

УДК 681.32

В. М. Кичак, д. т. н., проф.;

О. О. Войцеховська, асп.

ФАЗИ-НЕЙРОНИ З ЧАСТОТНО-ІМПУЛЬСНИМ ПРЕДСТАВЛЕННЯМ ІНФОРМАЦІЇ

Представлено структурні схеми фазі-нейронів «І», «АБО» для гібридних нейронних мереж. Складовими частинами схем є балансні модулятори, фільтри верхніх та нижніх частот, розподільники та суматори потужності. У фазі-нейроні «І» та у фазі-нейроні «АБО» здійснюється об'єднання вхідних сигналів. Всі інформаційні сигнали є частотно-імпульсними.

Використання штучних нейронних мереж дає змогу створювати на їх базі системи, які не програмуються, а навчаються. В цьому випадку можна вибирати оптимальний навчальний алгоритм, але неможливо наперед визначити базу правил. Застосування фазі-логіки в штучних нейронних мережах дає змогу обробляти дані, які є лінгвістичними величинами, при цьому база правил є відомою. Об'єднання двох цілком різних підходів дозволяє поєднати переваги та усунути недоліки кожного з них, створивши таким чином гібридну нейронну мережу.

Складовими частинами гібридної нейронної мережі є фазі-нейрони. Використання для передачі та обробки сигналів у фазі-нейронах не амплітудно-імпульсної, а частотно-імпульсної модуляції дозволяє підвищити завадостійкість і швидкодію мережі.

Саме тому метою даної статті є побудова структурних схем фазі-нейронів з частотно-імпульсним представленням інформації для підвищення ефективності їх проектування.

У роботах [1—3] описані основні принципи побудови і функціонування нейронів та нейронних мереж.

У гібридній нейронній мережі всі вхідні й вихідні сигнали та ваги є числами з інтервалу $[0, 1]$. Для об'єднання вхідних даних цих мереж використовуються операції T -норм і T -конорм. Функція T -норм задовольняє вимоги монотонності, комутативності і асоціативності:

$$T(a, b) \leq T(c, d), \text{ якщо } a \leq c \text{ та } b \leq d;$$

$$T(a, b) = T(b, a); \quad T(a, T(b, c)) = T(T(a, b), c)$$

та має такі властивості:

$$T(0, 0) = 0; \quad T(a, 1) = T(1, a) = a.$$

Функція S -норм (або T -конорм) задовольняє вимоги монотонності, комутативності і асоціативності:

$$S(a, b) \leq S(c, d), \text{ якщо } a \leq c \text{ та } b \leq d;$$

$$S(a, b) = S(b, a); \quad S(a, S(b, c)) = S(S(a, b), c).$$

та має такі властивості:

$$S(1, 1) = 1; \quad S(a, 0) = S(0, a) = a.$$

Основним елементом гібридної нейронної мережі є фазі-нейрон (рис. 1).

У фазі-нейроні застосовуються такі сигнали: x_1, x_2 — вхідні дані; y_1, y_2 — ваги; z — вихідна інформація.

У фазі-нейроні «І» сигнал x_i і вага y_i об'єднуються трикутним конормом S , утворюючи сигнал

$$q_i = S(x_i, y_i), \quad i = 1, 2.$$

Вхідна інформація q_i об'єднується трикутним нормом T , утворюючи вихідний сигнал

$$z = \text{AND}(q_1, q_2) = T(q_1, q_2) = T[S(x_1, y_1), S(x_2, y_2)].$$

Якщо $T = \min$, $S = \max$, тоді

$$z = \min[\max(x_1, y_1), \max(x_2, y_2)].$$

Таким чином, фазі-нейрон «I» виконує \min — \max об'єднання вхідних сигналів.

