

# МЕТОДЫ ЛОКАЛИЗАЦИИ В ПОДВОДНОЙ АКУСТИЧЕСКОЙ СЕНСОРНОЙ СЕТИ

Громашева О.С.<sup>1</sup>, Щербинина И.А.<sup>2</sup>

Создание подводных беспроводных сетей передачи информации является одним из актуальных направлений обеспечения безопасности труднодоступных объектов, таких как акватории портов, нефте или газодобывающие морские платформы. В силу особенностей водной среды, организация подобных сетей требует разработки своих протоколов синхронизации, архитектур, алгоритмов обмена данными. Одной из первых является задача определения местоположения узлов сети относительно друг друга – латерация.

**Ключевые слова:** локализация, подводная акустическая сенсорная сеть

DOI 10.21681/2311-3456-2016-4-54-60

Комплексные меры обеспечения безопасности объектов включают в себя и меры по контролю доступа на защищаемую территорию объекта. Однако, существует целый ряд объектов, для которых штатные меры обеспечения такого контроля либо неосуществимы, либо малоэффективны, например акватории портов, глубоководные платформы по добыче углеводородов. Использование сетевых технологий сбора и передачи информации для объектов, находящихся в «воздушной» среде – общепринятая практика, которая, к сожалению, не может быть перенесена в «водную» среду. Создание подводных беспроводных сетей сопряжено с рядом серьезнейших технологических трудностей, обусловленных глобальным различием свойств водной и воздушной среды. Использование «беспилотных» подводных аппаратов может стать не менее значимым, чем использование таких аппаратов в воздушной среде. Для этого необходимо в первую очередь обеспечить возможность связи между элементами сети мониторинга подводного пространства. Подводные сети нуждаются в разработке новых доступов к носителям информации, новых типов соединения, транспортировки и локализации отдельных узлов сети, собственных протоколов синхронизации и архитектурах. Одной из значимых задач является задача определение местоположения узлов сети относительно друг друга – задача локализации. Данные локализации необходимы для протоколов маршрутизации и доступа к данным.

Для определения координат подводных объектов с помощью гидроакустики, применяются три вида систем, отличающиеся между собой размерами базовых линий сети, т.е. расстояний между узлами:

1. системы со сверхкороткой базой, являются угломерными системами, в которых направление на объект определяется путём измерения разности фаз между узлами сети, установленными на расстоянии друг от друга менее 10 м, имеют ограниченную точность определения координат и высокий уровень помех;
2. системы с короткой базой являются разностно-дальномерными системами, в которых координаты подводного объекта вычисляются по разности времен прихода (ТоА) импульсов, излучаемых узлом-передатчиком с подводного объекта на три гидроакустических узла-приёмника, расположенных под водой и образующих две пересекающиеся базы; точность определения координат зависит от длины базы, которая для систем с короткой базой составляет около 20 м, имеют невысокую помехозащищённость, являются дорогостоящими;
3. системы с длинной базой являются дальномерными системами, местоположение подводного объекта вычисляется по времени прихода сигнала; временные интервалы прохождения сигнала измеряются в абсолютных значениях установленного времени и пересчитываются в расстояния с учётом скорости звука в воде; по результатам измерения расстояний между подводным объектом и минимум тремя стационарными узлами-передатчиками (маяками), установленными в различных точках морского дна в нескольких километрах друг от друга MLC рассчитывает местоположение с помощью триангуляционного алгоритма; точность позиционирования в центре ограничена.

