

- [1] A.M.Hasanova, R.A.Rustamli, social-synergetic concepts of modern natural science., Baku, publishing house of AGPU, 2021.
- [2] Banzhaf W., Beslon, S. Christensen, J.A. Foster, F. Kepes, V. Lefort, J.F. Miller, M. Radman and J.J. Ramsden. 2006. From artificial evolution to computational evolution: a research agenda. *Nature Reviews Genetics* 7 (9): 729–35.
- [3] Hazen, Robert M. 2006. *Genesis: The Scientific Quest for Life's Origins*. Washington, DC: Joseph Henry Press.
- [4] Cela-Conde, Camilo J. and Francisco J. Ayala. 2007. *Human Evolution: Trails from the Past*. New York: Oxford University Press.
- [5] Tyson, Neil D. 2007. *Death by Black Hole: And Other Cosmic Quandaries*. New York: W. W. Norton.
- [6] Boden M.A. *AI: Its Nature and Future*. Oxford: Oxford University Press; 2016. Collins H. *Artificial Intelligence: Against Humanity's Surrender to Computers*. Cambridge: Polity Press; 2018.

SƏNAYE ROBOTLARININ TƏDQIQINDƏ QEYRI-SƏLİS MƏNTİQİN TƏTBİQİ

Məmmədova Bilqeyis

Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti

Abstract

Bu məqalədə real vaxt rejimində faktiki sənaye robotunu idarə etmək üçün qeyri-səlis məntiqin tətbiqi təsvir edilmişdir. Həmçinin nəzarət alqoritminin real vaxt rejimində həyata keçirilməsi zamanı yaranan müvafiq məsələlər və çətinliklər müzakirə olunur. Yaranmış problemlərin praktiki həlli üçün təkliflər verilir. Məqalədə qeyri-səlis nəzarətçilərin dizaynı, giriş və çıxış dəyişənlərinin müəyyən edilməsi, qeyri-səlis çoxluqların sayını təyin etmək üçün mütənasib xəritələşmə haqqında ətraflı məlumat verilir. Qeyri-səlis qaydalar bazası sistemi və qeyri-səlis nəticə çıxarma mexanizmi haqqında məljumat verilir, qeyri-səlisləşdirmə təqdim olunur. Sənaye robotları üçün qeyri-səlis idarəetmə sisteminin təkmilləşdirilməsi və inkişaf etdirilməsi üsullarından istifadənin perspektivləri də müzakirə olunur. Bu məqalədəki məlumatlar sənaye robotlarına, eləcə də ümumi robot idarəetməsinə tətbiq üçün qeyri-səlis məntiqə əsaslanan nəzarətçi dizaynlarının həyata keçirilməsinə rəhbərlik etmək üçün nəzərdə tutulmuşdur. Yekun olaraq, bu məqalə faktiki sənaye robotunu idarə etmək üçün qeyri-səlis məntiqin tətbiqi metodologiyasını təqdim edir.

Açar sözlər: qeyri-səlis məntiq, robot, mexaniki emal, idarəetmə, linqvistik dəyişən, qeyri-səlis çoxluq.

Giriş

Məlum olduğu kimi, mürəkkəb quruluşa görə robotun dinamik modelini çox vaxt tam və dəqiq müəyyən etmək mürəkkəb olur. Mexanik emal robotları ilə, zamanla manipulyasiyaya görə, kəsici qüvvə, sürtünmə qüvvəsi, vibrasiya və s. kimi bəzi dinamik parametrlər tez-tez qeyri-müəyyən şəkildə dəyişir. İdarəetmə üsullarına qeyri-səlis məntiqin tətbiqi geniş şəkildə öyrənilmişdir[1]. Qeyri-səlis məntiqə əsaslanan idarəetmənin üstünlüyü sadəlik və icra asanlığıdır. Dinamik modellərin müəyyən edilməsində və hesablanması yaranan çətinlikləri aradan qaldırmaq məqsədilə nəzarətçilərin qurulmasının bir sıra metodları öyrənilmiş və tətbiq edilmişdir.

