



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **109297** (13) **U**
(51) МПК (2016.01)
G06N 3/00

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

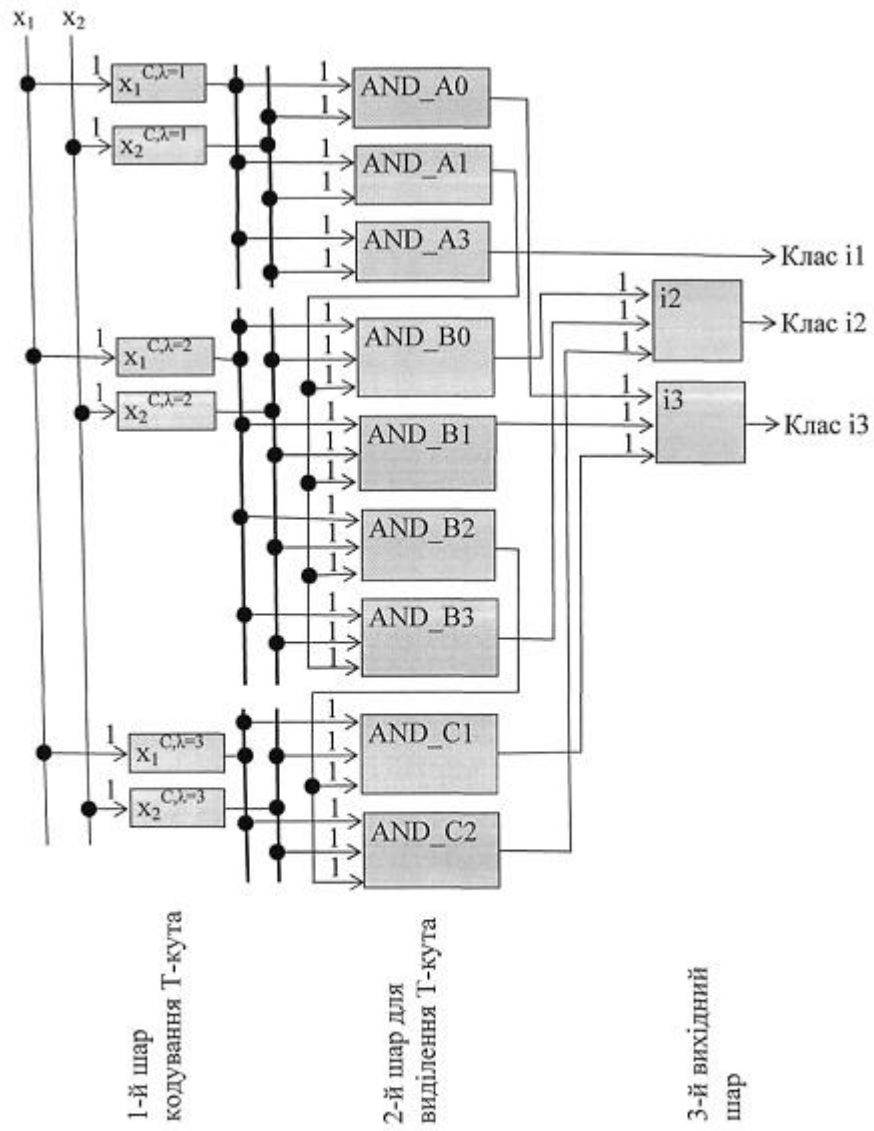
(21) Номер заявки: u 2016 00746	(72) Винахідник(и): Кутковецький Валентин Якович (UA), Турти Марина Валентинівна (UA)
(22) Дата подання заявки: 01.02.2016	(73) Власник(и): ЧОРНОМОРСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ПЕТРА МОГИЛИ, вул. 68 Десантників, 10, м. Миколаїв, 54003 (UA)
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 25.08.2016	
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 25.08.2016, Бюл.№ 16	

(54) СПОСІБ НАВЧАННЯ СТОХАСТИЧНОЇ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ

(57) Реферат:

Спосіб навчання стохастичної нейронної мережі, за яким класифікують вхідний стохастичний вектор невідомого класу $X=(x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_n)$, де $j=1, 2, \dots, n$ - порядковий номер числової змінної x_j вектора X , на основі початкової навчальної вибірки стохастичних векторів $X^{k,e}=(x_1^{k,e}, x_2^{k,e}, \dots, x_j^{k,e}, \dots, x_n^{k,e})$, де $k=0$ - тип навчальної вибірки векторів $X^{k,e}$ чи окремих навчальних груп вибірки з векторами $X^{k,e}$, серед яких відсутні вектори різних класів чи вектори з іншими розділювальними обмеженнями, під якими також розуміють заборону мати у навчальній вибірці чи у її групі вектори $X^{k,e}$ із забороненими відстанями між векторами $X^{k,e}$ або із забороненими стохастичними показниками вибірки чи її групи та ін., $k=1$ - тип навчальної вибірки векторів $X^{k,e}$ чи окремих навчальних груп вибірки з векторами $X^{k,e}$, серед векторів яких присутні розділювальні обмеження, $j=1, 2, \dots, n$ - порядковий номер числової змінної $x_j^{k,e}$ навчального вектора $X^{k,e}$, $e=1, 2, \dots, E$ - порядковий номер навчального вектора $X^{k,e}$ у навчальній вибірці. На етапі навчання будують нейронну мережу на основі використання навчальної вибірки з векторами $X^{k,e}$, для чого вагові коефіцієнти входів всіх нейронів нейронної мережі прирівнюють 1 і не змінюють, нейронній мережі надають обов'язкові 1-й і 2-й шари нейронів та необов'язковий 3-й шар нейронів, з яких 1-й та 2-й шари нейронів можуть мати ряд паралельних ієрархічних аналогічних шарів нейронів, кожному з яких призначають індивідуальну вибірку навчальних векторів та визначають на основі даних цієї індивідуальної вибірки відповідний центр координат.

UA 109297 U



Фиг. 5

Корисна модель належить до нейрокібернетики і може бути використана у нейрокомп'ютерах та штучних стохастичних нейронних мережах для класифікації заданого на вході випадкового вхідного вектора невідомого класу $X = (x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_n)$, де $j=1, 2, \dots, n$ - порядковий номер змінної x_j . Хоча функціонування подібних мереж є детермінованим і використовується незмінна вибірка для їх навчання, але вони зветься стохастичними, бо призначені для класифікації стохастичних векторів невідомого класу, а вибірка для навчання є репрезентативною і складається з випадкових векторів [1; 2, с. 218].

Відомий спосіб навчання стохастичної нейронної мережі, за яким класифікують вхідний стохастичний вектор невідомого класу $X = (x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_n)$, де $j=1, 2, \dots, n$ - порядковий номер числової змінної x_j вектора X , на основі початкової навчальної вибірки стохастичних векторів $X^{\delta, e} = (x_1^{\delta, e}, x_2^{\delta, e}, \dots, x_j^{\delta, e}, \dots, x_n^{\delta, e})$ з розділювальними обмеженнями, під якими розуміють групи векторів $X^{\delta, e}$ у вигляді їх кластерів у вибірці, де $\delta = 1, 2, \dots, q$ - порядковий номер кластера, $j=1, 2, \dots, n$ - порядковий номер числової змінної $x_j^{\delta, e}$ навчального вектора $X^{\delta, e}$, $e=1, 2, \dots, E$ - порядковий номер навчального вектора $X^{\delta, e}$ у навчальній вибірці, при якому невідомий вектор X класифікують по найбільшій схожості до вектора-центроїда кластера [3, с. 153].

Недоліками даного способу навчання стохастичної нейронної мережі є зменшення точності класифікації векторів невідомого класу X при змішаному розміщенні навчальних векторів $X^{\delta, e}$ різних класів, хоча з точки зору спрощення розрахунків і економії часу цей спосіб навчання є найбільш ефективним для нейронних мереж з чітко розділеними кластерами.

Відомий спосіб навчання стохастичної нейронної мережі, за яким класифікують вхідний стохастичний вектор невідомого класу $X=(x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_n)$, де $j=1, 2, \dots, n$ - порядковий номер числової змінної x_j вектора X , на основі початкової навчальної вибірки стохастичних векторів $X^{k, e} = (x_1^{k, e}, x_2^{k, e}, \dots, x_j^{k, e}, \dots, x_n^{k, e})$ з розділювальними обмеженнями, під якими розуміють заборону мати у навчальній вибірці чи у її групі вектори $X^{k, e}$ з різними класами, заборонені відстані між векторами $X^{k, e}$, заборонені стохастичні показники вибірки чи її групи та ін., $k=1$ - тип навчальної вибірки векторів $X^{k, e}$ чи окремих навчальних груп вибірки з векторами $X^{k, e}$, серед яких присутні розділювальні обмеження, $j=1, 2, \dots, n$ - порядковий номер числової змінної $x_j^{k, e}$ навчального вектора $X^{k, e}$, $e=1, 2, \dots, E$ - порядковий номер навчального вектора $X^{k, e}$ у навчальній вибірці, при якому розділювальним обмеженням є "близкість сусіда", і клас невідомого вектора X визначають по класу "найближчого сусіда" - вектора $X^{k, e}$ з найбільшою схожістю до вектора X [3, с. 153].

Недоліками даного способу навчання є збільшення витрат на стохастичну нейронну мережу та її обслуговування через збереження в нейронній мережі великої кількості інформації вибірки та недостатня точність класифікації вхідного вектора X внаслідок не урахування густини розподілу сусідніх векторів.

Найбільш близьким до заявленого способу навчання стохастичної нейронної мережі є вибраний за прототип спосіб навчання, за яким класифікують вхідний стохастичний вектор невідомого класу $X = (x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_n)$, де $j=1, 2, \dots, n$ - порядковий номер числової змінної x_j вектора X , на основі початкової навчальної вибірки стохастичних векторів $X^{k, e} = (x_1^{k, e}, x_2^{k, e}, \dots, x_j^{k, e}, \dots, x_n^{k, e})$, де $k=0$ - тип навчальної вибірки векторів $X^{k, e}$ чи окремих навчальних груп вибірки з векторами $X^{k, e}$, серед яких відсутні вектори різних класів чи вектори з іншими розділювальними обмеженнями, під якими також розуміють заборону мати у навчальній вибірці чи у її групі вектори $X^{k, e}$ із забороненими відстанями між векторами $X^{k, e}$ або із забороненими стохастичними показниками вибірки чи її групи та ін., $k=1$ - тип навчальної вибірки векторів $X^{k, e}$ чи окремих навчальних груп вибірки з векторами $X^{k, e}$, серед векторів яких присутні розділювальні обмеження, $j=1, 2, \dots, n$ - порядковий номер числової змінної $x_j^{k, e}$ навчального вектора $X^{k, e}$, $e=1, 2, \dots, E$ - порядковий номер навчального вектора $X^{k, e}$ у навчальній вибірці, згідно з яким змінні $x_j^{k, e}$ кожного вхідного навчального вектора $X^{k, e}$ використовують як вагові коефіцієнти п входів кожного відповідного нейрона групи у шарі зразків, кожному нейрону шару зразків привласнюють функцію (Гаусса), позитивне числове значення якої збільшується до 1 при співпаданні координат векторів X та $X^{k, e}$ всі виходи групи нейронів одного класу шару зразків з'єднують з входами відповідного нейрона-суматора даного класу у підсумовуючому шарі, по максимальному значенню виходу нейрона-суматора відповідного класу визначають клас вхідного вектора X [1].

