



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 aralıq
(rüblük olaraq 1-ci mərhələ)

ELMI-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 **I mərhələ** üzrə (rüb) məbləği:

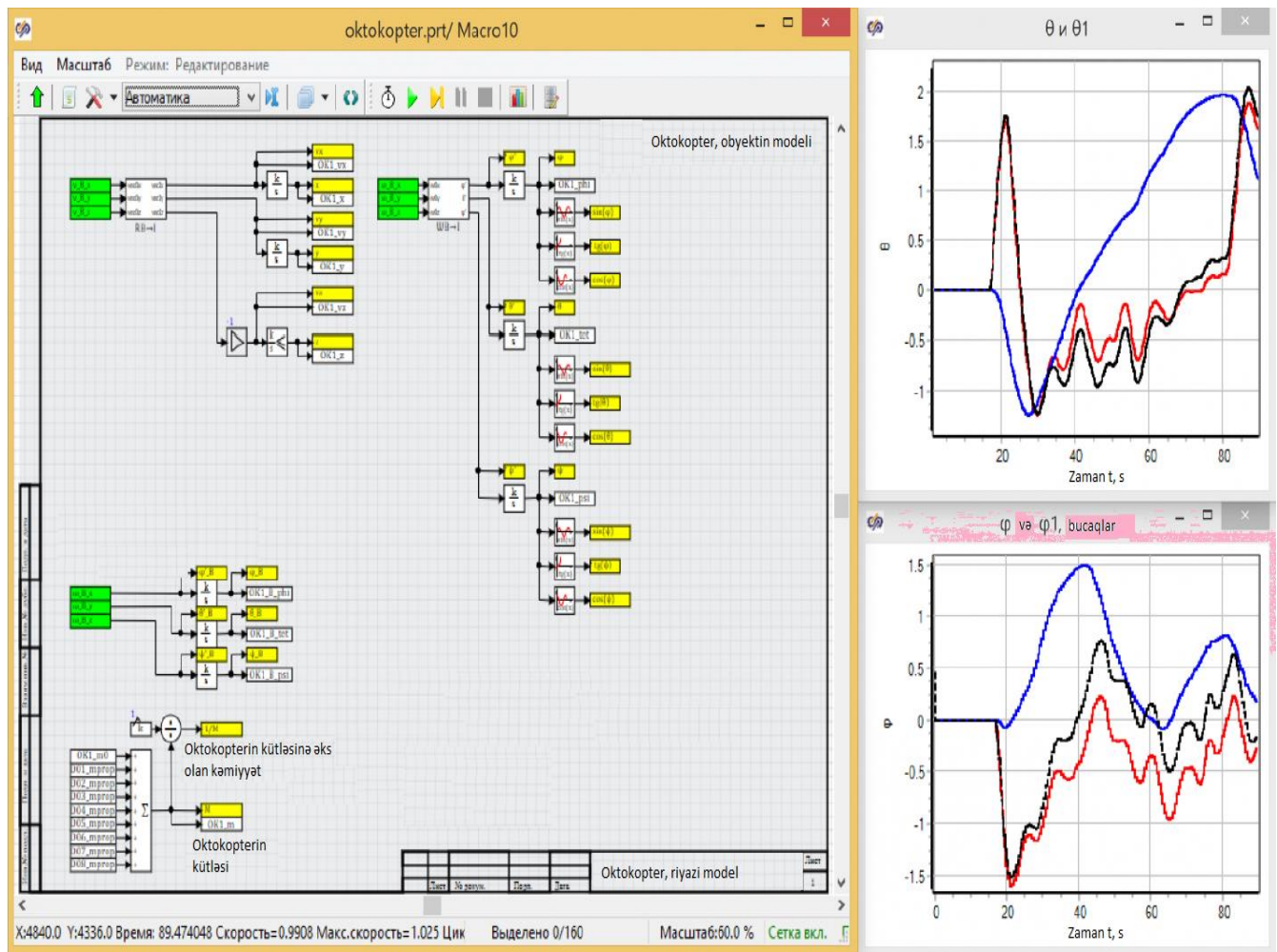
Hesabatda aşağıdakı məsələlər işıqlandırılmalıdır:

1 Layihənin həyata keçirilməsi üzrə cari rübdə yerinə yetirilmiş **elmi işlər**

Oktokopter prototipi 8 T-motorlu Antigravity 6007 KV320 mühərrikləri və ya oxşar və müvafiq pervaneli 8 qoşalaşmış koaksial pervane-motor qrupları (PMG) ilə fərqlənən 50 kq ağırlığında bir obyektidir. Layihənin 1-ci mərhələsi üçün nəzərdə tutulmuş plana əsasən, oktokopterin həm parametrik, həm də ümumi formada və oktokopterin uçuş kontrollerin və yerüstü idarəetmə panelini layihələndirmək üçün kifayət qədər həcmdə dinamik modelinin qurulması və həyata keçirilməsi nəzərdə tutulmuşdur.

Beləliklə, oktokopter prototipinin layihələndirilməsinin ilkin mərhələsində əsas vəzifə: obyektin dinamikasının modelini parametrik, ümumi formada və uçuş kontrollerinin və oktokopter üçün yerdən idarəetmə panelin dizaynı üçün kifayət qədər həcmdə qurmaq və həyata keçirməkdir.

Qarşıya qoyulan məqsədlərə nail olmaq üçün aşağıdakı sxem və parametrlər (Şək. 1-ə bax) əsas kimi seçilmişdir



Şək. 1. Oktokopterin modelləşdirilməsi (ilkin mərhələ)

Oktokopter mühərriki birinci dərəcəli inersial (və ya aperiodik) bənd şəklində modelləşdirilmişdir. Onun girişinə bucaq sürətinin təyin olunmuş qiyməti daxil edilir və çıxışda pervanelərin bucaq fırlanma sürətinin cari (ölçülmüş) qiyməti əldə edilir. Fırlanma sürətini inteqrasiya edərək, cari fırlanma bucağını əldə etmək mümkündür. PMG-nin dartma qüvvəsi bucaq sürətinin kvadratına mütənasib şəkildə inkişaf edir (hər bir mühərrikin reaktiv momenti kimi, lakin baxılan halda 0 olacaq), yəni:

$$F_M(t) = C_T \cdot \omega^2(t)$$

$$M_M(t) = C_Q \cdot \omega^2(t)$$

Burada, seçilmiş pervane qrupu üçün (xüsusiyyətlərinə görə):

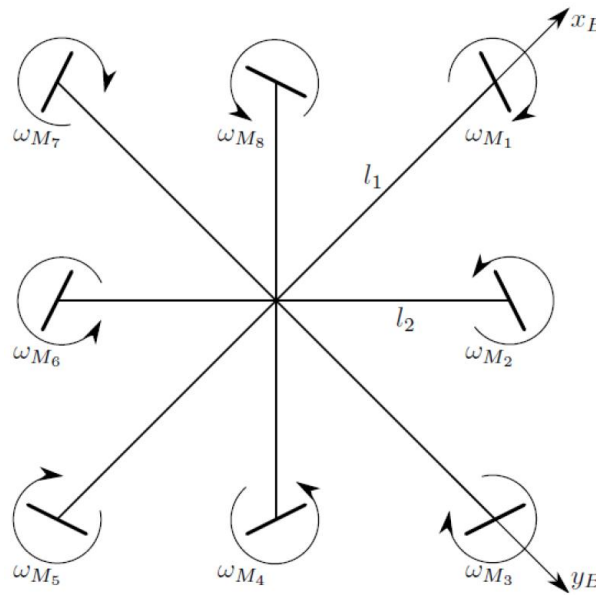
- $C_T = 2.02268 \cdot 10^4$ (N·s²);
- $M_M \approx 0$ (N·m·s²) – mühərrikin reaktiv momentidir;
- $\omega(t)$ – cari bucaq sürətidir (rad/s).