1 Громашева Ольга Сергеевна, кандидат технических наук, Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, Владивосток, gromasheva@poi.dvo.ru

2 Щербинина Инна Александровна, кандидат педагогических наук, Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского, Владивосток, shcherbinina@msun.ru

В настоящее время для мониторинга и удалённого контроля автономных подводных аппаратов (АПА) в различных точках поверхности моря устанавливаются дрейфующие буи, образующие длинную базу. Каждый буй оборудован навигационным приёмником глобальной системы позиционирования (GPS), часами, синхронизированными с часами GPS, гидроакустической приёмной системой с подводным преобразователем и радиомодемом. Такие буи получили название GIB-буи. Каждый буй измеряет собственные координаты и время запаздывания, и в установленные моменты времени передаёт эти данные по радиоканалу через радиомодем на судно сопровождения или береговую управляющую станцию. Гидроакустический передатчик подводного объекта периодически излучает сигнал в установленные моменты времени. С учётом скорости звука в воде, по разности времени прихода сигналов вычисляются расстояния от подводного объекта до каждого из буев, а далее отображаются координаты подводного объекта и координаты всех буев.

В качестве иллюстрации рассмотрим один из способов решения задачи позиционирования. Для проведения экспериментальных исследований на квазистационарных трассах в лаборатории акустической океанографии ТОИ ДВО РАН была разработана измерительная система ACPOSIT – подводная акустическая сеть (ПАСС) гибридной архитектуры. Система использует поле дрейфующих радиогидроакустических буев (РГБ) и стационарно установленного или дрейфующего излучателя (излучателей) [1]. При этом возникает задача определения взаимного местоположения гидрофонов РГБ в каждый момент времени, так как от расположения гидрофонов буев зависят акустические характеристики принятых сигналов, которые в свою очередь, отражают изменчивость гидрофизических параметров среды.

Разработанная система может работать параллельно в двух режимах – в режиме регистрации прямых зондирующих сигналов и режиме позиционирования. Рабочие режимы разнесены в частотном диапазоне, причём для позиционирования выбран значительно более высокий диапазон частот.

Принцип действия подсистемы позиционирования основан на измерении интервала времени распространения звуковых волн (сигналов запроса) в морской среде от излучающего буя до приёмного буя с последующим вычислением расстояний. Сигнал запроса принимается приёмными буями и переизлучается по радиоканалу к

программно-вычислительному комплексу, где и определяются время прихода сигнала от каждого до каждого из РГБ. Затем, с учётом измеренной гидрологии, производится вычисление расстояний – горизонтальных дистанций между каждым приёмно-излучающим буюм, а также между каждым активно-пассивным (АП) буюм и каждым приёмным буюм. По вычисленным расстояниям определяются координаты взаимного местоположения поля (всей группы) РГБ.

В случае использования трёх АП буев при определении относительного взаимного местоположения гидрофонов РГБ можно использовать двухступенчатый алгоритм. На первом шаге решается плоская, двумерная задача, в которой для того, чтобы не учитывать информацию о заглублении гидрофонов, буи специальным образом готовятся, чтобы глубина погружения гидрофонов была ограничена. Конструктивно гидрофоны закрепляются на гибком кабеле длиной до 300 м.

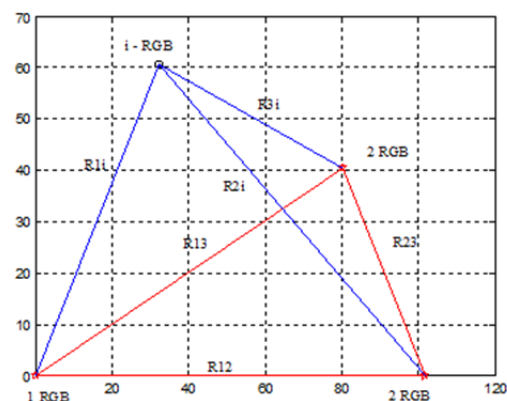
Введём относительную систему координат с центром в точке нахождения первого АП буя, координаты которого полагаются равными (0, 0). Второй буй будет иметь координаты (x<sub>2</sub>, 0). Третий АП буй с координатами (x<sub>3</sub>, y<sub>3</sub>) будем рассматривать в верхней полуплоскости. Получим систему уравнений:

$$\begin{cases} x_i^2 + y_i^2 = R_{1i}^2 \\ (R_{12} - x_i)^2 + y_i^2 = R_{2i}^2 \end{cases} \quad (1)$$

