

## TƏBİƏT VƏ TEXNİKA ELMLƏRİ BÖLMƏSİ

UOT 681.51.015

SÜNİ NEYRON ŞƏBƏKƏLƏRİN TƏTBİQİ İLƏ MEXATRON QURĞULARDA  
İNFORSİYƏ EMALININ FUNKSIONAL SXEMİNİN YARADILMASI ALQRİTMİ

**Elmira Nəriman qızı İsrəfilova**  
*texnika üzrə fəlsəfə doktoru, dosent*  
 Mingəçevir Dövlət Universiteti

**Aidə Mübariz qızı Mustafayeva**  
*texnika üzrə fəlsəfə doktoru*  
 Mingəçevir Dövlət Universiteti

**Xülasə**

*Yaxın gələcəkdə real zaman miqyasında intellektual sistemlər tərəfindən idarə olunan tam avtomatlaşdırılmış rəqəmsal istehsala keçid gözlənilir. Bununla əlaqədar olaraq, son illər texnikada mexatron sistemlərə maraq artıb. Dinamik dəyişən mühitdə uzun müddət avtonom və intellektual iş rejiminin təmin edilməsi məqsədi ilə bu qurğuların iş rejiminin təşkili məsələsi çox aktualdır. Təqdim olunan işdə əsas məqsəd süni neyron şəbəkənin tətbiqilə mobil mexatron qurğuların idarəetmə sisteminin funksional strukturunun yaradılmasına aid alqoritmin işlənməsidir.*

*Açar sözlər: süni intellekt, neyron şəbəkə, şəbəkə arxitekturası, geriye qayıtma alqoritmi*

**Giriş**

Müasir sistemlərin əksəriyyəti ya bütövlükdə mexatron sistemlərdir, ya da onların bir hissəsi mexatron elementlərdən təşkil olunmuşdur. Elm və texnika inkişaf etdikcə mexatron qurğuların bütün sahələrə təcridən nüfuz etməsi müşahidə olunur. Dinamik dəyişən mühitdə uzun müddət avtonom və intellektual iş rejiminin təmin edilməsi məqsədi ilə bu qurğuların qazanılmış təcrübəyə (toplanmış biliklər bazasının hesabına) əsaslanan iş rejiminin təşkili imkanı gündəmdə olan aktual məsələlərdən biridir [1]. Mexatron qurğularda bu imkanı məhz neyron şəbəkələr təmin edə bilər.

**1. Süni neyron şəbəkələrin tətbiqi ilə informasiya emalı üsullarının təhlili**

Süni neyron şəbəkələrin tətbiqi ilə mobil mexatron qurğuların avtonom işləməsi və intellektuallaşdırılması məsələsinin həlli aşağıdakı mərhələləri əhatə edir: predmet sahəsinin təhlili; neyron şəbəkənin arxitekturasının seçilməsi; seçilmiş arxitektura üzrə neyron şəbəkənin öyrədilməsi; öyrədilmiş neyron şəbəkənin funksional alqoritminin işlənməsi.

**Predmet sahəsinin təhlili.** Mobil mexatron qurğuların avtonom işləməsini və intellektuallaşdırılması məsələsinin həlli üsullarına keçməzdən əvvəl süni neyron şəbəkələri ilə əlaqəli bir neçə sualın cavablandırılması məqsəduyğundur [2...6]. Süni neyron şəbəkə hansı imkanlara malikdir? Neyron şəbəkə hansı komponentlərdən ibarətdir? Neyron şəbəkənin arxitekturası hansı imkanlara malikdir? Neyron şəbəkənin riyazi modeli necə təsvir olunur? Neyron şəbəkənin öyrətmə prosesi necə təşkil olunur? Neyron şəbəkənin öyrətmə prosesinin optimallaşdırılması alqoritmi necə seçilməlidir?

Süni neyron şəbəkə (SNŞ) insan beyninin neyronlarını (sinir hüceyrələrini) imitasiya edən riyazi modeldir. Süni neyron şəbəkəsinin əsas funksiyası insan beynində gedən idraki proseslərin (tanıma, dərk etmə və s.) texniki realizasiyasını kompüter proqramlarının köməyi ilə həyata keçirməkdir. Bioloji neyronlar kimi süni neyron şəbəkələri də təxmini nəticələr verir. Lakin digər proqramlara nisbətən onların göstərdiyi nəticələr daha səmərəli və keyfiyyətlidir.

