

На правах рукописи



Кузенков Николай Петрович

**АЛГОРИТМЫ ОБРАБОТКИ И АНАЛИЗА РЕЧЕВЫХ СИГНАЛОВ
В РЕШЕНИИ ЗАДАЧ ДИАГНОСТИКИ РЕЧЕВЫХ ПАТОЛОГИЙ**

05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации
(в отраслях информатики, вычислительной техники и автоматизации)

Автореферат
диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Томск – 2019

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Красноярский государственный педагогический университет им. В. П. Астафьева».

Научный руководитель: доктор физико-математических наук, доцент
Логинов Валерий Михайлович

Официальные оппоненты:

Филатова Наталья Николаевна, доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тверской государственный технический университет», кафедра автоматизации технологических процессов, профессор

Конев Антон Александрович, кандидат технических наук, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники», кафедра комплексной информационной безопасности электронно-вычислительных систем, доцент

Ведущая организация: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики»

Защита состоится 17 апреля 2019 г. в 10 ч. 30 мин. на заседании диссертационного совета Д 212.267.12, созданного на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет» по адресу: 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36 (учебный корпус №2, аудитория 212Б).

С диссертацией можно ознакомиться в Научной библиотеке и на официальном сайте федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет» www.tsu.ru.

Материалы по защите диссертации размещены на официальном сайте ТГУ:

<http://www.ams.tsu.ru/TSU/QualificationDep/co-searchers.nsf/newpublicationn/KuzenkovNP17042019.html>

Автореферат разослан «_____» февраля 2019 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
кандидат физико-математических наук,
доцент



Тарасенко
Петр Феликсович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы

Речь человека является основным средством общения и представляет собой множество разнообразных функций по обработке и передаче информации, участвующими в успешной реализации коммуникативных и когнитивных функций. Поэтому решение проблемы диагностики и реабилитации речевых патологий имеет большое значение как для отдельного больного с речевыми патологиями, так и для общества в целом.

Особое положение занимают нарушения речи, возникающие при органических поражениях мозга, — афазии и дизартрии. Данные патологии часто отличают как грубые нарушения речи, обуславливающие длительные периоды времени, необходимые для лечения и реабилитации, так и тяжёлые социальные последствия для больных и их близких. Методы, используемые для реабилитации, а также их эффективность определяются видом патологии. Поэтому важной составляющей логопедической и неврологической работы по восстановлению утраченных речевых функций при нейропатологиях является как их точная диагностика, так и формализованное описание речи, позволяющее количественно и объективно оценить изменение качества речи в процессе реабилитации.

Для осуществления реабилитации необходима оценка тяжести нарушения речевой функции. Важной составляющей речевой диагностики является инструментальное исследование речевого сигнала.

Классическим способом анализа речи являются спектральные и близкие к ним методы, широко используемые при анализе звукопроизношения. Привлечение методов нелинейной динамики обусловлено их чувствительностью к изменениям в анализируемых динамических системах. Выбор между классическими методами спектрального анализа и нелинейной динамикой в пользу последней обусловлен отсутствием существенных нарушений звукопроизношения при некоторых патологиях (заикание, некоторые эфферентные афазии) с одновременным разрушением амплитудно-временного строя речи. Следовательно, использование методов нелинейной динамики в задачах диагностики речевых патологий является актуальной темой исследования.

Цель работы

Модифицировать существующие и разработать новые алгоритмы для анализа речевых сигналов и диагностики речевых патологий, вызванных органическими поражениями головного мозга различного генеза (сосудистого, травматического, инфекционного) на основе методов нелинейной динамики, теоретической информатики и статистики.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

1. Создать базу образцов речи в норме и патологии в виде массива файлов формата «wav», соответствующих единым техническим требованиям.
2. Используя оригинальные, а также известные ранее методы анализа

временных рядов, разработать алгоритмы и комплекс программ для ЭВМ по преобразованию и анализу образцов речи.

3. Используя разработанные алгоритмы, исследовать базу образцов речевых сигналов и провести анализ изменений речевого сигнала при различных речевых патологиях.

4. На основе анализа речевых сигналов предложить методы их анализа, обладающие потенциалом для диагностики речевых патологий.

5. Разработать программу для ЭВМ, осуществляющую диагностику речевых патологий по образцу речи человека.

Методы исследования

Для решения поставленных задач использовался экспериментальный метод, цифровая обработка сигналов, оригинальный метод энтропии заполнения фазовых пространств, прикладные методы нелинейной динамики, элементы машинного обучения и непараметрические статистические методы.

Научная новизна и практическая значимость

На основе методов нелинейной динамики, теоретической информатики и статистики разработаны алгоритмы анализа, трансформации и визуализации речевых сигналов, показана возможность использования разработанных алгоритмов в технических системах принятия решений.

