

## К вопросу о применении линейного фильтра Калмана при траекторной обработке радиолокационной информации

О.В. Саверкин<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФНПЦ АО «НПО «Марс», г. Ульяновск

### Аннотация

В статье представлен обзор особенностей обработки радиолокационной информации (РЛИ) с использованием фильтрации, основанной на трех моделях, описывающих различный характер движения объекта. Представлены результаты моделирования и описаны преимущества и недостатки каждого фильтра.

### Ключевые слова

Обработка радиолокационной информации, оценивание траекторных параметров, линейный фильтр Калмана.

### Введение

Применение современных стелс-технологий позволяет сделать летательные аппараты (ЛА) практически незаметными для существующих радиолокационных станций (РЛС). Кроме того, ЛА последнего поколения способны маневрировать таким образом, что неизбежны срывы сопровождения уже обнаруженных объектов. В сложившихся условиях представляется актуальной задача обнаружения и траекторного сопровождения воздушных целей. [1,3]

### Построение модели

Моделирование траекторной обработки состоит из нескольких этапов. В начале необходимо выбрать модель движения и построить на ее основе траекторию. Затем выполнить моделирование наблюдений от РЛС. Построить фильтр для обработки наблюдений и оценить полученные результаты.

Для описания движения была выбрана следующая модель:

$$\begin{aligned}\bar{x}_i &= \bar{x}_{i-1} + \bar{v}_{i-1}t_{i-1} \\ \bar{v}_i &= \bar{v}_{i-1} + \gamma_0 \bar{\sigma}_{i-1} \bar{\xi}_i\end{aligned}$$

где  $\bar{x}_i$  – вектор координат цели,

$\bar{v}_i$  – вектор скоростей,

$\sigma_{i-1}$  – матрица значений среднеквадратичных отклонений (СКО) скорости,

$\bar{\xi}_i$  – матрица значений случайных добавок с нормальным распределением, имеющая нулевое математическое ожидание и единичную дисперсию.

$t_i$  – время между соседними наблюдениями за объектом,

$\gamma$  – коэффициент относительного среднего изменения скорости цели за время обзора. [2]

Использование этой модели позволит симитировать движение объекта различной степени сложности: от прямолинейного равномерного до движения с быстрым ускорением и выполнением маневров. Таким образом, возможно будет оценить работу фильтра в различных условиях.

Построение наблюдений выполняется с помощью добавления шума, имеющего нормальное распределение, к истинным значениям положения объекта на каждом шаге. Важно отметить, что в рамках данной модели, осуществляется наблюдение только координат ЛА.

Существует множество алгоритмов фильтрации наблюдений от РЛС. Одним из наиболее известных является фильтр Калмана. Для проведения моделирования траекторной обработки радиолокационной информации (РЛИ) будет построен линейный фильтр Калмана, основанный на различных моделях движения, для обеспечения сопровождения объектов с различными маневренными возможностями.

Первая модификация фильтра имеет коэффициент  $\gamma = 0.02$  и предназначена для описания движения без маневрирования близкого к равномерному.

Вторая модификация наилучшим образом описывает движение объекта с плавными маневрами. Такому случаю соответствует коэффициент  $\gamma = 0.1$ .

Третий вариант построен на случай сопровождения ЛА, способного к выполнению сложных маневров и быстрому изменению скорости движения. Этот фильтр основан на модели движения с коэффициентом  $\gamma = 0.5$ .

Так же на каждом шаге фильтрации для каждой модификации фильтра выполняется построение строга, чтобы исключить из обработки наблюдения, имеющие сильное искажение или не относящиеся к сопровождаемому объекту. С приходом нового наблюдения задействуются все имеющиеся фильтры.

По результатам фильтрации отбирается оценка той модификации фильтра, в строб которой попало наблюдение. Таким образом, в случае изменения параметров движения объекта удастся избежать срыва сопровождения, так как для слежения будет выбран фильтр с наиболее подходящей моделью.

