

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК Научный совет по проблемам фундаментальной и прикладной гидрофизики		№ 4 (6) 2009
--	---	--

**Сборник научных трудов
Издается с 2008 года**

СОДЕРЖАНИЕ

Статьи

<i>Клячкин В.И.</i> Информационная интеграция гидрофизических и гидроакустических полей.....	4
<i>Левин И.М., Долин Л.С., Франгузов О.Н., Родионов М.А., Осадчий В.Ю., Савченко В.В.</i> Глубинные профили гидрофизических параметров в Баренцевом море применительно к проблеме лидарного зондирования.....	16
<i>Зимин А.В., Николаев В.Г., Родионов А.А.</i> Внутренние волны и их проявления на морской поверхности во время приливного цикла в Белом море.....	25
Итоги Первой конференции молодых ученых и специалистов «Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики» (МАГ-2009).....	30
<i>Каган Б.А., Софьина Е.В.</i> Сезонная изменчивость приливной волны M_2 в Северном Ледовитом океане.....	31
<i>Силина Т.А.</i> Алгоритмы комплексирования информации в системе подводного наблюдения, построенной по сетцентрическому принципу.....	38
<i>Семенов Н.Н.</i> Определение курсового угла подводного объекта по одному наблюдению при использовании сложного сигнала и когерентного приема.....	46
<i>Жиляев Е.А., Павлов А.А., Чернядев Е.В.</i> Автономная дистанционно управляемая сейсмогидроакустическая станция наблюдения за сигнально-помеховой обстановкой.....	51
Перспективные направления развития науки и техники	
<i>Гизитдинова М.Р., Кузьмицкий М.А.</i> Использование мобильных подводных роботов в решении современных проблем в Мировом океане.....	59
Хроника.....	66
Внимание, конкурс!.....	69
Информация о конференции ГА-2010.....	71
Правила представления материалов в редакцию.....	72

CONTENTS

Articles

<i>Kljachkin V.I.</i> Information Integration of Hydrophysical and Hydroacoustic Fields.....	4
--	---

In the present work the dynamic and information model of hydroacoustic and hydrophysical algorithmic systems interaction is considered with the view of designing of optimized (adaptive) procedures for weak signal allocation in the presence of masking interference, and also for estimation of unknown parameters of HA and HP field sources movement. Physical basis of these problems solving is the difference in field generation and propagation mechanism under their information interaction.

Key words: random fields, dynamics, information, adaptation, estimation, signal, noise.

<i>Levin I.M., Dolin L.S., Frantzuzov O.N., Rodionov M.A., Osadchy V.Yu., Savtchenko V.V.</i> Measurement of Depth Profiles of Optical and Hydrophysical Parametres in the Barents Sea: Application to Lidar Sensing Problem.....	16
---	----

Lidar detection of hydrophysical nonhomogeneity, such as internal waves or turbulence, is possible if there is marked stratification of the depth profiles of attenuation coefficient and the fluid density, and if the lidar echo-signal from pycnocline area is sufficiently large. A new submersible instrument for attenuation coefficient measuring was developed and produced. In this paper we describe the instrument and the algorithm of its calibration and measurement accuracy estimation. The results of field measurements of attenuation coefficient, density and temperature depth profiles in 12 spots (stations) in the Barents Sea are given. Using the results of these measurements, we computed the echo-signal levels and the signal-noise ratio as functions of depth. It was shown that at all stations the echo-signal power is sufficient enough for hydrophysical nonhomogeneity detection.

Key words: lidar sensing, attenuation coefficient, hydrophysical parametres, the Barents Sea.

<i>Zimin A.V., Nikolaev V.G., Rodionov A.A.</i> Internal Waves and their Displays on the Sea Surface During the Tidal Cycle in the White Sea.....	25
--	----

The results of an experiment on research of the internal waves, carried out in July, 2008 in the Onega gulf of the White Sea, are presented. Behavior of time variability of short -time period internal waves during a tidal cycle is investigated. It is shown that fluctuations of a thermocline and temperature of an ocean surface are correlated and in-phased.

Key words: internal waves, measurement, sea surface temperature, contact and non-contact methods.

<i>Kagan B.A., Sofina E.V.</i> Seasonal Variability of the M_2 Tide in the Arctic Ocean	31
---	----

The results for three-dimensional (3D) winter and summer tidal flows in the Arctic Ocean are presented. It is shown that dependent on ice seasonal variability of the tidal constants (amplitudes and phases of tidal sea surface level elevations) in the Central and Canadian parts of the Arctic Ocean is less than the mean square error in the predicted tidal sea surface level elevations. This means that the seasonal variability can be neglected, at least as a first approximation. A different situation is encountered in the Siberian continental shelf, where seasonal changes of tidal amplitude are ± 5 cm, while those of tidal phase vary from 15° to several tens of degrees.

