



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **93337** (13) **U**  
(51) МПК (2014.01)  
**G06G 7/00**

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
УКРАЇНИ

## (12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

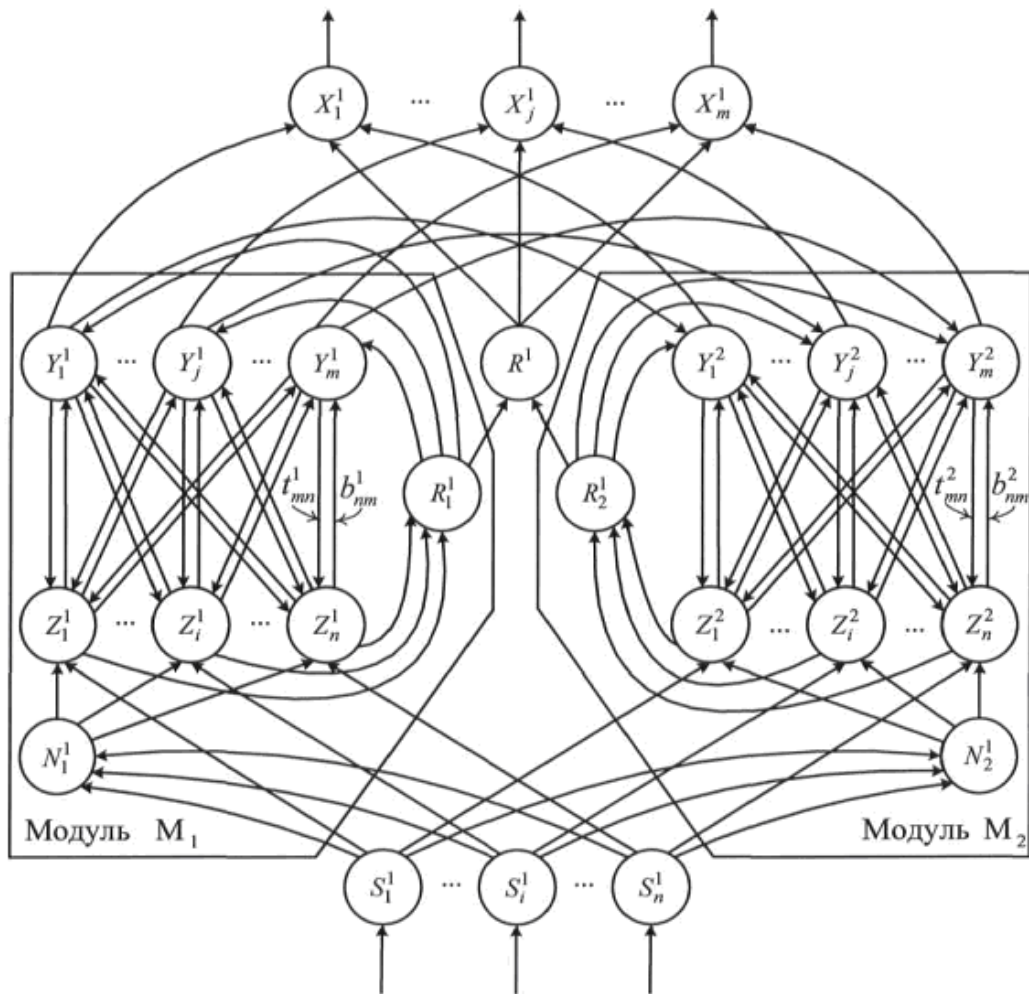
(21) Номер заявки: <b>u 2014 04567</b>	(72) Винахідник(и): <b>Дмитрієнко Валерій Дмитрович (UA), Заковортний Олександр Юрійович (UA)</b>
(22) Дата подання заявки: <b>28.04.2014</b>	(73) Власник(и): <b>НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ "ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ", вул. Фрунзе, 21, м. Харків, 61002 (UA)</b>
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: <b>25.09.2014</b>	
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: <b>25.09.2014, Бюл.№ 18</b>	