Səkkiz rotorlu oktokopter sərt cisim kimi modelləşdirilmişdir və üç əsas ox boyunca simmetrik olan sabit kütləli sərt (deformasiya olunmayan) bir çərçivədir, ona bir müstəvidə PMG-lər qoşulmuşdur, burada oktokopterin kütlə mərkəzi yerləşir. Bu halda, PMG-lər səkkiz

şüa üzərində yerləşir (onlardan 4-ü eyni uzunluqda, digər 4-ü isə fərqli uzunluqdadır) və çərçivəyə əsasən sərt şəkildə bərkidilir. Beləliklə, demək olar ki, PMG) mərkəzlərinin radius vektorları və hər bir PMG-nin təkan qüvvəsinin vahid vektorları kopterlə əlaqəli koordinat sistemində həndəsi sabitlərdir. Başqa sözlə, VMG modelində hesablanan $F_M(t)$ həmişə müəyyən istiqamətdə və oktokopterin müəyyən nöqtəsində tətbiq olunan qüvvə vektorunun moduludur. Uçuş zamanı bu istiqamət dəyişəcək, lakin oktokopter çərçivəsinə (və əlaqəli koordinat sistemində) nisbətən dəyişməz olaraq qalır.

Burada 2 koordinat sistemindən istifadə olunur: a) Yerlə əlaqəli sabit inertial (I – inertial) və b) oktokopter ilə əlaqəli mobil (B – body). Sistemlərin oxları aşağıdakı kimi istiqamətlərdir: x_I – sağa, y_I – müşahidəçiyə, z_I – aşağıya, x_B – birinci PMG-nin şüası boyunca sağa, y_B – üçüncü PMG-nin şüası boyunca müşahidəçiyə, z_B - oktokopterin normal oriyentasiyasında yuxarıdan aşağıya (Şək. 2)

B koordinat sistemində PMG mərkəzlərinin vektorları həndəsi sabitlər kimi müvafiq düsturlarla təyin edilir. Bu həndəsi sabitlərə əsasən (onlar yalnız oktokopterlə əlaqəli B koordinat sistemində sabitlərdir) modelin bütün sonrakı çərçivəsi qurulur, buna görə də onlar vacibdir.



Şək. 2. B koordinat sistemində PMG mərkəzlərinin vektorları həndəsi sabitlər kimi

B koordinat sistemində PMG mərkəzlərinin vektorları aşağıdakı kimidir:

$$\vec{r}_{M_1} = (l_1, 0, 0)^T; \vec{r}_{M_2} = \frac{1}{\sqrt{2}}(l_2, l_2, 0)^T; \vec{r}_{M_3} = (0, l_1, 0)^T; \vec{r}_{M_4} = \frac{1}{\sqrt{2}}(-l_2, l_2, 0)^T;$$

$$\vec{r}_{M_5} = (l_1, 0, 0)^T; \vec{r}_{M_6} = \frac{1}{\sqrt{2}}(-l_2, -l_2, 0)^T; \vec{r}_{M_7} = (0, -l_1, 0)^T; \vec{r}_{M_8} = \frac{1}{\sqrt{2}}(l_2, -l_2, 0)^T$$

Burada, l_1 – PMG-nin 1-ci, 3-cü, 4-cü və 5-ci şüalarının uzunluğu; l_2 – PMG-nin 2-ci, 4-cü, 6-cı və 8-ci şüalarının uzunluğu.

Oktokopterin uçuş kursu boyunca idarə olunması üçün, yəni baxılan halda mühərriklərin reaktiv fırlanma momenti olmadıqda, hər bir PMG-nin dartma qüvvələrinin vektorları şaquli istiqamətdən bir qədər kənara çıxmalıdır. Əgər bu bucağı γ kimi işarə etsək, onda vahid vektorları aşağıdakı şəkildə tapırıq:

$$\begin{aligned}\vec{e}_{M_1} &= (0, -\sin(\gamma), -\cos(\gamma))^T; \vec{e}_{M_2} = \left(-\frac{\sin(\gamma)}{\sqrt{2}}, \frac{\sin(\gamma)}{\sqrt{2}}, -\cos(\gamma)\right)^T; \\ \vec{e}_{M_3} &= (\sin(\gamma), 0, -\cos(\gamma))^T; \vec{e}_{M_4} = \left(-\frac{\sin(\gamma)}{\sqrt{2}}, -\frac{\sin(\gamma)}{\sqrt{2}}, -\cos(\gamma)\right)^T; \\ \vec{e}_{M_5} &= (0, \sin(\gamma), -\cos(\gamma))^T; \vec{e}_{M_6} = \left(\frac{\sin(\gamma)}{\sqrt{2}}, -\frac{\sin(\gamma)}{\sqrt{2}}, -\cos(\gamma)\right)^T; \\ \vec{e}_{M_7} &= (-\sin(\gamma), 0, -\cos(\gamma))^T; \vec{e}_{M_8} = \left(\frac{\sin(\gamma)}{\sqrt{2}}, \frac{\sin(\gamma)}{\sqrt{2}}, -\cos(\gamma)\right)^T.\end{aligned}$$

Bu həndəsi sabitlərə əsaslanaraq (nəzərə almaq lazımdır ki, onlar yalnız oktokopterlə əlaqəli olan B koordinat sistemində sabitlərdir) modelin bütün sonrakı çərçivəsi qurulur, buna görə də onlar vacibdir. Ümumiyyətlə, müxtəlif sayda pervane-motor qrupları ola bilər, onlar başqa istiqamətlərə yönəldilə bilər və başqa yerlərdə oktokopterlə yerləşdirilə bilər.

Oktokopterin layihələndirilməsi zamanı nəzərə alınan qüvvələrin ətraflı təhlili aparılmışdır. Xüsusilə:

- **Ağırlıq qüvvəsi.** O, həmişə inersial koordinat sisteminin z_1 oxu boyunca aşağıya doğru yönəldilir. Cazibə qüvvəsi sabit dəyərdir və yalnız oktokopterin kütləsindən asılıdır. Oktokopterin kütləsi sabit hesab edilir və dəyişmir (baxmayaraq ki, modelləşdirmə prosesində o, əlavə edilmiş yükü simulyasiya edərək dəyişdirilə bilər).
- **PMG-nin dartıcı qüvvələri** cəmi 8-dir, onlar istiqamətləri üzrə yönəldilir, qüvvələrin modulu müvafiq VMG-nin fırlanma bucaq sürətindən asılı olaraq hesablanır.
- **Hava müqavimətinin (və/və ya küləyin) qüvvəsi** iki komponentdən ibarət olaraq modelləşdirilmişdir. Hava müqavimətinin qüvvəsi havanın sıxlığına, cismin havadakı xətti sürətinin kvadratına və seçilmiş istiqamətdə xarakterik kəşik sahəsinə (forma əmsalı) düz mütənasibdir. Külək qüvvəsi özbaşına təyin olunan və ya əlavə "külək modeli"ndən istifadə edilən xarici həyacanlandırıcı qüvvədir (bu məqalədə nəzərə alınmır).
- **Xarici qüvvə və ya qasırğa** ixtiyari xarici təsirdir. Bu imkan hər bir istiqamətdə tənzimləyicilərin dayanıqlığını daha da yoxlamaq üçün sadə üsul kimi modelə daxil edilmişdir.

Sadalanın dinamik modelərdə aşağıdakı moment qüvvələri də nəzərə alınmışdır:

- **PMG mühərriklərinin reaktiv momenti.** Modeldə o sifərə bərabərdir, hər bir PMG-də mühərriklərin və pervanelərin cütləşməsi səbəbindən, ümumi halda nəzərə alınmalıdır. Bəzi aparatlarda bu uçuş istiqaməti üzrə üçün də istifadə olunur.
- **Hava müqavimətinin momenti** - hava müqavimətinin qüvvəsinə bənzər, hava sıxlığı, oktokopterin bucaq sürətinin kvadratı və forma əmsalı ilə birbaşa mütənasibdir.
- **PMG dartma qüvvələrindən momentlər.** Pervanelər oktokopterin kütlə mərkəzində yerləşmədiyi üçün onların hər biri öz dönüş momentini yaradacaq.

