

УДК 681.883.65

В.В. Гладков, Ю.А. Корнеев

ПРИМЕНЕНИЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ОТЛАДКИ АЛГОРИТМОВ ОБРАБОТКИ ГИДРОЛОКАЦИОННОЙ ИНФОРМАЦИИ

Предложен метод имитации гидролокационных сцен и сигналов, основанный на формировании «обобщенной» гидролокационной сцены, содержащей информацию о характеристиках рассеяния объектов в моделируемом пространстве и инвариантной к параметрам гидроакустической станции, геометрии наблюдения. Такой подход позволяет реализовать гибкую и адекватную имитацию гидролокационных сигналов, необходимую для тестирования и анализа алгоритмов первичной и вторичной обработки гидролокационной информации.

Ключевые слова: активная гидролокация, гидролокационное изображение, имитация, моделирование, алгоритмы обработки.

Введение. В последнее время приобретают всё большую актуальность программные комплексы для моделирования и тестирования алгоритмов обработки гидролокационной (ГЛ) информации. Современные технологии моделирования позволяют в рамках исключительно компьютерного расчета реализовать имитацию ГЛ сцен, отражающих объектов различной природы, излучаемых и принимаемых разными гидроакустическими станциями (ГАС) сигналов, провести машинный эксперимент и получить достоверные результаты без необходимости дорогостоящих испытаний на реальном полигоне.

Целью работы является разработка алгоритмов имитации ГЛ обстановки и сигналов, обеспечивающих хорошую степень гибкости и адекватности. Гибкость, то есть возможность быстрого изменения параметров наблюдения (в том числе, параметров ГАС), особенно важна при моделировании разнообразных ситуаций, необходимых для проверки эффективности алгоритмов обработки ГЛ информации.

Методика моделирования. Используемый метод имитационного моделирования предполагает создание на подготовительном этапе в памяти ЭВМ «обобщенных» ГЛ сцен, т. е. сцен, описывающих характеристики отражений всех объектов в моделируемом пространстве. Обобщенная ГЛ сцена должна быть инвариантна к характеристикам ГАС (ширине диаграммы направленности, виду зондирующего сигнала) и месту расположения ГАС. Таким образом, на подготовительном этапе фактически формирует-

ся функция рассеяния (ФР) гидролокационного канала [1]. Специфика, присущая конкретной ГАС, а также другие изменяющиеся параметры, такие как местоположение ГАС и геометрия зондирования, задаются непосредственно в процессе получения имитированных сигналов с использованием данных обобщенной ГЛ сцены [2]. Таким образом, организуется своеобразный «просмотр» единой обобщенной сцены различными типами ГАС.

Формирование имитированного сигнала реализуется при квадратурном его представлении путем свертки излучаемого сигнала (с весом характеристики направленности (ХН) передающей антенны конкретной ГАС) с ФР гидролокационного канала и последующей весовой обработки отраженного сигнала в пределах ХН приемной антенны с весом ее ХН [1]. В результате имитированный сигнал при каждом положении антенны определяется функцией рассеяния созданного обобщенного ГЛ канала (ГЛ сцены) в пределах ХН антенны моделируемой ГАС. В каждом пространственном элементе разрешения могут формироваться несколько компонент рассеянных сигналов (компонент ГЛ канала): точечные и локально-протяженные объекты, донная или поверхностная реверберация. При формировании компонентных сигналов используются параметры среды, взятые из пространственной базы данных обобщенного ГЛ канала (рисунок 1).

