

УДК 004.934

ПОСТРОЕНИЕ КОМБИНИРОВАННОГО ПОКАЗАТЕЛЯ КАЧЕСТВА РЕЧЕВЫХ СИГНАЛОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ТОЧНОСТИ ИДЕНТИФИКАЦИИ ДИКТОРОВ В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ АДДИТИВНЫХ ШУМОВ

Тупицин Г.С., к.т.н., сотрудник Ярославского государственного университета им. П.Г. Демидова, e-mail: genichyar@genichyar.com;

Топников А.И., к.т.н., доцент Ярославского государственного университета им. П.Г. Демидова, e-mail: topartgroup@gmail.com;

Приоров А.Л., д.т.н., доцент Ярославского государственного университета им. П.Г. Демидова, e-mail: andcat@yandex.ru.

DEVELOPMENT OF COMBINED SPEECH QUALITY MEASURE FOR SPEAKER IDENTIFICATION ACCURACY ESTIMATION IN ADDITIVE NOISE ENVIRONMENTS

Tupitsin G.S., Topnikov A.I., Priorov A.L.

The traditional approach of using the real speaker identification system and an extensive database of test speech signals requires large computational resources. The paper is dedicated to the development of an alternative way to the speaker identification accuracy estimation in additive noise environments. In this paper an indirect speaker identification accuracy estimation technique using some objective speech quality measures and combined measure was proposed. It was shown the proposed combined speech quality measure could be used in the problem of speaker identification accuracy estimation in additive noise environments.

Key words: additive noise, speaker identification accuracy, denoising, speech quality.

Ключевые слова: аддитивный шум, точность идентификации дикторов, шумоподавление, качество речи.

Введение

В последнее десятилетие наблюдается значительный рост интереса к алгоритмам и методам распознавания диктора, что связано с коммерческой значимостью систем биометрии. В идеализированных условиях показатели работы таких систем близки к предельно достижимым. Однако специфика использования систем идентификации по голосу вносит свои коррективы. И наиболее значимые задачи, стоящие перед исследователями в данной области, – это повышение устойчивости систем идентификации к воздействию аддитивных акустических шумов [1, 2] и к так называемым «спуфинг атакам» [3, 4]. Для решения первой задачи часто применяют шумоподавление [1, 2, 5–8]. При подборе параметров алгоритмов предобработки для системы идентификации диктора естественным показателем качества работы системы является точность идентификации диктора (ТИД), которая вычисляется следующим образом:

$$I = \frac{a}{\Sigma},$$

где I – точность идентификации дикторов, a – число правильно идентифицированных тестовых сигналов, Σ – общее число тестовых сигналов. Такой подход выглядит наиболее естественным, но имеет один существенный недостаток – трудоемкость, которая выражается в высоких вычислительных затратах и необходимости многократного запуска алгоритма идентифика-

Работа посвящена вопросу косвенной оценки точности идентификации дикторов в условиях воздействия аддитивных акустических шумов. Исследуется оценка на основе отдельных объективных показателей качества. Предлагается комбинированный показатель, основанный на линейной комбинации показателей качества и позволяющий повысить точность косвенной оценки точности идентификации дикторов.

ции. Кроме того, этот метод требует знания априорной информации для подсчета правильно идентифицированных сигналов. Поэтому поиск альтернативных методов оценки ТИД является актуальным.

Таким образом, целью исследования является создание методики оценки точности идентификации диктора, позволяющей упростить процесс подбора параметров алгоритмов шумоподавления, используемых в системах распознавания диктора.

Система идентификации диктора и базы речевых сигналов

Для проведения исследований выбрана система идентификации диктора, использующая мел-частотные кепстральные коэффициенты (МЧКК, Mel-Frequency Cepstral Coefficients – MFCC) в качестве признаков и модели гауссовых смесей (МГС, Gaussian Mixture Models – GMM) для реализации классификатора. Для расчета моделей используется универсальная фоновая модель (УФМ, Universal Background Model – UBM), которая обучается на фонограммах большого числа дикторов, записанных в различных акустических условиях [2]. Для ускорения вычислений используется диагональная аппроксимация матрицы ковариаций. Универсальная фо-

новая модель преобразуется в модель гауссовых смесей обучаемого диктора посредством MAP-адаптации (Maximum a Posteriori adaptation). На этапе классификации рассчитываются значения функции правдоподобия для гипотезы, что входной сигнал принадлежит одной из обученных моделей диктора. Модель, для которой значение функции правдоподобия максимально, принимается за истинную. Все вычисления производились в пакете Matlab.

