Application of Kalman filter in the system of the helicopter type UAV stabilization
Karshov R. (Russian Federation)
Применение фильтра Калмана в системе стабилизации БПЛА вертолетного типа
Каршов Р. С. (Российская Федерация)

Каршов Роман Сергеевич / Karshov Roman - студент, бакалавр,
кафедра систем автоматического управления и контроля,
Национальный исследовательский университет Московский институт электронной техники, г. Зеленоград

Аннотация: *в работе представлены результаты реализации фильтра Калмана. Показана возможность оценки систематической погрешности в измерениях компонента линейной скорости квадрокоптера с помощью фильтра Калмана при наличии шумов измерений.*
Abstract: *in operation results of implementation of the filter of Kallman are provided. The possibility of an assessment of systematic inaccuracy in measurements of a component of the line speed of the quadcopter by means of Kallman's filter in the presence of noise of measurements is shown.*

Ключевые слова: *Беспилотный летательный аппарат (БПЛА), квадрокоптер, стабилизация, фильтр Калмана.*
Keywords: *Unmanned aerial vehicle (UAV), quadcopter, stabilization, the Kalman filter.*

С каждым годом беспилотные летательные аппараты (БПЛА) набирают все большую популярность в нашей жизни. Уникальные возможности БПЛА, такие как компактность, высокая мобильность, оперативность в эксплуатации и отсутствие дорогостоящего обслуживания, обуславливают их широкое применение, как в военной сфере, так и в гражданской. БПЛА активно применяются в качестве разведчиков труднодоступных районов, где получение информации подвергает опасности здоровье или жизнь человека. БПЛА обеспечиваются различными сенсорами в качестве полезной нагрузки, с целью получения наиболее полной информации о местности. Расстояние полета зависит от мощности передатчика и емкости батарей.

При написании статьи в качестве БПЛА рассматривался квадрокоптер. Данное устройство представляет собой беспилотный летательный аппарат с четырьмя винтами, вращающимися попарно в противофазе, что необходимо для компенсации крутящего момента. Сложность стабилизации квадрокоптера состоит в том, что он имеет шесть степеней свободы, в то время как управление осуществляется только изменением скорости вращения винтов, что приводит к неустойчивости системы.

Актуальность данной темы вытекает из принципа работы квадрокоптера. Помехи, вызванные внешними факторами, такими как погодные условия, влияют на стабильность управления. Однако при отсутствии внешних помех обеспечить стабилизацию места висения достаточно сложно, ввиду наличия внутренних помех, причиной которых является большой допуск на установку роторов, пропеллеров и несбалансированный вес.

С целью уменьшения помех системы в работе рассматривается фильтр Калмана. Алгоритм фильтра Калмана состоит из двух этапов: предсказание и корректировка [1].На первом этапе происходит предсказание состояний в текущий момент времени, а на втором – корректировка предсказанных значений, полученных с датчика.

Положение квадрокоптера в пространстве характеризуется координатами x, y, z центра масс аппарата и тремя углами поворота вокруг осей x_b, y_b, z_b системы координат. Упрощённые уравнения динамики (1) и (2), описывающие движение квадрокоптера в указанных координатах и ориентации осей x_b, y_b, z_b , приведены ниже [2]:

$$\begin{cases} mx = (sin\psi * sin\phi + cos\psi * cos\phi * sin\theta)u_1, \\ my = (-cos\psi * sin\phi + sin\psi * cos\phi * sin\theta)u_1, \\ mz = cos\phi * cos\theta u_1 - mg, \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} I_{xx}\phi = u_2 - \left(I_{zz} - I_{yy}\right)\theta\psi, \\ I_{yy}\theta = u_3 - (I_{xx} - I_{zz})\phi\psi, \\ I_{zz}\psi = u_4. \end{cases} \quad (2)$$

где m – масса квадрокоптера; g – ускорение свободного падения; I_{xx}, I_{yy}, I_{zz} – моменты инерции относительно соответствующих осей квадрокоптера; $u_1 - u_4$ – управляющие силы и моменты.

Будем считать, что процессы изменения углов ориентации представимы в виде независимых уравнений

второго порядка (3):

$$\begin{cases} T_\psi^2\psi + 2d_\psi T_\psi\psi + \psi = \psi_{ref,} \\ T_\phi^2\phi + 2d_\phi T_\phi\phi + \phi = \phi_{ref,} \\ T_\theta^2\theta + 2d_\theta T_\theta\theta + \theta = \theta_{ref,} \end{cases} \quad (3)$$

Соотношения (1) и (2) с управляющими параметрами $\psi_{ref}, \phi_{ref,}\theta_{ref}$ могут быть использованы для оценки переменных состояния объекта управления с помощью рекурсивного фильтра Калмана [3]. Исходная модель объекта управления (1), (2) представляется в виде (4):

$$\begin{cases} X^{k+1} = f(X^k, U^k) + W^k, \\ Z^k = h(X^k) + V^k, \end{cases} \quad (4)$$

где W^k- нормальный случайный процесс с нулевым средним**,** описывающий погрешности моделирования; V^k- белый гауссовский шум измерений с нулевым средним, описывающий шум датчиков; Z^k- выход датчиков измерения компонент вектора состояния X^k объекта; k- шаг дискретизации по времени. С учётом соотношений (1), (2) вектор состояния имеет вид (5):

$$X^k = \left[x^k, y^k, z^k, \dot{x}^k, \dot{y}^k, \dot{z}^k, \psi^k, \phi^k, \theta^k, \dot{\psi}^k, \dot{\phi}^k, \dot{\theta}^k\right]^T \quad (5)$$

Модель в программном пакете Simulink, реализующая простой фильтр Калмана в виде встроенный блока MATLAB функции [4], приведена на рис 1.

