

УДК 621.396.96:621.371.3

Е.П. Мсаллам

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

## ОЦЕНКА КООРДИНАТ ОБЪЕКТА ПО ЕГО БИНАРНОМУ РАДИОЛОКАЦИОННОМУ ИЗОБРАЖЕНИЮ

*Приведены теоретические и экспериментальные результаты синтеза цифровых алгоритмов оценки координат протяженных морских объектов, не привязанных к статистическому центру отражения. В разработанных цифровых алгоритмах использована оценка координат «активного» бинарного изображения, не требующего знания геометрических размеров объекта.*

**Ключевые слова:** координаты, азимут, дальность, изображение, радиолокация, центр, отражение, информация.

### Введение

Дальнейшее развитие и совершенствование автоматизированных систем управления движением морских судов требует поиска и разработки (синтеза) эффективных цифровых алгоритмов определения координатной привязки (азимута и дальности) корпуса морского судна и других параметров его движения.

Основным информационным источником данных о местоположении и параметрах движения судна являются береговые радиолокационные станции (БРЛС). При этом извлечение полезной информации и оценка параметров движения и координат объекта в основном осуществляется на основе методов и алгоритмов обработки радиолокационного сигнала, приведенные в [1, 2].

Результаты исследований, полученные в [1], показали, что координатная привязка к статистическому центру отражения (СЦО) в целом, обладает неустойчивостью и практически является малоперспективной. Определенный интерес представляет оценивание координат СЦО по радиолокационному изображению, формируемому только интенсивностям наблю-

даемого изображения. Переход к бинарному радиолокационному изображению, исключающему амплитудную информацию (интенсивность) [2] обладает определенными перспективами.

Однако и здесь имеется ряд недостатков связанных, например, с решением задачи «оконтуривания» бинарного изображения, построением цифровых алгоритмов оценки «центра тяжести» полученного изображения, использованием различных весовых координат и т.д.

**Постановка задачи исследования.** Цель работы состояла в разработке исследования цифровых алгоритмов оценки координат протяженного объекта по его бинарному радиолокационному изображению, свободных от недостатков цифровых алгоритмов, рассмотренных в [1, 2].

### Содержание исследований

Основываясь на результатах, изложенных в [3], введем понятие «активного» бинарного радиолокационного изображения (РИ) протяженного объекта.

Под «активным» бинарным РИ будем подразумевать РИ, содержащее одну из заданных по количеству  $N$  последовательных «1» по дальности и  $M$  –

по азимуту из всех бинарных групп «1», сформированных по бинарному полю РИ при требуемом функциональном шумовом пороге.

$$K_{ij} = D_0 e^{D_{1ij}} + D_2, \quad (1)$$

где  $D_0 = \frac{P \cdot G}{(4\pi)^2}$ ,  $P$  – импульсная мощность излучения БРЛС,  $G$  – коэффициент усиления антенны;

$$D_1 = \frac{1}{(R_{1ij})^n}, \quad R_{ij} \text{ – расстояние между объектом и}$$

БРЛС в  $i, j$  – ячейке разрешения РИ объекта,  $n = 2 \div 4$  – настроечный параметр (море или осадки);  $D_2 = k_{ij} \cdot \Delta I$ ,  $k_{ij}$  – число шагов настроечного параметра  $\Delta I$  (интенсивность шумовой помехи).

Подбирая величины  $n$  и  $k_{ij}$  при  $\Delta I = \text{const}$ , необходимо выполнить условие, чтобы число «1» по дальности  $N$  и число единиц по азимуту  $M$  при  $P = \text{const}$ ,  $G = \text{const}$ ,  $\Delta I = \text{const}$  не превышало заданных  $N_0$  и  $M_0$ .

Для проверки практической пригодности описанной процедуры формирования «активного» бинарного радиолокационного изображения выполнялось компьютерное моделирование, которое подтвердило эффективность предложенной методики.

Выражение (1) можно упростить при условии, что геометрические размеры протяженного объекта ( $L$  – длина,  $Ш$  – ширина,  $B$  – высота) много меньше  $R_{1ij}$  – ближайшего расстояния между береговой радиолокационной станцией и первой ячейкой разрешения радиолокационного изображения, т.е.

$$K_{ij} = D_2. \quad (2)$$

Соотношения (2) справедливо при отсутствии осадков.