Məlumdur ki, insanın sinir hüceyrələrinin tərkibinə neyronlar və liflər (düynələr) daxildir. Hər neyron, öz növbəsində, bir hüceyrə gövdəsindən, akson və dendritlərdən ibarətdir. Neyronlar arasında sinir impulsunun ötürülməsi sinapslar vasitəsi ilə realizə olunur (şək. 1). Sadə neyron  $10^3-10^4$  dendritlərə malikdir, bu da bir-biri ilə əlaqələndirilmiş 10000 neyron deməkdir [2...5]. Normal halda insan beynində  $10^{11}$  neyronların olması mülahizə edilir.

Bioloji neyronun iş prinsipini bu cür təsvir etmək olar: dendritlər vasitəsilə neyron digər neyronlardan sinir impulslarını qəbul edir; daxil olan siqnal neyronun gövdəsində emal edilir; emal edilmiş siqnal aksondan keçərək şaxələnən sinapslar vasitəsi ilə başqa neyronlara ötürülür.

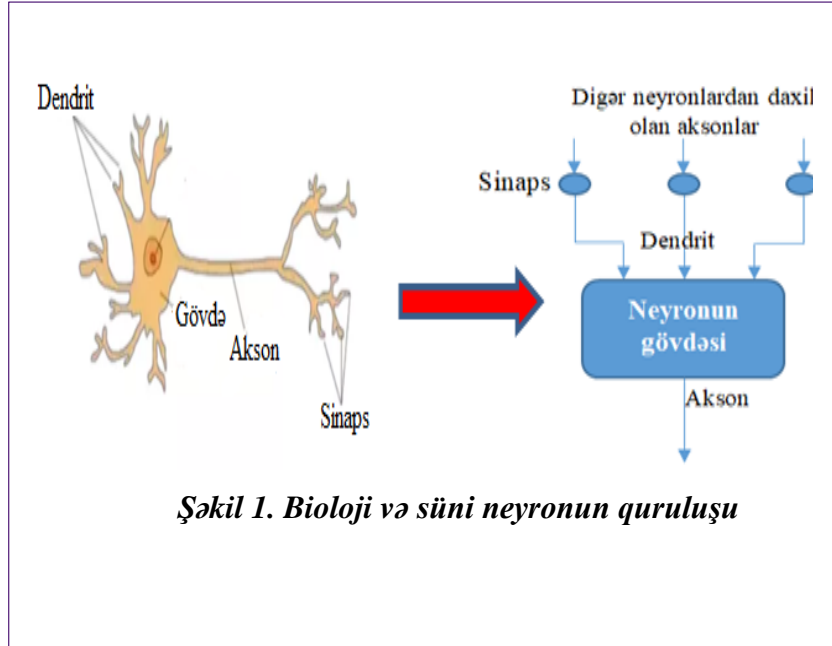
İnsan beyni neyronlar və onlar arasındakı əlaqələri təşkil etmək xüsusiyyətinə malikdir. Məlumdur ki, bioloji neyronlar obrazların tanınması, duyğu orqanlarından daxil olan siqnalların emalı və digər məsələləri müasir kompüterlərin

aparat və proqram vasitələrindən fərqli olaraq, bir neçə dəfə daha sürətli yerinə yetirir (aksonlarda sinir impulslarının yayılma sürəti 100 m/san-yə qədər çatır və elektrik siqnalının ötürülmə sürətinə nisbətən milyon dəfə azdır). İnsan beyni neyronlar arasında çoxsaylı birləşmələrin (eyni zamanda informasiyanın paralel işlənməsi) hesabına, "adi" kompüterlərin həlli üçün müqayisəedilməz dərəcədə çox vaxt tələb edən məsələlərin öhdəsindən daha tez gəlir. İstənilən neyron şəbəkənin qurulması zamanı ilk öncə problemin həllinə uyğun şəbəkə arxitekturası, öyrətmə və optimallaşdırma alqoritmi təyin olunmalıdır.

