



УДК 621.391

Е. Л. Шейнман, А. Н. Афанасьев
АО «Концерн „Океанприбор“» (Санкт-Петербург)

М. С. Куприянов, Д. М. Клионский, С. Н. Ежов, П. Н. Максимов, А. М. Голубков
Санкт-Петербургский государственный электротехнический
университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)

Имитатор модели сигналов гидроакустических станций интегрированной системы подводного наблюдения

Разработан имитатор входных сигналов в гидроакустические средства подводного наблюдения. Рассмотрены алгоритмы моделирования шумоизлучения морских объектов, а также прямых и отраженных активных гидролокационных сигналов с учетом распространения в стратифицированной морской среде. Приведены примеры расчета входных сигналов в режиме обнаружения гидроакустических комплексов. Описана программная реализация имитатора на языке C++ в среде программирования Qt Creator с представлением диаграммы классов и диаграммы вариантов использования.

Гидроакустический сигнал, имитатор модели сигналов, активный сигнал, сигнал шумоизлучения, средства подводного наблюдения

Статья посвящена разработке имитатора входных сигналов в гидроакустические средства подводного наблюдения, находящиеся в выбранной акватории и решающие задачу освещения подводной обстановки в районе. Имитируется движение ряда морских объектов, участвующих в тактическом эпизоде, часть которых имеет на борту гидроакустическое вооружение (L объектов), а следовательно, и антенны, а часть (K объектов) – не имеет. Антенны могут поддерживать один или более режимов работы. Рассматриваются режимы шумопеленгования, гидролокации и обнаружения гидролокационных сигналов.

Основная информация о гидрологии морской среды и параметрах излученных активных сигналов, параметрах гидроакустических средств подводного наблюдения, параметрах шумоизлучения объектов и их отражательной способности берется из баз данных. Это позволяет разработать унифицированное программное обеспечение, имитирующее входные сигналы для различных средств наблюдения.

Разработанный сигнальный имитатор представляет собой сложную программную систему, реализованную в среде программирования Qt Creator на языке C++ (прототип реализован в программной системе MATLAB), взаимодействующую с другими программными системами и базой данных, содержащей информацию об объектах в морской акватории.

Разработанный сигнальный имитатор может применяться в качестве входной модели для отработки и отладки алгоритмического обеспечения гидроакустических комплексов (ГАК) и интегрированных систем подводного наблюдения (ИСПН), в том числе построенных на сетевом принципе.

Задачи и структура имитатора. Имитатор решает следующие задачи:

1) моделирование и визуализация (во временной и частотной областях) излучаемых активных гидроакустических сигналов и отраженных сигналов на излучающих антеннах (для исследования режима гидролокации – ГЛ и режима обнаружения гидролокационных станций – ОГС);

2) моделирование и визуализация (во временной и частотной областях) сигналов пассивного шумоизлучения морских объектов (для исследования режима шумопеленгования – ШП);

3) моделирование распространения гидроакустических сигналов в морской среде и визуализация характеристик акустического поля (во временной и частотной областях);

4) моделирование и визуализация помех морской акватории;

5) вычисление и визуализация (во временной и частотной областях) сигналов в точках приема с учетом среды распространения (для исследования режимов гидролокации, шумопеленгования и обнаружения гидролокационных станций – ОГС).

Чтобы решить эти задачи, задаются частота дискретизации для расчета частотных сеток сигнала в точках излучения и приема, а также расчета частотных характеристик акустического поля; размерность дискретного преобразования Фурье (ДПФ) для вычисления спектра сигналов; эквивалентные радиусы объектов в морской акватории для определения уровней отраженного сигнала.

Предусматривается сохранение промежуточных и окончательных результатов моделирования и расчетов для дальнейшего использования.

Структурная схема имитатора сигналов гидроакустических станций показана на рис. 1.

Данная схема включает в себя формирование сигналов в точках излучения, формирование помех, применение системы гидрологических расчетов, вычисление сигналов на входах приемных систем. При этом используется внешняя база данных для считывания информации об объектах-носителях и буфер для хранения результатов имитации.

Алгоритмы формирования сигналов в имитаторе. При формировании активного сигнала (режим ГЛ) рассматривались следующие математические модели (использовались представление в виде импульсов) [1]–[4]:

1. Тональный (гармонический) сигнал, задаваемый следующим аналитическим соотношением (сигналы рассмотрены в режиме непрерывного времени):

$$s(t) = A(t) \cos(2\pi f_0 t + \varphi(t) + \varphi_0),$$

где $A(t)$ – закон изменения амплитуды сигнала (амплитудная огибающая, описывающая закон амплитудной модуляции); f_0 – несущая частота сигнала, Гц; $\varphi(t)$ – закон изменения фазы сигнала

(фазовая функция, описывающая закон фазовой модуляции); φ_0 – начальная фаза сигнала. Данный сигнал имитируется при постоянном значении частоты f_0 , поступающем в течение интервала времени, равного длительности одиночного импульса $T_{\text{и}}$, с шагом dt , определяющим темп поступления информации (периодом дискретизации).

