



AZƏRBAYCAN ELM FONDU

Azərbaycan Elm Fondunun
Ümummilli Lider Heydər Əliyevin 100-illik
yubileyinə həsr olunmuş
“Əsas qrant müsabiqəsi-2023” ün
(AEF-MCG-2023-1(43)) qalibi olmuş
layihənin yerinə yetirilməsi üzrə

1 İLLİK ELMİ-TEXNİKİ HESABAT

Layihənin adı: **Oktokopter vasitəsilə ağır yüklərin (100 kq-a qədər) çatdırılması və xilasetmə işlərinin aparılması üçün proqram-texniki kompleksin işlənməsi**

Layihə rəhbərinin soyadı, adı və atasının adı: **Rzayev Ramin Rza oğlu**

Layihənin nömrəsi: **AEF-MCG-2023-1(43)-13/03/1-M-03**

Müqavilənin imzalanma tarixi: **15 noyabr 2023-cü il**

Qrant layihəsinin yerinə yetirilmə müddəti: **24 ay**

Layihənin icra müddəti (başlama və bitmə tarixi): **01 dekabr 2023-cü il – 01 dekabr 2025-ci il**

Layihənin 1 il üzrə (rüb) məbləği:

Hesabatda aşağıdakı məsələlər işıqlandırılmalıdır:

1 Layihənin həyata keçirilməsi üzrə 1 il ərzində yerinə yetirilmiş **elmi işlər**

Hesabat ili ərzində oktokopterin dinamik parametrik modeli işlənilmisdir və simulyatorada realizə olunmuşdur – ümumi formada və oktokopter üçün uçuş kontrollerin və yerüstü idarəetmə pultunun layihələndirilməsi üçün kifayət qədər həcmdə.

“Oktokopterin naviqasiya və idarəetmə sisteminin modelləşdirilməsi” adlı 4-cü tədqiqat mərhələsi hesabat il ərzində aparılan tədqiqatın, yəni əvvəlki mərhələlərdə təsvir olunanların hamısı, əslində, oktokopter uçuşunun “daxili” qanununun təsbitidir – tətbiq olunan qüvvələrdən və momentlərdən asılı olaraq cismin təcillərini, sürətlərini və koordinatlarını necə dəyişdirəcəyi sualına cavab verir. Başqa sözlə, verilmiş həndəsi konstruksiyaya malik oktokopter üçün (ümumi moment və bucaq təcili üçün analoji qaydada) $F(t) = ma(t)$ tipli tənlikləri ifadə etmişdir. Bu tənliklərə bir sıra sabit kəmiyyətlər daxildir – oktokopterin kütləsi, onun əsas oxlar boyunca ətalət anları (ətalət tenzorunun komponentləri), pərvanələrin itələmə qüvvəsinin şaqulidən yayınma bucağı, oktokopter çərçivəsinin süalarının uzunluqları, və bəzi digər çəki və ölçü xüsusiyyətləri. Bir qayda olaraq, bunlar nadir istisnalarla sabit kəmiyyətlərdir.

Hesabat ilində baxılan məsələ ümumi formada tərtib edilmişdir. Konkret rəqəmlər müəyyən edilməmişdir - modeldə istifadə olunan bütün kəmiyyətlər simvolik olaraq təqdim edilmişdir (simvolik sabitlər və/yaxud dəyişənlər). Bir il davam edən tədqiqatlar başa çatdıqdan sonra istifadə olunan dinamik modelin işlənməsini və adekvatlığını yoxlamaq üçün model parametrlərini ədədlər şəklində təyin etmək tələb olunur: mühərriklər üçün bu, bucaq sürətinin kvadratı ilə itələmə qüvvəsi arasındakı mütənasiblik əmsalı, oktokopterin kütləsi üçün - çərçivənin kütləsi və bütün pervane-motor qruplarının kütlələri və s.

İdarəetmə modelinin dəyişənləri. MATLAB notasiyasında simulyator tipik (təkrarlanan) elementləri ehtiva edir: modelin sabitlərini və dəyişənlərini təyin etmək üçün düz, йункш-strukturlaşdırılmış siqnallar siyahısından və/və ya strukturlaşdırılmış (obyekt yönümlü) siqnal bazasından istifadə edir. Bu modeldə aşağıdakı siqnallar (dəyişənlər və sabitlər) təqdim edilib.