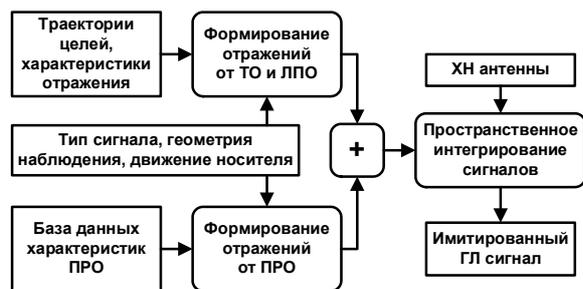


Рисунок 1 – Схема создания имитированных сигналов

При распространении акустических волн происходит их рассеяние и отражение на неоднородностях объектов, составляющих ГЛ канал и являющихся его компонентами. Компоненты ГЛ канала, классифицированные с точки зрения особенностей формирования рассеянных сигналов при обзоре пространства и отличающиеся особенностями имитации («технологией» моделирования), включают в себя точечные объекты (ТО), локально-протяженные объекты (ЛПО) – отражения от целей, а также поверхностно-распределенные отражатели (ПРО) – поверхностную и донную реверберацию. Под ТО понимается объект, геометрические размеры которого меньше разрешающего объема ГАС. При этом сам объект может состоять из нескольких блестящих точек (быть протяженным); рассеяние акустического сигнала таким объектом описывается характеристикой рассеяния (ХР). Геометрические размеры ЛПО соответствуют нескольким пространственным элементам разрешения ГАС.

Разделение моделируемых ГЛ объектов на классы соответствует различным технологиям имитации отраженных от этих объектов ГЛ сигналов. Для ТО и ЛПО могут быть построены достаточно точные и реалистичные пространственные модели, позволяющие получать всеракурсные характеристики сигналов, отраженных от моделируемых объектов. В то же время представление с такой детальностью геометрических параметров ПРО (например, береговая черта, донная реверберация) практически нереализуемо и, кроме того, является излишним. Исходя из этого предлагается для моделирования отражений от ТО и ЛПО использовать алгоритмы имитации на основе точных геометрических моделей объектов, а для моделирования ПРО применять другой подход, основанный на использовании пространственных баз данных и электронных карт, содержащих характеристики отражающих объектов.

На основании анализа опубликованных данных по характеристикам ГЛ отражений можно сделать определенные выводы и обобщения. В частности, отражающие свойства ПРО целесо-

образно характеризовать распределениями удельной отражающей способности по координатам и ее зависимостями от углов наблюдения. Отражения от объектов сложной формы характеризуются характеристикой рассеяния. Объединив указанные характеристики в единую базу данных характеристик отражений, возможно создать обобщенную ГЛ сцену, инвариантную к параметрам исследуемой ГАС, что позволяет реализовать концепцию гибкой и адекватной имитации.

Задание параметров компонент ГЛ канала. Процесс задания всех необходимых характеристик ГЛ объектов в имитируемом пространстве представляет некоторую сложность. Поэтому следует рассмотреть варианты задания обобщенной ГЛ сцены, что соответствует параметризованному заданию функции рассеяния ГЛ канала.

Для ПРО процесс формирования пространственной базы данных предлагается разбить на 2 этапа: задание признаков наличия объектов различных классов и задание параметров этих объектов.

Необходимость использования признаков наличия объектов, образующих шаблоны, обусловлена тем, что ГЛ объекты разных классов имеют различные характеристики. Выделение областей присутствия объектов того или иного класса позволяет упростить задание параметров этих объектов. Кроме того, наличие признаков присутствия объектов позволяет пропускать при описании элементы пространства, которые не содержат ГЛ объектов.

Можно предложить несколько вариантов задания шаблонов помех:

- интерактивное задание вручную. Данный метод следует охарактеризовать как наименее продуктивный из-за ограниченных возможностей оператора;

- подгрузка из электронной карты местности. В сочетании с базой данных характеристик отражений возможно применение данного метода и для задания параметров объектов имитируемой ГЛ сцены [3];

- подгрузка данных из ГЛ обзора (после амплитудной сегментации ГЛ изображения). Эта технология позволяет получать данные об областях присутствия и параметрах ГЛ объектов непосредственно из записей реальных эхосигналов, таким образом реализуя полунатурное моделирование ГЛ сцен и сигналов или полностью используя данные натурных испытаний в качестве входных данных для алгоритмов. В этом случае становится возможным, опираясь на данные натурных испытаний, в нужной степени

дорабатывать моделируемую ГЛ сцену (например, путем введения дополнительных целей).

