

## РЕФЕРАТЫ

УДК 551.46.007:629.584

**Ключевые слова:** автономные подводные необитаемые аппараты, групповое управление, планирование миссии, маршрутизация, генетические алгоритмы

Бычков И.В., Кензин М.Ю., Максимкин Н.Н., Киселёв Л.В. ЭВОЛЮЦИОННЫЕ МОДЕЛИ МАРШРУТИЗАЦИИ ГРУППОВОГО ДВИЖЕНИЯ АВТОНОМНЫХ ПОДВОДНЫХ РОБОТОВ ПРИ МНОГОЦЕЛЕВОМ ДИНАМИЧЕСКОМ МОНИТОРИНГЕ МОРСКИХ АКВАТОРИЙ // Подводные исследования и робототехника. 2014. № 2 (18). С. 4–13.

Управление группировкой автономных подводных роботов (АПР) представляет как теоретический, так и практический интерес для решения задач, связанных с выполнением обзорно-поисковых и обследовательских работ, патрулированием и инспекцией подводных объектов и сооружений, оперативным мониторингом морских акваторий и рельефа дна. К числу таких задач относятся задачи динамической маршрутизации группового движения в условиях изменяющейся обстановки и целей выполняемых миссий. Для решения данного класса задач используются эволюционные модели, основанные на биологических аналогах (генетических алгоритмах), оперирующих такими понятиями, как приспособляемость, накопление полезных свойств, поиск оптимума некоторой целевой функции. Анализ показывает, что «биологический механизм» во многом аналогичен технологии организации группового процесса в такой специфической системе, как «популяция» подводных аппаратов. Решение задачи маршрутизации строится из нескольких последовательных процедур, включающих планирование групповой многоцелевой миссии АПР с использованием гибридных (генетических) алгоритмов и топологий типа взвешенных графов, оценку эффективности спланированных маршрутов и реализацию маршрутов. Разработан программный моделирующий комплекс, реализующий полный набор всех необходимых вычислительных процедур.

УДК 629.052.6:629.584

**Ключевые слова:** локальная навигация, видеобработка, подводный аппарат, система управления, компьютерное зрение, сопоставление изображений, динамическое позиционирование.

Кропотов А.Н., Плюсунов В.М., Макашов А.А. ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ ВИДЕОНАВИГАЦИИ В СОСТАВЕ КОНТУРОВ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ ПОДВОДНОГО АППАРАТА // Подводные исследования и робототехника. 2014. № 2 (18). С. 13–19.

В современных условиях актуальной задачей подводной робототехники является необходимость точного позиционирования подводных аппаратов вблизи дна или объекта работ. Возможным вариантом решения такой задачи является использование системы локальной видеонавигации. С точки зрения системы управления, помимо точностных параметров имеют значение быстродействие, устойчивость и характер переходных процессов в системе видеонавигации. Целью работы является проведение анализа параметров системы видеонавигации на основе численного и полунатурного моделирования. Оцениваются реализации алгоритмов видеонавигации на основе метода оптического потока и сопоставления дескрипторов SURF и BRISK. По результатам моделирования были сформулированы предложения об области применимости методов.

УДК: 62-236.58

**Ключевые слова:** морская вода, гидравлическая система, гидравлический привод, распределитель, насос, фильтрация, биологическое обеззараживание.

Вельтишев В.В. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ПОДВОДНОЙ ГИДРАВЛИКИ НА МОРСКОЙ ВОДЕ // Подводные исследования и робототехника. 2014. № 2 (18). С. 19–28.

В промышленных гидравлических системах широкое применение находит пресная вода. Для гидравлических систем морской подводной техники логичным развитием этой тенденции является использование морской воды. По физическим и химическим свойствам, биологической активности

морская вода кардинально отличается не только от традиционных минеральных жидкостей, но и от пресной воды. На основе анализа важнейших свойств морской воды формулируются проблемы создания подводных гидравлических исполнительных систем нового типа. Одна из ключевых задач состоит в рациональном выборе конструктивных материалов и покрытий. Путем экспериментальных исследований на макетных образцах базовых гидравлических элементов установлено, что наиболее перспективным является использование керамических материалов и полимеров типа полиэфирэфиркетон. Особое значение придается решению задачи подготовки морской воды для использования в качестве рабочей жидкости. Предлагается оригинальная концепция построения системы фильтрации и биологического обеззараживания.

