

УДК: 621.396.96

ОЦЕНИВАНИЕ КООРДИНАТ ВОЗДУШНОЙ ЦЕЛИ
В ДАЛЬНОМЕРНОЙ МНОГОПОЗИЦИОННОЙ
РАДИОЛОКАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ

Б.А. Заикин[®], аспирант,
А.Ю. Богадаров, аспирант,
А.Ф. Котов, д.т.н., профессор,
П.В. Попонов, аспирант

Московский технологический университет (МИРЭА), Москва, 119454 Россия
©Автор для переписки, e-mail: halfmazerkin@gmail.com

В статье представлен квазиоптимальный алгоритм фильтрации координат малоподвижного объекта при их измерении двухпозиционной дальномерной РЛС. Приведены соотношения, позволяющие осуществить моделирование указанного процесса измерения координат.

Ключевые слова: двухпозиционная дальномерная РЛС, алгоритм фильтрации.

EVALUATION OF COORDINATES OF AIR TARGET
IN A TWO-POSITION RANGE MEASUREMENT RADAR

B.A. Zaikin[®],
A.Yu. Bogadarov,
A.F. Kotov,
P.V. Poponov

Moscow Technological University (MIREA), Moscow, 119454 Russia
©Corresponding author e-mail: halfmazerkin@gmail.com

The article describes the quasioptimal algorithm of filtering slow-moving object coordinates when measuring them by two-position range measurement radar. Relations that allow to model this process of coordinate measurement are given.

Keywords: two-position range measurement radar, filtering algorithm.

Проблеме комплексирования радиоустройств и радиосистем в последнее время уделяется значительное внимание [1–5], поскольку алгоритмы комплексирования позволяют, как правило, улучшить качественные показатели информационно-измерительных систем. В предлагаемой вниманию статье рассматривается возможность построения алгоритма оценивания (фильтрации) координат цели в двухпозиционной активной радиолокационной системе с объединением на уровне единичных замеров.

Пусть имеет место декартова система координат XOY и соблюдаются все условия, принятые в [6] в рамках гауссовского приближения, и система определяет дальности $R_1 = \frac{c\tau_1}{2}$ и $R_2 = \frac{c\tau_2}{2}$,

где c – скорость распространения радиоволн,

τ_1 и τ_2 – временные задержки зондирующих сигналов в пунктах приёма (рис. 1).

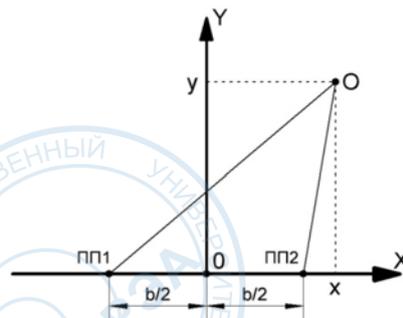


Рис. 1. Геометрическое представление двухпозиционной РЛС:
 О – малоподвижный объект; ПП1, ПП2 – пункты приема.

Согласно [6] изменения координат объекта О на ν -м интервале можно описать уравнением:

$$\vec{\Lambda}^{(\nu)} = \Phi \vec{\Lambda}^{(\nu-1)} + B \vec{N}^{(\nu)}, \quad (1)$$

где Φ – матрица перехода;

B – матрица диффузии;

$\vec{\Lambda}^{(\nu)}$ – вектор координат (в данном случае двухкомпонентный: $\vec{\Lambda}^{(\nu)} = \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}$);

$\vec{N}^{(\nu)}$ – гауссовский случайный вектор с математическим ожиданием $\langle \vec{N}^{(\nu)} \rangle = 0$ и дисперсией $\langle \vec{N}^{(\nu)} \vec{N}^{(\mu)T} \rangle = I \delta_{\nu\mu}$, где I – единичная матрица, $\delta_{\nu\mu}$ – символ Кронекера.