Для проведения исследований выбрано две базы речевых сигналов. Универсальные фоновые модели строятся отдельно для каждой базы, что позволяет уменьшить число компонент гауссовых смесей при моделировании диктора по сравнению со случаем, когда используется единая УФМ для обеих баз.

Таблица 1. Характеристики баз речевых сигналов и соответствующих УФМ

Параметр	РУС-31-5	АНГЛ-20-5
Число дикторов (мужчин/женщин)	31 (31/0)	20 (12/8)
Длительность обучающего сигнала, с	90	72–106
Длительность тестового сигнала, с	3	2–3
Число тестовых сигналов	5	5
Число дикторов, используемых для получения УФМ (мужчин/женщин)	132 (132/0)	16 (8/8)
Длительность записи голоса каждого диктора, используемого для получения УФМ, с	10	35–52

Первая база составлена из речевых сигналов на русском языке. Стиль произношения – нейтральный. Вторая база речевых сигналов на английском языке составлена на основе записей речевого корпуса CHAINS школы компьютерных наук и информатики уни-

верситетского колледжа Дублина [9]. Данный корпус содержит записи 36 дикторов в различных стилях произношения, из которых в работе используется лишь стиль одиночного чтения (маркируется в корпусе как «Solo reading»). Характеристики баз речевых сигналов «РУС-31-5» и «АНГЛ-20-5», а также соответствующих УФМ, приведены в табл. 1.

Для зашумления речевых сигналов используется аддитивный белый гауссовский шум (АБГШ), генерируемый при помощи встроенной функции пакета Matlab, а также записи реальных шумов из библиотеки Noisex-92: шум в салоне автомобиля (Vehicle Interior Noise – VIN) и шум большого количества одновременно разговаривающих людей (Speech Bubble – SB) [10].

Исследование показателей качества

Основой для разработки методики косвенной оценки ТИД служит предположение, что чем выше качество входных речевых сигналов, тем выше точность идентификации дикторов. Поэтому на первом шаге исследования предлагается оценить корреляцию ТИД со значениями широко используемых объективных показателей качества: PESQ, отношение сигнал/шум (ОСШ), сегментное ОСШ (CerОСШ), WSS, LLR [11–13].

Для определения массива значений показателя качества каждый тестовый сигнал из базы незашумленных сигналов и базы обработанных сигналов попарно подаются на вход блока оценки показателя качества. Результаты усредняются для дальнейшей обработки. Блок-схема данного алгоритма приведена на рис. 1.

Кроме того, предлагается показатель качества на основе признаков речевого сигнала, используемых в исследуемой системе идентификации диктора [14]. В данном случае это МЧКК. Параметры алгоритма извлечения МЧКК выбираются те же, что и для системы идентификации диктора, используемой в исследовании.