УДК 621.31:629.584

**Ключевые слова:** подводный аппарат, бесконтактная передача электроэнергии, инвертор напряжения, силовые модули, компоновка, теплоотдача, математическое моделирование, допустимые нагрузки, время заряда, натурный эксперимент.

Герасимов В.А., Попов О.С., Филоженко А.Ю., Чепурин П.И. ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ИНВЕРТОРА СИСТЕМЫ БЕСКОНТАКТНОГО ЗАРЯДА АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ ПОДВОДНОГО РОБОТА // Подводные исследования и робототехника. 2014. № 2 (18). С. 29–36.

Условия работы автономного инвертора системы бесконтактного заряда требуют размещения его в прочном контейнере ограниченного объема, что определяет актуальность задачи отвода тепла от его силовых элементов. Исследование процессов теплообмена для двух конструктивных исполнений инвертора позволило определить допустимые токовые нагрузки и связать время зарядки аккумуляторных батарей подводного аппарата с температурой и видом окружающей среды. Решение задачи выполнено с использованием математического моделирования в программном пакете SolidWorks FlowSimulation, а также натурального эксперимента, который

обеспечил уточнение настроечных коэффициентов модели и подтвердил достоверность результатов моделирования. Исследование проведено для различных условий работы инвертора на воздухе и в воде.

УДК 534.23

**Ключевые слова:** граничная задача Пекериса, слоистая среда, комплексный угловой спектр источника, мода нулевого порядка, вихревая составляющая вектора интенсивности.

Касаткин Б.А., Злобина Н.В., Касаткин С.Б. МЕДЛЕННЫЕ ОБОБЩЁННЫЕ ВОЛНЫ И ГЕНЕРАЦИЯ ВИХРЕВЫХ СТРУКТУР В АКУСТИКЕ СЛОИСТЫХ СРЕД // Подводные исследования и робототехника. 2014. № 2 (18). С. 37–51.

Классическое описание звукового поля в волноводе Пекериса содержит только расходящиеся волны, удовлетворяющие граничным условиям и условиям излучения. В статье предлагается решение с обобщёнными нормальными волнами, которые являются комбинацией расходящихся волн и сходящихся волн отдачи. Решение продолжается в полупространство с образованием горизонтов полного внутреннего отражения (TIR), соответствующих гипотезе Ньютона. Комплексный угловой спектр источника возбуждает в слоистой среде обобщённые формы волнового движения, такие как медленные обобщённые волны, разрывные на горизонте источника или на горизонтах TIR. Распространение обобщённых волн сопровождается генерацией вихревой составляющей вектора интенсивности как на горизонтах полного внутреннего отражения, так и на горизонте источника. Звуковое поле на этих горизонтах сохраняет локальную непрерывность только по импедансу и непрерывность по давлению и вертикальной компоненте вектора колебательной скорости в среднем. Теоретические результаты находятся в хорошем соответствии с экспериментальными исследованиями медленной обобщённой волны на границе раздела двух жидких сред и исследованиями вихревой составляющей вектора интенсивности в мелком море.

УДК 574.58:574.5.08

**Ключевые слова:** гидрохимическая информация, ГИС-технологии, загрязняющее вещество, инвентаризация Дулепов В.И., Кочеткова О.А., Вензик А.В. ПРИМЕНЕНИЕ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРИБРЕЖНЫХ МОРСКИХ АКВАТОРИЙ И ИНВЕНТАРИЗАЦИИ ИСТОЧНИКОВ ИХ ЗАГРЯЗНЕНИЯ // Подводные исследования и робототехника. 2014. № 2 (18). С. 52–57.

В настоящее время геоинформационные системы (ГИС) широко используются для экологического мониторинга морских акваторий и картографического описания источников загрязнения. Для прямого использования цифровых данных необходимо учитывать особенности взаимного конвертирования различных форматов ГИС. В работе дается сравнительная характеристика наиболее распространенных ГИС и их форматов, получивших применение при составлении экологических карт. Исходными материалами для построения баз данных служат справочные сведения о наиболее распространенных авторских модулях и расширениях ГИС, упрощающих работу специалиста-эколога. Для автоматизированного доступа к экологической информации разработана база данных в среде MicrosoftAccess 2010 и произведён анализ более 2000 протоколов Центра лабораторного анализа и технических измерений по Приморскому краю. Основу баз данных составляют результаты гидрохимического мониторинга, согласованного с проектной документацией о природе загрязнения и особенностях наблюдаемых сбросов. Комплекс прикладных программ, входящих в состав ГИС, используется для представления первичной информации об источниках загрязнения рыбохозяйственного водоема. Конечный результат проведенного исследования состоит в инвентаризации источников сброса загрязняющих веществ.

