

Отчет

Автор Чашков М. С.

Проект Osanka

## Оглавление

Список решаемых задач.....	3
Подбор фильтра для определения ориентации.....	4
Постановка задачи.....	4
Анализ литературы.....	7
Математический алгоритм фильтра Калмана.....	8

## **Список решаемых задач**

1. Подбор фильтра для определения ориентации точки в пространстве
2. Выбор алгоритма фильтрации измеренных данных от ВЧ шумов
3. Частотно-временной анализ данных датчика (неокончено)
4. Определение характера движения тела в пространстве (решение задачи приостановлено)

# Подбор фильтра для определения ориентации

## Постановка задачи

В общем случае решается следующая задача:

Имеется устройство, которое может быть описано некоторым вектором параметров. На каждой итерации зашумленных измерений оценить вектор параметров. Это можно представить в виде схемы

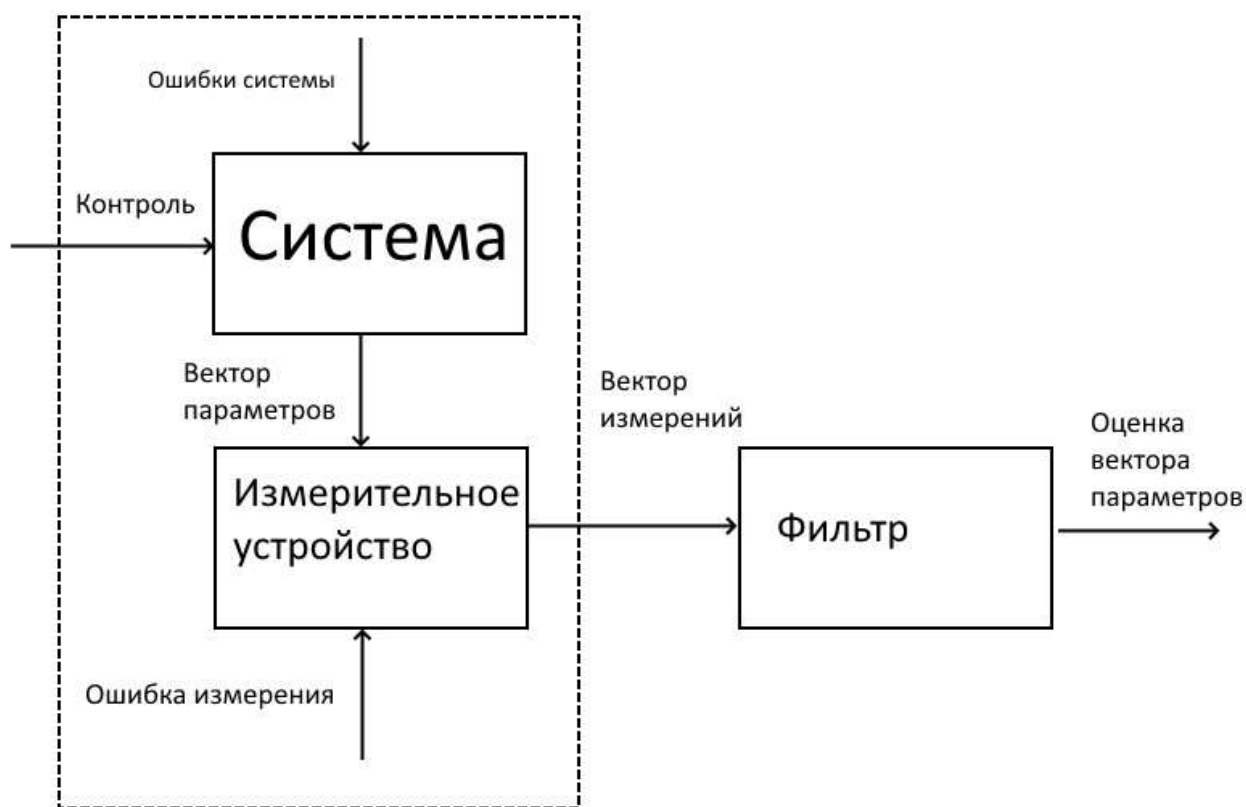


Рисунок 1: Схема фильтрации

Математически эту схему можно записать так:

$$x(k+1)=f(x(k),u(k),w(k)) \quad (1)$$

$$y(k)=h(x(k),v(k)) \quad (2)$$

Здесь

$x \in R^n$  - вектор параметров системы

$f(.,.,.)$  - выражение определяющее физику системы

$u \in R^m$  - вектор управляющих воздействий

$w$  - вектор системных ошибок

$y \in R^r$  - вектор наблюдений (измерений)

$h(\cdot, \cdot, \cdot, \cdot)$  - измерительное уравнение

$v$  - вектор ошибок измерения

### При заданных

- $f, h$
- Параметрах шумов  $w, v$
- Начальных условий
- Наборе управляющих воздействий  $u(k)$
- Наборе наблюдений (измерений)  $y(k)$

### Определить

- Наилучшую оценку  $x(k)$

При выборе фильтра для определения ориентации рассматривались три варианта:

