

Моделирование нечетко-логического управления квадрокоптером

Хтет Сое Паунг, Е Тет Линн, Хан Мьо Хтун

*Национальный исследовательский университет «Московский Институт
Электронной Техники»*

Аннотация: В настоящее время беспилотник используется во многих ситуациях, когда пилотируемый полет считается сложным, слишком рискованным или в некоторых случаях невозможным. В последние годы беспилотники (дроны) стали очень популярными, благодаря простоте использования и своей универсальности. Актуальность задачи синтеза систем управления беспилотным летательным аппаратом характеризуется сложностью их математической модели и большим числом экспериментально определяемых параметров. В данной статье предложена методика проектирования модели системы регулирования с нечетким логическим контроллером. Приведены результаты имитационного моделирования системы с нечетким логическим контроллером.

Ключевые слова: квадрокоптер, БПЛА, нечетко-логическое управление, динамика, крен, тангаж, рыскание.

Введение

Многие типы дронов в настоящее время используются и тестируются во многих областях для выполнения ряда задач. К таким задачам относятся, главным образом, гражданские миссии, например, наблюдение за дорожным движением, мониторинг нефте- и газопроводов и линий электропередачи, а также миссии по обеспечению гражданской безопасности, такие, как обнаружение людей. Многие другие виды использования разрабатываются в различных областях, таких как сельскохозяйственное опрыскивание, мониторинг растительности, картирование регионов, рекламные фильмы для туризма и спорта, экологические исследования, пожаротушение и так далее. Следовательно, беспилотники являются предметом постоянных исследований с целью разработки таких беспилотников, которые могут выполнять свои функции с наименьшей вероятностью ошибок [1-2].

Моделирование движения квадрокоптера

Квадрокоптерный БПЛА летает с помощью четырех двигателей, как показано на рисунке ниже. С целью вертикального полета два противоположных двигателя вращаются в одном направлении. Комбинация противоположных моторов вращается в аналогичном направлении для стабилизации по оси x , другая комбинация противоположных моторов удерживает ее стабилизирующей по оси y [3].

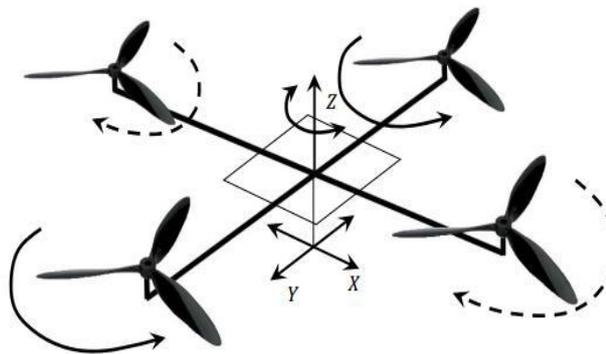


Рис. 1. Движение квадрокоптера

Квадрокоптер БПЛА имеет 6 степеней свободы. Таким образом, у него есть 6 переменных (x , y , Z , ϕ , θ и ψ), которые используются, чтобы выразить свою ориентацию в пространстве. ϕ , θ и ψ также известны как углы Эйлера. Сведения о каждой переменной приведены ниже [4];

1) x и y : эти переменные используются для представления положения квадрокоптера в пространстве.

2) Z определяет высоту квадрокоптера

3) ϕ : угол крена; он представляет угол вокруг оси x

4) θ : угол тагажа; его представляют углом относительно оси y

5) ψ : угол ψ или рыскания; он представляет собой угол вокруг оси z

В данной работе для получения динамики квадрокоптера используется формализм Ньютона-Эйлера. Ниже приведены допущения, сделанные для проектирования [5];

