

ОЦЕНИВАНИЕ КООРДИНАТ МАНЕВРИРУЮЩЕГО ВНУТРИ ПОМЕЩЕНИЯ ОБЪЕКТА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ДАЛЬНОМЕРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Э. А. Кирсанов*, А. А. Сирота**

*Военный авиационный инженерный университет (г. Воронеж)

**Воронежский государственный университет

Поступила в редакцию 17.01.2011 г.

Аннотация. В рамках марковской теории нелинейной фильтрации в дискретном времени получены алгоритмы оценивания координат маневрирующего внутри помещения объекта по дальномерным измерениям с учетом наличия пропусков и аномальных наблюдений.

Ключевые слова: радиомониторинг, оценивание координат, марковская фильтрация, маневрирующий объект.

Abstract. Within the framework of the Markov theory of a non-linear filtration in discrete time the algorithms of estimation of coordinates of maneuvering indoors object on ranging measurements with allowance for of availability of the miss and abnormal supervision are obtained.

Keywords: radiomonitoring, estimation of coordinates, Markov filtration, maneuvering object.

ВВЕДЕНИЕ

В последнее время активно развиваются средства радиомониторинга, предназначенные для определения местоположения объектов внутри закрытых помещений [1]. Особенность данной ситуации состоит в том, что для решения указанной задачи невозможно использовать стандартные средства высокоточной координатометрии. Ряд специализированных средств, использующих дальномерные измерения, производится компанией Nanotron [2]. Вычисление координат в них производится по однократным измерениям расстояний от объекта до нескольких контрольных точек (датчиков) с известным местоположением. При этом из-за наличия переотражений и возможного невыполнения условий электромагнитной доступности некоторые измерения могут отсутствовать, а некоторые – содержать аномально большие ошибки. В этих условиях повышение точности местоопределения возможно за счет проведения и обработки многократных наблюдений [3]. Однако при этом необходимо учитывать в общем случае маневрирующий характер движения объекта в контролируемом помещении.

Целью настоящей работы является решение задачи синтеза и анализа алгоритма оценива-

ния координат перемещающегося внутри помещения маневрирующего объекта по многократным дальномерным наблюдениям в условиях наличия потерь первичной информации на основе методов марковской теории оптимальной нелинейной фильтрации в дискретном времени [4].

1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Пусть нижняя грань контролируемого помещения представляет собой в общем случае неправильный выпуклый многоугольник D , заданный в виде декартовых координат его вершин $\mathbf{x}_{wi} = (X_{wi}, Y_{wi}, Z_w)^T$, $i = \overline{1, K_w}$, перечисляемых в порядке обхода по часовой стрелке (высота Z_w для всех вершин принята одинаковой), где K_w – общее количество вершин многоугольника. Внутри или по периметру контролируемого помещения установлены датчики (приемные пункты) с декартовыми координатами $\mathbf{x}_{pi} = (X_{pi}, Y_{pi}, Z_{pi})^T$, $i = \overline{1, K_p}$, где K_p – общее количество приемных пунктов.

Для синтеза алгоритмов фильтрации необходимо задать уравнения состояний и наблюдений. Как и в [5] будем рассматривать маневр как стационарный случайный процесс с экспоненциальной функцией корреляции ускорения, что соответствует модели Зингера [6]. Тогда в непрерывном времени уравнение движения маневрирующего объекта на плоскости внутри

контролируемого помещения можно задать в виде [5, 6]

$$\dot{\mathbf{x}}(t) = \mathbf{F}\mathbf{x}(t) + \mathbf{G}\mathbf{n}(t),$$

$$\mathbf{F} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\alpha & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\alpha \end{bmatrix}; \quad (1)$$

$$\mathbf{G} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ \alpha & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & \alpha \end{bmatrix},$$

