

УДК 621.396.96:621.371.3

А.И. КРАВЧЕНКО

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского “ХАИ”, Украина

МОДЕЛЬНОЕ ОПИСАНИЕ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ОТРАЖЕНИЙ В ОБЛАСТИ НАХОЖДЕНИЯ ПРОТЯЖЕННОГО ОБЪЕКТА И БЛИЗЛЕЖАЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ МОРЯ

В работе рассмотрена и исследована задача модельного описания пассивной помехи, наблюдаемой в области объект - взволнованная морская поверхность, приведены результаты теоретического описания и компьютерного моделирования для различных аналитических функций восстановления регулярной составляющей помехи. Показано, что при отсутствии статистики рассеяния флуктуации огибающей можно задавать любой случайной функцией с перепадом уровней от нескольких единиц до нескольких десятков децибел

Ключевые слова: отражение, координата, алгоритм, обработка, поверхность, эвристический, оценка, синтез, моделирование, флуктуации, сглаживание

Введение

На современном этапе развития теории и техники радиолокации существенное внимание уделяется конкретным областям и направлениям ее практического применения. Одним из таких направлений радиолокации является обеспечение безопасности и точности движения крупногабаритных морских судов, движущихся по фиксированным траекториям, например, морским каналам.

Радиолокационные объекты данного вида в большинстве практических случаев относят к классу объектов, протяженных по дальномерной и азимутальной координатам. Особенность радиолокационного сопровождения таких объектов состоит прежде всего в оценке координатной привязки радиолокационного изображения в условиях влияния пассивной помехи, возникающей в области местонахождения морского судна и входящей в ее состав близлежащей взволнованной морской поверхности. Пассивная помеха данного типа приводит к существенным искажениям азимутально-дальномерной структуры радиолокационного сигнала в результате чего координата дальности и азимута точки привязки может оказаться за пределами судна, как физического объекта. Существуют и широко применяются различные цифровые методы и алгоритмы обработки радиолокационной информации, уменьшающие вредный эффект влияния пассивной помехи, однако реальную оценку эффективности использования того или иного алгоритма цифровой обработки представляется достаточно затруднительным. Одной из главных причин такого состояния, является отсутствие специализированных тестовых моделей радиолокационных отражений от протяженных морских объектов и моделей пас-

сивных помех, именуемых в дальнейшем дальномерными «хвостами» при фиксированных значениях азимута наблюдения объекта.

Цель исследования. Изложенные выше сведения позволили сформулировать основную цель исследований, состоящую в разработке простой и компактной цифровой модели радиолокационного изображения протяженного объекта, маскируемого пассивной помехой, которая бы включала минимально возможное количество основных радиофизических характеристик радиолокационного рассеяния и, адекватно, на эвристическом уровне представляла отсчеты видеосигнала на выходе аналого-цифрового преобразователя радиолокационной станции, сопряженной с цифровой вычислительной средой.

Основная часть

Основная задача проведенных исследований состояла в сопоставительной оценке эффективности восстановления регулярного дальномерного профиля фоновой пассивной помехи различными методами цифрового сглаживания.

Радиофизическая сторона эвристического синтеза тестовой модели радиолокационного рассеяния целиком основывалась на феноменологической модели рассеяния, предложенной в [1, 2]. Аналитическое описание модели было основано на использовании классического уравнения дальности радиолокации [3] с учетом радиофизических особенностей радиолокационного рассеяния от протяженного по дальности объекта и дальномерного «хвоста», при фиксированном значении азимутальной координаты. Более подробное содержание радиофизических особенностей эвристического синтеза тестовой модели рассеяния рассмотрено в [4–6].

На основе многочисленных экспериментальных исследований показано, что огибающая радиолокационного сигнала, рассеянного протяженным объектом сложной формы в азимутальной плоскости (индикатриса рассеяния) имеет сложную многолепестковую структуру. Аналогичные выводы сделаны и для радиолокационного рассеяния по дальности. Тогда каждый отраженный по дальности радиолокационный сигнал можно рассматривать как реализацию некоторого случайного процесса. Здесь имеется в виду, что азимут фиксирован. Для радиолокатора с высоким разрешением по дальности отсчеты огибающей на выходе АЦП можно записать в виде цифровых эквивалентов мощности или интенсивности наблюдаемого сигнала

$$\{I(n\Delta D)\}_{\theta=\text{const}}^0 = A_c^0 \sum_{n=N_1}^{N_2} \psi_n^0(n\Delta D) \xi_n^0(n\Delta D), \quad (1)$$

где $\{I(n\Delta D)\}_{\theta=\text{const}}^0$ – отчеты интенсивности видеосигнала на выходе АЦП; A_c – постоянная величина, учитывающая технические характеристики радиолокатора; θ – азимутальная координата; $\Delta D = c\tau_u/2$ – разрешающая способность РЛС по дальности; $N_1 = R_1/\Delta D$ – число отсчетов до начала отражений от цели; $N_2 = (R_1 + l_{\Gamma\delta})/\Delta D$ – текущее значение номера отсчета соответствующее окончанию отражений от протяженной цели; $l_{\Gamma\delta} = T/\tau_u$; T – длительность сигнала отраженного от цели; $\psi_n^0(n\Delta D)$ – регулярная компонента дальномерных отражений в пределах длительности T ; $\xi_n^0(n\Delta D)$ – случайная компонента дальномерных отражений от объекта.

