

METHODOLOGY FOR DESIGN OF UAV ROBUST FLIGHT CONTROL SYSTEMS

Authors: V.N. Azarskov, Dr. of Sci.(Eng.), Prof.; A.A. Tunik, Dr. of Sci.(Eng.), Prof.; V.B. Larin, Dr. of Sci.(Phys.-Math.) Prof.; M.M. Komnatska, Ph.D., Associate Prof.; S.I. Ilnitska, Ph.D., Senior Researcher; V.M. Kondratyuk, Ph.D., Director of the “Aerospace Center” of NAU.

Abstract: Diversity of the modern UAV flight missions and increasing their complexity require creation of the UAV robust flight control systems, which allow achieving high control performance during flight mission execution under action of the internal and external disturbances. On the basis of the parametric as well as structural methods of the robust systems synthesis, the algorithms and programs for the UAV autopilots control laws in the modes of the attitude, velocity and altitude stabilization, as well as for the guidance control, including the path planning and path following algorithms during the flight in the disturbed atmosphere, were created. The application of the parametric synthesis allows determination of the optimal tuning of the existing autopilots, providing the trade-off between robustness and performance, meanwhile the structural synthesis allows finding the perspective autopilots control laws, including the control laws with the elements of the artificial intellect.

Key words: robust control laws, attitude stabilization, guidance control, path planning, path following, fuzzy autopilots, integrated inertial-satellite navigation system.

Project purpose: creation of the methodology of the UAV robust flight control systems design, development of the algorithms and programs of the UAV robust control in the basic flight modes, implementation of algorithms and programs in the real onboard software and hardware computer – aided equipment, the testing of equipment in the conditions of the ground and flight experiments.

Brief description of the project.

Raising complexity and diversity of the modern UAV flight missions require performing of flights in the conditions of the wide range of the altitudes and velocities under action of the turbulent stochastic wind. The 1st condition leads to the variations of the controlled plant dynamic properties, and the 2nd condition leads to the deterioration of the accuracy of the flight mission execution. That is why the basic requirements to the control laws consist in the minimization of the dependence of control accuracy on the UAV dynamic properties variation from one hand, and achieving the maximum accuracy in the presence of the turbulent

wind from the other hand. The application of the robust control systems is the best way to satisfy these contradictory requirements.

In order to achieve this goal, the methodology of the UAV robust flight control systems design was created on the basis of the modern control theory approaches, including robust H_2/H_∞ -optimization for finding the optimal parameters of existing control laws (for example, PID-laws), as well as the methods of the structural synthesis such as the H_∞ -synthesis, linear matrix inequality method (LMI) for design the control laws for perspective UAV. From the last point of view it must be noted, that for robust control systems design the methods of the artificial intellect were applied, especially the fuzzy set theory.

Achieved results.

On the basis of the parametrical and structural synthesis, including the artificial intellect method, there were developed:

- the robust control laws for the longitudinal and lateral autopilot channels in the attitude stabilization mode,
- robust altitude and velocity control laws,
- path planning methods for the cases, when the given waypoints belong to the convex as well as non-convex sets,
- robust path following control laws.

In particular it necessary to note, that within this project the integrated inertial-satellite navigation system (IISNS) was developed as the essential part of any flight control system. This system is based on the simplified algorithms of the rotational and translational mechanization, which nevertheless preserve necessary accuracy of the UAV navigational parameters determination. Taking into account limited computational abilities of the small UAV onboard microprocessors, these algorithms have significant practical importance. The efficiency of aforementioned results was proved via computer simulation with usage of the real UAV mathematical models. Proposed control laws and the IISNS algorithms were implemented in the software and hardware onboard equipment of small UAV, which was developed and made in the “Aerospace Center” of NAU. It was successfully tested in conditions of the ground and flight experiments (see Fig.1-4).



Fig.1. Display of the ground test control station.



Fig.2. Small UAV used in the flight tests (model of Cessna ®Corvalis350®).

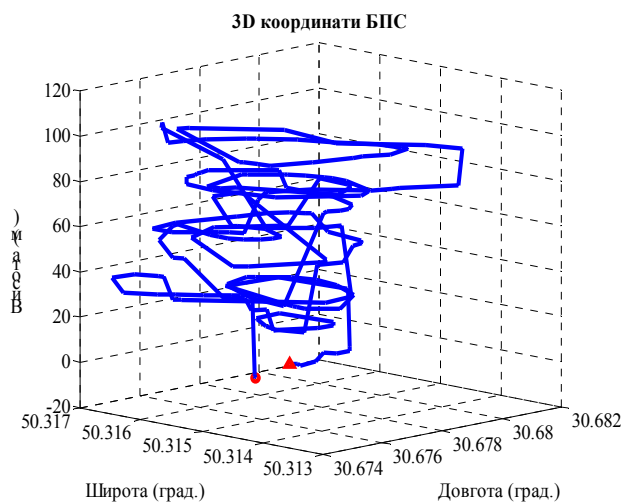


Fig.3. Spatial flight path in tests.

