

# Использование фильтра Калмана в задачах трекинга объектов

В. Ю. Агафонов, В. Л. Розалиев, А. В. Заболеева-Зотова  
(Волгоградский государственный технический университет,  
Волгоград)

В статье описывается применение фильтра Калмана для уменьшения погрешности оценки позиции объекта при детектировании и для экстраполяции позиции объекта на следующем кадре.

**Ключевые слова:** фильтр Калмана, обработка изображений, трекинг объектов.

## Введение

Трекингом называется определение положения движущегося объекта во времени. Алгоритмы трекинга анализируют видеопоследовательность и выдают координаты объекта относительно соответствующего кадра.

Одна из проблем трекинга — это установление точного положения объекта, при условии, что объект движется быстро относительно частоты видеопотока. В основе систем трекинга лежит некоторая модель движения, которая описывает изменение объекта под различными воздействиями. Система трекинга состоит из двух основных частей: локализация объекта и фильтрация данных.

Для локализации объекта на изображении используются различные подходы, в данной работе используется сегментация изображения по цвету.

В процессе обработки данных возникают проблемы, связанные с точностью измерительного инструмента. Для уменьшения этой погрешности используются алгоритмы фильтрации. Фильтрация данных представляет собой объединение некоторой информации об объекте, полученной в соответствии с моделью движения и измеренными данными. В данной работе используется фильтр Калмана.

Фильтр Калмана — один из самых популярных инструментов фильтрации данных, используемый во многих отраслях науки. Он использу-

ется для эффективной оценки состояния системы на основе серии зашумленных измерений или измерений с нескольких датчиков. В классическом виде фильтр описан в работе [?].

## Математическая модель системы

Каждое состояние системы можно описать вектором ее параметров. Путем некоторого воздействия система переходит из одного состояния в другое. Множество всех состояний системы и переходов образуют некоторую модель.

Существует понятие вектор данных наблюдения. Это набор параметров системы, которые мы можем извлечь из наблюдения за поведением системы. В большинстве случаев размерность вектора состояний системы превосходит размерность вектора данных наблюдения. При этом фильтр Калмана способен оценить с некоторой вероятностью полное внутреннее состояние системы.

Фильтр Калмана работает с дискретизированными по времени линейными динамическими системами [?]. Такие системы моделируются цепями Маркова при помощи линейных операторов и слагаемых с нормальным распределением. В каждый дискретный момент времени линейный оператор действует на состояние и переводит его в другое состояние, добавляя некоторую случайную величину в виде нормального шума и в общем случае вектор управления, моделирующий воздействие управляющего сигнала.

Математическую модель данного процесса обычно представляют в матричной форме и записывают в виде:

$$\begin{aligned} x_k &= F_k x_{k-1} + B_k u_k + w_k, \\ z_k &= H_k x_k + v_k, \end{aligned} \tag{1}$$

где  $F_k$  — матрица  $(n \times n)$ , описывающая, как изменяется состояние системы при переходе из  $k-1$  в  $k$  без управляющего воздействия;  $B_k$  — матрица  $(n \times l)$ , описывающая, как управляющее воздействие  $u_k$  изменяет состояние из  $k-1$  в  $k$ ,  $l$  — размерность управляющего воздействия;  $H_k$  — матрица  $(c \times n)$ , описывающая, как состояние  $x_k$  преобразуется в наблюдение  $z_k$ ,  $c$  — размерность вектора наблюдения;  $w_k, v_k$  — произвольные значения, представляющие нормально распределенный шум при измерении состояния с соответствующими матрицами ковариации  $Q_k, R_k$ ,  $w_k \sim N(0, Q_k)$ ,  $v_k \sim N(0, R_k)$ .

Алгоритм состоит из двух повторяющихся фаз: фаза экстраполяции и фаза коррекции.

Во время работы первой фазы происходит предсказание (экстраполяция) значения переменных состояния на основе оценки состояния предыдущего шага, а также их неопределенности. Данную оценку часто также именуют априорной из-за того, что она дается до выполнения каких-либо измерений и основывается только на математической модели.

Вторая фаза отвечает за уточнение результата экстраполяции при помощи соответствующих измерений, возможно полученных с некоторой погрешностью. Данная оценка называется апостериорной.

При классической работе алгоритма эти фазы чередуются, то есть предсказание происходит относительно результатов корректировки с прошлой итерации, а корректировка уточняет результат фазы экстраполяции. Однако в некоторых случаях фаза коррекции может быть пропущена и предсказание будет происходить на основе не уточненной оценки. Такая ситуация может возникнуть если по какой-либо причине мы не имеем информацию с измерительных датчиков на данном шаге.

