



МІНІСТЕРСТВО
ЕКОНОМІЧНОГО
РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **133874** (13) **U**
(51) МПК (2019.01)
G06G 7/00

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

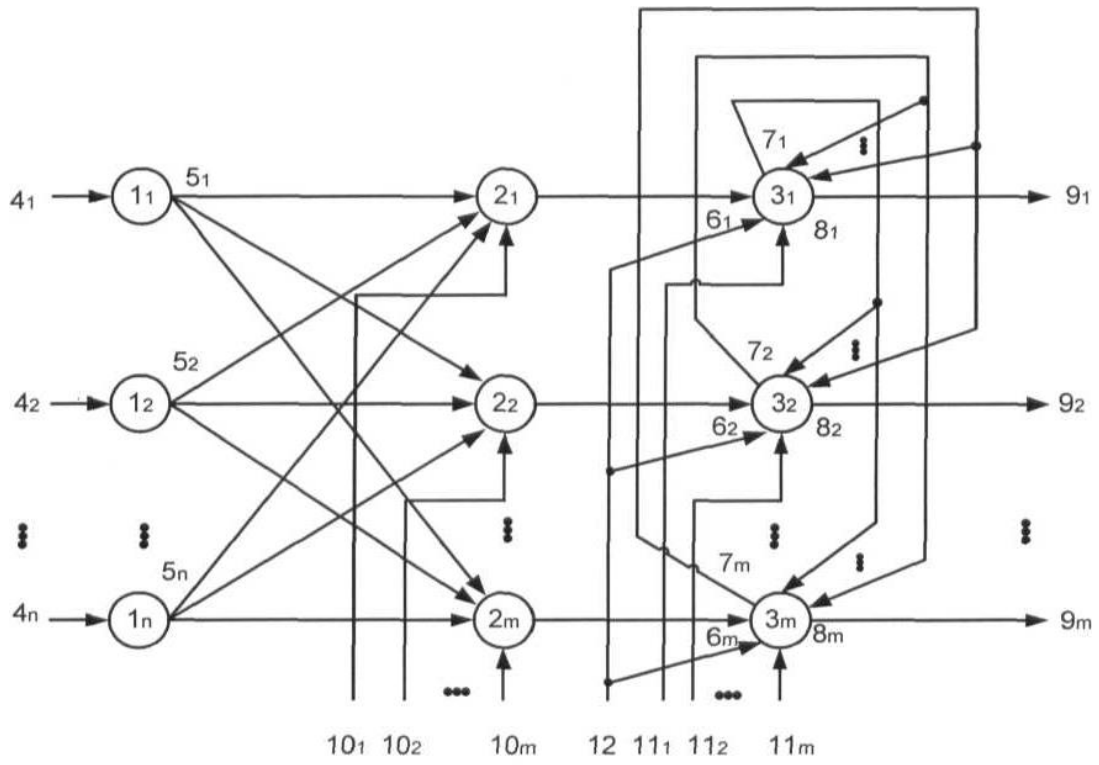
(21) Номер заявки: u 2018 11337	(72) Винахідник(и): Мартинюк Тетяна Борисівна (UA), Запетрук Ярослав Вікторович (UA)
(22) Дата подання заявки: 19.11.2018	(73) Власник(и): ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ, Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, 21021 (UA)
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 25.04.2019	
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 25.04.2019, Бюл.№ 8	

(54) КЛАСИФІКАТОР

(57) Реферат:

