

Печенин В.В., д-р техн. наук
Кравченко А.И., канд. техн. наук

СИНТЕЗ ЛИНЕЙНОЙ АЗИМУТАЛЬНОЙ МОДЕЛИ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ОТРАЖЕНИЙ, СОЗДАВАЕМЫХ ПРОТЯЖЕННЫМ ОБЪЕКТОМ

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»

На основе радиофизических представлений о рассеянии радиолокационного сигнала, создаваемого протяженным объектом, синтезирована цифровая линейная модель сигнала на выходе импульсного радиолокатора с автоматизированной обработкой информации. Выполнен анализ возможности ее практического использования

Введение

Одной из важных задач, решаемых в процессе практической разработки радиотехнических измерительных систем определения местоположения протяженных объектов типа авиационных и авиационно-космических транспортных систем с большими геометрическими размерами, речных и морских судов с большим водоизмещением, является задача формирования его радиолокационного изображения в амплитудно-дальномерной координатной системе.

При этом необходимо учитывать ряд требований по обеспечению безопасности и точности движения объектов, сложность их геометрической формы, метеоусловия, наличие пассивных помех, собственный угломерный шум объекта, методы и алгоритмы обработки радиолокационной угломерной информации и т.д.

Существующие теоретические модели радиолокационного рассеяния протяженными аэрокосмическими и морскими объектами [1, 2] основаны на радиофизическом представлении рассеяного электромагнитного поля в виде локальных источников вторичного рассеяния или «блестящих» точек.

Теоретические модели радиолокационного рассеяния поля протяженным объектом и, в частности, морским судном не учитывают ряд перечисленных выше требований при их практическом использовании и прежде всего при решении задачи определения местоположения объекта в системе координат азимут – даль-

ность.

Цель работы

Синтезировать близкую к реальной линейную многоточечную азимутальную модель радиолокационных отражений, создаваемых протяженным морским объектом с ограниченными геометрическими размерами (длиной L и шириной B), обладающим сложным геометрическим профилем в направлении азимутальной координаты при его зондировании импульсной радиолокационной станцией (РЛС) с высоким разрешением по азимутальной координате и известными остальными техническими характеристиками. Остальные факторы, связанные с условиями зондирования, влиянием подстилающей морской поверхности, гидрометеорообразованиями и другими источниками пассивных помех могут быть учтены в частных случаях существенного влияния на точность оценки азимутальной координаты.

Основная часть

Будем считать заданными основные технические характеристики РЛС: $P_{\text{и}}$ – импульсная мощность излучения, G – коэффициент усиления антенны, $\theta_{\text{А}} = \theta_{\text{А}}$ – ширина диаграммы направленности антенны в горизонтальной и вертикальной плоскостях, $\tau_{\text{и}}$ – длительность зондирующего импульса, $T_{\text{и}}$ – период повторения зондирующих импульсов, $\Delta\theta$ – шаг дискретизации по азимуту, A_{max} – ширина азимутального сектора обзора

морского судна.

Заданы геометрические размеры морского судна $L \times B$: причем $L_{A_{\max}} > L$, а линия визирования РЛС перпендикулярна продольной оси, т. е. перпендикулярна размеру L .

Выходным эффектом радиолокационного наблюдения считается дискретная цифровая выборка интенсивностей I_i сигнала, формируемых в точках регистрации отсчетов азимута N_{φ_i} .

Из других ограничений, принятых во внимание при синтезе линейной азимутальной модели предполагается что за период обзора РЛС дальность между локатором и морским судном постоянна $D = \text{const}$, а разрешающая способность РЛС по азимуту равная

$$r_A = 2 \cdot \text{tg} \frac{\theta_A}{2} D, \quad (1)$$

удовлетворяет неравенству $L_{\min}/r_A \geq 2$, что соответствует критерию протяженности объекта по азимуту. При $L_{\min}/r_A \leq 1$ объект считается точечным.

Линейный размер импульсного разрешающего объекта РЛС $\Delta D = \frac{c \cdot \tau_{\text{э}}}{2}$ находится в пределах или меньше ширины B лоцируемого объекта.

