

УДК 004.415.2.031.43

С. Н. Ежов, М. С. Куприянов, А. А. Романова, С. В. Стафеев  
Санкт-Петербургский государственный электротехнический  
университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)

## Программный комплекс 3D-визуализации гидроакустической информации

*Предложен ряд решений для визуализации сигнальных данных гидроакустического мониторинга и выявлены основные сложности при построении систем подобного вида. Поставлены основные задачи, подлежащие решению для получения универсального комплекса мониторинга. Описана архитектура разработанного комплекса, его возможности по расширению с помощью новых модулей и интеграции с другими системами. Рассмотрены технологии, выбранные для разработки системы и их преимущества. Предложены решения задач и рассмотрены функциональные возможности инвариантного программного комплекса 3D-визуализации данных гидроакустического мониторинга акватории. Акцентировано внимание на необходимости повышения информативности восприятия информации посредством использования трехмерного представления по сравнению с двумерным видом. Приведено рассмотрение функционирования основных модулей программного комплекса, повышающих информативность классификации целей. Предложен выбор основных решений, упрощающих интерактивное взаимодействие с программным комплексом.*

### Трехмерная графика, гидроакустический мониторинг, режимы гидролокации

Существующие на сегодняшний день программные пакеты и библиотеки для научной визуализации [1]–[3] не предлагают эффективных решений, учитывающих специфику задач, и обуславливают возникновение ряда сложностей при построении программного комплекса гидроакустического мониторинга акватории.

Первая сложность заключается в том, что многомерность процесса гидроакустического мониторинга создает существенные сложности для формирования визуального образа получаемых результатов, особенно там, где оператор не обладает априорной информацией о характере нестационарных взаимодействий между различными факторами. Существующие системы гидроакустического мониторинга представляют собой «черный ящик» с фиксированными взаимосвязями между различными факторами, в которых без применения средств визуального представления и контроля, получаемых в процессе анализа результатов, даже опытному гидроакустику трудно представить, что происходит в области мониторинга. Для представления решения поставленной задачи многомерного мониторинга необходимо использование комбинированных подходов графического представления, что позволит обеспечить качественное понимание результирующей картины.

В современных гидроакустических средствах используется только двумерная индикация сигнальной информации [4]. Это приводит к тому, что на экране отображается значительное множество отдельных двумерных объектов, соответствующих проекциям многомерного сигнала на плоскость. Подобное представление затрудняет формирование многомерного образа оператором, увеличивает время принятия решений, что является очень существенным в реальных тактических ситуациях.

Применение трехмерной визуализации в системах гидроакустического мониторинга акватории является перспективным направлением развития систем такого рода. 3D-визуализация снижает количество необходимых для контроля оператором модулей, при этом повышается информативность остальных модулей благодаря возможности размещения большего количества информации. Подобное отображение, в отличие от двумерного, позволяет использовать сложные геометрические построения. Возможность аффинных преобразований фрагментов в формате 3D помогает определить взаимное расположение всех объектов на сцене и их углов поворота. Трехмерное отображение требует меньшего количества данных для определения соотношения позиций объектов и позволяет оператору сопоставить их реальные размеры и расположение в про-

странстве. Предлагаемое решение задач визуализации в составе средств систем гидроакустического мониторинга позволяет согласовать алгоритмы визуального представления результатов мониторинга с законами физических процессов. Использование распределенного рендеринга в предлагаемом решении заключается в адаптивном разделении процесса построения изображения между клиентом и сервером, при котором на стороне высокопроизводительного сервера выполняется анализ и упрощение исходных данных, передаваемых клиенту. Для балансировки нагрузки использованы такие факторы, как быстродействие клиента, загруженность сервера и скорость соединения. Это позволяет организовать высокую интерактивность отображаемой сцены при сравнительно небольших требованиях к производительности клиента и ширине канала связи, представляет возможности осуществления интерактивного взаимодействия с элементами сцены, применение к ней аффинных преобразований (смещение, масштабирование, поворот).

