

ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ, РАДІОЛОКАЦІЯ, РАДІОНАВІГАЦІЯ ТА ЕЛЕКТРОАКУСТИКА

УДК 621.396.96

АДАПТИВНИЙ АЛГОРИТМ ФІЛЬТРАЦІЇ ПАРАМЕТРОВ ДВИ- ЖЕННЯ МАНЕВРИРУЮЩОЇ ЦЕЛІ ПО ДАННИМ ІМПУЛЬСНО- ДОПЛЕРОВСЬКОЇ РЛС

*Неуймін А.С., аспірант; Жук С.Я., д.т.н., професор
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут», г. Київ, Україна*

AN ADAPTIVE FILTERING ALGORITHM OF MANEUVERING TARGET MOTION PARAMETERS DUE TO PULSE-DOPPLER RADAR

*Neuimin O.S., postgraduate, Zhuk S.Ya., Doctor of Science (Technics), professor
National Technical University of Ukraine "Kiev Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine*

Вступлення

Импульсно-доплеровские (ИД) РЛС измеряют помимо пространственных координат цели и ее радиальную скорость, что позволяет производить эффективную селекцию движущихся целей, а также их сопровождение [1]. В задачах вторичной обработки радиолокационной информации координаты движения цели, как правило, оцениваются в прямоугольной системе координат (СК). Оптимальный алгоритм фильтрации при известных параметрах маневра цели и ошибок измерений является расширенным фильтром Калмана (РФК) [2]. Однако в реальных условиях эти параметры, как правило, неизвестны. Поэтому важное практическое значение имеет синтез адаптивных алгоритмов траекторной фильтрации по данным ИД РЛС в прямоугольной СК. В статье для решения данной задачи применяется математический аппарат смешанных марковских процессов в дискретном времени [3].

Постановка задачи

Модель движение маневрирующей цели в декартовой СК описывается уравнением [4]

$$u_k = F_{j,k,k-1}u_{k-1} + G_{j,k}\omega_k, j = \overline{1, M}, \quad (1)$$

где u_k - вектор, включающий параметры движения цели по соответствующим осям декартовой СК; $F_{j,k,k-1}$, $G_{j,k}$, $j = \overline{1, M}$ - матрицы, соответствующие j -му виду маневра; ω_k - некоррелированный шум

возбуждения с нулевым математическим ожиданием и корреляционной матрицей $Q_{j,k}, j = \overline{1, M}$.

Линеаризованное по пространственным координатам уравнение измерения ИД РЛС можно представить в виде

$$u_k^u = h(u_k) + \mathcal{G}_k, \quad (2)$$

где $u_k^u = (x_k^u, y_k^u, z_k^u, \dot{r}_k^u)^T$ - вектор наблюдения, включающий измеренные координаты положения цели в декартовой системе координат и радиальную скорость; $h(u_k)$ - нелинейная векторная функция, значением которой является вектор истинных координат положения в декартовой СК и радиальной скорости цели $u_k^u = (x_k, y_k, z_k, \dot{r}_k)^T$; $\mathcal{G}_k = (\tilde{x}_k, \tilde{y}_k, \tilde{z}_k, \tilde{\dot{r}}_k)^T$ - вектор ошибок измерения положения цели и ее радиальной скорости с нулевым математическим ожиданием и корреляционной матрицей

$$R_k = \begin{bmatrix} \sigma_{x,k}^2 & \sigma_{xy,k}^2 & \sigma_{xz,k}^2 & 0 \\ \sigma_{xy,k}^2 & \sigma_{y,k}^2 & \sigma_{yz,k}^2 & 0 \\ \sigma_{xz,k}^2 & \sigma_{yz,k}^2 & \sigma_{z,k}^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \sigma_{\dot{r},k}^2 \end{bmatrix}.$$

