

УДК 621.396.96:621.371.3

В.В. ПЕЧЕНИН, А.И. КРАВЧЕНКО

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

РЕКОНСТРУКЦИЯ РАДИОЛОКАЦИОННОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ ПРОТЯЖЕННОГО ОБЪЕКТА, НАБЛЮДАЕМОГО ДВУМЯ РАДИОТЕХНИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ

Рассмотрена задача прохождения протяженного морского объекта через зону взаимного контроля двух береговых радиолокационных систем, входящих в автоматизированную систему управления движением судов. На уровне бинарного изображения протяженного морского объекта, эвристическим методом получено результирующее изображение протяженного морского объекта, синтезированное по отдельным бинарным изображениям, регистрируемым двумя береговыми радиотехническими системами. Отмечен момент принятия решения о дополнении общей бинарной картины наблюдения информацией каждой береговой радиотехнической системой в отдельности.

Ключевые слова: протяженная цель, радиотехническая система, статистический центр отражения, бинарное изображение.

Введение

При радиолокационном контроле движения морского судна в прибрежных морских регионах как правило используются несколько РЛС, размещаемых вблизи береговой линии. В процессе контроля движения возникают ситуации, когда судно попадает в область общего наблюдения двумя РЛС. Это приводит к некоторой неопределенности оценки координат судна, представляющего протяженный объект, поскольку каждая из береговых РЛС наблюдает различные радиолокационные изображения.

Сущность неопределенности состоит в разрешении следующей ситуации: какое из изображений использовать для дальнейшего определения координатной привязки, и в связи с этим выбора метода определения местоположения объекта.

В настоящей работе предлагается эвристический метод реконструкции радиолокационного изображения протяженного морского объекта, формируемого по результатам наблюдения двух радиолокационных изображений и его использования для определения координатной привязки.

1. Постановка задачи

Для пояснения сущности эвристического метода реконструкции радиолокационного изображения протяженного объекта (далее РИПО), будем полагать, что береговые РЛС (далее РТС₁ и РТС₂) имеют абсолютно-идентичные технические характеристики, синхронизация вращения антенн обеспечена, электромагнитная совместимость их совместной

работы достигается за счет небольшого разноса несущих частот излучения. Считается известным базовое расстояние между радиотехническими системами, а координатная привязка (азимутальная и дальномерная координаты) статистического центра отражений (СЦО), осуществляется в прямоугольной системе координат относительно центра базовой линии.

2. Первый вариант

Протяженный морской объект находится в зоне общего наблюдения и неподвижен.

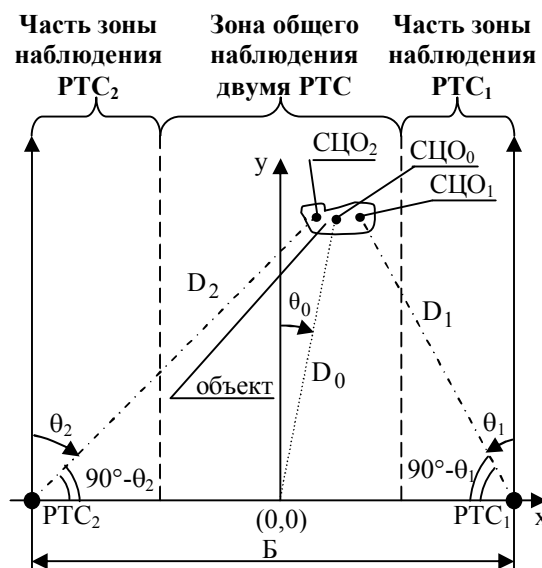


Рис. 1. Геометрия наблюдения протяженного объекта двумя РТС

На рис. 1 изображены: \dot{A} – база; D_1 – расстояние до СЦО₁; D_2 – расстояние до СЦО₂; D_0 – расстояние до СЦО₀ (статистического центра отражения реконструированного радиолокационного изображения); θ_0 – угловое направление на СЦО₀; θ_1, θ_2 – угловое направление на СЦО₁, СЦО₂.

