

## АЛГОРИТМ СОПРОВОЖДЕНИЯ С РЕКОНФИГУРАЦИЕЙ МОДЕЛИ\*

С. Н. Данилов, Р. А. Ефремов, Н. А. Кольтюков

*Кафедра «Радиотехника», ФГБОУ ВПО «ТГТУ»,  
resbn@jesby.tstu*

**Ключевые слова:** летательный аппарат; маневр; модель измерения; модель состояния; радиоэлектронная следающая система.

**Аннотация:** Предложен алгоритм обработки сигналов в бортовых радиоэлектронных следающих системах. Обоснован выбор моделей состояния и наблюдения, проведен имитационный эксперимент на ЭВМ и представлены результаты исследования алгоритмов функционирования следающей системы.

---

Алгоритмы обработки сигналов в бортовых радиоэлектронных следающих системах (БРЭСС) требуют знания априорной информации о входных воздействиях, под которыми понимают как полезные сигналы, так и помехи. Априорная информация о входных воздействиях учитывается в виде моделей соответствующих процессов. Степень сложности используемой модели ограничена сложностью практической реализуемости и т.д.

Во всем множестве сопровождаемых летательных аппаратов (ЛА) можно выделить два подмножества: неуправляемые и управляемые. Движение неуправляемого ЛА включает две составляющих: детерминированную и стохастическую (рис. 1).

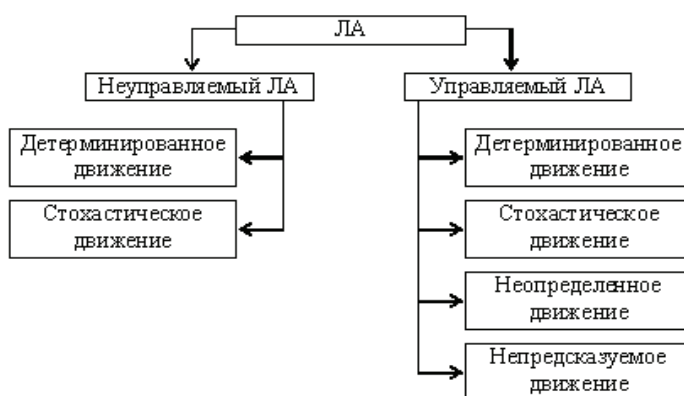


Рис. 1. Множество видов движения

---

\* По материалам доклада на конференции «Актуальные проблемы энергосбережения и энергоэффективности в технических системах».

В свою очередь, движение управляемого ЛА включает детерминированную, стохастическую, неопределенную и непредсказуемые составляющие.

Все эти виды движений требуют различных подходов при создании модели, учитывающих их специфику. Во множестве видов движения управляемого ЛА выделим целенаправленное и нецеленаправленное. Целенаправленное движение имеет целью оказаться в заданной области пространства в заданный момент времени. Нецеленаправленное движение, например, обеспечение стабильного положения относительно других ЛА, такой цели не имеет. Разделение движения ЛА на целенаправленное и нецеленаправленное позволяет обосновать новую методику создания моделей движения.

Все явления, которые нельзя отнести к процессу выработки целенаправленного движения, назовем обстановкой (рис. 2). Всякое изменение обстановки – событие. Обстановка может быть разделена на внешнюю и внутреннюю. К внешней обстановке относятся все явления, которые происходят вне самого объекта управления и всех устройств, осуществляющих управление.

События, относительно которых известно только, что они могут произойти, но неизвестно, где или когда, – непредсказуемые. Непредсказуемое событие отличается от случайного тем, что для него неизвестны даже вероятностные характеристики. События, относительно которых точно известно, где и когда они произойдут, – предсказуемые.

Если система слежения функционирует с качеством не ниже заданного при любой смене ожидаемых классов обстановки, то ее можно назвать приспособляющейся к обстановке. Для обеспечения приспособляемости достаточна классификация по принципу дихотомии, то есть, например, «маневр – отсутствие маневра», «активная помеха – отсутствие помехи» и т.п. Приспособляемость может быть достигнута многими способами: подстройкой параметров, изменением структуры и др.