Класифікатор має три шари взаємозв'язаних нейроподібних елементів, виходи бінарних нейроподібних елементів третього шару є виходами ознаки належності вхідних сигналів відповідному класу, причому другий шар складається з m лінійних нейроподібних елементів, де m - кількість класів, кожен з n входів класифікатора з'єднаний з входом відповідного сенсорного нейроелемента першого шару. Додатковий вихід кожного з m бінарних нейроподібних елементів третього шару з'єднаний з відповідним входом латерального зв'язку кожного бінарного нейроподібного елемента цього шару, крім себе самого. Вихід кожного лінійного нейроподібного елемента другого шару з'єднаний з входом прямого зв'язку відповідного бінарного нейроподібного елемента третього шару. Входи кожного лінійного нейроподібного елемента другого шару з'єднані з виходом всіх n сенсорних нейроелементів першого шару. Додатково введено дві групи m входів збудження та вхід ваги латеральних зв'язків. В першій і другій групі кожний з m входів збудження підключений до входу відповідного лінійного нейроподібного елемента другого шару та відповідного бінарного нейроподібного елемента третього шару, до відповідного входу якого також підключено вхід ваги латеральних зв'язків. Кожний з m бінарних нейроподібних елементів третього шару має багатовхідний суматор, суматор, перший і другий мультиплексори, регістр, RS-тригер, інвертор та помножувач.

UA 133874 U



Фиг. 1

Корисна модель належить до обчислювальної техніки і може бути використана для розпізнавання образів та діагностики систем.

Відомий гармонічний перцептрон (патент України № 3276, м. кл. G06G 7/60, 2004 р., бюл. № 11), що містить три шари взаємозв'язаних нейроподібних елементів, другий шар нейроподібних елементів є гармонічними нейроелементами, які містять групи синаптичних каналів синусоїдних функцій, суматори, лінії вхідної амплітудно-часової функції і сигналу збудження, вхід кожного з яких зв'язаний тільки з одним виходом сенсорного нейроелемента першого шару, а вихід - з входом кожного бінарного нейроподібного елемента третього шару, виходи яких відображають класи належності вхідних сигналів.

Недоліком даного пристрою є низька формалізація процесу отримання результуючого сигналу класифікатора через необхідність налаштування ваг бінарних нейроподібних елементів третього шару.

Найбільш близьким за технічною суттю є класифікатор (патент України № 76519, м. кл. G06G 7/00, 2013 р., бюл. № 1), що містить три шари взаємозв'язаних нейроподібних елементів, виходи бінарних нейроподібних елементів третього шару є виходами ознаки належності вхідних сигналів відповідному класу, причому другий шар складається з m лінійних нейроподібних елементів, де m - кількість класів, кожен з n входів класифікатора з'єднаний з входом відповідного сенсорного нейроелемента першого шару, додатковий вихід кожного з m бінарних нейроподібних елементів третього шару з'єднаний з відповідним входом латерального зв'язку кожного бінарного нейроподібного елемента цього шару, крім себе самого, вихід кожного лінійного нейроподібного елемента другого шару з'єднаний з входом прямого зв'язку відповідного бінарного нейроподібного елемента третього шару, причому входи кожного лінійного нейроподібного елемента другого шару з'єднані з виходом всіх n сенсорних нейроелементів першого шару.

Недоліком найближчого аналога є недостатня формалізація процесу класифікації через відсутність входів збудження у лінійних нейроподібних елементів другого шару та бінарних нейроподібних елементів третього шару, що потребує додаткового керування процесом класифікації.

В основу корисної моделі поставлено задачу створення класифікатора, в якому введення нових вузлів і зв'язків дозволяє формалізувати процес класифікації з отриманням результуючого сигналу у вигляді бінарного вектора з врахуванням початкових сигналів збудження та значення ваги латеральних зв'язків, що дозволяє уникнути формального керування класифікатором.