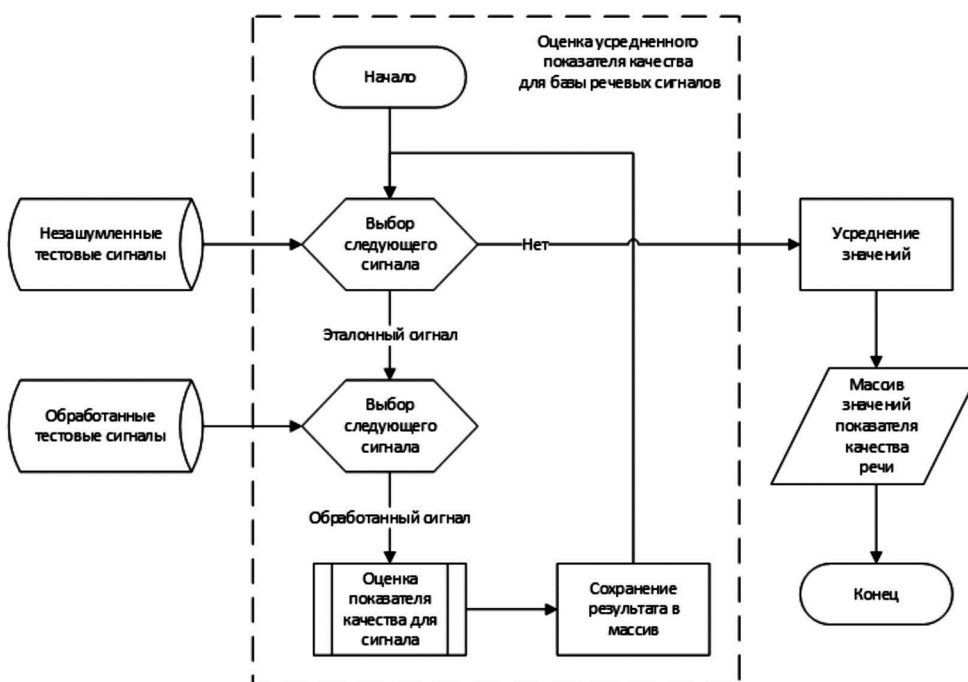


Рис. 1. Блок-схема алгоритма оценки усредненного показателя качества для базы тестовых сигналов

В качестве меры близости между МЧКК исследуемого сигнала и МЧКК незашумленного сигнала используется среднее расстояние, которое может быть вычислено по формуле:

$$Q^{MЧКК} = \frac{1}{W} \sum_{w=1}^W d(\vec{x}_w^R, \vec{x}_w^A),$$

где \vec{x}_w^R – вектор МЧКК исследуемого сигнала для окна w , \vec{x}_w^A – вектор МЧКК незашумленного сигнала для окна w , $d(\vec{x}_w^R, \vec{x}_w^A)$ – расстояние между векторами \vec{x}_w^R и \vec{x}_w^A .

Предлагается использовать следующие методы вычисления расстояния:

Евклидово расстояние – далее «МЧКК-Е»

$$d^E(\vec{x}_w^R, \vec{x}_w^A) = \|\vec{x}_w^R - \vec{x}_w^A\|,$$

L1-норма (расстояние городских кварталов, манхэтэнское расстояние) – далее «МЧКК-L1»

$$d^{L1}(\vec{x}_w^R, \vec{x}_w^A) = \|\vec{x}_w^R - \vec{x}_w^A\|_1,$$

Расстояние Махаланобиса – далее «МЧКК-М»

$$d^M(\vec{x}_w^R, \vec{x}_w^A) = \sqrt{(\vec{x}_w^R - \vec{x}_w^A)^T (\Sigma^R)^{-1} (\vec{x}_w^R - \vec{x}_w^A)},$$

где Σ^R – матрица ковариации набора векторов $X^R = \{\vec{x}_1^R, \vec{x}_2^R, \dots, \vec{x}_W^R\}$.

При расчете расстояния Махаланобиса используется матрица ковариации набора векторов МЧКК именно зашумленного сигнала, а не эталонного. Это связано с тем, что при использовании матрицы ковариации набора векторов МЧКК эталонного сигнала получить высокой тесноты статистической связи с ТИД не удалось.

Для определения возможности использовать показатели качества речи для оценки точности работы системы идентификации диктора предлагается рассчитать линейные коэффициенты корреляции (коэффициенты корреляции Пирсона) между выборками значений ТИД и соответствующими им значениями показателей качества. Выборки для фиксированного типа шума и базы речевых сигналов можно определить по алгоритму, блок-схема которого представлена на рис. 2.

Каждому значению ТИД сопоставляются усредненные по всем тестовым сигналам значения показателей качества речи. В работе используются две базы речевых сигналов, поэтому выборки для них рассчитываются независимо, а затем объединяются в одну. Для каждого типа шума исследование проводится отдельно.

