

КОНЦЕПЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ И СТРУКТУРА ПЕРСПЕКТИВНОГО ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА

У. Р. Наимов, С. Н. Данилов, А. П. Пудовкин,
 Ю. Н. Панасюк, Н. А. Кольтюков

*Кафедра «Радиотехника», ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия;
 resbn@jesby.tstu.ru*

Ключевые слова: вероятность; дальномерный канал; комплекс; модель; сопровождаемый объект.

Аннотация: Разработан алгоритм функционирования канала информационно-измерительной системы с учетом динамических характеристик сопровождаемого объекта. Обоснован выбор моделей состояния и наблюдения, проведено имитационное моделирование на ЭВМ и представлены результаты исследования алгоритма функционирования информационно-измерительной системы.

Анализ концепций построения перспективных радиоэлектронных комплексов показывает, что это будут комплексы интегрального типа [1, 2]. Создание таких комплексов предполагает наличие в их составе информационной системы, состоящей из каналов, которые проводят функционально завершённую процедуру обработки сигналов и информации в интересах решения конкретной задачи [3].

Очевидно, что вычисление осуществляется в два этапа (рис. 1): *прогноз* и *коррекция*.

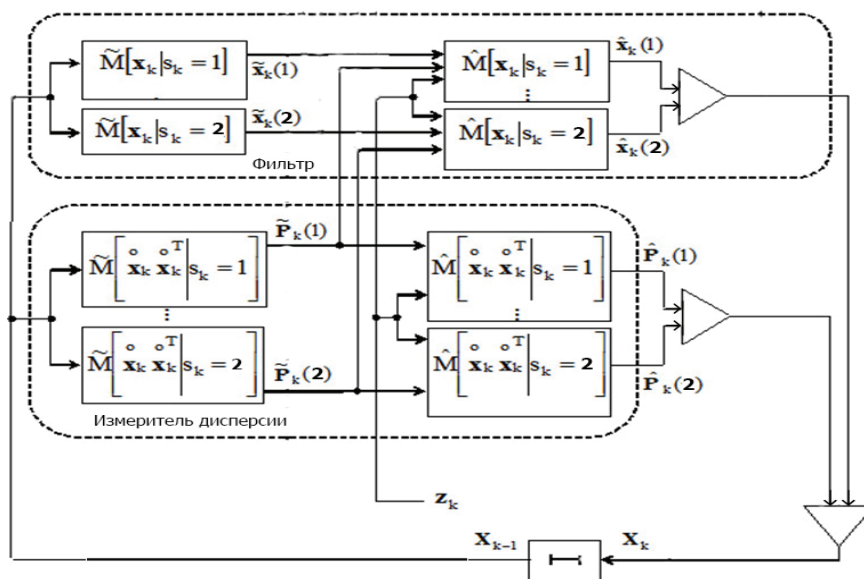


Рис. 1. Структурная схема алгоритма функционирования фильтра

При этом для каждого шага k и для каждого индекса s_k информационные характеристики $\hat{p}(s_k)$, $\hat{x}(s_k)$, $\hat{R}(s_k)$, определяемые на этапе коррекции, зависят от наблюдений z_k и r_k , и прогнозируемых характеристик: вероятность $\hat{p}(s_k)$ зависит от $\tilde{p}(s_k)$, $\tilde{x}(s_k)$, $\tilde{R}(s_k)$; оценка $\hat{x}(s_k)$ – от $\tilde{x}(s_k)$, $\tilde{R}(s_k)$; ковариация $\hat{R}(s_k)$ – от $\tilde{R}(s_k)$.

Известно, что величина невязки обусловлена величиной шумов измерения и степенью неточности модели (прогноза). Так как на вход в данном случае поступает один сигнал, можно заключить, что изменение невязок за счет шумов будет сходно по величине для обеих моделей. Различие состоит, в основном, в неточности прогноза. Следовательно, можно построить упрощенный алгоритм на основе тех же двух моделей. На рисунках 2, 3 показаны графики парциальных оценок, полученных на основе обычных калмановских фильтров на базе двух моделей, и результирующие оценки угловых координат фильтром упрощенной структуры соответственно, где сплошная линия – оценка фильтра с большей полосой (он резче реагирует на шумы), пунктир – оценка фильтра с меньшей полосой.

