

На правах рукописи



КОСТЮЧЕНКО ЕВГЕНИЙ ЮРЬЕВИЧ

**ИДЕНТИФИКАЦИЯ НЕПРЕРЫВНЫХ БИОМЕТРИЧЕСКИХ
СИГНАЛОВ НА ОСНОВЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ**

Специальность 05.13.01. Системный анализ, управление
и обработка информации (отрасль: промышленность)

АВТОРЕФЕРАТ

Диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Томск – 2010

Диссертация выполнена в Томском государственном университете систем управления и радиоэлектроники.

Научный руководитель –

кандидат технических наук, доцент
Мещеряков Роман Валерьевич

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор
Спицын Владимир Григорьевич

кандидат физико-математических
наук, старший научный сотрудник
Афонин Геннадий Иванович

Ведущая организация –

Алтайский государственный
университет

Защита диссертации состоится «2» июня 2010 г. в 15 ч. 00 мин. на заседании совета по защите докторских и кандидатских диссертаций Д 212.269.06 при Национальном исследовательском Томском политехническом университете по адресу: 634034, г. Томск, ул. Советская, 84/3, институт «Кибернетический центр».

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке Национального исследовательского Томского политехнического университета по адресу: 634034, г. Томск, ул. Белинского, 55.

Автореферат разослан «30» апреля 2010 г.

Ученый секретарь совета по
защите докторских
и кандидатских диссертаций
Д 212.269.06, кандидат
технических наук, доцент



Сонькин М.А.

Актуальность работы. Проблема анализа биометрических характеристик человека была и остается актуальной. В настоящее время для идентификации пользователей активно применяются статические биометрические характеристики, такие как геометрия ладони, отпечатки пальцев, структура радужной оболочки глаза. Применение динамических характеристик менее распространено в силу низких достигнутых показателей ошибок первого и второго рода. Однако в ряде случаев, например при компрометации пароля в традиционной парольной защите, только такие методы могут позволить предотвратить доступ злоумышленника.

Для анализа биометрических характеристик могут применяться различные подходы, например, статистический анализ, спектральный анализ, применение скрытых сетей Маркова, нейронных сетей и генетических алгоритмов.

Применение нейронных сетей имеет следующие преимущества: решение задач при неизвестных заранее зависимостях между входными и выходными параметрами, возможность построения нелинейных зависимостей, возможность применения для широкого круга задач, возможность одновременного решения нескольких задач одной нейронной сетью при использовании нескольких выходов, относительная простота используемых алгоритмов, легкость распараллеливания при решении задачи.

Нельзя не отметить и недостатки нейронных сетей: сложность определения набора входных параметров и архитектуры нейронной сети, которые обеспечивали не только оптимальный, но даже и требуемый результат, невозможность перебора всех вариантов из-за огромного их количества («проблема размерности»), сложность интерпретации структуры обученной нейронной сети – как правило, модель используется только в качестве «черного ящика», невозможность определения достаточного для обобщения и последующей успешной работы объема и состава входной выборки.

Значительный вклад в применение нейросетевых алгоритмов и решению проблем, возникающих при их применении, внесли следующие ученые: Ф. Розанблатт, С. Хайкин, М.Л. Минский, С. Пэйперт, Т. Кохонен, Дж. Хопфилд, А.И. Галушкин, А.Н. Горбань, В.В. Круглов, Е.М. Миркес, В.А. Дунин-Барковский.

Одной из наиболее существенных и неформализованных проблем при использовании нейронных сетей является выбор параметров для анализа нейронной сетью. Существующие подходы либо не позволяют полностью формализовать этот процесс, либо не учитывают особенность использования нейронной сети в качестве «черного ящика» и реально достигаемые значения при обработке сигналов при помощи нейронной сети.

Цель исследований: построение методик и алгоритмов оценки информативности параметров при анализе сложной естественной характеристики на примере речевого сигнала.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи:**

- 1) анализ текущего состояния в области анализа естественной информации при помощи нейросетевых технологий;
- 2) анализ существующих подходов к проблеме оценки информативности параметров;
- 3) разработка критерия информативности, учитывающего специфику возможного распределения выходов нейронной сети;
- 4) построение алгоритма выбора параметров для передачи на вход нейронной сети с учетом разработанного критерия;
- 5) исследование эффективности разработанного алгоритма на примере задачи анализа речевого сигнала и сопоставления результатов работы нейронной сети, полученной на основе разработанного алгоритма и существующих алгоритмов анализа сигнала.

Объектом исследования являются биометрические сигналы вне зависимости от их происхождения (клавиатурный почерк, подпись, речевой сигнал, электрокардиограмма).

Предмет исследования – принципы применения нейронных сетей для анализа биометрических сигналов.