Даний спосіб навчання є аналогом байєсового класифікатора, за яким вхідний невідомий стохастичний вектор $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ класифікують за допомогою центроїдів кластерів (класів) по найбільшій величині байєсового класифікатора $A^{\delta} P^{\delta f^{\delta}}$, де $\delta = 1, 2, \dots, q$ - порядковий номер кластера (класу), A^{δ} - витрати внаслідок заперечення наявності δ -го кластера (класу) при його реальній присутності; P^{δ} - апіорна ймовірність появи δ -го кластера (класу), яку або визначають по опублікованим даним, або приймають рівною відношенню кількості векторів δ -го класу в

початкової навчальної вибірки до загальної кількості навчальних векторів E в початковій вибірці; f^{δ} - оцінка функції густини ймовірності δ -го кластера (класу) [2, с. 219-221; 3, с. 154].

Причини, які перешкоджають одержанню очікуваного технічного результату у прототипі (зменшення кількості нейронів, зменшення часу класифікації, спрощення розрахунків) є прийнятий алгоритм роботи та архітектура нейронної мережі.

Недоліками прийнятого за прототип способу навчання є збільшення витрат на стохастичну нейронну мережу та її обслуговування через збільшення кількості нейронів в нейронній мережі та ускладнення розрахунків.

Технічним результатом запропонованої корисної моделі є зменшення витрат на стохастичну нейронну мережу та її обслуговування через зменшення загальної кількості нейронів в нейронній мережі і спрощення розрахунків. Згідно з запропонованим способом проводиться по суті не навчання нейронної мережі, а групування всієї сукупності навчальних стохастичних векторів по заздалегідь визначених тілесних кутах, які упорядковано "географічно" розміщені в гіперсфері і у які попадають кінцеві точки навчальних векторів.

Загальні суттєві ознаки запропонованого способу навчання стохастичної нейронної мережі, які співпадають з суттєвими ознаками прототипу, полягають у тому, що вхідний стохастичний вектор невідомого класу $X=(x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_n)$, де $j=1, 2, \dots, n$ - порядковий номер числової змінної x_j вектора X , на основі початкової навчальної вибірки стохастичних векторів $X^{k,e} = (x_1^{k,e}, x_2^{k,e}, \dots, x_j^{k,e}, \dots, x_n^{k,e})$, де $k=0$ - тип навчальної вибірки векторів $X^{k,e}$ чи окремих навчальних груп вибірки з векторами $X^{k,e}$, серед яких відсутні вектори різних класів чи вектори з іншими розділювальними обмеженнями, під якими також розуміють заборону мати у навчальній вибірці чи у її групі вектори $X^{k,e}$ із забороненими відстанями між векторами $X^{k,e}$ або із забороненими стохастичними показниками вибірки чи її групи та ін., $k=1$ - тип навчальної вибірки векторів $X^{k,e}$ чи окремих навчальних груп вибірки з векторами $X^{k,e}$, серед векторів яких присутні розділювальні обмеження, $j=1, 2, \dots, n$ - порядковий номер числової змінної $x_j^{k,e}$ навчального вектора $X^{k,e}$, $e=1, 2, \dots, E$ - порядковий номер навчального вектора $X^{k,e}$ у навчальній вибірці.

Суттєві ознаки запропонованого способу навчання нейронної мережі, що є достатніми у всіх випадках і характеризують запропонована корисна модель на відміну від прототипу, полягають у тому, що на етапі навчання будують нейронну мережу на основі використання навчальної вибірки з векторами $X^{k,e}$, для чого вагові коефіцієнти входів всіх нейронів нейронної мережі прирівнюють 1 і не змінюють, нейронній мережі надають обов'язкові 1-й і 2-й шари нейронів та необов'язковий 3-й шар нейронів, з яких 1-й та 2-й шари нейронів можуть мати ряд паралельних ієрархічних аналогічних шарів нейронів, кожному з яких призначають індивідуальну вибірку навчальних векторів та визначають на основі даних цієї індивідуальної вибірки відповідний центр координат $X^{\lambda} = (x_1^{\lambda}, x_2^{\lambda}, \dots, x_j^{\lambda}, \dots, x_n^{\lambda})$, де $\lambda = 1, 2, 3, \dots$ - порядковий номер ієрархії, у 1-му шарі на етапі навчання для вищого першого ієрархічного рівня $\lambda = 1$ призначають як індивідуальну вибірку початкову навчальну вибірку, для цієї вибірки визначають центр координат $X^{\lambda=1} = (x_1^{\lambda=1}, x_2^{\lambda=1}, \dots, x_j^{\lambda=1}, \dots, x_n^{\lambda=1})$, у якому значення координат $x_j^{\lambda=1}$ прирівнюють нулю ($x_j^{\lambda=1}=0$), якщо навчальні вектори $X^{k,e}$ вибірки вміщують змінні $x_j^{k,e}$ з різними знаками при однакових нижніх індексах j , а у іншому разі елементи центра координат $X^{\lambda=1}$ прирівнюють координатам серединної точки початкової вибірки у вигляді, наприклад, координат кінцевої точки вектора центроїда відповідних векторів або точки "центру тяжіння" відповідного Т-кута типу $k=1$, перераховують координати навчальних векторів $X^{k,e}$ початкової навчальної вибірки на координати навчальних векторів для нового центра координат X^{λ} у вигляді векторів $X^{k,e,\lambda=1} = (x_1^{k,e,\lambda=1}, x_2^{k,e,\lambda=1}, \dots, x_j^{k,e,\lambda=1}, \dots, x_n^{k,e,\lambda=1})$, де $x_j^{k,e,\lambda=1} = (x_j^{k,e} - x_j^{\lambda=1})$, у 1-й шар вводять n нейронів першого ієрархічного рівня $\lambda = 1$, кожний з яких має один вхід, що з'єднують на етапі навчання з числовою змінною $x_j^{k,e,\lambda=1}$ вхідного навчального вектора $X^{k,e,\lambda=1}$ індивідуальної навчальної вибірки, і має один вихід, на якому отримують для j -го нейрона або код $x_j^{C,\lambda=1}=0$, якщо знак різниці $(x_j^{k,e,\lambda=1} - x_j^{\lambda=1})$ є від'ємним, або у іншому разі - код $x_j^{C,\lambda=1}=1$, а сукупність виходів $X^{C,\lambda=1} = (x_1^{C,\lambda=1}, x_2^{C,\lambda=1}, \dots, x_j^{C,\lambda=1}, \dots, x_n^{C,\lambda=1})$ всіх n нейронів 1-го шару у першому ієрархічному рівні $\lambda = 1$ розглядають як розряди двійкового числа і вважають сукупність значень цих розрядів порядковим номером у двійковій системі числення відповідного Т-кута типу $k=0$ або $k=1$, у 2-й шар першого ієрархічного рівня $\lambda = 1$ вводять нейрони типу T_AND_0, кількість яких дорівнює загальній кількості Т-кутів типів $k=0$ та $k=1$ початкової навчальної вибірки з навчальними векторами $X^{k,e,\lambda=1}$ першого ієрархічного рівня $\lambda = 1$, для кожного нейрона типу T_AND_0 вводять n входів, які з'єднують з відповідними n виходами нейронів 1-го шару першого ієрархічного рівня $\lambda = 1$, кожному нейрона типу T_AND_0 призначають для розпізнавання індивідуальний порядковий двійковий номер Т-кута, рівний одному з порядкових двійкових номерів Т-кутів початкової вибірки з навчальними векторами $X^{k,e,\lambda=1}$, якщо частка початкової навчальної вибірки векторів $X^{k,e,\lambda=1}$ розміщена в Т-куті типу $k=0$, який охоплює всі навчальні вектори $X^{k,e,\lambda=1}$ даного

класу, то на виході відповідного нейрона T_AND_0 для T-кута типу k=0 отримують вихідний сигнал відповідного класу стохастичної нейронної мережі, якщо частка початкової навчальної вибірки векторів $X^{k,e,\lambda=1}$ розміщена в T-куті типу k=0, який охоплює лише частку навчальних векторів $X^{k,e,\lambda=1}$ даного класу, то вихід відповідного нейрона T_AND_0 для T-кута типу k=0 з'єднують з входом відповідного нейрона-суматора 3-го шару нейронів, на виході якого отримують вихідний сигнал для одного з відповідних класів нейронної мережі, і вводять для цього нейрона-суматора 3-го шару нейронів кількість входів, яка дорівнює кількості T-кутів типу k=0, у які попали навчальні вектори $X^{k,e,\lambda=1}$ даного одного класу, якщо частка початкової навчальної вибірки векторів $X^{k,e,\lambda=1}$ розміщена в T-куті типу k=1, то всі належні даному T-куту типу k=1 навчальні вектори $X^{k,e,\lambda=1}$ різних класів розглядають як окрему скорочену стохастичну навчальну вибірку нижчої ієрархії, яка потребує подальшого розділу на частки з використанням способу навчання нейронної мережі, аналогічного описаному вище, сигнал виходу нейрону T_AND_0 для T-кута типу k=1 розглядають як сигнал дозволу на вихід відповідного сигналу нижчої ієрархії, вихід цього нейрона T_AND_0 з'єднують з додатковим (n+1) -м входом до ієрархічно нижчого нейрона T_AND_0 для T-кутів типу k=0 та k=1 при ієрархічних рівнях $\lambda > 1$, для чого в нейронну мережу у 1-му та 2-му шарах при ієрархічних рівнях $\lambda > 1$ вводять нові ієрархічно нижчі рівні із загальною кількістю ієрархічно нижчих шарів, яка дорівнює кількості наявних у вищому ієрархічному рівні T-кутів типу k=1, а кожний з ієрархічно нижчих рівнів має у 1-му та 2-му шарі структуру та зв'язки, аналогічні описаним вище для вищого ієрархічного рівня $\lambda = 1$, за винятком того, що кожний ієрархічно нижчий рівень при $\lambda > 1$ має індивідуальний визначений для даної скороченої вибірки центр координат X^λ , а кожний з відповідних нейронів T_AND_0 2-го шару нижчих ієрархічних рівнів має додатковий (n+1)-й вхід, який з'єднують з виходом відповідного нейрона T_AND_0 попереднього вищого ієрархічного рівня, що вміщує групу відповідних навчальних векторів $X^{k,e,\lambda}$ типу k=1 нижчого рівня, з наступним повторним дробленням ієрархічно нижчих скорочених вибірок навчальних векторів T-кутів типу k=1 до охоплення всіх векторів $X^{k,e,\lambda=1}$ вищого ієрархічного рівня $\lambda = 1$ всіма вихідними сигналами T-кутів типу k=0 з 2-го та 3-го шарів, по яких визначають клас вхідного вектора X, а на етапі використання нейронної мережі на всі ієрархічні входи всіх ієрархічних рівнів λ 1-го шару подають вхідний стохастичний вектор невідомого класу X, на виходах всіх ієрархічних шарів 1-го шару отримують виходи результатів кодування різниць $(x_j - x_i^\lambda)$ у вигляді двійкових порядкових номерів $X^{C,\lambda}$ відповідних T-кутів типу k=0 або k=1, у які може попасти вхідний вектор невідомого класу X, у 2-му шарі вмикають на подальше дроблення скорочені вибірки навчальних векторів T-кутів типу k=1 на ієрархічно нижчих рівнях 1 -го та 2-го шарів, нейрони 2-го шару типу T_AND_0 по отриманому T-куту типу k=0 класифікують вхідний вектор X, а у 3-му шарі, який не є обов'язковим, об'єднують на нейронах-суматорах сигнали з 2-го шару від виходів нейронів типу T_AND_0, що розпізнають індивідуальні номери T-кутів типу k=0 однакових класів.

