

UDC 004.89

DOI 10.52171/2076-0515_2024_16_01_09_18

Use of Neural Networks in Identification and Control of on-Board Dynamic Systems

I.M. Ismailov, T.V. Binnataliyeva

Azerbaijan National Academy of Aviation (Mardakan ave. 30, Baku, AZ 1045, Azerbaijan)

For correspondence:

Ismailov Ismail / e-mail: ismayil.maa@gmail.com

Abstract

The article presents the principles of creating a predictive control strategy based on a neural network model of aviation systems. The use of neural networks for identifying and controlling dynamic systems is substantiated, including the use of model predictive control for predicting the state (parameters) of an aircraft as a dynamic system, more suitable among neural network architectures. For model predictive control, a model of an object is used to predict the future behavior of the object, and an optimization algorithm is used to select a control input that optimizes the future operation of the object. To reflect the dynamics of the system in real time, the issues of training a neural network were considered, for which a standard model, the NARMA model, was chosen as the structure of the model.

Keywords: flight safety, flight dynamics, aviation intelligent control systems, predictive control, neural networks, static methods, regression analysis.

Received 03.11.2023

Revised 09.02.2024

Accepted 12.02.2024

For citation:

I.M. Ismailov, T.V. Binnataliyeva

[Use of Neural Networks in Identification and Control of on-Board Dynamic Systems]

Herald of the Azerbaijan Engineering Academy, 2024, vol. 16, no. 1, pp. 9-18 (in Azerbaijani)

Bort dinamik sistemlərin identifikasiyası və nəzarətində neyron şəbəkələrindən istifadə

İ.M. İsmaylov, T.V. Binnətəliyeva

Azərbaycan Milli Aviasiya Akademiyası (Mərdəkan pr., 30, Bakı, AZ1045, Azərbaycan)

Yazışma üçün:

İsmaylov İsmayıl / e-mail: ismayil.maa@gmail.com

Xülasə

Məqalədə aviasiya sistemləri üçün neyron şəbəkəsinin modeli əsasında proqnozlaşdırılan idarəetmə strategiyasının yaradılması prinsipləri təqdim edilmiş, bu məqsədlə, dinamik sistemlərin identifikasiyası və nəzarəti üçün neyron şəbəkələrindən istifadə, o cümlədən neyroşəbəkə arxitekturaları arasında daha münasib olan, dinamik sistem kimi hava gəmisinin vəziyyətini (parametrlərini) proqnozlaşdırmaq üçün modelli proqnozlaşdırıcı nəzarətin tətbiqi əsaslandırılmışdır. Modelli proqnozlaşdırıcı nəzarət üçün obyektin modelindən obyektin gələcək vəziyyətini proqnozlaşdırmaq, optimallaşdırma alqoritmindən isə obyektin gələcək fəaliyyətini optimallaşdıran nəzarət girişinin seçilməsi üçün istifadə olunur. Real zamanda sistemin dinamikasını əks etdirmək üçün neyron şəbəkəsinin öyrədilməsi məsələlərinə baxılmış və bu məqsədlə modelin strukturu kimi standart model - NARMA-model seçilmişdir.

Açar sözlər: uçuş təhlükəsizliyi, uçuş dinamikası, aviasiya intellektual idarəetmə sistemləri, proqnozlaşdırılan nəzarət, neyron şəbəkələri, statik metodlar, reqressiya analizi.

Использование нейронных сетей при идентификации и контроле бортовых динамических систем

И.М. Исмаилов, Т.В. Биннаталиева

Азербайджанская Национальная академия авиации (Мардаканский пр., 30, Баку, AZ1045, Азербайджан)

Для переписки:

Исмаилов Исмаил / e-mail: ismayil.maa@gmail.com

Аннотация

В статье представлены принципы создания стратегии прогнозного управления на основе нейросетевой модели авиационных систем. Обосновано использование нейронных сетей для идентификации и управления динамическими системами, в том числе применение модельного прогнозирующего управления для прогнозирования состояния (параметров) летательного аппарата как динамической системы, более подходящей среди нейросетевых архитектур. Для модельного прогнозирующего контроля модель объекта используется с целью прогнозирования будущего поведения объекта, а алгоритм оптимизации используется для выбора управляющего входа, который оптимизирует будущую работу объекта. Для отражения динамики системы в реальном времени были рассмотрены вопросы обучения нейронной сети, для чего в качестве структуры модели была выбрана стандартная модель - NARMA-модель.

Ключевые слова: безопасность полетов, динамика полета, авиационные интеллектуальные системы управления, прогнозируемый контроль, нейронные сети, статические методы, регрессионный анализ.

