

УДК 681.883.67.001:621.396.677

Ключевые слова: подводная робототехника, автономные необитаемые подводные аппараты, системы навигации и управления, глубоководные районы и желоба (разломы).

Матвиенко Ю.В., Киселев Л.В., Инзарцев А.В., Львов О.Ю. О ПРОЕКТЕ СОЗДАНИЯ ПОДВОДНОГО РОБОТОТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРЕДЕЛЬНЫХ ГЛУБИН ОКЕАНА // Подводные исследования и робототехника. 2016. № 2 (22). С. 4–12.

Проект создания подводного робототехнического комплекса для работы на больших и предельных глубинах океана предполагает выработку общих требований, отвечающих назначению аппарата и его способности решать сложные задачи в экстремальных условиях среды. В основу проекта положен многолетний опыт ИПМТ ДВО РАН по созданию и практическому применению глубоководных автономных необитаемых подводных аппаратов (АНПА) и их систем различного назначения. В научном и прикладном аспектах наибольший интерес вызывают исследования геологического строения дна, гидрологии, геофизических и геохимических процессов, биологического разнообразия и ряда других физических свойств глубоководных районов океана. Робототехнический комплекс, способный решать целиком или частично этот комплекс задач, становится объектом принципиально новой разработки. В проекте рассматриваются проблемы, связанные с оптимальным выбором состава систем и характеристик комплекса, включающего автономный необитаемый подводный аппарат (АНПА), судовые средства навигации и связи, промерный донный маяк-ответчик, стационарную донную навигационную станцию. Основными объектами исследования и разработки являются особенности конструкции АНПА, навигационного обеспечения, информационного взаимодействия, планирования и осуществления рабочих миссий в условиях больших и предельных глубин океана.

УДК 519.673

Ключевые слова: воксельное пространство, трехмерная реконструкция, триангуляционная оболочка, зашивка дыр, маршрутирующие кубики, параллельные вычисления.

Бобков В.А., Кудряшов А.П. ПОСТРОЕНИЕ ТРЕХМЕРНОЙ МОДЕЛИ МОРСКОГО ДНА ВОКСЕЛЬНЫМ МЕТОДОМ // Подводные исследования и робототехника. 2016. № 2 (22). С. 13–18.

Для трехмерной реконструкции подводной сцены используется множественный набор карт глубин, получаемых с помощью стереоизображений. Данные стереоизображения получены откалиброванной видеостереокамерой, для которой известны внутренние и внешние параметры. Для реконструкции используется воксельный подход, подразумевающий перевод имеющихся карт глубин в единое воксельное пространство сцены. Каждый воксель представляет собой значение неявной функции, накапливаемой по мере добавления туда новых видов. Используя диффузное размытие, можно получить усредненные значения функции в соседних пустых вокселях. Результирующая поверхность формируется с помощью алгоритма маршрутирующих кубиков. Алгоритмическая база служит повышению вычислительной производительности метода и качеству генерируемой триангуляционной модели. Использование метода индексной карты в виде текстуры позволило избежать многочисленных переборов, что ускорило работу воксельного алгоритма на порядок. Использование разных уровней октантного дерева для диффузного размытия значений неявной функции позволяет быстро и правдоподобно зашивать большие дыры в модели. Рассмотрена вычислительная схема многопроцессорной обработки данных, основанная на реализации двухуровневого параллелизма.

УДК 004.946

Ключевые слова: визуальная одометрия, автономный необитаемый подводный аппарат, навигация, стереоизображения, адаптивный метод.

Бобков В.А., Мельман С.В., Толстонов А.Ю., Щербатюк А.Ф. О НЕКОТОРЫХ АЛГОРИТМАХ ВИЗУАЛЬНОЙ НАВИГАЦИИ АВТОНОМНОГО НЕОБИТАЕМОГО ПОДВОДНОГО АППАРАТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СТЕРЕОИЗОБРАЖЕНИЙ // Подводные исследования и робототехника. 2016. № 2 (22). С. 19–24.

Описан метод визуальной навигации автономного необитаемого подводного аппарата по стереоизображениям с реализацией адаптивной методики расчета траектории и 6-облачного алгоритма вычисления локальных перемещений с использованием данных от бортовых навигационно-пилотажных датчиков. Метод основывается на реализации подхода, известного как визуальная одометрия. Предлагаемая адаптивная методика оптимизирует размер шага при расчете траектории движения с учетом данных о геометрии сцены, предварительно задаваемой степени перекрытия соседних видов камеры и скорости движения аппарата. Как следст-

вие время расчета траектории существенно снижается без ущерба достигаемой точности навигации. 6-облачный алгоритм вычисления локальных перемещений расширяет классическую схему формирования 3D облаков за счет обработки данных от трех соседних позиций. Алгоритм включения в расчетную схему визуального метода дополнительной информации, получаемой бортовой навигационной системой (измерение углов ориентации аппарата), позволил снизить величину накапливаемой ошибки локализации. Приведены оценки эффективности предлагаемых модификаций алгоритма, полученные по результатам вычислительных экспериментов с виртуальными сценами и на реальных данных. Для подготовки виртуальных сцен и измерения ошибок метода использовался ранее разработанный авторами программный имитационный моделирующий комплекс, предназначенный для исследования методов управления АНПА и моделирования его рабочих миссий.