Передбачуваний спосіб навчання стохастичної нейронної мережі ілюструється кресленнями, на яких наведено:

- 40 Фіг. 1 - гіпершар радіусом R_m з тілесним кутом;
- Фіг. 2 - порядкові номери з тілесних кутів у десятковій системі числення;
- Фіг. 3 - структурна схема нейрона T_AND_0 [4];
- Фіг. 4 - розміщення навчальних векторів у двовимірній системі координат;
- Фіг. 5 - стохастична нейронна мережа.

На Фіг. 1 позначено:

- 45 - R - радіус гіпершару;
- S - площа на гіперсфері шару, яку перетинають промені (напрямки векторів) усіх векторів тілесного кута n-мірного гіпершару, що виходять з центру гіпершару.

На Фіг. 2 позначено:

- 50 - x_1, x_2 - осі координат двомірного простору. В тексті заяви замість слів "простір", "круг", "коло" використовуються відповідні слова "гіперпростір", "гіперкуля", "гіперсфера", щоб підкреслити, що ми розглядаємо загальний випадок гіперпростору (поняття якого не змінюються у залежності від кількості осей), але вони мають перероджений вигляд у двовимірній (і одновимірній) системі координат;

- g=0, g=1, g=2, g=3 - порядкові номери T-кутів в десятковій системі числення.

- 55 На Фіг. 3 позначені вихідна змінна та вхідні змінні нейрона "T_AND_0", який виконує складну логічну функцію [4]:

- $x_j^\alpha, j=1, 2, \dots, n^\alpha$ - вхідні змінні, які всі повинні мати призначені їм значення "1" для отримання виходу $y = 1$ нейрона "T_AND_0";

- $j=1, 2, \dots, n^\alpha$ - порядкові номери вхідних змінних x_j^α нейрона "T_AND_0";

- x_i^β , $j=n^\alpha + 1, n^\alpha + 2, \dots, n$ - вхідні змінні, які всі повинні мати призначені їм значення "0" для отримання виходу $y = 1$ нейрона "T_AND_0";

- $j=n^\alpha + 1, n^\alpha + 2, \dots, n$ - порядкові номери вхідних змінних x_i^β нейрона "T_AND_0";

5 - y - вихід нейрона "T_AND_0", який дорівнює 1, якщо значення всіх входів " $x_i^\beta = 0$ " та всіх входів " $x_i^\alpha = 1$ " дотримуються сумісно; в іншому разі вихід $y=0$.

На Фіг. 4 позначено:

- x_1, x_2 - позначення осей початкової системи координат, яка помічена літерою А. Пунктиром наведені позначені літерами В та С нові системи координат для ієрархічно нижчих і менших за розмірами Т-кутів навчальних векторів без позначення їх осей, бо вони співпадають з позначеннями і напрямками наведених осей (x_1, x_2), позначеними літерою А;

10 - $g=0, g=1, g=2, g=3$ - порядкові номери Т-кутів в десятковій системі числення (виділені у прямокутниках із сірим фоном) для початкової системи координат, яка позначена літерою А. Ці порядкові номери є вірними й для систем координат, поміченими літерами В та С;

15 - $e=1, 2, 3, 4, 5$ - помічені цифрами кінцеві точки навчальних векторів $X^{i,e}$ класу $i = 1$ (позначені чорними колами);

- $e=6, 7, 8$ - помічені цифрами кінцеві точки навчальних векторів $X^{i,e}$ класу $i = 2$ (позначені чорними ромбами);

- $e=9, 10, 11, 12, 13, 14, 15$ - помічені цифрами кінцеві точки навчальних векторів $X^{i,e}$ класу $i = 3$ (позначені прямокутниками);

20 - X - позначена чорним трикутником точка, яка відображує координати (x_1, x_2) вхідного вектора X невідомого класу.

На Фіг. 5 позначено:

- 1 - вагові коефіцієнти входів нейронів, які не змінюються у процесі навчання нейронної мережі;

25 - $x_1^{C,\lambda=1}, x_2^{C,\lambda=1}$ - нейрони "1-го шару кодування Т-кута" нейронної мережі, які складають вищий ієрархічний рівень ($\lambda = 1$) у 1-му шарі нейронної мережі, вихідні сигнали яких помічаються $x_1^{C,\lambda=1}, x_2^{C,\lambda=1}$ (по позначенню нейронів);

30 - $x_1^{C,\lambda=2}, x_2^{C,\lambda=2}$ - нейрони "1-го шару кодування Т-кута" нейронної мережі, які складають другий ієрархічний рівень ($\lambda = 2$) у 1-му шарі нейронної мережі, вихідні сигнали яких помічаються $x_1^{C,\lambda=2}, x_2^{C,\lambda=2}$ (по позначенню нейронів);

- $x_1^{C,\lambda=3}, x_2^{C,\lambda=3}$ - нейрони "1-го шару кодування Т-кута" нейронної мережі, які складають третій ієрархічний рівень ($\lambda = 3$) у 1-му шарі нейронної мережі, вихідні сигнали яких помічаються $x_1^{C,\lambda=3}, x_2^{C,\lambda=3}$ (по позначенню нейронів);

35 - AND_A0, AND_A1, AND_A3 - нейрони типу "T_AND_0" [4]. Вихідні сигнали нейронів помічаються по їх позначенню. Кінцеві частки позначень у вигляді "A0", "A1", "A3" означають: літера "A" - позначення системи осей координат на Фіг. 4; кінцеві цифри 0, 1, 3- порядкові номери Т-кутів у десятковій системі числення g у вказаній системі координат А на Фіг. 4;

40 - AND_B0, AND_B1, AND_B2, AND_B3 - нейрони типу "T_AND_0" [4]. Вихідні сигнали нейронів помічаються по їх позначенню. Кінцеві частки позначень у вигляді "B0", "B1", "B2", "B3" означають: літера "B" - позначення системи осей координат на Фіг. 4; кінцеві цифри 0, 1, 2, 3 - порядкові номери Т-кутів у десятковій системі числення g у вказаній системі координат В на Фіг. 4;

45 - AND_C1, AND_C2 - нейрони типу "T_AND_0" [4]. Вихідні сигнали нейронів помічаються по їх позначенню. Кінцеві частки позначень у вигляді "C1", "C2" означають: літера "C" - позначення системи осей координат на Фіг. 4; кінцеві цифри 1, 2 - порядкові номери Т-кутів у десятковій системі числення g у вказаній системі координат С на Фіг. 4;

- $i2, i3$ - нейрони-суматори 3-го шару нейронів, на виході кожного з яких отримують вихідний сигнал для одного з відповідних класів нейронної мережі;

50 - Клас $i1$, Клас $i2$, Клас $i3$ - виходи нейронної мережі, на одному з яких сигнал 0 замінюється на сигнал 1, якщо вхідний стохастичний вектор $X = (x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n)$ належить до відповідного класу;

- 1-й шар кодування Т-кута, 2-й шар для виділення Т-кута, 3-й вихідний шар - шари нейронної мережі, кожний з яких складається з визначеної кількості нейронів.

55 Спочатку розглянемо деякі визначення, які використовуються нижче при описі способу навчання стохастичної нейронної мережі.

60 Нижче у n -вимірному гіпероб'ємі, поряд з поняттям кластера [2, 3, 5-8] як підмножини найбільш схожих навчальних векторів з числовими змінними та з визначенням для кластера типового представника (центроїда - як вектора із середніми значеннями координат навчальних векторів, що складають кластер), також використовується більш широке поняття тілесного кута (Т-кута). Т-кутом n -вимірного гіпероб'єму зветься його частина, яка об'єднує усі вектори, промені

яких (напрямки векторів) виходять з центру координат і перетинають деяку гіперповерхню S на гіперсфері радіусом R (Фіг. 1). Т-кут відрізняється від кластера тим, що охоплює нескінченну можливу кількість векторів n -вимірною гіпероб'ємом Т-кута та охоплює не лише точки координат векторів $X^{k,e}$ одного або кількох кластерів, але й нескінченну кількість точок всього простору

гіперкулі між точками з векторами $X^{k,e}$. Разом з тим для Т-кута, який охоплює один кластер, при аналізі можна використовувати всі характеристики цього кластера: позначення кластера, його центроїд, кількість векторів кластера $X^{k,e}$, параметри конкретних векторів $X^{k,e}$.

Як і при ієрархічній кластеризації великі Т-кути також можуть бути розділені на ієрархічно нижчі дрібніші Т-кути, коли адреса найменшого Т-кута характеризується переліком всієї зв'язаної сукупності Т-кутів, від великого Т-кута вищого ієрархічного рівня з великою кількістю належних йому векторів $X^{k,e}$, що входять у нього, до найдрібнішого Т-кута нижчого ієрархічного рівня з меншою кількістю векторів $X^{k,e}$, що належать йому і одночасно належать Т-куту вищого ієрархічного рівня. Розділ великих Т-кутів на ієрархічно нижчі та дрібніші Т-кути виконується за методом перенесення точки початку координат, приклад застосування якого наведений нижче.

Розглянемо порядкову нумерацію Т-кутів, яка використовується як адреса Т-кута. В n -вимірному просторі прямокутної системи координат позначення осей координат $(x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n)$ по знаках «+» чи «-» їх числових значень замінюють на коди "1" чи "0". Сукупність отриманих кодованих значень осей координат $(x_1^C, x_2^C, \dots, x_i^C, \dots, x_n^C)$ утворює порядковий номер відповідного Т-кута у двійковій системі числення. Цей двійковий порядковий номер Т-кута можна перевести у порядковий номер десяткової системи числення. Т-кут виділяється в гіперкулі сукупністю площин, кожна з яких охоплює початок координат та дві сусідні осі координат.

