

УДК 621.313

БЛИНДЮК В.С., к.т.н., доцент (УкрДАЗТ)

## Нейромережева кон'юнктивна модель

В роботі виконані дослідження здатності нейронної мережі вирішувати задачу логічного множення та зроблено оцінку можливостей нейромережевої кон'юнктивної моделі.

**Ключові слова:** нейронна мережа, нейромережева кон'юнктивна модель.

### Вступ, аналіз публікацій, формулювання задачі дослідження

Згідно з класичним визначенням, логічний елемент, який реалізує функцію кон'юнкції (логічне множення), має один вихід та виконує перетворення відповідно до наступних правил:

- на виході «1» тільки тоді, коли на всіх входах «1»;
- на виході «0», якщо хоча б на одному з входів «0».

Розглянемо логічний елемент з двома входами  $X$  та  $Y$ , який виконує функцію кон'юнкції та має власну таблицю відповідності (таблиця 1)

$$z = x \wedge y. \quad (1)$$

Таблиця 1 – Таблиця відповідності елементу логічного множення

$x$	$y$	$z = x \wedge y$
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

**Задачею роботи** є дослідження здатності нейронної мережі вирішувати задачу логічного множення та оцінка можливостей нейромережевої кон'юнктивної моделі.

### Основний матеріал

Як і в нейромережевій моделі «XOR» [1] оцінимо можливість реалізації функції кон'юнкції, використовуючи мережу мінімальної конфігурації з двома вхідними та одним вихідним нейроном.

Застосувавши програмне забезпечення [2] та навчальну послідовність, наведену в таблиці 1, процес навчання склався з 30 ітерацій глобального циклу. В результаті були розраховані вагові коефіцієнти  $w_{ij}^{(N)}$  та параметри нахилу логістичної функції  $s_i^{(N)}$ . Для шару  $N$  та нейрону  $i$  вони прийняли наступних значень:

$$s_1^{(1)} = 0,02903836, w_{11}^{(1)} = 2,304384,$$

$$w_{12}^{(1)} = 2,381169, s_2^{(1)} = 0,02728813,$$

$$w_{21}^{(1)} = 1,151119, w_{22}^{(1)} = 1,257402,$$

$$s_1^{(2)} = -0,1516923, w_{11}^{(2)} = 920,1089,$$

$$w_{12}^{(2)} = -688,5658.$$

В діапазоні дійсних значень на двох входах  $X, Y$  з проміжку  $[0,1]$  область визначення нейромережевої кон'юнктивної моделі (НКМ) представляє собою поверхню (рисунок 1), причому одну з безлічі можливих, яка задовольняє навчальній послідовності (таблиця 1).

Таким чином, нейромережева кон'юнктивна модель вже при мінімальній конфігурації здатна вирішувати логічну задачу. З іншого боку, практична реалізація елементу виконується із застосуванням певної елементної бази, де діють реальні електричні сигнали. В залежності від галузі застосування та класу вирішуваних задач логічні рівні нуля та одиниці, якими оперують на стадії проектування, набувають певних конкретних значень напруги в електричній схемі пристрою або системи. Наприклад, при використанні ТТЛ мікросхем рівень напруги від 0 до 0,4 (В) вважається логічним нулем, більше 2,4 (В) – логічною одиницею, в релейних системах залізничної автоматики за «1» приймається рівень напруги спрацювання реле, за «0» - напруга відпускання якоря тощо.

Для подальшого моделювання з урахуванням дії реальних сигналів, розглянемо детальніше принцип внутрішньої побудови ТТЛ мікросхеми. Так, наприклад, один елемент «2ТАК-НІ» (мікросхема 155ЛА3), має принципову електричну схему, наведену на рис. 2.