1. Комплементарный фильтр
2. Фильтр Маджвика
3. Фильтр Калмана

Была составлена оценочная таблица выбора фильтров по данным литературы

Таблица 1: Сравнение различных фильтров

	Матем. сложность	Вычисл. сложность	Скорость сходимости	Точность	Простота настройки	Наличие оптимизации	Использ. данные	Наличие готовых реализаций
Комплементарный фильтр	низкая	низкая	низкая	низкая	высокая	нет	акселером. гироскоп	нет
Фильтр Маджвика	высокая	средняя	высокая	высокая (статика)	средняя	есть	акселером. гироскоп магнетом.	есть
Фильтр Калмана	высокая	высокая	высокая	высокая (статика динамика)	низкая	есть	акселером. гироскоп магнетом.	есть (нужна доработка)

Эти данные необходимо было проверить для окончательного выбора реализуемого алгоритма фильтрации, для этого были реализованы алгоритмы фильтрации в программном пакете MathLab.

## Анализ литературы.

В ходе анализа литературы обнаружены следующие источники

Интернет статьи

Название	Ссылка	Комментарий
Снижаем погрешность GPS на Android с помощью фильтра Калмана и акселерометра	<a href="https://zen.yandex.ru/media/id/5ad057638c8be3b509255191/snijaem-pogreshnost-gps-na-android-s-pomosciu-filtra-kalmana-i-akselerometra-5ad06beddd2484cb6270626b">https://zen.yandex.ru/media/id/5ad057638c8be3b509255191/snijaem-pogreshnost-gps-na-android-s-pomosciu-filtra-kalmana-i-akselerometra-5ad06beddd2484cb6270626b</a>	Общее описание акселерометра, Пример работы с фильтром Калмана. Пример формирования матрицы измерения и матрицы управления.
3D kinematics using dual quaternions: theory and applications in neuroscience	<a href="https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnbeh.2013.00007/full">https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnbeh.2013.00007/full</a>	Хороший материал. Но на английском. Математика вращений.
Матрицы поворота, углы Эйлера и кватернионы (Rotation matrices, Euler angles and quaternions)	<a href="https://api-2d3d-cad.com/euler_angles_quaternions/">https://api-2d3d-cad.com/euler_angles_quaternions/</a>	Матрица преобразования. Углы Эйлера. Кватернионы  Приведены формулы перехода. Имеются куски С кода.
Матрицы и кватернионы.	<a href="http://www.rossprogrammproduct.com/translations/Matrix%20and%20Quaternion%20FAQ.htm">http://www.rossprogrammproduct.com/translations/Matrix%20and%20Quaternion%20FAQ.htm</a>	Много статей про кватернионы и операции с ними. Есть код операций с кватернионами.
Вращение и кватернионы. Сборник	<a href="https://gamedev.ru/code/articles/?">https://gamedev.ru/code/articles/?</a>	Кватернионы Приведены формулы перехода. Имеются

рецептов. (3 стр)	<a href="#">id=4215&amp;page=3</a>	куски C кода.
Доступно о кватернионах и их преимуществах	<a href="https://habr.com/ru/post/426863/">https://habr.com/ru/post/426863/</a>	Хороший обзор кватернионов. Есть формулы. Нет кода
Комплементарный фильтр	<a href="https://robotclass.ru/articles/complementary-filter/">https://robotclass.ru/articles/complementary-filter/</a>	Реализация инклинометра на ардуино. Только Гироскоп+ Акселерометр. Есть пример кода.
Фильтр Маджвика	<a href="https://x-io.co.uk/open-source-imu-and-ahrs-algorithms/">https://x-io.co.uk/open-source-imu-and-ahrs-algorithms/</a>	Описание алгоритма фильтрации Маджвика. Все 9 осей. Есть примет кода
Определение угла наклона акселерометром	<a href="http://bitaks.com/resources/inclinometer/content.html">http://bitaks.com/resources/inclinometer/content.html</a>	Только акселерометр. Есть описание калибровки акселерометра
Использование инерциальной навигационной системы (ИНС) с несколькими датчиками на примере задачи стабилизации высоты квадрокоптера	<a href="https://habr.com/ru/post/137595/">https://habr.com/ru/post/137595/</a>	Общее описание работы инклинометра Акселеромет + Гироскоп. Магнитометра нет.
Оценивание пространственной ориентации, или Как не бояться фильтров Махони и Маджвика	<a href="https://habr.com/ru/post/438060/">https://habr.com/ru/post/438060/</a>	Ориентация. Общее сравнение фильтров Маджвика и Махони
Kalman filter toolbox for Matlab	<a href="https://www.cs.ubc.ca/~murphyk/Software/">https://www.cs.ubc.ca/~murphyk/Software/</a>	Пример реализации фильтра Калмана на



	<a href="http://Kalman/kalman.html">Kalman/kalman.html</a>	матлабе
Фильтр Калмана — Введение	<a href="https://baumanka.pashinin.com/IU2/sem11/">https://baumanka.pashinin.com/IU2/sem11/</a>	Лекции по Калмановской фильтрации из бауманки
How a Kalman filter works, in pictures	<a href="http://www.bzarg.com/p/how-a-kalman-filter-works-in-pictures/">http://www.bzarg.com/p/how-a-kalman-filter-works-in-pictures/</a>	Забавное описание фильтра Калмана в картинках.