При текущей длине протяженного объекта $L > L_{\min}$ число элементов разрешения по азимуту составит

$$N_{\varphi} = L / \Delta r. \quad (2)$$

Каждое произвольное число «блестящих» точек, создаваемых конкретными конструктивными элементами морского судна, попавшими в N_{φ_i} , разрешаемый импульсный объем формирует точечный объект с интенсивностью

$$I_i = \frac{P_{\text{э}} \cdot G}{(4\pi)^2 \cdot D^4} \sigma_{\varphi_i}^2, \quad i \in 1, 2, \dots, N_{\varphi}. \quad (3)$$

Здесь $\sigma_{\varphi_i}^2$ – эффективная площадь рассея-

ния эквивалентного точечного объекта площадки

$$S_i = \pi r^2. \quad (4)$$

Величина σ_i^2 в области размера азимутального разрешения РЛС может быть представлена как

$$\sigma_i^2 = \bar{\sigma}_i^2 - \tilde{\sigma}_i^2, \quad (5)$$

где $\bar{\sigma}_i^2$ – средняя ЭПР_{*i*} в *i*-м разрешающем азимуте; $\tilde{\sigma}_i^2$ – флуктуации ЭПР_{*i*}.

Флуктуации $\tilde{\sigma}_i^2$ возникают, например, при изменении числа «блестящих» точек в *i*-й площадке за счет качаний судна, вызванных морским волнением, статистическим характером рассеянного поля и другими причинами.

При этом азимутальное положение каждого конкретного значения $\bar{\sigma}_i^2$ будет отличаться от истинной величины $\sigma_{\varphi_i}^2$, соответствующей азимутальному положению, совпадающему с центром *i*-й рассеивающей площадки.

С учетом вышеизложенного линейная азимутальная модель радиолокационных отражений, создаваемых протяженным морским объектом, может быть представлена как

$$I(\varphi) = \sum_{i=1}^{N_{\varphi}} I_i(\varphi - \varphi_i). \quad (6)$$

Здесь φ_i – текущий дискретный отсчет фазы, наблюдаемый на выходе РЛС; N_{φ} – определено формулой 2.

Соотношение (6) может быть записано через дискретные амплитуды

$$S^*(\varphi) = \sum_{i=1}^{N_{\varphi}} U_i(\varphi - \varphi_i), \quad I_i = A_i^2. \quad (7)$$

Из соотношения (7) следует, что информационным параметром координаты азимута линейного протяженного по азимуту объекта являются отсчеты азимута $\vec{\varphi} = \varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_{N_{\varphi}}$. Амплитуда

$\vec{A} = A_1, A_2, \dots, A_{N_{\varphi}}$ является энергетическим

параметром, определяющим характеристики обнаружения и в общем случае также содержащим информацию об азимутальной координате протяженного объекта.

В силу статистического характера $\bar{\varphi}$ возникает угловой шум [1], т. е. флуктуации $\bar{\varphi}$ относительно $\bar{\varphi}_0$, совпадающих с центрами площадок S_i суммарного радиолокационного сигнала (7).

Геометрическое представление радиофизических эффектов формирования

линейной модели азимутальных отражений, создаваемых протяженным морским объектом, иллюстрируется рис. 1.

Все обозначения, приведенные на рис. 1, соответствуют текстовым обозначениям, использованным в тексте работы.

Реально наблюдаемый цифровой сигнал, соответствующий амплитудным отсчетам преобразованного в цифровую форму аналогового видеосигнала преобразуется специализированным блоком оценки азимута с шагом $\Delta\theta$.

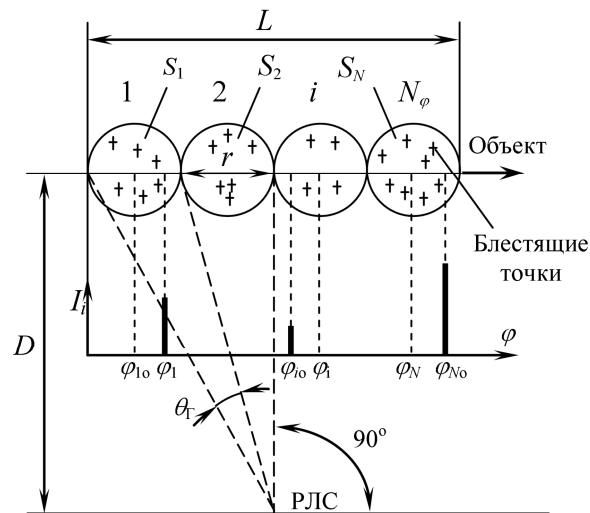


Рис. 1. Геометрическая интерпретация формирования линейной азимутальной модели

Максимально возможное число элементов разрешения РЛС в азимутальной плоскости определяется максимальным числом