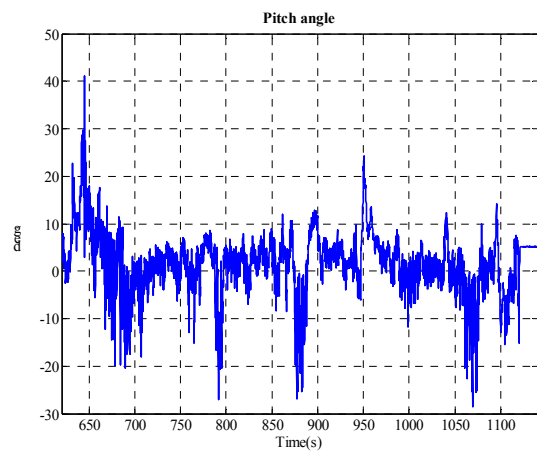


Fig.4. Pitch-hold mode in turbulent atmosphere.

References.

1. В.М. Азарсков, А.М.Кліпа, А.А. Тунік. Розширена Калманівська фільтрація в задачах оцінки стану та ідентифікації динамічних характеристик літального апарата. Електроніка та системи управління, № 1, 2004, стор.114-124.
2. А.А. Tunik, М.А. Touat, Xu Guo Dong. Robust Autopilots Based on the Fuzzy Model Reference Learning Control. Proceedings of the National Aviation University, No.3 (29), Kyiv, 2006, pp. 30-38.
3. Азарсков В.Н., Блохин Л.Н., Житецький Л.С. Методология конструирования оптимальных систем стохастической стабилизации. Монографія. К.: НАУ, – 2006. – 432 с.
4. А.А. Tunik, М.А. Touat. Hard and Soft Computing in the Robust Flight Control Systems. Applied and Computational Mathematics, Vol.5, No.2, 2006, pp.166-180.
5. А.А. Тунік, К.В. Мельник. Проектування багатовимірних систем керування польотом в умовах невизначеності за допомогою технології μ -синтезу. Вісник НАУ, №3 (36).-К.: НАУ, 2008.-стор.73-84.

6. A.A. Tunik, M.A. Touat. Design of UAV Robust Control Autopilot Based on Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System. Вісник НАУ, №4 (37).-К.: НАУ, 2008.-стор.9-18.
7. A.A. Tunik, E.A. Abramovich. Multi-Model Approach to Parametric Robust Optimization of Digital Flight Control Systems. Journal of Automation and Information Sciences.- Begell House Inc.: 36(3), 2004.- pp.25-34.
8. V.B. Larin, A.A. Tunik. On Correcting the System of Inertial Navigation. Journal of Automation and Information Sciences.- Begell House Inc.: 42(8), 2010.- pp.13-26.
9. А.А. Тунік, Г.Г. Вальденмайєр. Аналіз процедур факторизації коваріаційних матриць для задач розширеної Калманівської фільтрації в інерційно-супутникових навігаційних системах. Системи управління, навігації та зв'язку.-2011.-Випуск 1(17).- с.10-15.
10. A.A. Tunik, O.D. Gorbatyuk. LMI-based Feedback Suppression of External Disturbances for RUAV. Information Systems, Mechanics and Control. NTUU "KPI". -2010.-Number 4, Special Issue.-pp.17-25.
11. A.A. Tunik, M.M. Komnatska. An LMI-Design of Flight Control Systems with Fuzzy Controllers. Інформаційні системи, механіка та керування. Київ, НТУУ «КПІ».- Вип. 5, 2010.- стор.119-130.
12. А.А. Туник, О.П. Басанец. Синтез следящей системы наведения вращающегося беспилотного летательного аппарата с помощью линейных матричных неравенств. Кибернетика и вычислительная техника. Выпуск 164, Киев, Институт Кибернетики НАНУ-2011.- стр.17-29.
13. V.B. Larin, A.A. Tunik. On Inertial Navigation System Error Correction. International Applied Mechanics, Springer Science, Inc. – 2012.- v.48, No.2. – pp. 213-223.
14. В.П. Харченко, А.А. Тунік, В.І. Чепіженко, С.В. Павлова. Авіоніка безпілотних літальних апаратів. (Монографія). Київ, ТОВ «Абрис принт».-2012.- 463 стор.
15. Г.Г. Вальденмайєр, В.Б. Ларін, А.А. Тунік. Процедура початкової виставки безплатформової інерціальної навігаційної системи для малого безпілотного літального апарату. Системи управління, навігації та зв'язку.-Випуск 1(21), том 2, 2012.- стор.6-16.
16. А.А. Тунік, О.О. Абрамович. Основи сучасної теорії управління. Навчальний посібник з грифом МОНУ. К.: «НАУ-друк»,2010.- 259 с.
17. A.A. Tunik, M.M. Komnatska. On Structures of Combined UAV Flight Control Systems with Elements of Fuzzy Logics. Electronics and Control Systems.- No.1(43), 2015.-pp.17-25.
18. V.B. Larin, A.A. Tunik. Improvement of Aircraft's Capability of Tracking the Reference Trajectory. International Applied Mechanics, Springer Science, Inc. – vol.51, no.5, 2015.-pp. 601-606.
19. A.A. Tunik, K.Rydlo, O.V.Savchenko, K.V.Melnik. Practical Experience of Intellectual UAV Attitude Stabilization System Computer-Aided Design. Electronics and Control Systems.- No.1(43), 2015.-pp.17-25.