Qeyri-səlis məntiqin idarəetmə üsullarına tətbiqi geniş şəkildə öyrənilmiş və tətbiq edilmişdir. Qeyri-səlis məntiqə əsaslanan idarəetmənin üstünlüyü sadəlik və icra asanlığıdır. İnsan fəaliyyətində dünyanı təmsil etmək, məlumat ötürmək və emal etmək, qərar qəbul etmək və ya tapşırıqları yerinə yetirmək və s. üçün dildən istifadə etmək olan, məntiqi mülahizə qaydaları, həmçinin obyektlər toplusu linqvistik formada təqdim olunur.

Qeyri-səlis məntiq ümumi praktikada və idarəetmə mühəndisliyində tətbiq olunan təbii insan təfəkkürünün təqlididir. Müvafiq olaraq, dəyişənlər və parametrlər lingvistik semantik qiymətlərlə lingvistik dəyişənlər adlanan təbii dil formasındakı obyektləri təmsil edir[2]. Qaydalar bazası kimi tanınan qaydalar sistemi və nəticə sistemi riyazi əməliyyatlar üçün lingvistik dəyişənlər çoxluğunda (qeyri-səlis çoxluq) qurulur.

Robotlar bir çox xidmət və istehsal sahələrində geniş şəkildə tətbiq olunur. Xüsusilə mexaniki emalda robotların tətbiqi günü gündən artır, çünki onun ənənəvi emal ilə müqayisədə yüksək çeviklik, geniş iş sahəsi və yüksək təkrarlanma qabiliyyəti kimi bir sıra üstünlükləri var. Hərəkət azadlığının yüksək dərəcədə olması robotlara mürəkkəb texnoloji əməliyyatları icra etmək imkanı verir. Lakin dinamik modellərə əsaslanan robot idarəetmə metodlarının çətinlikləri var. Robot idarəetməsində qeyri-səlis məntiqin tətbiqi bütün texnoloji sistemin qeyri- müəyyənliklərini qismən və ya tamamilə aradan qaldırmağa şərait yaradır[3]. Bildiyimiz kimi qeyri-səlis məntiq və qeyri-səlis çoxluqlar nəzəriyyəsi qeyri-müəyyən, qeyri dəqiq anlayışların riyazi proseslərlə müəyyən edilməsinə imkan verir. Sistemləri çox mürəkkəb olan və ya dəqiq sistem modelləri əldə edilə bilmədiyi sənaye tətbiqlərində qeyri-səlis məntiq nəzarəti həlli təmin edə bilər.

Bu bölmədə qeyri-səlis çoxluğun riyazi modelləşdirilməsinin məzmunu, robot üçün qeyri-səlis nəzarətçi qurmaq üçün tətbiq edilən metod qısaca təqdim olunur. Qeyri-səlis F çoxluğunun hər bir elementi $\mu_F(x)$ üzvlük funksiyası ilə xarakterizə edilir, əlaqələndirir. $\mu_F(x)$ F-də x-in üzvlük dərəcəsini təmsil edir.

$$\mu_F(x): X \rightarrow [0,1]$$

$$F = \{x, \mu_F(x) \mid x \in X, \mu_F(x) \in [0,1]\}$$

Üzvlük funksiyası. Qeyri-səlis çoxluğun üzvlük funksiyası həmin qeyri-səlis çoxluqdakı X elementlərinin üzvlük qiymətlərini müəyyən edir[]. Riyazi modellər şəklində üçbucaqlı, trapezoidal və zəng formalı funksiyalar kimi bir çox üzvlük funksiyası təklif edilmişdir. Qeyri-səlis çoxluqlar üzərində əməliyyatlar. Birləşmə (maksimum qaydası):

$$\mu_{A \cup B}(x) = \max\{\mu_A(x), \mu_B(x)\} = \mu_A(x) \vee \mu_B(x); \forall x \in X$$

Kəsişmə (minimum qaydası):

$$\mu_{A \cap B}(x) = \min\{\mu_A(x), \mu_B(x)\} = \mu_A(x) \wedge \mu_B(x); \forall x \in X$$

Tamamlayıcı:

$$\mu_A(x) = 1 - \mu_A(x); \forall x \in X$$

Qeyri-səlis məntiq. Qeyri-səlis məntiq klassik məntiqin ümumiləşdirilməsidir və qeyri-müəyyən və qeyri-dəqiq məlumatların daxil olduğu problemlərlə məşğul olur.

