



СОДЕРЖАНИЕ

Статьи

<i>Гизитдинова М.Р., Кузьмицкий М.А.</i> Мобильные подводные роботы в современной океанографии и гидрофизике.....	4
<i>Шейнман Е.Л.</i> Критерии и алгоритмы оценки эффективности комплексирования информации в многоканальной информационной системе.....	14
* <i>Трусова О.И.</i> Программно-методический комплекс анализа данных при проведении испытаний стационарных гидроакустических систем.....	25
* <i>Семенов Н.Н.</i> Обнаружение сложного искусственного объекта, лежащего на грунте.....	36
* <i>Шолохов А.С.</i> Многоканальное цифровое устройство для имитации углового положения объектов в комплексах полунатурного моделирования гидроакустических сигналов.....	44
* <i>Дерновский В.Л.</i> Моделирование влияния вибраций на формирование изображения в теневых приборах с учётом конечных размеров источника света.....	50
* <i>Васильев А.Д., Терешкин А.А.</i> Экспериментальное исследование волнового гравитационного течения в канале.....	59

Рецензии на книги

Малышкин Г.С. Оптимальные и адаптивные методы обработки гидроакустических сигналов. Том 1.	64
---	----

Из истории науки

115 лет со дня рождения академика В.В.Шулейкина.....	65
100 лет диссертации Д.И.Менделеева «О соединении спирта с водой».....	69
Поздравляем	72
Внимание, конкурс!	77
Правила представления материалов в редакцию.....	80

* Доклады прочитаны на Первой конференции молодых ученых и специалистов «Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики» (МАГ-2009).

CONTENTS

Articles

<i>Gizitdinova M.R., Kuzmitsky M.A.</i> Mobile Underwater Robots in Modern Oceanography and Hydrophysics	4
--	---

In article the current state and prospects of development of system of the problems solved within the limits of hydrophysical researches of the World ocean, and system of means with which help these problems can be solved is analyzed. Modern position with oceanographic researches in the Russian Federation, the place and the role of mobile underwater robots (or UUVs) in their further development is considered. Dual character of missions which can effectively carry out UUVs in solving civil problems (research and commercial) and military-oriented problems is underlined. Advantages of use of independent networks of oceanographic measurements on the basis of UUVs are estimated. The spectrum functionally focused UUVs for achieving the primary goals of underwater researches is resulted.

Key words: the mobile underwater robot, hydrophysical researches, oceanography, independent networks.

<i>Sheinman E.L.</i> Criteria and Algorithms of the Efficiency Estimation of the Information Integration in Multichannel Information Processing System.....	14
---	----

The problem of the efficiency estimation of the information integration in multichannel information processing system is considered. The concept of a complex task of object detection (detection - classification - determination of position) for multichannel information processing system is determined, taking into account identification of signals, which have been detected in various information channels. Probabilistic criteria and analytical algorithms of the efficiency estimation of the complex task of object detection in multichannel information system are developed.

Key words: information integration efficiency, multichannel information processing system, efficiency criteria, identification of signals.

<i>Trusova O.I.</i> Program-methodical Data Analysis Complex in Tested Stationary Sonar Systems.....	25
--	----

The report considers a program-methodical analysis complex of data obtained in tests of stationary hydroacoustic systems. We consider a method for analyzing the characteristics of sonar signals, methods of analyzing the characteristics of reverberation and mode structure of the acoustic waveguide. Results of the analysis of experimental data of the high-frequency active sonar, held in shallow sea, are described.

Key words: sonar signals, reverberation, mode structure of waveguide, active sonar, methods of analyzing the characteristics, experimental data.

<i>Semenov N.N.</i> Detection of complex artificial object lying on the ground	36
--	----

Results of numerical modeling of a small-sized sonar are resulted at detection and estimation of parameters of the complicated artificial object lying at the bottom.

Key words: sonar, echosignal, bottom reflection, beam spread, interference.

<i>Sholokhov A.S.</i> Multichannel digital device for imitation of angular position of objects in complexes of half-scale modelling of hydroacoustic signals.....	44
---	----

Principles of construction of multichannel digital device are considered, allowing to model angular position of object of hydrolocation with use of electric channel of reception path of the test system. Device allows to expand opportunities of complexes of half-scale simulation, including multichannel electronic simulator of hydroacoustic signals, acoustical array and hydropool.

Key words: modelling, seminatural, the simulator, the shaper, time shift.

<i>Dernovsky V.L.</i> Simulation of vibration influence on image forming in schlieren visualizer of marine density inhomogeneities subject to finite size of light source.....	50
--	----

Simulation of image forming in autocollimating schlieren visualizer of marine density inhomogeneities, subject to vibration of hydrophysics apparatus carrier, is completed. Method of illumination field computing is brought. Illumination field is computed on the surface of the photodetector array, subject to inhomogeneities absence in viewing volume, for either coherent or incoherent light source.

Key words: schlieren device, simulation, vibration, image forming, finite size of light source.

<i>Vasiliev A.D., Tereshkin A.A.</i> Experimental research of the gravitational wave channel flow.....	59
--	----

This paper describes a research of wave and turbulent processes in the channel to the sudden destruction of bridges, which separates the initial time two liquids of different densities in the channel are made in the laboratory Department of fluid mechanics and marine acoustics of St. Petersburg State Marine Technical University. Processes taking place in the channel were recorded on a digital camera. The resulting video was divided into frames and the most interesting moments were represented. Evaluation of wave propagation velocity, the Reynolds number and Froude number was produced.

Key words: internal waves, stable and unstable stratification, visualization of the wave motion, the Boussinesq approximation.