Элементы матрицы R_k определяются по формулам [4]

$$\sigma_{x,k}^2 = \sigma_r^2 \cos^2 \beta_k \cos^2 \varepsilon_k + r_k^2 \sigma_\beta^2 \sin^2 \beta_k \cos^2 \varepsilon_k + r_k^2 \sigma_\varepsilon^2 \cos^2 \beta_k \sin^2 \varepsilon_k; \quad (3)$$

$$\sigma_{y,k}^2 = \sigma_r^2 \sin^2 \beta_k \cos^2 \varepsilon_k + r_k^2 \sigma_\beta^2 \cos^2 \beta_k \cos^2 \varepsilon_k + r_k^2 \sigma_\varepsilon^2 \sin^2 \beta_k \sin^2 \varepsilon_k; \quad (4)$$

$$\sigma_{z,k}^2 = \sigma_r^2 \sin^2 \varepsilon_k + r_k^2 \sigma_\varepsilon^2 \cos^2 \varepsilon_k; \quad (5)$$

$$\sigma_{xy,k}^2 = 0.5 \sin 2\beta_k (\sigma_r^2 \cos^2 \varepsilon_k - r_k^2 \sigma_\beta^2 \cos^2 \varepsilon_k + r_k^2 \sigma_\varepsilon^2 \sin^2 \varepsilon_k); \quad (6)$$

$$\sigma_{xz,k}^2 = 0.5 \cos \beta_k \sin 2\varepsilon_k (\sigma_r^2 - r_k^2 \sigma_\varepsilon^2); \quad (7)$$

$$\sigma_{yz,k}^2 = 0.5 \sin \beta_k \sin 2\varepsilon_k (\sigma_r^2 - r_k^2 \sigma_\varepsilon^2). \quad (8)$$

Для описания типа структуры модели движения цели (1), соответствующей определенному виду маневра, применяется переменная переключения $a_{j,k}, j = \overline{1, M}$. Она относится к классу цепей Маркова с матрицей вероятностей переходов $\Pi_{ij,k-1,k}, i, j = \overline{1, M}$, и начальными вероятностями $p_i(0), i = \overline{1, M}$, что позволяет учесть переходы между различными видами маневра объекта в случайные моменты времени.

Уравнения (1),(2) являются исходными для синтеза оптимального и квазиоптимального адаптивных алгоритмов траекторной фильтрации по данным ИД РЛС в прямоугольной СК. В рассмотренной постановке зада-

чи, наряду с оценкой неизвестных параметров движения объекта, должна решаться задача распознавания вида его маневра. Результаты распознавания маневра используются при формировании оценок вектора параметров движения объекта. Поэтому такие алгоритмы относятся к классу адаптивных.

Теоретическое обоснование

Наиболее полное решение задачи фильтрации состоит в определении апостериорной плотности вероятности (ПВ) фильтруемого процесса. На ее основе могут быть определены оценки неизвестных параметров для выбранных критериев оптимальности.

Непрерывнозначный u_k и дискретный $a_{j,k}$ компоненты совместно образуют смешанный марковский процесс в дискретном времени. Следуя методике синтеза, приведенной в монографии [3], можно показать, что оптимальный алгоритм вычисления апостериорной ПВ смешанного процесса описывается системой рекуррентных уравнений

$$W^*(u_k, a_{j,k}) = \sum_{i=1}^M \Pi_{ij,k,k-1} \int_{-\infty}^{\infty} \Pi(u_k | u_{k-1}, a_{j,k}) W(u_{k-1}, a_{j,k-1}) du_{k-1}; \quad (9)$$

$$W(u_k, a_{j,k}) = P(u_k^u | u_k) W^*(u_k, a_{j,k}) / P(u_k^u | U_{k-1}^u), \quad (10)$$

где $W^*(u_k, a_{j,k})$ - экстраполированная ПВ смешанного процесса; $W(u_k, a_{j,k})$ - апостериорная ПВ смешанного процесса; $P(u_k^u | u_k)$ - функция правдоподобия, определяемая на основе уравнения (2).

Уравнение (9) описывает оптимальный алгоритм экстраполяции на один шаг. С помощью соотношения (10) производится уточнение экстраполированной ПВ $W^*(u_k, a_{j,k})$ на основе полученных измерений и определяется апостериорная ПВ $W(u_k, a_{j,k})$.

Реализация оптимального алгоритма фильтрации встречает значительные трудности, которые обусловлены требованием высокой производительности вычислителя при выполнении численного интегрирования многомерных ПВ в реальном масштабе времени. Поэтому важное практическое значение имеет синтез квазиоптимального адаптивного алгоритма.

