

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ,
МЕТРОЛОГИЯ
И ИНФОРМАЦИОННО-
ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ
ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

INSTRUMENTATION,
METROLOGY AND
INFORMATION-
MEASURING DEVICES
AND SYSTEMS

УДК 621.396.96

DOI: 10.17212/1814-1196-2019-4-121-134

Алгоритм функционирования информационно-измерительной системы оценки координат беспилотных летательных аппаратов^{*}

У.Р. НАИМОВ^а, С.Н. ДАНИЛОВ^б

3920, РФ, г. Тамбов, ул. Советская, 106, Тамбовский государственный технический университет

^а umed87-88@mail.ru ^б plabz@mail.ru

Распространение использования беспилотных воздушных систем (БВС) в гражданских и военных операциях поставило множество проблем: от того, как обеспечить надежное слежение за беспилотным воздушным объектом, до того, как организовать и представить данные значимым образом. Концепции построения перспективных радиолокационных систем (РЛС) показывают, что это будут комплексы интегрального типа. Создание таких комплексов предполагает наличие в их составе информационной системы, состоящей из каналов, которые производят функционально завершённую процедуру обработки сигналов и информации в интересах решения конкретной задачи. Повышение качества обработки сигналов и информации (точности, помехоустойчивости, надёжности, целостности) в информационной системе возможно по двум взаимодополняющим друг друга направлениям. Первое – это совершенствование устройств и систем, входящих в состав радиоэлектронного комплекса, а также введение в его состав новых, имеющих более высокие характеристики качества функционирования. Второе – это разработка соответствующего алгоритмического обеспечения. В настоящее время в алгоритмах фильтрации обычная система РЛС использует модель, основанную на предположении, что сопровождаемая цель движется прямолинейно с постоянной скоростью. Если БПЛА не в состоянии маневрировать, то задача слежения решается просто – с помощью стандартных алгоритмов фильтрации. Тем не менее способность цели к маневрированию делает перечисленные алгоритмы неподходящими для точного слежения из-за несоответствия предполагаемой модели движения цели реальности.

Ключевые слова: фильтр, информационная система, маневр, функционирование, слежение, маневренность, быстродействующий фильтр, основной фильтр, неопределённость, стохастичность процессов, дестабилизирующие факторы, оптимальная оценка, низкая чувствительность

^{*} Статья получена 14 сентября 2019 г.

ВВЕДЕНИЕ

Из вышеизложенного вытекает необходимость иметь автоматическую систему слежения за воздушным объектом, состоящую из нескольких подсистем с различными структурами, назначение которых состоит в обеспечении работы в различных режимах при наличии естественных и организованных помех, возможных нарушений регулярного процесса сопровождения, резкого изменения поведения параметров сигнала вследствие непредвиденных причин.

Необходимость прогнозирования и отслеживания траектории движения беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) требует решать задачу беспрерывного высокоточного измерения их координат, в том числе и в условиях помех. Это возможно путем применения адаптивных следящих измерителей, в которых в зависимости от ситуации могут изменяться как структура систем, так и параметры следящих фильтров [1, 2].

Характерными особенностями указанной задачи и соответствующих следящих систем являются структурная неопределенность (необходимость смены структуры в случайные моменты времени) и стохастичность процессов в них. Обе эти особенности являются объективными характеристиками процесса функционирования сложных динамических систем, получивших название стохастических систем со сменой структуры в случайные моменты времени.

Пусть система слежения подвергается воздействию двух типов дестабилизирующих факторов: относительно медленных изменений отслеживаемых параметров и быстрых изменений [3].

1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Задачей анализа переходных процессов является получение алгоритмов функционирования следящих систем, оптимальных в том или ином смысле. В общем случае оптимальными являются алгоритмы, обеспечивающие высокую точность и устойчивость следящих систем, а также их низкую чувствительность к изменению условий функционирования при наличии неопределенности в поведении динамической системы (ДС) [4].

В настоящее время при вторичной обработке радиолокационной информации широкое применение получают оптимальные алгоритмы оценивания, базирующиеся на дифференциальных или разностных уравнениях, полученных на основе методов фильтрации.

При отслеживании маневренного БПЛА наилучшими являются алгоритмы, обеспечивающие высокую точность оценивания параметров относительного движения БПЛА и устойчивость к срыву слежения, а также имеющие низкую чувствительность к изменению условий функционирования при наличии неопределенности в поведении ДС.

Исходные модели выбираются в соответствии с задачами, решаемыми системами слежения и возможностями современных цифровых вычислительных машин (ЦВМ) с точки зрения скорости и объема памяти. Модель состояния для каждого маршрута должна обеспечивать оптимальную оценку всех

необходимых фазовых координат для современных и перспективных методов наведения и выдачи команд для БПЛА [5].