В предположении высокого разрешения измерений дальности и азимута измерителями РТС₁ и РТС₂ построим произвольное радиолокационное изображение объекта, наблюдаемого радиотехническими системами в виде интенсивностей радиолокационного рассеяния, создаваемого совокупностью случайно расположенных «блестящих» точек, находящихся на объекте и построим реконструированное изображение (рис. 2 (а, б, в)).

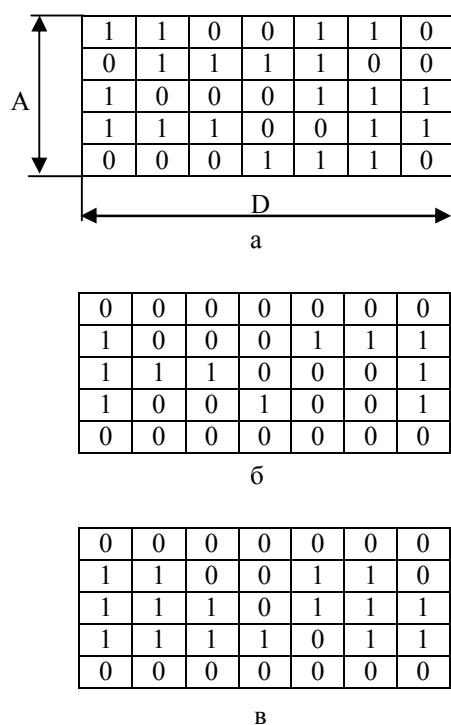


Рис. 2. Бинарные радиолокационные изображения: а – наблюдаемое РТС₁; б – наблюдаемое РТС₂; в – реконструированное изображение (A – максимальный размер РИПО по азимуту, D – максимальный размер РИПО по дальности)

Каждая ячейка изображения соответствует элементу разрешения по азимуту ΔA и дальности ΔD . «1» или «0» свидетельствуют о наличии или отсутствии интенсивности радиолокационных отражений блестящей точки, попадающей в элемент разрешения каждого отдельного изображения. Особенностью построения изображений «а» и «б» рис. 2 является учет ближайшей по дальности ячейки с «1» относительно пунктов РТС₁ и РТС₂. Это приводит к тому, что ближайшая по дальности наблюдаемая интенсивность в точке РТС₁ соответствует самой

дальней точкой наблюдаемой интенсивности, в месте расположения РТС₂. Говоря проще, изображение «б» как бы перевернуто по дальности. Построение изображений «а» и «б» выполнено произвольно без каких-либо предположений о рассеивающих свойствах объекта наблюдаемого под разными ракурсами.

Правило построения реконструированного изображения «в» таково: если в одноименных ячейках изображения «а» и «б» присутствуют «1», θ_0 то в реконструированном изображении в одноименной ячейке записывается также «1». Если в соответствующих ячейках «а» и «б» присутствуют нулевые интенсивности, то в результирующую ячейку результирующего изображения записывается «0». Если в соответствующих ячейках «а» и «б» находятся «1» и «0» или наоборот, то в результирующую ячейку реконструированного изображения записывается «1». Иными словами происходит сложение бинарных значений соответствующих ячеек, по правилам дискретной математики.

Стоит обратить внимание на один интересный факт, имеющий место при реконструкции. Если, например, в изображении «а» насчитывается 20 ячеек с «1», а в «б» – 11 ячеек с «1», то в результирующем реконструированном изображении «в» находится 26 ячеек с «1». При этом плотность «1» в реконструированном изображении возрастает. Это дает возможность утверждать, что блуждание СЦО₀ будет меньшим чем блуждание СЦО₁ и СЦО₂; далее следует ожидать уменьшения вероятности выхода за контур изображения статистического центра отражений СЦО₀ и, наконец, СЦО₀ будет более близко расположен по отношению к геометрическому центру объекта по сравнению с СЦО₁ и СЦО₂.