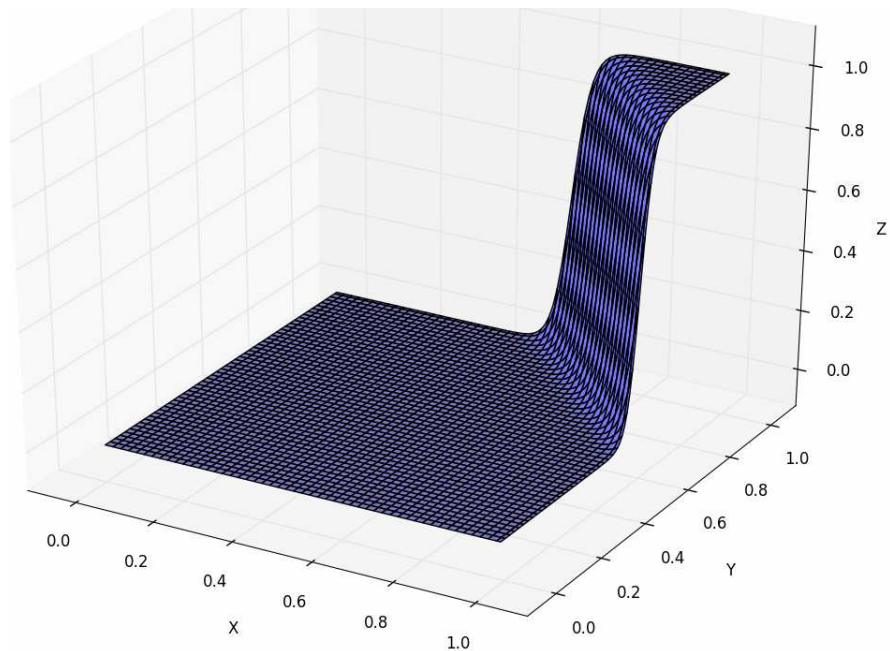


Рисунок 1 - Поверхня значень виходу нейромережевої кон'юнктивної моделі при мінімальній конфігурації

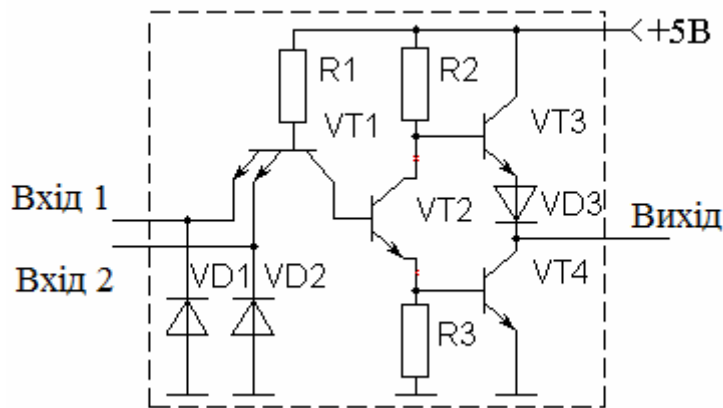


Рисунок 2 - Принципова схема ТТЛ елемента «2ТАК-НІ»

Для організації входів в ТТЛ мікросхемах застосовується багатоємітерний транзистор. Високий потенціал на базі VT2 буде тільки у випадку, коли на всіх емітерах VT1 буде присутній потенціал, достатній для закриття діодів VD1 та VD2, тобто кожний вхід представляє собою компаратор з порогом спрацювання приблизно 0,4 (В). З оглядом на це в структурі нейромережевої моделі «2ТАК», яка буде відтворювати функції аналогічного елемента ТТЛ, слід передбачити дві аналогічних складові.

З урахуванням можливостей елемента динамічної логіки «НІ», розглянутого в роботі [3], а саме, його здатностей до виконання функцій компаратора (див. рис. 2) та перетворення до елемента «ТАК», структура

нейромережевої кон'юнктивної моделі складатиметься з двох таких елементів, виходи яких подаватимуться на входи розглянутої НКМ з мінімальною конфігурацією.