Поставлена задача вирішується тим, що у класифікатор, що містить три шари взаємозв'язаних нейроподібних елементів, виходи бінарних нейроподібних елементів третього шару є виходами ознаки належності вхідних сигналів відповідному класу, причому другий шар складається з m лінійних нейроподібних елементів, де m - кількість класів, кожен з n входів класифікатора з'єднаний з входом відповідного сенсорного нейроелемента першого шару, додатковий вихід кожного з m бінарних нейроподібних елементів третього шару з'єднаний з відповідним входом латерального зв'язку кожного бінарного нейроподібного елемента цього шару, крім себе самого, вихід кожного лінійного нейроподібного елемента другого шару з'єднаний з входом прямого зв'язку відповідного бінарного нейроподібного елемента третього шару, причому входи кожного лінійного нейроподібного елемента другого шару з'єднані з виходом всіх n сенсорних нейроелементів першого шару, введено дві групи m входів збудження та вхід ваги латеральних зв'язків, причому в першій і другій групі кожний з m входів збудження підключений до входу відповідного лінійного нейроподібного елемента другого шару та відповідного бінарного нейроподібного елемента третього шару, до відповідного входу якого також підключено вхід ваги латеральних зв'язків, а кожний з m бінарних нейроподібних елементів третього шару містить багатовхідний суматор, суматор, перший і другий мультиплексори, реєстр, RS-тригер, інвертор та помножувач, причому $(m-1)$ входи латеральних зв'язків бінарного нейроподібного елемента з'єднані з відповідними входами багатовхідного суматора, вихід якого підключений до від'ємного входу суматора, прямий вхід якого з'єднаний з виходом першого мультиплексора, його вихід підключений до першого інформаційного входу другого мультиплексора, а його вихід ознаки підключений до R-входу RS-тригера, а також до адресного входу та через інвертор до другого інформаційного входу другого мультиплексора, вихід якого з'єднаний з відповідним входом реєстра, вхід прямого зв'язку бінарного нейроподібного елемента з'єднаний з другим інформаційним входом першого мультиплексора, його вхід збудження підключений до адресного входу першого мультиплексора та до S-входу RS-тригера, а його вихід ознаки належності відповідному класу з'єднаний з прямим виходом RS-тригера, крім того, вихід реєстра з'єднаний з першим інформаційним входом першого

мультиплексора і першим входом помножувача, другий вхід якого з'єднаний з входом ваги латеральних зв'язків класифікатора, а його вихід підключений до додаткового виходу бінарного нейроподібного елемента третього шару класифікатора.

5 На фіг. 1 наведено структурну схему класифікатора, а на фіг. 2 показано функціональну схему бінарного нейроподібного елемента третього шару класифікатора.

Класифікатор (фіг. 1) складається з трьох шарів: перший шар - вхідний шар з n сенсорних нейроелементів $1_1, \dots, 1_n$, де n - розмірність вхідного вектора; другий шар - прихований шар з m лінійних нейроподібних елементів $2_1, \dots, 2_m$, де m - кількість класів; третій шар - вихідний шар з m бінарних нейроподібних елементів $3_1, \dots, 3_m$. Кожний з входів $4_1, \dots, 4_n$ класифікатора з'єднаний з входом відповідного сенсорного нейроелемента $1_1, \dots, 1_n$ першого шару, виходи $5_1, \dots, 5_n$ яких з'єднані з входами кожного лінійного нейроподібного елемента $2_1, \dots, 2_m$ другого шару.

15 Вихід кожного з лінійних нейроподібних елементів $2_1, \dots, 2_m$ другого шару з'єднаний з відповідним входом $6_1, \dots, 6_m$ прямого зв'язку бінарних нейроподібних елементів $3_1, \dots, 3_m$ третього шару, додаткові виходи $7_1, \dots, 7_m$ яких з'єднані латеральними зв'язками з відповідними входами бінарних нейроподібних елементів $3_1, \dots, 3_m$ цього шару, крім себе самого. Виходи $8_1, \dots, 8_m$ відповідних бінарних нейроподібних елементів $3_1, \dots, 3_m$ третього шару з'єднані з відповідними виходами $9_1, \dots, 9_m$ ознаки належності відповідному класу. Крім того, лінійні нейроподібні елементи $2_1, \dots, 2_m$ другого шару містять входи $10_1, \dots, 10_m$ збудження, а бінарні нейроподібні елементи $3_1, \dots, 3_m$ третього шару містять входи $11_1, \dots, 11_m$ збудження відповідно і вхід 12 ваги латеральних зв'язків.