Координаты *i*-того пассивного буя (x<sub>i</sub>, y<sub>i</sub>), исходя из схемы, приведённой на рисунке 1, рассчитываются по формулам:

$$x_i = \frac{R_{12i}^2 + R_{1i}^2 - R_{2i}^2}{2R_{12}},$$

$$y_i = \sqrt{R_{1i}^2 - x_i^2}.$$



**Рис. 1. Схема относительного расположения гидрофонов РГБ для плоской задачи**

При решении системы уравнений (1) получаем два решения (две пары координат), одно из которых является «ложным» (рис. 2). Для того чтобы выбрать нужное решение, используется критерий близости дистанции от обеих вычисленных точек до третьего АП РГБ. Имея реальное расстояние  $R_{3i}$ , отбрасываем «ложное» решение.

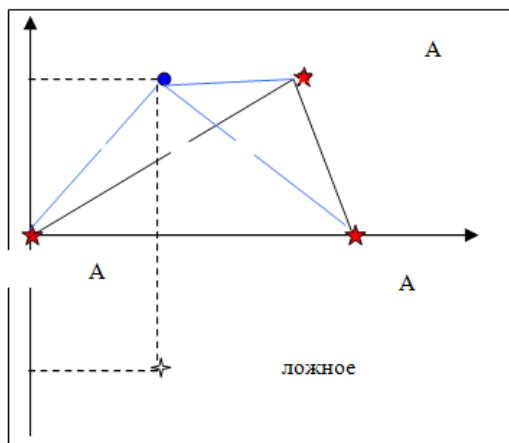


Рис. 2. Определение «ложного» решения

Для повышения надёжности системы при применении большого числа РГБ и уменьшения погрешности измерений необходимо учитывать глубину погружения гидрофонов. Кроме того, расположение гидрофонов на разных глубинах, в разных слоях океанической среды, даёт возможность провести пространственные измерения, т.е. исследовать трёхмерную модель акустического поля. Для решения объемной задачи достаточно знать глубины расположения гидрофонов АП буев. Для этого конструкция буя дополнена специально разработанным датчиком глубины. Информация для получения зависимости глубины гидрофона АП буя от времени пишется по каждому каналу для каждого буя в процессе измерений одновременно с основными принятыми сигналами.

Предусмотрен автоматический режим обработки, когда вектор средних значений  $H_{jcc}(t)$  передается для решения задачи позиционирования гидрофонов РГБ в пространственном приближении с учётом измеренных профилей звука по трассе. Алгоритм расчёта координат с учётом глубины строится аналогично решению плоской задачи. Система координат выбирается с центром относительно первого АП РГБ с координатами  $(0,0,0)$ , глубины погружения гидрофонов остальных буев пересчитываются относительно  $H_1$ . Второй АП РГБ располагается на плоскости  $XZ$  и имеет координаты  $(R_{12}, 0, H_1 - H_2)$ . Применён алгоритм, учитывающий критерии появления ложных объектов, а

проводится вычисление абсолютных координат буев в случае привязки двух приёмников к географическим координатам. По данной схеме рассчитываются оценки горизонтальных расстояний  $r_{ij}$  между гидрофонами РГБ, что позволяет уточнить геометрию эксперимента при решении задачи определения координат групповых объектов по данным многопозиционных измерений (рис. 3).

Для повышения точности в методах определения локализации узлов ПАСС используется алгоритм оценивания полученных расстояний по методу наименьших квадратов.