Методы исследований: для решения поставленных задач в работе применялись методы системного анализа, теории вероятностей и математической статистики, цифровой обработки сигналов и численных методов.

Достоверность полученных в работе результатов подтверждается:

- экспериментальными данными, подтверждающих правильность теоретических выкладок;
- сравнением полученных на основе эксперимента данных с данными, получаемыми при помощи других методов.

Научная новизна полученных в работе результатов заключается в следующем:

- обоснован новый критерий информативности параметров, который использует результаты обработки тестовой выборки при помощи нейронной сети, отличающийся от существующих учетом особенностей распределения значений ошибок на выходах нейронной сети и учитывающий возможные приоритеты ошибок;
- разработан алгоритм выбора параметров для обработки их нейронной сетью при решении задачи анализа биометрической информации с использованием нового критерия;
- показана необходимость учета значения критерия информативности и коэффициента корреляции между параметрами нейронной сети при использовании нескольких параметров, позволяющая получать лучшие результаты на анализе биометрического сигнала по сравнению с классическими решениями.

Практическая значимость работы заключается в разработанном программном комплексе, позволяющем на основе разработанных критерия и алгоритмов осуществлять разработку программного обеспечения, предназначенного для анализа биометрического сигнала с применением нейросетевого подхода.

Применение программного комплекса, реализующего предложенные в диссертационной работе подходы, позволило решить ряд практических задач, а именно:

- сократить время по оценке разборчивости речи на 74% в рамках задач НИИ онкологии СО РАМН и обеспечить накопление речевых сигналов пациентов для дальнейшего исследования;
- автоматизировать процесс тестирования устройств для съема суточной электрокардиограммы «Биоток-3000», позволив в автоматическом режиме осуществлять выделение участков кардиограммы для дальнейшего анализа, что позволило сократить общее время тестирования на 9%.

Положения, выносимые на защиту:

- критерий информативности, основанный на результатах обработки обученной нейронной сетью тестовой выборки, который позволяет осуществлять ранжировки и выбор параметров для передачи на входы нейронной сети и отличается от существующих большей гибкостью за счет учета весовых коэффициентов значимости ошибок первого и второго рода и возможной нелинейности критерия;
- алгоритм ранжировки параметров по информативности на основе разработанного критерия;
- алгоритм выбора параметров для обработки нейронной сети с учетом коэффициента корреляции между ними, позволяющий повысить итоговое значение критерия информативности на 5%.

Внедрение результатов. Результаты работы внедрены в деятельность подразделений ООО «Энергометаллургический завод», НИИ Онкологии СО

РАМН, ООО НПФ «Информационные системы безопасности», ООО «Л.М.Э. «Биоток», в учебный процесс ТУСУР.

Апробация работы. Основные результаты по теме диссертационной работы отражены в 24 публикациях (из них 4 в журналах, рекомендованных ВАК). По результатам работы получено 2 свидетельства о регистрации в Отраслевом фонде алгоритмов и программ (свидетельства №7356 от 18.12.2006 и №8164 от 25.04.2007). Результаты работы представлялись на: XVIII и XIX сессиях Российского акустического общества (Москва, 2006 и 2007 гг.); Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых специалистов «Научная сессия ТУСУР'2003» - «Научная сессия ТУСУР'2008», семинарах Томской секции IEEE.

Личный вклад. В диссертационной работе использованы результаты, в которых автору принадлежит определяющая роль. Некоторые из опубликованных работ написаны в соавторстве с сотрудниками научной группы. В совместных работах диссертант принимал участие в непосредственной разработке подходов к применению нейронных сетей для выделения признаков фонов и их групп, разработке интерпретатора выходов нейронных сетей, теоретических расчетах, постановке и проведении вычислительных экспериментов, в интерпретации результатов. Постановка задачи исследований осуществлялась научным руководителем, к.т.н., доцентом Р.В. Мещеряковым и д.т.н., профессором В.П. Бондаренко.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 88 наименований и 1 приложения. Общий объем работы составляет 171 страницу, в том числе 47 рисунков и 17 таблиц.

Содержание работы.

Во введении обоснована актуальность, научная новизна исследований, определена цель работы и задачи исследований, дана общая характеристика работы, сформулированы основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе осуществляется анализ существующих методов анализа биометрической информации. Рассматриваются основные виды непрерывных биометрических сигналов, операции по их представлению в виде, пригодном для дальнейшей обработки в зависимости от происхождения биометрического сигнала (клавиатурный почерк, подпись, речевой сигнал).

После анализа предварительной обработки непрерывных биометрических сигналов производится анализ существующих методов обработки этих сигналов. Рассматриваются статистический анализ, спектральный анализ, анализ на основе аппарата скрытых Марковских моделей, применение генетических алгоритмов, применение аппарата искусственных нейронных сетей. Выделяются преимущества и недостатки нейросетевого подхода.