Интерактивное формирование шаблонов областей присутствия объектов значительно облегчается применением «примитивов» – характерных фрагментов поля признаков, из которых с применением преобразований (растяжение, поворот) формируется задаваемое поле признаков наличия объектов того или иного класса. Примитивы также могут применяться для формирования амплитудного рельефа отражений от протяженных целей. Примитивы могут формироваться по данным обработки ГЛ сигналов, полученных в ходе натуральных испытаний.

На этапе задания параметров ГЛ объектов требуется заполнить пространственную базу данных характеристиками отражений различных классов. Кроме упомянутых выше возможностей (электронные карты, данные ГЛ наблюдений), возможно использование упрощенных методов задания, например заполнения пространственного шаблона постоянным значением того или иного параметра, или использование аппроксимации различными модельными функциями.

Кроме того, для формирования полей параметров в координатах дальность-азимут возможно применение метода, который заключается в интерактивном построении ряда сечений задаваемого параметра по одной координате (например, по азимуту) с последующей интерполяцией по другой координате (например, по дальности).

Для имитации ТО и ЛПО необходимо задать силу цели и ХР. При имитации данные характеристики могут вводиться интерактивно при условии, что ХР конкретного объекта известна по данным измерений или расчета. Ранее для имитации ТО использовались модели отражений от ГЛ целей, основанные на представлении цели в виде совокупности хаотически перемещающихся «блестящих точек», что при отсутствии среди них доминирующих отражателей приводит к флуктуациям амплитуды суммарного отраженного сигнала по закону Релея. Однако данная модель предполагает произвольное размещение элементарных отражателей в пространстве, что не гарантирует точной имитации.

В настоящее время разработаны алгоритмы, позволяющие преодолеть вышеуказанные недостатки и с высокой точностью предсказать ДОР объекта сложной формы по его известной геометрической модели с использованием метода конечных элементов и его модификаций [4, 5]. Модель цели при этом представляет собой трехмерный каркас, составленный из треугольников. При этом результирующий сигнал образуется при сложении сигналов, отраженных от каждого

из треугольников. Фактически расположение «блестящих точек» при этом строго определяется геометрической моделью объекта, таким образом позволяя произвести точный расчет индикатрисы рассеяния ГЛ объекта сложной формы.

Моделирование поверхностной реверберации. Отдельно рассматривается вопрос имитационного моделирования локационных сигналов, отраженных от взволнованной морской поверхности при локации с высоким пространственным разрешением. Под высоким разрешением имеется ввиду такая разрешающая способность, при которой линейные размеры разрешаемого объема меньше геометрических размеров элементов волн, что позволяет отдельно наблюдать отдельные гребни морских волн. Особенностью таких случаев является ярко выраженная нестационарность отражений, которая соответствует неоднородной картине морского волнения [6].

Создание имитированных отраженных сигналов проводится в два этапа. На первом этапе моделируется морская поверхность в виде поля возвышений (ординат). На втором этапе производится моделирование отражения зондирующего сигнала имитированной морской поверхностью с расчетом отраженных сигналов. При расчете отраженных сигналов применяется двумасштабная модель рассеяния. Поле возвышений крупномасштабного волнения «модулирует» диаграмму обратного рассеяния элементарных отражателей (пена, барашки), что при учете эффектов затенения дает физически обоснованную картину гидролокационных отражений от взволнованной поверхности моря. На рисунке 2 проиллюстрирована геометрия наблюдения морской поверхности. Показаны два положения ДОР мелкомасштабных шероховатостей (ДОР1 и ДОР2), обусловленные соответствующим наклоном крупномасштабной морской поверхности.



Рисунок 2 – Геометрия задачи наблюдения морской поверхности

Поля ординат морской поверхности моделируются на дискретной сетке отсчетов в декартовой системе координат. Геометрическая модель крупномасштабного волнения в виде трехмерного каркаса, заданная в мировой системе координат, моделируется на первом этапе имитации. ДОР мелкомасштабного волнения и функция временной корреляции мощности отражений от мелкомасштабного волнения учитываются при

расчете имитированных отраженных сигналов на втором этапе моделирования.