Структурна схема частотно-імпульсного фазі-нейрона «I» зображена на рис. 2. Фазі-нейрон працює таким чином: вхідний сигнал x_1 подається на балансний модулятор $F1$, на другий вхід якого через розподільник потужності $T1$ подається сигнал з частотою ω_β , причому $\omega_\beta > \omega_1$, де ω_1 — частота, яка відповідає логічній одиниці. На виході балансного модулятора $F1$ отримуємо сигнал з частотами $(\omega_\beta + \omega_{x1})$ і $(\omega_\beta - \omega_{x1})$. Сигнал ваги y_1 подається на балансний модулятор $F2$, на другий вхід якого подається сигнал з частотою ω_β . На виході балансного модулятора $F2$ отримуємо сигнал з частотами $(\omega_\beta + \omega_{y1})$ і $(\omega_\beta - \omega_{y1})$. Сигнали з виходів балансних модуляторів подаються на суматор потужності $A1$, а з нього — на вхід фільтра верхніх частот $\Phi_B 1$. На виході фільтра верхніх частот буде або сигнал з частотою $(\omega_\beta + \omega_{x1}) = (\omega_\beta + \omega_{\max 1})$, якщо $\omega_{x1} \geq \omega_{y1}$, або сигнал з частотою $(\omega_\beta + \omega_{y1}) = (\omega_\beta + \omega_{\max 1})$, якщо $\omega_{x1} < \omega_{y1}$. Сигнал з виходу фільтра верхніх частот подається на балансний модулятор $F3$, на другий вхід якого подається сигнал з частотою ω_β . Сигнал з виходу балансного модулятора з частотами $[\omega_\beta + (\omega_\beta + \omega_{\max 1})]$, $[\omega_\beta - (\omega_\beta + \omega_{\max 1})]$ подається на фільтр нижніх частот $\Phi_H 1$, на виході якого отримуємо сигнал з частотою $\omega_{\max 1}$.

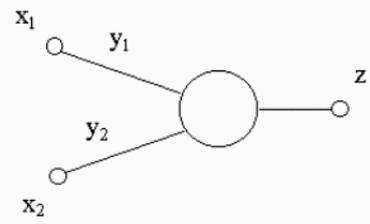


Рис. 1. Штучний фазі-нейрон

Вхідний сигнал x_2 подається на балансний модулятор $F4$, на другий вхід якого через розподі-

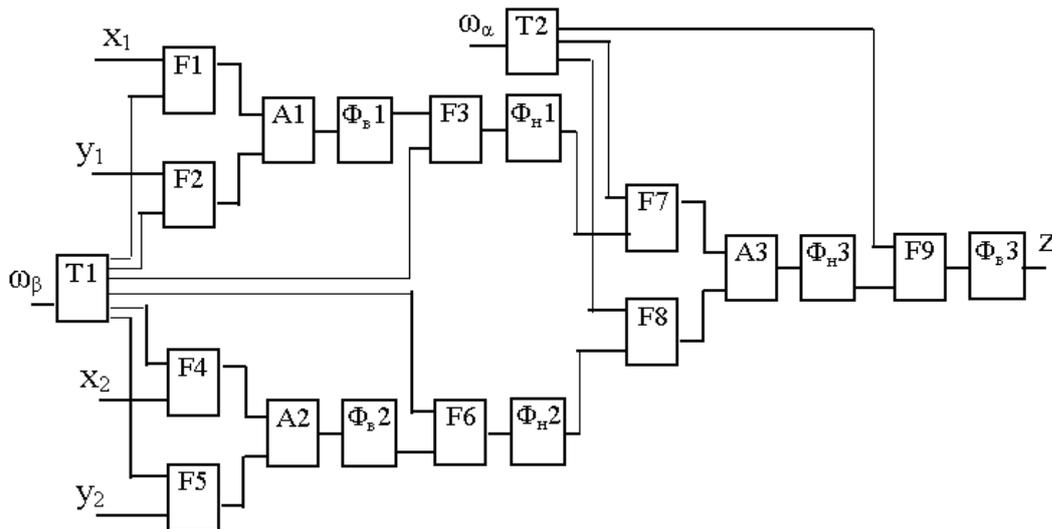


Рис. 2. Структурна схема фазі-нейрона «I»

льник потужності $T1$ подається сигнал з частотою ω_β . На виході балансного модулятора $F4$ отримуємо сигнал з частотами $(\omega_\beta + \omega_{x2})$ і $(\omega_\beta - \omega_{x2})$. Сигнал ваги y_2 подається на балансний модулятор $F5$, на другий вхід якого подається сигнал з частотою ω_β . На виході балансного мо-