Введемо позначення:  $u_1, u_2$  - значення напруги на першому та другому входах НКМ «2ТАК»;  $comp(u)$  - функція компаратора, де  $u$  - значення напруги на його вході;  $nkm[\bar{in}]$  - НКМ з мінімальною конфігурацією, де  $\bar{in}$  - вектор вхідних значень;  $z(u)$  - напруга на виході. Тоді функціонування нейромережевої кон'юнктивної моделі, яка відтворює роботу ТТЛ мікросхеми, формалізується наступним чином

$$z(u) = u_{\max} \cdot \text{nkml}[\text{comp}(u_1 / u_{\max}), \text{comp}(u_2 / u_{\max})], \quad (2)$$

де  $u_{\max}$  – значення напруги живлення ТТЛ мікросхеми ( $u_{\max} = 5$ ).

Встановимо навчальну послідовність нейромережевої моделі компаратора (табл. 2), в якій передбачається його спрацювання, якщо значення напруги на вході перевищує 0,1 (В).

Процес навчання за модифікованою процедурою зворотного поширення помилки [1] закінчився успішно, зупинився за виконанням критерію  $E_{\text{ТП}} < E_{\text{ТП}}^{\text{min}}$  ( $E_{\text{ТП}} = 10^{-8}$ ) і склався з 3-х ітерацій глобального циклу. Розраховані значення вагових коефіцієнтів  $W_{ij}^{(N)}$  та параметрів нахилу логістичної функції  $S_i^{(N)}$  для шару  $N$  й нейрону  $i$  наведені в таблиці 3. При подаванні на входи моделі (2) значень напруг  $u_1, u_2$  з проміжку  $[0,5]$  її вихід  $z(u)$  є поверхня, представлена на рисунок 3.

Таблиця 2 – Навчальна послідовність нейронної мережі компаратора

<i>in</i>	<i>out</i>
1,0	1,0
0,9	1,0
0,8	1,0
0,7	1,0
0,6	1,0
0,5	1,0
0,4	1,0
0,3	1,0
0,2	1,0
0,1	0,0
0	0,0

Таблиця 3 – Розраховані значення чинників нейронної мережі компаратора

№ нейрону	1-й шар		2-й шар		3-й шар	
	$S_i^{(1)}$	$W_{ij}^{(1)}$	$S_i^{(2)}$	$W_{ij}^{(2)}$	$S_i^{(3)}$	$W_{ij}^{(3)}$
$i = 1$	-0,3456679	72,65617	0,0732292	31,72781	0,1898099	-180,63633 -13,00365 1060,177
$i = 2$			-0,267144	-267,9029		
$i = 3$			-0,431394	645,5756		

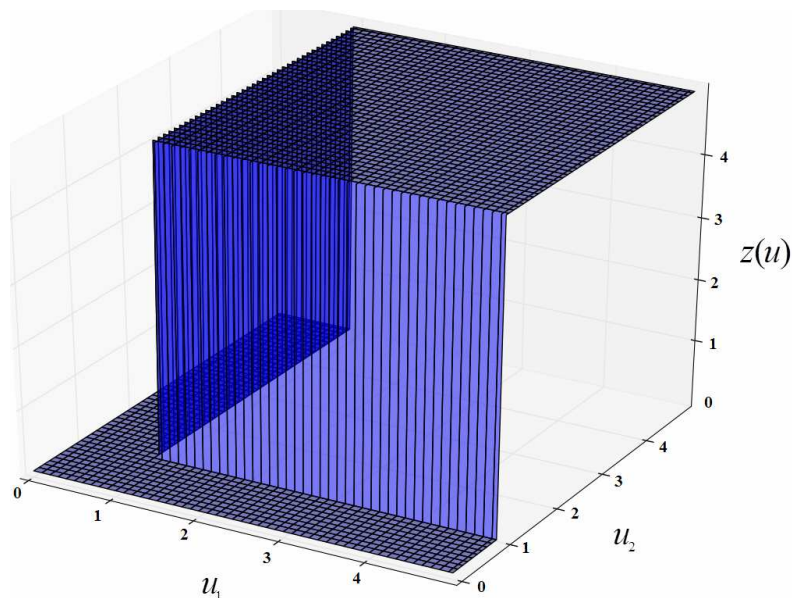


Рисунок 3 - Поверхня значень виходу нейромережевої кон'юнктивної моделі при відтворенні функцій ТТЛ мікросхеми