Как отмечалось в [6], характерной особенностью существующих измерителей является низкий порядок устойчивости следящей системы и одно-контурный принцип ее построения, при котором чувствительный дискриминатор, пеленгатор, формирователь оценок и исполнительное устройство составляют единый контур. В такой системе слежения требования к точности, скорости и устойчивости противоречат друг другу. Следовательно, невозможно одновременно обеспечить высокие точности, скорость и надежность отслеживания на достаточном интервале времени, особенно при интенсивном изменении координат БПЛА.

Если БПЛА совершает маневр, в ходе которого возникают производные отслеживаемых координат, порядок которых превышает порядок астатизма следящей системы, то это приводит к нарастанию динамических ошибок сопровождения. В результате при длительном маневре неизбежным будет нарушение отслеживания, а соответственно и срыв наведения. Снижение влияния маневра цели за счет повышения усиления в контурных измерителях приводит к существенному снижению запаса устойчивости.

В связи с отмеченными особенностями существующих следящих измерителей решение задачи эффективного сопровождения беспилотников, особенно обладающих сверхманевренными свойствами, становится весьма проблематичным.

В техническом плане сверхманевренные БПЛА предъявляют существенно более жесткие требования к точности, быстродействию и устойчивости их сопровождения систем слежения как при слежении за одиночными целями, так и при одновременном сопровождении нескольких объектов.

Качественное улучшение маневренных свойств БПЛА дает возможность получения таких маневров, которые позволяют как ухудшать показатели систем сопровождения, реализуя так называемые алгоритмические воздействия, так и улучшать показатели своих радиолокационных систем наблюдения, содействуя системе траекторного управления наблюдением самого БПЛА.

Примером первого направления является целенаправленное выполнение маневра, при котором достаточно сильно проявляется третья и более высокие производные изменения дальности, скорости и угловых координат, приводящие к срыву сопровождения. Выполнение таких маневров, существенно расширяющих возможности уклонения от управляемых средств поражения, невозможно без алгоритмов оценивания в РЛС относительных ускорений и их производных. Возможность сброса скорости до околонулевых значений и зависание в воздухе также приводит к срыву сопровождения сверхманевренных БПЛА импульсно-доплеровскими РЛС противоборствующей стороны.

При решении задач сопровождения интенсивно маневрирующих воздушных целей модели состояния должны учитывать интенсивные изменения координаты в дальномерном канале, пеленгов в азимутальной и угломестной плоскости φ_r и φ_B соответственно, угловой скорости линии визирования в угломерном канале. Использование скоростей обусловлено необходимостью учета маневров цели в процессе слежения. Например, выполнение такого ма-

невра, при котором становятся существенными третьи и более высокие производные координат, значительно расширяет возможности сопровождения цели.

Рассмотрим кинематические уравнения для метода наведения в наимыгоднейшую упрежденную точку. Для упрощения рассмотрим эти уравнения только для горизонтальной плоскости. Геометрия взаимного перемещения БПЛА и РЛС в этой плоскости показана на рис. 1.

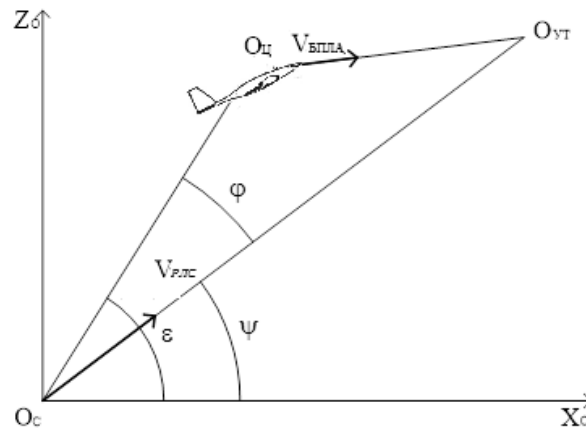


Рис. 1. Перемещения БПЛА и РЛС

Fig. 1. Movements of UAVs and RLS

На основе этого рисунка можно получить следующее выражение:

$$\varphi = \varepsilon - \psi, \quad (1)$$

где φ – пеленг БПЛА; ε – угловое положение линии визирования; ψ – курсовой угол РЛС.

Из выражения (1) следует, что

$$\dot{\varphi} = \omega_{\varphi} = \omega, \quad (2)$$

где ω_{φ} – угловая скорость изменения угла пеленга; $\omega = \dot{\varepsilon}$ – угловая скорость линии визирования.

При этом относительное движение БПЛА и РЛС определяется следующим уравнением кинематики [7]:

$$\dot{\omega} = -\frac{2V_{сб}}{D} \omega, \quad (3)$$

где D – дальность до цели; $V_{сб}$ – скорость сближения.

