

Раздел V. Моделирование сложных систем

В.Е. Золотовский С.Ю. Касаев

СИСТЕМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗОН ТЕНИ ПРИ ГИДРОЛОКАЦИЮ ДОННОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Людей всегда интересовал окружающий мир. Существуют различные методы познания окружающего мира, один из которых – составление географических карт. Причем создание не только карт суши, но карт морского дна. В наше время изучение морского дна производится путем облучения звуковым сигналом и анализом возврата этого луча. Этот метод достаточно эффективен, но имеет недостатки. В ходе зондирования донной поверхности появляются участки дна, которые не освещались. Такая ситуация получается из-за ряда факторов:

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

Появляется необходимость моделирования таких ситуаций. Создание модели позволяет провести полный анализ ситуаций неосвещенности.

В данной статье описывается такая система. Эта система должна воссоздать реальную ситуацию зондирования донной поверхности.

В водной среде скорость звука равна

$$c = \sqrt{\frac{K}{\rho_0}}, \quad (1)$$

где K и ρ_0 – функции температуры T , солёности S и гидростатического давления p_0 . Зависимость скорости звука от этих трех величин обычно выражается в виде эмпирических формул. Впервые такая формула была предложена Кувахарой; известны формулы Вуда, Дель-Гроссо и Вильсона. Формула Вильсона имеет вид:

$$c = 14419,14 + W_T + W_{\rho_0} + W_S + W_{ST\rho_0}, \quad (2)$$

где W_T – слагаемое, зависящее только от температуры T ; W_{ρ_0} – слагаемое, зависящее только от гидростатического давления p_0 ; W_S – слагаемое, зависящее от солёности S ; $W_{ST\rho_0}$ – слагаемое, зависящее от всех трех указанных параметров.

Формула (2) справедлива в следующем диапазоне изменения параметров: $-4^\circ\text{C} < T < 30^\circ\text{C}$; $10^4 \text{ Па} < p_0 < 10^7 \text{ Па}$; $0 < S < 37\%$. Результаты расчета по этой формуле совпадают с экспериментально определенными значениями скорости звука с точностью $\pm 0,3$ м/с. В первом приближении скорость звука линейно увеличивается с ростом давления и температуры.

Горизонтальные изменения скорости звука обычно весьма малы по сравнению с вертикальными. Поэтому скорость звука c в волновом уравнении часто рассматривается как функция только одной вертикальной координаты z . Вертикальное распределение скорости звука в основном следует сезонным изменениям температуры и солёности. Однако сезонные изменения не стабильны. В экваториальных

широтах колебания поверхностной температуры, а следовательно, скорости звука сравнительно малы и носят случайный характер. В районах высоких широт на сезонные колебания скорости звука также накладываются колебания случайного характера. Тем не менее, можно указать следующие типичные случаи вертикального распределения скорости звука. Случай I – практически неизменная скорость звука по всей глубине. Случай II – возрастание скорости звука с глубиной. Случай III – быстрое изменение скорости звука с глубиной в поверхностном слое, переходящее к медленному изменению в глубинных слоях.

Первый тип распределения – практически неизменная скорость звука по всей глубине – встречается в мелководных районах в зимнее или осеннее время года, когда в результате охлаждения моря более холодная и, следовательно, более плотная вода с поверхности опускается вниз, а теплая вода нижних слоев поднимается вверх. Происходит вертикальная циркуляция воды, которая выравнивает ее температуру и соленость по всей глубине. Поскольку в мелководном районе статическое давление существенно не изменяет скорости звука, ее можно считать распределенной равномерно (рис.1).

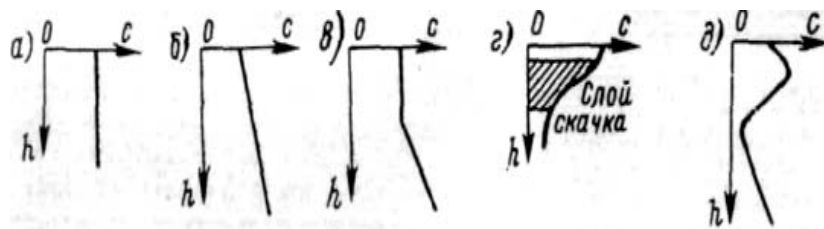


Рис.1. Наиболее типичные случаи вертикального распределения скорости звука

В глубоководных районах под влиянием вертикальной циркуляции устанавливается второй тип распределения скорости звука – возрастание скорости звука с глубиной, что обуславливается ростом статического давления (см. рис.1,б). Существует разновидность второго типа вертикального распределения скорости звука, при которой в приповерхностном слое некоторой толщины устанавливается неизменная скорость звука, а ниже этого слоя скорость звука растет. Такое распределение скорости имеет место в тех случаях, когда теплая вода в глубине моря обладает большей соленостью, чем вода поверхностных слоев. Конвекция в глубоких слоях при этом отсутствует, поскольку вода в них более тяжелая (см. рис.1,в).