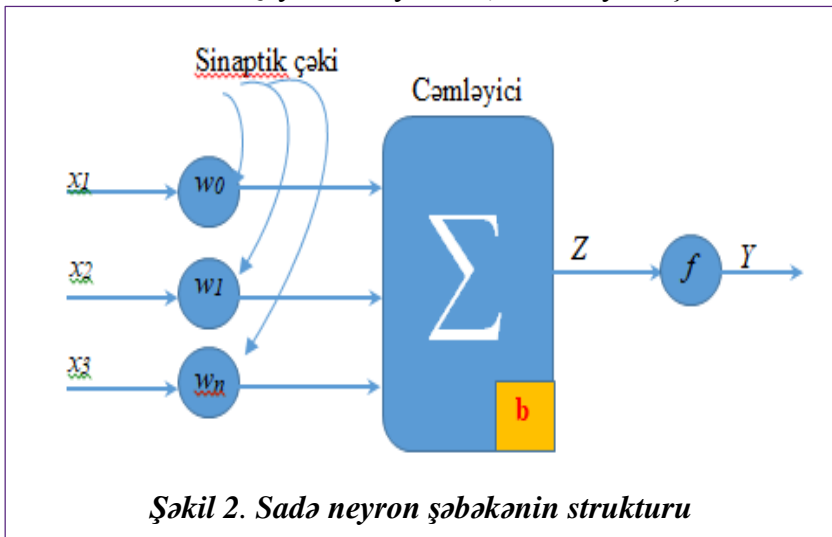
**Sadə (birlaylı) neyron şəbəkənin strukturu.** Qeyd edildiyi kimi, süni neyron şəbəkə insan

beyninin riyazi modelinin inikasidir [2; 3]. Süni neyron şəbəkəsində bir neyronun fəaliyyəti aşağıdakı kimi təsvir oluna bilər (şək. 2): şəbəkənin əvvəlki elementlərindən siqnalların alınması; alınmış siqnalların cəmlənməsi (çəki əmsalına vurularaq birləşməsi); cəmlənmiş siqnalın çevrilməsi (öyrədilməsi) üçün aktivləşdirmə funksiyasına ötürülməsi və hesablanması; çevrilmiş çıxış siqnalının neyron şəbəkənin digər elementlərinə ötürülməsinin təmin edilməsi.

Sadə neyron şəbəkəsinin emal etdiyi çıxış siqnalı aşağıdakı kimi hesablanır:



Şəkil 1. Bioloji və süni neyronun quruluşu



Şəkil 2. Sadə neyron şəbəkənin strukturu

$$y = F(z) = f(w_1x_1 + w_2x_2 + w_3x_3) = F \sum_{i=0}^3 w_i x_i. \quad (1)$$

Burada  $W=(w_1, w_2, w_3)$  – çəki əmsalları vektoru,  $X=(x_0, x_1, x_2)$  – giriş siqnalları vektoru,  $Z = \sum_{i=0}^2 w_i x_i$  – ölçülmüş qiymətlər vektoru,  $F$  – qeyri-xətti çevirmə operatoru və ya aktivləşdirmə funksiyasıdır.

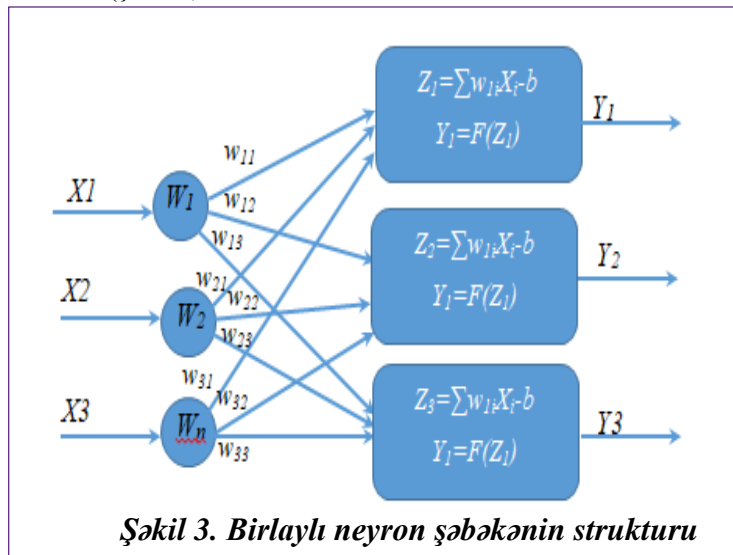
Məlum olduğu kimi, əksər hallarda sistem qeyri-müəyyən, natamam informasiya şəraitində fəaliyyət göstərir. Qeyri-müəyyənliyin aradan qaldırılması üçün şəbəkəyə əlavə ( $b$ ) yerdəyişmə (sağ-sola sürüşdürmə) parametri daxil edilir. Bu parametr adi neyrondan fərqlənmir və onun məqsədi tələb olunan informasiyanın tanınmasında köməklik göstərməkdir. Yerdəyişmə parametrinin qiyməti həmişə vahidə bərabərdir. Bu halda (1) ifadəsi aşağıdakı kimi təyin olunur:

$$y = F(z) = f(w_1x_1 + w_2x_2 + w_3x_3) = F \sum_{i=0}^3 w_i x_i + b. \quad (2)$$

**Sadə (birlaylı) neyron şəbəkənin öyrətmə prosesi.** Bir neyron sadə hesablamaları yerinə yetirə bilər. Lakin neyroşəbəkənin əsas funksiyaları ayrı-ayrı neyronlarla və onların arasındakı birləşmələrlə təmin edilmir. Birlaylı perseptron bir lay yaradan neyron qrupundan ibarət olan sadə şəbəkədir. (2) ifadəsini nəzərə alsaq, giriş siqnallarının qiymətləri vektor şəklində kodlaşdırılır və hər bir element müvafiq neyron layının girişinə verilir (şək. 3).

Öz növbəsində, neyronlar bir-birindən asılı olmayaraq, müstəqil çıxış siqnallarını hesablayır. Çıxışın ölçüsü (yəni elementlərin sayı) neyronların sayına bərabərdir. Bütün neyronlarda sinapsların sayı eyni olmalıdır və giriş siqnalının ölçüsü ilə üst-üstə düşməlidir.

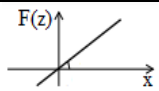
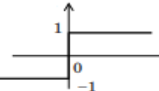
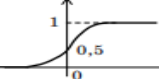
Aktivləşdirmə funksiyası kombinə edilmiş giriş siqnallarının qiymətindən onun çıxış siqnallarının qiymətlərini formalaşdırır. Aktivləşdirmə funksiyaları istənilən riyazi funksiyaları yerinə yetirə bilər. Təcrübədə daha çox xətti, keçid və siqmoid aktivləşdirmə funksiyalarından istifadə olunur (cədvəl 1).



Şəkil 3. Birlaylı neyron şəbəkənin strukturu

Cədvəl 1

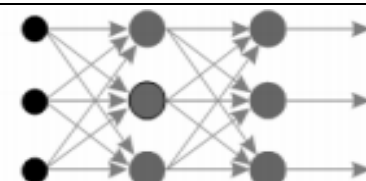
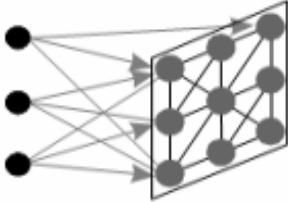
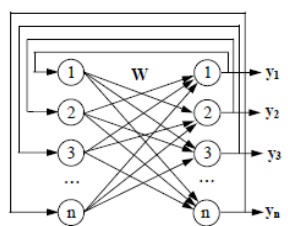
**Aktivləşdirmə funksiyaları**

Nö	Funksiyanın adı	Riyazi ifadəsi	Qrafiki
1	Xətti	$F(z) = x$	
2	Keçid	$F(z) = \begin{cases} 0, & \text{if } z \leq 0 \\ 1, & \text{if } z > 0 \end{cases}$	
3	Siqmoid	$\sigma(z) = \frac{1}{1 + e^{-z}}$	