С учетом выражений (2) и (3) получим детерминированную часть модели состояния

$$\begin{cases} \dot{\varphi} = \omega, \\ \dot{\omega} = -\frac{2V_{сб}}{D}\omega. \end{cases} \quad (4)$$

В дискретной форме она будет иметь вид

$$\begin{cases} \varphi(k+1) = \varphi(k) + \omega(k)T, \\ \omega(k+1) = \left(1 - \frac{2V_{сб}(k)}{D(k)}T\right)\omega(k). \end{cases} \quad (5)$$

В матричной форме с учетом случайных воздействий модель состояния будет иметь вид

$$x(k+1) = \Phi^{(i)}(k) \cdot x(k) + \xi^{(i)}(k), \quad (6)$$

$$\Phi^{(i)}(k) = \begin{bmatrix} 1 & T \\ 0 & \left(1 - \frac{2V_{сб}(k)}{D(k)}T\right) \end{bmatrix},$$

где $x(k)$ – m -мерный вектор фазовых координат; $\xi^{(i)}(k)$ – последовательности статистически независимых между собой и во времени случайных величин с гауссовской плотностью вероятности.

Начальные измерители (формирователи наблюдения процесса) должны гарантировать формирование оценок и всех необходимых координат вектора состояния. Обоснованность действия этой гарантии можно проверить на основе критериев наблюдения. Из этой проверки следует, что в любой группе функционально связанных координат, подлежащих оцениванию, должны как минимум наблюдаться нулевые производные оцениваемых координат. В нашем случае это пеленги целей в горизонтальной и вертикальной плоскости, которые измеряются первичными измерителями РЛС.

Недостатком такой модели является, как уже говорилось, невозможность одновременно обеспечить точность и быстроту реагирования на изменение входного сигнала. Это хорошо видно на рис. 2, на котором изображена переходная характеристика такой следящей системы, где кривая 1 – входной сигнал в форме единичного скачка, кривая 2 – оценка входного сигнала, получаемая с помощью вышеописанного фильтра.

Из рисунка видно, что при достаточно высокой точности отслеживания наблюдаемого процесса в установившемся режиме скорость отработки быстроменяющегося входного сигнала невысока.

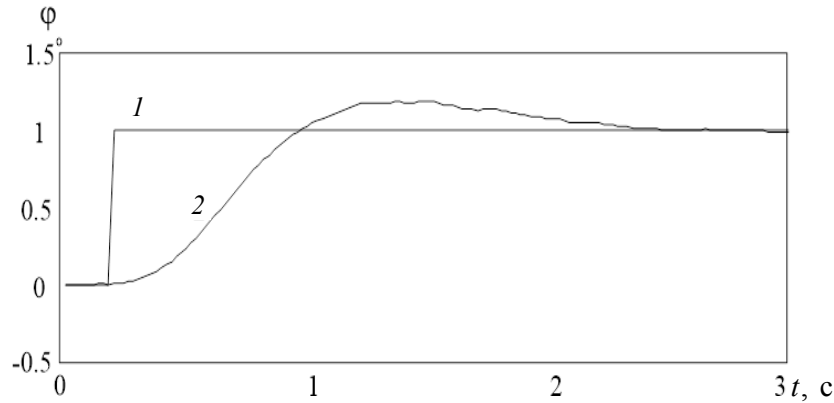


Рис. 2. Переходная характеристика для основной следящей системы

Fig. 2. A transient characteristic of the main tracking system

Это приводит к необходимости применения, в дополнение к модели (4), быстродействующего фильтра, который будет обеспечивать быструю отработку резкого изменения входного воздействия, возможно, и при меньшей точности.

Модель состояния для этого случая имеет следующий вид:

$$\begin{cases} \dot{\phi} = -\hat{\omega}_{\psi} + \xi_j(k), \\ \dot{\omega} = -\frac{2V_{сб}}{D} \omega. \end{cases} \quad (7)$$

Существенным элементом модели (7) является только первое уравнение, но для формального согласования ее с моделью (4) при синтезе (сохранении размерности 2×1) сохранено второе уравнение.

В дискретной форме модель (7) будет иметь вид

$$\begin{cases} \phi(k+1) = \phi(k) - \hat{\omega}_{\psi}(k)T + \xi_j(k), \\ \omega(k+1) = \left(1 - \frac{2V_{сб}(k)}{D(k)}T\right) \omega(k). \end{cases} \quad (8)$$

В матричной форме модель (7) будет иметь вид

$$x(k+1) = \Phi^{(i)}(k) \cdot x(k) + \xi^{(i)}(k), \quad (9)$$

$$\Phi^{(i)}(k) = \Phi(k) = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & \left(1 - \frac{2V_{сб}(k)}{D(k)}T\right) \end{bmatrix}.$$

На рис. 3, *а*, *б* изображены переходная характеристика $\varphi(t)$ следящей системы, синтезированной на основе модели (7), где линия 1 – входной сигнал в виде единичного скачка, линия 2 – оценка входного сигнала, получаемая с помощью вышеописанной следящей системы.

Хорошо видно (рис. 3, *а*), что такая следящая система быстро отрабатывает резкое изменение входного воздействия, но в то же время имеет большую установившуюся ошибку (рис. 3, *б*).