### Результаты модерования

Ниже представлены результаты моделирования сопровождения трех объектов с различными параметрами движения. На основе полученных данных можно сделать следующие выводы:

1. При равномерном движении объекта, наблюдения от него попадают в строб всех трех фильтров, однако наиболее близкими к истинным оказываются результаты первой модификации. Итоговая оценка формируется на основе этих данных (Рис. 1).

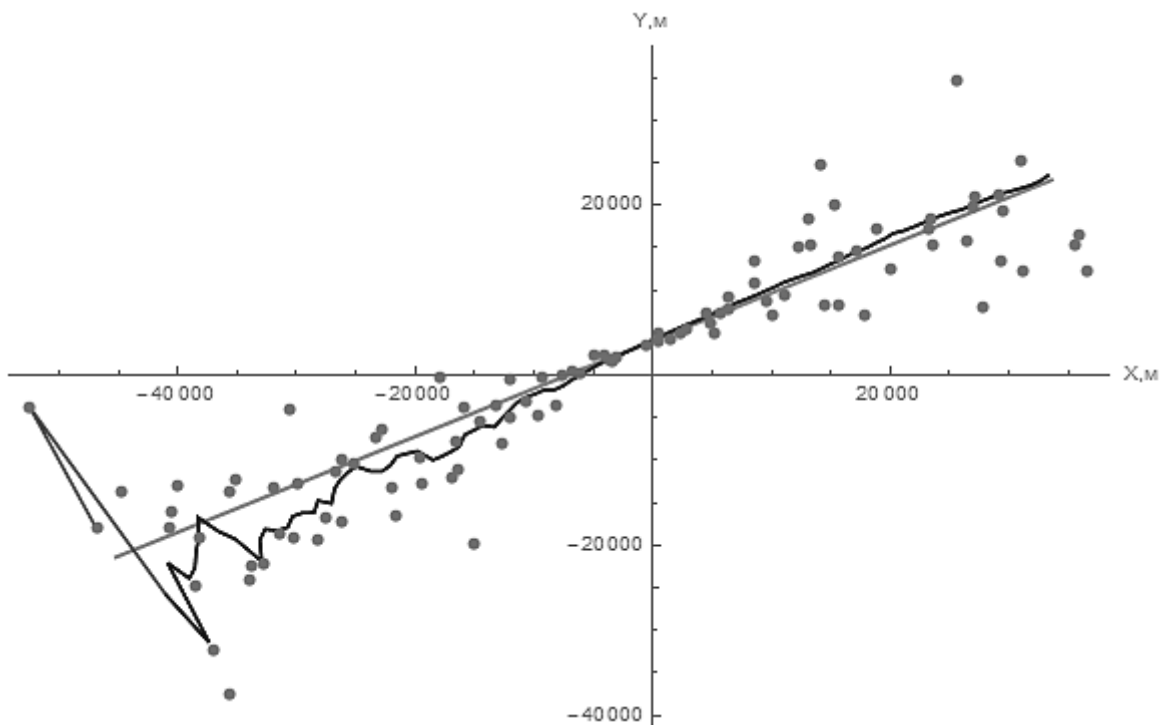
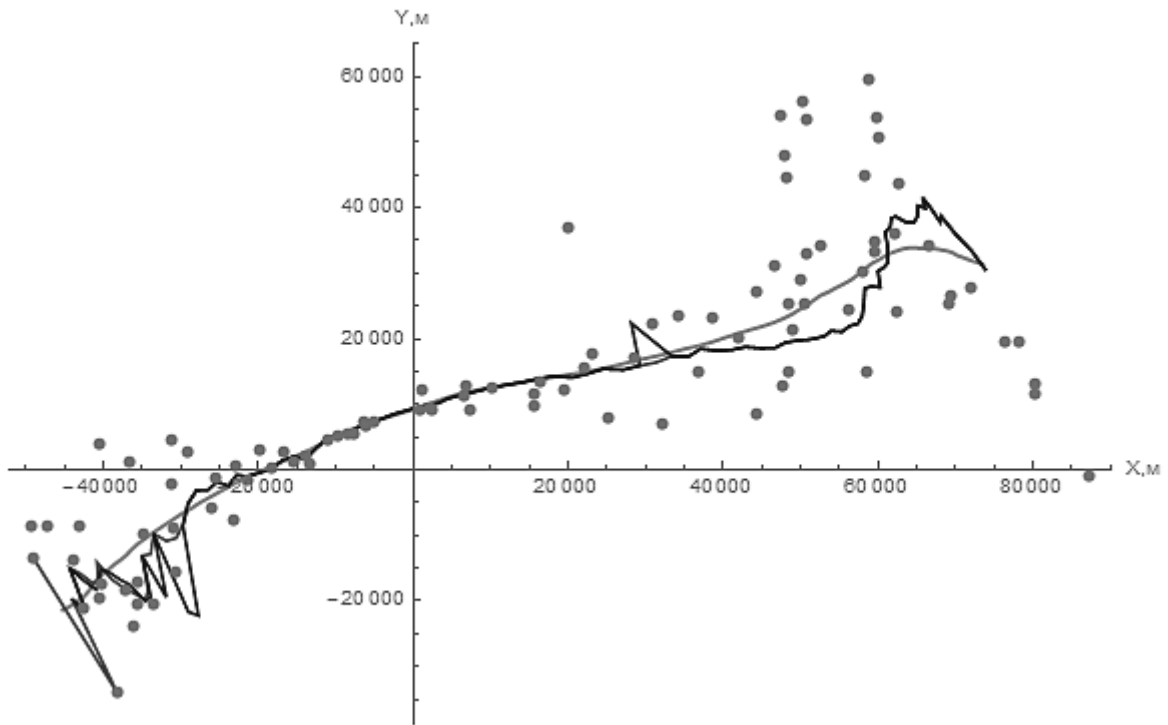