Key words: tides, seasonal variability, modeling, the Arctic Ocean.

<i>Silina T.A.</i> Data Fusion Algorithms of Underwater Network-Centric Surveillance System.....	38
--	----

The construction, assignment, functions and algorithmic structure of data fusion of underwater network-centric surveillance system are considered.

Key words: data fusion, network-centric system, underwater surveillance system.

<i>Semenov N.N.</i> Course Angle Estimation of a Underwater Object by Only One Observation Using a Complex Signal and Coherent Reception.....	46
---	----

Using of a complicated probing signal and coherent reception allows to distinguish echo-signals from various blinking points on the case of underwater object that allows to estimate such secondary signs, as the form of object and its linear sizes. Measurement of frequency of each echo-signal allows to estimate radial speed of mutual moving, and the knowledge of the form of an object allows to estimate a course angle and full speed of observable object.

Key words: hydroacoustic, detection, glare, compound signal, form evaluation, a cluster.

<i>Zhilyaev E.A., Pavlov A.A., Chernyadev E.V.</i> Self-Contained Remote Controlled Seismohydroacoustic Station for Surveillance of the Signal-Noise Situation	51
--	----

The report considers a signal-noise situation surveillance station meeting the modern requirements: it has an adaptive teletype hidden communication path through hydroacoustic channel, nonvolatile memory of big capacity, long endurance (up to 1 year), deployment depth of down to 6000m, GPS receiver for determining its location, it uses rapid signal digital processing algorithms.

Key words: seismohydroacoustic station, hydroacoustic communication, memory, digital algorithms

Perspective Tendency of Development of Science and Technics

<i>Gizitdinova M.R., Kuzmitsky M.A.</i> Place and Role of Mobile Underwater Robots in the Decision of Modern Problems of Sea Activity of the States.....	59
--	----

In the article the review of the basic modern global problems connected with sea activity of the states in the World Ocean, a place and a role in their decision of a new perspective class of underwater systems – mobile underwater robots (or UUVs) is given. Globalization forming uniform universal economic-information field, bears both constructive, and destructive influence on many aspects of the world community life, including research, economic and military problems solved in the World Ocean. The spectrum of the basic problems and prospects of UUVs, as dual-purpose means, in their decision is considered.

Key words: mobile underwater robot, underwater systems, an information field, underwater conditions.

УДК 621.375

Силина Т.А.¹
t_silina@bk.ru

АЛГОРИТМЫ КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИИ В СИСТЕМЕ ПОДВОДНОГО НАБЛЮДЕНИЯ, ПОСТРОЕННОЙ ПО СЕТЕЦЕНТРИЧЕСКОМУ ПРИНЦИПУ

Приведены описание, назначение, решаемые задачи и принципы построения алгоритмов комплексирования информации в системе подводного наблюдения, построенной по сетецентрическому принципу.

Целесообразность построения системы наблюдения в морской подводной среде по сетецентрическому принципу ранее обосновывалась рядом авторов [1, 2]. Отличительной особенностью такой системы является множество каналов наблюдения (антенн, датчиков), расположенных в разных точках и часто работающих на разных физических принципах. Цель данной работы состоит в изложении одного из подходов к созданию системы комплексной обработки информации (СКОИ) для сетецентрической системы подводного наблюдения.

К СКОИ предъявляются следующие требования:

- обеспечение объективного освещения подводной и надводной обстановки в зоне действия комплекслируемых технических средств обнаружения. Это означает, что количество целей на выходе СКОИ должно соответствовать реально существующему количеству целей, т.е. наличие нескольких каналов наблюдения не должно приводить к размножению целей;

- процедуры, реализуемые в процессе комплексной обработки информации (КОИ), должны обеспечивать повышение достоверности классификации целей и точности определения их координат по сравнению с достоверностью и точностью, реализуемыми по данным каждого из каналов наблюдения.

Для выполнения перечисленных требований СКОИ должна решать две основные задачи:

- идентификация целей, наблюдаемых по разным каналам, чем достигается объективность освещения подводной и надводной обстановки;

- объединение информации о целях, одновременно наблюдаемых по нескольким каналам, что обеспечивает повышение достоверности классификации целей и точность определения их координат, параметров движения.