где $\mathbf{x}(t) = [x(t), v_x(t), a_x(t), y(t), v_y(t), a_y(t)]^T$ – вектор состояния, включающий декартовы координаты объекта на плоскости ($x(t)$ и $y(t)$) и проекции его скорости ($v_x(t)$ и $v_y(t)$) и ускорения ($a_x(t)$ и $a_y(t)$) на оси OX и OY в текущий момент времени; $\alpha = 1/T_m$ – величина, обратная постоянной времени маневра T_m , $\mathbf{n}(t) = [n_1(t), n_2(t)]^T$ – вектор белых гауссовских шумов (БГШ) с корреляционной матрицей

$$M\{\mathbf{n}(t)\mathbf{n}^T(t + \tau)\} = \begin{bmatrix} \delta(\tau)N_0/2 & 0 \\ 0 & \delta(\tau)N_0/2 \end{bmatrix},$$

N_0 – односторонняя спектральная плотность мощности. Для учета невозможности выхода объекта за пределы контролируемого помещения уравнение (1) необходимо рассматривать совместно с граничными условиями нулевого потока вероятности на границе помещения [7].

Из общего решения стохастического дифференциального уравнения (1) можно получить уравнение состояния объекта в дискретном времени (с интервалом дискретизации Δt) в виде [6]

$$\mathbf{f}_k = \begin{bmatrix} 1 & \Delta t & (\alpha\Delta t + e^{-\alpha\Delta t} - 1)/\alpha^2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & (1 - e^{-\alpha\Delta t})/\alpha & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & e^{-\alpha\Delta t} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & \Delta t & (\alpha\Delta t + e^{-\alpha\Delta t} - 1)/\alpha^2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & (1 - e^{-\alpha\Delta t})/\alpha \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & e^{-\alpha\Delta t} \end{bmatrix};$$

$$\mathbf{x}_{k+1} = \mathbf{f}_k\mathbf{x}_k + \tilde{\mathbf{n}}_k, \quad (2)$$

где $\mathbf{x}_k = \mathbf{x}(t_k)$, $\mathbf{x}_{k+1} = \mathbf{x}(t_k + \Delta t)$, $\mathbf{f}_k = e^{\mathbf{F}\Delta t}$ – переходная матрица вида $\tilde{\mathbf{n}}_k$ – вектор дискретных БГШ с нулевым средним $M\{\tilde{\mathbf{n}}_k\} = 0$, и корреляционной матрицей

$$M\{\tilde{\mathbf{n}}_k\tilde{\mathbf{n}}_k^T\} = \alpha^2 \frac{N_0}{2} \begin{bmatrix} q_{11} & q_{12} & q_{13} & 0 & 0 & 0 \\ q_{12} & q_{22} & q_{23} & 0 & 0 & 0 \\ q_{13} & q_{23} & q_{33} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & q_{11} & q_{12} & q_{13} \\ 0 & 0 & 0 & q_{12} & q_{22} & q_{23} \\ 0 & 0 & 0 & q_{13} & q_{23} & q_{33} \end{bmatrix}$$

с элементами

$$q_{11} = \frac{1}{2\alpha^5} \left(1 - e^{-2\alpha\Delta t} + 2\alpha\Delta t + \frac{2\alpha^3\Delta t^3}{3} - 2\alpha^2\Delta t^2 - 4\alpha\Delta te^{-\alpha\Delta t} \right),$$

$$q_{12} = \frac{1}{2\alpha^4} (e^{-2\alpha\Delta t} + 1 - 2e^{-\alpha\Delta t} + 2\alpha\Delta te^{-\alpha\Delta t} - 2\alpha\Delta t + \alpha^2\Delta t^2),$$

$$q_{13} = \frac{1}{2\alpha^3} (1 - e^{-2\alpha\Delta t} - 2\alpha\Delta te^{-\alpha\Delta t}),$$

$$q_{22} = \frac{1}{2\alpha^3} (4e^{-\alpha\Delta t} - 3 - e^{-2\alpha\Delta t} + 2\alpha\Delta t),$$

$$q_{23} = \frac{1}{2\alpha^2} (e^{-2\alpha\Delta t} + 1 - 2e^{-\alpha\Delta t}),$$

$$q_{33} = \frac{1}{2\alpha} (1 - e^{-2\alpha\Delta t}).$$

На основе метода линейного преобразования [8] выражение (2) может быть преобразовано к более удобному для моделирования виду

$$\mathbf{x}_{k+1} = \mathbf{f}_k\mathbf{x}_k + \mathbf{g}_k\mathbf{n}_k, \quad (3)$$

$$\mathbf{g}_k = \begin{bmatrix} a_{11} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ a_{21} & a_{22} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & a_{11} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & a_{21} & a_{22} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} \text{ с элемент-}$$