УДК 681.88/89

© *Е.Л.Шейнман*¹
bell.sunny@yandex.ru

КРИТЕРИИ И АЛГОРИТМЫ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИИ В МНОГОКАНАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ

Определено понятие комплексной задачи обнаружения объекта (обнаружения-распознавания-определения координат) для многоканальной системы обработки информации с учетом идентификации сигналов, обнаруженных в различных информационных каналах. Разработаны вероятностные критерии и аналитические алгоритмы оценки эффективности решения комплексной задачи обнаружения объекта в многоканальной информационной системе.

Ключевые слова: эффективность комплексирования информации, многоканальная информационная система, критерии эффективности, идентификация сигналов.

Системы освещения подводной обстановки предназначены для поиска, обнаружения, сопровождения, распознавания и выработки данных о координатах всех объектов, находящихся в районе наблюдения. В настоящее время основной тенденцией развития средств подводного наблюдения стало объединение гидроакустических и гидрофизических источников (датчиков) информации и средств ее обработки в единую интегрированную систему, направленную на формирование полного информационного описания каждого обнаруженного объекта по данным всех средств наблюдения. Это позволяет повысить эффективность решения основных задач системы за счет расширения информативной базы при принятии решения.

Интегрированные системы подводного наблюдения (ИСПН) строятся как иерархические многоуровневые системы, верхний уровень которых (задачи отождествления – идентификации сигналов, обнаруженных в информативных каналах, оценки параметров и распознавания объектов) определяет требования к перечню и точности оценки информативных параметров, вырабатываемых на нижних уровнях иерархии [1].

Наличие многоканальности предъявляет особые требования к эффективному решению задач объединения информации, поступающей из различных информационных каналов системы. На верхнем уровне ИСПН производится идентификация сигналов объектов, обнаруженных в различных каналах системы, их комплексная нумерация, осуществляются комплексное распознавание объектов и комплексная оценка параметров.

Традиционно требование решения комплексной задачи обнаружения формулируется для отдельных каналов обнаружения. Под комплексной задачей обнаружения понимается сложное событие, состоящее из одновременного выполнения трех условий: обнаружения сигнала, отнесения источника сигнала к одному из классов заданного алфавита и определения текущих координат источника. В качестве критериев эффективности решения этих задач в отдельных каналах в настоящее время используются вероятностные критерии: вероятности правильного и ошибочного принятия решений, а также вероятности ложных тревог.

¹ ОАО «Концерн «Океанприбор», Санкт-Петербург

Понятие решения комплексной задачи для многоканальной системы обработки информации в настоящее время отсутствует. Однако это понятие является основополагающим для формирования структуры и алгоритмического облика перспективных ИСПН, а также для оценки эффективности принятых технических решений. С учетом этого в настоящей работе ставятся задачи определения понятия комплексной задачи обнаружения объектов в многоканальной системе обработки информации и разработки вероятностных критериев и аналитических алгоритмов оценки эффективности решения комплексной задачи обнаружения объектов в многоканальной информационной системе.

Предлагается следующее определение решения *комплексной задачи обнаружения объекта в многоканальной системе обработки информации*: «объект обнаружен, если обнаружен его сигнал хотя бы в одном из информационных каналов или в нескольких, выработан правильный класс объекта и получены оценки координат с заданной точностью». С учетом этого определения для многоканальной системы, кроме требований задач обнаружения сигнала в каналах, распознавания и оценки координат, появляются требования к задаче идентификации сигналов объектов, обнаруженных в различных информационных каналах системы.

Дополнительно введем понятие «комплексное обнаружение сигнала объекта», под которым понимается обнаружение сигнала объекта хотя бы в одном из информационных каналов или в нескольких и присвоение этому объекту комплексного номера.

В случае многоканальной системы, при наличии нескольких объектов, в результате идентификации сигналов объектов, обнаруженных в различных каналах, возможны следующие события:

- объект обнаружен и правильно проидентифицирован;
- объект обнаружен в нескольких информативных каналах, но отождествление сигналов объектов не произошло. Происходит одновременно правильное обнаружение объекта и появление ложных объектов;
- объекты обнаружены в различных каналах и произошло ошибочное отождествление сигналов разных объектов. В этом случае произошло ошибочное «слияние» разных объектов: одновременное обнаружение одного «совмещенного» объекта и пропуск других;
- объекты обнаружены в нескольких каналах и в части каналов произошло правильное отождествление сигналов, а для части – ошибочное (либо отождествление не произошло, либо произошло отождествление с другими объектами). Происходит одновременно правильное обнаружение объекта и либо появление ложных объектов, либо пропуск объектов.

Комплексное обнаружение сигнала объекта может быть как правильным, так и ошибочным. Под правильным комплексным обнаружением сигнала объекта понимается обнаружение сигнала объекта хотя бы в одном из информационных каналов, и правильная идентификация сигналов объекта в случае обнаружения их в нескольких каналах, или при отсутствии идентификации с объектами, или с этим же объектом, обнаруженным в других каналах. В этом случае объекту присваивается комплексный номер без ошибочной идентификации с другими объектами, т.е. рассматривается случай правильной работы с объектом, когда оценки координат и класс объекта вырабатываются по параметрам сигналов, принадлежащих только рассматриваемому объекту. При этом возможно отсутствие идентификации с обнаруженными в других каналах сигналами этого объекта и присвоение им других комплексных номеров. Тогда сигналы объекта, получившего комплексный номер, в одном из случаев можно считать обнаруженными, а остальные – ложными.

В ошибки комплексного обнаружения сигнала объекта входят:

- появление ложных объектов за счет ошибочного присвоения сигналам объекта, обнаруженным в разных каналах, разных комплексных номеров;
- ошибочное присвоение общего комплексного номера разным объектам;
- пропуск объекта;
- ошибочное обнаружение помехи, хотя бы в одном из каналов, и присвоение ей комплексного номера.

В понятие «комплексное обнаружение объекта» входят комплексное обнаружение сигнала объекта, выработка комплексного класса и комплексная оценка координат. Распознавание и оценки координат одного выделенного после идентификации объекта могут быть как правильными, так и ошибочными.