2. Частотно-модулированный сигнал (ЧМ-сигнал). В зависимости от вида частотной модуляции рассматривается линейно-частотно-модулированный сигнал (ЛЧМ-сигнал) и сигнал с гиперболической частотной модуляцией (ГЧМ-сигнал). Данные сигналы описываются следующими аналитическими соотношениями:

• ЛЧМ-сигнал:

$$s(t) = A_0 \cos(2\pi f(t) + \varphi_0),$$

где зависимая от времени мгновенная частота $f(t)$ определяется как

$$f(t) = f_{\text{н}} + dF \cdot t.$$

Здесь $f_{\text{н}}$ – начальная (нижняя граничная) частота импульса; dF – скорость изменения частоты (первая производная частоты по времени). Выражение для dF задается в следующем виде с использованием верхней граничной частоты $f_{\text{в}}$ и длительности импульса $T_{\text{и}}$:

$$dF = \frac{f_{\text{в}} - f_{\text{н}}}{T_{\text{и}}}.$$

• ГЧМ-сигнал. Различают ГЧМ-сигнал с прямой и обратной модуляциями. Сигнал с *прямой* модуляцией описывается соотношением

$$s(t) = A_0 \cos(-2\pi f_{\text{н}} \ln(1 - bt)/b),$$

где A_0 – амплитуда; $f_{\text{н}}$ – начальная (нижняя граничная) частота; b – коэффициент, определяемый соотношением

$$b = \frac{\Delta f}{\tau f_{\text{в}}},$$

где $f_{\text{в}}$ – конечная (верхняя граничная) частота; Δf – девиация частоты; τ – длительность сигнала.

3. Сигнал с обратной модуляцией описывается следующим соотношением:

$$s(t) = A_0 \cos(-2\pi f_{\text{в}} \ln(1 - b't)/b'),$$

где

$$b' = \frac{\Delta f}{\tau f_{\text{н}}}.$$

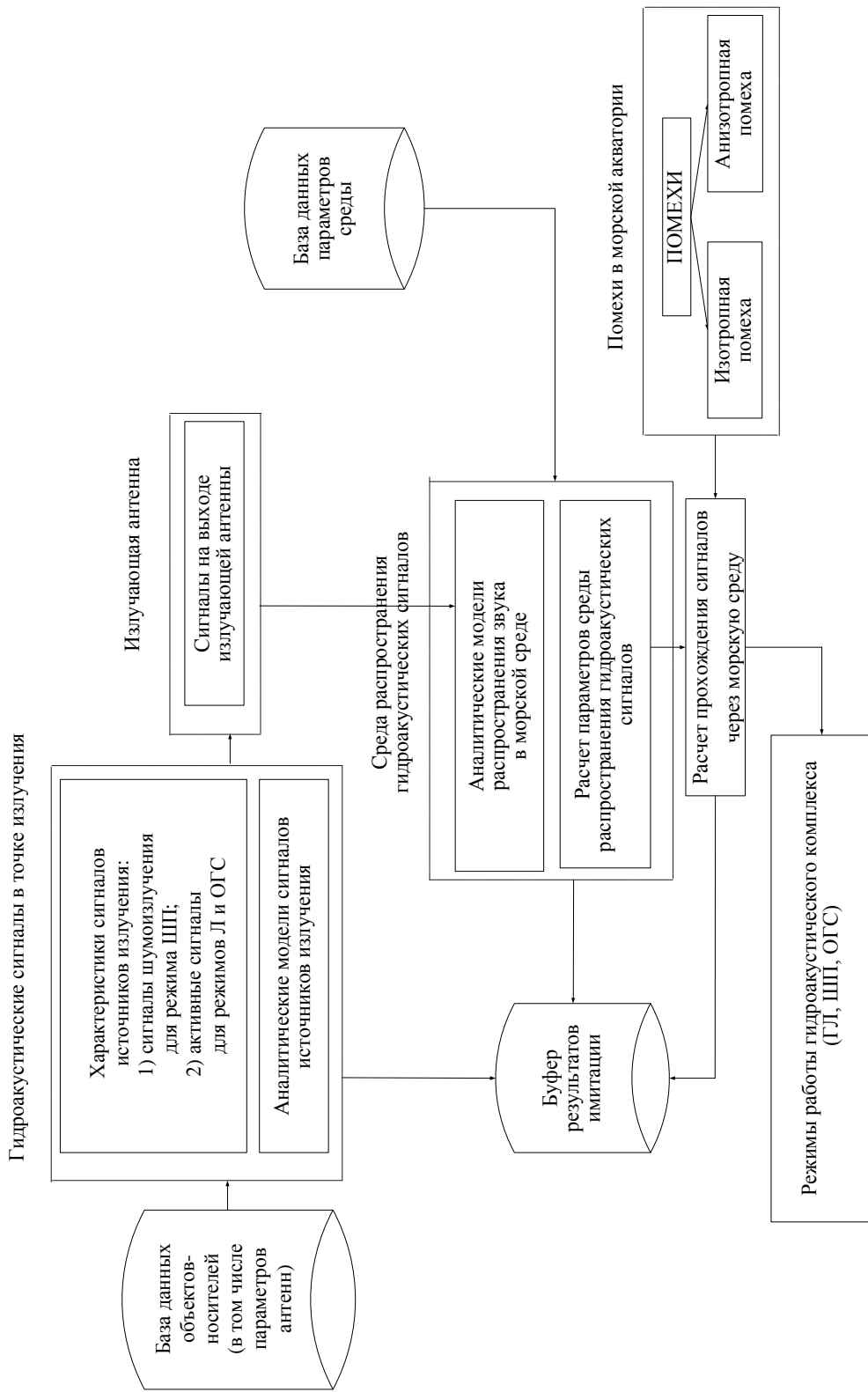


Рис. 1

Девияция частоты определяется как

$$\Delta f = f_B - f_H.$$

Для этих сигналов учитывается доплеровский сдвиг частоты.

В режиме ГЛ сигналы обычно излучаются посылками (пачками), которые имеют следующие параметры: N – число импульсов в посылке; t_k – интервал следования импульсов в посылке; T – период следования посылок; $\tau_{и}$ – длительность импульса.

Пачка частотно-модулированных сигналов (в частности, ЛЧМ-сигналов) состоит из отдельных фрагментов, каждый из которых представляет собой частотно-модулированный сигнал. При этом фрагменты (элементарные сигналы) могут следовать один за другим без паузы или с задержкой.