тами $a_{11} = \sqrt{q_{11}}$, $a_{21} = q_{12}/\sqrt{q_{11}}$, $a_{22} = \sqrt{q_{22} - q_{12}^2/q_{11}}$, $a_{31} = q_{13}/\sqrt{q_{11}}$, $a_{32} = (q_{23} - q_{12}q_{13}/q_{11})/a_{22}$, $a_{33} = \sqrt{q_{33} - q_{13}^2/q_{11} - a_{32}^2}$; \mathbf{n}_k – шестимерный вектор с независимыми компонентами, распределенными по стандартному нормальному закону (с нулевым средним и единичной дисперсией).

Для учета наличия отражающих границ (границ помещения) вместо (3) следует рассматривать новый процесс [7]

$$\mathbf{x}_{0k+1} = \begin{cases} \mathbf{x}_{k+1}, & \text{при } \mathbf{x}_{k+1} \in D, \\ \mathbf{x}'_{k+1}, & \text{при } \mathbf{x}_{k+1} \notin D, \end{cases}$$

где \mathbf{x}'_{k+1} – координаты объекта, полученные зеркальным отражением от достигнутой границы внутрь помещения. Альтернативным вариантом учета невозможности выхода объекта за пределы контролируемого помещения является проверка (при моделировании и последующем оценивании движения объекта) условия попадания его координат (3) на следующем шаге (x_{k+1} , y_{k+1}) в многоугольник D .

Если для всех $i = 1, K_w$ выполняется условие $A_i x_{k+1} + B_i y_{k+1} + C_i \geq 0$, где $A_i = (Y_{wj} - Y_{wi})$, $B_i = (X_{wi} - X_{wj})$, $C_i = X_{wi}(Y_{wi} - Y_{wj}) + Y_{wi}(X_{wj} - X_{wi})$ $j = i + 1$ при $i < K_w$ и $j = 1$ при $i = K_w$, то объект находится внутри контролируемой области. В противном случае надо принимать значения координат как на предыдущем шаге ($x_{k+1} = x_k$, $y_{k+1} = y_k$), а проекции скорости и ускорения равновероятно регенерировать.

Начальная оценка вектора состояния может задаваться исходя из априорной информации. Например, если нижняя грань контролируемого помещения представляет собой четырехугольник со сторонами, параллельными осям координат, то начальная оценка вектора состояния и ее ковариационная матрица будут иметь вид

$$\mathbf{x}_0 = [(x_{\max} + x_{\min})/2 \quad 0 \quad 0 \quad (y_{\max} + y_{\min})/2 \quad 0 \quad 0]^T,$$

$$\mathbf{P}_0 = \text{diag}\{(x_{\max} - x_{\min})^2/12, v_{\max}^2/3, a_{\max}^2/3, (y_{\max} - y_{\min})^2/12, v_{\max}^2/3, a_{\max}^2/3\}$$

где x_{\min} , x_{\max} , y_{\min} , y_{\max} – минимальные и максимальные границы четырехугольника по осям OX и OY ; $\mathbf{P}_0 = \text{diag}\{b_1, \dots, b_n\}$ – диагональная матрица с элементами на главной диагонали b_1, \dots, b_n , a_{\max} – максимальное ускорение объекта, $v_{\max} = a_{\max} T_m$ – максимальная скорость движения объекта.