1) жесткая структура и симметричная
2) винты жесткие
3) тяга и лобовое сопротивление пропорциональны квадрату скорости вращения винтов. В данной работе представленная модель учитывает следующее уравнение движения:

$$\begin{aligned}x'' &= (\cos \phi \sin \theta \cos \psi + \sin \phi \sin \psi) \frac{1}{m} U_1 \\y'' &= (\cos \phi \sin \theta \cos \psi + \sin \phi \sin \psi) \frac{1}{m} U_1 \\z'' &= -g + (\cos \phi \cos \theta) \frac{1}{m} U_1 \\ \phi'' &= \theta' \psi' \left(\frac{I_y - I_x}{I_x} \right) - \left(\frac{J_r}{I_x} \right) \theta' \Omega + \frac{1}{I_x} U_2 \\ \theta'' &= \theta' \phi' \left(\frac{I_z - I_x}{I_y} \right) - \left(\frac{J_r}{I_y} \right) \phi' \Omega + \frac{1}{I_y} U_2 \\ \psi'' &= \theta' \phi' \left(\frac{I_x - I_y}{I_z} \right) - \left(\frac{1}{I_z} \right) U_4\end{aligned} \quad (1)$$

В уравнении (1) m [kg] представляют массу квадрокоптерного вертолета, тогда как I_{xx} [Nms²], I_{yy} [Nms²], I_{zz} [Nms²] – (момент инерции) описывают коэффициенты матрицы инерции, выраженные в системе тел, J [Nms⁻¹]-угловой момент, а Ω [radians⁻¹] - скорость винта. U_1, U_2, U_3, U_4 -это входные данные или коэффициенты вектора трансляции. Основные движения и скорость винта могут быть представлены следующим уравнением 2 [6].

$$\begin{aligned}U_1 &= b(\Omega_1^2 + \Omega_2^2 + \Omega_3^2 + \Omega_4^2) \\U_2 &= lb(-\Omega_2^2 + \Omega_4^2) \\U_3 &= lb(-\Omega_1^2 + \Omega_3^2) \\U_4 &= d(-\Omega_1^2 + \Omega_2^2 - \Omega_3^2 + \Omega_4^2) \\ \Omega &= (-\Omega_1^2 + \Omega_2^2 - \Omega_3^2 + \Omega_4^2)\end{aligned} \quad (2)$$

В уравнении (2) l [m], b [Ns²] и d [Nms²] описывают расстояние между центром пропеллера и центром квадрокоптера, подъем и сопротивление соответственно. Ω_1 [рад⁻¹], Ω_2 [рад⁻¹], Ω_3 [рад⁻¹] и Ω_4 [рад⁻¹] - это скорость переднего, правого, заднего и левого пропеллера.

Нечеткое логическое управление

Нечеткое логическое управление делится на пять основных компонентов: определение входных переменных, фаззификация, нечеткие правила, дефаззификация, определение выходных переменных. Система нечеткой логики показана на рисунке ниже [7].

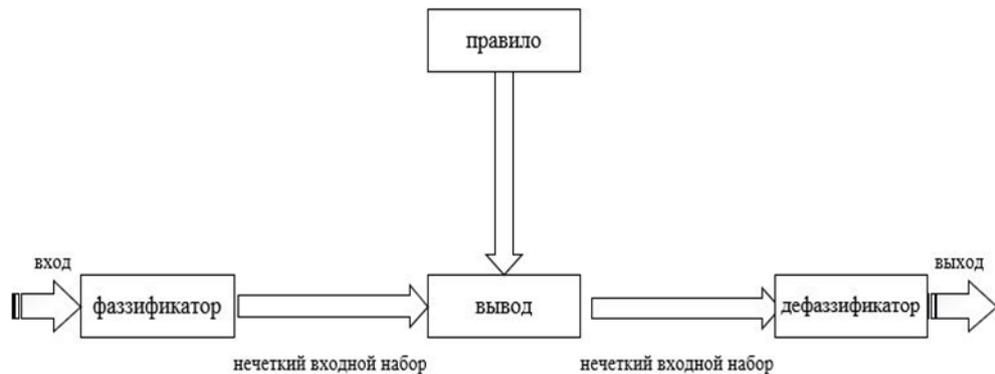


Рис. 2. Нечеткая система управления

Таблица № 1

Height (Высота)					
E	NB	N	Z	P	PB
$\frac{dE}{dT}$					
N	GDM	GD	GD	S	GU
Z	GUM	GD	S	GU	GUM
P	GD	S	GU	GUM	GUM

В данной таблице представлены нечеткие правила для всех четырех контроллеров. Путем экспериментов и тщательного наблюдения определяется следующая база правил для всех четырех контроллеров [8]: для управления квадрокоптером треугольной, трапециевидной и Гауссовой формы используются функции принадлежности. Входной диапазон от $[-2, 2]$ тогда, как выходная переменная, лежит в диапазоне $[-15, 15]$. Ниже перечислены члены, определенные для каждого контроллера.

