

УДК 519.687.7

## **Анализ работы алгоритмов стабилизации отклонений движения курсора у пользователей с ограниченными возможностями здоровья для разработки специализированного драйвера компьютерного манипулятора «мышь»**

Шамаев А.В., Никашкин Д.Н., Куряев Р.В.

Национальный исследовательский Мордовский государственный университет

*Аннотация:* Статья посвящена анализу работы алгоритмов стабилизации отклонений движения курсора компьютерного манипулятора «мышь» у пользователей с ограниченными возможностями здоровья (ОВЗ) с целью дальнейшего применения этих алгоритмов при разработке специализированного драйвера, обеспечивающего компенсацию указанных отклонений в режиме реального времени.

*Ключевые слова:* анализ, алгоритмы стабилизации движения курсора, пользователи с ограниченными возможностями здоровья, специализированный драйвер компьютерного манипулятора «мышь».

### **1. Введение**

В настоящее время доступ к компьютеру стал неотъемлемой частью повседневной жизни. Однако у пользователей с двигательными нарушениями зачастую возникают трудности при использовании компьютерных манипуляторов. В связи с этим становится актуальной задача разработки специализированного драйвера компьютерного манипулятора «мышь», который будет использовать алгоритмы фильтрации и стабилизации для коррекции движения курсора. Цель данного исследования – анализ и сравнительная оценка различных методов стабилизации движения курсора с целью минимизации отклонений от заданной траектории.

В рамках проведённого исследования были проанализированы характерные типы отклонений, изучены особенности движения курсора как у пользователей без нарушений, так и у лиц с ограниченными возможностями. Были реализованы и протестированы три метода фильтрации координат: медианная фильтрация, экспоненциальное сглаживание (EWMA), фильтр Калмана. Эффективность оценивалась на основе следующих метрик: среднее отклонение, среднеквадратичное отклонение (RMSE), максимальное отклонение и медиана.

### **2. Тестирование движения курсора у здорового пользователя**

На первом этапе был проведён контрольный эксперимент: пользователь без моторных нарушений следовал курсором по прямоугольной траектории. Полученные координаты были сопоставлены с эталонной линией.

Среднее отклонение составило 3.31 пикселя, RMSE – 3.81 пикселя, медиана – 3.00 пикселя, а максимальное отклонение – 7.28 пикселя. Эти данные подтверждают высокую стабильность управления, отсутствие заметных флуктуаций и малую

амплитуду колебаний.

### 3. Тестирование движения курсора у пользователя с двигательными нарушениями

Повторный эксперимент с участием пользователя с ОВЗ показал значительно худшие результаты. Среднее отклонение от заданной траектории достигло 27.15 пикселя, RMSE – 40.09 пикселя, максимальное отклонение – 151.00 пикселя, медиана – 16.12 пикселя.

Визуально траектория имела выраженные колебания, неоднородность по длине, наличие выбросов. Такая траектория указывает на выраженные трудности удержания курсора в пределах заданного маршрута движения и необходимость автоматической коррекции.

### 4. Медианная фильтрация координат

Медианная фильтрация предполагает замену текущего значения медианой значений, попавших в окно фильтра фиксированной ширины:

$$X_{\text{filtered}}(t) = \text{median}(X(t - n), \dots, X(t), \dots, X(t + n))$$

где  $n$  – радиус окна.

Метод устойчив к выбросам и одиночным скачкам. Применение данного фильтра позволило добиться значительного снижения отклонений: среднее значение уменьшилось до 16.73 пикселя, RMSE – до 26.40 пикселя, медиана – до 10.00 пикселя. Максимальное отклонение при этом составило 125.02 пикселя, что указывает на неустрашимые единичные колебания высокой амплитуды.

### 5. Применение экспоненциального сглаживания (EWMA)

Фильтр взвешенного скользящего среднего (EWMA) рассчитывает новое значение как взвешенную сумму текущего измерения и предыдущего сглаженного состояния:

$$S_t = \alpha X_t + (1 - \alpha)S_{t-1}$$

Параметр  $\alpha \in (0, 1)$  определяет чувствительность фильтра к новым значениям. Использование EWMA позволяет более точно подавить резкие колебания без существенной задержки отклика. С помощью данного фильтра были получены следующие показатели: среднее отклонение – 8.17 пикселя, RMSE – 10.57 пикселя, медиана – 5.39 пикселя, максимальное отклонение – 33.00 пикселя. Визуально траектория стала значительно более гладкой и ближе к эталонной форме.