Матрицы Φ и B в простейшем случае при единичных элементах главной диагонали матрицы Φ могут быть записаны в виде [6]:

$$\Phi = \begin{bmatrix} a_x & 0 \\ 0 & a_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}; \quad B = \begin{bmatrix} b_x & 0 \\ 0 & b_y \end{bmatrix}. \quad (2)$$

С учетом (2) из (1) можно записать выражения для координат объекта на ν -м интервале в виде:

$$\begin{cases} x^{(\nu)} = x^{(\nu-1)} + b_x n_x^{(\nu)}, \\ y^{(\nu)} = y^{(\nu-1)} + b_y n_y^{(\nu)}. \end{cases} \quad (3)$$

здесь n_x и n_y – случайные величины с нулевыми математическими ожиданиями и единичными дисперсиями (при моделировании на ЭВМ выдаются датчиком случайных чисел);

b_x и b_y – СКО координат, которые полагаем равными, считая, что дисперсии отклонений объекта по осям X и Y одинаковы и равны $D_{ps,x} = D_{ps,y} = b_x^2 = b_y^2$.

С учетом изложенного апостериорная ковариационная матрица ошибок оценивания будет иметь вид:

$$K_{ps} = \begin{bmatrix} D_{ps,x} & K_{xy} \\ K_{xy} & D_{ps,y} \end{bmatrix}, \quad (4)$$

где K_{xy} – ковариационный элемент матрицы.

В соответствии с рис. 1 дальности R_1 и R_2 , измеряемые РЛС позиций ПП1 и ПП2, определяются выражениями:

$$\begin{cases} R_1^2 = \left(x + \frac{b}{2}\right)^2 + y^2, \\ R_2^2 = \left(x - \frac{b}{2}\right)^2 + y^2. \end{cases} \quad (5)$$

Истинные значения временных задержек τ_1 и τ_2 на ν -м интервале согласно (5) имеют вид:

$$\begin{cases} \tau_1^{(\nu)} = \frac{2}{c} \sqrt{\left(x^{(\nu)} + \frac{b}{2}\right)^2 + y^{(\nu)2}}, \\ \tau_2^{(\nu)} = \frac{2}{c} \sqrt{\left(x^{(\nu)} - \frac{b}{2}\right)^2 + y^{(\nu)2}}, \end{cases} \quad (6)$$

где c – скорость распространения радиоволн.

В (6) значение базы b подставляется как известное, рассчитанное по результатам геодезических измерений.

Построим оценку при приёме одного импульса. С учётом ошибки, обусловленной наличием внутренних шумов приёмных устройств, имеем:

$$\begin{cases} \hat{\tau}_1^{(\nu)} = \tau_1^{(\nu)} + \sigma_{\tau_1} n_{\tau_1}^{(\nu)}, \\ \hat{\tau}_2^{(\nu)} = \tau_2^{(\nu)} + \sigma_{\tau_2} n_{\tau_2}^{(\nu)}. \end{cases} \quad (7)$$

где σ_{τ_1} , σ_{τ_2} – СКО измерений временных задержек;

n_{τ_1} и n_{τ_2} – гауссовские случайные величины с нулевыми математическими ожиданиями и единичными дисперсиями, выдаваемые при моделировании датчиком случайных чисел. Имеется в виду, что n_{τ_1} и n_{τ_2} полагаются некоррелированными, поскольку измерение временных задержек τ_1 и τ_2 осуществляется разными измерителями.

Значения σ_{τ_1} , σ_{τ_2} либо заданы, либо их можно определить по формулам потенциальной точности [7].

Уравнение фильтрации имеет вид [6]:

$$\begin{cases} \hat{\Lambda}_{ps}^{(\nu)} = \bar{\Lambda}_s^{(\nu)} + K_{ps}^{(\nu)} \bar{G}_\lambda^{(\nu)} \\ K_{ps}^{(\nu)} = \left[(K_s^{(\nu)})^{-1} - H_\lambda^{(\nu)} \right]^{-1} \end{cases} \quad (8)$$

где $\bar{G}_\lambda^{(\nu)} = W_{q\lambda}^T K_q^{-1} \left[\hat{Q}_{мп}^{(\nu)} - \bar{Q}(\bar{\Lambda}_s^{(\nu)}) \right]$ (9)

