно показать, что они расположены на двумерной плоскости [26].

Дальнейшее увеличение числа глаголов и размера рассматриваемой области принятым нами способом становится слишком трудоемким, так как требуется вычислять много расстояний с помощью большого числа словарей и строить когерентную структуру, удовлетворяющую этому набору расстояний. Однако, уловив двумерный характер получаемого распределения, процедуру можно упростить и ускорить. Для глаголов из пары языков можно составить цепочки, демонстрирующие плавное изменение смысла. Например, для английского и русского можно составить такую последовательность: *вычесть – subtract – отнять – deprive – отобрать – select – выбрать – choose*. Иногда цепочки ветвятся. Внутри пары языков трудно составить когерентную структуру из таких цепочек, однако если число языков увеличить, появляются стабильные узоры достаточно большого размера. Оказывается, что совместный анализ всего четырех языков: английского, русского, немецкого и французского, позволяет свести в единую систему сотни и тысячи глаголов. Вероятно, так можно упорядочить все глаголы всех языков. Процедура выглядит следующим образом. Для некоторого исходного глагола, например, *собрать* на двумерной поверхности начинают строиться цепочки, путем определения ближайших соседей в других языках. Это будут *gather, collect, assemble* (Eng), *sammeln, lesen* (Ger), *ramasser, recueillir, accumuler* (Fra). Учитываются те переводы, которые будучи переведенными обратно, дают исходный глагол, в том числе перекрестно по языкам. Затем эти слова переводятся обратно на русский язык, что дает целый ряд глаголов отличных от *собрать*. В силу размытости смысловых взаимосвязей, от исходного глагола начинают в разные стороны расходиться не четкие линии, как характерно для математических графов, а размытые дендриты. Рис. 8 дает представление об их виде. Двумерной поверхности хватает, чтобы разместить разрастающуюся систему дендритов, сохраняя достаточно равномерной плотность заполнения пространства словами. Характерной особенностью является то, что эти дендриты могут не только ветвиться, но и через некоторое количество шагов сливаться. Образуется чрезвычайно характерная «сетевая» структура изображенная на рис. 9. Вид ее чрезвычайно «биологичен», а это всего лишь некоторый



Рис. 8. Распределение на двумерной поверхности близких по смыслу глаголов четырех языков: английского, немецкого, французского и русского. Близость определяется наличием перевода в словаре. На этом участке можно проследить плавное изменение значений глаголов вдоль определенных направлений.

способ представления данных, содержащихся в словарях разных языков. Причем от какого-либо конкретного языка эта структура не зависит — словарь этого языка может просто не использоваться при ее построении. Здесь наверняка речь идет о пространстве, формирующем смысловые взаимосвязи между словами как внутри языка, так и между словами разных языков. А вероятно, и слова здесь не при чем, скорее всего подобные структуры существуют и у многих животных, только они не имеют выхода на «озвучивающие» области типа показанной на рис. 6. Люди, имеющие собак не сомневаются что их питомцы имеют представления о понятиях обозначенных на рис. 9, а вот развитой «области озвучивания» у них, скорее всего, попросту нет, как нет зрения у летучих мышей.

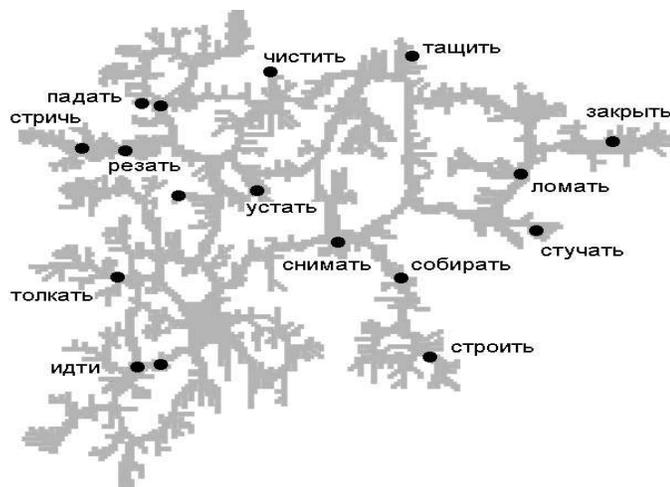


Рис. 9. Дендритная структура, получаемая при расширении множества глаголов, показанного на рис. 8. Области обозначенные серым цветом заполнены примерно 2000 глаголов русского, английского, немецкого и французского языков. Точками показаны понятия и соответствующие им слова, входящие в лексикон ребенка в возрасте двух с половиной лет [27]. Объем полной структуры взрослого человека примерно в 10 раз больше показанной на рисунке части.

