

РЕФЕРАТЫ

УДК 551.46.077:629.584

DOI: 10.37102/24094609.2020.33.3.001

Ключевые слова: гидроакустические навигационные системы, подводные аппараты, гидроакустические маяки, псевдослучайные сигналы, М-последовательности, приемо-излучающие устройства.

Матвиенко Ю.В., Бурдинский И.Н. ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГИДРОАКУСТИЧЕСКОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ БОЛЬШОЙ ДАЛЬНОСТИ ДЛЯ АВТОНОМНЫХ ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ // Подводные исследования и робототехника. 2020. № 3 (33). С. 4–10.

Гидроакустические навигационные системы большой дальности действия (ГАНС БД) предназначены для высокоточного определения местоположения АНПА, выполняющих длительные миссии при значительных удалениях (до 500 км) от приемо-передающих устройств. Создание таких систем связано с выбором структуры сложных сигналов при использовании гидроакустических маяков или излучателей, стационарно размещенных в прибрежной полосе вдали от района нахождения объекта навигации. На основе классического уравнения дальности гидроакустики решается оптимизационная задача, состоящая в определении точностных и энергетических характеристик М-последовательностей различной длины и отношении сигнал/шум в зависимости от уровня излучения сигналов. Путем сравнительного анализа известных методов построения дальномерных навигационных систем большой дальности получены оценки достижимых отношений сигнал/шум при различных вариантах построения схемы обработки для М-последовательностей различной длины. По экспериментальным данным рассчитываются отношения сигнал/шум в точке приема сигналов при различных дальностях и типах сигналов. Показано, что оптимизация энергетических характеристик ГАНС БД, а также трактов приема и обработки сигналов достигается при использовании М-последовательностей средней длины ($M = 127$).

УДК 004.932.2

DOI: 10.37102/24094609.2020.33.3.002

Ключевые слова: пространственная реконструкция, динамический объект, точечная модель, 3D облако, идентификация объектов, метод визуальной навигации.

Бобков В.А., Кудряшов А.П. ПРОСТРАНСТВЕННАЯ РЕКОНСТРУКЦИЯ ОБЪЕКТОВ В ДИНАМИЧЕСКОЙ СЦЕНЕ ПО ВИДЕОПОТОКУ // Подводные исследования и робототехника. 2020. № 3 (33). С. 11–17.

Представлен метод 3D реконструкции объектов в динамической сцене в рамках общего подхода к решению проблемы восстановления структуры и движения по изображениям. Подход в целом основывается на точечном представлении объектов и применении метода визуальной одометрии для расчета движения динамических объектов по стереовидеопотоку. На этапе подготовки входных данных для метода реконструкции выполняются идентификация динамических объектов и вычисление траекторий их движения. Согласно предлагаемому методу 3D модель динамического объекта строится посредством объединения его видов, получаемых из разных позиций камеры. Проведенные эксперименты с виртуальными сценами подтвердили работоспособность предложенных алгоритмов.

УДК 004.896+629.58+001.891.57

DOI: 10.37102/24094609.2020.33.3.003

Ключевые слова: автономный необитаемый подводный аппарат (АНПА), построение трехмерной модели объекта, точная навигационная привязка к объекту, фотосъемка заданных фрагментов объекта.

Инзарцев А.В., Панин М.А., Бобков В.А. АЛГОРИТМЫ ИНСПЕКЦИИ ЛОКАЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ ДОННОГО ПРОМЫШЛЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ АНПА // Подводные исследования и робототехника. 2020. № 3 (33). С. 18–30.

АНПА могут быть применены для автоматизированной инспекции объектов подводных добычных комплексов. При наличии априорной информации об объекте (его модели) целью обследования может быть детальная фотосъемка заданных фрагментов объекта. Для выхода АНПА к этим фрагментам используются алгоритмы точной навигационной привязки к объекту на базе анализа последовательности стереоизображений и имеющейся информации о расположении характерных точек объекта. В случае отсутствия априорной информации целью обследования может быть построение детальной 3D модели объекта (с помощью лазерного сканера или многолучевого эхолотатора). Для этого АНПА производит первоначальное обнаружение (локализацию) объекта. Далее его траектория формируется динамически от одной видовой позиции к другой по мере поступления новой информации об объекте. В качестве критерия при выборе очередной видовой позиции используется оценка ее информативности (т.е. объем получаемой новой информации об объекте). Итоговая модель объекта формируется по собранной информации с использованием методов фотограмметрии. В работе рассматриваются подходы и алгоритмы, которые могут быть использованы при обследовании объектов для этих двух случаев.