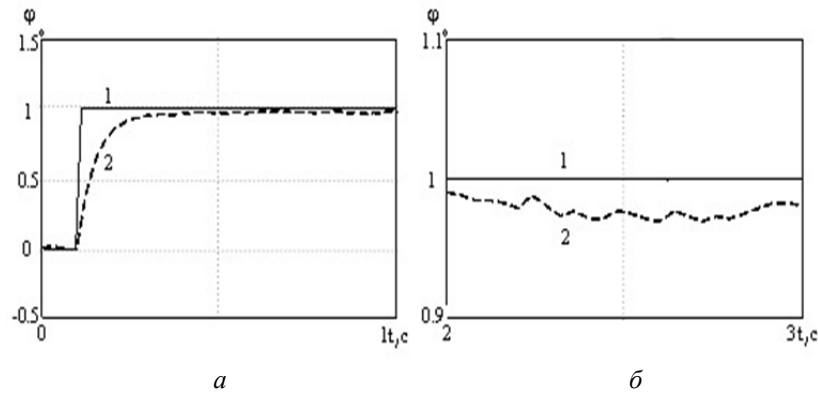


Рис. 3. Переходная характеристика для быстродействующей следящей системы

Fig. 3. A transient characteristic of the fast-acting tracking system

2. РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

Исходя из вышеизложенного для синтеза алгоритма функционирования системы автоматического сопровождения интенсивно маневрирующих воздушных целей в режиме обзора выбираем модель, состоящую из двух частей: фильтра, построенного на основе выражения (4), и быстродействующего фильтра на основе выражения (7). Окончательная оценка отслеживаемого параметра определяется на основе теории систем со случайной структурой. В соответствии с методом синтеза систем со случайной структурой получен алгоритм функционирования угломерного канала.

Оценки пеленга, угловой скорости линии визирования и нормального ускорения на выходе фильтра первой модели могут быть получены на основе следующих выражений:

$$\hat{\varphi}^{(1)}(k) = \hat{\varphi}^{(1)}(k-1) + \hat{\omega}^{(1)}(k-1)T + K^{(1)}(k-1)v^{(1)}(k-1); \quad (10)$$

$$\hat{\omega}^{(1)}(k) = \left(1 - \frac{2V_{сб}(k-1)}{D(k-1)}T\right)\hat{\omega}^{(1)}(k-1) + K^{(1)}(k-1)v^{(1)}(k-1); \quad (11)$$

соответствующие оценки для фильтра второй модели:

$$\hat{\varphi}^{(2)}(k) = \hat{\varphi}^{(2)}(k-1) - \hat{\omega}_{\psi}(k-1)T + K^{(2)}(k-1)v^{(2)}(k-1); \quad (12)$$

$$\hat{w}^{(2)}(k) = \left(1 - \frac{2V_{\text{сб}}(k-1)}{D(k-1)}T\right) \hat{w}^{(2)}(k-1) + K^{(2)}(k-1)v^{(2)}(k-1), \quad (13)$$

где v – невязки, вычисляются по формулам:

$$v^{(1)}(k) = z(k) - H\hat{x}^{(1)}(k/k-1); \quad (14)$$

$$v^{(2)}(k) = z(k) - H\hat{x}^{(2)}(k/k-1). \quad (15)$$

Априорная ковариационная матрица дисперсий ошибок определяется следующим образом:

– для первой модели:

$$\begin{aligned} P_{11}^{(1)}(k/k-1) &= P_{11}^{(1)}(k-1/k-1) + P_{12}^{(1)}(k-1/k-1)T + P_{21}^{(1)}(k-1/k-1)T + \\ &\quad + P_{22}^{(1)}(k-1/k-1)T^2; \\ P_{12}^{(1)}(k/k-1) &= \left(P_{12}^{(1)}(k-1/k-1) + P_{22}^{(1)}(k-1/k-1)T\right) \times \\ &\quad \times \left(1 - \frac{2V_{\text{сб}}(k-1)T}{D(k-1)}\right); \\ P_{21}^{(1)}(k/k-1) &= \left(P_{21}^{(1)}(k-1/k-1) + P_{22}^{(1)}(k-1/k-1)T\right) \times \\ &\quad \times \left(1 - \frac{2V_{\text{сб}}(k-1)T}{D(k-1)}\right); \\ P_{22}^{(1)}(k/k-1) &= P_{22}^{(1)}(k-1/k-1) \left(1 - \frac{2V_{\text{сб}}(k-1)T}{D(k-1)}\right)^2; \end{aligned} \quad (16)$$

– для второй модели:

$$\begin{aligned} P_{11}^{(2)}(k/k-1) &= P_{11}^{(2)}(k-1/k-1); \\ P_{12}^{(2)}(k/k-1) &= P_{12}^{(2)}(k-1/k-1) \left(1 - \frac{2V_{\text{сб}}(k-1)T}{D(k-1)}\right); \\ P_{21}^{(2)}(k/k-1) &= P_{21}^{(2)}(k-1/k-1) \left(1 - \frac{2V_{\text{сб}}(k-1)T}{D(k-1)}\right); \\ P_{22}^{(2)}(k/k-1) &= P_{22}^{(2)}(k-1/k-1) \left(1 - \frac{2V_{\text{сб}}(k-1)T}{D(k-1)}\right)^2. \end{aligned}$$