дулятора $F5$ отримуємо сигнал з частотами $(\omega_\beta + \omega_{y2})$ і $(\omega_\beta - \omega_{y2})$. Сигнали з виходів балансних модуляторів подаються на суматор потужності $A2$, а з нього — на вхід фільтра верхніх частот Φ_B2 . На виході фільтра верхніх частот буде або сигнал з частотою $(\omega_\beta + \omega_{x2}) = (\omega_\beta + \omega_{\max2})$, якщо $\omega_{x2} \geq \omega_{y2}$, або сигнал з частотою $(\omega_\beta + \omega_{y2}) = (\omega_\beta + \omega_{\max2})$, якщо $\omega_{x1} < \omega_{y1}$. Сигнал з виходу фільтра верхніх частот подається на балансний модулятор $F6$, на другий вхід якого подається сигнал з частотою ω_β . Сигнал з виходу балансного модулятора з частотами $[(\omega_\beta + (\omega_\beta + \omega_{\max2}))]$, $(\omega_\beta - (\omega_\beta + \omega_{\max2}))$ подається на фільтр нижніх частот Φ_H2 , на виході якого отримуємо сигнал з частотою $\omega_{\max2}$.

Сигнал з частотою $\omega_{\max1}$ з виходу фільтра нижніх частот Φ_H1 подається на балансний модулятор $F7$, на другий вхід якого через розподільник потужності $T2$ подається сигнал з частотою ω_α , причому $\omega_\alpha < \omega_0$, де ω_0 — частота, яка відповідає логічному нулю. На виході балансного модулятора $F7$ отримуємо сигнал з частотами $(\omega_{\max1} + \omega_\alpha)$ і $(\omega_{\max1} - \omega_\alpha)$. Сигнал з частотою $\omega_{\max2}$ з виходу фільтра нижніх частот Φ_H2 подається на балансний модулятор $F8$, на другий вхід якого подається сигнал з частотою ω_α . На виході балансного модулятора $F8$ отримуємо сигнал з частотами $(\omega_{\max2} + \omega_\alpha)$ і $(\omega_{\max2} - \omega_\alpha)$. Сигнали з виходів балансних модуляторів подаються на суматор потужності $A3$, а з нього — на вхід фільтра нижніх частот Φ_H3 . На виході фільтра нижніх частот буде або сигнал з частотою $(\omega_{\max1} - \omega_\alpha) = (\omega_{\min} - \omega_\alpha)$, якщо $\omega_{\max1} \leq \omega_{\max2}$, або сигнал з частотою $(\omega_{\max2} - \omega_\alpha) = (\omega_{\min} - \omega_\alpha)$, якщо $\omega_{\max1} > \omega_{\max2}$. Сигнал з виходу фільтра нижніх частот подається на балансний модулятор $F9$, на другий вхід якого подається сигнал з частотою ω_α . Сигнал з виходу балансного модулятора з частотами $[(\omega_{\min} - \omega_\alpha) + \omega_\alpha]$, $[(\omega_{\min} - \omega_\alpha) - \omega_\alpha]$ подається на фільтр верхніх частот Φ_B3 , на виході якого отримуємо сигнал з частотою ω_{\min} .

У фазі-нейроні «АБО» сигнал x_i і вага y_i об'єднуються трикутним нормом T , утворюючи сигнал

$$q_i = T(x_i, y_i).$$

Вхідна інформація q_i об'єднується трикутним конормом S , утворюючи вихідний сигнал

$$z = OR(q_1, q_2) = S(q_1, q_2) = S(T(x_1, y_1), T(x_2, y_2)).$$

Таким чином, якщо $T = \min$ і $S = \max$, то

$$z = \max[\min(x_1, y_1), \min(x_2, y_2)].$$

Фазі-нейрон «АБО» виконує \max — \min об'єднання вхідних сигналів.

