

2. Kalpana Sharma, M K Ghose, “Wireless Sensor Networks: An Overview on its Security Threats”, IJCA Special Issue on “Mobile Ad-hoc Networks” MANETs, 2010
3. Zhou WX, Lin S. Malicious Node Recognition Algorithm in Wireless Sensor Networks. Computer Systems and Applications, 2020, 29(2): 175-180(in Chinese).
4. A. Perrig, J. Stankovic, D. Wagner Security in WSN Communications of the ACM, 47(6) (2004), pp. 53-57
5. Rehman, A., Rehman, S.U. & Raheem, H. Sinkhole Attacks in Wireless Sensor Networks: A Survey. Wireless Pers Commun 106, 2291–2313 (2019).
6. S. Deb Roy, S.Singh, S.Choudhury, N. C. Debnath. (2008). Countering Sinkhole and Black hole Attacks on Sensor Networks using Dynamic Trust Management”, ISCC 2008. IEEE Symposium on (pp.537-542). IEEE.
7. Pathan, K., AI-S. (2011) Security of SelfOrganizing Networks-MANET, WSN, VANET, WMN. ISB N-13:978-1-4398-1920-3. Taylor and Francis Group
8. Jaydip Sen. (2009). A Survey on Wireless Sensor Network Security, International Journal of Communication Networks & Information Security, 1(2).
9. Krontiris,I., Dimitriou,T., Giannetsos,T. and Mpasoukos, M. (2008). Intrusion Detection Sinkhole Attacks in Wireless Sensor Network. In Networking and Communications. WIMOB’08. IEEE Interational Conference on Wireless and Mobile Computing, (pp. 526-531). IEEE.
10. Tumrongwittaya and Varakulsiripunth. (2009). Detection of Sinkhole attack in Wireless Sensor Networks, In ICCAS-SICE, 2009 (pp. 1966-1971). IEEE..
11. Chutima, P. and Sujitra, M. “Optimal WSN Design for Efficient Energy Utilization”, Advanced Information Networking and Applications, IEEE Workshops of International Conference, pp. 814-819, Singapore, 2011.
12. Prashant krishan , “A Study on Dynamic and Static Clustering Based Routing Schemes for Wireless Sensor Networks”, International Journal of Modern Engineering Research (IJMER), pp-1100-1104, 2013.
13. Roy, D.S., Singh, A.S. and Choudhury, S. (2008). Countering Sinkhole and Blackhole Attacks on Sensor Networks using Dynamic Trust Management. In Computers and Communications, 2008. ISCC 2008. IEE Symposium on (pp. 537-542). IEEE.
14. Coppolino, L., D’Antonio, S., Romano, L., and Spagnuolo, G.(2010). An intrusion detection system for critical information infrastructures using WSN technologies. In Critical Infrastructure (CRIS), 2010 5th International Conference on (pp. 1-8). IEEE
15. Tumrongwittaya and Varakulsiripunth. (2009). Detection of Sinkhole attack in Wireless Sensor Networks, In ICCAS-SICE, 2009 (pp. 1966-1971). IEEE..
16. Papadimitriou, A., Fessant, L. F. and Sengul, C. (2009). Cryptographic protocols to fight sinkhole attacks on tree based routing in WSN. In Secure Network Protocols, NPsec 2009. 5th IEEE Workshop on (pp.43-48).
17. Hairong Zhao, Wuneng Zhou, Yan Gao, “Energy Efficient and Cluster Based Routing Protocol for WSN” Eighth International Conference on Computational Intelligence and Security, 2012.

УДК 681 5 9 7558

СИНТЕЗ РОБАСТНОГО УПРАВЛЕНИЯ САМОЛЕТОМ В УСЛОВИЯХ ВОЗМУЩЕНИЙ

Маштаева Аида Асильхановна

mashtayeva@mail.ru

Докторант 1-го курса специальности «Автоматизация и управление»

Евразийского национального университета им. Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан

Научный руководитель – Д.К. Сатыбалдина

Повышенное внимание в авиационной сфере уделяется вопросам обеспечения безопасных условий полета, в особенности в случае неблагоприятной метеорологической

обстановки. Ключевое атмосферное возмущение в условиях полета самолета преимущественно обусловлено наличием низковысотного сдвига ветра. Возникновение непредсказуемых атмосферных возмущений на этапе посадки самолета представляет максимальную опасность.