На Фіг. 2 як приклад показані порядкові номери Т-кутів у десятковій системі числення $g=0$, $g=1$, $g=2$, $g=3$ для осей координат (x_1, x_2) . Порядкові номери Т-кутів отримуються спочатку у двійковій системі числення, а потім переводяться у десяткову систему числення:

- перший квадрант: $(+x_1, +x_2) \rightarrow (1, 1) \rightarrow g=3$;
- другий квадрант: $(-x_1, +x_2) \rightarrow (0, 1) \rightarrow g=1$;
- третій квадрант: $(-x_1, -x_2) \rightarrow (0, 0) \rightarrow g=0$;
- четвертий квадрант: $(+x_1, -x_2) \rightarrow (1, 0) \rightarrow g=2$.

Аналогічним чином можна отримати порядкові номери Т-кутів для системи координат із довільною кількістю осей координат. Отримані порядкові номери g не співпадають зі звичною загальноприйнятою нумерацією квадрантів на площині, а також не співпадають з відомою нумерацією октантів у тривимірній системі координат.

Для стохастичного вектора невідомого класу $X = (x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n)$ з числовими змінними можна отримати відповідну сукупність $(x_1^C, x_2^C, \dots, x_i^C, \dots, x_n^C)$, елементи якої складаються з 0 та 1 та яка є порядковим номером Т-кута вектора X у двійковій системі числення.

Для можливості виділення окремих Т-кутів по їх порядкових двійкових номерах $(x_1^C, x_2^C, \dots, x_i^C, \dots, x_n^C)$, використовують нейрони "T_AND_0" [4], які виконують складну логічну функцію (Фіг. 3). Нейрон "T_AND_0" має значення базисних змінних 0 та 1 і йому призначають для розпізнавання один з порядкових двійкових номерів Т-кутів з n розрядами, отриманий зі стохастичної навчальної вибірки для навчальних векторів. На відміну від звичайної логічної функції AND з двома вхідними змінними (x_1, x_2) зі значеннями 0 або 1, нейрон "T_AND_0" виконує аналогічну логічну операцію з n вхідними значеннями змінних $(x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n)$, причому для отримання на виході сигналу 1 частка з вхідних змінних (на Фіг. 3 - змінні x_j^a , $j=1, 2, \dots, n^a$) повинна мати значення 1, а інша частка з вхідних змінних (на Фіг. 3 - змінні x_j^b , $j=n^a + 1, n^a + 2, \dots, n$) повинна мати значення 0.

Пропонований спосіб навчання належить до стохастичних нейромереж прямого розповсюдження вхідного сигналу, які можуть мати мінімум два шари нейронів, а максимум - три шари нейронів:

1-й вхідний шар кодування Т-кута, призначений для отримання порядкового номера Т-кута, у якому знаходиться вхідний вектор невідомого класу $X = (x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n)$ з цифровими змінними x_i . Порядкові номери всіх Т-кутів визначає експерт по даних початкової навчальної вибірки стохастичних векторів $X^{k,e}$ для усіх ієрархічних рівнів λ у вигляді кодованих сукупностей $X^{C,\lambda} = (x_1^{C,\lambda}, x_2^{C,\lambda}, \dots, x_i^{C,\lambda}, \dots, x_n^{C,\lambda})$ з елементами 0 та 1;

- 2-й шар складається з нейронів "T_AND_0", кожний з яких має призначений йому експертом для розпізнавання індивідуальний двійковий номер Т-кута типу $k=0$ або $k=1$, отриманий експертом з навчальної вибірки стохастичних векторів $X^{k,e}$. Якщо вектор входу $X^{C,\lambda}$ нейрона "T_AND_0" співпадає з призначеним йому експертом індивідуальним двійковим номером Т-кута, який нейрон "T_AND_0" повинен розпізнавати, то на виході цього нейрону "T_AND_0" 2-го шару сигнал 0 замінюється на сигнал 1;

- 3-й вихідний шар складається з нейронів-суматорів, на входи кожного з яких підключають виходи нейронів "T_AND_0" 2-го шару, призначених для розпізнавання Т-кутів типів k=0 однакового класу. 3-й вихідний шар відсутній у нейронній мережі у випадку, коли у 2-му шарі відсутні два чи більше нейронів "T_AND_0", призначених для розпізнавання Т-кутів типів k=0

5

Пропонований спосіб навчання стохастичної нейронної мережі розглянемо на основі вибірки з навчальних стохастичних векторів, яка зображена на Фіг. 4 у вигляді точок e=1,2,..., 15.

Етап навчання нейронної мережі супроводжується паралельним будованням її структурної схеми: на етапі навчання по даних Фіг. 4 послідовно визначають кількість ієрархічних рівнів у 1-му та 2-му шарах, загальну кількість Т-кутів та їх типи k=0 і k=1 (тобто кількість нейронів у 2-му шарі і необхідність 3-го шару) і паралельно будуються відповідні елементи структурної схеми. У процесі навчання визначення елементів та параметрів нейронної мережі на наступних кроках залежать від отриманих даних навчання на попередніх кроках. Вагові коефіцієнти всіх входів нейронів прирівнюються 1 і не змінюють. Таким чином, структурна схема нейронної мережі є різною для різних початкових навчальних вибірок стохастичних векторів $X^{k,e}$.

10

15

Початкова навчальна вибірка стохастичних векторів $X^{k,e} = (x_1^{k,e}, x_2^{k,e})$, яка нижче використовується для будовання нейронної мережі, наведена на Фіг. 4. Вона має розділювальні обмеження у вигляді заборони мати вектори $X^{k,e}$ різних класів у навчальній вибірці чи в групі векторів. Всього початкова навчальна вибірка стохастичних векторів $X^{k,e}$ має 15 векторів (e=1,2,..., 15) трьох класів (i = 1, 2, 3). Кінцеві точки векторів для різних класів мають різну форму і позначені цифрами e= 1,2,..., 15.

20

У загальному випадку максимальна кількість Т-кутів дорівнює 2^n . Наприклад, у п'ятимірному просторі маємо $2^5=32$ Т-кута. Для Фіг. 4 максимальна кількість Т-кутів дорівнює $2^2=4$.

Згідно з початковою системою осей координат А з початком координат ($x_1=0$; $x_2=0$) для першого ієрархічного рівня $\lambda = 1$, всі навчальні вектори $X^{k,e}$ експерт вводить у табл. 1, в якій вказує номер e кожного вектора $X^{k,e}$, його клас, координати, двійковий d та десятковий g порядковий номери їх Т-кутів. Початок координат першого ієрархічного рівня $\lambda = 1$ приймається ($x_1^{\lambda} = 0$; $x_2^{\lambda}=0$), бо навчальні вектори вибірки $X^{k,e} = (x_1^{k,e}, x_2^{k,e}, \dots, x_1^{k,e}, \dots, x_n^{k,e})$ вміщують змінні $x_i^{k,e}$ з різними знаками при однакових нижніх індексах j.

25

30

Таблица 1

Перший ієрархічний рівень $\lambda = 1$ з точкою початку координат ($x_1^{\lambda}=0$; $x_2^{\lambda}=0$). Порядкові номери Т-кутів стохастичних векторів $X^{k,c}$ початкової навчальної вибірки

Номер e	Дані навчального вектора $X^{k,e}$			Порядкові номери Т-кутів	
	Вектор $X^{k,e}$	Клас i	Координати $x_1^{k,e,\lambda=1}, x_2^{k,e,\lambda=1}$	Двійковий номер Т-кута d = ($x_1^c; x_2^c$)	Десятковий номер Т-кута g
1	$X^{0,1}$	1	2; 20	1;1	3
2	$X^{0,2}$	1	3;20	1;1	3
3	$X^{0,3}$	1	2; 15	1;1	3
4	$X^{0,4}$	1	3; 15	1;1	3
5	$X^{0,5}$	1	3; 10	1;1	3
6	$X^{1,6}$	2	-1; 15	0;i	1
7	$X^{1,7}$	2	-3; 2,5	0;1	1
8	$X^{1,8}$	2	-0,8; 2,5	0;1	1
9	$X^{1,9}$	3	-1,2; 5,6	0; 1	1
10	$X^{1,10}$	3	-3; 15	0;1	1
11	$X^{0,11}$	3	-3;-5	0;0	0
12	$X^{0,12}$	3	-2;-5	0;0	0
13	$X^{0,13}$	3	-1;-5	0;0	0
14	$X^{0,14}$	3	-3;-10	0;0	0
15	$X^{0,15}$	3	-2;-10	0;0	0

У табл. 1 у верхньому індексі кожного вектора $X^{k,c}$, керуючись даними колонки класу, вказують значення типу k=0 або k=1 відповідного Т-кута. У табл. 1 сірий фон комірок призначений для чіткого розділу Т-кутів.

35

Нижче для скорочення будемо посилатись лише на десяткові номери Т-кута g.

З даних табл. 1 та Фіг. 4 на основі системи координат, поміченої літерою А, для першого ієрархічного рівня $\lambda= 1$ впливає:

- у Т-куті $g=0$ присутні навчальні вектори $X^{k,e}$ одного класу $i = 3$. Тому Т-кут $g=0$ належить до типу $k=0$ (цей кут не має розділювальних обмежень стосовно належних йому векторів класу $i = 3$). Внаслідок цього вважаємо, що якщо у 1-му шарі нейронної мережі для першого ієрархічного рівня $\lambda = 1$ будь-який вхідний вектор X буде віднесений до Т-кута $g=0$, то цей вектор X має клас $i = 3$, а відповідний цьому Т-куту $g=0$ нейрон AND_A0 типу "T_AND_0" у 2-му шарі нейронної мережі (Фіг. 5) має призначений йому для запам'ятовування індивідуальний номер Т-кута $g=0$ (у двійковому численні). Кінцева частка позначення нейрона AND_A0 у вигляді "AO" означає: літера "A" - позначення осей координат на Фіг. 4; цифра "0" - порядковий номер Т-кута $g=0$ у вказаній системі координат А на Фіг. 4. Нейрон AND_A0 повинен мати вихідний сигнал розпізнавання класу $i = 3$. Але у даному випадку Т-кут $g=0$ охоплює лише частку навчальних векторів класу $i = 3$. Тому вихід нейрона AND_A0 з'єднують із входом нейрона-суматора і3 у 4-му вихідному шарі нейронів (Фіг. 5);