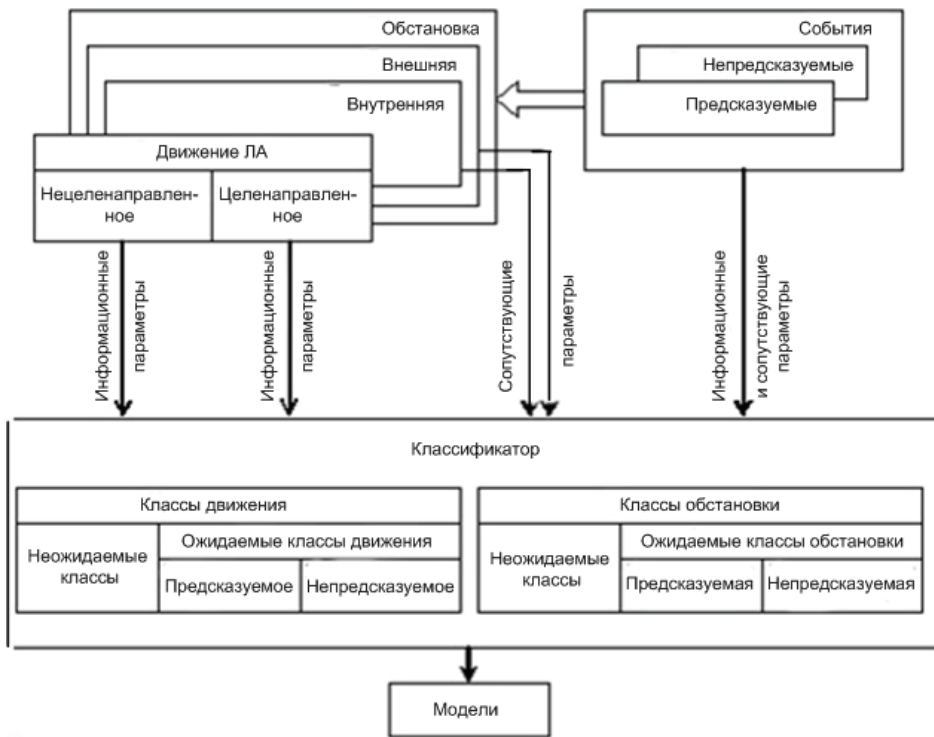


Рис. 2. Множество видов движения и обстановки

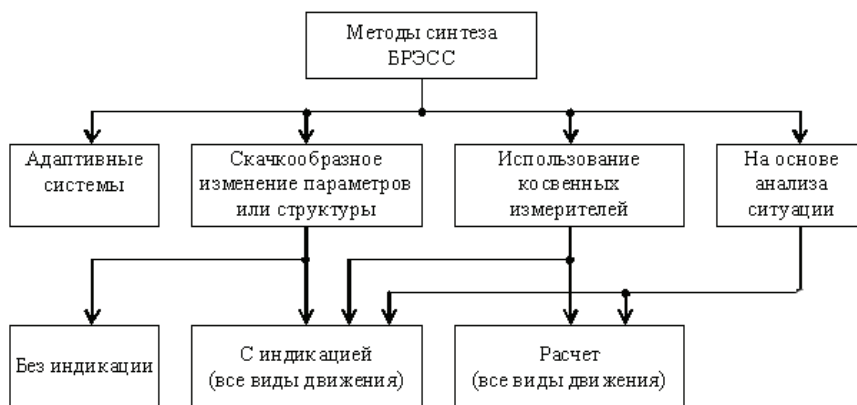


Рис. 3. Методы синтеза БРЭСС

На рисунке 3 представлены предлагаемые методы синтеза БРЭСС. Наиболее распространенными для моделирования БРЭСС являются двумерные и трехмерные модели [1]. В сложной информационной обстановке задача синтеза БРЭСС часто может быть решена только с помощью реконфигурации [2].

Рассмотрим задачу фильтрации для системы, описываемой уравнениями:

$$x_k = \Phi^{(i)} x_{k-1} + \Gamma^{(i)} \xi_{k-1}^{(i)}; \quad i = \overline{1,2}; \quad k = \overline{1,K};$$

$$z_k = Hx_k + \eta_k,$$

где  $i$  – индекс структуры системы;  $x_k = [\varphi_k, \omega_k]^T$  – вектор фазовых координат;  $z_k$  – вектор наблюдения;  $\xi_k$  и  $\eta_k$  – последовательности статистически независимых между собой и во времени случайных величин.