Используя метод гауссовской аппроксимации апостериорной ПВ и следуя методике синтеза, приведенной в [3], можно показать, что квазиоптимальный адаптивный алгоритм фильтрации параметров движения маневрирующей цели по данным ИД РЛС описывается уравнениями:

$$W_{j,k}^* = \sum_{i=1}^M \Pi_{ij,k,k-1} W_{i,k-1}; \quad (11)$$

$$u_{j,k}^* = \sum_{i=1}^M \Pi_{ij,k,k-1} W_{i,k-1} F_{j,k,k-1} u_{i,k-1} / W_{j,k}^*; \quad (12)$$

$$P_{j,k}^* = \sum_{i=1}^M [F_{j,k,k-1} \hat{P}_{j,k-1} F_{j,k,k-1}^T + G_{j,k} Q_{j,k} G_{j,k}^T + \quad (13)$$

$$+(F_{j,k,k-1} u_{i,k-1} - u_{j,k}^*)(F_{j,k,k-1} u_{i,k-1} - u_{j,k}^*)^T] \Pi_{ij,k,k-1} W_{i,k-1} / W_{j,k}^*; \quad (14)$$

$$K_{j,k} = P_{j,k}^* H_{j,k}^T (H_{j,k} P_{j,k}^* H_{j,k}^T + R_k)^{-1};$$

$$\hat{P}_{j,k} = P_{j,k}^* - K_{j,k} H_{j,k} P_{j,k}^*; \quad (15)$$

$$u_{j,k} = u_{j,k}^* + K_{j,k} (u_k^u - h(u_{j,k}^*)); \quad (16)$$

$$W_{j,k} = P(u_k^u | a_{j,k}, U_{k-1}^u) W_{j,k}^* / P(u_k^u | U_{k-1}^u), \quad (17)$$

где $u_{j,k}^*$, $u_{j,k}$, $P_{j,k}^*$, $\hat{P}_{j,k}$ — математические ожидания и корреляционные матрицы условных ПВ $W_j^*(u_k)$, $W_j(u_k)$; $K_{j,k}$ — коэффициент усиления j -го канала квазиоптимального устройства; H_k - линеаризованная матрица наблюдения, которая имеет вид

$$H_{j,k} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ \frac{\dot{x}_{j,k}^* r_{j,k}^* - \dot{r}_{j,k}^* x_{j,k}^*}{r_{j,k}^{*2}} & \frac{x_{j,k}^*}{r_{j,k}^*} & \frac{\dot{y}_{j,k}^* r_{j,k}^* - \dot{r}_{j,k}^* y_{j,k}^*}{r_{j,k}^{*2}} & \frac{y_{j,k}^*}{r_{j,k}^*} & \frac{\dot{z}_{j,k}^* r_{j,k}^* - \dot{r}_{j,k}^* z_{j,k}^*}{r_{j,k}^{*2}} & \frac{z_{j,k}^*}{r_{j,k}^*} \end{bmatrix}.$$

Условная ПВ $P(u_k^u | a_{j,k}, U_{k-1}^u)$ определяется по формуле:

$$P(u_k^u | a_{j,k}, U_{k-1}^u) = (2\pi)^{-1} (\det(D_{j,k}))^{-1/2} \exp\{0.5 \left\| u_k^u - h_{j,k}(u_{j,k}^*) \right\|_{D_{j,k}}\},$$

где $D_{j,k} = H_{j,k} P_{j,k}^* H_{j,k}^T + R_k$.

Квазиоптимальный алгоритм (12)–(18) является нелинейным. В отличие от оптимального алгоритма при его реализации вычисляются только первый и второй моменты условных апостериорных распределений. При этом он обеспечивает представление апостериорной ПВ $W(x_k)$ при переходе на следующий шаг фильтрации в виде суммы M гауссовских плотностей. Квазиоптимальный фильтр содержит M каналов, в основном сохраняет структуру оптимального устройства, и относится к классу устройств с обратными связями между каналами. В разработанном алгоритме, наряду с оценкой неизвестных параметров движения объекта, также вычисляются апостериорные вероятности вида его маневра.