Разработан оригинальный метод энтропии заполнения фазовых пространств, позволяющий обнаруживать как периодические компоненты сигналов, так и периодически изменяющиеся характеристики сигналов. Данный метод реализован в виде программы для ЭВМ, его использование проиллюстрировано на примерах анализа временных рядов различной природы, а также речевых сигналов.

Разработан алгоритм диагностики речевых патологий, вызванных органическими поражениями головного мозга. В качестве материала для диагностики используются записанные образцы речи в различных режимах вокализации (чтение, пересказ) длительностью 3-6 минут. Предложенная методика основана на анализе статистических результатов сегментации речи в совокупности с параметрами зависимости энтропии заполнения фазовых пространств специального вида от характерного времени. Метод реализован в виде программы для ЭВМ, что позволит автоматизировать, формализовать и повысить объективность процесса диагностики [5].

Впервые предложена модель описания динамики длительностей речевых звуков и пауз в виде случайных блужданий между кластерами в фазовом пространстве, показано, что вероятности переходов между кластерами могут служить информативными признаками при диагностике речевых патологий неврологического характера [1].

Вычислены показатели Хёрста по модифицированному алгоритму для рядов мощности речевого сигнала и характерные времена, в течение которых сохраняется линейный рост графиков нормированного размаха. Показана возможность использования в системах принятия решений с целью

диагностики патологий как значений показателя Хёрста, так и характерных времён [2].

Достоверность и обоснованность результатов

Реализованы корректным применением методологического аппарата научного исследования, соответствующего поставленным задачам; адаптацией применяемых инструментов к специфическим особенностям предметной области; согласованностью теоретических результатов эмпирическим наблюдениям, использованию достаточного эмпирического материала и оценкой эффективности предложенных инструментов.

Реализация и внедрение результатов работы

Результаты исследования используются в Профессорской клинике Красноярского государственного медицинского университета им. проф. В. Ф. Войно-Ясенецкого Минздрава России в лечебном процессе с целью восстановления высших психических функций при выполнении научно-исследовательских и диагностических работ (компьютерный анализ речи).

Положения выносимые на защиту,

1. Оригинальный алгоритм анализа временных рядов, заключающийся в построении множества фазовых пространств методом временного сдвига с последующим вычислением энтропии заполнения данных фазовых пространств в зависимости от величины временного сдвига (характерного времени).
2. Модификация алгоритма вычисления показателя Хёрста, упрощающая автоматизацию и увеличивающая точность оценки показателя.
3. Алгоритмы автоматизированной оценки корреляционной размерности и ускоренного вычисления корреляционного интеграла.
4. Оригинальный способ моделирования процесса сегментации речи (деления на звуки и паузы) в виде блужданий между кластерами в фазовом пространстве.
5. Критерии оценки патологий речевого аппарата, полученные в результате преобразования речи.
6. Способ и программа для ЭВМ автоматизированной диагностики моторных речевых патологий.

Апробация работы

Основные результаты работы представлялись на всероссийских семинарах, проводимых в Красноярске Институтом вычислительного моделирования СО РАН по нейроинформатике в 2008 г. и моделированию неравновесных систем в 2006, 2008, 2012 гг., на научной конференции студентов, аспирантов и молодых учёных физиков (СФУ) в 2007 г. и на V международной научно-практической конференции «Информационные технологии и математическое моделирование» в Анжеро-Судженске в 2006г., а также на объединённом семинаре «информационные технологии» Института вычислительных технологий СО РАН, Конструкторско-технологического

института вычислительной техники СО РАН и Новосибирского государственного университета 24 февраля 2015г.

Публикации

По результатам исследования опубликовано 12 работ, в том числе 2 в журналах из списка, рекомендованных ВАК [1,2], 1 в рецензируемом электронном научном журнале [5], зарегистрированы 2 программы для ЭВМ: «Система дефектоскопии речи» и «Анализатор динамических систем» [3,4], 7 статей в сборниках материалов международного научно-методического симпозиума, всероссийских семинаров и научной конференции [6-12]. Общий объем публикаций – 4,16 а.л., авторский вклад – 3,21 а.л.

Личный вклад автора

В ходе работы автором в сотрудничестве с Сибирским клиническим центром Федерального медико-биологического агентства был собран и исследован эмпирический материал, представляющий собой аудиофайлы формата «wav» с частотой дискретизации 8 кГц и разрядностью 16 бит в объеме 429 образцов с суммарным временем звучания 23ч. 56 мин.

Записанные образцы были исследованы с помощью темпо—ритмового анализа и вычисления энтропии заполнения фазовых пространств. С использованием данных параметров была разработана система правил для их интерпретации и постановки диагноза. С целью автоматизации процесса диагностики речи были самостоятельно разработаны алгоритмы для темпоритмового анализа, вычисления энтропии заполнения фазовых пространств и идентификации речевой патологии по данному образцу речи, записанному в файл формата «wav». Данные алгоритмы реализованы в виде программы для ЭВМ, осуществляющей диагностику речевой патологии по записанному в файл образцу речи.

