

УДК 519.7: 681.3, 681.883.43

© Е. Л. Шейнман^{1,2}

¹ АО «Концерн «Океанприбор», Санкт-Петербург

² Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)
bell.sunny@yandex.ru

РАСПОЗНАВАНИЕ ОБЪЕКТОВ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИСТАНЦИИ ПО ЭТАЛОНАМ БАЗЫ ДАННЫХ СПЕКТРОВ СИГНАЛОВ

Статья поступила в редакцию 11.08.2018, после доработки 03.02.2019

Рассматривается совместное распознавание объекта и определение дистанции методом сравнения спектральной плотности давления шумового сигнала, наблюдаемого на определенной дистанции объекта, с эталонными спектральными плотностями давления шумовых сигналов объектов, хранящимися в базе данных. Решение задачи основано на минимизации меры близости между обнаруженным сигналом и эталонными, хранящимися в базе данных спектров сигналов. В статье проведен анализ основных известных методов оценки дистанции в режиме шумопеленгования и проведен сравнительный анализ различных мер близости для решения задач распознавания и оценки дистанции обнаруженного морского объекта. Рассматривались наиболее характерные меры, отражающие специфику различных видов расстояний: подобности и расстояния для числовых данных (Ружечки, Брея–Кёртиса, Канберры, Кульчинского), аналоги Евклидова расстояния (Евклидова метрика, метрика Манхэттена, расстояние размера Пенроуза, расстояние формы Пенроуза, Лоренцевское расстояние, расстояние Хеллинджера, расстояние Минковского, расстояние Махаланобиса или статистическое расстояние), корреляционные подобности и расстояния (корреляция Пирсона, подобность Орчини, нормированное скалярное произведение). Показана низкая эффективность корреляционных и ковариационных мер близости и целесообразность использования для решения рассматриваемой задачи разностных мер близости – аналогов Евклидова расстояния. Показано, что значения этих мер близости сильно зависят от уровня шумности объекта, что определяет необходимость сравнения измеренного сигнала и эталонных сигналов различных уровней шумности (построения сетки по шумности). Определены перспективные направления дальнейших исследований.

Ключевые слова: оценка дистанции, база данных, мера близости, распознавание, идентификация типа объекта.

E. L. Sheinman^{1,2}

¹ JSC «Concern «Oceanpribor», St.-Petersburg, Russia

² Saint-Petersburg electrotechnical university, Russia

RECOGNITION OF MARINE OBJECTS AND DISTANCE DEFINITION USING THE SAMPLES OF THE DATABASE OF SIGNAL SPECTRA

Received 11.08.2019, in final form 03.02.2019

The joint object recognition and distance determination are considered by comparing the spectral pressure density of the noise signal observed at a certain object distance, with the samples of the spectral pressure density of the noise signals of the objects stored in the database. The solution of the problem is based on minimization of the measure of proximity between the detected signal and the samples stored in the database of signal spectra. The article analyzes the main known methods of distance estimation at the passive detection sonar, and carries out a comparative analysis of various proximity measures to solve recognition problems and estimate the distance of a detected marine object. The most characteristic measures reflecting the specifics of different types of distances were considered: similarities and distances for numerical data (Ruzhechka, Bray–Curtis, Canberra, Kulczinski), analogs of Euclidean distance (Euclidean distance, Manhattan distance, Penrose size distance, Penrose form distance, Lorentzian distance, Hellinger distance, Minkowski distance, Mahalanobis distance or statistical distance), correlation similarities and distances (correlation similarity, cosine similarity). Low efficiency of metrics of correlation and cosine and expediency of use for the problem decision such metrics, as analogues Euclidean distance, is shown. It is shown that the values of these metrics are the functions of the signal level of the object, which determines the need to compare the measured signal and the samples of the database of signal spectra for different noise levels. The perspective directions of further researches are defined.

Keywords: distance estimation, database, distance metric, recognition, identification of object type.

Ссылка для цитирования: Шейнман Е.Л. Распознавание объектов и определение дистанции по эталонам базы данных спектров сигналов // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2019. Т. 12, № 2. С. 20–26.

For citation: Sheinman E.L. Recognition of marine objects and distance definition using the samples of the database of signal spectra. *Fundamentalnaya i Prikladnaya Gidrofizika*. 2019, 12, 2, 20–26.