Выбор конкретных значений  $N$  и  $M$  количества подряд обнаруженных «1» по азимуту и дальности цифрового радиолокационного изображения должен учитывать априорные сведения о геометрической конфигурации протяженного объекта.

Максимальное значение количества подряд обнаруженных «1» по дальности  $N_{\max} = \frac{L}{\Delta R}$ , где  $\Delta R$  – разрешающая способность БРЛС по дальности, соответственно  $M_{\max} = \frac{Ш}{\Delta v}$ , где  $\Delta v$  – разрешающая способность БРЛС по азимуту выраженная в размерности ширины объекта (метрах, градусах и т.д.).

Если геометрическая конфигурация протяженного объекта очень сложна, то можно применить простое правило обнаружения двух или трех «1» подряд.

Необходимо отметить, что количество активных «1» по дальности и азимуту практически сосредоточено в области компактного расположения

«блестящих» точек, которые вносят основной вклад в формирование координат СЦО.

Следовательно, их бинарные отклики также сосредоточены в этой компактной области. Данное обстоятельство делает правомерной возможность определения координат СЦО по сформированному соответствующим образом, как изложено выше, «активному» бинарному изображению протяженного объекта.

Приведем конкретные аналитические выражения для оценки координат линейно протяженного объекта по дальности или азимуту по его бинарному РИ.

При сформированном пороге  $K_{ij} = D_2$ , определенном по заданному критерию обнаружения «1» координата дальности согласно результатам, приведенным в [1], будет иметь вид:

$$R^* = \sum \frac{R_N}{N}. \quad (3)$$

Координата азимута для линейно-протяженного по азимуту протяженного объекта вычисляется по формуле:

$$v^* = \sum \frac{v_i}{M}. \quad (4)$$

Точность измерения  $R^*$  и  $v^*$  увеличивается с увеличением  $N$  и  $M$ . Однако при этом необходимо предусматривать оценку порога  $D_2$  таким образом, чтобы всегда выполнялось условие  $N < N_{\max}$  и  $M < M_{\max}$ . В противном случае, когда  $N = N_{\max}$  и  $M = M_{\max}$  соответствующая координата  $R^*$  и  $v^*$  будет определять не СЦО, а центр тяжести, т.е. не будет соответствовать расположению компактно – размещенных на протяженном объекте «блестящих» точек.

Алгоритм (3), (4) можно записать в упрощенной форме следующим образом:

$$R_N^* = \left( B_{j1} + \frac{N}{2} \right) \cdot R, \quad v_N^* = \text{const}, \quad (5)$$

где  $B_{j1}$  – номер первой обнаруженной «1» по координате дальности в  $N$ -группе.

$$v_M^* = \left( B_{i1} + \frac{M}{2} \right) \cdot v, \quad R_M^* = \text{const}, \quad (6)$$

где  $B_{i1}$  – номер первой обнаруженной ячейки в  $M$ -группе. Для произвольного бинарного изображения протяженного объекта оценка координаты СЦО несколько усложняется.

Смысловое содержание структуры вычислительного алгоритма определения СЦО сводится к оценке тяжести геометрической линии, являющейся кратчайшим расстоянием между двумя точками  $I_1(R_N^*, v_N^* = \text{const})$ ,  $I_2(R_M^* = \text{const}, v_M^*)$  в системе

координат азимут-дальность. Используя расчетные формулы для определения координат середины отрезка  $I_1 I_2$ , приведенные в [4] запишем

$$R_{N,M}^* = \left( \frac{R_N^* + R_M^*}{2} \right), \quad v_{N,M}^* = \frac{v_N^* + v_M^*}{2}, \quad (7)$$

Потенциальная точность измерения координаты дальности (5) характеризуется дисперсией ошибки измерения дальности  $R_{ji} = B_{ji} \cdot \Delta R$  или времени запаздывания при  $v_N^* = \text{const}$  до первой «1» в активной группе из  $N$  единиц. В соответствии с результатом, приведенным в [5]

$$\sigma_\tau^2 = \frac{1}{q \cdot \Delta f_3}, \quad (8)$$

где  $q$  – отношение энергии сигнала к спектральной плотности мощности шума;  $\Delta f_3$  – эффективная ширина спектра сигнала.