Также автором разработан алгоритм ускоренного вычисления корреляционной размерности для произвольной размерности пространства вложения, модифицирован алгоритм вычисления показателя Хёрста и характерного времени его изменения, впервые предложено описание динамики длительностей речевых звуков и пауз в виде блужданий между кластерами в фазовом пространстве. Показано, что вероятности перехода между кластерами в фазовом пространстве, показатель Хёрста и характерные времена графиков нормированного размаха могут быть использованы при построении систем диагностики речевых патологий.

Структура и объём

Работа имеет объём 142 страницы и состоит из введения, трёх глав, заключения, списка терминов и определений, списка литературы и двух приложений. Работа включает в себя восемь таблиц и сорок четыре рисунка.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении формулируются цель и задачи работы, обсуждается актуальность исследования и специфические особенности предметной области.

В первой главе рассматривается речь человека и речевые патологии, возникающие вследствие поражения центральной нервной системы.

Речь человека представляет собой продукт работы речевого аппарата. В устройстве речевого аппарата условно выделяют два отдела: центральный и периферический. К центральному отделу относят головной мозг, где можно выделить различные участки, реализующие те или иные функции речи. Различные формы речевых патологий возникают как при поражении различных отделов головного мозга, так и при поражении различных областей коры головного мозга (Д.Р. Штульман, О.С. Левин, 2000, А.Р. Лурия, 2002). К периферическому отделу речевого аппарата относят лёгкие с их системой подводящих дыхательных путей и дыхательными мышцами, гортань с голосовыми связками и так называемая надставная труба, — полости носа, рта и глотки. Помимо этого, к периферическому отделу относят систему афферентных и эфферентных нервных путей, иннервирующих исполнительные органы речевого аппарата (К.-П. Беккер, М. Совак, 1981, Е.Н. Винарская, 2005).

При органических поражениях отдельных областей коры головного мозга и подкорковых структур развиваются специфические нарушения речи, — афазии и дизартрии, кроме того, как результат функционального расстройства деятельности центральной нервной системы возможно развитие заикания (Д.Р. Штульман, О.С. Левин, 2000).

Во второй главе рассматриваются методы и алгоритмы анализа речевых сигналов.

Темпо-ритмовый анализ. Данный метод реализован следующим образом: в исходном речевом сигнале вычитается постоянная составляющая и проводится нормировка сигнала до уровня 1,0, после чего вычисляется среднеквадратичное отклонение внутри скользящего окна продолжительностью 0,1с. При превышении среднеквадратичным отклонением порогового значения (уровня отсечки) считается, что в этот момент в речи есть звук, в противном случае считается, что положение окна совпадает с паузой. По мере продвижения скользящего окна строятся ряды длительностей звуков и пауз. В качестве уровня отсечки для каждого файла принимается значение, обеспечивающее деление анализируемого речевого сигнала на максимальное количество сегментов.

Распределение продолжительностей рядов звуков и пауз аппроксимируются затем распределением Вейбулла и находятся статистические характеристики [5,6,9].

Корреляционная размерность. Впервые корреляционная размерность была предложена Грассбергером и Прокачиа в 1983г. Для её определения необходимо вычислить корреляционный интеграл $C(r, N)$ следующего вида:

$$C(r, N) = \frac{1}{N^2} \sum_{i \neq j} \Theta(r - |\vec{X}_i - \vec{X}_j|), \quad (1)$$

где $\Theta(x)$ – функция Хевисайда, N – количество точек в исследуемом аттракторе, r – радиус сферы в D -мерном фазовом пространстве, \vec{X}_i и \vec{X}_j – координаты двух точек в фазовом пространстве, соответствующем исследуемому временному ряду.

Определение корреляционной размерности базируется на свойствах масштабной инвариантности корреляционного интеграла: $C(r, N) \sim r^{d_c}$.

Отсюда вытекает способ вычисления корреляционной размерности:

$$d_c = \lim_{r \rightarrow 0} \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{\ln C(r, N)}{\ln r} \quad (2).$$

На практике оценку корреляционной размерности проводят по наклону линейного участка графика $\ln C(r)$ от $\ln r$ или по уровню насыщения значений d_c локальных наклонов данного графика.

По причине длительного вычисления корреляционного интеграла, алгоритм вычислений был модифицирован, что позволило увеличить производительность вычислений на 1-2 порядка при использовании сред типа MATLAB, Scilab, Freemat и т.п.

Корреляционная размерность d_c позволяет оценить минимальную размерность аттрактора, порождающего данный временной ряд, $D \geq 2d_c + 1$. Кроме того, определить размерность фазового пространства, в котором можно разместить аттрактор динамической системы можно по моменту, при котором наступает насыщение значений корреляционной размерности по мере увеличения размерности пространства вложения.

Энтропия заполнения фазовых пространств. Предложен оригинальный метод анализа временных рядов на фазовой плоскости вида (x_n, x_{n+k}) , где k – количество отсчётов, на которое сдвигается сигнал.

