

UOT 681.51.015

PILOTSUZ ÜZƏN APARATIN DƏRİNLİYƏ DALMASININ AVTONOM REJİMDƏ İNTELLEKTUAL İDARƏETMƏ SİSTEMİNİN İŞLƏNMƏSİ

¹CƏFƏROV SƏYYƏDDİN MƏŞƏDİ oğlu

²ƏLİYEVƏ ADİLƏ SƏYYƏDDİN qızı

³İSMAİLOV ELCAN ŞAHVƏLƏD oğlu

Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti, 1-professor, 2- dissertant

AMEA-ın İdarəetmə Sistemləri İnstitutu, 3-magistrant

jafarovsm@gmail.com

Açar sözlər: pilotsuz üzən aparat, qeyri səlis tənzimləyici, linqvistik qaydalar cədvəli, qeyri-xətti model

Giriş. Pilotsuz üzən aparatlar - su dronları sualtı robototexnikanın mühüm istiqamətlərindən biri olub, hal hazırda elmi tədqiqatçıların və mühəndislərin diqqətini cəlb edir. Buna səbəb onların su altında olan qurğuların, nəqliyyat kəmərlərinin inspeksiyası və təmiri işlərinin bilavasitə insansız icrası tələbinin olmasıdır. Pilotsuz üzən aparatlar su hövzələrinin fauna və florasının tədqiqatçıları tərəfindən öyrənilməsi, balıqçılığın səmərəliliyinin artırılması, hərbi strateji obyektlərin və gəmilərin qorunması - müdafiəsi məsələlərinin həllində geniş tətbiq olunmasıdır.

Əvvəlki dövrlərdə su dronları – sualtı mobil robotlar bilavasitə insan operator tərəfindən idarə olunurdu. Lakin, müasir dövrdə informasiyanın ölçülməsi, emalı, süni intellekt texnologiyasının üsul və vasitələrinin inkişafı artıq sualtı robotların-dronların avtomatik olaraq idarə olunmasını aktual məsələ kimi tədqiqatçıların qarşısına qoyur. [1-6]

Bir sıra elmi işlərdə sualtı robotların riyazi modelləri və klassik-adi PİD (Proporsional-İntegral-Diferensial) tipli tənzimləyicilər əsasında onların idarəetmə sistemləri işlənmişdir. [5] Lakin, dronların qeyri müəyyənlikli iş şəraitlərində klassik PİD tənzimləyicilər vasitəsilə qurulan AİS-ləri idarəetmənin keyfiyyət göstəricilərinə (dəqiqliyə, dayanıqlılığa) olan yüksək tələbləri ödəyə bilmirlər. [3,4]

Qeyd etdiklərimizi nəzərə alaraq, təqdim olunan məqalədə su dronunda (PÜA-da) dərinliyə dalmanın qeyri-səlis tipli intellektual PDPI tənzimləyicinin sintezi məsələsi formallaşdırılmış, onun biliklər bazası və digər parametrləri sintez edilmişdir. Sintez edilmiş intellektual idarəetmə sisteminin səmərəliliyi MATLAB mühitində (“Fuzzy Logic Toolbox” və “Simulink”-də) aparılmış kompüter simulyasiyası əsasında göstərilmişdir.

1. Pilotsuz üzən aparatın - sualtı robotun dərinliyə dalmanın dinamik modelinin müəyyənəşdirilməsi.

“Pilotsuz üzən aparat” (PÜA) kimi, sualtı robot da altı sərbəstlik dərəcəsinə malik olub, üç ölçülü fəzadakı kordinatlar (x, y, z) üzrə yerdəyişmə və uyğun oxlar üzrə dönmələri “roll” (dönmə), “pitch”(sapma) və “yaw” (əyilmə) (φ, θ, ψ) bucaqları ilə xarakterizə olunurlar. Lakin təqdim olunan məqalədə əsas məqsəd sualtı mobil robotun dərinliyə dalmasının (yaxud qalxmasının) intellektual avtomatik idarəetmə sisteminin (İAİS) sintezi olduğundan su dronunun idarəetmə obyektini kimi ilkin dinamik modelini müəyyənəşdirmək lazımdır. Sualtı mobil robotun müəyyən qədər qeyri- müəyyənliyə malik riyazi modelini aşağıdakı mülahizələr əsasında qurmaq olar [5].