УДК 534.21:519.22

DOI: 10.37102/24094609.2020.33.3.004

Ключевые слова: гидроакустический канал, весовые коэффициенты, дисперсия, несмещенная оценка с минимальной дисперсией, псевдослучайная последовательность, импульсная характеристика.

Пахомов С.А., Шостак С.В. КОМПЕНСАЦИЯ ВЛИЯНИЯ КАНАЛА РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЗВУКА В ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ // Подводные исследования и робототехника. 2020. № 3 (33). С. 31–35.

Состояние гидроакустического канала распространения звука зависит от множества случайных факторов среды. Для учета влияния такого канала на передаваемый сигнал может использоваться метод линейной фильтрации, в рамках которого канал представляется в виде линейной инвариантной системы с аддитивным гауссовским шумом, где связь между сигналами на входе и выходе описывается импульсной характеристикой. Необходимыми условиями эффективности применения данного метода являются выбор входного сигнала и оценка весовых коэффициентов используемой системы, что в работе выполнено на основе теоремы Гаусса–Маркова. При решении задачи получены несмещенные оценки с минимальной дисперсией, в том числе для случая применения в качестве входного сигнала псевдослучайной последовательности. Предложен метод компенсации влияния канала с учетом знания его импульсной характеристики, позволяющий уменьшать уровень шумовой составляющей.

УДК 534.231

DOI: 10.37102/24094609.2020.33.3.005

Ключевые слова: акустика мелкого моря, векторный приемник, продольные и поперечные волны, рефракция продольных волн, трехкомпонентный геофон.

Щуров В.А., Щеглов С.Г., Буренин А.В., Ткаченко Е.С. ЭФФЕКТЫ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПОДВОДНОГО НИЗКОЧАСТОТНОГО ЗВУКА ЧЕРЕЗ МАТЕРИКОВЫЙ БАРЬЕР // Подводные исследования и робототехника. 2020. № 3 (33). С. 36–45.

Обнаружены и исследованы подводный и донный низкочастотные акустические сигналы (400 Гц) от подводного источника излучения, расположенного относительно приемной системы по другую сторону перешейка мыса Шульца. Приемная система состояла из трехкомпонентного донного геофона и приемной акустической комбинированной системы, расположенной в толще волновода на глубине 9 м. Кратчайшее расстояние между источником и приемником через материковый барьер составляет ~ 1000 м. Азимутальный угол прихода сигнала продольных волн совпадает с геоме-

трической линией, соединяющей источник и приемник. Прием поперечной и продольной волн осуществляется по различным ортогональным осям координат геофона. Направление прихода продольной волны в точку измерения близко к горизонтальному. Наличие поперечной волны в донном грунте позволяет предположить, что дно волновода представляет собой твердую жесткую поверхность.

УДК 534.6, 534.23

DOI: 10.37102/24094609.2020.33.3.006

Ключевые слова: комбинированный приемник, помехоустойчивость, инфразвук, спектральная обработка сигналов, взаимно – корреляционная обработка сигналов.

Касаткин Б.А., Касаткин С.Б., Косарев Г.В. ПРОСТРАНСТВЕННО-ЧАСТОТНАЯ И ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ СТРУКТУРА ЗВУКОВОГО ПОЛЯ В СКАЛЯРНО-ВЕКТОРНОМ ОПИСАНИИ // Подводные исследования и робототехника. 2020. № 3 (33). С. 46–57.

Рассматриваются особенности работы гидроакустических комбинированных приемников, образующих вертикально ориентированную антенну, в мелком море в инфразвуковом диапазоне частот. Данное исследование связано с решением проблемы определения координат и параметров движения определенной цели путем активно-пассивной локализации и измерения характеристик наблюдаемого при этом поля шумов. Актуальность представляет анализ пространственно-частотной и пространственно-временной структуры звукового поля. Для проведения эксперимента использовался НИС «Юрий Молоков», буксирующий низкочастотный излучатель ЛЧМ-сигналов. Пространственно-частотная структура звукового поля исследуется путем спектрального анализа дискретных составляющих вально-лопастного звукокоряда буксирующего судна в диапазоне частот 1–20 Гц. Исследование пространственно-временной структуры поля производится путем корреляционной обработки ЛЧМ сигналов на апертуре вертикально ориентированной антенны в диапазоне частот 30–60 Гц. Результаты спектральной обработки принятых сигналов позволяют получить оценки помехоустойчивости комбинированного приемника, причем повышенная помехоустойчивость реализуется при использовании полного набора из 16 информативных параметров, характеризующих энергетическую структуру звукового поля. Это в итоге позволяет исследовать вертикальную структуру звукового поля и произвести идентификацию формирующих его нормальных волн. Из полученных результатов корреляционной обработки сложных ЛЧМ-сигналов выте-

кают также оценки пространственно-временной структуры звукового поля и коэффициентов корреляции на апертуре вертикально ориентированной антенны в различных каналах комбинированных приемников.