Энтропия находится как функция k заполнения квадрата, содержащего данный фазовый портрет. С этой целью квадрат с фазовым портретом разбивается на $N \times N$ квадратов и определяется вероятность $p_i^{(k)}$

заполнения i -го квадрата для заданного k : $p_i^{(k)} = \frac{m_{ik}}{M^{(k)}}$, где m_{ik} –

количество точек в i -м квадрате в «момент» k , $M^{(k)} = M - 2k$ –

суммарное количество точек на плоскости в «момент» k , а M – исходное количество отсчётов сигнала. Энтропия S_k , отвечающая моменту k ,

определяется следующим образом: $S_k = -\sum_{i=1}^{N^2} p_i^{(k)} \log_2 p_i^{(k)}$. Зависимость энтропии от характерного времени k может использоваться для анализа различных особенностей. Например, поведение функции S_k отражает временные особенности сигнала и, как нами показано, позволяет обнаруживать характерные времена периодических и стохастических сигналов по положению экстремумов функции S_k [5,10].

Показатель Хёрста с усреднением по полной реализации временного ряда. Пусть дан временной ряд $x(t)$, определённый на множестве моментов времени $\{t_i\}$, тогда его среднее значение за время: $\langle x(\tau) \rangle = \frac{1}{\tau} \sum_{i=1}^{\tau} x(t_i)$, а

среднеквадратичное отклонение $S(\tau) = \sqrt{\frac{1}{\tau} \sum_{i=1}^{\tau} (x(t_i) - \langle x(\tau) \rangle)^2}$. Введём

накопившееся отклонение $X(t, \tau) = \sum_{i=1}^{\tau} (x(i) - \langle x(\tau) \rangle)$ ряда $x(t)$ от его среднего

значения $\langle x(\tau) \rangle$. Разница между максимальным и минимальным значениями ряда $X(t, \tau)$ называется размахом $R(\tau)$: $R(\tau) = \max_{1 \leq t \leq \tau} X(t, \tau) - \min_{1 \leq t \leq \tau} X(t, \tau)$.

Эмпирическим путём (Н.Е. Hurst, 1951) было установлено, что безразмерная величина R/S подчиняется следующему закону: $\frac{R}{S} = \left(\frac{\tau}{2}\right)^H$.

Величина H в литературе стала называться показателем Хёрста, а анализ рядов с помощью её вычисления, – методом нормированного размаха. Типичная схема вычислений показателя Хёрста состоит из нахождения величины H как тангенса угла наклона линейного участка графика зависимости $\ln \frac{R}{S}$ от $\ln \frac{\tau}{2}$.

Общим моментом при вычислении корреляционного интеграла и показателя Хёрста является использование логарифмической шкалы, поэтому для этих инструментов был предложен общий подход, заключающийся в применении прогрессивных нелинейных шкал вида $x_{k+1} = ax_k$, что позволило получить равномерные шкалы после выполнения процедуры логарифмирования. Кроме того, при вычислении показателя Хёрста, вычислялось несколько значений показателя на разных участках ряда с последующим усреднением. Предложенные модификации алгоритма позволили снизить влияние начальной фазы сигнала на значение показателя, увеличить точность нахождения линейного участка роста, упростить дальнейшую

процедуру автоматизированного определения показателя, а также снизить вычислительную сложность алгоритма [8].

В третьей главе описываются процедуры оценки параметров речевых сигналов и проводится анализ клинического материала.

Алгоритм классификации речевых патологий. По результатам анализа массивов данных для аппроксимации энтропии S_k было предложено использовать сумму логистической и линейной зависимостей:

$$S_x = B + \frac{A-B}{1 + \left(\frac{x}{g}\right)^p} + ax, \quad \text{где } A, B, g, p, a \text{ - константы, определяемые по}$$

экспериментальному графику энтропии S_k с использованием метода наименьших квадратов (Рисунок 1).

Помимо определения параметров аппроксимирующей кривой, рассчитывалось среднеквадратичное отклонение δ_s экспериментального графика энтропии от данной кривой. Таким образом, после нахождения параметров кривой, каждый образец речи характеризовался шестью значениями параметров A, B, g, p, a, δ_s , а также статистическими оценками рядов длительностей звуков и пауз.