Dronun su altında dərinliyə dalarkən (üzərkən) ağırlıq qüvvəsi - F_g suyun (mühitin) qaldırma (Arximed) qüvvəsi - F_a , suyun hidrodinamik müqavimət (sürtünmə) qüvvəsi F_s və mühərrikin məcmuu qüvvəsi - $F_{\Sigma M}$ təsir edir. Bu qüvvələrin təsiri nəticəsində su dronu hərəkət edir. Su dronunun-robotun hərəkəti Nytonun ikinci qanunu ilə müəyyənəşir. Qeyd etdiyimiz bu qüvvələr aşağıdakı kimi təyin olunur:

$$F_g = mg, \quad (1.1)$$

$$F_a = \rho g V, \quad (1.2)$$

$$F_S = \frac{1}{2} \rho c_\omega A v^2, \quad (1.3a)$$

Burada m [kq] –su dronun kütləsi, g [m/s²] - qravitasiya təcili, ρ [kq/m³]- mühitin (suyun) sıxlığı, baxılan halda təqribən sabit olduğu qəbul olunur, v [m/san] – robotun suda dərinliyə dalma (qalxma) hərəkətinin sürəti, V [m³]- su dronun həcmi, yəni dronun sıxışdırıb çıxardığı suyun həcmidir, A [m²]-dronun müstəvi proyeksiyasının sahəsidir, c_ω – suyun hidravlik müqavimətinin mütənasiblik əmsalındır. Qurğunun-dronun dərinliyə dalmasının (qalxmasının) sürətinin müsbət və ya mənfi (əks istiqamətli) olmasını nəzərə almaq üçün (1.3a) ifadəsində v^2 -ni $v|v|$ ilə əvəzləməklə suyun hidrodinamik müqavimət qüvvəsinin F_S istiqaməti müəyyənənmiş olur. Başqa sözlə (1.3a) ifadəsini aşağıdakı kimi təsvir etmək olar:

$$F_S = \frac{1}{2} \rho c_\omega A v |v| \quad (1.3b)$$

Su dronunun – sualtı mobil robotun idarəetmə obyektini kimi riyazi-dinamik modelinin təyini bilavasitə dərinliyə dalma hərəkətini Nyutonun ikinci qanununa əsasən drona təsir edən qüvvələrin tarazlığı şərtindən aşağıdakı kimi təyin etmək olar:

$$\begin{aligned} F_d &= F_g - F_a + F_S; \\ F_M &= F_g - F_a = mg - \rho g V \\ F &= ma \end{aligned} \quad (1.4)$$

$$ma = mg - \rho g V + \frac{1}{2} \rho c_\omega A v |v| \quad (1.5)$$

Əgər drona hərəkəti (dərinliyə dalması) üçün mühərrikdən (kompessorlardan) istifadə olunduğunu nəzərə alaraq, aşağıdakı işarətmələri qəbul edək:

$$\begin{aligned} x_1(t) &= h, \\ x_2(t) &= v(t), \\ x_3(t) &= \frac{m}{\rho} - V, \\ \dot{x}_3(t) &= -\dot{V} \quad (\text{kompessorlu halda}) \end{aligned} \quad (1.6)$$

Yuxarıdakı (1.1)-(1.6) ifadələri nəzərə alsaq, onda sualtı mobil robotun – su dronunun idarəetmə obyektini kimi dinamik modelini vəziyyətlər fəzasında aşağıdakı kimi yazmaq olar:

$$\begin{aligned} \dot{x}_1(t) &= x_2(t), \\ \dot{x}_2(t) &= k_1 x_3(t) - k_2 x_2(t) |x_2(t)|, \\ \dot{x}_3(t) &= ku(t), \\ Ku(t) &= -\dot{V} \end{aligned} \quad (1.7a)$$

Burada k_1, k_2 əmsalları uyğun olaraq aşağıdakı ifadələrlə təyin olunur:

$$k_1 = \frac{\rho g}{m} \quad ; \quad k_2 = \frac{\rho c_\omega a}{2m}$$

K - transmissiyanın (çevirmənin) mütənasiblik əmsalı olub mühərrikin giriş gərginliyi ilə kompessorun həcmnin dəyişməsinə xarakterizə edən kəmiyyətdir.

