

УДК 681.3

В. М. Кичак, д. т. н., проф.; О. О. Семенова, к. т. н.; О. О. Войцеховська

РЕАЛІЗАЦІЯ ТРІЙКОВИХ ЛОГІЧНИХ ОПЕРАЦІЙ ЗА ДОПОМОГОЮ ДВОПОРОГОВИХ НЕЙРОНІВ

У статті запропоновано математичні моделі двопорогових нейронів для трійкової логіки. Наведено п'ять нейронних мереж з лінійними та двопороговими нейронами. Перша мережа функціонує як елемент трійкової диз'юнкції, друга – як елемент трійкової кон'юнкції, третя – трійкового “виключного АБО”, четверта – трійкової інверсії, а п'ята – трійкового циклу. Для розроблених нейронних мереж визначено математичні моделі.

Ключові слова: нейронні мережі, трійкова логіка, двопорогові нейрони, диз'юнкція, кон'юнкція, інверсія.

Вступ

Методи обчислювального інтелекту об'єднують у гібридні системи різноманітні складники інтелектуальних технологій – нечітку логіку, нейронні мережі, генетичні алгоритми. Гібридні системи, такі як, нечіткі нейронні мережі з генетичною настройкою параметрів, демонструють взаємне підсилення переваг та зменшення кількості недоліків окремих методів. Сьогодні існують переважно нейро-нечіткі гібридні системи. Однак збільшується кількість нечітко-генетичних, нейро-генетичних та нейро-нечітко-генетичних систем.

Основне завдання об'єднання систем сприйняття та логічної обробки полягає в побудові схем, які працюють з числами (сприйняття) та дискретними сигналами істинності (логіка). Однією з властивостей подібних логічноорієнтованих гібридних нейронних мереж є їх здатність до виконання складних операцій при досить простій структурі. Це, у свою чергу, дозволяє зменшити кількість взаємозв'язків між елементами, що дозволить підвищити швидкість виконання логічних операцій [1]. Схеми деяких з них містять не лише класичні нейрони, але й І-, АБО-нейрони [2].

Інтерес до трійкової логіки виник задовго до появи комп'ютерів у зв'язку з властивостями симетричного коду чисел. Останнім часом цей інтерес відроджується завдяки новим можливостям напівпровідникової технології. Наслідком цього стане поява дешевих інтегральних елементів із трьома станами. Крім цього проводяться теоретичні дослідження в галузі тривірневої техніки. Очікується, що їхні результати знайдуть своє оригінальне практичне застосування.

У [3] зазначається, що використання трійкового кодування інформації в поєднанні зі схемами, сигнали в яких квантуються за трьома рівнями, у цифрових пристроях керування, контролю та прогнозування несправностей може вплинути на структурну організацію цифрових систем. Можливість отримання переваг тут виникає у зв'язку із застосуванням більш зручних пристроїв спряження цифрових систем передачі інформації та виконуючих пристроїв, сигнали в яких, як правило, мають трійковий характер.

Тобто, доцільно розробити трійкові елементи диз'юнкції, кон'юнкції, „виключного АБО”, інверсії та циклу у вигляді нейронної мережі з лінійними і двопороговими нейронами.

Отже, метою цієї роботи є підвищення ефективності проектування нейронних мереж. Для досягнення мети поставлено такі завдання:

- визначити математичні моделі нейронів для трійкової логіки;
- скласти схему нейронної мережі;
- визначити математичні моделі для розроблених нейронних мереж.

Двопорогові нейрони для трійкових елементів

Принципи, операції та функції трійкової логіки описані в [4]. Нехай ми маємо трійкову

логіку типу [0, 1, 2].

Операція трійкової диз'юнкції виконується таким чином:

$$y = x_a \vee x_b = \max(x_a, x_b).$$

Операція трійкової кон'юнкції виконується таким чином:

$$y = x_a \wedge x_b = \min(x_a, x_b).$$

Операція трійкового „виключного АБО” виконується таким чином:

$$y = \min[\max(x_a, x_b) - \min(x_a, x_b)]$$

Операція трійкової інверсії виконується таким чином:

$$y = 2 - x.$$

Операція трійкового циклу виконується таким чином:

$$y = x \oplus 1(\text{mod}3).$$

У працях [6 – 8] наведено схеми трійкових логічних елементів мінімуму, максимуму та інверсії. Замінимо складові блоки зазначених елементів на двопорогові та лінійні нейрони.