## (54) НЕЙРОМЕРЕЖЕВИЙ ПРИСТРІЙ КЛАСИФІКАЦІЇ ДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

### (57) Реферат:

Нейромережевий пристрій класифікації динамічних процесів складається з двох паралельно працюючих модулів, кожен з яких являє собою модифіковану безперервну нейронну мережу адаптивної резонансної теорії. Принцип роботи пристрою полягає у тому, що кожен клас зображень, що зберігається в пам'яті пристрою, представляється у вигляді двох структур: верхньої та нижньої обвідної, які, в свою чергу, зберігаються у відповідних модулях нейромережевого пристрою, при цьому розпізнавання вхідного зображення проходить завдяки його порівнянню з обвідними, що описують конкретний клас зображень.

UA 93337 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 використаною 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 перекручених 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, третій шар являє собою блок класифікації, який містить  $m$  лічильників, де  $m$  - кількість класів,  $m$  елементів I першої групи,  $m$  елементів II другої групи,  $m$  елементів III групи, елементи I, ABO, 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 ABO і до других входів елементів I другої групи, виходи яких з'єднані відповідно з R-входами 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 ABO, вхід елемента III з'єднаний з виходом елемента ABO, а його вихід є виходом сигналу "Кінець" пристрою, вхід установлення 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].

35 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 того 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.

Найбільш близьким до заявленого пристрою є безперервна нейронна мережа АРТ-2, що містить у собі 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 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 зображень, представлених у вигляді векторів з бінарними складовими. Однак нормування компонент вхідного вектора, яке складене у шарах  
10 безперервної нейронної мережі, відносить зображення, однакові за формою, але різні за амплітудою, до одного типу зображень. Крім того, пристрій-прототип не в змозі зберігати у своїй пам'яті класи зображень.

15 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 амплітудою.

В основу корисної моделі поставлена задача 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 спільних розпізнавальних нейронів, елементи якого зв'язані однонаправленими вхідними зв'язками з відповідними їм елементами  
25 розпізнавальних шарів нейронів двох модулів та спільним вирішуючим нейроном пристрою класифікації динамічних процесів, два паралельно працюючі модулі 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 відповідними 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, а 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  
35 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 нейронами пристрою класифікації динамічних процесів, й вирішуючий нейрон модуля, який зв'язаний збуджуючими бінарними вихідними однонаправленими зв'язками з усіма елементами розпізнавального шару модуля нейронної мережі та спільним вирішуючим  
40 нейроном пристрою класифікації динамічних процесів та гальмуючими бінарними вхідними 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 усіма елементами спільного розпізнавального шару нейронів пристрою класифікації динамічних процесів та бінарними однонаправленими вхідними зв'язками з вирішуючими нейронами кожного модуля пристрою класифікації динамічних процесів.

Корисна модель ілюструється кресленням, на якому наведена архітектура нейромережевого пристрою класифікації динамічних процесів.

50 Пристрій являє собою нейронну мережу, до складу якої входить сенсорний шар елементів  $S_i^1$  ( $i = 1, \dots, n$ ), який приймає вектор вхідного зображення. Елементи сенсорного  $S$ -шару передають 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  $Z_i^1, Z_i^2$  ( $i = 1, \dots, n$ ) зв'язані з елементами розпізнавальних шарів  $Y_j^1, Y_j^2$  ( $j = 1, \dots, m$ ), відповідно модулів  $M_1, M_2$  нейронної  
55 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 відповідних 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  $p^1$ .

10 Пристрій класифікації динамічних процесів побудований на нейронних мережах адаптивної резонансної теорії, орієнтований 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 закінченні 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 параметра  $p_1$  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 ( $U_{\text{вих}Y_j^2} = 0$ ).