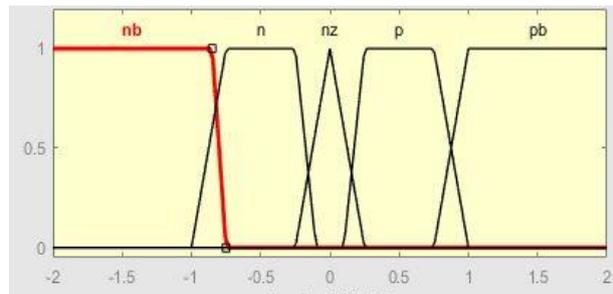


Рис. 3. Функция принадлежности входного сигнала ошибки

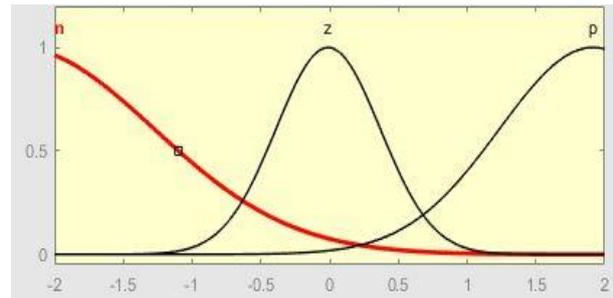


Рис. 4. Производная от функции принадлежности входного сигнала ошибки.

В этой статье используются параметры, показанные в таблице, расположенной ниже.

Таблица № 2

Параметры квадрокоптера

I_{xx}	$7.5 \cdot 10^{-3}$
I_{yy}	$7.5 \cdot 10^{-3}$
I_{zz}	$1.30 \cdot 10^{-2}$
J_r	6.50×10^{-5}
B	3.13×10^{-5}
D	7.5×10^{-5}
L	0.23
M	0.65

Simulink используется для разработки контроллера. Для того, чтобы

управлять квадрокоптером, используются четыре регулятора нечеткого типа для достижения желаемого результата [9]. В этой статье мы будем обсуждать только контроллер крена, а остальные остаются похожими. Для целей управления углом крена квадрокоптера управляющий вход может быть определен как [10].

$$U_2 = K_p \cdot (\phi_d - \phi) + K_d \cdot (\dot{\phi} - \dot{\phi}') \quad (3)$$

где K_p - пропорциональное усиление, K_d - производное усиление, ϕ_d - требуемый угол, ϕ - фактический угол, U_2 - управляющий вход.