Алгоритмы формирования сигналов шумоизлучения для режима ШП. Модель шумоподобного сигнала объекта предусматривает возможность задания модулированного и немодулированного сигналов и дискретных составляющих в спектре. Этот сигнал обычно формируется как мультигармонический со случайными амплитудами и фазами и формируется в частотной области. Дополнительным требованием является направленность излучения сигнала (определение заданного направления).

При моделировании обычно используют имитацию сигнала на среднегеометрических частотах частотных диапазонов и на каждой частоте спектра. На входе модели формирования сигнала шумоизлучения задаются уровень шумности, приведенный к стандартным условиям, коэффициент зависимости уровня сигнала от скорости, коэффициент частотной зависимости спектра сигнала, число дискретных составляющих, параметры дискретных составляющих, параметры модуляции сигнала. Такая модель была разработана в Акустическом институте им. акад. Н. Н. Андреева.

Текущая реализация шумоизлучения сигнала задается в виде

$$S_s(t) = \left(S_{СЧС} t + \sum_K S_{ДС K}(t) \right) m_{a.o}(t),$$

где $S_{СЧС} t$ – сплошная часть спектра (СЧС); $S_{ДС K}$ – набор дискретных составляющих (ДС); $m_{a.o}(t)$ – закон модуляция амплитудной огибающей:

$$S_{СЧС} t(f_m, t) = c_m \sqrt{\mathfrak{K}(f_m)} m_{a.o}(t),$$

где $\mathfrak{K}(f_m)$ – СЧС, моделируемая кусочно-линейной функцией; c_m – комплексное гауссовское число с нулевым математическим ожиданием и единичной дисперсией.

Дискретные составляющие задаются в следующем виде:

$$S_{ДС k}(t) = \sqrt{\frac{P_{ДС k}}{\Delta f_{ДС k}}} \times \sum_{i=0}^{N_k} \left(a_i \cos \frac{2\pi i}{T_{ДС}} t + b_i \sin \frac{2\pi i}{T_{ДС}} t \right) \sin(f_{0,k} t),$$

где $P_{ДС k}$, $\Delta f_{ДС k}$, $f_{0 k}$ – мощность, ширина полосы и центральная частота k -й дискретной составляющей; a_i , b_i – случайные гауссовские числа с нулевым математическим ожиданием и единичной дисперсией; $T_{ДС}$ – интервал времени разложения дискретных составляющих в ряд Фурье; N_k – число компонентов в ряде Фурье с ненулевыми амплитудами. Дополнительно необходимо учесть направленность шумоизлучения.

Схема формирования СЧС шумового сигнала представлена на рис. 2.

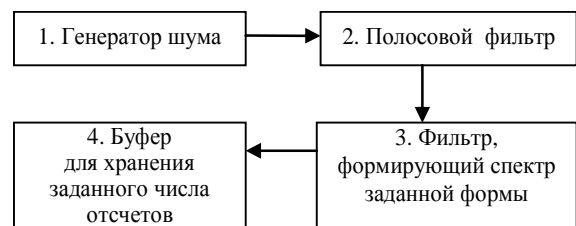


Рис. 2

Генератор шума (блок 1) формирует шумовой процесс с нормальным законом распределения с нулевым средним значением и заданной дисперсией. Для генератора должны задаваться объем выборки, частота дискретизации и амплитуда сигнала. Блок 2 осуществляет нерекурсивную полосовую фильтрацию, в результате которой формируется рабочая полоса частот $[f_H; f_B]$, где f_H – нижняя граничная частота; f_B – верхняя граничная частота. Фильтрация производится в результате линейной свертки с импульсной характеристикой нерекурсивного фильтра заданного порядка. Блок 3 отвечает за формирование спектра сигнала заданного вида. Предполагается задание несколько видов формы спектра – прямоугольный, спадающий по гиперболическому закону $1/f$, спадающий по степенному закону $1/f^p$ с заданным показателем p и подход с раз-

биением рабочей полосы частот на заданное число поддиапазонов с указанием спада спектра для каждого поддиапазона отдельно. В блоке 4 производится буферизация сигнала до заданного количества отсчетов. Создание буфера необходимо для формирования многолучевого сигнала с задержками.

Рассмотрим более детально предлагаемый алгоритм формирования сигнала в частотной области в том случае, если его спектр (амплитудный) спадает по степенному закону $1/f^p$ на каждом отдельном участке:

1) задается количество участков, на каждом из которых указывается значение показателя p . Формирование осуществляется на интервале от нулевой частоты до частоты Найквиста $F_s/2$, где F_s – частота дискретизации шумоподобного сигнала;

2) на первом участке задается аналитическая формула для спектра как $1/f^p$. При работе в широкой частотной полосе вектор частот f может задаваться в килогерцах, в связи с чем необходимо осуществить перевод в герцы;

3) для каждого участка согласуется начальное значение спектра последующего участка и конечное значение спектра предыдущего участка;

4) выполняется симметричное отображение спектра, поскольку предполагается, что исходный сигнал является вещественным, в связи с чем его спектр обладает симметрией относительно частоты Найквиста:

$$S(F_s/2 - k) = S(F_s/2 + k), \quad 0 \leq k \leq F_s/2,$$

где k – дискретная нормированная частота; $S(k)$ – спектр сигнала;

5) формируется нормальный белый шум с нулевым средним значением и единичной диспер-

сией. Как известно, спектр (спектральная плотность мощности) $S_{WN}(k)$ белого шума является постоянным с уровнем $N_0/2$ в бесконечной полосе частот:

$$S_{WN}(k) = N_0/2, \quad |k| < \infty;$$

6) вычисляется ДПФ сформированной реализации нормального белого шума (значения спектра в дискретных точках совпадают со значениями ДПФ). Для вычисления ДПФ удобно использовать функцию `fft` из библиотеки MATLAB;

7) перемножаются в частотной области ДПФ сформированного нормального белого шума и ДПФ шумоподобного сигнала со степенными участками спада спектра. Использование нормального белого шума необходимо для формирования *случайного* шумоподобного сигнала;

8) вычисляется обратное ДПФ (ОДПФ) от результата, полученного в п. 7, и формируется временная реализация шумоподобного сигнала с заданным спектром.