**Neyron şəbəkənin arxitekturasının seçilməsi.** Neyron şəbəkənin arxitekturasının seçilməsi ekspert tərəfindən həll edilən tapşırıqdan, mövcud ilkin verilənlərdən və planlaşdırılmış təlim metodlarından asılı olaraq həyata keçirilə bilər. Bu tipli şəbəkələr əsasən obrazların tanınması, səs-küylərin filtrasiyası, zaman sıralarının proqnozlaşdırılması, modelləşdirmə, identifikasiya, adaptiv və ya qeyri-xətti sistemlərdə idarəetmə kanallarına tətbiq edilən verilənlərin emalı üçün çoxlaylı perseptron quruluşuna malikdir. Cədvəl 2-də neyron şəbəkənin öyrətmə alqoritminə uyğun arxitekturalar verilmişdir.

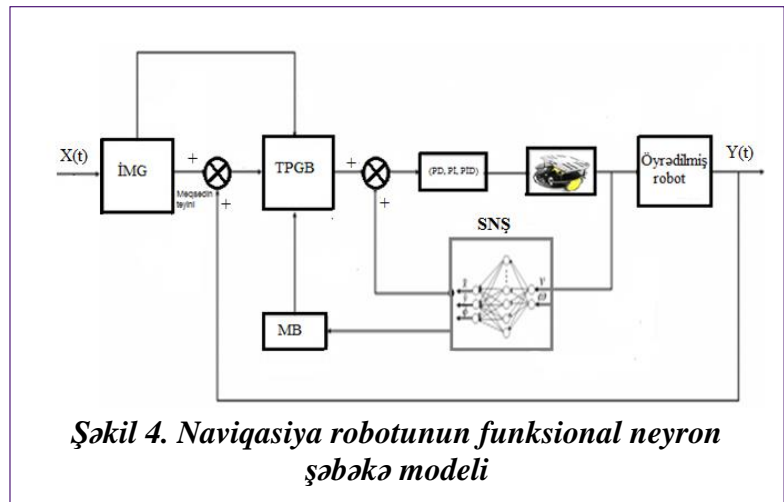
Cədvəl 2

Neyron şəbəkənin öyrətmə alqoritminə uyğun arxitekturalar

№	Neyron şəbəkənin tipi	SNŞ arxitekturası	SNŞ-də həll olunan məsələlərin tipi	Naviqasiya məsələlərinin tipi
1	Çoxlaylı perseptron		Aproksimasiya funksiyaları, təsnifləşdirmə	Sensor məlumatların işlənməsi, lokallaşdırma, maneələrin qarşısının alınması
2	Öz-özünə öyrənən Koxonen kartı		Verilənlərin sıxlaşdırılması, əlamətlərin seçilməsi	Kartoqrafiya, marşrutlaşdırma
3	Hopfield şəbəkəsi		Assosiativ yaddaş, verilənlərin sıxlaşdırılması	Yolun planlaşdırılması, sensor verilənlərin emalı

## 2. Naviqasiya robotunun idarəetmə sisteminin funksional sxeminin yaradılmasına aid alqoritm

Neyroxəritəni (infoqrafik görüntünü) realizə edən naviqasiya robotunun funksional sxemi şəkl.4-də göstərilmişdir. Şəkildən görüldüyü kimi, naviqasiya xidmətini realizə edən mobil robotun funksional məqsədi planlaşdırılmış trayektoriya (yəni kartoqrafik xəritə üzrə marşrut zolağı) üzrə məlumatların emalı prosesini həyata keçirməkdir. Robotun hərəkət trayektoriyasının koordinatları istiqaməti müəyyənləşdirən generatora (İMG) daxil edilən kimi müvafiq iş rejimləri (ardıcıl və paralel dinamik) aktivləşir. İş rejiminin seçilməsi (məqsədin təyini) sistemə daxil edilmiş koordinatlardan asılıdır.