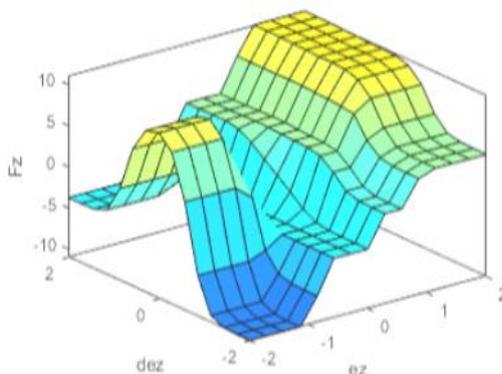


Рис. 5. Поверхность нечетких правил

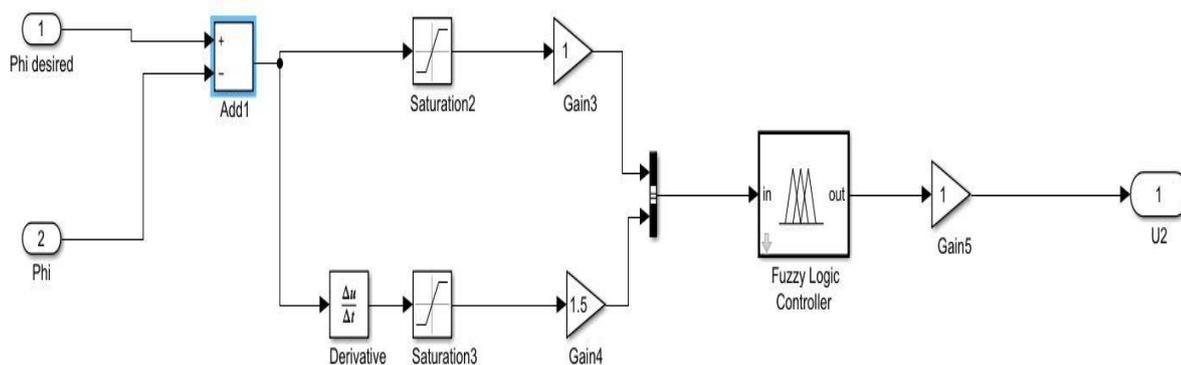


Рис. 6. Нечеткий регулятор

Моделирование и результаты

Общая схема всех контроллеров в Matlab приведена на рис 9.

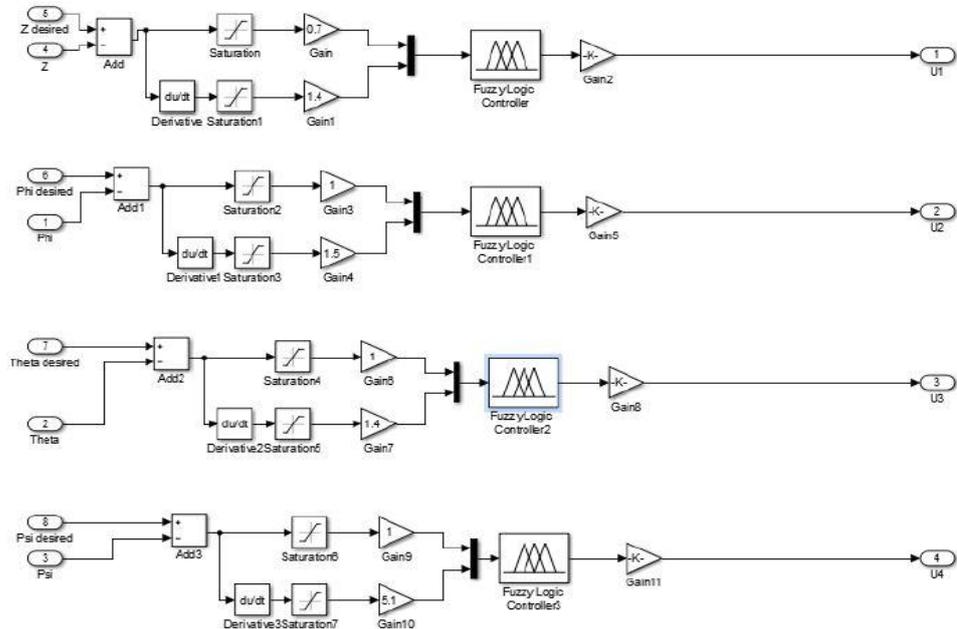


Рис.7. Основная схема системы управления подобного регулятора на основе нечеткой логики

Здесь в этом случае желаемым входом является единичный шаг, и желаемый выход также единичный шаг. Результаты моделирования по отношению к желаемому входу показаны на рисунках ниже [11].