Объект считается обнаруженным, если произошло сложное событие, состоящее из одновременного выполнения трех условий: правильное комплексное обнаружение сигнала, правильное определение класса объекта и правильная оценка его координат (оценки координат равны точечным значениям или попадают в заданные интервалы значений). Особым случаем является ситуация, когда при «слиянии» разных объектов по одному из ошибочно проидентифицированных объектов вырабатываются правильные координаты и класс, характеризующие один из совмещенных объектов. Тогда этот объект можно считать обнаруженным, а другой, совмещенный с ним, – пропущенным.

Критерии оценки эффективности решения комплексной задачи обнаружения должны учитывать полную группу событий комплексной задачи: комплексное обнаружение, идентификацию сигналов объектов, обнаруженных в отдельных каналах, комплексное распознавание и комплексную оценку координат объекта.

Рассмотрим систему критериев, описывающих полную группу событий решения комплексной задачи обнаружения, для многоканальной и одноканальной систем обработки информации.

В качестве комплексных критериев предлагается использовать:

- вероятность правильного комплексного обнаружения объекта в зависимости от времени наблюдения, т.е. выполнения событий: обнаружения сигнала объекта, хотя бы в одном или нескольких информативных каналах, правильной идентификации сигналов, обнаруженных в нескольких каналах, правильной классификации, правильной оценки координат;
- вероятности «ложных тревог». Ложные тревоги обнаружения объектов включают в себя ошибочные оценки координат, ошибочные решения о классе, ошибочное обнаружение помехи, ошибочную идентификацию объектов;
- вероятности необнаружения объекта. Включают отсутствие обнаружения объекта, неправильное обнаружение объекта (ошибочные оценки координат, ошибочные решения о классе, ошибочная идентификация объекта) и отказ от принятия решений;
- средний риск ошибок обнаружения объектов, с априорным заданием «стоимостей» ошибочных решений, с учетом их важности.

Например. Ложная тревога обнаружения объекта класса А включает в себя событие: выработан класс А, при истинном классе объекта Б. Неправильное обнаружение объекта класса Б включает в себя отсутствие выработки класса Б для этого объекта.

Используются следующие частные критерии оценки эффективности:

- вероятность обнаружения сигнала объекта i -го класса в отдельном канале в зависимости от времени наблюдения;
- вероятность ложной тревоги обнаружения сигнала объекта в отдельном информационном канале, т.е. вероятность принять решение сигнал, если на входе имеется только помеха;

- вероятности идентификации сигналов, обнаруженных в различных каналах, в зависимости от времени наблюдения с учетом возможности обнаружения нескольких объектов в различных информативных каналах (включают в себя как вероятности правильной идентификации, так и вероятности ошибочной идентификации, которые можно рассматривать как «ложные тревоги» идентификации);
- вероятность правильного комплексного обнаружения сигнала объекта в зависимости от времени наблюдения;
- вероятности отнесения сигнала к одному из классов заданного алфавита (с учетом класса «помеха» и события «отказ от решения») в зависимости от времени наблюдения при условии, что сигнал объекта обнаружен (включают в себя как вероятности правильного распознавания, так и вероятности ошибочного распознавания и отказа, которые можно рассматривать как «ложные тревоги» распознавания);
- вероятности того, что оценки координат равны точечным значениям (или попадают в заданные интервалы значений) или имеется «отказ» от оценки координат обнаруженного объекта, в зависимости от времени наблюдения (включают в себя как вероятности правильной оценки координат, так и вероятности ложных тревог оценок координат и «отказа»);
- вероятности правильных и неправильных частных решений в зависимости от времени наблюдения (необнаружения сигнала, неправильного распознавания, неправильной оценки координат, неправильной идентификации);
- среднеквадратические ошибки определения координат объектов i -го класса в зависимости от времени наблюдения;
- критерии среднего риска в задачах обнаружения, идентификации, распознавания и оценки координат.

При этом частные вероятности решения этих отдельных задач можно рассматривать как условные вероятности, от которых зависят вероятности решения комплексной задачи обнаружения.

Рассмотрим задачу *разработки аналитических алгоритмов оценки эффективности комплексных алгоритмов принятия решения в многоканальной системе* обработки информации.

Предположим, что система обработки информации имеет M информационных каналов, каждый из которых потенциально может обнаруживать объекты заданного перечня классов, причем перечень классов для информационных каналов может различаться. В районе наблюдения в различных географических координатах находятся N объектов из заданного алфавита классов (n – номер объекта, k_n – класс n -го объекта).

Вероятность обнаружения в j -м канале сигнала n -го объекта ($P_{об,n,j}$) зависит от дистанции до этого объекта, от параметров объекта, зависящих от его класса, от сигнально-помеховой ситуации, а также от алгоритмов обработки, одним из которых является трассовый анализ, алгоритмы оценки эффективности которого рассмотрены в [2].

В многоканальной системе в каждый текущий момент времени одновременно могут быть включены M' каналов обнаружения ($m'=1, \dots, M'$ – перечень включенных каналов). Для тех каналов, которые отключены, все вероятности обнаружения равны 0, т.е. если $m \neq m'$, то $P_{об,n,j} = 0$. Кроме того, вероятность обнаружения в m -м канале сигнала n -го объекта приравнивается нулю, если дистанция до объекта превышает дальность обнаружения соответствующего канала и если объект имеет класс, не принадлежащий перечню классов, который данный канал может обнаружить.

Найдем вероятности обнаружения и пропуска сигнала одного объекта.

Учитывая, что при программировании в ряде случаев удобнее начинать отсчет элементов массивов от нуля, обозначим $J = M - 1$. Тогда вероятность пропуска (необна-

ружения) сигнала n -го объекта во всей многоканальной системе обработки информации равна: $P_{\text{НО } n,0} = \prod_{j=0}^J (1 - \text{Роб}_{n,j})$.