Для применения нейросетевого метода рассматривается модель представления биометрического сигнала на уровне признаков в виде последовательности участков, на которых присутствует/отсутствует интересующий признак. Выявляется применимость методов для анализа рассматриваемых биометрических сигналов. Сравнение методов, применяемых для решения каждой из задач, представлено в таблице 1.

Можно сделать вывод, что для анализа речевой информации прямое применение нейросетевых методов без предварительной обработки речевого сигнала не представляется возможным.

Предлагается одновременное применение специальных методов, направленных на выделение параметров речевого сигнала и учитывающих особенность слуховой системы человека, разработанных В.П. Бондаренко, и последующую обработку этих параметров с помощью нейронных сетей.

Формулируется основная последовательность действий при обработке непрерывного биометрического сигнала, представленная на Рис. 1.

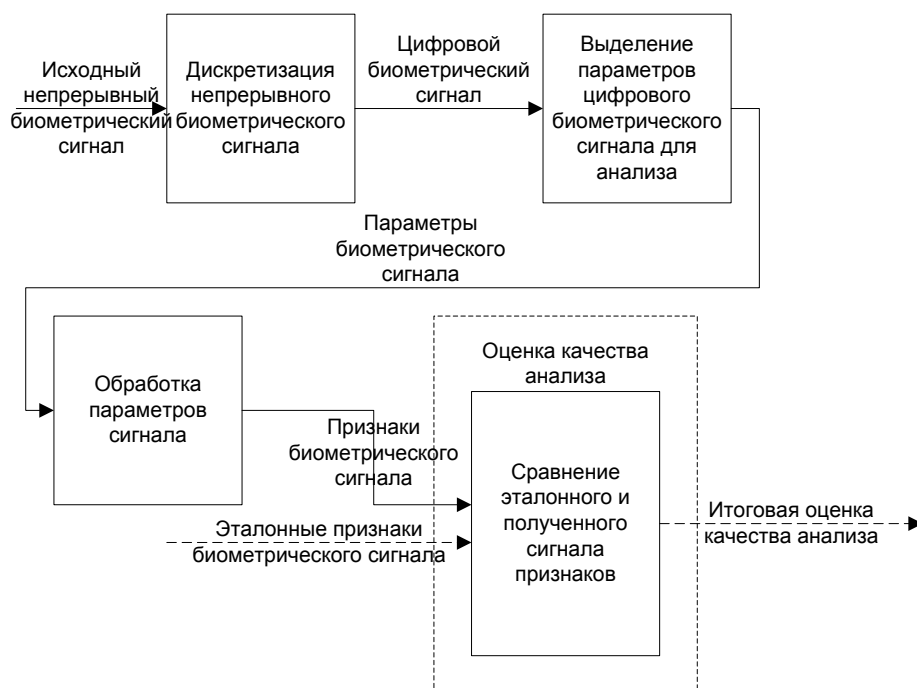


Рис. 1 — Обработка непрерывного биометрического сигнала

Для применения полученной при помощи методов системного анализа процедуры двухуровневого преобразования исходного речевого сигнала к последовательностям на уровне признаков фонем и последовательности на уровне слов необходимо формализовать и решить задачу выбора параметров речевого сигнала, передаваемых на входы нейронной сети. Для этого необходимо разработать критерии выбора параметров речевого сигнала, реализовать алгоритм выбора параметров с применением критериев и провести его исследование.

Во второй главе рассмотрены существующие подходы к определению информативности параметров. Выявлено, что критерии, не использующие в качестве критериев результаты работы нейронной сети (итоговые уровни ошибок первого и второго рода $m1$ и $m2$) не являются достоверными применительно к анализу при помощи нейронных сетей. Это связано с отсутствием информации относительно внутренней структуры нейронной сети.

Таблица 1. Применение нейронных сетей для анализа биометрической информации.

	Клавиатурный почерк, фиксированная фраза	Клавиатурный почерк, произвольная фраза	Подпись	Речь
Набор входных параметров	100-400	До 1500, но возможно ограничение 1000	Зависит от параметров, для гармоник – до 300	1000 и более, ограничено предельным размером входного слоя нейронной сети
Применение нейронных сетей	Двухслойный персептрон	Двухслойный персептрон	Двухслойный персептрон	Прямое решение простым применением двухслойного персептрона невозможно
Комментарии	Интервалы между нажатиями, время залипания, количество зависит от длины фразы	Зависит от отслеживаемых сочетаний (биграмм, триграмм и т.д.), статистические параметры	Параметры – результат анализа Фурье зависимостей изменения координат и давления	Выбор параметров не определен. Зависит от окна анализа и частоты дискретизации

В связи с этим предлагается использовать критерии, основанные на результатах обучения нейронной сети и результатах работы, полученных на тестовой выборке.