Для лінійного нейрону маємо [2]:

$$net = \sum_i \omega_i x_i,$$

$$f(net) = net,$$

де x_i – вхідний сигнал; ω_i – вага синапсу; net – зважений сигнал нейрону; $f(net)$ – функція активації.

Для порогового нейрону маємо [1]:

$$f(net) = \begin{cases} 0 & : net < 0 \\ 1 & : net \geq 0 \end{cases}$$

Реалізація двійкових операцій І, АБО, НІ за допомогою порогових нейронів розглядається в [4]. Переваги використання двопорогових нейронів у нечіткій та трійковій логіці описано в [1].

Для двопорогових нейронів маємо [1]:

$$f(net) = \begin{cases} -1 & : net < \theta \\ 0 & : -\theta \leq net \leq \theta, \\ 1 & : net > \theta \end{cases}$$

де θ – поріг.

У [5] запропоновано такий двопороговий нейрон:

$$f(net) = \begin{cases} 0 & : net < 0 \\ 1 & : 0 \leq net < 2. \\ 2 & : net \geq 2 \end{cases}$$

Пропонуємо таку математичну модель функціонування двопорогового нейрону для трійкової логіки:

$$f(net) = \begin{cases} 0: net < \theta_1 \\ 1: \theta_1 \leq net < \theta_2 \\ 2: net \geq \theta_2 \end{cases}$$

Нейронні мережі для трійкових логічних елементів

Нейронна мережа, яка виконує операцію трійкової диз'юнкції, представлена на рис. 1 і працює таким чином:

1. Перший шар

$$net_1 = net_2 = x_a \cdot (+1) + x_b \cdot (-1),$$

$$f(net_1) = y_1 = \begin{cases} 0: -2 \leq net_1 < 1 \\ 1: 1 \leq net_1 < 2 \\ 2: 2 \leq net_1 \end{cases},$$

$$f(net_2) = y_2 = \begin{cases} -2: -2 \leq net_2 < -1 \\ -1: -1 \leq net_2 < 0 \\ 0: 0 \leq net_2 \end{cases},$$

2. Другий шар

$$net_3 = x_a \cdot (+0,5) + x_b \cdot (+0,5) + y_1(+0,5) + y_2(-0,5),$$

$$f(net_3) = z_{dis} = net_3.$$

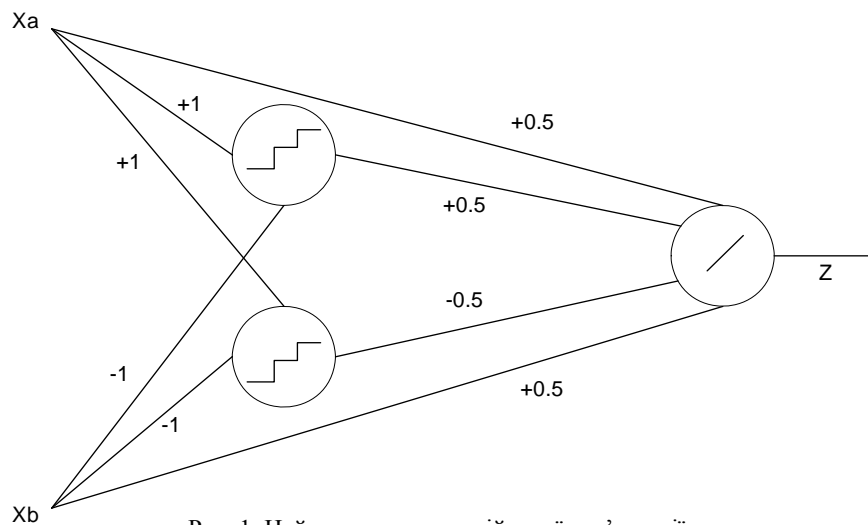


Рис. 1. Нейронна мережа трійкової диз'юнкції

Тут x_a, x_b – вхідні сигнали мережі; y_1, y_2 – вихідні сигнали першого та другого нейронів; z_{dis} – вихідний сигнал мережі.