у Т-куті $g=1$ присутні вектори двох класів ($i = 2$ та $i = 3$), і тому Т-кут належить до типу $k=1$ (цей кут має розділювальні обмеження, бо належні йому вектори належать до різних класів). Тому відповідний нейрон AND_A1 типу "T_AND_0" (Фіг. 5), який експерт призначає для запам'ятовування індивідуального номера $g=1$ Т-кута (у двійковому численні) не може мати вихідного сигналу. Належні Т-куту $g=1$ типу $k=1$ навчальні вектори мають різні класи, і тому ця скорочена сукупність навчальних векторів розглядаються як окрема скорочена стохастична навчальна вибірка векторів $X^{k,e,\lambda=1}$ другого ієрархічного рівня $\lambda = 2$ з номерами навчальних векторів $e = 6, 7, 8$ (клас " $i = 2$ ") та $e=9, 10$ (клас " $i = 3$ "). Відповідний нейрон AND_A1 Т-кута $g=1$ типу $k=1$ у 2-му шарі нейронної мережі розпізнає наданий йому індивідуальний номер $g=1$ і видає на виході сигнал 1 про виділення з розглянутої початкової навчальної вибірки з векторами $e=1, 2, \dots, 15$ нової скороченої вибірки нижчої ієрархії $\lambda = 2$ у вигляді сукупності відповідних навчальних векторів $e=6, 7, 8, 9, 10$, які попали у даний Т-кут типу $k=1$ і які потребують подальшого дроблення з використанням способу навчання нейронної мережі, аналогічного описаному вище;

- у Т-куті $g=2$ навчальні вектори $X^{k,e}$ відсутні, і далі Т-кут $g=2$ не аналізують;

- у Т-куті $g=3$ присутні навчальні вектори $X^{k,e}$ одного класу $i = 1$. Тому Т-кут $g=3$ відносять до типу $k=0$ (цей кут не має розділювальних обмежень стосовно належних йому векторів класу $i = 1$). Внаслідок цього вважають, що якщо у 1-му шарі нейронної мережі для першого ієрархічного рівня $\lambda = 1$ будь-який вхідний стохастичний вектор невідомого класу $X = (x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_n)$ відносять до Т-кута $g=3$, то цей вектор X має клас $i = 1$. Тому відповідному нейрону AND_A3 типу "T_AND_0" у 2-му шарі нейронної мережі (Фіг. 5) призначають для запам'ятовування індивідуальний номер Т-кута $g=3$ (у двійковому численні). Кінцева частка позначення нейрона AND_A3 у вигляді "A3" означає: літера "A" - позначення осей координат на Фіг. 4; цифра "3" - порядковий номер Т-кута $g=3$ у вказаній системі координат А на Фіг. 4. Нейрону AND_A3 надають вихідний сигнал розпізнавання класу $i = 1$, тому що згідно з табл. 1 відповідний йому Т-кут $g=3$ (Фіг. 5) охоплює всі навчальні вектори класу $i = 1$ за порядковими номерами $e = 1, 2, 3, 4, 5$ початкової навчальної вибірки.

Таким чином, на першому ієрархічному рівні $\lambda=1$ згідно з даними табл. 1 та Фіг. 4 з системою координат, поміченою літерою А, експерт розділяє навчальні стохастичні вектори $X^{k,e}$ початкової навчальної вибірки серед Т-кутів типу $k=0$ та $k=1$; в результаті отриманий лише один Т-кут $g=1$ типу $k=1$ з навчальними векторами $e = 6, 7, 8, 9, 10$, сукупність яких експерт розглядає як ієрархічно нижчу скорочену навчальну вибірку, яку потрібно далі розділяти на наступні менші частки з метою отримання ієрархічно нижчих Т-кутів типу $k=0$.

Для нижчого ієрархічного рівня $\lambda = 2$ точку центра нової системи координат $(x_1^{\lambda=2}, x_2^{\lambda=2})$ для Т-кута $g=1$ типу $k=1$ вищого ієрархічного рівня $\lambda = 1$ експерт може визначати по-різному: може довільно задати координати всередині Т-кута $g=1$ типу $k=1$; може розрахувати координати як кінцеву точку центроїда векторів $e=6, 7, 8, 9, 10$, які належать цьому куту; може визначити координати, як деяку "точку центра тяжіння" площі ("гіпероб'єму") Т-кута з осями координат $(-x_1, +x_2)$.

У даному випадку вважаємо, що на Фіг. 4 експерт визначив осями, позначеними літерою В, центр нової системи координат $(x_1^{\lambda=2} = -1,5; x_2^{\lambda=2} = +10)$ для Т-кута $g=1$ типу $k=1$ ієрархічного рівня $\lambda = 1$. Для всіх навчальних векторів $e=6, 7, 8, 9, 10$, які знаходяться в Т-куті $g=1$ типу $k=1$ ієрархічного рівня $\lambda = 1$, експерт перераховує значення їх нових координат за формулою $x_i^{k,e,\lambda=2,H} = (x_i^{k,e,\lambda=1} - x_i^{\lambda=2})$ і вводить їх у табл. 2 з виконанням у ній розрахунків, аналогічних табл. 1.

Таблиця 2

Другий ієрархічний рівень $\lambda = 2$ з точкою початку координат ($x_1^{\lambda=2} = -1,5$; $x_2^{\lambda=2} = +10$).
Порядкові номери Т-кутів стохастичних векторів $X^{k,e}$, $e=6, 7, 8, 9, 10$ скороченої навчальної вибірки нижчої ієрархії $\lambda = 2$

Дані навчального вектора $X^{k,e}$			Порядкові номери Т-кутів		
Номер e	Вектор $X^{k,e}$	Клас i	Координати $x_{1, k,e,\lambda=2}; x_{2, k,e,\lambda=2}$	Двійковий номер Т-кута $d = (x_1^C; x_2^C)$	Десятковий номер Т-кута g
6	$X^{0,1}$	2	+0,5; +5	1;1	3
7	$X^{0,7}$	2	-1,5;-7,5	0;0	0
8	$X^{1,8}$	2	+0,7; -7,5	1;0	2
9	$X^{1,9}$	3	+0,3; -4,4	1;0	2
10	$X^{0,10}$	3	-1,5;+5	0;1	1

У табл. 2 у верхньому індексі кожного вектора $X^{k,e}$ вказують значення типу k відповідного Т-кута.

5 3 даних табл. 2 та Фіг. 4 для другого ієрархічного рівня $\lambda = 2$ за системою координат, поміченою літерою В, впливає:

- у Т-куті $g=0$ присутній навчальний вектор $X^{k,e=7}$ одного класу $i = 2$. Тому Т-кут $g=0$ належить до типу $k=0$. Відповідний цьому Т-куту $g=0$ нейрон AND_B0 типу "T_AND_0" у 2-му шарі нейронної мережі (Фіг. 5) має призначений йому для запам'ятовування індивідуальний номер Т-кута $g=0$ (у двійковому численні). Але у даному випадку Т-кут $g=0$ охоплює лише частку навчальних векторів класу $i = 2$. Тому вихід нейрона AND_B0 з'єднують із входом нейрона-суматора $i2$ у 3-му вихідному шарі (Фіг. 5);

15 - у Т-куті $g=1$ присутній навчальний вектор $X^{k,e=10}$ одного класу $i = 3$. Тому Т-кут $g=1$ належить до типу $k=0$. Відповідний цьому Т-куту $g=1$ нейрон AND_B 1 типу "T_AND_0" у 2-му шарі нейронної мережі (Фіг. 5) має призначений йому для запам'ятовування індивідуальний номер Т-кута $g=1$ (у двійковому численні). Але у даному випадку Т-кут $g=1$ охоплює лише частку навчальних векторів класу $i = 3$. Тому вихід нейрона AND_B1 з'єднують з входом нейрона-суматора $i3$ у 3-му вихідному шарі (Фіг. 5);

20 - у Т-куті $g=2$ присутні два вектори двох класів (один класу $i = 2$ та інший класу $i = 3$), і тому Т-кут належить до типу $k=1$. Тому експерт призначає нейрону AND_B2 типу "T_AND_0" (Фіг. 5) для запам'ятовування індивідуальний номер Т-кута $g=2$ (у двійковому численні). Належні Т-куту $g=2$ типу $k=1$ навчальні вектори мають різні класи, внаслідок чого ця скорочена сукупність навчальних векторів $X^{k,e}$, $e=8, 9$, розглядається як окрема скорочена стохастична навчальна вибірка векторів X третього ієрархічного рівня $\lambda = 3$ з номерами $e=8$ (клас $i = 2$) та $e=9$ (клас $i = 3$). Відповідний нейрон ANDJB2 Т-кута $g=2$ типу $k=1$ у 2-му шарі нейронної мережі розпізнає наданий йому індивідуальний номер $g=2$ і видає на виході сигнал 1 про виділення з розглянутої початкової навчальної вибірки з векторами $e=6, 7, 8, 9, 10$ нової скороченої вибірки для нижчої ієрархії $\lambda = 3$ у вигляді сукупності відповідних навчальних векторів $e = 8, 9$, які попали у даний Т-кут типу $k=1$ і які потребують подальшого дроблення з використанням способу навчання нейронної мережі, аналогічного описаному вище;

30 - у Т-куті $g=3$ присутній навчальний вектор $X^{k,e=6}$ одного класу $i = 2$. Тому Т-кут $g=3$ належить до типу $k=0$. Відповідний цьому Т-куту $g=3$ нейрон AND_B3 типу "T_AND_0" у 2-му шарі нейронної мережі (Фіг. 5) має призначений йому для запам'ятовування індивідуальний номер Т-кута $g=3$ (у двійковому численні). Тому що Т-кут $g=3$ охоплює лише частку навчальних векторів класу $i = 2$, вихід нейрона AND_B3 з'єднують із входом нейрона-суматора $i3$ у 3-му вихідному шарі (Фіг. 5).

40 Для навчальних векторів $e = 8, 9$ (табл. 2), які знаходяться в Т-куті $g=2$ типу $k=1$ ієрархічного рівня $\lambda = 2$, експерт визначає точку початку координат ($x_1^{\lambda=3} = -0,9$; $x_2^{\lambda=3} = +3$), перераховує значення їх нових координат за формулою $x_i^{k,e,\lambda=3,H} = (x_i^{k,e,\lambda=1} - x_i^{\lambda=3})$ і вводить їх у табл. 3 з виконанням у ній розрахунків, аналогічних табл. 1 та табл. 2.

Таблиця 3

Третій ієрархічний рівень $\lambda = 3$ з точкою початку координат ($x_3^{\lambda=3} = -0,9$; $x_2^{\lambda=3} = +3$).
Порядкові номери Т-кутів стохастичних векторів $X^{k,e}$, $e=8, 9$, скороченої навчальної вибірки нижчої ієрархії $\lambda = 3$

Дані навчального вектора $X^{k,e}$			Порядкові номери Т-кутів		
Номер e	Вектор $X^{k,e}$	Клас i	Координати $(x_i^{k,e,\lambda=3}, -x_i^{k,e,\lambda=3})$	Двійковий номер Т-кута $d = (x_1^C; x_2^C)$	Десятковий номер Т-кута g
8	$X^{0,8}$	2	+0,1;-0,5	1;0	2
9	$X^{0,9}$	3	-0,3; +2,6	0;1	1

У табл. 3 у верхньому індексі кожного вектора $X^{k,e}$ вказують значення типу k відповідного Т-кута.