Вторая сложность состоит в том, что часть существующих комплексов являются узкоспециализированными, т. е. пригодны лишь для ограниченного списка научных задач и не учитывают специфику задач гидроакустического мониторинга [3]. У большинства универсальных комплексов, в свою очередь, отсутствуют эффективные механизмы интеграции со сторонними программно-аппаратными комплексами, генерирующими данные для построения изображения.

Третья сложность – это малое количество кроссплатформенных решений, которые могли бы работать под управлением операционных систем (ОС) для настольных компьютеров (таких ОС, как Windows, GNU / Linux, OS X и др.) и высокопроизводительных вычислительных комплексов (таких ОС, как HPC Windows, GNU / Linux и др.)

В рассматриваемом программном комплексе для системы гидроакустического мониторинга (СГМА) в режиме гидролокации (ГЛ) отображается несколько модулей: «Круговой обзор» (КО),

«Круговое сопровождение цели» (КСЦ), «Формуляр кругового сопровождения цели». Для управления отображением используется «Оперативное табло управления» (ОТУ).

Целью данной статьи является отражение полученных результатов построения и функциональных характеристик средств формирования 3D-образов многомерного нестационарного процесса гидроакустического мониторинга, обеспечивающих эффективное повышение выразительности результирующего образа.

Предложенная архитектура программного обеспечения СГМА построена согласно функциональной стандартизации и обеспечивает интероперабельность, гетерогенность и модульность системы за счет универсальности и прозрачности используемых решений.

Для обеспечения универсальности комплекса необходимы кроссплатформенность и расширяемость, т. е. возможность подключения к комплексу новых модулей и его интеграции с уже существующими системами (генераторами данных, антеннами, системами принятия решений). Для этого реализация должна иметь четкую структуру, правила создания новых модулей и единые для всех частей интерфейсы взаимодействия с генераторами данных.

В основе архитектурных решений визуализации комплекса лежит паттерн MVC (англ. Model-View-Controller) [5]. Исходя из анализа технических требований к программному обеспечению были определены следующие основные компоненты архитектурного решения:

1. Data Manager.
2. Mode Data Manager.
3. Component.
4. Component In FBO Renderer.
5. Component Renderer.

Каждый компонент реализует интерфейс с набором необходимых и достаточных для решения поставленных задач методов. На рис. 1 представлена компонентная диаграмма компонентов СГМА.

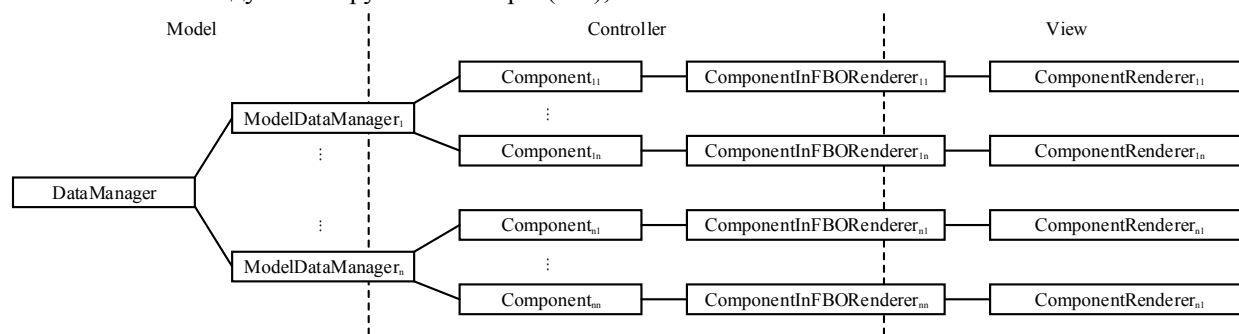


Рис. 1

Компонент Data Manager предоставляет данные и реагирует на команды от компонентов типа Controller, изменяя свое состояние. Компоненты типа Controller интерпретируют действия оператора и оповещают компоненты типа Model о необходимости изменений. Компоненты Component Renderer визуализируют данные, полученные от Data Manager, реагируя на изменения этого компонента. Взаимодействия компонентов обеспечивают следующие адаптеры: Mode Data Manager для связи объектов Model-Controller, Component In FBO Renderer для связи объектов View-Controller.