Вероятность обнаружения сигнала n -го объекта в L информационных каналах системы обработки запишется в виде:

$$\text{Роб}_{n,J,L} = \sum_{j_1=0}^{J-L+1} \sum_{j_2=j_1+1}^{J-L+2} \dots \sum_{j_L=j_{L-1}+1}^J \left\{ \prod_{S=1}^L \text{Роб}_{n,j_S} \cdot \prod_{\substack{r=0 \\ r \neq j_S}}^J (1 - \text{Роб}_{n,r}) \right\}.$$

Вероятность обнаружения сигнала n -го объекта хотя бы в одном из информационных каналов системы обработки равна:

$$\text{Роб}_{n,J} = 1 - \prod_{j=0}^J (1 - \text{Роб}_{n,j}) = \sum_{L=1}^{J+1} \left[\sum_{j_1=0}^{J-L+1} \sum_{j_2=j_1+1}^{J-L+2} \dots \sum_{j_L=j_{L-1}+1}^J \left\{ \prod_{S=1}^L \text{Роб}_{n,j_S} \cdot \prod_{\substack{r=0 \\ r \neq j_S}}^J (1 - \text{Роб}_{n,r}) \right\} \right],$$

где L – число каналов, в которых одновременно обнаружен n -й объект.

Одновременное обнаружение N объектов в различных информационных каналах системы можно рассматривать как независимые события. В отдельных каналах в ряде случаев имеется зависимость обнаружения от наличия сильных сигналов близко расположенных объектов. При этом зависимость вероятности обнаружения сигнала объектов, при наличии сильных мешающих сигналов, можно учесть в вероятностях обнаружения сигналов объектов каждого канала.

Вероятность одновременного обнаружения N объектов в многоканальной системе, каждый из которых обнаружен хотя бы в одном из каналов, равна произведению вероятностей обнаружения для независимых событий и имеет вид:

$$\text{Роб}_{N,J} = \prod_{n=0}^{N-1} \text{Роб}_{n,J} = \underbrace{\sum_{L_1=1}^{J+1} \sum_{j_{1,1}=0}^{J-L_1+1} \sum_{j_{1,2}=j_{1,1}+1}^{J-L_1+2} \dots \sum_{j_{L_1}=j_{L_1-1}+1}^J \dots \sum_{L_N=1}^{J+1} \sum_{j_{N,1}=0}^{J-L_N+1} \dots \sum_{j_{L_N}=j_{L_N-1}+1}^J}_{N} \left\{ \prod_{n=0}^{N-1} \left[\prod_{S=1}^{L_n} \text{Роб}_{n,j_{n,S_n}} \cdot \prod_{\substack{r=0 \\ r \neq j_{n,S_n}}}^J (1 - \text{Роб}_{n,r}) \right] \right\}.$$

Это выражение перебирает все возможные сочетания обнаружения сигналов N объектов в каналах. Вероятность каждого конкретного выбранного варианта обнаружения описывается выражением, записанным в фигурных скобках, при заданных значениях $L_n, n, \text{Роб}_{n,j_{n,r}}, j_{n,r}$.

Вероятность комплексного обнаружения сигнала объекта определяется вероятностями обнаружения сигнала и вероятностями идентификации.

При наличии только одного объекта возможны либо правильная идентификация объектов, обнаруженных в разных каналах, либо отсутствие идентификации, что означает появление ложных объектов. При этом в зависимости от числа информационных каналов M возможно появление различного числа ложных объектов, число которых меняется от 1 до $J = M - 1$.

Вероятность правильного комплексного обнаружения объекта ($P_{\text{Коб}}$) в системе при отсутствии появления ложных объектов можно записать в виде:

$$P_{\text{Коб } n,J} = \sum_{L=1}^{J+1} \left[\underbrace{\sum_{j_1=0}^{J-L+1} \sum_{j_2=j_1+1}^{J-L+2} \dots \sum_{j_L=j_{L-1}+1}^J}_{L} \left\{ \prod_{S=1}^L \text{Роб}_{n,j_S} \cdot \prod_{\substack{r=0 \\ r \neq j_S}}^J (1 - \text{Роб}_{n,r}) \cdot P_{\text{ИД } n, (j_1, j_2, \dots, j_L)} \right\} \right],$$

где $P_{\text{ид } n, (j_1, j_2, \dots, j_L)}$ – вероятности правильной идентификации всех сигналов n -го объекта, обнаруженных в тех каналах, которые определяются индексами суммирования. При наличии обнаружения объекта ($L = 1$) только в одном канале $P_{\text{ид}} = 1$.

Полная вероятность правильного комплексного обнаружения выше за счет того, что и при наличии ложных объектов рассматриваемый объект, тем не менее, обнаруживается и правильно идентифицируется в других информационных каналах. При этом за правильно обнаруженный объект будем принимать объект, сигналы которого правильно проидентифицировались в большинстве из каналов из тех, которые его обнаружили. Сигналы этого объекта в других каналах, в которых эти сигналы не были правильно идентифицированы, считаются ложными. Такой выбор обнаруженного объекта позволяет повысить эффективность комплексного распознавания и оценки его координат за счет использования большей информационной базы принятия решений.