Таким образом, алгоритм, построенный на основе двух моделей методами теории систем со случайной структурой, и упрощенный алгоритм дают практически совпадающие оценки, что обусловлено наличием моделей с различными характеристиками, учитывающими неодинаковые типы изменения оцениваемого параметра и почти точным следованием поведения сигнала либо первой, либо второй моделей.

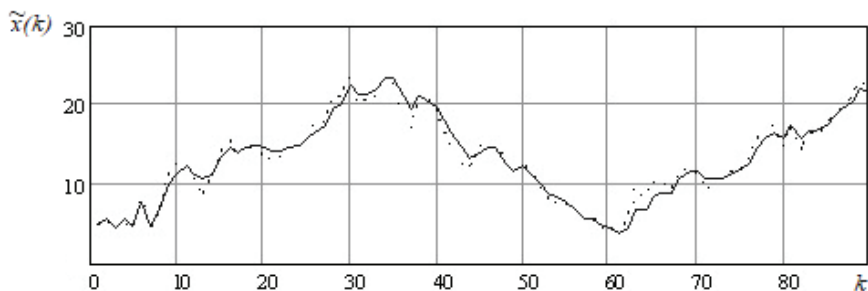


Рис. 2. Парциальные оценки, полученные на основе обычных калмановских фильтров на базе двух моделей

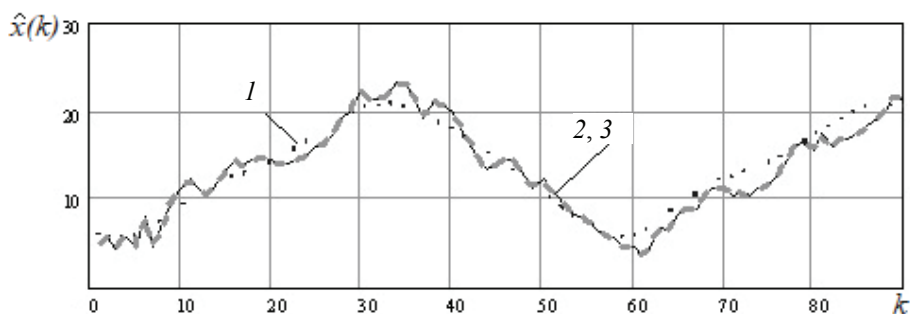


Рис. 3. Результирующие оценки угловых координат фильтром упрощенной структуры

Для обеспечения достаточно высокой точности оценки и экстраполяции отслеживаемых параметров и одновременно способности быстро реагировать на их изменения примем для модели 1 систему разностных уравнений, соответствующую гипотезе постоянства скорости изменения параметра $x(k)$:

$$\begin{cases} x(k+1) = x(k) + v(k)T; \\ v(k+1) = (1 - \alpha T)v(k) + \xi_1(k), \end{cases} \quad (1)$$

где $v(k)$ – скорость изменения $x(k)$; T – шаг по времени; α – постоянная времени относительного медленного изменения; $\xi_1(k)$ – последовательность случайных величин с гауссовской плотностью вероятности.

Известно, что в любой группе функционально связанных оцениваемых в пространстве состояний координат должны наблюдаться как минимум сами координаты (нулевые производные).

Для учета быстрых (скачкообразных) изменений параметров используем модель 2 с расширенной полосой:

$$\begin{cases} x(k+1) = x(k) + v(k)T; \\ v(k+1) = (1 - \beta T)v(k) + \xi_2(k), \end{cases} \quad (2)$$

где β – постоянная времени быстрого относительного изменения; $\xi_2(k)$ – последовательность случайных величин с гауссовской плотностью вероятности.