Предложенные архитектурные решения позволяют вносить изменения в программный комплекс без изменения логики существующих компонентов. Для создания нового модуля необходимо создать соответствующие ему компоненты и описать в них стандартные методы и переменные. Интеграция комплекса в уже существующую систему осуществляется посредством внесения изменений только в адаптеры Mode Data Manager (см. рис. 1). При этом изменения остальных компонентов системы не требуются.

При разработке комплекса были использованы следующие технологии: Фреймворк Qt 5.7; OpenGL 4; QML. Верификация предложенных решений программного комплекса проведена с использованием следующих ОС: Windows 7, 8, 8.1, 10; Ubuntu 14.04, 16.04; Astra Linux «Орел», «Смоленск». Кроссплатформенность комплекса и его модулей позволяет перейти к мобильным СГМА.

Рассмотрим основные элементы функционального отображения результатов мониторинга, несущие основную информационную нагрузку при принятии оператором определенных решений.

**Модуль «Круговой обзор»** отображает индикаторную информацию об уровнях сигнала в виде поверхности в полярных координатах. Каждая точка поверхности определяется пеленгом и дистанцией от погружаемой антенны, а также амплитудой возмущения.

Входной информацией для данного модуля СГМА является значительный по объему массив уровней сигнала, распределенных по пеленгу и дистанции. Эти параметры могут быть изменены в зависимости от технических характеристик антенны [6] и требований к детализации картины и производительности модуля.

Модуль «Круговой обзор» с тремя подтвержденными целями в варианте двумерной визуализации представлен на рис. 2.

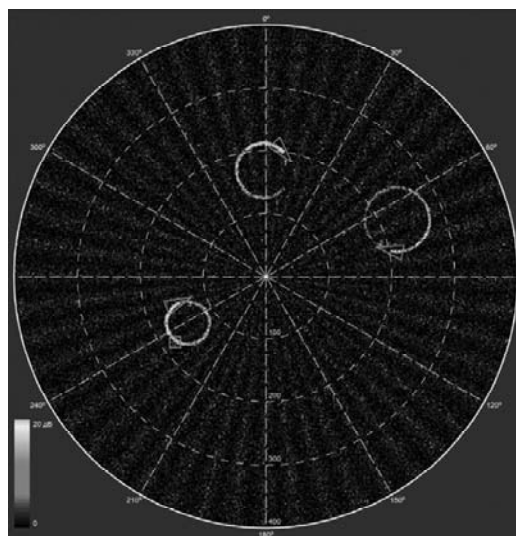


Рис. 2

Невозможность проведения аффинных преобразований с объектами, расположенными на модуле, затрудняет формирование оператором многомерного образа картины. Использование 3D-визуализации позволяет решить данную проблему. С целью увеличения информативности изображения рационально добавить третье измерение с амплитудой возмущения в каждой точке кругового обзора. Модуль «Круговой обзор» в формате 3D с тремя подтвержденными целями представлен на рис. 3.

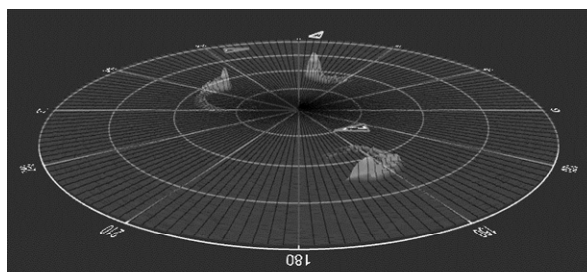


Рис. 3

Предложенное решение построения визуального образа тактической обстановки позволяет наиболее точно определить местоположение, а также направление движения и скорость целей. Трехмерная визуализация модуля «Круговой обзор» позволяет оператору лучше оценить параметры цели за счет более точной оценки уровня сигнала благодаря появлению третьего измерения. Это упрощает решение задач контроля, мониторинга и классификации целей [7].