DOI: 10.7868/S2073667319020035

Введение

В современных пассивных гидроакустических системах наблюдения наибольшую сложность представляет решение задач распознавания морских объектов и оценки их координат в режимах шумопеленгования. В настоящее время существуют методы определения координат объекта в режиме шумопеленгования, основанные на использовании оценок пеленга или на использовании спектральной (энергетической) информации обнаруженной цели. Методы оценки текущих координат цели по пеленгу требуют наличие маневра носителя и длительного времени наблюдения за объектом. Эффективность спектральных и энергетических методов оценки координат определяется априорными знаниями о параметрах распространения звука в среде, количеством и составом используемой информации, а также априорными знаниями о параметрах сигнала морского объекта, параметрах частотной зависимости уровня сигнала в источнике [1–3]. Оценки координат позволяют получить дополнительную информацию об уровне шумоизлучения морского объекта, что обеспечивает возможность решения задач распознавания морских объектов.

Традиционно в режиме шумопеленгования решаются задачи распознавания морских объектов на классы, имеющие существенное различие в классификационных параметрах. Поэтому в задачах распознавания обычно используются обобщенные параметры (портреты) рассматриваемых классов морских объектов. В настоящее время в современных гидроакустических системах освещения подводной обстановки создаются и широко применяются базы данных (БД) морских объектов. Эти базы данных включают в себя справочную информацию по типам объектов и их характеристикам, параметры гидроакустических и неакустических средств наблюдения, сигналы гидролокаторов, классификационные параметры объекта в активных и пассивных режимах работы (шумы объектов, эхо-портреты), условия проведения измерений параметров сигнала. Наличие таких баз данных дает возможность классификации по портретной информации (параметрической и сигнальной) и может позволить решить задачу распознавания не только обобщенных классов, но и типа морского объекта. Такие задачи уже решаются по информации гидролокационных сигналов в режиме обнаружения гидролокационных станций и по характерным дискретным составляющим спектра сигнала шумоизлучения, выделяемых в режиме шумопеленгования [4].

Представляет интерес решение аналогичной задачи по информации, содержащейся в спектре сигнала широкополосного излучения. Здесь и далее под термином «спектр сигнала» понимается спектральная плотность давления широкополосного шумового сигнала морского объекта, обнаруживаемого в режимах шумопеленгования по сплошной части спектра сигнала. При этом должно осуществляться сравнение спектральной плотности давления шумового сигнала, наблюдаемого на определенной дистанции объекта, с эталонными спектральными плотностями давления шумовых сигналов объектов, хранящимися в базе данных. Оценка дистанции до объекта может быть известна из других источников, а может и отсутствовать. При наличии оценки дистанции полученный спектр может быть пересчитан в точку шумоизлучения с учетом распространения звука в среде и с помощью полученного спектра решена задача распознавания типа объекта путем сопоставления спектров, хранящихся в БД, и измеренного спектра. Наибольший интерес представляет задача распознавания при отсутствии оценки дистанции.

Одним из способов сравнения сигнала эталона с сигналом обнаруженного объекта является использование мер близости. С учетом этого в настоящей работе рассматривается метод решения задачи совместного распознавания объекта и определения дистанции до него, основанный на минимизации меры близости между спектральными плотностями давления обнаруженного сигнала и эталонными, хранящимися в базе данных спектров сигналов. Надо отметить, что вместо спектральных плотностей давления в предлагаемом методе могут быть использованы спектральные плотности мощности случайного шумового сигнала.

Алгоритмы распознавания и оценки дистанции по спектру сигнала

В алгоритме распознавания обнаруженного объекта по сигнальной информации возможно использование двух видов эталонов:

- эталонные спектры шумовых сигналов, полученные в процессе замера шумности подводных объектов в контролируемых условиях гидроакустических полигонов на фиксированной незначительной дистанции (неискаженных средой в процессе их распространения);

— эталонные спектры шумовых сигналов, записанные в процессе обнаружения и сопровождения реальных объектов наблюдения гидроакустическими средствами мобильных носителей на значительных (и точно неизвестных) дистанциях обнаружения (искаженных средой в процессе их распространения).

Основным условием возможности применения первого подхода является требование полноты используемой БД, перечень параметров которой должен позволять корректно восстановить спектральную плотность давления исходного излучаемого шумового сигнала объекта, что в ряде случаев трудно выполнимо. Такой подход может использоваться при наличии полного параметрического описания спектров сигналов шумоизлучения объекта конкретного класса. При этом в базе данных должна храниться информация о приведенной к стандартным условиям (к полосе $\Delta f = 1$ Гц, частоте $f_0 = 1$ кГц, $r_0 = 1$ м) шумности морского объекта и вида частотной зависимости спектра сигнала $P(f)$, приведенной к расстоянию $r_0 = 1$ м.

При использовании второго подхода для формирования эталона и приведения спектра сигнала к стандартным условиям необходимо наличие достаточно точной оценки дистанции до объекта. При этом существенное влияние на записываемый сигнал оказывают условия распространения звука в стратифицированной среде, которые в большинстве случаев точно не известны.

