

УДК 004.89

Нейросетевая реализация автоматического управления безопасной посадкой беспилотного летательного аппарата

Кузин А.В.^{1*}, Курмаков Д.В.^{1}, Лукьянов А.В.^{2***},
Михайлин Д.А.^{3****}**

¹Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), МАИ, Волоколамское шоссе, 4, Москва, А-80, ГСП-3, 125993, Россия

²Сибирский научно-исследовательский институт авиации имени С.А. Чаплыгина, ул. Ползунова, 21/1, Новосибирск, 630051, Россия

³Концерн «Вега», Кутузовский проспект, 34, Москва, 121170, Россия

**e-mail: kaf301@mai.ru.*

***e-mail: dvkurmakov@gmail.com.*

****e-mail: lav@sibnia.ru.*

*****e-mail: tau_301@mail.ru.*

Аннотация

Исследуются подходы к реализации нейросетевого регулятора в системе автоматического управления беспилотного летательного аппарата. Рассматривается полет БЛА в режиме захода на посадку и посадки при наличии ветрового возмущения в вертикальной плоскости. Представлены структура нейронной сети (НС) и моделирование результата обучения нейросетевого регулятора.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, нейронная сеть, регулятор, оптимальный фильтр Калмана

Введение

В последнее время в мире наблюдается большой интерес к беспилотным летательным аппаратам (БЛА), благодаря которым удается быстро и безопасно решать различные задачи для нужд народного хозяйства, такие как: аэрофотосъемка, разведка залежей полезных ископаемых, экомониторинг и т.д. Особое внимание при разработке комплекса с БЛА уделяется разработке его системы автоматического управления (САУ) и в частности ее программно-алгоритмическому обеспечению, с помощью которого можно будет обеспечить отказоустойчивость, точность и требуемое качество процессов управления. Современная САУ БЛА представляет собой информационно-управляющий комплекс, который способен быстро обрабатывать поступающую на вход измерительную информацию, обеспечить автоматический полет по заранее заложенной программе, обеспечить оператора в наземном пункте управления целевой информацией, а также осуществить полностью автоматическую посадку по-самолетному с требуемой степенью точности, при условии наличия информации о координатах БЛА относительно взлетно-посадочной полосы (ВПП). Однако влияние различных нелинейностей в объекте управления и внешних возмущающих факторов (радиопомехи, ветровые возмущения в районе ВПП) может привести к большим ошибкам управления, что крайне опасно при выполнении такого ответственного маневра, как посадка. Для решения задачи обеспечения устойчивости САУ к влиянию ветровых возмущений может быть применен алгоритм, использующий при вычислении управляющего сигнала оценки неизмеряемых координат БЛА, например, угла вертикального ветра в продольном канале, получаемых с помощью оптимального фильтра Калмана. Возросший интерес со стороны разработчиков беспилотной техники к интеллектуальным системам управления на базе аппарата искусственных нейронных сетей дает основания

предположить о качественном улучшении характеристик управляющего комплекса современного БЛА при использовании технологий искусственного интеллекта.

Таким образом, представляется актуальным применение элементов искусственного интеллекта на базе нейросетевых технологий при реализации регулятора БЛА в продольном канале.

Постановка задачи

Рассматривается движение БЛА в продольной плоскости. При этом на этапе предпосадочного маневра выдерживается заданная высота полета, после пересечения глissады САУ БЛА устраняет текущее рассогласование по высоте и обеспечивает его переход в режим выдерживания линии заданного пути, совпадающего с направлением глissады. Уравнения движения БЛА представлены в [1]. Управление БЛА в вертикальной плоскости осуществляется следующим образом: при больших отклонениях от заданной высоты полета на этапе снижения при стабилизации заданной постоянной скорости полета на привод руля высоты поступает управляющий сигнал, сформированный следующим образом:

$$U_{\delta_e} = k_{iH} \int_{t_0}^t \Delta H dt + k_H \Delta H + k_{\vartheta} \Delta \vartheta + k_{\omega_z} \Delta \omega_z + k_{\theta} \left| \Delta \hat{\theta} + \Delta \hat{\alpha}_w \right| \left(\Delta \hat{\theta} + \Delta \hat{\alpha}_w \right). \quad (1)$$