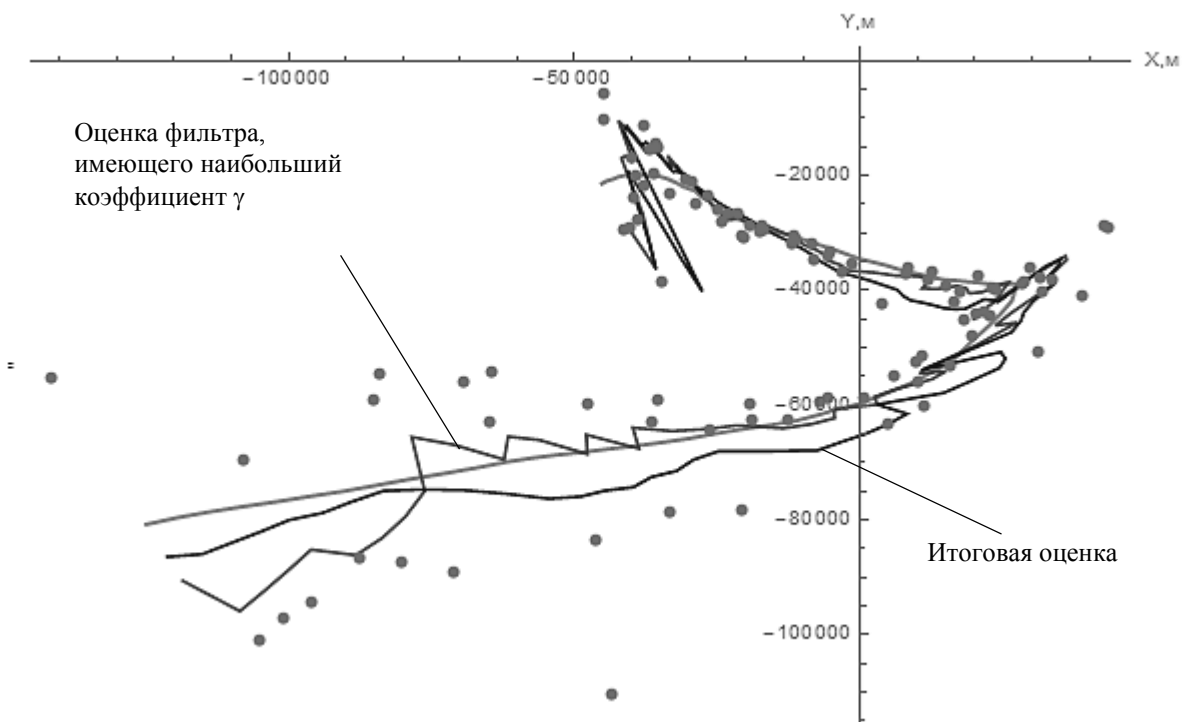
Рис. 1. Результаты фильтрации при равномерном движении

