

УДК 621.39.96

ОСОБЕННОСТИ ВЫДЕЛЕНИЯ ГРАНИЦ СЛОЕВ ДОННОГО ГРУНТА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ПРОФИЛЬНОЙ ГРУНТОВОЙ СЪЕМКИ

© Р.Д. Шилов, 2007

Научно-технический центр панорамных акустических систем НАН Украины, г. Запорожье

В статті проведено аналіз алгоритмів виділення границь розділу шарів донного ґрунту. Сформульовані загальні підходи до питання визначення фізико-технічних параметрів шарів донного ґрунту.

В статье проведен анализ алгоритмов выделения границ раздела слоев донного грунта. Сформулированы общие подходы к вопросу определения физико-технических параметров слоев донного грунта.

In the article is made the analyze of algorithm of bleeding of layers interfaces of bottom and formulated the general approaches to the question of definition of physico-technical parameters of the bottom's layers.

ПРОФИЛОГРАФ, ТОЛЩИНА СЛОЯ, ГРАНИЦЫ РАЗДЕЛА СЛОЕВ, ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СЛОЕВ ДОННОГО ГРУНТА, ЗОНДИРУЮЩИЙ СИГНАЛ

Профильная грунтовая съемка представляет собой сложную научно-техническую задачу, эффективность которой определяется, в основном, разрешающей способностью и глубиной проникновения зондирующего сигнала в грунт. Сигнал, отраженный от слоев донного грунта, может наблюдаться на фоне сильной донной реверберации, которая, в ряде случаев, может полностью маскировать полезный эхо-сигнал. Задача усложняется еще и тем, что происходят существенные потери акустической энергии за счет затухания в грунте и при прохождении границ раздела вода-грунт и донных слоев.

Требования к глубине проникновения зондирующего сигнала в грунт обуславливают необходимость понижения рабочей частоты, что достигается использованием параметрических антенн. С другой стороны, требование увеличения разрешения по дальности приводит к необходимости расширения спектра зондирующих сигналов, что разрешается использованием сложных зондирующих сигналов с широкой полосой.

Обладая высокой направленностью на низких частотах, хорошим проникновением в грунт, широкополосностью параметрический профилограф является практически единственным перспективным средством проведения профильной грунтовой съемки [1].

Основной задачей, решаемой профилографом, является исследование разреза донных слоев с определением их характеристик. Одной из главных характеристик донных слоев является толщина слоя.

Измерение толщины слоя основано на определении интервала времени Δt между сигналами, отраженными от его границ:

$$h = \frac{c_T \Delta t}{2}. \quad (1)$$

Наиболее стабильным признаком для обрабатываемых локационных изображений являются граничные линии, разделяющие слои. Известные методы выделения граничных линий [2] основаны, как правило, на оценке уровня градиента в каждом элементе разрешения

локационного изображения. Граничными линиями считаются элементы, уровень градиента в которых превосходит определенный уровень.

Для выделения граничных линий могут использоваться следующие алгоритмы:

- алгоритм Робертса;
- алгоритм выделения границ раздела слоев, основанный на оценке величины градиента элемента с учетом влияния соседних элементов с весовой матрицей сглаженного градиента, с весовой функцией Собеля и с изотропной весовой функцией.

Алгоритм Робертса используется для выделения границ раздела слоев с высоким уровнем градиента.

Для локационного изображения, представленного двумерной функцией $A(i, j)$, уровень градиента в точке (i, j) задается равенством

$$\|\nabla A(i, j)\| = \sqrt{[A(i, j) - A(i+1, j+1)]^2 + [A(i, j+1) - A(i+1, j)]^2}. \quad (2)$$

С точки зрения вычислительных затрат более эффективной является разностная схема для вычисления суммы абсолютных величин диагональных градиентов

$$F(i, j) = |A(i, j) - A(i+1, j+1) + A(i, j+1) - A(i+1, j)|. \quad (3)$$

Определение границ раздела слоев производится по формуле

$$F_T(i, j) = \begin{cases} 1, & \text{если } F(i, j) \geq T \\ 0, & \text{если } F(i, j) < T \end{cases} \quad (4)$$

где T – пороговый уровень.