Oktokopterdə təkrarlanan elementlər arasında pervane-motor qrupunu (PMG) aydın şəkildə ayırd etmək olar - onların hamısı eyni tiptədir və eyni (mənada) dəyişənlərlə parametrləşdirilmişdir. Həmçinin, yalnız 6 (tənzimləmə kanallarının sayına görə) tənzimləyicilər üçün eyni tipli elementlər seçilmişdir. Əgər bunlar PID nəzarətçiləridirsə, onda P-, I-, D- mütənasiblik əmsalları kontrollerlərin hər biri üçün öz xüsusi dəyəri ilə mövcuddur. Beləliklə, hesablamalar üçün istifadə olunan bütün sabitlər (modeli parametrləşdirən) və dəyişənlər strukturlaşdırılmış formada vahid bir yerdə toplanır.

Mühərriklərin parametrləşdirilməsi ətraflı nəzərdən keçirilib. Ümumilikdə verilənlər bazasında 8 qrup siqnal, hər birində 15 siqnal – yəni bütün mühərriklərin vəziyyətini təsvir edən 120 dəyişən və sabit mövcuddur. Əhəmiyyətli və istifadəçi (model tərtibçisi) tərəfindən təyin olunanlar W_{nom} , W_{min} – nominal və minimum fırlanma sürətləridir. Sonradan, bu qiymətlər mühərrik modelində cari fırlanma sürətini “aşağıdan” məhdudlaşdıran və cari PMG sürətini ölçü vahidlərində hesablamaq üçün istifadə olunur. Qalan dəyişənlər modeldə hesablanır və zamandan asılıdır. Bu kateqoriyaya bucaq təcilinin kvadratı ilə PMG-nin itələmə qüvvəsi arasındakı mütənasiblik əmsallarını əlavə edilir.

Optimal idarəetmə. İdarəetmə nöqtəyi-nəzərindən oktokopter mürəkkəb dizayna malikdir: fərdi qaydada idarə oluna bilən 8 mühərrik mövcuddur, lakin demək olar ki, hər biri oktokopterin bütün 12 vəziyyət dəyişənlərinə (faza koordinatlarına) təsir göstərir. Yəni, mühərriklərdən birini “sükan etsək” – sürətini yuxarı və ya aşağı dəyişdirsək, bu, x , y , z koordinatlarının hər birinə və üç bucaq sürətinin hər birinə təsir edəcəkdir. İtki vektorunun B sisteminin koordinat müstəvilərindən hər hansı birinə paralel olduğu hallar istisna olmaqla, bu itələmə qüvvəsi 12 vəziyyət dəyişənindən 4-nə təsir etməyəcək. Klassik idarəetmə nəzəriyyəsi metodlarından çıxış edərək oktokopterin 8 giriş təsiri və 12 çıxışı (vəziyyət dəyişənləri) arasında $8 \times 12 = 96$ ötürmə funksiyası mövcuddur.

Bundan əlavə, mühərriklərin fırlanmasında dəyişiklik (fırlanma təcili) dartma qüvvəsinin qeyri-xətti (kvadratik) dəyişməsinə səbəb olur. Bu, oktokopterin idarəedicilərinin dizaynında aksioma kimi qəbul edilir və eksperimental məlumatlara kifayət qədər uyğundur.

Optimal idarəetmənin vəzifəsi oktokopteri optimal (adətən ən qısa) trayektoriya boyunca və minimum vaxt ərzində minimal aşırma ilə **A** nöqtəsindən **B** nöqtəsinə

köçürməkdir. Bu halda, oktokopterin maksimal sürətinə, təcilinə və əyilmə bucaqlarına (üfüqlikdən sapma) məhdudiyətlər qoyulur. Problem ondadır ki, “birbaşa” istiqamətdə mühərriklərin hər birinin (8 dəyişən – 8 fırlanma təcili) 12 vəziyyət dəyişəninin hər birinə necə təsir etdiyini hesablamaq olduqca asandır. Sürətləri də nəzərə alsaq, 18 dəyişənin hər biri üçün. Lakin idarəetmə məsələsində bunun əksi tələb olunur – ilkin və son koordinatları nəzərə alaraq, oktokopterin bir vəziyyətdən digərinə keçməsi üçün mühərrikləri necə idarə etməyi dəqiq hesablamaq tələb olunur.

Bu problem Laqranj vurğuları üsulu ilə, daha dəqiq desək, şərtlər və Kun-Taker metodu ilə həll edilir, burada dəyişənlərə qoyulan məhdudiyətlər bərabərsizliklərdir.