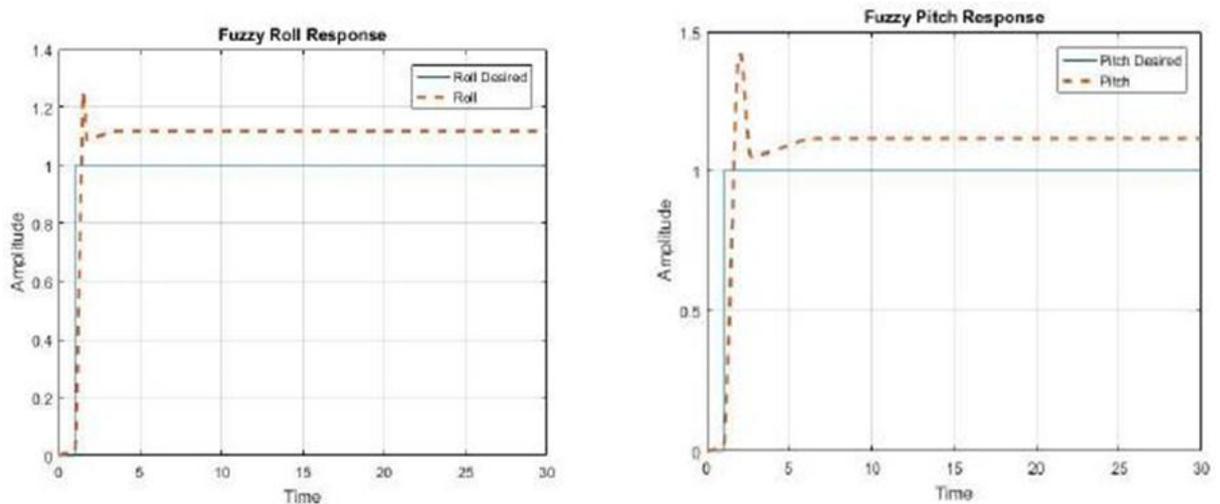


Рис. 8. Результаты моделирования процессов стабилизации угла крена (а) и угла тангажа (б)

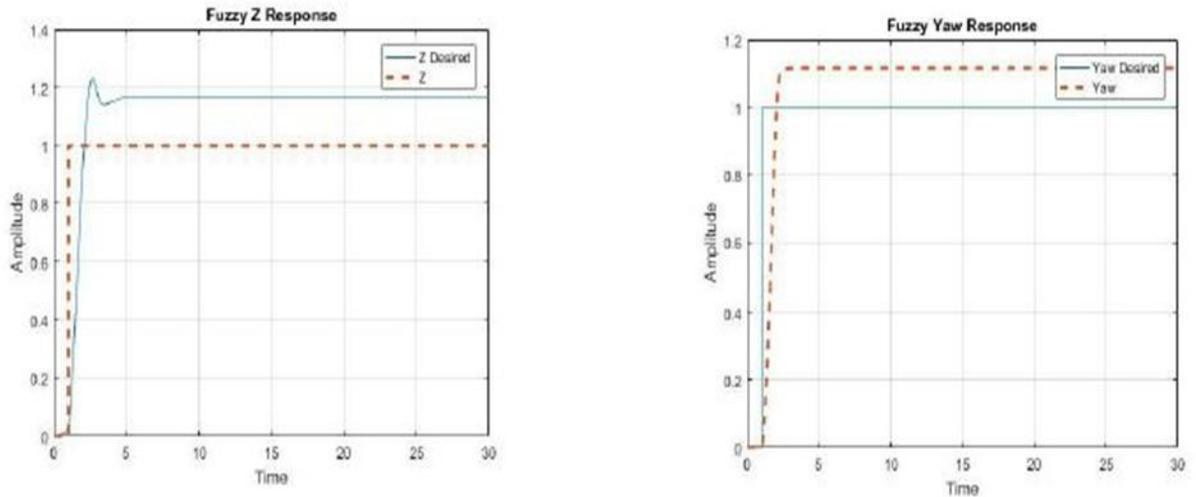


Рис. 9. Результаты моделирования процессов стабилизации высота квадрокоптера (а) и угла рыскания (б)

Исследование динамики нечеткой системы управления проводилось в среде графического моделирования Simulink пакета MATLAB. В данной статье предлагается новый подход к синтезу нечеткого управления беспилотным летательным аппаратом по упрощенной динамической модели и минимальной исходной информации о параметрах. Таким образом, динамика САУ с нечетким регулятором всецело определяется архитектурой системы нечеткого вывода: методом построения и содержанием базы продукционных правил, а также способом реализации алгоритма нечеткого вывода.