После того, как отклонение от заданной высоты полета достигнет значений, не превышающих 10 м, происходит переключение на закон управления вида:

$$U_{\delta_e} = k_{iH} \int_{t_0}^t \Delta H dt + k_H \Delta H + k_{\vartheta} \Delta \vartheta + k_{\omega_z} \Delta \omega_z + k_{\theta} \Delta \hat{\theta} + k_{\alpha_w} \Delta \hat{\alpha}_w, \quad (2)$$

где $k_{iH}, k_H, k_{\vartheta}, k_{\omega_z}, k_{\theta}, k_{\alpha_w}$ – коэффициенты закона управления, $\Delta H, \Delta \vartheta, \Delta \omega_z$ – приращения координат БЛА, $\Delta \hat{\theta}, \Delta \hat{\alpha}_w$ – приращения оценок угла наклона траектории и угла вертикального ветра БЛА, полученные в результате оценивания с помощью оптимального фильтра Калмана [2]. С помощью

закон управления (1) обеспечивается максимальное быстродействие при устранении рассогласования по высоте, а закон управления (2) обеспечивает точность выдерживания линии заданного пути.

В качестве примера на рис. 1 приведен результат моделирования процесса посадки БЛА при наличии вертикального ветра величиной -1м/с.

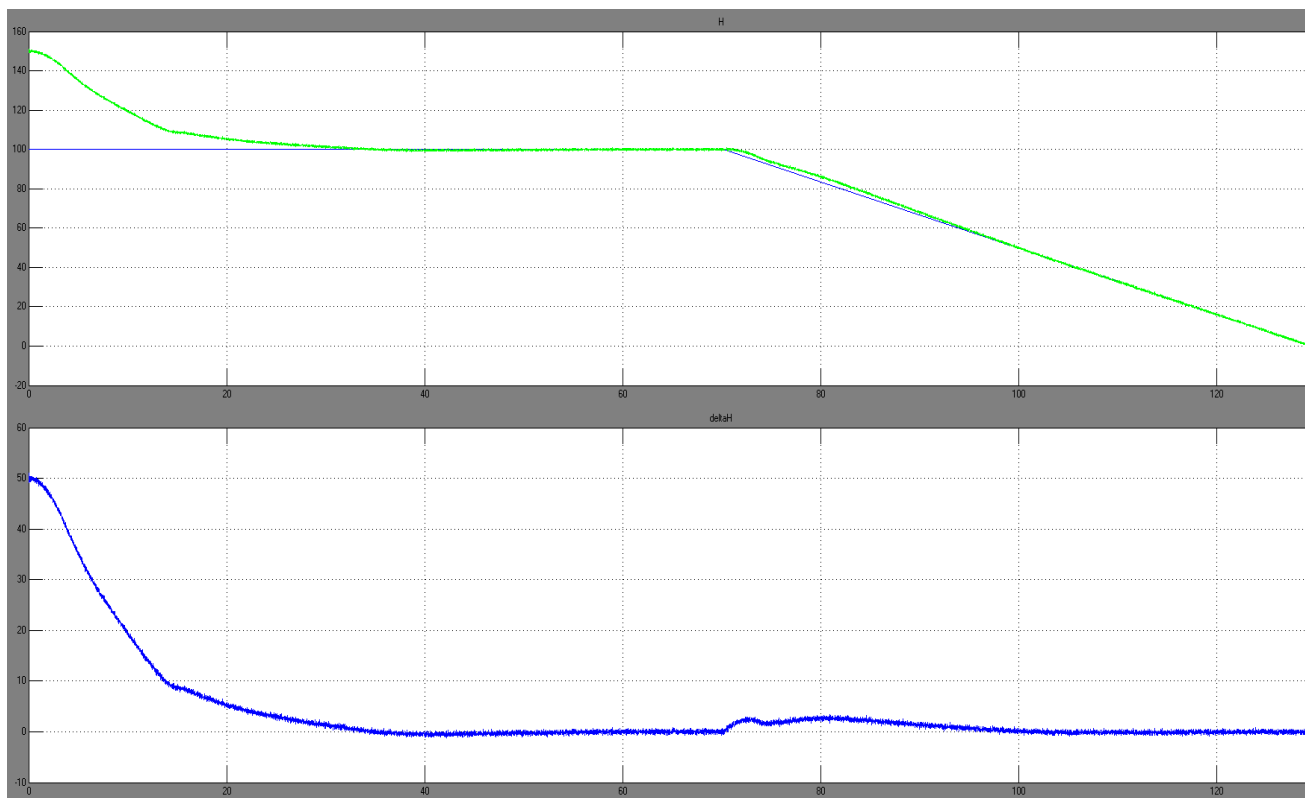


Рисунок 1 – Результат моделирования процесса посадки БЛА в вертикальной плоскости. Текущая и заданная высота (сверху), отклонение от заданной высоты (снизу). По оси абсцисс время в сек.