5 Для третього ієрархічного рівня $\lambda = 3$ з табл. 3 та Фіг. 4 з системою координат, поміченою літерою C , випливає:

- у Т-кутах $g=0$ та $g=3$ ієрархічного рівня $\lambda=3$ відсутні навчальні вектори $X^{k,e}$, і тому Т-кути $g=0$ та $g=3$ не аналізуються;

10 - у Т-куті $g=1$ ієрархічного рівня $\lambda = 3$ присутній один навчальний вектор $X^{k,e=9}$, класу $i = 3$. Тому Т-кут $g=1$ належить до типу $k=0$. Відповідний цьому Т-куту $g=1$ нейрон AND_C1 типу "T_AND_0" у 2-му шарі нейронної мережі (Фіг. 5) має призначений йому для запам'ятовування індивідуальний номер Т-кута $g=1$ (у двійковому численні). Але у даному випадку Т-кут $g=1$ охоплює лише частку навчальних векторів класу $i = 3$. Тому вихід нейрона AND_C1 з'єднують із входом нейрона-суматора і3 у 3-му вихідному шарі (Фіг. 5);

15 - у Т-куті $g=2$ ієрархічного рівня $\lambda = 3$ присутній один навчальний вектор $X^{k,e=9}$ класу $i = 2$. Тому Т-кут $g=2$ належить до типу $k=0$. Відповідний цьому Т-куту $g=2$ нейрон AND_C2 типу "T_AND_0" у 2-му шарі нейронної мережі (Фіг. 5) має призначений йому для запам'ятовування індивідуальний номер Т-кута $g=2$ (у двійковому численні). Але у даному випадку Т-кут $g=2$ охоплює лише частку навчальних векторів класу $i = 2$. Тому вихід нейрона AND_C2 з'єднують з входом нейрона-суматора $i = 2$ у 3-му вихідному шарі (Фіг. 5).

20 На Фіг. 5 кожний ієрархічно нижчий рівень при $\lambda > 1$ має індивідуальний визначений для даної скороченої вибірки центр координат X^λ , а кожний з нейронів T_AND_0 2-го шару нижчих рівнів має додатковий $(p + 1)$ -й вхід, який з'єднують із виходом відповідного нейрона T_AND_0 у 2-му шарі попереднього вищого ієрархічного рівня, що контролює групу відповідних навчальних векторів $X^{k,e,\lambda}$ типу $k=1$ нижчого рівня.

У результаті нейрон найнижчого ієрархічного рівня $\lambda = 3$ типу T_AND_0 у 2-му шарі має вихідний сигнал для Т-кута типу $k=0$ лише у випадку наявності сигналів виходів у всіх відповідних нейронів типу T_AND_0 вищих ієрархічних рівнів.

30 Будівання навченої нейронної мережі продовжується до охоплення всіх векторів $X^{k,e,\lambda=1}$ вищого ієрархічного рівня $\lambda = 1$ всіма вихідними сигналами Т-кутів типу $k=0$ з 2-го та 3-го шарів, по яких визначають клас вхідного вектора X .

35 Розглянемо процес використання отриманої нейронної мережі Фіг. 5 на прикладі появи на її входах у 1-му шарі координат вектора X ($x_1=2$; $x_2=5$) Фіг. 4. Порядковий номер Т-кута вектора X в двійковій системі числення дорівнює $d=11$, а в десятковій системі числення $g=3$. Цей сигнал попадає на входи всіх ієрархічних рівнів нейронів $(x_1^{C,\lambda=1}, x_2^{C,\lambda=1})$, $(x_1^{C,\lambda=2}, x_2^{C,\lambda=2})$, $(x_1^{C,\lambda=3}, x_2^{C,\lambda=3})$ на виходах яких з'являються вихідні сигнали, перераховані згідно з заданими центрами координат для кожного ієрархічного рівня λ . Але у нейрона AND_A1 вихідний сигнал дорівнює нулю, і тому вихідні сигнали нейронів нижчого рівня AND_B0, AND_B1, AND_B2, AND_B3, AND_C1, AND_C2 теж дорівнюють нулю. У даному випадку вихідний сигнал, рівний 1, має лише один нейрон

40 AND_A3, який і видасть вихідний сигнал нейронної мережі про належність вхідного невідомого вектора X до класу $i = 3$.

Розглянемо застосування пропонованого способу навчання стосовно нейронної мережі з використанням кластерів.

45 Згідно з описаним вище способом навчання, з кожним вихідним нейроном 2-го шару Фіг. 5, які охоплюють Т-кути типу $k=0$, пов'язана визначена сукупність навчальних векторів, тобто пов'язаний відповідний кластер.

У табл. 4 наведений взаємний зв'язок отриманих вище на першому етапі навчання груп навчальних векторів (кластерів) з позначеннями відповідних нейронів-центроїдів кластерів.

Взаємний зв'язок отриманих на першому етапі навчання груп навчальних векторів (кластерів) з позначеннями відповідних нейронів-центроїдів

Дані першого етапу навчання		Другий етап навчання
Позначення нейрона на Фіг. 5	Дані кластера	Позначення нейронів-центроїдів кластерів
AND_A0	Вектори $e=11-15$; клас $i = 3$ (табл. 1)	A0
AND_A3	Вектори $e=1 - 5$; клас $i = 1$ (табл. 1)	A3
AND_B0	Вектор $e=7$; клас $i = 2$ (табл. 2)	B0
AND_B1	Вектор $e=10$; клас $i = 3$ (табл. 2)	B1
AND_B3	Вектор $e=6$; клас $i - 2$ (табл. 2)	B3
AND_C1	Вектор $e=8$; клас $i = 3$ (табл. 3)	C1
AND_C2	Вектор $e=9$; клас $i = 2$ (табл. 3)	C2

Кожний подібний кластер можна замінити центроїдам кластера і використати центроїди для класифікації векторів X невідомого класу.

5 Тому на етапі навчання і будівництва нейронної мережі визначають всі Т-кути типу $k=0$, які охоплюють всі навчальні вектори $X^{k,e,\lambda=1}$ вищого ієрархічного рівня $\lambda = 1$, і дають їм порядкові номери $\delta = 1, 2, \dots, q$.

Всі Т-кути типу $k=0$ по належних їм групах навчальних векторів замінюють відповідними центроїдами кластерів та будують нейронну мережу при відомій кількості кластерів q і при відомих координатах їх центроїдів.

10 У результаті 1-й шар нейронної мережі складають з n нейронів з одним входом та одними виходом, у якому нормалізують і розмножують змінні вхідного стохастичного вектора невідомого класу $X = (x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n)$, у 2-й шар вводять q нейронів з порядковими номерами $\delta = 1, 2, \dots, q$, кожному з яких надають n входів з ваговими коефіцієнтами, рівними координатам відповідних центроїдів кластерів, а n входів кожного з q нейронів 2-го шару з'єднують з відповідними виходами 1-го шару нейронів.

15 На виході кожного з q нейронів 2-го шару визначають значення сигналу виходу M^{δ} , як підсумок добутків змінних вхідного вектора X та відповідних вагових коефіцієнтів входів, у 3-му шарі з q входами та q виходами за принципом "переможець отримує все" по найбільшому значенню виходу серед q нейронів 2-го шару призначають вихідний сигнал 1 для кластера-переможця при нульових сигналах виходу для всіх інших кластерів.

20 Виходи кожної сукупності нейронів 3-го шару, якщо вона належить до однакового класу, задовольняє умовам типу $k=0$, і якщо сукупність вміщує в 3-му шарі два і більше нейронів, з'єднують із відповідними входами з ваговими коефіцієнтами 1 нейрона-суматора у 4-му вихідному шарі.

25 Для класифікації невідомого стохастичного вхідного вектора $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ використовують виходи нейронів-суматорів 4-го вихідного шару та виходи нейронів 3-го шару, якщо вони не з'єднані з входами нейронів 4-го вихідного шару.

30 На етапі використання нейронної мережі, отриманої на основі центроїдів кластерів, на входи 1-го шару подають вхідний стохастичний вектор невідомого класу $X = (x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n)$, стосовно якого у 2-му шарі отримують оцінки близькості вектора X до кожного з q центроїдів груп векторів Т-кутів типу $k=0$, у 3-му шарі по найбільшій величині виходу визначають переможця, а по вихідних сигналах 3-го та 4-го шарів класифікують вхідний вектор X .

35 Розглянемо застосування запропонованого способу навчання стосовно нейронної мережі з використанням кластерів у випадку оцінки міри близькості до кластера за допомогою байєсового класифікатора.

У цьому випадку на етапі навчання при будівництві нейронної мережі у кожному з q нейронів 2-го шару визначають значення M^{δ} як підсумок добутків змінних вхідного вектора X та відповідних вагових коефіцієнтів входів, а в активаційній функції кожного з q нейронів 2-го шару визначають значення сигналу виходу у вигляді байєсового класифікатора

$$40 \quad A^i P^i M^{\delta},$$

де A^i - витрати внаслідок помилкового заперечення наявності відповідного i -го класу даного кластера при його реальній присутності;

P^i - апіорна ймовірність появи i -го класу даного кластера, яку або визначають по опублікованих даних, або приймають рівною відношенню кількості векторів i -го класу в початковій навчальній вибірці до загальної кількості навчальних векторів E в початковій вибірці;

45

f^{δ} - оцінка частотної характеристики даного δ -го кластера Т-кута типу $k=0$, яку приймають рівною відношенню кількості векторів i -го класу в δ -му кластері до загальної кількості векторів i -го класу в початковій вибірці.

У всьому іншому робота нейронної мережі з використанням кластерів не змінюється.

5 Пропонований спосіб навчання стохастичної нейронної мережі зменшує витрати на стохастичну нейронну мережу та на її обслуговування через зменшення кількості нейронів і заміни векторами центроїдів кластерів інформації початкової навчальної вибірки стохастичних векторів.

Використана інформація:

- 10 1. Specht D.F. Probabilistic Neural Network for Classification, Mapping and Associative Memory // Proc. of the IEEE Int. Conf. on Neural Network, San Diego, 1988. - Vol. 1. - P. 525-532.
2. Руденко О.Г., Бодянский С.В. Штучні нейронні мережі. - Харків: ТОВ "Компанія СМІТ", 2006. - 404 с.
- 15 3. Каллан Роберт. Основные концепции нейронных сетей: Пер. с англ. -М.: Издательский дом "Вильямс", 2003. - 288 с.
4. Кутковецкий В.Я., Турти М.В. Нейрон "Т_AND_0". Патент України на корисну модель, G06N 3/00, № 97526, 10.04.2015, Бюл. №7.-3 с.
5. Tryon R.C. Cluster analysis. - London: Ann Arbor Edwards Bros, 1939. -139 p.
6. Дюран Б., Оделл П. Кластерный анализ. - М.: Статистика, 1977. - 128 с.
- 20 7. Классификация и кластер. Под ред. Дж. Вэн Райзина. - М.: Мир, 1980. - 390 с.
8. Мандель И. Д. Кластерный анализ. - М.: Финансы и статистика, 1988. - 176 с.