Вероятность появления ложных объектов, число которых больше или равно 1, примет вид:

$$P_{\text{Коб } n, J} = \sum_{L=1}^{J+1} \left[\sum_{j_1=0}^{J-L+1} \sum_{j_2=j_1+1}^{J-L+2} \dots \sum_{j_L=j_{L-1}+1}^J \left\{ \prod_{S=1}^L P_{\text{об } n, j_S} \cdot \prod_{\substack{r=0 \\ r \neq j_S}}^J (1 - P_{\text{об } n, r}) \cdot [1 - P_{\text{ид } n, (j_1, j_2, \dots, j_L)}] \right\} \right].$$

Вероятность полного правильного комплексного обнаружения сигнала объекта при наличии или отсутствии ложных объектов запишется в виде:

$$P_{\text{Коб } n, J} = \sum_{L=1}^{J+1} \left[\sum_{j_1=0}^{J-L+1} \sum_{j_2=j_1+1}^{J-L+2} \dots \sum_{j_L=j_{L-1}+1}^J \left\{ \prod_{S=1}^L P_{\text{об } n, j_S} \cdot \prod_{\substack{r=0 \\ r \neq j_S}}^J (1 - P_{\text{об } n, r}) \cdot \sum_{i(j_S)}^{I_{j_S}} (P_{\text{ид } n, i(j_S)}) \right\} \right],$$

где i – вариант наличия и отсутствия идентификации сигналов разных каналов, для конкретного варианта обнаружения сигналов в S информационных каналах; I_{j_S} – число вариантов идентификации сигналов разных каналов, зависящее от конкретного варианта обнаружения сигналов в S информационных каналах; $P_{\text{ид } n, i(j_S)}$ – вероятность i -го варианта идентификации сигналов при обнаружении n -го объекта в S каналах.

Для вычисления вероятностей правильных и ошибочных комплексных решений об обнаружении сигналов объектов необходимо предварительно рассмотреть все возможные варианты этих решений, для которых и определить вероятности правильной и ошибочной идентификации. Аналогично для вычисления вероятностей обнаружения и идентификации сигналов нескольких объектов, целесообразно расчеты проводить для заранее заданных вариантов решений об идентификации $i(n, j_S)$, которые будут определяться как числом обнаруженных объектов, так и числом каналов, в которых они обнаруживаются.

Вероятность комплексного обнаружения N объектов равна:

$$P_{\text{об } N, J} = \prod_{n=0}^{N-1} P_{\text{об } n, J} = \sum_{L_1=1}^{J+1} \sum_{j_{1,1}=0}^{J-L_1+1} \sum_{j_{1,2}=j_{1,1}+1}^{J-L_1+2} \dots \sum_{j_{L_1}=j_{L_1-1}+1}^J \dots \sum_{L_N=1}^{J+1} \sum_{j_{N,1}=0}^{J-L_N+1} \dots \sum_{j_{L_N}=j_{L_N-1}+1}^J \left\{ \prod_{n=0}^{N-1} \left[\prod_{S_n=1}^{L_n} P_{\text{об } n, j_{n, S_n}} \cdot \prod_{\substack{r=0 \\ r \neq j_{n, S_n}}}^J (1 - P_{\text{об } n, r}) \cdot \sum_{i(n, j_S)}^{I(n, j_S)} (P_{\text{ид } n, i(n, j_S)}) \right] \right\}.$$

Для определения вероятности комплексного распознавания объектов в многоканальной системе обработки информации необходимо для каждого конкретного варианта обнаружения и идентификации объектов определить условные вероятности комплексного решения о классе.

Обозначим условную вероятность решения класса k для i -го варианта обнаружения и идентификации сигналов при обнаружении n -го объекта в S каналах системы как $P_{\text{Кл}}(k/n, i(j_S))$. Тогда вероятность одновременного комплексного обнаружения (с учетом идентификации) и комплексного распознавания для случая одного обнаруженного объекта принимает вид:

$$P_{\text{Кл}}(k/n, J) = \sum_{L=1}^{J+1} \left[\sum_{j_1=0}^{J-L+1} \sum_{j_2=j_1+1}^{J-L+2} \dots \sum_{j_L=j_{L-1}+1}^J \left\{ \prod_{S=1}^L P_{\text{об}}_{n,j_S} \cdot \prod_{r=0}^J (1 - P_{\text{об}}_{n,r}) \cdot \sum_{i(j_S)}^{I_{j_S}} [P_{\text{Ид}}_{n,i(j_S)} \cdot P_{\text{Кл}}(k/n, i(j)) \right] \right\} \right].$$

Наиболее часто при решении задач идентификации сигналов, обнаруженных в различных каналах, используются алгоритмы идентификации по параметрам [3]. В этих алгоритмах идентификация производится путем сравнения векторов параметров $\mathbf{X} = (X_1, X_2, \dots, X_L)$ обнаруженных объектов, поступающих из информационных каналов системы. Здесь X_l – оценка информативного параметра, используемого в алгоритме идентификации, $l = 1, \dots, L$; L – число информативных параметров, входящих в вектор \mathbf{X} .

Для каждого j -го и k -го объекта, обнаруженного соответственно в m -м и r -м каналах, определяются взаимные расстояния измерений:

$$\Delta \mathbf{X}_{(j,m),(k,r)} = (\mathbf{X}_{(j,m)} - \mathbf{X}_{(k,r)})^T [\mathbf{K}(\mathbf{X}_{(j,m)}) + \mathbf{K}(\mathbf{X}_{(k,r)})]^{-1} (\mathbf{X}_{(j,m)} - \mathbf{X}_{(k,r)}), j = 1, \dots, J, k = 1, \dots, K,$$

где J, K – число объектов, обнаруженных соответственно в m -м и r -м каналах. Решение, что объекты k_0 и j_0 , обнаруженные в разных каналах, принадлежат одному объекту, принимается, если расстояние между ними минимально и меньше порогового значения:

$\Delta \mathbf{X}_{(j_0,m),(k_0,r)} = \min_{j,k} (\Delta \mathbf{X}_{(j,m),(k,r)}) \leq \varepsilon$. $\Delta \mathbf{X}_{(j,m),(k,r)}$ – вектор, представляющий собой разность векторов информационных параметров $\mathbf{X}_{(j,m)}$ и $\mathbf{X}_{(k,r)}$, выработанных в каналах m и r , по которым проводится идентификация; $\mathbf{K}(\mathbf{X}_{(j,m)}), \mathbf{K}(\mathbf{X}_{(k,r)})$ – соответствующие корреляционные матрицы векторов параметров; ε – задаваемое пороговое значение.

