

УДК 681.325.5-181.4

С.Ю. Касаев

СИСТЕМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗОН ТЕНИ ПРИ ГИДРОЛОКАЦИИ ДОННОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Анализируются современные практические методы обнаружения объектов искусственного происхождения в водной среде. Обсуждается проблематика применения затратных способов уточнения появления зон тени при гидролокации дна. Описываются теоретические и практические аспекты построения системы моделирования на основе математического описания распространения звукового луча. Рассматривается проблематика распараллеливания вычислительного процесса моделирования на стандартной архитектуре ЭВМ. Рассматриваются различные способы построения аппаратных ускорителей, позволяющих проводить процесс моделирования в режиме реального времени. Приводится пример программно-аппаратного комплекса, решающего поставленную задачу.

Система моделирования; программно-аппаратный комплекс; гидроакустическая станция; искусственное происхождение; методы подводного поиска.

S.Yu. Kasaev

SYSTEM OF DEFINITION SHADOW ZONES AT HYDROLOCATIONS OF A GROUND SURFACE

There is analyzing practical detections methods artificial objects in aqueous medium. The problem of using very cost methods, which apply for analyzing shadow zones during the zoning is described. Theoretical and practical aspects of developing sonar's beam's modeling systems by using the mathematical description of sonar's beam are described. The problems of paralleling modeling process computational calculations on standard architecture are considered. The different methods creating hardware accelerators, which allow real-time modeling sonar's system, are described. The example of soft-hardware system, which allows solve the problem setting, is cited.

Modeling system; soft-hardware system; hydro acoustic system; artificial object; sweeps methods.

Введение. Изучение подводного мира является одной из актуальнейших проблем человечества. Анализ получаемых данных позволяет предсказывать изменения, производить поиск подводных объектов, строить детальные карты дна. В то же время водная среда – серьезное препятствие для проникновения в ее толщу человека и аппаратуры. Она практически не прозрачна для СВЧ и лучей видимого спектра, инфракрасного и радиодиапазонов – которые успешно применяются для изучения, локации и коммуникации в атмосфере и космическом пространстве [1]. Единственным эффективным способом остается применение акустических сигналов, которые позволяют передавать информацию на несколько тысяч километров. В наше время изучение морского дна производится путем облучения звуковым сигналом и анализом возврата этого луча.

Применение гидролокационных аппаратов – единственный эффективный метод изучения подводного мира на дальние расстояния (>100 м), но в то же время имеет ряд недостатков. Один из которых – появление зон тени. В ходе зондирования донной поверхности появляются участки дна, которые не осветились. Такая ситуация получается из-за ряда факторов [2]:

- ◆ сложный донный рельеф;
- ◆ нелинейность распространения звукового луча.

Для принятия адекватных решений необходимо различать причины появления теневых зон. Существуют различные методы распознавания и уточнения причин появления неосвещенных участков дна. К ним относятся применение подводного телевидения и подводных роботов.

Подводное телевидение для наблюдения обстановки и объектов под водой применяется при поиске и обследовании затонувших судов, для осмотра подводной части судов, гидротехнических сооружений и подводных коммуникаций, наблюдения за работой водолазов, за состоянием ледового покрова с подводных лодок.

Другой метод заключается в применении специализированной техники – подводных микророботов. Подводные микророботы широко применяются для поиска и обследования затонувших подводных объектов, в том числе потенциально опасных.

МЧС России широко использует роботов для поиска и обследования подводных объектов в Балтийском, Черном, Карском и Японском морях. В первую очередь это затонувшие атомные подводные лодки, затопленные химические боеприпасы, затопленные твердые радиоактивные отходы, затонувшие суда с обычными боеприпасами и нефтепродуктами.

1. Постановка задачи. Оба метода позволяют детально изучить подводные объекты искусственного происхождения. Но каждый из методов требует больших как экономических, так и временных затрат, для обследования сравнительно небольших площадей акваторий.

Перед автором поставлена задача повышения эффективности применения уточняющих методов: подводного телевидения и подводных роботов.