При моделировании поля ординат морской поверхности формируется серия полей, соответствующих отображению «замороженной» во времени картины морского волнения для моментов времени, взятых с заданным интервалом (временной интервал соответствует периоду излучения). Прокомментируем указанные этапы создания имитированного поля ординат морской поверхности. Процесс создания имитированного поля ординат морской поверхности (первый этап моделирования) разбивается на несколько шагов.

1. Формирование начального поля дискретного белого шума (ДБШП). На дискретной сетке отсчетов в декартовой системе координат генерируются некоррелированные отсчеты шумового поля с нормальным законом распределения и единичной дисперсией. Данное поле отсчетов отражает случайную структуру волнения. Поле ДБШП используется в качестве исходного и подлежит хранению для формирования на следующем цикле моделирования нового поля отсчетов, полученного модификацией поля ДБШП предыдущего цикла.

Размеры поля ДБШП определяются геометрическими размерами моделируемого участка морской поверхности. Для корректного отображения картины волнения на моделируемом участке должно укладываться несколько длин морской волны. Размер массива, в котором хранятся отсчеты поля ДБШП, определяется также разрешением прямоугольной координатной сетки. Шаг дискретизации по пространственным координатам выбирается исходя из условия корректного отображения структуры волнения, т. е. должен быть в 5-10 раз меньше длины имитируемой морской волны.

2. Модификация отсчетов поля ДБШП. Для моделирования направления и скорости хода волн производится модификация шумового поля на каждом цикле моделирования, т.е. для каждого следующего моделируемого момента времени. Данная модификация отражает перемещение картины волнения по направлению хода волн с соответствующей скоростью, а также изменчивость картины ветрового волнения во времени (временную корреляцию отсчетов). В качестве параметров модели могут использоваться данные [7–10].

Вектор скорости хода волн задается в качестве параметра модели и влияет на направление и величину смещения поля ДБШП на каждом цикле моделирования. Величина смещения поля ДБШП определяется перемножением вектора

скорости хода волн на период излучения. Отсчеты ДБШП, вышедшие за пределы моделируемого поля, перемещаются на противоположную сторону поля.

Изменчивость картины ветрового волнения во времени задается функцией временной корреляции отсчетов ДБШП и моделируется как отклик рекурсивного фильтра первого порядка с задаваемым коэффициентом. Обработка всех отсчетов ДБШП производится независимо друг от друга.

3. Двумерная фильтрация отсчетов ДБШП. На данном этапе задаются пространственные характеристики волнения: период морской волны, длина гребня морской волны. Данные параметры задаются подбором (модификацией) двумерной импульсной характеристики (ИХ) формирующего фильтра. Пространственная корреляционная функция отсчетов крупномасштабного волнения будет определяться структурой импульсной характеристики двумерного фильтра. Структура волнения (двумерное или трехмерное) задается соотношением протяженностей ИХ формирующего фильтра в направлениях вдоль и поперек хода волн. Меняя форму импульсной характеристики, можно изменять структуру (пространственную корреляционную функцию, двумерный спектр) волнения. В качестве ИХ формирующего фильтра при моделировании использовалось факторизованное окно Хэннинга.

4. Обеспечение требуемых высот волн. На данном этапе формируются необходимая высота волн, требуемый вид распределения волновых ординат. Требуемое распределение волновых ординат формируется путем нелинейного преобразования отсчетов моделируемого поля. После нелинейного преобразования распределение ординат моделируемой поверхности будет отличаться от нормального и путем подбора соответствующей функции нелинейного преобразования может быть приведено к требуемому виду. Необходимая высота волн обеспечивается домножением отсчетов моделируемого поля на коэффициент, пропорциональный требуемой высоте волн.

Отметим соответствие характеристик моделируемого морского волнения параметрам, интерактивно задаваемым в программе моделирования. Так, характер волнения (двумерное или трехмерное) определяется видом ИХ формирующего фильтра; длина волн и длина гребня волн – протяженностью формирующего фильтра; распределение высот волн – нелинейным преобразованием.