Здесь: $\bar{G}_\lambda^{(\nu)}$ – вектор первых частных производных первичных параметров по координатам цели на ν -м интервале;

$K_{ps}^{(\nu)}$ – апостериорная ковариационная матрица ошибок оценивания на ν -м интервале;

$$K_q^{-1} = (-H_q)^{-1},$$

где H_q – матрица Фишера, являющаяся обратной ковариационной матрицей для первичных параметров и матрицей вторых частных производных логарифма отношения функции правдоподобия (ЛОФП) по первичным параметрам;

$W_{q\lambda}^T$ – транспонированная матрица первых частных производных первичных параметров по элементам вектора состояния (координатам цели);

Оценивание координат воздушной цели в дальномерной многопозиционной радиолокационной системе

$\hat{Q}_{\text{мп}}^{(v)}$ – вектор оценок максимального правдоподобия первичных параметров на v -м интервале;

$\bar{Q}(\Lambda_3^{(v)})$ – вектор экстраполяционных значений координат на v -м интервале;

$$K_3^{(v)} = K_{\text{ps}}^{(v-1)} + \mathbf{V}\mathbf{V}^T,$$

где $K_{\text{ps}}^{(v-1)}$ – апостериорная ковариационная матрица, определяемая на $(v-1)$ -м интервале, \mathbf{V} – матрица, определяемая соотношением (2), \mathbf{V}^T – транспонированная матрица \mathbf{V} , согласно (2):

$$\mathbf{V}^T = \begin{bmatrix} \mathbf{b}_x & 0 \\ 0 & \mathbf{b}_y \end{bmatrix}, \text{ и } \mathbf{V}\mathbf{V}^T = \begin{bmatrix} \mathbf{b}_x^2 & 0 \\ 0 & \mathbf{b}_y^2 \end{bmatrix}, \quad (10)$$

$H_\lambda^{(v)}$ – матрица Фишера, элементами которой являются вторые производные ЛОФП по координатам цели:

$$H_\lambda^{(v)} = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 F}{\partial x^2} & \frac{\partial^2 F}{\partial x \partial y} \\ \frac{\partial^2 F}{\partial x \partial y} & \frac{\partial^2 F}{\partial y^2} \end{bmatrix} \quad (11)$$

Согласно [6] матрица $W_{q\lambda}$ определяется формулой:

$$W_{q\lambda} = \begin{bmatrix} \frac{\partial \tau_1}{\partial x} & \frac{\partial \tau_1}{\partial y} \\ \frac{\partial \tau_2}{\partial x} & \frac{\partial \tau_2}{\partial y} \end{bmatrix}. \quad (12)$$

Определим элементы матрицы (12). Из (6) имеем:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \tau_1}{\partial x} &= \frac{2}{c} \frac{\partial}{\partial x} \left\{ \sqrt{\left(x + \frac{b}{2}\right)^2 + y^2} \right\} = \frac{2}{c} \frac{1}{\sqrt{\left(x + \frac{b}{2}\right)^2 + y^2}} \cdot \left(x + \frac{b}{2}\right), \\ \frac{\partial \tau_1}{\partial y} &= \frac{2}{c} \frac{\partial}{\partial y} \left\{ \sqrt{\left(x + \frac{b}{2}\right)^2 + y^2} \right\} = \frac{2}{c} \frac{1}{\sqrt{\left(x + \frac{b}{2}\right)^2 + y^2}} \cdot y, \\ \frac{\partial \tau_2}{\partial x} &= \frac{2}{c} \frac{\partial}{\partial x} \left\{ \sqrt{\left(x - \frac{b}{2}\right)^2 + y^2} \right\} = \frac{2}{c} \frac{1}{\sqrt{\left(x - \frac{b}{2}\right)^2 + y^2}} \cdot \left(x - \frac{b}{2}\right), \\ \frac{\partial \tau_2}{\partial y} &= \frac{2}{c} \frac{\partial}{\partial y} \left\{ \sqrt{\left(x - \frac{b}{2}\right)^2 + y^2} \right\} = \frac{2}{c} \frac{1}{\sqrt{\left(x - \frac{b}{2}\right)^2 + y^2}} \cdot y. \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