Известно, что переходы от одного закона управления к другому, представляют собой крайне опасную операцию для БЛА. Такие переключения могут привести к потере устойчивости БЛА и, как следствие, развитию аварийной ситуации. В качестве решения, можно предложить нейросетевую реализацию представленных регуляторов, которая обеспечит заданное быстродействие и непрерывность подачи управляющего сигнала на привод руля высоты, исключив тем самым вероятность потери устойчивости БЛА.

В процессе выполнения посадки осуществляется стабилизация заданной скорости полета БЛА с помощью автомата тяги, разработка которого является отдельной комплексной задачей, включающей в себя как задачу достижения заданных характеристик работы силовой установки на различных режимах полета БЛА (режимы максимальной и минимальной мощности двигателя), так и задачу стабилизации заданной скорости посредством изменения тяги. Управление тягой, прежде всего, сводится к настройке и выбору режимов работы силовой установки. Параметры работы силовой установки, такие как мощность двигателя, величина оборотов, тяга воздушного винта имеют сложную функциональную зависимость от внешних условий и взаимосвязь между собой. Поэтому во многих программах управления силовой установкой используются готовые числовые данные, и для выбора режима работы силовой установки производится интерполяция этих готовых данных по внешним воздействиям и сигналам управления. Последующая замена таких массивов данных регулятором, содержащим самообучающуюся нейронную сеть, делает управление тягой более гибким к внешним условиям и изменениям в работе узлов силовой установки.

Основная часть

Для разработки нейросетевого регулятора необходимо выбрать структуру нейронной сети (топологию), сформировать обучающую выборку и выбрать алгоритм обучения с заданным критерием.

В качестве структуры НС была выбрана сеть прямого распространения с пятью входами, десятью нейронами с гиперболической тангенциальной функцией активации в скрытом слое и одним нейроном с линейной функцией активации в выходном слое.

Для формирования обучающей выборки используются массивы данных о координатах $\Delta H, \Delta \vartheta, \Delta \omega_z, \Delta \hat{\theta}, \Delta \hat{\alpha}_w$, участвующих в формировании законов

управления, и полученных по результатам моделирования работы указанных выше регуляторов при разных начальных условиях: начальном отклонении от заданной высоты полета и скорости вертикального ветра. Обучающая выборка формируется по значениям начального отклонения от высоты горизонтального полета $\Delta H=0$ м, 50 м, 100 м, 150 м, 200 м и значению скорости вертикального ветра $\Delta \alpha_w=0$ м/с, ± 1 м/с, ± 2 м/с, ± 4 м/с. Выходной управляющий сигнал НС будет поступать на вход исполнительного привода руля высоты БЛА. Для сокращения объема обучающей выборки производится децимация соответствующих массивов данных.

С помощью пакета прикладных программ Matlab была написана программа формирования, обучения и тестирования работы НС. Набор исходных данных был разделен на две части – обучающую выборку и тестовые данные. Обучающие данные используются для обучения НС, а проверочные используются для расчета ошибки сети. В настоящей статье приводятся результаты моделирования обучения НС на примере случая, когда начальное отклонение от заданной высоты полета $\Delta H=50$ м, а значение скорости вертикального ветра $\Delta \alpha_w=-1$ м/с.

На рис. 2 представлены результаты работы программы.