Пусть наблюдения поступают последовательно от каждого датчика. Тогда обобщенную

модель наблюдений, описывающую в дискретном времени последовательность значений измеряемых расстояний $z_k = \hat{R}_k$, где n_k – номер датчика, измеряющего расстояние на k -ом шаге, определим уравнением вида

$$z_k = a_k [\mathbf{h}_k(\mathbf{x}_k) + v_k] + b_k [\mathbf{h}_k(\hat{\mathbf{x}}_{k|k-1}) + w_k] + c_k \mathbf{h}_k(\hat{\mathbf{x}}_{k|k-1}), \quad (4)$$

где a_k , b_k , c_k ($a_k + b_k + c_k = 1$) принимают значения 0 или 1 и отражают факт получения нормальной ($a_k = 1$), аномальной ($b_k = 1$) оценки расстояния или пропуска ($c_k = 1$) наблюдения. Величины a_k , b_k являются ненаблюдаемыми, а c_k – наблюдаемой. При фиксации пропуска наблюдения z_k экстраполируется, то есть доопределяется как

$$\hat{z}_{k|k-1} = \mathbf{h}_k(\hat{\mathbf{x}}_{k|k-1}),$$

где

$$\begin{aligned} \hat{\mathbf{x}}_{k|k-1} &= \mathbf{f}_k \hat{\mathbf{x}}_{k-1} = \\ &= [\hat{x}_{k|k-1}, \hat{v}_{k|k-1}, \hat{a}_{k|k-1}, \hat{y}_{k|k-1}, \hat{v}_{k|k-1}, \hat{a}_{k|k-1}]^T, \\ \mathbf{h}_k(\hat{\mathbf{x}}_{k|k-1}) &= R(\hat{\mathbf{x}}_{k|k-1}, \mathbf{x}_{p_{n_k}}) = \\ &= \sqrt{(\hat{x}_{k|k-1} - X_{p_{n_k}})^2 + (\hat{y}_{k|k-1} - Y_{p_{n_k}})^2 + (Z_w - Z_{p_{n_k}})^2}. \end{aligned}$$

В (4) v_k – шум нормального измерения ($M[v_k] = 0$, $M[v_k^2] = R_k = \sigma^2$), w_k – шум аномального измерения ($M[w_k] = 0$, $M[w_k^2] = S_k = \sigma_{Ra}^2$, $\sigma_{Ra} \gg \sigma_{Rn}$).

2. СИНТЕЗ АЛГОРИТМОВ ОЦЕНИВАНИЯ

Для оценивания вектора состояния будем использовать условно линейный по отношению к пропускам наблюдений фильтр [3]. Для него в случае пропуска наблюдения ($c_k = 1$) в качестве оценки вектора состояния и ее ковариационной матрицы принимаются экстраполированные значения

$$\hat{\mathbf{x}}_k = \hat{\mathbf{x}}_{k|k-1} = \mathbf{f}_k \hat{\mathbf{x}}_{k-1},$$

$$\mathbf{P}_k = \mathbf{P}_{k|k-1} = \mathbf{f}_k \mathbf{P}_{k-1} \mathbf{f}_k^T + \mathbf{g}_k \mathbf{g}_k^T.$$

Если наблюдение получено ($c_k = 0$), то осуществляется фильтрация вектора состояния с учетом возможности воздействия аномальных шумов

$$\begin{aligned} \hat{\mathbf{x}}_k &= \hat{\mathbf{x}}_{k|k-1} + \mathbf{W}_k (z_k - \hat{z}_{k|k-1}), \\ \mathbf{W}_k &= \mathbf{V}_k U_k^{-1}, \quad \mathbf{V}_k = (1 - p_b) \mathbf{P}_{k|k-1} \mathbf{H}_k^T, \\ U_k &= (1 - p_b) \times \\ &\times (\mathbf{H}_k \mathbf{P}_{k|k-1} \mathbf{H}_k^T + R_k) + p_b S_k, \\ \mathbf{P}_k &= \mathbf{P}_{k|k-1} - \mathbf{W}_k \mathbf{V}_k^T, \end{aligned} \quad (5)$$

