

УДК 004.048

DOI: 10.15587/2312-8372.2018.149539

АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ ВИКОРИСТАННЯ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ДЛЯ ДИСТАНЦІЙНОГО КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОННИМИ АПАРАТАМИ

Голіков М. О., Галкін П. В.

1. Вступ

Станом на теперішній час, дистанційне керування різноманітними електронними апаратами є невід'ємною частиною будь-якої системи, незважаючи на її напрям та сферу роботи. Зазвичай, дистанційне керування (ДК) електронними апаратами використовується у випадках, коли контактний контроль станом приладу неможливий через можливі ризики для здоров'я або відсутність можливості дістатись до об'єкту керування.

З виникненням великої кількості персональної електронної апаратури, в якій реалізовано можливість виходу до мережі Інтернет, поширенням концепції Інтернету речей (IoT) та хмарних технологій, дистанційне керування почало отримувати більш широке впровадження. Створення нових можливостей для дистанційного керування та спрощення вже існуючих засобів дистанційного контролю пов'язана з багатьма показниками, серед яких показники з:

- безпеки;
- екологічності;
- енергоефективності;
- інтеграції людей з особливими потребами;
- економічного обґрунтування;
- надійності та ремонтпридатності;
- технічної підтримки;
- модернізації;
- оптимізації;
- охорони.

Враховуючи постійно зростаючу кількість нової електронної апаратури та протоколів для її керування, постає питання про доповнення існуючих методів дистанційного керування новими або удосконаленням вже існуючих методів. Особливо гостро це питання постає під час використання бездротових інтерфейсів комунікації між електронними апаратами. Це трапляється через високий ступінь інтеграції бездротових мереж як у повсякденному житті, так і в вузькоспеціалізованих областях. Внаслідок цього виникає необхідність в розробці нових підходів для використання дистанційного керування.

Тому актуальним є аналіз існуючих засобів створення дистанційного керування з метою пошуку найбільш вразливих місць.

2. Об'єкт дослідження та його технологічний аудит

Об'єктом дослідження в роботі є системи дистанційного керування електронними апаратами. Існуючі системи створюються на базі як дротових,

так і бездротових інтерфейсах передачі інформації, всі вони мають свої недоліки та переваги.

Одним з найбільш проблемних місць існуючої реалізації каналів дистанційного керування є низьке значення співвідношення між властивостями системи. Цими параметрами є гнучкість системи, швидкість передачі інформації всередині мережі, а також мобільність системи та захищеність [1].

Однією з причин низького співвідношення є використання у складі системи модулів зі значним значенням мінімального часу роботи. Такими модулями є модулі фільтрації та декодування отриманого сигналу на боці приймача, кодування та модулювання на боці передавача. Заміна цих модулів на один зі значно меншими показниками затраченого часу суттєво покращить значення співвідношення гнучкості системи та швидкості передачі даних. Можливість для створення модулю, що буде мати необхідні властивості затрачуваного на роботу часу, надає нейронна мережа.

3. Мета та задачі дослідження

Метою цієї роботи є пошук можливих місць інтеграції існуючих моделей ДК з нейронною мережею.

Для досягнення поставленої мети, необхідно вирішити такі задачі:

1. Зробити аналіз сучасних методів створення каналу ДК.
2. Зробити аналіз можливостей нейронних мереж.
3. Провести аналіз системи ДК, у склад якої входить нейронна мережа.

4. Дослідження існуючих рішень проблеми

Основними проблемами сучасних засобів реалізації каналу зв'язку для дистанційної передачі інформації є:

- а) безпека каналу зв'язку та своєчасне детектування вторгнень у створений канал;
- б) створення можливостей для керування на базі різноманітних платформ (ПК, мобільні платформи, веб-технології);
- в) швидкість передачі інформації через створений канал зв'язку;
- г) можливість швидкого перемикання між різними режимами роботи;
- г) можливість безконтактного введення інформації.