При отмеченных типах распределения скорости звука создаются благоприятные условия его распространения. При втором типе распределения скорости звука образуется звуковой канал, характеризующийся концентрацией звука вблизи поверхности моря.

Третий тип вертикального распределения скорости звука – быстрое изменение скорости с глубиной, а затем медленное на больших глубинах – существует в мелководных районах в летнее и весеннее время, когда море прогревается с поверхности. Так как вследствие малой теплопроводности воды тепло проникает только на небольшие глубины, то хорошо прогревается лишь приповерхностный слой. При этом имеет место резкий перепад скорости звука на тонком слое (толщиной до 50 м). Слой наибольшего перепада скорости звука называется слоем скачка (см. рис.1,г). Другая разновидность третьего типа распределения скорости звука (см. рис.1,д) соответствует образованию приповерхностного звукового канала.

Особый интерес представляет случай, когда скорость звука на некоторой глубине имеет минимальное значение и при этом образуется подводный звуковой

канал (см. рис.1,д,е). Более или менее выраженный минимум скорости звука наблюдается почти во всех морях. Глубина залегания минимума скорости в Центральной Атлантике меняется в пределах 800–1200 м.

Для моделирования распространения звукового луча в водной среде необходимо решить систему дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = c(y) \cos \theta \\ \frac{dx}{dt} = c(y) \sin \theta \\ \frac{d\theta}{dt} = -\frac{c(y)}{c_0} \frac{dc}{dy} \cos \theta \end{cases} \Rightarrow \left(V(y) = -\frac{c(y)}{c_0} \frac{dc}{dy} \right) \Rightarrow \begin{cases} dx = c(y) \cos \theta dt \\ dy = c(y) \sin \theta dt \\ d\theta = V(y) \cos \theta dt \end{cases} ,$$

Существуют различные методы численного интегрирования

- ◆ метод прямоугольников – формула Эйлера;
- ◆ метод трапеций;
- ◆ метод Рунге-Кутты 3-го порядка.

$$1) \begin{cases} \nabla x_i = (c(y) \cos \theta)_{i-1} \nabla t \\ \nabla y_i = (c(y) \sin \theta)_{i-1} \nabla t \\ \nabla \theta_i = (V(y) \cos \theta)_{i-1} \nabla t \end{cases} \quad 2) \begin{cases} \nabla x_i = ((c(y) \cos \theta)_i + \frac{1}{2}(c(y) \cos \theta)_{i-1}) \nabla t \\ \nabla y_i = ((c(y) \sin \theta)_i + \frac{1}{2}(c(y) \sin \theta)_{i-1}) \nabla t \\ \nabla \theta_i = ((V(y) \cos \theta)_i + \frac{1}{2}(V(y) \cos \theta)_{i-1}) \nabla t \end{cases}$$

$$3) \begin{cases} \nabla x_i = \frac{1}{6}(K_1 + 4K_2 + K_3) \nabla t \\ \nabla y_i = \frac{1}{6}(K_1 + 4K_2 + K_3) \nabla t, \text{ где } \\ \nabla \theta_i = \frac{1}{6}(K_1 + 4K_2 + K_3) \nabla t \end{cases} \quad \begin{cases} K_1 = f(t_i) \nabla t \\ K_2 = f(t_i + \frac{1}{2} \nabla t, x_i + \frac{1}{2} K_1) \nabla t \\ K_3 = f(t_i + \nabla t, x_i - K_1 + 2K_2) \nabla t \end{cases}$$

Рис.2. Формулы численного интегрирования (1 - метод прямоугольников, 2 – метод трапеций, 3 – метод Рунге-Кутты 3-го порядка)

Для определения погрешности выберем максимально возможную ошибку при аппроксимации скорости звука. Такая ошибка возникает, если скорость звука принимается постоянной, а на самом деле изменяется с глубиной. Для примера выберем зависимость представленную на рис.3.

Максимальная погрешность будет равна:

$$\xi = 1500 - 1380 = 120 \text{ м/с} , \tag{5}$$

При численном интегрировании погрешность на каждом шаге $\nabla t = 10^{-4}$ будет равна:

$$\nabla x = \int 120 \times 10^{-4} = 1,2 \times 10^{-3} \text{ м} , \tag{6}$$

При подсчете полной погрешности необходимо рассчитать примерное количество итераций. Для этого допустим что луч испускается под углом 30^0 .

