

Список літератури

1. Харченко В. П. *Авіоніка* : навч. посіб. Київ : НАУ, 2013. 272 с.
2. Owner's Manual / Portable Collision Avoidance System. URL: https://www.aircraftspruce.eu/catalog/pdf/XRX_Manual_2.0.pdf (дата звернення: 02.04.2020).

УДК 629.7.075

*Шмельов Ю. М., к.т.н., заступник директора коледжа**Кременчуцький льотний коледж Харківського національного університету внутрішніх справ, м. Кременчук, Україна**Давед Адем, пілот MI26m2, компанія «Air Force», м. Алжир, Алжир.**Абрамов Николас, командир екіпажу гелікоптера Mi8MTB компанії «GM Helicopters» SIA, м. Рига, Латвія***ГІБРИДНЕ НЕЙРОМЕРЕЖЕВЕ УПРАВЛІННЯ БЕЗПІЛОТНИМ ЛІТАЛЬНИМ АПАРАТОМ**

Системою управління безпілотним літальним апаратом (БПЛА), що володіє властивостями, необхідними для застосування її в системах управління більш складного порядку (система управління аеромобільного комплексу спеціального призначення), можуть бути інтелектуальні системи управління, побудовані на нейроконтролері з гібридним керуванням [1–3].

У [3] приведена функціональна схема системи управління БПЛА на основі інтелектуального управління. Система управління другого рівня (подальшого) відповідно до заданої програми і на підставі інформації, що надходить від навігаційної системи, сенсорних датчиків, вимірювальних приладів, формує керуючий вектор для першого рівня управління автопілота [4, 5].

Автопілот (АП) розв'язує задачі управління механічними системами БПЛА, а також забезпечує переміщення БПЛА з однієї точки простору в іншу за координатами, що видаються другим рівнем управління. АП, по суті – нейромережевий регулятор, виконаний за схемою нечіткого нейроемулятора і гібридного нейроконтролера зі зворотним зв'язком (рис. 1) [2, 3].

У схемі використовується контролер зворотного зв'язку, виконаний як гібридний регулятор НМ1, який навчається через ідентифікатор НМ2. Навчання через ідентифікатор необхідно, щоб не заважати нормальному функціонуванню об'єкта пробними діями, що використовуються для навчання. Крім того, така схема дозволяє реалізувати предикатне управління і підвищує безпеку БПЛА.

Будемо вважати, що в якості нейронної мережі (НМ) у загальному випадку приймається динамічна (рекурентна) нейронна мережа на базі персептрону, структура якого зображена на рис. 2.

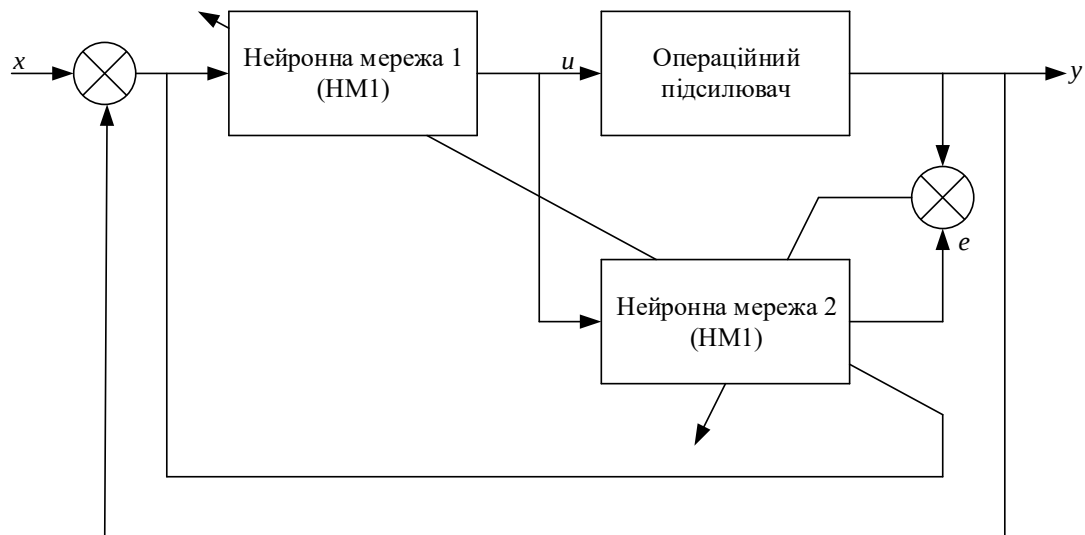


Рисунок 1 – Схема гібридного нейромережевого управління БПЛА [3]