Уравнения фильтрации непрерывного компонента (12)–(16) в каждом канале адаптивного устройства имеют сходство с уравнениями расширенного фильтра Калмана, применяемого в случае, когда вид маневра цели является известным. Алгоритм калмановской фильтрации по данным ИД

РЛС часто являється расходящимся на начальном участке его работы, что обусловлено нелинейным характером уравнения измерения радиальной скорости. Для устранения аналогичного эффекта расходимости в квази-оптимальном адаптивном алгоритме (11)-(17) используется эвристический метод [2], который заключается в увеличении дисперсии ошибки измерений радиальной скорости на величину, пропорциональную дисперсии ошибки экстраполяции радиальной скорости $p_{\dot{r},k}^*$ и ее дальнейшим экспоненциальным взвешиванием

$$R'_{4,4,k} = R_{4,4,k} + \gamma p_{\dot{r},k}^* \exp(-\alpha(k-1)), \quad (18)$$

где γ - коэффициент, регулирующий величину вносимой дополнительно составляющей дисперсии ошибки измерения; α - коэффициент затухания, что влияет на скорость уменьшения вносимой дополнительно составляющей дисперсии погрешности измерения; $p_{\dot{r},k}^*$ - дисперсия ошибки прогноза радиальной скорости, которая вычисляется по формуле

$$p_{\dot{r},k}^* = \sum_{j=1}^6 \left(\sum_{i=1}^6 H_{4,i} P_{i,j}^* \right) H_{j,4}^T.$$

Результаты моделирования

Анализ адаптивного алгоритма фильтрации (11)-(17) выполнен с помощью статистического моделирования на ЭВМ. Темп поступления данных полагался $T=5$ с. Ошибки измерения РЛС $\sigma_r=1000$ м, $\sigma_\varepsilon=1$ град., $\sigma_\beta=1$ град., $\sigma_{\dot{r}} = 15$ м/с. Для описания движения цели использовалась модель второго порядка по каждой оси прямоугольной СК. Вектор $u_k = (x_k, \dot{x}_k, y_k, \dot{y}_k, z_k, \dot{z}_k)^T$ включает координаты положения и скорости цели по соответствующим осям декартовой СК. Интенсивность маневра определялась среднеквадратическим отклонением (СКО) шума возбуждения ω_k , характеризующего случайное ускорения цели. Матрицы, входящие в модель движения (2), имеют вид:

$$F_{k,k-1} = \begin{bmatrix} 1 & T & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & T & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & T \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad G_k = \begin{bmatrix} T^2/2 & 0 & 0 \\ T & 0 & 0 \\ 0 & T^2/2 & 0 \\ 0 & T & 0 \\ 0 & 0 & T^2/2 \\ 0 & 0 & T \end{bmatrix},$$

а корреляционная матрица $Q_{j,k} = \text{diag}(\sigma_{a_j}^2, \sigma_{a_j}^2, \sigma_{a_j}^2)$.

Из множества траекторий движения объекта было выделено $M=3$ наиболее характерных вида: близкое к равномерному, медленный разворот

и маневр с максимальной перегрузкой. СКО шума возбуждения ω_k для различных типов движения равны: $\sigma_{a1} = 1\text{м/с}^2$, $\sigma_{a2} = 25\text{м/с}^2$, $\sigma_{a3} = 55\text{м/с}^2$.

Элементы матрицы $\Pi_{ij,k,k-1}$ равнялись 0,9 при $i = j$ и 0.05 при $i \neq j$, $j = \overline{1, M}$. В качестве оценки дискретного компонента выбирается гипотеза, апостериорная вероятность которой максимальна, а непрерывного — соответствующее условное апостериорное математическое ожидание. Сформированная тестовая траектория длиной $k=1, \dots, 50$ на интервале $15 < k < 25$ включает второй вид движения, на интервале $35 < k < 45$ — третий, на остальных участках — первый. Испытания проводились по 100 реализациям.

На рис. 1 а,б непрерывными линиями показаны математические ожидания (МО) СКО ошибок прогноза положения и скорости цели $\bar{p}_{x,k}^{*1/2}$, $\bar{p}_{Vx,k}^{*1/2}$ по оси ОХ, рассчитанных адаптивным фильтром, штриховыми линиями — СКО фактических ошибок прогноза $\sigma_{x,k}^*$, $\sigma_{Vx,k}^*$ и пунктирными линиями — МО ошибок прогноза $m_{x,k}^*$, $m_{Vx,k}^*$, полученные методом Монте-Карло. СКО фактических ошибок прогноза положения цели $\sigma_{x,k}^*$, $\sigma_{Vx,k}^*$ хорошо согласуются с математическими ожиданиями СКО