При наличии достаточно точной оценки дистанции, позволяющей пересчитать спектр сигнала вновь обнаруженного объекта к стандартным условиям, идентификация (распознавание) объекта должна проводиться в обоих случаях на основе анализа (сравнения) спектральной плотности давления, пересчитанных к исходному стандартному расстоянию.

При измерении спектра сигнала обнаруженного объекта в точке приема, отсутствии оценки дистанции и отсутствии возможности пересчета спектра сигнала к единой точке отсчета необходимо для эталонных сигналов строить сетку спектров сигналов по дистанции и по глубине, для каждого узла которой должна проводиться идентификация. Алгоритмы пересчета сигнала к заданной точке координат известны и осуществляются в результате проведения гидрологических расчетов. Дополнительным фактором, влияющим на спектр сигнала, являются шумность объекта, зависящая от скорости движения, что вызывает необходимость также перебора возможных вариантов шумности объекта.

Решение такой задачи в полном объеме может потребовать значительных вычислительных ресурсов. Дополнительной информацией, которую можно использовать для уменьшения проводимых расчетов, является информация о портретных параметрах сигнала и грубые оценки дистанции, что позволит уменьшить количество рассматриваемых узлов сетки. Такой подход позволит одновременно решать задачи распознавания и оценки глубины и дистанции.

Математическое понятие метрики и метрического пространства были введены почти век назад М. Фреше (1906 г.) и Ф. Хаусдорфом (1914 г.). Однако, начиная с К. Менгера (который в 1928 г. ввел понятие метрического пространства в геометрию) и Л.М. Блюменталя (1953 г.), интерес как к конечным, так и к бесконечным метрическим пространствам резко повышается. Этот процесс продолжается и сейчас.

Проблеме оценке степени близости посвящены многочисленные исследования отечественных и зарубежных ученых. В работе [5] приведены толкования терминов: расстояние, мера, метрика, пространство и т.п. в применении к различным сферам науки и реальной жизни. Создание и выбор наиболее удобных метрик стало центральной задачей для многих исследований. В настоящее время существует большое количество мер близости [5]. Эффективность использования тех или иных мер близости определяется конкретной решаемой задачей и зависит от вида функциональной зависимости сравниваемых сигналов.

В работе [6] достаточно полно исследуются одни из основных мер близости для задач классификации, играющие существенную роль при анализе и обработке информации.

В работе [7] рассмотрен алгоритм совместной оценки шумности и расстояния до широкополосного источника сигнала в океане, основанный на сравнении вектора сигнала объекта с вектором, полученным для гипотетической модели. Для решения этой задачи в качестве меры сходства (близости) используется коэффициент ковариации, представляющий собой косинус угла, образованного сравниваемыми векторами, и достигающий максимума, когда их направления совпадают. В ряде случаев используется корреляционная мера близости. При использовании коэффициента корреляции для оценки расстояния находят его значения для вектора принятого сигнала во всех точках сетки по

расстоянию заранее рассчитанного прогнозного сигнала. Точка по шкале расстояний с максимальным значением коэффициента корреляции определяет оценку расстояния.

В работе [8] проведено сравнительное моделирование для идентификации трасс объектов по оценкам пеленга при различных мерах близости.

Для распознавания и оценки дистанции до объекта по спектральной информации такая сравнительная оценка эффективности различных мер близости до сих пор не проводилась. С учетом этого в настоящей работе была поставлена задача сравнительного анализа использования различных мер близости для совместного распознавания объекта и определения дистанции до него по спектру сигнала шумоизлучения.

Для вычисления расстояний между эталонными сигналами и принятыми сигналами воспользуемся выражениями мер и подобностей из работы [5].

Приведем базовые определения.

Расстояние. Пусть X – произвольное множество. Функция $d : X \times X \rightarrow R$ называется расстоянием (или непохожестью) на X , если для всех $x, y \in X$ выполняются условия:

1. $d(x, y) \geq 0$ (положительная определенность);
2. $d(x, y) = d(y, x)$ (симметричность);
3. $d(x, x) = 0$ (рефлексивность);

Пространством расстояний (X, d) называется множество X , снабженное расстоянием d .

Подобность. Функция $s : X \times X \rightarrow R$ называется подобностью на X , если s является положительно определенной, симметричной, и для любых $x, y \in X$ имеет место неравенство $s(x, y) \leq s(x, x)$, которое превращается в равенство тогда и только тогда, когда $x = y$.

Метрика. Пусть X – произвольное множество. Функция $d(x, y) : X \times X \rightarrow R$ называется метрикой на X , если для всех $x, y, z \in X$ выполняются условия:

1. $d(x, y) \geq 0$ (положительная определенность);
2. $d(x, y) = 0$ тогда и только тогда, когда $x = y$ (аксиома тождественности самому себе);
3. $d(x, y) = d(y, x)$ (симметричность);
4. $d(x, y) \leq d(x, z) + d(z, y)$ (неравенство треугольника).