Матрица $W_{q\lambda}^T$ может быть определена из (12):

$$W_{q\lambda}^T = \begin{bmatrix} \frac{\partial \tau_1}{\partial x} & \frac{\partial \tau_2}{\partial x} \\ \frac{\partial \tau_1}{\partial y} & \frac{\partial \tau_2}{\partial y} \end{bmatrix}. \quad (14)$$

Матрица $W_{q\lambda}^T$ получается из (7) в виде:

$$K_q = \begin{bmatrix} \sigma_{\tau_1}^2 & 0 \\ 0 & \sigma_{\tau_2}^2 \end{bmatrix}. \quad (15)$$

Обратная ковариационная матрица K_q^{-1} может быть найдена из (15) путём вычисления её элементов по формуле [8]:

$$a_{ik}^{(-1)} = \frac{A_{ki}}{|A|}, \quad (16)$$

где $|A|$ – определитель матрицы K_q ;

A_{ki} – алгебраическое дополнение k -го элемента матрицы K_q .

С учетом (16) из (15) получаем:

$$K_q^{-1} = \frac{1}{\sigma_{\tau_1}^2 \sigma_{\tau_2}^2} \begin{bmatrix} \sigma_{\tau_2}^2 & 0 \\ 0 & \sigma_{\tau_1}^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{\sigma_{\tau_1}^2} & 0 \\ 0 & \frac{1}{\sigma_{\tau_2}^2} \end{bmatrix}. \quad (17)$$

Вектор $[\hat{Q}_{мп}^{(v)} - \bar{Q}(\Lambda_3^{(v)})]$ определяется из (6), (7):

$$[\hat{Q}_{мп}^{(v)} - \bar{Q}(\Lambda_3^{(v)})] = \begin{bmatrix} \hat{\tau}_1^{(v)} - \frac{2}{c} \sqrt{\left(x_3^{(v)} + \frac{b}{2}\right)^2 + y_3^{(v)2}} \\ \hat{\tau}_2^{(v)} - \frac{2}{c} \sqrt{\left(x_3^{(v)} - \frac{b}{2}\right)^2 + y_3^{(v)2}} \end{bmatrix}. \quad (18)$$

Произведение матрицы (17) и вектора (18) даёт вектор:

$$K_q^{-1} [\hat{Q}_{мп}^{(v)} - \bar{Q}(\Lambda_3^{(v)})] = \begin{bmatrix} A_1 \\ A_2 \end{bmatrix}, \quad (19)$$

$$\text{где} \begin{cases} A_1 = \frac{1}{\sigma_{\tau_1}^2} \left[\hat{\tau}_1^{(v)} - \frac{2}{c} \sqrt{\left(x_3^{(v)} + \frac{b}{2}\right)^2 + y_3^{(v)2}} \right], \\ A_2 = \frac{1}{\sigma_{\tau_2}^2} \left[\hat{\tau}_2^{(v)} - \frac{2}{c} \sqrt{\left(x_3^{(v)} - \frac{b}{2}\right)^2 + y_3^{(v)2}} \right]. \end{cases} \quad (20)$$

Умножив (14) на (20), получаем:

$$\vec{G}_\lambda^{(v)} = W_{q\lambda}^T K_q^{-1} [\hat{Q}_{мп}^{(v)} - \bar{Q}(\Lambda_3^{(v)})] = \begin{bmatrix} g_x \\ g_y \end{bmatrix}, \quad (21)$$

Оценивание координат воздушной цели в дальномерной многопозиционной радиолокационной системе

$$\text{где } \begin{cases} g_x = \frac{\partial \tau_1}{\partial x} A_1 + \frac{\partial \tau_2}{\partial x} A_2, \\ g_y = \frac{\partial \tau_1}{\partial y} A_1 + \frac{\partial \tau_2}{\partial y} A_2. \end{cases} \quad (22)$$

В (18) следует подставлять экстраполяционные значения координат (апостериорные значения координат на предыдущем шаге) [6]:

$$\begin{cases} x_3^{(v)} = \hat{x}_{ps}^{(v-1)}, \\ y_3^{(v)} = \hat{y}_{ps}^{(v-1)}, \end{cases} \quad (23)$$

которые вычисляются из первого уравнения системы (8).