3. Второй вариант

Протяженный морской объект находится в движении. Если рассматривать передвижение протяженной цели относительно рабочей пары РТС, следует отметить, что само передвижение будет состоять из пяти фаз, рассмотренных далее.

1 – объект находится в зоне действия первой РТС (рис. 3, а);

2 – объект пересекает границу зоны действия первой РТС и зоны общего наблюдения обеих РТС (рис. 3, б);

3 – объект находится в зоне общего наблюдения двумя РТС (рис. 3, в);

4 – объект пересекает границу зоны действия обеих РТС и переходит в зону действия второй РТС (рис. 3, г);

5 – объект находится в зоне действия второй РТС (рис. 3, д).

Дальнейшее продвижение объекта аналогично передаче контроля над ним 2-й рабочей паре РТС.

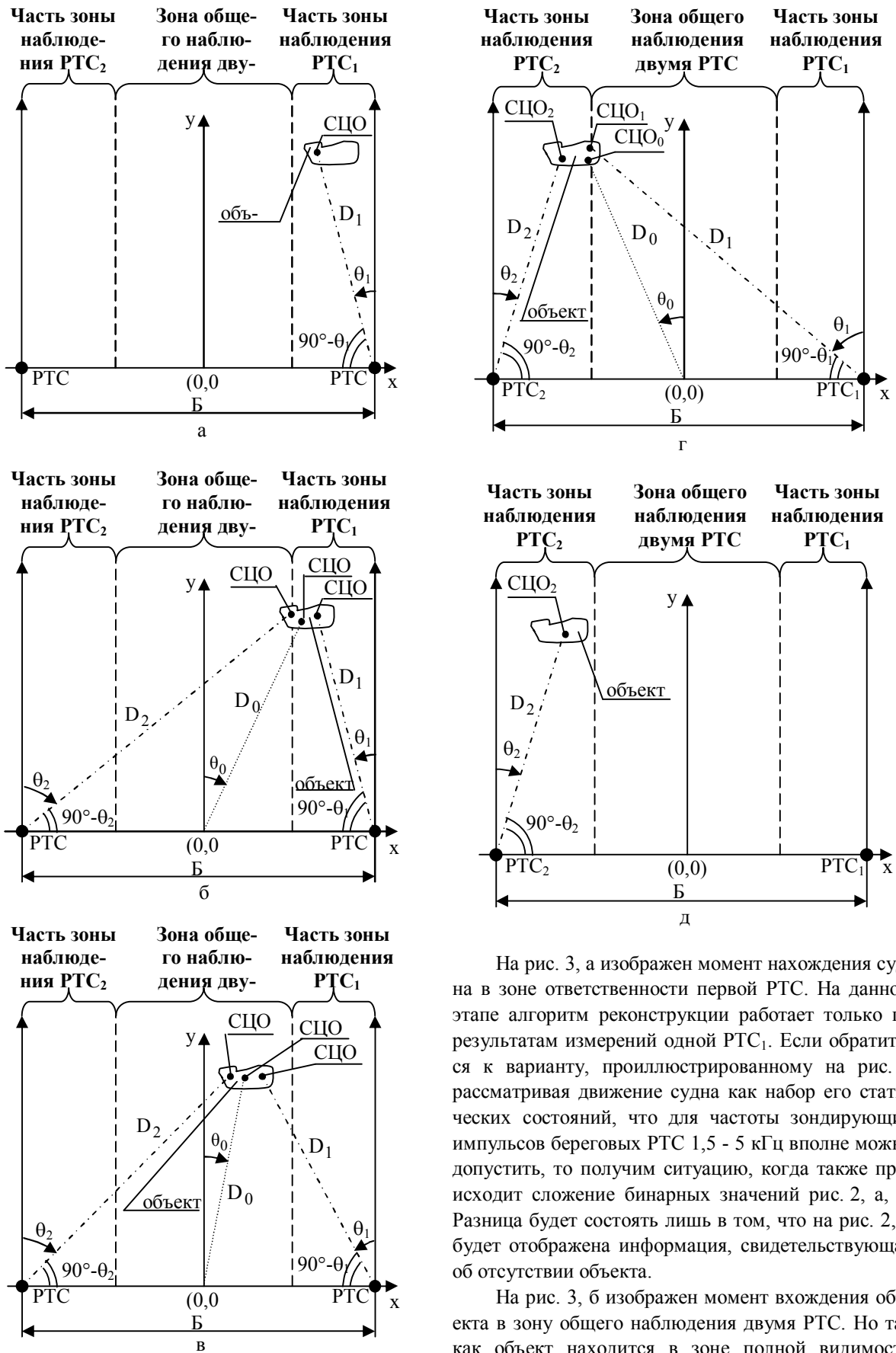


Рис. 3. Фазы движение протяженного объекта относительно зон ответственности пары береговых РТС

На рис. 3, а изображен момент нахождения судна в зоне ответственности первой РТС. На данном этапе алгоритм реконструкции работает только по результатам измерений одной РТС₁. Если обратиться к варианту, проиллюстрированному на рис. 2, рассматривая движение судна как набор его статических состояний, что для частоты зондирующих импульсов береговых РТС 1,5 - 5 кГц вполне можно допустить, то получим ситуацию, когда также происходит сложение бинарных значений рис. 2, а, б. Разница будет состоять лишь в том, что на рис. 2, б будет отображена информация, свидетельствующая об отсутствии объекта.

На рис. 3, б изображен момент вхождения объекта в зону общего наблюдения двумя РТС. Но так как объект находится в зоне полной видимости РТС₁, а в зону действия РТС₂ он вошел лишь частично, побитовое сложение будет происходить в соответствии с информацией полученной в основ-

ном от первой РТС. Это вызвано тем, что вычисления СЦО не будет адекватно протяженному объекту, ввиду ограниченности обзора второй РТС.