Приведем пример работы предложенного алгоритма. Сформируем фрагмент сигнала длительностью 3 с с тремя участками, на каждом из которых зададим свое значение параметра p . Возьмем значение частоты дискретизации 8 кГц. Для шумоподобного сигнала сформируем полосу частот [0.1; 4] кГц. Используем следующие значения граничных частот и показателей степени p :

- $f_{Н1} = 0.1$ кГц; $f_{В1} = 1$ кГц; $p = 1.7$;
- $f_{Н2} = 1$ кГц; $f_{В2} = 2$ кГц; $p = 3$;
- $f_{Н3} = 2$ кГц; $f_{В3} = 4$ кГц; $p = 4$.

На рис. 3, а показана временная реализация сформированного шумоподобного сигнала, а на

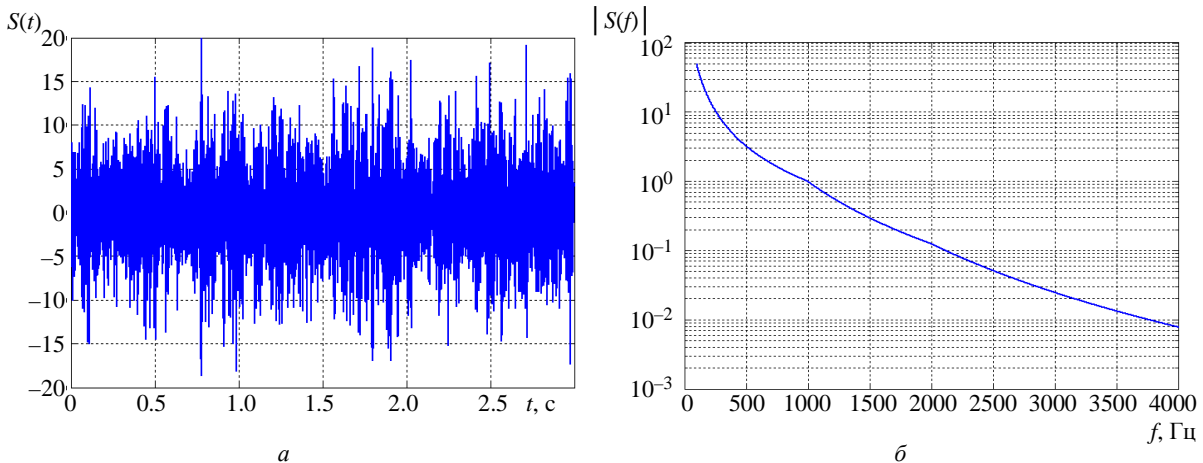


Рис. 3

рис. 3, б приведен спектр в заданной полосе частот с учетом значений граничных частот и параметра p . Рис. 3, б для наглядности показан в логарифмическом масштабе по оси ординат. Как видно из рис. 3, б, учитываются соотношения на границах, а сама кривая является плавной (без разрывов). Спектр показан в полосе от нуля до частоты Найквиста.

Работа имитатора в режимах ГЛ и ШП. Имитатор в режиме ГЛ должен имитировать излучение сигнала активной локации в заданный момент времени эксперимента и с выбранными им параметрами излучения и прием отраженного сигнала через некоторый промежуток времени. Параметры излучения выбираются из базы данных объектов.

Оператор задает следующие параметры:

- 1) $t_{\text{изл}}$ – момент времени излучения активного сигнала;
- 2) $p_{\text{изл}}$ – уровень давления в точке излучения;
- 3) период излучения посылок T ;
- 4) количество посылок $N_{\text{имп}}$.

Основным выходным параметром имитатора в режиме ГЛ является $p_{\text{э/с}}$ – уровень отраженного сигнала (эхосигнала) в точке приема, Па:

$$p_{\text{э/с}} = p_{\text{изл}} r_{\text{экв}} 10^{-3} \frac{\sqrt{A_1} \sqrt{A_2} 10^{-0.05\beta(f)[D_1 + D_2]}}{D_1 D_2},$$

где $p_{\text{изл}}$ – уровень излученного сигнала в точке излучения, кПа; $r_{\text{экв}}$ – эквивалентный радиус объекта, отражающего сигнал, м; A_1 – аномалия, разы, при распространении сигнала от излучателя к объекту, отражающему сигнал; A_2 – аномалия при распространении отраженного сигнала к приемнику; β – коэффициент затухания звука, дБ/км; D_1 – расстояние от излучателя до отражателя; D_2 – расстояние от отражателя до приемника, км.

Расчет акустического поля. Расчет акустического поля между объектами выполнен заранее для всех предполагаемых глубин объектов на основе специальной программы с использованием модуля системы гидрологических расчетов. При этом предполагается, что объекты могут изменять свою глубину на протяжении эксперимента, а дистанция между объектами задается в виде равномерной сетки с заданным шагом по дистанции. При учете параметров поля используется ближайшая (с округлением в большую сторону) по дистанции и глубине точка из прогноза, вводится

поправка по уровню шумности текущего объекта с учетом поправки в функции от текущей скорости движения цели.