## Книги

Автор	Название	Ссылка	Комментарий
Dan Simon	Optimal State Estimation Kalman	<a href="http://en.bookfi.net/book/503063">http://en.bookfi.net/book/503063</a>	Теория фильтрации Калмана. Линейная и Нелинейная. На английском
Gelb A.	Applied optimal estimation	<a href="http://en.bookfi.net/book/1501549">http://en.bookfi.net/book/1501549</a>	Введение в идентификацию систем. На английском
Д. Гроп	Методы идентификации систем	<a href="http://en.bookfi.net/book/509530">http://en.bookfi.net/book/509530</a>	Различные методы идентификации систем
Э. П. Сейдж	Идентификация систем управления	<a href="http://en.bookfi.net/book/792631">http://en.bookfi.net/book/792631</a>	Теория идентификации систем
Кузовков Н. Т.	Инерциальная навигация	<a href="http://en.bookfi.net/">http://en.bookfi.net/</a>	Неплохая книга по навигации.

		<a href="#">book/728305</a>	Правда описана на механических измерительных устройствах.
Гордеев	Кватернионы и бикватернионы	<a href="http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/books/Gordeev2016ru.pdf">http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/books/Gordeev2016ru.pdf</a>	Очень хорошая книга по теории кватернионов и бикватернионов. Подробная математика. Нет готового кода.
	Кинематика твердого тела		
	Фильтр Калмана для чайников		Минимальное описание линейного фильтра Калмана. Минимум математики. Нет готового кода
	Фильтр Калмана простым языком		Использование фильтра Калмана в определении GPS координат. Кода нет. Минимум формул. Фильтр строится на координатах + скорость объекта.
	Indirect Kalman Filter for 3D Attitude	<a href="http://mars.cs.umn.edu/tr/reports/">http://mars.cs.umn.edu/tr/reports/</a>	Очень хороший пример реализации

	Estimation	<a href="#">Trawny05b.pdf</a>	фильтра Калмана для ориентации. Отсутствует магнитометр
Шпекторов А. Г. В. Г. Фам	Анализ применения микромеханических измерительных систем для управления морскими подвижными объектами	<a href="https://izv.etu.ru/assets/files/izv-etu-5-2017-16-20.pdf">https://izv.etu.ru/assets/files/izv-etu-5-2017-16-20.pdf</a>	Статья. Исползования фильтрации Калмана. Нет готового кода
Terence Tong	Kalman Filter Made Easy	<a href="https://www.ocf.berkeley.edu/~tmtong/howto/kalman/writeup.pdf">https://www.ocf.berkeley.edu/~tmtong/howto/kalman/writeup.pdf</a>	Простое описание фильтра Калмана. На английском
M. I. Ribeiro	Kalman and Extende Kalman Filters...	<a href="http://users.isr.ist.utl.pt/~mir/pub/kalman.pdf">http://users.isr.ist.utl.pt/~mir/pub/kalman.pdf</a>	Хорошая книга по математике фильтрации Калмана
S. Madgwick	Madgwick internal report	<a href="https://www.samba.org/tridge/UAV/madgwick_internal_report.pdf">https://www.samba.org/tridge/UAV/madgwick_internal_report.pdf</a>	Статья Маджвика о его фильтре. Базовая статья по фильтрации Маджвика
Иванов Д. С.	Алгоритм оценки параметров ориентации малого космического корабля с использованием		Неплохая статья по практическому применению фильтра Калмана. Рассматриваютс

	фильтра Калмана		я вопросы настройки фильтра
	Sensor Fusion Kalman Filter		Алгоритм фильтра Калмана из Матлаба.

# Математический алгоритм фильтра Калмана

Задача: Реализовать

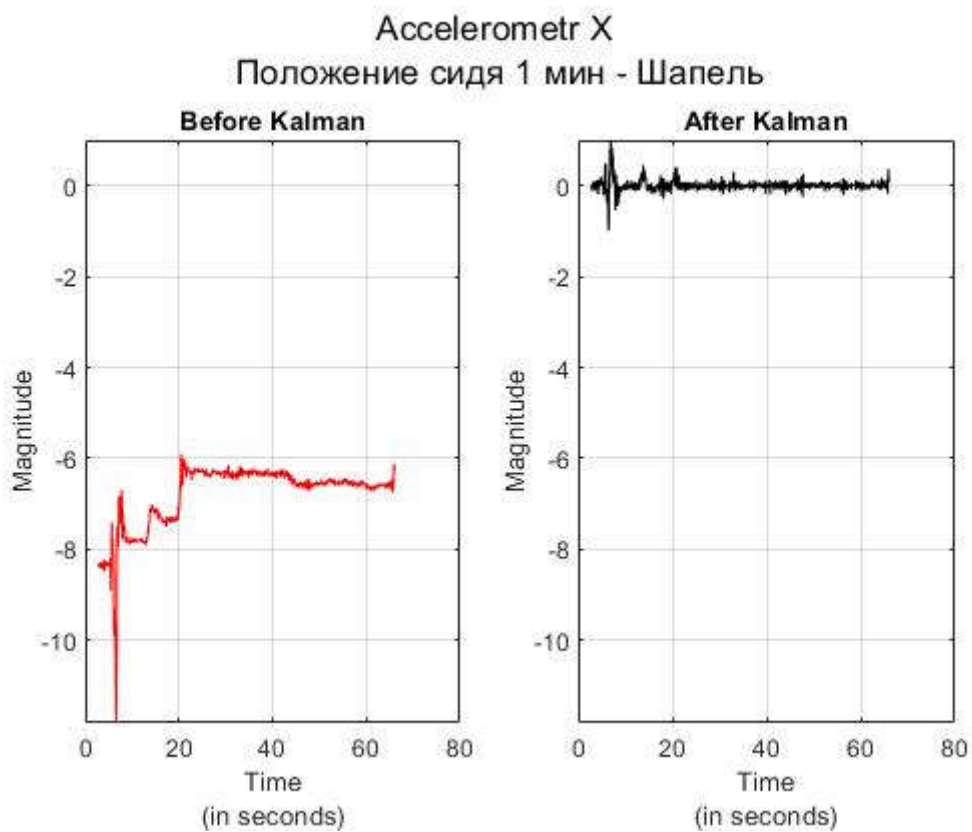
1. определение ориентации
2. угол отклонения тела от вертикали