20 Бінарний нейроподібний елемент 3_i , де $i=1, \dots, m$ (фіг. 2) містить багатовхідний суматор 13, суматор 14, мультиплексори 15, 16, регістр 17, інвертор 18, RS-тригер 19, помножувач 20. При цьому $(m-1)$ виходи $7_1, \dots, 7_{i-1}, 7_{i+1}, \dots, 7_m$ бінарного нейроподібного елемента 3_i , де $i=1, \dots, m$, з'єднані з відповідними входами багатовхідного суматора 13, вихід 19 якого підключений до від'ємного входу суматора 14. Вихід 21 суматора 14 підключений до інформаційного входу D_0 мультиплексора 16, а його вихід 22 ознаки підключений до R-входу RS-тригера 19, а також до адресного входу A та через інвертор 18 до інформаційного входу D_1 мультиплексора 16.

30 Інформаційний вихід мультиплексора 16 з'єднаний з відповідним входом регістра 17, вихід 23 якого з'єднаний з інформаційним входом D_0 мультиплексора 15, вихід 24 якого з'єднаний з прямим входом суматора 14. Вхід 6_i прямого зв'язку бінарного нейроподібного елемента 3_i , де $i=1, \dots, m$, з'єднаний з інформаційним входом D_1 мультиплексора 15, його вхід 11_i збудження підключений до адресного входу A мультиплексора 15 та до S-входу RS-тригера 19, а його вихід 9, ознаки належності відповідному класу з'єднаний з прямим виходом 8, RS-тригера 19.

35 Крім того, вихід 23 регістра 17 з'єднаний з першим входом помножувача 20, другий вхід якого з'єднаний з входом 12 ваги латеральних зв'язків класифікатора, а його вихід підключений до додаткового виходу 1_i бінарного нейроподібного елемента 3_i , де $i=1, \dots, m$.

40 Класифікатор (фіг. 1) працює наступним чином. Перший етап - це етап налаштування, на якому встановлюються значення ваг $w_{ij}^{(2)}$ зв'язків входів лінійних нейроподібних елементів $2_1, \dots, 2_m$ другого шару з виходами $5_1, \dots, 5_n$ сенсорних нейроелементів $1_1, \dots, 1_n$ першого шару, тобто відбувається навчання класифікатора.

45 Другий етап - робочий, на якому відбувається основне функціонування класифікатора. При цьому на входи $4_1, \dots, 4_n$ класифікатора подається n -елементний вхідний вектор X ознак, кожний елемент x_j якого, де $j=1, \dots, n$, проходячи через відповідні n сенсорні нейроелементи $1_1, \dots, 1_n$ першого шару, з їх виходів $5_1, \dots, 5_n$ помножується на відповідні вагові коефіцієнти $w_{ij}^{(2)}$ і подається на відповідні входи лінійних нейроподібних елементів $2_1, \dots, 2_m$ другого шару. В результаті на виході i -го лінійного нейроподібного елемента 2_i другого шару формується сума S_i зважених вхідних сигналів x_1, \dots, x_n , тобто відповідна дискримінантна функція вигляду:

$$S_i = \sum_{j=1}^n w_{ij}^{(2)} x_j + b_i, \quad i = 1, \dots, m, \quad (1)$$

де b_i - сигнал збудження на відповідному вході 10_i збудження класифікатора.

50 Далі отримані значення дискримінантних функцій S_1, \dots, S_m (1), будучи подані на входи $6_1, \dots, 6_m$ прямого зв'язку бінарних нейроподібних елементів $3_1, \dots, 3_m$ третього шару, задають початкові стани бінарних нейроподібних елементів $3_1, \dots, 3_m$ цього шару. Після цього надходження сигналів з виходів лінійних нейроподібних елементів $2_1, \dots, 2_m$ другого шару на третій шар припиняється, а зі сформованого цими сигналами початкового стану запускається ітераційний процес всередині третього шару.