Теоретическое и экспериментальное изучение различных вариантов построения такой системы [3, 4] показало, что наиболее просто и в то же время эффективно базировать СКОИ с учетом следующих положений:

- в силу существенных различий алгоритмов и результатов первичной обработки информации в разнородных каналах наблюдения, комплексированию должны подвергаться результаты вторичной обработки информации (данные по наблюдаемым целям);

- для упрощения алгоритмов КОИ путем унификации обработки информации, поступающей с выхода разнородных каналов наблюдения, выход каждого канала на-

¹ ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», Санкт-Петербург

блюдения должен иметь формализованное описание, позволяющее учитывать как общие свойства каналов, так и их существенные различия;

- поскольку выработка информации в каждом канале наблюдения осуществляется в своем темпе, СКОИ должна функционировать асинхронно, включаясь в работу при поступлении новых данных хотя бы от одного канала.

Комплексная обработка осуществляется в 3 этапа:

- идентификация целей, наблюдаемых по разным каналам;
- объединение данных по целям, включая определение их координат триангуляционным методом;
- окончательная классификация целей с использованием объединенных данных.

Алгоритм идентификации целей. Под идентификацией целей понимается процедура принятия решения о принадлежности двух и более целей, наблюдаемых разными каналами, одному физическому объекту.

Идентификация целей имеет двойное назначение:

- объективизация освещения обстановки путем определения реального числа целей в зоне действия системы;
- создание предпосылок для повышения точности определения координат и вероятности классификации целей за счет объединения (комплексирования) данных по цели, полученных разными каналами.

Алгоритм работает циклически с циклом обработки информации в системе. Структура алгоритма идентификации целей, реализуемая на одном цикле обработки, приведена на рис. 1.

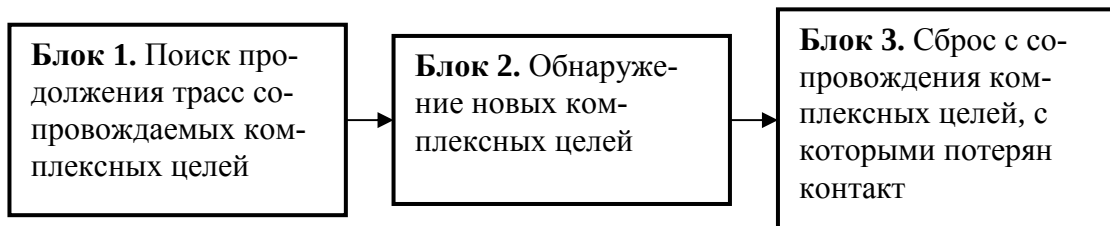


Рис. 1. Структура алгоритма идентификации целей, реализуемая на одном цикле обработки

Алгоритм, реализуемый в блоке 1. В блоке 1 осуществляется поиск продолжения трасс сопровождаемых комплексных целей. Для каждой k -й сопровождаемой комплексной цели определяются:

- номера каналов, на выходе которых эта цель наблюдалась на предыдущих циклах обработки;
- номера, под которыми эта цель наблюдалась каждым из каналов на предыдущих циклах обработки.

Цели, которые на текущем цикле обработки наблюдаются теми же каналами под теми же номерами, принимаются за продолжение трассы k -й комплексной цели. Значения параметров этих целей, полученные на текущем цикле обработки, переписываются в массив параметров комплексных целей и в дальнейшем используются для объединения параметров комплексных целей. После переписи эти цели исключаются из входного массива целей, наблюдаемых на текущем цикле.

Алгоритм, реализуемый в блоке 2. В блоке 2 осуществляется поиск новых комплексных целей следующим образом.

- 1) Организуется перебор номеров каналов.

2) Для текущего i -го канала вычисляется идентификационная матрица (ИМ) Id_i целей, наблюдаемых этим каналом на текущем цикле обработки и не являющихся продолжением траекторий ранее наблюдававшихся комплексных целей, и комплексных целей. Каждый элемент этой ИМ вычисляется по формуле:

$$P_{id}(\Delta\hat{\mathbf{X}}_{ij}^{(k)}) = \frac{g_{\Delta\hat{\mathbf{X}}_{ij}^{(k)}|id}(\Delta\hat{\mathbf{X}}_{ij}^{(k)})}{g_{\Delta\hat{\mathbf{X}}_{ij}^{(k)}|id}(\Delta\hat{\mathbf{X}}_{ij}^{(k)}) + g_{\Delta\hat{\mathbf{X}}_{ij}^{(k)}|nid}(\Delta\hat{\mathbf{X}}_{ij}^{(k)})}, \quad (1)$$