Sadələşdirilmiş təqdimat üçün problemin həllinin qısa gedişatı aşağıdakı kimidir. Başlanğıcda 6×8 ölçülü G matrisi qurulur. O idarəetmə kanallarının sayına (6) və PMG-lərin sayına (8) görə, mühərriklərin hər birinin idarəetmə kanallarının hər birinə necə təsir etdiyini dəqiq göstərir:

$$G = \begin{bmatrix} f_{1x} & f_{2x} & f_{3x} & f_{4x} & f_{5x} & f_{6x} & f_{7x} & f_{8x} \\ f_{1y} & f_{2y} & f_{3y} & f_{4y} & f_{5y} & f_{6y} & f_{7y} & f_{8y} \\ f_{1z} & f_{2z} & f_{3z} & f_{4z} & f_{5z} & f_{6z} & f_{7z} & f_{8z} \\ m_{1x} & m_{2x} & m_{3x} & m_{4x} & m_{5x} & m_{6x} & m_{7x} & m_{8x} \\ m_{1y} & m_{2y} & m_{3y} & m_{4y} & m_{5y} & m_{6y} & m_{7y} & m_{8y} \\ m_{1z} & m_{2z} & m_{3z} & m_{4z} & m_{5z} & m_{6z} & m_{7z} & m_{8z} \end{bmatrix}$$

$$\vec{f}_i(t) = C_T \cdot \vec{e}_{M_i} \vec{m}_i(t) = C_T \cdot \vec{r}_{M_i} \times \vec{e}_{M_i}.$$

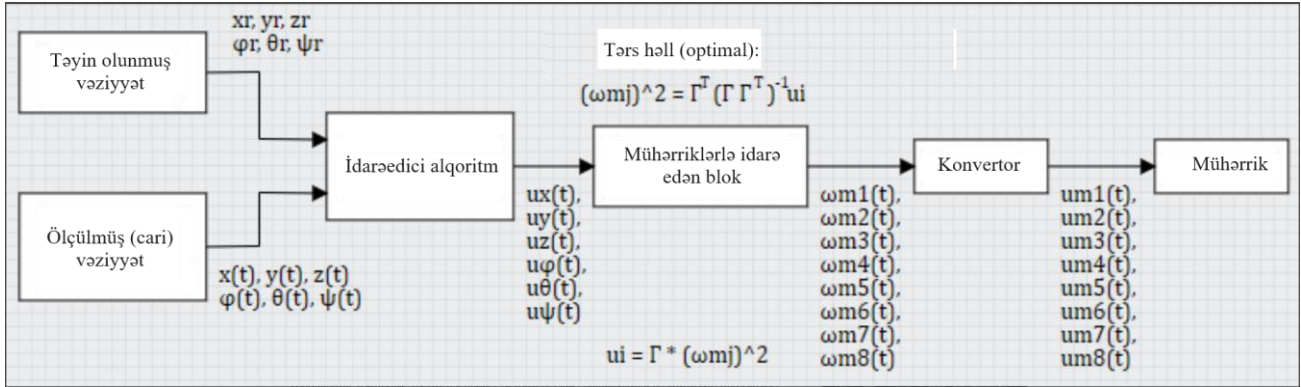
Burada $f_{i|x,y,z}$ – PMG-nin müvafiq istiqamətdə yaratdığı qüvvənin hesablanması üçün $w_{M_i(t)}^2$ qarşısında yerləşən əmsaldır, $m_{i|x,y,z}$ isə $w_{M_i(t)}^2$ qarşısındakı əmsaldır.

Qeyd edək ki, G matrisi i -ci PMG-nin kvadrat bucaq sürəti ilə idarəetmə kanallarının hər biri üçün idarəetmə (qüvvə) təsirləri arasında əlaqəni göstərir: $u(t) = G \cdot w_{M_i(t)}^2$. Burada əks həllini – i -ci mühərrikin bucaq sürətinin hər hansı bir idarəetmə kanalı vasitəsilə tətbiq olunan idarəetmə hərəkətindən asılılığı əldə etmək lazım gəlmir. Ümumiyyətlə, bu problemin sonsuz sayda həlli var, lakin bu sonsuz sayda bu və ya digər meyara və ya metoda əsaslanaraq optimal həll yolu seçmək mümkündür.

Optimal idarəetmə nəzəriyyəsi metodlarından istifadə etməklə problem A^+ tərs psevdoinvers kimi adlanan matrisin axtarışı ilə həll edilir və bu, aşağıdakı kimi hesablanır: $A^+ = G^T(G \cdot G^T)^{-1}$. O, həm də həllə qoyulan məhdudiyətlərlə ortaya çıxan problemin optimal həllidir.