20. V.B. Larin, A.A. Tunik. Software Algorithms for Low-Cost Strap-down Inertial Navigation Systems of Small UAV. TWMS Journal of Pure and Applied Mathematics, Vol. 7, No.2, 2016.-146-166.

Approbation.

1. В.М. Азарсков та інші. Оптимальне стохастичне керування боковим рухом безпілотного літального апарату при неповному вимірюванні вектору стану в неперервних системах. Матеріали V Міжнародної конф. "ABIA-2003, т.ІІ, Вид. НАУ, Київ, с.66-70.

2. I.K.Ahn, H.Ryu, V.B.Larin, A.A. Tunik. Integrated Navigation, Guidance and Control Systems for Small Unmanned Aerial Vehicles. The World Congress "Aviation in the XXI-st Century", NAU, Kyiv, 2003, pp.5.15 –5.25.

3. А.А. Туник, Е.А.Абрамович. Оценка влияния неструктурированных параметрических возмущений на робастность и качество замкнутых цифровых систем управления. Автоматика-2004. Матеріали 11-ої конф. по автоматичному управлінню. Вид. НУХТ. Київ, 2004, т.1, стор.41.

4. В.М.Азарсков,Т.А.Галагуз, А.А. Туник. Структурно-параметричний синтез цифрової робастної системи управління при стохастичних збуреннях і неповних вимірах вектору стану системи. Там же, стор. 42.

5. В.Б. Ларин, А.А. Туник. Компенсация внешних возмущений в системах управления полётом при неполном измерении фазовых координат. «Автоматика-2005», Матеріали 12-й Міжн. Конф. з автом. управл., т.1, Харків, ХІІІ, 2005,с.106.

6. А.А. Tunik ,Т. Galaguz, Xu Guo Dong. Design of Sub-optimal Robust Flight Control Systems for Small UAV. The 2nd World Congress "Aviation in the XXI Century. Safety in Aviation". Kiev, NAU, September 2005, pp.1.70- 1.79.

6. V.B. Larin, A.A. Tunik. Flight Stabilization and Exogenous Uncertain Disturbance Suppression via Static and Dynamic Output Feedback. Proceedings of 13th St. Petersburg International Conference on Integrated Navigation Systems. 2006, pp.27-35.

7. А.А. Tunik, М.А. Touat. Hard and Soft Computing in the Robust Flight Control Systems. 14th Saint Petersburg International Conference on integrated navigation systems. 2007, pp.271-280.

8. А.А. Туник, К.В. Мельник. Робастная оптимизация многомерной системы управления полётом, основанная на концепции структурированного сингулярного числа. VII Міжнародна науково-технічна конференція «Гіротехнології, навігація, керування рухом та конструювання авіаційно-космічної □техніки». Збірник доповідей. Ч.1. Київ: 23-24.04.09.- С.289-291.

9. А.А. Туник, М.М. Комнацька. Синтез робастної системи управління поздовжнім рухом БПЛА за наявності чітких та нечітких регуляторів у системі управління польотом. Матеріали Міжн. наукової конф. «Інтелектуальні системи прийняття рішень і проблеми обчислювального інтелекту» (ISDMCI'2010), том 1.- Євпаторія : 2010.- стор.499-502.

10. А.А. Туник, О.П. Басанец. Синтез робастной системы слежения на основе линейных

матричних нерівностей. Гіротехнології, навігація, керування рухом та конструювання авіаційно-космічної техніки. Збірник доповідей VII Міжнародної науково-технічної конференції. Част.2, Київ, НТУУ «КПІ», 2011.-стор. 166-174.

11. А.А. Тунік, О.П. Басанець. Синтез робастного ПД-регулятора для рухомого об'єкту з використанням теорії лінійних матричних нерівностей. XVIII Міжнародна конференція з автоматичного керування «АВТОМАТИКА/AUTOMATICS-2011», Львів, 2011.-стор. 257-258.

12. V.B. Larin, A.A. Tunik. Optimal UAV Path Planning Based on Decomposition and the Spatial Lead. Proceedings of the 3rd Internat. Conf. "Methods and Systems of Navigation and Motion Control" Kyiv, NAU.- Oct. 14-17, 2014.-pp.17-22.

13. A.A. Tunik, K.Rydlo, O.V.Savchenko, K.V.Melnik. Computer-Aided Design of the Stability and Controllability Augmentation System. Proc. of Intern. Conf. "Actual Problems of Unmanned Aerial Vehicles Developments", Kyiv, NAU.-Oct.13-15, 2015.-pp. 73-79.

14. A.A. Tunik, M.M. Komnatska. Robust Optimization of the UAV Path Following Guidance Systems. Proceedings of the 4th IEEE International Conference "Methods and Systems of Navigation and Motion Control". Kyiv, NAU.- 2016.-pp. 25-29.