Эффективность применения затратных способов, возможно, повысить при помощи снижения «ложных» подозрений на появление объектов искусственного происхождения. Моделирование зондирования донной поверхности обследуемой акватории может помочь установлению причины появления темных участков. Имитация работы эхолота позволит графически отобразить движение испускаемых звуковых лучей, что наглядно продемонстрирует ситуации возникновения зон тени из-за сложного донного рельефа. В ином случае (необоснованном возникновении темного участка), оператор сможет определить случай появления объекта искусственного происхождения.

Были созданы различные системы моделирования отечественного и зарубежного производства. Существуют образцы промышленного отечественного производства, с помощью которых производится моделирование акустических полей. Это электронный лучеграф МГ-33 и электронный зонограф МГ-53 (автограф) [3]. Примерами западных аналогов являются системы BATHANY SPI-03, SPI-04, M-747 Edo, TSM-9310, ARTI PMS-100, ARPAS [3,9-11].

В виду малой инсталляции многолучевых эхолотов (рис. 1) во время создания приборов моделирования акустического поля в водной среде, ранее разработанная аппаратура, на современном этапе развития гидроакустических систем, отстает и не удовлетворяет техническим характеристикам:

- 1) моделирование многолучевых эхолотов;
- 2) задержка во времени выдачи результатов;
- 3) отсутствие трехмерной графики при отображении результатов;
- 4) массогабаритные характеристики.

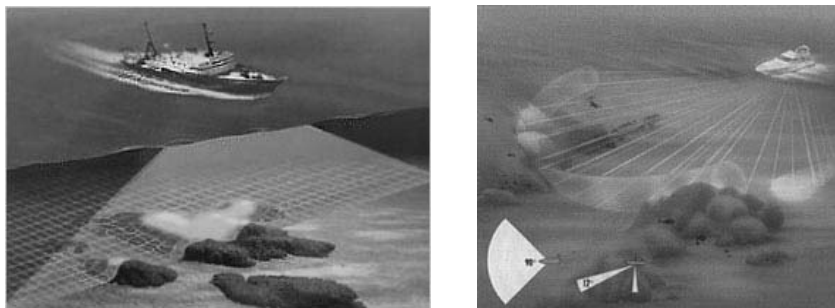


Рис. 1. Пример работы одного из многолучевых эхолотов

Ни в одном из решений не предлагается построение трехмерной картины акустического поля. Отсутствие наглядности осложняет спасательно-поисковые, научно-исследовательские и прикладные работы.

2. Метод решения. Автором предлагается построить систему определения зон тени при зондировании донной поверхности, которая позволит определять причины появления неосвещенных участков. Система моделирования должна визуализировать процесс зондирования дна в реальном времени. При такой организации построения гидроакустической системы у оператора будет две картины подводного участка: практическая – полученная в результате анализа результатов гидроакустической станции; теоретическая – полученная в результате моделирования процесса обсвета донной поверхности.

Сравнение двух картин позволит определить обоснованность появления зон тени, появляющихся за счет сложного рельефа донной поверхности, или распознать наличие подводного объекта искусственного происхождения.

3. Программно-аппаратный комплекс. Для решения задачи моделирования предлагается разработать программно-аппаратный комплекс, позволяющий моделировать процесс зондирования и отображать результаты обсвета в реальном времени. Программно-аппаратный комплекс будет состоять из двух функциональных блоков. Соответственно программный блок должен позволять отображать в трехмерном виде результаты моделирования, а аппаратный блок – позволить решать математическую составляющую задачи моделирования. Такая архитектура системы позволит представлять требуемые результаты в реальном времени и учитывать особенности установленной гидроакустической системы.

Построение системы моделирования реального времени с использованием только вычислительных ресурсов центрального процессора современных ЭВМ затруднительно. Это связано с последовательной обработкой информации [4]. В противоположность организации вычислений, в реальности современные эхолоты излучают и обрабатывают одновременно множество лучей. Следовательно, к вычислительным мощностям процессора ЭВМ необходим дополнительный блок аппаратного ускорителя, который будет производить аппаратное параллельное решение математического описания моделирования.

