

УДК 621.396

АЛГОРИТМ ИДЕНТИФИКАЦИИ ЦЕЛЕЙ ПО ДАННЫМ ИЗМЕРЕНИЙ НЕСКОЛЬКИХ РЛС

И.В. Барышев, д-р техн. наук, А. В. Мазуренко

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

Рассмотрена задача идентификации судов по данным измерений двух береговых радиолокационных станций. Синтезирован алгоритм идентификации. Осуществлена оценка вероятности правильной идентификации по результатам имитационного моделирования.

* * *

Розглянуто задачу ідентифікації суден за даними вимірювань двох берегових радіолокаційних станцій. Синтезовано алгоритм ідентифікації. Здійснено оцінку ймовірності правильної ідентифікації за результатами імітаційного моделювання.

* * *

The problem of identification of ship is considered according to measurements of two coastal radar stations. The algorithm of identification is synthesized. The rating of probability of correct identification by results of imitating modeling is carried out.

Введение

Функции регулирования движением судов в припортовых водах, на акваториях портов и на подходных каналах в мировой практике судовождения возлагаются на службы управления движением судов (СУДС). Развитие таких служб в последнее десятилетие идет ускоренными темпами, поскольку их функционирование позволяет значительно повысить безопасность плавания в прибрежных водах, а также эффективность работы морского транспорта. Основные функции СУДС – контроль за судоходной обстановкой и регулирование движения судов в зоне их действия.

Функционирование СУДС осуществляется с использованием различных технических средств, входящих в их состав, – береговых радиолокационных станций (БРЛС), средств УКВ-радиосвязи, средств отображения навигационной информации и электронной картографии. Радиус действия этих средств в основном и определяют зону действия СУДС. В случае, когда СУДС должна обслуживать достаточно большие территории или протяженные подходные каналы портов, используют сеть постов регулирования движения судов (ПРДС), оборудованных соответствующими техническими средствами, информация с которых поступает в единый центр

управления движением судов (ЦУДС). При этом зоны действия ПРДС могут частично перекрываться, поскольку для эффективного функционирования СУДС важное значение имеет непрерывное сопровождение судов и их своевременная идентификация. Для этих целей в настоящее время Международной морской организацией вводятся так называемые автоматические идентификационные системы (АИС), которые определяются как средства, предназначенные для повышения уровня безопасности мореплавания и повышения эффективности использования систем управления движением судов.

АИС позволяют передавать собственный идентификатор судна и информацию о параметрах его движения и местоположения в ЦУДС и на другие суда, а также принимать аналогичную информацию с других судов и управляющую информацию из ЦУДС. Внедрение АИС позволит существенно расширить зону действия СУДС и осуществлять непрерывное сопровождение судов в зоне их действия. Вместе с тем Международной морской организацией отмечен ряд технических ограничений, не позволяющих в настоящее время внедрять АИС в широких масштабах.

Для определения местоположения судна АИС используют приемную аппаратуру спутниковых

навигационных систем (СНС) ГЛОНАСС – GPS. Точность определения местоположения в штатном режиме работы этих систем составляет от 40 до 100 м, что не соответствует требованиям Международной морской организации по точности местоопределения в прибрежных водах. Согласно этим требованиям точность местоопределения должна быть не хуже 10 м с вероятностью 0,95.

Наиболее рациональным путем устранения указанных недостатков и улучшения основных характеристик систем ГЛОНАСС – GPS является применение дифференциального режима работы этих систем, что позволяет добиться повышения точности (погрешность определения местоположения составляет от 5 до 10 м). Но реализация дифференциального режима работы требует наличия разветвленной сети дифференциальных и контрольных корректирующих станций. Это влечет за собой значительные материальные затраты, что в настоящее время в условиях Украины не приемлемо. Поэтому реальной альтернативой использованию БРЛС для сопровождения судов в настоящее время нет.

При радиолокационном контроле за судоходной обстановкой с помощью средств УКВ-радиосвязи осуществляется идентификация судов, входящих в зону действия БРЛС, и дальнейшее их сопровождение по данным этой РЛС [1-3]. На протяженных каналах и подходных путях к портам зоны действия отдельных БРЛС, как было сказано выше, могут перекрываться. При этом каждая БРЛС осуществляет измерения местоположения судов в собственной системе координат с определенной точностью. Радиолокационная информация от смежных РЛС поступает в ЦУДС, где обрабатывается и используется для формирования полной навигационной картины в зоне действия смежных РЛС.