УДК 534.26

**Ключевые слова:** акустическая томография океана, метод встречного зондирования, трансверсы, сложные сигналы.

Безответных В.В., Буренин А.В., Каменев С.И., Моргунов Ю.Н. СИ-

СТЕМА ЗВУКОПОДВОДНОЙ СВЯЗИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СЛОЖНЫХ ФАЗОМАНИПУЛИРОВАННЫХ СИГНАЛОВ И ИНВЕРТИРОВАНИЯ ВО ВРЕМЕНИ // Подводные исследования и робототехника. 2014. № 2 (18). С. 58–63.

Для повышения эффективности функционирования гидроакустических средств, размещаемых на морских полигонах, важным элементом является оперативная и надежная передача информации на пункт управления подводной обстановкой, на подводные обсерватории и на автономные необитаемые подводные аппараты. Разработка систем звукоподводной связи, предназначенных для передачи команд управления с использованием сложных фазоманипулированных сигналов и обращения времени, представляется необходимой для обеспечения работоспособности таких систем. Предположение о медленности процесса управления позволило снизить требования к скорости передачи и основное внимание уделить надежности передачи информации по гидроакустическому каналу связи. Эффективность функционирования системы связи обеспечивается схемой двухканальной корреляционной обработки сложных фазоманипулированных сигналов и специальным кодером обращения времени. Эффективность такого подхода к построению системы звукоподводной связи была доказана в результате натурных и лабораторных экспериментов. Натурные эксперименты проводились в шельфовой зоне Японского моря вблизи полуострова Шульца в районе расположения акустико-гидрофизического полигона Тихоокеанского океанологического института ДВО РАН.

УДК 534.26

**Ключевые слова:** акустическая томография океана, сложные сигналы, фазоманипулированные сигналы, последовательности Баркера, корреляционные свойства.

Каменев С.И. СИГНАЛЫ С УЛУЧШЕННЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ НА ОСНОВЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ БАРКЕРА ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В АКУСТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ // Подводные исследования и робототехника. 2014. № 2 (18). С. 63–68.

Применение сложных фазоманипулированных сигналов, таких как М-последовательности, в акустических системах обусловлено их свойствами, главное из которых – возможность выделения на фоне шумов в результате корреляционной обработки, причем эффект выделения по мощности пропорционален базе сигнала или, при фиксированной полосе, длительности. Однако при решении ряда задач принципиальным становится сокращение длины последовательности. К таким задачам относятся мониторинг быстро меняющихся процессов, сокращение мертвой зоны в системах связи, гидролокации и позиционирования, уменьшение импульсного объема и времени экспозиции при исследовании неоднородностей, особенно биологического происхождения. Обычно в этих задачах обеспечивается достаточный уровень отношения сигнал/шум. Для улучшения корреляционных свойств короткие фазоманипулированные последовательности можно модифицировать, вводя амплитудную манипуляцию. В статье этот подход применен к последовательностям Баркера. Для снижения пик-фактора предлагается нелинейное преобразование и сглаживание временным окном. В качестве примеров использования модифицированных последовательностей рассмотрены составные сигналы для дальнометрии и респираторной акустики.

## ABSTRACTS

**Keywords:** Autonomous underwater vehicles, group control, mission planning, transport routing problem, genetic algorithms

Bychkov I.V., Kenzin M.Yu., Maksimkin N.N., Kiselev L.V. EVOLUTIONARY APPROACH TO GROUP ROUTING OF AUTONOMOUS UNDERWATER VEHICLES IN DYNAMIC MULTIOBJECTIVE MONITORING MISSIONS // Underwater Investigation and Robotics. 2014. № 2 (18). P. 4–13.

Group control problems for autonomous underwater vehicles (AUV) has both theoretical and practical interest associated with performing of search and surveillance works, patrolling and inspection of underwater objects and structures, water areas monitoring and topographic scanning. All these problems can be gen-

eralized as group routing problem in the dynamic environment. Evolutionary approach, which is often used for solving such a problem, is based on the combination of genetic algorithms and local search methods and deals with such concepts as adaptability, feature accumulation and optimization of fitness function. Analysis shows that biological mechanism is much similar to technology of group routing in such specific system as population of underwater vehicles. A routing problem solution is built on several successive procedures including multi-objective mission planning with the use of hybrid (genetic) algorithms and topologies like weighted graphs, fitness function evaluation and execution of planned routes. A simulation software system implementing all the necessary computational procedures has been developed.