Используя современные средства проектирования, можно разработать свой собственный специализированный вычислитель. Постоянное усовершенствование программируемой логики и сред проектирования программируемых логических интегральных схем (ПЛИС) позволяет разрабатывать собственные высокоскоростные устройства.

Учитывая возможности программных сред, совместимых со стандартной архитектурой, аппаратный блок системы моделирования удобно встроить в IBM-совместимую платформу. Таким образом, снимается вопрос низкоуровневого программирования графических адаптеров, устройств ввода-вывода (клавиатура, мышь, дисплей, принтер и т.д.), а также снимается вопрос о разработке новой среды программирования. Программный блок системы моделирования должен предоставлять оператору такие функции, как:

- ◆ возможность позиционирования судна;
- ◆ возможность выбора зависимости скорости звука от глубины;
- ◆ возможность выбора типа моделирующего эхолота;
- ◆ отображение результатов обсвета в трехмерном виде.

4. Типы вычислителей. Соответственно основной вычислительный процесс накладывается на аппаратный блок предлагаемой системы. Аппаратный ускоритель должен производить необходимые вычисления в заданных временных рамках, которые регламентируются глубиной обсвета и скоростью движения судна.

Гибкость возможностей программируемых логических интегральных схем позволяет построить аппаратный ускоритель различных типов [4]:

- ◆ параллельного вычисления;
- ◆ конвейерного вычисления;
- ◆ параллельно-конвейерного.

Аппаратный ускоритель параллельного вычисления позволяет в один такт работы выполнять более одной команды. Это требует наличие нескольких арифметико-логических устройств, которые работают независимо друг от друга. Как следствие такого архитектурного построения вычислителя возникает вопрос организации подсистемы оперативной памяти. Существует несколько вариантов решения данного вопроса [5-7]:

- ◆ SMP режим;
- ◆ NUMA режим;
- ◆ cc-NUMA режим.

В SMP архитектуре (symmetric multiprocessing – симметричная многопроцессорная архитектура) главной особенностью является наличие общей физической памяти, разделяемой всеми процессорами, причем по отношению к этой памяти все процессоры являются равнозначными, адресное пространство едино для всех процессоров. Архитектура с неоднородным доступом к памяти (NUMA – Non-Uniform Memory Access). Система состоит из однородных базовых модулей (плат), состоящих из небольшого числа процессоров и блока памяти. Модули объединены с помощью высокоскоростного коммутатора. Третья архитектура является гибридом SMP- и NUMA-архитектур – кэш-когерентный доступ к неоднородной памяти (ccNUMA – cache-coherent non-uniform memory architecture). В системе ccNUMA физически распределенная память объединяется, как в любой другой SMP-архитектуре, в единый массив. Аппаратно-реализованная кэш-когерентность означает, что на аппаратном уровне решается проблема сохранения множества копий обновленных данных или передачи их между множеством экземпляров ОС и приложений.

В конвейерных вычислителях, весь объем работ распределен между несколькими процессорами таким образом, что после работы одного из них над фрагментом данных результат передается для работы следующему процессору, в то время как первый из этих процессоров снова получает очередную порцию данных и т.д. – в полной аналогии с работой обычных конвейеров.

Вычислители параллельно-конвейерного типа являются частным случаем архитектуры MIMD (multiple instructions – multiple data) [8]. На рис. 2 представлен пример построения архитектуры MIMD (ОК – одиночный поток команд, ОД – одиночный поток данных, Пр-рх – процессор х).

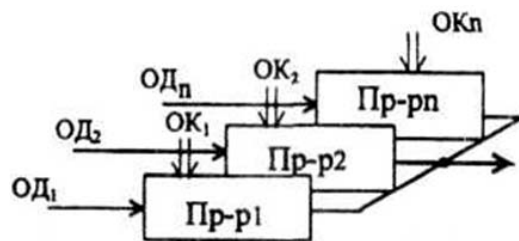


Рис. 2. Структура MIMD

Архитектура MIMD предполагает, что все процессоры системы работают по своим программам с собственным потоком команд. В простейшем случае они могут быть автономны и независимы. Наибольший интерес – возможность согласованной такой работы процессоров, когда каждый вычислительный элемент делает часть общей задачи.