С учётом (4), для v -го интервала из первого уравнения системы (8) можно получить:

$$\begin{bmatrix} \hat{x}_{ps}^{(v)} \\ \hat{y}_{ps}^{(v)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_3^{(v)} \\ y_3^{(v)} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} D_{ps,x}^{(v)} & K_{xy}^{(v)} \\ K_{xy}^{(v)} & D_{ps,y}^{(v)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} g_x \\ g_y \end{bmatrix}, \text{ или} \quad (24)$$

$$\begin{cases} \hat{x}_{ps}^{(v)} = x_3^{(v)} + D_{ps,x}^{(v)} g_x + K_{xy}^{(v)} g_y, \\ \hat{y}_{ps}^{(v)} = y_3^{(v)} + K_{xy}^{(v)} g_x + D_{ps,y}^{(v)} g_y, \end{cases} \quad (25)$$

где $x_3^{(v)}$, $y_3^{(v)}$ – определяются из (23);

элементы $D_{ps,x}^{(v)}$, $K_{xy}^{(v)}$, $D_{ps,y}^{(v)}$ определяются следующим образом.

Во втором уравнении системы (8) согласно [6]:

$$K_3^{(v)} = K_{ps}^{(v-1)} + BB^T, \quad (26)$$

где $K_{ps}^{(v-1)}$ – апостериорная ковариационная матрица на $(v-1)$ -ом интервале; BB^T определяется из (12). Матрица $K_{ps}^{(v-1)}$ записывается аналогично (4), т.е.

$$K_{ps,x}^{(v-1)} = \begin{bmatrix} D_{ps,x}^{(v-1)} & K_{xy}^{(v-1)} \\ K_{xy}^{(v-1)} & D_{ps,y}^{(v-1)} \end{bmatrix}. \quad (27)$$

Приняв, в первом приближении, $K_{xy}^{(v-1)} = K_{xy}^{(v)} = \frac{l_1}{l_2}$,

где l_1 и l_2 – соответственно, малая и большая оси эллипса ошибок [9], из (26) и (27) получаем:

$$K_3^{(v)} = \begin{bmatrix} D_{ps,x}^{(v-1)} + b_x^2 & K_{xy}^{(v-1)} \\ K_{xy}^{(v-1)} & D_{ps,y}^{(v-1)} + b_y^2 \end{bmatrix}. \quad (28)$$

Элементы матрицы H_λ в формуле (8), как вторые производные логарифма отношения функционала правдоподобия по координатам F , могут быть записаны в виде [6]:

$$H_\lambda = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 F}{\partial x^2} & \frac{\partial^2 F}{\partial x \partial y} \\ \frac{\partial^2 F}{\partial x \partial y} & \frac{\partial^2 F}{\partial y^2} \end{bmatrix}. \quad (29)$$

Для определения компонентов матрицы H_λ воспользуемся соотношением [6]:

$$\frac{\partial^2 F}{\partial \lambda_i \partial \lambda_k} = \sum_{j=1}^{m_q} \sum_{\mu=1}^{m_q} \aleph_{j\mu}^{(v)} \left\{ \frac{\partial^2 q_j}{\partial \lambda_i \partial \lambda_k} \left[q_\mu \left(\bar{\Lambda}_3^{(v)}, \hat{S}^{(v)} \right) - \hat{q}_\mu^{(v)} \right] + \frac{\partial q_j}{\partial \lambda_i} \frac{\partial q_\mu}{\partial \lambda_k} \right\}, \quad (30)$$

где m_q – количество первичных параметров (в рассматриваемом случае $m_q = 2$); q_j и q_μ – j -ый и μ -ый первичные параметры;

\hat{S} – вектор оцениваемых координат позиций МРЛС (в рассматриваемом случае компоненты этого вектора не оцениваются).