УДК 534.222

DOI: 10.37102/24094609.2020.33.3.007

Ключевые слова: звукоподводная навигация, скорость звука, автономный подводный аппарат, подводный звуковой канал, сложные фазоманипулированные сигналы.

Буренин А.В., Войтенко Е.А., Голов А.А., Лебедев М.С., Моргунов Ю.Н. ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ИМПУЛЬСНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОЛНОВОДОВ ОТ ПАРАМЕТРОВ ИЗЛУЧАЕМЫХ ФАЗОМАНИПУЛИРОВАННЫХ СИГНАЛОВ ПРИ ДАЛЬНЕМ РАСПРОСТРАНЕНИИ В ЯПОНСКОМ МОРЕ // Подводные исследования и робототехника. 2020. № 3 (33). С. 58–62.

Применение фазоманипулированных сигналов на базе последовательностей с исключительными корреляционными свойствами является одним из ключевых методов решения практических задач в подводной навигации, связи и томографии. В статье обсуждаются результаты исследований по распространению и приему широкополосных импульсных сигналов на основе псевдослучайных M-последовательностей. Исследованы особенности формирования импульсных откликов при приеме сигналов с различной частотной полосой и длительностью символов. Сделан практический вывод о необходимости комплексного применения различных по длительности символов навигационных сигналов при решении задач позиционирования автономных подводных аппаратов.

УДК 550.84: 549.905

DOI: 10.37102/24094609.2020.33.3.008

Ключевые слова: газогидраты, подводное газогидратообразование, природные факторы, термобарические условия, термодинамическая стабильность, закономерность распространения, моря Восточной Азии.

Шакирова М.В., Обжиров А.И., Соколова Н.Л., Телегин Ю.А., Шакиров Р.Б. ОСОБЕННОСТИ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ПОДВОДНЫХ ГАЗОГИДРАТОВ И ИХ РЕСУРСОВ В МОРЯХ ВОСТОЧНОЙ АЗИИ // Подводные исследования и робототехника. 2020. № 3 (33). С. 63–71.

Рассматривается распространение подводных газогидратов как результат взаимодействия различных природных факторов, действующих в придонной толще осадочных пород и водных слоях морей Восточной Азии. В работе определены факторы, причинно-след-

ственные связи между ними, выявлены наиболее значимые условия, способствующие образованию подводных газогидратов. На основе карт распространения природных факторов в исследуемых морях с помощью ГИС-моделирования определены наиболее перспективные и вероятные газогидратоносные акватории. Изучение газогидратов важно не только для использования их как альтернативного вида углеводородного сырья, но и при инженерных работах на дне морей. В районе газогидратов происходит нарушения поверхности дна, так как газогидраты разрушаются при повышении температуры и (или) снижении давления. При этом важно использовать возможности подводных робототехнических средств для исследований газогидратов и окружающей среды.

ABSTRACTS

Key words: underwater acoustic navigation systems, underwater vehicles, underwater acoustic beacons, pseudorandom signals, M-sequences, underwater acoustic transducers.

Matvienko Yu.V., Burdinskiy I.N. ENERGETIC CHARACTERISTICS OF LONG-RANGE UNDERWATER ACOUSTIC NAVIGATION SYSTEM FOR AUTONOMOUS UNDERWATER VEHICLES // Underwater Investigation and Robotics. 2020. No. 3 (33). P. 4–10.

Long-range underwater acoustic navigation systems (LR UANS) are used for high-precision positioning of AUVs during longstanding missions at significant distances (up to 500 km) from reference transceiver devices. The development of such systems involves the selection of the structure of composite signals when using underwater acoustic beacons or transceivers stationary located in a coastal zone far apart from the object of navigation. Based on the classic equation of the underwater acoustic range, it is possible to solve an optimization task, which involves accuracy and energy characterization of M-sequences of different lengths and evaluation of signal-to-noise ratio with respect to emitting signals level. By comparative analysis of the known approaches to the design of long-range circular navigation systems, some estimates of achievable signal-to-noise ratio values were acquired for different techniques of processing the M-sequences of different lengths. According to the experimental data, signal-to-noise ratios in the reception point were calculated for different ranges and signal types. It is shown that the optimization of energetic characteristics of LR UANS along with paths circuits of signal reception and processing is achieved when using M-sequences of medium length ($M = 127$).