**Keywords:** local navigation, video processing, underwater vehicle, system of control, computer vision, image fitting, dynamic positioning.

Kropotov A.N., Plyasunov V.M., Makashov A.A. RESEARCH OF THE VIDEONAVIGATION SYSTEM AS A PART OF UNDERWATER VEHICLE'S CONTROL SYSTEM CIRCUIT // Underwater Investigation and Robotics. 2014. № 2 (18). P. 13–19.

The need for precise positioning of underwater vehicle near seabed or object site arises in wide variety of underwater robotics problems under present day conditions. One possible way of solving this problem is the use of local visual navigation system. From control system standpoint, stability, performance and quality of transient process must be taken into consideration in addition to precession parameters. The paper analyses these parameters on the basis of numerical and semi-natural modeling. A comparison has been made between different visual navigation algorithms based on optical flow estimations and SURF and BRISK descriptors matching. Based on modeling results, proposal has been made for range of applicability of the methods.

**Keywords:** seawater, hydraulic system, hydraulic drive, slide valve, pump, filtering, biological disinfection.

Veltishchev V.V. PROSPECTS FOR DEVELOPMENT OF UNDERWATER

HYDRAULIC SEAWATER // Underwater Investigation and Robotics. 2014. № 2 (18). P. 19–28.

Fresh water is widely used in industrial hydraulic systems. A logical development of this trend is the use of sea water in hydraulic subsea engineering. Sea water is fundamentally different not only from traditional mineral fluids, but from fresh water by its physical, chemical properties, and biological activity. The problems of development of innovative underwater hydraulic actuation systems are formulated based on the analysis of the most important properties of sea water. Rational selection of structural materials and coatings is among the key concerns. Experimental studies on model samples of basic hydraulic elements proved that ceramic materials and polymers such as polyether ether ketone have the most promising results. The great emphasis is placed on sea water preparing as the working fluid. Original conceptual design of filtration and biological decontamination system is proposed.

**Keywords:** unmanned underwater vehicle, contactless power transmission, voltage inverter, power modules, linkage, heat transfer, mathematical simulation, load limits, charge time, full-scale experiment.

Gerasimov V.A., Popov O.S., Filozhenko A.Yu., Chepurin P.I. THERMAL ANALYSIS OF AUTONOMOUS VOLTAGE INVERTER FOR CONTACTLESS CHARGE BATTERY OF THE UNDERWATER ROBOT // Underwater Investigation and Robotics. 2014. № 2 (18). P. 29–36.

Operating conditions of autonomous inverter for contactless charging system requires its placement in secure container of limited capacity. It determines the relevance of the problem of heat removal from the power components. Investigation of heat transfer processes for two variants of inverter allowed defining permissible current loads and relate time of underwater vehicle batteries charging with temperature and type of environment. The problem is solved with the help of mathematical modeling software package SolidWorks FlowSimulation as well as a full-scale experiment, which provided for clarification of tuning coefficients of the model and confirmed the accuracy of the simulation results. The study was car-



ried out for various operating conditions of the inverter in the air and in the water.

**Keywords:** Pekeris boundary problem, layered media, complex angular spectrum of source, zero-order mode, vortical component of intensity vector.

Kasatkin B.A., Zlobina N.V., Kasatkin S.B. SLOW GENERALIZED WAVES AND GENERATION OF VORTICAL STRUCTURES IN ACOUSTICS IN LAYERED MEDIA // Underwater Investigation and Robotics. 2014. № 2 (18). P. 37–51.

The classical description of a sound field in Pekeris waveguide contains only the divergent waves satisfying to boundary conditions and conditions of radiation. The article offers the solution with the generalized normal waves, which are the combination of divergent waves and converging waves of feedback. The solution continues into half-space with formation of horizons of total internal reflection (TIR), corresponding to Newton hypothesis. In the layered environment the complex angular spectrum of a source excites the generalized forms of wave movement, such as the slow generalized waves, having a discontinuity on horizon of a source or on horizons of TIR. Propagation of the generalized waves is attended by generation of a vortex component of an intensity vector both on horizons of total internal reflection and on horizon of a source. The sound field on these horizons keeps a local continuity only on impedance and continuity on pressure and vertical component of particle velocity vector on the average. Theoretical results are in good conformity with experimental researches of the slow generalized wave on boundary of two liquid media and researches of a vortex component of an intensity vector in the shallow sea.