Если в область пересечения зон действия двух РЛС одновременно попадает несколько судов, возникает проблема их идентификации по данным измерений этих РЛС. Обычно в таких случаях исполь-

зовали данные и идентификационную информацию какой-либо одной РЛС [1-3], а данные второй РЛС – только тогда, когда судно покидало зону ответственности первой.

Применение данных от нескольких РЛС позволяет повысить точность определения местоположения судов относительно оси фарватера и других судов, что особенно важно при расхождении судов, но при этом, как было сказано выше, возникает проблема их идентификации по данным измерений нескольких РЛС. Решению этой задачи посвящена данная статья.

1. Постановка задачи

Рассмотрим случай, когда в область пересечения зон действия двух смежных РЛС одновременно попадает два судна (рис.1).

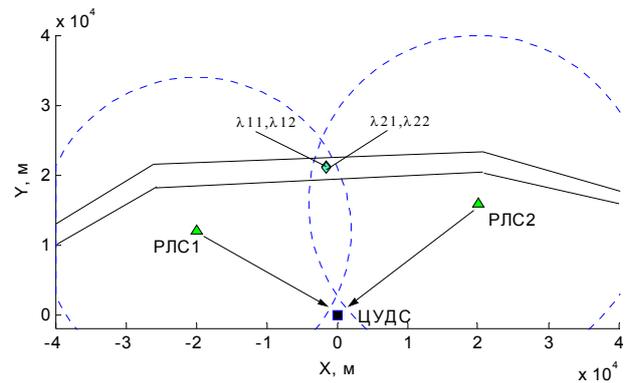


Рис. 1. Идентификация целей по данным измерений двух РЛС

Каждая из РЛС осуществляет измерения в определенных моменты времени (которые могут не совпадать) в своей системе координат и со своей точностью. Радиолокационную информацию о каждой из сопровождаемых целей, поступающую от каждой из РЛС, можно представить в виде вектора измерений

$$\vec{\lambda}_{i,j} = \left\{ i, j, \hat{X}_{i,j}, \mathbf{P}_i, t_{i,j} \right\}, \quad (1)$$

где $i = \overline{1, n}$ – номер источника информации (номер РЛС);

$j = \overline{1, m}$ – номер цели, обнаруженной и сопровождаемой i -м источником информации;

$t_{i,j}$ – моменты времени, в которые информация поступает в ЦУДС;

$\hat{X}_{i,j}$ – оценка вектора i -м источником текущих координат j -й цели, который в общем случае в декартовой системе координат включает в себя проекции вектора скорости $(\hat{x}_{i,j}, \hat{y}_{i,j}, \hat{z}_{i,j})$ и местоположения $(x_{i,j}, y_{i,j}, z_{i,j})$ на соответствующие оси координат:

$$\hat{X}_{i,j} = \begin{pmatrix} \hat{x}_{i,j} \\ \hat{y}_{i,j} \\ \hat{z}_{i,j} \\ \hat{x}_{i,j} \\ \hat{y}_{i,j} \\ \hat{z}_{i,j} \end{pmatrix}; \quad (2)$$

P_i – корреляционная матрица ошибок i -й РЛС, элементы которой представляют собой дисперсии измерений по соответствующим осям в декартовой системе координат (для независимых измерений):

$$P_i = \begin{pmatrix} \sigma_{xi}^2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_{yi}^2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_{zi}^2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \sigma_{xi}^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_{yi}^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_{zi}^2 \end{pmatrix}. \quad (3)$$

На основе данной информации в ЦУДС должен быть сформирован результирующий вектор навигационной информации

$$\vec{\lambda}_p = \{p, \hat{X}_p, P_p, t_p\}, \quad (4)$$

где $p = \overline{1, l}$ – номер объединенной информации ($l = \max\{m_i\}$);

\hat{X}_p – оценка вектора координат цели по объединенной информации;

P_p – корреляционная матрица ошибок объединенной информации;

t_p – моменты времени, в которые осуществляется идентификация.

2. Идентификация целей по данным двух РЛС

Поскольку измерения проводятся каждой РЛС в собственной системе координат, первое, что необходимо сделать при обработке данных в ЦУДС, – это согласовать координаты, т.е. привести измерения к единой системе координат (удобнее за центр единой системы координат выбрать точку расположения ЦУДС). Способы согласования координат хорошо известны [4,5] и представляют собой различные способы преобразования систем координат (параллельный перенос осей, поворот осей на некоторый угол).