При программном расчете поля фиксируется глубина излучателя и осуществляется перебор глубин приемников в диапазоне от 10 до 200 м с шагом 50 м. При глубине объекта, попадающей между границами, осуществляется интерполяция частотной характеристики поля.

Вычислительная сложность расчета с использованием модуля системы гидрологических расчетов определяется как

$$\text{Complexity} = N_{\text{depth}}^2 N_{\text{dist}},$$

где N_{depth} – количество шагов по глубине; N_{dist} – количество шагов по дистанции.

Далее рассмотрим в качестве примера графики амплитудно-частотной характеристики (АЧХ), фазочастотной характеристики (ФЧХ) и импульсной характеристики (ИХ) лучей, представляющих собой эквивалентные фильтры, определяющие многолучевое распространение сигнала от точки излучения до точки приема. Многолучевое распространение обусловлено тем, что излученный сигнал отражается от поверхности моря, дна и преломляется на границах раздела сред неоднородности моря. В данном примере рассмотрим распространение сигнала по пяти лучам (количество лучей в эксперименте определяется пороговым значением относительно фактора фокусировки). Исходные значения АЧХ (фактора фокусировки) и ФЧХ (фазы) задаются для набора дискретных частотных точек по каждому лучу, в связи с чем необходимо выполнить дальнейшую интерполяцию (и, в случае необходимости, экстраполяцию) АЧХ и ФЧХ для согласования частотных сеток акустического поля и излучаемого сигнала. Графики АЧХ и ФЧХ для пяти лучей после линейной интерполяции частотных отсчетов показаны на рис. 4 (а – АЧХ, б – ФЧХ).

После формирования непрерывных графиков АЧХ и ФЧХ можно вычислить ИХ эквивалентных фильтров взяв обратное ДПФ от комплексной частотной характеристики $H(f)$ [1]–[2]. Сама комплексная частотная характеристика может быть представлена в следующем виде:

$$H(f) = A(f) e^{j\varphi(f)}, |f| \leq F_s/2,$$

где $A(f)$ – АЧХ фильтра; $\varphi(f)$ – ФЧХ фильтра. Графики ИХ эквивалентных фильтров приведены на рис. 5 (n – дискретное нормированное время).

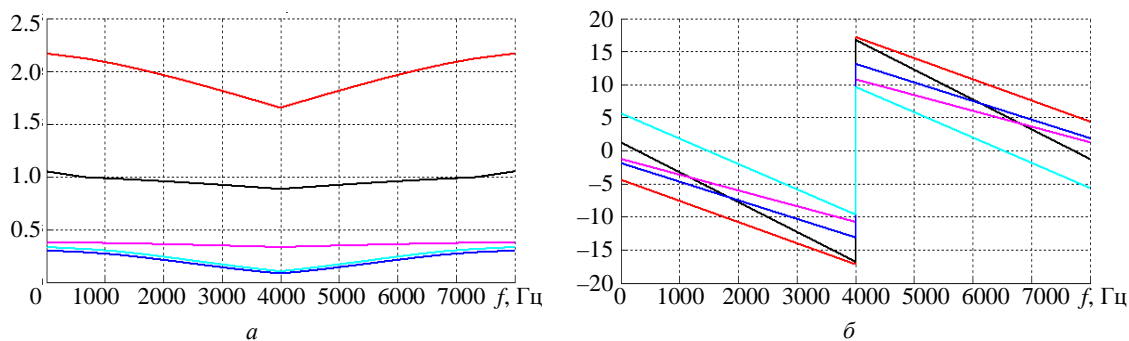


Рис. 4

Для наглядности показан начальный участок ИХ лучей, поскольку большая часть отсчетов являются нулевыми. Поскольку ИХ имеет глобальный максимум вблизи нулевого временного отсчета, при вычислении обратного ДПФ можно указать меньшую размерность, чем количество отсчетов исходного сигнала, что позволит существенно ускорить вычисления.

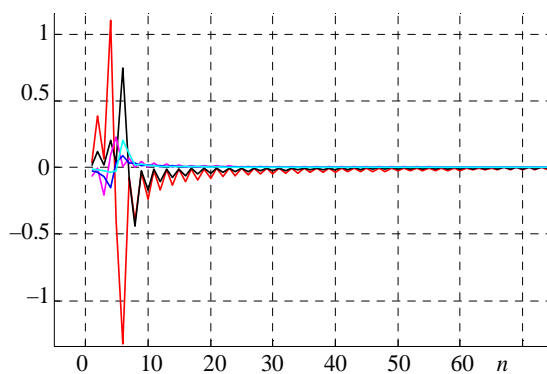


Рис. 5

Различия в положении глобальных максимумов для ИХ лучей обусловлены тем, что отличаются времена полета лучей и, как следствие, их задержки относительно луча с минимальным временем полета.

Алгоритмы вычисления сигналов в точке приема. Вычислить сигнал в точке приема можно двумя способами:

- во временной области на основе линейной свертки входного сигнала с ИХ конкретного луча;
- в частотной области с использованием рассчитанных АЧХ и ФЧХ лучей.