где $P_{id}(\Delta\hat{\mathbf{X}}_{ij}^{(k)})$ – вероятность идентичности k -ой комплексной цели и j -ой цели i -ого канала наблюдения; $\Delta\hat{\mathbf{X}}_{ij}^{(k)} = \hat{\mathbf{X}}_{ij} - \hat{\mathbf{X}}_k$ – вектор разности идентификационных параметров k -ой комплексной цели и j -ой цели i -ого канала наблюдения; $\hat{\mathbf{X}}_{ij}$ – m -мерный вектор идентификационных параметров j -ой цели, которую сопровождает i -ый канал; $\hat{\mathbf{X}}_k$ – m -мерный вектор идентификационных параметров k -ой комплексной цели; $g_{\Delta\hat{\mathbf{X}}_{ij}^{(k)}|id}(\mathbf{X})$ – условная плотность распределения вероятности (ПРВ) вектора $\Delta\hat{\mathbf{X}}_{ij}^{(k)}$ по гипотезе идентичности целей; $g_{\Delta\hat{\mathbf{X}}_{ij}^{(k)}|nid}(\mathbf{X})$ – условная ПРВ вектора $\Delta\hat{\mathbf{X}}_{ij}^{(k)}$ по гипотезе неидентичности целей.

Вектор $\Delta\hat{\mathbf{X}}_{ij}^{(k)}$ можно представить в следующем виде:

$$\Delta\hat{\mathbf{X}}_{ij}^{(k)} = \hat{\mathbf{X}}_{ij} - \hat{\mathbf{X}}_k = \mathbf{X}_{ij} + \Delta\mathbf{X}_{ij} - (\mathbf{X}_k + \Delta\mathbf{X}_{ij}) = (\mathbf{X}_{ij} - \mathbf{X}_k) + (\Delta\mathbf{X}_{ij} - \Delta\mathbf{X}_{ij}) = \Delta\mathbf{X} + (\Delta\mathbf{X}_{ij} - \Delta\mathbf{X}_{ij}),$$

где $\mathbf{X}_{ij}$, $\mathbf{X}_k$ – m -мерные истинные значения векторов идентификационных параметров целей; $\Delta\mathbf{X}_{ij}$, $\Delta\mathbf{X}_k$ – m -мерные нормально распределенные векторы погрешностей оценок $\hat{\mathbf{X}}_{ij}$, $\hat{\mathbf{X}}_k$ соответственно;

$$\Delta\mathbf{X} = \mathbf{X}_{ij} - \mathbf{X}_k.$$

Учитывая, что ошибки оценок параметров распределены, как правило, по нормальному закону, условную (в зависимости от истинных значений параметров) плотность распределения (ПР) разности параметров двух целей можно представить в виде:

$$\begin{aligned} g_{\Delta\hat{\mathbf{X}}/\mathbf{X}_{ij}\mathbf{X}_k}(x) &= g_{\Delta\mathbf{X}_{ij}}(x - \mathbf{X}_{ij}) \otimes g_{\Delta\mathbf{X}_k}(x - \mathbf{X}_k) = \\ &= norm(x // \mathbf{X}_{ij}, \sigma_{\hat{\mathbf{X}}_{ij}}) \otimes norm(x // \mathbf{X}_k, \sigma_{\hat{\mathbf{X}}_k}) = \\ &= norm(x // \mathbf{X}_{ij} - \mathbf{X}_k, \sqrt{\sigma_{\hat{\mathbf{X}}_{ij}}^2 + \sigma_{\hat{\mathbf{X}}_k}^2}), \end{aligned} \quad (2)$$

где $norm(x // m_x, \sigma_x)$ – условная запись нормальной ПР случайной величины x с матожиданием m_x и СКО σ_x ; $\sigma_{\hat{\mathbf{X}}_k}$ – СКО оценки k -й цели; $\otimes$ – знак операции свертки.

Для перехода в (2) к безусловной ПР нужно проинтегрировать правую часть ПР разности истинных значений параметров:

$$g_{\Delta\mathbf{X}}(x) = \int_{x_{\min}}^{x_{\max}} g_{\Delta\mathbf{X}}(z) norm(x // z, \sqrt{\sigma_{\hat{\mathbf{X}}_{ij}}^2 + \sigma_{\hat{\mathbf{X}}_k}^2}) dz, \quad (3)$$

где $g_{\Delta\mathbf{X}}(z)$ – ПР разности истинных значений параметров двух целей; $[x_{\min}; x_{\max}]$ – интервал всех возможных значений параметра.