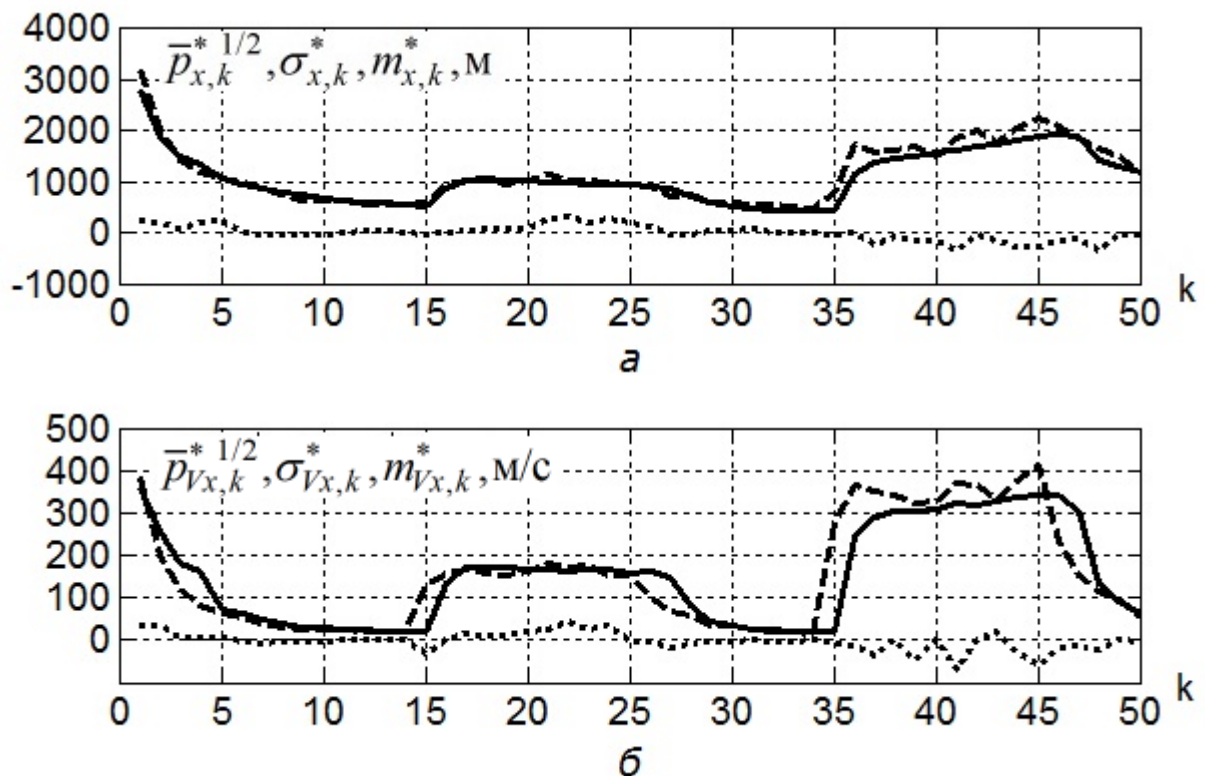


Рис.1.

ошибок прогноза $\bar{p}_{x,k}^{*1/2}$, $\bar{p}_{Vx,k}^{*1/2}$, рассчитанных фильтром, на основе уравнений (11)-(17), что свидетельствует о правильной работе алгоритма. При этом МО $m_{x,k}^*$, $m_{Vx,k}^*$ фактических ошибок прогноза положения цели близки к нулю, что подтверждает свойство несмещенности оценки.

С целью оценки эффективности работы адаптивного алгоритма фильтрации на рис.2 а,б,в показаны: непрерывными линиями математические ожидания СКО ошибок измерения положения цели по осям прямоугольной системы координат $\bar{\sigma}_{x,k}^и$, $\bar{\sigma}_{y,k}^и$, $\bar{\sigma}_{z,k}^и$; штриховыми линиями МО СКО ошибок прогноза положения цели по осям прямоугольной системы координат $\bar{p}_{x,k}^{*1/2}$, $\bar{p}_{y,k}^{*1/2}$, $\bar{p}_{z,k}^{*1/2}$; пунктирными линиями МО СКО ошибок оценки положения цели по осям прямоугольной системы координат $\hat{p}_{x,k}^{-1/2}$, $\hat{p}_{y,k}^{-1/2}$, $\hat{p}_{z,k}^{-1/2}$. Как следует из полученных результатов, МО СКО ошибок