Giriş

Hal-hazırda mülki və nəqliyyat aviasiyasının inkişafının əsas tendensiyası daşımaların həcmnin artması şəraitində onun təhlükəsizliyinin təmin edilməsidir. Uçuş prosesində hava gəmisinin (HG) ekipajı pilotaj-naviqasiya kompleksinin (PNK) altsistemlərindən, həmçinin çoxfunksiyalı indikatorlardan verilənləri alaraq HG-nin idarəetmə dəstəklərini hərəkətə gətirmək yolu ilə idarəetməni həyata keçirir. Bu zaman mühəndis-texniki heyət üçün təhlükəli meylətmələrin mövcudluğu və ya onların olmaması barəsində informasiya mənbəyi kimi bort operativ məlumatlandırma sistemi (BOM) xidmət göstərə bilər. Bu sistem uçuş zamanı uçuşun əsas parametrlərinin emalını və analizini, həmçinin uçuşların təhlükəsizliyinə təsir göstərən funksional sistemlərin işinin analizini həyata keçirir [1]. HG-nin bortunda göstərilən şəraitə baxarkən, həmçinin o faktı da nəzərə

almaq lazımdır ki, ekipajın təyyarənin aparat kompleksi ilə qarşılıqlı təsirinə pilotun psixofiziologiyası ilə bağlı olan xüsusiyyətləri təsir göstərir. Bortda yaranmış xüsusi halların dəf edilməsi üzrə ekipajın imkanları məhdud olduğu üçün BOM-da intellektual və virtual təşkilədicilərin tətbiqi tələb olunur. Bu təşkilədicilər xüsusi hallarda navigasiya və HG-nin idarə olunması oblastında real ekspertlərin davranış təcrübəsini toplayır. Belə bir hal göstərilən təşkilədicilərlə təchiz olunmuş bort sistemlərinin işlənməsini aktual problemə çevirir və HG-nin ekipajına düşən psixofizioloji yükü azaldır [2]. Buradan belə bir nəticəyə gəlmək olar ki, BOM-un gələcək inkişafı ekipajı dəstəkləyən sistemlərin və vasitələrin, situasiya məlumatlılığı sistemlərinin tətbiqi və HG-nin idarə olunmasının sonrakı intellektuallaşdırılması ilə sıx bağlıdır (şəkl.1) [3].



Şəkil 1 – Ekipajın bort cihazları ilə qarşılıqlı təsiri

Figure 1 – Crew interaction with on-board devices

Son zamanlar təyyarənin idarə olunmasının avtomatlaşdırılmasının bir sıra məsələlərinin həlli üçün intellektual sistem texnologiyasının tətbiqinin identifikasiyası tendensiyası mövcuddur (neyron şəbəkələri, qeyri-səlis məntiq metodları, qərarın dəstəklənməsinin məntiqi sistemləri). Süni intellekt elementlərinin HG-nin idarə olunması sistemlərində tətbiqi konkret situasiyanın qiymətləndirilməsinə, onun inkişafının proqnozuna və ekipaja zəruri tövsiyələrin formalaşdırılmasına əsaslanan ekipajın informasiya dəstəklənməsinin keyfiyyətə yeni səviyyəsini təmin edir [4-6]. Bu cür yanaşma uçuşun təhlükəsizliyinin yüksəldilməsi istiqamətində ümidvericidir. Situasiyanın inkişafının proqnozlaşdırılması məsələsini həll etmək üçün təyyarənin vəziyyəti, onun koordinasiya və sürəti, digər hava gəmilərinin hərəkəti, meteşəraitlər və s. barəsində kifayət qədər böyük həcmli informasiyanın olması zəruridir.

Təyyarənin dəqiq riyazi modelinə aviasiya sisteminin analizinə və idarə olunmasına mühüm birinci addım kimi baxılır. Bu modeldən təyyarənin idarə olunması və dayanıqlığı problemlərinin həlli üçün istifadə etmək olar. Alınmış model təyyarə səthlərinin idarə olunmasında və uçuş sistemlərinin layihəndirilməsində istifadə olunan uçuşun xarakteristikalarını modifikasiya edir [7].

Aviasiyada intellektual sistemlərin tətbiqi istiqamətində çox ümidverici istiqamət nəzarət və proqnozlaşdırma oblastında bir çox məsələlərin həllində süni neyron şəbəkələrindən (SNŞ) istifadədir. SNŞ-nin müvəffəqiyyəti birbaşa onların həlli adi metodlarla mümkün olmayan və ya çətin olan bir çox məsələlərin yerinə yetirilməsinin sadələşdirilməsi və sürətləndirilməsi imkanları ilə müəyyən edilir.