Şəkil 4. Naviqasiya robotunun funksional neyron şəbəkə modeli

Müvafiq iş rejiminə uyğun olaraq, tənzimləyicinin parametrlərini generasiya edən blok (TPGB) seçilmiş koordinatlar üzrə sistemi sazlayır və alınmış verilənlər bazası neyroxəritənin alınması üçün SNŞ-nin öyrədilməsi prosesini yerinə yetirməyə başlayır. Öyrədilmiş neyron şəbəkə robotu avtomatik idarə edən tənzimləyicinin girişinə göndərilir və sonda marşrut yolunun neyroxəritəsi robotun sensoruna (idarəetmə obyektinə) ötürülür. Sensor əldə etdiyi informasiya əsasında robotun marşrut yolunu assosiativ yaddaşa yükləyir. Onu da qeyd etmək lazımdır ki, robot qeyri-müəyyən şəraitdə fəaliyyət göstərir. Bu şəraitdə toplanan məlumatlar SNŞ-nin öyrədilməsi üçün İMG blokunda saxlanılır

Mexatron qurğunun neyroşəbəkə modelinin öyrədilməsi prosesini cədvəl 2-də göstərilmiş Hopfild şəbəkəsini tətbiq etməklə nəzərdən keçirək [4]. Fərz edək ki, şəbəkənin öyrədilməsi üçün verilənlər assosiativ yaddaşa toplanır. Həmin verilənlər üzərində məntiqi əməliyyatların yerinə yetirilməsi prosesi aşağıdakı kimi təşkil olunur. Hopfild şəbəkəsinin birinci layında paylayıcı, ikinci layında isə hesablayıcı funksiyalar yerinə yetirilir. Bu zaman  $t+1$  anında şəbəkənin çıxışı aşağıdakı ifadə əsasında hesablanır:

$$y_i(t+1) = F\left(\sum_{j=0}^n w_{ij} y_j(t) - b_i\right). \quad (3)$$

Bu şəbəkədə bütün neyron elementlər bir-biri ilə əlaqəli olduğundan, çəki əmsallarının matrisi diaqonaldakı sıfırlara görə simmetrik olur:

$$W = \begin{pmatrix} 0 & w_{12} & \dots & w_{1m} \\ w_{21} & 0 & \dots & w_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ w_{m1} & w_{m2} & \dots & 0 \end{pmatrix}, w_{ij} = w_{ji}.$$

Matrisdən görüldüyü kimi, Hopfild şəbəkəsi mobil robotun dinamik sistemini xarakterizə edən vəziyyətlər fəzasını təsvir edir. Həmin fəzada şəbəkənin fəaliyyəti tarazlıq nöqtəsinə yönəlmiş hərəkət kimi təqdim edilə bilər. Bioloji analogiyada bu proses məlumatın xatırlanması (insanın yaddaşında) prosesinə bənzəyir. Hopfildin şəbəkəsi iki rejimdə fəaliyyət göstərə bilər: diskret vəziyyət və fasiləsiz zaman; fasiləsiz vəziyyət və diskret zaman. Bundan başqa, şəbəkə informasiyanı ardıcıl və paralel dinamik rejim üzrə emal edə bilər. Ardıcıl dinamik rejimində hər zaman anında təsadüfi seçilmiş  $k$  nömrəsi olan yalnız bir neyron element fəaliyyət göstərir. Paralel dinamik rejimində isə şəbəkənin bütün neyronları öz vəziyyətini eyni anda dəyişir.

Ardıcıl dinamik rejiminin riyazi təsviri:

$$y_i(t+1) = y_i(t), \forall i \neq k;$$
$$y_i(t+1) = F\left(\sum_{j=0}^n w_{ij} y_j(t) - b_i\right), i = k.$$

Paralel dinamik rejiminin riyazi təsviri:

$$y_i(t+1) = F\left(\sum_{j=0}^n w_{ij} y_j(t) - b_i\right), \forall i.$$

Hopfild şəbəkəsinin əsas xüsusiyyətlərindən biri küylənmiş siqnalların tanınması qabiliyyətinə malik olmasıdır. Fərz edək ki, giriş görüntülərinin matris şəklində yadda saxlanması tələb olunur:

$$Y^T = \begin{pmatrix} y_1^1 & y_1^2 & \dots & y_1^m \\ y_2^1 & y_2^2 & \dots & y_2^m \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ y_n^1 & y_n^2 & \dots & y_n^m \end{pmatrix}.$$

Praktikada, adətən, ikili (0 və 1) giriş vektorlarına malik keçid aktivləşdirmə funksiyasından istifadə olunur. Bu halda, çəki əmsalının matrisi aşağıdakı kimi təyin olunur:

$$W = Y^T Y - 1.$$

Beləliklə, Hopfield şəbəkəsinin tətbiqilə mobil robotun neyrosisteminin funksional alqoritmi başa çatmış hesab olunur.