$$N_{a \max} = 360^\circ / \theta_A \quad (8)$$

При этом минимальное число элементов дискретизации $\Delta\theta$ в соответствии с рекомендациями [3, 4] можно аппроксимировать выражением

$$M_{a \min} = 2 \cdot N_{a \max} \quad (9)$$

Реальное количество элементов дискретизации должно составлять

$$M = (2 \div 4) \cdot M_{a \min} \quad (10)$$

Подавляющее большинство береговых радиолокационных станций имеют азимутальную ширину диаграмм направ-

ленности в азимутальной плоскости $\theta_A \geq 0,45^\circ$. Тогда реально необходимое количество элементов дискретизации по азимуту для цифрового представления круга обзора будет находиться в диапазоне $M = 3200 \div 6400$.

Как следует из соотношений (6), (7) на качество дискретизации влияет энергетика наблюдаемого поля рассеяния радиолокационного сигнала.

В данном случае речь идет о минимально допустимой частоте повторения зондирующих импульсов РЛС.

Если время одного оборота антенны РЛС составляет τ_c , то время, которое затрачивается на обзор одного элемента разрешения по азимуту, равного ширине диаграммы направленности θ_r с учетом (8) составляет:

$$\tau_a = \tau_c / N_{a \max} \quad (11)$$

Тогда минимально-допустимую частоту зондирования пространства радиолокационной станцией можно определить как

$$F_{\min} = 2 / \tau_a \quad (12)$$

При этом реальная частота зондирования должна составлять

$$F_p = (2 \div 4) \cdot F_{\min} \quad (13)$$

С другой стороны для импульсной РЛС, измеряющей дальность до объекта, частота зондирования связана с однозначным измерением дальности

$$F_{\text{д}} \leq \frac{\dot{n}}{2 \cdot D_{\max}}, \quad (14)$$

где $c = 3 \cdot 10^8$ м/с – скорость распространения радиоволн в свободном пространстве.

Подробный анализ конкретного выбора параметров зондирования морской РЛС в настоящей работе не обсуждается. Отметим, что снижение частоты зондирования в сравнении с необходимой, определяемой из формул (11 - 14) имеет негативные последствия. В частности, снижение $F_{\text{д}}$, определенное формулой (14), приводит к повышению уровня пассивных помех от морской поверхности и гидрометеообразований, связанных с увеличением вероятности ошибочных всплесков, обусловленных отраженными сигналами предыдущего периода зондирования.

Уменьшение влияния конструктивных особенностей объекта с большими геометрическими размерами ($L \approx 180 \div 300$ м, $B \approx 20 \div 40$ м) на параметры синтезируемой азимутальной модели (угловые шумы) можно за счет перехода от моделей (6, 7) к бинарным моделям ($I_i = 1, U_i = 1$).

Выводы

Разработана простая линейная модель протяженного по азимуту морского объекта, учитывающая радиофизические особенности рассеяния электромагнитного излучения и пространственно-амплитудную структуру радиолокационного сигнала, наблюдаемую на выходе цифрового блока формирования оценки азимута радиотехнической измерительной системы с автоматизированной обработкой информации. Результаты, полученные в работе, могут быть использованы при обработке сигналов в дистанционных системах зондирования земной поверхности, радиолокационных системах обнаружения гидрометеообразований и многих других системах.

Список литературы

1. *Островитянов Р.В., Басалов Ф.А.* Статистическая теория радиолокации протяженных целей. – М.: Радио и связь, 1982. – 231 с.
2. *Кулемин Г.П., Разказовский В.Б.* Статистические характеристики радиолокационных целей. Препринт 92-2. – Харьков, 1992. – 32 с.
3. *Фалькович С.Е., Пономарев В.И., Шкварко Ю.В.* Оптимальный прием пространственно-временных сигналов в радиоканалах с рассеянием. – М.: Радио и связь, 1989. – 285 с.
4. *Виницкий А.С.* Автономные радиосистемы: Учебн. пособие для вузов. – М.: Радио и связь, 1986. – 336 с.

Подано до редакції 28.04.10