

## ПРИМЕНЕНИ ФИЛЬТРА КАЛМАНА ДЛЯ ОБРАБОТКИ СИГНАЛА С ДАТЧИКА

Волшин М.Е., Тутов И.А.

Научный руководитель: Тутов И.А.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: [megamax42rus@gmail.com](mailto:megamax42rus@gmail.com)

### Введение

В настоящее время в различных сферах используется большое количество датчиков, которые обладают различной точностью измерения и чувствительностью к внешним воздействиям. Не всегда получаемый с них сигнал удовлетворяет по требованиям к поставленным задачам. Довольно часто при неизменной измеряемой величины, происходит изменение показаний. Это обусловлено погрешностью преобразования сигнала. В большинстве случаев причиной этому является помеха или шум – случайная величина, как правило, подчиняющаяся распределению Гаусса. Однако не редко встречаются и случаи, когда происходит и изменение измеряемой величины. В этом случае ставится ещё одна задача – предсказать изменение этой величины.

В этих обоих случаях главная задача – приблизить измеренное значение к истинному на сколько это возможно. Для реализации данной задачи был выбран метод фильтрации сигнала методом Калмана.

### Метод Калмана

Суть метода состоит в том, что новое значение  $X_n$  строится путём складывания текущего значения измеренного сигнала  $U_n$  и предсказанного значения  $X_{n+1}$ . Текущее и предсказанное значение имеют разный вес при сложении. Т.е. вес текущего значения задаётся умножением на коэффициент Калмана  $K$ , который варьируется в пределах от 0 до 1. А вес предсказанного значения задаётся умножением на разность 1 и коэффициента Калмана. Формула в общем виде имеет вид:

$$X_n = K \cdot U_n + (1 - K) \cdot X_{n+1}$$

Т.е. если мы доверяем показанию датчика, то значение коэффициента  $K$  следует делать ближе к 1, и наоборот, если датчик склонен давать ложные значения. Прелесть данного метода заключается в том, что если за предсказанное значение  $X_{n+1}$  брать предыдущее значение  $X_{n-1}$ , мы избавляемся от необходимости вычисления предсказанного значения  $X_{n+1}$ . Это хорошо подходит для систем, которые не могут резко менять значения. Т.е.  $X_{n-1}$  не сильно отличается от  $X_n$  и  $X_{n+1}$ . Таким образом, в  $X_{n-1}$  у нас накапливается достаточно статистики показаний измерений чтобы считать её значение близкое к истинному. Остаётся только определить со значением коэффициента Калмана.[1]

### Средства исследования

Для исследования был использован целый программно-аппаратный комплекс, который в себя включает: датчик – гироскоп LSM9DS0[2], микро-

контроллер AVR ATmega16A в составе отладочной платы PinBoard II, ПК со всем необходимым софтом разработчика, а так же собственная программа для построения графиков по данным приходящим на COM порт ПК.[3]

Главным измерительным инструментом выступил цифровой датчик LSM9DS0. Данный датчик содержит в себе сразу 3 типа сенсора: гироскоп (который и будет использоваться для исследования), акселерометр и детектор магнитного поля. Все 3 типа сенсора трёхмерные (оси друг другу перпендикулярны) и каждое измерение имеет разрядность 16 бит – 65536 значений.

Главным инструментом фильтрации выступает отладочная плата PinBoard II (Рис. 1) из-за наличия на ней микроконтроллера AVR, программатора к нему и базовой электронной обвязки, что сделало работу очень удобной и продуктивной.



Рис. 1. PinBoard II с гироскопом LSM9DS0

Фильтр Калмана был реализован на микроконтроллере AVR. Для этого на микроконтроллер тоже была написана программа, которая с определённым временным интервалом опрашивает датчик, получая с него необходимую координату, потом обрабатывает значение координаты по формуле приведённой выше и на последнем этапе отправляет обработанное значение в COM порт на ПК для построения графиков.

### Исследование

Для различных значений коэффициента Калмана  $K$  было проведено несколько опытов с построением графиков плотности распределения

измеряемой координаты гироскопа в состоянии покоя (Рис. 2).

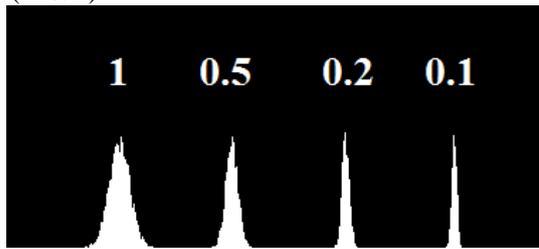


Рис. 2. Плотность распределения

Данные графики наглядно демонстрируют влияние фильтра Калмана на разброс в измерениях датчика.