Следующий этап – экстраполяция координат на один момент времени. Экстраполяция может осуществляться двумя способами:

- 1) периодическим объединением информации;
- 2) последовательным объединением информации.

При этом может осуществляться либо средневзвешенное объединение информации:

$$\hat{X}_p = \left\| \frac{\hat{X}_{1,j} + \hat{X}_{2,j}}{2} \right\|, \quad (5)$$

либо объединение с определенными весовыми коэффициентами:

$$\hat{X}_p = \left\| q_1 \hat{X}_{1,j} + q_2 \hat{X}_{2,j} \right\|, \quad (6)$$

где q_i – соответствующие весовые коэффициенты (обычно $\sum_i^n q_i = 1$), определяемые матрицей корреляционных ошибок.

При наличии в зоне действия обеих РЛС двух целей в общем случае возможны следующие варианты событий:

- A. От каждой из двух РЛС поступили векторы измерений двух целей $(\hat{\lambda}_{11}, \hat{\lambda}_{12}, \hat{\lambda}_{21}, \hat{\lambda}_{22})$.

В. От первой РЛС поступили векторы измерения двух целей, а от второй РЛС поступил вектор измерения одной цели ($\hat{\lambda}_{11}, \hat{\lambda}_{12}, \hat{\lambda}_{21}$).

С. От второй РЛС поступили векторы измерения двух целей, а от первой РЛС поступил вектор измерения одной цели ($\hat{\lambda}_{11}, \hat{\lambda}_{21}, \hat{\lambda}_{22}$).

Рассмотрим вариант **А**, когда каждой РЛС точно обнаружены и сопровождаются две цели.

По поступающим от них данным нужно идентифицировать цели, т.е. определить, какой цели соответствует пара векторов измерений. При этом следует рассмотреть четыре гипотезы.

Гипотеза Н1: векторы измерений ($\hat{\lambda}_{11}, \hat{\lambda}_{21}$) соответствуют первой цели, а векторы ($\hat{\lambda}_{12}, \hat{\lambda}_{22}$) – второй (Н1: $\hat{\lambda}_1 \sim \hat{\lambda}_{11}, \hat{\lambda}_{21}; \hat{\lambda}_2 \sim \hat{\lambda}_{12}, \hat{\lambda}_{22}$).

Гипотеза Н2: векторы измерений ($\hat{\lambda}_{12}, \hat{\lambda}_{22}$) соответствуют первой цели, а векторы ($\hat{\lambda}_{11}, \hat{\lambda}_{21}$) – второй (Н2: $\hat{\lambda}_1 \sim \hat{\lambda}_{12}, \hat{\lambda}_{22}; \hat{\lambda}_2 \sim \hat{\lambda}_{11}, \hat{\lambda}_{21}$).

Гипотеза Н3: векторы измерений ($\hat{\lambda}_{11}, \hat{\lambda}_{22}$) соответствуют первой цели, а векторы ($\hat{\lambda}_{12}, \hat{\lambda}_{21}$) – второй (Н3: $\hat{\lambda}_1 \sim \hat{\lambda}_{11}, \hat{\lambda}_{22}; \hat{\lambda}_2 \sim \hat{\lambda}_{12}, \hat{\lambda}_{21}$).

Гипотеза Н4: векторы измерений ($\hat{\lambda}_{12}, \hat{\lambda}_{21}$) соответствуют первой цели, а векторы ($\hat{\lambda}_{11}, \hat{\lambda}_{22}$) – второй (Н4: $\hat{\lambda}_1 \sim \hat{\lambda}_{12}, \hat{\lambda}_{21}; \hat{\lambda}_2 \sim \hat{\lambda}_{11}, \hat{\lambda}_{22}$).