Qeyri-səlis məntiqdə əməliyyatlar. İki sadə təklif üçün P1 və P2 qeyri-səlis çoxluqları F1 və F2 üzərində müəyyən edilir , həqiqət qiymətləri müvafiq olaraq p1 və p2-dir, qeyri-səlis məntiq əməliyyatları aşağıda kimi təsvir olunur[4]:

a) Qeyri-səlis birləşmə

Dörd əsas t-norma var, burada ən çox istifadə olunan ikisi var:

Minimum: $t_m(P_1 \wedge P_2) = \min(p_1, p_2) = \min(\mu_{F1}(x), \mu_{F2}(x))$

Törəmə: $t_p(P_1 \wedge P_2) = p_1 \cdot p_2 = \mu_{F1}(x) \cdot \mu_{F2}(x)$

b) Qeyri-səlis disyunksiya

Dörd əsas t-konorm var, burada ümumi olaraq ikisi istifadə olunur:

Maksimum: $s_m(P_1 \vee P_2) = \max(p_1, p_2) = \max(\mu_{F1}(x), \mu_{F2}(x))$

Cəbri cəm: $s_a(P_1 \vee P_2) = p_1 + p_2 - p_1 \cdot p_2 = \mu_{F1}(x) + \mu_{F2}(x) - \mu_{F1}(x) \cdot \mu_{F2}(x)$

c) Qeyri-səlis inkar

Fərz edək ki, qeyri-səlis P təklifi qeyri-səlis F çoxluğuna təyin edilib, P-nin həqiqət qiyməti p ilə işarələnib, bu zaman standart inkar əməliyyatı verilir:

$$t_{ng}(\neg P)=1-p$$

d) P müddəasının qeyri-səlis implikasiyasının həqiqət qiymətləri Q nəzərdə tutulur və aşağıdakı kimi müəyyən edilir:

$$t_i(P \rightarrow Q) = \neg p \vee q = (1-p) \vee q = \max(1-p, q)$$

burada p və q müvafiq olaraq P və Q müddələrinin həqiqi qiymətləridir.

Linqvistik dəyişənlər. Dil dəyişəni fiziki dəyəri təbii və ya süni dildə sözlər və ya cümlələrlə təmsil olunan dəyişəndir. Linqvistik dəyər kəmiyyət və ya keyfiyyət mülahizələrindən istifadə etməklə yaranan təbii dil terminidir. Qeyri-səlis linqvistik dəyişən x linqvistik dəyərlər olan dəyərləri alacaq. Beləliklə, dəyişən fiziki dəyərlər və linqvistik dəyərlərlə təmsil oluna bilər. Məsələn, sürət dəyişənləri iki dəyər sahəsi ilə müəyyən edilə bilər [5].

Fiziki dəyər sahəsi:

$$V = \{x \in R : x \geq 0\}$$

Dil dəyəri sahəsi

$${}^L V = \{\text{very slow (VL), slow(L), normal(M), fast(F), very fast(VF)}\}$$

burada universal çoxluq V sürət çoxluğudur və qeyri-səlis çoxluq ${}^L V$ çoxluğu V çoxluğunda müəyyən edilir. Fiziki dəyəri $\mu_V(x)$ üzvlük funksiyası ilə ${}^L V$ -nin alt çoxluqlarına uyğun olaraq müəyyən edilə bilər və aşağıdakı kimi təqdim edilə bilər:

$$x \rightarrow \mu = [\mu_{VL}(x), \mu_L(x), \mu_M(x), \mu_F(x), \mu_{VF}(x)]^T$$

Yuxarıda göstərilən xəritələşdirmə, dəyişənin fiziki dəyərinin linqvistik dəyərə çevrildiyi qeyri-səlisləşdirmə prosesi zamanı həyata keçirilir [6].

