

## **Научная статья о калибровке разноканальных механических акселерометров**

*Выполнено командой Инженеры 83 на КММ Москва, СУНЦ МГУ, 2018 г.*

*(Состав команды: Журавлев Дмитрий, Восковищук Дмитрий, Алексеев Антон, ученики 9 класса инженерного лицея 83, г. Уфа)*

Механический акселерометр лег в основу к созданию многофункционального электронного устройства, с функциями навигатора, шагомера, распознавания ориентации в пространстве. Многие нынешние электронные акселерометры не отличаются своей большой точностью, но исправить это невозможно, не разобравшись в строении их предшественника, что является **актуальностью** данной статьи.

Порывом к исследованию способов калибровки разноканальных акселерометров послужило наличие сильных искажений в показаниях реальных (имеющих дефекты производства) акселерометров.

Одним из методов калибровки акселерометра без эталонного прибора - является считывание показаний акселерометра в нескольких точно зафиксированных положениях его корпуса и составления по этим данным формулы, связывающей показания акселерометра, подвергнутая искажению, с его положением.

**Основной целью** данной статьи является предоставление формул и методов позволяющих вычислить ожидаемые показания реальных акселерометров по их показаниям. Это послужило началом к дополнительной цели, определение положения в пространстве объекта по показаниям акселерометра.

### **Методы работы**

1. Анализ строения механического акселерометра, с целью выявления мест возможной неточности
2. Построение и анализ графика показаний одноканального акселерометра, в зависимости от времени, как элементарного устройства данного типа.
3. Использование языков программирования и ПО для обработки больших массивов данных.

### **Задачи работы**

1. Изучение физических факторов акселерометра, вызывающих погрешность его показаний.
2. Построение графика показаний одноканального акселерометра, в зависимости от времени и детальное изучение его частей.
3. Определение методов и формул, преобразование данного массива данных.
4. Нахождение формул, вычисляющих положение акселерометра в пространстве.

5. Нахождение методов усреднения показаний акселерометра для вычисления истинной информации

6. Применение выявленных методов в случае многоканальных акселерометров.

### Справка

Акселерометр — прибор, измеряющий проекцию кажущегося ускорения (разности между истинным ускорением объекта и гравитационным ускорением). Как правило, акселерометр представляет собой чувствительную массу, закреплённую в упругом подвесе. Отклонение массы от её первоначального положения при наличии кажущегося ускорения несёт информацию о величине этого ускорения (рис. 1).

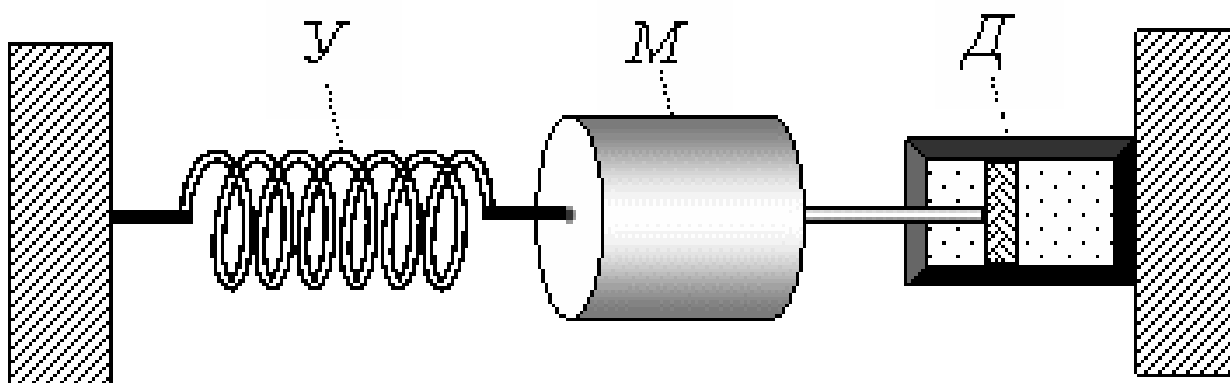


Рисунок 1

По конструктивному исполнению акселерометры подразделяются на однокомпонентные, двухкомпонентные, трёхкомпонентные. Соответственно, они позволяют измерять проекции кажущегося ускорения на одну, две и три оси.