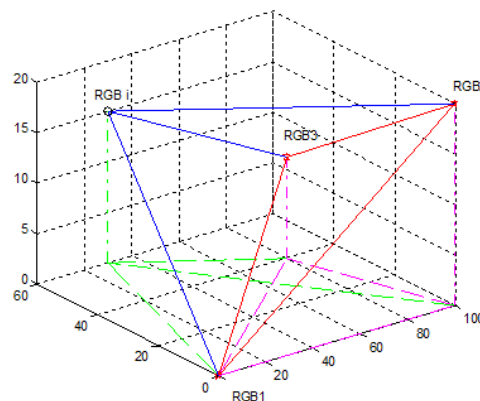


Рис. 3. Схема относительного расположения гидрофонов РГБ для пространственной задачи

Методы локализации в ПАСС можно классифицировать по двум категориям:

- централизованные методы – текущие координаты каждого объекта в сети вычисляются в центре управления (береговом или на обеспечивающем судне); применяются для пошагового определения местоположения узлов;
- распределённые методы – каждый сенсорный узел рассчитывает своё местоположение самостоятельно.

Централизованные и распределённые методы подразделяются на схемы, основанные на оценочном и прогнозируемом подходе. При оценочном подходе вычисляется необходимая информация о текущем местоположении сенсорного узла. В то время как при прогнозируемом подходе вычисляется будущее интересующее положение сенсорного узла, которое с определенной вероятностью определяется при измерениях расстояний, предыдущей и текущей локализации и местонахождении привязок. Прогнозируемый подход используется в мобильных и гибридных подводных сетях.

Рассмотрим методы централизованной локализации, большинство из которых реализуют оценочные схемы.

**Метод автолокализации при известном маршруте.** Поскольку в мобильных ПАСС значения определяемых расстояний могут быть неточны, подводный сенсорный узел собирает оценочные данные о дистанции между ним и остальными узлами. Эти данные передаются в центр управления ПАСС и итерационно обрабатываются для получения уточнённых оценок. На карту района расположения сети накладывается более мелкая сетка, выбираются наиболее вероятные координаты узла, используемые в следующей итерации. Преимущество метода состоит в том, что он снижает вычислительную нагрузку на подводные узлы и освобождает их от привязок. Недостатки метода заключаются в том, что он не применяется в интерактивном режиме мониторинга, работающем на принципах определения местоположения в режиме реального времени, а также в необходимости синхронизации по времени и частой связи для определения расстояния.

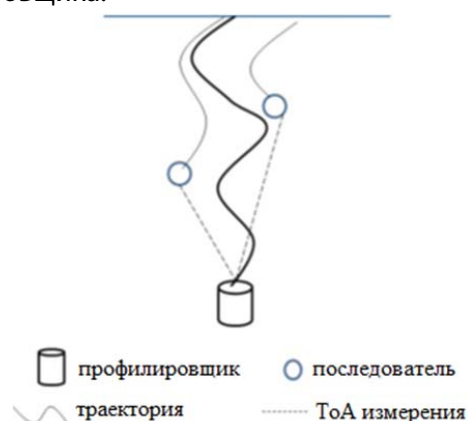
**Гиперболический метод определения локализации.** Данный метод адаптирует решение задачи локализации источника звука в локализацию для стационарной двумерной ПАСС. Сенсорный узел посылает сигналы на дальние расстояния (около 1 км) привязочному узлу и их местонахождение определяется в центре управления. Метод имеет несколько ограничений: так, привязочные узлы должны располагаться в углах ПАСС и, следовательно, они неприменимы для трёхмерных мобильных ПАСС. Также, подводные сенсорные узлы потребляют большое количество энергии для передачи длинноволновых сигналов.

**Локализация по областям** – используется в стационарных двумерных ПАСС, и даёт не точную систему координат, а оценку области нахождения узла. Привязочные узлы разделяются на непрерывающиеся области методом отправки сигналов (сообщений) различной мощности. Подводный узел пассивно принимает сообщения привязок, составляет список привязок и значений их мощностей и пересылает эту информацию на узел приёмника, который зная координаты привязок, может определить местоположение сенсорного узла. Метод применим если не требуются точные координаты, а узлы-привязки могут изменять свою мощность передачи. Преимуществами метода являются дальное действие, простой вычислительный процесс, отсутствие требований к синхронизации. Но данный метод не подходит для точных измерений и для позиционирования в реальном времени.