При наличии в системе M информационных каналов проидентифицированным считается объект, обнаруженный в m -м канале, если он проидентифицировался хотя бы с одним объектом, обнаруженным в одном из $M - 1$ остальных каналов.

Алгоритмы определения вероятности идентификации объектов в двухканальной и многоканальной информационной системе разработаны в [4, 5].

В качестве примера таких алгоритмов приведем аналитические выражения для оценки вероятностей правильной и ложной идентификации объектов, обнаруженных в двухканальной системе, для произвольного числа объектов и произвольного числа используемых параметров.

Вероятность идентификации j_0 -го и k_0 -го объекта имеет вид:

$$P(j_0 \cap k_0) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \dots \int_{-\infty}^{\infty} p(\mathbf{X}_{(k_0,r)}) \cdot \left\{ \int_{\Delta \mathbf{X}_{(j_0,m),(k_0,r)} < \varepsilon}^{X_{(j_0,m)}} p(\mathbf{X}_{(j_0,m)}) \cdot \left(\prod_{\substack{j=1 \\ j \neq j_0}}^J \left[\int_{\Delta \mathbf{X}_{(k_0,r),(j,m)} > \Delta \mathbf{X}_{(k_0,r),(j_0,m)}}^{X_{(j,m)}} p(\mathbf{X}_{(j,m)}) d\mathbf{X}_{(j,m)} \right] \cdot \prod_{\substack{k=1 \\ k \neq k_0}}^K \left[\int_{\Delta \mathbf{X}_{(j_0,m),(k,r)} > \Delta \mathbf{X}_{(k_0,r),(j_0,m)}}^{X_{(k,r)}} p(\mathbf{X}_{(k,r)}) d\mathbf{X}_{(k,r)} \right] d\mathbf{X}_{(j_0,m)} \right\} d\mathbf{X}_{(k_0,r)},$$

где $p(\mathbf{X}_{(j,m)}) = p(X_{1(j,m)}, \dots, X_{l(j,m)}, \dots, X_{L(j,m)})$ – совместная плотность распределения L параметров вектора \mathbf{X} , измеренных для j -го объекта в m -м канале.

Вероятность того, что объект k_0 получит отдельный номер, равна:

$$P(k_0) = 1 - \sum_{j=1}^J P(k_0 \cap j).$$

При совпадающих математических ожиданиях информационных параметров объектов, обнаруженных в разных каналах, или при известном смещении оценок параметров, эти выражения дают оценки вероятностей правильной идентификации, в противном случае это вероятности ложной идентификации при наличии нескольких объектов, параметры которых отстают на заданные расстояния.

Рассмотрим *аналитические алгоритмы оценки вероятностей идентификации* определенных выбранных в каналах сигналов, обнаруженных в M информационных каналах. Вероятность идентификации объектов с номерами $i_{m_1}, i_{m_2}, i_{m_3}, \dots, i_M$, обнаруженных соответственно в каналах m_1, m_2, \dots, M , в каждом из которых имеется хотя бы один объект, записывается в виде:

$$p_{m_1, m_2, \dots, M}(i_{m_1} \cap i_{m_2} \cap \dots \cap i_M) = \prod_{m=2}^M \left\{ \sum_{k=1}^{m-1} (-1)^{k+1} \sum_{\eta_1=1}^{m-k} \sum_{\eta_2=\eta_1+1}^{m-k+1} \dots \sum_{\eta_k=\eta_{k-1}+1}^{m-1} \left[\prod_{j=1}^k p_{r_j, m}(i_{m_{r_j}} \cap i_m) \right] \right\},$$

где i_m – номер объекта, обнаруженного в m -м канале; $p_{m_1, m_2}[(i_{m_1}) \cap (i_{m_2})]$ – вероятность идентификации объекта i_{m_1} , обнаруженного в канале m_1 и объекта i_{m_2} , обнаруженного в канале m_2 ; J_m – число объектов, обнаруженных в канале m .

Вероятность того, что объект i_{m_1} получит отдельный номер при наличии m каналов, равна: $p_{m_1, m_2, \dots, M}(i_{m_1}) = \prod_{m=2}^M \left[1 - \sum_{i_m=1}^{J_m} p_{m_1, m}(i_{m_1} \cap i_m) \right]$.

Вероятность идентификации выбранных конкретных объектов в L каналах и при отсутствии идентификации с объектами $L+1$ канала равна:

$$p_{m_1, m_2, \dots, L+1}(i_{m_1} \cap i_{m_2} \cap \dots \cap i_L) = p_{m_1, m_2, \dots, L}(i_{m_1} \cap i_{m_2} \cap \dots \cap i_L) \cdot \prod_{m=1}^L \left[1 - \sum_{i_{L+1}=1}^{J_{L+1}} p_{m, L+1}(i_m \cap i_{L+1}) \right].$$

Для оценки эффективности алгоритмов идентификации при наличии нескольких объектов необходимо анализировать полную группу событий вариантов одновременной идентификации разных сигналов объектов, обнаруженных в каналах, т.е. необходимо одновременно рассматривать вероятности комплексного обнаружения нескольких объектов.

Условная вероятность правильной идентификации нескольких обнаруженных в различных каналах сигналов объектов (для различных ситуаций обнаружения) определяется по формуле полной вероятности зависимых событий:

$$P_{\text{ид}}[A_1 \cap A_2 \cap \dots \cap A_m] = P_{\text{ид}}[A_1] \cdot P_{\text{ид}}[A_2 / A_1] \cdot P_{\text{ид}}[A_3 / A_1 A_2] \cdot \dots \cdot P_{\text{ид}}[A_m / A_1 A_2 \dots A_{m-1}],$$

где A_m – событие: отождествление выбранных в каналах сигналов объектов для m -го объекта; $P_{\text{ид}}[A_{m1} / A_{m2}]$ – вероятность отождествления выбранных сигналов объекта для m_1 -го объекта при условии, что произошло отождествление выбранных сигналов для m_2 -го объекта.