по полученным данным с использованием фильтра Калмана

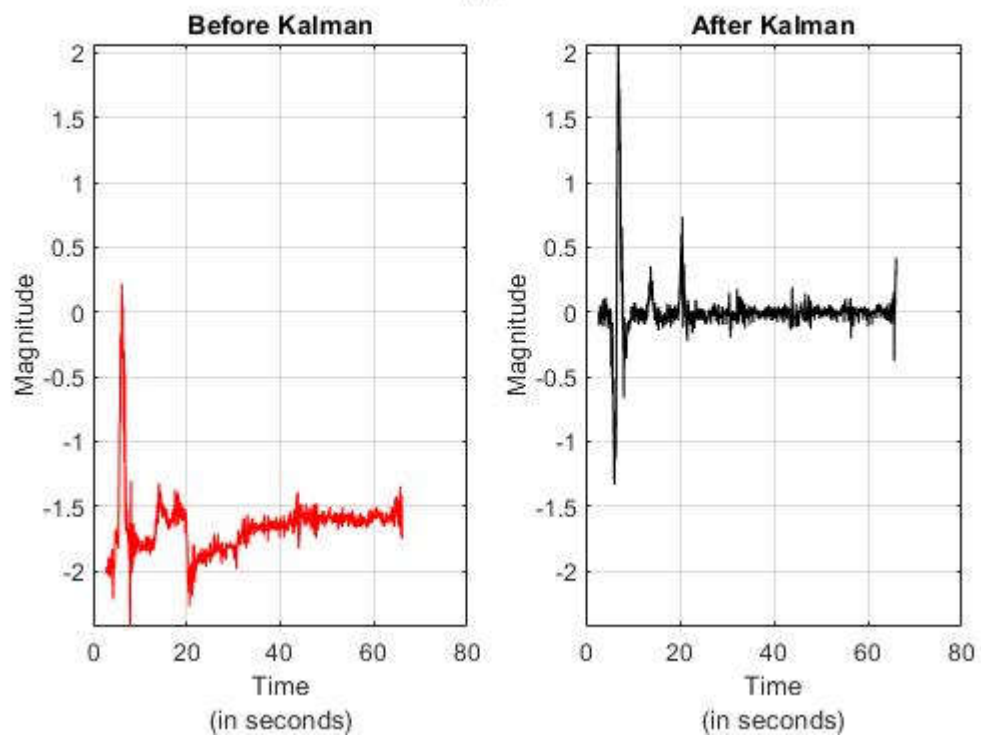
Реализация здесь:

[https://gitlab.fablite.tech/chashkov.ms/osanka\\_filtering\\_data/commit/cb786a58666b9c9d438d43022a7a7f48476a5b51\](https://gitlab.fablite.tech/chashkov.ms/osanka_filtering_data/commit/cb786a58666b9c9d438d43022a7a7f48476a5b51)

