

УДК 621.396.96

*Маляров М.В., канд. техн. наук, доц., УГЗУ,
Неронов А.А., нач. курса, УГЗУ*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОФИЛЯ МОРСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ С УЧЕТОМ ЕЕ ФРАКТАЛЬНЫХ СВОЙСТВ

(представлено д-ром техн. наук Куценко Л.Н.)

Для решения задачи автоматического обнаружения пострадавшего на воде предложена модель морской поверхности, отличием которой от существующих, является учет ее фрактальных свойств. Модель водной поверхности состоит из макро- и микро-структуры. Макроструктура моделируется на основе гауссовой модели, а микроструктура — при помощи фрактальной функции.

Постановка проблемы. При автоматическом поиске объектов на морской поверхности в качестве критерия обнаружения предлагается воспользоваться изменением ее фрактальной размерности [1]. Появление объекта поиска сопровождается образованием некой зоны неоднородности морской поверхности. В этом случае ее фрактальная размерность изменяется, что делает возможным обнаружение как нефрактальных, так и фрактальных зон неоднородностей на изображениях моря. Для разработки обнаружителя и оценки его показателей качества необходимо создать модель морской поверхности, которая помимо статистических свойств и зависимости от погодных условий, также учитывает фрактальные свойства. Указанная модель позволит более точно изучить фрактальные свойства морской поверхности в зависимо-

сти от погодных условий и проанализировать работу обнаружителя на эталонных изображениях.

Анализ последних исследований и публикаций. Утверждения о фрактальности морской поверхности в литературе встречаются довольно часто [2,3]. Однако при разработке моделей учитывается только статистические свойства морской поверхности в зависимости от природных условий [4]. Учет фрактальных свойств морской поверхности приведен в [5], однако модель предложена для СВЧ диапазона. При моделировании поверхности в оптическом диапазоне волн необходимо учитывать, что неровности поверхности соизмеримы с длиной волны. Поэтому при моделировании морской поверхности необходимо использовать понятие диффузного отражения, модели поверхности на основе которого предложены в [4,5] и дополнить данные модели учетом фрактальных свойств.

Постановка задачи и ее решение. Целью статьи является создание алгоритма моделирования профиля морской поверхности на основе стохастической модели водной поверхности, дополненной моделью, учитывающей ее фрактальные свойства.

Рассмотрим сечение морской поверхности $\tilde{\Sigma}(x)$, которое представляет собой сумму двух поверхностей $\Sigma(x)$ и $\xi(x)$. Гладкая функция $\Sigma(x)$ описывает форму объекта (или макроструктуру поверхности). Функция $\xi(x)$ характеризует отклонения гладкой функции $\Sigma(x)$ от реальной $\tilde{\Sigma}(x)$ за счет шероховатостей и описывает микроструктуру рассеивающей поверхности. То есть

$$\tilde{\Sigma}(x) = \Sigma(x) + \xi(x). \quad (1)$$

Рассмотрим макроструктуру поверхности $\Sigma(x)$. Морская поверхность является сложным природным объектом, на котором наблюдается ветровое волнение, острые гребни, обрушивающиеся волны и т.д., при этом каждое образование участвует в формировании рассеянного сигнала.

Без учета волнений сечение спокойной морской поверхности можно описать выражением [4]

$$\Sigma(x) = A \sin(w_0 x), \quad (2)$$

где A — амплитуда волны, w_0 — частота, связанная с длиной волны λ зависимостью $w_0 = 2\pi/\lambda$. Длина морской волны λ выбирается из диапазона 0,1...0,35 метра.

Под действием ветра морская поверхность изменяется: происходит случайный разброс амплитуд волн. В [5] показано, что эта случайная величина подчиняется нормальному закону распределения со среднеквадратической высотой волн σ . При увеличении скорости ветра на морской поверхности вначале наблюдается малый рост среднеквадратической высоты σ , а после достижения определенного значения скорости — наблюдается очень интенсивный рост. Скорость ветра $V_{крит} = 5...8$ м/с, при которой происходит это изменение, называется критической. Зависимость среднеквадратической высоты волн хорошо описывается функцией вида

$$\sigma = A \left(\frac{V - V_{крит}}{V_{крит}} \right)^2. \quad (3)$$

С дальнейшим ростом скорости ветра происходит изменение внешнего вида и формы волны. В этот период, прежде всего, возрастает высота $H = 2A$ и уменьшается длина волны λ , что приводит к увеличению ее крутизны $\gamma = H/\lambda$. Кроме того, появляются горизонтальная и вертикальная асимметрии, определяемые, соответственно коэффициентами μ и η . Значения коэффициентов асимметрии, полученные в [5], приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Значения коэффициентов асимметрии морской волны

Коэффициенты асимметрии	Симметричная волна	Значения коэффициентов асимметрии		
		минимальное	максимальное	среднее
μ	0,5	0,63	0,93	0,76
η	1,0	0,9	2,70	1,85

Таким образом, изменение частоты сечения морской поверхности с учетом коэффициента вертикальной асимметрии будет иметь вид

$$w(x) = w_0 + (\eta - 1) \sin(w_0 x). \quad (4)$$

Амплитуду изменения высоты волн с учетом коэффициента горизонтальной асимметрии аналогично представим в виде

$$A(x) = A + (\mu - 0,5) \sin(w_0 x). \quad (5)$$

Начальная амплитуда волн A меняется случайным образом по нормальному закону распределения со среднеквадратическим отклонением, описываемым выражением (3). Таким образом, исходя из формул (2-5) макроструктура морской поверхности может быть описана выражением

$$\Sigma(x) = A(x) \sin(w(x)x). \quad (6)$$

Перейдем к рассмотрению микроструктуры поверхности моря. Исследования, проводимые в области фрактальных поверхностей, показали, что микронеровности структуры достаточно точно описываются случайными фрактальными функциями [2,3]. В качестве такой функции выберем косинусную фрактальную функцию Вейерштрасса-Мандельброта

$$C(x) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \frac{(1 - \cos(b^n x))}{b^{(2-D_f)n}}. \quad (7)$$