В пределах дальности $R_1 + l_{\text{пр}}$ среднее значение т.е. $\psi_n(n\Delta D) = \text{const}$, а флуктуации $\xi_n(n\Delta D)$ определяются соотношением

$$\xi_n^0(n\Delta D) = (\sigma_{\text{нб}} - \Delta\sigma_{\text{нб}}) / \sigma_{\text{нб}}, \quad (2)$$

где $\sigma_{\text{ср}}$ – средняя эффективная площадь рассеяния объекта в пределах ширины диаграммы направленности радиолокационной станции; $\Delta\sigma_{\text{ср}}$ – флуктуации, обусловленные различными ЭПР рассеяния локальных областей, формирующих $\sigma_{\text{ср}}$.

Цифровая модель отражений $\{I(n\Delta D)\}_{\theta=\text{const}}^0$ может быть записана в форме соотношения (1) с учетом того, что регулярная и случайная компоненты при определенных допущениях, полностью определяются радиофизическими характеристиками подстилающей морской поверхности, а именно,

$$\psi_n^0(n\Delta D) \approx 1/R_n^3; R_1 + l_{\text{пр}} < n \leq n_{\text{зад}}, \quad (3)$$

где $n_{\text{зад}}$ – заданная величина отсчетов на выходе АЦП, принадлежащая дальномерному «хвосту»;

$$\xi_n^0(n\Delta D) = \frac{\sigma_{\text{уд.м}} - \Delta\sigma_{\text{уд.м}}}{\sigma_{\text{уд.м}}}, \quad (4)$$

где $\sigma_{\text{уд.м}}$ – удельная ЭПР морской поверхности; $\Delta\sigma_{\text{уд.м}}$ – флуктуации удельной ЭПР, обусловленные морским волнением.

Результаты моделирования

В табл. 1 приведены результаты машинного моделирования «хвостовой» компоненты различными методами цифрового сглаживания. При расчетах приняты следующие технические и радиофизические величины: $P_u = 10^4$ – мощность излучения в импульсе, Вт; $\tau_u = 0,1 \cdot 10^{-6}$ – длительность импульса, $\mu\text{с}$; $G = 1000$ – коэффициент усиления антенны; $\lambda = 3$ – длина волны, см; $\sigma_{\text{уд.м}} = -40$ – удельная ЭПР морской поверхности, дБ; $\overline{\Delta\sigma_{\text{уд.м}}} = 2$ – максимальный размах флуктуаций ЭПР, дБ; $\Delta R = 15$ – шаг дискретизации АЦП по дальности, м; $\theta_{\Gamma} = 0,5$ – ширина диаграммы направленности антенны в горизонтальной плоскости, град; $R_1 = 1000$ – начальная дальность пассивной помехи, м.

Таблица 1

Результаты машинного моделирования «хвостовой» компоненты различными методами цифрового сглаживания

№ п/п	Метод восстановления дальномерного профиля	Среднеквадратическое отклонение	
		$\Delta\sigma = 2$ дБ	$\Delta\sigma = 4$ дБ
	Необработанные данные	$1,185425 \cdot 10^{-8}$	$1,421017 \cdot 10^{-8}$
1	Сглаживание аппроксимирующим полиномом первой степени	$4,025029 \cdot 10^{-8}$	$4,25161 \cdot 10^{-8}$
2	Сглаживание аппроксимирующим полиномом второй степени	$3,83303 \cdot 10^{-8}$	$3,83303 \cdot 10^{-8}$
3	Сглаживание аппроксимирующим полиномом третьей степени	$4,258709 \cdot 10^{-8}$	$1,386015 \cdot 10^{-8}$
4	Определение наклона восстанавливаемого профиля методом цифрового дифференцирования	$1,120521 \cdot 10^{-7}$	$7,362842 \cdot 10^{-8}$
5	Интегрирование по правилу 3/8	$1,038543 \cdot 10^{-7}$	$6,334538 \cdot 10^{-8}$
6	Сглаживание пространственными прямоугольными окнами		
	- N = 3	$4,599800 \cdot 10^{-9}$	$1,419712 \cdot 10^{-8}$
	- N = 5	$6,032574 \cdot 10^{-9}$	$1,470479 \cdot 10^{-8}$
	- N=10	$1,417598 \cdot 10^{-8}$	$1,762428 \cdot 10^{-8}$

Заключення

В роботі приведені результати дослідження тестової моделі пасивної поємки, створюваної взоволненою морською поверхнею вблизи протяженого морського судна. Дослідження тестової моделі радіолокаційних віддзеркалень від протяженого об'єкта представляє собою тривіальну задачу формування флуктуацій інтенсивності при фіксованому значенні дальнометричного профіля

$$\Psi_n(n\Delta D) = \text{const} / (n = N_1 - N_2) \cdot$$

При відсутності статистики індикатрисы розсіяння флуктуації огинаючої можна задавати будь-якою випадковою функцією з перепадом рівнів від декількох одиниць до декількох десятків дБ.