Далее определяем апостериорную ковариационную матрицу дисперсий ошибок:

– для первой модели:

$$\begin{aligned} P_{12}^{(1)}(k/k) &= P_{12}^{(1)}(k/k-1) - P_{12}^{(1)}(k/k-1)K_{11}^{(1)}(k); \\ P_{11}^{(1)}(k/k) &= P_{11}^{(1)}(k/k-1) - P_{11}^{(1)}(k/k-1)K_{11}^{(1)}(k); \\ P_{21}^{(1)}(k/k) &= P_{21}^{(1)}(k/k-1) - P_{11}^{(1)}(k/k-1)K_{21}^{(1)}(k); \\ P_{22}^{(1)}(k/k) &= P_{22}^{(1)}(k/k-1) - P_{12}^{(1)}(k/k-1)K_{21}^{(1)}(k); \end{aligned} \quad (17)$$

– для второй модели:

$$\begin{aligned} P_{11}^{(2)}(k/k) &= P_{11}^{(2)}(k/k-1) - P_{11}^{(2)}(k/k-1)K_{11}^{(2)}(k); \\ P_{12}^{(2)}(k/k) &= P_{12}^{(2)}(k/k-1) - P_{12}^{(2)}(k/k-1)K_{11}^{(2)}(k); \\ P_{21}^{(2)}(k/k) &= P_{21}^{(2)}(k/k-1) - P_{11}^{(2)}(k/k-1)K_{21}^{(2)}(k); \\ P_{22}^{(2)}(k/k) &= P_{22}^{(2)}(k/k-1) - P_{12}^{(2)}(k/k-1)K_{21}^{(2)}(k). \end{aligned} \quad (18)$$

Ковариационные матрицы одношагового предсказания вектора наблюдений:

– для первой модели:

$$V_{11}^{(1)}(k) = P_{11}^{(1)}(k/k-1) + \sigma_{\varphi}^2; \quad (19)$$

– для второй модели:

$$V_{11}^{(2)}(k) = P_{11}^{(2)}(k/k-1) + \sigma_{\varphi}^2. \quad (20)$$

Коэффициенты усиления фильтров:

– для первой модели:

$$\begin{aligned} K_{11}^{(1)}(k) &= 1; \\ K_{21}^{(1)}(k) &= \frac{P_{21}^{(1)}(k/k-1)}{P_{11}^{(1)}(k/k-1)}; \end{aligned} \quad (21)$$

– для второй модели:

$$\begin{aligned} K_{11}^{(2)}(k) &= 1; \\ K_{21}^{(2)}(k) &= \frac{P_{21}^{(2)}(k/k-1)}{P_{11}^{(2)}(k/k-1)}. \end{aligned} \quad (22)$$

Гауссовская плотность вероятности невязки находится по выражениям:
– для первой модели:

$$N[v^{(1)}(k) | 0, V^{(1)}(k)] = \frac{1}{\sqrt{2\pi \cdot |V^{(1)}|}} \exp \left\{ -\frac{|v^{(1)}(k)|^2}{2 \cdot |V^{(1)}|} \right\}; \quad (23)$$

– для второй модели:

$$N[v^{(2)}(k) | 0, V^{(2)}(k)] = \frac{1}{\sqrt{2\pi \cdot |V^{(2)}|}} \exp \left\{ -\frac{|v^{(2)}(k)|^2}{2 \cdot |V^{(2)}|} \right\}. \quad (24)$$

Вероятности номеров структуры системы:

$$\begin{aligned} W^{(1)}(k) &= \frac{\pi(\theta(k)=1 | \theta(k-1)=1) N[v^{(1)}(k) | 0, V^{(1)}(k)] W^{(1)}(k-1)}{U(k)} + \\ &+ \frac{\pi(\theta(k)=1 | \theta(k-1)=2) N[v^{(2)}(k) | 0, V^{(2)}(k)] W^{(2)}(k-1)}{U(k)}; \\ W^{(2)}(k) &= \frac{\pi(\theta(k)=2 | \theta(k-1)=1) N[v^{(1)}(k) | 0, V^{(1)}(k)] W^{(1)}(k-1)}{U(k)} + \\ &+ \frac{\pi(\theta(k)=2 | \theta(k-1)=2) N[v^{(2)}(k) | 0, V^{(2)}(k)] W^{(2)}(k-1)}{U(k)}, \end{aligned} \quad (25)$$