Key words: three-dimensional reconstruction, dynamic object, point model, three-dimensional cloud, object identification, visual navigation method.

Bobkov V.A. Kudryashov A.P. THREE-DIMENSIONAL RECONSTRUCTION OF OBJECTS IN A DYNAMIC SCENE ON VIDEO STREAM // Underwater Investigation and Robotics. 2020. No. 3 (33). P. 11–17.

The article presents the method of three-dimensional reconstruction of objects on a dynamic scene in the framework of a common approach to solving the problem of restoring the structure and motion by images. In general, the proposed approach is based on point representation of the object and utilization of the visual odometry method to calculate the motion of dynamic objects by stereo video stream. The stage of preparation of input data for the reconstruction method consists of the identification of dynamic objects and calculating trajectories of its motion. According to the proposed method, the 3D model of a dynamic object is reconstructed by combining its views received from different camera positions. Conducted experimental research with virtual scenes proved the performance capabilities of proposed algorithms.

Key words: autonomous underwater vehicle (AUV), three-dimensional model construction, a precise navigational reference to an object, photographing specified fragments of the object.

Inzartsev A.V., Panin M.A., Bobkov V.A. ALGORITHMS OF SEAFLOOR INDUSTRIAL MACHINERY INSPECTION USING AUV // Underwater Investigation and Robotics. 2020. No. 3 (33). P. 18–30.

Autonomous underwater vehicles (AUV) can be used for automatized inspection of the objects of marine mining complexes. If a priori information about the object (or its model) is available, the examination can be aimed at detailed photographing the given fragments of the object. Routing AUV to these fragments relies on algorithms of precise navigation referencing to the object based on analysis of the sequence of stereo images and available information about specific points of the object. In case of the necessary information absence, the inspection may target the goal of building the detailed 3D model of the object (using a laser scanner or multibeam echosounder). In that case, AUV performs the initial detection (localization) of the object at first. Then its motion trajectory is generated dynamically from one view position to another as new information about the object becomes available. A criterion of the viewing position selection used is its informational value (i.e., the amount of further information received

about the object). The final model is built using gathered information processed with methods of photogrammetry. The paper considers approaches and algorithms applicable for object inspection in two above described cases.

Key words. underwater acoustic channel, weight coefficients, dispersion, minimum variance unbiased estimate, pseudorandom sequence, impulse response.

Pakhomov S.A., Shostak S.V. COMPENSATION OF THE EFFECTS OF SOUND PROPAGATION CHANNEL IN UNDERWATER ACOUSTIC SYSTEMS // Underwater Investigation and Robotics. 2020. No. 3 (33). P. 31–35.

The state of the underwater acoustic channel depends on a variety of random factors of the media. Estimation of the influence of such channel on the transmitting signal can be performed by the method of linear filtration. It considers channel as a linear non-variant system with additive Gaussian noise, where the relation between input and output signals is described by impulse response. The necessary condition of efficient implementation of this method is the selection of valid input signals and estimation of the weight coefficient of the implemented system, which was performed using Gauss–Markov theorem in the present work. Following the results of solving the problem, the minimum variance unbiased estimates were obtained, including the case of using the pseudorandom sequence as an input signal. At long last, the paper presents the method of channel influence compensation with consideration of known impulse response, which allows reducing the level of the noise component.

Key words: shallow sea acoustics, vector receiver, longitudinal and transverse waves, refraction of longitudinal waves, three-component geophone.

Shchurov V.A., Shcheglov S.G., Burenin A.V., Tkachenko E.S. EFFECTS OF UNDERWATER LOW-FREQUENCY SOUND PROPAGATION THROUGH CONTINENTAL BARRIER // Underwater Investigation and Robotics. 2020. No. 3 (33). P. 36–45.