В выражении (7) параметр b определяет, какая часть кривой видна, когда аргумент x изменяется в заданном интервале. Значение b может выбираться любым в интервале значений $b = 0,8 \dots 1,8$. Параметр D_f определяет фрактальную размерность кривой. Поэтому для моделирования водной поверхности значения фрактальной размерности должны соответствовать фрактальной размерности реальной морской поверхности $D_f = 1,33 \dots 1,66$.

С целью снижения влияния собственных значений амплитуды косинусной функции, при моделировании сечений морской поверхности, воспользуемся нормированной косинусной функцией Вейерштрасса-Мандельброта. Тогда микроструктуру морской поверхности можно представить в виде

$$\xi(x) = \frac{C(x)}{\tilde{C}(x)} \quad (\text{при } b = 0,8 \dots 1,8). \quad (8)$$

где $\tilde{C}(x)$ — среднее на интервале расчета значение косинусной функции Вейерштрасса-Мандельброта.

Итак, рассмотрев модели описывающие макроструктуру и микроструктуру водной поверхности, на которой осуществляется автоматическое обнаружение объекта поиска, перейдем непосредственно к алгоритму моделирования профиля морской поверхности.

В начале работы алгоритма происходит ввод данных. На первом шаге вводятся общие параметры моделируемой поверхности: размеры моделируемого участка морской поверхности (X, Y) , величины линейного разрешения аппаратуры наблюдения $(\Delta x, \Delta y)$. На втором шаге задаются исходные данные, описывающие макроструктуру поверхности: скорость приводного ветра (V) , длина морской волны (λ) и коэффициенты асимметрии (μ, η) . На третьем шаге задаются данные, описывающие микроструктуру поверхности — величины фрактальной размерности D_f .

Четвертый шаг: моделирование профиля сечения макроструктуры морской волны $(\Sigma(x))$ с единичной амплитудой в соответствии с заданными параметрами. На 5 шаге проводится случайный выбор коэффициента b , равномерно распределенного на интервале $0,8 \dots 1,8$, и моделирование профиля микроструктуры морской волны $\xi(x)$ (6 шаг). Затем, на 7 шаге, проводится совмещение профилей макро- и микроструктуры, после чего на выходе получаем профиль $\tilde{\Sigma}(x)$ с единичной амплитудой.

Далее производится увеличение амплитуды морской волны в соответствии с заданными условиями $(\tilde{\Sigma}(x) = A(x)\tilde{\Sigma}(x))$. При этом также учитываются параметры аппаратуры наблюдения, для чего из конечного профиля морской поверхности необходимо удалить избыточные значения. Так как аппаратура наблюдения имеет линейное разрешение Δx , то и значения профиля морской волны будут следовать через этот интервал. При технической реализации аппаратура производит усреднение всех мгновенных значений интенсивностей оптического сигнала, попадающих на соответствующий приемник (шаг 9). При моделировании поступим так же. Усредним в пределах линейного разрешения мгновенные значения профиля сечения

$$\tilde{\Sigma}(x) = \frac{1}{\Delta x} \sum_{i=1}^{\Delta x} \tilde{\Sigma}(i). \quad (9)$$

После данной операции получим одно сечение профиля морской волны. Путем скольжения профиля морской волны вдоль оси OY под неким углом Θ получим профиль $z(x, y | b, D_f, A_0, \sigma, \Theta) = \tilde{\Sigma}(x)$ (шаг 10).

На этом моделирование профиля морской волны заканчивается и следует переход к моделированию нового профиля сечения с другими значениями b , A и Θ . По окончании моделирования все профили поверхности суммируются, образуя профиль

$$z(x, y) = \frac{1}{n} \sum_n z(x, y | b_i, D_f, A_i, \sigma, \Theta_i). \quad (10)$$

Выводы. Предложенный алгоритм моделирования профиля морской поверхности включает в себя макро- и микроструктуры. При этом профиль макроповерхности зависит только от внешних условий (амплитуды волн, скорости приводного ветра и коэффициентов асимметрии), а профиль микроповерхности — от фрактальных свойств морской поверхности (фрактальной размерности).

ЛИТЕРАТУРА

1. Маляров М.В., Щербак Г.В. Алгоритм пошуку малорозмірних об'єктів на морській поверхні з використанням її фрактальних властивостей. Проблеми надзвичайних ситуацій. Зб. наук. пр. УЦЗ України. Вип. 8. – Харків: УЦЗУ, 2008. С.124-130.
2. Кронвер Р.М. Фракталы и хаос в динамических системах. – М.: Постмаркет, 2000. – 352 с.
3. Е. Федер. Фракталы. – М.: Мир, 1991. – 254 с.
4. Лобкова Л.М. Распространение радиоволн над морской поверхностью. – М.: Радио и связь, 1991. – 256 с.
5. Кулемин Г.П. Особенности обратного рассеивания радиоволн СВЧ морской поверхностью при очень малых углах скольжения. // Успехи современной радиоэлектроники, №12, 1998. С.17-39.
nuczu.edu.ua