оценки положения цели $\hat{p}_{x,k}^{-1/2}$, $\hat{p}_{y,k}^{-1/2}$, $\hat{p}_{z,k}^{-1/2}$ носит равномерный характер и в

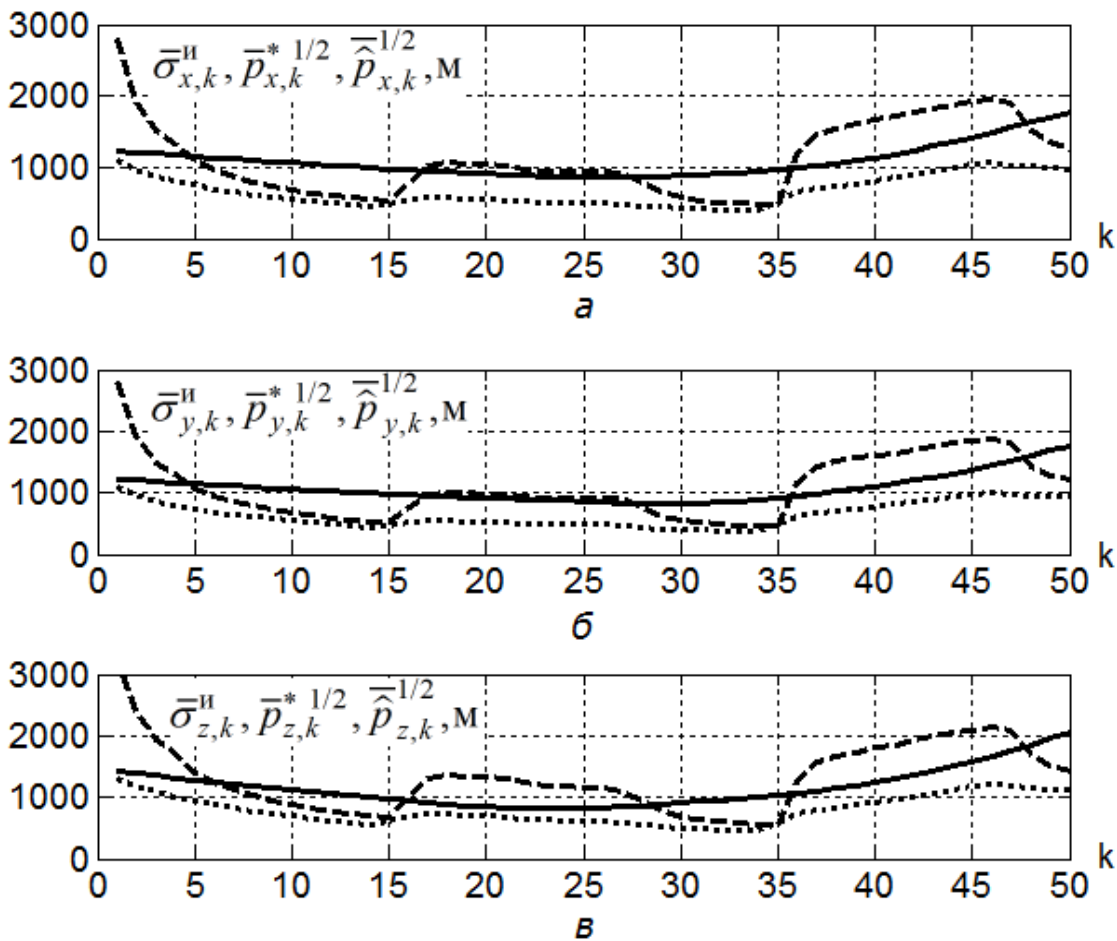


Рис.2.

1.5-2 раза меньше МО СКО ошибок измерения положения цели $\bar{\sigma}_{x,k}^i, \bar{\sigma}_{y,k}^i, \bar{\sigma}_{z,k}^i$. Таким образом, фильтр уточняет положение цели по полученным измерениям. На участках движения цели без маневра разработанный алгоритм обеспечивает высокую точность прогноза. На участках движения объекта с маневром МО СКО прогноза возрастает в 2-3 раза.