Предлагаемый алгоритм расчета сигнала в точке приема *в частотной области* может быть представлен в виде следующей последовательности действий:

1) вычисляются ИХ лучей $h_i(n)$, $i=1, \dots, 5$ на основе значений комплексной частотной характеристики;

2) ИХ лучей $h_i(n)$, $i=1, \dots, 5$ дополняются нулями, количество которых определяется длиной сигнала $s(n)$ в точке излучения;

3) сигнал $s(n)$ в точке излучения дополняется тем же количеством нулей, что и в п. 2, при этом длина сигнала удваивается;

4) вычисляется ДПФ сигнала $S(k)$ в точке излучения и ДПФ ИХ $H(k)$ с использованием алгоритмов быстрого преобразования Фурье (БПФ);

5) вычисляется ДПФ сигнала $Y(k)$ в точке приема перемножением ДПФ сигнала в точке излучения и ДПФ ИХ:

$$Y(k) = S(k)H(k);$$

6) выполняется усечение вычисленного ДПФ $Y(k)$ до длины сигнала $s(n)$ в точке излучения;

7) учитываются поправочные множители для окончательного вычисления сигнала в точке приема. В качестве учета поправочного множителя может выступать деление на расстояние между точкой излучения и точкой приема и пр.;

8) учитываются задержки τ_i при распространении лучей между точками излучения и приема вследствие эффекта многолучевости. При этом сложение лучей осуществляется с учетом их задержек. Задержки лучей определяются относительно луча с минимальным временем распространения.

Алгоритм расчета сигнала в точке приема *во временной области* заключается в вычислении свертки сигнала в точке излучения и ИХ луча:

$$y_i(n) = \sum_{m=0}^{N-1} x(m)h_i(n-m),$$

где $h_i(m)$ – ИХ i -го луча; N – длина воздействия.

На рис. 6 приведены временная реализация сигнала в точке приема (рис. 6, а) с учетом 5-лучевого распространения и задержек по лучам, на рис. 6, б – ДПФ данного сигнала.

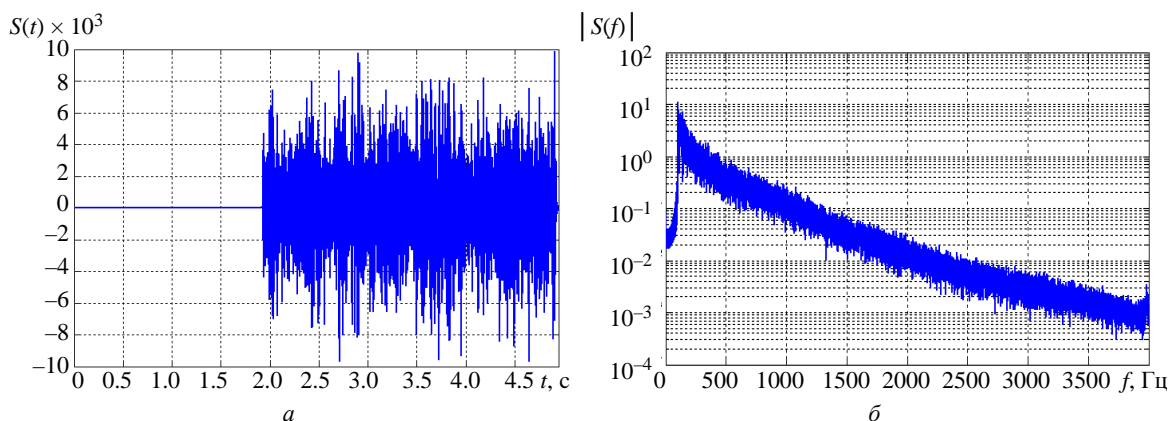


Рис. 6

Таким образом, многолучевой сигнал в точке приема при ненаправленном приеме в вертикальной плоскости можно получить, используя свертку сигнала в точке излучения с ИХ по каждому из лучей и сдвигом временного процесса в соответствии со временем распространения отдельного луча. В случае направленного приема необходимо дополнительно учесть уровень соответствующей диаграммы направленности в направлении на каждый луч на соответствующей частоте.

Программная реализация имитатора. Программная реализация имитатора имеет модульную структуру, что позволит в дальнейшем выполнить модификацию имитатора под нужды других моделей тактического эксперимента.

В ходе программной реализации имитатора выполнено распараллеливание вычислений при расчете выходного сигнала для каждого луча и при расчете режима ШП. Также применена оптимизация загрузки данных гидрологии моря в основную программу имитатора (загружались только те диапазоны файлов – глубины и дистанции, которые наиболее близки к расположению объектов в эксперименте). При реализации имитатора принято решение не загружать файлы, не соответствующие расположению объектов, поскольку это может существенно замедлять работу программы.

Эксперименты проводились на персональном компьютере со следующей конфигурацией: процессор Intel Core i7 3.4 ГГц, RAM – 16 Гбайт, ROM – 1 Тбайт, операционная система – Linux Ubuntu 14.

Программная реализация имитатора может быть описана на основе диаграммы классов (рис. 7), показывающей набор классов и связи между ними, а также их кооперации (взаимодействия):

1. Класс *Imitator* предоставляет имитационную модель тактического эксперимента (данная модель включает в себя данные гидрологии морской акватории, характеристики объектов-носи-

телей и характеристики излучаемых активных и шумоподобных сигналов), управляет обновлением объектов тактического эксперимента, моделирует распространение прямых звуковых излучений (непосредственно от передающей антенны на объекте-носителе), моделирует распространение отраженных звуковых излучений и управляет формированием сигнальных данных при пересечении объекта и фронта звукового излучения (расчет сигнала на входе приемной антенны).

2. Класс *Transceiver* предоставляет приемопередатчик для обмена данными с диспетчером и внешними системами; по команде диспетчера инициализирует параметры тактического эксперимента для имитатора; задает рабочий шаг имитационной модели по команде имитатора; при завершении тактического эксперимента инициализирует завершение имитационной модели.

3. Класс *GUI* (графическая оболочка) задает такие элементы управления, как поле вывода системных сообщений, элементы ввода настроек соединения с диспетчером, элементы ввода настроек соединения с базой данных, кнопка управления соединением/отсоединением; предоставляет форму отображения имитационной модели.

4. Класс *Object* предоставляет сущность морского объекта, моделирует шумоизлучение объекта в зависимости от параметров шумоизлучения и скорости объекта, определяет настройки антенн, расположенных на борту.