**Трёхмерная мультимощная локализация по областям.** Метод сочетает в себе использование узлов-привязок с различными уровнями мощности передачи и привязок с вертикальной подвижностью.

Пассивная локализация с использованием магнитометра. Метод чаще всего используется в системах наблюдения. В целях скрытности пассивные сенсорные узлы не используют акустический канал для связи, а могут только принимать сообщения от привязочных узлов. Подводные узлы оснащаются трёхосными магнитометрами, акселерометрами, датчиками давления и судном со статической магнитной сигнатурой для помощи в локализации. Датчики давления узлов сети позволяют определить нужную глубину, а акселерометры – траекторию судна. Результаты обрабатываются с помощью расширенного фильтра Калмана и преобразуются в глобальную локализацию. Данный метод довольно дорог, поскольку подводные узлы оснащены дополнительным оборудованием и в процесс локализации вовлечены суда и чаще всего используется в военных целях на мелководье.

Централизованные методы позволяют использовать схему общей локализации (CL), основанную на подходе прогнозирования местоположения узлов для мобильных ПАСС, где подводные сенсорные узлы отвечают за сбор данных с глубины океана и их подъём к поверхности воды. Эффективность метода зависит от архитектуры ПАСС, которая использует два типа подводных узлов: профилировщик и последователь. Расстояние между профилировщиком и последователем измеряется с помощью ТоА (рис. 4) с позиции профилировщика.



**Рис. 4.** Узлы профилировщика и последователя в схеме ТоА

Узлы опускаются с одинаковой скоростью и движутся в установленных границах. Местонахождение профилировщика прогнозирует будущие

позиции последователей, так как они дрейфуют горизонтально по течениям, схожим с движением профилировщика. Сеть опускается с постоянной скоростью и, следовательно, разность глубин между узлами не изменяется.

При использовании методов распределённой локализации каждый подводный сенсорный узел собирает информацию о местонахождении привязок, расстоянии между ними, состоянии связи и т.д., и затем рассчитывает оценку местоположения.

Рассмотрим методы, использующие схему оценивания параметров локализации узлов ПАСС.

*Локализация с помощью подводных аппаратов* используется для гибридных трёхмерных ПАСС, в которых подводные сенсорные узлы неподвижны, а АПА (подводные аппараты, способные определить свою локализацию методом навигационного счисления пути) курсируют между ними (рис. 5).

Для проведения калибровки АПА периодически поднимается на поверхность для связи по GPS. Во время одного подводного цикла работы АПА передаёт контрольные сообщения с различных точек своего пути. Когда подводный сенсорный узел получает это сообщение, он начинает определять локализацию, посылая запрос на АПА, АПА высылает ответ с данными. Пара запрос/ответ имеет двусторонний путь, ответ от АПА содержит координаты его местонахождения, после обмена сообщениями о трёх различных некомпланарных позициях АПА, сенсорный узел проводит определения собственной локализации. Движение АПА ограничено областью подводной сети, а частота, с которой АПА отправляет сообщения, влияет на точность локализации.



Рис. 5. Локализация с помощью АПА

*Протокол локализации погружения и подъёма* – для вычисления локализации подводных узлов используются мобильные привязочные узлы, которые называются «Маячки погружения-подъёма (МПП)». МПП спускаются и поднимаются как по-

гружные буи, снабжены приёмниками GPS и узнают свои координаты на поверхности. Затем они опускаются на заданную глубину и в процессе погружения сообщают свои координаты через определённые интервалы (рис. 6).