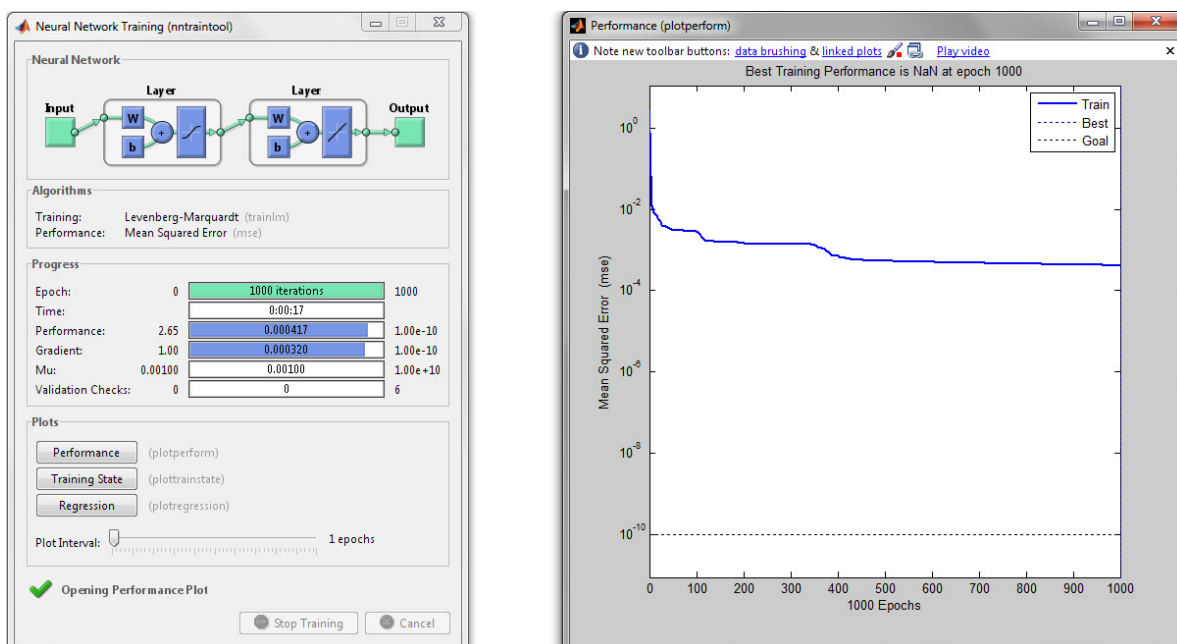


Рисунок 2 – Моделирование процесса формирования, обучения и тестирования работы НС

Показано, что на 1000 – ой эпохе обучения нейронной сети величина среднеквадратичной ошибки составила $4.17 \cdot 10^{-4}$.

Таким образом, нейросетевая реализация разработанного управляющего устройства с достаточной точностью воспроизводит управляющий сигнал.

В качестве структуры НС управления тягой была выбрана сеть прямого распространения с четырьмя входами, шестнадцатью нейронами с гиперболической тангенциальной функцией активации в скрытом слое и двумя нейронами с линейной функцией активации в выходном слое.

Обучающая выборка содержит массив экспериментальных данных с входными параметрами текущей барометрической высоты, приборной скорости, температуры наружного воздуха, и сигнала управления тягой. Выходной массив содержит сигнал установки положения дросселя, шага винта. С помощью пакета Matlab была разработана и обучена нейронная сеть. На тестовой выборке средняя величина среднеквадратичного отклонения составила $3.1 \cdot 10^{-2}$ для обоих входных сигналов.

Заключение

Итак, в работе были исследованы подходы к реализации в системе автоматического управления беспилотного летательного аппарата нейросетевых регуляторов, рассматривался полет БЛА в режиме захода на посадку и посадки при наличии ветрового возмущения в вертикальной плоскости. Были представлены структуры НС регуляторов управления БЛА в продольном канале и результаты их моделирования после обучения. Обученная НС управления высотой с высокой точностью воспроизводит работу двух законов управления БЛА в продольной плоскости.

Работа выполнена при материальной поддержке гранта РФФИ № 12-08-00028-а, а также при поддержке Минобрнауки РФ по проектам 14.В37.21.1904 от 04.10.2012г. и 14.В37.21.1545 от 20.09.2012г. ФЦП “Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009-2013 годы”.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, система автоматического управления, нейронная сеть

Библиографический список

- 1.Биттер В.В., Михайлин Д.А. “Фильтр Калмана в системе автоматической посадки БЛА”, статья в журнале “Информационно-измерительные и управляющие системы”, июль 2009 г., №7.- С. 3-14
- 2.Лебедев Г.Н., Михайлин Д.А., Ефимов А.В. “Оценка вектора состояния беспилотного летательного аппарата при наличии в математической модели объекта управления нелинейных элементов”// Статья в журнале “Вестник МАИ”, 2012 г., т. 19, № 1,- С.12-14.