5. Класс *Antenna* предоставляет сущность антенны гидроакустического вооружения, определяет поддерживаемые режимы и формирует приемные сигнальные данные; агрегирует экземпляр класса *RadiationFactory* для задания конфигурации излучения антенны.

6. Класс *Radiation* предоставляет сущность излучения активного сигнала, определяет время и позицию излучения.

На диаграмме (рис. 7) каждый большой прямоугольник обозначает конкретный используемый класс. Он разделен на 4 части, имеющие следующие наименования:

- название класса;
- атрибуты класса (данные, которые хранит объект);

- открытые методы класса (могут быть вызваны из других классов);
- описание того, за что отвечает класс (Responsibilities).

Класс Imitator имеет следующие атрибуты:

- 1) field – данные гидрологии моря;
- 2) objects – объекты;

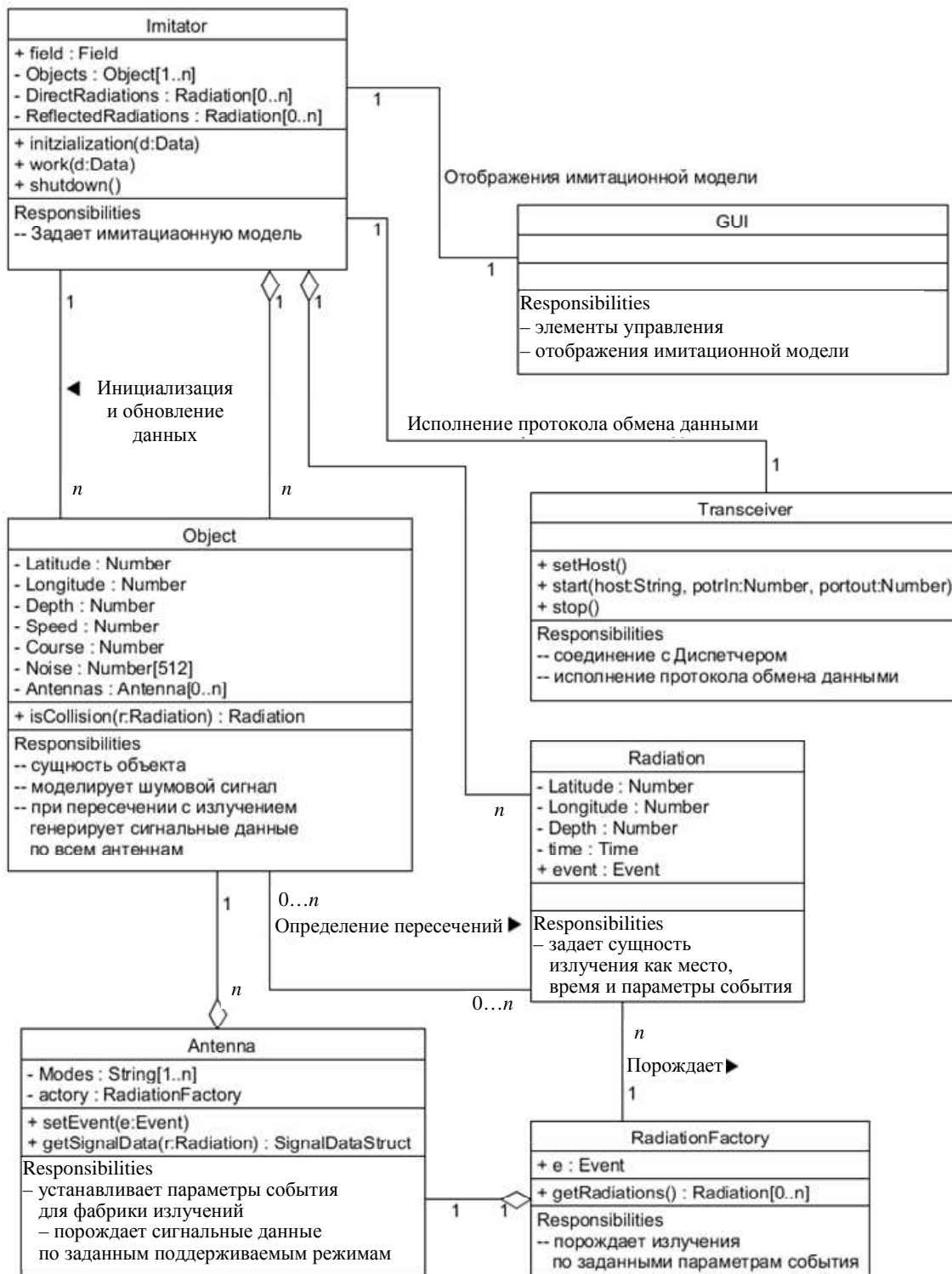


Рис. 7

3) direct radiations – прямые излученные сигналы;

4) reflected radiations – отраженные сигналы.

Класс Object имеет следующие атрибуты:

1) latitude – географическая широта объекта;

2) longitude – географическая долгота объекта;

3) depth – глубина объекта;

4) speed – скорость объекта;

5) course – пеленг;

6) noise – СПМ шума, излучаемая объектом;

7) antennas – сущности антенн объектов-носителей.

Класс Radiation имеет следующие атрибуты:

1) latitude – географическая широта точки, где было произведено излучение;

2) longitude – географическая долгота точки, где было произведено излучение;

3) depth – глубина точки, где было произведено излучение;

4) time – время излучения;

5) event – параметры события, при котором было произведено излучение (параметры сигнала).

Класс Antenna имеет следующие атрибуты:

1) modes – режим работы, поддерживаемый антенной (ГЛ, ШП, ОГС);

2) astory – внутренний атрибут для генерации излучений.