Полученное на первом этапе моделирования поле возвышений морской поверхности $z(x, y)$

имеет равномерный шаг дискретизации по пространственным координатам x и y и является однозначной функцией этих координат, т. е. в дискретном виде представляет собой двумерный массив ординат $z(x_i, y_i)$. Этот массив отражает имитированное поле возвышений крупномасштабных шероховатостей морской поверхности.

Прокомментируем шаги создания имитированных сигналов. Формирование отраженных от морской поверхности сигналов включает в себя следующие шаги.

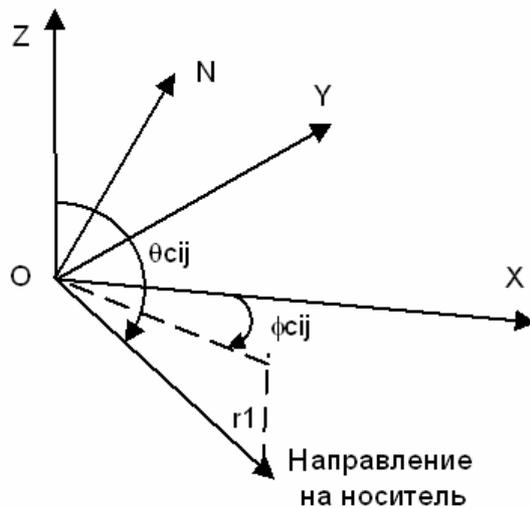
5. Расчет углов наклона крупномасштабной морской поверхности. На данном этапе для каждой точки морской поверхности вычисляются углы наклона $\phi_{s_{ij}}$ и $\theta_{s_{ij}}$. Данные углы имеют следующий физический смысл (рисунок 3): $\phi_{s_{ij}}$ – угол поворота проекции нормали \vec{N} к морской поверхности на ось XOY «мировой» декартовой системы координат, отсчитываемый от оси OX (пределы изменения от 0 до 2π); $\theta_{s_{ij}}$ – угол между нормалью к морской поверхности и осью OZ «мировой» декартовой системы координат (пределы изменения: от 0 до π). Таким образом, вычисляются углы наклона морской поверхности для каждого дискрета сетки «мировой» системе координат, в которой задано поле возвышений морской поверхности.

Углы наклона морской поверхности в дискретных координатах находятся по следующим формулам (используются восходящие разности отсчетов поля возвышений):

$$\phi_{s_{ij}} = \arctg \left(\frac{z(x_i + \Delta x, y_i) - z(x_i, y_i)}{z(x_i, y_i + \Delta y) - z(x_i, y_i)} \cdot \frac{\Delta y}{\Delta x} \right),$$

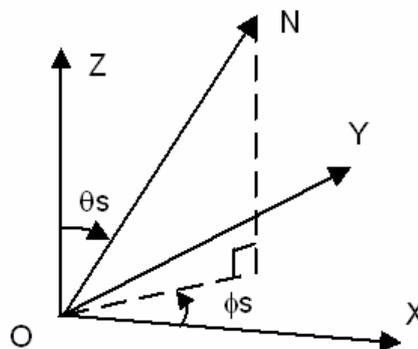
$$\theta_{s_{ij}} = \arctg \left(\sqrt{\left(\frac{\Delta z}{\Delta x} \right)^2 + \left(\frac{\Delta z}{\Delta y} \right)^2} \right).$$

Данные вычисления необходимо проделать для каждой точки на координатной сетке поля возвышений крупномасштабного волнения. Найденные на данном шаге углы наклона морской поверхности не зависят от положения носителя и от других параметров ГЛ обзора.