В процессе анализа данных применяются многие подобности; их выбор зависит от характера данных и пока точной наукой не является.

Для дальнейшего анализа были отобраны наиболее характерные, отражающие специфику различных видов расстояний: подобности и расстояния для числовых данных (Ружечки, Брея–Кёртиса, Канберры, Кульчинского), аналоги Евклидова расстояния (Евклидова метрика, метрика Манхэттена, расстояние размера Пенроуза, расстояние формы Пенроуза, Лоренцевское расстояние, расстояние Хеллинджера, расстояние Минковского, расстояние Махаланобиса или статистическое расстояние), корреляционные подобности и расстояния (корреляционная подобность или корреляция Пирсона, или линейный коэффициент корреляции по смешанным моментам Пирсона, подобность косинуса или подобность Орчини, угловая подобность, нормированное скалярное произведение) [5].

В таблице приведены формульные выражения, описывающие рассматриваемые метрики. Рассматриваются два объекта, представленные ненулевыми векторами

$$x = \{x_1, \dots, x_n\} \text{ и } y = \{y_1, \dots, y_n\} \text{ из } R^n.$$

Используются следующие обозначения: $\sum x_i$ означает $\sum_i^n x_i$,

$\|x\|_2 = \sqrt{\sum x_i^2}$ – обычная евклидова норма на R^n ,

$\frac{\sum x_i}{n}$ – среднее значение компонента x , обозначается как $\bar{x}$.

Сравним работоспособность этих метрик для совместного решения задачи распознавания и оценки координат объекта по спектру широкополосного сигнала.

Методы оценки дистанции до источника широкополосного шумоизлучения, использующие информацию о спектре или значениях давления сигнала, измеренных в разнесенных частотных диапазонах, основаны на наличии частотной зависимости коэффициента пространственного

Меры близости
Proximity measures

Расстояние Ружечки: $1 - \frac{\sum \min\{x_i, y_i\}}{\sum \max\{x_i, y_i\}} = \frac{\sum x_i - y_i }{\sum \max\{x_i, y_i\}};$ Расстояние Брэя–Кёртиса: $\frac{\sum (x_i - y_i)}{\sum (x_i + y_i)};$ Расстояние Канберры: $\sum \frac{ x_i - y_i }{ x_i + y_i };$ Кульчинского: $\frac{\sum x_i - y_i }{\sum \min\{x_i, y_i\}};$ Корреляционная подобность (корреляция Пирсона): $\frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{(\sum (x_j - \bar{x})^2)(\sum (y_i - \bar{y})^2)}} \text{ или}$ корреляционное расстояние Пирсона $d_K = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\left(\sum_{j=1}^n (x_j - \bar{x})^2\right)\left(\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2\right)}}$ Подобность косинуса (угловая подобность, нормированное скалярное произведение): $\frac{\langle x, y \rangle}{\ x\ _2 \ y\ _2} = \cos \varphi,$ φ – угол между векторами x и y. Расстояние косинуса – $1 - \cos \varphi$.	Евклидово расстояние: $\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2};$ Расстояние размера Пенроуза: $\sqrt{n} \sum x_i - y_i ;$ формы Пенроуза: $\sqrt{\sum ((x_j - \bar{x}) - (y_i - \bar{y}))^2};$ Минковского: $\left[\sum x_i - y_i ^p\right]^{1/p};$ Лоренцевское расстояние: $\sum \ln(1 + x_i - y_i);$ Расстояние Хеллинджера: $\sqrt{2 \sum \left(\sqrt{\frac{x_i}{\bar{x}}} - \sqrt{\frac{y_i}{\bar{y}}}\right)^2};$ Расстояние Манхэттена: $d_c = \sum_{i=1}^n x_i - y_i ;$ Расстояние Махаланобиса (статистическое расстояние): $\sqrt{(\det \mathbf{A})^{1/n} (\mathbf{x} - \mathbf{y}) \mathbf{A}^{-1} (\mathbf{x} - \mathbf{y})^T},$ $\mathbf{A}$ – положительно определенная матрица (обычно это матрица ковариантности).
--	--

затухания распространения звука в среде. Спектральные методы оценки дистанции до источника основываются на уравнении гидроакустики в лучевом приближении [9], с учетом которого на частоте f_i значение спектральной плотности давления $P(D, f_i)$ шумового сигнала в полосе частот Δf_i на входе приемника можно описать соотношением:

$$P(D, f_i) = \left[\frac{P_0 \cdot \sqrt{\Delta f_i}}{f_i^{\alpha_f} \cdot D} \right] \cdot \left(\frac{V}{V_0} \right)^{\alpha_v} \cdot \sqrt{A_i(D)} \cdot 10^{-0,05 D \cdot \beta_i},$$

где P_0 – приведенная к полосе 1 Гц, частоте 1 кГц, расстоянию 1 м, шумность объекта, Δf_i – полоса частот, f_i – среднегеометрическая частота, V – скорость объекта, V_0 – эталонная скорость, D – дистанция до объекта, $A_i(D)$ – аномалия распространения на i -й частоте, β_i – коэффициент затухания на i -й частоте, α_f – коэффициент спада спектра с частотой, α_v – коэффициент зависимости шумности объекта от его скорости.