### 6. Фильтр Калмана

Фильтр Калмана – это рекурсивный алгоритм оценки состояния, основанный на байесовском подходе. В одномерной модели оценки положения курсора фильтр описывается следующими уравнениями:

**Предсказание:**  $\hat{x}_t^- = \hat{x}_{t-1}, \quad P_t^- = P_{t-1} + Q$

**Обновление:**  $K_t = \frac{P_t^-}{P_t^- + R}, \quad \hat{x}_t = \hat{x}_t^- + K_t(z_t - \hat{x}_t^-), \quad P_t = (1 - K_t)P_t^-,$  где:

–  $\hat{x}_t$  – оценка положения;

- $z_t$  – измеренное значение;
- $P_t$  – дисперсия ошибки оценки;
- $Q$  – ковариация шума модели;
- $R$  – ковариация шума измерения.

Фильтр Калмана целесообразно использовать в качестве основного алгоритма при разработке драйвера, обеспечивающего стабилизацию движения курсора в режиме реального времени, так как он эффективно учитывает как модель движения, так и шум измерений.

Применение фильтра Калмана обеспечило наилучшее сглаживание: среднее отклонение снизилось до 4.73 пикселя, RMSE – до 5.89 пикселя, медиана – до 3.61 пикселя, а максимальное – до 21.10 пикселя. Отклонения были минимизированы по всем метрикам.

## 7. Сравнительный анализ алгоритмов

В отсутствие фильтрации траектория движения курсора у пользователей с ОВЗ характеризуется значительными колебаниями и высокими показателями ошибки. Среднее отклонение превышает 27 пикселей, среднеквадратичная ошибка (RMSE) достигает 40 пикселей, а максимальное отклонение может превышать 150 пикселей, что существенно осложняет точное позиционирование курсора.

Медианная фильтрация обеспечивает устойчивость к одиночным выбросам, снижая среднее и медианное отклонения на 30-40%. Однако этот метод не справляется с резкими скачками, что приводит к сохранению высокого максимального отклонения (125 пикселей).

Алгоритм EWMA демонстрирует более стабильные результаты, снижая максимальное отклонение в 4.5 раза. При этом он обеспечивает плавное сглаживание траектории без чрезмерной инерционности, что важно для сохранения отзывчивости управления.

Таблица 1: Сравнение алгоритмов стабилизации

	Среднее	RMSE	Медиана	Макс.
Без фильтрации	27.15	40.09	16.12	151.00
Медианный фильтр	16.73	26.40	10.00	125.02
EWMA	8.17	10.57	5.39	33.00
Фильтр Калмана	4.73	5.89	3.61	21.10
Здоровый пользователь	3.31	3.81	3.00	7.28

Полученные результаты подтверждают, что использование адаптивной фильтрации существенно повышает точность управления компьютерным манипулятором «мышь» для пользователей с ОВЗ. Следует отметить, что наиболее эффективным среди рассмотренных методов является фильтр Калмана, который адаптируется к закономерностям движения и случайным флуктуациям, что позволяет минимизировать ошибки практически до уровня здорового пользователя. При этом средние и медианные отклонения уменьшаются почти в шесть раз, а RMSE снижается в семь раз по сравнению с исходными показателями, полученными для пользователей с ОВЗ.

## **Литература**

1. Антончик В. С. Методы стабилизации программных движений. СПб.: Изд-во С.-Петербург. ун-та, 1998. 150 с.
2. Соколов Ю. Н. Фильтр Калмана: теория и применение: учебное пособие. Харьков: Харьковский авиационный институт, 1982. 120 с.

MSC 93C40

## **Analysis of cursor motion stabilization algorithms for users with disabilities to develop a specialized computer mouse driver**

A.V. Shamaev, D.N. Nikashkin, R.V. Kuryaev  
National Research Mordovia State University

*Abstract:* The article is dedicated to the analysis of algorithms for stabilizing cursor movements of a computer pointing device for users with disabilities, with the aim of further applying these algorithms in the development of a specialized driver that provides real-time stabilisation.

*Keywords:* Analysis, Cursor motion stabilization algorithms, Users with disabilities, Specialized computer mouse driver.

### **References**

1. Antonchik V. S. Metody stabilizatsii programmnykh dvizhenii [Methods of stabilizing program motions]. St. Petersburg: St. Petersburg University Press, 1998. 150 p. (in Russian)
2. Sokolov Yu. N. Fil'tr Kalmana: teoriya i primeneniye [Kalman filter: theory and application]: textbook. Kharkiv: Kharkiv Aviation Institute, 1982. 120 p. (in Russian)