

СТЕНД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ФИЛЬТРА КАЛМАНА В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ МУЛЬТИКОПТЕРОМ, СМОДЕЛИРОВАННЫМ В СРЕДЕ MATLAB

Фам Чонг Хай¹, А.М. Гунько², Б.И. Батомункуев², А.И. Салмин²

Томский политехнический университет,
ИШЭ, студент-аспирант¹; студенты гр. 5А07²

Научный руководитель: А.А. Шилин, профессор, ТПУ

Исследованы переходные процессы прямого и плавного пуска BLDC-мотора с целью оценки влияния их переходных процессов на датчик акселерометра в мультикоптере, приведены формулы и выражения показывающие, что момент возникающий на оси напрямую влияет на силу, следовательно, на сам акселерометр. Полученная форма этих колебаний момента внесена в дополнительную модель на датчик акселерометра, что позволяет исследовать фильтр Калмана.

Ключевые слова: беспилотного летательного аппарата, мультикоптер, вектор, БЛА, автоматическая система управления полётом, фильтры Калмана.

The transient processes of the direct and soft start of the BLDC motor were studied in order to assess the influence of their transient processes on the accelerometer sensor in the multicopter; formulas and expressions were given showing that the moment arising on the axis directly affects the force, and therefore the accelerometer itself. The resulting shape of these torque oscillations is included in an additional model on the accelerometer sensor, which makes it possible to study the Kalman filter.

Keywords: unmanned aerial vehicle, multicopter, vector, UAV, automatic flight control system, Kalman filters.

Введение

При создании систем управления движением беспилотных летательных аппаратов (БЛА), манипуляторов, автономных мобильных роботов, систем позиционирования человека возникает необходимость решения задачи оценки вектора состояния объекта, содержащего пространственные координаты и скорости движения. В рамках работы над проектом [1], разрабатывается и производится система управления мультикоптера на основе математического описания динамики движения БЛА, предложенного в работе [2]. Предыдущая работа не описывает качества сигнала акселератор.

Для управления подобным блоком реализуется использование ПД регулятора с простым способом управления, что упрощает управление и реализацию. Нужно учесть, что в жизни реализация невозможна из-за наличия шумов. Для оценки шумов, рассмотрим математическую модель прямого и плавного пуска двигателя с постоянными магнитами с BLDC-мотора, использующийся в устройствах (рис. 1, табл. 1).

Таблица 1. Параметры BLDC-мотора AC2830-358

$P_{2н}, Вт$	$n_{н}, об/мин$	$U_{н}, В$	$I_{max}, А$	p	$m, кг$
189,3	6500	7,4	13,3	16	0,062
$R, Ом$	$L, Гн$	$J_{дв}, кг \cdot м^2$	c_e	c_M	$M_{дв}$
2,491	0,005	$20,934 \cdot 10^{-6}$	0,0113	0,0112	0,278

Шум, наводящийся на акселерометре прямо пропорционален силе (рис. 1). В процессе управления можно использовать обе переменные, но они не компенсируют наличия шумов в переходном процессе (1 и 2). Для устранения шумов можно использовать фильтр Калмана, так как математическая модель описана хорошо и важно учесть, что чем лучше она описана, тем более четко формируется истинный сигнал в шумах.