При гипотезе идентичности целей ПР $g_{\Delta x}(z)$ превращается в δ -функцию:

$$g_{\Delta x}(z) = \delta(0),$$

подстановка которой в (3) дает:

$$g_{\Delta \hat{x}/ident}(x) = norm\left(x // 0, \sqrt{\sigma_{\hat{x}_{ij}}^2 + \sigma_{\hat{x}_k}^2}\right). \quad (4)$$

При гипотезе неидентичности целей ПР $g_{\Delta x}(z)$ становится равномерной ПР в интервале $[x_{\min}; x_{\max}]$:

$$g_{\Delta x}(z) = \frac{1}{x_{\max} - x_{\min}}, \quad x_{\min} < z < x_{\max},$$

подстановка которой в (3) дает:

$$\begin{aligned} g_{\Delta \hat{x}/nident}(x) &= \frac{1}{x_{\max} - x_{\min}} \cdot \int_{x_{\min}}^{x_{\max}} norm\left(x // z, \sqrt{\sigma_{\hat{x}_{ij}}^2 + \sigma_{\hat{x}_k}^2}\right) dz = \\ &= \frac{1}{x_{\max} - x_{\min}} \cdot \left(\Phi\left(x_{\max} // z, \sqrt{\sigma_{\hat{x}_{ij}}^2 + \sigma_{\hat{x}_k}^2}\right) - \Phi\left(x_{\min} // z, \sqrt{\sigma_{\hat{x}_{ij}}^2 + \sigma_{\hat{x}_k}^2}\right) \right) \end{aligned} \quad (5)$$

где $\Phi(x // t, \sigma)$ - нормальная функция распределения аргумента x с параметрами t и σ .

Таким образом, вероятность идентичности двух целей может быть определена по формуле (1) при подстановке в нее формул (4) и (5), в которые вместо аргумента подставляется разность оценок параметров двух целей.

3) Для каждой k -й комплексной цели, для которой не выявлено продолжение ее трассы по i -му каналу, из ИМ выбирается элемент $j_{\max}$ с наибольшей вероятностью идентичности $P_{id}(\Delta \hat{X}_{ij}^{(k)})$, которая сравнивается с порогом $P_{id/nop}$. При превышении порога цель, наблюдаемая на текущем цикле i -м каналом и соответствующая $j_{\max}$ -му элементу ИМ, считается идентичной k -й комплексной цели, и ее данные переписываются в архив k -й комплексной цели, после чего эта цель исключается из массива целей, наблюдаемых на текущем цикле i -м каналом. В противном случае (если порог не превышен) принимается решение, что k -я комплексная цель i -м каналом не наблюдается.

4) После перебора всех каналов по пункту 1 и выполнения на каждом шаге перебора действий по пунктам 2 и 3 все цели, оставшиеся в массиве целей, наблюдаемых на текущем цикле обработки, включаются в качестве новых целей в массив наблюдаемых комплексных целей.

5) Каждая цель из массива наблюдаемых комплексных целей проверяется на идентичность с целями из массива комплексных целей, наблюдавшихся ранее, контакт с которыми был потерян. Проверка на идентичность осуществляется аналогично описанной в пунктах 2 и 3. Если условие идентичности выполняется, принимается решение о восстановлении контакта с ранее наблюдавшейся целью. Все данные по этой цели переписываются из массива наблюдавшихся комплексных целей в массив наблюдаемых целей, после чего эта цель исключается из массива наблюдавшихся целей.

Алгоритм, реализуемый в блоке 3. В блоке 3 осуществляется сброс с сопровождения комплексных целей, с которыми потерян контакт. К этим целям относятся комплексные цели, продолжение трасс которых на текущем цикле не найдено. Эти цели исключаются из массива наблюдаемых комплексных целей и переписываются в массив комплексных целей, наблюдавшихся ранее, контакт с которыми был потерян.

Алгоритм определения абсолютных координат целей. Алгоритм реализуется на каждом цикле обработки для каждой k -й комплексной цели. Для каждой цели определяются оценки абсолютных координат и их СКО.

Если k -ая комплексная цель наблюдается только одним каналом наблюдения, то ее абсолютные координаты вычисляются по данным, поступающим из траекторного анализа, приведенным к единой системе координат.