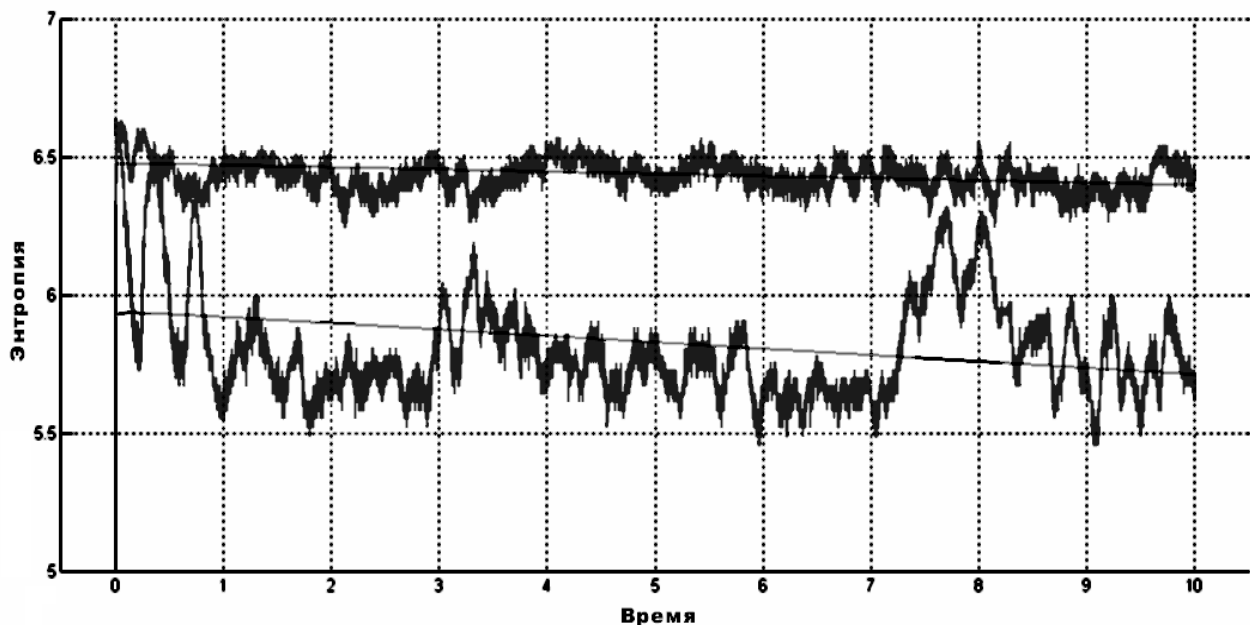


Рисунок 1 – Энтропия речевого сигнала в норме (вверху) и при моторной афазии (внизу); характерное время, секунд, является номером отсчёта, поделённым на частоту дискретизации

Найденные векторы параметров использовались в дальнейшем для построения бинарного классификационного дерева. Вероятность правильной классификации предъявляемого речевого сигнала по результатам диагностики образцов контрольной группы на полученном классификационном дереве лежит в пределах от 0,814 до 0,976 с уровнем значимости 0,05 [5,9].

Корреляционная размерность речи при её патологиях и в норме.

Поскольку с формальной точки зрения динамическая система может быть описана в виде системы дифференциальных уравнений либо рекуррентных отношений конечной размерности, изменения динамической системы могут быть осуществлены через изменения коэффициентов уравнений или более глобально, через изменение размерности системы.

Нами были рассчитаны корреляционные размерности речевых сигналов в норме и при различных речевых патологиях. Для каждого образца речи вычислялся корреляционный интеграл в соответствии с формулой (1). После вычисления корреляционного интеграла, зависимость $C(r)$ аппроксимировалась кусочно-линейной функцией, состоящей из трёх отрезков на координатной плоскости вида $\log(C(r), \log(r))$.

Для каждой из групп патологий и нормы были найдены статистические характеристики корреляционных размерностей (Таблица 1) [11].

Как видно из таблицы, в каждой группе речевых патологий среднее значение корреляционной размерности больше среднего значения для группы нормы. Более того, только для группы нормы значение медианы меньше среднего значения, для всех групп патологий значения медианы превышают значения среднего. Другими словами, возможно существование закономерности, приводящей к увеличению корреляционной размерности речи при возникновении какой – либо из исследуемых речевых патологий.

Таблица 1 – Характеристики размерностей в группах

	Моторная афазия	Дизартрия	Заикание	Норма	Нейродинамическая афазия
Количество испытуемых	35	17	9	43	57
Среднее	1,5240	1,2193	1,2278	0,9510	1,2981
Медиана	1,5939	1,2677	1,2765	0,7847	1,3868
Среднеквадратичное отклонение	0,2842	0,2757	0,1835	0,4155	0,2986
Эксцесс	2,3836	-0,5441	0,0371	-1,1288	0,0562

Динамическая модель речевого аппарата и её статистические свойства. Образцы речи разбивались на речевые сегменты, состоящие из звука и паузы после него, после чего строились ряды UV длительностей данных

сегментов, а также ряды UVI согласно соотношения: $UVI = \ln \frac{UV}{\langle UV \rangle}$,

динамические свойства которых затем исследовались и был получен следующий вывод: ряд длительностей звуковых сегментов не может быть получен как результат функционирования маломерной динамической системы.

Характерной особенностью исследуемого ряда UVI является его фазовый портрет, который не содержит точек, располагающихся вдоль каких-либо траекторий, как у динамических систем, но в то же время точки не образуют однородного облака, как это характерно для случайных процессов. При размерности фазового пространства $n=3$, точки фазового портрета группируются в восьми кластерах.