Вид возможного дефекта акселерометра:

1. Смещение нуля
2. Разный коэффициент жёсткости пружины, т. е. пропорциональное увеличение или уменьшение показаний.

### Ход работы:

Изучение строения акселерометра позволили нам сделать вывод, что показания идеального акселерометра находятся в промежутке от -1 до 1, но изучение данных нам в задании массивов данных с показаниями акселерометра показало, что там находятся показания не входящие в данный промежуток. И с этой проблемой нам нужно работать.

Для того чтобы изменить неправильные показания на истинные, нам необходимо произвести обратное смещение нуля и найти коэффициент, компенсирующий погрешность неидеального коэффициента жёсткости. Но перед этим необходимо избавиться от показаний акселерометра на которые оказали сильное воздействие внешние факторы, в дальнейшем именующиеся «шумы».

Построение графика по данным показаниям акселерометра производится в программе Microsoft Excel.

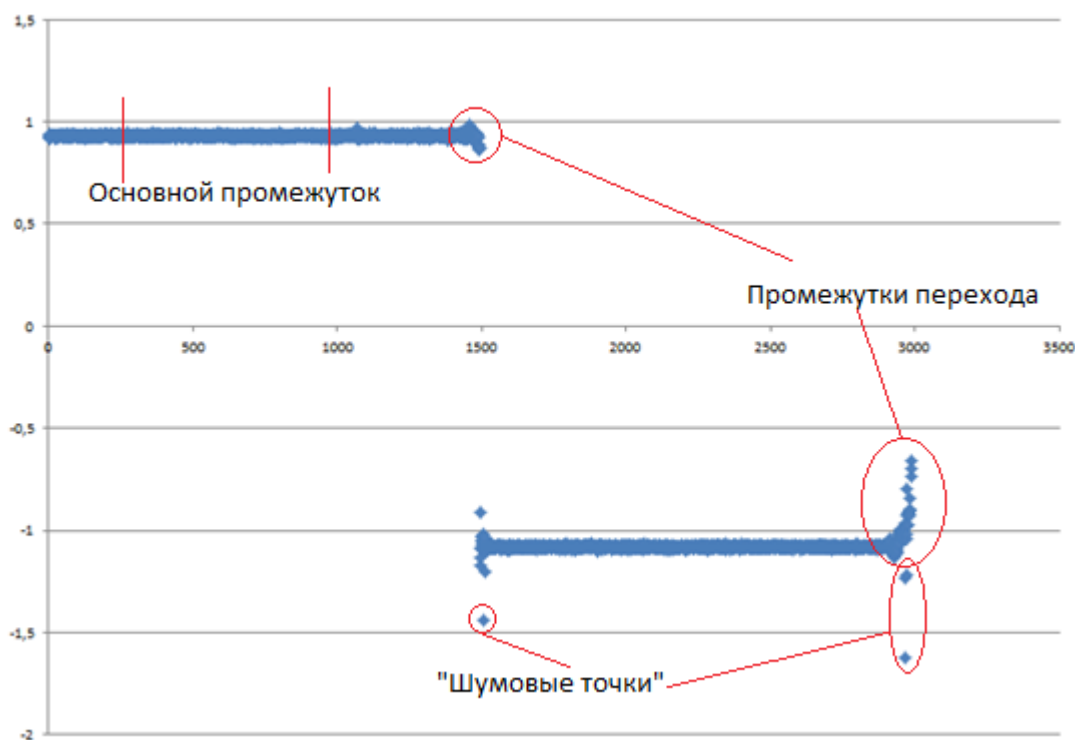


Рисунок 2

График условно можно разделить на 3 промежутка: «шумы», основная часть и переходная часть, для более детального анализа рассмотрим подробнее каждый из промежутков (рис. 2).