Если k -ая комплексная цель наблюдается несколькими каналами, то ее абсолютные координаты определяются методом максимального правдоподобия [5]. Ниже приводятся формулы для случая наблюдения k -й комплексной цели двумя каналами – i -м и j -м.

$$\left(\hat{X}_{k_{opt}}, \hat{Y}_{k_{opt}}\right) = \arg \max_{X_k, Y_k} g_{\hat{P}_{k,i}, \hat{P}_{k,j} / X_k, Y_k} \left(\hat{P}_{k,i}, \hat{P}_{k,j} / X_k, Y_k\right),$$

где $\hat{X}_{k_{opt}}, \hat{Y}_{k_{opt}}$ – максимально правдоподобные оценки (МП-оценки) абсолютных координат X_k, Y_k k -й комплексной цели; $\hat{P}_{k,i}, \hat{P}_{k,j}$ – оценки пеленгов k -й комплексной цели на выходе i -го и j -го каналов, соответственно; $g_{\hat{P}_{k,i}, \hat{P}_{k,j} / X_k, Y_k} (p_{k,i}, p_{k,j} / X_k, Y_k)$ – совместная условная (в зависимости от координат X_k, Y_k) ПР оценок пеленгов k -й комплексной цели на выходе i -го и j -го каналов, превращающаяся в функцию правдоподобия параметров X_k, Y_k при подстановке в качестве ее неслучайных аргументов $p_{k,i}, p_{k,j}$ оценок пеленгов $\hat{P}_{k,i}, \hat{P}_{k,j}$.

Остановимся на синтезе ПР $g_{\hat{P}_{k,i}, \hat{P}_{k,j} / X_k, Y_k} (p_{k,i}, p_{k,j} / X_k, Y_k)$.

Стохастические модели оценок пеленгов $\hat{P}_{k,i}, \hat{P}_{k,j}$ имеют вид:

$$\begin{aligned} \hat{P}_{k,i} &= P_{k,i} + \Delta P_{k,i} \\ \hat{P}_{k,j} &= P_{k,j} + \Delta P_{k,j} \end{aligned}, \quad (6)$$

где $P_{k,i}, P_{k,j}$ – истинные значения пеленгов; $\Delta P_{k,i}, \Delta P_{k,j}$ – ошибки измерения (оценки) пеленгов $P_{k,i}, P_{k,j}$.

Из формул (6) следует, что условные ПР оценок пеленгов $P_{k,i}, P_{k,j}$ имеют вид:

$$\begin{aligned} g_{P_{k,i} / X_k, Y_k} (p_{k,i} / X_k, Y_k) &= \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi \cdot \sigma_{P_{k,i}}}} \cdot \exp \left\{ -\frac{(p_{k,i} - P_{k,i}(X_k, Y_k))^2}{2 \cdot \sigma_{P_{k,i}}^2} \right\}; \\ g_{P_{k,j} / X_k, Y_k} (p_{k,j} / X_k, Y_k) &= \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi \cdot \sigma_{P_{k,j}}}} \cdot \exp \left\{ -\frac{(p_{k,j} - P_{k,j}(X_k, Y_k))^2}{2 \cdot \sigma_{P_{k,j}}^2} \right\}. \end{aligned}$$

Поскольку ошибки оценок пеленгов $P_{k,i}, P_{k,j}$ взаимно независимы, совместная условная ПР оценок пеленгов $P_{k,i}, P_{k,j}$ принимает вид:

$$\begin{aligned} g_{\hat{P}_{k,i}, \hat{P}_{k,j} / X_k, Y_k} (p_{k,i}, p_{k,j} / X_k, Y_k) &= \\ &= \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\sigma_{P_{k,i}} \cdot \sigma_{P_{k,j}}}} \times \exp \left\{ -\frac{1}{2} \cdot Z(p_{k,i}, p_{k,j} / X_k, Y_k) \right\}, \end{aligned} \quad (7)$$

$$\text{где } Z(p_{k,i}, p_{k,j} / X_k, Y_k) = \frac{(p_{k,i} - \Pi_{k,i}(X_k, Y_k))^2}{\sigma_{\Pi_{k,i}}^2} + \frac{(p_{k,j} - \Pi_{k,j}(X_k, Y_k))^2}{\sigma_{\Pi_{k,j}}^2}. \quad (8)$$

В результате алгоритм МП-оценки абсолютных координат k -й цели принимает вид:

$$(\hat{X}_{k_{opt}}, \hat{Y}_{k_{opt}}) = \arg \min_{X_k, Y_k} Z(\hat{\Pi}_{k,i}, \hat{\Pi}_{k,j} / X_k, Y_k).$$

Таким образом, МП-оценки абсолютных координат k -й цели соответствуют координатам минимума функции $Z(\hat{\Pi}_{k,i}, \hat{\Pi}_{k,j} / X_k, Y_k)$ в пространстве (X_k, Y_k) .