Алгоритмы оценки эффективности распознавания объектов зависят от выбора алгоритмов комплексирования информации в системе и от выбора алгоритмов распозна-

вания. В настоящее время существуют различные подходы и методы объединения решений [6, 7]:

- вероятностные подходы, основанные на каноническом правиле Байеса и его различных упрощениях;
- группа методов объединения решений, использующих кооперацию классификаторов на уровне мета-данных;
- группа методов, основанных на понятии области компетентности классификаторов и использовании процедур, позволяющих оценивать компетентность классификаторов по отношению к каждому входу системы классификации;
- методы объединения решений, основанные на применении нейросетевых технологий.

В гидроакустических системах подводного наблюдения в основном используются вероятностные методы принятия решений, правила голосования и логические алгоритмы. Аналитические алгоритмы оценки эффективности этих методов принятия решений разрабатывались в [8, 9]. Приведем алгоритмы определения вероятностей распознавания для некоторых из них. Рассмотрим:

- байесовский алгоритм, в котором решение принимается по максимуму апостериорной вероятности решений, превышающему заданное пороговое значение;
- пороговые алгоритмы, в которых оценка параметра принадлежит области, характерной для класса;
- правило большинства голосов;
- логические алгоритмы принятия решений.

В байесовском алгоритме распознавания решение о классе принимается при превышении максимальной апостериорной вероятностью класса заданного порогового значения $P(\omega_j) > P_{\text{пор}}$, иначе вырабатывается «отказ» от решения. Апостериорная вероятность класса ω_j по совместной плотности распределения K параметров имеет следующий вид:

$$P(\omega_j / X_1, \dots, X_k) = \frac{P(\omega_j) * P(X_1, \dots, X_k / \omega_j)}{\sum_{i=1, J} [P(\omega_i) * P(X_1, \dots, X_k / \omega_i)]},$$

где X_k – k -й параметр; J – число классов;

$P(\omega_j)$ – априорная вероятность появления ω_j -го класса, $P(X_1, \dots, X_k / \omega_j)$ – априорная совместная плотность распределения параметров X_1, \dots, X_k при истинном классе – ω_j .

Вероятность решения для байесовского алгоритма по максимуму апостериорной вероятности решений, превышающему заданное пороговое значение, ищется в зависимости от априорных вероятностей решения по параметрам, используемым в этом алгоритме, с учетом точностей их измерения. Априорные вероятности распознавания по векторам параметров X_n определяются при заданных ограничениях на апостериорную вероятность решения. Априорные вероятности распознавания i -го класса по n -мерному вектору $\mathbf{X}=(X_1, \dots, X_n)$ при условии, что обнаруженный сигнал принадлежит i -му классу, имеют вид:

$$P(W_x = I / i) = \int_{X_1, \dots, X_n \in Q_n} P(X_1, \dots, X_n / i) dx_1 \dots dx_n,$$

где n – число параметров, используемых при распознавании, определяет размерность интеграла, необходимую для получения вероятности решения; $P(X_1, \dots, X_n / i)$ – совместная условная плотность распределения параметров объекта i -го класса. Для независимых переменных она равна произведению плотностей распределения: $P(X_1, \dots, X_n / i) = P(X_1 / i) \cdot P(X_2 / i) \cdot \dots \cdot P(X_n / i)$; Q_n – область интегрирования, определенная заданными условиями на апостериорную вероятность распознавания.

При этом учитывается возможность ошибочного задания в алгоритме вида плотностей распределения. Это позволяет, при появлении дополнительной информации о законах распределения параметров, оценить влияние на эффективность распознавания априорных гипотез о заданных плотностях распределения. Для этого: интегрирование проводится по $P(X_1, \dots, X_n / i)$ (истинной совместной условной плотности распределения параметров объекта i -го класса) и задаются условия на апостериорную вероятность класса i_0 , полученную по плотности распределения параметра, заданной в алгоритме $P_{\text{зад}}(X_1, \dots, X_n / i)$. Эта плотность распределения в общем случае может не совпадать с истинной плотностью распределения параметров.

Условия на апостериорную вероятность решения задаются следующим образом: $P(W_{i_0} / X_1, \dots, X_n) = \max_i P(W_i / X_1, \dots, X_n)$, $P(W_{i_0} / X_1, \dots, X_n) > P_{\text{пор}}$, где $P_{\text{пор}}$ - задаваемое пороговое значение апостериорной вероятности, $P(W_i / X_1, \dots, X_n)$ - апостериорные вероятности решения о классе.

Для решающего правила «оценка параметра принадлежит области, характерной для класса», вероятность решения по отдельному j -му параметру, определяется по формуле: $P(\omega_{x_j} = I / i) = \int_{\Omega_{ji}} p(X_j / i) dX_j$, где $P(X_j / i)$ – плотность распределения j -го параметра i -го класса; Ω_{ji} – область значений параметра X_j , характерная для класса i ; ω_{x_j} – решение о классе по параметру X_j ; I – номер класса.

