

Применение нечёткой логики для управления компьютерной моделью беспилотного летательного аппарата

Уманский Андрей Станиславович
Дальневосточный федеральный университет
Студент

Абакумов Александр Иванович
Институт автоматики и процессов управления ДВО РАН
Д. ф.-м. наук, профессор

Аннотация

Исследуется классический метод алгоритма управления беспилотным летательным аппаратом. Обосновывается целесообразность и эффективность при решении задач ориентации и стабилизации компьютерной модели беспилотника с использованием нечёткой логики. Произведено обоснование применения нечёткого логического контроллера в качестве основного инструмента инициализации. Обосновывается практичность совместного использования программ для моделирования. Разработан проект, обеспечивающий стабилизацию компьютерной модели беспилотного аппарата с применением нечёткого алгоритма управления. Апробация проектной части показала его эффективность.

Ключевые слова: БПЛА, нечёткая логика, задача стабилизации и ориентации, системы автоматического управления

Fuzzy logic for automation control system of unarmed air vehicle

Umanskiy Andrey Stanislavovich
Far Easter Federal University
Student

Abakumov Aleksandr Ivanovich
Institute of Automation and Control Processes FEB RAS
Doctor of physics and mathematics, professor

Abstract

The classical method of the control algorithm for an unmanned aerial vehicle. The expediency and effectiveness for solving the problems of orientation and stabilization with computer model of a drone using fuzzy theory is substantiated. The substantiation of application of fuzzy logic control system as the main initialization tool was made. The robust of joint use of programs for modeling is justified. The project was developed, which ensures the stabilization of the

computer model of the unmanned vehicle with the use of a fuzzy control algorithm. Testing project has shown its effectiveness.

Keywords: UAV, fuzzy logic theory, stabilization and orientation, automatic control systems

Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) приобрели огромную популярность при решении класса задач, связанных с авиацией [1]. Их эффективное использование зависит от системы автоматического управления (САУ) для точного и оперативного решения проблемы пространственной ориентации и стабилизации [2].

Система управления полётом (СУП) должна удовлетворять таким требованиям, как минимизация ошибки при действии детерминированных и стохастических внешних сигналов и обеспечение робастности системы по отношению к внутренним параметрическим возмущениям. Основные требования, предъявляемые к СУП для БПЛА следующие:

- углы отклонения рулевых поверхностей должны обеспечивать управление самолетом на всех режимах полета;
- усилия управления на командных рычагах должны быть направлены в сторону, противоположную их отклонению, плавно нарастать по мере отклонения и не превышать предельных величин;
- максимальные перемещения управляющих поверхностей должны находиться в строго заданных пределах и ограничиваться регулируемыми упорами;
- при управлении четырьмя элевонами должна обеспечиваться независимость каждого из них;
- СУП должна обладать быстродействием, чтобы посылать управляющие команды для элевонов, которые должны вовремя компенсировать отклонение летательного аппарата.

Самой простой и оптимальной методикой синтеза алгоритма управления БПЛА является линеаризация. Она заменяет исходную нелинейную модель приближенной линейной, но обладает недостатками при высокой степени нелинейности объекта управления. Эффективным подходом для компенсации влияния нелинейностей является метод линеаризации обратной связью. Недостаток этого метода в том, что его применение зависит от точной априорной информации о динамике объекта управления [3]. Усовершенствованный метод позволяет получить более устойчивую САУ для БПЛА. В качестве технологии применим аппарат нечёткой логики. Совместное использование нечётких технологий с адаптивными принципами построения автоматических систем управления позволяет существенно снизить влияние неопределенности на её качество, компенсируя недостаток априорной информации на этапе проектирования. Системы нечёткого логического вывода обладают хорошими аппроксимирующими свойствами и служат универсальными аппроксиматорами любой нелинейной функции [4].

Метод, предложенный Э. Мамдани [5], имеет высокую степень практического применения в задачах нечёткого моделирования систем управления.

Существует база нечётких правил, в которой они принимают вид:

RULE_n: IF «Condition_k» THEN «Conclusion_(q-1)» (F_{q-1}) AND «Conclusion_q» (F_q);

где F_n — весовые коэффициенты, означающие степень уверенности в истинности получаемого подзаключения [6].