Вероятности приведенных выше гипотез определяются соответствующими условными плотностями вероятностей событий:

$$\left. \begin{aligned} P(H1) &= p(\hat{\lambda}_{11}, \hat{\lambda}_{21} | \hat{\lambda}_1; \hat{\lambda}_{12}, \hat{\lambda}_{22} | \hat{\lambda}_2) \\ P(H2) &= p(\hat{\lambda}_{12}, \hat{\lambda}_{22} | \hat{\lambda}_1; \hat{\lambda}_{11}, \hat{\lambda}_{21} | \hat{\lambda}_2) \\ P(H3) &= p(\hat{\lambda}_{11}, \hat{\lambda}_{22} | \hat{\lambda}_1; \hat{\lambda}_{12}, \hat{\lambda}_{21} | \hat{\lambda}_2) \\ P(H4) &= p(\hat{\lambda}_{12}, \hat{\lambda}_{21} | \hat{\lambda}_1; \hat{\lambda}_{11}, \hat{\lambda}_{22} | \hat{\lambda}_2) \end{aligned} \right\} (7)$$

Если предположить, что измерения $\hat{\lambda}_{11}, \hat{\lambda}_{12}, \hat{\lambda}_{21}, \hat{\lambda}_{22}$ являются статистически независимыми, а в большинстве случаев так и есть, то (7) можно записать в виде

$$\left. \begin{aligned} P(H1) &= p(\hat{\lambda}_{11} | \hat{\lambda}_1) \cdot p(\hat{\lambda}_{21} | \hat{\lambda}_1) \cdot p(\hat{\lambda}_{12} | \hat{\lambda}_2) \cdot p(\hat{\lambda}_{22} | \hat{\lambda}_2) \\ P(H2) &= p(\hat{\lambda}_{12} | \hat{\lambda}_1) \cdot p(\hat{\lambda}_{22} | \hat{\lambda}_1) \cdot p(\hat{\lambda}_{11} | \hat{\lambda}_2) \cdot p(\hat{\lambda}_{21} | \hat{\lambda}_2) \\ P(H3) &= p(\hat{\lambda}_{11} | \hat{\lambda}_1) \cdot p(\hat{\lambda}_{22} | \hat{\lambda}_1) \cdot p(\hat{\lambda}_{12} | \hat{\lambda}_2) \cdot p(\hat{\lambda}_{21} | \hat{\lambda}_2) \\ P(H4) &= p(\hat{\lambda}_{12} | \hat{\lambda}_1) \cdot p(\hat{\lambda}_{21} | \hat{\lambda}_1) \cdot p(\hat{\lambda}_{11} | \hat{\lambda}_2) \cdot p(\hat{\lambda}_{22} | \hat{\lambda}_2) \end{aligned} \right\} (8)$$

Условная плотность вероятности $p(\hat{\lambda}_{ij} | \hat{\lambda}_p)$ как функция информационных параметров вектора $\hat{\lambda}_p$ называется функцией правдоподобия [6]. Для определения наиболее вероятной гипотезы нужно задать вид функции правдоподобия.

Информационными параметрами вектора измерений $\bar{\lambda}_{i,j}$, по которым осуществляется идентификация, являются координаты местоположения и скорости движения цели $\hat{X}_{i,j}$ в декартовой системе координат.

Введем вектор разности информационных параметров:

$$\Delta \bar{X}_{ij/p} = \bar{X}_{ij} - \bar{X}_p = \begin{pmatrix} \Delta \hat{x}_{ij/p} \\ \Delta \hat{y}_{ij/p} \\ \Delta \hat{z}_{ij/p} \\ \Delta \hat{x}_{ij/p} \\ \Delta \hat{y}_{ij/p} \\ \Delta \hat{z}_{ij/p} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \hat{x}_{i,j} - \hat{x}_p \\ \hat{y}_{i,j} - \hat{y}_p \\ \hat{z}_{i,j} - \hat{z}_p \\ \hat{x}_{i,j} - \hat{x}_p \\ \hat{y}_{i,j} - \hat{y}_p \\ \hat{z}_{i,j} - \hat{z}_p \end{pmatrix} (9)$$

Обычно полагают [6], что $\Delta \hat{X}_{ij/p}$ имеет нормальное распределение. Для нормального закона распределения функция правдоподобия в случае многомерного вектора измерений $p(\hat{\lambda}_{ij} | \hat{\lambda}_p)$ описывается выражением [7]

$$\begin{aligned} p(\hat{\lambda}_{ij} | \hat{\lambda}_p) &= p(\Delta \hat{X}_{ij/p}) = \\ &= \frac{1}{(2\pi)^3 \sqrt{|P_i|}} \exp \left[-\frac{1}{2} \Delta \hat{X}_{ij/p}^T \cdot P_i^{-1} \cdot \Delta \hat{X}_{ij/p} \right] \end{aligned} (10)$$

Вид функции правдоподобия показан на рис.2.

