

ФИЛЬТРАЦИЯ СИГНАЛОВ АКСЕЛЕРОМЕТРА В МИКРОКОНТРОЛЛЕРНОЙ СИСТЕМЕ НА БАЗЕ MPU6050

Показано, что для MPU6050 наилучший практический результат достигается каскадной обработкой: аппаратным DLPF, программным IIR-фильтром и комплементарной фильтрацией данных акселерометра и гироскопа. Предлагаемая структура ориентирована на малоресурсные микроконтроллерные платформы.

Введение

В микроконтроллерных системах акселерометр широко применяется для оценки движения, однако его сигнал содержит шум, смещение нуля и динамические помехи. Вследствие этого прямое вычисление углов по сырым данным приводит к нестабильной оценке. Для анализа выбран MPU6050, объединяющий трёхосевой акселерометр и трёхосевой гироскоп в одной микросхеме.

1. Каскадная обработка сигнала

Согласно спецификации MPU6050, первая ступень фильтрации может быть реализована аппаратно за счёт встроенного цифрового фильтра нижних частот [1]. Перед дальнейшей обработкой данные акселерометра приводятся к физическим единицам по выражению

$$a_i = \frac{raw_i - b_i}{S_a}. \quad (1)$$

где a_i — ускорение по i -й оси, raw_i — сырое значение, b_i — смещение, S_a — коэффициент чувствительности. На стороне микроконтроллера удобно применять рекурсивный IIR-фильтр первого порядка

$$a_{f,k} = \beta a_k + (1 - \beta)a_{f,k-1}, \quad 0 < \beta < 1. \quad (2)$$

где a_k — текущее измерение, $a_{f,k}$ — отфильтрованное значение, β — коэффициент сглаживания. Такой фильтр хорошо подходит для малоресурсных платформ.

Оценка наклона по акселерометру корректна лишь при доминировании гравитационной составляющей. При движении и вибрации возрастает ошибка оценки, поэтому данные акселерометра необходимо объединять с гироскопом. Удобна комплементарная схема [2]

$$\varphi_k = \alpha(\varphi_{k-1} + \omega_{x,k}\Delta t) + (1 - \alpha)\varphi_{acc,k}. \quad (3)$$

где φ_k — оценка угла, $\omega_{x,k}$ — угловая скорость по оси x , Δt — шаг дискретизации, $\varphi_{acc,k}$ — оценка по акселерометру, α — весовой коэффициент. В формуле (3) гироскоп задаёт быструю составляющую, а акселерометр компенсирует медленный дрейф интегрирования (рис. 1).

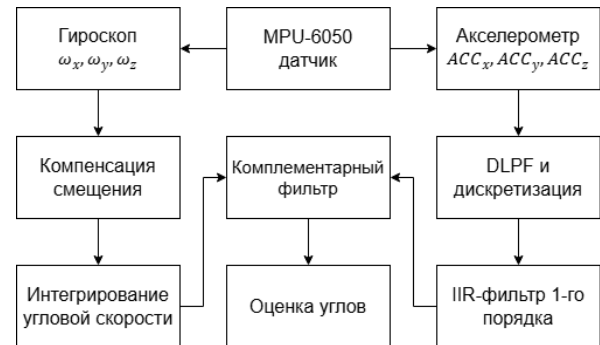


Рис. 1 – Каскадная структура фильтрации данных MPU6050 в микроконтроллерной системе

II. Выводы

Для MPU6050 рациональна каскадная схема: аппаратный DLPF, калибровка, программный IIR-фильтр и комплементарная фильтрация. Такая структура уменьшает шум, снижает дрожание выходных углов и обеспечивает устойчивую работу. Предлагаемый подход пригоден для реализации на малоресурсных микроконтроллерных платформах.

Список литературы

1. InvenSense Inc. MPU-6000/MPU-6050 Product Specification. – Revision 3.4. – 2013.
2. Mahony, R. Nonlinear Complementary Filters on the Special Orthogonal Group / R. Mahony, T. Hamel, J.-M. Pfimlin // IEEE Transactions on Automatic Control. – 2008. – Vol. 53, № 5. – P. 1203–1218.

Кузака Дмитрий Александрович, студент 2 курса факультета информационных технологий и управления БГУИР, dmitrykuzaka@gmail.com.

Евдокимчик Дарья Андреевна, студент 2 курса факультета информационных технологий и управления БГУИР, daryaevdokimchik@gmail.com.

Боброва Татьяна Сергеевна, старший преподаватель кафедры информационных технологий автоматизированных систем БГУИР, t.bobrova@bsuir.by