Таким образом, для рассматриваемого случая полагаем $\aleph_{j\mu}^{(v)}$ равными:

$$\aleph_{11}^{(v)} = \sigma_{\tau_1}^2; \quad \aleph_{12}^{(v)} = \aleph_{21}^{(v)} = 0; \quad \aleph_{22}^{(v)} = \sigma_{\tau_2}^2; \quad \hat{S}^{(v)} = 0. \quad (31)$$

При подстановке (31) в (30) имеем:

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 F}{\partial x^2} &= \sigma_{\tau_1}^{-2} \left\{ \frac{\partial^2 \tau_1}{\partial x^2} [\tau_1(x^{(v)}, y^{(v)}) - \hat{\tau}_1^{(v)}] + \left(\frac{\partial \tau_1}{\partial x} \right)^2 \right\} + \\ &+ \sigma_{\tau_2}^{-2} \left\{ \frac{\partial^2 \tau_2}{\partial x^2} [\tau_2(x^{(v)}, y^{(v)}) - \hat{\tau}_2^{(v)}] + \left(\frac{\partial \tau_2}{\partial x} \right)^2 \right\}; \end{aligned} \quad (32)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 F}{\partial x \partial y} &= \sigma_{\tau_1}^{-2} \left\{ \frac{\partial^2 \tau_1}{\partial x \partial y} [\tau_1(x^{(v)}, y^{(v)}) - \hat{\tau}_1^{(v)}] + \frac{\partial \tau_1}{\partial x} \frac{\partial \tau_1}{\partial y} \right\} + \\ &+ \sigma_{\tau_2}^{-2} \left\{ \frac{\partial^2 \tau_2}{\partial x \partial y} [\tau_2(x^{(v)}, y^{(v)}) - \hat{\tau}_2^{(v)}] + \frac{\partial \tau_2}{\partial x} \frac{\partial \tau_2}{\partial y} \right\}; \end{aligned} \quad (33)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 F}{\partial y^2} &= \sigma_{\tau_1}^{-2} \left\{ \frac{\partial^2 \tau_1}{\partial y^2} [\tau_1(x^{(v)}, y^{(v)}) - \hat{\tau}_1^{(v)}] + \left(\frac{\partial \tau_1}{\partial y} \right)^2 \right\} + \\ &+ \sigma_{\tau_2}^{-2} \left\{ \frac{\partial^2 \tau_2}{\partial y^2} [\tau_2(x^{(v)}, y^{(v)}) - \hat{\tau}_2^{(v)}] + \left(\frac{\partial \tau_2}{\partial y} \right)^2 \right\}; \end{aligned} \quad (34)$$

В выражениях (32)–(34):

$$\begin{cases} \tau_1(x^{(v)}, y^{(v)}) = \frac{2}{c} \sqrt{\left(x^{(v)} + \frac{b}{2}\right)^2 + y_3^{(v)2}}, \\ \tau_2(x^{(v)}, y^{(v)}) = \frac{2}{c} \sqrt{\left(x^{(v)} - \frac{b}{2}\right)^2 + y_3^{(v)2}}. \end{cases} \quad (35)$$

$$\frac{\partial^2 \tau_1}{\partial x^2} = \frac{2}{c} \left(\left(x + \frac{b}{2}\right)^2 + y^2 \right)^{-\frac{1}{2}} \left(1 - \left(x + \frac{b}{2}\right)^2 \left(\left(x + \frac{b}{2}\right)^2 + y^2 \right)^{-1} \right); \quad (36)$$

$$\frac{\partial^2 \tau_1}{\partial x \partial y} = \frac{\partial^2 \tau_1}{\partial y \partial x} = -\frac{2}{c} \left(x + \frac{b}{2}\right) \cdot y \cdot \left(\left(x + \frac{b}{2}\right)^2 + y^2 \right)^{-\frac{3}{2}}; \quad (37)$$