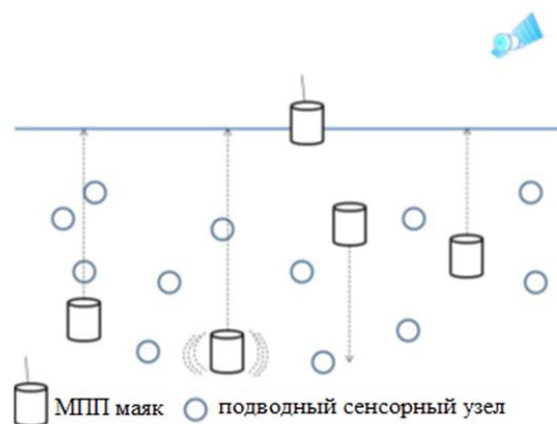


Рис. 6. Метод DNRL с мобильными маячками МПП

*Многоступенчатая локализация* – нелокализованные узлы используют значения координат и дистанций от трёх некомпланарных узлов, которые могут быть как маячками, так и уже локализованными узлами. Недостатком данного метода являются высокие расходы на коммуникацию и накопление ошибок вычислений.

*Протокол крупномасштабной иерархической локализации* использует в работе три типа узлов: «поверхностные буи», «привязочные узлы» и «простые сенсорные узлы». Поверхностные буи оснащены приёмниками GPS и дрейфуют на поверхности воды, постоянно получая координаты по спутниковой связи. Привязочные узлы находятся под водой, их местоположение в начале погружения определяется с помощью поверхностных буйев. Метод рассчитывает координаты локализации только для простых сенсорных узлов. Привязочные узлы периодически транслируют свои координаты. Простые узлы обмениваются сообщениями между собой и периодически отправляют короткие сообщения с данными о дистанциях между участниками сети. Дистанция измеряется односторонним методом ToA.

*Протокол локализации с помощью съёмного подъёмника для трансивера/приёмопередатчика.* Поверхностные буи получают координаты своего местонахождения по GPS, опускаются и поднимаются, транслируя координаты буйев на разных глубинах, аналогично маячкам МПП, но они всё время прикреплены к кабелю. Привязочные узлы локализуются с помощью координат DET и расстоянию до них.

Трёхмерная подводная локализация начинается с дальнометрии, в которой поверхностные привязки передают свои GPS координаты, затем подводные сенсорные узлы, располагающиеся на одинаковых расстояниях, получают информацию и высылают ответ привязкам, что позволяет измерить расстояние с помощью двустороннего метода ToA. Когда расстояние до трёх привязок определено, сенсорные узлы проецируют местоположение привязок на своей плоскости и определяют собственную локализацию. Далее следует фаза локализации, в которой подводные узлы становятся привязками и процесс итеративно продолжается.

Локализация без привязок начинается с процесса «определения узла», инициализированного узлом-источником (S1). S1 отправляет сообщение соседним узлам и собирает их ответы со значениями расстояния от узлов до S1. Далее он выбирает второй узел-источник (S2) среди соседних узлов самый дальний и передаёт его ID. Второй узел-источник повторяет процедуру для выбора S3. После определения каждого нового узла-источника, расстояние до него пересылается другим источникам. Таким образом, сенсорный узел, находящийся в области пересечения трёх источников, может определить своё местоположение (рис. 7). Локальные координаты можно перевести в общую систему координат, когда известны глобальные координаты узлов-источников.

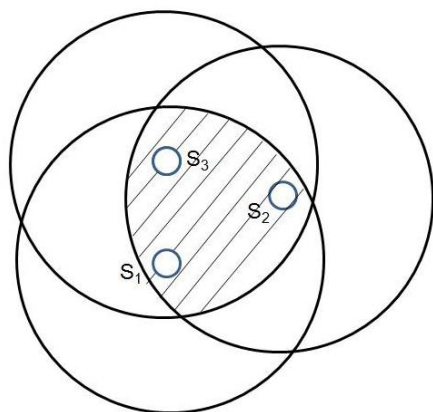


Рис. 7. Схема локализация без привязок для определения узла с тремя узлами-источниками

Схема подводного позиционирования позволяет проводить локализацию используя 4 привязки A, B, C и D, которые последовательно отправляют сигналы маячка. Одна из привязок выбирается главной привязкой и она запускает процесс локализации (рис. 8).