В ходе исследования выяснилось, что все 3 координаты гироскопа в состоянии покоя не равны нулю, а имеют некоторый сдвиг, слабо зависящий от температуры и напряжения питания. Что в дальнейшем стало дополнительным объектом исследования при построении временных диаграмм координат.

На полученных временных диаграммах (Рис. 3) при коэффициенте  $K$  отличного от 1 хорошо видны переходные процессы (ступенчатое воздействие вызванное переходом от абсолютного 0 до значения приходящего с датчика в состояние покоя). Так же при  $K=1$  заметен шум и повышенная реакция на изменения измеряемой координаты (обычные вращательные движения). При  $K$  отличного от 1 реакция на внешнее воздействие становится более сглаженной.

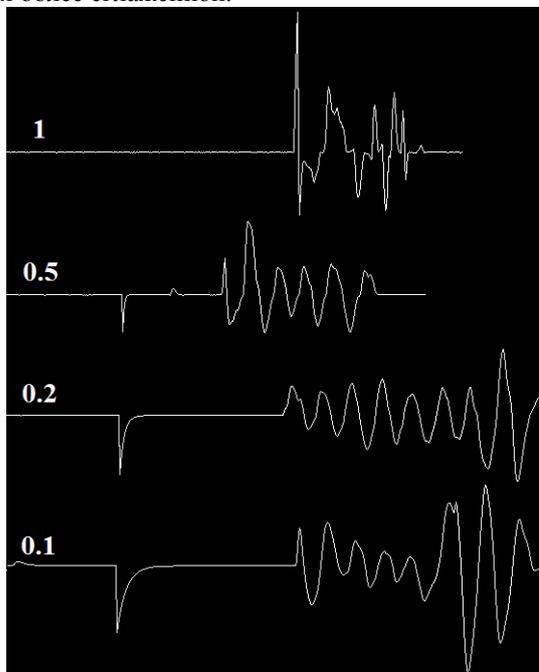


Рис. 3. Временные диаграммы

Из данных графиков можно сделать вывод, что фильтр Калмана замедляет реакцию на изме-

нение сигнала. При этом, чем меньше коэффициент Калмана, тем медленнее реакция на изменение.

Для оценки критичности замедления реакции была написана ещё одна программа, которая принимает данные из COM порта и на основе этих данных перемещает курсор на экране компьютера.[4,5] После очередной серии опытов с различным коэффициентом  $K$  выяснилось, что управление курсором ПК комфортнее всего при  $K = 0,2$ .

### Заключение

Исследование метода фильтрации Калмана доказало его эффективность в борьбе с помехами и с шумами. Подбирая коэффициент Калмана можно полностью устранить влияние шумов при условии сохранения их природы. Так же этот метод хорошо справляется со сглаживанием сигнала, избавляя его от резких скачков, придавая ему инерцию. Не требует больших вычислительных ресурсов, в отличие других методов. На пример для нахождения среднего квадратичного отклонения (используется в других методах) требуются значительно больше вычислительных мощностей. Это связано с 8 битной архитектурой микроконтроллеров AVR, а для вычисления среднеквадратичного отклонения требуется оперировать не с целочисленными числами, а с числами с плавающей запятой, которые занимают 32 бита. Поэтому у метода Калмана самый вычислительно эффективный ресурс.

### Литература

1. Фильтр Калмана [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://habrahabr.ru/post/166693/>, свободный.
2. LSM9DS0 – Datasheet [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.adafruit.com/datasheets/LSM9DS0.pdf>, свободный.
3. Работа с COM портом на C++ в Windows [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://how2.org.ua/%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B3%D1%80%D0%B0%D0%BC%D0%BC%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B5/%D1%80%D0%B0%D0%B1%D0%BE%D1%82%D0%B0-%D1%81-com-%D0%BF%D0%BE%D1%80%D1%82%D0%BE%D0%BC-%D0%BD%D0%B0-c-%D0%B2-windows.html>, свободный.
4. Изменение позиции курсора. C++ [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://itblogs.org/izmenenie-pozicii-kursora-s/>, свободный.
5. Координаты курсора мышки [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.sql.ru/forum/538349/koordinaty-kursora-myshki>, свободный.