Qeyri-səlisləşdirmə. Qeyri-səlis əməliyyatların və qeyri-səlis nəticənin interaktiv obyektləri qeyri-səlis çoxluqlardır. Real sistemləri təhlil etmək üçün qeyri-səlis nəzəriyyəni tətbiq edərkən obyektləri qeyri-səlis çoxluqların elementləri kimi təqdim etmək lazımdır. Qeyri-səlis nəzəriyyəyə əsaslanan sistemin təhlili prosesi üç əsas addımla əhatə oluna bilər.

1 Universal çoxluqda müəyyən edilmiş obyektlərin qeyri-səlis çoxluq formasında təmsil edilməsi;

2 Qeyri-səlis əməliyyatlarla obyektlərə (qeyri-səlis çoxluqlar) təsirlər və qeyri-səlis nəticə çıxarma mexanizmi vasitəsilə yeni yaradılmış qeyri-səlis çoxluqlar;

3 Universal çoxluğun yeni qeyri-səlis çoxluqlarını (qeyri-səlis əməliyyatların və qeyri-səlis nəticə çıxarmağın nəticələri) fiziki dəyərləri olan dəyişənlərə çevirin.

Bu addımlar müvafiq olaraq Qeyri-səlisləşdirmə, Qeyri-səlis qaydalar bazası və Nəticə çıxarma Mexanizmi (Qeyri-səlis Kompozisiya Cihazı) və Qeyri-səlisləşdirmə adlanır.

Qeyri-səlisləşmə, sistemin nəzərdən keçirilən obyektlərinin (girişlərinin) müvafiq domenləri olan qeyri-səlis çoxluqlar tərəfindən modelləşdirildiyi addımdır. Qeyri-səlisləşdirmə prosesində nəzərə alınmalı əsas məsələlər var:

1. Giriş və çıxış siqnallarının və müvafiq fiziki dəyər sahələrinin identifikasiyası;
2. Linqvistik dəyişənləri və giriş - çıxış məlumatlarının miqyasının xəritələşdirilməsi;
3. Giriş məlumatlarının filtrlənməsi və seçilməsi strategiyası;
4. Üzvlük dəyərləri tapşırıqları.

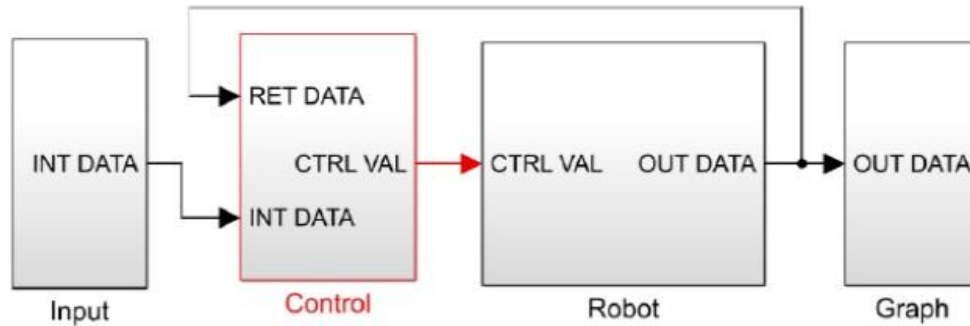
Qeyri-səlis qaydalar bazası və nəticə çıxarma mexanizmi. Qeyri-səlis qaydalar bazası idarə olunan obyekt haqqında bilik əsasında yaradılan qeyri-səlis nəzarətçi qaydalarını ehtiva edir [7]. Qeyri-səlis qayda (qeyri-səlis implikasiya kimi tanınan qeyri-səlis nəzarətçi qaydası) IF-THEN qaydasına uyğun olaraq təkliflər arasındakı qeyri-səlis əlaqədir. Qeyri-səlis Qaydalar Tək Giriş/Tək Çıxış:

$$R_i: \text{If } q \text{ is } A_i \text{ then } u \text{ is } C_i$$

A_i və C_i müvafiq olaraq Q və U disuniversal çoxluğunda qeyri-səlis çoxluqlarla müəyyən edilən linqvistik dəyərlərdir. “q A_i -dir” müddəsi “əvvəlki”, “u B_i -dir” isə “nəticə” adlanır. Qaydaya “qeyri-səlis təsir” və ya “qeyri-səlis şərti müddə” də deyilir.