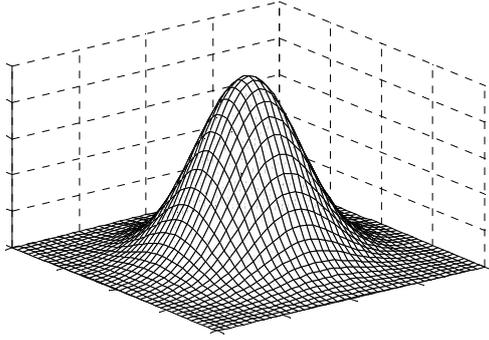


Рис. 2. Вид функции правдоподобия

Подставив (10) в (8), получим выражения для вероятностей соответствующих гипотез:

$$\left. \begin{aligned} P(H1) &= \frac{1}{(2\pi)^{12} \sqrt{(|P_1|)^2 (|P_2|)^2}} \exp\left[-\frac{\Sigma_1}{2}\right] \\ P(H2) &= \frac{1}{(2\pi)^{12} \sqrt{(|P_1|)^2 (|P_2|)^2}} \exp\left[-\frac{\Sigma_2}{2}\right] \\ P(H3) &= \frac{1}{(2\pi)^{12} \sqrt{(|P_1|)^2 (|P_2|)^2}} \exp\left[-\frac{\Sigma_3}{2}\right] \\ P(H4) &= \frac{1}{(2\pi)^{12} \sqrt{(|P_1|)^2 (|P_2|)^2}} \exp\left[-\frac{\Sigma_4}{2}\right] \end{aligned} \right\} (11)$$

$$\text{где } \Sigma_1 = \Delta \hat{X}_{111}^T \cdot P_1^{-1} \cdot \Delta \hat{X}_{111} + \Delta \hat{X}_{211}^T \cdot P_2^{-1} \cdot \Delta \hat{X}_{211} + \Delta \hat{X}_{122}^T \cdot P_1^{-1} \cdot \Delta \hat{X}_{122} + \Delta \hat{X}_{222}^T \cdot P_2^{-1} \cdot \Delta \hat{X}_{222}; \quad (12)$$

$$\Sigma_2 = \Delta \hat{X}_{121}^T \cdot P_1^{-1} \cdot \Delta \hat{X}_{121} + \Delta \hat{X}_{221}^T \cdot P_2^{-1} \cdot \Delta \hat{X}_{221} + \Delta \hat{X}_{112}^T \cdot P_1^{-1} \cdot \Delta \hat{X}_{112} + \Delta \hat{X}_{212}^T \cdot P_2^{-1} \cdot \Delta \hat{X}_{212}; \quad (13)$$

$$\Sigma_3 = \Delta \hat{X}_{111}^T \cdot P_1^{-1} \cdot \Delta \hat{X}_{111} + \Delta \hat{X}_{221}^T \cdot P_2^{-1} \cdot \Delta \hat{X}_{221} + \Delta \hat{X}_{122}^T \cdot P_1^{-1} \cdot \Delta \hat{X}_{122} + \Delta \hat{X}_{212}^T \cdot P_2^{-1} \cdot \Delta \hat{X}_{212}; \quad (14)$$

$$\Sigma_4 = \Delta \hat{X}_{121}^T \cdot P_1^{-1} \cdot \Delta \hat{X}_{121} + \Delta \hat{X}_{211}^T \cdot P_2^{-1} \cdot \Delta \hat{X}_{211} + \Delta \hat{X}_{112}^T \cdot P_1^{-1} \cdot \Delta \hat{X}_{112} + \Delta \hat{X}_{222}^T \cdot P_2^{-1} \cdot \Delta \hat{X}_{222}. \quad (15)$$

Наиболее вероятной будет гипотеза, для которой соответствующее выражение (11) будет максимальным. Критерием максимальности служит минимум показателя экспоненты Σ_k

$$\min_k \{\Sigma_k\}, \quad (16)$$

где k – количество гипотез, $k = \overline{1,4}$.