На рис. 3, в объект находится в зоне общего наблюдения обеих РТС. В этом случае обе РТС имеют полную (в рамках ТТД РТС) информацию об объекте. Вычисляются координаты его СЦО, ведется сопровождение объекта по реконструированному РИПО. Вычисление координат происходит относительно базы подсистемы СУДС, в состав которой входят обе РТС рабочей пары.

На рис. 3, г изображенная ситуация аналогичная рис. 3, б. Разница состоит в том, что здесь ведущей РТС принимаем вторую, ввиду неточности вычисления СЦО по ее радиолокационным данным.

На рис. 3, д изображенная ситуация аналогичная рис. 3, а.

В данном случае происходит переход на сопровождение одной из РТС (РТС₂), ввиду достижения объектом границы зоны видимости РТС₁.

При проводке протяженного объекта (крупнотоннажного судна) по фарватеру (каналу), как правило, ведется сопровождение одного объекта. Но при этом важным условием соблюдения мер безопасности является необходимость контроля всей остальной акватории подконтрольного пространства, для учета маневров других более мелких судов, прогнозирования их траекторий.

Технология привязки протяженного объекта к системе координат базы (рабочей пары) РТС, является широко известной и применяется в системах и комплексах траекторного контроля как в СУДС так и других направлениях радиолокации. При этом привязка и сопровождение протяженного объекта происходит по СЦО вычисленному для реконструированного объекта. Основные статистические характеристики данного объекта изучены и описаны в [1]. Основным процессом, предшествующим вычислению СЦО, служит определение координат *i*-й светящейся точки в элементе реконструированного изображения.

Расчетные формулы вычисления координат *i*-й светящейся точки реконструированного изображения в которой выполняется правило дискретного сложения двух «1», приведены ниже. Дальность и азимут *i*-й точки вычисляются исходя из дальностей и азимутов полученных относительно каждой РТС в отдельности и центра базы. При этом принимаем расстояние от РТС до центра базы равным $\frac{\dot{A}}{2}$.