Задача программного проекта состоит в том, чтобы доказать, что нечёткий алгоритм в системе управления БПЛА обладает более высокой эффективностью в отличие от традиционных.

Идея проекта: имеется модель БПЛА, которая перемещается по сконструированной местности (карте). Карта представляет собой область действий для проверки лётных способностей БПЛА и оценке его автоматической системы. На ней располагаются физически правильные объекты. Задача БПЛА – достичь на карте фиксированных контрольных точек используя автопилот. Для доказательства эффективности, первый раз автопилот будет использовать классический алгоритм управления, а второй – нечёткий.

Для оценивания эффективности фиксируются параметры: времени всего полёта, перепада высот, пройденный путь.

Для взаимосвязи программ Unity 3D и Matlab Simulink используется UDP протокол.

Таблица 1 – Исходные параметры исследуемого БПЛА

Модель БПЛА:	Reaper MQ-9 mb
Страна производитель:	США
Размах крыла:	1.2 м
Длина БПЛА:	0.875 м
Высота БПЛА:	0.22 м
Угол установки крыла:	13°
Угол установки хвоста:	30°
Масса	3.5 Кг
Полезный вес:	+6 Кг
Мощность двигателя:	2 КВт
Максимальная скорость:	100 Км/ч
Крейсерская скорость:	70 Км/ч
Практическая дальность:	180 Км
Практический потолок:	2000 м

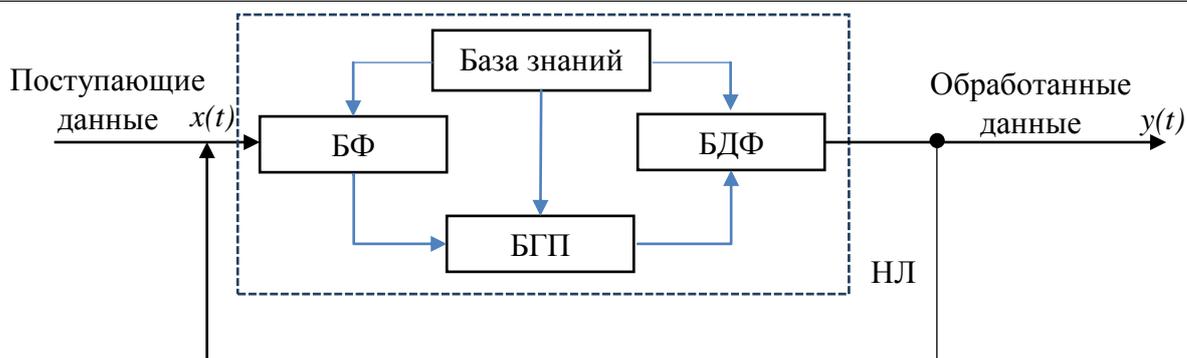


Рисунок 1– Схема с входом в систему, НЛК и выходом

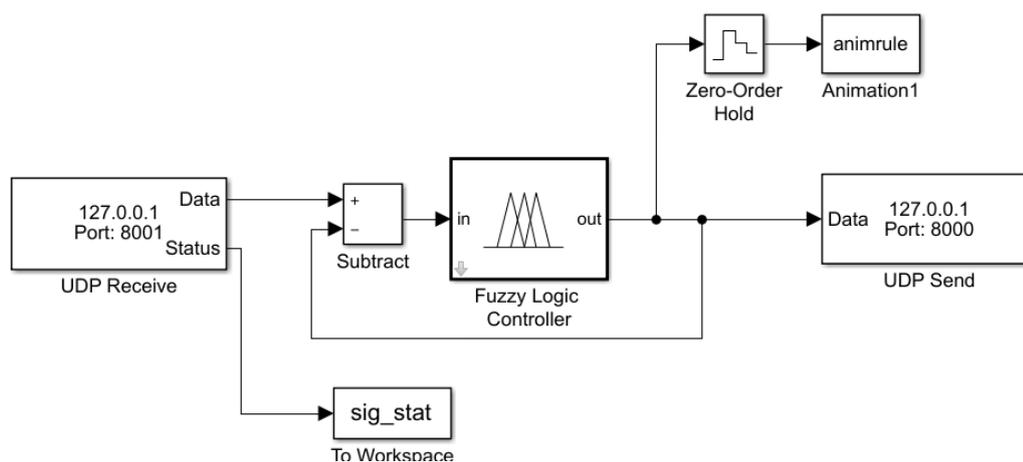


Рисунок 2 – Схема нечёткого алгоритма системы управления БПЛА в Matlab Simulink

Определим настройки нечёткой системы. Будем иметь три входа для определения положения контрольной точки и ещё три для определения положения БПЛА. На выходе получаем три параметра для движения БПЛА. В базе правил обозначим 69 правил.