Neyron şəbəkələri dinamik sistemlərin identifikasiyası və nəzarətində müvəffəqiyyət

yətlə istifadə olunurlar. Proqnozlaşdırma və nəzarət məsələlərinin həlli üçün hal-hazırda daha ümidverici Neural Network Toolbox paketləri ilə təchiz olunmuş məşhur neyro-şəbəkə arxitekturalarıdır. Bu arxitekturalar arasında daha məşhuru modelli proqnozlaşdırılan nəzarətdir. Bu arxitektura bir dinamik sistem kimi UA-nın gələcək vəziyyətini (parametrlərini) proqnozlaşdırılması üçün daha çox qəbul ediləndir [8].

Modelli proqnozlaşdırıcı nəzarət üçün obyektin modelindən obyektin gələcək davranışını proqnozlaşdırmaq üçün istifadə edilir, optimallaşdırma alqoritmindən isə obyektin gələcək fəaliyyətini optimallaşdıran nəzarət girişinin seçilməsi üçün istifadə edilir.

İşin məqsədi

Həyəcandırıcı təsirlər və müxtəlif təbiətli əngəllər şəraitində parametrlərin qiymətləndirilməsinin dəqiqliyini yüksəltmək və müşahidənin sonrakı dövrü üçün onların proqnozlaşdırılması məqsədilə statik metodlardan (reqressiya analizi) və SNŞ-dən birgə istifadə etməklə bəzi dinamik sistemlərin proqnozlaşdırılan nəzarət üsulunun, həmçinin uçuş şəraitinin geniş diapazonunda və digər qeyri-müəyyənliklərdə təyyarənin dinamikasının gözlənilməz dəyişmələrini kompensasiya etməyə qadir olan neyron şəbəkəsinin öyrədilməsi alqoritmının işlənilməsidir.

Məsələnin qoyuluşu

Bir dinamik sistem kimi təyyarənin idarə olunması sistemlərində süni intellekt elementlərinin tətbiqi nəticəsində ekipaj tərəfindən konkret situasiyanın qiymətləndirilməsinə, onun inkişafının proqnozuna və ekipaja zəruri tövsiyələrin formalaşdırılmasına əsaslanan ekipajın informasiya dəstəklənməsinin proqnozlaşdırılan nəzarət vasitəsilə həyata keçir-

mək üçün aşağıdakı məsələlərin həlli zəruridir:

1. Proqnozlaşdırılan nəzarətdə istifadə olunacaq modelin strukturunun seçilməsi.
2. İdentifikasiya məsələlərinin həlli üçün proqnozlaşdırıcı tənzimləyicinin tətbiqi.
3. Müvafiq şərtlər daxilində neyron şəbəkəsinin öyrədilmə metodlarının tətbiqi.
4. Proqnozlaşdırıcı nəzarətdə parametrlərin qiymətləndirilməsinin dəqiqliyini yüksəltmək və müşahidənin sonrakı dövrü üçün onların proqnozlaşdırılması məqsədilə statik metodlardan (regressiya analizi) və SNŞ-dən birgə istifadə etməklə bort dinamik sistemlərin proqnozlaşdırılan nəzarət üsulunun işlənməsi.

Məsələnin həlli

Əks əlaqənin xəttiləşdirilməsindən istifadə etməklə dinamik sistemlərin proqnozlaşdırılan nəzarətində birinci addım nəzarət olunan sistemin tanınmasıdır. Buraya, ilk növbədə, real zamanda sistemin dinamikasını əks etdirmək üçün neyron şəbəkəsinin öyrədilməsi daxildir.

Qeyd olunan məsələnin həlli üçün ilk növbədə istifadə üçün modelin strukturunun seçilməsi zəruridir, yəni qeyri-xətti sistemin ümumi diskret vaxtını əks etdirmək üçün istifadə olunacaq bir standart modeli, məsələn NARMA-model (Nonlinear Autoregressive-Moving Average):

$$y(k+d) = N[y(k), y(k-1), \dots, y(k-n+1), U(k), U(k-1), \dots, U(k-1)] \quad (1)$$

Burada $U(k)$ və $y(k)$ - müvafiq olaraq, sistemlərin giriş və çıxışlarıdır. Fazanın identifikasiyası məqsədilə N qeyri-xətti funksiya yaxınlaşmaq üçün (aproksimasiya üçün) neyron şəbəkəsini məşq etdirmək olar. İdentifikasiyanın bu cür prosedurundan proqnozlaşdırıcı tənzimləyici (kontroller) üçün

$$U(k) = G[y(k), y(k-1), \dots, y(k-n+1), y_r(k+d), U(k-1), \dots, U(k-1)] \quad (2)$$

Tənzimləyicidən istifadədə problem ondan ibarətdir ki, göstərilən şərtlər daxilində neyron şəbəkəsinin öyrədilməsi üçün hər hansı bir G funksiyasının yaradılması zəruridir, belə ki, bu funksiya orta kvadratik səhvi minimallaşdırır. Bunun üçün dinamik əks paylama metodundan istifadə etmək olar.

istifadə edilir (NN Predictive Controller) [9].