- Основной промежуток – кривая, похожая на синусоиду с циклами разной глубины и резкости, представляющая колебания акселерометра в данном положении. Причем средняя глубина колебаний и будет оптимальной погрешностью (рис. 3). Так как время фиксировано, разные изменения проекции – показания (прохождения различных по длине участков при колебании) обусловлены различием скорости и начального ускорения при переводе акселерометра в другие положения. Так же после остановки на акселерометр действует сила инерции или перегрузка, сильно влияющая на появление «шумов».

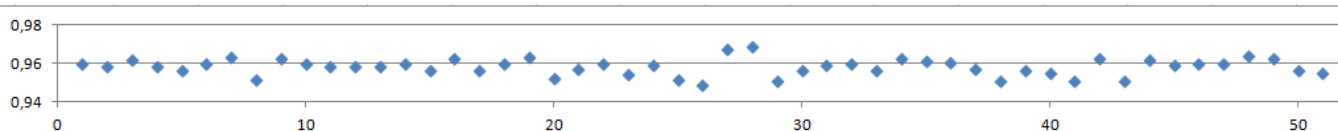


Рисунок 3

- «Шумы» – участки графика, обусловленные резкими переходами из одного положения в другое. Такие участки представляют собой выбившиеся из общей прогрессии точки, часто идущие

последовательно. Из-за сильного воздействия внешних факторов их показания нельзя считать объективными и необходимо убирать из общей картины для получения точной информации.

- Промежутки перехода представляют собой более грубые основные промежутки, возникающие при переходе в другое положение (их нельзя путать с «шумовыми» точками и пренебрегать ими). (Рис. 4)

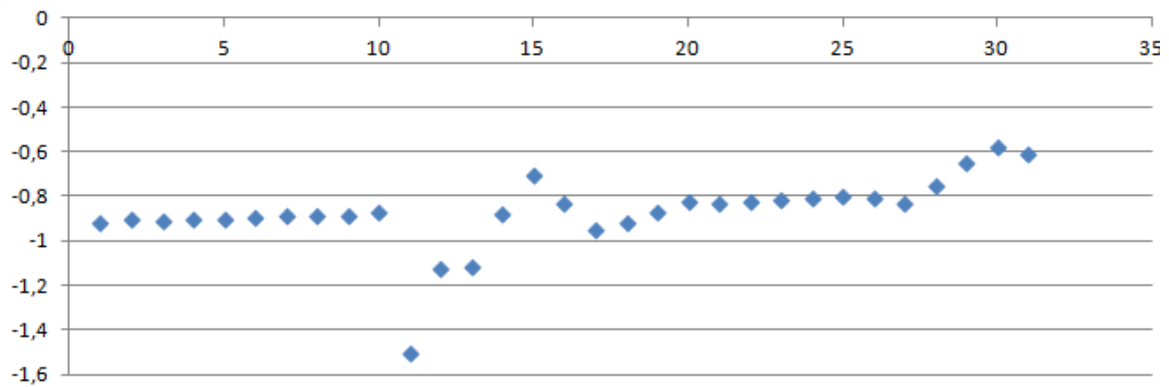


Рисунок 4

После детального изучения графика можно провести первую калибровку, направленную на «гашение шумов». Это можно сделать как вручную в небольших наборах данных, так и с помощью программы, сравнивая промежутки между соседними точками со средними значениями промежутков. Рисунок 5 наглядно демонстрирует данную обработку.