Потенциальная точность измерения угловой координаты определяется по формуле

$$\sigma_v = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \cdot \frac{\theta_A}{q}, \quad (9)$$

где  $\theta_A$  – ширина диаграммы направленности по мощности на передачу (прием) на уровне  $e^{-4} = 0,46$ .

Экспериментальная апробация полученных результатов и их сравнения с оптимальными алгоритмами [1] показала, что при  $q \gg 1$  и геометрических размерах протяженного объекта  $L \approx 150 \div 200$  м,  $Ш \approx 20 \div 40$  м, варьируемом числе блестящих точек  $7 \div 20$ , расхождение координат СЦО вычисляемых с учетом амплитуды по бинарному РИ не превысила 10%.

## Выводы

В данной работе приведены теоретические и экспериментальные результаты оценки азимутальной и дальномерной координат протяженного морского объекта по его бинарному радиолокационному изображению.

Синтезированные на эвристическом уровне цифровые алгоритмы координатной привязки не требуют выполнения ряда процедур, необходимых при использовании расчета координат центра тяжести, который в общем случае не совпадает с СЦО.

В разработанных алгоритмах не используются априорные сведения о геометрических размерах протяженного объекта.

Полученные результаты могут быть использованы при модернизации и разработке современных систем радиолокации, радионавигации и радиоастрономии.

## Список литературы

1. Мсаллам Е.П. Оптимальные цифровые алгоритмы определения координат статистического центра отражения протяженного объекта / Е.П. Мсаллам, В.В. Печенин // Известия высших учебных заведений. Радиоэлектроника. – Киев: КПИ. – 2006. – Т.49, № 11. – С. 64-72.
2. Алгоритм определения координат центра тяжести протяженного объекта / А.Д. Абрамов, Д.П. Жеребятъев, А.И. Кравченко, В.Г. Шевцов // «Нові рішення в сучасних технологях». Тематичний випуск. – Х.: ХПІ, 2000. – № 20. – С. 83-86.
3. Печенин В.В. Цифровой метод подавления пассивной помехи при координатной обработке радиолокационного изображения протяженного морского объекта / В.В. Печенин, Е.П. Мсаллам // Известия высших учебных заведений. Радиоэлектроника. – К.: КПИ. – 2006. – Т.49, № 3. – С. 57-62.
4. Мсаллам Е.П. Цифровой метод определения координатной привязки протяженного объекта по данным его радиолокационного изображения / Е.П. Мсаллам, В.В. Печенин // Известия высших учебных заведений. Радиоэлектроника. – Киев: КПИ. – 2006. – Т.49, № 4. – С. 61-68.
5. Фалькович С.Е. Основы статистической теории радиотехнических систем: учеб. пособ. / С.Е. Фалькович, П.Ю. Костенко. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2005. – 389 с.

Поступила в редколлегию 10.04.2013

**Рецензент:** д-р техн. наук проф. В.В. Печенин, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.

## ОЦІНКА КООРДИНАТ ОБ'ЄКТУ ЗА ЙОГО БІНАРНИМ РАДІОЛОКАЦІЙНИМ ЗОБРАЖЕННЯМ

К.П. Мсаллам

*Приведені теоретичні і експериментальні результати синтезу цифрових алгоритмів оцінки координат протяжених морських об'єктів, не прив'язаного до статистичного центру відображення. В розроблених цифрових алгоритмах використана оцінка координат «активного» бинарного зображення, що не вимагає знання геометричних розмірів об'єкту.*

**Ключові слова:** координати, азимут, дальність, зображення, радіолокація, центр, відображення, інформація

## ESTIMATION OF CO-ORDINATES OF OBJECT ON HIS BINARY RADIO-LOCATION IMAGE

E.P. Msallam

*The theoretical and experimental results of synthesis of digital algorithms of estimation of co-ordinates of extensive marine objects, not tied to the statistical center of reflection are resulted. The estimation of co-ordinates of «active» binary image, not requiring knowledge of geometrical sizes of object is utilized in the developed digital algorithms.*

**Keywords:** co-ordinates, azimuth, distance, image, radio-location, center, reflection, information.