Додаткові виходи $7_1, \dots, 7_m$ і відповідні входи кожного з бінарних нейроподібних елементів $3_1, \dots, 3_m$ третього шару зв'язані між собою латеральним зв'язком, який має вагу $w_{ij}^{(3)}$ вигляду:

$$w_{ij}^{(3)} = \begin{cases} 0, & \text{якщо } i = j, \\ -\varepsilon \leq \frac{1}{m}, & \text{якщо } i \neq j. \end{cases} \quad (2)$$

При цьому значення ваги ε встановлюється по входу 12 ваги латеральних зв'язків класифікатора.

Отже, кожний бінарний нейроподібний елемент 3_i , де $i=1, \dots, m$, третього шару з'єднаний від'ємним (гальмівним) латеральним зв'язком з додатковими виходами $7_1, \dots, 7_m$ елементів $3_1, \dots, 3_m$ цього шару, крім себе самого. Функція активації $f^1(S_i)$ на додаткових виходах $7_1, \dots, 7_m$ відповідних бінарних нейроподібних елементів $3_1, \dots, 3_m$ третього шару має вигляд:

$$f^1(S_i) = \begin{cases} S_i, & \text{якщо } S_i > 0, \\ 0, & \text{якщо } S_i \leq 0. \end{cases} \quad (3)$$

На початку процесу функціонування бінарних нейроподібних елементів $3_1, \dots, 3_m$ третього шару на їх виходах $8_1, \dots, 8_m$ встановлюються одиничні значення по сигналах збудження на відповідних входах $11_1, \dots, 11_m$ збудження класифікатора.

Бінарні нейроподібні елементи $3_1, \dots, 3_m$ третього шару функціонують в режимі WTA (Winner Takes All), при якому у фіксованій (кінцевій) ситуації активізується тільки один бінарний нейроподібний елемент 3_k , де $k=1, \dots, m$, а всі інші перебувають у стані спокою. Функція активації $f^2(S_i)$ на виходах $8_1, \dots, 8_m$ відповідних бінарних нейроподібних елементів $3_1, \dots, 3_m$ третього шару задається виразом:

$$f^2(S_i) = \begin{cases} 1, & \text{якщо } S_i > 0, \\ 0, & \text{якщо } S_i \leq 0. \end{cases} \quad (4)$$

Ітераційний процес завершується у момент, коли всі бінарні нейроподібні елементи $3_1, \dots, 3_m$ третього шару, крім одного бінарного нейроподібного елемента 3_k (переможця з вихідним сигналом, не рівним нулю), перейдуть в нульовий стан. Бінарний нейроподібний елемент-переможець 3_k з ненульовим вихідним сигналом є представником k -го класу, до якого належить вхідний вектор X .

Таким чином, на виході 8_k , де $k=1, \dots, m$, ненульового бінарного нейроподібного елемента 3_k третього шару формується в класифікаторі відгук у вигляді одиничного сигналу u_k у відповідності з виразом (4), який надходить на відповідний вихід 9_k ознаки належності вхідних сигналів x_1, \dots, x_n k -му класу.

Бінарний нейроподібний елемент 3_i , де $i=1, \dots, m$ (фіг. 2) працює таким чином. Спочатку одиничним сигналом по входу 11 і збудження на S-вхід RS-тригера 19 він встановлюється в одиничний стан і на його прямому виході 8_i , а отже, на виході 9_i ознаки належності відповідному класу фіксується одиничний сигнал. Одночасно цей сигнал збудження подасть на адресний вхід А мультиплексора 15, дозволяючи проходження з входу D_1 на його вихід 24 інформації з його входу 6_i прямого зв'язку, яка являє собою дискримінантну функцію S_i (1). Інформація з виходу 19 багатовхідного суматора 13 потрапляє на від'ємний вхід суматора 14, де віднімається від інформації, яка подається з виходу 24 мультиплексора 15, тобто формується значення поточного стану бінарного нейроподібного елемента 3_i . Далі з суматора 14 ця інформація передається через його вихід 21 на інформаційний вхід D_0 мультиплексора 16, який передає цю інформацію через вихід до регістра 17. При цьому можливі два варіанти, що реалізують функцію активації $f^1(S_i)$ вигляду (3).