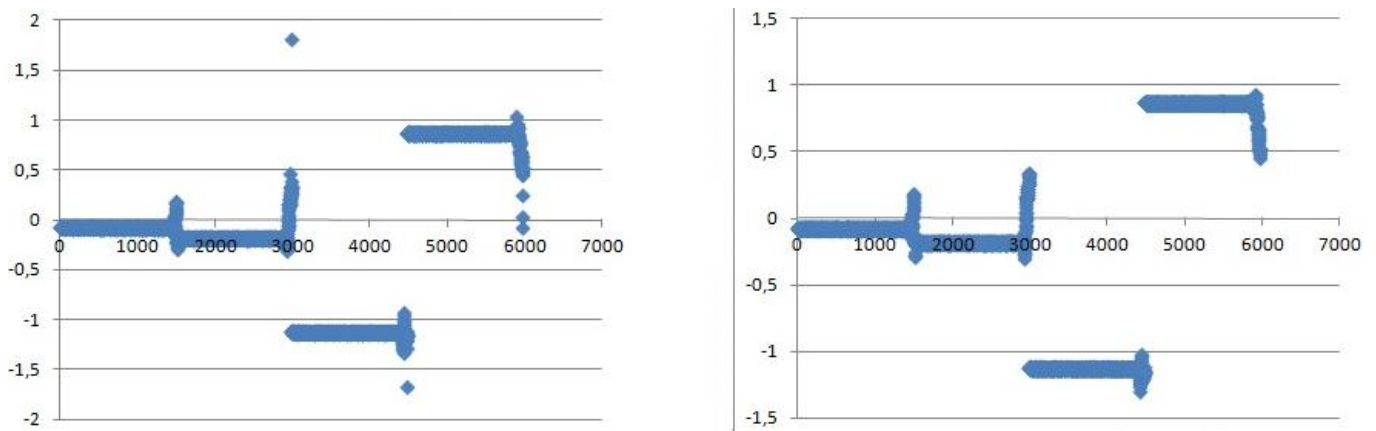


Рисунок 5

### Преобразование массива данных

Заметим, что даже после исключения сильно выбившихся «шумовых точек» в массиве можно найти множество отклонений от возможных показаний, причем большая их часть выходит в одну сторону, что явно свидетельствует о сдвиге градуированной шкалы. Для исправления данной ошибки выведем общую формулу. Формула основывается на подборе нормализующего коэффициента и нахождении величины сдвига так, чтобы все показания находились строго в диапазоне от -1 до 1 включительно.

$$y = \frac{2}{\max - \min} \quad x = \frac{1}{y} - \max$$

Где  $\max$  – максимальное значение преобразованного массива,  $\min$  – минимальное значение преобразованного массива,  $y$  – нормализующий коэффициент,  $x$  – обратная величина сдвига.

После вычисления коэффициентов преобразования мы можем найти истинные данные.

$b' = (b + x) * y$  и будет являться данной функцией преобразования. Рисунок 6 графически демонстрирует данное преобразование.

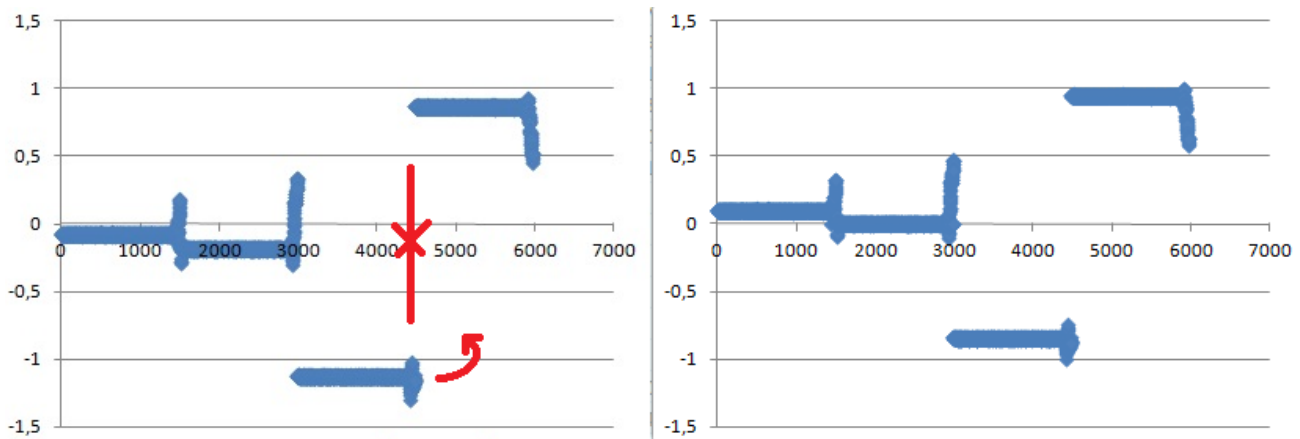


Рисунок 6

### Метод графического усреднения и выявление формулы основной калибровки

После первичной калибровки графика, исключения шумов, необходимо усреднить колеблющиеся показания основного промежутка и выявить формулу преобразования. Причем наша кривая только напоминает синусоиду, но движется по некоторой траектории, которую нам и необходимо найти.