H_∞ – теория управления получила обширное применение при решении задач управления движением самолета. Отличительная особенность современной теории управления заключается в изучении и решении задач с учетом влияния внешних воздействий на объект управления и неопределенности в его математической модели. Первостепенные задачи текущего периода развития теории управления направлены на построение регулятора и оценку состояния на основании неточности математической модели объекта и параметров внешних возмущений. Применение робастного управления позволяет выполнить синтез регулятора, обеспечивающего устойчивый характер замкнутой системы в случае номинального и «возмущенного» объекта управления, когда учитываются ошибки модели [1-6].

Уравнения динамики самолета относительно вертикальной плоскости с учетом внешних возмущений ветра описываются системой нелинейных дифференциальных уравнений следующего вида [1, 7]:

$$\begin{aligned} m\dot{V} &= T \cos \alpha - X - mg \sin \theta - m(\dot{w}_x \cos \theta + \dot{w}_y \sin \theta); \\ mV\dot{\theta} &= P \sin \alpha + Y - mg \cos \theta + m(\dot{w}_x \sin \theta + \dot{w}_y \cos \theta); \\ J_z \dot{\omega}_z &= M_z; \\ \dot{\mathcal{G}} &= \omega_z; \\ \dot{h} &= V \sin \theta + W_h(x, h); \\ \Delta \dot{T} &= \frac{1}{T_{дв}} (-\Delta T + K_{дв} \Delta \delta_i). \end{aligned} \quad (1)$$

Управление осуществляется посредством двух переменных: угла атаки α и силы тяги T , находящихся в зависимости от руля высоты и отклонения сектора газа соответственно. δ_i – отклонение сектора газа от заданной величины.

Вследствие выполнения линеаризации нелинейной модели самолета (1) была получена линейная система дифференциальных уравнений. В матричной форме линейная модель самолета имеет следующий вид [1, 7]:

$$\dot{x} = Ax + B_{1n}w + B_{2n}u, \quad (2)$$

где $x = (\Delta V, \Delta \theta, \Delta w_z, \Delta \mathcal{G}, \Delta h, \Delta T)^T$ – вектор состояния;

$w = (w_y, \dot{w}_x, \dot{w}_y)^T$ – вектор возмущений ветра;

$u = (\delta_e, \Delta \delta_i)^T$ – вектор управления.

Объект в пространстве состояний для расширенного вектора внешних входов $\bar{w} = (w^T, n_y^T)^T$ и контролируемых выходов $\bar{z} = (z^T, u^T)^T$ можно описать посредством следующей системы уравнений:

$$\begin{cases} \dot{x} = Ax + B_1 \bar{w} + B_2 u, \\ \bar{z} = C_1 x + D_{11} \bar{w} + D_{12} u, \\ y = C_2 x + D_{21} \bar{w} + D_{22} u, \end{cases} \quad (3)$$

где $B_1 = [B_{1n} \ 0]$, $B_2 = B_{2n}$, $C_1 = \begin{bmatrix} C_z \\ 0 \end{bmatrix}$, $C_2 = C_y$, $D_{11} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$, $D_{21} = [0 \ I_y]$, $D_{22} = 0$.

Проведем анализ методов построения H_∞ -регулятора для осуществления управления движением самолета в вертикальной плоскости на этапе посадки при наличии внешних возмущений [7, 8].

Предположим \bar{w} – квадратично интегрируемая функция. Критерий оптимальности зададим посредством H_∞ -нормы передаточной функции $T_{\bar{z}\bar{w}}$ от входа \bar{w} к выходу \bar{z} . Таким образом будет получена задача синтеза H_∞ -оптимального регулятора [7-10].

Математическая модель системы управления имеет вид (3). Необходимо установить закон управления с помощью линейной обратной связи.

$$u = K(s)y, \quad (4)$$

$$\text{минимизирующий критерий } J(K) = \lim_{t \rightarrow \infty} E \left\{ \int_0^t \bar{z}^T \bar{z} dt \right\}, \text{ т.е.}$$

$$\|T_{\bar{z}\bar{w}}\|_\infty \rightarrow \min. \quad (5)$$

Известно, что формула определения H_∞ -нормы передаточной функции $F(s)$ имеет следующий вид:

$$\|F\|_\infty = \sup_{\omega} \bar{\sigma}(F(j\omega)), \quad \omega \in [0, \infty), \quad (6)$$

где $\bar{\sigma}(\bullet)$ – максимальная сингулярная величина матрицы.