Обе модели могут быть представлены в матричной форме

$$x(k+1) = \mathbf{\Phi}^{(i)}(k)x(k) + \xi^{(i)}(k). \quad (3)$$

Модель наблюдения примет вид

$$z(k) = \mathbf{H}^{(i)}(k)x(k) + \eta^{(i)}(k); \quad i = \overline{1, M}; \quad k = 0, 1, \dots, \quad (4)$$

где i – индекс структуры системы; $x(k)$ – m -мерный вектор фазовых координат; $\mathbf{\Phi}^{(i)}(k)$, $\mathbf{H}^{(i)}(k)$ – переходные матрицы соответственно состояния и наблюдения; $z(k)$ – n -мерный вектор наблюдений; $\xi^{(i)}(k)$, $\eta^{(i)}(k)$ – последовательности статистически независимых между собой и во времени случайных величин с гауссовскими плотностями вероятности:

$$\xi^{(i)}(k) \sim N[\xi^{(i)}(k) | \mu^{(i)}(k), Q^{(i)}(k)]; \quad i = \overline{1, M}; \quad k = 0, 1, \dots; \quad (5)$$

$$\eta^{(i)}(k) \sim N[\eta^{(i)}(k) | m^{(i)}(k), R^{(i)}(k)]; \quad i = \overline{1, M}; \quad k = 0, 1, \dots \quad (6)$$

Здесь использовано следующее обозначение для гауссовской плотности вероятности r -мерной случайной величины α :

$$N[\alpha | m, D] = (2\pi)^{-r/2} |D|^{-1/2} \exp\left\{-\frac{1}{2}(\alpha - m)^T D^{-1}(\alpha - m)\right\}. \quad (7)$$

Следовательно, структура динамической системы в каждый момент времени k случайна и в процессе функционирования системы меняется в соответствии с вероятностным механизмом, определяемым последовательностью $\{\theta(k), k = 0, 1, \dots\}$. Задача состоит в оптимальном оценивании вектора фазовых координат $x(k)$ и номера структуры i по наблюдениям $z(k)$ при $k = 0, 1, \dots$

В соответствии с методом синтеза систем со случайной структурой [1], можно получить алгоритм функционирования системы.

Оценки параметров на выходе *первого* канала фильтра равны:

$$\hat{x}^{(1)}(k+1) = \hat{x}^{(1)}(k) + \hat{v}^{(1)}(k)T + K^{(1)}(k)v^{(1)}(k); \quad (8)$$

$$\hat{v}^{(1)}(k+1) = (1 - \alpha T)\hat{v}^{(1)}(k)T + K^{(1)}(k)v^{(1)}(k); \quad (9)$$

– *второго* канала:

$$\hat{x}^{(2)}(k+1) = \hat{x}^{(2)}(k) + \hat{v}^{(2)}(k)T + K^{(2)}(k)v^{(2)}(k); \quad (10)$$

$$\hat{v}^{(2)}(k+1) = (1 - \beta T)\hat{v}^{(2)}(k)T + K^{(2)}(k)v^{(2)}(k), \quad (11)$$

где $v^{(i)}$ – соответствующие невязки фильтра.

Априорная и апостериорная ковариационные матрицы дисперсий ошибок определяются для каждой модели на основе выражений, приведенных в [2]. Пусть система слежения подвергается воздействию двух типов дестабилизирующих факторов: относительно медленные изменения отслеживаемых параметров и быстрые изменения [1, 2]. Решить задачу достаточно точного слежения, в том числе и в условиях помех, возможно путем применения следящих измерителей, в которых могут быть использованы различные сочетания моделей состояния.

На рисунке 4, *a* представлено истинное подведение координаты $x(k)$ (кривая 1) и результирующая оценка $\hat{x}(k)$ (кривая 2), полученная при умеренной