Səlisləşdirmə. Defuzzification qeyri-səlis nəticələri fiziki dəyərlərə çevirən xəritəçəkmə prosesidir. Praktiki tətbiqlərdə idarəetmə əməlləri fiziki dəyərə uyğun işləyir. Buna görə də qeyri-səlis nəticə çıxarmanın nəticələrini qeyri-səlisləşdirmək lazımdır.

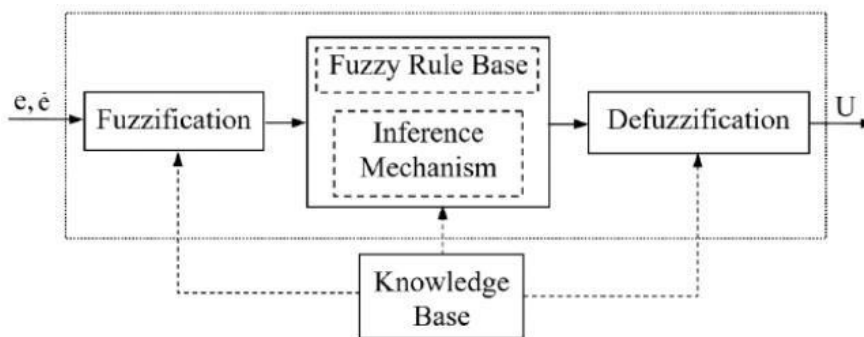
Robot idarəetmə sisteminin ümumi quruluşu.



Şəkil 1. Robot nəzarət sisteminin strukturu

Şəkildə həm kəskin nəzarətçilər, həm də qeyri-səlis məntiq nəzarəti (FLC) kimi ağıllı nəzarətçilər üçün standart struktur olan robot idarəetmə sisteminin strukturunu göstərilmişdir. Giriş bloku - giriş signalı blokudur.

İdarəetmə bloku - Ümumiyyətlə, idarəetmə bloku nəzarət kəmiyyətlərini hesablamaq üçün nəzarət qanunlarına əsaslanan alqoritmdən istifadə edən blokdir.



Şəkil 2. Qeyri-səlis məntiqə əsaslanan robot nəzarətçisinin strukturu

FLC-də İdarəetmə bloku Şəkildə göstərilən quruluşa malikdir. Qeyri-səlisləşdirmə, Qeyri-səlis kompozisiya qurğusu (Qeyri-səlis qayda bazası və qeyri-səlis nəticə mexanizmi), qeyri-səlisləşdirmə və Ekspert bloku (Bilik bazası) bütün idarəetmə blokunu idarə edən komponentlər var.

Robot bloku – idarə olunan obyekt İdarəetmə blokundan idarəetmə signallarını alır və əvvəlcədən müəyyən edilmiş trayektoriyaya uyğun olaraq manipulyasiya hərəkətlərini yerinə yetirmək üçün robotu idarə etmək üçün fəaliyyət göstərir. İdarəetmə sisteminin simulyasiya proqramında bu blok hərəkətverici qüvvənin təsiri altında robotun iş vəziyyətini müəyyən etmək üçün hərəkəti hesablamaq üçün irəli dinamika alqoritmidir.