Линейный коэффициент корреляции между n -ым показателем качества речи и ТИД можно оценить по следующей формуле:

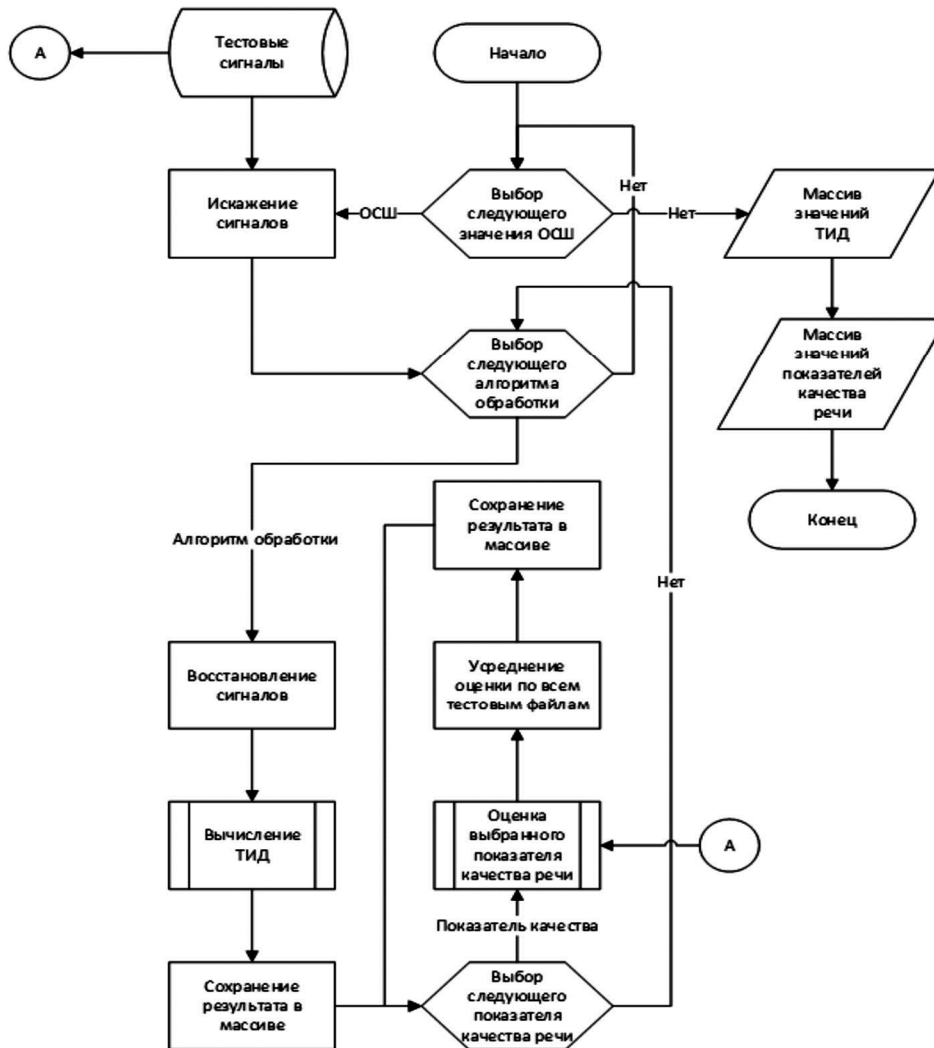


Рис. 2. Получение выборок значений ТИД и показателей качества речи

$$r_n = \frac{\sum_{t=1}^T (Q_t^n - \bar{Q}^n)(I_t - \bar{I})}{\sqrt{\sum_{t=1}^T (Q_t^n - \bar{Q}^n)^2 \sum_{t=1}^T (I_t - \bar{I})^2}}$$

$$\bar{Q}^n = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T Q_t^n, \quad \bar{I} = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T I_t,$$

где $Q^n = \{Q_1^n, Q_2^n, \dots, Q_T^n\}$ – выборка значений n -го показателя качества речи; $I = \{I_1, I_2, \dots, I_T\}$ – выборка значений ТИД; T – объем каждой выборки, который равен произведению числа используемых баз речевых сигналов, значений ОСШ, применяемых алгоритмов предобработки.