*Первый фильтр* строится на основе модели в непрерывной форме, имеющей вид:

$$\dot{\varphi} = -\alpha^{(1)}\varphi + \alpha^{(1)}n_\varphi; \quad \dot{\omega} = 0, \quad (1)$$

где  $n_\varphi$  – случайный процесс с известной характеристикой;  $\alpha$  – ширина спектра процесса.

При реализации данного фильтра в дискретной форме матрицы  $\Phi^{(1)}$  и  $\Gamma^{(1)}$ , соответственно, представляются как

$$\Phi^{(1)} = \begin{bmatrix} \exp(\alpha^{(1)}T) & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}; \quad (2)$$

$$\Gamma^{(1)} = \begin{bmatrix} 1 & \exp(\alpha^{(1)}T) & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad (3)$$

где  $T$  – шаг по времени.

*Второй фильтр* строится на основе более сложной модели, в непрерывной форме имеющей вид:

$$\dot{\omega} = -\alpha^{(2)}\omega + \alpha^{(2)}n_\omega; \quad \dot{\varphi} = \omega, \quad (4)$$

где  $n_\omega$  – случайный процесс с известной характеристикой.

Для второго фильтра матрицы  $\Phi^{(2)}$  и  $\Gamma^{(2)}$  в дискретной форме запишем:

$$\Phi^{(2)} = \begin{bmatrix} 1 & \frac{1}{\alpha^{(2)}}(1 - \exp(\alpha^{(2)}T)) \\ 0 & \exp(\alpha^{(2)}T) \end{bmatrix}; \quad (5)$$

$$\Gamma^{(2)} = \begin{bmatrix} 0 & T \frac{1}{\alpha^{(2)}}(1 - \exp(\alpha^{(2)}T)) \\ 0 & 1 - \exp(\alpha^{(2)}T) \end{bmatrix}. \quad (6)$$

Определим взвешенную оценку вектора фазовых координат:

$$\hat{x}_k = \sum_{j=1}^2 W_k^{(j)} \hat{x}_k^{(j)}, \quad j = \overline{1, 2}; \quad (7)$$

$$\text{где } W_k^{(j)} = \frac{\sum_{i=1}^2 \rho(j|i)(2\pi V_k^{(ij)})^{1/2} \exp\left\{\frac{1}{2} v_k^{(ij)2} V_k^{(ij)1}\right\} W_{k-1}^{(i)}}{\sum_{j=1}^2 \sum_{i=1}^2 \rho(j|i)(2\pi V_k^{(ij)})^{1/2} \exp\left\{\frac{1}{2} v_k^{(ij)2} V_k^{(ij)2}\right\} W_{k-1}^{(i)}}, \quad i, j = \overline{1, 2}, \quad (8)$$

здесь  $\hat{x}_k$  – безусловная оценка вектора состояния на выходе алгоритма;  $\hat{x}_k^{(j)}$  – частные оценки вектора состояния;  $W_k^{(j)}$  – веса частных оценок вектора состояния (апостериорные вероятности номеров структур);  $v_k^{(ij)}$  – вектор невязки;  $V_k^{(ij)}$  – ковариационная матрица одношагового предсказания вектора наблюдения,  $\rho$  – заданная вероятность перехода.

Зависимость оценки угловой координаты, входящей в состав вектора  $\hat{x}_k$ , от параметра времени  $k$  при воздействии на канал слежения БРЭСС по угловым координатам входного сигнала в виде «ступеньки» (кривая 4) имеет вид, приведенный на рис. 4.

Оценки на выходе фильтров Калмана, реализованных раздельно на основе моделей (1) и (4), представлены кривыми 2 и 3, соответственно.

В рассмотренном примере смена структур происходит как реакция на изменение невязки (внутренний критерий).