Отримані в роботі результати можуть бути використані при оцінці впливу умов розповсюдження радіолокаційних сигналів розсіяних різними підстилаючими поверхнями, тестуванні цифрових трактів обробки сигналів в різних системах, функціонуючих в умовах впливу розглянутих поємок, оцінки якості і точності різних цифрових алгоритмів виявлення-сопровоєдження багатьох надводних і окологрунтової радіолокаційних цілей, як протяжених, так і точечних, оцінки якості подавлення пасивних поємок від підстилаючої поверхні цифровими методами.

Література

1. Штагер Е.А. Розсіяння радіоволн на телах складної форми / Е.А. Штагер. - М.: Радіо і зв'язь, 1986. - 184 с.
2. Островитянов Р.В. Статистическа теорія радіолокації протяжених цілей / Р.В. Островитянов, Ф.А. Басалов. - М.: Радіо і зв'язь, 1982. - 231 с.
3. Скольник М. Введення в техніку радіолокаційних систем / М. Скольник. - М.: Мир, 1965. - 736 с.
4. Печенин В.В. Цифрова модель радіолокаційного сигналу, розсіяного водною поверхнею під малим кутом скольження / В.В. Печенин, Е.П. Мсалам, А.В. Усиченко // Вестник НТУ «ХПІ» Системний аналіз, управління і інформаційні технології. - Х.: НТУ «ХПІ» - 2004 - №36. - С. 100 - 104.
5. Мсалам Е.П. Дослідження цифрових методів відновлення регулярного профіля радіолокаційних віддзеркалень від морської поверхні / Е.П. Мсалам // Праці Луганського відділення Міжнародної Академії інформації: зб. наук. праць. - № 2(11). - Луганськ, 2005. - С. 72.
6. Фалькович С.Е. Основи статистическої теорії радіотехнічних систем: учебн. посібник / С.Е. Фалькович, П.Ю. Костенко. - Харків: Нац. аерокосм. ун-т «Харьк. авіац. ін-т», 2005. - 390 с.

Поступила в редакцію 29.03.2010

Рецензент: д-р техн. наук, проф., зав. каф. «Проектування радіоелектронних систем летальних апаратів» І.В. Барышев, Національний аерокосмічний університет ім. Н.Е. Жуковського «ХАІ», Харків.

МОДЕЛЬНИЙ ОПИС РАДІОЛОКАЦІЙНИХ ВІДДЗЕРКАЛЕНЬ В ОБЛАСТІ ЗНАХОДЖЕННЯ ПРОТЯЖНОГО ОБ'ЄКТУ І ДОВКОЛИШНЬОЇ ПОВЕРХНІ МОРЯ

О.І. Кравченко

У роботі розглянута і досліджена завдання модельного опису пасивної перешкоди, спостережуваної в області об'єкт – схвильована морська поверхня, приведені результати теоретичного опису і комп'ютерного моделювання для різних аналітичних функцій відновлення регулярної складової перешкоди. Показано, що за відсутності статистики розсіяння флуктуації огинає можна задавати будь-якою випадковою функцією з перепадом рівнів від декількох одиниць до декількох десятків децибел.

Ключові слова: віддзеркалення, координата, алгоритм, обробка, поверхня, евристичний, оцінка, синтез, моделювання, флуктуації, згладжування.

IN AREA OF FINDING OF EXTENSIVE OBJECT AND NEAR-BY SURFACE EXTERMINATING MODEL DESCRIPTION OF RADIO-LOCATION REFLECTIONS

A.I. Kravchenko

In-process considered and investigational task of model description of passive hindrance, looked after in an area an object is the disturbed marine surface, the results of theoretical description and computer design are resulted for the different analytical functions of renewal of regular making hindrance. It is rotined that in default of statistics of dispersion of fluctuation it is possible circumflex to set any casual function with the overfall of levels from a few units there is to not-how many ten of decibels.

Key words: reflection, co-ordinate, algorithm, treatment, surface, heuristic, estimation, synthesis, design, fluctuations, smoothing out.

Кравченко Александр Иванович – канд. техн. наук, докторант кафедри «Проектування радіоелектронних систем ЛА», Національний аерокосмічний університет ім. Н.Е. Жуковського «ХАІ», Харків.