Для исследования использовались следующие типы шумов: АБГШ, SB, VIN. Значение ОСШ изменялось от 6 до 15 дБ с шагом 1 дБ. Выбранные алгоритмы предобработки приведены в табл. 2.

Таблица 2. Используемые алгоритмы предобработки

№	Описание
1	алгоритм, для которого выходной сигнал равен входному
2	алгоритм на основе ФКС спектрального вычитания [15]
3	алгоритм на основе подхода прямого принятия решения [16] ($\alpha = 0,999$) и ФКС Винера [17]
4	алгоритм на основе подхода прямого принятия решения [16] ($\alpha = 0,9999$) и ФКС Винера [17]
5	алгоритм на основе подхода прямого принятия решения [16] ($\alpha = 0,98$) и ФКС Винера [17]
6	алгоритм на основе подхода прямого принятия решения [16] ($\alpha = 0,98$) и ФКС минимальной среднеквадратичной ошибки кратковременного амплитудного спектра [16]
7	алгоритм на основе подхода прямого принятия решения [16] ($\alpha = 0,98$) и ФКС минимальной среднеквадратичной ошибки логарифма кратковременного амплитудного спектра [18]
8	двухступенчатый алгоритм шумоподавления [19] ($\alpha = 0,98$) на основе ФКС Винера [17]
9	двухступенчатый алгоритм шумоподавления [19] ($\alpha = 0,98$) на основе ФКС минимальной среднеквадратичной ошибки кратковременного амплитудного спектра [16]
10	двухступенчатый алгоритм шумоподавления [19] ($\alpha = 0,98$) на основе ФКС минимальной среднеквадратичной ошибки логарифма кратковременного амплитудного спектра [18]

Алгоритмы № 1 и № 2 представляют случаи отсутствия подавления шума и слабого подавления шума соответственно. Алгоритмы № 3 и № 4 представляют случаи избыточного подавления шума, когда помимо точек частотно-временного представления сигнала, содержащих преимущественно шум, ошибочно подавляются точки, содержащие преимущественно речь.

Измерения производились для баз речевых сигналов «РУС-31-5» и «АНГЛ-20-5». Таким образом, при фиксированном типе шума для каждого показателя качества речи и ТИД получена выборка из 200 измерений.

Результаты исследования приведены в табл. 3. Значения линейного коэффициента корреляции округлены до сотых. Кроме того, для каждого показателя качества речи рассчитано среднее значение линейного коэффициента корреляции среди используемых типов шума. Наибольшее по модулю значение для определенного типа шума и для среднего выделено жирным шрифтом.

Таблица 3. Значения линейного коэффициента корреляции

Показатель качества	АБГШ	SB	VIN	Среднее
PESQ	0,88	0,72	0,60	0,73
ОСШ	0,87	0,66	0,64	0,72
CerОСШ	0,72	0,80	0,76	0,76
WSS	-0,36	-0,15	-0,60	-0,37
LLR	-0,89	-0,47	-0,29	-0,55
МЧКК-Е	-0,87	-0,50	-0,87	-0,75
МЧКК-Л1	-0,78	-0,32	-0,87	-0,66
МЧКК-М	-0,45	-0,56	-0,89	-0,64

Для качественной оценки тесноты статистической связи использована шкала Чеддока. Анализируя результаты, можно отметить, что только CerОСШ имеет высокую тесноту статистической связи с ТИД одновременно для всех используемых типов шума.

В ходе исследования было обнаружено, что значения некоторых показателей качества речи при использовании алгоритмов № 3 и № 4 являются экстремально большими, либо малыми, что снижает значение линейного коэффициента корреляции между данными показателями качества речи и ТИД. В табл. 4 приведены значения линейных коэффициентов корреляции для случая, когда алгоритмы № 3 и № 4 не применялись.