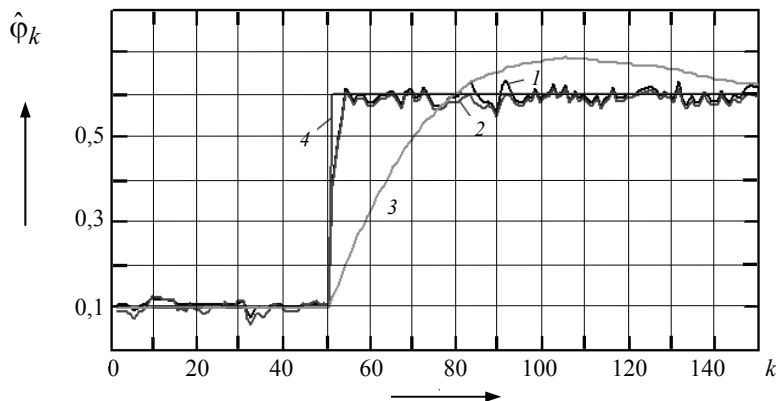


Рис. 4. Оценка угловой координаты

Таким образом, предлагаемый алгоритм способен обеспечить вполне удовлетворительное качество функционирования алгоритма сопровождения ЛА даже при довольно грубой оценке необходимых параметров его пространственной ориентации.

*Работа выполнена в рамках гранта РФФИ договор № НК 14-08-00523/14 от 06.03.14 г.*

#### *Список литературы*

1. Глистин, В. Н. Модель дальномерного канала автоматической системы управления воздушным движением в режиме посадки / В. Н. Глистин, Ю. Н. Панасюк, А. П. Пудовкин // *Вопр. соврем. науки и практики*. Университет им. В. И. Вернадского. – 2014. – Спец. вып. (52). – С. 27 – 31.

2. Князев, И. В. Исследование алгоритмов дальномерного канала системы управления воздушным движением / И. В. Князев, Ю. Н. Панасюк // *Вопр. соврем. науки и практики*. Университет им. В. И. Вернадского. – 2014. – Спец. вып. (52). – С. 78 – 82.

---

## **Model Reconfiguration Tracking Algorithm**

**S. N. Danilov, R. A. Efremov, N. A. Kolyukov**

*Department “Radio Engineering”, TSTU, Tambov*

**Keywords:** aircraft; maneuver; measurement model; state model; radio-electronic tracking system.

**Abstract:** We propose an algorithm of signal processing on onboard radio-electronic tracking systems. The choice of the models of state and tracking is justified; computer simulation was performed and the results of the study of the algorithms of functioning of the tracking system are described.

#### *References*

1. Glistin V.N., Panasyuk Yu.N., Pudovkin A.P. (2014) *Voprosy sovremennoi nauki i praktiki. Universitet im. V. I. Vernadskogo*, no. 52, pp. 27-31.

2. Knyazev I.V., Panasyuk Yu.N. (2014) *Voprosy sovremennoi nauki i praktiki. Universitet im. V. I. Vernadskogo*, no. 52, pp. 78-82.

---

## **Algorithmus der Begleitung mit der Modellumstrukturierung**

**Zusammenfassung:** Es ist den Algorithmus der Signalbearbeitung in den radioelektronischen Bordfolgesystemen vorgeschlagen. Es wird die Wahl der Modelle des Zustandes und der Beobachtung begründet, es ist das Imitationsexperiment auf den Elektronenrechnern durchgeführt und es sind die Ergebnisse der Untersuchung der Algorithmen des Funktionierens des Folgesystems dargelegt.

## Algorithme de la maintenance avec la reconfiguration du modèle

**Résumé:** Est proposé l'algorithme du traitement des signaux des systèmes asservis de bord radio-électroniques. Est argumenté le choix des modèles des états et de la surveillance, est réalisée une expérience de simulation d'ordinateur et sont présentés les résultats des études des algorithmes du fonctionnement du systèmes asservi.

---

**Авторы:** *Данилов Станислав Николаевич* – доктор технических наук, профессор кафедры «Радиотехника»; *Ефремов Роман Анатольевич* – ассистент кафедры «Радиотехника»; *Кольтюков Николай Александрович* – кандидат технических наук, доцент кафедры «Радиотехника», ФГБОУ ВПО «ТГТУ».

**Рецензент:** *Иванов Александр Васильевич* – доктор технических наук, профессор кафедры «Радиотехника», ФГБОУ ВПО «ТГТУ».

---