Təcrübədə verilmiş oktokopter həndəsəsi və nəticədə G matrisindəki 48 ədəd üçün hər hansı idarəetmə kanalı vasitəsilə müəyyən bir əmr qəbul edildikdə mühərrikin idarəetmə qaydasını müəyyən edən başqa 48 ədəd əldə edilməlidir. Şək. 1-də tənzimləyicinin ümumi strukturu göstərilir. Mövqeyi təyin edən oktokopterin köçürülməsi lazım olan tələb olunan koordinatları yaradır. Onlar ölçülmüş koordinatlarla bəzi alqoritmdən istifadə etməklə müqayisə edilir və idarəedici alqoritm hər bir idarəetmə kanalı üçün 6 idarəetmə hərəkəti yaradır. Hesablanmış A^+ psevdoinvers matrisə əsaslanaraq, mühərrik idarəetmə bloku 8 mühərrikin hər biri üçün bucaq sürətlərinin cari təyin edilmiş qiymətlərini hesablayır, sanki idarəetmə kanalları vasitəsilə alınan 6 əmri yekunlaşdırır və müəyyən bir şəkildə mühərrikləri

işə salır. Yaradılan 8 bucaq sürəti mühərrik sürət tənzimləyicisinə göndərilir və oktokoqter tənzimlənir və idarə olunur (bax Şək. 1-ə).



Şək. 1. Tənzimləyicinin strukturu

İdarəetmə kanallarının hər biri üçün idarəetmə əmrləri verilmiş koordinat (bucaq) ilə cari, ölçülmüş koordinat arasında uyğunsuzluq kimi formalaşır. Bu, ən sadə formada. Daha mürəkkəb idarəetmə alqoritmində fəzada hərəkət alqoritmi üzərində oktokoqter mövqeyinin sabitləşdirilməsinə üstünlük verən əlavə alqoritm daxil edilməlidir. Fakt budur ki, kanalların hər biri üçün idarəetmə ehtiyatı var (PMG-də mövcud olan imkan). Və əgər (məsələn) X oxu boyunca hərəkəti prioritet hesab edirsə, onda cari x koordinatı ilə verilən arasında böyük uyğunsuzluq olduqda, idarəedici siqnal oktokoqteri Y oxu ətrafında getdikcə daha çox əyməyə meyilli olacaq və müəyyən bir əyilmə, oktokoqterin sabitləşməsinə və uçuş hündürlüyünü tənzimləmək üçün mühərriklər üçün kifayət qədər tutum olmayacaq. Mühərriklərin, pervanelərin, kütlənin və ölçülərin xüsusi parametrləri olan bir oktokoqter üçün bütün bunlar hesablana bilər və $u_i(t)$ idarəetmə təsirlərinə, eləcə də onların prioritetinə lazımi məhdudiyətlər qoyula bilər. Lakin bu, ümumi bir model hazırladığımız bu hesabatda əhatə dairəsi xaricindədir. Qeyd edək ki, oktokoqter üçün mövqeyin sabitləşdirilməsi ən vacib vəzifədir, çünki sabit mövqe olmadan məqsədyönlü şəkildə hərəkət etmək mümkün olmayacaqdır.

Baxılan oktokoqter vəziyyətində G matrisinin ilk iki sütununun elementləri üçün analitik ifadə aşağıdakı kimidir

$$\left[\begin{array}{ll} f_{1x} = 0 & f_{2x} = -\frac{1}{\sqrt{2}} C_T \cdot \sin(\gamma) \\ f_{1y} = -C_T \cdot \sin(\gamma) & f_{2y} = \frac{1}{\sqrt{2}} C_T \cdot \sin(\gamma) \\ f_{1z} = -C_T \cdot \cos(\gamma) & f_{2z} = -C_T \cdot \cos(\gamma) \\ m_{1x} = 0 & m_{2x} = -\frac{1}{\sqrt{2}} C_T \cdot \cos(\gamma) \cdot l_2 \\ m_{1y} = -C_T \cdot \cos(\gamma) \cdot l_1 & m_{2y} = \frac{1}{\sqrt{2}} C_T \cdot \cos(\gamma) \cdot l_2 \\ m_{1z} = -C_T \cdot \sin(\gamma) \cdot l_1 & m_{2z} = C_T \cdot \sin(\gamma) \cdot l_2 \end{array} \right]$$

Görünür ki, birinci PMG (dartma qüvvət oxu yz müstəvisinə paraleldir) x oxu boyunca heç bir qüvvə və x oxu ətrafında heç bir moment yaratmır (onu kəsdiyinə görə). Buna görə də,

x oxu boyunca idarəetmə üçün və ya x oxu ətrafında fırlanma momenti yaratmaq üçün birinci mühərrik “yararsızdır”. 5-ci mühərriklə oxşar olacaq və 3-cü və 7-ci üçün y oxu üçün eyni şəkil olacaq (B koordinat sistemində hər şey doğrudur).