Предложен оригинальный графический способ представления динамики переходов между кластерами, – с использованием вероятностей переходов точки из кластера в кластер (Рисунок 2).

Характерно достоверное изменение вероятностей некоторых переходов для групп норма, монолог – афазия монолог, норма, чтение – афазия, чтение, норма, монолог – дизартрия, монолог, норма, чтение – дизартрия, чтение, норма, монолог – патология, монолог, афазия – норма, норма – патология [1].

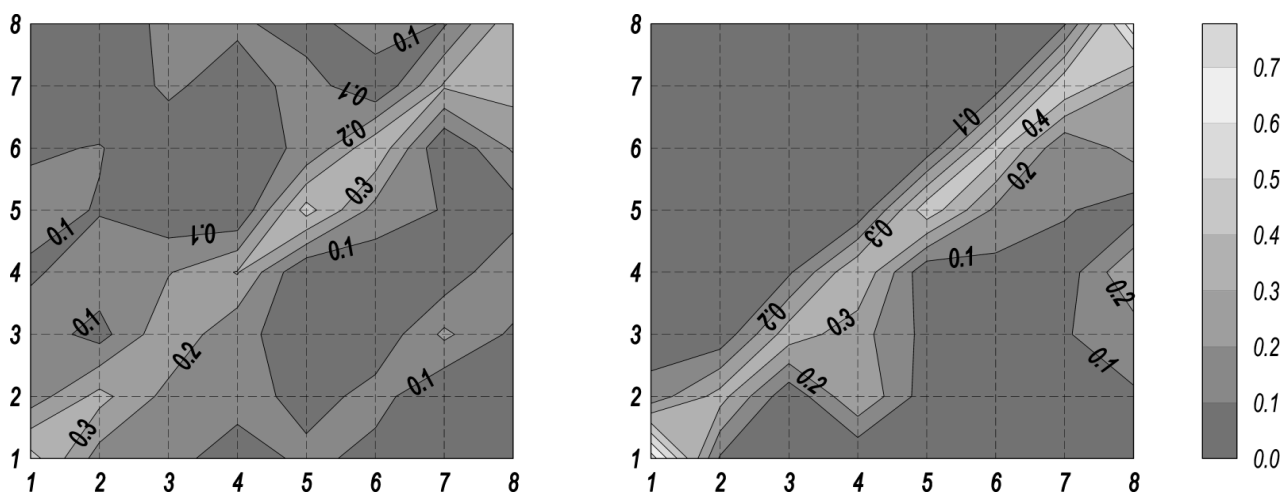


Рисунок 2 – Вероятности переходов между кластерами, монолог, по вертикали – номер исходного кластера, по горизонтали – номер конечного кластера. Слева – моторная афферентная афазия, справа – норма

Использование показателя Хёрста в диагностике речевых патологий.

При аппроксимации нормированных размахов рядов мощности речевых сигналов использовалась кусочно-полиномиальная функция, представляющая собой комбинацию линейной и квадратичной функций:

$$\begin{cases} f(x) = kx + d, & x \leq x_2 \\ f(x) = ax^2 + bx + c, & x \geq x_2 \end{cases}, \text{ которая должна была удовлетворять условию}$$

$$\text{минимума функции } O(\tau) = \left(\frac{R(\tau)}{S(\tau)} - f(\tau) \right)^2 = \min .$$

Процедура непосредственной оптимизации $O(\tau)$ по параметрам a, b, c, d, k , как выяснилось в результате экспериментов, не обладает стабильностью и часто приводит к неудовлетворительным результатам при использовании различных алгоритмов оптимизации. По этой причине для

оптимизации использовался вектор параметров $(x_1, y_1, x_2, y_2, x_3, y_3, x_4, y_4)$. Вектор параметров a, b, c, d, k находился по значениям вектора координат $(x_1, y_1, x_2, y_2, x_3, y_3, x_4, y_4)$ с учётом следующих условий: линейный участок функции проходит через точки (x_1, y_1) и (x_2, y_2) , квадратичный участок — через точки (x_2, y_2) , (x_3, y_3) , (x_4, y_4) .

Затем находились показатель Хёрста H как наклон линейного участка аппроксимирующей функции и характерное время $T=2e^{x_2/v}$ (v - частота дискретизации, x_2 - момент окончания участка линейного роста), а также их статистические характеристики для всех групп патологии и нормы. Для всех групп были найдены показатели H и характерного времени $T(H)$, а также линейные регрессии вида $T=kH+b$, где k и b вычислялись с использованием метода наименьших квадратов (Рисунок 3, Таблица 2).