где $p_b = p(b_k = 1)$ – вероятность получения аномального измерения;

$$\begin{aligned} \mathbf{H}_k &= [\partial R(\hat{\mathbf{x}}_{k|k-1}, \mathbf{x}_{p_{nk}}) / \partial x, 0, 0, \partial R \times \\ &\quad \times (\hat{\mathbf{x}}_{k|k-1}, \mathbf{x}_{p_{nk}}) / \partial y, 0, 0], \\ &\quad \partial R(\hat{\mathbf{x}}_{k|k-1}, \mathbf{x}_{p_{nk}}) / \partial x = \\ &= (\hat{x}_{k|k-1} - X_{p_{nk}}) / R(\hat{\mathbf{x}}_{k|k-1}, \mathbf{x}_{p_{nk}}), \\ &\quad \partial R(\hat{\mathbf{x}}_{k|k-1}, \mathbf{x}_{p_{nk}}) / \partial y = \\ &= (\hat{y}_{k|k-1} - Y_{p_{nk}}) / R(\hat{\mathbf{x}}_{k|k-1}, \mathbf{x}_{p_{nk}}). \end{aligned}$$

Если пренебречь различием во времени поступления наблюдений от разных датчиков, то можно формировать вектор измерений $\mathbf{z}_k = (\hat{R}_1, \dots, \hat{R}_{K_p})^T$, описываемый моделью вида [3]

$$\mathbf{z}_k = \mathbf{A}_k [\mathbf{h}_k(\mathbf{x}_k) + \mathbf{v}_k] + \mathbf{B}_k [\mathbf{h}_k(\hat{\mathbf{x}}_{k|k-1}) + \mathbf{w}_k] + \mathbf{C}_k \mathbf{h}_k(\hat{\mathbf{x}}_{k|k-1}), \quad (6)$$

где \mathbf{A}_k , \mathbf{B}_k , \mathbf{C}_k – диагональные матрицы порядка K_p , элементы которых a_{ki} , b_{ki} , c_{ki} ($a_{ki} + b_{ki} + c_{ki} = 1$), $i = \overline{1, K_p}$ принимают значения 0 или 1 и отражают результаты первичной обработки, то есть факт получения в i -ом компоненте вектора \mathbf{z}_k нормального измерения расстояния ($a_{ki} = 1$), обусловленного действием мощной помехи аномального расстояния ($b_{ki} = 1$) или пропуска ($c_{ki} = 1$) наблюдения. При фиксации пропуска наблюдения i -ый компонент вектора \mathbf{z}_k экстраполируется, то есть доопределяется i -ым компонентом вектора $\hat{\mathbf{z}}_{k|k-1} = \mathbf{h}_k(\hat{\mathbf{x}}_{k|k-1})$, где $\hat{\mathbf{x}}_{k|k-1} = \hat{\mathbf{x}}_{k-1}$, $\hat{\mathbf{z}}_{k|k-1} = (R_1(\hat{\mathbf{x}}_{k|k-1}), \dots, R_{K_p}(\hat{\mathbf{x}}_{k|k-1}))^T$.

В (6) \mathbf{v}_k – нормальный шум измерения при полезном наблюдении ($M[\mathbf{v}_k] = 0$, $M[\mathbf{v}_k \mathbf{v}_k^T] = \mathbf{R}_k = \text{diag}\{\sigma_{R_1}^2, \dots, \sigma_{R_n}^2\}$), \mathbf{w}_k – вектор отклонения аномального наблюдения от центра области возможных значений расстояний $\hat{\mathbf{z}}_{k|k-1}$ ($M[\mathbf{w}_k] = 0$, $M[\mathbf{w}_k \mathbf{w}_k^T] = \mathbf{S}_k = \text{diag}\{\sigma_{R_a}^2, \dots, \sigma_{R_a}^2\}$).

Тогда уравнения для условно линейного по отношению к пропускам наблюдений фильтра примут вид [3]

$$\hat{\mathbf{x}}_k = \hat{\mathbf{x}}_{k|k-1} + \mathbf{W}_k (\mathbf{z}_k - \hat{\mathbf{z}}_{k|k-1}), \quad (7)$$

$$\mathbf{W}_k = \mathbf{V}_k \mathbf{U}_k^+, \mathbf{P}_{k+1|k} = \mathbf{P}_{k|k-1} - \mathbf{W}_k \mathbf{V}_k^T,$$