Углы наклона расположения антенны по отношению к участку поверхности

Нормаль к поверхности



Углы наклона нормали крупномасштабной морской поверхности

Рисунок 3 – Углы наклона имитируемой морской поверхности

6. Пересчет углов наклона крупномасштабной морской поверхности с учетом положения носителя. На данном этапе происходит расчет углов (θ_{Cij}, ϕ_{Cij}), под которыми каждая точка морской поверхности наблюдается из точки расположения локатора, что соответствует вычислению координат каждой точки морской поверхности в сферических координатах с центром, совмещенным с координатами антенны локатора. Соответствующие углы показаны на рисунке 3. Углы наклона поверхности крупномасштабного волнения при этом корректируются для того, чтобы соответствовать углам, под которыми участок поверхности наблюдается из точки расположения носителя. Полученные скорректированные углы наклонов будут на последующих шагах являться аргументами модельной функции ДОР мелкомасштабного волнения. Для нахождения данных углов достаточно провести серию поворотов вектора, задающе-

го направление на носитель, до совмещения нормали морской поверхности N с осью OZ :

- поворот вокруг оси OZ на угол $(-\phi_{s_{ij}})$;
- поворот вокруг оси OY на угол $(-\theta_{s_{ij}})$.

Таким образом, получаемые на данном шаге углы наклона поверхности крупномасштабного волнения $(\theta_{2ij}, \varphi_{2ij})$ соответствуют углам, под которыми каждая точка морской поверхности наблюдается из места расположения носителя.

7. Моделирование затенения. На данном шаге необходимо определить участки крупномасштабной поверхности волнения, не видимые из точки расположения ГЛ носителя, и исключить эти затененные точки из дальнейших расчетов. При анализе поверхности с целью выявления невидимых (затененных) участков необходимо проверить выполнение условия видимости для каждой точки поверхности (в дискретных координатах – для каждого узла координатной сетки). Точка считается невидимой, если отрезок прямой, соединяющий данную точку с местом расположения наблюдателя (в данном случае – с местом расположения антенны), пересекает поверхность. Два случая расположения точки поверхности, соответствующие наличию и отсутствию затенения, схематично показаны на рисунке 2 (обозначены ДОР1 и ДОР2).

Для проверки пересечения указанным отрезком поверхности в общем случае необходимо анализировать все имеющиеся на полигональной модели многоугольника для определения пересечения отрезком прямоугольника. Однако в случае, когда поверхность задается однозначной функцией возвышений, имеется возможность использовать известные ускоренные алгоритмы, применяющиеся в задачах трехмерной графики.

8. Интегрирование по изодалям. На данном этапе производится расчет распределения амплитудного (энергетического) множителя отражений от морской поверхности по дальности. При этом производится пересчет координат имитируемой сцены из «мировых» декартовых в сферическую систему координат, привязанную к положению характеристики направленности (ХН) антенны. В дискретных координатах интегрирование по изодалям соответствует суммированию по точкам поверхности, попадающим в коридор, соответствующий дальностному дискрету моделирования ΔR . Значение ΔR задается интерактивно и должно выбираться из условия адекватного воспроизведения временной структуры зондирующего импульса, т.е. должно быть меньше разрешающей способности по дальности.

Таким образом, алгоритм нахождения распределения мощности отражений по дальности представляется следующим:

- для каждой ХН задаются координаты биссектрисы данной характеристики и её ширина.

Последующие пункты повторяются для каждой ХН;

- производится перебор (цикл) значений дальности R_i от R_{\min} до R_{\max} с шагом ΔR (задаваемые параметры);

- производится перебор отсчетов поверхности и среди них выбираются такие видимые точки, которые попадают в текущую дальностную зону, а также попадают в пределы текущей ХН по углам.

Амплитудный множитель сигнала для конкретной k -й ХН и для заданного дальностного коридора рассчитывается по формуле (исходя из уравнения дальности локации):

$$A_k(R) = \sum_{i,j} b_k(\theta_{Cij}, \varphi_{Cij}) \cdot \Delta x \Delta y \cdot \sigma_{MMB}(\theta_{2ij}, \varphi_{2ij}) \times \frac{1}{\sin(\theta_{Sij}) \cdot R_{ij}^4},$$

где $b_k(\theta_{Cij}, \varphi_{Cij})$ – значение ХН для данных углов (берется из модельной функции ХН), $\Delta x \Delta y$ – площадь элемента поверхности, $\sigma_{MMB}(\theta_{2ij}, \varphi_{2ij})$ – значение ДОР мелкомасштабной шероховатости (из модельной функции ДОР мелкомасштабного волнения), θ_{Sij} – угол наклона морской поверхности.