Оценки параметров сигнала определяются зависимостью аномалии от частоты, частотной зависимостью уровня сигнала в источнике, а также параметрами затухания и помехой.

При оценке координат обычно используют информацию о гидролого-акустических параметрах среды, а точнее о передаточной функции, которая априорно считается известной.

Рассматриваемый алгоритм совместного распознавания объекта и оценки расстояния до него состоит в следующем:

– пересчет эталонного приведенного к стандартным условиям спектра шума объекта, хранящегося в БД, в точку приема для различных возможных координат объекта (дистанций и глубин) относительно приемной системы и различных возможных уровней шумоизлучения объекта заданного класса (соответствующих различным скоростям и глубинам погружения);

— расчет «расстояний» (мер близости) между вектором спектральной плотности принятого шумового сигнала, пересчитанного на вход приемной системы и всеми эталонными спектрами сигналов объектов из БД с помощью перечисленных выше мер близости во всех узлах сетки «дистанция—глубина—шумность (скорость)»;

— идентификация (классификация) обнаруженного объекта, с одновременным определением его координат и шумности, соответствующих узлу сетки с минимальным значением меры близости.

Для выбора мер близости, позволяющих решить поставленную задачу, необходимо сравнить работоспособность различных мер. Для сравнения использовался метод статистического моделирования. Рассматривался простейший случай: известной глубины объекта на примере сплошной зоны освещенности $A(f, D) = \text{const}$. Такой подход позволил сократить перечень рассматриваемых мер и выбрать вид (тип) расстояний, которые целесообразно использовать при решении поставленной задачи.

Задачу оценки эффективности алгоритма совместного распознавания и оценки координат объекта с использованием мер близости в стратифицированной среде предполагается решать в дальнейшем на основании выбранных мер близости.

Для анализа работоспособности идентификация проводилась по различным мерам близости между эталонными спектрами, рассчитанными для разных дистанций и шумностей объекта, и спектром сигнала цели, находящейся на заданной дистанции, для случаев наличия и отсутствия помехи, с учетом искажения спектра сигнала в среде. Анализ проводился как для случаев совпадения параметров сигнала объекта с параметрами эталона и с параметрами узла рассчитанной сетки по дистанции и шумности, так и для случаев, когда параметры сигнала объекта не совпадают с параметрами эталона.

Рассматривались варианты эталонов, совпадающие с измеренным сигналом, незначительно отличающиеся от измеренного сигнала и сильно отличающиеся.

На рис. 1–4 приведены результаты моделирования алгоритма распознавания и оценки дистанции в виде значений мер близости между спектром принятого сигнала объекта и эталонными, рассчитанными в различных узлах сетки по дистанции, при различных параметрах эталонных спектров шумоизлучения объекта для случаев наличия или отсутствия помехи.

Приведенная шумность обнаруженного (принятого) сигнала $P_0 = 1.0$ (Па · м · кГц/√Гц), $\alpha_f = 1$. Для моделирования влияния аддитивной шумовой помехи на спектральную плотность давления суммарного входного процесса с помощью датчика случайных чисел имитировалась 10%-ная погрешность оценки значений спектральных отсчетов. Параметры эталонов приведены на рисунках 1–4 (см. вклейку).

Анализ возможности использования различных мер близости для распознавания и оценки дистанции по спектрам сигнала цели при параметрах сигнала эталона и измеренного сигнала показал низкую эффективность корреляционной и косинусной мер близости, что объясняется нелинейной зависимостью спектра сигнала от дистанции. Эти меры близости практически равны 1 во всем диапазоне рассматриваемых дистанций.

Показано, что для решения задачи оценки координат объекта и приведенной шумности целесообразно использовать разностные меры близости, аналоги Евклидова расстояния (Манхэттена, Минковского, Евклида, Махаланобиса, Лоренцевское), что объясняется нелинейным характером частотной зависимости спектров сигналов, зависящих от частотной зависимости сигнала в источнике и от искажения в среде распространения.

Показано, что значения этих мер близости сильно зависят от уровня шумности объекта, что определяет необходимость сравнения измеренного сигнала и эталонных сигналов различных уровней шумности (построения сетки по шумности).