Для вирішення проблеми вказаної в пункті «а», існує велика кількість рішень [2, 3], зокрема, використання нейронних мереж та замірів часу проходження сигналу. Також для забезпечення захисту передаваної інформації та реалізації швидкого з'єднання між пристроями використовується підхід сірого реляційного аналізу (GRA) [4]. Цей підхід дозволяє суттєво підвищити точність за рахунок введення в систему абстракцій, що базуються на інформації від передавача па приймача. Можливість вдосконалення існуючих методів детектування вторгнення з використанням нейронних мереж [5, 6], забезпечує швидку та надійну роботу в режимі реального часу. Використання нейронних мереж для детектування вторгнень в канал зв'язку дозволяє покращити швидкість навчання нейронечіткої мережі, підвищити точність та швидкість виявлення вторгнень у радіомережах, а також застосовувати мережу при нечіткій мережевій активності [1, 5].

Існуючі дротові засоби створення каналу зв'язку, наприклад, оптичний кабель, мають високі показники зі швидкості, надійності та стійкості до стороннього вторгнення [5, 7]. Використання оптоволокона дозволяє створити надійне з'єднання з високою пропускну здатністю [8]. Однак, на ряду з підвищенням стабільності та швидкості такого каналу зв'язку зменшиться гнучкість системи та її модульність.

Невід'ємною частиною сучасних електронних апаратів є можливість керування їх станом за допомогою різноманітних платформ. Існує велика кількість рішень для електронних апаратів різного характеру [5]. Найбільш розповсюдженими платформами є: мережеві (web), мобільні та десктопні. Використання різноманітних платформ збільшує гнучкість системи, що надає нові можливості для інтегрування та спрощує процеси керування.

Використання підходу IoT особливо гостро підіймає питання пунктів «а–г». Для компенсації втраченої гнучкості до складу систем ДК додають перемикачі режимів роботи [9]. Таке рішення дозволяє підвищити показники гнучкості та модульності системи за рахунок швидкого перемикання між задіяними частинами.

Питання безконтактного введення інформації (пункт «г») постає все частіше. Сучасні технології дозволяють суттєво спростити процес введення інформації до комп'ютеру [10]. Водночас зі спрощенням процесу введення інформації покращується точність введених даних. Прикладами нових засобів введення інформації можуть слугувати: нейроінтерфейси, повна або часткова віртуальна реальність, керування голосом та ін.

Таким чином, результати літературного аналізу дозволяють зробити висновок про те, що проблема пошуку модулів ДК з найбільшим затрачуваням часом роботи є важливою.

5. Методи дослідження

Сучасні засоби організації ДК мають різноманітні структури, але все одно мають однакові структурні одиниці. Взаємозв'язок між ними та вплив кожної з частин на систему в цілому можна зобразити з боку теорії автоматичного управління (ТАУ).

Кожна система містить:

- об'єкт керування (ОК) – технічний пристрій або технологічний процес, зміна значень якого повинна бути задовільною з боку користувачів;
- керований пристрій (КП) – пристрій, що на базі мети керування та фактичної зміни вхідного сигналу генерує керуючий сигнал, який повинен допомогти досягти мети [11].

Основними критеріями для будь-якої системи є:

- стійкість (властивість системи повертатися в сталий стан після того, як вона була виведена з цього стану будь-яким обуренням);
- точність (характеризується похибкою системи в сталих режимах).

Типові схеми взаємодії між структурними елементами системи ДК зображено на рис. 1.