Звісно, що у використанні НКМ тільки для відтворення функціонування існуючих елементів, виконаних за TTL або іншою технологією, небагато сенсу. Гнучкість нейромережевої моделі дозволяє вирішувати значно більший клас задач. Розглянемо декілька прикладів, які це ілюструють.

Так, наприклад, якщо виникає необхідність в більш плавному переході від нуля до одиниці, то для цього потрібно лише перенавчити компаратори на іншій послідовності (рисунок 4).

Наступний приклад – організація різної чутливості на спрацювання за двома входами. Припустимо, що поріг спрацювання першого входу 1(В), другого – 4(В). У цьому випадку слід розділити навчальні послідовності першого та другого компараторів і модифікувати їх належним чином. Результат функціонування НКМ для цих умов наведений на рисунок 5.

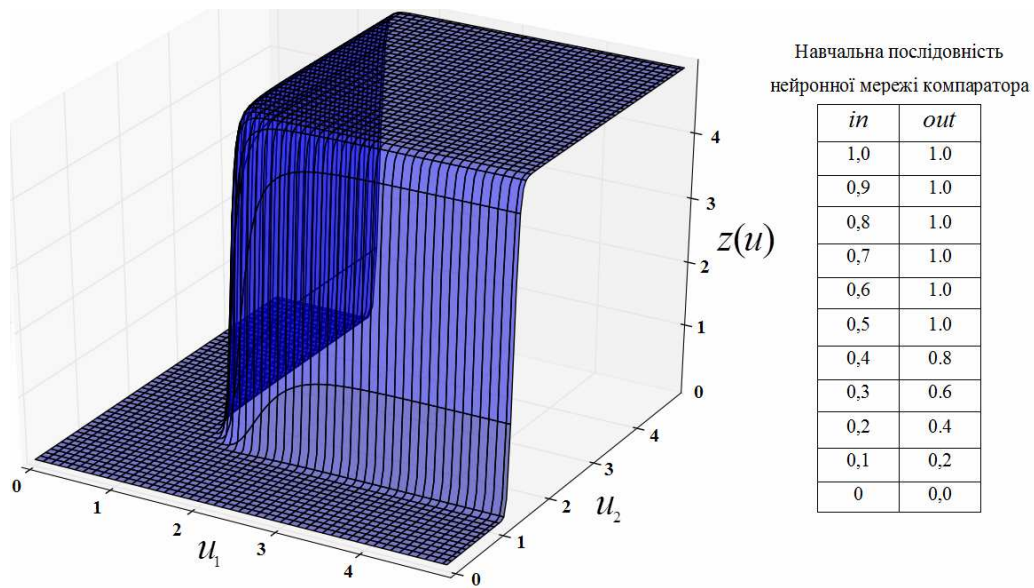


Рисунок 4 - Поверхня значень виходу нейромережевої кон'юнктивної моделі з більш плавним переходом від нуля до одиниці