A^+ matrisi üçün analitik ifadələr daha çətin olacaq və o qədər də məntiqli olmayacaq – G matrisini, sonra isə arzulanan ədədi G matrisini hesablamaq daha asandır. Layihə çərçivəsində baxılan halda seçilmiş oktokopter üçün ədədi G matrisi aşağıdakı kimidir:

$$A^+ = \begin{bmatrix} 0 & -191.8 & -5.028 & 0 & 7.113 & -67.87 \\ -191.8 & 191.8 & -7.113 & -5.028 & 5.028 & 67.87 \\ 191.8 & 0 & -5.028 & -7.113 & 0 & -67.87 \\ -191.8 & -191.8 & -7.113 & -5.028 & -5.028 & 67.87 \\ 0 & 191.8 & -5.028 & 0 & -7.113 & -67.87 \\ -191.8 & -191.8 & -7.113 & 5.028 & -5.028 & 67.87 \\ 191.8 & 0 & -5.028 & 7.113 & 0 & -67.87 \\ -191.8 & 191.8 & -7.113 & 5.028 & 5.028 & 67.87 \end{bmatrix}$$

Matrisin mənası belədir: bu və ya digər idarəetmə vasitəsi ilə obyekt üzərində vahid idarəetmə hərəkətini həyata keçirmək üçün hər bir i -ci PMG-nin (8-dən) fırlanma tezliyinin nə qədər dəyişdirilməli olduğunu göstərir. Məsələn, idarəedicisi kanal x (birinci sütun) vasitəsilə koptera 1N qüvvə tətbiq etmək istəyirsə, onda 1-ci və 5-ci mühərriklərin bucaq sürətinin dəyişdirilməsinə ehtiyac yoxdur, ancaq əlavə etmək və ya çıxmaq lazımdır. Bu, bucaq sürətində kifayət qədər layiqli bir dəyişiklikdir və ümumiyyətlə, x , y kanalları boyunca idarə olunma burada PMG-lərin hər birinin öz şüası ətrafında daha 3 dərəcə fırlanmasının yan nəticəsi olaraq ortaya çıxdı.

Hündürlük kontrolleri. Hündürlük tənzimləyicisini digərlərindən ayrıca fərqləndirmək olar, çünki o, bütün mühərrikləri təxminən bərabər şəkildə istifadə edir və hətta G və A^+ matrisləri olmadan belə aydındır: oktokopterin yuxarıya doğru uçuşu üçün qazı artırmaq lazımdır, və yaxud aşağı uçuşu üçün PMG sürətini azaltmalıdır. Sadə bir hündürlük kontrolleri olaraq, düzgün seçilmiş əmsallarla idarəetməni idarə edəcək adi bir PID-kontrolleri seçilmişdir.

Kontrollerin əsas ideyası belədir: verilən hündürlük və ölçülmüş hündürlük arasındakı uyğunsuzluğun cari giyməti girişə verilir, cari şaquli sürət və şaquli sürətə məhdudiyət verilir. Əgər uyğunsuzluq 5 metrədən çox olarsa, o zaman kontroller sürət həddi rejimində işləyir və şaquli sürət v_z -nin uçuş istiqamətindən asılı olaraq +OGRV m/s və ya -OGRV m/s-ə bərabər olmasını təmin etməyə çalışır. Uyğunsuzluq 5 m-dən azdırsa, kontroller uçuş sürətini sıfıra endirir və hündürlük uyğunsuzluğunu sıfıra endirir. Nəzarətçinin çıxış signalı 8 mühərrikin hər birinə A^+ (üçüncü sütuna görə) matris əmsalları ilə verilir.

Oktokopterin oriyentasiya tənzimləyicisi. φ roll və θ tanqaj bucaqları bir oktokopter üçün ən vaciblərindəndir, çünki fəzada öz mövqeyini sabitləşdirmək üçün məsuliyyət daşıyır və digər idarəetmə kanalları arasında ən yüksək prioritetə malik olmalıdır. Oktokopter simmetrik olduğundan, idarəedicilər simmetriya oxlarına qədər bir-birinə bənzəyir.