Множитель $\frac{1}{\sin(\theta_{Sij})}$ учитывает изменение площади элемента поверхности, заданного на равномерной сетке отсчетов, в зависимости от угла наклона элемента поверхности.

Суммирование ведется по незатененным точкам поверхности, находящимся в пределах текущего дальностного коридора и попадающим в пределы ширины диаграммы направленности антенны. В результате на данном шаге формируется набор $A_i(R)$ распределений мощности отражений от морской поверхности в зависимости от дальности.

9. Моделирование пространственной фильтрации рассеянных морской поверхностью сигналов. На данном этапе моделируется рассеяние по времени, обусловленное длительностью зондирующего сигнала. Производится фильтрация по времени дискретного поля сигналов. В качестве сигналов, подлежащих фильтрации, принимаются некоррелированные отсчеты (квадратуры) гауссового случайного процесса, промодулиро-

ванные амплитудным множителем $A_i(R)$. Межобзорная корреляция по времени не вводится, поскольку время декорреляции мелкомасштабного волнения много меньше периода обзора. Некоррелированные отсчеты квадратур гауссового случайного процесса модулируются полученными на шаге 8 распределениями мощности отражений по дальности, и затем производится их фильтрация по времени.

Пространственная фильтрация квадратурных процессов с выхода каждой ХН реализуется фильтром с конечной импульсной характеристикой. Амплитуда процесса с выхода фильтра каждой ХН формируется как модуль длины вектора, построенного из двух фильтрованных квадратурных компонент. Протяженность ИХ фильтра соответствует длительности зондирующего сигнала, а импульсная характеристика – отсчетам огибающей модели сигнала.

При необходимости смоделировать фильтрацию, соответствующую обработке сигналов в приемном тракте, нужно выполнить повторную фильтрацию фильтром, ИХ которого соответствует АЧХ приемника.

Разработанный алгоритм моделирования поверхности (поля ординат) морского волнения и методика моделирования отраженных от морской поверхности сигналов позволяют в достаточной мере адекватно имитировать отраженные от морской поверхности сигналы. Благодаря разбиению процесса создания имитированной поверхности морского волнения на приведенные выше этапы в процессе моделирования возможно гибкое изменение характеристик имитируемого морского волнения и параметров наблюдений.

Практическая реализация. На основе разработанных принципов и алгоритмов имитации ГЛ сцен и сигналов был разработан и реализован в среде MATLAB программный комплекс моделирования ГЛ сцен и сигналов.

На рисунке 4 приведен пример имитированного ГЛ изображения в координатах «дальность-азимут». Имитируемые компоненты сигнала: донная реверберация, отражения от протяженного объекта, объемная реверберация, шумы аппаратуры.

Разработанный метод компьютерной имитации ГЛ сцен и сигналов обладает следующими преимуществами: большая гибкость, универсальность описания ГЛ сцены, возможность использования в «компьютерных полигонах» и при тренировках операторов командных центров. Однократно задав параметры моделируемой ситуации, можно получать результаты имитации для ГАС с разными формами и шириной харак-

теристики направленности антенны, с различными длительностями зондирующих сигналов и разными законами модуляции сигналов. Такая возможность, например, очень важна при сквозном моделировании работы комплексов ГАС.