Существующие критерии этого класса не позволяют учитывать возможный приоритет ошибок первого и второго рода и возможную нелинейность в значимости больших и меньших ошибок. Однако учет приоритета ошибок необходим, например, при последовательном использовании нескольких методов идентификации.

В работе предложен критерий, определяемый по формуле

$$M(m_1, m_2) = \begin{cases} M'(m_1, m_2), & M'(m_1, m_2) < 1 \\ 1, & M'(m_1, m_2) \geq 1 \end{cases},$$

где $M'(m_1, m_2) = ((m_1)^s + (k \times m_2)^s)^{\frac{1}{s}}$

для случая, когда более важной является ошибка второго рода, или

$$M'(m_1, m_2) = ((k \times m_1)^s + (m_2)^s)^{\frac{1}{s}}$$

для случая, когда более важной является ошибка первого рода,

где $k \in [1, \infty)$ — коэффициент, учитывающий взаимную значимость ошибок первого и второго рода.

Данный критерий оказывается лишен приведенных выше недостатков. Он позволяет с помощью весового коэффициента учитывать взаимную значимость ошибок первого и второго рода. Кроме того, с помощью коэффициента s можно задавать взаимную значимость больших и меньших ошибок. Максимальное значение критерия искусственно ограничивается значением 1, поскольку данное значение достигается без применения каких-либо методов при простом определении наличия или отсутствия признака на всем сигнале (в этом случае $m_1=0, m_2=1$ или наоборот)

При таком определении значения критерия $M(m_1, m_2) \in [0, 1]$.

После формулировки критериев возникает задача их практического исследования на основе обучения и работы на тестовой выборке. Кроме того, во второй изложены теоретические предпосылки к учету взаимной корреляции между параметрами, подаваемыми на входы нейронной сети.

Более подробно данная зависимость исследуется в третьей главе диссертационной работы.

В третьей главе произведено экспериментальное исследование предложенных критериев.

В таблице 2 приводится среднее значение итоговой ошибки обучения для различных параметров, полученное на основе 5 обучений нейронной сети. Нейронная сеть обучалась для разделения речевого параметра по наличию признака вокализации.

Таблица 2 – Обученность нейронной сети на каждом из параметров

№	asim	asim1	mosp	lmosp	dispr	maxch	medi	cvar	cvarcorr	prand
Среднее	0,007	0,012	0,103	0,007	0,098	0,007	0,115	0,006	0,002	0,000

В данной таблице в верхней строке приведены параметры речевого сигнала, выделяемые на основе спектра речевого сигнала, полученного с помощью фильтров, учитывающих особенности речеобразующей системы человека, разработанных профессором В.П. Бондаренко.

Во второй строке – средняя обученность нейронной сети на основании 5 циклов обучения. Данного количества обучений оказывается достаточно для формирования заключения относительно применимости исследуемого критерия.

Исходя из этой таблицы видно, что наилучшие показатели обучения нейронная сеть показывает на основе параметра *prand*, однако данный параметр представляет собой равномерно распределенную случайную величину и не несет в себе информации непосредственно о сигнале. Он применяется только для проверки применимости количественного критерия на основе обучаемости нейронной сети.

На основании полученных результатов количественный критерий преобразуется в качественный, на основе которого определяется обучается ли нейронная сеть на исследуемом параметре в принципе, и если нет – параметр неинформативен, в противном случае – требуется дальнейшее исследование параметра с применением следующего критерия.

Для применения критерия, основанного на результатах обработки необходимо определить параметры интерпретатора выходов нейронной сети.

Для этого применяется следующий алгоритм.

1. Задание параметров критерия k , s , задание параметров нейронной сети.
2. Выбор допустимых пределов значения окна интерпретатора и шага между точками, в которых будут рассчитываться значения критерия.
3. Обучение нейронной сети.
4. Анализ тестовой выборки обученной нейронной сетью.
5. Поиск минимального значения критерия. Если точка минимума находится на границе рассматриваемого интервала значений размера окна интерпретатора – переход на этап 2.
6. Если в точке минимума значение критерия $M=1$, то переход на этап 1, параметр неинформативен.
7. Координаты точки минимума – выбранные параметры интерпретатора.
8. Значение критерия в точке минимума определяет значение информативности исследуемого параметра.