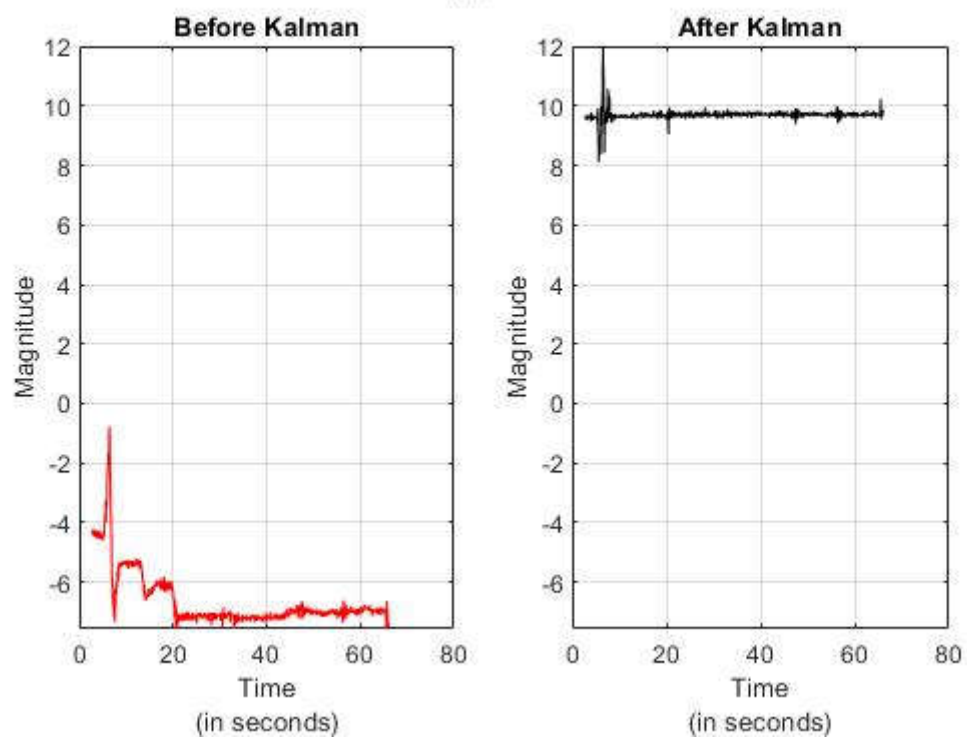
Графики



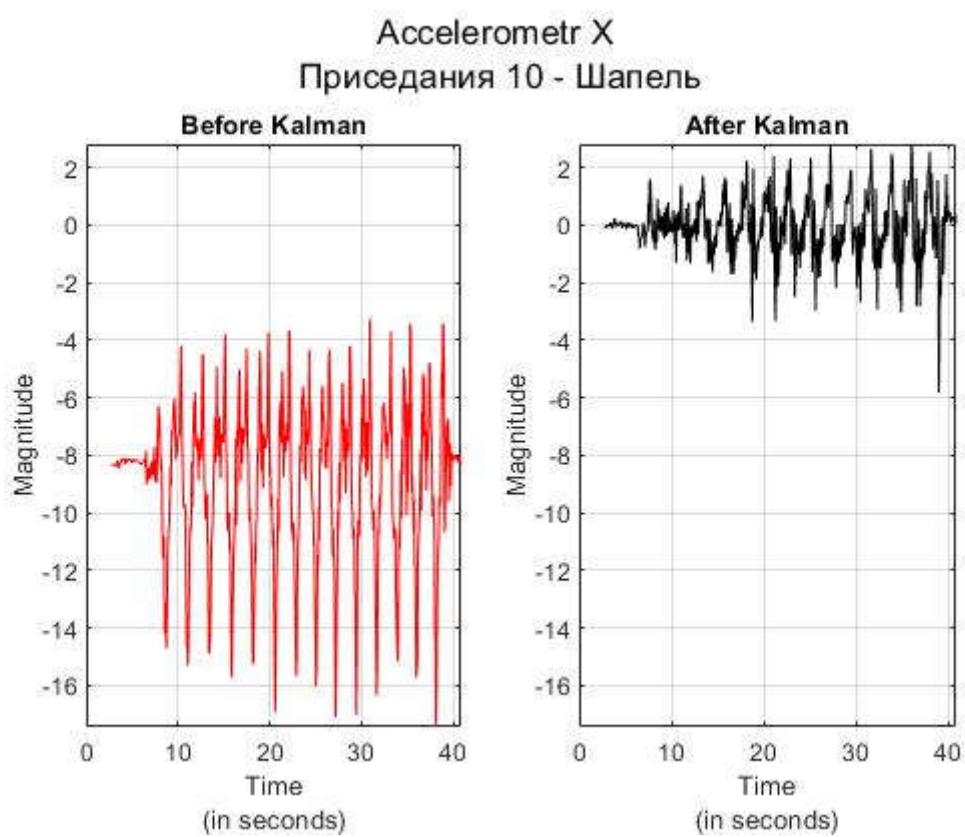
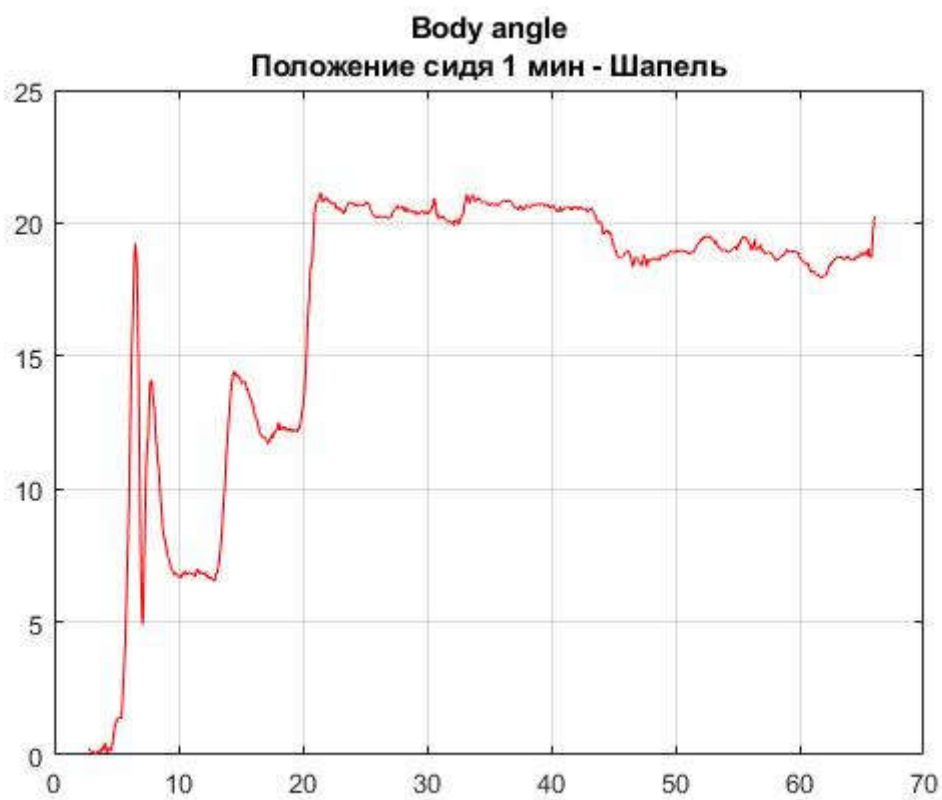
Accelerometr Y  
Положение сидя 1 мин - Шпепель