Нейронна мережа, яка виконує операцію трійкової кон'юнкції, представлена на рис. 2 і працює таким чином:

1. Перший шар

$$net_1 = net_2 = x_a \cdot (+1) + x_b \cdot (-1),$$

$$f(net_1) = y_1 = \begin{cases} 0: -2 \leq net_1 < 1 \\ 1: 1 \leq net_1 < 2 \\ 2: 2 \leq net_1 \end{cases},$$

$$f(net_2) = y_2 = \begin{cases} -2: -2 \leq net_2 < -1 \\ -1: -1 \leq net_2 < 0 \\ 0: 0 \leq net_2 \end{cases},$$

2. Другий шар

$$net_3 = x_a \cdot (+0,5) + x_b \cdot (+0,5) + y_1(-0,5) + y_2(+0,5),$$

$$f(net_3) = z_{con} = net_3.$$

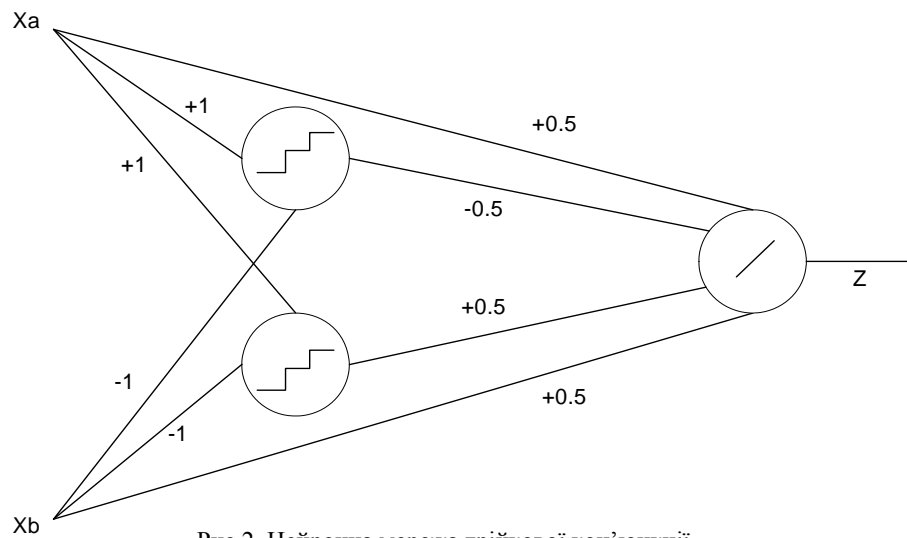


Рис.2. Нейронна мережа трійкової кон'юнкції

Тут x_a, x_b – вхідні сигнали мережі; y_1, y_2 – вихідні сигнали першого та другого нейронів; z_{con} – вихідний сигнал мережі.

Нейронна мережа, яка виконує операцію «виключне АБО», представлена на рис. 3 і працює таким чином:

1. Перший шар

$$net_1 = x_a \cdot (+4) + x_b \cdot (-3),$$

$$net_2 = x_a \cdot (-3) + x_b \cdot (+4),$$

$$f(net_1) = y_1 = \begin{cases} 0: net_1 \leq 2 \\ 1: 2 < net_1 \leq 4 \\ 2: 4 < net_1 \end{cases},$$

$$f(net_2) = y_2 = \begin{cases} 0: net_2 \leq 2 \\ 1: 2 < net_2 \leq 4, \\ 2: 4 < net_2 \end{cases}$$

2. Другий шар

$$net_3 = x_a \cdot (-2) + x_b \cdot (-2) + y_1(+5) + y_2(+5),$$

$$f(net_3) = z_{XOR} = \begin{cases} 0: net_3 \leq 2 \\ 1: 2 < net_3 < 4. \\ 2: 4 \leq net_3 \end{cases}$$