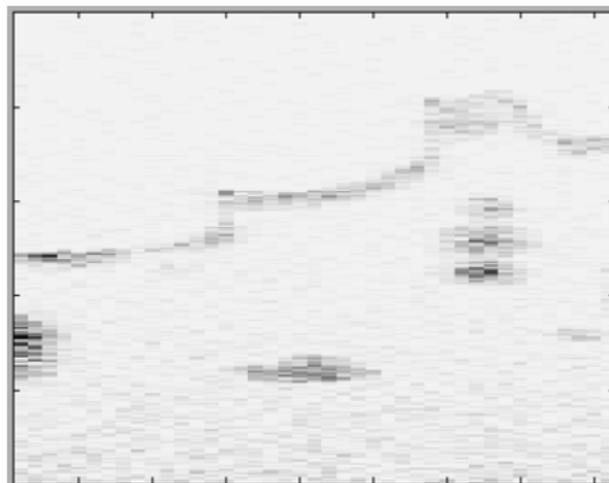
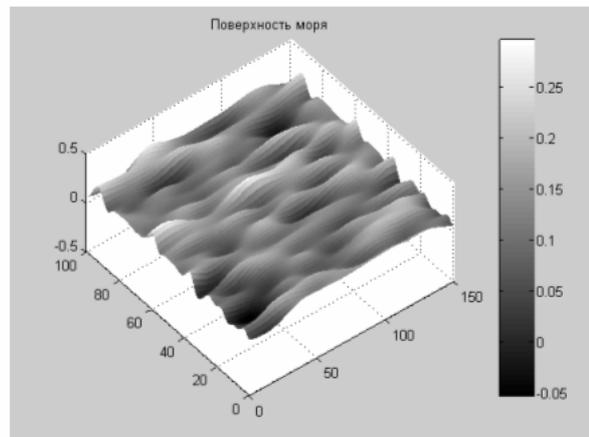


Рисунок 4 – Пример имитированной морской поверхности и ГЛ изображения

Выводы. Рассмотренные методы имитации сигнала, отраженного от объектов сложной формы, являются хорошим приближением к реально получаемым сигналам, т. к. используют точные модели объекта и методы расчета, позволяющие передать структуру отраженного сигнала.

Предлагаемый метод моделирования также позволяет в полном объеме реализовать моделирование динамических ГЛ сцен, предполагающих подвижность как целей, так и носителя ГАС, при этом адекватно моделируются эффекты, связанные с гидроакустическим затенением, а также флюктуациями отраженного сигнала при изменении ракурса наблюдения цели.

К сложностям применения рассмотренного подхода можно отнести достаточно большую трудоемкость формирования обобщенной ГЛ сцены на подготовительном этапе моделирова-

ния, а также относительную сложность непосредственного генерирования имитированных сигналов в реальном времени (из-за пересчета координат). Указанные особенности в настоящее время достаточно легко преодолеваются за счет использования при формировании исходных данных об имитируемой сцене обработанных данных натуральных испытаний, электронных карт местности и баз данных с характеристиками отражений.

Библиографический список

1. *Кеннеди Р.* Каналы связи с замиранием и рассеянием: пер. с англ. / Р. Кеннеди. – М.: Советское радио, 1973.
2. *Ван Трис Г.* Теория обнаружения, оценок и модуляции: пер. с англ. / Г. Ван Трис. – М.: Советское радио, 1977. Т. 3
3. *Цветков В.Я.* Геоинформационные системы и технологии / В.Я. Цветков. – М.: Финансы и статистика, 1998.
4. Вопросы перспективной радиолокации. Коллективная монография / под ред. А.В. Соколова. – М.: Радиотехника, 2003.
5. *Корнеев Ю.А.* Методы компьютерной имитации радиолокационных сцен и сигнально - помеховой обстановки / Ю.А. Корнеев, В.В. Гладков, Ю.А. Монаков // Радиовысотометрия-2004: труды Первой всероссийской научно-технической конференции / под ред. А.А. Иофина и др. – Екатеринбург, 2004. – С. 112–117.
6. *Сколник М.* Справочник по радиолокации/ пер. с англ. под ред. М. Сколника; под ред. Я.С. Иццоки. – М., 1976. Т.1, Т.3.
7. Основы предсказания ветровых волн, зыби и прибора: сборник статей / под ред. В.Б. Штокмана. – М.: Иностранная литература, 1951. – 488 с.
8. *Гарнакерьян А.А.* Радиолокация морской поверхности / А.А. Гарнакерьян, А.С. Сосунов. Издательство Ростовского университета, 1978. –144 с.
9. *Егоров Н.И.* Физическая океанография / Н.И. Егоров. – Л.: Гидрометеиздат, 1974. –456 с.
10. *Давидан И.Н.* Ветровое волнение в Мировом океане / И.Н. Давидан, Л.И. Лопатухин, В.А. Рожков; под ред. И.Н. Давидана. – Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 256 с.