Для эталонов, сильно отличающихся от измеренного сигнала, оценка координат смещается, а минимальные значения мер близости увеличиваются.

Показано, что при наличии помехи или при малых отличиях эталонных параметров коэффициента спада спектра с частотой и приведенной шумности объекта от параметров измеренного сигнала использование мер близости позволяет правильно решить задачу оценки дистанции и распознать сигнал объекта. При этом пороговое значение для минимума расстояния должно задаваться в зависимости от рассматриваемой меры близости. Наименее устойчивы к отличиям эталонных параметров от параметров сигнала оказались меры близости Хеллинджера и формы Пенроуза за счет их нормировки относительно средних значений функции.

Заключение

В статье проведен сравнительный анализ различных мер близости для решения задач распознавания и оценки дистанции обнаруженного морского объекта. По результатам анализа продемонстрирована разрешимость задачи совместного распознавания и оценки координат объекта по спектрам обнаруженного сигнала при использовании мер близости – аналогов Евклидова расстояния.

Перспективным направлением дальнейших исследований является проведение сравнительной оценки эффективности различных методов распознавания для сигналов разных видов и разных типов гидролого-акустических условий и выбор методов, оптимальных для рассматриваемых сигналов.

Литература

1. Демиденко В.А., Перельмутер Ю.С. Спектральный метод оценки дистанции // Гидроакустика Вып 6. 2006. С. 51–59.
2. Машошин А.И. Синтез оптимального алгоритма пассивного определения дистанции до цели // Морская радиоэлектроника. 2012. № 2 (40). С. 30–34.
3. Шейнман Е.Л. Определение некоторых параметров, характеризующих источник звука и распространение звукового сигнала в стратифицированной среде // Гидроакустика. 2008. № 8. С. 50–60.
4. Шейнман Е.Л. Анализ эффективности идентификации источников звука по эталонным базам данных параметров сигнала // Гидроакустика. 2007. Вып. 7. С. 51–61.
5. Деца Е.И., Деца М.М. Энциклопедический словарь расстояний. М.: Наука, 2008. 446 с. / Пер. с англ. Deza E., Deza M.-M. Dictionary of Distances. ELSEVIER, 2006. 446 p.
6. Половикова О.Н., Фокина В.В. Использование евклидова и манхэттенского расстояний в качестве меры близости для решения задачи классификации // Журнал технических и прикладных исследований «Известия АлтГУ». 2010. Том 1. № 65.
7. Волкова А.А., Зеленкова И.Д., Перельмутер Ю.С. Совместная оценка расстояния до цели и шумности цели // Гидроакустика. 2010. № 11. С. 33–38.
8. Селезнев В.А., Янпольская А.А. Сравнительный анализ различных способов идентификации трасс // Труды. 11-й Всерос. конф. «Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики», 2012.
9. Сташкевич А.П. Акустика моря. Л.: Судостроение, 1966.

References

1. Demidenko V.A., Perelmutter Yu.S. Spectral method of the range estimation. *Hydroacoustics*. 2006, 6, 51–59 (in Russian).
2. Mashoshin A.I. Synthesis of the optimal algorithm for the passive determination of the distance. *Morskaya Radioelektronika*. 2012, 2 (40), 30–34 (in Russian).
3. Sheinman E.L. Estimation of some parameters, describing the sound source and distribution of the sound signal in the stratified environment. *Hydroacoustics*. 2008, 8, 50–60 (in Russian).
4. Sheinman E.L. The analysis of the identification efficiency of sound sources with using signal parameters databases. *Hydroacoustics*. 2007, 7, 51–61 (in Russian).
5. Deza E., Deza M.-M. Dictionary of Distances. ELSEVIER, 2006. 446 c.
6. Polovikova O.N., Fokina V.V. Use Euclidean and Manhattan distances as a measure of distance for the decision of the classification problem. 2010, 65, 1 (in Russian).
7. Volkova A.A., Zelenkova I.D., Perelmutter J.S. Joint Estimation of Target Distance and Noisiness. *Hydroacoustics*. 2010, 11, 33–38 (in Russian).
8. Seleznev V.A., Janpolskaja A.A. Comparative analysis of various ways of track identification. *Trudy 11-i Vseros. konf. «Prikladnye tekhnologii gidroakustiki i gidrofiziki»*, 2012 (in Russian).
9. Stashkevich A. Acoustics of the sea. *Leningrad, Sudostroenie*, 1966, 350 p. (in Russian).