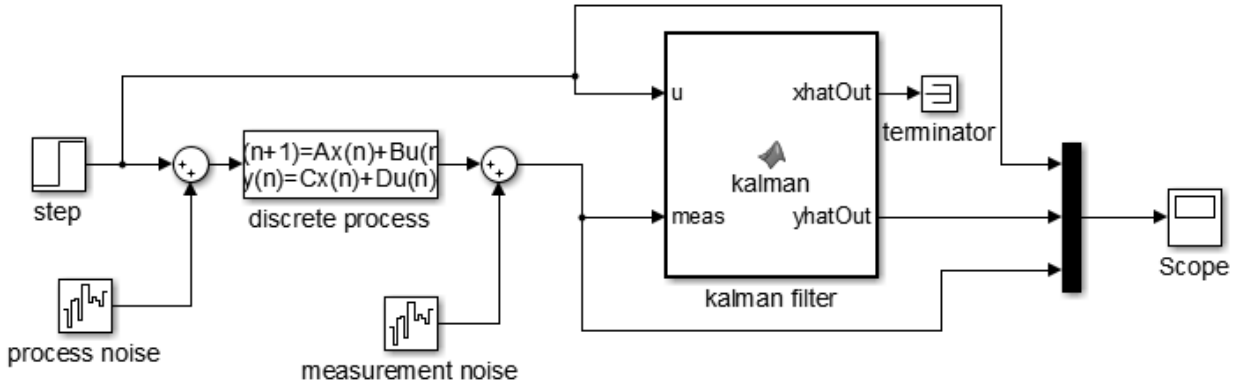

Рис. 1. Модель фильтра Калмана

Дискретный рассматриваемый процесс является простым первого порядка, стационарная система задается системой уравнений (6), (7).

$$x_k = 0.914x_{k-1} + 0.25u_k \quad (6)$$

$$y_k = 0.344x_k \quad (7)$$

Таким образом, разработанная модель фильтра Калмана представляет собой дискретный вариант передаточной функции непрерывного времени (8)

$$y = \frac{9}{s+9}u \quad (8)$$

где дискретная частота дискретизации Ts = 0,01.

Модель процесса подвергается двум источникам нормально распределенного шума. Подверженный шуму ввод имеет различие 0.01, а вывод – 0.1.

На рисунке 2 представлен результат моделирования разработанной системы управления с использованием фильтра Калмана.

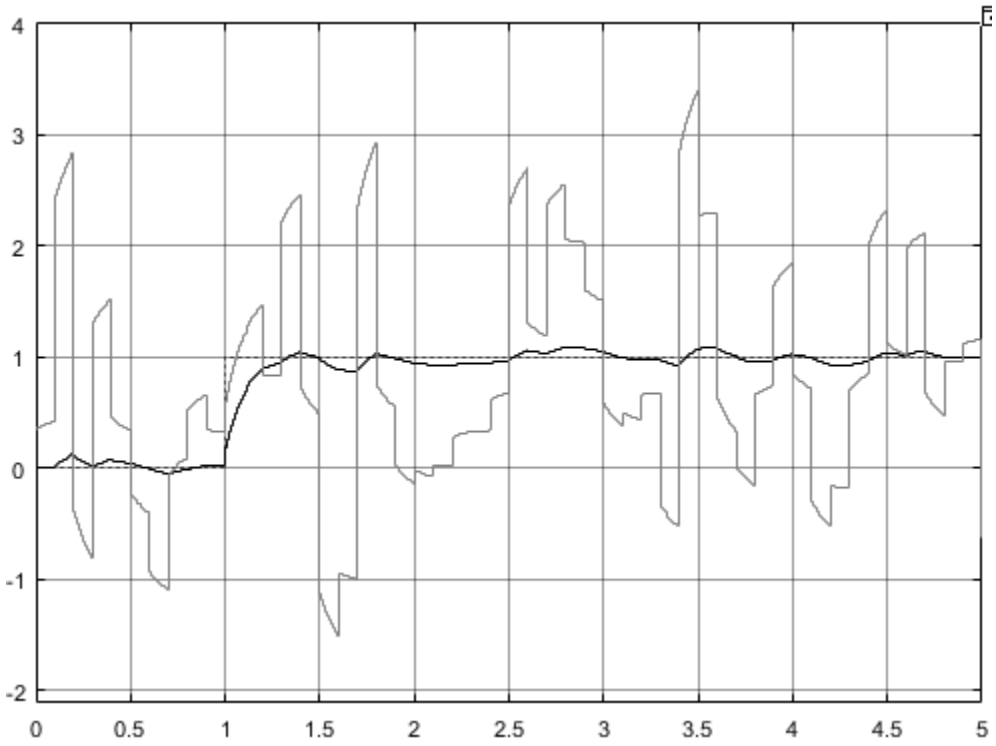

Рис. 2. Результат моделирования фильтра Калмана

Вывод: 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.

Литература

1. *Dr. Phil Goddard*, Control System Design. [Электронный ресурс]: Modeling. Simulation. Data Analysis. Visualization. URL: http://www.goddardconsulting.ca/kalman-filter.html, (дата обращения: 09.05.2016г.).
2. *Kim J., Kang M.-S., Park S.* Accurate modeling and robust hovering control for a quad-rotor VTOL aircraft. Journ. Intell. Robotics Syst. 2010, N 1-4. P. 9-26.
3. *Kalman R. E.* A new approach to linear filtering and prediction problems. Trans. ASME- Journ. Basic Eng. 1960. N 82 (Ser. D). P. 35-45.
4. *Дьяконов В. П.* Simulink 5/6/7: Самоучитель. – М.: ДМКПресс, 2008. – 784 с.: ил.