Stabil vəziyyətdə, x_B və y_B oxlarının hər biri boyunca əyilmə bucağı sıfır, bucaq sürəti sıfır və tətbiq olunan fırlanma momenti də sıfır olmalıdır. Oriyentasiyanın tənzimləyicisi

xarici narahatedici məqamlara qarşı kifayət qədər sürətli olmalıdır və oktokoqterin sıfır mövqeyindən çox kənara çıxmasının qarşısını almalıdır, çünki oktokoqterin hər hansı bir əyilməsi dartma qüvvəsinin şaquli komponentinin azalmasına və oktokoqterin müvafiq istiqamətdə yan tərəfə keçməsinə səbəb olur.

Üç komponenti – bucaq, sürət və moment sıfıra endirmək üçün onlar tənzimləyiciyə giriş siqnalları kimi daxil olmalıdır. Məsələn, təyin edilmiş qiymət sıfırdırsa, sabit vəziyyətdə toplayıcının çıxışı sıfır olacaqdır. Sıfırdan fərqli bir vəziyyət görünsə, onda tənzimləyicinin çıxışı da sıfırdan fərqli olacaq, o zaman yuxarıda təqdim olunan A^+ psevdoters matrisinin 4-cü sütununa və güc vektoruna bərabər olan vektorla vurulur. 8 PMG üçün formalaşır ki, bu da x_B oxu ətrafında yaranan fırlanma balanssızlığını kompensasiya etməlidir. Bucağa, bucaq sürətinə və bucaq təcilinə (qüvvə momentlərinə) mütənasib olan tənzimləyici xətlərindəki xüsusi qiymətlər verilmiş oktokoqter üçün ədədi təcrübə ilə (empirik yol ilə) seçilir (xüsusi kütlə, oxlar boyunca ətalət anları, mühərriklər, çərçivə ölçüsü və s.).

Fəzada oktokoqter mövqeyinin tənzimləyicisi. Oktokoqterin oriyentasiya tənzimləyicisi və hündürlüyü tənzimləyicisi birlikdə işləyərək oktokoqterin dinamik tarazlıq vəziyyətində fəzanın müəyyən nöqtəsində “asılmasını” təmin edir. Eyni zamanda, oktokoqter hələ də koordinat oxları boyunca məqsədyönlü hərəkət etməyə imkan verən bəzi idarəolunma resursuna malikdir. Lakin bu tənzimləyicilər oriyentasiya tənzimləyicisindən bir qədər daha mürəkkəbdir.

Birincisi, tənzimləyicilər **B** koordinat sistemində işləyirlər və ümumi halda oktokoqter fəzada (istiqaməti boyunca) fırlanır və **B** sisteminin x və y oxlarının istiqamətləri **I** sistemdə eyni oxlarla üst-üstə düşür. **I** sistemdəki mövqeyinin uyğunsuzluğu **B** sistemə tərcümə edilməli və əlavə olaraq x və y oxları boyunca mövqe idarəedici qurğu üçün tapşırıq hazırlamalıdır.

İkincisi, bu nəzarətçidə ola bilən uyğunsuzluq həm kiçik, həm də əhəmiyyətli ola bilər və adi bir PID-kontrolleri, bir qayda olaraq, kiçik və böyük sapmalarla eyni dərəcədə effektiv işləyə bilməz, mövqe requlyatorun tənzimlənməsi tələb olunur, məsələn, müəyyən şərtlər altında sabit sürət rejiminə keçmək.

Struktur olaraq, **X** və **Y** kanalları boyunca bir nəzarətçini tipik bir şəkildə düzəldilməsi, fəzada oktokoqter mövqeyinin tənzimləyicisi onun oriyentasiya tənzimləyicisi ilə eyni şəkildə əldə edilə bilər – çıxışda **X** (**Y**) kanalı boyunca bir idarəetmə təsiri əmələ gəlir və bir vektorla vurulur - 1 (və ya 2), və A^+ matrisinin sütunu və qəbul edilən 8 siqnal PMG-yə verilir.

Tənzimləyicilər iki rejimlidirlər, təyin olunmuş mövqedən 5 metrədən çox kənara çıxdıqda, onlar “V” iş rejiminə keçir və istiqamət sürətini REGX_OGRV (və ya REGY_OGRV) m/s səviyyəsində saxlayırlar. Bu halda, tənzimləyicinin inteqrasiya bucağı söndürülür. Mövqe rejiminə keçərkən tənzimləyicinin inteqrasiya bucağı müəyyən bir gecikmə ilə iş düşür. Beləliklə, oktokoqter müəyyən bir nöqtəyə qədər uçmağa vaxt tapır və "yaxınlaşma" zamanı inteqratorada əhəmiyyətli bir qiymət yığılmasına qədər.