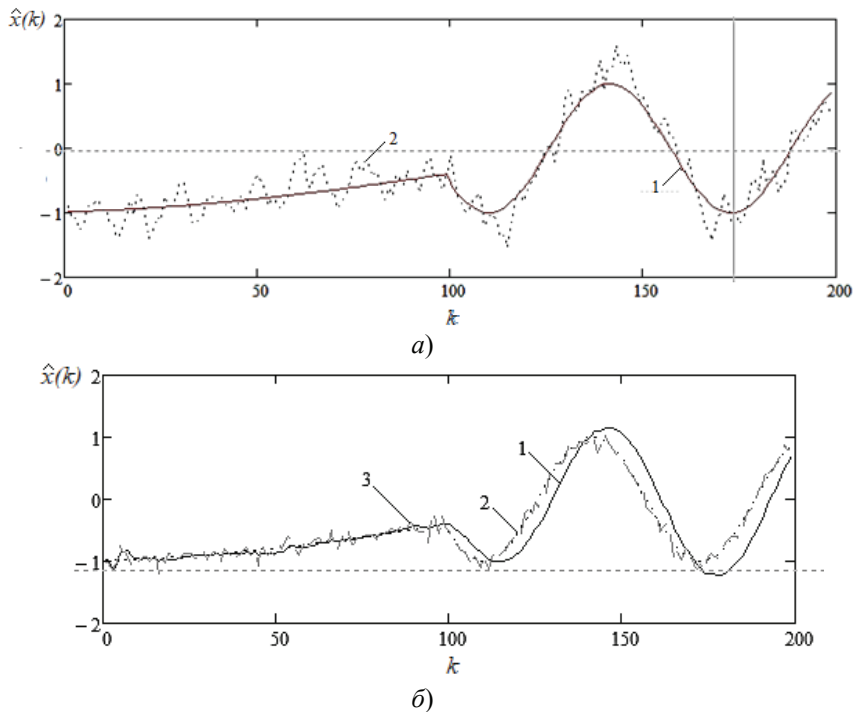


Рис. 4. Результирующая оценка параметра для фильтра со скачкообразным случайным изменением структуры (*a*) и обычного (*б*)

величине шума наблюдения. Очевидно, что при резком изменении характера поведения параметра точность оценки существенно не ухудшается в отличие от представленной на рис. 4, б, где для фильтра с нереконфигурируемой структурой показаны истинное подведение координаты $x(k)$ и вектор измерения $z(k)$ (кривые 1, 2) и результирующая оценка $\hat{x}(k)$ (кривая 3), полученная при умеренной величине шума наблюдения, а также истинное подведение координаты $x(k)$ с учетом шумов наблюдения.

Полученный алгоритм довольно сложен даже при двух используемых моделях. Это обусловлено необходимостью выполнить следующую последовательность вычислений на каждом шаге:

- вычислить первые два условных момента фазовых координат, условные невязки и ковариационные матрицы одношагового предсказания вектора наблюдений;
- используя результаты, вычислить условные парциальные оценки и соответствующие ковариационные матрицы случайной величины $x(k)$;
- вычислить апостериорные вероятности номеров структуры системы;
- определить безусловную оценку $\hat{x}(k)$ и соответствующую ковариационную матрицу ошибки оценивания вектора фазовых координат.

Следует отметить, что несмотря на линейность модели объекта и измерителя, алгоритм фильтрации нелинеен. Это объясняется зависимостью оценки вектора фазовых координат от случайной структуры. Однако реализация предлагаемого метода сопровождения вполне возможна на современных вычислительных средствах.

Работа выполнена на оборудовании центра коллективного пользования «Радиоэлектроника и связь» ФГБОУ ВО «ТГТУ».

Список литературы

1. Пудовкин, А. П. Перспективные методы обработки информации в радиотехнических системах : монография / А. П. Пудовкин, С. Н. Данилов, Ю. Н. Панасюк. – СПб. : Экспертные решения, 2014. – 256 с.
2. Чернышова, Т. И. Математическое моделирование при анализе метрологической надежности аналоговых блоков информационно-измерительных систем / Т. И. Чернышова, В. В. Третьяков // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2014. – Т. 20, № 1. – С. 42 – 49.
3. Иванов, А. В. Точностные характеристики навигационных комплексов, использующих контроль целостности спутниковых радионавигационных систем для реконфигурации / А. В. Иванов, Д. В. Комраков, С. П. Москвитин // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2015. – Т. 21, № 4. – С. 572 – 577. doi: 10.17277/vestnik.2015.04.pp.572-577
4. Прогнозирование квазигармонического сигнала в пространстве состояний / С. Н. Данилов [и др.] // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2016. – Т. 22, № 3. – С. 374 – 380. doi: 10.17277/vestnik.2016.03.pp.374-380
5. Пудовкин, А. П. Синтез алгоритмов радиоэлектронного комбинированного прицела / А. П. Пудовкин, Ю. Н. Панасюк, И. В. Князев // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2015. – Т. 21, № 3. – С. 413 – 417. doi: 10.17277/vestnik.2015.03.pp.413-417