Длина луча высчитывается по формуле:

$$d = \frac{y}{\sin 30^0} = \frac{500}{\sin 30^0} = 1000 \text{ м}, \quad (7)$$

При усредненной скорости звука равной

$$t = \frac{d}{c} = \frac{1000}{1500} \approx 0.67 \text{ с}, \quad (8)$$

Тогда количество итераций равно:

$$N = \frac{t}{\nabla t} = \frac{0.67}{0.0001} = 6700, \quad (9)$$

Полная погрешность вычисляется по следующей формуле:

$$\xi_{\text{пол}} = N \times \xi = 6700 \times 1.2 \times 10^{-3} = 8.04 \text{ м}, \quad (10)$$

В результате получилась очень высокая погрешность. Для уменьшения погрешности можно уменьшить шаг квантования или использовать другую формулу численного интегрирования. При использовании формулы трапеции погрешность на одном шаге вычисляется по следующей формуле:

$$\xi = \int 120 \times 1 \times 10^{-6} = 1.2 \times 10^{-5}, \quad (11)$$

Полная погрешность:

$$\xi_{\text{пол}} = N \times \xi = 6700 \times 1.2 \times 10^{-5} = 0.0804 \text{ м}, \quad (12)$$

Результаты показывают, что данный метод численного интегрирования с избытком удовлетворяет необходимым условиям. Использование формулы трапеций позволяет уменьшить шаг квантования, что значительно снизит трудоемкость вычислений.

Необходимо учитывать что корабль движется со скоростью 3-5 узлов, а следовательно восстановленная поверхность со временем устареваает. Пересчитав скорость корабля из узлов в м/с получим:

$$V_{\text{к}} = \frac{3 \times 1843}{3600} \approx 1,54 \text{ м/с}, \quad (13)$$

При усредненном значении скорости звука в воде $c = 1500$ м/с и глубине $y = 500$ м время на облучения одного участка составит:

$$t_{\text{об}} = \frac{y}{c} \times 2 = \frac{500}{1500} \times 2 \approx 0,66 \text{ с}, \quad (14)$$

В свою очередь необходимо чтоб корабль за это время прошел не более одного метра, пока не начнется следующее облучение. При скорости 3 узла корабль проходит 1 м за время равное:

$$t_{1\text{м}} = \frac{1}{1,56} \approx 0,64, \quad (15)$$

Даже при скорости 3 узла луч не успеет вернуться с глубины 500м. При такой ситуации необходимо снизить скорость корабля.

Интерфейс системы моделирования представлен на рис. 4.

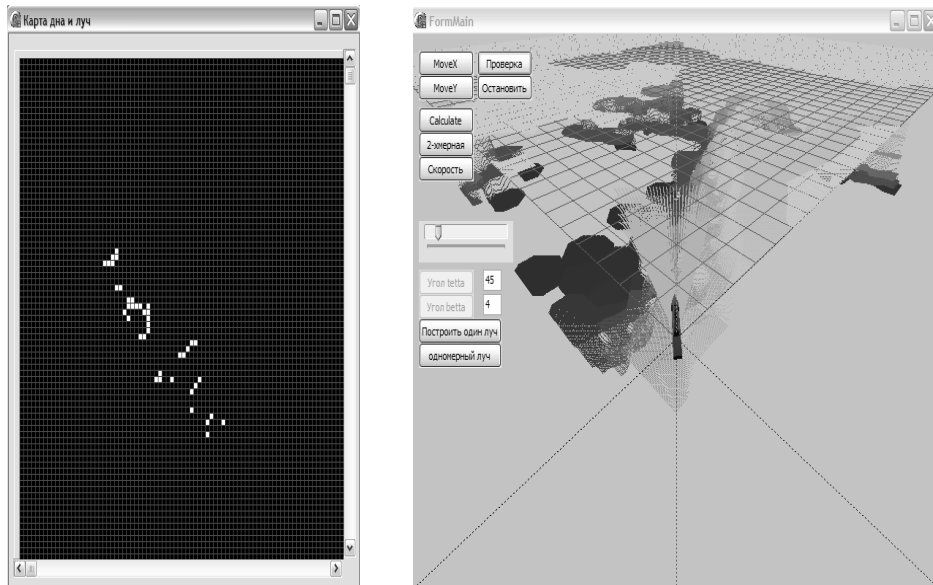


Рис.4. Интерфейс системы моделирования

Так как все лучи считаются последовательно, а количество итераций на каждом луче превышает 800, просчет даже на современном быстродействующем компьютере не удовлетворяет временным требованиям. Для повышения быстродействия моделирования предлагается разработать аппаратный акселератор, который позволит решать систему дифференциальных уравнений параллельно.