УДК 004.94+629.58

Ключевые слова: автономный подводный робот, мониторинг акваторий, траектория оптимального покрытия, обход препятствий, планирование миссии, агенты тактического уровня, моделирующий комплекс.

Инзарцев А.В., Багницкий А.В. ПЛАНИРОВАНИЕ И РЕАЛИЗАЦИЯ ТРАЕКТОРИЙ ДВИЖЕНИЯ АВТОНОМНОГО ПОДВОДНОГО РОБОТА ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ МОНИТОРИНГА В АКВАТОРИЯХ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ // Подводные исследования и робототехника. 2016. № 2 (22). С. 25–35.

Малогабаритные автономные подводные аппараты-роботы (АПР) используются для выполнения мониторинга водной среды и донной поверхности в акваториях различных типов. При выполнении таких работ необходимо решать взаимосвязанные задачи по предварительному планированию траектории движения АПР в двумерных районах произвольной формы, а также действиях робота при встрече с неучтенными препятствиями (естественного или искусственного происхождения). В последнем случае речь идет об организации обхода препятствия или перепланировании заданной траектории движения робота.

В сформулированных требованиях к алгоритму предварительного планирования траектории были учтены особенности работы бортового поискового оборудования, а также необходимость реализации алгоритма на судовом вычислительном комплексе и на борту АПР. С использованием этих требований проведен анализ ряда алгоритмов покрытия, применяемых

как в наземной, так и в подводной робототехнике. В результате разработан квази-оптимальный алгоритм, который обладает низким вычислительной ресурсоемкостью. Алгоритм может использоваться как при предварительном планировании траектории (в режиме off-line), так и для её перепланирования на борту АПР в реальном времени. Рассматриваются также алгоритмы автоматического обхода неучтенных препятствий на этапе реализации заданной траектории. Алгоритмы основаны на поведенческом и целеполагающих подходах. Обсуждаются как модельные результаты, так и результаты использования алгоритмов в реальных условиях.

УДК 681.883.67.001:621.396.677

Ключевые слова: автономный необитаемый подводный аппарат; автоматический мониторинг акваторий; гидролокационные изображения; выделение объектов на изображениях; распознавание объектов; планирование миссии; моделирующий комплекс.

Инзарцев А.В., Павин А.М., Лебедеко О.А., Панин М.А. РАСПОЗНАВАНИЕ И ОБСЛЕДОВАНИЕ МАЛОРАЗМЕРНЫХ ПОДВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ С ПОМОЩЬЮ АВТОНОМНЫХ НЕОБИТАЕМЫХ ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ // Подводные исследования и робототехника. 2016. № 2 (22). С. 36–43.

Гидролокатор бокового обзора (ГБО) является эффективным средством для обнаружения донных объектов при выполнении мониторинга акваторий с помощью автономных необитаемых подводных аппаратов (АНПА). Автоматический мониторинг подразумевает выполнение поиска заданных объектов с помощью ГБО и их последующего обследования с использованием фотосистемы. В случае работы одного АНПА поиск и обследование выполняются последовательно. При использовании группировки роботов эти действия могут выполняться параллельно, что уменьшает время обследовательских работ.

Обнаружение на акустических изображениях заданных объектов в реальном времени осуществляется с помощью алгоритмов, которые включают: построение карты градиентов, выделение границ объектов и выделение самих объектов с использованием процедур кластеризации. Затем выбираются объекты, соответствующие заданным характеристикам и определяются их координаты. Полученные координаты используются для организации выхода к обнаруженному объекту этого же или другого АНПА (в случае групповой работы) и проведения его фотопокрывтия.

Тестирование разработанных алгоритмов проводилось с использованием интег-

рированной информационно-управляющей и моделирующей системы АНПА. Исследуемые алгоритмы реализованы в виде программных модулей, пригодных для использования в АНПА. Обсуждаются результаты моделирования, подтвердившие возможность применения разработанных алгоритмов при выполнении реальных работ.

УДК 534.2534.873 681.88

Ключевые слова: обнаружение сигнала, метод максимального правдоподобия, векторно-скалярный модуль, поток мощности, отношение сигнал/помеха, плотность вероятности.