По аналогии с приведенным выражения для аргументов функций правдоподобия (12) – (15) для вариантов событий **B** и **C** будут иметь вид соответственно:

$$\Sigma_{1B} = \Delta \hat{X}_{111}^T \cdot P_1^{-1} \cdot \Delta \hat{X}_{111} + \Delta \hat{X}_{211}^T \cdot P_2^{-1} \cdot \Delta \hat{X}_{211} + \Delta \hat{X}_{122}^T \cdot P_1^{-1} \cdot \Delta \hat{X}_{122}; \quad (17)$$

$$\Sigma_{2B} = \Delta \hat{X}_{121}^T \cdot P_1^{-1} \cdot \Delta \hat{X}_{121} + \Delta \hat{X}_{212}^T \cdot P_1^{-1} \cdot \Delta \hat{X}_{212} + \Delta \hat{X}_{222}^T \cdot P_2^{-1} \cdot \Delta \hat{X}_{222}; \quad (18)$$

$$\Sigma_{3B} = \Delta \hat{X}_{111}^T \cdot P_1^{-1} \cdot \Delta \hat{X}_{111} + \Delta \hat{X}_{122}^T \cdot P_1^{-1} \cdot \Delta \hat{X}_{122} + \Delta \hat{X}_{212}^T \cdot P_2^{-1} \cdot \Delta \hat{X}_{212}; \quad (19)$$

$$\Sigma_{4B} = \Delta \hat{X}_{121}^T \cdot P_1^{-1} \cdot \Delta \hat{X}_{121} + \Delta \hat{X}_{211}^T \cdot P_2^{-1} \cdot \Delta \hat{X}_{211} + \Delta \hat{X}_{112}^T \cdot P_1^{-1} \cdot \Delta \hat{X}_{112}; \quad (20)$$

$$\Sigma_{1C} = \Delta \hat{X}_{111}^T \cdot P_1^{-1} \cdot \Delta \hat{X}_{111} + \Delta \hat{X}_{211}^T \cdot P_2^{-1} \cdot \Delta \hat{X}_{211} + \Delta \hat{X}_{222}^T \cdot P_2^{-1} \cdot \Delta \hat{X}_{222}; \quad (21)$$

$$\Sigma_{2C} = \Delta \hat{X}_{221}^T \cdot P_2^{-1} \cdot \Delta \hat{X}_{221} + \Delta \hat{X}_{112}^T \cdot P_1^{-1} \cdot \Delta \hat{X}_{112} + \Delta \hat{X}_{212}^T \cdot P_2^{-1} \cdot \Delta \hat{X}_{212}; \quad (22)$$

$$\Sigma_{3C} = \Delta \hat{X}_{111}^T \cdot P_1^{-1} \cdot \Delta \hat{X}_{111} + \Delta \hat{X}_{221}^T \cdot P_2^{-1} \cdot \Delta \hat{X}_{221} + \Delta \hat{X}_{212}^T \cdot P_2^{-1} \cdot \Delta \hat{X}_{212}; \quad (23)$$

$$\Sigma_{4C} = \Delta \hat{X}_{211}^T \cdot P_2^{-1} \cdot \Delta \hat{X}_{211} + \Delta \hat{X}_{112}^T \cdot P_1^{-1} \cdot \Delta \hat{X}_{112} + \Delta \hat{X}_{222}^T \cdot P_2^{-1} \cdot \Delta \hat{X}_{222}. \quad (24)$$

Описанный выше алгоритм идентификации показан на рис. 3.

3. Результаты моделирования

В соответствии с алгоритмом (рис. 3) осуществлено имитационное моделирование идентификации двух неподвижных целей по данным измерений двух РЛС. Результаты моделирования приведены в таблице, где дана зависимость вероятности правильной идентификации от расстояния между целями $\Delta x = |x_1 - x_2|$, $\Delta y = |y_1 - y_2|$ в декартовой системе координат при разных значениях дисперсии ошибок измерений по соответствующей координате ($\sigma_{x1} = \sigma_{x2}$, $\sigma_{y1} = \sigma_{y2}$).