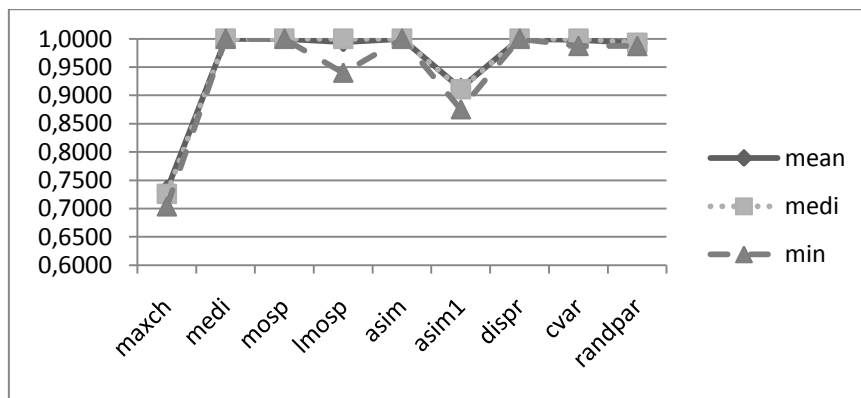


Рис. 2 – Значение критерия на основе ошибки нейронной сети

На рисунке 2 представлены значения критерия для определения их различными способами (среднее значение, медиана и минимальное значение за 20 экспериментов). Выявлено, что способ определения критерия не влияет на ранжировку параметров по информативности.

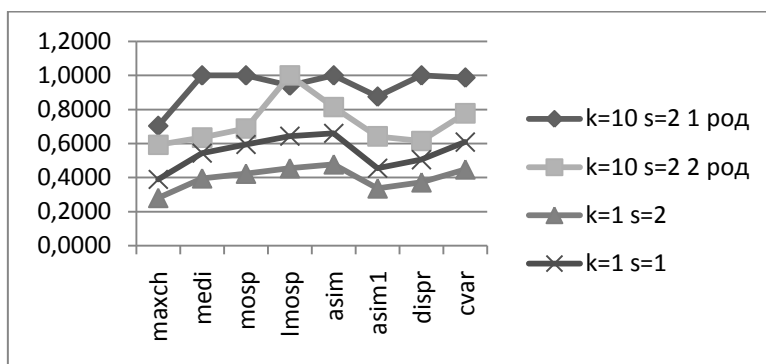


Рис. 3 – Значение критерия на основе ошибки нейронной сети

На рисунке 3 показаны значения минимального значения критерия на основе обработки тестовой выборки 20 нейронными сетями. На основании минимальных наблюдаемых значений можно провести ранжировку признаков, приведенную в таблице 3

Таблица 3 - Ранжировка исследуемых параметров

Приоритет ошибки первого рода, k=10, s=2		Приоритет ошибки второго рода, k=10, s=2		k=1, s=2		k=1, s=1	
	Ранг		Ранг		Ранг		Ранг
maxch	1	maxch	1	maxch	1	maxch	1
medi	8	medi	3	medi	4	medi	4
mosp	8	mosp	6	mosp	5	mosp	5
lmosp	3	lmosp	8	lmosp	6	lmosp	7
asim	8	asim	7	asim	8	asim	8
asim1	2	asim1	4	asim1	2	asim1	2
dispr	8	dispr	2	dispr	3	dispr	3
cvar	4	cvar	6	cvar	6	cvar	6

Проведено исследование влияния коэффициента корреляции между параметрами на итоговое значение коэффициента информативности при одновременном использовании нескольких параметров. Так, показано снижение значения критерия при использовании более слабо коррелирующих, но менее информативных параметров $I_{dispr, asim1}=0,4652$, что на 17% ниже по сравнению с более информативными по отдельности, но более коррелирующими параметрами $I_{dispr, medi}=0,559$. На основе этого построен алгоритм выбора параметров, учитывающий возможность их взаимной корреляции. Среднее снижение значения критерия информативности составило 5%.

На основании предложенных критериев оценена применимость параметров для решения задачи определения наличия вокализации на отсчетах речевого сигнала и произведена ранжировка признаков по информативности на основании количественного критерия. Получены значения ошибок первого и второго рода с точки зрения задачи поиска $m1=3\%$, $m2=54\%$. При двухуровневом анализе для выделения невокализованных щелевых фонем доля ошибок первого и второго рода составила $m1=9\%$, $m2=9\%$, при прямом анализе $m1=10\%$, $m2=12\%$, что показывает превосходство иерархического подхода по сравнению с прямым анализом.

В четвертой главе представлена программная реализация разработанных алгоритмов и описание применения полученного программного комплекса на практике. На Рис. 2 представлена структура обучающей подсистемы программного комплекса.