Выбор наиболее оптимальной архитектуры построения аппаратного вычислителя зависит от поставленной математической задачи.

5. Математическое обоснование. Для моделирования распространения звукового луча в водной среде необходимо решить систему дифференциальных уравнений [1]:

$$\begin{aligned} \frac{dx}{dt} &= c(y) \cos \theta, \\ \frac{dy}{dt} &= c(y) \sin \theta, \\ \frac{d\theta}{dt} &= -\frac{c(y) \cdot \cos \theta}{c_0} \frac{dc}{dy}. \end{aligned} \quad (1)$$

Для решения данной системы в дискретном виде необходимо представить уравнения в разностной форме.

Систему дифференциальных уравнений (1) необходимо представить в разностной форме:

$$\begin{aligned} \begin{cases} \frac{dx}{dt} = c(y) \cos \theta \\ \frac{dy}{dt} = c(y) \sin \theta \\ \frac{d\theta}{dt} = -\frac{c(y) dc}{c_0 dy} \cos \theta \end{cases} &\Rightarrow \left(V(y) = -\frac{c(y) dc}{c_0 dy} \right) \Rightarrow \begin{cases} dx = c(y) \cos \theta dt \\ dy = c(y) \sin \theta dt \\ d\theta = V(y) \cos \theta dt \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x = \int c(y) \cos \theta dt \\ y = \int c(y) \sin \theta dt \\ \theta = \int V(y) \cos \theta dt \end{cases} \\ &\Rightarrow \begin{cases} \nabla x = c(y) \cos \theta \nabla t \\ \nabla y = c(y) \sin \theta \nabla t \\ \nabla \theta = V(y) \cos \theta \nabla t \end{cases}, \end{aligned} \quad (2)$$

Формула трапеций для решения системы дифференциальных уравнений (2) дает вполне допустимую погрешность. Аппаратная реализация данного метода сложнее метода прямоугольников [4], но проще чем метод Симпсона, погрешность которого является самой минимальной.

На рис. 3 приведена структурная схема возможной реализации вычислителя. Данная схема универсальна для описанных выше интеграторов.

В схеме используется 5 цифровых интеграторов, работающих по одному из методов описанных выше, 2 умножителя, 2 накопительных сумматора и одного вычислительного блока. Вычислительный блок предназначен для определения скорости звука по заданной глубине, рассчитываемой на каждой итерации.

Приведенная структурная схема вычисляет ход одного луча. Так как лучи распространяются параллельно и не зависят друг от друга, нет ограничений использовать несколько вычислителей для полного просчета.

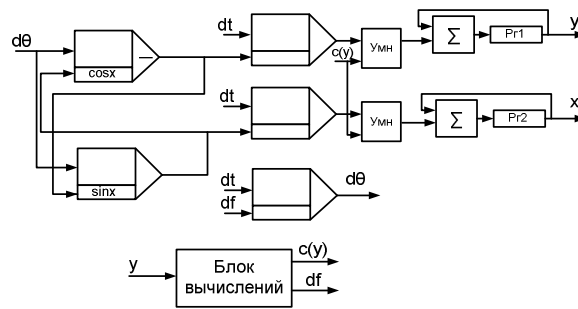


Рис. 3. Структурная схема вычислителя

6. Практические результаты. Исходя из разработанной структурной схемы, была разработана функциональная схема вычислительного ядра в среде проектирования Quartus 6.0. Она представлена на рис. 4.

Для построения конвейера необходимо добавить в существующую схему регистры хранения временных вычислений. Из рис. 4 видно, что вычислитель состоит из 5 последовательных операций. Следовательно, потребуется 1 регистр после первого умножения и 2 регистра перед последним умножением.