Недостатком алгоритма Робертса является то, что он может использоваться для выделения границ раздела слоев с высоким уровнем градиента.

Алгоритм выделения границ раздела слоев, основанный на оценке величины градиента элемента (i, j) с учетом влияния соседних элементов использует разные весовые функции: матрицу сглаженного градиента, весовую функцию Собеля, изотропную весовую функцию.

Пусть имеется A – матрица размером (3×3) с центром (i, j) .

Тогда градиент в точке (i, j) определяется следующим выражением:

$$G(W)_{i,j} = \sum_{K=1}^3 \sum_{L=1}^3 A(i+K-2, j+L-2) W(K, L), \quad (5)$$

где A – матрица локационного изображения размером 3×3 ,

$W(K, L)$ – весовая матрица размером 3×3 .

При этом:

- весовая матрица сглаженного градиента [2]:

$$W_1 = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & -1 \end{vmatrix}, \quad W_2 = \begin{vmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & -1 \end{vmatrix},$$

– весовые функции Собеля [2]:

$$W_1 = \begin{vmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{vmatrix}, \quad W_2 = \begin{vmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \end{vmatrix},$$

– изотропные весовые функции [2]:

$$W_1 = \begin{vmatrix} 1 & \sqrt{2} & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -\sqrt{2} & -1 \end{vmatrix}, \quad W_2 = \begin{vmatrix} 1 & 0 & -1 \\ \sqrt{2} & 0 & -\sqrt{2} \\ 1 & 0 & -1 \end{vmatrix}.$$

Уровень градиента в т. (i, j) равен:

$$\|\nabla A(i, j)\| = \sqrt{G^2(W_1) + G^2(W_2)}. \quad (6)$$

Или, по аналогии с (3):

$$F(i, j) = |G(W_1)| + |G(W_2)|. \quad (7)$$

Квантование осуществляется в соответствии с (4).

Выбор уровня порога в значительной степени определяет эффективность определения границ раздела слоев. Величина порога зависит от характеристик грунта. Автоматизация определения порога может быть выполнена, например, методом усреднения по фрагменту:

$$Q = \frac{1}{(2N+1)^2} \sum_{m=i-N}^{i+N} \sum_{n=j-N}^{j+N} F(m, n). \quad (8)$$

Уравнение квантования:

$$F_q(i, j) = \begin{cases} 1, & \text{если } F(i, j) \geq kQ \\ 0, & \text{если } F(i, j) < kQ \end{cases}, \quad (9)$$

где k – коэффициент масштаба.

Наиболее эффективным методом автоматизации определения порога является метод среднего и среднеквадратического отклонений уровня порога:

$$L = \mu_T - k\sigma_T; \quad H = \mu_T + k\sigma_T, \quad (10)$$

где μ_T – математическое ожидание порогового уровня;

σ_T – дисперсия порогового уровня;

k – коэффициент масштаба, $k = 0...0,5$.

Уравнение квантования:

$$F_q(i, j) = \begin{cases} 1, & \text{если } F(i, j) \geq H \\ 0, & \text{если } F(i, j) < L \end{cases}. \quad (11)$$

Пример результатов выделения границ раздела слоев профилограммы [3] при моделировании в системе MATLAB, полученных при использовании весовых функций Собеля, представлен на рис. 1.