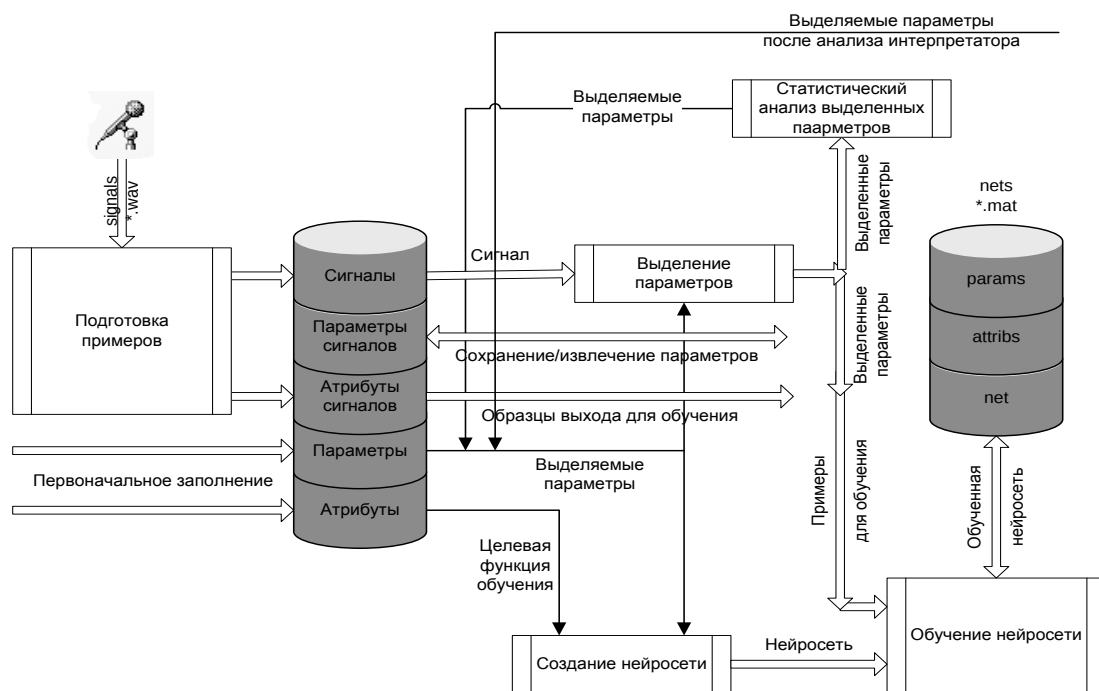


Рис. 2 – Структура и потоки передачи информации и управляющих воздействий для обучающей подсистемы программного комплекса

При обработке сигнала с целью выделения параметров для обучения нейронной сети исходный сигнал подается на блок выделения примеров для обучения нейронной сети (блок «Выделение параметров»). Если в базе данных существуют набор данных параметров и их значения для подаваемого речевого сигнала, то осуществляется создание соответствующей

нейронной сети и её обучение. В противном случае в данном блоке осуществляется фильтрация речевого сигнала с использованием системы не рекурсивных фильтров, учитывающих особенности речеобразующей системы человека, разработанных В.П. Бондаренко.

После получения спектра сигнала на его основе осуществляется синтез параметров для последующей подачи на входы нейронной сети при помощи алгоритмов выделения параметров.

Производится проверка, существуют ли готовая оценка по применимости данных параметров для анализа речевого сигнала, если она существует и параметры пригодны для применения, то осуществляется обучение нейронной сети. В противном случае, осуществляется предварительный прогон нейронной сети и статистический анализ характеристик обучаемости и значения критерия на основе тестовой выборки, полученные данные сохраняются в качестве готовой оценки по применимости и далее работа идет аналогично с ситуацией, когда эти оценки существовали первоначально.

Результаты диссертационной работы внедрены и используются для анализа речи в задачах реабилитации пациентов после операции на языке, возникающих в НИИ онкологии СО РАМН. Применение программного комплекса позволило сократить время по оценке разборчивости речи на 74% и позволило обеспечить накопление речевых сигналов пациентов для дальнейшего исследования.

Кроме того, реализация алгоритмов, предложенных в диссертации, позволила автоматизировать процесс тестирования устройств для съема суточной электрокардиограммы «Биоток-3000». Применение программного комплекса позволило в автоматическом режиме осуществлять выделение участков кардиограммы для дальнейшего анализа, что позволило сократить общее время тестирования на 9%.

На Рис. 3 представлен пример визуализации результатов обработки кардиограммы обученной нейронной сетью с целью выделения

стационарных участков. В ходе проверки не выявлено случаев ложного выделения нестационарных участков при доле пропущенных стационарных участков на более 5%.