Предложенный метод: найдем крайнее точки с точки зрения убывания и возрастания графика. Соединим их прямыми и найдем середины этих прямых. Построим рефракцию графика по найденным точкам (рис. 7). Как усложнение и детализация метода, можно не учитывать малые колебания данного графика.

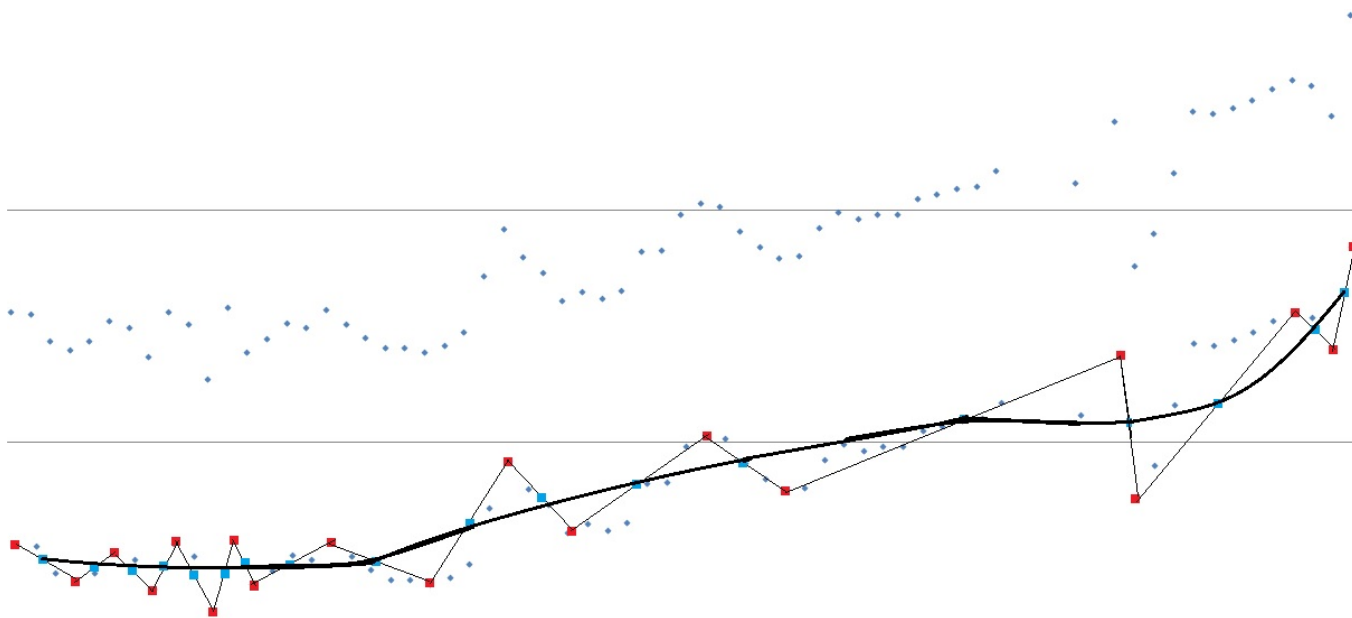


Рисунок 7

### Вычисление нахождения акселерометра в пространстве по его показаниям

Для вычисления нахождения акселерометра в пространстве необходимо ввести единицу и точку отсчета. Так за точку отсчета мы возьмем точку поворота акселерометра и связанную с ней ось, а за единицу – градус отклонения от оси.

Так как показание акселерометра является проекцией на ускорение или, другими словами, косинусом нужного угла, искомый угол легко найти с помощью обратной косинусу тригонометрической функции.