$$F = mv\omega \quad (1)$$

$$M = J\varepsilon = J \frac{d\omega}{dz} \quad (2)$$

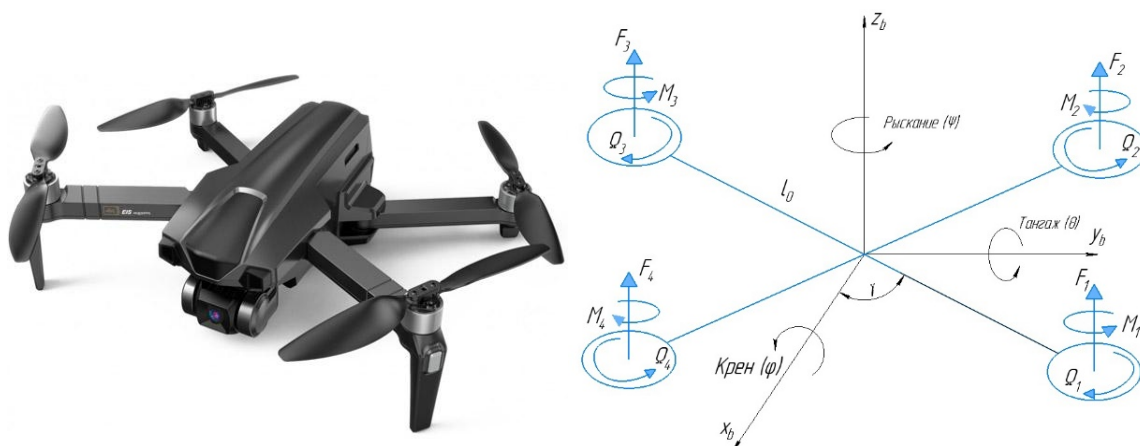


Рис. 1. БЛА, реализованный на основе BLDC-моторов на постоянных магнитах и системы координат, силы и моменты, действующие на мультикоптер

При построении системы оценки координат на основе фильтра Калмана, как правило, используется кинематическая или упрощённая динамическая (с постоянными ускорениями) модель движения аппарата. Зачастую не рассматриваются входы модели, соответствующие реальным управляющим воздействиям, подаваемым на объект. Цель данной работы – создание системы оценки ориентации и положения БЛА с использованием фильтра Калмана. Предложено использовать линейный фильтр Калмана для быстрого контура стабилизации ориентации и расширенный фильтр Калмана для подсистемы удержания заданного местоположения. Эффективность разработанной системы управления подтверждена экспериментальными результатами по управлению полётом квадрокоптера в помещении. Проблемой фильтра Калмана есть требование, что шум должен быть Гауссовым или иным, важно чтобы математическое ожидание было равно нулю.

Объект представлен в виде схемы, собранной на операционных усилителях реализующий дифференциальные уравнения, описывающие мультикоптер. Согласно статье [2] эта плата не учитывает шум, возникающий в двигателях, поэтому сам объект будет представлен реальной частью, реализованной на операционных усилителях (ОУ) и дополнительной математической моделью, которая отражает процессы в двигателе

Собрана математическая модель BLDC – мотора, где управление задается скачкообразно и плавно. Модель собрана в программном пакете Simulink, реализующая простой фильтр Калмана в виде встроенный блока MATLAB функции [2], приведена на рис 2.

Исходя из вышеизложенного, фильтр Калмана оптимизирует работу системы стабилизации БПЛА за счёт сглаживания шумов и оценки сигнала. Его применение в системах управления БПЛА является актуальным и экономически оправданным

Примечание: значения дисперсии умножены на коэффициент K , для того чтобы графики имели общие амплитуду (масштаб). Поскольку нас интересует только форма сигнала и насколько смещено математическое ожидание [3].

По полученным характеристикам можно произвести анализ, что из этого всего фильтр Калмана в самом простом случае, нужно подстраивать оценивая дисперсию, где матрица измерения – R , то при пересчете её, это будет является числом – R , что является дисперсией. Если активно управлять двигателем, менять скорость, то возрастет дисперсия и мы можем это экстраполировать. Дисперсия поднимается в полтора раза при скачкообразном сигнале,

при плавном пуске в полтора раза меньше. Математическое ожидание при скачкообразном сигнале приобретает смещение, что на работу фильтра Калмана будет влиять негативно. Оно влияет на качество управления даже при настроенном фильтре [4].