Стандартным алгоритмом будем считать САУ построенную на основе NPRS подхода. В качестве формул для расчёта ориентации БПЛА в пространстве использовались Эйлеровы формулы для тангажа, крена и рысканья [7].

Контрольные точки в графическом конструкторе располагаются в разных областях. Их расположение позволяет поверить систему управления на устойчивость. Каждая точка имеет несколько возможных маршрутов достижения, каждый из которых частично располагает всевозможными препятствиями. Координатное расположение контрольных точек:

А (-742.05; 4.88; 54.92); В (-49.17; 16.51; 59.17); С (876.83; 119.15; 89.89).

Условную дистанцию будем измерять в метрах по формуле:

$$|A^B| = \sqrt{(x_b - x_a)^2 + (y_b - y_a)^2 + (z_b - z_a)^2}. \quad (1)$$

Получим

Таблица 2 – Расстояние между контрольными пунктами

Контрольные точки	Расстояние (м.)
A^B	346.7
B^C	466.1
A^C	796.7
(A^B)+(B^C)	812.8

Результаты эксперимента при использовании стандартного метода:

Время полёта от А до С через В: $T=118.5с.$ ($t_{A^B}=54с.$; $t_{B^C}=64.5$)

Пройденный путь: $S_{(A^B)+(B^C)}=948.6м.$ ($S_{A^B}=399.1$; $S_{B^C}=545.5$)

Средняя скорость полёта: $V_{cp}=20.6 км/ч.$

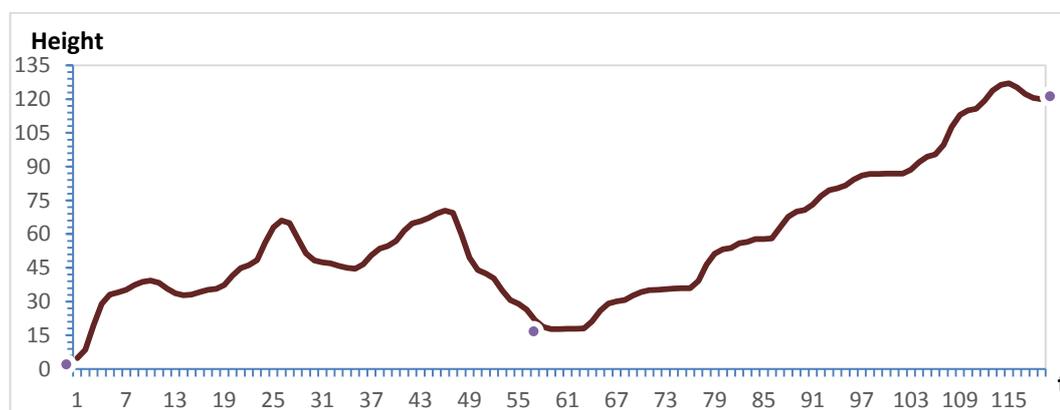


Рисунок 3 – График изменения высоты БПЛА на протяжении полёта при использовании стандартной САУ