Таблица 4. Значения линейного коэффициента корреляции без использования алгоритмов предобработки № 3 и № 4

Показатель качества	АБГШ	SB	VIN	Среднее
PESQ	0,83	0,65	0,66	0,71
ОСШ	0,87	0,75	0,73	0,79
CerОСШ	0,70	0,78	0,77	0,75
WSS	-0,08	0,16	-0,71	-0,21
LLR	-0,92	-0,27	-0,55	-0,58
МЧКК-Е	-0,87	-0,33	-0,92	-0,71
МЧКК-Л1	-0,72	-0,11	-0,91	-0,58
МЧКК-М	-0,85	-0,91	-0,92	-0,89

Можно отметить, что в этом случае показатели качества PESQ, CerОСШ, МЧКК-М обладают высокой теснотой статистической связи с ТИД для всех исследуемых типов шумов. Для МЧКК-М и шума SB и VIN эта связь весьма высокая. Остальные показатели качества не имеют тесноты статистической связи выше заметной для всех типов шумов.

Таким образом, наибольшую тесноту статистической связи с ТИД без использования алгоритмов, избыточно подавляющих шум, имеет предлагаемый показатель качества речи МЧКК-М. При использовании полного набора алгоритмов предобработки наибольшую тесноту статистической связи с ТИД имеет показатель качества речи CerОСШ. Однако значение линейного коэффициента корреляции в обоих случаях может оказаться недостаточно большим для подбора точных параметров алгоритмов шумоподавления.

Альтернативная оценка точности идентификации дикторов

Для повышения точности оценки ТИД предлагается использовать линейную комбинацию значений показателей качества PESQ, ОСШ, $С_{\text{е}}\text{ОСШ}$, WSS, LRR, МЧКК-Е, МЧКК-Л1, МЧКК-М. Похожий подход используется в [20] для создания показателя качества зашумленной речи. Для выявления весов отдельных показателей качества в составе комбинированного используется линейная регрессия. Для обозначения нового комбинированного показателя качества будем использовать название «альтернативная оценка точности идентификации дикторов» (АОТИД). Более качественного результата удается достичь, если весовые коэффициенты для показателей качества находить для каждого шума в отдельности. В качестве примера приведем формулу вычисления АОТИД для АБГШ:

$$Q^{\text{АОТИД-АБГШ}} = \begin{bmatrix} -0,3522 \\ 0,0300 \\ -0,0161 \\ -0,0106 \\ -0,1503 \\ -0,3364 \\ 0,1613 \\ 0,0023 \\ 0,2241 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} Q^{\text{PESQ}} \\ Q^{\text{ОСШ}} \\ Q^{\text{С}_{\text{е}}\text{ОСШ}} \\ Q^{\text{WSS}} \\ Q^{\text{LLR}} \\ Q^{\text{МЧКК-Э}} \\ Q^{\text{МЧКК-Л1}} \\ Q^{\text{МЧКК-М}} \\ 1 \end{bmatrix}$$

Для оценки применимости предложенного подхода рассчитаны линейные коэффициенты корреляции между АОТИД и ТИД. Для трех шумов, используемых в исследовании, они составляют 0,96 – для АБГШ, 0,94 – для SB и 0,97 – для VIN.

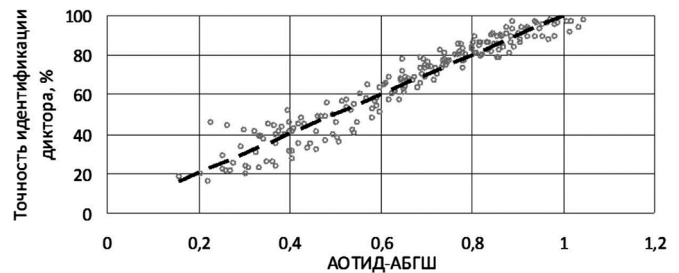
Диаграммы рассеяния для новых показателей качества и соответствующих типов шума приведены на рис. 3. Анализируя взаимосвязь ТИД и АОТИД, можно отметить, что для АБГШ и шума SB она близка к линейной. Однако для шума VIN при АОТИД менее 0,43 и более 1 имеются более значительные неточности в оценке ТИД.