Класс RadiationFactory имеет 1 атрибут event – параметры излучаемого сигнала (частоты, тип сигнала, шкала, количество повторов).

Диаграмма вариантов использования имитатора (рис. 8) показывает набор вариантов использования и действующих лиц, а также их связи. Сигнальный имитатор работает автоматически и управляется удаленно внешними системами (во главе с диспетчером). Для запуска программы оператору необходимо задать конфигурацию соединения и соединиться с диспетчером внешних систем.

Внешняя система передает имитатору (посредством сетевых протоколов) момент начала и конца эксперимента и состояние эксперимента (метка времени и местоположение объектов, а также список событий за это время). Шаг, с которым передается состояние эксперимента, контролируется внешней системой. Эти данные передаются с использованием сетевых протоколов.

Оператор настраивает соединение с базами данных и внешними системами и инициирует соединение имитатора с внешними системами.

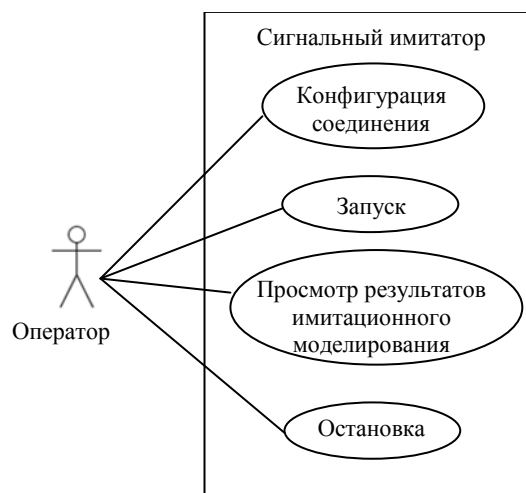


Рис. 8

Также оператор может просмотреть результаты имитационной модели и принудительно инициировать остановку программы.

Представленный имитатор позволяет осуществлять моделирование и расчет сигналов в точках излучения и приема и может использоваться при моделировании работы гидроакустических средств освещения подводной обстановки в заданной акватории и при их разработке.

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. Горбань И. И. Обработка гидроакустических сигналов в сложных динамических условиях. Киев: Наук. думка, 2008. 75 с.

2. Малышкин Г. С. Оптимальные и адаптивные методы обработки гидроакустических сигналов. Т. 1: Оптимальные методы / ОАО «Концерн "ЦНИИ „Электроприбор“». СПб., 2011. 400 с.

3. Сергиенко А. Б. Цифровая обработка сигналов: учеб. пособие. 3-е изд. СПб.: БХВ-Петербург, 2011. 768 с.

4. Цифровая обработка сигналов и MATLAB / А. И. Солонина, Д. М. Клионский, Т. В. Меркучева, С. Н. Перов. СПб.: БХВ-Петербург, 2014. 512 с.

E. L. Sheinman, A. N. Afanasjev
Corporation «Oceanpribor» (Saint Petersburg)

M. S. Kupriyanov, D. M. Klionskiy, S. N. Ezhov, P. N. Maksimov, A. M. Golubkov
Saint Petersburg Electrotechnical University «LETI»

SIGNAL MODEL SIMULATOR OF HYDROACOUSTIC STATIONS OF AN INTEGRATED SYSTEM FOR UNDERWATER OBSERVATION

Discusses a simulator of input signals for hydroacoustic tools of underwater observation. The algorithms for simulating noise radiation of sea objects are considered together with the algorithms for simulating direct and reflected active hydroacoustic signals. We provide the examples of calculating input signals for detection modes of hydroacoustic complexes. Software implementation of the simulator is described in C++ created in Qt Creator environment using the class diagram and use case diagram.

Hydroacoustic signal, signal model simulator, active signal, noise signal, underwater observation tools

УДК 004.932

С. А. Кулаков, Г. В. Разумовский
Санкт-Петербургский государственный электротехнический
университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)

Применение методов анализа изображений для распознавания наличия груза в железнодорожном вагоне

Рассматривается последовательность методов анализа видеопотоков для выделения вагонов в ж.-д. составе, определения их типов и наличия в них груза. Предложенный подход базируется на использовании детектора движения, алгоритма Лукаса–Канаде, гистограммы направленных градиентов и построении карты глубины изображения.

Анализ изображений, карта глубины, ректификация, оптический поток, HOG, SVM

Задача распознавания наличия груза в открытом железнодорожном вагоне (полувагон или платформа) связана с автоматизацией процесса контроля за перемещением груза с целью его фиксации при выезде состава с территории предприятия и предотвращения хищений. Для решения этой задачи должен быть оборудован пост контроля, оснащенный двумя видеокамерами (рис. 1: 1 – прожектор 1; 2 – видеокамера 1; 3 – лазерный дальномер; 4 – шкаф с оборудованием; 5 – прожектор 2; 6 – видеокамера 2; 7 – видеокамера 3). Одна видеокамера устанавливается сбоку и предназначена для разделения состава на вагоны и определения их номеров, а другая устанавливается сверху и используется для определения типа вагона и наличия в нем груза. Такая конфигурация поста позволяет определить только наличие груза в дви-

жущемся вагоне. Если необходимо определять объем груза, то сверху необходимо установить две видеокамеры в виде стереопары.

Весь процесс распознавания наличия грузов можно разбить на несколько этапов:

- 1) разделение состава на вагоны;
- 2) предобработка изображений (устранение дисторсии);
- 3) определение типа вагона;
- 4) построение карты глубины;
- 5) определение наличия груза в вагоне.

Задачу обнаружения состава и разбиения на вагоны можно решить, используя систему видеонаблюдения, оптические датчики или датчики колесных пар, жестко закрепленных на рельсах. С целью повышения надежности обнаружения