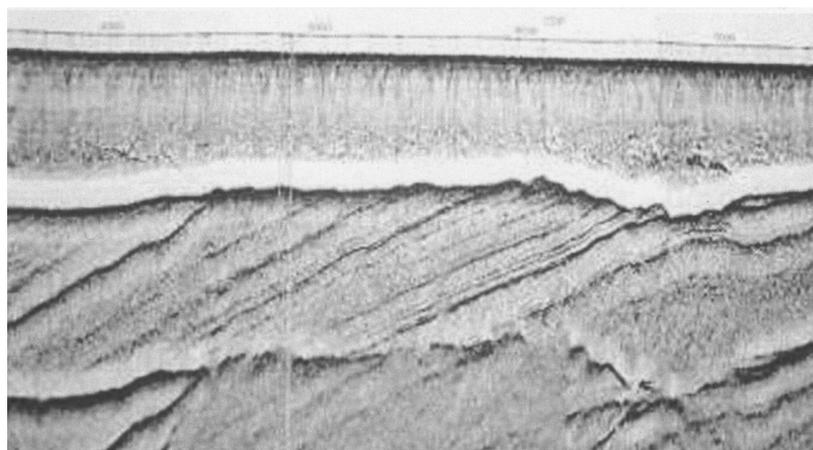
Из рисунка видно, что дополнительное усреднение исходного изображения позволяет улучшить выделение граничных линий. Однако, следует отметить, что основным недостатком описанного в статье подхода является его низкая эффективность при расположении границы под углом к строкам или столбцам матрицы локационного изображения. В этом случае, судя по всему, улучшения выделения границ можно добиться при последовательном повороте исходного локационного изображения на угол $\pm 45^\circ$.

При построении систем информационного обеспечения океанографических исследований основной задачей является либо определение физико-технических параметров слоев донного грунта, либо выделение (обнаружение) неизвестной среды с последующей ее идентификацией по принадлежности одной из эталонных сред.

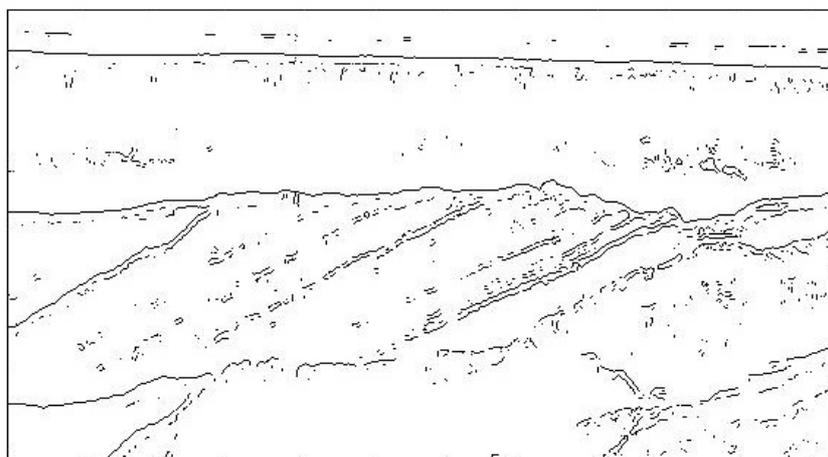
Наиболее совершенными системами обработки информации, позволяющими идентифицировать локационное изображение, являются корреляционные системы [4].

Принцип работы корреляционной системы основан на сравнении текущего локационного изображения с эталонным локационным изображением, полученным заранее, либо с помощью математического моделирования. Из теории известно, что при некоторых ограничениях функционалом, посредством которого производится сравнение текущего и эталонного изображений, является взаимная корреляционная функция. При совпадении текущего и эталонного изображений она должна достигать максимального (экстремального) значения, а ее производная – минимального.

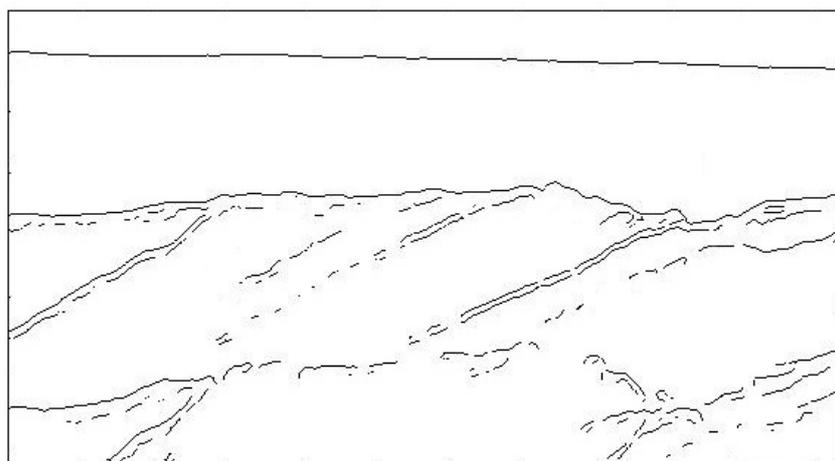
Процесс определения физико-технических параметров слоев донного грунта может быть реализован в форме сопоставления оценок определенных признаков структуры грунта с теми же параметрами, принадлежащими к заведомо изученному (эталонному) участку слоистого дна, полученного либо эмпирически, либо в результате математического моделирования.