Якщо на виході 22 ознаки суматора 14 присутній нульовий сигнал, що свідчить про ненульову і невід'ємну поточну інформацію на виході 21 суматора 14, то він подається до R-входу RS-тригера 19, що не скидає RS-тригер 19 в нульовий стан, а отже на його прямому виході 8_i та на виході 9_i ознаки належності відповідному класу не змінюється одиничний сигнал. Нульовий сигнал ознаки з виходу 22 ознаки суматора 14, будучи поданий на адресний вхід А мультиплексора 16, дозволяє проходження ненульової і невід'ємної інформації з виходу 21 суматора 14 через інформаційний вхід D_0 мультиплексора 16 на вхід регістра 17.

Якщо на виході 22 ознаки суматора 14 присутній одиничний сигнал, що свідчить про нульову або від'ємну інформацію на виході 21 суматора 14, то він подається до R-входу RS-тригера 19, що скидає RS-тригер 19 в нульовий стан, а отже на його прямому виході 8_i та на виході 9_i ознаки належності відповідному класу фіксується нульовий сигнал. Одиничний сигнал ознаки з виходу 22 ознаки суматора 14, будучи поданий на адресний вхід А мультиплексора 16, дозволяє

проходження одиничного сигналу з виходу 22 ознаки суматора 14 через інвертор 18 на інформаційний вхід D_1 мультіплектора 16, а з його виходу нульовий сигнал подається на вхід регістра 17. Отже, сигнал ознаки з виходу 22 суматора 14 реалізує функцію активації $f^2(S_i)$ вигляду (4) на RS-тригері 19.