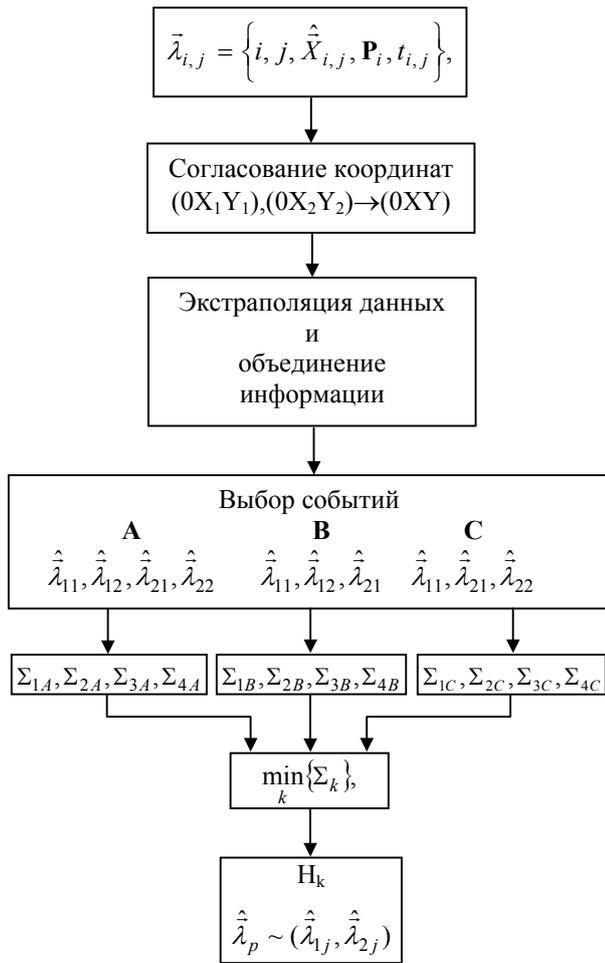


Рис. 3. Алгоритм идентификации целей по данным измерений двух РЛС

| Δx, м | Δy, м | Вероятность правильной идентификации | | | |
|-------|-------|--|--|--|--|
| | | σ _x =10 м σ _y =10 м | σ _x =20 м σ _y =20 м | σ _x =30 м σ _y =30 м | σ _x =40 м σ _y =40 м |
| 30 | 0 | 0,948 | 0,718 | 0,610 | 0,565 |
| 50 | 0 | 0,999 | 0,895 | 0,748 | 0,662 |
| 100 | 0 | 1,0 | 0,999 | 0,970 | 0,897 |
| 0 | 30 | 0,947 | 0,719 | 0,611 | 0,566 |
| 0 | 50 | 0,998 | 0,896 | 0,747 | 0,661 |
| 0 | 100 | 1,0 | 0,998 | 0,969 | 0,896 |

На рис. 4 показана зависимость вероятности правильной идентификации от точности измерений для разных значений расстояний между целями.

По результатам моделирования были также построены функции распределения вероятности пра-

вильной идентификации по одной из координат (рис.5) и на плоскости (рис. 6).

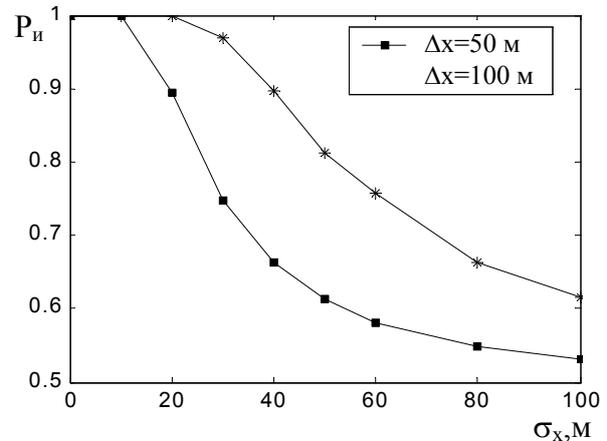


Рис. 4. Зависимость вероятности правильной идентификации от точности измерений

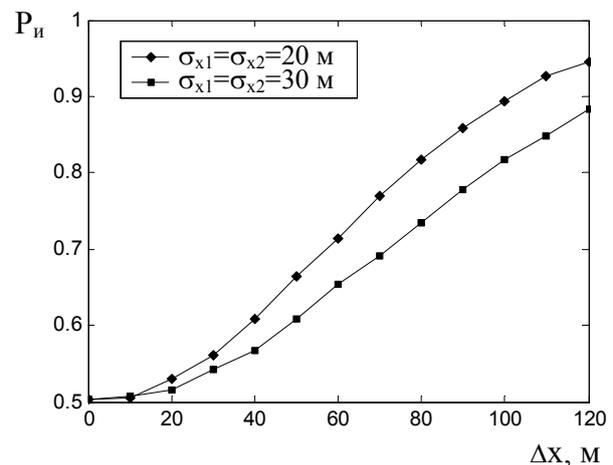


Рис. 5. Функция распределения вероятности правильной идентификации по координате x

Как видно из рис. 4 и 5, увеличение расстояния между целями и уменьшение погрешности измерений приводят к увеличению вероятности правильной идентификации.