На рис. 4 введены следующие обозначения: θ_{1i}, D_{1i} - азимут и дальность до *i*-й светящейся точки, наблюдаемой РТС₁; θ_{2i}, D_{2i} - азимут и дальность до *i*-й светящейся точки, наблюдаемой РТС₂;

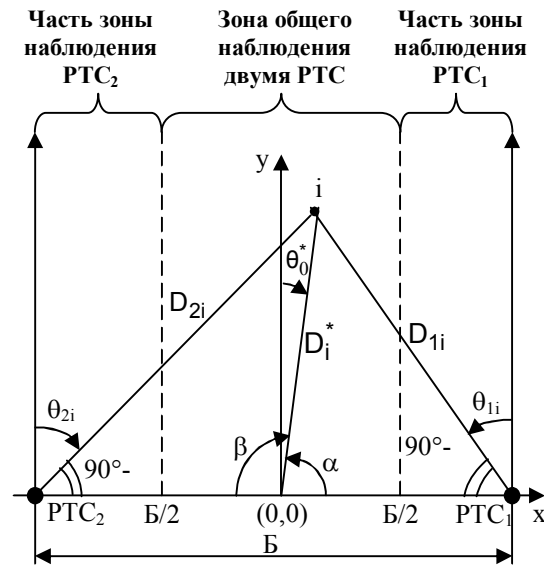


Рис. 4. Определение координат *i*-й светящейся точки в элементе реконструированного изображения.

θ_i^*, D_i^* - азимут и дальность до *i*-й светящейся точки реконструированного изображения.

$$D_i^* = \frac{D_{1i}^* + D_{2i}^*}{2}, \quad \theta_i^* = \frac{\theta_{1i}^* + \theta_{2i}^*}{2}, \quad (1)$$

где D_{1i}^* - расстояние до *i*-й точки реконструированного изображения, вычисленное по данным и относительно РТС₁ и центра базы;

D_{2i}^* - расстояние до *i*-й точки реконструированного изображения, вычисленное по данным и относительно РТС₂ и центра базы;

θ_{1i}^* - азимут *i*-й точки реконструированного изображения, вычисленный по данным и относительно РТС₁ и центра базы;

θ_{2i}^* - азимут *i*-й точки реконструированного изображения, вычисленный по данным и относительно РТС₂ и центра базы.

$$D_{1i}^* = \frac{1}{2} \sqrt{\dot{A}^2 + 4 \cdot D_{1i}^2 - D_{1i} \cdot \dot{A} \cdot \cos(90^\circ - \theta_{1i})};$$

$$D_{2i}^* = \frac{1}{2} \sqrt{\dot{A}^2 + 4 \cdot D_{2i}^2 - D_{2i} \cdot \dot{A} \cdot \cos(90^\circ - \theta_{2i})}; \quad (2)$$

$$\theta_{1i}^* = 90^\circ - \arccos(\alpha); \quad \theta_{2i}^* = \arccos(\beta - 90^\circ);$$

$$\cos(\alpha) = \frac{4 \cdot D_{1i}^2 - 4 \cdot D_{1i}^* - \dot{A}^2}{4 \cdot \dot{A} \cdot D_{1i}^*};$$

$$\cos(\beta) = \frac{4 \cdot D_{2i}^2 - 4 \cdot D_{2i}^* - \dot{A}^2}{4 \cdot \dot{A} \cdot D_{2i}^*}.$$

Оценка координат статистического центра отражений (СЦО) реконструированного радиолокационного изображения может быть произведена по формулам, приведенным в [4].

Заключення

Вариант реконструкции радиолокационного изображения предложенный выше позволяет, перейдя от амплитудной информации к бинарному изображению, получить возможность строить результирующее реконструированное изображение радиолокационной цели, по результатам наблюдения двух РТС. При этом рабочая пара РТС выделяется из состава СУДС и состоит из пары локаторов, имеющих общую зону наблюдения. Протяженный объект (неподвижный и двигающийся) реконструируется и дальнейшее его сопровождение происходит в системе координат, установленной для конкретной рабочей пары РТС, относительно базы этой пары. При этом движение самого объекта является набором статических состояний, и относительно общей зоны ответственности обеих РТС состоит из пяти фаз, упомянутых выше. Реконструкция происходит только в течении фаз проиллюстрированных на рисунках 3 б, в, г.