**Keywords:** underwater research, hydrochemical information, GIS-technologies, polluting substances, inventory

Dulepov V.I., Kochetkova O.A., Venzik A.V. APPLICATION OF GIS-TECHNOLOGIES FOR ECOLOGICAL INVESTIGATIONS OF THE COASTAL SEA WATER AREAS AND INVENTORY OF THE SOURCES OF THEIR POLLUTION // Underwater Investigation and Robotics. 2014. № 2 (18). P. 52–57.

Now geo-information systems (GIS) are widely used for ecological monitoring of sea water areas and cartographical description of pollution sources. For direct use of figures the features of mutual converting of various GIS formats must be taken into account. The paper makes comparative analysis of the most common GIS and their formats widely used for ecological maps compilation. Reference data on the most common author's modules and GIS expansions simplifying the work of ecologists serve as the starting material.

Microsoft Access 2010 database is designed and more than 2000 reports of the Centre of Laboratory Analysis and Technical Metrology for Primorsky region are analyzed for computer-aided access to ecological information. The basis of databases is the results of the hydrochemical monitoring coordinated with the design documentation on the nature of pollution and special features of observable dumps. The complex of applied programs being the part of GIS is used for representation of the primary information on pollution sources of fisheries waters. Inventory control of pollution discharge sources is the end result of conducted research.

**Keywords:** ocean acoustic tomography, reciprocal sounding method, transceivers, complex signals.

Bezotvetnyh V.V., Burenin A.V., Kamenev S.I., Morgunov Yu.N. SYSTEM OF SOUND UNDERWATER COMMUNICATION WITH USE COMPLEX PHASE-MANIPULATED SIGNALS AND TIME-REVERSAL MIRROR // Underwater Investigation and Robotics. 2014. № 2 (18). P. 58–63.

Operative and reliable information transfer to underwater conditions control stations, underwater observatories and to unmanned autonomous underwater vehicles is the important element of upgrading of functioning efficiency for the hydroacoustic means located on sea ranges. Development of underwater sound communication systems for transfer of control commands by using of complex phase-manipulated signals and the method of the time-reversal mirror is obviously necessary for maintenance of working capacity of such systems. The assumption of slowness of control process has allowed lowering requirements to transfer speed

and paying basic attention to reliability of information transfer via hydroacoustic communication link.

The scheme of two-channel correlation processing of complex phase-manipulated signals and special time reversal coder provides for efficiency of functioning of a communication system. Efficiency of such approach to construction of underwater sound communication system has been proved as a result of full-scale and laboratory experiments. Full-scale experiments were carried out in a shelf zone of the Sea of Japan near to Schultz's peninsula in area of acoustic-hydrophysical range of Pacific Oceanological Institute, FEB RAS.

**Keywords:** ocean acoustic tomography, complex signals, phase-manipulation signals, Barker's sequences, correlation properties.

Kamenev S.I. SIGNALS WITH THE IMPROVED CHARACTERISTICS ON THE BASIS OF BARKER'S SEQUENCES FOR THE APPLICATION IN THE ACOUSTIC SYSTEMS // Underwater Investigation and Robotics. 2014. № 2 (18). P. 63–68.

Application of complex phase-manipulation signals, such as M-sequence, in acoustic systems is caused by their properties. The main of them is an opportunity of allocation on a background of noise as a result of correlation processing. And the effect of allocation in terms of power is proportional to the signal base or, at the fixed strip, to its duration. However, reduction of length of sequence is principal in performing of some missions. Monitoring of quickly varying processes, reduction of a dead zone in communication, hydrolocation and positioning systems, reduction of pulse volume and exposition time in research of inhomogeneities, especially biological origin, are among such missions. Usually in such missions sufficient signal/noise ratio is provided. For improvement of correlation properties short phase-manipulation sequences can be modified, introducing peak manipulation. The article applies such approach to Barker's sequences. Nonlinear transformation and smoothing by time window is offered to decrease the peak-factor. Compound signals for distance measuring and respiratory acoustics are considered as the examples of modified sequences.