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

25 1. Спосіб навчання стохастичної нейронної мережі, за яким класифікують вхідний стохастичний вектор невідомого класу $X=(x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_n)$, де $j=1, 2, \dots, n$ - порядковий номер числової змінної x_j вектора X , на основі початкової навчальної вибірки стохастичних векторів $X^{k,e}=(x_1^{k,e}, x_2^{k,e}, \dots, x_j^{k,e}, \dots, x_n^{k,e})$, де $k=0$ - тип навчальної вибірки векторів $X^{k,e}$ чи окремих навчальних груп вибірки з векторами $X^{k,e}$, серед яких відсутні вектори різних класів чи вектори з іншими

30 розділювальними обмеженнями, під якими також розуміють заборону мати у навчальній вибірці чи у її групі вектори $X^{k,e}$ із забороненими відстанями між векторами $X^{k,e}$ або із забороненими стохастичними показниками вибірки чи її групи та ін., $k=1$ - тип навчальної вибірки векторів $X^{k,e}$ чи окремих навчальних груп вибірки з векторами $X^{k,e}$, серед векторів яких присутні розділювальні обмеження, $j=1, 2, \dots, n$ - порядковий номер числової змінної $x_j^{k,e}$ навчального вектора $X^{k,e}$, $e=1, 2, \dots, E$ - порядковий номер навчального вектора $X^{k,e}$ у навчальній вибірці, який

35 **відрізняється** тим, що на етапі навчання будують нейронну мережу на основі використання навчальної вибірки з векторами $X^{k,e}$, для чого вагові коефіцієнти входів всіх нейронів нейронної мережі прирівнюють 1 і не змінюють, нейронній мережі надають обов'язкові 1-й і 2-й шари нейронів та необов'язковий 3-й шар нейронів, з яких 1-й та 2-й шари нейронів можуть мати ряд паралельних ієрархічних аналогічних шарів нейронів, кожному з яких призначають

40 індивідуальну вибірку навчальних векторів та визначають на основі даних цієї індивідуальної вибірки відповідний центр координат $X^{\lambda} - (x_1^{\lambda}, x_2^{\lambda}, \dots, x_j^{\lambda}, \dots, x_n^{\lambda})$, де $\lambda - 1, 2, 3, \dots$ - порядковий номер ієрархії, у 1-му шарі на етапі навчання для вищого першого ієрархічного рівня $\lambda=1$ призначають як індивідуальну вибірку початкову навчальну вибірку, для цієї вибірки визначають

45 центр координат $X^{\lambda=1} - (x_1^{\lambda=1}, x_2^{\lambda=1}, \dots, x_j^{\lambda=1}, \dots, x_n^{\lambda=1})$, у якому значення координат $x_j^{\lambda=1}$ прирівнюють нулю ($x_j^{\lambda=1}=0$), якщо навчальні вектори $X^{k,e}$ вибірки вміщують змінні $x_j^{\lambda=1}$ з різними знаками при однакових нижніх індексах j , а у іншому разі елементи центра координат $X^{\lambda=1}$ прирівнюють координатам серединної точки початкової вибірки у вигляді, наприклад, координат кінцевої точки вектора центроїда відповідних векторів або точки "центру тяжіння" відповідного Т-кута

50 типу $k=1$, перераховують координати навчальних векторів $X^{k,e}$ початкової навчальної вибірки на координати навчальних векторів для нового центра координат X^{λ} у вигляді $X^{k,e,\lambda=1} - (x_1^{k,e,\lambda=1}, x_2^{k,e,\lambda=1}, \dots, x_j^{k,e,\lambda=1}, \dots, x_n^{k,e,\lambda=1})$, де $x_j^{k,e,\lambda=1} = (x_j^{k,e} - x_j^{\lambda=1})$, у 1-й шар вводять n нейронів першого ієрархічного рівня $\lambda = 1$, кожний з яких має один вхід, що з'єднують на етапі навчання з числовою змінною $x_j^{k,e,\lambda=1}$ вхідного навчального вектора $X^{k,e,\lambda=1}$ індивідуальної навчальної

55 вибірки, і має один вихід, на якому отримують для j -го нейрона або код $x_j^{C,\lambda=1}=0$, якщо знак різниці $(x_j^{k,e,\lambda=1}, x_j^{\lambda=1})$ є від'ємним, або у іншому разі - код $x_j^{C,\lambda=1}=1$, а сукупність виходів $X^{C,\lambda=1} - (x_1^{C,\lambda=1}, x_2^{C,\lambda=1}, \dots, x_j^{C,\lambda=1}, \dots, x_n^{C,\lambda=1})$ всіх n нейронів 1-го шару у першому ієрархічному рівні $\lambda=1$ розглядають як розряди двійкового числа і вважають сукупність значень цих розрядів порядковим номером у двійковій системі числення відповідного Т-кута типу $k=0$ або $k=1$, у 2-й шар першого ієрархічного рівня $\lambda=1$ вводять нейрони типу Т_AND_0, кількість яких дорівнює

60

загальній кількості Т-кутів типів $k=0$ та $k=1$ початкової навчальної вибірки з навчальними векторами $X^{k,e,\lambda=1}$ першого ієрархічного рівня $\lambda=1$, для кожного нейрона типу Т_AND_0 вводять n входів, які з'єднують з відповідними n виходами нейронів 1-го шару першого ієрархічного рівня $\lambda=1$, кожному нейрону типу Т_AND_0 призначають для розпізнавання індивідуальний

5 порядковий двійковий номер Т-кута, рівний одному з порядкових двійкових номерів Т-кутів початкової вибірки з навчальними векторами $X^{k,e,\lambda=1}$, якщо частка початкової навчальної вибірки векторів $X^{k,e,\lambda=1}$, розміщена в Т-куті типу $k=0$, який охоплює всі навчальні вектори $X^{k,e,\lambda=1}$ даного класу, то на виході відповідного нейрона Т_AND_0 для Т-кута типу $k=0$ отримують вихідний сигнал відповідного класу стохастичної нейронної мережі, якщо частка початкової навчальної

10 вибірки векторів $X^{k,e,\lambda=1}$ розміщена в Т-куті типу $k=0$, який охоплює лише частку навчальних векторів $X^{k,e,\lambda=1}$ даного класу, то вихід відповідного нейрона Т_AND_0 для Т-кута типу $k=0$ з'єднують із входом відповідного нейрона-суматора 3-го шару нейронів, на виході якого отримують вихідний сигнал для одного з відповідних класів нейронної мережі, і вводять для цього нейрона-суматора 3-го шару нейронів кількість входів, яка дорівнює кількості Т-кутів типу

15 $k=0$, у які попали навчальні вектори $X^{k,e,\lambda=1}$ даного одного класу, якщо частка початкової навчальної вибірки векторів X розміщена в Т-куті типу $k=1$, то всі належні даному Т-куту типу $k=1$ навчальні вектори $X^{k,e,\lambda=1}$ різних класів розглядають як окрему скорочену стохастичну навчальну вибірку нижчої ієрархії, яка потребує подальшого розділу на частки з використанням способу навчання нейронної мережі, аналогічного описаному вище, сигнал виходу нейрона

20 Т_AND_0 для Т-кута типу $k=1$ розглядають як сигнал дозволу на вихід відповідного сигналу нижчої ієрархії, вихід цього нейрона Т AND 0 з'єднують з додатковим $(n + 1)$ -м входом до ієрархічно нижчого нейрона Т_AND_0 для Т-кутів типу $k=0$ та $k=1$ при ієрархічних рівнях $\lambda > 1$, для чого в нейронну мережу у 1-му та 2-му шарах при ієрархічних рівнях $\lambda > 1$ вводять нові ієрархічно нижчі рівні із загальною кількістю ієрархічно нижчих шарів, яка дорівнює кількості наявних у вищому ієрархічному рівні Т-кутів типу $k=1$, а кожний з ієрархічно нижчих рівнів має у 1-му та 2-му шарі структуру та зв'язки, аналогічні описаним вище для вищого ієрархічного рівня $\lambda=1$, за винятком того, що кожний ієрархічно нижчий рівень при $\lambda > 1$ має індивідуальний визначений для даної скороченої вибірки центр координат X^λ , а кожний з відповідних нейронів

30 Т_AND_0 2-го шару нижчих ієрархічних рівнів має додатковий $(n + 1)$ -й вхід, який з'єднують із виходом відповідного нейрона Т_AND_0 попереднього вищого ієрархічного рівня, що вміщує групу відповідних навчальних векторів $X^{k,e,\lambda}$ типу $k=1$ нижчого рівня, з наступним повторним дробленням ієрархічно скорочених вибірок навчальних векторів Т-кутів типу $k=1$ до охоплення всіх векторів $X^{k,e,\lambda=1}$ вищого ієрархічного рівня $\lambda=1$ всіма вихідними сигналами Т-кутів типу $k=0$ з 2-го та 3-го шарів, по яких визначають клас вхідного вектора X , а на етапі

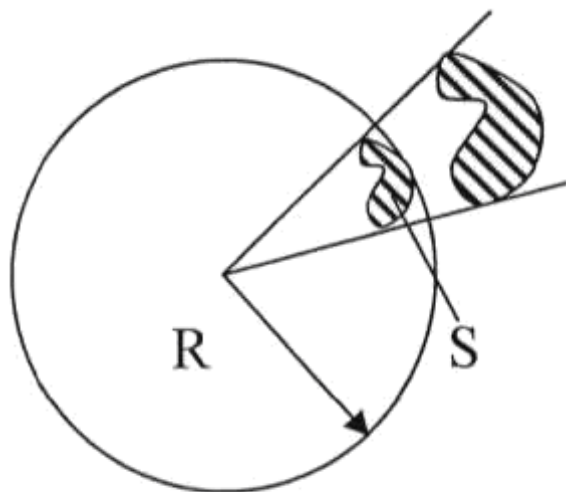
35 використання нейронної мережі на всі ієрархічні входи всіх ієрархічних рівнів λ 1-го шару подають вхідний стохастичний вектор невідомого класу X , на виходах всіх ієрархічних шарів 1-го шару отримують виходи результатів кодування різниць $(x_i - x_i^\lambda)$ у вигляді двійкових порядкових номерів $X^{C,\lambda}$ відповідних Т-кутів типу $k=0$ або $k=1$, у які може попасти вхідний вектор невідомого класу X , у 2-му шарі вмикають на подальше дроблення скорочені вибірки навчальних векторів Т-кутів типу $k=1$ на ієрархічно нижчих рівнях 1 -го та 2-го шарів, нейрони 2-го шару типу Т_AND_0 по отриманому Т-куту типу $k=0$ класифікують вхідний вектор X , а у 3-му шарі, який не є обов'язковим, об'єднують на нейронах-суматорах сигнали з 2-го шару від виходів нейронів типу Т_AND_0, що розпізнають індивідуальні номери Т-кутів типу $k=0$ однакових класів.