$$\frac{\partial^2 \tau_1}{\partial y^2} = \frac{2}{c} \left(\left(x + \frac{b}{2} \right)^2 + y^2 \right)^{\frac{1}{2}} \left(1 - y^2 \left(\left(x + \frac{b}{2} \right)^2 + y^2 \right)^{-1} \right); \quad (38)$$

$$\frac{\partial^2 \tau_2}{\partial x^2} = \frac{2}{c} \left(\left(x - \frac{b}{2} \right)^2 + y^2 \right)^{\frac{1}{2}} \left(1 - \left(x - \frac{b}{2} \right)^2 \left(\left(x - \frac{b}{2} \right)^2 + y^2 \right)^{-1} \right); \quad (39)$$

$$\frac{\partial^2 \tau_2}{\partial x \partial y} = \frac{\partial^2 \tau_2}{\partial y \partial x} = -\frac{2}{c} \left(x - \frac{b}{2} \right) \cdot y \cdot \left(\left(x - \frac{b}{2} \right)^2 + y^2 \right)^{\frac{3}{2}}; \quad (40)$$

$$\frac{\partial^2 \tau_1}{\partial y^2} = \frac{2}{c} \left(\left(x - \frac{b}{2} \right)^2 + y^2 \right)^{\frac{1}{2}} \left(1 - y^2 \left(\left(x - \frac{b}{2} \right)^2 + y^2 \right)^{-1} \right); \quad (41)$$

Заключение

В гауссовском приближении получены аналитические выражения, позволяющие сформировать алгоритм оценивания координат малоподвижной цели (воздушный шар, вертолёт, дирижабль) в двухпозиционной дальномерной РЛС, координаты позиции которой известны (например, получены геодезическими методами). Алгоритм представлен отношениями (8), (9), (23), (27)–(29).

Литература:

1. Дубровин А.В., Никишов В.В., Шевгунов Т.Я. Разработка структуры пассивной радиолокационной системы для определения местоположения летательного аппарата при его заходе на посадку // Доклады VIII Всерос. науч.-техн. конф. «Радиолокация и радиосвязь», 24–26 ноября 2014 г. Москва. С. 42–46.
2. Чапурский В.В. Погрешности измерения взаимного положения двух близкорасположенных объектов в многопозиционной РЛС // Доклады VIII Всерос. науч.-техн. конф. «Радиолокация и радиосвязь», 24–26 ноября 2014 г. Москва. С. 67–71.
3. Богодаров А.Ю., Зданович Ю.А., Котов А. Ф., Попонов П.В. Квазиоптимальная фильтрация вектора состояния цели в гиперболической системе // Доклады VIII Всерос. науч.-техн. конф. «Радиолокация и радиосвязь», 24–26 ноября 2014 г. Москва. С. 103–107.
4. Элбакидзе А.В., Разманов В.М., Смольянинов И.В., Кривцов А.П., Денисов Е.Ю. Многофункциональный гидролокационный комплекс для исследования морского дна // Доклады VIII Всерос. науч.-техн. конф. «Радиолокация и радиосвязь», 24–26 ноября 2014 г. Москва. С. 227–231.
5. Карташевский В. Г., Коняева О. С. Алгоритм приёма в целом "с поэлементным принятием решения" для системы ММО // Доклады VIII Всерос. науч.-техн. конф. «Радиолокация и радиосвязь», 24–26 ноября 2014 г. Москва. С. 294 - 297.
6. Котов А.Ф., Гребенников В.Б. Импульсные многопозиционные радиотехнические системы // Радиотехника. 1987. № 6. С. 6–9.
7. Справочник по радиолокации / Под ред. М. Скольника. Т.1. М.: Советское Радио, 1976. 486 с.
8. Гантмахер Ф.Р. Теория матриц. М.: Наука, 1988. 552 с.
9. Котов А.Ф. Методы определения местоположения объектов с повышенной точностью: учебное пособие. М.: МИРЭА, 1986. 76 с.