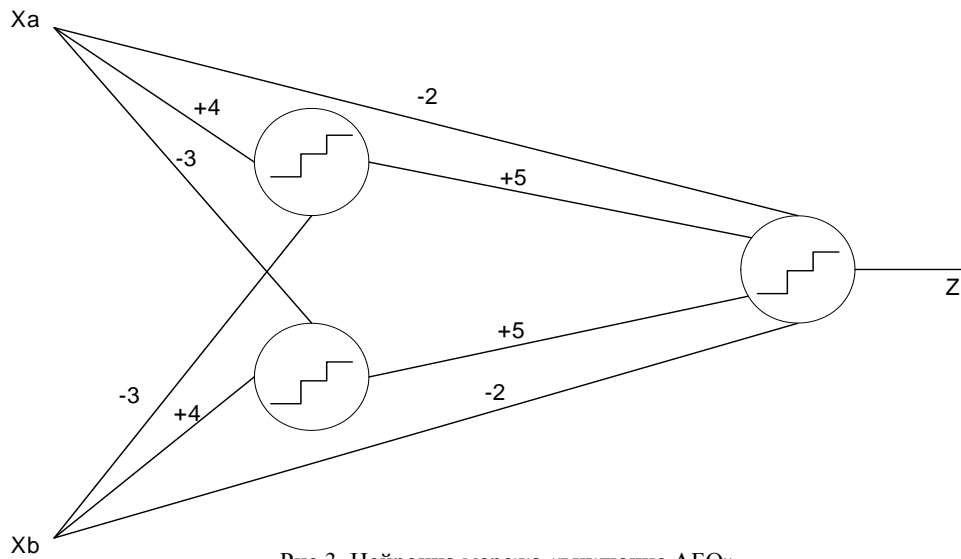


Рис.3. Нейронна мережа «виключне АБО»

Тут x_a, x_b – вхідні сигнали мережі; y_1, y_2 – вихідні сигнали першого та другого нейронів; z_{XOR} – вихідний сигнал мережі.

Нейронна мережа, яка виконує операцію трійкової інверсії, представлена на рис. 4 і працює таким чином:

$$net = x_a \cdot (+1) + x_b \cdot (-1),$$

$$f(net) = z_{inv} = net.$$

Тут x_a – вхідний сигнал мережі; x_b – допоміжний сигнал мережі; z_{inv} – вихідний сигнал мережі.

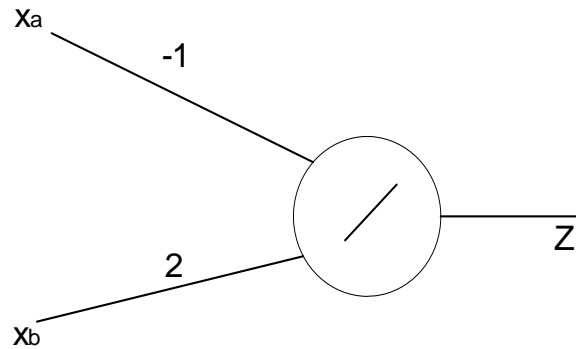


Рис. 4. Нейронна мережа трійкової інверсії

Нейронна мережа, яка виконує операцію трійкового циклу, представлена на рис. 5 і працює таким чином:

1. Перший шар

$$net_1 = x_a \cdot (+2) + x_b \cdot (-3),$$

$$f(net_1) = y_1 = \begin{cases} 0: net_1 < 1 \\ 1: 1 \leq net_1 < 2 \\ 2: 2 \leq net_1 \end{cases}$$