45 2. Спосіб навчання нейронної мережі за п. 1, який **відрізняється** тим, що на етапі навчання при будівництві нейронної мережі визначають за п. 1 Т-кути типу $k = 0$, що охоплюють всі навчальні вектори $X^{k,e,\lambda=1}$ вищого ієрархічного рівня $\lambda = 1$, дають їм порядкові номери $\delta = 1, 2, \dots, q$, і всі Т-кути типу $k=0$ по належних їм групах навчальних векторів замінюють відповідними центроїдами кластерів, будують нейронну мережу при відомій кількості кластерів q та при відомих координатах їх центроїдів, для чого 1-й шар нейронної мережі складають з n нейронів з одним входом та одними виходом, у якому нормалізують і розмножують змінні вхідного стохастичного вектора невідомого класу $X=(x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n)$, у 2-й шар вводять q нейронів з порядковими номерами $\delta = 1, 2, \dots, q$, кожному з яких надають n входів з ваговими коефіцієнтами, рівними координатам відповідних центроїдів кластерів, n входів кожного з q нейронів 2-го шару

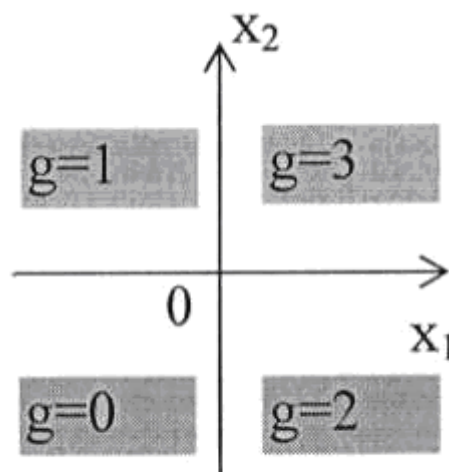
50 з'єднують з відповідними виходами 1-го шару нейронів, на виході кожного з q нейронів 2-го шару визначають значення сигналу виходу M^δ , як підсумок добутків змінних вхідного вектора X та відповідних вагових коефіцієнтів входів, у 3-му шарі з q входами та q виходами за принципом "переможець отримує все" по найбільшому значенню виходу серед q нейронів 2-го шару призначають вихідний сигнал 1 для кластера-переможця при нульових сигналах виходу для всіх

інших кластерів, виходи кожної сукупності нейронів 3-го шару, якщо вона належить до однакового класу, задовольняє умовам типу $k=0$ і якщо сукупність вміщує в 3-му шарі два і більше нейронів, з'єднують з відповідними входами з ваговими коефіцієнтами 1 нейрона-суматора у 4-му вихідному шарі, для класифікації невідомого стохастичного вхідного вектора $X=(x_1, x_2, \dots, x_n)$ призначають виходи нейронів-суматорів 4-го вихідного шару та виходи нейронів 3-го шару, якщо вони не з'єднані з входами нейронів 4-го вихідного шару, на етапі використання нейронної мережі на входи 1-го шару подають вхідний стохастичний вектор невідомого класу $X=(x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n)$, стосовно якого у 2-му шарі отримують оцінки близькості вектора X до кожного з q центроїдів груп векторів Т-кутів типу $k=0$, у 3-му шарі по найбільшій величині виходу визначають переможця, а по вихідних сигналах 3-го та 4-го шарів класифікують вхідний вектор X .

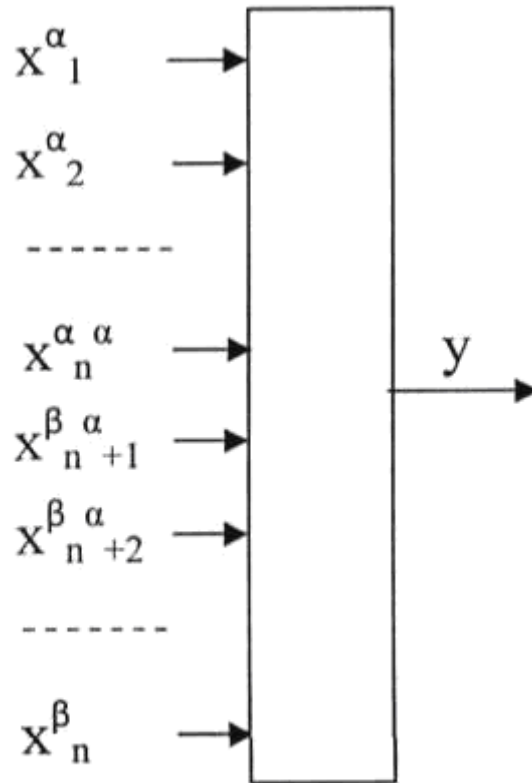
3. Спосіб навчання нейронної мережі за п. 2, який **відрізняється** тим, що на етапі навчання при будівництві нейронної мережі у кожному з q нейронів 2-го шару визначають значення M^δ , як підсумок добутоків змінних вхідного вектора X та відповідних вагових коефіцієнтів входів, а в активаційній функції кожного з q нейронів 2-го шару визначають значення сигналу виходу у вигляді байєсового класифікатора $A^i P^i f^\delta M^\delta$, де A^i витрати внаслідок помилкового заперечення наявності відповідного i -го класу даного кластера при його реальній присутності; P^i - апіорна ймовірність появи i -го класу даного кластера, яку або визначають по опублікованих даних, або приймають рівною відношенню кількості векторів i -го класу в початковій навчальній вибірці до загальної кількості навчальних векторів E в початковій вибірці; f^δ - оцінка частотної характеристики даного δ -го кластера Т-кута типу $k=0$, яку приймають рівною відношенню кількості векторів i -го класу в δ -му кластері до загальної кількості векторів i -го класу в початковій вибірці.



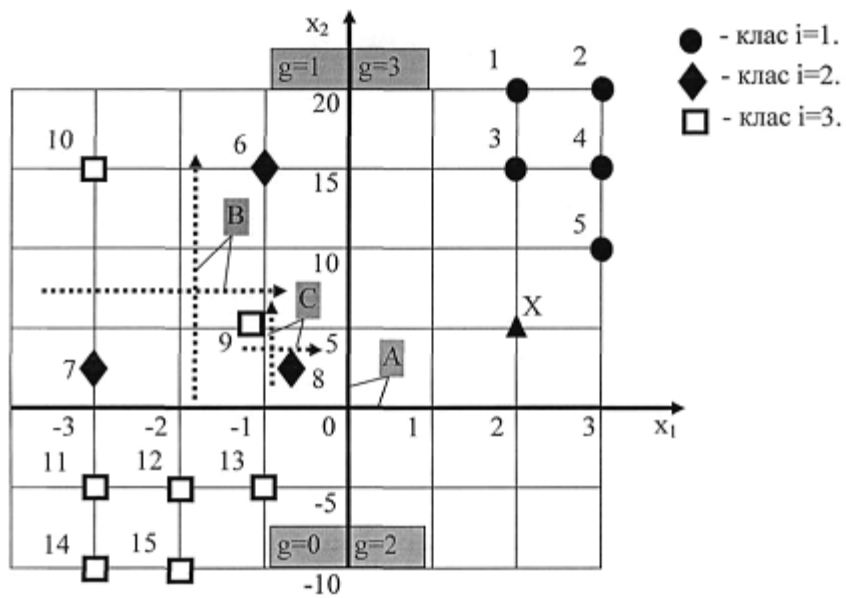
Фиг. 1



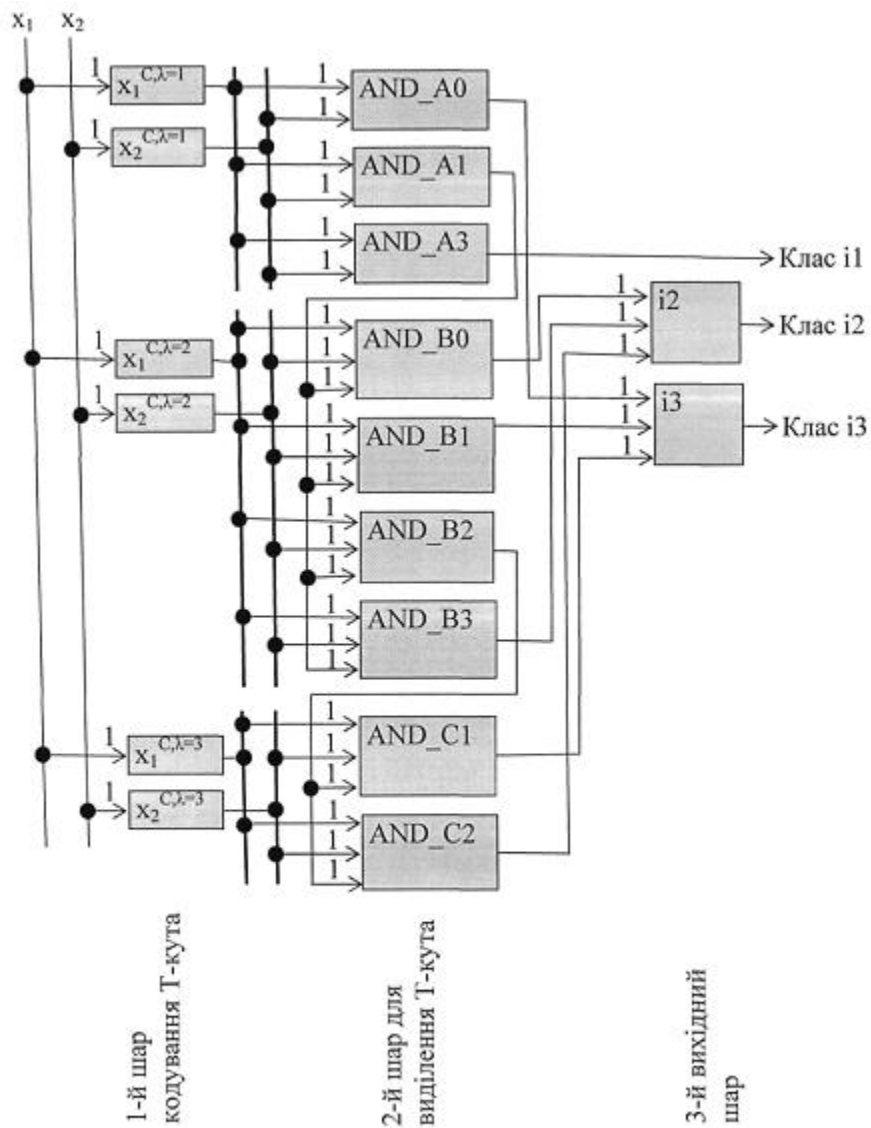
Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5

Комп'ютерна верстка Л. Литвиненко

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

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