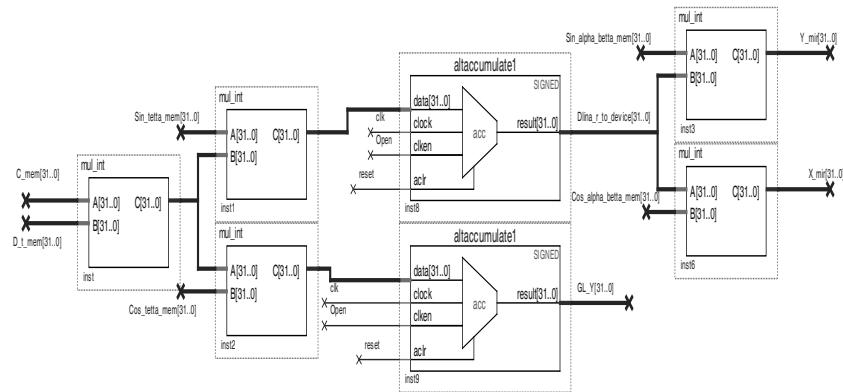


Рис. 4. Вычислительное ядро

Оператору-гидроакустику на мониторе предлагается интерфейс, представленный на рис. 5.

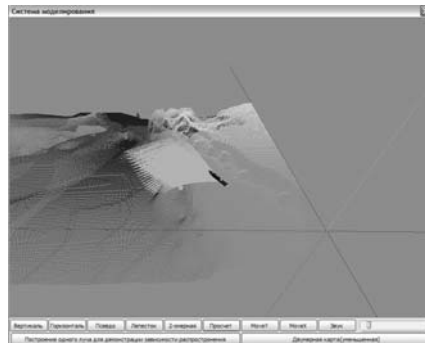


Рис. 5. Трехмерное моделирование обсвета

В данном окне пользователю предоставляется выбор инструментария, который позволит моделировать обсвет дна, учитывая, различные виды гидроакустических станций. Результаты обсвета теоретического расчета представлены на рис. 6.

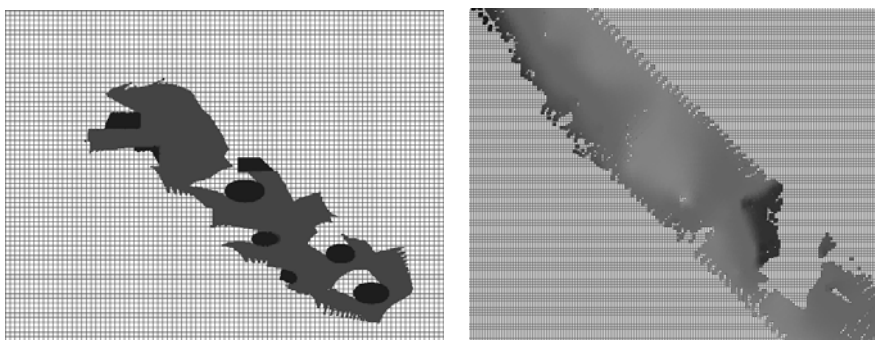


Рис. 6. Результаты моделирования обсвета дна

Вывод. В статье была рассмотрена проблема повышения эффективности использования подводного телевидения и применения подводных роботов. Автором было предложено разработать программно-аппаратный комплекс, позволяющий моделировать ситуацию зондирования донной поверхности. Это позволит сравнить полученные практические и теоретические результаты, проанализировать и принять адекватное решение о причине появления неосвещенных участков. На современном этапе развития гидроакустических систем, повсеместного появления многолучевых эхолотов, ранее разработанная аппаратура технически устарела и не удовлетворяет возросшим требованиям. Учитывая возможности и недостатки существующих аналогов отечественных и западных разработок, предлагается разработать систему, позволяющую в режиме реального времени отображать распространение звукового луча, излучаемого гидроакустической системы корабля. Предлагается отображать результаты на мониторе оператора-гидроакустика в трехмерном режиме.

Так как современные ЭВМ являются системами с последовательной обработкой данных, предлагается переложить процесс обсвета с центрального процессора универсальной ЭВМ на специализированное вычислительное устройство. Реализовать параллельную архитектуру вычислителя позволит применение программируемых логических интегральных схем. В данной главе были рассмотрены различные архитектуры построения аппаратного ускорителя, позволяющего производить параллельный процесс вычисления. Автором предлагается конвейерная архитектура вычислительного устройства, который наиболее оптимально позволит решать задачу моделирования акустической подводной картины.