$a = \arccos(b')$  или  $a = \arccos((b + x) * y)$ , где  $a$  – искомый угол,  $b$  – полученные данные  $b'$  – преобразованные данные.

### Многоканальные акселерометры

Разбираясь в строении многоканальных акселерометров, можно заметить, что они состоят из нескольких одноканальных, которые были досконально изучены нами. Переложим основные методы преобразования на двухканальный акселерометр. Для этого последовательно применим полученные методы преобразования, после чего получим откалиброванный массив данных, наглядно представленный на графике.

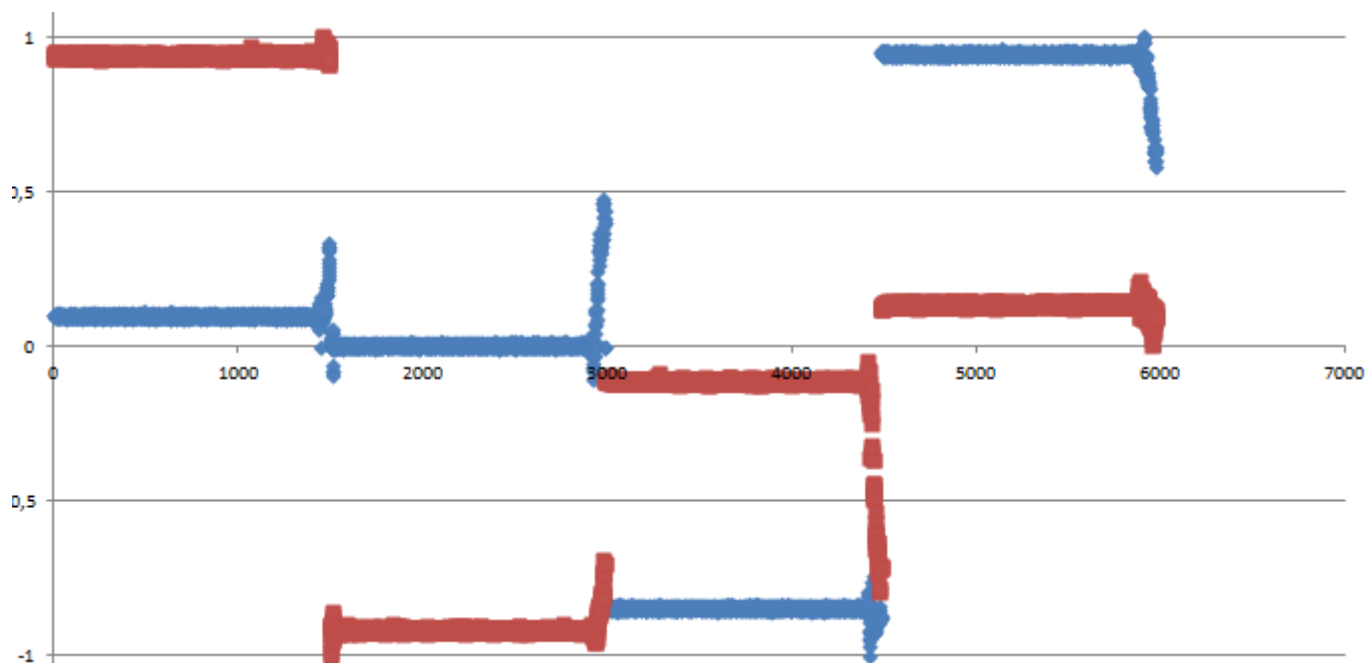


Рисунок 8

Также с помощью выявленных формул для нахождения углов можно найти два угла отклонения от осей, что покажет на положение акселерометра в пространстве.

**В заключение** можно сказать, что были исследованы исходные массивы данных, составлены и проанализированы их графики. Выявлены и исправлены ошибки в показаниях, дающие грубые погрешности. Вычислена формул для преобразования исходных данных в истинные. Найдены формулы, вычисляющие положения акселерометра по его показаниям. Материалы перенесены на случай многоканальных акселерометров.

Справка взята на сайте <https://ru.wikipedia.org/wiki/Акселерометр>