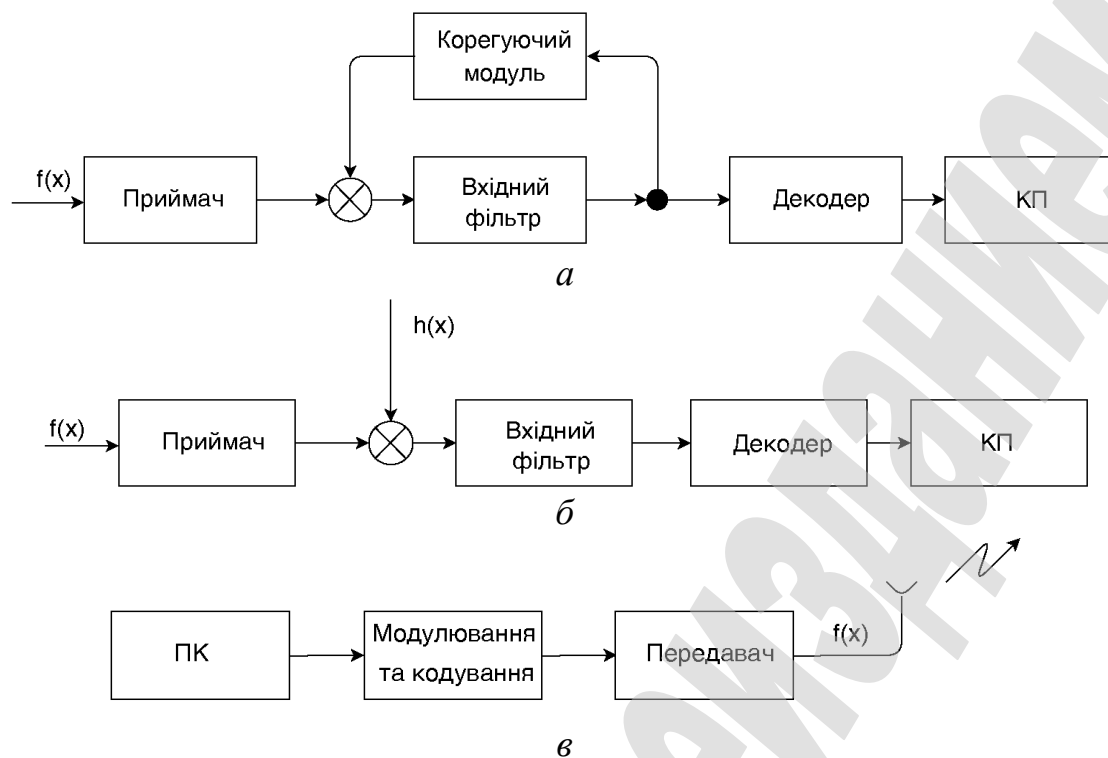


Рис. 1. Типові схеми взаємодії між структурними елементами системи дистанційного керування: *а* – структурна схема приймача з коригуючою ланкою зворотного зв’язку; *б* – структурна схема приймача з керуючим впливом; *в* – структурна схема передавача

Система, що зображена на рис. 1, *а*, є: замкнутою, лінійною та стаціонарною. Особливістю системи є наявність зворотного зв’язку після фільтру. Це допомагає швидко підлаштуватися під зміни вхідного сигналу. Передавальна функція цієї системи матиме вигляд:

$$W = \frac{W_{вф} \cdot W_{пр} \cdot W_{д} \cdot W_{кп}}{1 - W_{вф} \cdot W_{км}}, \quad (1)$$

де $W_{вф}$ – передаточна функція вхідного фільтру;
 $W_{пр}$ – передаточна функція приймача;
 $W_{д}$ – передаточна функція декодера;
 $W_{кп}$ – передаточна функція керованого пристрою;
 $W_{км}$ – передаточна функція коригуючого модулю.

Система, що зображена на рис. 1, *б*, є: розімкнутою, лінійною та не стаціонарною. Особливістю системи є наявність керуючого впливу, значення якого може змінюватись не залежно від системи. Передавальна функція цієї системи матиме вигляд:

$$W = W_{вф} \cdot W_{пр} \cdot W_{д} \cdot W_{кп}, \quad (2)$$

де $W_{вф}$ – передаточна функція вхідного фільтру;
 $W_{пр}$ – передаточна функція приймача;
 $W_{д}$ – передаточна функція декодера;

$W_{кп}$ – передаточна функція керованого пристрою.