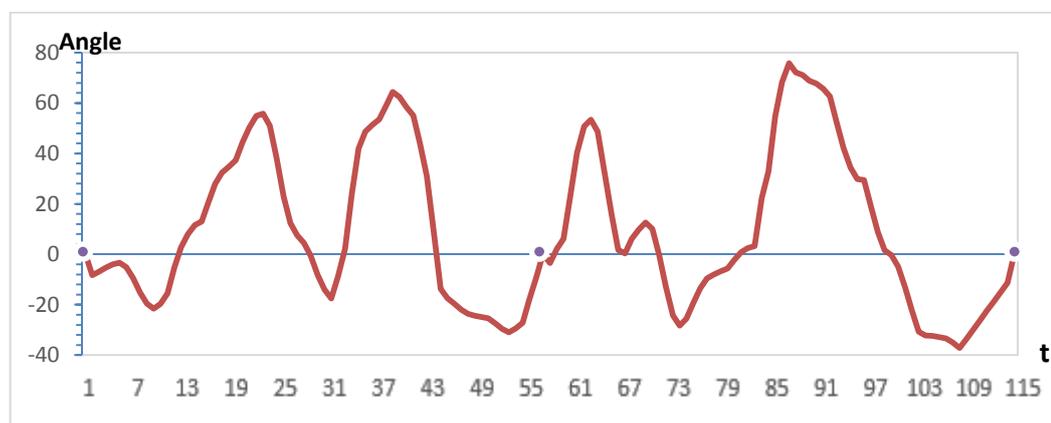


Рисунок 4 – График, показывающий динамику отклонения БПЛА за время всего полёта при использовании стандартной САУ

Такой полёт удовлетворяет требованиям систем управления полётом для БПЛА.

После запуска автопилота с НЛК время полёта сократилось, увеличена скорость модели. Маршрут следования к контрольным точкам отличался от стандартного. Зафиксирован дефект при приближении БПЛА к контрольной точке. Достигая контрольной точки БПЛА, он не может на неё приземлиться, поэтому было принято решение, что при достижении контрольной точки за

условные 10-15м. контакт с НЛК прерывается и происходит переключение в режим посадки, соответствующий стандартному алгоритму и его. В местах, которые не имеют условных преград, фиксировалось резкое ускорение, которое сопровождалось приближением к линии курса контрольной точки. В местах отклонения угла атаки к заданной цели, т. е. при приближении к нулю, в это время изменяется его высота. Это значит, что нечёткий алгоритм не обходит препятствие по его ширине, а преодолевает его по высоте. В целом же полёт стабильный, колебания аппарата свободные.

Результаты эксперимента САУ с НЛК:

Время полёта от А до С через В:

$$(t_{A^{\wedge}B}=41.2; t_{B^{\wedge}C}=39.4)T=85.9\text{с}+4.9^1=90.8.$$

Пройденный путь: $(S_{A^{\wedge}B}=379; S_{B^{\wedge}C}=528.1) S_{(A^{\wedge}B)+(B^{\wedge}C)}=903.1\text{м}$.

Средняя скорость полёта: $V_{cp}=25.9\text{ км/ч}$.

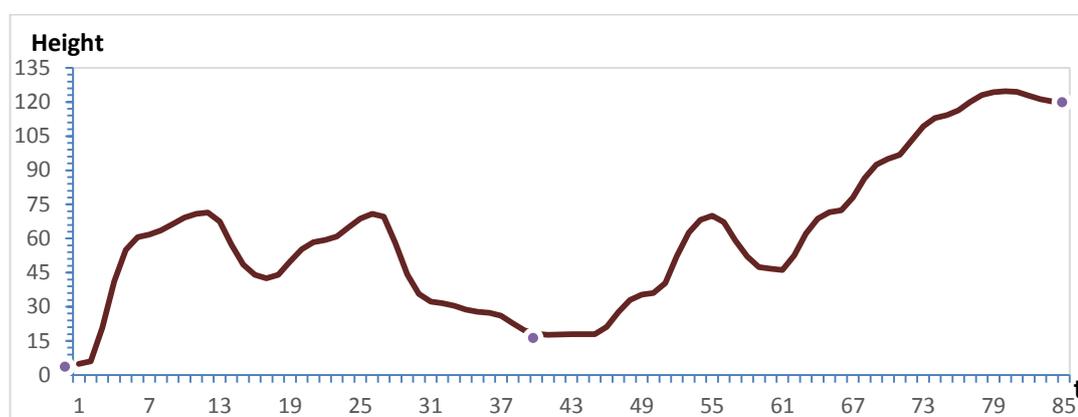


Рисунок 5 – График изменения высоты полёта БПЛА на протяжении всего полёта, используя стандартный алгоритм управления с НЛК