На рис.5. приведена структурная схема возможной реализации вычислителя. Данная схема универсальна для описанных выше методов интегрирования.

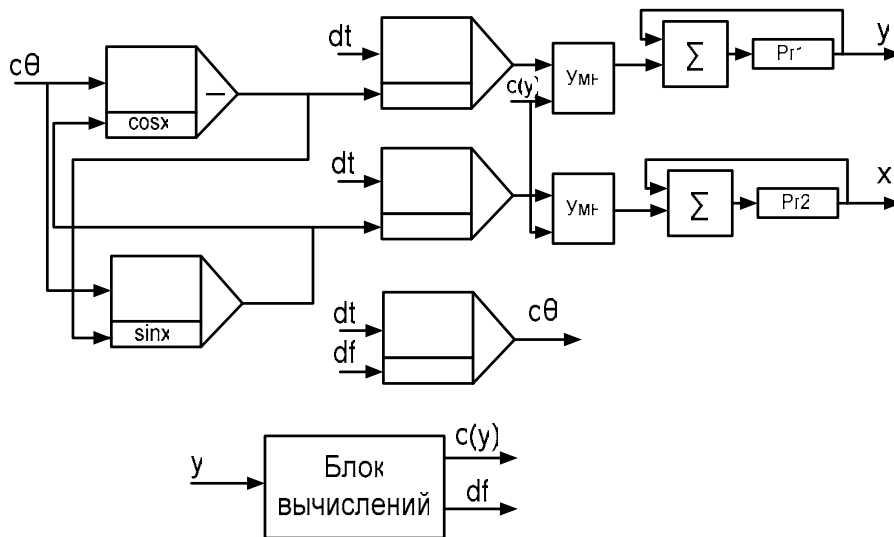


Рис.5. Структурная схема акселератора

Приведенная структурная схема вычисляет ход одного луча. Всего при моделировании используются 806 лучей. Так как лучи распространяются параллельно и не зависят друг от друга, возможно использовать несколько вычислителей для полного просчета.

Ввиду высокого развития ПЛИС-технологий, рекомендуется использовать данную технологию для создания программно-аппаратного комплекса.

С.П. Малюков, А.С. Мкртумов, О.В. Цветков

ПЕРИОДИЧНОСТЬ СТАТИСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ В ДИНАМИЧЕСКИХ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ С ЦИФРОВОЙ КОМПРЕССИЕЙ

Цифровая компрессия сигналов изображения к настоящему времени нашла повсеместное применение в практике записи, обработки, передачи и отображения видеосюжетов, как в вещательном телевидении, так и при передаче по IP-сетям. При этом на каждом этапе создания и передачи сюжетов используется определенный компромисс между допустимой степенью потери качества изображения и скоростью цифрового потока сжатой информации, определяемой коэффициентом сжатия кодера. В трактах формирования и выдачи ТВ программ применяется в основном компрессия с внутрикадровым сжатием, в трактах передачи – MPEG-2 с сочетанием внутри- и межкадрового. Последнее осуществляется обработкой группы кадров (Group of Pictures – GOP), в которой один кадр подвергается только внутрикадровому сжатию, другие – однонаправленному предсказанию, третьи – двунаправленному предсказанию (т.н. I, P и B кадры соответственно). При этом по объему информации типичный P-кадр составляет 1/3, а B - 1/8 от I [1]. Высокая степень сжатия B-кадров снижает точность восстановления исходного ТВ изображения настолько, что B-кадры не используются в качестве опорных при декодировании в монтажных вариантах MPEG-2 [2,3]. В то же время накопление ошибок в P-кадрах при их чередовании с I-кадрами в коротких группах оказывается достаточно малым, и применение таких вариантов вступает в стадию практической реализации [4]. Поэтому оценка степени потери информации в кадрах различного типа представляет интерес для практики применения компрессии, в частности, MPEG-2. Анализ проводится для динамических изображений, так как в статических восстановленные кадры идентичны.

Оценки такого рода проводятся, как правило, на основе вычисления среднеквадратичной ошибки между соответствующими кадрами оригинала и восстановленного после компрессии изображения (рис.1) [5]. В практике телевидения используется также передача информации о кодировании, передаваемая в сопутствующих сигналу служебных битах [6,7]. Так или иначе, эти способы опираются на доступ к исходному – до сжатия – материалу. Поскольку этот доступ далеко не всегда возможен, представляет интерес для различных применений возможность анализа структуры восстановленного видеоряда без него. В данной работе изложены результаты анализа динамических телевизионных изображений с цифровой компрессией, опирающегося только на конечный, восстановленный после компрессии видео-материал.