где

$$\begin{aligned} U(k) &= \pi(\theta(k)=1 | \theta(k-1)=1) N[v^{(1)}(k) | 0, V^{(1)}(k)] W^{(1)}(k-1) + \\ &+ \pi(\theta(k)=1 | \theta(k-1)=2) N[v^{(2)}(k) | 0, V^{(2)}(k)] W^{(2)}(k-1) + \\ &+ \pi(\theta(k)=2 | \theta(k-1)=1) N[v^{(1)}(k) | 0, V^{(1)}(k)] W^{(1)}(k-1) + \\ &+ \pi(\theta(k)=2 | \theta(k-1)=2) N[v^{(2)}(k) | 0, V^{(2)}(k)] W^{(2)}(k-1). \end{aligned} \quad (26)$$

Результирующая оценка угловых координат:

$$\hat{\phi}(k) = \hat{\phi}^{(1)}(k) W^{(1)}(k) + \hat{\phi}^{(2)}(k) W^{(2)}(k);$$

$$\hat{\omega}(k) = \hat{\omega}^{(1)}(k) W^{(1)}(k) + \hat{\omega}^{(2)}(k) W^{(2)}(k).$$

Структурная схема алгоритма функционирования следящей системы представлена на рис. 4.

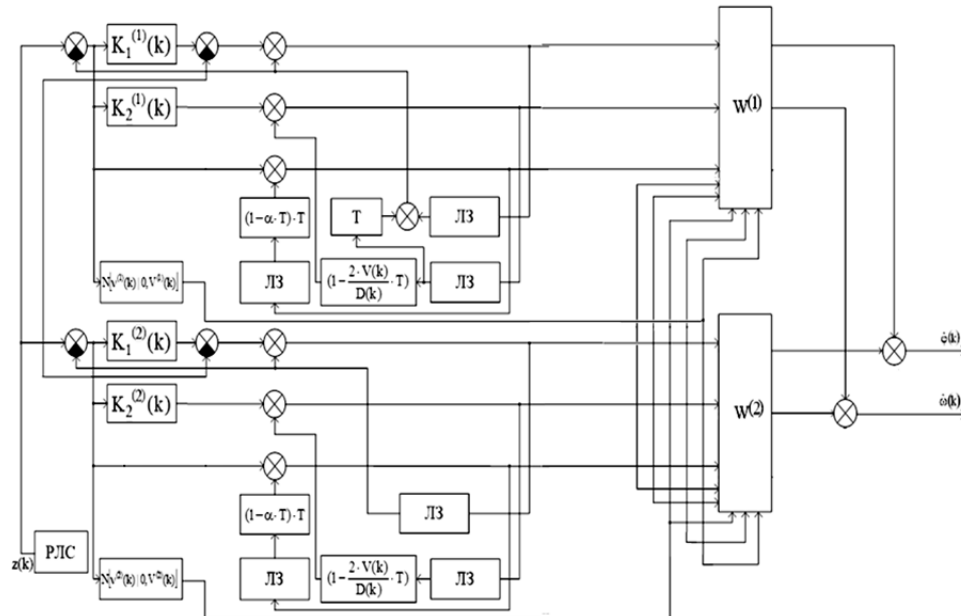


Рис. 4. Структурная схема алгоритма функционирования следящей системы

Fig. 4. A flow diagram of the tracking system functioning

Структура системы включает в себя два фильтра, вырабатывающих каждый свою парциальную оценку, и устройство весовой обработки, рассчитывающее общую оценку угловых координат.

ВЫВОДЫ

В результате проведенного исследования можно сделать следующие выводы.

Появление способности БПЛА к маневренному движению значительно повышает требования к следящим системам по точности и устойчивости их функционирования.

Это приводит к необходимости применения, в дополнение к модели (7), быстродействующего фильтра, который будет обеспечивать быструю обработку резкого изменения входного воздействия, возможно, и при меньшей точности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Концепция построения и структура перспективного информационно-измерительного комплекса / У.Р. Наймов, С.Н. Данилов, А.П. Пудовкин, Ю.Н. Панасюк, Н.А. Кольтюков // Вестник ТГТУ. – 2018. – Т. 24, № 1. – С. 30–36. – DOI: 10.17277/vestnik.2018.01.pp.030-036.
2. Пудовкин А.П., Данилов С.Н., Панасюк Ю.Н. Перспективные методы обработки информации в радиотехнических системах: монография. – СПб.: Экспертные решения, 2014. – 256 с.