Минимизация энергии сигнала ошибки может быть осуществлена посредством сведения к минимуму H_∞ -нормы $T_{\bar{z}\bar{w}}$ (от вектора внешнего возмущения ветра \bar{w} к непосредственно вектору контролируемых выходов \bar{z}). Сигнал ошибки состоит из двух компонентов: отклонение воздушной скорости, а также высота центра масс самолета от установленной величины в случае максимального внешнего влияния ветра.

С помощью итерационной процедуры по γ выполним синтез субоптимального регулятора.

Поиск решения субоптимальной задачи осуществляется на каждой итерации, а именно находится регулятор $K_i s$, для которого выполняется условие $\|T_{\bar{z}\bar{w}}\|_\infty < \gamma$, i – итерация. Значение γ постепенно уменьшается. Решение задачи продолжается в том случае, если присутствуют положительно определенные решения уравнений Риккати, а также спектральный радиус соответствует указанным ограничениям. Итерационная процедура позволила получить наименьшее значение γ близкое к значению γ_{\min} с требуемой точностью.

Графики отклонений воздушной скорости ΔV и высоты Δh от номинальных величин для субоптимального H_∞ -регулятора проиллюстрированы на рисунках 1, 2. Входной сигнал замкнутой системы управления в процессе моделирования воспроизводит внешнее возмущение ветра w , оказывающее воздействие на самолет в момент полета в области ветряного микропорыва [11-14].