2

Layihənin həyata keçirilməsi üzrə planda nəzərdə tutulmuş işlərin yerinə yetirilmə dərəcəsi (cari rüb üçün, faizlə qiymətləndirməli)

100%

3 Hesabat dövründə alınmış **elmi nəticələr**, onların yenilik dərəcəsi

Tədqiqat mərhələsində əldə olunan tənzimləyicilər, ilk baxışdan mürəkkəb görünsələr də, oktokopterləri idarə etməyə imkan verən əsas versiyalardır. Modelin gələcək inkişafı daha mürəkkəb tənzimləyicilərə və keçid proseslərin keyfiyyətinin yüksəldilməsinə səbəb ola bilər.

Ümumilikdə, bütün 6 idarəetmə kanalının çıxışında (istiqlalət üzrə tənzimləyici bir çox cəhətdən oriyentasiya tənzimləyicilərinə bənzəyir), hündürlüyü tənzimləyici kanalda bəziləri möbcuddur. 8 PMG-nin hər biri üçün "əsas" arzulanan fırlanma sürəti və qalan 5 idarəetmə kanalı tərəfindən formalaşan bəzi "aşqar". Bu, fırlanma sürətinə birbaşa əlavə deyil, fırlanma sürətinin kvadratına əlavədir və fırlanma tezliyinə əlavəni hesablamaq üçün əlavə olaraq sadə riyazi hesablamalar aparmaq tələb olunur.

Hesablamanın çətinliyi ondadır ki, fırlanma sürətinin əlavə edilməsi həm əlavənin tələb olunan kvadratından, həm də əsas fırlanma sürətinin özündən asılıdır - və son fırlanma sürətini əsas və əlavənin cəmi kimi hesablamaq üçün, əvvəlcədən aşağıdakı düsturla bir sıra hesablamalar aparmaq tələb olunur:

$$w_i = w_{ibase} + \Delta w_i \Delta w_i = \sqrt{(\Delta w_i)^2 + (w_{ibase})^2} - \sqrt{(w_{ibase})^2}.$$

Burada sürətlərin kvadrları – siqnallardır, idarəetmə kanallarının çıxışlarıdır.

Beləliklə, "əsas" fırlanma sürətinin cari səviyyəsindən asılı olaraq (əsasən oktokopterin kütləsi və ehtimal ki, yüklə müəyyən edilir və hündürlüyü tənzimləyicinin çıxışında əldə edilir), lazımi bucaq sürətinin "əlavəsi" PMG-lərin hər biri üçün müəyyən edilir və əsas tezlik fırlanması ilə cəmlənir və hər bir PMG-nin rotor tənzimləyicisinə siqnal şəklində göndərilir.

Tədqiqatın cari mərhələsində əldə edilən nəticələrdən biri kopterin fəzada *roll* və *pitch* kanalları boyunca mövqeyinə nəzarət edən modelin işlənilməsidir. Oktokopterin müəyyən bir istiqamətdə uçuşu üçün *roll* və *pitch* tapşırığı yaratmaq üçün istifadə olunan yanaşma aşağıdakılar təsvir edir.

Sadəlik üçün fərz edilir ki, oktokopterin istiqaməti sıfırdır (ϕ bucağı həmişə sıfırdır), onda kopterin X oxu boyunca hərəkət etməsi üçün onun addım bucağını θ dəyişmək lazımdır və onun hərəkət etməsi üçün Y oxu boyunca pitch bucağını dəyişdirmək lazımdır.

Sadə əsaslandırma ilə əyilmə bucağını hesablamaq üçün aşağıdakı düsturlar istifadə edildi: $\phi = \arcsin(y_l)$; $\theta = \arcsin\left(\frac{x_l}{\cos(\phi)}\right)$; Burada y_l və x_l verilmiş koordinat qiymətləri ilə inersial sistemində ölçülənlər arasındakı uyğunsuzluqlardır və arcsinus ifadələri əlavə olaraq müəyyən bir qiymətlə məhdudlaşdırılır (oktokopterin qiyməti əsasında əldə edilir roll və pitch idarə olunma ehtiyatları), məsələn, $\left[-\frac{\pi}{16}, \frac{\pi}{16}\right]$ diapazonu.

Roll və *pitch* tənzimləyicilərin girişinə sıfır qiymət əvəzinə bu cür qiymətlər verilsə, tənzimləyici istiqaməti dəyişmək üçün əlavə olaraq X və Y oxları boyunca uçuş üçün oktokopteri kiçik bir bucağa döndərəcəkdir.