35 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;

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

$\rho^1$  - параметр подібності;

$Q$  - число пар асоціативних зображень, що запам'ятовують;

$\rho_1, \rho_2$  - параметри подібності між вхідним вектором і векторами, що зберігаються у вагах зв'язків нейронів, що перемогли, відповідно  $Y_j^1, Y_j^2$  модулів  $M_1, M_2$  нейронної мережі;

5 діапазон припустимих значень параметрів подібності:  $0 < \rho_1, \rho_2 \leq 1$ ;

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

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

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

$U_{\text{вх}Z_i^p}, U_{\text{вих}Z_i^p}$  ( $p = 1, 2; i = 1, \dots, n$ ) - вхідні й вихідні сигнали елементів інтерфейсного шару,

відповідно модулів  $M_1, M_2$  нейронної мережі;

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

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

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

$\|Y\|$  - норма вектора  $Y$ ;

20  $I_{w_{\min}}^l(t_i), I_{w_{\max}}^l(t_i)$  ( $l = 1, \dots, L; w = 1, \dots, K; t_i = 0, 1, 2, \dots$ ) - відповідно мінімальне й максимальне значення змінної  $I_w^l(t_i)$  в  $l$ -м ( $l = 1, \dots, L$ ) режимі функціонування об'єкта у множині

$\{I_{w_1}^l(t_i), I_{w_2}^l(t_i), \dots, I_{w_m}^l(t_i)\}$ ,

навчальних процесів у моменти часу  $t_i$ ;

$K$  - число процесів у розпізнаваному динамічному режимі;

25 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.

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

$U_{\text{вих}Y_j^1} = 0; U_{\text{вих}X_j^1} = 0; p = 1, 2; j = 1, \dots, m.$

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

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

$I_{w_{\max}}^l = \max(I_{w_1}^l(t_i), I_{w_2}^l(t_i), \dots, I_{w_m}^l(t_i)), l = 1, \dots, L; w = 1, \dots, K;$

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

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

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

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

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

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

- 5 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:

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

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

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

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

- 15 подібності  $p_1, p_2$  відповідають верхнім й нижнім обвідним вхідного вектора  $S_r^1$ , виконуються кроки 10-17.

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

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

- 20 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:  $U_{\text{вих.}Y_j^1} = U_{\text{вих.}Y_j^2} = 1$ , а всі інші незагальмовані нейрони розпізнавальних шарів

- 25 модулів  $M_1, M_2$  переводяться в неактивний стан:

$$U_{\text{вих.}Y_j^1} = U_{\text{вих.}Y_j^2} = 0, j = 1, \dots, m, j \neq J.$$

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:

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

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

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

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 максимальних  $l_{k\max}^l(t_i)$  й мінімальних  $l_{k\min}^l(t_i)$  значеннях;

- 35 
$$P_1^l(w, t_i) = \begin{cases} 1, \text{ якщо } l_{w\max}^l(t_i) \geq l_w^l(t_i), w = 1, \dots, K, t_i = 0, 1, \dots, T = n - 1, \\ 0, \text{ якщо } l_{w\max}^l(t_i) < l_w^l(t_i), w = 1, \dots, K, t_i = 0, 1, \dots, T = n - 1, \end{cases}$$

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

$\|P_1^l(k, t_i)\|$  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:

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

5 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  $Y_j^1, Y_j^2$ . 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 чином проводиться перевірка правильності вибору нейронів-переможців  $Y_j^2$ , у відповідним їм шарах  $Y_j^2$ , ( $j = 1, \dots, m$ ) 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 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.

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

20  $b_{ij}^1 = U_{\text{вх. } Z_i^1}, t_{ji}^1 = U_{\text{вх. } Z_i^1}, b_{ij}^2 = U_{\text{вх. } Z_i^2}, t_{ji}^2 = U_{\text{вх. } Z_i^2}, i = 1, \dots, n.$

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

Крок 18. Зупинка.

25 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.

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

30  $U_{\text{вих. } Y_j^p} = 0; U_{\text{вих. } X_j^1} = 0; p = 1, 2. j = 1, \dots, m.$

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 4-16.

Крок 4. Для кожного вхідного зображення, що ставиться до одного режиму функціонування об'єкта, визначається безліч верхніх  $I_{w_{\max}}^l(t_i)$  й нижніх  $I_{w_{\min}}^l(t_i)$  обвідних для кожного з  $K$  процесів.

$$I_{w_{\max}}^l = \max(I_{w_1}^l(t_i), I_{w_2}^l(t_i), \dots, I_{w_{M_1}}^l(t_i)), l = 1, \dots, L; w = 1, \dots, K;$$

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

$$I_{q_{\min}}^l = \min(I_{q_1}^l(t_i), I_{q_2}^l(t_i), \dots, I_{q_M}^l(t_i)), l = 1, \dots, L; q = 1, \dots, K;$$

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

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



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

Крок 5. Для кожної із обвідних 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.