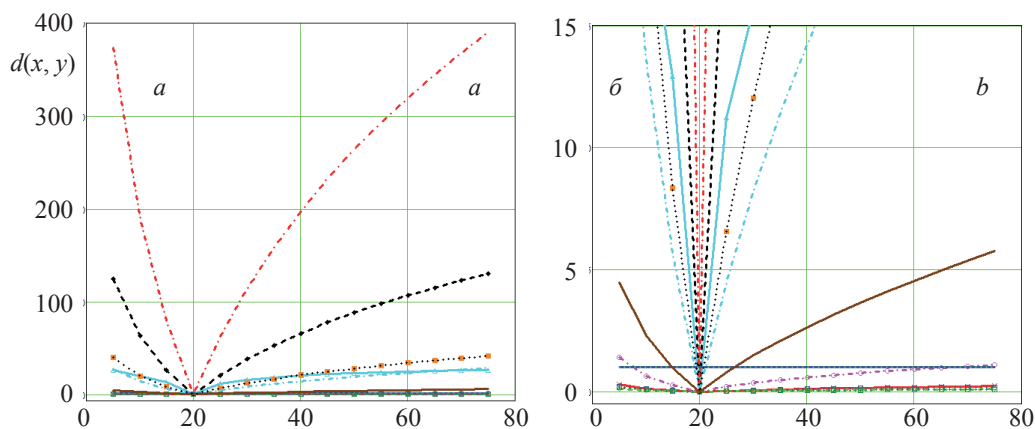


Рис. 1. Значения мер близости между спектрами сигнала без помехи для истинной дистанции $D = 20$ км и эталонными на дистанциях 10—80 км.

a — полный масштаб, b — крупный масштаб.

Параметры сигнала $P_0 = 1.0$, $\alpha_f = 1$. Параметры эталона $P_0 = 1.0$, $\alpha_f = 1$.

Fig. 1. Values of proximity measures between the signal spectra of object, situated at the distance $D = 20$ km, without noise, and sample ones at distances 10—80 km.

a — full scale, b — large scale.



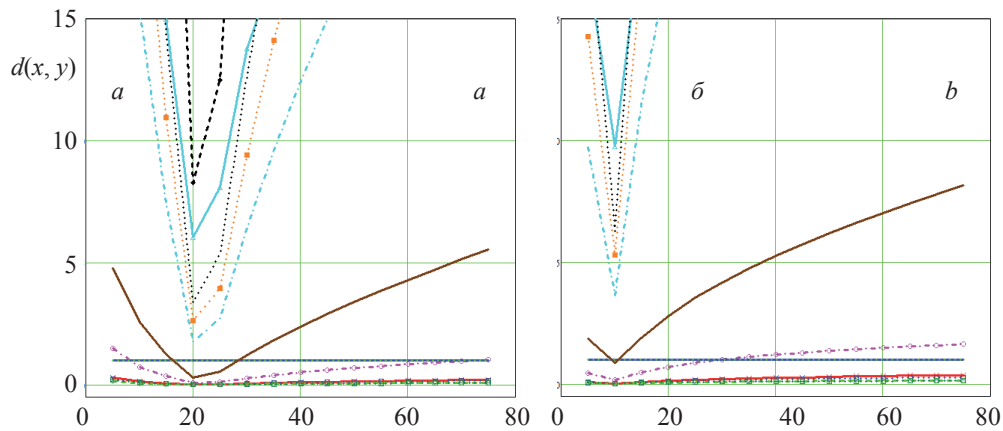


Рис. 2. Значения мер близости между спектрами сигнала без помехи для истинной дистанции

$D = 20$ км и эталонными на дистанциях 10—80 км. Крупный масштаб.

a — Параметры сигнала $P_0 = 1.0$, $\alpha_f = 1$. Параметры эталона $P_0 = 1.1$, $\alpha_f = 1$;

b — Параметры сигнала $P_0 = 1.0$, $\alpha_f = 1$. Параметры эталона $P_0 = 0.4$, $\alpha_f = 1$.

Fig. 2. Values of proximity measures between the signal spectra of object, situated at the distance $D = 20$ km, without noise, and sample ones at distances 10—80 km. Large scale.

a — Signal Parameters $P_0 = 1.0$, $\alpha_f = 1$. Standard parameters $P_0 = 1.1$, $\alpha_f = 1$;

b — Signal Parameters $P_0 = 1.0$, $\alpha_f = 1$. Standard parameters $P_0 = 0.4$, $\alpha_f = 1$.