а



б



в

Рис.1 - Многослойное дно (а), границы раздела слоев без предварительной обработки исходного изображения (б) и границы раздела слоев при предварительном усреднении исходного изображения по фрагменту (в).

При анализе сигналов, соответствующих грунтовой структуре, полученных с помощью профилографа, наиболее простой формой оценки идентичности изображений является минимум нормы разности вектора реализации X и вектора $X_{\text{э}}$, характеризующего эталонное локационное изображение [5]. Если компоненты векторов имеют одинаковые физические размерности, то пользуются не взвешенной суммой квадратов разности компонентов этих векторов:

$$\Delta X = (X - X_{\text{э}})^T (X - X_{\text{э}}). \quad (12)$$

Считается, что наблюдаемый вектор принадлежит к i -му типу, если квадратичная форма меры (12) для i -го эталона меньше той же величины для любого другого эталона, т.е.

$$(X - X_{\text{э}_i})^T (X - X_{\text{э}_i}) < (X - X_{\text{э}_j})^T (X - X_{\text{э}_j}) \quad (13)$$

для всех $i \neq j$.

Таким образом, рассмотренный метод минимизации расстояния между векторами X и $X_{\text{э}_j}$ состоит в том, что вектор принадлежит к i -му типу, если для всех $i \neq j$

$$X^T X_{\text{э}_i} > X^T X_{\text{э}_j}. \quad (14)$$

Так как измерения ведутся на фоне шумов, а границы слоев размыты, то результат определения физико-технических параметров слоев донного грунта слоев носит вероятностный характер. В таких условиях наиболее удобной мерой сходства наблюдаемого и эталонного векторов является корреляционная функция между векторами X и $X_{\text{э}}$ [6]:

$$B = \langle X^T X_{\text{э}_i}^* \rangle, \quad (15)$$

где $\langle \dots \rangle$ означает статистическое усреднение.

Наличие возможности хранения данных в цифровом виде открывает широкие возможности для постобработки принятых сигналов. В этом случае пользователь получает возможность производить редактирование, фильтрацию, корректировку уровней сигнала. В связи с этим особое место при разработке автоматизированного комплекса профильной грунтовой съемки занимает разработка программного обеспечения. Диалоговое программное обеспечение должно обеспечивать конфигурацию системы, допускающую возможность оперативного изменения параметров системы в процессе работы.

В работе показан пример выделения границ раздела слоев донного грунта и сформулированы общие подходы к вопросу определения физико-технических параметров слоев донного грунта. Однако на этом задачи профильной грунтовой съемки не исчерпываются. К таким задачам относятся определение коэффициентов отражения от границ слоев, определение мощности слоев, оценка физико-механических характеристик

слоев донного грунта и другие. Решение этих задач должно лечь в основу дальнейших исследований.

Литература

1. Гончар А.И. Гидроакустические методы и средства исследования дна Мирового Океана. НТЦ ПАС НАН Украины. – Запорожье, 2002.- 220с.
2. Дуда Р., Харт П. Распознавание образов и анализ сцен.– М.: Мир, 1976. - 511 с.
3. Донный СhIP профилограф // проспект фирмы GeoAcoustics, 2002.
4. Фомин Я.А., Тарловский Г.Р. Статистическая теория распознавания образов. – М.: Радио и связь, 1986. –263с.
5. Левин Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники. – М.: Радио и связь, 1989. – 656с.
6. Тихонов В.И. Оптимальный прием сигналов. – М.: Радио и связь, 1983. – 320с