5 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:

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

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

$$10 \quad U_{\text{вих.}Y_j^k} = \sum_{i=1}^n b_{ij}^k U_{\text{вих.}Z_i^k}, \text{ якщо } U_{\text{вих.}Y_j^k} \neq -1, k = 1, 2; j = 1, \dots, m;$$

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 і нижнім обвідним вхідного вектора  $S_r^1$ , виконуються кроки 10-16.

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

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

20 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:  $U_{\text{вих.}Y_j^1} = U_{\text{вих.}Y_j^2} = 1$ , а всі інші незагальмовані нейрони розпізнавальних шарів модулів  $M_1, M_2$  переводяться в неактивний стан:

$$U_{\text{вих.}Y_j^1} = U_{\text{вих.}Y_j^2} = 0, j = 1, \dots, m, j \neq J.$$

25 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:

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

Крок 13. Визначаються параметри подібності  $P_1^1, P_2^1$ , відповідно для модулів  $M_1, M_2$  нейронної мережі:

$$30 \quad P_1^1 = \frac{\|P_1^1(k, t_i)\|}{K(T+1)}, P_2^1 = \frac{\|P_2^1(k, t_i)\|}{K(T+1)},$$

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

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

$$P_2^l(w, t_i) = \begin{cases} 1, \text{ якщо } I_{w \min}^l(t_i) \geq I_w^l(t_i), w = 1, \dots, K, t_i = 0, 1, \dots, T = n - 1, \\ 0, \text{ якщо } I_{w \min}^l(t_i) < I_w^l(t_i), w = 1, \dots, K, t_i = 0, 1, \dots, T = n - 1, \end{cases}$$

$\|P_1^l(k, t_i)\|$  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:

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

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

- 5 Крок 14. Перевіряється по обчислених параметрах подібності  $P_1$ ,  $P_2$  правильність вибору 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 чином проводиться перевірка
- 10 правильності вибору нейронів-переможців  $Y_j^2$ , у відповідних їм шарах  $Y_j^2$ , ( $j, = 1, \dots, m$ ) 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
- 15 мережі та здійснюється перехід до наступного кроку алгоритму. Якщо умова не виконується, то здійснюється перехід до кроку 10 алгоритму.

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

Крок 17. Зупинка.

- 20 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
- 25 функціонування.

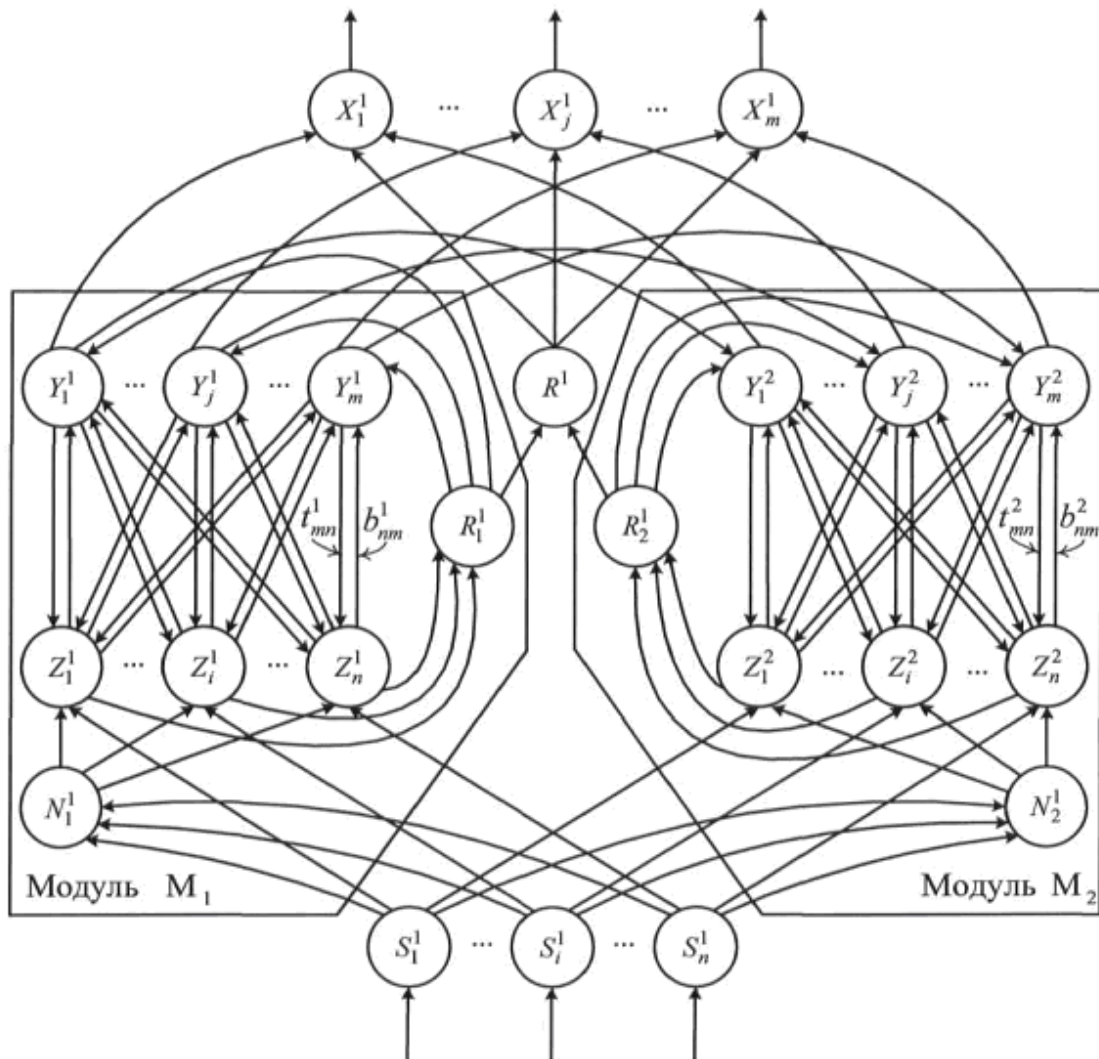
Джерела інформації:

1. Патент Російської Федерації на корисну модель № 2176815, МПК G06F15/00, 2001 р.
  2. Патент України на корисну модель № u201008417, МПК G06G 7/00, 2010 р.
  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.
- 30

#### ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

- 35 Нейромережевий пристрій класифікації динамічних процесів, створений на основі безперервних нейронних мереж адаптивної резонансної теорії, що складається з сенсорного шару нейронів, який **відрізняється** тим, що в його склад введено шар спільних розпізнавальних нейронів, елементи якого зв'язані однонаправленими вхідними зв'язками з відповідними їм елементами
- 40 розпізнавальних шарів нейронів двох модулів та спільним вирішуючим нейроном пристрою класифікації динамічних процесів, два паралельно працюючі модулі являють собою модифіковані безперервні нейронні мережі адаптивної резонансної теорії, кожен з яких включає в себе шар інтерфейсних елементів, нейрони якого зв'язані вхідними однонаправленими
- 45 зв'язками з відповідними їм елементами сенсорного шару нейронів пристрою класифікації динамічних процесів та нормуючим нейроном модуля, який, у свою чергу, зв'язано вхідними зв'язками з кожним елементом сенсорного шару нейронів, а 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
- 50 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 вирішуючий нейрон модуля, який зв'язаний збуджуючими бінарними вихідними однонаправленими зв'язками з усіма елементами розпізнавального шару модуля нейронної мережі та спільним вирішуючим нейроном пристрою класифікації динамічних процесів та гальмуючими бінарними вхідними 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 класифікації динамічних процесів.



Комп'ютерна верстка Г. Паяльніков

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