Структурна схема частотно-імпульсного фазі-нейрона «АБО» зображена на рис. 3. Фазі-нейрон працює таким чином: вхідний сигнал x_1 подається на балансний модулятор $F1$, на другий вхід якого через розподільник потужності $T1$ подається сигнал з частотою ω_α , причому $\omega_\alpha < \omega_0$, де ω_0 — частота, яка відповідає логічному нулю. На виході балансного модулятора $F1$ отримуємо сигнал з частотами $(\omega_{x1} + \omega_\alpha)$ і $(\omega_{x1} - \omega_\alpha)$. Сигнал ваги y_1 подається на балансний модулятор $F2$, на другий вхід якого подається сигнал з частотою ω_α . На виході балансного модулятора $F2$ отримуємо сигнал з частотами $(\omega_{y1} + \omega_\alpha)$ і $(\omega_{y1} - \omega_\alpha)$. Сигнали з виходів балансних модуляторів подаються на суматор потужності $A1$, а з нього — на вхід фільтра нижніх частот Φ_H1 . На виході фільтра нижніх частот буде або сигнал з частотою $(\omega_{x1} - \omega_\alpha) = (\omega_{\min1} - \omega_\alpha)$, якщо $\omega_{x1} \leq \omega_{y1}$,

або сигнал з частотою $(\omega_{y1} - \omega_\alpha) = (\omega_{\min1} - \omega_\alpha)$, якщо $\omega_{x1} > \omega_{y1}$. Сигнал з виходу фільтра нижніх частот подається на балансний модулятор $F3$, на другий вхід якого подається сигнал з частотою ω_α . Сигнал з виходу балансного модулятора з частотами $[(\omega_{\min1} - \omega_\alpha) - \omega_\alpha]$ і $[(\omega_{\min1} - \omega_\alpha) + \omega_\alpha]$ подається на фільтр верхніх частот Φ_{B1} , на виході якого отримуємо сигнал з частотою $\omega_{\min1}$.

Вхідний сигнал x_2 подається на балансний модулятор $F4$, на другий вхід якого через розподільник потужності $T1$ подається сигнал з частотою ω_α . На виході балансного модулятора $F4$ отримуємо сигнал з частотами $(\omega_{x2} + \omega_\alpha)$ і $(\omega_{x2} - \omega_\alpha)$. Сигнал ваги y_2 подається на балансний модулятор $F5$, на другий вхід якого подається сигнал з частотою ω_α . На виході балансного мо-

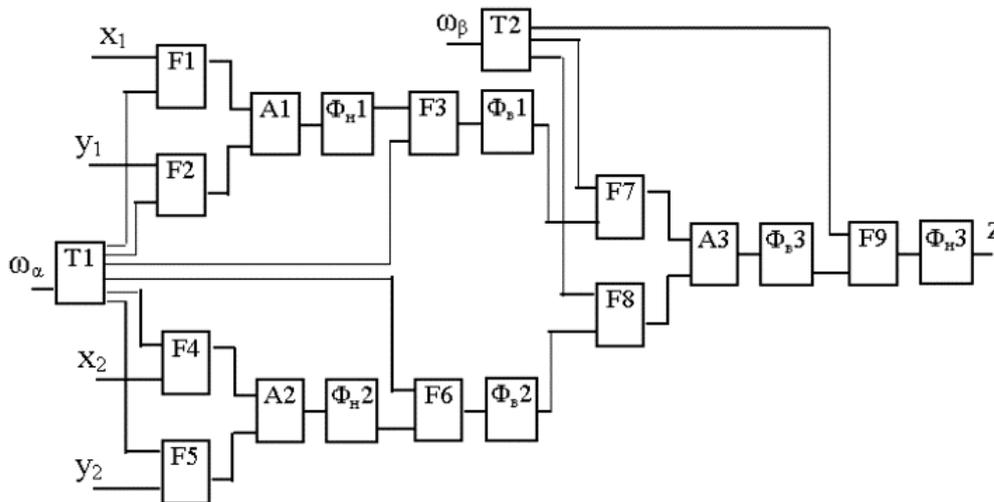


Рис. 3. Структурна схема фазі-нейрона «АБО»

дулятора $F5$ отримуємо сигнал з частотами $(\omega_{y2} + \omega_\alpha)$ і $(\omega_{y2} - \omega_\alpha)$. Сигнали з виходів балансних модуляторів подаються на суматор потужності $A2$, а з нього — на вхід фільтра нижніх частот Φ_{H2} . На виході фільтра нижніх частот буде або сигнал з частотою $(\omega_{x2} - \omega_\alpha) = (\omega_{\min2} - \omega_\alpha)$, якщо $\omega_{x2} \leq \omega_{y2}$, або сигнал з частотою $(\omega_{y2} - \omega_\alpha) = (\omega_{\min2} - \omega_\alpha)$, якщо $\omega_{x2} > \omega_{y2}$. Сигнал з виходу фільтра нижніх частот подається на балансний модулятор $F6$, на другий вхід якого подається сигнал з частотою ω_α . Сигнал з виходу балансного модулятора з частотами $[(\omega_{\min2} - \omega_\alpha) - \omega_\alpha]$ і $[(\omega_{\min2} - \omega_\alpha) + \omega_\alpha]$ подається на фільтр верхніх частот Φ_{B2} , на виході якого отримуємо сигнал з частотою $\omega_{\min2}$.