Для понимания дальнейших процессов необходимо ввести следующие обозначения:  $x_k$  — действительное состояние системы на момент времени  $k$ ,  $\hat{x}_k$  — оцененное состояние на момент времени  $k$ ,  $\hat{x}_k^-$  — предсказанное состояние системы на момент времени  $k$ ,  $P_k$  — оцененная матрица ковариации ошибок измерения состояния,  $P_k^-$  — предсказанная матрица ковариации ошибок измерения состояния. Схематично алгоритм фильтра Калмана представлен на рисунке ??.



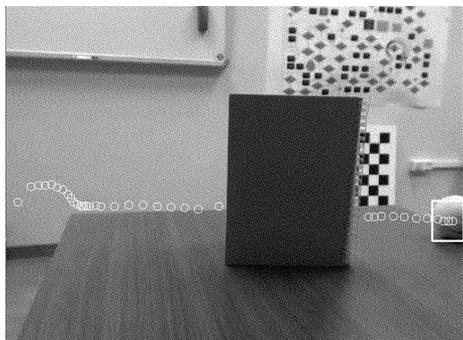
Рис. 1. Алгоритм фильтра Калмана

## Использование фильтра Калмана для трекинга объектов

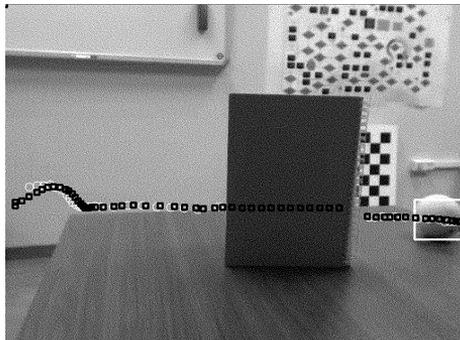
Применение фильтра Калмана для трекинга объектов означает, в частности, экстраполяцию неизвестного состояния системы и уменьшение влияния шума при не точном детектировании. Как пример, использование в работе [?]. Для этого пустим обычный теннисный шар из одного угла стола в другой, при этом поставим некоторое заграждение, в этой области шар не будет видно.

В качестве детектора использовался алгоритм бинаризации изображения на основе цветовой сегментации. Основные шаги сегментации: приведение изображения из цветовой схемы RGB в HSV, отсечение по пороговым значениям (оставляем только желто-зеленый цвет шара), при этом гарантируется, что на изображении нет другого объекта схожего цвета. Далее ищем центр масс полученной маски и рисуем ограничивающий прямоугольник.

Алгоритм детектирования находит только часть объекта из-за неравномерности освещения. Другими словами, алгоритм не идеален и вносит некоторую погрешность. Визуально траектория движения шара изображена на рисунке ??а. На нем кружками отмечены места, где произошло детектирование шара.



а) траектория движения объекта



б) экстраполяция Калмана

Рис. 2. Детектирование объекта.

Видно, что позиция шара не определена, когда он находится за заграждением. Также отметим, что центр области детектирования отличается от центра шара, то есть присутствует ошибка измерения. Фильтр Калмана решает данные проблемы. Определим состояние нашей системы как координаты позиции шара и вектор направления скорости. В качестве модели используется линейная модель без управляющего воздей-

ствия. Использование экстраполяции и коррекции позволяют устранить шум, присутствующий в системе. Экстраполяция позволяет оценить положение шара, когда он скрыт загородкой. В данном случае детектор не выдает никакого результата, а в фильтре Калмана пропускается фаза коррекции. Результат работы фильтра представлен на рисунке ??б. Траектория, экстраполированная Калманом, изображена в виде квадратов.

Траектория движения объекта при использовании фильтра достаточно точно описывает поведение шара в видимой области и скрытой части.

## Заключение

В статье описано применение фильтра Калмана к задаче трекинга объектов. Если система представлена в виде линейной модели движения, а неопределенность состояния задается функцией нормального распределения, то данный фильтр обеспечивает оптимальное решение для оценки состояния системы. Большинство реальных систем соответствует этим ограничениям, поэтому фильтр Калмана стал популярным в различных областях науки.

## Список литературы

- [1] Kalman R. E. A new approach to linear filtering and prediction problems // *Journal of basic Engineering*. — 1960. — Т. 82. №. 1. — С. 35–45.
- [2] Cuevas E. V., Zaldivar D., Rojas R. Kalman filter for vision tracking. Technical report В 05-12. — Freie Universität Berlin, Institut für Informatik, 2005.
- [3] Алексеев А. В., Розалиев В. Л., Орлова Ю. А. Automatic coloring of grayscale images based on intelligent scene analysis // *Pattern Recognition and Image Analysis. (Advances in Mathematical Theory and Applications)*. — 2015. — Vol. 25, No. 1. — P. 10–21.
- [4] Розалиев В. Л., Орлова Ю. А. Recognizing and Analyzing Emotional expressions in Movements // *E-Learning Systems, Environments and Approaches. Theory and Implementation / ed. by P. Isaias [et al.]*. — [б/м]: Springer, 2015. — Part II, § 9. — P. 117–131.