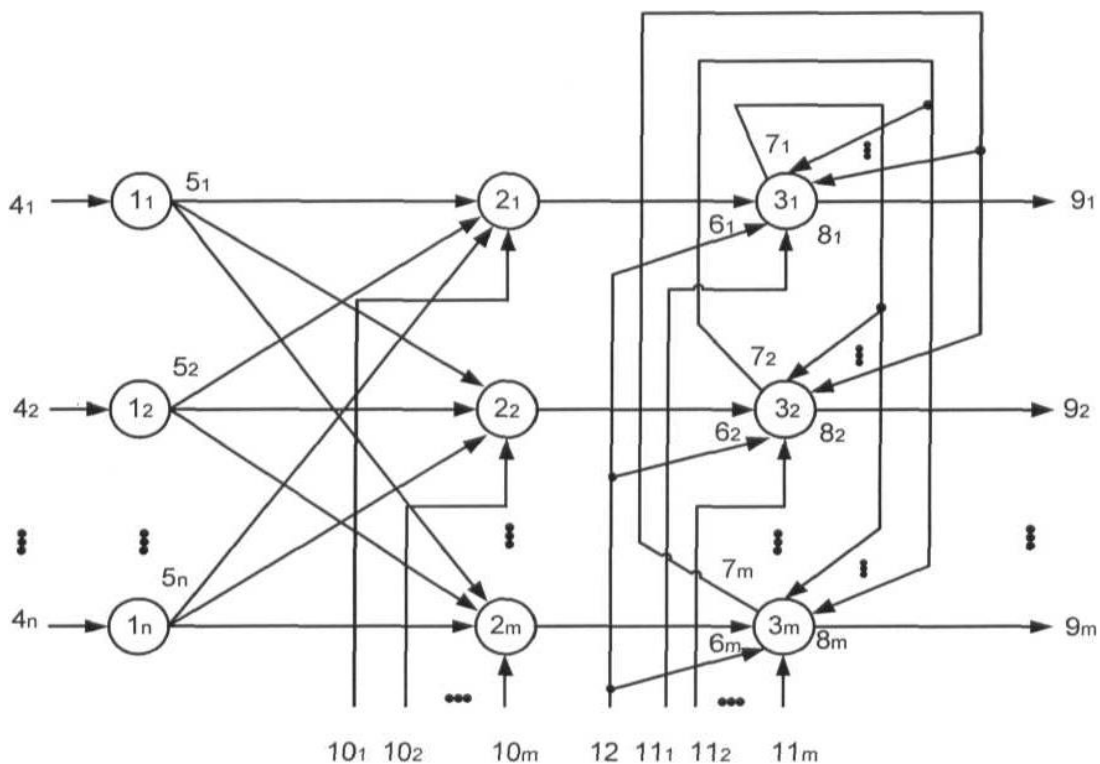
5 З виходу 23 регістра 17 інформація потрапляє на помножувач 20, де помножуються на значення ϵ ваги латеральних зв'язків, яке подається з входу 12 класифікатора, після чого потрапляє на додатковий вихід 7_i бінарного нейроподібного елемента 3_i , де $i=1, \dots, m$. Одночасно інформація з виходу 23 регістра 17, яка представляє поточний стан бінарного
10 нейроподібного елемента 3_i , де $i=1, \dots, m$, подається на інформаційний вхід D_0 мультіплектора 15. При наявності в подальшому нульового сигналу на вході 11_i збудження на вихід 24 мультіплектора 15 буде проходити інформація саме з його інформаційного входу D_0 , тобто поточний стан бінарного нейроподібного елемента 3_i буде оновлюватись з врахуванням інформації з додаткових виходів $7_1, \dots, 7_{i-1}, 7_{i+1}, \dots, 7_m$ всіх інших бінарних нейроподібних елементів $3_1, \dots, 3_{i-1}, 3_{i+1}, \dots, 3_m$ третього шару, які подаються на відповідні входи багатовхідного суматора
15 13.

Отже, введення у структуру класифікатора зовнішніх сигналів збудження для нейроподібних елементів другого та третього шарів, а також значення ваги латеральних зв'язків для бінарних нейроподібних елементів третього шару дозволяє забезпечити формалізацію процесу класифікації, тобто уникнути формального керування класифікатором.