Система, що зображена на рис. 1, є: розімкнутою, лінійною та стаціонарною. Передавальна функція цієї системи матиме вигляд:

$$W = W_{нк} \cdot W_{мк} \cdot W_n, \quad (3)$$

де $W_{нк}$ – передаточна функція пристрою керування;

$W_{мк}$ – передаточна функція модулювання та кодування;

W_n – передаточна функція передавача.

Для покращення показників стійкості та точності систем приймача і передавача додамо до складу обох систем нейронну мережу. Враховуючи результати проведеного аналізу існуючих методів реалізації дистанційного керування, можна визначити місця, у які інтеграції нейронної мережі призведе до найбільшого впливу на систему. Такими місцями є: фільтр вхідного сигналу приймача, оброблювач відфільтрованого вхідного сигналу приймача та елемент формування вихідного сигналу передавача. Отримані схеми взаємодії зображено на рис. 2.

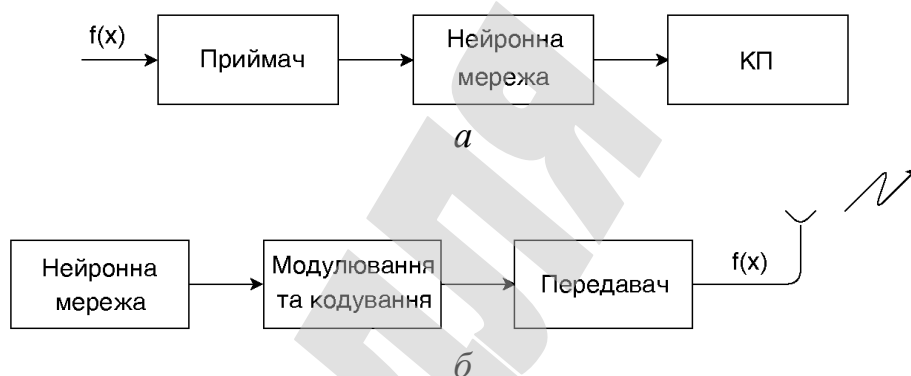


Рис. 2. Схеми взаємодії між структурними елементами системи дистанційного керування за допомогою нейронної мережі:

а – структурна схема приймача; *б* – структурна схема передавача

Система, що зображена на рис. 2, *а*, є: розімкнутою, лінійною та не стаціонарною. Передавальна функція цієї системи матиме вигляд:

$$W = W_{пр} \cdot W_{нм} \cdot W_{кп}, \quad (4)$$

де $W_{пр}$ – передаточна функція приймача;

$W_{нм}$ – передаточна функція нейронної мережі;

$W_{кп}$ – передаточна функція керованого пристрою.

Як можна побачити на рис. 6, при інтеграції до складу приймача нейронної мережі, вона замінює собою систему фільтрації та декодер. Це спрощує загальну передаточну функцію системи приймача, збільшує показники стійкості та точності за рахунок заміни в двох взаємозв'язаних модулів на один самостійний. Таким чином, створюється можливість збільшити якість зв'язку ДК з відсутніми втратами у часі обробки отриманого сигналу.

Система, що зображена на рис. 2, б, є: розімкнутою, лінійною та стаціонарною. Передавальна функція цієї системи матиме вигляд:

$$W = W_{nm} \cdot W_{mk} \cdot W_n, \quad (5)$$

де W_{nm} – передаточна функція нейронної мережі;

W_{mk} – передаточна функція модулювання та кодування;

W_n – передаточна функція передавача.

Використання нейронної мережі у складі передавача надає можливості формування керуючого сигналу зі збільшеними показниками точності завдяки здатності нейронної мережі до самонавчання, що призводить до автоматичного корегування вихідних даних.