Əgər [5]-dəki tip sualtı mobil robotu üçün riyazi model təyin etdikdə su dronun kütləsinin 0.434 kq, suyun sıxlığının $\rho \approx 1200$ kq/m³; $c_\omega = 0.75$; $K = 2.5 \cdot 10^{-6}$ m³/s olduğunu qəbul etsək, onda $k_1 = 2.258 \cdot 10^{-4}$; $k_2 = 6.91$ kimi qiymətlərə malik olacaqdırlar.

Beləliklə pilotsuz üzən aparatın – sualtı robotun vəziyyətlər fəzasında sadələşdirilmiş xəttilləşdirilmiş dinamik modelini ümumi şəkildə aşağıdakı kimi təsvir etmək olar:

$$\begin{aligned} \dot{x}(t) &= Ax(t) + Bu(t) \\ y(t) &= C^T x \end{aligned} \quad (1.7b)$$

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & -k_2|x_2| & k_1 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ k \end{bmatrix}, C^T = [1, 0, 0]$$

(1.7) ifadəsindəki transmissiya (çevirmə) əmsalını k ölçmək olur. Robotun-dronu suyun içində yerləşdirib daşan (supplanted) su ölçülür. Baxılan tip sualtı robotun həcmi 425 sm³ ilə 445 sm³

arasında dəyişir, artım 20 sm^3 sudur. Kompresor bu dəyişikliyi təqribən 8 san ərzində təmin edir. Həcmnin dəyişmə sürəti $\dot{V} = 2.5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$ olduğundan kompressorun işləmə müddəti əsasında mühərrikin fırlanma sürəti ilə sabit cərəyan mənbəyindən (bataryadan) mühərrikin girişinə verilən gərginlik arasındakı asılılığını xarakterizə edən transmissiya əmsalı təyin olunur. Məqalədə baxılan hal üçün transmissiya əmsalını sabit kəmiyyət kimi götürmək olar, yəni $k \approx 2.5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$

2. Pilotsuz üzən aparatın – sualtı robotun dərinliyə dalmanın intellektual idarəetmə sisteminin sintezi. Məlum olduğu kimi, idarəetmə sistemi qeyri –müəyyənlik şəraitində fəaliyyət göstərən hallarda adi tənzimləyicilər vasitəsi ilə yüksək keyfiyyət göstəriciləri təmin etmək mümkün olmur [1, 2]. Bir sıra hallarda konstruktor obyektin idarə olunması haqqında müəyyən biliklərə malik olur. Məhz bu biliklər əsasında idarəetmənin sintezi daha səmərəli ola bilər [1-3]. İdarəetmə obyektinin (1.1) - (1.7.) modeli əsasən PÜA-ın – sualtı robotun dərinliyədalma dəyişənin real ölçülən qiymətini müəyyən dəqiqliklə xarakterizə edir. Belə ki, suyun səthi dalğalı olduğundan səviyyə (dərinlik) ölçünün qiyməti rəqsi olacaqdır. Bu da idarəetmə sisteminin fəaliyyətində qeyri –müəyyənliyin olmasını göstərir.

Yuxarıda qeyd olunanları nəzərə alaraq, təqdim olunan məqalədə intellektual tənzimləyici kimi PDPİ qeyri- səliss tipli tənzimləyici təklif edilir.