где $^+$ – операция псевдообращения [9], необходимость использования которой обусловлена возможной вырожденностью матрицы \mathbf{U}_k . Выражения для матриц \mathbf{U}_k , \mathbf{V}_k имеют вид

$$\begin{aligned} \mathbf{V}_k &= \mathbf{P}_{k|k-1} \mathbf{H}_k^T \mathbf{P}_{A_k}, \\ \mathbf{U}_k &= \mathbf{U}_k^{(1)} + (1 - p_b) \mathbf{R}_k + p_b \mathbf{S}_k, \mathbf{U}_k^{(1)} = \|\| u_{kij}^{(1)} \|\|, \end{aligned}$$

где $u_{kii}^{(1)} = (1 - p_b) r_{kii}^{(1)}$, $u_{kij}^{(1)} = (1 - p_b)^2 r_{kij}^{(1)}$, $i \neq j$, $\|\| r_{kij}^{(1)} \|\| = \mathbf{H}_k \mathbf{P}_{k|k-1} \mathbf{H}_k^T \mathbf{P}_{A_k} = M[\mathbf{A}_k] = \text{diag}\{(1 - p_b), \dots, (1 - p_b)\}$, \mathbf{H}_k – матрица, i -ая строка которой вычисляется как $\mathbf{H}_{k_i} = [\partial R(\hat{\mathbf{x}}_{k|k-1}, \mathbf{x}_{p_i}) / \partial x, 0, 0, \partial R(\hat{\mathbf{x}}_{k|k-1}, \mathbf{x}_{p_i}) / \partial y, 0, 0]$ при $c_{ki} = 0$ и $\mathbf{H}_{k_i} = [0, 0, 0, 0, 0, 0]$ при $c_{ki} = 1$.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ОЦЕНИВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ

Два рассмотренных варианта фильтров сравнивались между собой. На рис. 1 и 2 для первого фильтра приведены соответственно пример оценивания траектории объекта и гистограмма распределения ошибок оценивания. Для второго фильтра аналогичная информация представлена на рис. 3 и 4. Истинные траектории объекта показаны сплошной линией, а их оценки – пунктиром. Положение датчиков отображено кружками. При этом были приняты следующие исходные данные: период опроса группы датчиков – 5 с, период опроса датчиков в группе – 50 мс,