2. При движении объекта без резких маневров и скачкообразных изменений скорости в некоторых случаях отметки не попадают в строб фильтра, основанного на модели равномерного движения и возникают срывы сопровождения. Однако эти наблюдения оказываются в стробе фильтра второго типа. Он сопровождает объект на протяжении всего времени наблюдения с достаточной точностью. Третий фильтр дает менее точные результаты. Итоговая оценка формируется по данным первого и второго фильтра (Рис. 2).



**Рис. 2.** Результаты фильтрации при выполнении объектом плавного маневрирования

3. При высокоманевренном движении с резкими изменениями скорости фильтр первого типа быстро теряет сопровождение объекта и не восстанавливается в подавляющем большинстве случаев. Фильтр, основанный на модели движения с плавным маневрированием, показывает лучшую точность. Он имеет строб достаточного размера, чтобы не пропускать очередные отметки от цели. В случае если срыв все-таки имеет место, восстановление сопровождения происходит достаточно быстро. Именно для таких случаев предназначен фильтр третьего типа. При наименьшей точности он имеет наибольший строб, что исключает потерю отметок, относящихся к объекту. Эта особенность позволяет ему выполнять сопровождение даже при выполнении объектом нескольких маневров подряд, что позволяет избежать потерю цели. Итоговая оценка формируется по данным от второго и третьего фильтров (Рис. 3).



**Рис. 3.** Результаты фильтрации при выполнении объектом сложных маневров

## **Заключение**

Результаты моделирования показывают эффективность применения построенной модели линейного фильтра Калмана для траекторного сопровождения воздушных объектов, имеющих различный характер движения. Дальнейшее повышение точности траекторного сопровождения представляется возможным за счет построения алгоритмов совместной обработки с одновременным использованием нескольких методов фильтрации.

## **Литература**

1. *Саверкин О.В.* Об особенностях траекторной обработки радиолокационной информации // Интеллектуальные разработки в интересах строительства ВМФ: Материалы конф. молодых ученых и специалистов. Петродворец: НИИ ОСИС ВМФ, 2015.
2. *Васильев К.К.* Прием сигналов с дискретным временем. - Ульяновск: УлГТУ, 2014. 102 с.
3. *Лучков Н.В.* Анализ объединения данных РЛС, их временная и пространственная привязки // Автоматизация процессов управления. – 2015. – №1(39). – С. 21-26.

**Саверкин Олег Владимирович** – аспирант, инженер-исследователь ФНПЦ АО «НПО «Марс», e-mail: [saverkin-oleg@mail.ru](mailto:saverkin-oleg@mail.ru)

## **On the question of application of the linear Kalman filter for trace processing radar data**

O.V. Saverkin<sup>1</sup>

<sup>1</sup>FRPC JSC “RPA “Mars”, Ulyanovsk

### **Abstract**

The article provides an overview of the features of processing radar data using filtering based on three different models of the motion of the object. The simulation results and the advantages and disadvantages of each of the filters are described in the article.

### **Keywords**

Radar data processing, state estimation, linear Kalman filter

**Saverkin O.V.** – postgraduate, engineer-researcher FRPC JSC “RPA “Mars”, e-mail: [saverkin-oleg@mail.ru](mailto:saverkin-oleg@mail.ru)