

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Զթյան Մ.Ա., Եղիազարյան Դ.Հ.** Քառապտուտակ ուղղաթռի հարմարվող կարգավորիչի մշակումը և փորձարկումը: - Երևան, 2014:
2. **Hovakimyan N. and Cao C.** L1 Adaptive Control Theory.- Philadelphia, 2010.
3. **Staples G.** Propeller Static & Dynamic Thrust Calculation, 2013.

Մ.Ա. ՇՏԿՅԱՆ, Դ.Ս. ԵԴԻԱԶԱՐՅԱՆ

НАСТРОЙКА ПАРАМЕТРОВ КВАДРАТОРА С L1 АДАПТИВНОЙ СИСТЕМОЙ УПРАВЛЕНИЯ ОПЫТНЫМ ПУТЁМ

Произведены расчёт параметров и тестирование квадратора с адаптивной системой управления, в результате чего получена методика настройки параметров квадратора. В последнем даны первоначальные значения параметров, которые следует применять в начале настройки, чтобы избежать аварий.

Ключевые слова: адаптивная система управления, мультиротор.

M.A. CHTCHYAN, D.H. YEGHIAZARYAN

TUNING OF A QUADROTOR WITH AN L1 ADAPTIVE CONTROL SYSTEM BY AN EXPERIMENT

An empirical tuning and testing of a quadrotor with an L1 adaptive control system are carried out. As a result, a method for empirical tuning of the quadrotor parameters is obtained. The latter depicts the initial values for the parameters which should be applied at the beginning of tuning to avoid crashes.

Keywords: adaptive control system, quadrotor.

ՀՏԴ 62-50

Հ.Գ. ԴԱՐԲԻՆՅԱՆ

ՔԱՌԱՊՏՈՒՏԱԿԻ ԽԱՓԱՆԱԿԱՅՈՒՆ ԿԱՌԱՎԱՐՄԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ԴԻՆԱՄԻԿ ՄՈԴԵԼԸ SIMULINK ՄԻՋԱՎԱՅՐՈՒՄ

Ուսումնասիրվում են քառապտուտակների խափանակայուն կառավարման համակարգերի կառուցվածքները և նախագծման մեթոդները: *Simulink* փաթեթի միջավայրում մշակվել է քառապտուտակի ոչ գծային մոդելը, որը հնարավորություն է տալիս հաշվի առնել շարժիչների խափանումները և հետազոտել կառավարման համակարգի դինամիկան այդ դեպքերի համար:

Առանցքային բառեր. խափանակայուն համակարգ, քառապտուտակ, կառավարման համակարգ, դինամիկ մոդել:

Ներածություն: Մեր ժամանակներում փոքր անօդաչու թռչող ապարատները (ԱԹԱ)՝ որպես անվտանգ և էժան միջոցներ, լայնորեն կիրառվում են ռազմական նպատակներով, դիտարկումներ և հետախուզություն կատարելու համար: Բացի

դրանից, ԱԹԱ-ները կիրառվում են նաև այնպիսի քաղաքացիական ոլորտներում, ինչպիսիք են գյուղատնտեսությունը, որոնման և փրկարարական աշխատանքները, մագիստրալ գազատար խողովակաշարերի և բարձրավոլտ էլեկտրագծերի հսկումը, հրդեհների օջախների հայտնաբերումը անտառներում, վերգետնյա տրանսպորտային երթևեկության վերահսկումը և այլն:

Արտաքին տարբեր պայմանների դեպքում ԱԹԱ-ի թռիչքի հուսալիությունը և ավտոմատ կառավարումն ապահովելը բարդ խնդիր է: Հատկապես կրիտիկական է բազմառոտորային ԱԹԱ-ների էլեկտրաշարժիչների խափանումը, քանի որ գեթ մեկ շարժիչի խափանման դեպքում հատուկ լուծումների բացակայությունը կհանգեցնի վթարի և ԱԹԱ-ի ոչնչացման: Այս հանգամանքը անհրաժեշտություն է առաջացնում գտնել նոր արդյունավետ լուծումներ բազմառոտոր ԱԹԱ-ների կառավարման համակարգերի համար, որոնք կպահպանեն սարքի աշխատունակությունը՝ էլեկտրաշարժիչների կամ այլ տարրերի խափանման դեպքում: Այդպիսի համակարգերը կոչվում են **խափանակայուն կառավարման համակարգեր** (ԽԿՀ): Խափանակայունությունը հատկապես կարևոր է այն համակարգերի համար, որոնց հուսալիությունը համարվում է կարևորագույն որակական գործոն, ինչպիսիք են ինքնաթիռները, տիեզերական կայանները, ատոմակայանները, քիմիական արդյունաբերության ձեռնարկությունները, որոնք կապված են վտանգավոր նյութերի արտադրության հետ և այլն: Այդպիսի համակարգերում նույնիսկ չնչին սխալները և աննկատ խափանումները կարող են հանգեցնել աղետալի հետևանքների:

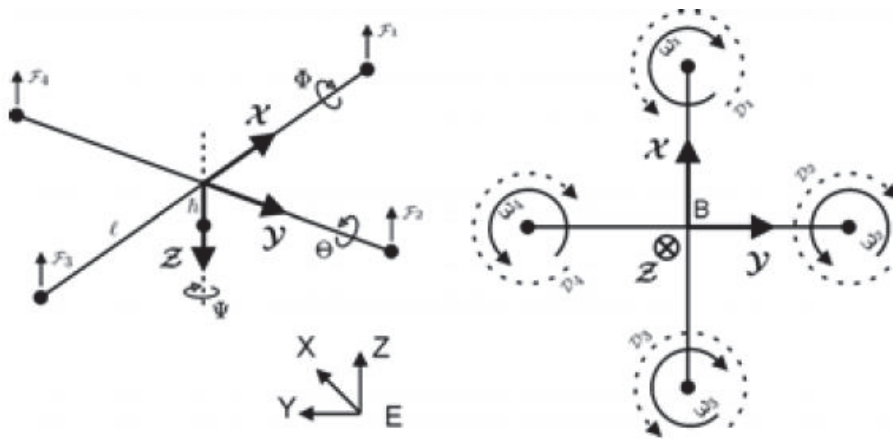
Ընդհանուր առմամբ, ԽԿՀ-երը բաժանվում են երկու հիմնական խմբի՝ պասսիվ ԽԿՀ և ակտիվ ԽԿՀ [1]: Պասսիվ ԽԿՀ-երում կարգավորիչները համարվում են ֆիքսված և նախագծված են պահպանել համակարգի ռոբաստությունը որոշակի դասի հնարավոր խափանումների նկատմամբ: Այդպիսի համակարգերում չեն պահանջվում ոչ խափանումներն ախտորոշող սխեմաներ, ոչ էլ կարգավորիչների վերակարգաբերում: Սակայն այս համակարգերն ունեն սահմանափակ խափանադիմակայունություն: Ի տարբերություն պասսիվ ԽԿՀ-երի, ակտիվ ԽԿՀ-երը արձագանքում են համակարգի առանձին բաղադրիչների խափանումներին ու շարքից դուրս գալուն, ավտոմատ կերպով վերակարգաբերելով կարգավորիչները և ղեկավարող ազդեցությունները, որպեսզի ամբողջապես պահպանվեն համակարգի դիմակայունությունը և ընդունելի որակը:

Ներկայումս ԽԿՀ-ում և բազմառոտոր ԱԹԱ-ների [2] կառավարման համակարգերում կիրառվում են պլանավորված ուժեղացման գործակիցներով ՀԻԴ (Համեմատող-Ինտեգրող-Դիֆերենցող), չափանմուշային մոդելով հարմարողական կառավարման, սահող ռեժիմով կառավարման, կանխատեսող մոդելով կառավարման մեթոդները: Դրանցից որոշ մեթոդներ կարելի է օգտագործել ինչպես ակտիվ, այնպես էլ պասսիվ ԽԿՀ-երում (պլանավորված ուժեղացման գործակիցներով ՀԻԴ կարգավորիչի, չափանմուշային մոդելով հարմարողական կառավարման, կանխա-

