

УДК 519.654

МЕТОД РАСЧЕТА ВЕСОВЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ ДЛЯ ФИЛЬТРА МАДЖВИКА

© Селезнева Л.А., Кумарин А.А.

*Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация*

e-mail: selezneva.l.a.mail@gmail.com

В ходе разработки программного комплекса для обработки телеметрии со студенческого стратосферного аппарата, а именно в блоке определения ориентации, возникла такая проблема, как подбор оптимальных величин весовых коэффициентов для фильтра Маджвика. В основе фильтра лежит вычисление ориентации по данным гироскопа с помощью численного интегрирования и алгебры кватернионов. Вычисленное положение корректируется по данным с магнитометра и акселерометра методом градиентного спуска и с использованием двух весовых коэффициентов β и ζ , отвечающих за минимизацию таких ошибок, как шум измерений и температурный дрейф нуля.

Подбор коэффициентов осуществляется с помощью метода наименьших квадратов (МНК). Когда плата с датчиками неподвижна, имеет место предположение о нулевых истинных значениях угловых скоростей q_t . В этом случае уравнения фильтра [1] значительно упрощаются до системы уравнений:

$$\zeta \sum_t 2\vec{q}_{t-1} \frac{\nabla \vec{f}}{|\nabla \vec{f}|} \Delta t = \frac{-1}{2} \vec{\alpha}(T), \quad (1)$$

$$\beta \frac{\nabla \vec{f}}{|\nabla \vec{f}|} = \frac{d\vec{q}_t}{dt} + \frac{1}{2} \vec{q}_{t-1} \quad (2)$$

где \vec{q}_{t-1} – кватернион углового положения тела, $\vec{\alpha}(T)$ – линейный температурный дрейф нуля, $\frac{\nabla \vec{f}}{|\nabla \vec{f}|}$ – направление градиентного спуска, q_t – шум измерений.

Уравнения (1)–(2) можно привести к следующему виду и минимизировать получившуюся функцию потерь E для вычисления весовых коэффициентов фильтра:

$$E(\zeta) = \sum_{t=1}^n \left\| \zeta \sum_t 2\vec{q}_{t-1} \frac{\nabla \vec{f}}{|\nabla \vec{f}|} \Delta t - \vec{\alpha}(T) \right\| \rightarrow \min, (3)$$

$$E(\beta) = \sum_{t=1}^n \left\| \beta \frac{\nabla \vec{f}}{|\nabla \vec{f}|} - \frac{d\vec{q}_t}{dt} - \frac{1}{2} \vec{q}_{t-1} \circ \vartheta_t \right\| \rightarrow \min, (4)$$

Зависимость можно $\vec{\alpha}(T)$ найти линейной аппроксимацией показаний гироскопа при нулевых значениях скоростей и разных температурах. Не вошедшие в зависимость $\vec{\alpha}(T)$ значения будут являться шумом измерений ϑ_t .

Систему (2) можно обобщить до вида: $E(\mu) = \sum_{t=1}^m \mu \vec{v}_t - \vec{w}_t^2 \rightarrow \min$, тогда решение для коэффициента μ можно выразить следующим образом:

$$\mu = \frac{\text{tr}(V^T W)}{\text{tr}(V^T V)}, \quad (5)$$

где V и W матрицы, составленные из векторов \vec{v}_i и \vec{w}_i соответственно

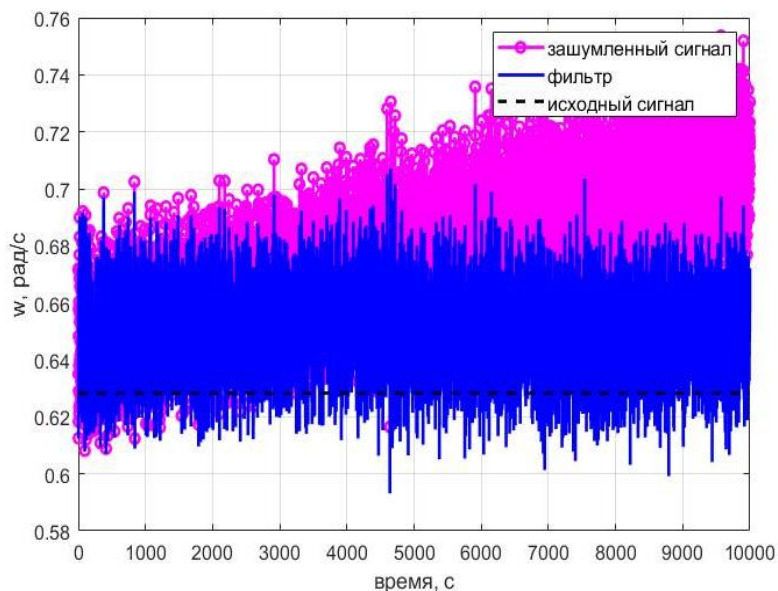


Рис. Результаты моделирования работы алгоритма

Для численного моделирования были сгенерированы данные, описывающие вращение вокруг одной из осей с постоянной скоростью $0,2\pi$ рад/с и постоянным линейным дрейфом $0,67$ рад/с (основываясь на данных с LSM6DS1). Исходные данные и результаты представлены на рисунке. Среднее отклонение угловой скорости относительно исходного сигнала составит $\Delta = 2,18 \cdot 10^{-2}$ °/с и расхожимость значений, вычисленных с помощью фильтра, составит приблизительно $\delta = 4\%$. Значения коэффициентов для исходных данных: $\beta = -1,3 \cdot 10^{-4}$ и $\zeta = 9,69 \cdot 10^{-6}$. Полученный метод планируется использовать в рамках программы для определения ориентации стратосферного зонда, а само решение проблемы минимизации функции потерь вида (5) можно использовать в рамках других прикладных задач.

Библиографический список

1. Sebastian O.H. Madgwick An efficient orientation filter for inertial and inertial/magnetic sensor array April 30, 2010.
2. Амелькин Н.И. Кинематика и динамика твердого тела (кватернионное изложение). М., 2000. 64 с.