Qrafik blok - sistemin performans nəticələrini göstərir. Qeyri-səlis kompozisiya cihazı. Qeyri-səlis Kompozisiya Cihazı qeyri-səlis nəzarətçisinin ürəyidir; o, qeyri-səlis qaydalar bazası sistemini, qeyri-səlis nəticə çıxarma mexanizmini və alqoritmlər vasitəsilə qərarların qəbulu üçün işlənmiş integrasiya olunmuş sistemi ehtiva edir. Beləliklə, iki əsas problem bu cihazın performansını müəyyən edir: qeyri-səlis qaydalar bazasının qurulması metodu (qeyri-səlis implikasiya üsulu) və qeyri-səlis kompozisiya qaydalarının tərtibi üsulu.

Qeyri-səlis Qaydalar Bazası Sistemi

Məlum olduğu kimi, qeyri-səlis implikasiya da adlandırılan qeyri-səlis qayda ƏGƏR-ONDA qaydasına uyğun olaraq, bir təkliflə digər müddə arasında qeyri-səlis əlaqədir.

ƏGƏR-ONDAN qaydasında əvvəlki və ardıcıl müddələrin sayı dil dəyişənlərinin giriş və çıxış siqnallarının sayından, deməli, idarəetmə obyektindən asılıdır. Beləliklə, qaydalar bazası sisteminin IF-THEN qaydalarının sayı lingvistik dəyişənlərin giriş siqnallarının sayından və həmin lingvistik dəyişənlərin qeyri-səlis çoxluqlarının sayından asılıdır.

Yuxarıda daqeyd edildiyi kimi qeyri-səlis kompozisiya qaydalarını toplamaq üçün müxtəlif üsullar olsa da, Mamdaninin yanaşması sadəlik və icra asanlıqını nümayiş etdirir ki, bu da nəzarətçinin performansına və dəqiqliyinə zəmanət verir. Buna görə də Mamdaninin metodu ümumiyyətlə idarəetmə mühəndisliyində və robotların idarə edilməsində geniş tətbiq olunur. Xüsusilə, mexaniki emal robotları vəziyyətində Mamdani metodunun tətbiqi zamanı idarəetmə dəqiqliyinə olan yüksək tələblər təmin edilir. Mamdani metodu qeyri-səlis implikasiya üçün həm Min operatoruna (MIN), həm də toplama üçün MAX-MIN operatoruna tətbiq edilir [].

Mamdani MİN operatoru:

$$\mu_{Fui}(u) = \alpha_i \wedge \mu_{Fui}(u); \quad \alpha_i = \mu_{Fek}(F_e) \wedge \mu_{Fde,l}(F_{de})$$

Nəticə

Məqalədə robotların mexaniki emalda tətbiqinin üstünlükləri, qaçılmaz inkişaf tendensiyası təqdim edilmişdir. Mexanik emal texnikasının və səmərəliliyin tələblərini təmin etmək üçün robota nəzarət hələ də açıq problemdir. Buradan məqalədə mexaniki emal robotları üçün qeyri-səlis nəzarətçilərin dizayn prosesində əsas problemlər təhlil edilir və təqdim olunur.

Fiziki dəyər sahəsinin təhlili, seçilməsi və korreksiyası, qeyri-səlis qaydalar bazası sisteminin və nəticə çıxarma mexanizminin yaradılması, qaydalar sisteminin sintezi qeyri-səlisləşdirmə üsulu sadə və effektivdir. Mamdani və Takagi-Sugeno kimi qeyri-səlis nəticə çıxarma üsulları və qeyri-səlis kompozisiya qaydalarının sintezi olsa da, məqalədə diqqəti qeyri-səlis kontrollerlərlə işləyən yeni başlayanlar üçün asan olan Mamdaninin metodlarından birinə yönəldir və eyni zamanda vaxt, yaxşı nəticələr verir.

Məqalədə qeyd olunan problemlər, şübhəsiz ki, qeyri-səlis məntiqin ümumi və mexaniki emal robotlarında idarə olunan problemlərə tətbiqində faydalıdır. Bu əsasların tətbiqi həm də Adaptive Fuzzy Controller, Sliding Fuzzy Controller və digər ağıllı alqoritmləri birləşdirən Type-2 Fuzzy ilə tədqiqatların inkişafı üçün əsasdır.