Accelerometr Z  
Положение сидя 1 мин - Шпепель

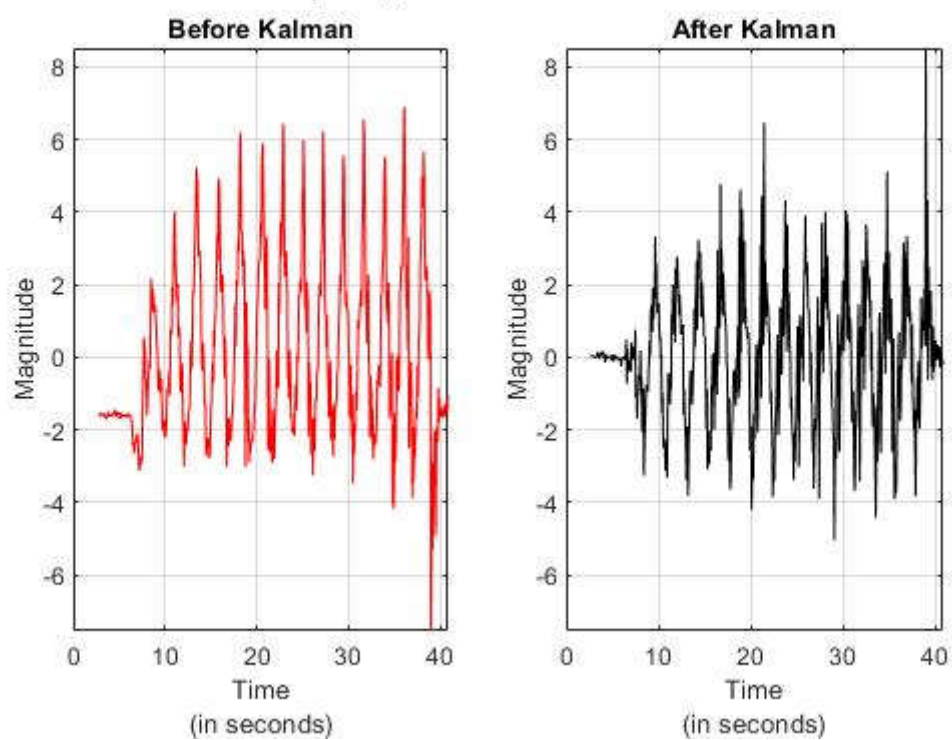




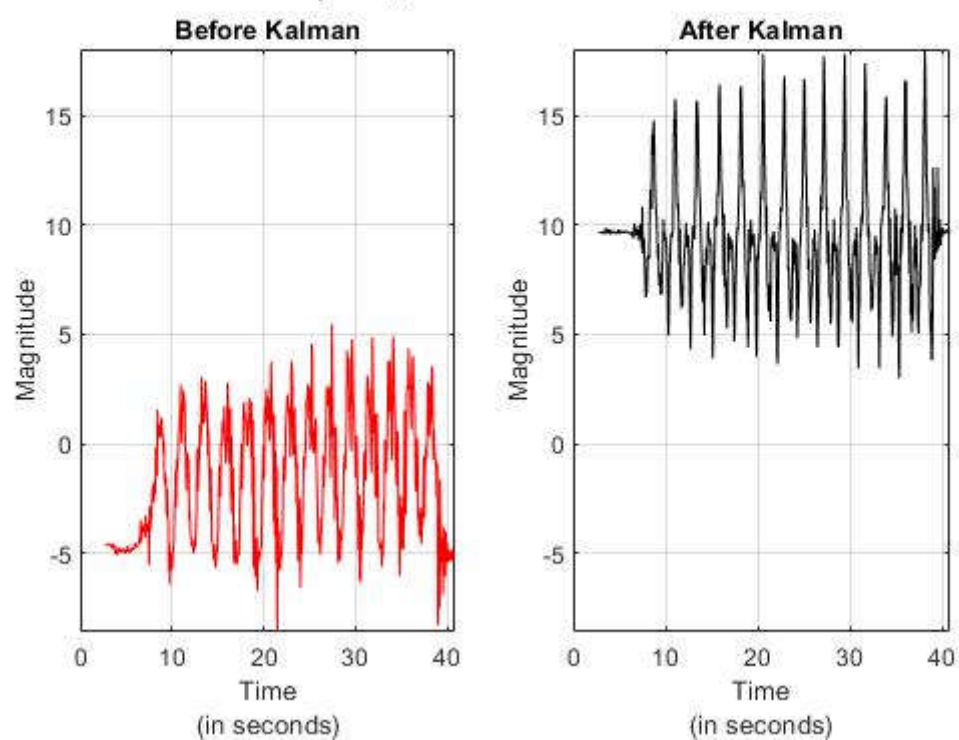




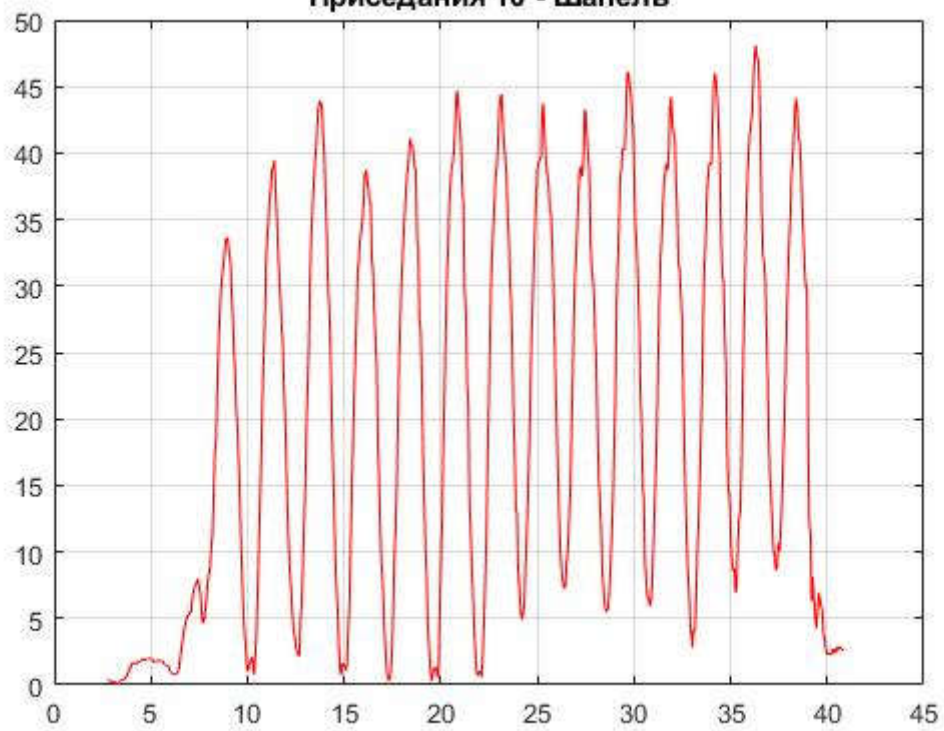