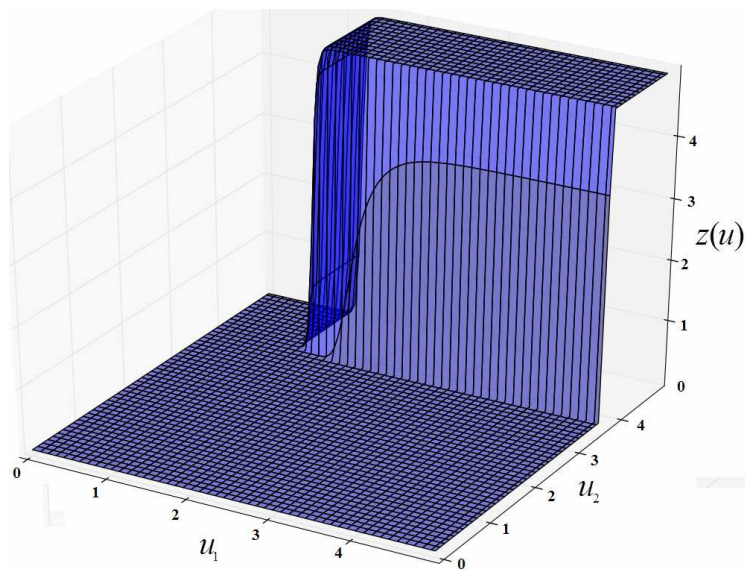


Рисунок 5 - Поверхня значень виходу нейромережевої кон'юнктивної моделі з різними порогами спрацювання за входами

**Висновки**

Узагальнюючи викладене, відзначимо, що при мінімальній конфігурації нейромережева кон'юнктивна модель здатна вирішувати логічну задачу за рахунок побудови простої криволінійної поверхні, яка розділяє у просторі вхідні дані у відповідності до потрібних вихідних значень (див. рис. 1). При ускладненні задачі, вирішення якої потребує побудови більш складної поверхні, НКМ не здатна її вирішити. В цьому випадку до структури моделі потрібно ввести нейромережеві елементи (в розглянутих прикладах - компаратори), які реалізують попередню класифікацію за кожним входом.

В наведеному матеріалі розглянуто методи розробки НКМ для двох входів, але подальші дослідження показали можливість синтезу моделі з будь-якою кількістю входів.

**Література**

1. Кузьменко, Д.М. Нейромережеве моделювання функцій систем залізничної автоматики [Текст]/ Д.М. Кузьменко, В.С. Блиндюк, М.М. Чепцов // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2011. – Вип. 122. – С. 33-43.
2. Авт. свідоцтво №39465, реєстр. 03.08.2011, МОН України, Державний департамент інтелектуальної власності. Комп'ютерна програма "Модель динамічної нейронної мережі з модифікованим алгоритмом навчання за методом зворотного поширення помилки" ("Model of Dynamic Neural Network") / М.М. Чепцов, В.С. Блиндюк, Д.М. Кузьменко, О.О. Германенко; заявка від 23.05.2011 № 39639.
3. Чепцов, М.М. Нейромережева модель динамічного логічного елемента "НІ" [Текст]/ М.М. Чепцов,

М.М. Бабаєв, В.С. Блиндюк // Зб. наук. праць УкрДАЗТ. – Харків: УкрДАЗТ, 2012. – Вип. 128. – С. 165-175.

**Блиндюк В.С. Нейромережева кон'юнктивна модель.** В роботі виконані дослідження здатності нейронної мережі вирішувати задачу логічного множення та зроблено оцінку можливостей нейромережевої кон'юнктивної моделі.

**Ключові слова:** нейронна мережа, нейромережева кон'юнктивна модель.

**Блиндюк В.С. Нейросетевая конъюнктивная модель.** В работе выполнены исследования способности нейронной сети решать задачу логического умножения, произведена оценка возможностей нейросетевой конъюнктивной модели.

**Ключевые слова:** нейронная сеть, нейросетевая конъюнктивная модель.

**Blyndiuk V. Neuronetwork conjunctive model.** In work researches of ability of a neural network to solve a problem of logical multiplication are executed, the assessment of opportunities of neuronetwork conjunctive model is made.

**Keywords:** neural network, neuronetwork conjunctive model.

Рецензент д.т.н., професор Чепцов М.М. (ДонІІЗТ)

*Поступила 12.04.2013 г.*