The present work studies the underwater and sea bottom low-frequency signals (400 Hz) emitted by the underwater transducer and detected by the receiver system located on the other side of the Schultz cape neck relative to the transducer. The receiver system consisted of a three-component bottom geophone and composite acoustical system immersed 9 m down the water column of the waveguide. The shortest distance between transducer and receiver through the continental barrier was ~1000 m. The azimuth angle of signal arrival corresponds to a geometrical line connecting a

pair transducer/receiver. The reception of longitudinal and transverse waves was performed alongside different orthogonal axes of geophone coordinates. The direction of the longitudinal wave arrival at the reception point was close to horizontal. The presence of the transverse wave in the bottom soil suggests that the bottom of the waveguide represents a solid rigid surface.

Key words: composite receiver, noise-sustainability, infrasound, spectral signal processing, cross-correlation signal processing.

Kasatkin B.A., Kasatkin S.B., Kosarev G.V. SPACE-FREQUENCY AND SPACE-TIME STRUCTURE OF SOUND FIELD IN SCALAR-VECTOR FORMULATION // Underwater Investigation and Robotics. 2020. No. 3 (33). P. 46–57.

The article considers the features of composite underwater acoustic receivers forming a vertically oriented antenna in conditions of shallow sea in the infrasound frequency band. This research targets the problem of positioning and motion parameters characterization of the given target object using active-passive location and measurement of observed noise field parameters. Its particular significance is the analysis of space-frequency and space-time structures of the sound field. The experimental research was performed involving the research vessel "Yuriy Molokov" towing low-frequency transducer of LFM signals. The space-frequency structure of the sound field was studied by spectral analysis of discrete components of the vane-lobe tone series of the towing vessel in the band 1–20 Hz. The study of the space-time structure of the field was performed by correlation processing of LFM signals on the aperture of the vertically oriented antenna in the frequency band of 30–60 Hz. The results of spectral processing of the received signals allow estimating the noise-sustainability of the composite receiver. Moreover, the increased noise-sustainability is achievable when using the full set of 16 informative parameters describing the energetic structure of the sound field. That allows studying the vertical structure of the sound field and performing identification of the normal waves participating in its formation. Also, obtained results of correlation processing of composite LFM signals give estimates of the space-time structure of the sound field and correlation coefficients on the aperture of a vertically oriented antenna in different channels of the composite receiver.

Key words: underwater acoustic navigation, speed of sound, autonomous underwater vehicle, underwater acoustic channel, composite phase-shift keyed signals.

Burenin A.V., Voitenko E.A., Golov A.A., Lebedev M.S., Morgunov Yu. N. STUDY OF THE VARIATION IN WAVEGUIDES IMPULSE RESPONSES WITH RESPECT TO PARAMETERS OF EMITTED PHASE-SHIFT KEYED SIGNALS DURING PROPAGATION IN THE SEA OF JAPAN // Underwater Investigation and Robotics. 2020. No. 3 (33). P. 58–62.

Utilization of phase-shift keyed signals based on sequences of outstanding correlation properties is one of the critical methods for solving the practical tasks in underwater navigation, communication, and tomography. The present work considers the results of experimental research on the propagation and reception of wideband impulse signals based on pseudorandom M-sequences. Throughout the experiments, the features of impulse response formation were investigated when receiving signals of different frequency bands and duration. The results of theoretical and experimental research suggest practical reasoning of the necessity of complex usage of navigational signals of different duration when solving the tasks of the autonomous underwater vehicle positioning.

Key words: gas-hydrates, underwater gas-hydrates formation, natural factors, thermobaric conditions, thermobaric stability, occurrence regularities, seas of East Asia.

Shakirova M.V., Obzhirov A.I., Sokolova N.L., Telegin Yu.A., Shakirov R.B. FEATURES AND METHODS OF INVESTIGATION OF UNDERWATER GAS-HYDRATES AND ITS RESOURCES IN THE SEAS OF EAST ASIA // Underwater Investigation and Robotics. 2020. No. 3 (33). P. 63–71.

The presented paper considers the distribution of the underwater gas-hydrates as a result of the interaction between different natural factors in the near-bottom sediment cover and water layers in the seas of East Asia. The article defines these factors, cause-and-effect relationships between them, and presents the most valuable conditions causing underwater gas-hydrates formation. Based on the maps of natural factors distribution in the studied seas, the most promising and probable gas-hydrates aquatic areas were defined using geoinformation system modeling. Studying the gas-hydrates is crucial not only for its utilization as a hydrocarbons alternative but for engineering activity on the seafloor as well. In gas-hydrate areas, the seafloor surface suffers from disfigurements, as gas-hydrates are destroyed when the temperature rises and pressure falls. So, it is crucial to explore the capabilities of underwater robotic means for the investigation of gas-hydrates and the environment.