Основываясь на требованиях к системе моделирования, было спроектировано и создано программное приложение, моделирующее реальную ситуацию зондирования донной поверхности, а также приведены результаты теоретического расчета обсвета донной поверхности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Бурдик В.С.* Анализ гидроакустических систем / Пер. с англ. – Л.: Судостроение, 1988. – 392 с.
2. *Рожин Ф.В., Тонаканов О.С.* Общая гидроакустика. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1988. – 160 с.
3. *Комляков В.А.* Корабельные средства измерения скорости звука и моделирования акустических полей в океане. – СПб.: Наука, 2003. – 357 с.

4. *Воеводин В.В.* Вычислительная математика и структура алгоритмов. – М.: Изд-во МГУ, 2006. – 112 с.
5. *Кузьминский М.И.* Архитектура S2MP – свежий взгляд на cc-NUMA // Открытые системы. – 1997. – № 2. – С. 43-49.
6. Официальный правительственный документ “Sequent's NUMA-Q SMP Architecture“, 2010, Sequent Computer Systems, Inc URL: <http://www.sequent.com> (дата обращения: 15.02.2010).
7. *Евстигнеев В.А.* NUMA-архитектура: некоторые особенности компиляции и генерации кода // Поддержка супервычислений и Интернет-ориентированные технологии. – Новосибирск: ИСИ СО РАН, 2001. – С. 44-53.
8. *Бройдо В.Л., Ильина О.П.* Архитектура ЭВМ и систем: Учебник для вузов. – СПб.: Питер, 2006. – 718 с.
9. *Mansour M., Smith B.V., Noaks D.R.* Localization of an object using a bat model, inspired from biology. – 2009 URL: www.biophysicsnet.ro/tjb/articles/257/amchi.pdf (дата обращения 16.02.2010).
10. *Peter Dobbins* Radar, sonar and SWIPS // IEE Colloquium on `Simulation Techniques Applied to Sonar' (Digest No.80) – P. 97-103 URL: <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/mostRecentIssue.jsp?punumber=2121> (дата обращения 16.03.2010).
11. *Kriegman D.J., Triendl E. and Binford T.O.* "A mobile robot: Sensing, planning and locomotion" // IEEE Int. Conf. Robotics Automat. – 2009. – P. 402-408.
12. *Золотовский В.Е.* Методика построения имитационных систем моделирования. Проблемы управления безопасностью сложных систем: Труды XVII Международной конференции. – М., 2009 / Под ред. Н.И. Архиповой, В.И. Кульбы. – М.: РГГУ, 2009. – С. 348-454.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор В.Е. Золотовский.

Касаев Сергей Юрьевич

Технологический институт федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет» в г. Таганроге.
E-mail: kasaev_sy@mail.ru.
101998, г. Москва, ул. Новороссийская, 25.
Тел.: +79852279470.
Кафедра вычислительной техники; соискатель.

Kasaev Sergey Yur'evich

Taganrog Institute of Technology – Federal State-Owned Autonomy Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”.
E-mail: kasaev_sy@mail.ru.
25, Novorossoskaya Street, Moscow, 101998, Russia.
Phone: +79852279470.
Department of Computer Engineering; Competitor.

УДК 534.222.2

В.Ю. Волощенко

**ЛОКАЦИОННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЕЛЕНГА
И УДАЛЕННОСТИ ИСТОЧНИКА МОЩНЫХ ТОНАЛЬНЫХ СИГНАЛОВ**

Рассмотрен принцип работы и структурная схема пассивного акустического пеленгатора, позволяющего оператору устройства как определять направление на источник сигнала с необходимой точностью, так и оценивать его удаленность. Данное устройство может быть использовано в составе гидроакустической аппаратуры для обеспечения сопровождения.

Нелинейная акустика; пассивный акустический пеленгатор.