### Nəticə

Təqdim olunan işdə süni neyron şəbəkələrin tətbiqi ilə mobil mexatron qurğuların avtonom işləməsi və intellektuallaşdırılması məsələsini həll etmək üçün funksional sxeminin yaradılmasına aid alqoritm təklif olunmuşdur. Təklif olunan alqoritm mobil mexatron qurğunun funksionallığını aşağıdakı ardıcılıqla yerinə yetirilir:

1. Mobil robotun məqsədi və mövcud mövqeyi müəyyən edilir.
2. Sensordan daxil edilən verilənlər əsasında iş sahəsinin konfigurasiyası (maneələrin yeri) müəyyən edilir.
3. Hopfield şəbəkəsində tanıma prosesi üçün bir giriş signalı yaradılır, aktivləşdirmə funksiyası işə düşür və çıxış signalının matrisi formalaşdırılır.
4. Alınmış neyroxəritə (infoqrafik görüntü) sensora ötürülür və sistem işə düşür.

### İstifadə edilmiş ədəbiyyat

1. Əliyev R.Ə. Avtomatik idarəetmə nəzəriyyəsi. Bakı: Çəşioğlu, 2007, 639 s.
2. Ахматова Л.С. Создание интеллектуальных систем // Экономика. Бизнес. Информатика, 2017, №3, с.205-211
3. Мигранов А.Б., Юдинцев Б.С. Даринцев О.В. Нейросетевой алгоритм планирования траекторий для группы мобильных роботов // Искусственный интеллект, 2011, №1, с.154-160
4. Рычагов М.Н. Нейронные сети: многослойный перцептрон и сети Хопфилда // EXPonenta Pro. Математика в приложениях, 2003, № 1, с.29-37
5. Созыкин А.В. Обзор методов обучения глубоких нейронных сетей // Вестник Южно-Уральского гос.ун-та. Серия: Вычислительная математика и информатика, 2017, №3, с.28-59
6. Jafarov S., Zeynalov E., Mustafayeva A. Synthesis of robust controller – regulators for omnidirectional mobile robot with irregular movement / International Conference on Application of Fuzzy Systems and Soft Computing, ICAFS. Vienna, 2016, pp.469-476

**İsrailova E. N.**

*Doctor of Philosophy in Technics, Associate Professor  
Mingachevir State University*

**Mustafayeva A. M.**

*Doctor of Philosophy in Technics  
Mingachevir State University*

### Algorithm for constructing a functional scheme for information processing in mechatronic devices using artificial neural networks

#### Abstract

*The transition to fully automated digital production controlled by real-time smart systems is expected in the near future. In this regard, there is an increased interest in mechatronic systems in technology. In order to ensure a long-term autonomous and intelligent mode of operation in a dynamically changing environment, the issue of organizing the mode of operation of these devices is very relevant. The main purpose of the presented*



---

work is to develop an algorithm for creating a functional structure of a control system for mobile mechatronic devices using an artificial neural network.

**Keywords:** artificial intelligence, network architecture, back propagation of errors

**Исрафилова Э. Н.**

доктор философии по технике, доцент  
Мингячевирский государственный университет

**Мустафаева А. М.**

доктор философии по технике  
Мингячевирский государственный университет

### Алгоритм построения функциональной схемы для обработки информации в мехатронных устройствах с применением искусственных нейронных сетей

#### Резюме

В ближайшем будущем ожидается переход на полностью автоматизированное цифровое производство, управляемое интеллектуальными системами в режиме реального времени. В связи с этим в технике наблюдается повышенный интерес к мехатронным системам. С целью обеспечения длительного автономного и интеллектуального режима работы в динамически изменяющейся среде очень актуален вопрос организации режима работы этих устройств. Основной целью представленной работы является разработка алгоритма создания функциональной структуры системы управления мобильными мехатронными устройствами с применением искусственной нейронной сети.

**Ключевые слова:** искусственный интеллект, архитектура сети, алгоритм обратного распространения ошибок