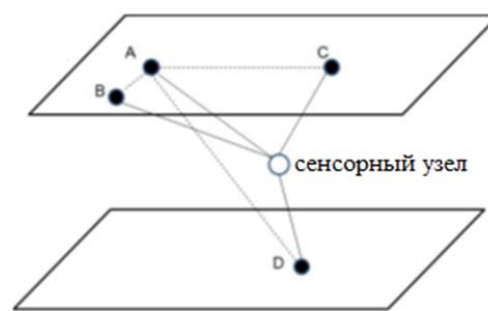


Рис. 8. Схема UPS, использующая ToA и 4 привязки

Сенсорный узел высчитывает временную задержку между приходящим и отправленным сигналом маячков-привязок, конвертирует в значения расстояний, умножая их на скорость звука. Сенсорный узел знает координаты привязок A, B, C и D и определяет собственную локализацию, используя эти данные и значения расстояний, вычисленные через уравнения трилатерации. Недостатком схемы является то, что узлы, расположенные вне зоны действия 4-х привязок, не всегда могут быть обнаружены. Для увеличения зоны покрытия используются схемы с большим количеством привязок.

Схема крупномасштабной локализации обладает большим покрытием, благодаря добавлению итеративной локализации, когда локализованные узлы становятся ссылками и действуют как привязки, помогая определить местоположение других узлов, и дополнительного этапа позиционирования, когда нелокализованные узлы иницируют запрос, который получается в результате выбора различных комбинаций ссылок и повтора схемы.

Масштабируемая локализация с прогнозом мобильности используется для мобильных ПАСС и позволяет привязочным узлам с учётом параметров движения сети использовать алгоритм мобильного прогноза своего местоположения на основе корреляционной пространственно-временной модели.

В большинстве протоколов локализации подразумевается, что процесс локализации функционирует отдельно от других задач системы. Выбор режима работы ПАСС, правильно подобранный уровень параллельного функционирования системы для мониторинговых измерений и позиционирования позволяет повысить эффективность ПАСС, экономить энергию блоков питания сенсоров. Для процедуры выбора привязочных узлов и узлов-ссылок необходимо использовать информацию о параметрах акустического канала

и о качестве связи, что повысит точность измерения расстояний и существенно улучшит оценку локализации.

Перспективой развития методов локализации в ПАСС являются протоколы географической маршрутизации. Однако, использование разрабо-

танных алгоритмов вычисления географических координат требует точной информации о местоположении узлов сети, что затруднено при организации подводной сети, альтернативой, на наш взгляд, может стать метод распознавания и кластеризации подводных объектов.

*Рецензент: Цирлов Валентин Леонидович, кандидат технических наук, доцент МГТУ им. Н.Э.Баумана, г. Москва, v.tsirlov@bmstu.ru*