Sintez məsələsinin qoyuluşunu aşağıdakı kimi formallaşdırmaq olar. Qeyri müəyyənliyə malik dinamik obyekt (sualtı mobil robotun dərinliyə dalması) üçün elə qeyri-səliss tipli tənzimləyici

$$\tilde{U}_r = f(\tilde{E}_j, \dot{\tilde{E}}_j) \quad (2.1)$$

sintez etmək lazımdır ki, sistemi istənilən başlanğıc vəziyyətdən $x(t_b)$ son $x(t_s)$ vəziyyətə gətirsin və tələb olunan keyfiyyət göstəriciləri ödənsin, məsələn, dinamik dəqiqliy yüksək, inteqral kvadratik xətası minimum olsun.

Qeyri-səliss tipli tənzimləyicinin sintezi üçün [3-6] təklif olunan üsulundan istifadə edək. İlkin mərhələ kimi idarəetmənin xətasının $e(t)$, onun dəyişmə sürətinin $\dot{e}(t)$ və idarəetmənin müəyyənləşdirilmiş universiumlarında (E, \dot{E}, U) qeyri -səliss term çoxluqları $(\tilde{E}_j = E_j, \dot{\tilde{E}}_j = \dot{E}_j, \tilde{U}_r = u_r)$ təyin olunur.

$$\begin{aligned} \tilde{E}_j &= \{e, \mu_j(e) | e \in E\}; \mu_j(e) \in [0,1], \tilde{E}_j \subseteq E, j = \overline{1,9} \\ \dot{\tilde{E}}_j &= \{\dot{e}, \mu_j(\dot{e}) | \dot{e} \in \dot{E}\}, \mu_j(\dot{e}) \in [0,1], \dot{\tilde{E}}_j \subseteq \dot{E}, j = \overline{1,9} \\ \tilde{U}_r &= \{u, \mu_r(u) | u \in U\}; \mu_r(u) \in [0,1], \tilde{U}_r \subseteq U, j = \overline{1,9} \end{aligned} \quad (2.2)$$

Qeyri-səliss linqvistik term çoxluqların mənsubiyyət funksiyalarını qaussəkilli seçirik. Burada, həmçinin tənzimləyicinin linqvistik qaydalar cədvəlində (TLQC) linqvistik term çoxluqların birinci hərfi N –“neqativ” – mənfi, P – “pozitiv” – müsbət, ikinci hərflər isə uyğun olaraq S –“smol”– kiçik, M –“medium” – orta, B – “big” – böyük və Z – “zero” –sıfırı bildirir.

[2,3] üsulundan istifadə edərək sintez edilmiş qeyri-səliss tənzimləyicinin linqvistik qaydalar cədvəli (TLQC) aşağıdakı kimi olacaqdır.

Qeyri-səliss tənzimləyicinin linqvistik qaydalar cədvəli (TLQC).

$E_j \backslash \dot{E}_j$	NB	NM	NS	NZ	Z	PZ	PS	PM	PB
NB	PB	PM		NB	NB	NM			Z
NM			NB	NB	NM	NS		Z	PZ
NS		NB	NB	NM	NS	NZ	Z	PZ	PS
NZ	NB	NB	NM	NS	NZ	Z	PZ	PS	PM
Z	NB	NM	NS	NZ	Z	PZ	PS	PM	PB
PZ	NM	NS	NZ	Z	PZ	PS	PM	PB	PB
PS	NS	NZ	Z	PZ	PS	PM	PB	PB	
PM	NZ	Z		PS	PM	PB	PB		
PB	Z			PM	PB	PB		PB	PB