На этом рисунке точками обозначены те понятия и соответствующие им слова, которые используют дети в самом начале усвоения материн-

ского языка. Как и в случае «пространства звучания» (рис. 6) дети сразу используют все доступное «пространство смысла», которое впоследствии заполняется все новыми понятиями, но они размещаются в «промежутках оставленных детьми».

Интересно, что на коре больших полушарий можно обнаружить вероятный субстрат для «пространства смыслов». На рис. 5 помимо полосатых областей связанных с детекторами зрительной информации, мы видим и равномерно темные участки с дендритной структурой похожей на изображенную на рис. 9. Они, похоже, не связаны напрямую с детекторами и вполне могут использоваться для поддержки функций более высокого порядка, например, для кодировки понятий. Размер полной структуры широких темных полос много больше, чем окружаемые ими области доминирования правого или левого глаза. Если предположить, что именно эти темные полосы являются носителями «пространства понятий», становится понятной существенно большая устойчивость «смысловой» части языка к мозговым инсультам, в сравнении с полными нарушениями речи. Лишь малые области «пространства смыслов» могут быть затронуты небольшим инсультом, что и наблюдается в ряде клинических случаев. Обширные же поражения мозга с необходимостью затронут большой ряд областей, перемешанных с сетевым «пространством понятий», но выполняющих другие функции. Это сильно усложнит клиническую картину и выделение симптомов связанных с поражением именно смысловой части языка.

Заключение

Проблема представления языка в мозгу человека привлекает большой интерес исследователей и для ее решения применяются наиболее совершенные и сложные методики, такие как многоканальная магнитоэнцефалография МEG или функциональная магниторезонансная визуализация fMRI [28, 29]. Их результаты пока смутно указывают на особенности осуществления функции языка в мозгу человека, но несомненно подход к этой проблеме с разных сторон должен привести к результату. Помимо расширения нашего знания о человеке, понимание того, как устроен человеческий язык, должно содействовать созданию технических устройств, обеспечивающих «дружественный» речевой контакт человека с компьютером. Мы полагаем, что настоящая работа продвигает нас в этом направлении.

Литература

1. *Lippman R.P.* Speech recognition by machines and humans // *Speech Communication*. – 1997, **22**. – pp. 1–15.
2. *Jelinek F.* Continuous speech recognition by statistical methods // *Proc. IEEE*. – v. 64, pp. 532–536, Apr. 1976.
3. *Rabiner L.R.* A tutorial on hidden Markov models and selected applications in speech recognition // *Proc. IEEE*. – v. 77, No. 2, pp. 257–285, Feb. 1989.
4. *Dusan S., Rabiner L.R.* Can automatic speech recognition learn more from human speech perception? // In: *Trends in Speech Technology*, C. Burileanu (Ed.), Romanian Academic Publisher, pp. 21–36, 2005.
5. *Motter A. E., de Moura A. P. S., Lai Y.-C., Dasgupta G.* Topology of the conceptual network of language // *Phys. Rev.* – **E65**, 065102(R), 2002.
6. *Holanda A. de J., Pisa I. T., Kinouchi O., Martinez A. S., Ruiz E. E. S.* Thesaurus as a complex network // *Physica A*. – **344**, pp. 530–536, 2004.
7. *Sole R. V., Murtra B. C., Valverde S., Steels L.* Language Networks: their structure, function and evolution. – Working Paper № 05–12–042 of Santa Fe Institute, 2005.
8. *Zipf G.K.* Human behavior and the principle of least-effort. – Cambridge, MA: Addison-Wesley, 1949.
9. RichWin Electronic Dictionary, RichWin 97 for Windows Professional Version. Copyright 1997–1998, Alestron Inc.
10. Краткий русско-китайский словарь. – Москва: Государственное издательство иностранных и национальных словарей, 1957.
11. *Введенский В.Л., Коршаков А.В.* Естественно упорядоченный алфавит индоевропейских языков // *Нейроинформатика 2004*, VI Всероссийская научно-техническая конференция. Сборник научных трудов, часть 2. – с. 18–24.
12. *Vvedensky V.L., Korshakov A.V.* Visualization of the basic language thesaurus // Proc. VII International Conf. “*Cognitive Modelling in Linguistics*”, Varna 2004, pp. 308–313.
13. *Введенский В.Л.* Математические закономерности словообразования в европейских языках // *Нейроинформатика 2005*, VII Всероссийская научно-техническая конференция. Сборник научных трудов, 2005, часть 2. – с. 263–270.
14. *Бурлак С.А., Старостин С.А.* Введение в лингвистическую компаративистику. – М.: Эдиториал УРСС, 2001.
15. *Gray R.D., Atkinson Q.D.* Language-tree divergence times support the Anatolian theory of Indo-European origin // *Nature*. – **426**, pp. 435–438, (27 Nov. 2003).