Увеличение количества каналов при отображении позволяет увеличить детализацию изображения.

**Модуль «Луна»** предназначен для визуализации выбранной оператором области модуля «Кру-

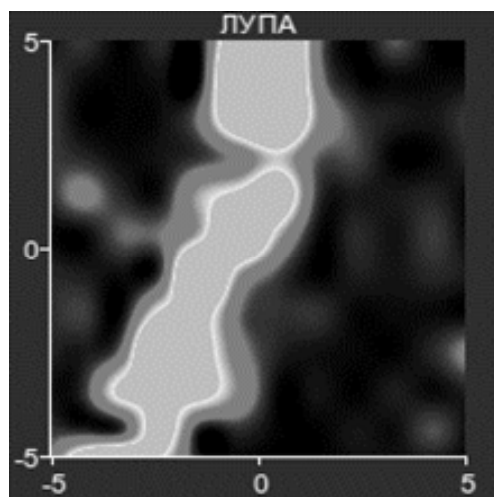


Рис. 4

говой обзор» в режиме максимального увеличения. Данные отображаются в виде поверхности в декартовых координатах. По осям абсцисс и ординат откладывается дистанция относительно центра выбранной оператором области.

Входная информация для данного модуля СГМА представляет собой массив уровней сигналов, распределенных по дистанции. В зависимости от требований к детализации изображения, а также технических характеристик оборудования количество отображаемых каналов может быть изменено в файле конфигурации.

Отображение выбранной области модуля «Круговой обзор» может осуществляться в нескольких вариантах: слежение за подтвержденной оператором целью, слежение за выбранной областью кругового обзора. В первом варианте модуль «Лупа» сопровождает выбранную оператором цель из формуляра целей, изменяя координаты центра отслеживаемой области кругового обзора в зависимости от направления и скорости движения цели. Во втором варианте оператор самостоятельно определяет область кругового обзора, за которым будет осуществляться слежение.

Двумерное представление модуля «Лупа» в режиме слежения за выбранной областью кругового обзора представлено на рис. 4. Статическое расположение объектов модуля затрудняет восприятие отображаемой картины оператором, по этой причине для всех объектов модуля целесообразно добавить возможность проведения аффинных преобразований. С целью повышения эффективности использования пространства экрана сам модуль также следует сделать масштабируемым. Информативность отображаемых данных может быть увеличена за счет добавления

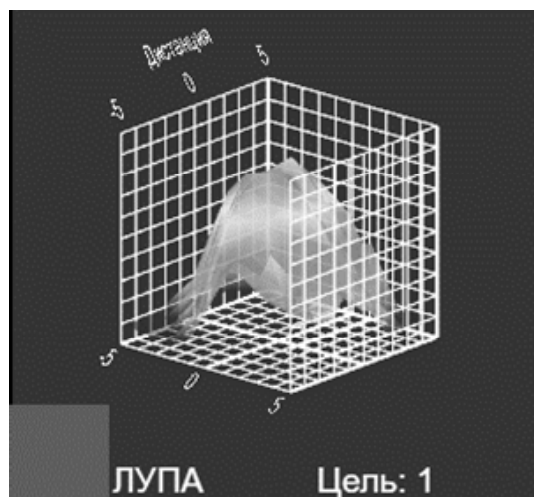


Рис. 5

дополнительного измерения для визуализации уровней амплитуды возмущения. Трехмерное представление модуля «Лупа» в режиме слежения за выбранной оператором целью из формуляра целей представлено на рис. 5.

Использование модулей «Круговой обзор» и «Лупа» не ограничивается системами гидроакустического мониторинга акваторий ближнего радиуса действия, так как количество отображаемых каналов в вышеописанных модулях является параметром файла конфигурации. Изменение количества отсчетов по пеленгу и дистанции позволяет приспособлять данные модули под любые задачи контроля тактической обстановки, изменять уровень детализации и адаптировать систему под конкретную ЭВМ.