Отметим, что выбор именно линейной комбинации показателей качества обусловлен необходимостью выполнения принципа суперпозиции. В данном исследовании АОТИД определяется взвешенной суммой усредненных значений показателей качества среди всех тестовых сигналов в базе. На практике АОТИД будет применяться по-иному: сначала будет производиться расчет значений АОТИД для каждого тестового сигнала, а усредняться будут полученные значения АОТИД.

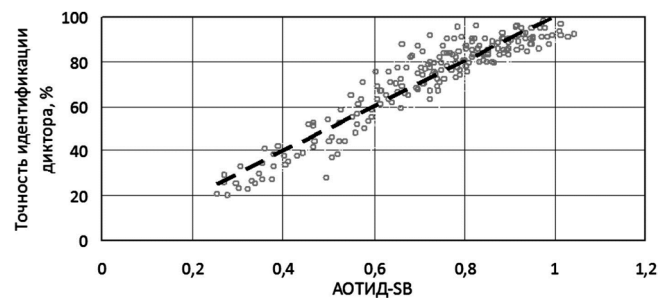
Заключение

Таким образом, в ходе проведенных исследований установлено, что оценка ТИД на основе значения отдельного показателя качества возможна, но не обладает достаточной для решения практических задач достоверностью. Для совершенствования этого подхода предложено использовать линейную комбинацию показателей качества. Разработанная методика, получив-

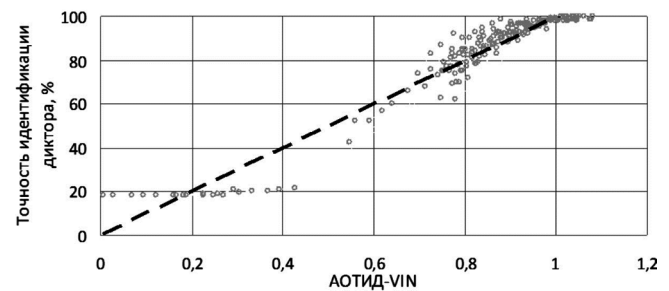
шая сокращенное название АОТИД, позволяет получить косвенные оценки ТИД без непосредственного участия системы идентификации диктора. Значения линейного коэффициента корреляции между значениями АОТИД и ТИД в исследовании составляют 0,94-0,97 в зависимости от типа шума.



а) для АБГШ



б) для шума SB



в) для шума VIN

Рис. 3. Диаграммы рассеяния значений АОТИД относительно значений ТИД

Литература

1. Tupitsin G., Topnikov A., Priorov A. Two-step noise reduction based on soft mask for robust speaker identification // Proceedings of the 18th Conference of Open Innovations Association FRUCT and Seminar on Information Security and Protection of Information Technology, FRUCT-ISPIT 2016. 2016. P. 351–356.
2. Тупицин Г.С. Предобработка речевых сигналов в системах автоматической идентификации диктора: диссертация ... кандидата технических наук: 05.12.04. Владимир: Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых, 2015.
3. Щемелин В.Л., Симончик К.К. Исследование устойчивости голосовой верификации к атакам, использующим систему синтеза // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2014. Т. 57, No 2. С. 84–88.
4. Shchemelinin V., Kozlov A., Lavrentyeva G., Novo-

selov S., Simonchik K. Vulnerability of Voice Verification System with STC Anti-spoofing Detector to Different Methods of Spoofing Attacks // *Speech and Computer. SPECOM 2015. Lecture Notes in Computer Science. 2015. Vol. 9319. P. 480–486.*

5. Тупицин Г.С., Топников А.И., Приоров А.Л. Модификация двухступенчатого алгоритма шумоподавления для улучшения качества идентификации диктора в условиях шумов // *Информационные системы и технологии. 2015. Т. 6, № 92. С. 39–47.*

6. Тупицин Г.С., Кравцов С.А., Топников А.И., Приоров А.Л. Модификация алгоритма оценки бинарной маски в задаче подавления шума для системы идентификации диктора // *Проектирование и технология электронных средств. 2015. № 3. С. 32–37.*