Правило строгого большинства голосов при многоклассовом распознавании формулируется следующим образом: $n_k - n_j > 0, \forall j \neq k$ – «класс k », $n_k = n_j, k \neq j$ – «отказ». Здесь n_k – число голосов в пользу k -го класса, $k = 1, \dots, K$. Вероятность группового решения при использовании правила большинства голосов можно получить, используя правила сложения и умножения вероятностей независимых событий, в качестве которых рассматриваются решения о классе, принятые каждым голосующим. Можно показать, что вероятность решения «класс 1» по правилу большинства голосов имеет вид [9]:

$$P = \sum_{\substack{N_1=0 \\ N_0 < N \\ (N_0=N-1)}}^{N_0} \left(\sum_{\substack{i=1, \dots, N_1 \\ k_1^1=1}}^{N-N_1+i} Q_{N_1} \prod_{\substack{j=1 \\ j \neq k_1^1}}^{N_1} p_j^1 \right), \quad Q_{N_1} = \sum_{\substack{N_2=0 \\ N_1-N_2 < N-N_2}}^{N_1} \left(\sum_{\substack{i=1, \dots, N_2 \\ k_1^2=1}}^{N_1-N_2+i} Q_{N_2} \prod_{\substack{j=1 \\ j \neq k_1^1}}^{N_1} p_{k_j^1}^2 \right), \dots$$

$$\dots Q_{N_{l-1}} = \sum_{\substack{N_l=0 \\ N_{l-1}-N_l < N-N_l}}^{N_{l-1}} \left(\sum_{\substack{i=1, \dots, N_l \\ k_1^l=1}}^{N_{l-1}-N_l+i} Q_{N_l} \prod_{\substack{j=1 \\ j \neq k_1^1}}^{N_{l-1}} p_{k_j^l}^l \right), \quad Q_{N_l} = \prod_{j=1}^{N_l} p_{k_j^l}^0,$$

где p_j^1, p_j^0 – вероятности принять решение «класс l », «отказ» j -м голосующим, $l = 1, \dots, K, N$ – полное число голосующих, N_l – число голосующих, не проголосовавших за 1, 2, ..., l класс, $\sum_{k_1^l=k_{l-1}^l+1}^{N_{l-1}-N_l+i} \sum_{k_2^l=k_1^l+1}^{N_{l-1}-N_l+1} \dots \sum_{k_{N_l}^l=k_{N_l-1}^l+1}^{N_{l-1}-N_l+N_l}$ – сумма по мультииндексу k_i^l ,

характеризующая перебор всевозможных сочетаний голосующих.

Для определения вероятностей решения по логическим алгоритмам событие, вероятность которого требуется определить, формализуется с помощью алгебры событий, т.е. представляется в виде сумм и произведений отдельных событий. Вероятности решения каждого отдельного события (принятия решения по отдельному параметру, совокупности параметров или совокупности решений) определяются по алгоритмам, описанным выше. Вероятность решения по логическому алгоритму определяется после его формализации с помощью алгебры событий по теореме сложения и умножения вероятностей. При этом учитывается наличие зависимых событий.

В статье рассмотрена задача оценки эффективности алгоритмов комплексирования информации в многоканальной информационной системе, направленных на решение комплексной задачи обнаружения.

Определено понятие комплексной задачи обнаружения объектов для многоканальной системы обработки информации. Введено понятие комплексного обнаружения сигнала объекта.

Показано, что в случае многоканальной системы при наличии нескольких объектов возможно как появление ложных объектов, так и пропуск объектов, обнаруженных в каналах системы, за счет ошибочной идентификации сигналов объектов.

Разработаны комплексные и частные критерии оценки эффективности комплексной задачи обнаружения в многоканальной информационной системе, представляющие собой полную группу событий.

Разработаны аналитические алгоритмы оценки эффективности решения задач комплексирования информации в многоканальной системе обработки: комплексной задачи обнаружения объекта, идентификации сигналов объектов, обнаруженных в нескольких информационных каналах, комплексного обнаружения сигнала и комплексного распознавания.

Приведенные в статье алгоритмы оценки эффективности используются в настоящее время при проектировании многоканальных гидроакустических комплексов и интегрированных систем подводного наблюдения.

Литература

1. Хагабанов С.М., Шейнман Е.Л. Интеграция информации и управление системами освещения обстановки при мониторинге Мирового океана // Тр. 7-й междуна. конф. «Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики». СПб.: Наука, 2004. С.69-73.
2. Нерославский Б.Л., Щеголева Н.Л. Вероятность ошибочных решений при идентификации трасс целей // Сб. «Гидроакустика». 2003. № 4. С.66-72
3. Жандаров А.М. Идентификация и фильтрация измерений состояния стохастических систем // Главная редакция физико-математической литературы. М.: Наука, 1979.
4. Шейнман Е.Л. Алгоритмы оценки эффективности идентификации сигналов в многоканальной информационной системе // Сб. «Гидроакустика». СПб.: Наука, 2006. № 6. С.44-48.
5. Богатырева И.В., Шейнман Е.Л. Оценка эффективности многопараметрического алгоритма отождествления сигналов в двухканальной информационной системе // Тр. Всерос. науч. конф. «Управление и информационные технологии». СПб., 2003. Т.2. С.69-73.
6. Городецкий В.Г., Серебряков С.В. Методы и алгоритмы коллективного распознавания: обзор // Труды СПИИРАН. Т.1. СПб.: Наука, 2006. № 3. С.139-171.
7. Gorodetski V., Karsayev O., Kotenko I., Samoilov V. Multi-Agent Information Fusion: Methodology, Architecture and Software Tool for Learning of Object and Situation Assessment // The 7-th International Conference on Information Fusion. Proceedings. Stockholm, Sweden. June 28 - July 1, 2004. P.346-353.
8. Касинов О.А., Шейнман Е.Л. Эффективность комплексной классификации объектов в многоканальной системе обработки информации // Тр. 7-й междуна. конф. «Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики». СПб.: Наука, 2004. С.417-421.
9. Шейнман Е.Л., Ануфриева Е.А. Анализ эффективности алгоритмов голосования при распознавании морских объектов в многоканальных информационных системах // Тр. 6-й междуна. конф. и выставки по морским интеллектуальным технологиям. СПб., 2005. С.338-341.

Статья поступила в редакцию 07.11.2007 г.