#### Литература

1. Илларионов Г.Ю., Сиденко К.С., Бочаров Л.Ю. Угроза из глубины: XXI век. Изд.: Хабаровская краевая типография, 2011. 301 с.
2. Материалы международной конференции «Инжиниринг & Телекоммуникации – En&T 2014» 26 ноября 2014 г., МФТИ. URL: <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/mostRecentIssue.jsp?reload=true&pnumber=7121394>.
3. Коваленко В.В., Корчак В.Ю., Хилько А.И., Чулков В.Л. Вопросы противодействия сетевым системам подводного наблюдения и обеспечения их безопасности // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2015. Т. 8. № 4. С. 42-49.
4. Горшков Ю.Г. Тестирование средств засекречивания речи // Вопросы кибербезопасности. 2015. № 2 (10). С. 26-30.
5. Громашева О.С., Бачинский К.В., Кошелева А.В., Ли Б.Я., Юхновский В.А. Определение взаимосвязи изменения параметров акустических сигналов и гидрофизических характеристик морской среды // Океанологические исследования дальневосточных морей и северо-западной части Тихого океана: в 2 кн. / ТОИ ДВО РАН Кн.2. – Владивосток: Дальнаука, 2013. с. 241-251.
6. Громашова О.С., Каменная Е.В., Леонтьева Н.А., Щербинина И.А. Обзор возможностей применения подводной акустической сенсорной сети и предлагаемых архитектурных решений реализации // Транспортное дело России. 2016. № 2. С. 201-204.
7. Gromasheva O.S. Development of the «ACPOSIT-VECTOR» information system for acoustic experiments planning and analysis // Proc. of Meetings on Acoustics. 2015 Vol. 24. URL: <http://dx.doi.org/10.11211>.

## METHOD OF LOCALIZATION IN UNDERWATER ACOUSTIC SENSOR NETWORKS

*Gromashova O.<sup>3</sup>, Shcherbinina I.<sup>4</sup>*

*Creating underwater networks is one of the important areas of security remote objects, such as the port waters, oil- or gas-producing platforms. Because of the water environment, the organization of such networks requires the development of its synchronization protocols, architectures, data exchange algorithms. One of the first is the problem of determining the location of network nodes to each other.*

**Keywords:** localization, underwater acoustic sensor network

#### References

1. Illarionov G.Yu., Sidenko K.S., Bocharov L.Yu. Ugroza iz glubiny: XXI vek. Izd.: Khabarovskaya kraevaya tipografiya, 2011. 301 P.
2. Materialy mezhdunarodnoy konferentsii «Inzhiniring & Telekommunikatsii – En&T 2014» 26 noyabrya 2014 g., MFTI. URL: <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/mostRecentIssue.jsp?reload=true&pnumber=7121394>.
3. Kovalenko V.V., Korchak V.Yu., Khil'ko A.I., Chulkov V.L. Voprosy protivodeystviya setevym sistemam podvodnogo nablyudeniya i obespecheniya ikh bezopasnosti, Fundamental'naya i prikladnaya gidrofizika. 2015. T. 8. No 4, pp. 42-49.
4. Gorshkov Yu.G. Testirovanie sredstv zasekrechivaniya rechi, Voprosy kiberbezopasnosti [Cybersecurity issues]. 2015. No 2 (10), pp. 26-30.
5. Gromasheva O.S., Bachinskiy K.V., Kosheleva A.V., Li B.Ya., Yukhnovskiy V.A. Opredelenie vzaimosvyazi izmeneniya parametrov akusticheskikh signalov i gidrofizicheskikh kharakteristik morskoy sredy, Okeanologicheskie issledovaniya dal'nevostochnykh morey i severo-zapadnoy chasti Tikhogo okeana: v 2 kn. / TOI DVO RAN Kn.2. – Vladivostok: Dal'nauka, 2013, pp. 241-251.
6. Gromashova O.S., Kamennaya E.V., Leont'yeva N.A., Shcherbinina I.A. Obzor vozmozhnostey primeneniya podvodnoy akusticheskoy sensornoy seti i predlagaemykh arkhitekturnykh resheniy realizatsii, Transportnoe delo Rossii. 2016. No 2, pp. 201-204.
7. Gromasheva O.S. Development of the «ACPOSIT-VECTOR» information system for acoustic experiments planning and analysis, Proc. of Meetings on Acoustics. 2015 Vol. 24. URL: <http://dx.doi.org/10.11211>.

3 Gromashova Olga, Ph.D., Pacific Oceanological Institute, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok, gromasheva@poi.dvo.ru

4 Shcherbinina Inna, Ph.D., G.I. Nevelskoi Maritime State University, Vladivostok, shcherbinina@msun.ru