Задаваясь вероятностью правильной идентификации, можно определить требования по точности определения координат береговыми РЛС, а также минимальное расстояние между полосами движения судов, необходимые для обеспечения требуемой вероятности идентификации.

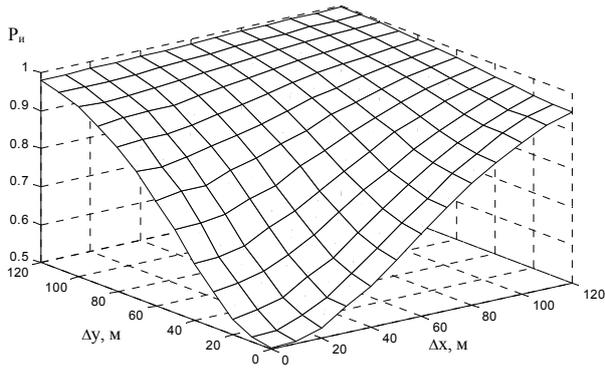


Рис. 6. Функция распределения вероятности правильной идентификации на плоскости

Функция распределения вероятности правильной идентификации на плоскости (рис. 6) построена для случая, когда точности измерения по обеим координатам равны. Изменение точности измерения по одной из координат ведет к сужению или расширению функции распределения по соответствующей оси (рис. 7).

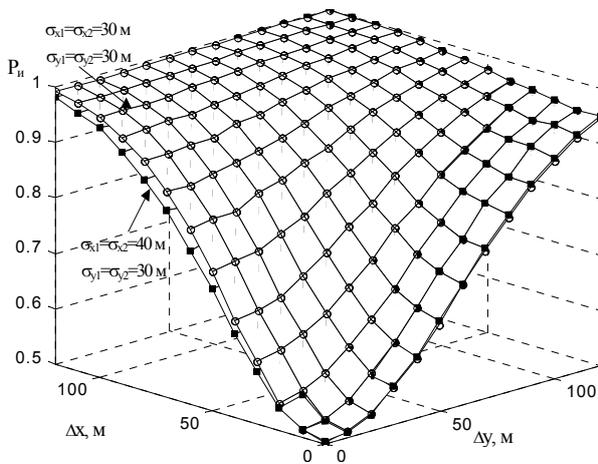


Рис. 7. Функции распределения вероятности правильной идентификации на плоскости при $\sigma_{x1} = \sigma_{x2} = 20 м$ и $\sigma_{x1} = \sigma_{x2} = 30 м$

Заключение

Нужно отметить, что моделирование проводилось для случая неподвижных целей, т.е. информация о скоростях целей при идентификации не использовалась. Применение дополнительной информации может повысить вероятность правильной

идентификации, но этот факт требует подтверждения путем имитационного моделирования. Кроме того, поскольку сопровождаемые объекты инерционны и не могут мгновенно и в больших пределах изменять координаты своего местоположения, информацию о скоростях можно использовать для предсказания местоположения объектов, что значительно уменьшит погрешность местоопределения. А это, в свою очередь, повысит вероятность правильной идентификации (см. рис. 4,5). Перечисленные выше факты нужно учесть в дальнейших исследованиях.

Литература

1. Бухановский И. Л. Радиолокационные методы судовождения. – М.: Транспорт, 1970.
2. Щеголев В. М. Береговые РЛС в судовождении. – М.: Транспорт, 1971. -118 с.
3. Москвин Г. И. Развитие береговых радиолокационных систем управления движением судов // Судовождение и связь: Экспресс-информ. ЦБНТИ ММФ. – 1980. - № 4 (129). - 28 с.
4. Ильин В. А., Поздняк Э. Г. Аналитическая геометрия. – М.: Наука, 1988.
5. Бронштейн И. Н., Семендяев К. А. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов: Справочник. – 15-е изд. – М.: Наука. Физматлит, 1998. – 608 с.
6. Фалькович С. Е. Оценка параметров сигналов. – М.: Сов. радио, 1970. – 366 с.
7. Брандт З. Статистические методы анализа наблюдений. – М.: Мир, 1975

Поступила в редакцию 17.04.03

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