Accelerometr Y  
Приседания 10 - Шапель



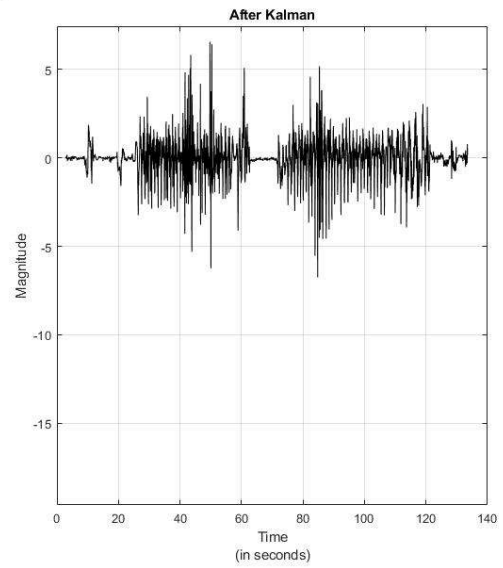
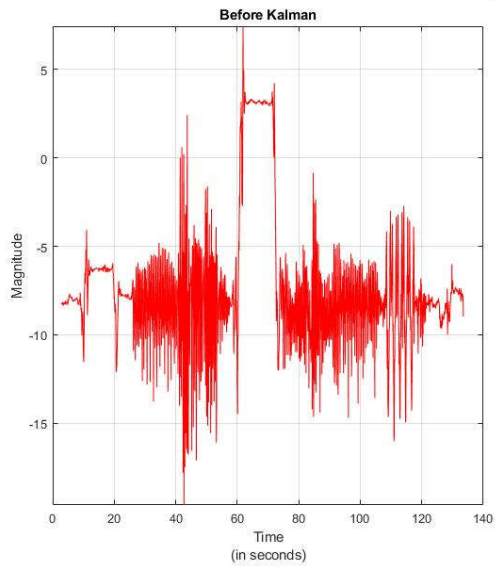
Accelerometr Z  
Приседания 10 - Шапель