Таким чином, інтеграція нейронної мережі до складу системи ДК покращує такі параметри системи, як: точність, стабільність, швидкість роботи. Також, використання нейронної мережі робить систему ДК адаптивною – з'являється можливість автоматичного налаштування системи при зміні вхідних параметрів.

6. Результати дослідження

Аналіз можливостей існуючих засобів дистанційного керування, а також можливостей впровадження нейронної мережі, проводився на базі триколісного робота.

На базі цього робота, було проведено аналіз як дротових, так і бездротових фізичних інтерфейсів для реалізації дистанційного керування. Розглянуті інтерфейси наведено на рис. 3.

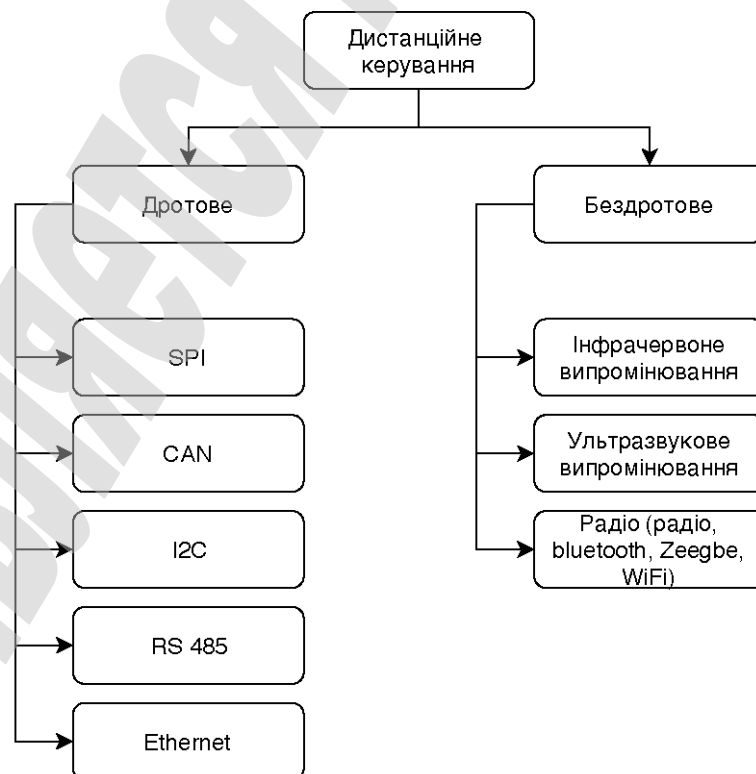


Рис. 3. Розглянуті фізичні інтерфейси організації дистанційного керування

6.1. Аналіз дротових інтерфейсів для реалізації каналу дистанційного зв'язку

Проведемо аналіз зазначених дротових інтерфейсів реалізації дистанційного керування з метою виявлення їх переваг та недоліків.

SPI (Serial Peripheral Interface) – послідовний периферійний інтерфейс, що використовує синхронну шину для передачі інформації [12]. До складу шини входять такі лінії передачі: MOSI (master out slave input), MISO (master input slave out), CS (chip select), CLK (clock). Цей інтерфейс передачі інформації використовує три загальні, для всіх підлеглих, лінії (MOSI, MISO, CLK) та одну спеціальну лінію (CS) для визначення потрібного підлеглому. Під час передачі інформації, на лінію CLK, подається згенерований тактовий імпульс. Після цього, на лінію передачі інформації подаються дані. У випадку, коли на лінії CS встановлено рівень логічного нуля (низький імпеданс) – сигнал буде оброблено, у випадку логічної одиниці (високий імпеданс) – сигнал буде проігноровано. Для кожного підлеглому необхідний свій CS, через що загальна формула розрахунку кількості задіяних ліній виглядає наступним чином:

$$Lines=3+N, \quad (1)$$

де N – кількість підлеглих.