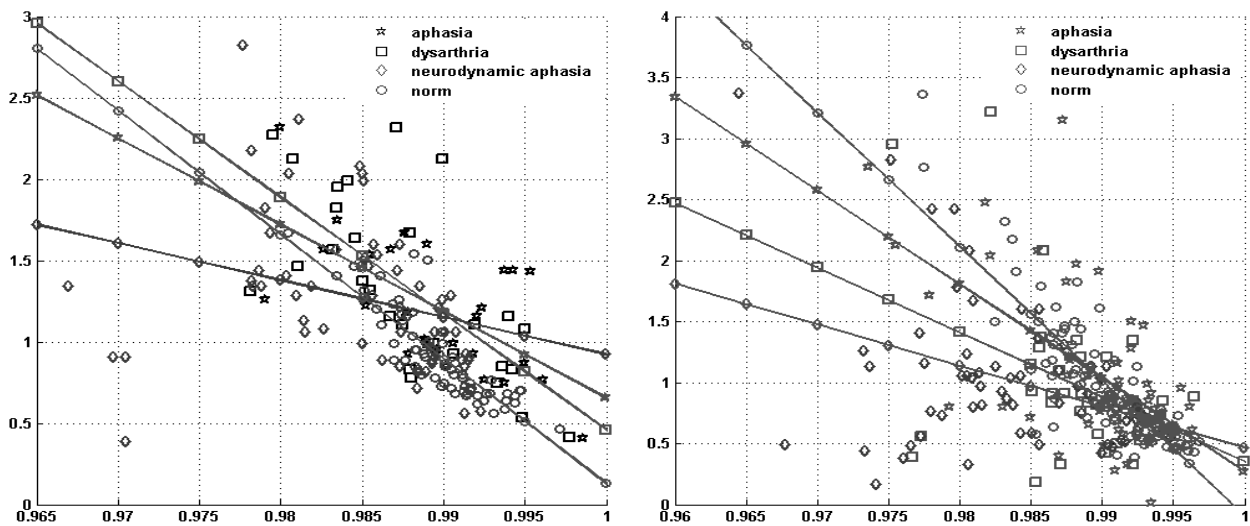


Рисунок 3 – Зависимость $T(H)$ в группах чтения (слева) и монолога (справа), а также линейные регрессии для каждой группы

Таблица 2 – Уравнения регрессий в различных речевых группах

Речевая группа	Регрессия	
	чтение	МОНОЛОГ
норма	$T = -76.3H + 76.5$	$T = -110H + 110$
афазия	$T = -53.1H + 53.8$	$T = -76.8H + 77.0$
дизартрия	$T = -71.4H + 71.8$	$T = -52.9H + 53.3$
нейродинамическая афазия	$T = -22.8H + 23.7$	$T = -33.6H + 34.0$

Построены распределения показателя Хёрста и характерного времени, вид распределений отличается от нормального. В силу чего предложено использование метода статистического бутстрепа для сравнения групп между собой [2]. При этом гипотеза о равенстве статистик в группах не подтвердилась в следующих случаях:

афазия, чтение — норма, чтение различаются по среднему значению характерного времени,

дизартрия, чтение — норма, чтение различаются по средним значениям показателя Хёрста и характерного времени,

дизартрия, монолог — норма, монолог различаются по среднему значению показателя Хёрста,

нейродинамическая афазия, чтение — норма, чтение различаются по средним значениям показателя Хёрста и характерного времени,

нейродинамическая афазия, монолог — норма, монолог различаются по среднему значению показателя Хёрста.

Кроме того, для оценки точности инструмента найдены границы групп нормы на плоскости в виде параметрически заданных тригонометрических функций.

В заключении отражён личный вклад автора и перечислены основные результаты работы и выводы:

1. Записаны и проанализированы образцы речи в норме и при различных патологиях речи (афазии, дизартрии, заикание).

2. Разработаны алгоритмы для темпо — ритмового анализа и нахождения энтропии речевого сигнала [5-8,9,12].

3. По результатам анализа записанных образцов речи определены правила классификации речевых патологий [5].

4. С использованием правил классификации и разработанных алгоритмов анализа создана программа для ЭВМ, осуществляющая диагностику речевых нарушений по типу моторных афазий, нейродинамических афазий и дизартрий [3].

5. Разработан и реализован в виде программы для ЭВМ алгоритм вычисления корреляционных интегралов временных рядов, содержащих большое количество отсчётов ($\sim 10^6$).

6. Найдены корреляционные интегралы и корреляционные размерности для записанных образцов речи, показаны различия для значений корреляционных размерностей в различных группах патологий и норме [8].

7. Предложено описание структуры речевого сигнала в виде блуждания точки между кластерами фазового пространства [1].

8. Вычислены показатели Хёрста и характерные времена для образцов речи в норме и патологии и показана возможность их применения при решении задач диагностики речевых патологий [2,11].

9. Получены свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ: «Система дефектоскопии речи» и «Анализатор динамических систем (DYNSAN, dynamic system analyzer v 0.1)» [3,4].