Əgər sistemin çıxışının müəyyən bir $y(k+d)=y_r(k+d)$ trayektoriyası üzrə davam etdirməsi tələb olunursa, o zaman qeyri-xətti kontrollerin inkişafının növbəti addımı olacaqdır:

Lakin bu zaman proses kifayət qədər yavaş davam edə bilər. Həmin problemin digər həlli sistemin əks etdirilməsi üçün təqribi (aproksimasiya oluna bilən) modellərdən istifadə oluna bilər. Təqdim olunan işdə istifadə olunan tənzimləyici (NARMA-L2) təqribi modelə əsaslanmışdır:

$$\hat{y}(k+d) = f[y(k), y(k-1), \dots, y(k-n+1), U(k-1), \dots, U(k-m+1)] + g[y(k), y(k-1), \dots, y(k-n+1), U(k-1), \dots, U(k-m+1)] \quad (3)$$

Bu modeldə kontrollerin $U(k)$ girişi qeyri-xəttiliyin daxilində deyildir. Bu cür for-

manın üstünlüyü ondan ibarətdir ki, girişin hesablanması sistemin çıxışının etalon (arzu

olunan) $y(k+d)=y_r(k+d)$ qiymətinə müvafiq aşğıdakı formaya malik olur:
davam etməsidir. Nəticəvi olaraq, tənzimləyici

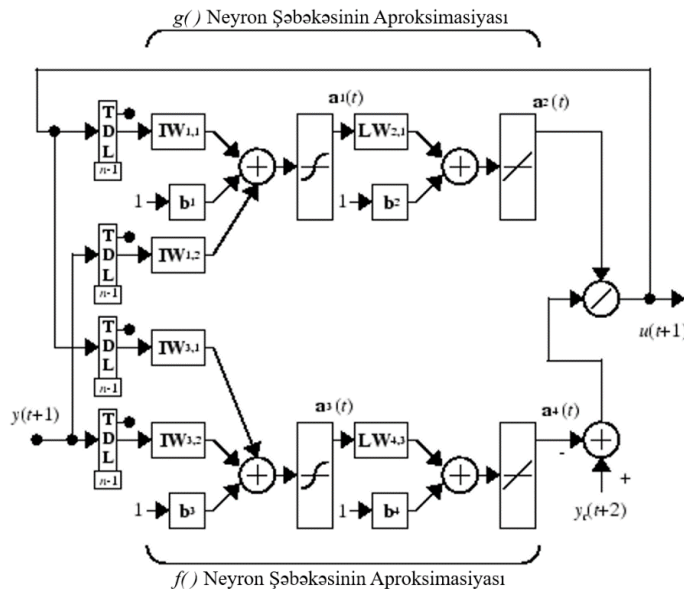
$$U(k) = \frac{y_r(k+d) - f[y(k), y(k-1), \dots, y(k-n-1), U(k-1), \dots, (k-n-1)]}{g[y(k), y(k-1), \dots, y(k-n+1), U(k-1), \dots, U(k-n+1)]} \quad (4)$$

Sonuncu tənlikdən istifadə edərək problemi həll etmək olar, belə ki, $U(k)$ nəzarət girişinin təyini eyni zamanda $y(k)$ ilə bağlıdır.

Beləliklə, modeldən istifadə edərək, proqnozlaşdırıcı nəzarəti aşğıdakı şəkildə həyata keçirmək olar:

$$y(k+d) = f[y(k), y(k-1), \dots, y(k-n+1), U(k), U(k-1), \dots, U(k-n+1)] + g[y(k), \dots, y(k-n+1), U(k), \dots, U(k-n+1) * U(k+1)] \quad (5)$$

Tədqiq olunan sistemin dinamikasının neyron şəbəkəsi tərəfindən əks olunmasının strukturu şək. 2-də verilmişdir.



Şəkil 2 – Tədqiq olunan sistemin dinamikasının neyron şəbəkəsi tərəfindən əks olunmasının strukturu
Figure 2 – The structure of the reflection of the dynamics of the studied system by a neural network

Əksər hallarda tədqiqat obyekti barəsində aprior informasiya mövcud olmadığı üçün tədqiq olunan obyektdə həm həyəcanlandırıcı faktorların, həm də ölçmə küylərinin təsiri şəraitində (ölçmə metodlarından, vasitələrindən və ölçmə şəraitindən asılı olaraq) obyektin davranışı barəsində ölçmə nəticələrinin seçmələrinin nəticələrinə görə mühakimə aparmaq lazım gəlir. Bu halda informasiya emalının statik metodlarına müraciət etmək

lazım gəlir və bunun üçün müvafiq ölçmə modellərindən istifadə etmək mümkündür (məsələn, reqressiya modeli). Bu məsələni həll etmək üçün reqressiya analizi metodlarından və proqnozlaşdırmanın digər metodlarından istifadə edək.

Fərz edək ki, $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ – uçuşun N portretlərindən alınmış nəzarət olunan parametrlərin nominal qiymətindən meylətmələrin seçimidir. Nəzarət olunan parametrlərin

müəyyən edilmiş hədudlardan mümkün ola bilən çıxmasını proqnozlaşdırmaq məqsədilə nəzarət olunan x parametrinin dəyişmə tendensiyasını təyin etmək zəruridir. $\hat{x}$ meyletməsinin τ_i uçuş vaxtından asılılığı xətti model əsasında təyin edilir:

$$\hat{x}_i = a + b\tau_i \quad (6)$$

burada a, b – parametrlər; τ_i – i -ci uçuş üçün uçma vaxtıdır.

a, b parametrləri ən kiçik kvadratlar metodu ilə təyin edirlər.

(6) modelindən istifadə edərək buraxıla bilən meyletmələrin dəyişməsinə proqnozlaşdırmaq və onların buraxıla bilən hədudlardan kənara çıxmalarını analiz etmək

olar. Xətti reqressiya modelindən uçuş vaxtından meyletmənin monoton asılılığı güman edildiyi halda istifadə etmək olar. Lakin bu asılılığın xarakterinə bir çox səbəblər təsir göstərir. Bu isə ona gətirir ki, $x(\tau)$ monoton funksiya olmur. Belə hallarda $x(\tau)$ asılılığının xarakterinin əhəmiyyətli dəyişmələrini nəzərə alan modellərdən istifadə daha məqsəduyğundur. Yuxarıda sadalanan çatışmazlıqlara malik olmayan bir sıra modellərə baxaq. Fərz edək ki, proqnozlaşdırılan $\{x_i\}, i = \overline{1, N}$ parametrin N ölçmələri mövcuddur və o zaman $\hat{x}(N+1)$ qiyməti aşağıdakı düstur ilə təyin olunur:

$$\hat{x}(N+1) = a_0x(N) + a_1x(N-1) + \dots + a_{k-1}x(N-k+1) \quad (7)$$

Proqnozlaşdırma üçün yalnız axırıncı “ k ” ölçmələrindən istifadə olunur.

$a_i (i = \overline{0, k-1})$ parametrləri çəki vuruclarıdır və modeldə müxtəlif dəyərləri nəzərə alırlar. (7) modeli proqnozlaşdırılan

prosesin dəyişmələrini nəzərə almağa imkan verir. Parametrlərin qiymətləri tənliklər sistemindən ən kiçik kvadratlar metodu ilə təyin oluna bilirlər.

$$\frac{\partial}{\partial a_i} \sum_{j=1}^m [a_i x(k+j-i-1) - x_j]^2 = 0; \quad i = \overline{0, k-1}; \quad m > k \quad (8)$$

Beləliklə, proqnozlaşdırma prosesi başlamazdan əvvəl $m+k$ müşahidə nəticələrinə malik olmaq zəruridir. (8) modeli çox ətalətli-dir və proqnozlaşdırılan prosesin rəqsi və sıçrayış şəkilli dəyişmələrini izləməyə imkan vermir.

Proqnozlaşdırılan prosesin sərt dəyişmələrini nəzərə almaq üçün hesab edəcəyik ki,

$$\hat{O}(a^s) = M \left[\sum_{i=0}^{k-1} a_i^s x(i+1)(i+k+1) - \hat{x} \right]^2 \quad (10)$$

Proqnozun qəbul edilə bilən dəqiqliyini təmin etmək üçün (9) modelinin sazlanmasını həyata keçirmək lazımdır. Bunun üçün $\{x(k+1) \dots x(k+m)\}$ kimi öyrədici seçimə malik

a_i proqnozun hər bir addımı ilə dəyişirlər. O zaman S -ci addımda (8) modeli aşağıdakı şəkildə olacaqdır:

$$\hat{x}(i+k+1) = a_0^s x(i+1) + a_1^s x(i+2) + \dots + a_{k-1}^s x(i+k) \quad (9)$$

$x(i)$ -nin qiymətlərini təsadüfi hesab etsək, a_i^s parametrləri riyazi gözləmənin minimum şərtindən təyin edirlər:

olmaq zəruridir və bu seçimdə proqnoz prosedurundan istifadə etməklə a_i^s parametrlərinin sazlanmasını həyata keçirmək lazımdır [9].

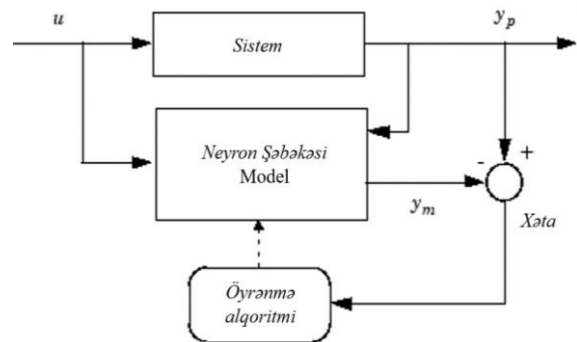
Parametrlərin qiymətləndirilməsinin dəqiqliyini yüksəltmək və onları müşahidənin sonrakı periodunun proqnozlaşdırılması üçün yuxarıda göstərilən şərtlər daxilində SNŞ-dən istifadə etmək təklif olunur ki, bunlar da həm müstəqil, həm də adaptiv və optimal süzəcləmə metodları ilə tətbiq oluna bilərlər. Bu halda proqnozun qəbul ediləbilən dəqiqliyi modelin müvafiq öyrədici seçimlərə malik olan SNŞ-in köməyi ilə, sonrakı sazlanması ilə təmin edilir. Bu seçimdə proqnoz prosedurundan istifadə etməklə modelin sazlanmasını (neyronun şəkillərini dəyişməklə) həyata keçirirlər.

Proqnozlaşdırma məsələlərinin həlli zamanı neyron şəbəkəsinin rolu ondan ibarətdir ki, o, sistemin əvvəlki davranışına görə onun gələcək reaksiyasını proqnozlaşdırır. Proqnozlaşdırmadan əvvəlki anlarda x dəyişənin qiymətləri barəsində informasiyaya malik olmaqla şəbəkə cari k anında $\hat{x}(k)$ ardıcılığının daha çox ehtimalı olan qiymətinin nə cür olacağı barəsində həlli hasil edir. Şəbəkənin çəki əmsallarının adaptasiyası üçün proqnozlaşdırmanın faktiki xətasından $\varepsilon = x(k) - \hat{x}(k)$ və bu xətanın əvvəlki zaman anlarındakı qiymətlərindən istifadə olunur.

Qeyd etmək lazımdır ki, dinamik sistemlərin əksəriyyəti zaman sırası əmələ gətirirlər. Bu sıra sistemin vəziyyətini zamanın ardıcıl anlarında hər hansı bir kəmiyyətin qiymətlər çoxluğu şəklində xarakterizə edir. Buna görə də dinamik sistemlərin proqnozlaşdırıcı nəzarəti neyron şəbəkələrindən istifadə etməklə zaman sıralarının proqnozlaşdırılmasına gətirilir.

SNŞ-dən istifadə etməklə dinamik sistemin nəzarəti misalında proqnoz proseduruna baxaq. Dinamik obyektin proqnozlaşdırılan nəzarətinin strukturu şək.3-də verilmişdir [9]. Şək.3-də göstərilən strukturdan “onlayn” rejimində dinamik proseslərin modelləşdirilməsi

üçün istifadə etmək olar. Onun əlavəsinə tipik misal olaraq həmin modelin parametrlərinin identifikasiyası proseduru rolunda neyron şəbəkəsinin çıxış etdiyi qeyri-xətti dinamik obyektlərin imitasiyasını göstərmək olar.



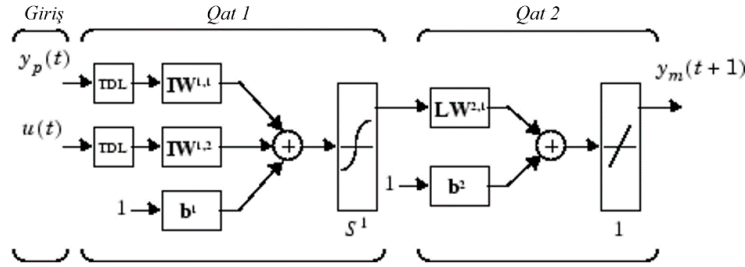
Şəkil 3 – Dinamiki obyektin proqnozlaşdırılan nəzarətinin strukturu

Figure 3 – Structure of dynamic object predictive control

Məlum qeyri-xətti funksiya ilə təsvir olunan obyekt təsadüfi şəkildə formalaşdırılan U vektorlar formasında həyəcana reaksiya kimi y_p verilmiş siqnallar ardıcılığını generasiya edir. Neyron şəbəkəsindən bu obyektin modeli kimi istifadə edilir. Dinamiki obyektin neyroşəbəkə modeli şək.4-də verilmişdir

Proqnozlaşdırılan nəzarətin modelinin formalaşdırılmasının birinci mərhələsi obyektin müəyyən edilmiş dinamikasını əks etdirmək üçün onun öyrədilməsidir.

Obyektin y_p çıxışı ilə neyron şəbəkəsinin y_m çıxışı arasındakı proqnozun səhvindən neyron şəbəkəsinin öyrədici siqnalı (neyron şəbəkəsinin parametrlərinin dəqiqləşdirilməsi) kimi istifadə edilir. Bu zaman obyektin neyron şəbəkəsinin modeli obyektin çıxışının gələcək göstəricilərini proqnozlaşdırılması üçün həm əvvəlki giriş siqnalından, həm də obyektin əvvəlki çıxışından istifadə edir.



Şəkil 4 – Dinamiki obyektin neyroşəbəkə modeli

Figure 4 – Neural network model of dynamic object

Giriş siqnalları kimi zamanın hər hansı bir intervalında nəzarət olunan parametrlərin qiymətlərini təmsil edən zaman sıralarından istifadə edilir. Çıxış siqnalı–giriş siqnalı dəyişənlərinin altçoxlğu olan dəyişənlər çoxluğuudur.

Neyron şəbəkəsinin modeli konkret zaman horizontu üzərində obyektin davranışını proqnozlaşdırır. Proqnozlardan konkret horizont üzərində növbəti kriterini minimallaşdıran nəzarət siqnalını təyin etmək üçün optimallaşdırmanın rəqəmsal proqramında istifadə olunurlar [10].

$$J = \sum_{j=N_1}^{N_2} y_r(t+j) - y_m(t+j))^2 + P \sum_{j=1}^{N_u} (u'(t+j-1) - u'(t+j-2))^2 \quad (11)$$

Burada N_1 , N_2 və N_u – üzərində izləmə səhvlərinin və nəzarət artımlarının qiymətləndirildiyi horizontları xarakterizə edir; u' dinamiki obyektin neyroşəbəkə modelindən və optimallaşdırma blokundan ibarət olan tənzimləyicinin proqramlaşdırılması üçün istifadə olunan optimallaşdırma blokunun çıxışındakı dəyişən eksperimental yoxlama siqnalıdır; y_r – obyektin arzuolunan reaksiya-

sıdır; y_m – neyroşəbəkə modelinin reaksiyası (çıxış); p – nəzarət artımlarının kvadratlar cəminin yerinə yetirmə indeksinə təsirini təyin edən əmsaldır.

Çəki əmsallarının adaptiv seçimi aşağıdakı kimi təyin edilən kvadratik səhvin minimallaşdırılması prosesində həyata keçirilir:

$$E(W) = \frac{1}{2} e_i^2 = \frac{1}{2} \left[d_i - \sum_{j=0}^N w_{ij} x_j \right]^2 \quad (12)$$

Burada $e_i = (y_i - d_i)$ – neyronun çıxış siqnalının faktiki və gözlənilən qiymətləri arasındakı fərq; x_j – giriş vektoru; w_{ij} – çəki əmsalları. Məqsəd funksiyasının kəsilməzlik şərtini yerinə yetirmək üçün gradient öyrədilmə algoritmi tətbiq edilmişdir, məqsəd funksiyasının minimallaşdırılması üçün isə ən tez eniş algoritmi tətbiq edilmişdir. Çəki əmsallarının qiymətləri ya diskret üsulla

$$W_{ij}(t+1) = W_{ij}(t) + \eta e_i x_i \quad (13)$$

Ya da analoq üsulu ilə – aşağıdakı şəkildə fərq tənliklərinin həlli yolu ilə dəqiqləşdirilə bilər.

$$\frac{dW_{ij}}{dt} = \mu e_i x_i \quad (14)$$

Onlarda (12) asılılığına müvafiq olaraq:

$$e_i = \left(d_i - \sum_{j=0}^N w_{ij} x_j \right) \quad (15)$$

Burada η - öyrədilmə əmsalı olub, qiyməti bir qayda olaraq ya (0, 1) intervallından empirik seçilir, ya da (14) fərq tənliyinin həlli ilə seçilir ki, həmin tənlikdə M konstantı (10) tənliyindəki η qiymətinə analoji rol oynayır.

Nəticə

Həyəcanlandırıcı təsirlər və müxtəlif təbiətli əngəllər şəraitində parametrlərin qiymətləndirilməsinin dəqiqliyini yüksəltmək və müşahidənin sonrakı dövrü üçün onların proqnozlaşdırılması məqsədilə statik metodlardan (regressiya analizi) və SNŞ-dən birgə istifadə etməklə bort dinamik sistemlərin proqnozlaşdırılan nəzarət üsulu işlənmişdir. İstifadə olunan metod və SNŞ həm müstəqil, həm də adaptiv və optimal süzgecləmə metodları ilə birlidə tətbiq oluna bilərlər. Dinamiki

obyektin proqnozlaşdırılan nəzarətinin işlənmiş strukturu “online” rejimində dinamik prosesləri modelləşdirmək üçün istifadə edilə bilər. Onun əlavəsinə tipik misal olaraq, qeyri-xətti dinamik obyektlərin imitasiyasını göstərmək olar, hansılar üçün ki, neyron şəbəkəsi həmin modelin parametrlərinin identifikasiyası proseduru rolunda çıxış edir. Bundan başqa uçuş şəraitinin geniş diapazonunda və digər qeyri-müəyyənliklərdə təyyarənin dinamikasının gözlənilməz dəyişmələrini kompensasiya etməyə qadir olan neyron şəbəkəsinin öyrədilməsi alqoritminin işlənilməsidir.

Maraqlar münaqişəsi

Müəlliflər bu məqalədə araşdırılması tələb olunan maraqlar münaqişəsinin olduğunu qeyd edirlər.

REFERENCES

1. **Zemlyaniy E.C.** Pilotajno-naviqasionniy kompleks s intellektualnoy podderjkoy ekipaja letatelnoqo apparata. Dissertasiya na soiskaniye uchenoy stepglisheni kandidata texnicheskix nauk. Moskovskiy qosudarstvenniy texnicheskij universitet imeni N.E. Bauman. Moskva – 2016, c.45-48 (*in Russian*)
2. **Ismailov I.M.** Interaction between human-machine interface and avionics on aircraft cockpit. *Problems of Information Society*, 2022, vol.13, no.2, 3–11 (*in English*)
3. İşkusstvenniy intellekt v sisteme bortovoqo oborudovaniya A.B. Chuntul. HELIRUSSİA 2023 (*in Russian*)
4. **Ismailov I.M.** Ekspertnaya sistema intellektualnoy podderjki pilota v bortovix kompleksax i ee proqrammnoe obespecheniye. *AMEA-nın xəbərləri, İnformasiya texnologiyaları problemləri*, 2018. №2, səh.18-27 (*in English*)
5. **Ismailov I.M.** Aircraft flight safety management concepts using artificial intelligence. *Herald of the Azerbaijan Engineering Academy*, 2023, vol 15, no.3, pp. 7-14 (*in English*)
6. **Pashayev A.M., Ismailov I.M.** İntellektualniye izmeritelno-vichislitelniye kompleksı aerokosmicheskogo primeneniya. // MAA, *Elmi Məcmuələr*. Bakı, 2009. cild11, №3. səh. 47-54 (*in Azerbaijani*)
7. **Deepa S.N., Sudha G.** Longitudinal control of aircraft using artificial intelligence. *Int. J. Eng. Technol. (IJET)* 2014, 5, 4752–4760. [Google Scholar] (*in English*)
8. **Ismailov I.M.** Proqnoziruemyy kontrol dinamicheskix sisrem na baze iskusstvennsx neyronnix setey Trudi mejdunarodnoy konferensii “İntellektualniye sistemi”. Rossiya. Dvinomoskoye. Moskva, Fizmatlit. 2006. str. 391-396. (*in Russian*)
9. **Osovskiy S.** Neyronniye seti dlya obrabotki informasii./Per. s polskoqo İ.D. Rudinskoqo. – M.: Finansı i statistika 2002 – 344 s (*in Russian*)
10. **Chelikel R.** BLDC speed control using NARMA-L2 controller in a single-link manipulator. *Bulk. J. Electr. Calculate. English* 2019, 7, 143–148. [Google Scholar] [CrossRef] (*in English*)