տեսող մոդելով կառավարման), իսկ մյուսները՝ միայն պասսիվ ԽԿՀ-երում (սահող ռեժիմով կառավարման):

Խափանակայուն քառապտուտակի կառավարման համակարգի դինամիկ մոդելը Simulink փաթեթի միջավայրերում: ԽԿՀ-ի տիպիկ օրինակ կարելի է համարել բազմառոտորային քառապտուտակը, որի Simulink փաթեթի միջավայրերում նախագծված մոդելի համար կարելի է ստեղծել արհեստական խափանումներ [3]:

Բազմառոտոր քառապտուտակների շարժումը տարածության մեջ նկարագրվում է (1) բարդ ոչ գծային դիֆերենցիալ հավասարումներով: Որպես կոնկրետ օրինակ դիտարկենք քառապտուտակի դինամիկայի հավասարումները, որոնք ստացվել են՝ հաշվի առնելով նրա վրա աերոդինամիկ ուժերը և մոմենտները: Նկ. 1-ում պատկերված է OS4 կոորդինատային համակարգը:



Նկ. 1. OS4 կոորդինատային համակարգը

Ելնելով ներկայացված կոորդինատային համակարգում քառապտուտակի աերոդինամիկ ուժերից (x , y , և z առանցքների երկայնքով ազդող ուժերը) և մոմենտներից (պտտող, բարձրության և ուղղահայաց առանցքի շուրջը պտտող) ստացվել է շարժման հավասարումների (1) համակարգը.

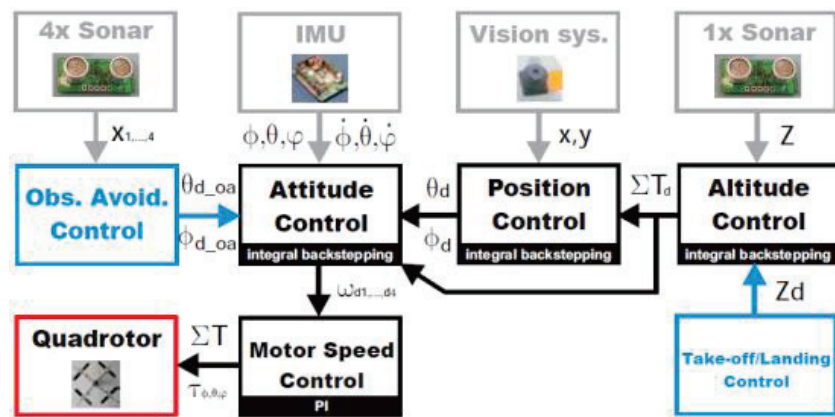
$$\begin{cases} I_{xx}\ddot{\phi} = \dot{\theta}\dot{\psi}(I_{yy} - I_{zz}) + J_r\dot{\theta}\Omega_r + l(-T_2 + T_4) - h(\sum_{i=1}^4 H_{yi}) + (-1)^{i+1} \sum_{i=1}^4 R_{mxi}, \\ I_{yy}\ddot{\theta} = \dot{\phi}\dot{\psi}(I_{zz} - I_{xx}) - J_r\dot{\phi}\Omega_r + l(T_1 - T_3) + h(\sum_{i=1}^4 H_{xi}) + (-1)^{i+1} \sum_{i=1}^4 R_{myi}, \\ I_{zz}\ddot{\psi} = \dot{\theta}\dot{\phi}(I_{xx} - I_{yy}) + J_r\dot{\psi}\Omega_r + (-1)^i \sum_{i=1}^4 Q_i + l(H_{x2} - H_{x4}) + l(-H_{y1} + H_{y3}), \\ m\ddot{z} = mg - (c\psi c\phi) \sum_{i=1}^4 T_i, \\ m\ddot{x} = (s\psi s\phi + c\psi s\theta c\phi) \sum_{i=1}^4 T_i - \sum_{i=1}^4 H_{xi} - \frac{1}{2} C_x A_c \rho \dot{x} |\dot{x}|, \\ m\ddot{y} = (-c\psi c\phi + s\psi s\theta c\phi) \sum_{i=1}^4 T_i - \sum_{i=1}^4 H_{yi} - \frac{1}{2} C_y A_c \rho \dot{y} |\dot{y}|: \end{cases} \quad (1)$$