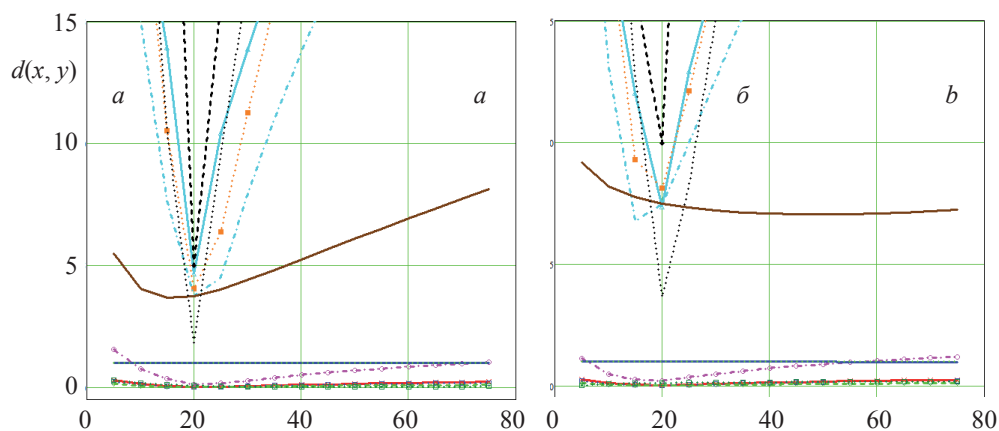


Рис. 3. Значения мер близости между спектрами сигнала без помехи для истинной дистанции

$D = 20$ км и эталонными на дистанциях 10—80 км. Крупный масштаб.

a — Параметры сигнала $P_0 = 1.0$, $\alpha_f = 1$. Параметры эталона $P_0 = 1.0$, $\alpha_f = 1.1$;

b — Параметры сигнала $P_0 = 1.0$, $\alpha_f = 1$. Параметры эталона $P_0 = 1.1$, $\alpha_f = 0.8$.

Fig. 3. Values of proximity measures between the signal spectra of object, situated at the distance $D = 20$ km, without noise, and sample ones at distances 10—80 km. Large scale.

a — signal Parameters $P_0 = 1.0$, $\alpha_f = 1$. Standard parameters $P_0 = 1.0$, $\alpha_f = 1.1$;

b — signal Parameters $P_0 = 1.0$, $\alpha_f = 1$. Standard parameters $P_0 = 1.1$, $\alpha_f = 0.8$.

К статье Шейнман Е. Л. Распознавание объектов...

Sheinman E. L. Recognition of marine objects...

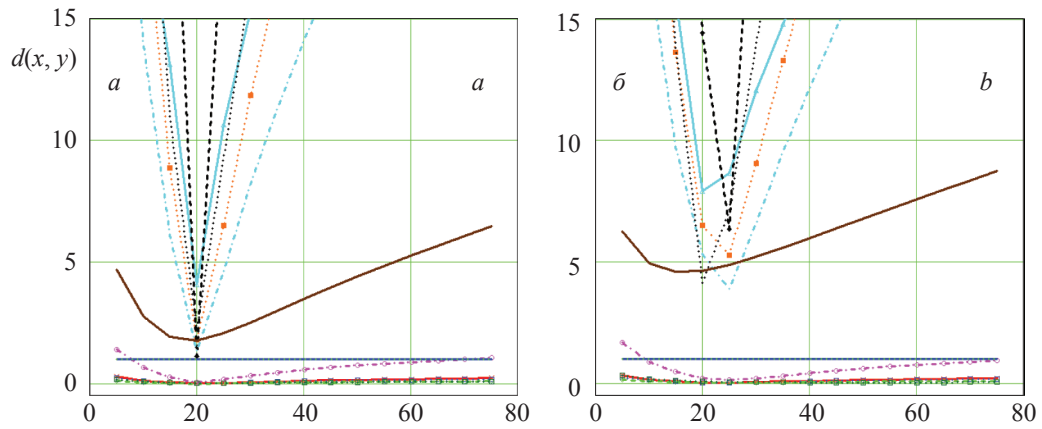


Рис. 4. Значения мер близости между спектрами сигнала при наличии помехи для истинной дистанции $D = 20$ км и эталонными на дистанциях 10—80 км. $\sigma P = 10\% P$. Крупный масштаб.
 а — Параметры сигнала $P_0 = 1.0$, $\alpha_f = 1$. Параметры эталона $P_0 = 1.0$, $\alpha_f = 1$.
 б — Параметры сигнала $P_0 = 1.0$, $\alpha_f = 1$. Параметры эталона $P_0 = 1.1$, $\alpha_f = 1.1$.

Fig. 4. Values of proximity measures between the signal spectra of object, situated at the distance $D = 20$ km, in the presence of noise, and sample ones at distances 10—80 km. $\sigma P = 10\% P$. Large scale.
 а — Signal Parameters $P_0 = 1.0$, $\alpha_f = 1$. Standard parameters $P_0 = 1.0$, $\alpha_f = 1$.
 б — Signal Parameters $P_0 = 1.0$, $\alpha_f = 1$. Standard parameters $P_0 = 1.1$, $\alpha_f = 1.1$.