Сигнал з частотою $\omega_{\min1}$ з виходу фільтра верхніх частот Φ_{B1} подається на балансний модулятор $F7$, на другий вхід якого через розподільник потужності $T2$ подається сигнал з частотою ω_β , причому $\omega_\beta > \omega_1$, де ω_1 — частота, яка відповідає логічній одиниці. На виході балансного модулятора $F7$ отримуємо сигнал з частотами $(\omega_\beta + \omega_{\min1})$ і $(\omega_\beta - \omega_{\min1})$. Сигнал з частотою $\omega_{\min2}$ з виходу фільтра верхніх частот Φ_{B2} подається на балансний модулятор $F8$, на другий вхід якого подається сигнал з частотою ω_β . На виході балансного модулятора $F8$ отримуємо сигнал з частотами $(\omega_\beta + \omega_{\min2})$ і $(\omega_\beta - \omega_{\min2})$. Сигнали з виходів балансних модуляторів подаються на суматор потужності $A3$, а з нього — на вхід фільтра верхніх частот Φ_{B3} . На виході

фільтра верхніх частот буде або сигнал з частотою $(\omega_{\beta} + \omega_{\min 1}) = (\omega_{\beta} + \omega_{\max})$, якщо $\omega_{\min 1} \geq \omega_{\min 2}$, або сигнал з частотою $(\omega_{\beta} + \omega_{\min 2}) = (\omega_{\beta} + \omega_{\max})$, якщо $\omega_{\min 1} < \omega_{\min 2}$. Сигнал з виходу фільтра верхніх частот подається на балансний модулятор $F9$, на другий вхід якого подається сигнал з частотою ω_{β} . Сигнал з виходу балансного модулятора з частотами $[(\omega_{\beta} + \omega_{\max}) + \omega_{\beta}]$, $[(\omega_{\beta} + \omega_{\max}) - \omega_{\beta}]$ подається на фільтр нижніх частот $\Phi_{НЗ}$, на виході якого отримуємо сигнал з частотою ω_{\max} .

Висновки

У фазі-нейронах для об'єднання вхідних сигналів та ваг синапсів застосовуються операції визначення мінімального (нейрон «АБО») чи максимального (нейрон «І») значень. Для об'єднання вхідної інформації також застосовуються операції визначення мінімального (нейрон «І») чи максимального (нейрон «АБО») значень. Використання при передачі та обробці сигналів у фазі-нейронах не амплітудно-імпульсної, а частотно-імпульсної модуляції дозволяє підвищити завадостійкість і швидкодію мережі. Запропоновані структурні схеми фазі-нейронів «І», «АБО», складовими частинами яких є балансні модулятори, фільтри верхніх та нижніх частот, розподільники та суматори потужності, можуть знайти своє застосування у гібридних нейронних мережах.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Архангельский В. И., Богаенко И. Н., Грабовский Г. Г., Рюмшин Н. А. Системы фuzzi-управления. — К.: Техніка, 1997. — 208 с.
2. Митюшкин Ю. И., Мокин Б. И., Ротштейн А. П. Soft Computing: идентификация закономерностей нечёткими базами знаний. Монография. — Вінниця: Універсум—Вінниця, 2002. — 145 с.
3. Wilamowski B. M. Neuro-fuzzy Systems and Their Applications // 24th IEEE International Industrial Electronics Conference (IECON'98). — 1998. — Vol. 1. — P. 35—49.

Рекомендована кафедрою телекомунікаційних систем і телебачення

Надійшла до редакції 21.12.04
Рекомендована до друку 26.01.05

Кичак Василь Мартинович — завідувач кафедри; **Войцеховська Олена Олександрівна** — аспірантка.
Кафедра телекомунікаційних систем і телебачення, Вінницький національний технічний університет