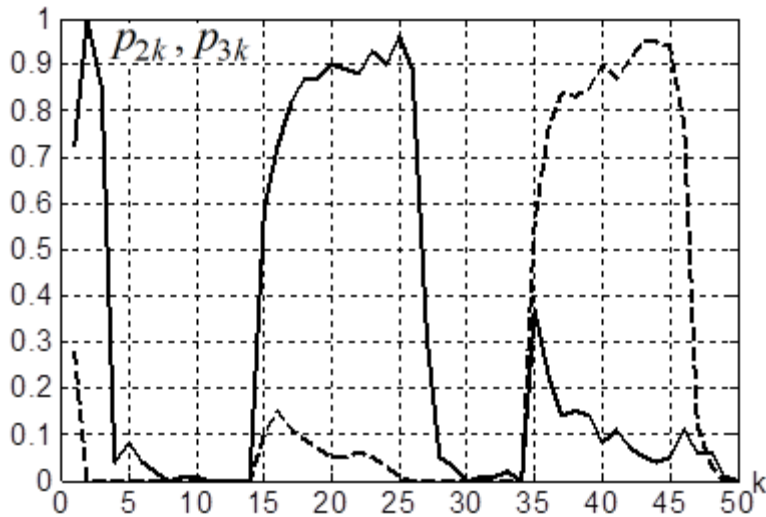


Рис.3.

На рис. 3 приведена зависимость вероятности правильного обнаружения маневров. Непрерывной линией изображена зависимость вероятностей распознавания движения второго вида P_{2k} , а штриховой – третьего вида P_{3k} , полученные методом Монте-Карло. Интервал, в течение которого принимается решение об изменении

характера движения, равен одному – трем тактам измерения положения объекта. Вероятность обнаружения маневров достигает 0.9.

Выводы

Синтезированный квазиоптимальный адаптивный алгоритм фильтрации параметров движения маневрирующей цели по данным импульсно-доплеровской РЛС является нелинейным, а реализующий его фильтр содержит M каналов и относится к классу устройств с обратными связями между каналами.

Для рассмотренного примера, СКО фактических ошибок положения цели хорошо согласуются с математическими ожиданиями СКО ошибок, рассчитанных адаптивным фильтром. Среднеквадратическое отклонение ошибок прогноза положения слабо маневрирующей цели в 2 и 4 раза меньше чем на участках движения с маневрами второго и третьего типа, а по скорости – в 7 и 17 раз соответственно. Математические ожидания СКО оценки координат объекта по осям прямоугольной системы носят равномерный характер и в 1.5-2 раза меньше МО СКО ошибок измерения положения цели. Разработанный алгоритм позволяет правильно распознавать виды движения с вероятностью 0.9. При этом интервал, в течение которого принимается решение об изменении характера движения, равен одному – трем тактам измерения параметров цели.

Литература

1. Farina A. Radar Data Processing. Introduction and Tracking. Vol. I / A. Farina, F.A. Studer. — New York: Wiley, 1985. — 325 p. — ISBN 0863800262.

2. Неуймін А. С., Жук С. Я. Устранение расходимости расширенного калмановского фильтра для сопровождения цели по данным импульсно-доплеровской РЛС / Вісник НТУУ «КПІ» Серія – Радіотехніка. Радіоапаратобудування. — 2012. — Вип.48. — С. 66 — 74.

3. Жук С. Я. Методы оптимизации дискретных динамических систем со случайной структурой / С. Я. Жук: [Монография]. — К.: НТУУ «КПІ», 2008. — 232 с.

4. Жук С. Я. Адаптивная фильтрация параметров движения маневрирующего объекта в прямоугольной системе координат / С. Я. Жук, В. И. Кожешкурт, В. В. Юзефович // Реєстрація, зберігання і обробка даних.— 2009.— Т.11.— №2.— С.12 — 24.

References

1. Farina A., Studer F. A. Radar Data Processing. Introduction and Tracking, vol. I. New York, Wiley, 1985, 325 p., ISBN 0863800262.

2. Neumin A. S., Zhuk S. Ya. Ustranenie raskhodimosti rasshirennoho kalmanovskogo filtra dlia soprovozhdeniia tseli po dannym impulsno-doplerovskoi RLS. Visnyk NTUU «KPI» Seriya – Radiotekhnika. Radioaparatabuduvannia, 2012, no. 48, pp. 66-74.