Дисперсии МП-оценок абсолютных координат k -й цели могут быть вычислены по формулам:

$$\begin{aligned} \sigma_{\hat{X}_{k_{opt}}}^2 &= \int_0^{2\pi} \int_0^{2\pi} \left\{ \int_0^\infty (\hat{X}_{k_{opt}} - x)^2 \cdot g_{\hat{\Pi}_{k,i}, \hat{\Pi}_{k,j} / X_k, Y_k}(p_{k,i}, p_{k,j} / x, \hat{Y}_{k_{opt}}) \cdot dx \right\} \cdot dp_{k,i} \cdot dp_{k,j}, \\ \sigma_{\hat{Y}_{k_{opt}}}^2 &= \int_0^{2\pi} \int_0^{2\pi} \left\{ \int_0^\infty (\hat{Y}_{k_{opt}} - y)^2 \cdot g_{\hat{\Pi}_{k,i}, \hat{\Pi}_{k,j} / X_k, Y_k}(p_{k,i}, p_{k,j} / y, \hat{X}_{k_{opt}}) \cdot dy \right\} \cdot dp_{k,i} \cdot dp_{k,j}. \end{aligned}$$

При наблюдении k -й цели большим числом каналов в ПР (7) увеличится число аргументов, а в правой части формулы (8) добавятся слагаемые. Например, при наблюдении k -й цели тремя каналами (i -м, j -м и S -м) формулы (7) и (8) принимают вид:

$$\begin{aligned} g_{\hat{\Pi}_{k,i}, \hat{\Pi}_{k,j}, \hat{\Pi}_{k,S} / X_k, Y_k}(p_{k,i}, p_{k,j}, p_{k,S} / X_k, Y_k) &= \\ &= \frac{1}{(2 \cdot \pi)^{1.5} \cdot \sqrt{\sigma_{\Pi_{k,i}} \cdot \sigma_{\Pi_{k,j}} \cdot \sigma_{\Pi_{k,S}}}} \times \exp \left\{ -\frac{1}{2} \cdot Z(p_{k,i}, p_{k,j}, p_{k,S} / X_k, Y_k) \right\}, \\ Z(p_{k,i}, p_{k,j}, p_{k,S} / X_k, Y_k) &= \frac{(p_{k,i} - \Pi_{k,i}(X_k, Y_k))^2}{\sigma_{\Pi_{k,i}}^2} + \\ &+ \frac{(p_{k,j} - \Pi_{k,j}(X_k, Y_k))^2}{\sigma_{\Pi_{k,j}}^2} + \frac{(p_{k,S} - \Pi_{k,S}(X_k, Y_k))^2}{\sigma_{\Pi_{k,S}}^2}. \end{aligned}$$

Формулы для вычисления $\Pi_{k,n}(X_k, Y_k)$, $\sigma_{\Pi_{k,n}}^2$, где n – номер канала наблюдения, выводятся исходя из геометрии расположения каналов наблюдения.

Алгоритм окончательной классификации целей. Алгоритм окончательной классификации целей состоит из двух этапов:

- классификация целей с использованием дополнительных классификационных признаков (КП), полученных по результатам комплексной обработки;
- комплексирование результатов предварительной классификации и классификации с использованием дополнительных КП.

Алгоритм классификации целей с использованием дополнительных классификационных признаков. Дополнительным классификационным признаком для классификации целей является уровень сигнала цели при известной дистанции до нее (S).

Соответствующие j -му циклу обработки накопленные апостериорные вероятности принадлежности цели классам из алфавита $\Omega = \{class_1, class_2, \dots, class_m\}$ с использованием КП S вычисляются по формуле:

$$\tilde{P}ar_{class_n/\hat{S}_j} = \tilde{P}ar_{class_n/\hat{S}_{j-1}} \cdot \alpha + Par_{class_n/\hat{S}_j} \cdot (\alpha - 1),$$

где $\tilde{P}ar_{class_n/\hat{S}_j}(\hat{P})$ - накопленные апостериорные вероятности принадлежности цели классу $class_n$; $Par_{class_n/\hat{S}_j}(\hat{P})$ - соответствующая текущему циклу вероятность принадлежности классу $class_n$:

$$Par_{class_n/\hat{S}_j}(\hat{P}) = \frac{g_{\hat{S}/class_n}(\hat{P})}{g_{\hat{S}/class_1}(\hat{P}) + g_{\hat{S}/class_2}(\hat{P}) + \dots + g_{\hat{S}/class_m}(\hat{P})},$$