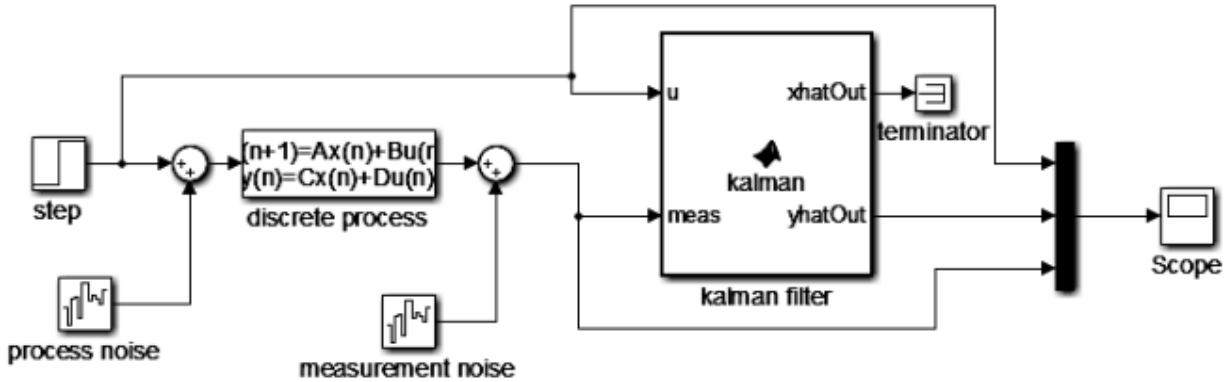


Рис. 2. Модель фильтра Калмана

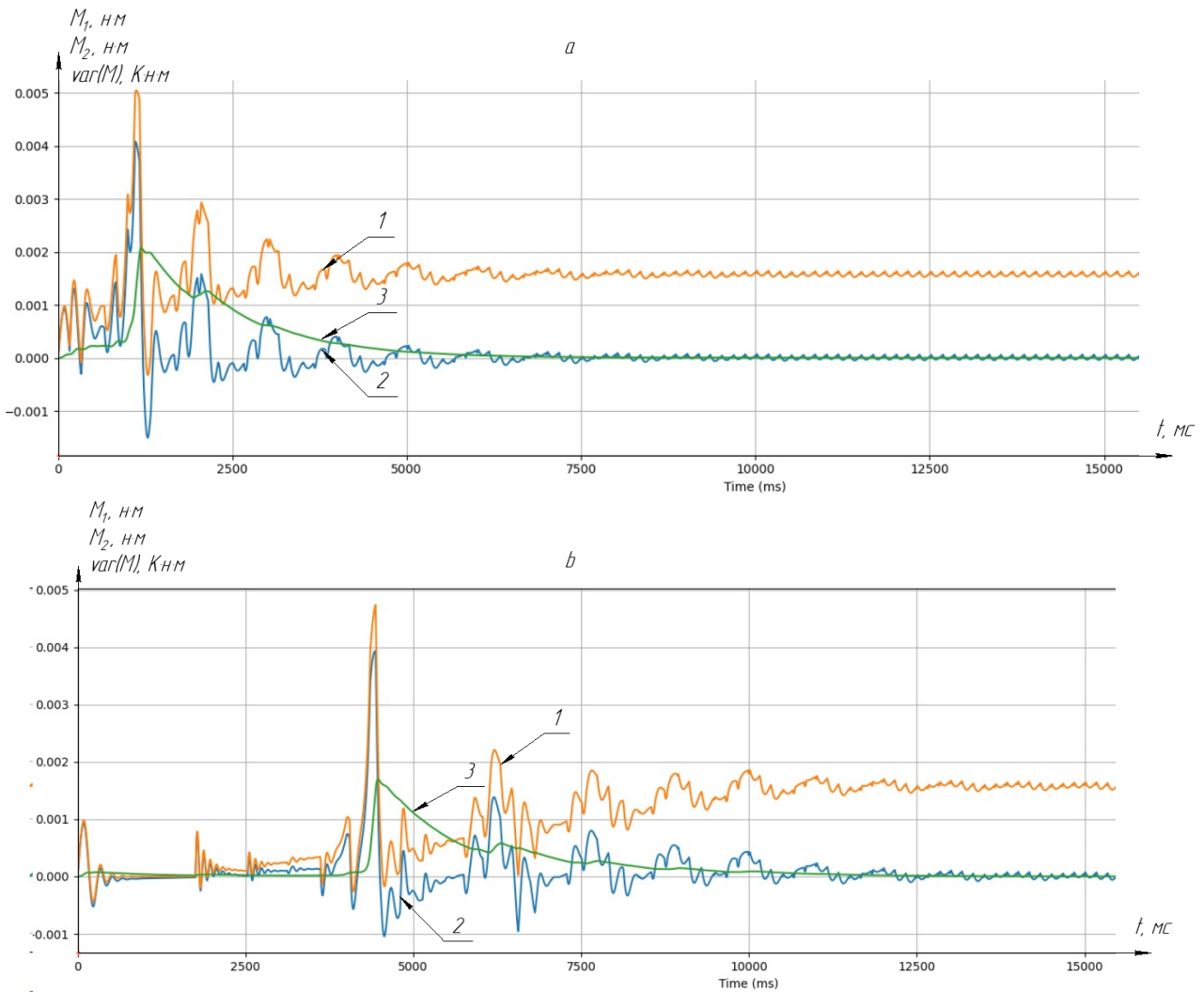


Рис. 3. сигнал управления: а – скачкообразно (1 – момент математического ожидания, 2 – шума который поступает на конструкцию от двигателя (момент тряски), 3 – дисперсия); б – плавно (1 – момент математического ожидания, 2 – шума который поступает на конструкцию от двигателя (момент тряски), 3 – дисперсия)

Смоделировав работу BLDC – мотора на предмет, как себя ведет момент и математическое ожидание момента (математическое ожидание используем, так как оно является источником шума). При плавном пуске математическое ожидание вокруг нуля больше, при скачкообразном математическом ожидание смещается. Важно отметить, что ПЛК работает на частотах 1 КГц, по математической модели работы BLDC – мотора мы можем посмотреть периодические процессы и проэмулировать этот сигнал, то есть при получении переходного процесса, мы можем из нескольких синусоид аппроксимировать сигнал с частотой 500 Гц [5]. Получив колебательную характеристику со смещением и эту ошибку, мы можем внести в измерения, кроме белого шума. Тогда мы можем использовать фильтр Калмана на данную математическую модель.

Заключение

В данной статье получили переходные процессы прямого и плавного пуска BLDC-мотора с целью оценки влияния их переходных процессов на датчик акселерометра в мультикоптере, с применением фильтра Калмана. Проанализировав их, предполагаем, что это может повлиять на качество управления даже при настроенном регуляторе. Для этого планируется сборка стенда, для исследования работы фильтра Калмана. На таком лабораторном стенде студенты могут исследовать работу фильтра Калмана, подбирая как параметры динамического объекта, так и дисперсии по шуму измерения сигнала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Батомункуев Б.