**Модуль «Визир»** предназначен для отсеечения шума и выделения уровня амплитуды возмущения, имеющей значение для анализа информации оператором на данный момент времени. Настройка отсеечения определенных уровней сигнала осуществляется за счет регулировки длины дуги сектора от нуля до полного покрытия диска модуля «Круговой обзор», уровня отсеечения и угла поворота сектора.

На рис. 6 представлено отсеечение сигналов до 4-го уровня с углом раскрытия  $60^\circ$  (определяет длину дуги) и углом поворота  $240^\circ$ .

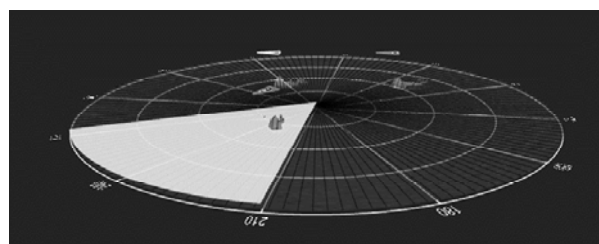


Рис. 6

**Модуль «Круговое сопровождение цели»** позволяет следить за параметрами подтвержденной цели. На КСЦ отображаются важнейшие параметры цели: радиальная скорость, дистанция относительно центра кругового обзора, максимальная радиальная скорость в каждой точке по пеленгу и дистанции.

С целью повышения информативности отображаемых данных целесообразно добавить «историю» изменений – шкалу времени. Таким образом повышается информативность картины в целом, а также упрощается задача классификации цели и оценки ее параметров. Добавление возможности проведения аффинных преобразований позволяет оператору ускорить понимание взаимного расположения объектов на картине. Рационально добавить возможность масштабирования окна модуля в зависимости от степени важности представляемой информации на данный момент времени. Это позволяет существенно сэкономить экранное пространство.

Трехмерное представление модуля «Круговое сопровождение цели» для выбранной оператором цели из формуляра представлено на рис. 7.

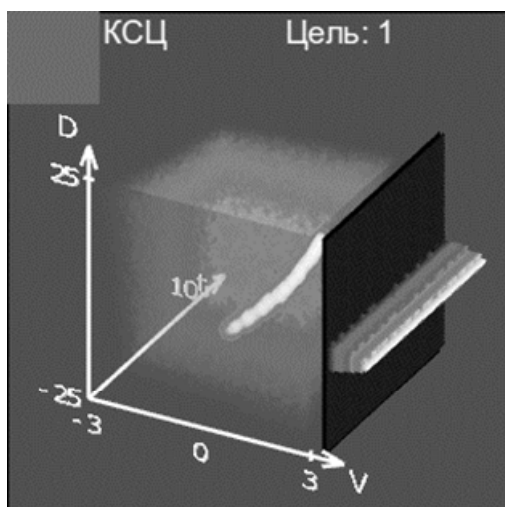


Рис. 7

Добавление временной информации позволяет оператору оценить параметры цели (траектория, скорость, направление движения) и своевременно принять адекватные решения.

Для увеличения наглядности объем визуализируется с использованием подходов объемного рендеринга (VolumeRayCasting). Предложенное решение позволяет увеличить информативность отображения и распределить нагрузку по визуализации между CPU и GPU и снизить затраты, что необходимо в условиях ограниченности вы-

числительных ресурсов используемых технических средств [8].

Разработанный программный комплекс трехмерной визуализации гидроакустического мониторинга акватории адаптирован к решению задач трехмерной визуализации на низкопроизводительных ЭВМ посредством распределения вычислений между центральным и графическим процессорами. Разработанный программный комплекс предлагает кроссплатформенное решение благодаря выбору технологий и библиотек на этапе разработки. Инвариантность комплекса по отношению к операционным системам позволяет осуществлять перенос на другие платформы без внесения существенных изменений в существующие модули.

Архитектура разработанного программного комплекса является модульной, что делает систему универсальным средством решения задачи визуализации данных гидроакустического мониторинга. В комплексе предусмотрена возможность добавления новых модулей и интеграции с другими системами.