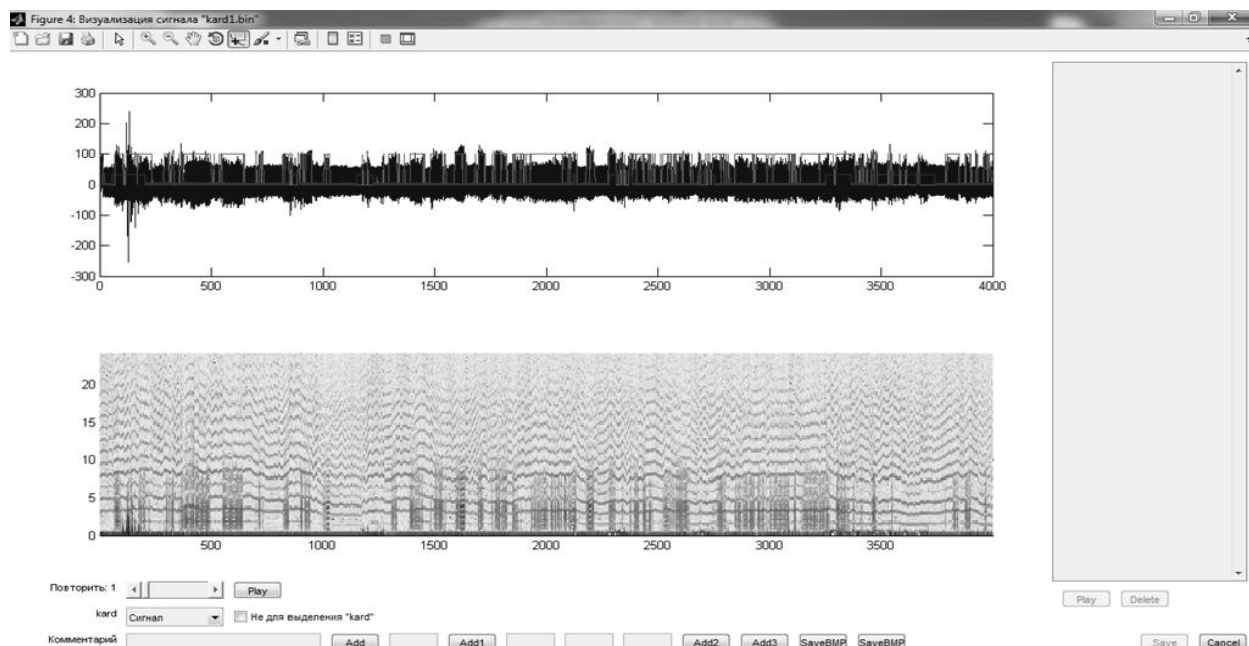


Рис. 3 – Визуализация результатов обработки кардиограммы обученной нейронной сетью с целью выделения стационарных участков (верхняя диаграмма, двоичный сигнал)

В заключении приводятся результаты выполненной работы и делаются основополагающие выводы по итогам диссертационной работы.

1. Показана несостоятельность использования количественного значения обученности нейронной сети в качестве критерия для выбора параметров, анализируемых нейронной сетью.
2. Предложен и обоснован новый критерий информативности параметров, который использует результаты обработки тестовой выборки при помощи нейронной сети, отличающийся от существующих учетом особенностей распределения значений ошибок на выходах нейронной сети и учитывающий возможные приоритеты ошибок.
3. Разработан алгоритм ранжировки параметров по информативности на основе разработанного критерия.

4. Разработан алгоритм выбора параметров для обработки нейронной сети с учетом коэффициента корреляции между ними, позволяющий повысить итоговое значение критерия информативности на 5%
5. Реализовано применение изложенных алгоритмов для задачи анализа биометрических характеристик человека на примере анализа сигнала.

Применение программного комплекса позволило решить ряд практических задач:

- анализ речи в задачах реабилитации пациентов после операции на языке, возникающих в НИИ онкологии СО РАМН. Применение программного комплекса позволило сократить время по оценке разборчивости речи на 74% и позволило обеспечить накопление речевых сигналов пациентов для дальнейшего исследования;
- автоматизация процесса тестирования устройств для съема суточной электрокардиограммы «Биоток-3000». Применение программного комплекса позволило в автоматическом режиме осуществлять выделение участков кардиограммы для дальнейшего анализа, что позволило сократить общее время тестирования на 9%.

Основные положения работы опубликованы в 24 работах, в том числе:

В журналах, рецензируемых ВАК:

1. Костюченко Е.Ю. Распознавание пользователя по клавиатурному почерку на фиксированной парольной фразе в компьютерных системах / Е.Ю. Костюченко, Р.В. Мещеряков // Известия ТРТУ. Тематический выпуск. Материалы V Международной научно-практической конференции "Информационная безопасность". Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2003. - С. 177-178.