Литература

1. Шляйхер М. Техника автоматического регулирования для практиков Москва, JUMO GmbH, 2006, 124 с.
2. Целигорова Е.Н. Современные информационные технологии и их использование для исследования систем автоматического управления // Инженерный вестник Дона, 2010, №3. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n3y2010/222.
3. Павловский В.Е., Яцун С.Ф., Емельянова О.В., Савицкий А.В. Моделирование и исследование процессов управления квадрокоптером // Робототехника и техническая кибернетика, 2014. № 4(5). С. 49-57.
4. Гэн К., Чулин Н.А. Алгоритмы стабилизации для автоматического управления траекторным движением квадрокоптера. Наука и образование, 2015, № 5. DOI: 10.7463/0515.0771076.
5. Гурьянов А.Е. Моделирование управления квадрокоптером. Инженерный вестник, 2014, № 8. URL: engbul.bmstu.ru/doc/723331.html.
6. Сайфеддин Д.Г., Булгаков А.Г., Круглова Т.Н. Нейросетевая система отслеживания местоположения динамического агента на базе квадрокоптера // Инженерный вестник Дона, 2014, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2014/2293.
7. Чжо Мьят Ту, Моделирование Системы Автоматического Управления Квадрокоптером // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2014. №11. URL: sntbul.bmstu.ru/doc/741283.html.
8. Нечеткое управление пид с ФИС типа-2. URL: mathworks.com/help/fuzzy/fuzzy-pid-control-with-type-2-fis.html.
9. Козловский В.Б., Паршенцев С.А., Ефимов В.В. Вертолет с грузом на

внешней подвеске. Москва, Машиностроение, 2008, 304 с.

10. Htet Soe Paing. New Designing Approaches for Quadcopter Using 2D Model Modelling a Cascaded PID Controller// 2020 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus), pp.2370-2373.

11. Pounds P., Mahony R., Corke P., “Modelling and control of a large quadrotor robot”. Control Engineering Practice. Elsevier Vol. 18, no. 7, pp. 691-699, 2010.

References

1. Shlyaykher M. Tekhnika avtomaticheskogo regulirovaniya dlya praktikov [Automatic control engineering for practitioners]. Москва, JUMO GmbH Publ., 2006, 124 p.

2. Alegorov E.N. Inzhenernyj vestnik Dona, 2010, №3. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n3y2010/222.

3. Pavlovsky V. E., Yatsun S. F., Yemelyanova O. V., Savitsky A.V. Robotics and technical Cybernetics, 2014, № 4(5). Pp.49-57.

4. Gen K., Chulin N.A. Nauka i obrazovanie. Science and Education, 2015, № 5. DOI: 10.7463/0515.0771076

5. Guryanov A.E. Inzhenernyj vestnik, 2014, № 8. URL: engbul.bmstu.ru/doc/723331.html.

6. Saifeddin D.G., Bulgakov A.G., Kruglova T.N. Inzhenernyj vestnik Dona, 2014, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2014/2293.

7. Kyaw Myatt Tu. Electron. journal 2014. №11. URL: sntbul.bmstu.ru/doc/741283.html.

8. Nechetkoe upravlenie pid s FIS tipa-2. [Fuzzy pid control with FIS type-2]. URL: mathworks.com/help/fuzzy/fuzzy-pid-control-with-type-2-fis.html.

9. Kozlovskiy V.B., Parshentsev S.A., Efimov V.V. Vertolet s gruzom na



vneshnej podveske. [Outside load helicopter]. Moskva, Mashinostroenie Publ., 2008, 304 p.

10. Htet Soe Paing. 2020 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus) pp.2370-2373.

11. Pounds P., Mahony R., Corke P. Elsevier Vol. 18, № 7, pp. 691-699, 2010.