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в журналах, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук:

1. **Кузенков Н. П.** Статистическое описание речи человека при органических нарушениях центрального отдела речевого аппарата / Н. П. Кузенков, В. М. Логинов, С. В. Прокопенко, Е. Ю. Можейко // *Нелинейный мир*. – 2012. – Т. 10, № 4. – С. 247–255. – 0,66 / 0,5 а.л.

2. **Кузенков Н. П.** Использование метода нормированного размаха при анализе речевых патологий неврологического генеза / Н. П. Кузенков, В. М. Логинов // *Компьютерные исследования и моделирование*. – 2014. – Т. 6, № 5, С. 775–791. – 1,06 / 0,9 а.л.

Свидетельства о регистрации программ для ЭВМ:

3. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2013613703 Система дефектоскопии речи / **Кузенков Н. П.**, Логинов В. М., правообладатель: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Красноярский государственный педагогический университет им. В. П. Астафьева» (RU). Заявка № 2012660128, заявл. 22 ноября 2012 г. Дата государственной регистрации в реестре программ для ЭВМ 15 апреля 2013 г.

4. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015614770. Анализатор динамических систем (DYNSAN, dynamic system analyzer v 0.1) / **Кузенков Н. П.**, правообладатель: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Красноярский государственный педагогический университет им. В. П. Астафьева» (RU). Заявка № 2015611551, заявл. 11 марта 2015 г. Дата государственной регистрации в реестре программ для ЭВМ 28 апреля 2015 г.

Статья в электронном научном журнале:

5. **Кузенков Н. П.** Алгоритм классификации речевых патологий при органических поражениях головного мозга [Электронный ресурс] / Н. П. Кузенков, В. М. Логинов, О. Н. Никольская, С. В. Прокопенко // *Информационные процессы*. – 2009. – Т. 9, № 3. – С. 121–137. – URL: <http://www.jip.ru/2009/121-137-2009.pdf> (дата обращения: 18.09.2017). – 0,85 / 0,55 а.л.

Публикации в сборниках материалов конференций:

6. **Кузенков Н. П.** Особенности темпо-ритмовой организации репродуктивной речи человека / Н. П. Кузенков, В. М. Логинов, Т. В. Похабов, С. В. Прокопенко, В. А. Руднев // *Моделирование неравновесных систем* – 2006 : материалы Девятого Всероссийского семинара. Красноярск, 13–15 октября 2006 г. – Красноярск, 2006. – С. 107-108 – 0,12 / 0,06 а.л.

7. **Кузенков Н. П.** Применение энтропии при исследовании речи человека в норме и патологии / Н. П. Кузенков, В. М. Логинов // НКСФ - XXXVI (2007) : материалы научной конференции студентов, аспирантов и молодых учёных физиков. Красноярск, 13–14 апреля 2007 г. – Красноярск, 2007. – С. 88–92. – 0,28 / 0,18 а.л.

8. **Кузенков Н. П.** Экспертная система диагностики речевых патологий / Н. П. Кузенков, В. М. Логинов, О. Н. Никольская, С. В. Прокопенко // Нейроинформатика, ее приложения и анализ данных : материалы XVI Всероссийского семинара. Красноярск, 19–21 сентября 2008 г. – Красноярск, 2008. – С. 70–74. – 0,24 / 0,16 а.л.

9. **Кузенков Н. П.** Особенности корреляционной размерности речи человека при ее патологиях / Н. П. Кузенков, В. М. Логинов // Моделирование неравновесных систем : материалы одиннадцатого Всероссийского семинара. Красноярск, 26–28 сентября 2008 г. – Красноярск, 2008. – С. 131–133. – 0,12 / 0,07 а.л.

10. **Кузенков Н. П.** Исследование временных рядов с использованием энтропии заполнения многомерных фазовых пространств / Н. П. Кузенков, В. М. Логинов // Моделирование неравновесных систем : материалы Пятнадцатого Всероссийского семинара. Красноярск, 05–07 октября 2012 г. – Красноярск, 2012. – С. 100–103. – 0,18 / 0,16 а.л.

11. **Кузенков Н. П.** Модификация алгоритма вычисления показателя Хёрста / Н. П. Кузенков, В. М. Логинов // Моделирование неравновесных систем : материалы Пятнадцатого Всероссийского семинара. Красноярск, 05–07 октября 2012 г. – Красноярск, 2012. – С. 103–108. – 0,25 / 0,23 а.л.

12. **Кузенков Н. П.** Возможность оценки уровня интеллекта по временным характеристикам речи человека / Н. П. Кузенков // Электронные ресурсы в непрерывном образовании : труды III Международного научно-методического симпозиума «ЭРНО – 2012». Геленджик, 16–19 сентября 2012 г. – Ростов-на-Дону, 2012. – С. 344–348. – 0,4 а.л.

Издание подготовлено в авторской редакции.
Отпечатано на участке цифровой печати
Издательского Дома Томского государственного университета
Заказ №1402 от «14» февраля 2018 г. Тираж 100 экз.
г. Томск Московский тр.8 тел. 53-15-28