2. Костюченко Е.Ю. Определение оптимального набора ключевых параметров идентификации / Е.Ю. Костюченко // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М.Ф. Решетнева. Системная интеграция и безопасность. Специальный выпуск. – Красноярск, 2006. - С. 83-85.

3. Костюченко Е.Ю. Идентификация по биометрическим параметрам при использовании аппарата нейронных сетей. / Е.Ю. Костюченко, Р.В. Мещеряков // Журнал: "Нейрокомпьютеры: разработка, применение" –М: РАДИОТЕХНИКА 2007г. – N 7. - С. 39-50.

4. Костюченко Е.Ю. Обработка естественной информации на основе аппарата нейронных сетей / Е.Ю. Костюченко // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. Выпуск 1(19), часть 2 – 2009 г. Томск: Изд-во ТУСУР, 2009. - С. 54-56.

В других изданиях:

5. Костюченко Е.Ю. Идентификация пользователей по клавиатурному почерку на фиксированной парольной фразе / Е.Ю. Костюченко // Сборник трудов конференции "Проблемы безопасности личности, общества, государства", Томск.: ТУСУР – 2003.

6. Костюченко Е.Ю. Определение пользователя по клавиатурному почерку на основе нейросети / Е.Ю. Костюченко, Р.В. Мещеряков // Интеллектуальные системы в управлении, конструировании и образовании. Выпуск 3 / Под ред. А.А. Шелупанова. - Томск: STT, 2004. - С. 153-158.

7. Костюченко Е.Ю. Экспериментальный анализ показателей обучения нейронной сети в задаче идентификации пользователя по клавиатурному почерку / Е.Ю. Костюченко, Р.В. Мещеряков // Электронные средства и системы управления: Материалы Международной научно-практической конференции. Томск.: Издательство Института оптики атмосферы СО РАН, 2004. В трех частях. Ч.2. - С. 215-217.

8. Костюченко Е.Ю. Оценка ошибок нейронной сети для задач идентификации / Е.Ю. Костюченко, Р.В. Мещеряков // Интеллектуальные технологии в образовании, экономике и управлении – 2005: Сборник статей II Международной научно-практической конференции. – Воронеж, 2005. - С. 383-386.

9. Костюченко Е.Ю. Влияние параметров речеобразовательной системы на речевой сигнал / А.Н. Квасов, Е.Ю. Костюченко, А.С. Солуянов //

Акустика речи. Медицинская и биологическая акустика. Архитектурная и строительная акустика. Шумы и вибрации. Сборник трудов XVIII сессии Российского акустического общества. Т. 3. - М.: ГЕОС, 2006. – С. 14-17.

10. Костюченко Е.Ю. Программный Комплекс Для Исследования Речи / А.А. Конев, Е.Ю. Костюченко, А.А. Пономарев // Акустика речи. Медицинская и биологическая акустика. Архитектурная и строительная акустика. Шумы и вибрации. Сборник трудов XVIII сессии Российского акустического общества. Т. 3. - М.: ГЕОС, 2006. – С. 23-27.

11. Костюченко Е.Ю. Идентификация пользователей ЭВМ по биометрическим параметрам / Е.Ю. Костюченко, Р.В. Мещеряков // Нейрокомпьютеры в биометрических системах. Кн. 26 / под. Ред. А.И. Галушкина. – М.: Радиотехника, 2007, --192 с.: ил. (Научная серия Нейрокомпьютеры и их применение). - С. 184-192.

12. Костюченко Е.Ю. Пакет программ для идентификации пользователя по клавиатурному почерку «КИБНЕЙРОКЛАВА» / Е.Ю. Костюченко, Р.В. Мещеряков // Журнал «Компьютерные учебные программы и инновации». -М: ГОСКООРЦЕНТР, МФЮА, РУИ - 2007. - N 7. - С. 161-162.

13. Костюченко Е.Ю. Анализ пищеводного голоса / Л.Н. Балацкая, Е.Ю. Костюченко, В.П. Коцубинский // Акустика речи. Медицинская и биологическая акустика. Архитектурная и строительная акустика. Шумы и вибрации. Аэроакустика. Сборник трудов XIX сессии Российского акустического общества. Т. 3. - М.: ГЕОС.- 2007. -С. 87-89.

14. Костюченко Е.Ю. Выбор обучающего набора ключевых параметров речевого сигнала / Е.Ю. Костюченко // Научная сессия ТУСУР – 2008: Материалы докладов Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Тематический выпуск «Системная интеграция и безопасность». Томск, 5 – 8 мая 2008 г.: В пяти частях. Ч. 3. Томск: «В-Спектр», 2008. -248с. С. 152-155.

Тираж 100. Заказ № 415.
Томский государственный университет
систем управления и радиоэлектроники
634050, г. Томск, пр. Ленина, 40.
Тел.: 53-30-18.