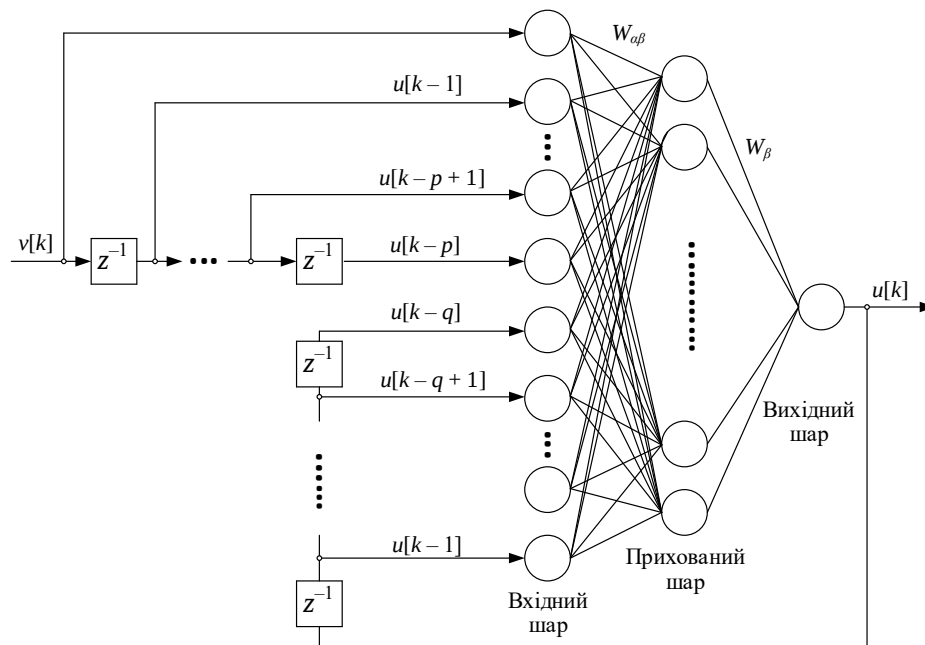


Рисунок 2 – Структура динамічного нейромережевого регулятора БПЛА

Досліджуваний нейромережевий регулятор включає в себе $(p + g + 1)$ нейронів у вхідному шарі, що здійснюють перерозподіл вхідних сигналів між нейронами наступного шару, а також σ нейронів в прихованому шарі і один нейрон у вихідному шарі, зв'язки між якими здійснюються з допомогою ваг $W_{\alpha\beta}$, W_{β} ($\alpha = 1, 2, \dots, p + q + 1$; $\beta = 1, 2, \dots, \sigma$).

Динаміка рекурентної НМ описується наступним різницеvim рівнянням:

$$u[k] = F(u[k-1], \dots, u[k-q], v[k], \dots, v[k-p]); \quad (1)$$

де $F(\cdot)$ – нелінійна функція щодо зазначених $(p + q + 1)$ аргументів, конкретний вид якої залежить як від обраних активаційних функцій нейронів, так і від значень ваг синаптичних зв'язків $W_{\alpha\beta}$, W_{β} .

В якості функції активації нейрона може бути прийнятою, наприклад, раціональна сигмоїда, що має такий опис:

$$y = \frac{x}{c + |x|}; \quad (2)$$

де $c > 0$.

Як видно з рис. 2 вихідний сигнал нейромережевого регулятора $u[k]$ в поточний момент часу k залежить як від поточного значення вхідного сигналу $v[k]$, так і від минулих значень вхідного і вихідного сигналів, затриманих на відповідне число періодів дискретизації.

Таким чином, побудова НМ на основі структури, наведеної на рис. 2, не пов'язана з необхідністю використання майбутніх значень вхідного сигналу, що гарантує фізичну реалізованість регулятора. В принципі, співвідношення між максимальним числом тактів затримки по входу (p) і виходу (q) у виразі (1) може бути довільним.

Змінні $v[k]$ і $u[k]$ на схемі (рис. 2) вважаються нормованими, тобто належать інтервалу $[-1, 1]$, що передбачає використання спеціальної операції масштабування, пов'язаної з переходом від реальних фізичних координат (входу і виходу регулятора) до їх відносних безрозмірних значень, і навпаки.

Список літератури

1. Бодянський Є. В., Тесленко Н. О., Дейнеко А. О. Еволюційна нейронна мережа з ядерними функціями активації й адаптивний алгоритм її навчання. *Наукові праці. Комп'ютерні технології*. 2011. Вип. 148, т. 160. С. 53–58.
2. Бецков А. В., Прокопьев И. В. Анализ живучести беспилотного летательного аппарата. *Надежность и качество сложных систем*. 2014. № 2. С. 3–6.
3. Шмельов Ю. М. Формування інформаційних ознак ефективності застосування безпілотних літальних апаратів. *Радіотехніка*. 2019. Вип. 199. С. 75–82.
4. Юрков Н. К. Оцінка безпеки складних технічних систем. *Надійність і якість складних систем*. 2013. № 2. С. 15–21.
5. Que Q., Belkin M. Back to the Future: Radial Basis Function Networks Revisited. *Appearing in Proceedings of the 19th International Conference on Artificial Intelligence and Statistics (AISTATS)*. 2016. Vol. 51. 13 p.