3. Zhuk S. Ya. Metody optimizatsii diskretnykh dinamicheskikh sistem so sluchainoi strukturoi. Kyiv, NTUU «KPI», 2008, 232 p.

4. Zhuk S. Ya., Kozheshkurt V. I., Yuzefovich V. V. Adaptivnaia filtratsiia parametrov dvizheniia manevriruiushchego obekta v priamougolnoi sisteme koordinat. Reiestratsiia, zberihannia i obrobka danykh, 2009, vol.11, no. 2, pp.12-24.

Неуймін О.С., Жук С.Я. Адаптивний алгоритм фільтрації параметрів руху цілі, що маневрує, за даними імпульсно-доплерівської РЛС. При вирішенні завдань вторинної обробки радіолокаційної інформації за даними імпульсно-доплерівської РЛС від маневру, який здійснює ціль, як правило, невідомий. Тому важливе практичне значення має синтез адаптивних алгоритмів траєкторної фільтрації. У статті на основі апарату змішаних марківських процесів у дискретному часі синтезовані оптимальний і квазіоптимальний адаптивні алгоритми фільтрації параметрів руху цілі, що маневрує, за даними імпульсно-доплерівської РЛС. Пристрої, що реалізують їх, відносяться до класу пристроїв із зворотними зв'язками між каналами. Аналіз отриманого квазіоптимального адаптивного алгоритму виконано на прикладі супроводження маневруючої цілі з трьома видами маневру за допомогою статистичного моделювання.

Ключові слова: супроводження маневруючої цілі, імпульсно-доплерівська РЛС, оптимальний і квазіоптимальний адаптивні алгоритми.

Неуймін А.С., Жук С.Я. Адаптивный алгоритм фильтрации параметров движения маневрирующей цели по данным импульсно-доплеровской РЛС. При решении задач вторичной обработки радиолокационной информации по данным импульсно-доплеровской РЛС вид маневра, который совершает цель, как правило, неизвестен. Поэтому важное практическое значение имеет синтез адаптивных алгоритмов траекторной фильтрации. В статье на основе аппарата смешанных марковских процессов в дискретном времени синтезированы оптимальный и квазиоптимальный адаптивные алгоритмы фильтрации параметров движения маневрирующей цели по данным импульсно-доплеровской РЛС. Реализующие их устройства относятся к классу устройств с обратными связями между каналами. Анализ полученного квазиопти-

мального адаптивного алгоритма выполнен на примере сопровождения маневрирующей цели с тремя видами маневра с помощью статистического моделирования.

Ключевые слова: сопровождение маневрирующей цели, импульсно-доплеровская РЛС, оптимальный и квазиоптимальный адаптивные алгоритмы.

Neuimin O.S., Zhuk S.Ya. An adaptive filtering algorithm of maneuvering target motion parameters due to Pulse-Doppler radar.

Introduction. Beside the spatial coordinates of the target, Pulse-Doppler radar measures its radial velocity, which allows effective selection of moving targets, as well as their tracking. In solving problems of secondary processing of radar data due to the Pulse-Doppler radar the parameters of maneuvers which the target makes are usually unknown. Therefore the synthesis of an adaptive trajectory filtering is of great practical importance. In this article optimal and quasi-optimal adaptive filtering algorithms of the maneuvering target motion parameters due to the Pulse-Doppler radar are synthesized on the base of a mixed Markov processes apparatus in discrete time.

Problem statement. The system model of maneuvering target in the cartesian coordinate system and the linearized measurement equation are presented.

Theoretical justification. In this section optimal and quasi-optimal adaptive filtering algorithms of the maneuvering target motion parameters are synthesized. Their implement device belongs to a class of devices with feedback between the channels. The algorithms also calculate posterior probabilities of the maneuvers types.

Simulation results. Analysis of the quasi-optimal adaptive algorithm is carried out as an example of tracking maneuvering targets with three types of maneuvers using the statistical modeling.

Conclusions. The actual target location errors are in good agreement with the errors calculated adaptive filter. The developed algorithm can correctly identify types of motion with a high probability.

Keywords: maneuvering target tracking, Pulse-Doppler radar, optimal and quasi-optimal adaptive algorithms.