Виходячи з вищезазначеного, можна зробити висновок, що перевагами інтерфейсу SPI є висока швидкість передачі інформації, синхронність процесу передачі. У свою чергу недоліками є велика кількість задіяних ліній.

CAN (Controller Area Network) – промисловий інтерфейс передачі інформації, що задіє диференційну пару для передачі. Особливістю цього інтерфейсу є те, що він послідовний, ширококомовний та пакетний.

Це означає, що інформація передається пакетами певної довжини та конфігурації всім пристроям одночасно. Таким чином, прийняття рішення щодо обробки прийнятого пакета виконується на стороні приймача, на відміну від інтерфейсу SPI, де за це відповідає майстер. Також суттєвою відмінністю цього інтерфейсу є те, що особливості конструкції накладають обмеження на швидкість передачі інформації. За стандартом ISO 11898 максимальними значення довжини лінії є: 40 м для швидкості 1 Мбит/с, 100 м для швидкості 500 кбит/с, 500 м для швидкості 125 кбит/с, 5000 м для швидкості 10 кбит/с.

Це означає, що суттєвим недоліком цього інтерфейсу є обмеження швидкості передачі інформації та довжини лінії. У свою чергу, перевагами інтерфейсу є: висока стійкість до перешкод, арбітраж доступу до мережі без втрат пропускну здатності та надійний контроль помилок передачі і прийому.

I2C (Inter-Integrated Circuit) – послідовна асиметрична шина передачі інформації. Дані передаються за допомогою двох ліній – лінії даних та лінії тактових імпульсів. В процесі передачі інформації, існує дві сторони – провідна (master) і підлегла (slave).

Всього на одній шині може бути до 127 пристроїв. Передача/прийом сигналів здійснюється притисканням лінії в 0, в одиницю лінія встановлюється сама, за рахунок підтягуючих резисторів (зазвичай 10 кОм). Чим більше резистор, тим довше лінія відновлюється в одиницю і тим сильніше завалюються фронти імпульсів, а значить швидкість передачі падає. Саме тому у I2C швидкість передачі набагато нижче, ніж у SPI [13].

Перевагами цього інтерфейсу є:

- мала кількість провідників для підключення багатьох пристроїв;
- можливість одночасної роботи декількох ведучих (master) пристроїв, підключених до однієї шини I2C;
- вбудований в мікросхеми I2C фільтр пригнічує сплески, забезпечуючи цілісність даних.

Недоліками є: обмеження на ємність лінії (400 пФ), складність використання через велику кількість ймовірних ситуацій на шині.

RS 485 – стандарт фізичного рівня. Протокол інтерфейсу передбачає два режими передачі даних: синхронний і асинхронний, а також два методи управління обміном даних: апаратний і програмний. Кожен режим може працювати з будь-яким методом управління.

Для передачі даних по інтерфейсу RS-485 використовується код NRZ, який не є самосинхронізуємим, тому для синхронізації використовується стартовий і стоповий біт, що дозволяють виділити бітову послідовність і синхронізувати приймач з передавачем.

Перевагами протоколу є: швидкість обміну та надійний контроль помилок передачі і прийому.

Узагальнюючи розглянуті дротові інтерфейси для реалізації ДК, можна сказати, що дротові інтерфейси мають досить високу швидкість передачі, надійний контроль помилок, захищеність лінії від перешкод та досить велику відстань передачі без втрат. Але їх основним недоліком є використання дротів для створення з'єднання. Використання дротів є недоліком через те, що вони ускладнюють процес створення з'єднання між електронними пристроями за рахунок створення умов для використання дротів.

6.2. Аналіз бездротових інтерфейсів для реалізації каналу дистанційного зв'язку

Проведемо аналіз зазначених бездротових інтерфейсів реалізації ДК з метою виявлення їх переваг та недоліків. Для реалізації бездротових інтерфейсів керування, використовують електромагнітні хвилі різної модуляції та частоти, що дозволяє задіяти майже весь діапазон електромагнітних хвиль. Структура типової системи радіотехнічного зв'язку наведена на рис. 4 [1].