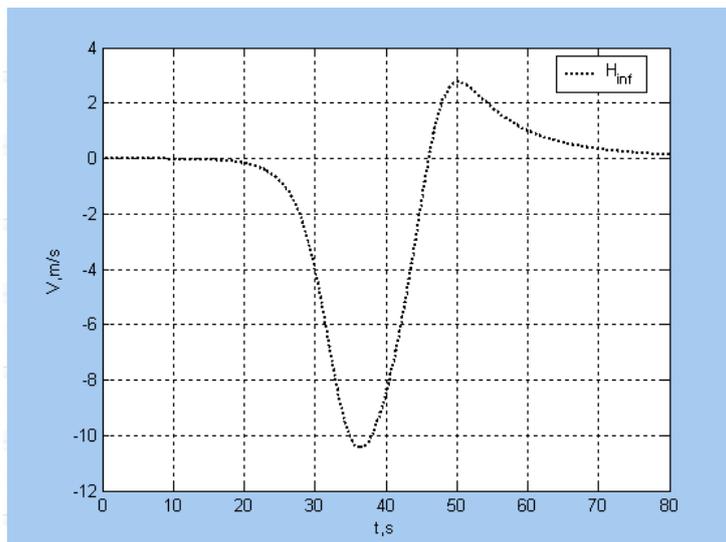


Рисунок 1. График отклонения воздушной скорости V

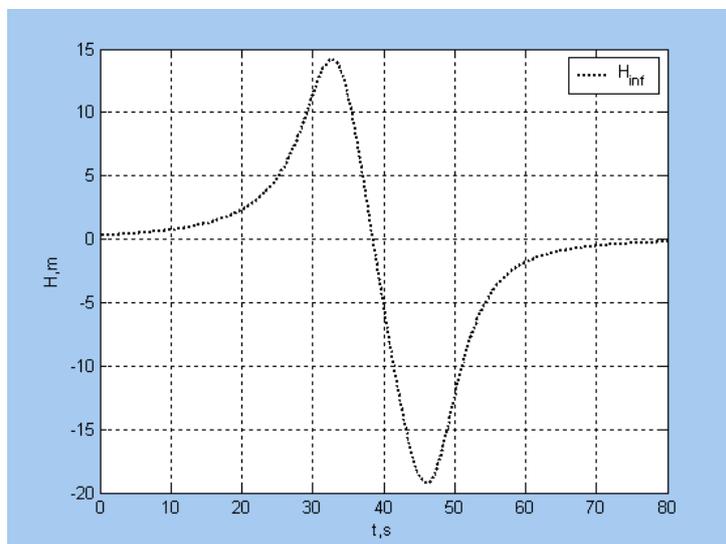


Рисунок 2. График отклонения высоты h

Список использованных источников

1. Булычев Ю.Г. и др. Математические аспекты определения движения ЛА. – М.: 2000.
2. Поляк Б.Т., Щербаков П.С. Робастная устойчивость и управление. – М.: Изд-во РАН Институт проблем управления, 2002. – 273 с.
3. Buschek H., Calise A.J. Fixed order robust control design for hypersonic vehicles, AIAA Guid., Navig. and Contr. Conf., Scottsdale, Aug. 1-3, 1994, pt.3, pp. 1094-1103.
4. Doyle J., Glover K., Khargonekar P., Francis B. State-space solutions to standard H_2 and H_∞ control problems. IEEE Trans. Automat. Contr., AC-34, no. 8, pp. 831-847, Aug. 1989.
5. Gu D.W., Petkov P.Hr., Konstantinov M.M. Robust control design with MATLAB. London: Springer-Verlag, 2005. – 576 p.
6. Skogestad S., Postlethwaite I. Multivariable feedback control. New York: John Wiley, 1997. – 564 p.
7. Али Р.С. Синтез робастных регуляторов стабилизации транспортных средств. – Санкт-Петербургский Государственный Политехнический университет. – Санкт-Петербург, 2002. – 164 с.
8. Сушенко О.А., Азарсков В.Н. Проектирование робастных систем стабилизации оборудования беспилотных летательных аппаратов // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. – 2014. – № 1(43). – С. 80-90.

9. Mashtayeva A.A., Amirzhanova Z.B., Satybaldina D.K. Development of aircraft dynamics model in the vertical plane. – Информационные технологии в науке, управлении, социальной сфере и медицине: сборник научных трудов V Международной научной конференции. – Томск, 2018. – Часть 1. – С.18-21. – ISBN 978-5-4387-0845-2 (ч.1).
10. Robust Control Toolbox, User's Guide, The MathWorks, 2001. – 655 p.
11. Satybaldina D., Mashtayeva A., Smailov E. Development of an Evaluation System of Orientation Angles of Maneuver Objects. - Engineering Computations, No. 8(2). Volume 35. Emerald Group Publishing Ltd., 2018. – P. 3204-3214. – ISSN 0264-4401.
12. Satybaldina D., Mashtayeva A., Zekenova G., Intymakov T. Synthesis of Robust Control System for Aircraft // The VIII International Academic Congress “Fundamental and Applied Studies in EU and CIS Countries”. – United Kingdom, Cambridge, England, 2018. – P.129-138.
13. Лазарев Ю. Моделирование процессов и систем в MATLAB. Учебный курс. – СПб.: Питер, 2005. – 512 с.
14. Сатыбалдина Д.К., Маштаева А.А., Смаилов Е.З. Разработка робастной системы управления летательным аппаратом // Перспективы развития науки в современном мире: сборник статей по материалам V Международной научно-практической конференции. – Уфа, 2018. – С.112-117.

УДК 50.03.03

ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО МАНИПУЛЯТОРА НА ПРИМЕРЕ ПЛАТФОРМЫ СТЮАРТА

Мураткасимов Данияр Бахытжанұлы, Жетпісбаев Нұрдәулет Ботабекұлы
mrdancho@mail.ru, adelante.777@mail.ru

Магистранты факультета информационных технологий кафедры системного анализа и
управления ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан
Научный руководитель – А.К. Шукирова

Ключевые слова: ПИД-регулятор, контроллер, параллельный манипулятор, нано-позиционирование.

Введение

Спрос на высокоточный контроль движения промышленных манипуляторов в последние годы растет. С момента создания первых параллельных манипуляторов, стало ясно, что многие современные механические системы требуют высокой жесткости и точного позиционирования. Параллельные манипуляторы набирают все большую популярность в связи с их превосходной архитектурой, которая обеспечивает лучшую нагрузку, емкость и точность позиционирования по сравнению с серийными аналогами. Платформа манипулятора - это позиционирование система, которая состоит из верхней пластины (подвижной платформы), базовой пластины (фиксированная основа), и шести раздвижных ножек, соединяющих верхнюю пластину с нижней пластиной.

Серийные роботы не могут выполнять точное позиционирование при больших нагрузках, и подвержены колебаниям при высокой скорости. Поэтому в последние годы параллельные роботы широко используются в нескольких областях промышленности, таких как медицина и оборона. Помимо этого, области применения включают в себя такие сложные задачи как точная лазерная резка, взлетно-посадочная полоса вертолета, пусковая платформа ракет, хирургические операции и тд. Рассмотренную в качестве примера платформу Стюарта также отличает высокая прочность установки, высокая грузоподъемность и точность позиционирования. Отдельно стоит отметить, что модификации данного робота могут быть спроектированы для точного позиционирования при самых различных возмущениях, воздействующих извне, а также при воздействии трения.

Параллельные манипуляторы представляют собой замкнутые механизмы и состоят из параллельных звеньев между базовой платформой и концевым эффектором с кинематической