16. *Vvedensky V.L.* Proximity space of the European languages // *Text Processing and Cognitive Technologies*. – v. 11, 2005, pp. 376–378.
17. *Введенский В. Л.* Сеть корней глаголов русского языка. *Нейроинформатика 2006 // Нейроинформатика 2006*, VIII Всероссийская научно-техническая конференция. Сборник научных трудов, 2006, часть 3. – с. 236–243.
18. *Grainger J., Whitney C.* Does the huamn mnid raed wrods as a wlohe? // *Trends in Cognitive Sciences*, 2004, v. 8. – pp. 58–59.
19. *Owren M.J., Cardillo G.C.* The relative roles of vowels and consonants in discriminating talker identity versus word meaning // *The Journal of the Acoustical Society of America*, March 2006, Volume 119, Issue 3, pp. 1727–1739.
20. *Caramazza A., Chalant D., Capasso R., Miceli G.* Separable processing of consonants and vowels // *Nature*. – **403**, pp. 428–430, (2000).
21. *Hubel D.H.* Eye, brain, and vision. – W.H. Freeman & Company, 1995.
22. Foreignword.com. The language site.
URL: <http://www.foreignword.com>.
23. *Кузнецова А. И., Ефремова Т. Ф.* Словарь морфем русского языка. – М.: Русский язык, 1986.
24. *Dale P.S., Fenson L.* Lexical development norms for young children // *Behavioral Research Methods, Instruments, & Computers*, **28**, 1996, pp. 125–127.
25. *Vvedensky V.L.* Proximity space of verbs // *The Second Biennial Conference on Cognitive Science*. – St.-Petersburg, Vol. 1. – Abstracts pp. 177–178. 2006,
26. *Коршаков А. В.* Процедура построения пространства понятий как часть системы машинного перевода // *Нейроинформатика 2006*, VIII Всероссийская научно-техническая конференция, Сборник научных трудов, часть 3. – стр. 155–162.
27. Тест речевого и коммуникативного развития детей раннего возраста. – The MacArthur Communicative Development Inventory 1993. Адаптирован кафедрой детской речи РГПУ им. А. И. Герцена 2002.
28. *Pulvermuller F.* Brain reflections of words and their meaning // *Trends in Cognitive Science*. – v. 5, No. 12, 2001, pp. 517–524.
29. *Grossman M., Koenig Ph., DeVita Ch., Glosser G., Alsop D., Detre J., Gee J.* The neural basis for Category-Specific Knowledge: An fMRI Study // *Neuroimage*. – 15, pp. 936–948, 2002.

Виктор Львович ВВЕДЕНСКИЙ, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Института молекулярной физики Российского научного центра «Курчатовский институт». Область научных интересов в настоящее время — исследование основных принципов функционирования языка человека. Автор более 10 публикаций по этой тематике, общее число работ в разных областях физики — более 70.