Использование методов трехмерной визуализации увеличивает информативность изображений при уменьшении количества используемых модулей. Привычное человеческому глазу трехмерное отображение, добавление временной информации и «предыстории» каждому модулю, а также возможность аффинных преобразований сцены уменьшают время реакции оператора и увеличивают точность определения угроз и классификации целей.

Интерфейс программного комплекса построен с учетом специфики области применения и условий работы оператора. Он полностью соответствует эргономическим требованиям. Адаптация интерфейса к сенсорным экранам, а также кроссплатформенность комплекса открывает новые возможности по использованию системы на мобильных платформах.

Описанный комплекс предлагает новый подход к визуализации сигнальной информации и является высокоинформативной системой трехмерной визуализации данных гидроакустического мониторинга акватории.

Работа выполнена в СПбГЭТУ «ЛЭТИ» при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках договора № 02.G25.31.0149 от 01.12.2015 г.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Виноградов М. А. Современные средства визуализации и обработки двумерных научных данных. 2002. URL: [http://www.amlab.ru/paper\\_max.shtml](http://www.amlab.ru/paper_max.shtml).
2. Ahrens J., Geveci B., Law C. ParaView: An End-User Tool for Large Data Visualization / ed. by C. D. Hansen, C. R. Johnson. Elsevier, 2005. 984 p. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780123875822500381>.
3. FEI Visualization Sciences Group. Avizo Fire for Core samples and Digital rock physics. 2013. 4 p. URL: [http://www.vsg3d.com/sites/default/files/related/fei\\_sh\\_core\\_sample\\_digital\\_rock\\_physics.pdf](http://www.vsg3d.com/sites/default/files/related/fei_sh_core_sample_digital_rock_physics.pdf).
4. Корякин Ю. А. Корабельная гидроакустическая техника. СПб.: Наука, 2004. 451 с.
5. Приемы объектно-ориентированного проектирования. Паттерны проектирования / Э. Гамма, Р. Хелм, Р. Джонсон, Дж. Влиссидес. СПб.: Питер, 2001. 386 с.: ил. (Сер. «Серия программиста»).
6. Урик Роберт Дж. Основы гидроакустики. Л.: Судостроение, 1978. 448 с.
7. Анализ методов обнаружения признаков возможной чрезвычайной ситуации с помощью надводных и подводных систем мониторинга зон потенциальных чрезвычайных ситуаций / Н. С. Сенюшкин, Р. Г. Ахтямов, К. Е. Рожков, А. С. Кузнецова // Молодой ученый. 2012. № 10. С. 75–77.
8. Kruger J., Westermann R. Acceleration Techniques for GPU-based Volume Rendering, 2003. URL: [http://www.cg.in.tum.de/fileadmin/user\\_upload/Lehrstuhle/Lehrstuhl\\_XV/Research/Publications/2003/vis03-rc.pdf](http://www.cg.in.tum.de/fileadmin/user_upload/Lehrstuhle/Lehrstuhl_XV/Research/Publications/2003/vis03-rc.pdf).

S. N. Ezhov, M. S. Kupriyanov, A. A. Romanova, S. V. Stafeev  
Saint Petersburg Electrotechnical University «LETI»

## 3D VISUALIZATION SOFTWARE OF HYDROACOUSTIC INFORMATION

*Presents the results of analysis of solutions for scientific visualization of hydroacoustic monitoring data and identifies the main difficulties in developing such systems. The tasks that must be solved to obtain a modern monitoring system are set. The architecture of the developed complex, its possibilities for expansion with the help of new modules and integration with other systems is described. The technologies selected for system development and their advantages are considered. The solution of these problems is proposed and the functional possibilities of the universal software complex 3D visualization of hydroacoustic monitoring of the water area are considered. Attention is focused on increasing the information content and improving the perception of information when using a three-dimensional representation in comparison with the classical two-dimensional view for such systems. The descriptions of the work of fragments supplementing the basic information are given, improving the information content and simplifying the goal classification problem. The choice of the forms of data representation is substantiated and the analysis of the received decisions is made on the part of increasing the information content and simplifying the operator's work.*

**3D-graphics, sonar monitoring, sonar modes**