Ədəbiyyat

- [1] Iglesias I., Sebastián M. A., & Ares J. E. - Overview of the state of robotic machining: Current situation and future potential. *Procedia engineering*, 132(2015) 911-917. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.12.577>
- [2] Petko M., Karpiel G., Gac K., Góra G., Kobus K., Ochoński J. - Trajectory tracking controller of the hybrid robot for milling. *Mechatronics*, 37(2016) 100-111. <https://doi.org/10.1016/j.mechatronics.2016.03.012>
- [3] Gołda G., Kampa A. - Modelling of cutting force and robot load during machining. *Advanced Materials Research. Trans Tech Publications*, 1036(2014) 715-720. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.1036.715>
- [4] Cen L., Melkote S. N. - Effect of robot dynamics on the machining forces in robotic milling. *Procedia Manufacturing*, 10(2017) 486-496. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.07.034>
- [5] Kai Wu, Jiaquan Li, Huan Zhao and Yong Zhong. - Review of Industrial Robot Stiffness Identification and Modelling. *Applied Science*, 12(17)(2022) 8719, 1-24. <https://doi.org/10.3390/app12178719>

- [6] Ji, Wei, and Lihui Wang. - "Industrial robotic machining: a review." The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 103.1 (2019) 1239-1255. <https://doi.org/10.1007/s00170-019-03403-z>
- [7] Ayari, Oussama, Anis Bouali, and Pierre-Jean Méausoone. - Cutting forces and accuracy characterization during wood machining with serial robots. European Journal of Wood and Wood Products, 78.4 (2020) 767-775. <https://doi.org/10.1007/s00107-020-01539-4>
- [8] Denkena, Berend, Benjamin Bergmann, and Thomas Lepper. - Design and optimization of a machining robot. Procedia Manufacturing 14 (2017) 89-96.
- [9] <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.11.010>
- [10] Hooda D. S., Raich, V. - Fuzzy logic models and fuzzy control: An introduction. Alpha Science International (2016).
- [11] De Silva C. W. - Intelligent control: fuzzy logic applications. CRC press (2018).

DEVELOPMENT AND RESEARCH OF METHODOLOGICAL AND ALGORITHMIC SUPPORT FOR INTELLIGENT CONTROL SYSTEMS

Narmin Mustafayeva

Abstract

The article presents the results software development and testing for motion detection. A study of the possibility of using robust, neuro-fuzzy and adaptive control algorithms in high-accuracy and reliability information systems has shown that when designing such systems, the developed principles can be used and standard information systems structures can be built.

Keywords: intelligent systems, motion detection, information systems.

Introduction

The development of information technology in the 21st century will be associated with the development and creation of intelligent information processing and management systems in various environments and human activities. Today, computers have far surpassed humans in areas such as computation, word processing, and more recently even inference. However, they still lack flexibility and lag behind humans in many aspects, for example, in pattern recognition, problem solving with incomplete information, learning ability, predicting the results of a proposed action and developing control, taking into account the dynamics of processes in real life time. Currently, there is increasing interest in mobile mechatronic systems, which is associated both with the practical need to use such systems for the purpose of carrying out work in environments inaccessible to humans, and with the need to study the intellectual abilities of technical systems. Mobile mechatronic systems (mobile robots) beginning used to diagnose faults in extended and high-rise objects, monitor the environment, search for objects in hard-to-reach places, etc. At the same time, mobility itself can be provided in various ways - these are traditional wheeled systems, and walking, rolling, as well as crawling and flying systems. What these systems have in common is multi-level control of their behavior. Typically, this is a three-level management system consisting of strategic, tactical and executive levels.

Control systems are being developed that provide autonomous execution of a limited set of operations and a number of predefined scenarios, however, as a rule, these are essentially deterministic actions, and their implementation is focused on high-performance computing platforms. The development trends of such systems reflect the feasibility of their implementation on embedded platforms that provide the possibility of distributed control and have, along with small overall dimensions, high reliability and low cost, limitations on computing resources. To implement promising approaches to building adaptive systems on such platforms, it is necessary to develop algorithms for adaptive behavior and object control,