



ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **93317** (13) **U**
(51) МПК (2014.01)
G06G 7/00

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

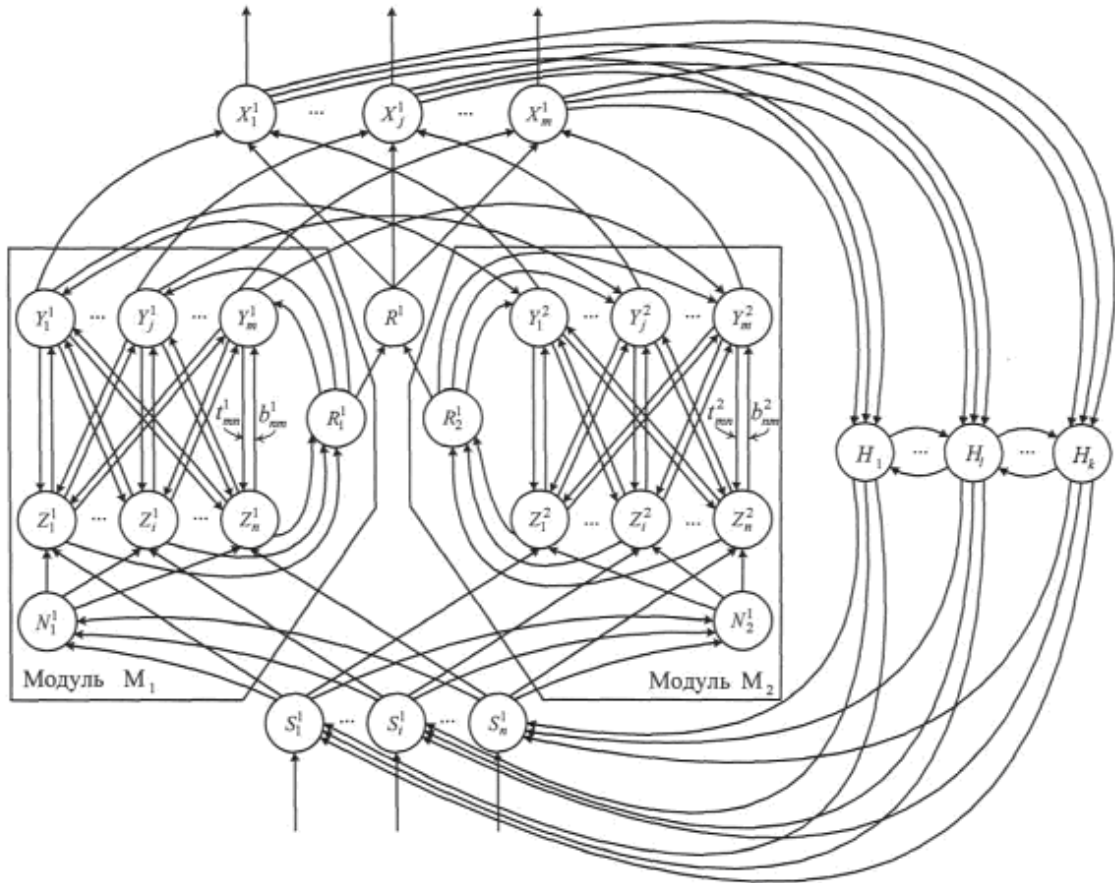
(21) Номер заявки: u 2014 04346	(72) Винахідник(и): Дмитрієнко Валерій Дмитрович (UA), Заковоротний Олександр Юрійович (UA)
(22) Дата подання заявки: 22.04.2014	(73) Власник(и): НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ "ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ", вул. Фрунзе, 21, м. Харків, 61002 (UA)
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 25.09.2014	
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 25.09.2014, Бюл.№ 18	

(54) НЕЙРОМЕРЕЖЕВИЙ ПРИСТРІЙ КЛАСИФІКАЦІЇ ДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ З МОЖЛИВІСТЮ БЛОКУВАННЯ ЧАСТИНИ ВХІДНОГО ЗОБРАЖЕННЯ

(57) Реферат:

Нейромережевий пристрій класифікації динамічних процесів з можливістю блокування частини вхідного зображення, створений на основі безперервних нейронних мереж адаптивної резонансної теорії, складається з сенсорного шару нейронів. В пристрій введено додатковий Н-шар керуючих нейронів. Нейрони Н-шару мають структуру ланцюга та необхідні для блокування нейронів вхідного шару по наступному алгоритму: у випадку, коли вхідне зображення не резонує з жодним із відомих зображень, активізується перший нейрон Н-шару, який блокує частину поля вхідних нейронів, які сприймають інформацію про початкову ділянку процесу, що ідентифікується. Якщо після блокування першої частини вхідних нейронів розпізнати вхідне зображення не вдається, то активізується наступний нейрон Н-шару й блокується додаткова частина вхідних нейронів. Цикл активізації додаткових керуючих нейронів Н-шару триває доти, поки не з'явиться активний нейрон у шарі, що розпізнає, тобто динамічний процес буде розпізнаний по якійсь його останній частині. Блокування частини поля вхідних нейронів усуває вплив накопиченої передісторії, коли спостерігаються коливання між областями, та визначення режиму роботи виконується тільки по поточному стану системи.

UA 93317 U



Корисна модель належить до обчислювальної техніки, зокрема до області побудови інтелектуальних автоматизованих систем керування, а саме до напрямку створення систем діагностики складних технічних об'єктів у процесі їхньої експлуатації.

5 Корисна модель може бути використана при побудові системи керування або діагностики такого складного технічного об'єкта як дизель-поїзд з тяговими асинхронними електроприводами.

Відомий пристрій обробки цифрової інформації містить координатний комутатор, блок буферної пам'яті скалярних команд, блок буферної пам'яті даних, скалярні операційні блоки, векторні реєстри, блок буферної пам'яті векторних команд, векторні операційні блоки, паралельні шини пам'яті, блоки оперативної пам'яті, шини вводу / виводу, блоки введення / виведення даних, блоки пам'яті готовності даних, логічні схеми готовності даних, реєстр зайнятості, логічну схему зайнятості, інформаційну шину, ланцюговий інтерфейс, блок буферної пам'яті функціональних параметрів, магазинну пам'ять [1].

15 Недоліками відомого пристрою обробки цифрової інформації є те, що в ньому відсутня можливість виділення нових образів від переключених або зашумлених відомих образів, крім того відомий пристрій накладає обмеження на послідовність пред'явлення навчальних вибірок.

Відомий пристрій гармонічний перцептрон, що містить три шари, причому другий шар нейроподібних елементів є гармонічними нейрон елементами, які містять групи синоптичних каналів синусоїдних функцій, суматори, лінії вхідної амплітудно-часової функції і сигналу збудження пристрою, вхід кожного з яких зв'язаний тільки з одним виходом сенсорного нейроелемента першого шару, виходи третього шару відображають класи належності вхідних сигналів, який відрізняється тим, що третій шар являє собою блок класифікації, який містить m лічильників, де m - кількість класів, m елементів I першої групи, m елементів I другої групи, m елементів III групи, елементи I, АБО, III, m RS-тригерів, при цьому входи віднімання лічильників з'єднані відповідно з виходами елементів I першої групи, перший вхід елемента I з'єднаний з входом синхронізації пристрою, а його другий вхід підключений до виходу елемента АБО і до других входів елементів I другої групи, виходи яких з'єднані відповідно з R-виходами RS-тригерів, вихід елемента I з'єднаний з першими входами елементів I першої групи, а виходи елементів III групи з'єднані з першими входами елементів I другої групи відповідно, інформаційні входи лічильників з'єднані відповідно з входами блока класифікації, інверсні виходи ознаки нуля лічильників підключені відповідно до других входів елементів I першої групи, входів елементів III групи, а також з'єднані з відповідними входами елемента АБО, вхід елемента III з'єднаний з виходом елемента АБО, а його вихід є виходом сигналу "Кінець" пристрою, вхід установа в початковий стан пристрою з'єднаний з входами скиду лічильників, а також з S-входами RS-тригерів, прямі виходи яких є виходами блока класифікації пристрою [2].

30 При порівнянні з першим аналогом, пристрій гармонічний перцептрон має можливість виділення нових образів, та не накладає обмежень на послідовність пред'явлення вхідних навчальних зображень. Однак у розглянутого аналога відсутня можливість запам'ятовування й відновлення з пам'яті пристрою зображень, які представлені у вигляді векторів з безперервними складовими. Крім цього у розглянутого пристрою відсутня можливість донавчання у процесі свого функціонування. Це пов'язано, в першу чергу, з тим, що запам'ятовування нових зображень, вимагає процесу повного перенавчання всіх вагових коефіцієнтів даного пристрою.

45 Найбільш близьким до заявленого пристрою є безперервна нейронна мережа АРТ-2, що містить шар сенсорних елементів, нейрони якого зв'язані парами двонаправлених зв'язків з відповідними їм нейронами інтерфейсного шару, елементи якого зв'язані бінарними односпрямованими вхідними зв'язками з першим нормалізуючим модулем і відповідними їм нейронами першого обробного шару, елементи якого, у свою чергу, зв'язані бінарними односпрямованими вхідними зв'язками з першим нормалізуючим модулем та бінарними односпрямованими вихідними зв'язками з відповідними їм нейронами другого обробного шару, які, у свою чергу, зв'язані бінарними односпрямованими вихідними зв'язками з другим нормалізуючим модулем і відповідними їм нейронами четвертого обробного шару, елементи якого зв'язані бінарними односпрямованими вихідними зв'язками з відповідними їм нейронами інтерфейсного та керуючого шарів, а також бінарними односпрямованими вхідними зв'язками з другим нормалізуючим модулем, і парами двоспрямованих зважених зв'язків з безперервними ваговими коефіцієнтами з нейронами проміжного шару, при цьому, кожний з нейронів керуючого шару зв'язаний бінарними односпрямованими вихідними зв'язками з керуючим нейроном, що, у свою чергу, зв'язаний бінарними односпрямованими вихідними зв'язками з кожним з нейронів розпізнавального шару, елементи якого зв'язані двоспрямованими зваженими зв'язками з безперервними ваговими коефіцієнтами з кожним з нейронів проміжного шару, відповідні 60 елементи якого зв'язані бінарними односпрямованими вихідними зв'язками з відповідними їм

нейронами керуючого шару елементів, третім нормалізуючим модулем, а також з відповідними їм нейронами третього обробного шару, елементи якого зв'язані бінарними односпрямованими вхідними зв'язками з третім нормалізуючим модулем, а також бінарними вихідними односпрямованими зв'язками з відповідними їм нейронами другого обробного шару [3].

5 При порівнянні з відомими аналогами пристрій-прототип (безперервна нейрона мережа АРТ-2) має можливість донавчання в процесі свого функціонування та здатна відокремлювати нові образи від перекручених або зашумлених відомих образів, а також має можливість запам'ятовування у своїй пам'яті зображення, представлених у вигляді векторів з бінарними складовими. Однак нормування компонент вхідного вектора, яке зложено у шарах безперервної
10 нейронної мережі відносить зображення однакові за формою але різних за амплітудою відносяться до одного типу зображень. Крім цього пристрій-прототип не в змозі зберігати у своїй пам'яті класи зображень.

Таким чином, недоліком прототипу є те, що він не в змозі зберігати у своїй пам'яті класи зображень та відносити до різних зображень процеси однакові за формою, але різні за
15 амплітудою.

В основу корисної моделі поставлено задачу розробки нейромережевого пристрою класифікації динамічних процесів, який не накладає обмеження на послідовність пред'явлення навчальних зображень, має можливість запам'ятовувати й відновляти з пам'яті пристрою класи зображень які представлені у вигляді векторів з безперервними складовими, відносить
20 зображення однакові за формою але різні за амплітудою до різних класів зображень, та має можливість донавчатися в процесі свого функціонування.

Поставлена задача вирішується завдяки тому, що пристрій класифікації динамічних процесів, створений на основі безперервних нейронних мереж адаптивної резонансної теорії, перебудовується шляхом введення в його структуру, шару блокуючих нейронів, які, з одного
25 боку, послідовно пов'язані між собою парами двонаправлених зв'язків, а з іншого боку, кожен з нейронів блокуючого шару елементів з'єднуються вихідними зв'язками з усіма нейронами сенсорного шару та вхідними зв'язками усіма нейронами спільного розпізнавального шару, елементи якого зв'язані однонаправленими вхідними зв'язками з відповідними їм елементами розпізнавальних шарів нейронів двох модулів, та спільним вирішуючим нейроном пристрою
30 класифікації динамічних процесів, два паралельно працюючих модуля представляють собою модифіковані безперервні нейронні мережі адаптивної резонансної теорії, кожен з яких включає в себе шар інтерфейсних елементів, нейрони якого зв'язані вхідними однонаправленими зв'язками з відповідним їм елементами сенсорного шару нейронів пристрою класифікації динамічних процесів та нормуючим нейроном модуля, який у свою чергу зв'язаний вхідними
35 зв'язками з кожним елементом сенсорного шару нейронів, та вихідними зв'язками з кожним з елементів у інтерфейсному шарі нейронів й шар розпізнавальних елементів, нейрони якого зв'язані бінарними однонаправленими вихідними зв'язками з відповідними їм розпізнавальними нейронами другого модуля пристрою, парами двонаправлених зв'язаних зв'язків з безперервними ваговими коефіцієнтами з кожним із елементів інтерфейсного шару модуля, та
40 бінарними однонаправленими вихідними зв'язками з відповідними їм спільними розпізнавальними нейронами пристрою класифікації динамічних процесів й вирішуючий нейрон модуля, який пов'язаний збуджуючими бінарними вихідними однонаправленими зв'язками з усіма елементами розпізнавального шару модуля нейронної мережі та спільними вирішуючим нейроном пристрою класифікації динамічних процесів, та гальмуючими бінарними вхідними
45 однонаправленими зв'язками з усіма елементами інтерфейсного шару нейронів модуля та спільний вирішуючий нейрон пристрою класифікації динамічних процесів, який в свою чергу, зв'язаний бінарними однонаправленими вихідними зв'язками з всіма елементами спільного розпізнавального шару нейронів пристрою класифікації динамічних процесів та бінарними однонаправленими вхідними зв'язками з вирішуючими нейронами кожного модуля пристрою
50 класифікації динамічних процесів.

Корисна модель ілюструється кресленням, на якому наведена архітектура нейромережевого пристрою класифікації динамічних процесів з можливістю блокування частини вхідного зображення.

Корисна модель представляє собою нейронну мережу, до складу якої входить сенсорний
55 шар елементів S_i^1 ($i=1, \dots, n$), який приймає вектор вхідного зображення. Елементи сенсорного S-шару передає вхідні зображення інтерфейсним нейронам Z_i^1, Z_i^2 ($i=1, \dots, n$), відповідно модулів M_1 та M_2 нейронної мережі. Елементи інтерфейсних шарів Z_i^1, Z_i^2 ($i=1, \dots, n$) пов'язані з елементами розпізнавальних шарів Y_j^1, Y_j^2 ($j=1, \dots, m$), відповідно модулів M_1, M_2 нейронної

мережі. З'єднання між елементами інтерфейсних та розпізнавальних шарів, здійснюється зваженими зв'язками з ваговими коефіцієнтами b_{ij}^1, b_{ij}^2 ($i=1, \dots, n; j=1, \dots, m$), відповідно для модулів M_1, M_2 , нейронної мережі. У модулях M_1, M_2 шари Y_j^1, Y_j^2 ($j=1, \dots, m$), є шарами нейронів, що змагаються, у яких кожний елемент може перебувати в одному із трьох станів: активному, неактивному, загальмованому. У результаті розпізнавання вхідних зображень у кожному модулі нейронної мережі залишається активним тільки один нейрон розпізнавального шару Y_j^1, Y_j^2 у відповідним їм шарах Y_j^1, Y_j^2 ($j=1, \dots, m$) модулів M_1, M_2 нейронної мережі. За допомогою вирішальних нейронів R_1, R_2 визначаються параметри подібності p_1, p_2 , відповідно для модулів M_1, M_2 нейронної мережі, а за допомогою нейрону R^1 , який входить до пристрою, визначається загальний параметр подібностей p^1 . Якщо вхідне зображення знаходиться на кордоні двох сусідніх класів зображень, то відбувається зниження параметра подібності для обох сусідніх класів зображень, в результаті чого вхідне зображення не може бути однозначно віднесена ні до одного з відомих мережі класів зображень. Для усунення цього недоліку нейрони Н-шару H_l ($l=1, \dots, k$) можуть блокувати частину нейронів сенсорного шару елементів.

Пристрій класифікації динамічних процесів з можливістю блокування частини вхідного зображення, побудована на нейронних мережах адаптивної резонансної теорії, орієнтована на роботу з безперервними вхідними зображеннями, тому всі ваги зв'язків $b_{ij}^1, b_{ij}^2, t_{ji}^1, t_{ji}^2$, ($i=1, \dots, n; j=1, \dots, m$) модулів M_1, M_2 нейронної мережі, є безперервними.

Процес навчання нової нейронної мережі вважається закінченим, коли по закінченню чергової епохи навчання відсутні зміни вагових коефіцієнтів: b_{ij}^1, b_{ij}^2 ($i=1, \dots, n; j=1, \dots, m$) і t_{ji}^1, t_{ji}^2 ($j=1, \dots, m; i=1, \dots, n$), відповідно ваг зв'язків від елементів інтерфейсного шару до елементів розпізнавального шару, і ваг зв'язків від елементів розпізнавального шару, до елементів інтерфейсного шару нейронної мережі.

В режимі розпізнавання вхідних зображень n -мірні вхідні вектора можуть подаватися на вхід S_i^1 ($i=1, \dots, n$) елементів нейронної мережі. Нейрон-переможець X_j^1 активізується сигналами від пари нейронів розпізнавальних шарів, відповідно модулів M_1, M_2 . Нейрон-переможець X_j^1 , визначається сигналами нейронів-переможців Y_j^1 й Y_j^2 розпізнавальних шарів Y_j^1, Y_j^2 ($j=1, \dots, m$), відповідно модулів M_1, M_2 . Нейрон-переможець Y_j^1 , вибирається в результаті змагання нейронів розпізнавальних шарів Y_j^1 ($j=1, \dots, m$), модуля M_1 нейронної мережі. Нейрон-переможець Y_j^2 модуля M_2 , вибирається не в результаті змагання нейронів розпізнавальних шарів Y_j^2 ($j=1, \dots, m$), модуля M_2 , а сигналами з відповідного Y_j^1 нейрона-переможця модуля M_1 , після його перевірки за величиною параметру p_1 подібності. У зв'язку із цим введені зв'язки між парами Y -нейронів Y_j^1, Y_j^2 ($j=1, \dots, m$) нейронної мережі. Виділені в такий спосіб нейрони Y_j^2 модуля M_2 , також перевіряються по величині параметрів подібності p_2 . Якщо нейрони Y_j^2 витримують цю перевірку та витримують наступну перевірку за величиною параметра подібності й пари нейронів Y_j^1, Y_j^2 , нейронної мережі, то на виході нейрона X_j^1 , з'являється одиничний сигнал, що свідчить про розпізнавання вхідного зображення. Якщо нейрони Y_j^2 або пара елементів Y_j^1, Y_j^2 нейронної мережі, не витримують перевірку за величиною параметрів подібності, то нейрон Y_j^1 , модуля M_1 , загальмовується ($U_{\text{вих}Y_j^1} = -1$), а нейрон Y_j^2 , модуля M_2 , переводяться в неактивний стан ($U_{\text{вих}Y_j^2} = 0$).

Нейрони Н-шару мають структуру ланцюга й призначені для блокування вхідних нейронів сенсорного шару за наступним алгоритмом: у разі, коли вхідне зображення не резонує з жодним з відомих зображень, тобто в X^1 -шарі всі нейрони загальмовані, активізується перший нейрон Н-шару, який блокує частину поля вхідних нейронів сенсорного шару, які, в свою чергу, містять

інформацію про початкову ділянку процесів, що ідентифікуються. Якщо й після блокування першої частини сенсорних нейронів розпізнати вхідне зображення не вдається, то активізується наступний нейрон N-шару й блокується додаткова частина сенсорних нейронів. Цикл активізації блокуючих нейронів N-шару продовжується до тих пір, поки або не з'явиться активний нейрон у X¹-шарі, тобто динамічний процес буде розпізнано, або буде заблокована максимально допустима частина нейронів сенсорного шару елементів. Блокування частини поля нейронів сенсорного шару дає можливість не використовувати початкові точки перехідного процесу, тобто усувається негативний вплив накопиченої передісторії, коли спостерігалися коливання між класами процесів, а розпізнавання динамічного режиму проводиться тільки за значенням нейронів сенсорного шару, що залишилися не загальмованими.

Нейромережевий пристрій класифікації динамічних процесів, на основі нейронних мереж адаптивної резонансної теорії, функціонує відповідно до двох алгоритмів: навчання й розпізнавання.

В алгоритмах прийняті наступні позначення:

m - максимальне число пар асоціативних зображень, що запам'ятовують;

n й k - число компонентів у вхідному векторі (зображенні) відповідно для модуля M_1 й M_2 ;

p^1 - параметр подібності;

q - число пар асоціативних зображень, що запам'ятовують;

p_1, p_2 - параметри подібності між вхідним вектором і векторами, що зберігаються у вагах

зв'язків переміжних нейронів, відповідно γ_1^1, γ_2^2 модулів M_1, M_2 нейронної мережі; діапазон припустимих значень параметрів подібності: $0 < p_1, p_2 \leq 1$;

b_{ij}^1, b_{ij}^2 ($i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, m$) - ваги зв'язків від елементів інтерфейсного шару до елементів розпізнавального шару, відповідно модулів M_1, M_2 ; початкове значення, що рекомендує, при навчанні $b_{ij}^1 = b_{ij}^2 = 1$ ($i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, m$);

t_{ji}^1, t_{ji}^2 ($j = 1, \dots, m; i = 1, \dots, n$) - ваги зв'язків від елементів розпізнавального шару, до елементів інтерфейсного шару, відповідно модулів M_1, M_2 ; початкове значення, що рекомендує, при навчанні $t_{ji}^1 = t_{ji}^2 = 1$ ($j = 1, \dots, m; i = 1, \dots, n$);

$U_{вихS_i}$ ($i = 1, \dots, n; l = 1, \dots, k$) - вихідний сигнал елементів S-шару нейронної мережі;

$U_{вихZ_i^p}, U_{вихX_i^p}$ ($p = 1, 2; i = 1, \dots, n$) - вхідні й вихідні сигнали елементів інтерфейсного шару, відповідно модулів M_1, M_2 нейронної мережі;

$U_{вихY_j^1}, U_{вихY_j^2}$ ($j = 1, \dots, m$) - вихідні сигнали розпізнавальних елементів, відповідно модулів M_1, M_2 нейронної мережі;

$U_{вихX_j^1}$ ($j = 1, \dots, m$) - вихідний сигнал розпізнавальних елементів нейронної мережі;

$S^{u1} = (S_1^1, \dots, S_n^1)$ - бінарні вхідні вектора;

$\|Y\|$ - норма вектора Y ;

$I_{wmin}^l(t_i), I_{wmax}^l(t_i)$ ($l = 1, \dots, L; w = 1, \dots, K; t_i = 0, 1, 2, \dots$) - відповідно мінімальне й максимальне значення змінної $I_w(t_i)$ в l -м ($l = 1, \dots, L$) режимі функціонування об'єкта у множині $\{I_{w1}^l(t_i), I_{w2}^l(t_i), \dots, I_{wM_1}^l(t_i)\}$, навчальних процесів у моменти часу t_i .

K - число процесів у розпізнаваному динамічному режимі;

Алгоритм навчання нейромережевого пристрою класифікації динамічних процесів на основі безперервних нейронних мереж адаптивної резонансної теорії, припускає виконання наступних кроків:

Крок 1. Ініціюються параметри подібності й всі ваги зв'язків асоціативної нейронної мережі.

Крок 2. Задаються нульові вихідні сигнали всіх розпізнавальних елементів модулів M_1, M_2

нейронної мережі:

$U_{вихY_j^p} = 0; U_{вихX_j^1} = 0; p = 1, 2; j = 1, \dots, m$.

Крок 3. Для кожного навчальної множини M_l^U ($l = 1, \dots, L$) вхідних зображень, що ставляться до одного режиму функціонування об'єкта, виконуються кроки 4-17.

Крок 4. Для кожного вхідного зображення, що ставиться до одного режиму функціонування об'єкта, визначається безліч верхніх $I_{wmax}^l(t_i)$ й нижніх $I_{wmin}^l(t_i)$ огинаючих для кожного з K

5 процесів.

$$I_{wmax}^l = \max(I_{w1}^l(t_i), I_{w2}^l(t_i), \dots, I_{wM_l}^l(t_i)), \quad l = 1, \dots, L; \quad w = 1, \dots, K;$$

$$t_i = 0, 1, 2, \dots, T = n - 1,$$

$$I_{qmin}^l = \min(I_{q1}^l(t_i), I_{q2}^l(t_i), \dots, I_{qM_l}^l(t_i)), \quad l = 1, \dots, L; \quad q = 1, \dots, K;$$

$$t_i = 0, 1, 2, \dots, T = n - 1.$$

10 Отриманими огинаючими активізуються нейрони сенсорного шару елементів S_i^1 ($i = 1, \dots, n$):

$$U_{вихS_i^1} = S_{pi}^{u1}; \quad i = 1, \dots, n;$$

Крок 5. Для кожної із огинаючих виконуються кроки алгоритму 6-17.

Крок 6. Формуються вхідні сигнали елементів інтерфейсних шарів Z_i^1, Z_i^2 ($i = 1, \dots, n$) модулів M_1, M_2 нейронної мережі.

15 Крок 7. Формуються вихідні сигнали елементів інтерфейсних шарів Z_i^1, Z_i^2 ($i = 1, \dots, n$) модулів M_1, M_2 нейронної мережі:

$$U_{вихZ_i^p} = U_{вхZ_i^p}; \quad p = 1, 2; \quad i = 1, \dots, n.$$

Крок 8. Для всіх незагальмованих розпізнавальних Y -нейронів, модулів M_1, M_2 нейронної мережі, розраховуються їхні вихідні сигнали:

$$20 \quad U_{вихY_j^k} = \sum_{i=1}^n b_{ij}^k U_{вихZ_i^k}, \quad \text{якщо } U_{вихY_j^k} \neq -1, \quad k = 1, 2; \quad j = 1, \dots, m;$$

Крок 9. Поки не знайдені нейрони-переможці розпізнавальних шарів Y_j^1, Y_j^2 ($j = 1, \dots, m$), відповідно модулів M_1, M_2 , вагові вектори які відповідно до заданих значень параметрів подібності p_1, p_2 відповідають верхнім й нижнім огинаючим вхідного вектора S_r^1 , виконуються кроки 10-17.

25 Крок 10. В Y -шарах модулів M_1, M_2 визначаються нейрони відповідно Y_j^1, Y_j^2 , що задовольняють умовам:

$$U_{вихY_j^k} \geq U_{вихY_j^k}, \quad k = 1, 2; \quad j = 1, \dots, m;$$

30 Якщо елементів Y_j^1, Y_j^2 у Y -шарах модулів M_1, M_2 є декілька, то вибираються елементи з найменшими індексами. Якщо знайдений нейрон-переможець є загальмованим, то вхідне зображення для даного модуля не може бути запам'ятовано.

Крок 11. Вихідним сигналам нейронів-переможців Y_j^1, Y_j^2 , привласнюються одиничні значення: $U_{вихY_j^1} = U_{вихY_j^2} = 1$, а всі інші незагальмовані нейрони розпізнавальних шарів модулів M_1, M_2 переводяться в неактивний стан:

$$U_{вихY_j^1} = U_{вихY_j^2} = 0, \quad j = 1, \dots, m, \quad j \neq J.$$

35 Крок 12. Розраховуються вихідні сигнали елементів інтерфейсних шарів Z_i^1, Z_i^2 ($i = 1, \dots, n$) відповідно модулів M_1, M_2 нейронної мережі:

$$U_{вихZ_i^1} = U_{вихY_j^1} t_{ji}^1, \quad U_{вихZ_i^2} = U_{вихY_j^2} t_{ji}^2, \quad i = 1, \dots, n;$$

Крок 13. Визначаються параметри подібності p_1^1, p_2^1 , відповідно для модулів M_1, M_2 нейронної мережі:

$$40 \quad p_1^1 = \frac{\|P_1^1(k, t_i)\|}{K(T+1)}, \quad p_2^1 = \frac{\|P_2^1(k, t_i)\|}{K(T+1)},$$

де $P_1^l(k, t_i)$ й $P_2^l(k, t_i)$ - функції, що відповідають l-му динамічному режиму, розпізнавальному по відповідно до максимальним $I_{kmax}^l(t_i)$ й мінімальним $I_{kmin}^l(t_i)$ значенням;

$$P_1^l(w, t_i) = \begin{cases} 1, \text{если } I_{wmax}^l(t_i) \geq I_w^l(t_i), w = 1, \dots, K, t_i = 0, 1, \dots, T = n - 1, \\ 0, \text{если } I_{wmax}^l(t_i) < I_w^l(t_i), w = 1, \dots, K, t_i = 0, 1, \dots, T = n - 1, \end{cases}$$

$$P_2^l(w, t_i) = \begin{cases} 1, \text{если } I_{wmin}^l(t_i) \leq I_w^l(t_i), w = 1, \dots, K, t_i = 0, 1, \dots, T = n - 1, \\ 0, \text{если } I_{wmin}^l(t_i) > I_w^l(t_i), w = 1, \dots, K, t_i = 0, 1, \dots, T = n - 1, \end{cases}$$

5 $\|P_1^l(k, t_i)\|$ й $\|P_2^l(k, t_i)\|$ - норми функцій $P_1^l(k, t_i)$ і $P_2^l(k, t_i)$, які обчислюються співвідношеннями:

$$\|P_1^l(k, t_i)\| = \sum_{k=1}^K \sum_{t_i=0}^T P_1^l(k, t_i), \quad \|P_2^l(k, t_i)\| = \sum_{k=1}^K \sum_{t_i=0}^T P_2^l(k, t_i),$$

де K - число процесів у розпізнаваних режимах функціонування об'єкта.

Крок 14. Перевіряється по обчислених параметрах подібності p_1 , p_2 правильність вибору нейронів-переможців γ_j^1 , γ_j^2 . Якщо $p_1 < p^1$, то умова не виконується, елемент γ_j^1 загальмовується: $U_{вих\gamma_j^1} = -1$; здійснюється перехід до кроку 10 алгоритму. Якщо $p_1 \geq p^1$, то умова, що підтверджує правильність вибору нейрона-переможця γ_j^1 виконується й здійснюється перехід до наступного кроку алгоритму. Аналогічним образом проводиться перевірка правильності вибору нейронів-переможців γ_j^2 , у відповідним їм шарах γ_j^2 , ($j = 1, \dots, m$) модуля M_2 нейронної мережі.

15 Крок 15. Проводиться перевірка правильності вибору нейронів-переможців по загальних параметрах подібності p^1 нейронної мережі. Якщо $p^1 \leq p_1 + p_2 - 1$, то підтверджується правильність вибору нейронів-переможців γ_j^1 , γ_j^2 відповідно для модулів M_1 , M_2 нейронної мережі та здійснюється перехід до наступного кроку алгоритму. Якщо умова не виконується, то здійснюється перехід до кроку 10 алгоритму.

20 Крок 16. Адаптуються ваги зв'язків елементів γ_j^1 , γ_j^2 відповідно для модулів M_1 , M_2 нейронної мережі:

$$b_{iJ}^1 = U_{вхZ_i^1}, \quad t_{ji}^1 = U_{вхZ_i^1}, \quad b_{iJ}^2 = U_{вхZ_i^2}, \quad t_{ji}^2 = U_{вхZ_i^2}, \quad i = 1, \dots, n;$$

Крок 17. Пари нейронів-переможців γ_j^1 , γ_j^2 активізують відповідні їм елементи розпізнавального шару X_j^1 .

25 Крок 18. Останов.

Алгоритм роботи, нейромережевого пристрою класифікації динамічних процесів побудованої на основі безперервних нейронних мереж адаптивної резонансної теорії, припускає виконання наступних кроків:

Крок 1. Ініціюються параметри подібності й всі ваги зв'язків асоціативної нейронної мережі.

30 Крок 2. Задаються нульові вихідні сигнали всіх розпізнавальних елементів модулів M_1 , M_2 нейронної мережі:

$$U_{вих\gamma_j^p} = 0; \quad U_{вихX_j^1} = 0; \quad p = 1, 2; \quad j = 1, \dots, m.$$

Крок 3. Для кожного навчальної множини M_l^U ($l = 1, \dots, L$) вхідних зображень, що ставляться до одного режиму функціонування об'єкта, виконуються кроки 4-16.

35 Крок 4. Для кожного вхідного зображення, що ставиться до одного режиму функціонування об'єкта, визначається безліч верхніх $I_{wmax}^l(t_i)$ й нижніх $I_{wmin}^l(t_i)$ огинаючих для кожного з K процесів.

$$I_{wmax}^l = \max(I_{w1}^l(t_i), I_{w2}^l(t_i), \dots, I_{wM_l}^l(t_i)), \quad l = 1, \dots, L; \quad w = 1, \dots, K;$$

$$t_i = 0, 1, 2, \dots, T = n - 1,$$

$$I_{q\min}^l = \min(I_{q1}^l(t_i), I_{q2}^l(t_i), \dots, I_{qM_1}^l(t_i)), \quad l = 1, \dots, L; \quad q = 1, \dots, K;$$

$$t_i = 0, 1, 2, \dots, T = n - 1.$$

Отриманими огинаючими активізуються нейрони сенсорного шару елементів S_i^1 ($i = 1, \dots, n$):

$$U_{\text{вих}S_i^1} = S_i^{u1}; \quad i = 1, \dots, n;$$

5 Крок 5. Для кожної із огинаючих виконуються кроки алгоритму 6-16.

Крок 6. Формуються вхідні сигнали елементів інтерфейсних шарів Z_i^1, Z_i^2 ($i = 1, \dots, n$) модулів M_1, M_2 нейронної мережі.

Крок 7. Формуються вихідні сигнали елементів інтерфейсних шарів Z_i^1, Z_i^2 ($i = 1, \dots, n$) модулів M_1, M_2 нейронної мережі:

$$10 \quad U_{\text{вих}Z_i^p} = U_{\text{вх}Z_i^p}; \quad p = 1, 2; \quad i = 1, \dots, n.$$

Крок 8. Для всіх незагальмованих розпізнавальних Y -нейронів, модулів M_1, M_2 нейронної мережі, розраховуються їхні вихідні сигнали:

$$U_{\text{вих}Y_j^k} = \sum_{i=1}^n b_{ij}^k U_{\text{вих}Z_i^k}, \quad \text{якщо } U_{\text{вих}Y_j^k} \neq -1, \quad k = 1, 2; \quad j = 1, \dots, m;$$

15 Крок 9. Поки не знайдені нейрони-переможці розпізнавальних шарів Y_j^1, Y_j^2 ($j = 1, \dots, m$), відповідно модулів M_1, M_2 , вагові вектори, які відповідно до заданих значень параметрів подібності p_1, p_2 відповідають верхнім й нижнім огинаючим вхідного вектора S_r^1 , виконуються кроки 10-16.

Крок 10. В Y -шарах модулів M_1, M_2 визначаються нейрони відповідно Y_j^1, Y_j^2 , що задовольняють умовам:

$$20 \quad U_{\text{вих}Y_j^k} \geq U_{\text{вих}Y_i^k}, \quad k = 1, 2; \quad j = 1, \dots, m;$$

Якщо елементів Y_j^1, Y_j^2 у Y -шарах модулів M_1, M_2 є декілька, то вибираються елементи з найменшими індексами. Якщо знайдений нейрон-переможець є загальмованим, то вхідне зображення для даного модуля не може бути запам'ятовано.

25 Крок 11. Вихідним сигналам нейронів-переможців переможців Y_j^1, Y_j^2 , привласнюються одиничні значення: $U_{\text{вих}Y_j^1} = U_{\text{вих}Y_j^2} = 1$, а всі інші незагальмовані нейрони розпізнавальних шарів модулів M_1, M_2 переводяться в неактивний стан:

$$U_{\text{вих}Y_j^k} = U_{\text{вих}Y_j^k} = 0, \quad j = 1, \dots, m, \quad j \neq J.$$

Крок 12. Розраховуються вихідні сигнали елементів інтерфейсних шарів Z_i^1, Z_i^2 ($i = 1, \dots, n$) відповідно модулів M_1, M_2 нейронної мережі:

$$30 \quad U_{\text{вих}Z_i^1} = U_{\text{вих}Y_j^1} t_{ji}^1, \quad U_{\text{вих}Z_i^2} = U_{\text{вих}Y_j^2} t_{ji}^2, \quad i = 1, \dots, n;$$

Крок 13. Визначаються параметри подібності p_1^1, p_2^1 , відповідно для модулів M_1, M_2 нейронної мережі:

$$p_1^1 = \frac{\|P_1^1(k, t_i)\|}{K(T+1)}, \quad p_2^1 = \frac{\|P_2^1(k, t_i)\|}{K(T+1)},$$

35 де $P_1^1(k, t_i)$ й $P_2^1(k, t_i)$ - функції, що відповідають l -му динамічному режиму, розпізнавальному по відповідно до максимальним $I_{k\max}^l(t_i)$ й мінімальним $I_{k\min}^l(t_i)$ значенням;

$$P_1^1(w, t_i) = \begin{cases} 1, & \text{если } I_{w\max}^l(t_i) \geq I_w^l(t_i), \quad w = 1, \dots, K, \quad t_i = 0, 1, \dots, T = n - 1, \\ 0, & \text{если } I_{w\max}^l(t_i) < I_w^l(t_i), \quad w = 1, \dots, K, \quad t_i = 0, 1, \dots, T = n - 1, \end{cases}$$

$$P_2^1(w, t_i) = \begin{cases} 1, & \text{если } I_{w\min}^l(t_i) \leq I_w^l(t_i), \quad w = 1, \dots, K, \quad t_i = 0, 1, \dots, T = n - 1, \\ 0, & \text{если } I_{w\min}^l(t_i) > I_w^l(t_i), \quad w = 1, \dots, K, \quad t_i = 0, 1, \dots, T = n - 1, \end{cases}$$

$\|P_1^l(k, t_i)\|$ й $\|P_2^l(k, t_i)\|$ - норми функцій $P_1^l(k, t_i)$ і $P_2^l(k, t_i)$, які обчислюються співвідношеннями:

$$\|P_1^l(k, t_i)\| = \sum_{k=1t_i=0}^K \sum_{t_i=0}^T P_1^l(k, t_i), \quad \|P_2^l(k, t_i)\| = \sum_{k=1t_i=0}^K \sum_{t_i=0}^T P_2^l(k, t_i),$$

де K - число процесів у розпізнаваних режимах функціонування об'єкта.

Крок 14. Перевіряється по обчислених параметрах подібності p_1 , p_2 правильність вибору

5 нейронів-переможців Y_j^1 , Y_j^2 . Якщо $p_1 < p^1$, то умова не виконується, елемент Y_j^1 загальмовується: $U_{\text{вих}Y_j^1} = -1$; здійснюється перехід до кроку 10 алгоритму. Якщо $p_1 \geq p^1$, то

умова, що підтверджує правильність вибору нейрона-переможця Y_j^1 виконується й здійснюється перехід до наступного кроку алгоритму. Аналогічним образом проводиться перевірка правильності вибору нейронів-переможців Y_j^2 , у відповідним їм шарах Y_j^2 , ($j = 1, \dots, m$)

10 модуля M_2 нейронної мережі.

Крок 15. Проводиться перевірка правильності вибору нейронів-переможців по загальних параметрах подібності p^1 нейронної мережі. Якщо $p^1 \leq p_1 + p_2 - 1$, то підтверджується правильність вибору нейронів-переможців Y_j^1 , Y_j^2 відповідно для модулів M_1 , M_2 нейронної мережі та здійснюється перехід до наступного кроку алгоритму. Якщо умова не виконується, то здійснюється перехід до кроку 10 алгоритму.

15 Якщо в X-шарі всі нейрони загальмовані, то активізується перший нейрон N-шару, який блокує частину вхідних нейронів сенсорного шару, які містять інформацію про початковому ділянці ідентифікованих процесів. Якщо й після блокування першої частини вхідних нейронів сенсорного шару розпізнати вхідне зображення не вдається, то активізується наступний нейрон N-шару й блокується додаткова частина вхідних нейронів сенсорного шару. Цикл активізації додаткових керівних нейронів N-шару продовжується до тих пір, поки або не з'явиться активний нейрон в X-шарі.

Крок 16. Пари нейронів-переможців Y_j^1 , Y_j^2 активізують відповідні їм елементи розпізнавального шару X_j^1 .

25 Крок 17. Останов.

Таким чином розроблено нейромережевий пристрій класифікації динамічних процесів, який не накладає обмеження на послідовність пред'явлення навчальних зображень, має можливість запам'ятовувати й відновляти з пам'яті пристрою класи зображень які представлені у вигляді векторів з безперервними складовими, відносить зображення однакові за формою але різні за амплітудою до різних класів зображень, та має можливість донавчатися в процесі свого функціонування.

Джерела інформації:

1. Патент Російської Федерації на корисну модель № 2176815, кл. G06F 15/00, 2001 р.

2. Патент України на корисну модель № у 2010 08417, кл. G06G 7/00, 2010 р.

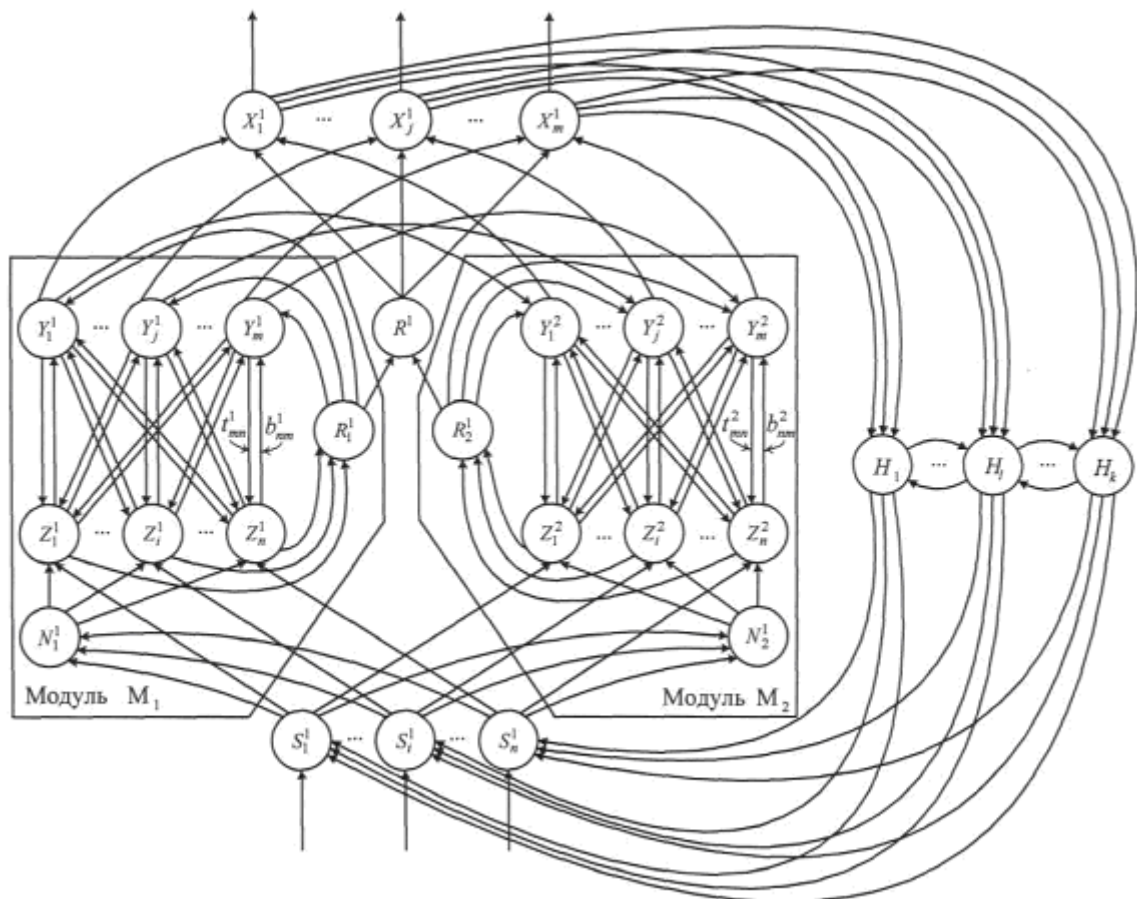
35 3. Дмитриенко В.Д. Вычислительное устройство для распознавания режимов функционирования динамических объектов / В.Д. Дмитриенко, А.Ю. Заковоротный, В.М. Терехина // Вісник НТУ "ХПІ", Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. - Харків: НТУ "ХПІ". - 2004. - № 34. - С. 70-81.

40

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Нейромережевий пристрій класифікації динамічних процесів з можливістю блокування частини вхідного зображення, створений на основі безперервних нейронних мереж адаптивної резонансної теорії, що складається з сенсорного шару нейронів, який **відрізняється** тим, що в його склад введено шар блокуючих нейронів, які, з одного боку, послідовно пов'язані між собою парами двонаправленими зв'язками, а з іншого боку, кожен з нейронів блокуючого шару елементами з'єднуються вихідними зв'язками з усіма нейронами сенсорного шару та вхідними зв'язками усіма нейронами спільного розпізнавального шару, елементи якого зв'язані однонаправленими вхідними зв'язками з відповідними їм елементами розпізнавальних шарів нейронів двох модулів, та спільним вирішуючим нейроном пристрою класифікації динамічних процесів, два паралельно працюючих модуля являють собою модифіковані безперервні нейронні мережі

адаптивної резонансної теорії, кожен з яких включає в себе шар інтерфейсних елементів, нейрони якого зв'язані вхідними однонаправленими зв'язками з відповідним їм елементами сенсорного шару нейронів пристрою класифікації динамічних процесів та нормуючим нейроном модуля, який у свою чергу зв'язаний вхідними зв'язками з кожним елементом сенсорного шару нейронів, та вихідними зв'язками з кожним з елементів у інтерфейсному шарі нейронів й шар розпізнавальних елементів, нейрони якого зв'язані бінарними однонаправленими вихідними зв'язками з відповідними їм розпізнавальними нейронами другого модуля пристрою, парами двонаправлених зважених зв'язків з безперервними ваговими коефіцієнтами з кожним із елементів інтерфейсного шару модуля, та бінарними однонаправленими вихідними зв'язками з відповідними їм спільними розпізнавальними нейронам пристрою класифікації динамічних процесів й вирішальний нейрон модуля, який пов'язаний збуджуючими бінарними вихідними однонаправленими зв'язками з усіма елементами розпізнавального шару модуля нейронної мережі та спільними вирішальними нейронами пристрою класифікації динамічних процесів, та гальмуючими бінарними вхідними однонаправленими зв'язками з усіма елементами інтерфейсного шару нейронів модуля та спільний вирішальний нейрон пристрою класифікації динамічних процесів, який в свою чергу, зв'язаний бінарними однонаправленими вихідними зв'язками з усіма елементами спільного розпізнавального шару нейронів пристрою класифікації динамічних процесів та бінарними однонаправленими вхідними зв'язками з вирішальними нейронами кожного модуля пристрою класифікації динамічних процесів.



Комп'ютерна верстка Л. Ціхановська

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут промислової власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601