И., Гунько А.М., Математическое описание динамики движения беспилотных летательных аппаратов на примере мультикоптера // Программная инженерия: Современные тенденции развития и применения (ПИ-2023): Сборник материалов VII-й Всероссийской научно-практической конференции (16 октября 2023 года), Юго-Зап. Гос. ун-т. – Курск: Юго-Зап. гос. ун-т, 2023. – С. 103–105.
2. Загордан А.М. Элементарная теория вертолёта. – М.: Военное издательство Министерства обороны Союза ССР, 1955.
3. Яцун С.Ф., Емельянова О.В., Попов Н.И. Изучение движения квадрокоптера в вертикальной плоскости // Актуальные вопросы технических наук (II): материалы международной заоч. науч. конф. – Пермь: Меркурий, 2013. – С.66–69.
4. Pounds P., Mahony R., Corke P. Modelling and Control of a QuadRotor Robot. – Canberra: Australian National University, 2008. – 10 p.
5. Dierks T., Jagannathan S., Neural Network Control and Wireless Sensor Networkbased Localization of Quadrotor UAV Formations // Aerial Vehicles. – 2009. – P. 601–620.

ПРОЕКТ ДИАГНОСТИКИ И ЗАЩИТЫ КЛИМАТА ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ

А.М. Альчимбаева

*Сибирский государственный медицинский университет,
ЛФ, ЛД, гр. 1334*

Научный руководитель: А.А. Меньшикова, к.ф.н., ассистент СибГМУ

Проблемы разумной организации природопользования и воздействия эксплуатации энергетических ресурсов на состояние окружающей среды является актуальной проблемой. Вопросы изменения климата освещаются в ряде источников [1, 2]. Тема изменения экологии под воздействием климатических изменений становится своего рода вечной в вопросах вза-