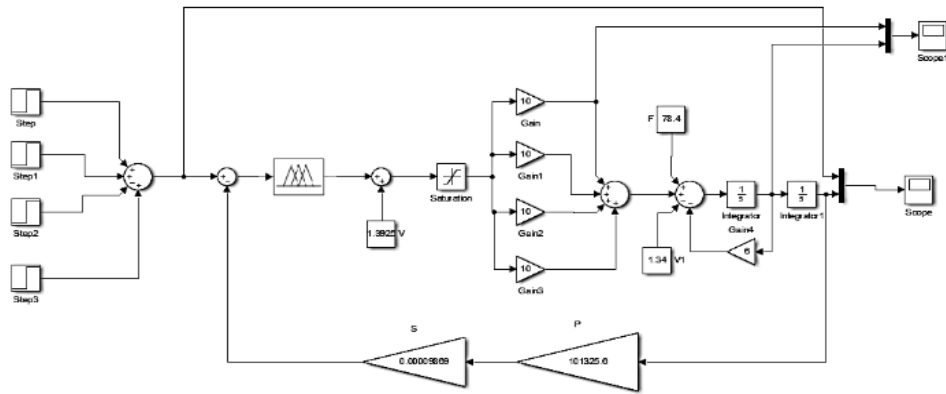
$u_{rL} = \tilde{U}_r$ – İdarəetmənin qeyri-səlis term çoxluqları.

Linqvistik qaydalar cədvəli (LQC) idarəedicisi girişin $u_{rL} = \tilde{U}_r$ idarəetmənin xətasının E_j və onun dəyişmə sürətindən (türəməsinin) \dot{E}_j asılılığını göstərən model olub, aşağıdakı kimi deyilmələri-hökümləri əks etdirir.

Əgər idarəetmənin xətasının E_j **müsbət böyükdürsə** (PB) **və** idarəetmənin xətasının dəyişmə sürəti **mənfi kiçikdirsə** (NS), **onda** idarəetmə u_{rL} **müsbət kiçikdir** (PS), **əks halda** (2.3)

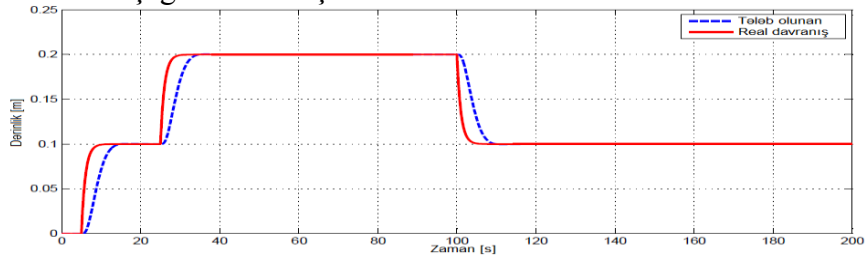
3. Dərinliyə dalmanın intellektual - qeyri-səlis idarəetmə sisteminin texniki realizasiyası.

Dinamik obyektlərin intellektual idarəetmə sistemlərinin texniki realizasiyası və onun simulyasiyası üçün effektiv olan [1, 3] verilmiş metodikadan istifadə olunmuşdur. Su dronunun dərinliyə dalmanın intellektual - qeyri-səlis idarəetmə sisteminin MATLAB mühitində texniki realizasiyası Şəkil 4.1.-də verilmişdir.



Şəkil.4.1. Su dronunun – sualtı mobil robotun MATLAB mühitində qeyri-səlis tənzimləyicili idarəetmə sisteminin “S-modeli”

Yuxarıda təklif olunan dərinliyə dalmanın intellektual - qeyri-səlis idarəetmə sisteminin səmərəliliyini təsdiqinin əyanilyi məqsədi ilə qeyri-müəyyənliyə malik sualtı mobil robotun - dinamik obyektin sadələşdirilmiş (1.7) şəklindəki modeli (yaxud ötürmə funksiyası) və linqvistik sintez edilmiş qeyri-səlis tənzimləyicinin LQC ilə qurulmuş idarəetmə sisteminin **MATLAB** mühitində **Fuzzy Logic Toolbox** və **Simulink** paketləri əsasında kompüter modelləşdirilməşdirilməsi – kompüter simulyasiyası aparılmışdır və bir eksperimentin-keçid prosesinin qrafiki təsviri aşağıda verilmişdir.