3. Бухалев В.А. Основы автоматики и теории управления. – М.: ВВИА им. Н.Е. Жуковского, 2006. – 406 с.
4. Данилов С.Н., Пудовкин А.П., Шатовкин Р.Р. Алгоритм прогноза координат воздушных объектов для обеспечения функционирования системы направленной связи на основе систем со случайным изменением структуры // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2009. – Т. 15, № 3. – С. 530–539.
5. Панасюк Ю.Н., Пудовкин А.П., Данилов С.Н. Алгоритм дальномерного канала с учетом информации бортовых датчиков воздушных судов // Радиотехника. – 2013. – № 9. – С. 60–63.
6. Иванов А.В. Оценка влияния точности оценивания квазидальности на порог обнаружения приемных каналов спутниковых радионавигационных систем // Радиотехника. – 2003. – № 5. – С. 66–69.
7. Меркулов В.И., Перов А.И., Саблин В.Н. Радиолокационные измерители дальности и скорости. Т. 1 / под ред. В.Н. Саблина. – М.: Радио и связь, 1999.
8. Наимов У.Р., Данилов С.Н., Пудовкин А.П. Синтез канала слежения за параметрами случайного процесса в условиях их скачкообразного изменения // Радиотехника. – 2019. – № 2. – С. 84–89.
9. Наимов У.Р. Оценивание координат беспилотного летательного аппарата на основе модели маневренного движения // Вестник ТГТУ. – 2019. – Т. 24, № 2. – С. 236–240. – DOI: 10.17277/vestnik.2019.02.pp.236-240.
10. Максимов М.В., Горгонов Г.И. Радиоэлектронные системы самонаведения: учебное пособие. – М.: Радио и связь, 1982. – 304 с.
11. Меркулов В.И. Алгоритмы наведения ракет воздух–поверхность при полуактивном синтезировании апертуры антенны // Радиотехника. – 2002. – № 1. – С. 48–52.
12. Авиационные системы радиоперехвата. Ч. 1 / под ред. В.И. Меркулова. – М.: Радио и связь, 1998.
13. Казаков И.Е., Артемьев В.М., Бухалев В.А. Анализ систем случайной структуры. – М.: Физматлит, 1993. – 272 с.
14. Герасимов Е.С., Домбровский В.В. Динамическая сетевая модель управления инвестиционным портфелем при случайном скачкообразном изменении волатильностей финансовых активов // Автоматика и телемеханика. – 2003. – № 7. – С. 77–87.
15. Линцер Р.Ш., Ширяев А.Н. Статистика случайных процессов (нелинейная фильтрация и смежные вопросы). – М.: Наука, 1974. – 696 с.

Наимов Умеджан Розибекович, соискатель степени кандидата наук, Тамбовский государственный технический университет. Автор 14 научных работ. Область научных исследований – методы оптимизации радиолокационных следящих измерителей. E-mail: umed87-88@mail.ru

Данилов Станислав Николаевич, доктор технических наук, профессор, Тамбовский государственный технический университет. Автор более 80 наименований научных работ, из них 8 изобретений. Область научных исследований – методы оптимизации радиолокационных следящих измерителей. E-mail: plabz@mail.ru

Naimov Umedjan Rozibekovich, a candidate for a PhD degree, Tambov State Technical University (FSBEI HE). He is the author of 14 publications. His field of research is methods of radar servo meters optimization. E-mail: umed87-88@mail.ru

Danilov Stanislav Nikolaevich, D.Sc. (Eng.), professor, Tambov State Technical University (FSBEI HE). He is the author of more than 80 publications including 8 inventions. His field of research is methods of radar servo meters optimization. E-mail: plabz@mail.ru

An algorithm for information-measuring system functioning to assess coordinates of unmanned aerial vehicles*U.R. NAIMOV^a, S.N. DANILOV^b

Tambov State Technical University, 106 Sovetskaya Street, Tambov, 392000, Russian Federation

^a umed87-88@mail.ru ^b plabz@mail.ru**Abstract**

A widespread use of unmanned aerial systems (UAV) in civilian and military operations posed many problems: beginning with how to ensure reliable tracking of an unmanned aerial object to how organize and present data in a meaningful way. The concepts for constructing promising radar systems (radar) show that these will be complexes of the integral type. The creation of such complexes implies the presence in their structure of an information system consisting of channels that produce a functionally completed procedure for processing signals and information to solve a specific problem. Improving the quality of signal and information processing (accuracy, noise immunity, reliability, and integrity) in the information system is possible in two mutually complementary directions. The first is the improvement of the devices and systems that make up the electronic complex, as well as the introduction of new ones with higher performance characteristics. The second is the development of appropriate algorithmic support.

Keywords: filter, information system, maneuver, functioning, tracking, maneuverability**REFERENCES**