где $g_{\hat{S}/class_n}(p)$ - плотность распределения оценки уровня сигнала цели на входе канала для класса n при использовании КП S , вычисляемая по формуле:

$$g_{\hat{S}/class_n}(p) = \int_0^\infty \int_{-\infty}^\infty \int_{-\infty}^\infty g_{\Delta P} [p - P(p_o, \Delta r, \Delta d)] \times \\ \times g_{P_{os_{class_n}}}(p_o) \cdot g_{\Delta R}(\Delta r) \cdot g_{\Delta D_{D_{omu}}}(\Delta d) \cdot dp_o \cdot d\Delta r \cdot d\Delta d,$$

где ΔP - ошибка измерения уровня сигнала цели; $P_{os_{class_n}}$ - приведенная шумность цели класса $class_n$, Па; ΔR - ошибка определения дистанции до цели, км; $D_{class_n}(R)$ - передаточная характеристика среды для цели класса $class_n$, рассчитанная для текущих гидроакустических условий; ΔD - ошибка расчета передаточной характеристики среды; $g_{\Delta P}(p), g_{P_{os_{class_n}}}(p_o), g_{\Delta R}(\Delta r), g_{\Delta D}(\Delta d)$ - плотности распределения случайных величин $\Delta P, P_{os_{class_n}}, \Delta R, \Delta D$ соответственно; $p, p_o, \Delta r, \Delta d$ - неслучайные аналоги случайных величин $\Delta P, P_{os_{class_n}}, \Delta R, \Delta D$ соответственно; $P(p_o, \Delta r, \Delta d) = p_o \cdot D_{class_n}(R + \Delta r) \cdot (1 + \Delta d)$; $\hat{P}$ - оценка уровня сигнала на входе канала.

Алгоритм комплексирования результатов предварительной классификации и классификации с использованием дополнительных КП. Комплексирование результатов предварительной классификации и классификации с использованием дополнительных КП осуществляется на каждом цикле обработки в соответствии с алгоритмом:

$$Kl_{opt} = \begin{cases} Kl_{max}, & \text{если } \tilde{P}ar_{Kl_{max}} > P_{nop} \\ \text{отказ}, & \text{если } \tilde{P}ar_{Kl_{max}} \leq P_{nop} \end{cases},$$

где Kl_{max} - класс из алфавита распознаваемых классов, которому соответствует максимальная апостериорная вероятность:

$$Kl_{max} = \arg \max_{Kl_i} \tilde{P}ar_{Kl_i/\hat{x}}, \quad Kl_i \in \Omega,$$

где $\tilde{P}ap_{Kl_i/\hat{X}} = \tilde{P}ap_{class_n/\hat{X}}$ - апостериорная вероятность принадлежности цели классу $class_n$, вычисленная с использованием всех КП:

$$\tilde{P}ap_{class_n} = \frac{\tilde{P}ap_{class_n/\hat{X}} + \tilde{P}ap_{class_n/\hat{S}}}{2}. \quad (9)$$

Смысл алгоритма (9) заключается в том, что в качестве результата классификации принимается класс, которому соответствует максимальная апостериорная вероятность, вычисленная с использованием всех КП, измеренных на этапах предварительной и окончательной классификации, но при условии, что эта максимальная апостериорная вероятность превышает заданное пороговое значение.

Ключевые слова: комплексирование информации, сетецентрический принцип, система подводного наблюдения.

Литература

1. Раскин А.В., Пеляк В.С. К вопросу о сетевой войне // Военная мысль. 2005. № 3. С.21-26.
2. Черников С.Г. Сетевая модель подводной системы наблюдения с пассивными датчиками // Морская электроника. 2008. № 4. С.26-27.
3. Шейнман Е.Л. Анализ различных вариантов структуры и алгоритмов комплексирования информации в перспективных ГАК // Гидроакустика. 2006. № 6. С.27-44.
4. Черняк В.С. Многопозиционная радиолокация. М.: Радио и связь, 1993. 416 с.
5. Акимов В.С., Брага Ю.А., Машошин А.И. Алгоритм определения КПДЦ с использованием комплексной информации, вырабатываемой гидроакустическим комплексом подводной лодки // Сборник докладов научно-технической конференции. М.: ОАО «Концерн «Моринформсистема-Агат», 2007. С.83-87.

Статья поступила в редакцию 27.11.2009 г.