2. Другий шар

$$net_2 = x_a \cdot (+1) + x_b \cdot (+1) + y_1(-3),$$

$$f(net_2) = z_{sh} = net_2.$$

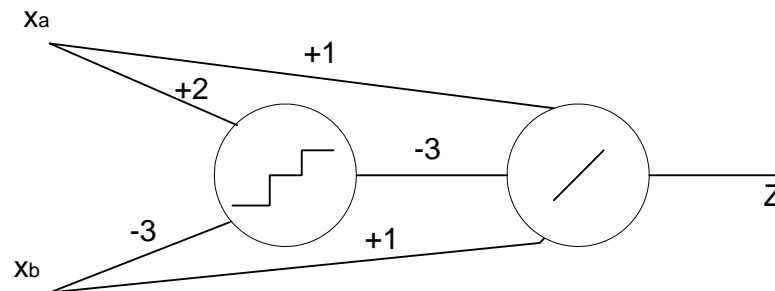


Рис.5. Нейронна мережа трійкового циклу

Тут x_a – вхідний сигнал мережі; x_b – допоміжний сигнал мережі; y_1 – вихідний сигнал першого нейрону; z_{sh} – вихідний сигнал мережі.

Висновки

Отже, запропоновано п'ять нейронних мереж з лінійними та двопороговими нейронами. Перша функціонує як елемент трійкової диз'юнкції, друга – як елемент трійкової кон'юнкції, третя – трійкового „виключного АБО”, четверта – трійкової інверсії, а п'ята – трійкового циклу.

Використовуючи двопорогові нейрони можна будувати нейронні мережі, які реалізують операції трійкової логіки. Це дозволить розширити область застосування нейронних мереж та поєднати обчислювальну техніку з інтелектуальними технологіями.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Masahiro Sakamoto, Mititada Morisue. A study of ternary fuzzy processor using neural networks // Proc. of IEEE International Symposium on Circuits and Systems. – Hong Kong. – 1997. – P. 613 – 616.
2. Ярушкіна Н. Г. Нечёткие нейронные сети с генетической настройкой. Научная сессия МИФИ – 2004. VI Всероссийская научно-техническая конференция «Нейроинформатика–2004»: Лекции по нейроинформатике. Часть 1. – М.: МИФИ, 2004. – 199 с.
3. Морозов Д. В., Пилипко М. М., Коротков А. С. Реализация устройств троичной логики на основе стандартной МОП – технологии // Микроэлектроника . – 2009. – Т. 38. – № 3. – С. 224 – 236.
4. Gerald Reif. Neuronale Netze // http://www.iicm.tugraz.at/Teaching/theses/2000/_idb9e_/greif/node10.html.
5. Ali Haydar, M. Jad Hamdan, M. Backer Rashid, Hassan Hamich, Ahmad Issa, Abdallah Kassem. A novel neural network ternary arithmetic logic unit // Proc. of the 23rd International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and Communications. Kaikyo Messe Shimonoseki Yamaguchi, Japan. – 2008. – P. 593 – 596.
6. Патент №33476 на корисну модель МПК (2006) H03K19/20. Трійковий елемент мінімуму / Семенова О. О., Семенов А. О., Войцеховська О. О. // Номер заявки u2008 01766. Дата подання 11.02.2008. Опубл. 25.06.2008. Бюл. №12. – 4 с.
7. Патент 34465 на корисну модель МПК H03K19/20. Трійковий елемент максимуму / Семенова О. О., Семенов А. О., Войцеховська О. О. // Номер заявки u 2008 30612. Дата подання 21.03.2008. Опубл. 11.08.2008. Бюл. №15. – 5 с.
8. Патент 35963 на корисну модель МПК H03K19/20. Логічний елемент трійкової інверсії / Семенова О. О., Семенов А. О., Кичак В. М., Войцеховська О. О. // Номер заявки u 2008 05822. Дата подання 05.05.2008. Опубл. 10.10.2008. Бюл. № 19. – 4 с.

Кичак Василь Мартинович – д. т. н., професор, завідувач кафедри телекомунікаційних систем та телебачення, тел. 598-219, e-mail: v.kychak@mail.ru.

Семенова Олена Олександрівна – к. т. н., старший викладач кафедри телекомунікаційних систем та телебачення, тел. 598-358, e-mail: Helene_S@ukr.net.

Войцеховська Ольга Олександрівна – асистент кафедри телекомунікаційних систем та телебачення, тел. 598-358, e-mail: olga1085@rambler.ru.

Вінницький національний технічний університет.