Селезнев И.А., Глебова Г.М., Жбанков Г.А., Мальцев А.М., Харахашьян А.М. ВЕРОЯТНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОБНАРУЖЕНИЯ СИГНАЛОВ ОДИНОЧНЫМ ВЕКТОРНО-СКАЛЯРНЫМ МОДУЛЕМ // Подводные исследования и робототехника. 2016. № 2 (22). С. 44–49.

Исследуются характеристики обнаружения сигналов при использовании одиночного векторно-скалярного модуля. Алгоритм обработки, обеспечивающий обнаружение полезного сигнала на фоне шумов моря, строится на основе метода максимального правдоподобия. Статистические характеристики векторно-скалярных компонент шумового поля, полученные с использованием компьютерного моделирования, сравниваются с экспериментальными данными. Получено экспериментальное подтверждение тому, что плотность распределения потока мощности соответствует распределению Лапласа. Для сравнения помехоустойчивости алгоритмов обнаружения, работающих с различными компонентами векторно-скалярного акустического поля, используется критерий Неймана–Пирсона. Показано, что на базе векторно-скалярного приемника, измеряющего поток мощности, вероятность обнаружения сигналов существенно выше, чем при использовании только скалярного приемника. Высокая вероятность обнаружения достигается при использовании потоковой компоненты при гораздо меньшем времени наблюдения или меньших отношениях сигнал/помеха.

УДК 534.529

Ключевые слова: газовые пузырьки, подводные сипы, морские осадки, акустическая диагностика.

Максимов А.О., Буров Б.А., Саломатин А.С. ЗВУКИ ПОДВОДНЫХ СИПОВ // Подводные исследования и робототехника. 2016. № 2 (22). С. 49–55.

Представлены результаты натуральных экспериментов, призванных описать структуру и механизмы генерации звуков,

излучаемых морскими сипами. Данное исследование инициировано проблемой мониторинга выбросов метана на арктическом шельфе и необходимостью развития эффективных методов диагностики утечек подводных газопроводов. При подводной утечке газа формируются пузырьки различных размеров. Каждый пузырек издает звук на характерной частоте, связанной с его размером. Таким образом, анализируя звуки сипов, можно определить, как много пузырьков возникло и каковы их размеры. Наблюдения придонных пузырьков с помощью стенда «Искусственный газовый факел» были выполнены в прибрежной зоне Японского моря. Выявлена значительная нерегулярность как во временных интервалах между последовательными моментами образования пузырьков, так и в интенсивности излучаемых сигналов. Проведен анализ экспериментальных данных на основе существующих теоретических моделей. Обнаружено заметное влияние взаимодействия пузырька с газовым каналом на форму наблюдаемых сигналов.

УДК 534.222.2; 551.463.2

Ключевые слова: морская вода, пузырьки, функция распределения по размерам, рассеяние звука, акустическая спектроскопия, нелинейность, кавитационная прочность.

Буланов В.А., Корсков И.В., Попов П.Н., Стороженко А.В. ИССЛЕДОВАНИЯ РАССЕЙЯНИЯ И ЗАТУХАНИЯ ЗВУКА, АКУСТИЧЕСКОЙ НЕЛИНЕЙНОСТИ И КАВИТАЦИОННОЙ ПРОЧНОСТИ МОРСКОЙ ВОДЫ В ПРИПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ МОРЯ // Подводные исследования и робототехника. 2016. № 2 (22). С. 56–66.

Приповерхностный слой моря характеризуется развитой турбулентностью, аномально высокими концентрациями газовых пузырьков, которые приводят к повышенному рассеянию и поглощению звука, к усилению нелинейных характеристик этого слоя. Тем не менее, до настоящего времени остаются невыясненными многие вопросы о взаимосвязи линейных и нелинейных акустических характеристик (коэффициенты рассеяния и затухания звука, параметр акустической нелинейности, кавитационная прочность) с присутствием в морской воде газовых пузырьков. Для решения указанных вопросов проведены экспериментальные исследования и установлена взаимосвязь нелинейного акустического параметра жидкости и порога кавитации с параметрами полидисперсной смеси пузырьков в жидкости. Показано, что на основе метода решения обратных задач данные по рассеянию звука позво-

ляют оценить концентрацию пузырьков, кавитационную прочность, акустическую нелинейность морской воды с пузырьками и их суммарное количество в интервале размеров. Проведенные измерения нелинейности и кавитационной прочности морской воды *in situ* показали совпадение экспериментально измеренных величин с теоретическими оценками указанных параметров на основе расчетного метода, в основу которого были положены данные по рассеянию звука на воздушных пузырьках в приповерхностных слоях моря. Показано, что наличие «пузырьковых облаков» под поверхностью моря существенно увеличивают параметр акустической нелинейности морской воды и понижают кавитационную прочность морской воды.