The Concept of Construction and Structure of a Promising Radio-Electronic Complex

U. R. Naimov, S. N. Danilov, A. P. Pudovkin,
Yu. N. Panasyuk, N. A. Kolyukov

*Department of Radio Engineering, TSTU, Tambov, Russia;
resbn@jesby.tstu.ru*

Keywords: complex; probability; followed object; rangefinder channel; model.

Abstract: The paper presents an algorithm developed for the functioning of the channel of the information-measuring system, with reference to the dynamic characteristics of the tracked object. The choice of models of state and observation was substantiated; the simulation was carried out on a computer and the results of the investigation of the algorithm for the functioning of the information-measuring system were presented.

References

1. Pudovkin A.P., Danilov S.N., Panasyuk Yu.N. *Perspektivnye metody obrabotki informatsii v radiotekhnicheskikh sistemakh* [Perspective methods of information processing in radiotechnical systems], St. Petersburg: Ekspertnye resheniya, 2014, 256 p. (In Russ.)
2. Chernyshova T.I., Tret'yakov V.V. [Mathematical modeling in the analysis of metrological reliability of analog blocks of information-measuring systems], *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2014, vol. 20, no. 1, pp. 42-49. (In Russ., abstract in Eng.)
3. Ivanov A.V., Komrakov D.V., Moskvitin S.P. [Precision characteristics of navigation systems using the integrity monitoring of satellite radio navigation systems for reconfiguration], *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2015, vol. 21, no. 4, pp. 572-577, doi: 10.17277/ vestnik.2015.04.pp.572-577 (In Russ., abstract in Eng.)
4. Danilov S.N., Kol'tyukov N.A., Petrov S.V., Chernyshova T.I. [Prediction of a quasiharmonic signal in the state space], *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2016, vol. 22, no. 3, pp. 374-380. doi: 10.17277/vestnik.2016.03.pp.374-380 (In Russ., abstract in Eng.)
5. Pudovkin A.P., Panasyuk Yu.N., Knyazev I.V. [Synthesis of the algorithms of the radio-electronic combined sight], *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2015, vol. 21, no. 3, pp. 413-417. doi: 10.17277/vestnik.2015.03.pp.413-417 (In Russ., abstract in Eng.)

Konzeption von Bau und Struktur des perspektiven Informationsmesskomplexes

Zusammenfassung: Es ist der Algorithmus des Funktionierens des Kanals des Informationsmesssystems unter Berücksichtigung der dynamischen Charakteristiken des begleitenden Objektes entwickelt. Die Auswahl der Modelle des Zustandes und der Beobachtung ist begründet, simultane Computermodellierung ist durchgeführt und die Ergebnisse der Untersuchung des Algorithmus des Funktionierens des Informationsmesssystems sind vorgestellt.

Conception de la construction et structure du complexe de prospective, d'information et de mesure

Résumé: Est conçu l'algorithme du fonctionnement d'un canal du système d'information et de mesure en tenant compte des caractéristiques dynamiques de l'objet accompagné. Est justifié le choix des modèles de l'état et de la surveillance, est effectuée la simulation sur l'ordinateur et sont présentés les résultats de la recherche de l'algorithme du fonctionnement du système d'information et de mesure.

Авторы: *Наимов Умеджан Розибекович* – аспирант кафедры «Радиотехника»; *Данилов Станислав Николаевич* – доктор технических наук, профессор кафедры «Радиотехника»; *Пудовкин Анатолий Петрович* – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Радиотехника»; *Панасюк Юрий Николаевич* – кандидат технических наук, доцент кафедры «Радиотехника»; *Кольтюков Николай Александрович* – кандидат технических наук, доцент кафедры «Радиотехника», ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия.

Рецензент: *Иванов Александр Васильевич* – доктор технических наук, профессор кафедры «Радиотехника», ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия.