



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **115589** (13) **U**
(51) МПК (2017.01)
G06N 3/00

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: u 2016 09693	(72) Винахідник(и): Кутковецький Валентин Якович (UA), Турти Марина Валентинівна (UA)
(22) Дата подання заявки: 20.09.2016	(73) Власник(и): ЧОРНОМОРСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ПЕТРА МОГИЛИ, вул. 68 Десантників, 10, м. Миколаїв, 54003 (UA)
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 25.04.2017	
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 25.04.2017, Бюл.№ 8	

(54) НЕЙРОННА МЕРЕЖА

(57) Реферат:

Нейронна мережа має сенсорний шар з кількістю нейронів n , кожний з яких має один вхід з ваговим коефіцієнтом 1 та E виходів з порядковими номерами $e = 1, 2, \dots, E$, має увімкнені до відповідних входів нейронів сенсорного шару змінні x_j вхідного вектора $X = (x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_n)$, де $j = 1, 2, \dots, n$ - порядковий номер змінних x_j вхідного вектора X , має асоціативний шар з кількістю нейронів E , кожний з яких має n входів з ваговими коефіцієнтами входів, рівними значенням елементів відповідного еталонного вектора $X_e = (x_{e,1}, x_{e,2}, \dots, x_{e,j}, \dots, x_{e,n})$, де $e = 1, 2, \dots, E$ - порядковий номер нейрона асоціативного шару та його еталонного вектора $X_e = (x_{e,1}, x_{e,2}, \dots, x_{e,j}, \dots, x_{e,n})$, та має один вихід, призначений для видачі скалярного добутку двох векторів у вигляді значення $y_e = \sum_{j=1}^n x_{e,j} x_j$, має реагуючий шар з одним нейроном, який має E входів з ваговим коефіцієнтом 1, до яких увімкнені відповідні виходи y_e нейронів асоціативного шару, причому нейрон реагуючого шару має один вихід, призначений для виведення порядкового номеру $z = e$ еталонного вектора X_e , який має найбільший скалярний добуток з вхідним вектором X , згідно з активаційною функцією

$z := 1; y_1 := 0; \text{For } j := 1 \text{ to } n \text{ do } y_1 := y_1 + (x_{1,j} \cdot x_j);$

$\text{Fore } := 2 \text{ to } E \text{ do } \text{Begin } y_e := 0; \text{For } j := 1 \text{ to } n \text{ do } y_e := y_e + (x_{e,j} \cdot x_j);$

$\text{if } y_e > y_1 \text{ then } \text{Begin } z := e; y_1 := y_e; \text{end}; \text{end};$

де $z = e$ - вихід нейрона реагуючого шару та нейронної мережі у вигляді порядкового номера e еталонного вектора X_e , який має найбільший скалярний добуток з вхідним вектором X ;

$x_{e,j}, x_j$ - елементи з j -м порядковим номером векторів X_e та X ;

y_e - скалярний добуток векторів X_e та X ;

$e = 1, 2, \dots, E$ - порядковий номер еталонного вектора X_e ;

$j = 1, 2, \dots, n$ - порядковий номер елементів x_j та x_{ej} векторів X та X_e .

UA 115589 U

Корисна модель належить до штучних нейронних мереж (НМ), призначених для асоціативного розпізнавання образів. Асоціативне розпізнавання образів застосовується в нейрокібернетиці і може бути використане в нейрокомп'ютерах та в штучних нейронних мережах при розв'язанні задач логічної обробки даних.

5 Відома одношарова НМ Хопфілда, яка призначена для асоціативного розпізнавання образу, що описується вектором $X = (x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_n)$ з елементами " ± 1 ", і для циклічних перерахунків змінних x_j вхідного вектора $X = (x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_n)$, де $j = 1, 2, \dots, n$ - порядковий номер змінних x_j вхідного вектора X , у змінні y_j відповідного асоціативного вектора виходу $Y = (y_1, y_2, \dots, y_j, \dots, y_n)$ до отримання сталого стану вектора виходу Y , яка

10 має шар з кількістю нейронів n з пороговою функцією активації, кожний з яких має вихід, який з'єднаний з входами інших нейронів з визначеними ваговими коефіцієнтами [1, 2, 3].

Недоліками НМ Хопфілда є мала кількість еталонних сигналів, які запам'ятовуються у вагах входів нейронів та необхідність виконання ряду циклічних розрахунків для визначення на виході НМ найближчого еталонного сигналу $X_e = (x_{e,1}, x_{e,2}, \dots, x_{e,j}, \dots, x_{e,n})$, де $e = 1, 2, \dots, E$ -

15 порядковий номер еталону; $E = 0, 1 \dots 0, 15n$.

Відома НМ Хеммінга, яка має сенсорний шар з кількістю нейронів n , кожний з яких має один вхід з ваговим коефіцієнтом 1 та E виходів з порядковими номерами $e = 1, 2, \dots, E$, має увімкнені до відповідних входів нейронів сенсорного шару змінні x_j вхідного вектора

$X = (x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_n)$, де $j = 1, 2, \dots, n$ - порядковий номер змінних x_j , вхідного вектора

20 X , має асоціативний шар з кількістю нейронів E , кожний з яких має n входів з ваговими коефіцієнтами входів, рівними значенням елементів відповідного еталонного вектора $X_e = (x_{e,1}, x_{e,2}, \dots, x_{e,j}, \dots, x_{e,n})$, де $e = 1, 2, \dots, E$ - порядковий номер нейрона асоціативного шару та його еталонного вектора $X_e = (x_{e,1}, x_{e,2}, \dots, x_{e,j}, \dots, x_{e,n})$, та має один вихід, призначений для видачі скалярного добутку двох векторів у вигляді значення $y_e = \sum_{j=1}^n x_{e,j} x_j$,

25 який увімкнений до відповідного е-го входу з ваговим коефіцієнтом 1 реагуючого шару у вигляді мережі MAXNET, яка має шар з E нейронів, кожний з яких має один вхід, один вихід та зворотні зв'язки, що призначені для підсилення власного виходу нейрона та зменшення виходів інших нейронів, і призначена для видачі на виході мережі MAXNET, що також є виходом нейронної мережі, вектора $Z = (z_1, z_2, \dots, z_e, \dots, z_E)$ з нульовими елементами, серед яких дорівнює 1

30 елемент з найбільшим скалярним добутком вхідного вектора X та еталонного вектора X_e [4].

Недоліками НМ Хеммінга є:

- велика кількість виходів, яка для ряду систем управління вимагає наступного переведення їх у порядковий номер e виділеного еталонного вектора X_e . Збільшена кількість нейронів виходу збільшує вартість і ускладнює схему НМ;

35 - обмеження значень елементів вхідного X та еталонного X_e векторів величинами "+1" та "-1";

- відсутність можливості подачі цифрового кодованого повідомлення у відповідь на вхідний вектор X , яке дозволяє використовувати обмежену кількість дій у відповідь на більшу кількість розпізнаних еталонних векторів X_e ;

40 - циклічні перерахунки мережі MAXNET для виділення максимального виходу.

Найбільш близьким до заявленої нейронної мережі за сукупністю суттєвих ознак є вибрана за прототип відома нейронна мережа "Миколаїв" [5].

НМ "Миколаїв" призначена для асоціативного розпізнавання образів, має сенсорний шар з кількістю нейронів n , кожний з яких має один вхід з ваговим коефіцієнтом 1 та E виходів з

45 порядковими номерами $e = 1, 2, \dots, E$, має увімкнені до відповідних входів нейронів сенсорного шару змінні x_j , вхідного вектора $X = (x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_n)$, де $j = 1, 2, \dots, n$ - порядковий номер змінних x_j вхідного вектора X , має асоціативний шар з кількістю нейронів E , кожний з

яких має n входів з ваговими коефіцієнтами входів, рівними значенням елементів відповідного еталонного вектора $X_e = (x_{e,1}, x_{e,2}, \dots, x_{e,j}, \dots, x_{e,n})$, де $e = 1, 2, \dots, E$ - порядковий номер нейрона асоціативного шару та його еталонного вектора $X_e = (x_{e,1}, x_{e,2}, \dots, x_{e,j}, \dots, x_{e,n})$, та має один вихід, призначений для видачі скалярного добутку двох векторів у вигляді значення

5 $y_e = \sum_{j=1}^n x_{e,j} x_j$, має реагуючий шар з одним нейроном, який має E входів з ваговим коефіцієнтом 1, до яких увімкнені відповідні виходи y_e нейронів асоціативного шару, яка відрізняється тим, що нейрон реагуючого шару має E виходів для виведення вихідного вектора $Z = (z_1, z_2, \dots, z_e, \dots, z_E)$, кожний елемент z_e якого призначений для виведення значення "0", якщо відповідне значення елемента y_e вектора $Y = (y_1, y_2, \dots, y_e, \dots, y_E)$ менше

10 максимального значення елементів вектора Y та призначений для виведення значення "1", якщо значення елемента y_e вектора Y дорівнює максимальному значенню елементів вектора Y , згідно з активаційною функцією, що призначена для виконання операцій

fore := 1 to E do $z_e := 0$;

ZM := y_1 ; fore := 2 to E do if $y_e > ZM$ then $ZM := y_e$;

fore := 1 to E do if $y_e = ZM$ then $z_e := 1$.

15 Причинами, які перешкоджають одержанню очікуваного технічного результату у прототипі (зменшення вартості через зменшення кількості виходів реагуючого шару і відсутності перерахунку вихідних даних у порядковий номер виділеного еталонного вектора X_e ; збільшення функціональних можливостей внаслідок використання кодованих повідомлень у відповідь на вхідний вектор X , які дозволяють використовувати обмежену кількість дій у відповідь на більшу кількість E еталонних векторів), є прийняті функції реагуючого шару.

20 Недоліками прийнятої за прототип НМ "Миколаїв" є:

- збільшення витрат на обслуговування і налагодження НМ внаслідок необхідності перерахунку для деяких систем управління E виходів вектора Z на один вихід, призначений для виведення порядкового номеру виділеного еталонного вектора X_e ;

- зменшення функціональних можливостей внаслідок відсутності кодованих повідомлень у відповідь на вхідний вектор X , які дозволяють використовувати обмежену кількість дій у відповідь на більшу кількість E еталонних векторів.

Технічним результатом є:

- зменшення витрат на обслуговування і налагодження НМ внаслідок відсутності перерахунку для деяких систем управління E виходів вектора Z на один вихід, призначений для виведення порядкового номеру виділеного еталонного вектора X_e ;

- збільшення функціональних можливостей внаслідок виведення на виході НМ кодованих повідомлень у відповідь на вхідний вектор X , які дозволяють використовувати обмежену кількість дій у відповідь на більшу кількість E еталонних векторів.

35 Загальні суттєві ознаки запропонованої НМ, які співпадають з суттєвими ознаками прототипу, полягають у тому, що нейронна мережа, яка має сенсорний шар з кількістю нейронів n , кожний з яких має один вхід з ваговим коефіцієнтом 1 та E виходів з порядковими номерами $e = 1, 2, \dots, E$, має увімкнені до відповідних входів нейронів сенсорного шару змінні

x_j вхідного вектора $X = (x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_n)$, де $j = 1, 2, \dots, n$ - порядковий номер змінних x_j

40 вхідного вектора X , має асоціативний шар з кількістю нейронів E , кожний з яких має n входів з ваговими коефіцієнтами входів, рівними значенням елементів відповідного еталонного вектора $X_e = (x_{e,1}, x_{e,2}, \dots, x_{e,j}, \dots, x_{e,n})$, де $e = 1, 2, \dots, E$ - порядковий номер нейрона асоціативного шару та його еталонного вектора $X_e = (x_{e,1}, x_{e,2}, \dots, x_{e,j}, \dots, x_{e,n})$, та має один вихід, призначений для видачі скалярного добутку двох векторів у вигляді значення

$y_e = \sum_{j=1}^n x_{e,j} x_j$, має реагуючий шар з одним нейроном, який має E входів з ваговим коефіцієнтом 1, до яких увімкнені відповідні виходи y_e нейронів асоціативного шару.

Суттєві ознаки запропонованої НМ, що є достатніми у всіх випадках і характеризують запропоновану корисну модель на відміну від прототипу, полягають у тому, що нейрон реагуючого шару призначений для виведення порядкового номеру $z = e$ еталонного вектора X_e , який має найбільший скалярний добуток з вхідним вектором X , згідно з активаційною функцією

$z := 1; y_1 := 0; \text{For } j := 1 \text{ to } n \text{ do } y_1 := y_1 + (x_{1,j} \cdot x_j);$

$\text{Fore } := 2 \text{ to } E \text{ do } \text{Begin } y_e := 0; \text{For } j := 1 \text{ to } n \text{ do } y_e := y_e + (x_{e,j} \cdot x_j);$

$\text{if } y_e > y_1 \text{ then } \text{Begin } z := e; y_1 := y_e; \text{end}; \text{end}.$

де $z = e$ - вихід нейрона реагуючого шару та нейронної мережі у вигляді порядкового номера e еталонного вектора X_e , який має найбільший скалярний добуток з вхідним вектором X ;

$x_{e,j}, x_j$ - елементи з j -м порядковим номером векторів X_e та X ;

y_e - скалярний добуток векторів X_e та X ;

$e = 1, 2, \dots, E$ - порядковий номер еталонного вектора X_e ;

$j = 1, 2, \dots, n$ - порядковий номер елементів x_j та $x_{e,j}$ векторів X та X_e .

Передбачувана НМ показана схемою, на якій наведена схема запропонованої нейронної мережі.

На кресленні використані наступні позначення:

- $X = (x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_n)$ - вхідний вектор, який вводиться у сенсорний шар, що

складається з n нейронів $N_{x1}, N_{x2}, \dots, N_{xj}, \dots, N_{xn}$;

- 1 - вагові коефіцієнти входів нейронів;

- $N_{x1}, N_{x2}, \dots, N_{xj}, \dots, N_{xn}$ - нейрони сенсорного шару кількістю n , кожний з яких має один

вхід з ваговим коефіцієнтом "1" та E виходів. З метою спрощення малюнка на кресленні показані не всі виходи нейронів сенсорного шару. У повному комплекті вони наведені лише для нейрона N_{x1} . У дійсності кожний з нейронів сенсорного шару $N_{x1}, N_{x2}, \dots, N_{xj}, \dots, N_{xn}$ має E

виходів, з'єднаних з відповідними E входами нейронів асоціативного шару $N_{y1}, N_{y2}, \dots, N_{ye}, \dots, N_{yE}$.

- $N_{y1}, N_{y2}, \dots, N_{ye}, \dots, N_{yE}$ - нейрони асоціативного шару. Вагові коефіцієнти n входів кожного нейрона асоціативного шару дорівнюють відповідним елементам еталонного вектора $X_e = (x_{e,1}, x_{e,2}, \dots, x_{e,j}, \dots, x_{e,n})$, де $e = 1, 2, \dots, E$ - порядковий номер еталонного вектора X_e .

Вихід кожного з E нейронів асоціативного шару призначений для отримання скалярного добутку двох векторів X та X_e у вигляді $y_e = \sum_{j=1}^n x_{e,j} x_j$. E виходів нейронів асоціативного шару призначені для передачі сигналу у вигляді вектора $Y = (y_1, y_2, \dots, y_e, \dots, y_E)$ і з'єднані з

E входами з ваговими коефіцієнтами "1" реагуючого шару у вигляді нейрона N_z . З метою спрощення малюнка на кресленні показані не всі входи нейронів асоціативного шару. У повному комплекті вони наведені лише для нейрона N_{y1} . У дійсності кожний з нейронів асоціативного

шару $N_{y1}, N_{y2}, \dots, N_{ye}, \dots, N_{yE}$ має n входів, з'єднаних з відповідними n виходами нейронів сенсорного шару $N_{x1}, N_{x2}, \dots, N_{xj}, \dots, N_{xn}$.

- $Y = (y_1, y_2, \dots, y_e, \dots, y_E)$, $e = 1, 2, \dots, E$ - вектор виходу асоціативного шару з елементами $y_e = \sum_{j=1}^n x_{e,j} x_j$, де $x_{e,j}$ - j -ий елемент e -го еталонного вектора X_e ; x_j - j -ий елемент вхідного вектора X ;

- $e = 1, 2, \dots, E$ - порядковий номер еталонних векторів X_e ;

5 - N_z - нейрон реагуючого шару, який має E входів з ваговими коефіцієнтами "1", на кожний з яких увімкнено відповідне значення y_e , та один вихід, призначений для виведення значення $z = e$ (порядкового номера e еталонного вектора X_e з найбільшим скалярним добутком з вхідним вектором X). Нейрон N_z складається з блока активаційної функції, що призначена для виконання операцій

$z := 1; y_1 := 0; \text{For } j := 1 \text{ to } n \text{ do } y_1 := y_1 + (x_{1,j} \cdot x_j);$

$\text{Fore } := 2 \text{ to } E \text{ do } \text{Begin } y_e := 0; \text{For } j := 1 \text{ to } n \text{ do } y_e := y_e + (x_{e,j} \cdot x_j);$

10 $\text{if } y_e > y_1 \text{ then } \text{Begin } z := e; y_1 := y_e; \text{end}; \text{end}.$

- $z = e$ - вихід нейрона реагуючого шару N_z , який також є виходом нейронної мережі.

НМ не потребує процесу навчання.

Розглянемо загальний опис НМ, згідно з наведеним кресленням.

До входів нейронів з ваговим коефіцієнтом "1" $N_{x1}, N_{x2}, \dots, N_{xj}, \dots, N_{xn}$ сенсорного шару

15 НМ (див. креслення) увімкнені елементи вхідного вектора $X = (x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_n)$. E виходів кожного з нейронів $N_{x1}, N_{x2}, \dots, N_{xj}, \dots, N_{xn}$ з'єднані з відповідним входом нейронів асоціативного шару $N_{y1}, N_{y2}, \dots, N_{ye}, \dots, N_{yE}$.

Вагові коефіцієнти n входів кожного нейрона асоціативного шару дорівнюють відповідним елементам еталонного вектора $X_e = (x_{e,1}, x_{e,2}, \dots, x_{e,j}, \dots, x_{e,n})$. E виходів нейронів

20 асоціативного шару призначені для передачі сигналу у вигляді вектора

$Y = (y_1, y_2, \dots, y_e, \dots, y_E)$, $e = 1, 2, \dots, E$, $y_e = \sum_{j=1}^n x_{e,j} x_j$, і з'єднані з E входами з ваговими

коефіцієнтами "1" нейрона N_z реагуючого шару. Нейрон N_z реагуючого шару має один вихід для видачі вихідного сигналу НМ $z := e$, згідно з активаційною функцією, що призначена для виконання операцій

$z := 1; y_1 := 0; \text{For } j := 1 \text{ to } n \text{ do } y_1 := y_1 + (x_{1,j} \cdot x_j);$

$\text{Fore } := 2 \text{ to } E \text{ do } \text{Begin } y_e := 0; \text{For } j := 1 \text{ to } n \text{ do } y_e := y_e + (x_{e,j} \cdot x_j);$

25 $\text{if } y_e > y_1 \text{ then } \text{Begin } z := e; y_1 := y_e; \text{end}; \text{end}.$

Нейронна мережа працює наступним чином. При введенні у сенсорний шар вхідного вектора $X = (x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_n)$, для якого потрібно визначити номер найближчого еталонного вектора (з найбільшим значенням міри близькості), кожний e -ий нейрон асоціативного шару має на виході значення скалярного добутку двох векторів у вигляді

30 $y_e = \sum_{j=1}^n x_{e,j} x_j$.

Скалярний добуток двох векторів y_e визначає міру близькості між двома векторами X_e та X . Скалярний добуток двох векторів X_e та X , хоча і визначає міру близькості між двома векторами, але разом з тим по числовому значенню відрізняється від близькості по Хеммінгу.

Елементи отриманого вектора скалярних добутків $Y = (y_1, y_2, \dots, y_e, \dots, y_E)$ на виходах E

35 нейронів асоціативного шару увімкнені до відповідних E входів з ваговими коефіцієнтами "1" нейрона N_z реагуючого шару, який має один вихід, призначений для виведення порядкового

номеру $z = e$ еталонного вектора X_e , який має найбільший скалярний добуток з вхідним вектором X , згідно з активаційною функцією

$z := 1; y_1 := 0; \text{For } j := 1 \text{ to } n \text{ do } y_1 := y_1 + (x_{1,j} \cdot x_j);$

$\text{Fore } := 2 \text{ to } E \text{ do } \text{Begin } y_e := 0; \text{For } j := 1 \text{ to } n \text{ do } y_e := y_e + (x_{e,j} \cdot x_j);$

$\text{if } y_e > y_1 \text{ then } \text{Begin } z := e; y_1 := y_e; \text{end}; \text{end}.$

У результаті на виході нейрона N_z реагуючого шару, який також є виходом НМ, з'являється вихід $z = e$, значення якого дорівнює порядковому номеру еталонного вектора X_e , що є найближчим до вхідного вектора X , бо має з вектором X найбільше значення скалярного добутку.

Описана нейронна мережа дозволяє:

1. Вивести на виході порядковий номер $z = e$ еталонного вектора X_e , що має найменший скалярний добуток з вхідним вектором X , якщо використати активаційну функцію

$z := 1; y_1 := 0; \text{For } j := 1 \text{ to } n \text{ do } y_1 := y_1 + (x_{1,j} \cdot x_j);$

$\text{Fore } := 2 \text{ to } E \text{ do } \text{Begin } y_e := 0; \text{For } j := 1 \text{ to } n \text{ do } y_e := y_e + (x_{e,j} \cdot x_j);$

$\text{if } y_e < y_1 \text{ then } \text{Begin } z := e; y_1 := y_e; \text{end}; \text{end}.$

2. Вивести на виході НМ кодоване повідомлення $z = g_e$ у відповідь на визначений порядковий номер e еталонного вектора X_e з найбільшим скалярним добутком з вхідним вектором X , згідно з активаційною функцією

$z := g_1; y_1 := 0; \text{For } j := 1 \text{ to } n \text{ do } y_1 := y_1 + (x_{1,j} \cdot x_j);$

$\text{Fore } := 2 \text{ to } E \text{ do } \text{Begin } y_e := 0; \text{For } j := 1 \text{ to } n \text{ do } y_e := y_e + (x_{e,j} \cdot x_j);$

$\text{if } y_e > y_1 \text{ then } \text{Begin } z := g_e; y_1 := y_e; \text{end}; \text{end};$

де $G = (g_1, g_2, \dots, g_e, \dots, g_E)$ - вектор кодованих повідомлень;

$z = g_e$ - кодоване повідомлення на виході нейронної мережі.

3. Вивести на виході НМ кодоване повідомлення $z = g_e$ у відповідь на визначений порядковий номер e еталонного вектора X_e з найменшим скалярним добутком з вхідним вектором X , згідно з активаційною функцією

$z := g_1; y_1 := 0; \text{For } j := 1 \text{ to } n \text{ do } y_1 := y_1 + (x_{1,j} \cdot x_j);$

$\text{Fore } := 2 \text{ to } E \text{ do } \text{Begin } y_e := 0; \text{For } j := 1 \text{ to } n \text{ do } y_e := y_e + (x_{e,j} \cdot x_j);$

$\text{if } y_e < y_1 \text{ then } \text{Begin } z := g_e; y_1 := y_e; \text{end}; \text{end}.$

4. Використати замість міри близькості у вигляді скалярного добутку $y_e = \sum_{j=1}^n x_{e,j} \cdot x_j$ близькість по Хеммінгу для векторів з елементами "+1" та "-1":

$y_e := 0; \text{For } j := 1 \text{ to } n \text{ do } \text{if } (((x_{e,j} > 0) \text{ and } (x_j > 0)) \text{ or } ((x_{e,j} < 0) \text{ and } (x_j < 0)))$

$\text{then } y_e := y_e + 1;$

або (зі зміною знаків нерівності на протилежні значення у наведених вище активаційних функціях) квадрат евклідової відстані

$y_e := 0; \text{For } j := 1 \text{ to } n \text{ do } y_e := y_e + (x_{e,j} - x_j)^2.$

Використання запропонованої нейронної мережі дозволяє при відсутності процесу навчання зменшити витрати на обслуговування і налагодження НМ внаслідок зменшення кількості виходів нейрона у реагуючому шарі, спрощення розрахунків і розширення функціональних можливостей.

Джерела інформації:

1. Hopfield J.J. Neural Networks and Physical Systems with Emergent Collective Computational Abilities // Proc. of the National Academy of Science. - 1982. - 79. - P. 2554-2558.

2. Hopfield J.J. Neurons with Graded Response Have Collective Computational Properties Like Those of Two-State Neurons // Proc. of the National Academy of Science. - 1982. - 81. - P. 3088-3092.

3. Руденко О.Г., Бодяньський С.В. Штучні нейронні мережі. - Харків: ТОВ "Компанія СМІТ", 2006. - 404 с.

4. Lippman P.P. An Introduction to Computing with Neural Nets // IEEE ASSP Magazine. - 1987. - № 4. - P. 4-22.

5. Кутковецький В.Я., Турти М.В. Нейронна мережа "Миколаїв". Патент України на корисну модель G06N 3/00, № 104872, 25.02.2016, Бюл. № 4. - 4 с.

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

1. Нейронна мережа, яка має сенсорний шар з кількістю нейронів n , кожен з яких має один вхід з ваговим коефіцієнтом 1 та E виходів з порядковими номерами $e = 1, 2, \dots, E$, має увімкнені до відповідних входів нейронів сенсорного шару змінні x_j вхідного вектора $X = (x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_n)$, де $j = 1, 2, \dots, n$ - порядковий номер змінних x_j вхідного вектора X , має асоціативний шар з кількістю нейронів E , кожен з яких має n входів з ваговими коефіцієнтами входів, рівними значенням елементів відповідного еталонного вектора $X_e = (x_{e,1}, x_{e,2}, \dots, x_{e,j}, \dots, x_{e,n})$, де $e = 1, 2, \dots, E$ - порядковий номер нейрона асоціативного шару та його еталонного вектора $X_e = (x_{e,1}, x_{e,2}, \dots, x_{e,j}, \dots, x_{e,n})$, та має один вихід, призначений для видачі скалярного добутку двох векторів у вигляді значення $y_e = \sum_{j=1}^n x_{e,j} x_j$, має

реагуючий шар з одним нейроном, який має E входів з ваговим коефіцієнтом 1, до яких увімкнені відповідні виходи y_e нейронів асоціативного шару, яка **відрізняється** тим, що нейрон реагуючого шару має один вихід, призначений для виведення порядкового номеру $z = e$ еталонного вектора X_e , який має найбільший скалярний добуток з вхідним вектором X , згідно з активаційною функцією

$z := 1; y_1 := 0; \text{For } j := 1 \text{ to } n \text{ do } y_1 := y_1 + (x_{1,j} \cdot x_j);$

$\text{For } e := 2 \text{ to } E \text{ do } \text{Begin } y_e := 0; \text{For } j := 1 \text{ to } n \text{ do } y_e := y_e + (x_{e,j} \cdot x_j);$

$\text{if } y_e > y_1 \text{ then } \text{Begin } z := e; y_1 := y_e; \text{end; end;}$

де $z = e$ - вихід нейрона реагуючого шару та нейронної мережі у вигляді порядкового номеру e еталонного вектора X_e , який має найбільший скалярний добуток з вхідним вектором X ;

$x_{e,j}, x_j$ - елементи з j -м порядковим номером векторів X_e та X ;

y_e - скалярний добуток векторів X_e та X ;

$e = 1, 2, \dots, E$ - порядковий номер еталонного вектора X_e ;

$j = 1, 2, \dots, n$ - порядковий номер елементів x_j та $x_{e,j}$ векторів X та X_e .

2. Нейронна мережа за п. 1, яка **відрізняється** тим, що вихід нейрона реагуючого шару призначений для виведення порядкового номеру $z = e$ еталонного вектора X_e , що має найменший скалярний добуток з вхідним вектором X , згідно з активаційною функцією

$z := 1; y_1 := 0; \text{For } j := 1 \text{ to } n \text{ do } y_1 := y_1 + (x_{1,j} \cdot x_j);$

$\text{Fore } e := 2 \text{ to } E \text{ do } \text{Begin } y_e := 0; \text{For } j := 1 \text{ to } n \text{ do } y_e := y_e + (x_{e,j} \cdot x_j);$

$\text{if } y_e < y_1 \text{ then } \text{Begin } z := e; y_1 := y_e; \text{end; end.}$

3. Нейронна мережа за п. 1, яка **відрізняється** тим, що активаційна функція нейрона реагуючого шару має вектор кодованих повідомлень $G = (g_1, g_2, \dots, g_e, \dots, g_E)$, а вихід нейрона реагуючого шару призначений для видачі кодованого повідомлення $z = g_e$, яке відповідає порядковому номеру e еталонного вектора X_e з найбільшим скалярним добутком з вхідним вектором X , згідно з активаційною функцією

$z := g_1; y_1 := 0; \text{For } j := 1 \text{ to } n \text{ do } y_1 := y_1 + (x_{1,j} \cdot x_j);$
 $\text{Fore } := 2 \text{ to } E \text{ do Begin } y_e := 0; \text{For } j := 1 \text{ to } n \text{ do } y_e := y_e + (x_{e,j} \cdot x_j);$
 $\text{if } y_e > y_1 \text{ then Begin } z := g_e; y_1 := y_e; \text{end}; \text{end};$
 де $G = (g_1, g_2, \dots, g_e, \dots, g_E)$ - вектор кодованих повідомлень;
 $z = g_e$ - кодоване повідомлення на виході нейронної мережі.

4. Нейронна мережа за п. 2, яка **відрізняється** тим, що активаційна функція нейрона
 5 реагуючого шару має вектор кодованих повідомлень $G = (g_1, g_2, \dots, g_e, \dots, g_E)$, а вихід
 нейрона реагуючого шару призначений для видачі кодованого повідомлення $z = g_e$, яке
 відповідає порядковому номеру e еталонного вектора X_e з найменшим скалярним добутком з
 вхідним вектором X , згідно з активаційною функцією

$z := g_1; y_1 := 0; \text{For } j := 1 \text{ to } n \text{ do } y_1 := y_1 + (x_{1,j} \cdot x_j);$
 $\text{Fore } := 2 \text{ to } E \text{ do Begin } y_e := 0; \text{For } j := 1 \text{ to } n \text{ do } y_e := y_e + (x_{e,j} \cdot x_j);$
 $\text{if } y_e < y_1 \text{ then Begin } z := g_e; y_1 := y_e; \text{end}; \text{end};$

10 5. Нейронна мережа за пп. 1-4, яка **відрізняється** тим, що замість міри близькості
 $y_e = \sum_{j=1}^n x_{e,j} x_j$ використовується близькість по Хеммінгу для векторів з елементами «+1» та «-
 1»

$y_e := 0; \text{For } j := 1 \text{ to } n \text{ do if } (((x_{e,j} > 0) \text{ and } (x_j > 0)) \text{ or } ((x_{e,j} < 0) \text{ and } (x_j < 0)))$

$\text{then } y_e := y_e + 1;$

15 або квадрат евклідової відстані (із зміною в активаційних функціях знаків нерівності на
 протилежні значення)

$y_e := 0; \text{For } j := 1 \text{ to } n \text{ do } y_e := y_e + (x_{ij} - x_j)^2.$