7. Тупицин Г.С., Топников А.И., Приоров А.Л. Предобработка зашумленных речевых сигналов с помощью бинарных масок в задаче идентификации диктора // *Наукоёмкие технологии. 2015. Т. 16, № 11. С. 56–61.*

8. Тупицин Г.С., Топников А.И., Приоров А.Л. Методика оценки мягкой маски для задачи предобработки зашумленных речевых сигналов в системах идентификации диктора // *Успехи современной радиоэлектроники. 2016. № 6. С. 73–80.*

9. Cummins F., Grimaldi M., Leonard T., Simko J. The CHAINS Speech Corpus: CHAracterizing INdividual Speakers // *Proc of SPECOM. 2006. P. 1–6.*

10. Varga A., Steeneken H.J.M. Assessment for automatic speech recognition: II. NOISEX-92: A database and an experiment to study the effect of additive noise on speech recognition systems // *Speech Communication. 1993. V. 12, No 3. P. 247–251.*

11. International Telecommunication Union. P.862: Perceptual evaluation of speech quality (PESQ), an objective method for end-to-end speech quality assessment of narrowband telephone networks and speech codecs / International Telecommunication Union // *ITU-T Recommendation. 2001.*

12. Klatt D. Prediction of perceived phonetic distance from critical-band spectra: A first step // *ICASSP '82. IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing. – Institute of Electrical and Electronics Engineers. 1982. V. 7, P. 1278–1281.*

13. Crochiere R., Tribolet J., Rabiner L. An interpretation of the log likelihood ratio as a measure of waveform coder performance // *IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing. 1980. V. 28, No. 3. P. 318–323.*

14. Тупицин Г.С. Использование расстояния между мел-частотными кепстральными коэффициентами для оценки точности идентификации дикторов // *Доклады 18-й международной научно-технической конференции «Проблемы передачи и обработки информации в сетях и системах телекоммуникаций». Рязань, 2015. С. 98–99.*

15. Boll S. Suppression of acoustic noise in speech using spectral subtraction // *IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing. 1979. V. 27, No 2. P. 113–120.*

16. Ephraim Y., Malah D. Speech enhancement using a minimum-mean square error short-time spectral amplitude estimator // *IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing. 1984. V. 32, No 6. P. 1109–1121.*

17. Lim J., Oppenheim A. Enhancement and bandwidth compression of noisy speech // *Proceedings of the IEEE. 1979. V. 67, No 12. P. 1586–1604.*

18. Ephraim Y., Malah D. Speech enhancement using a minimum mean-square error log-spectral amplitude estimator // *IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing. 1985. V. 33, No 2. P. 443–445.*

19. Plapous C., Marro C., Mauuary L., Scalart P. A two-step noise reduction technique // *IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing. 2004. V. 1, P. 289–292.*

20. Hu Y., Loizou P. Evaluation of objective quality measures for speech enhancement // *IEEE Transactions on Speech and Audio Processing. V. 16, Is. 1. 2008. V. 16. Is. 1. P. 229–238.*

НОВЫЕ КНИГИ

Горшков Ю.Г.

Обработка речевых и акустических биомедицинских сигналов на основе вейвлетов. – М.: Изд-во «Радиотехника», 2017 г. – 240 с.: ил.

Изложены новые перспективные методы речевых и акустических биомедицинских сигналов на основе вейвлетов, аппаратно-программные средства для решения прикладных задач криминалистического исследования фонограмм, оценки эмоционального состояния человека, шумоочистки и засекречивания речи, а также построения биомедицинских систем диагностики заболеваний сердца и легких. Основное внимание уделено разработке вейвлет-технологий высокоточного анализа речевых и акустических биомедицинских сигналов. Впервые предложены решения многоуровневого вейвлет-преобразования, обеспечивающие визуализацию нестационарных сигналов с повышенным частотно-временным разрешением. Представлена система телемедицины нового поколения с засекречиванием акустических биомедицинских сигналов.

Для ученых и инженеров, работающих над созданием средств обработки биомедицинских сигналов на новых принципах. Может быть полезна преподавателям, аспирантам и студентам технических вузов.