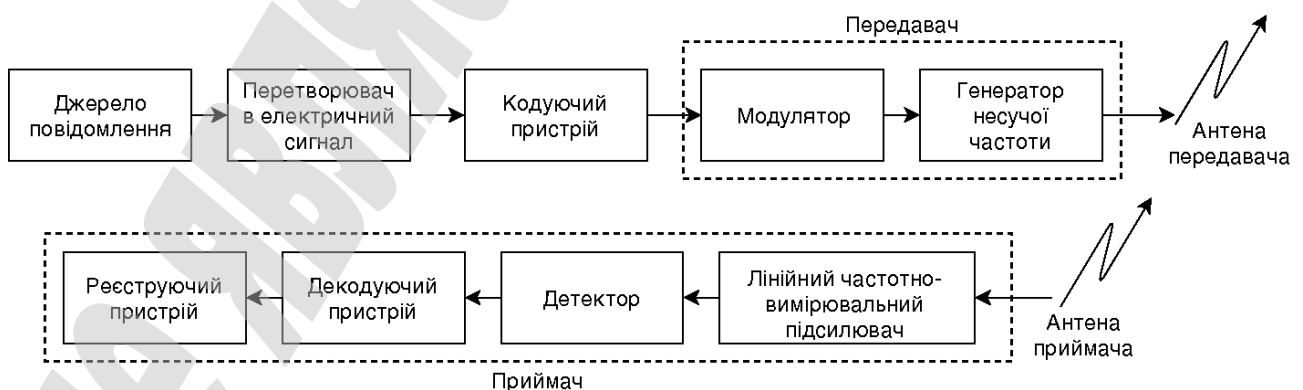


Рис. 4. Структура типової системи радіотехнічного зв'язку

Виходячи з принципу роботи бездротового зв'язку, різниця між використанням ультразвукового (УЗ) діапазону та інфрачервоного (ІЧ), полягає в особливостях конструкції передавача та приймача сигналу, властивостях хвилі обраного діапазону. Також, використання цих діапазонів електромагнітних хвиль встановлює максимальну відстань для використання та умови передачі. Так, використання ІЧ випромінювання вимагає відсутності інших джерел випромінювання для спрощення механізму фільтрації та виділення корисного сигналу. Прикладом використання ІЧ випромінювання для керування можуть слугувати пульт дистанційного керування (до 20 м), система лазертагу (до 500 м). Головна проблема цього інтерфейсу полягає в широкому інфрачервоному спектрі сонячного світла. Для його фільтрації, зазвичай, використовують модульований сигнал на частотах 56 кГц, 36 кГц, 38 кГц, 40 кГц. Таке рішення дозволяє використовувати ІЧ діапазон для передачі сигналів у сонячну погоду, але встановлює обмеження на максимальну відстань, яка суттєво залежить від конструкції випромінювача. Суттєвою перевагою ІЧ каналу передачі є нечутливість до електромагнітних перешкод, що дозволяє використовувати цей канал на виробництвах та інших місцях в високим рівнем електромагнітних перешкод.

Прикладами використання УЗ для реалізації ДК можуть слугувати різноманітні пульти, вимикачі тощо.

Суттєвою перевагою УЗ є те, що джерело випромінювання може не використовувати електричну енергію, що суттєво збільшує час автономної роботи. В таких пристроях, для генерації хвиль УЗ діапазону використовуються механічні елементи, а кодування сигналу відбувається за рахунок його модулювання. Вибір потрібної модуляції відбувається за рахунок натискання кнопки на пульти. В свою чергу, використання подібних пултів встановлює обмеження на можливості перепрограмування подібних пултів через використання механічних фільтрів.

Найбільш поширеним інтерфейсом для реалізації бездротового ДК є радіоканал. Діапазон частот, що задіяний у радіопередачах, поділений між такими технологіями як:

- радіозв'язок;
- bluetooth;
- WiFi;
- Zeegbe.