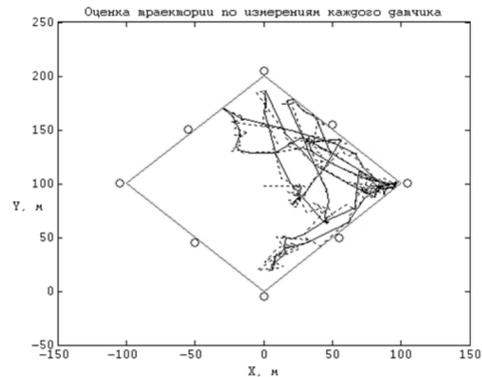


Рис. 1. Пример оценивания траектории объекта первым фильтром

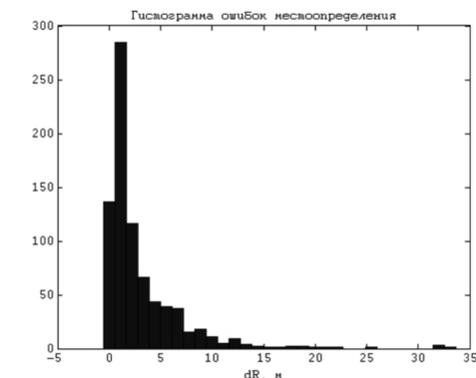


Рис. 2. Гистограмма распределения ошибок оценивания для первого фильтра

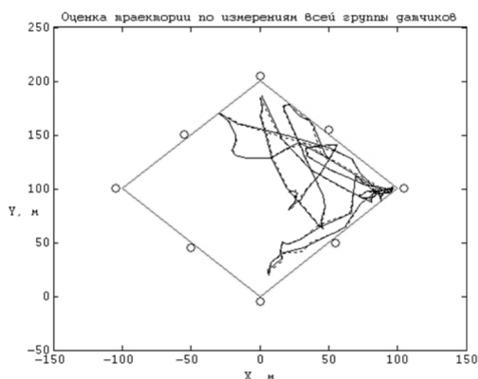


Рис. 3. Пример оценивания траектории объекта вторым фильтром

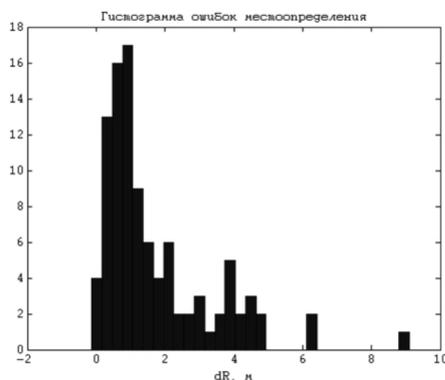


Рис. 4. Гистограмма распределения ошибок оценивания для второго фильтра

общее количество датчиков – 8, высота подъема датчиков над плоскостью движения объекта – 10 м, количество шагов опроса группы датчиков – 100, нормальная ошибка измерения расстояния – 1 м, аномальная ошибка измерения расстояния – 10 м, вероятность пропуска (неполучения) наблюдения каждым датчиков – $p(c_{k_i} = 1) = 0.05$, вероятность получения аномального наблюдения $p_b = p(b_{k_i} = 1) = 0.01$, $i = 1, K_p$, постоянная времени маневра $T_m = 1.5$ с, максимальное ускорение объекта – $a_{max} = 0.9$ м/с².

Кирсанов Эдуард Александрович – доктор технических наук, доцент, заместитель начальника кафедры Военного авиационного инженерного университета (г. Воронеж). Тел.: 89529525920. E-mail: ekir74@mail.ru.

Сирота Александр Анатольевич – доктор технических наук, профессор кафедры информационных систем ВГУ. Тел.: 89030306943. E-mail: sir@cs.vsu.ru.

Анализ полученных результатов свидетельствует о преимуществе второго фильтра, использующего наблюдения всей группы датчиков, несмотря на свойственную ему методическую ошибку модели наблюдения (6), обусловленную тем, что он не учитывает последовательный характер поступления наблюдений от разных датчиков. Указанные результаты оценивания эффективности приведены для частного случая в качестве иллюстрации работоспособности синтезированных алгоритмов. При изменении исходных данных, например при изменении количества датчиков, преимущество второго фильтра сохраняется.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рембовский А. М. Радиомониторинг: задачи, методы, средства / А. М. Рембовский, А. В. Ашихмин, В. А. Козьмин. – М.: Горячая линия – Телеком, 2006. – 492 с.
2. Аникин А. Определение местоположения мобильного объекта с помощью приемопередатчиков nanoLOC фирмы Nanotron / А. Аникин // Беспроводные технологии, 2007, № 3. – С. 38–41.
3. Радзиевский В. Г. Теоретические основы радиоэлектронной разведки / В. Г. Радзиевский, А. А. Сирота. – М.: Радиотехника, 2004. – 352 с.
4. Тихонов В. И. Статистический анализ и синтез радиотехнических устройств и систем / В. И. Тихонов, В. Н. Харисов. – М.: Радио и связь, 2004. – 608 с.
5. Радиотехнические системы / под ред. Ю. М. Казаринова. – М.: Высш. шк., 1990. – 496 с.
6. Зингер Р. А. Оценка характеристик оптимального фильтра для слежения за пилотируемой целью / Р. А. Зингер // Зарубежная радиоэлектроника, 1971, № 8. – С. 40–57.
7. Тихонов В. И. Марковские процессы / В. И. Тихонов, М. А. Миронов. – М.: Сов. радио, 1977. – 488 с.
8. Быков В. В. Цифровое моделирование в статистической радиотехнике / В. В. Быков. – М.: Сов. радио, 1971. – 328 с.
9. Гантмахер Ф. Р. Теория матриц / Ф. Р. Гантмахер. – М.: Наука, 1986. – 575 с.

Kirsanov E. A. – doctor of technical sciences, Associate Professor, the assistant of the chief of stand of Military air engineering university (c. Voronezh). Tel.: 89529525920. E-mail: ekir74@mail.ru.

Sirota A. A. – doctor of technical sciences, professor VSU information system department. Tel.: 89030306943. E-mail: sir@cs.vsu.ru.