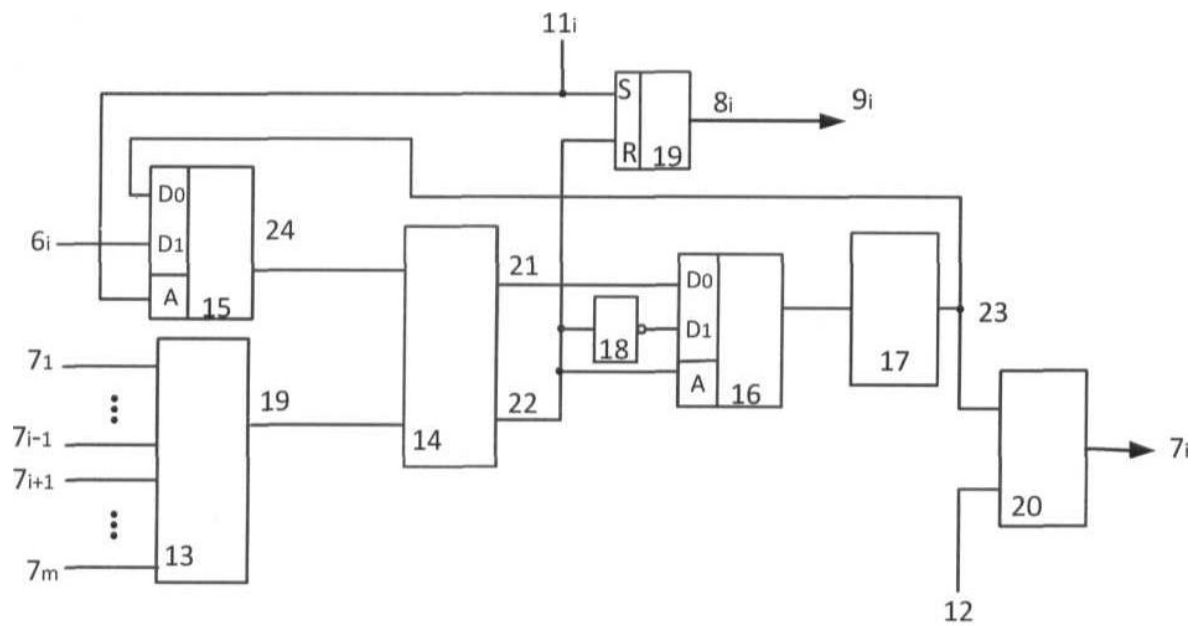
20

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Класифікатор, що містить три шари взаємозв'язаних нейроподібних елементів, виходи бінарних нейроподібних елементів третього шару є виходами ознаки належності вхідних сигналів
25 відповідному класу, причому другий шар складається з m лінійних нейроподібних елементів, де m - кількість класів, кожен з n входів класифікатора з'єднаний з входом відповідного сенсорного нейроелемента першого шару, додатковий вихід кожного з m бінарних нейроподібних елементів третього шару з'єднаний з відповідним входом латерального зв'язку кожного бінарного нейроподібного елемента цього шару, крім себе самого, вихід кожного лінійного нейроподібного
30 елемента другого шару з'єднаний з входом прямого зв'язку відповідного бінарного нейроподібного елемента третього шару, причому входи кожного лінійного нейроподібного елемента другого шару з'єднані з входом всіх n сенсорних нейроелементів першого шару, який **відрізняється** тим, що введено дві групи m входів збудження та вхід ваги латеральних зв'язків, причому в першій і другій групі кожний з m входів збудження підключений до входу відповідного
35 лінійного нейроподібного елемента другого шару та відповідного бінарного нейроподібного елемента третього шару, до відповідного входу якого також підключено вхід ваги латеральних зв'язків, а кожний з m бінарних нейроподібних елементів третього шару містить багатовхідний суматор, суматор, перший і другий мультіплектори, регістр, RS-тригер, інвертор та помножувач, причому $(m-1)$ входи латеральних зв'язків бінарного нейроподібного елемента
40 з'єднані з відповідними входами багатовхідного суматора, вихід якого підключений до від'ємного входу суматора, прямий вхід якого з'єднаний з виходом першого мультіплектора, його вихід підключений до першого інформаційного входу другого мультіплектора, а його вихід ознаки підключений до R-входу RS-тригера, а також до адресного входу та через інвертор до другого інформаційного входу другого мультіплектора, вихід якого з'єднаний з відповідним входом
45 регістра, вхід прямого зв'язку бінарного нейроподібного елемента з'єднаний з другим інформаційним входом першого мультіплектора, його вхід збудження підключений до адресного входу першого мультіплектора та до S-входу RS-тригера, а його вихід ознаки належності відповідному класу з'єднаний з прямим виходом RS-тригера, крім того, вихід регістра з'єднаний з першим інформаційним входом першого мультіплектора і першим входом
50 помножувача, другий вхід якого з'єднаний з входом ваги латеральних зв'язків класифікатора, а його вихід підключений до додаткового виходу бінарного нейроподібного елемента третього шару класифікатора.



Фіг. 1



Фіг. 2

Комп'ютерна верстка Л. Литвиненко

Міністерство економічного розвитку і торгівлі України, вул. М. Грушевського, 12/2, м. Київ, 01008, Україна

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