	Aparılan tədqiqatın nəticəsində bu cür idarəetmənin strukturu işlənmişdir.
4	Layihənin yerinə yetirilməsi zamanı istifadə olunan üsul və yanaşmalar Oktokopterin fiziki prototipinin hazırlanması prosesində 100 kq və ya daha çox çəkiddə olan yükləri daşıya bilən multikopterlərin konfigurasiyası ilə bağlı beynəlxalq təcrübə və məlumat bazasından istifadə edilmişdir: elmi dövri nəşrlərdə təsvir olunan kvadrokopter modelləri, eləcə də bəzi hələ də zəif tədqiq edilmiş heksakopter və oktokopter modelləri.
5	Layihə üzrə elmi nəşrlər (məqalələr, monoqrafiyalar, icmallar, konfrans materialları, tezislər) (dərc olunmuş, çapa qəbul olunmuş və çapa göndərilmişləri ayrılıqda qeyd etməklə) <i>(surətlərini əlavə etməli!)</i> 1. Rzayev R.R., Kərimov A.B., Qurbanlı Ü.Q., Salmanlı F.M. Criteria for Assessing the Adequacy of Image Recognition Methods and Their Verification Using Examples of Artificial Series of Signals // Problems of Information Society, 2024, vol.15, no.1, 10-17. URL: https://jpis.az/en/journals,57 2. Əliyev E.R., Əhmədov İ.M., Qurbanlı Ü.Q., Almasov Ə.Ş., Salmanlı F.M. Об одной задаче автоматического ориентирования мультикоптера в пространстве с использованием средств компьютерного зрения // Proceedings of IAM, V.13, N.1, 2024, pp.60-79 DOI: 10.30546/2225-0530.13.1.2024.017 https://www.iamj.az/Current.aspx https://www.iamj.az/Files/Contents%20V.13,%20N.1,%202024/4Multicopter%20pilot2.pdf 3. Əliyev E.R., Rzayev R.R., Almasov Ə.Ş., Salmanlı F.M. Fuzzy Model of Multicopter Motion Control Under Active Operation of Counter-UAV Systems // Intelligent and Fuzzy Systems. Intelligent Industrial Informatics and Efficient Networks Proceedings of INFUS 2024 Conference, Vol. 3, pp. 471-479 (WoS and Scopus bazalarda indeksləşdirilmiş) https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-67192-0_53
6	İxtira və patentlər, səmərələşdirici təkliflər –
7	Layihə üzrə ezamiyyətlər –
8	Layihə üzrə elmi ekspedisiyalarda iştirak –
9	Layihə üzrə digər tədbirlərdə iştirak –
10	Layihə mövzusu üzrə elmi məruzələr (seminarlar, konfranslar, dəyirmi masalar və s. çıxışlar) Tədqiqatın nəticələri AR Elm və Təhsil Nazirliyinin İdarəetmə Sistemləri İnstitutunun laboratoriyasının genişləndirilmiş seminarında həm layihə iştirakçıları, həm də dəvət olunan profil mütəxəssisləri tərəfindən müzakirə edilmişdir.
11	Layihə üzrə əldə olunmuş cihaz, avadanlıq və qurğular, mal və materiallar –
12	Yerli həmkarlarla əlaqələr –
13	Xarici həmkarlarla əlaqələr –
14	Layihə mövzusu üzrə kadr hazırlığı

Layihə iştirakçısı və eyni zamanda AR Elm və Təhsil Nazirliyinin İdarəetmə Sistemləri İnstitutunun "İntellektual qərar qəbuletmə üsulları və kompüter sistemləri" laboratoriyasının əməkdaşı F.M. Salmanlının "Bitkilərin multispektral vizualizasiya texnologiyasından istifadə edilmiş kənd təsərrüfatı bitkilərin sağlamlıq vəziyyətinin kompleks qiymətləndirilməsi üçün üsul və vasitələrin işlənməsi" mövzusunda 3338.01 – «Sistemli analiz, idarəetmə və informasiyanın işlənməsi» ixtisası üzrə Texnika üzrə Fəlsəfə doktoru dərəcəsinə almaq üçün dissertasiya işi tamamlanmış və müvafiq İxtisaslaşmış Şuranın müzakirəsinə təqdim edilmişdir.

15	Sərgilərdə iştirak –
16	Təcrübəartırmada iştirak və təcrübə mübadiləsi –
17	Layihə mövzusu ilə bağlı elmi-kütləvi nəşrlər, kütləvi informasiya vasitələrində çıxışlar, yeni yaradılmış internet səhifələri və s. –

Layihə rəhbərinin imzası _____ Rzayev Ramin Rza oğlu

Tarix _____

QEYD: bütün hallarda uyğun olan bəndlər doldurulmalıdır.