1. Naimov U.R., Danilov S.N., Pudovkin A.P., Panasyuk Yu.N., Koltyukov N.A. Kontseptsiya postroeniya i struktura perspektivnogo informatsionno-izmeritel'nogo kompleksa [The concept of construction and structure of a promising radio-electronic complex]. *Vestnik Tambovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Transactions of the Tambov State Technical University*, 2018, vol. 24, no. 1, pp. 30–36. DOI: 10.17277/vestnik.2018.01.pp.030-036.
2. Pudovkin A.P., Danilov S.N., Panasyuk Yu.N. *Perspektivnye metody obrabotki informatsii v radiotekhnicheskikh sistemakh* [Promising methods of information processing in radio engineering systems]. St. Petersburg, Ekspertnye resheniya Publ., 2014. 256 p.
3. Bukhalev V.A. *Osnovy avtomatiki i teorii upravleniya* [Fundamentals of automation and control theory]. Moscow, Zhukovsky Air Force Engineering Academy Publ., 2006. 406 p.
4. Danilov S.N., Pudovkin A.P., Shatovkin R.R. Algoritm prognoza koordinat vozdukhnykh ob"ektov dlya obespecheniya funktsionirovaniya sistemy napravlennoi svyazi na osnove sistem so sluchainym izmeneniyem struktury [Algorithm of forecasting air objects coordinates for maintenance directed communication system band on systems with random change of structure]. *Vestnik Tambovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Transactions of the Tambov State Technical University*, 2009, vol. 15, no. 3, pp. 530–539.
5. Panasyuk Yu.N., Pudovkin A.P., Danilov S.N. Algoritm dal'nomernogo kanala s uchetom informatsii bortovykh datchikov vozdukhnykh sudov [The algorithm ranging channel in view of the information onboard sensors aircraft]. *Radiotekhnika – Radioengineering*, 2013, no. 9, pp. 60–63.
6. Ivanov A.V. Otsenka vliyaniya tochnosti otsenivaniya kvazidal'nosti na porog obnaruzheniya priemnykh kanalov sputnikovyykh radionavigatsionnykh sistem [Evaluation of the effect of quasidality estimation accuracy on the detection threshold of receiving channels of satellite radio navigation systems]. *Radiotekhnika – Radioengineering*, 2003, no. 5, pp. 66–69.
7. Merkulov V.I., Perov A.I., Sablin V.N. *Radiolokatsionnye izmeriteli dal'nosti i skorosti*. T. 1 [Radar distance and speed meters. Vol. 1]. Moscow, Radio i svyaz' Publ., 1999.

* Received 14 September 2019.

8. Naimov U.R., Danilov S.N., Pudovkin A.P. Sintez kanala slezheniya za parametrami sluchainogo protsessa v usloviyakh ikh skachkoobraznogo izmeneniya [Synthesis of a tracking channel for parameters of a random process under conditions of their abrupt change]. *Radiotekhnika – Radioengineering*, 2019, no. 2, pp. 84–89.

9. Naimov U.R. Otsenivanie koordinat bespilotnogo letatel'nogo apparata na osnove modeli manevrennogo dvizheniya [Estimation of the coordinates of an unmanned aerial vehicle based on a model of maneuverable movement]. *Vestnik Tambovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Transactions of the Tambov State Technical University*, 2019, vol. 24, no. 2, pp. 236–240. DOI: 10.17277/vestnik.2019.02.pp.236-240.

10. Maksimov M.V., Gorgonov G.I. *Radioelektronnye sistemy samonavedeniya* [Radio-electronic homing systems]. Moscow, Radio i svyaz' Publ., 1982. 304 p.

11. Merkulov V.I. Algoritmy navedeniya raket vozdukh-poverkhnost' pri poluaktivnom sintezirovanii apertury anteny [Air-to-surface missile guidance algorithms for semi-active synthesis of the antenna aperture]. *Radiotekhnika – Radioengineering*, 2002, no. 1, pp. 48–52.

12. Merkulov V.I., ed. *Aviatsionnye sistemy radioupravleniya* [Aviation radio control systems. Pt. 1]. Moscow, Radio i svyaz' Publ., 1998.

13. Kazakov I.E., Artemiev V.M., Bukhalev V.A. *Analiz sistem sluchainoi struktury* [Analysis of systems with random structure]. Moscow, Fizmatlit Publ., 1993. 272 p.

14. Gerasimov E.S., Dombrovskii V.V. Dinamicheskaya setevaya model' upravleniya investitsionnym portfelem pri sluchainom skachkoobraznom izmenenii volatil'nostei finansovykh aktivov [Dynamic network model of managing investment portfolio under random stepwise changes in volatilities of financial assets]. *Avtomatika i telemekhanika – Automation and Remote Control*, 2003, no. 7, pp. 77–86. (In Russian).

15. Liptser R.Sh., Shiryaev A.N. *Statistika sluchainykh protsessov (nelineinaya fil'tratsiya i smezhnye voprosy)* [Statistics of random processes (non-linear filtering and related issues)]. Moscow, Nauka Publ., 1974. 696 p.

Для цитирования:

Наимов У.Р., Данилов С.Н. Алгоритм функционирования информационно-измерительной системы оценки координат беспилотных летательных аппаратов // Научный вестник НГТУ. – 2018. – № 4 (77). – С. 121–134. – DOI: 10.17212/1814-1196-2019-4-121-134.

For citation:

Naimov U.R., Danilov S.N. Algoritm funktsionirovaniya informatsionno-izmeritel'noi sistemy otsenki koordinat bespilotnykh letatel'nykh apparatov [An algorithm for information-measuring system functioning to assess coordinates of unmanned aerial vehicles]. *Nauchnyi vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Science bulletin of the Novosibirsk state technical university*, 2018, no. 4 (77), pp. 121–134. DOI: 10.17212/1814-1196-2019-4-121-134.