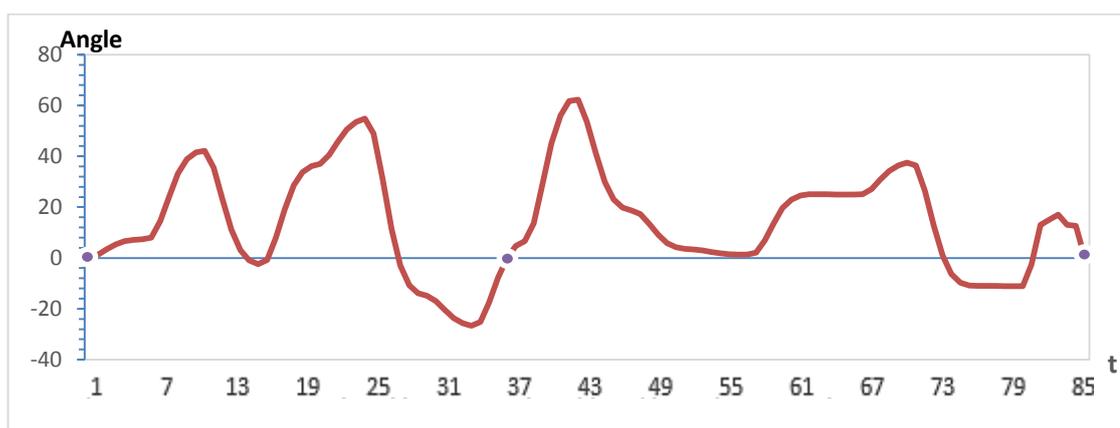


Рисунок 6 - График, показывающий динамику отклонения БПЛА за время всего полёта при использовании САУ с НЛК

Нечёткий алгоритм в отличие от стандартного меняет положение БПЛА относительно заданной цели, используя в каждый момент времени

¹ Поправка: увеличение времени связано с применением алгоритма посадки БПЛА при достижении контрольных точек.

разные правила из своей нечёткой базы, что позволяет динамично маневрировать аппаратом, управляя отклонениями элевонов.

Доказано, что алгоритм стабилизации и ориентации в сочетании с НЛК способен осуществлять навигацию к контрольной точке в режиме реального времени, избегая препятствий. Как правило, алгоритмы планирования пути используются для получения минимального пройденного расстояния. Следует отметить, что полёт был полностью безопасен для БПЛА, несмотря на его значительное ускорение и сокращение пройденного пути.

Сравнивая стандартную систему автоматического управления и САУ с использованием нечёткого логического контроллера, делаем вывод о стабильности обеих систем. Показатель отказоустойчивости практически нулевой. Робастность систем обеспечивается в полном объёме. Нечёткий алгоритм выдаёт лучшую производительность и имеет меньше промахов, повышается качество идентификации.

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод о том, разработанный адаптивный нечёткий алгоритм для системы управления БПЛА, показывает свою эффективность. Проект, созданный в графической среде моделирования Unity 3D и нечёткий логический контроллер, реализованный в системе Matlab Simulink, удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к программным продуктам класса решения задач стабилизации и ориентации.

Библиографический список

1. Суханов Н. В. Схема управления летательным аппаратом на основе нейронных сетей // Электронный журнал «Труд Май». 2007. С 1-9.
2. Матвеев Е. В., Глинчиков В. А. Модель нечёткой системы управления летательного аппарата. СФУ. 2011. С. 1-4.
3. Гребенюк Е. И. Система автопилота и автоматического управления БПЛА. No 4. М., 2012. С. 26-41.
4. Фрадков А. Л. Синтез адаптивной системы стабилизации линейного динамического объекта. Ленинград. 1974. С. 5-8, 92-103.
5. Демидова Л.А., Кираковский В.В., Пылькин А.Н. Алгоритмы и системы нечеткого вывода при решении задач диагностики городских инженерных коммуникаций в среде Matlab. М., 2005. С. 75-80.
6. Жангожаева С. С. Разработка системы управления летательным аппаратом. Инженерная кибернетика, Алматы, 2014. С. 65.
7. Чуйкова А. Г. Обзор существующих методов решения задачи управления полётом малых БПЛА и обоснование необходимости применения нечётких автопилотов. НИУ «БелГУ». Белгород. 2012. С. 1-8.