Şəkil 4.2. Sualtı robotun dərinliyədalmasının intellektual idarəetmə sisteminin keçid prosesinin təsviri

Nəticə. Sintez edilmiş sualtı robotun dərinliyədalmasının intellektual idarəetmə sisteminin **MATLAB** mühitində texniki realizasiyası əsasında aparılmış eksperimentlər təsdiq etdi ki, sistemin hərəkəti kifayət qədər dayanıqlı olmaqla həm də yüksək keyfiyyət göstəriciləri – dinamik dəqiqliyi təmin edir.

ƏDƏBİYYAT

1. Aliyev R.A., Jafarov S.M. and ozer. Principles of construction and design of intelligent systems. Baku, Nargiz, 2005.-368p.
2. Jafarov S.M., Zeynalov E.R, Jafarov P.S . Fuzzy Controllers analitic synthesis and modelling for the objects with fuzzy dynamic models. Eighteens intern. Conference on Application of Fuzzy System and Soft Computing. Helsinki, Finland, September 1-3, 2008, p.290-295
3. Aliyeva A. S. The synthesis method of fuzzy regulators for dynamic objects with uncertainty // Sumgayit State University. Scientific News. Series for Natural and Technology Sciences. Sumgayit: SSU, -2019, - c.19, -No 4. -pp.78-85; <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43167233>
4. Alieva A.S.. Synthesis of intelligent control system of quadrotor –multidimensiond dynamic objekt ICSCCW-2019, Progne, Czech Republic , August 27-28.
5. Sebastian Vasries and oth Robot control of autonoms underwater Vehicles INVARIA Rhone-Alpes Gipsa –Lap, June 14 , 2010
6. Nəsirova E. Ə. Çevik istehsalat sisteminin idarəetmə funksiyalarının biliklərin müxtəlif təsvir üsulları ilə modelləşdirilməsi məsələləri // Sumqayıt Dövlət Universiteti. Elmi xəbərlər. Təbiət və texniki elmlər bölməsi. Sumqayıt: SDU, -2020, -c. 20. -No 3. s. 63-69; <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44220000>

РЕЗЮМЕ

РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПОГРУЖЕНИЯ ГЛУБОКОВОДНОГО БЕСПИЛОТНОГО АППАРАТА В АВТОНОМНОМ РЕЖИМЕ

Джафаров С.М., Алиева А.С., Исмаилов Э.Ш.

Ключевые слова: подводный дрон, нечеткий регулятор, таблица лингвистических правил, нелинейная модель

Беспилотные подводные аппараты широко применяются исследователями для изучения фауны и флоры водных бассейнов, повышения эффективности рыболовства, решения вопросов охраны-защиты военно-стратегических объектов и судов. В представленной работе синтезирована интеллектуальная система управления для автономного функционирования подводного робота-дрона. Предложена архитектура нечеткого регулятора, определена база знаний и др. параметры. Эффективность синтезированной интеллектуальной системы инерции была продемонстрирована на основе компьютерного моделирования, выполненного в среде MATLAB (в “Fuzzy Logic Toolbox” и “Simulink”).

SUMMARY

DEVELOPMENT OF AN INTELLIGENT CONTROL SYSTEM FOR THE AUTONOMOUS DIVING OF A DEEP-SEA UNMANNED VEHICLE

Jafarov S.M., Aliyeva A.S., Ismayilov E.Sh.

Key words: underwater drone, fuzzy controller, table of linguistic rules, non-linear model

Unmanned underwater vehicles are widely used by researchers to study the fauna and flora of water basins, improve the efficiency of fishing, and solve issues of protection-the protection of military-strategic objects and ships. In the presented work, an intelligent control system has been synthesized for the autonomous functioning of underwater robot-drone. The architecture of the type fuzzy regulator has been proposed as a control device, the knowledge base and other parameters have been defined. The effectiveness of the synthesized intelligent inertia system was demonstrated on the basis of computer modeling performed in MATLAB (in “Fuzzy Logic Toolbox” and “Simulink”).

Daxilolma tarixi:	İlkin variant	04.04.2021
	Son variant	28.05.2021