Отмечен момент, позволяющий говорить о дополнении общей бинарной картины наблюдения информацией каждой РТС в отдельности. При этом плотность «1» в элементах разрешения реконструированного изображения возрастает. Это, как было

отмечено ранее, дает возможность утверждать, что блуждание $СЦО_0$ будет меньшим чем блуждание $СЦО_1$ и $СЦО_2$.

Также далее следует ожидать уменьшения вероятности выхода за контур изображения статистического центра отражений $СЦО_0$ и, наконец, $СЦО_0$ будет более близко расположен по отношению к геометрическому центру объекта по сравнению с $СЦО_1$ и $СЦО_2$.

Литература

1. Штагер Е.А. Рассеяние радиоволн на телах, сложной формы / Е.А. Штагер. – М.: Радио и связь, 1986. – 184 с.
2. Островитянов Р.В. Статистическая теория радиолокации протяженных целей / Р.В. Островитянов, Ф.А. Басалов. – М.: Радио и связь, 1982. – 232 с.
3. Корн Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров / Г. Корн, Т. Корн. – М.: Наука, 1973. – 832 с.
4. Мсаллам Е.П. Оптимальные цифровые алгоритмы определения координат статистического центра отражения протяженного объекта / Е.П. Мсаллам, В.В. Печенин // Известия высших учебных заведений. Радиоэлектроника. – К.: КПИ, 2006. – Т. 49, № 11. – С. 64-72.

Поступила в редакцию 1.06.2010

Рецензент: д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой радиоэлектронных устройств, систем и комплексов И.В. Барышев, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.

РЕКОНСТРУКЦІЯ РАДІОЛОКАЦІЙНОГО ЗОБРАЖЕННЯ ПРОТЯЖНОГО ОБ'ЄКТУ, ЩО СПОСТЕРІГАЄТЬСЯ ДВОМА РАДІОТЕХНІЧНИМИ СИСТЕМАМИ

В.В. Печенін, О.І. Кравченко

Розглянута задача проходження протяжного морського об'єкту крізь зону взаємного контролю двох берегових радіолокаційних систем, що входять до автоматизованої системи керування рухом суден. На рівні бінарного зображення протяжного морського об'єкту, евристичним шляхом отримано результуюче зображення протяжного морського об'єкту, синтезоване за окремими бінарними зображеннями що реєструються двома береговими радіотехнічними системами. Відмічено момент, прийняття рішення що до доповнення спільної бінарної картини спостереження кожною береговою радіотехнічною системою окремо.

Ключові слова: протяжна ціль, радіотехнічна система, статистичний центр відбиття, бінарне зображення.

RECONSTRUCTION OF RADAR-TRACKING IMAGE OF THE EXTENSIVE OBJECT OBSERVED BY TWO RADIO ENGINEERING SYSTEMS

V.V. Pechenin, A.I. Kravchenko

The passage problem extensive sea object through a zone of the mutual control of two coastal radar-tracking systems entering into the automated control system by movement of courts is considered. At level of the binary image of extensive sea object, by a heuristic method it is received resulted image of extensive sea object, synthesised on the separate binary images registered by two coastal radio engineering systems. The moment of decision-making on addition of the general binary picture of supervision with the information with each coastal radio engineering system separately is noted.

Keywords: the extensive target, coastal radio engineering system, the statistical centre of reflexion, the binary image.

Печенин Валерий Васильевич – д-р техн. наук, проф., проф. кафедры радиоэлектронных устройств, систем и комплексов Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.

Кравченко Александр Иванович – докторант кафедры радиоэлектронных устройств, систем и комплексов Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.