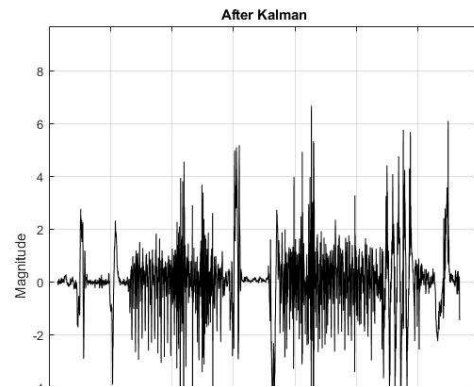
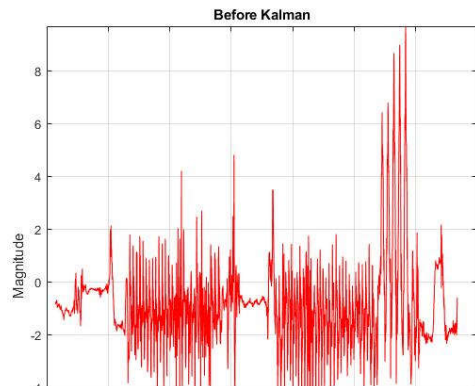
Body angle  
Приседания 10 - Шапель



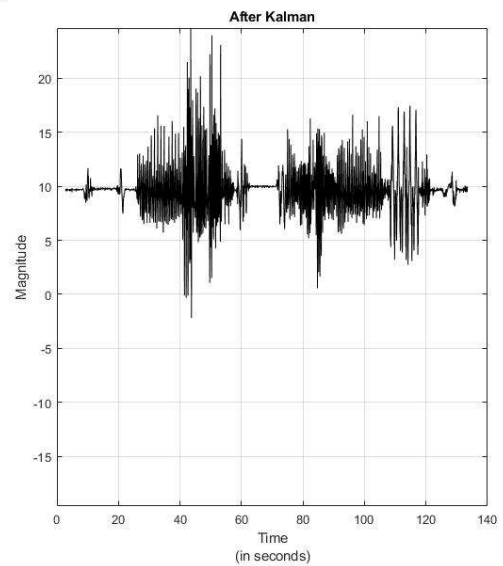
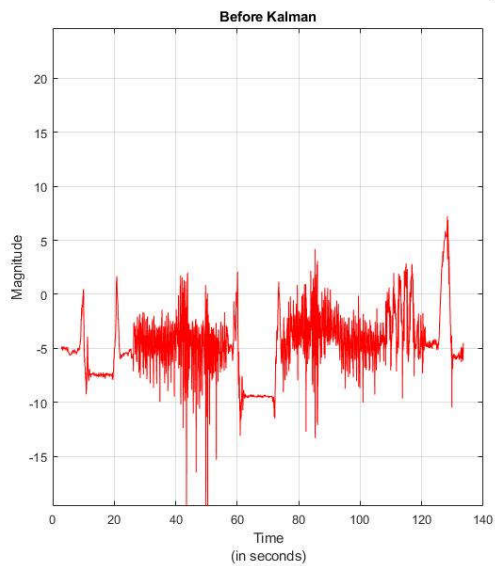
Accelerometr X  
Комплекс

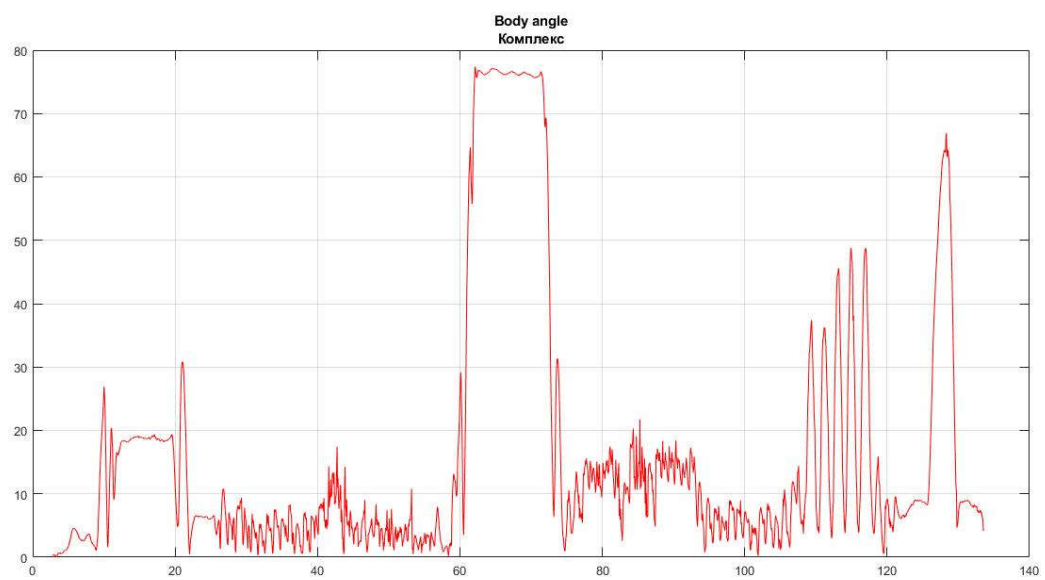


Accelerometr Y  
Комплекс



Accelerometr Z  
Комплекс





**Алфавитный указатель**

Аддитивный белый гауссовский шум.....  
    АБГШ.....9  
    AWGN.....9