Ստացված հավասարումների համակարգը ներկայացվել է վիճակների տարածությունում $\dot{X} = f(X, U)$ մոդելի տեսքով, որտեղ U -ն մուտքային, իսկ X -ը վիճակի վեկտորներն են:

$$X = [\phi \ \dot{\phi} \ \theta \ \dot{\theta} \ \psi \ \dot{\psi} \ z \ \dot{z} \ x \ \dot{x} \ y \ \dot{y}]^T,$$

$$U = [U_1 \ U_2 \ U_3 \ U_4]^T :$$

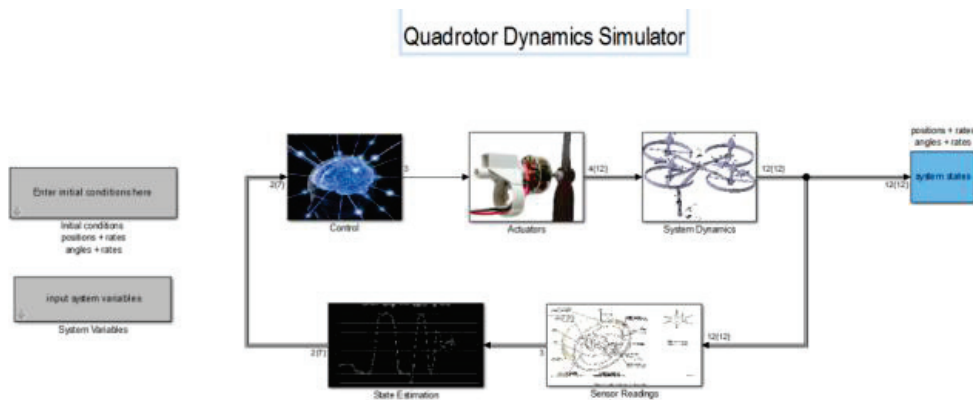
Քառապտուտակի համար իրականացվում է ըստ հարթության և տարածության մեջ դիրքերի և բարձրության կառավարում (նկ. 2):



Նկ. 2. OS4-ի կառավարման կառուցվածքը

Հարթության վրա դիրքի կառավարումն ապահովում է քառապտուտակի ցանկալի դիրքը (x, y) հարթության մեջ, հաշվի առնելով շարժման ցանկալի ուղղությունը: Տարածության մեջ դիրքի կառավարումը թույլ է տալիս իրականացնել քառապտուտակի 3D կողմնորոշում, հաշվի առնելով ցանկալի դիրքը: Իսկ բարձրության կառավարումն ապահովում է քառապտուտակի գետնից ունեցած հեռավորություն կառավարումը, հաշվի առնելով ցանկալի բարձրությունը:

Ելնելով վերը ներկայացված դինամիկայի հավասարումներից և քառապտուտակի կառավարման կառուցվածքից՝ Simulink փաթեթի միջավայրերում նախագծվել է հետևյալ նմանակային մոդելը (նկ. 3):



Նկ. 3. Քառապտուրակի նմանակային մոդելը Simulink փաթեթի միջավայրերում

MATLAB ծրագրային միջոցով հնարավոր է գնահատել քառապտուրակի ակտիվ ԿՀՀ-ի որակը, քառապտուրակի աշխատանքի մեջ ստեղծել արհեստական խափանումներ և ուսումնասիրել ԽԿՀ-ների մշակման մեթոդները, որոնք ավտոմատ կերպով կարող են իրականացնել համակարգի հետագա բավարար աշխատանքը՝ խափանումների առկայության դեպքում:

Ուսումնասիրվող նոր մեթոդների արդյունքները կարող են օգտագործվել հիմնարկներում և կազմակերպություններում, որոնք զբաղվում են բարդ կառավարման համակարգերի նախագծմամբ և իրականացմամբ՝ արտադրության տարբեր ճյուղերում և տեխնիկական ոլորտներում, այդ թվում և պաշտպանության արդյունաբերությունում: Բացի դրանից, նախագծի արդյունքները կարող են օգտագործվել ուսումնական հաստատություններում:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Edwards C., Lombaerts T. & Smaili H.** Fault Tolerant Flight Control: A Benchmark Challenge, Lecture Notes in Control and Information Sciences. - Springer, 2010.
2. **Bani Milhim A., Zhang Y.M. & Rabbath C.A.** Gain scheduling based PID controller for fault tolerant control of a quad-rotor UAV, AIAA Infotech@Aerospace.- Atlanta, Georgia, USA, 2010.
3. **Corke P., Siegwart R., Clavel R.** Design and control of quadrotors with application to autonomous flying.- Lausanne, EPFL, 2007.

А.Г. ДАРБИНЯН

ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОТКАЗОУСТОЙЧИВОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КВАДРОКОПТЕРА В СРЕДЕ ПАКЕТА SIMULINK

Рассматриваются структуры и методы проектирования отказоустойчивых систем управления квадрокоптерами. В среде пакета Simulink разработана нелинейная модель квадрокоптера, которая позволяет учитывать отказы двигателей и исследовать динамику системы управления в подобных случаях.

Ключевые слова: отказоустойчивая система, квадрокоптер, система управления, динамическая модель.

H.G. DARBINYAN

A DYNAMIC MODEL OF A FAULT-TOLERANT CONTROL SYSTEM OF QUADROCOPTER IN THE SIMULINK PACKAGE ENVIRONMENT

The structures and design methods of fault-tolerant control systems of quadcopters are considered. A nonlinear model of quadcopter, allowing take into account the faults of motors and investigate the control system dynamics in such cases, is developed in the Simulink environment.

Keywords: fault-tolerant system, quadcopter, control system, dynamic model.

ՀՏԴ 62-50

Վ.Հ. ՄԱՆՈՒԿՅԱՆ

ՀԱՎԱՑԻՐԿՈՒԼՅԱՆՏ ԲԱԶՄԱԶԱՓ ԱՎՏՈՄԱՏ ԿԱՌԱՎԱՐՄԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐԻ ՆԱԽԱԳԾՈՒՄԸ ԿԱՌԱՎԱՐՄԱՆ ԴԱՍԱԿԱՆ ՄԵԹՈԴՆԵՐՈՎ

Առաջարկվում է մի մոտեցում հակացիրկույանտ ավտոմատ կառավարման համակարգերի կարգավորիչների ընտրության համար, որը հնարավորություն է տալիս նախագծել այդ համակարգերը կառավարման տեսության դասական մեթոդների կիրառմամբ: Արտադվել են համարժեք միաչափ համակարգերի փոխանցման ֆունկցիաների հաշվարկման բանաձևեր: Կատարվել է մոդելային համակարգի կայունության վերլուծություն:

Առանցքային բառեր. բազմաչափ կառավարման համակարգ, հակացիրկույանտ կարգավորիչ, բնութագրիչ փոխանցման ֆունկցիա:

Բազմաչափ ավտոմատ կառավարման համակարգերի (ԲԱԿ) կարևոր դաս են կազմում, այսպես կոչված, նորմալ համակարգերը, որոնք շատ տարածված են, և որոնց կանոնական բազիսները օրթոգոնալ են: Նորմալ ԲԱԿ-երի դասում կարելի է առանձնացնել երկու ենթադասեր՝ ցիրկույանտ և հակացիրկույանտ, որոնց բնորոշ հատկանիշն այն է, որ դրանց կանոնական բազիսները կախված չեն s կոմպլեքս փոփոխականից: