DOI: 10.17117/na.2016.11.02.078

<http://ucom.ru/doc/na.2016.11.02.078.pdf>

Поступила (Received): 13.11.2016

Гладкая К.П., Железнов А.А., Кондрашов А.А. Моделирование системы управления продольным движением самолета

Gladkaya K.P., Zheleznov A.A., Kondrashov A.A.
Simulation of longitudinal movement of the aircraft control system

Данная работа включает в себя понятие «моделирование систем», пояснения на тему теория управления, расчеты и выводы, относящиеся к продольному движению самолета
Ключевые слова: теория управления, моделирование систем, управление адаптивными системами

This work includes the concept of "simulation system", an explanation on the theory of management, calculations and conclusions relating to the longitudinal movement of the aircraft
Key words: control theory, modeling systems, adaptive systems management

Гладкая Ксения Павловна

Студент

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники

г. Томск, пр. Ленина, 40

Gladkaja Ksenija Pavlovna

Student

Tomsk university of control systems and radioelectronics

Tomsk, Lenina ave., 40

Железнов Александр Александрович

Студент

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники

г. Томск, пр. Ленина, 40

Zheleznov Alexandr Alexandrovich

Student

Tomsk university of control systems and radioelectronics

Tomsk, Lenina ave., 40

Кондрашов Александр Александрович

Студент

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники

г. Томск, пр. Ленина, 40

Kondrashov Alexandr Alexandrovich

Student

Tomsk university of control systems and radioelectronics

Tomsk, Lenina ave., 40

Теория управления – это наука, разрабатывающая и изучающая методы и средства систем управления и закономерности, протекающих в них процессах. Предметом теории управления являются не только процессы материального производства, но и сферы деятельности человека: организационно-административное управление, проектирование и конструирование, информационное обслуживание, здравоохранение, научные исследования, образование, и многие другие. Современная теория управления занимает одно из ведущих мест в технических науках и в то же время относится к одной из отраслей прикладной математики, тесно связанной с вычислительной техникой. Основными задачами

теории управления являются задачи анализа динамических свойств автоматических систем на модельном или физическом уровне, и задачи синтеза алгоритма управления, функциональной структуры автоматической системы, реализующей этот алгоритм, ее параметров и характеристик, удовлетворяющих требованиям качества и точности, а также задачи автоматического проектирования систем управления, создания и испытания автоматических систем[1].

Моделирование – это универсальный метод получения, описания и использования знаний. Он используется в любой профессиональной деятельности. В современной науке и технологии роль и значение моделирования усиливается, актуализируется проблемами, успехами других наук. Моделирование реальных и нелинейных систем живой и неживой природы позволяет перекидывать мостики между нашими знаниями и реальными системами, процессами, в том числе и мыслительными[2].

Моделирование – осуществление имитационных экспериментов при помощи построения некоторой системы-модели, которая является подобием системы-оригинала для изучения сложных объектов. Необходимость моделирования именно таких систем, обусловлена их сложным характером. В данной работе рассматриваются методы моделирования системы управления продольным движением самолета относительно установившегося горизонтального полета. Математическая модель (рис.1) записанная в виде:

$$\dot{x}(t) = \bar{A}x(t) + \bar{B}u(t) + \bar{F}q(t), \quad x(t_0), \quad (1.1)$$

где компоненты векторов состояния $x(t) = (\theta; \nu; \omega; H; V)^T$ и управления $u(t) = (\delta_T, \delta_\epsilon)^T$ имеют следующий смысл: ν – отклонение угла тангажа (рад), θ – отклонение угла наклона траектории к горизонту (рад), ω_z – отклонение угловой скорости (рад/с), H – отклонение высоты полета (м), V – отклонение скорости полета (м/с). δ_T – величина, характеризующая тягу двигателя, δ_ϵ – угол отклонения руля высоты (рад).

Рис. 1. Схема продольного движения самолета относительно установившегося горизонтального полета

Внешние возмущения в модели объекта описываются вектором $q(t)$, компоненты которого являются независимыми нормальными гауссовскими величинами с матрицей влияния $\bar{F}(t)$.

Матрицы $\bar{A}, \bar{B}, \bar{F}$ принимают следующие значения:

$$\bar{A} = \begin{pmatrix} -0,86 & 0,86 & 0 & 0 & 0,6 \cdot 10^{-3} \\ 0 & 0 & 0,2 & 0 & 0 \\ 4,78 & -4,78 & -0,77 & 0 & 0,2 \cdot 10^{-3} \\ 2,57 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1,94 & -9,8 & 0 & -0,25 \cdot 10^{-4} & 0,3 \cdot 10^{-2} \end{pmatrix}, \quad \bar{B} = \begin{pmatrix} 0 & 0,025 \\ 0 & 0 \\ 0 & -1,29 \\ 0 & 0 \\ 0,186 & -0,41 \end{pmatrix} \quad (1.2)$$

$$\bar{F} = \begin{pmatrix} 0,004 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,007 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,003 \end{pmatrix}$$

вектор начального состояния $x_0 = (0,01;0;0,001;0;0)^T$, $t_0 = 0$. Для моделирования используется метод Эйлера с шагом $\Delta t = 0,1$. Время моделирования $T = 40$.

Существует несколько алгоритмов управления адаптивными системами: на основе классического квадратичного функционала, функционала обобщенной работы или локального квадратичного функционала. В данной работе синтез управляющих воздействий будет осуществлён на основе минимизации математического ожидания классического квадратичного функционала.

Целью управления является удержания системы в окрестности нулевого состояния. При управлении слежение осуществляется за $x_z = (0;0;0;0;0)^T$.

На максимальные отклонения компонент вектора управления наложены следующие ограничения:

$$|\delta_m| \leq 0,05 \text{ рад}, \quad |\delta_e| \leq 0,05 \text{ рад}. \quad (1.3)$$

Математическая модель измерительного комплекса задана уравнением, погрешности измерений в котором описываются вектором дискретных гауссовских величин с характеристиками:

$$M\{r(k)\} = 0, \quad M\{r(k)r(j)^T\} = R\delta_{k,j} \quad (1.4)$$

$$R = \text{diag}\{0,75 \cdot 10^{-4}; 0,75 \cdot 10^{-4}; 0,5 \cdot 10^{-4}; 0,5; 0,05\}$$

Управляющие воздействия формируются по оценкам векторов состояния $\hat{x}(k)$, которые получены при использовании фильтра Калмана для следующих начальных значений:

$$\hat{x}(0) = (0;0;0;0;0), \quad P_{x_0} = I_5, \quad (1.5)$$

где I_5 – единичная матрица соответствующего порядка.

Качество функционирования системы управления должно удовлетворять заданным требованиям, т.е. для компонент вектора состояния выполняться следующие ограничения:

$$|\theta| \leq 0,03 \text{ рад}; \quad |\nu| \leq 0,01 \text{ рад};$$

$$|\omega_z| \leq 0,01 \text{ рад/с}; \quad |H| \leq 20 \text{ м}; \quad |\nu| \leq 2 \text{ м/с} \quad (1.6)$$

Моделирование поведения продольного движения самолёта осуществлялось на интервале $[t_0, T]$ с помощью разностного уравнения, при $N = 400$ тактов с периодом дискретизации $\Delta t = 0,1$ с.

Значения весовых матриц равны:

$$C = \text{diag}\{0,5; 5; 5; 5; 0,5 \cdot 10^{-5}; 0,8 \cdot 10^{-5}\}; \quad D = \text{diag}\{1; 1\} \quad (1.7)$$

Исходная задача – построение математической модели, описывающей линейную модель продольного движения самолета относительно установившегося горизонтального полета, таким образом, свелась к подбору значений весовых матриц (1.1). Полученные значения (1.7) позволяют сделать вывод об устойчивости траектории и успешности реализации поставленной задачи.

Список используемых источников:

1. Основы теории управления. URL: <http://ideafix.name/UNIVERSITY/ASU/lectures/1.pdf>
2. Основы моделирования систем. URL: <http://ideafix.name/wp-content/uploads/stuff/SYSAN/10.pdf>

© 2016, Гладкая К.П., Железнов А.А., Кондрашов А.А.
Моделирование системы управления продольным движением самолета

© 2016, Gladkaya K.P., Zheleznov A.A., Kondrashov A.A.
Simulation of longitudinal movement of the aircraft control system