2	Layihənin həyata keçirilməsi üzrə planda nəzərdə tutulmuş işlərin yerinə yetirilmə dərəcəsi (cari rüb üçün, faizlə qiymətləndirməli) (burada doldurmalı) 100%
3	Hesabat dövründə alınmış elmi nəticələr , onların yenilik dərəcəsi (burada doldurmalı) GPS signalın kəsilməsi halda multikopterin davamlı avtonom uçuşunun təmin edilməsi məqsədilə 3D-trayektoriyanın formalaşması üçün müvafiq alqoritm tərtib edilmişdir. Bu alqoritm – tamamilə yeni yanaşmanı əks etdirir və o Fuzzy İnferece Systemini istifadə edərək simulyasiya zamanı qənaətbəxş nəticələr göstərib. Alqoritmın işlənməsi multikopterdə yerləşmiş komputer vision sisteminin əldə etdiyi xəritələr əsasında təmin edilir. Bu məqsədlə tədqiqatən digər istiqaməti sürətlərin tanınması ilə bağlıdır. Belə ki, 2-ölçülü siqnallar şəklində təsvirlərin tanınması üsulları işlənmişdir və buna aid irəli sürülən yeni yanaşma artıq elmi məqalədə öz əksini tapmışdır (məqalə əlavə edilir).
4	Layihənin yerinə yetirilməsi zamanı istifadə olunan üsul və yanaşmalar (burada doldurmalı) Fuzzy Logic –in riyazi aparatı vasitəsilə multikopterin avtonom uçuş trayektoriyasını generasiya edən alqoritm işlənmişdir. 2-ölçülü siqnallar şəklində təsvirlərin tanınması üçün məşhur Furye və Veyvlet üsullarından və, həmçinin, müəllif üsulundan da istifadə edilib.
5	Layihə üzrə elmi nəşrlər (məqalələr, monoqrafiyalar, icmallar, konfrans materialları, tezislər) (dərç olunmuş, çapa qəbul olunmuş və çapa göndərilmişləri ayrılıqda qeyd etməklə) (sürətlərini əlavə etməli!) (burada doldurmalı) Layihə üzrə 2 elmi məqalə hazırlanmışdır. Onlardan: 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” adlı məqalə dərc edilib: 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” adlı məqalə Proceedings of IAM jurnalına çapa təqdim edilib
6	İxtira və patentlər, səmərələşdirici təkliflər (burada doldurmalı) -
7	Layihə üzrə ezamiyyətlər (burada doldurmalı) -
8	Layihə üzrə elmi ekspedisiyalarda iştirak (burada doldurmalı) -
9	Layihə üzrə digər tədbirlərdə iştirak (burada doldurmalı) -
10	Layihə mövzusu üzrə elmi məruzələr (seminarlar, konfranslar, dəyirmi masalar və s. çıxışlar) (burada doldurmalı)

	Məqələlərin 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 (burada doldurmalı) -
12	Yerli həmkarlarla əlaqələr (burada doldurmalı) -
13	Xarici həmkarlarla əlaqələr (burada doldurmalı) -
14	Layihə mövzusu üzrə kadr hazırlığı (burada doldurmalı) -
15	Sərgilərdə iştirak (burada doldurmalı) -
16	Təcrübəartırmada iştirak və təcrübə mübadiləsi (burada doldurmalı) -
17	Layihə mövzusu ilə bağlı elmi-kütləvi nəşrlər, kütləvi informasiya vasitələrində çıxışlar, yeni yaradılmış internet səhifələri və s. (burada doldurmalı) -

Layihə rəhbərinin imzası _____ Rzayev Ramin Rza oğlu

Tarix _____

QEYD: bütün hallarda uyğun olan bəndlər doldurulmalıdır.