Найбільший діапазон частот займає радіоканал [14]. Цей інтерфейс бездротової передачі інформації найбільш поширений. Він задіє діапазон частот від 150 кГц (довгі хвилі) до 300 ГГц (гіпер високі частоти). Завдяки такому широкому спектру частот, радіозв'язок використовується майже в усіх існуючих сферах як інтерфейс створення бездротового з'єднання між керуючим та керованим пристроями. Перевагами цього інтерфейсу є простота конструкції прийомних та передаючих пристроїв, відносно прості способи для модуляції сигналів (амплітудні, частотні, фазові). Основною проблемою передачі інформації за допомогою радіоканалу є радіо та електромагнітні перешкоди. Для вирішення

цієї проблеми використовують фільтри різноманітних конструкцій. У деяких випадках, задіяні фільтри можуть бути 2-го, 3-го та вищих порядків.

Такі технології, як: bluetooth, WiFi та Zigbee є відгалуженням від радіопередачі, через використання специфічних діапазонів частот, використання конкретних модуляцій, потужності сигналу та протоколів для передачі інформації. Так, технологія *bluetooth* використовує ISM (Industry, Science and Medicine) – діапазон для передачі інформації. Цей діапазон 2,402–2,48 ГГц [15]. Технологія використовує часті зміни робочої частоти (*spread-spectrum frequency hopping*). Цей метод передачі полягає в розділенні спектру на 79 підканалів та зміні робочого підканалу кожні 62 мс.

Особливістю інтерфейсу є його відносно мала відстань та здатність самостійно перемикається між частотами в рамках створеної мережі для забезпечення стабільності сигналу. Цей інтерфейс може використовуватись на відстані до 200 м (*bluetooth 5.0*) з максимальною швидкістю 6,25 МБ/с. Особливістю *bluetooth* є низька потужність сигналу.

WiFi – гнучкий інтерфейс для бездротової передачі інформації, що працює в діапазоні від 2,402 ГГц до 5 ГГц. Максимальна швидкість передачі інформації з використанням цього інтерфейсу складає 6,77 Гбіт/с [16, 17]. Виходячи з того, що діапазон використовуваних частот технологій WiFi та *bluetooth* співпадають, виникає спільний для цих технологій недолік – створення перешкод під час одночасної роботи. Результатом цих перешкод є погана якість сигналу в обох інтерфейсах.

Перевагою технології є можливість створення мережі з багатьох пристроїв, що знаходяться на відстанях від 150 до понад 15 000 м. Значення відстані залежить від умов використання, фізичних перешкод на шляху розповсюдження сигналу та можливостей прийомо-передавальних антен, що входять до складу задіяних.

Створена мережа має високі показники надійності та швидкості передачі інформації, особливо на коротких відстанях.

Zigbee – це різновид промислової бездротової мережі для передачі інформації. Він базується на стандарті загального призначення з використанням радіозв'язку малої потужності IEEE 802.15.4, що дозволяє налаштовувати поверх радіосигналу різні протоколи [18]. Основними особливостями технології *Zigbee* є: енергозбереження, підтримання топології мережі різних типів побудови, самовідновлення у *mesh* топологію з ретрансляцією і маршрутизацією повідомлень [19, 20].

Приклад мережі, побудованої на базі технології *Zigbee*, зображено на рис. 5.

Завдяки використанню принципу *mesh* та відокремлених вузлів, ця технологія дозволяє охоплювати значні площі. Для передачі інформації в створеній мережі використовуються короткі пакети, що передаються між вузлами мережі на швидкостях до 1 Мбіт/с.

Таким чином, перевагами цієї технології є: низьке значення споживчої енергії, стабільність з'єднань за рахунок використання *mesh*, велика площа покриття сигналом, криптографічний захист усіх даних, низька собівартість, висока швидкість створення з'єднання (30 мс).

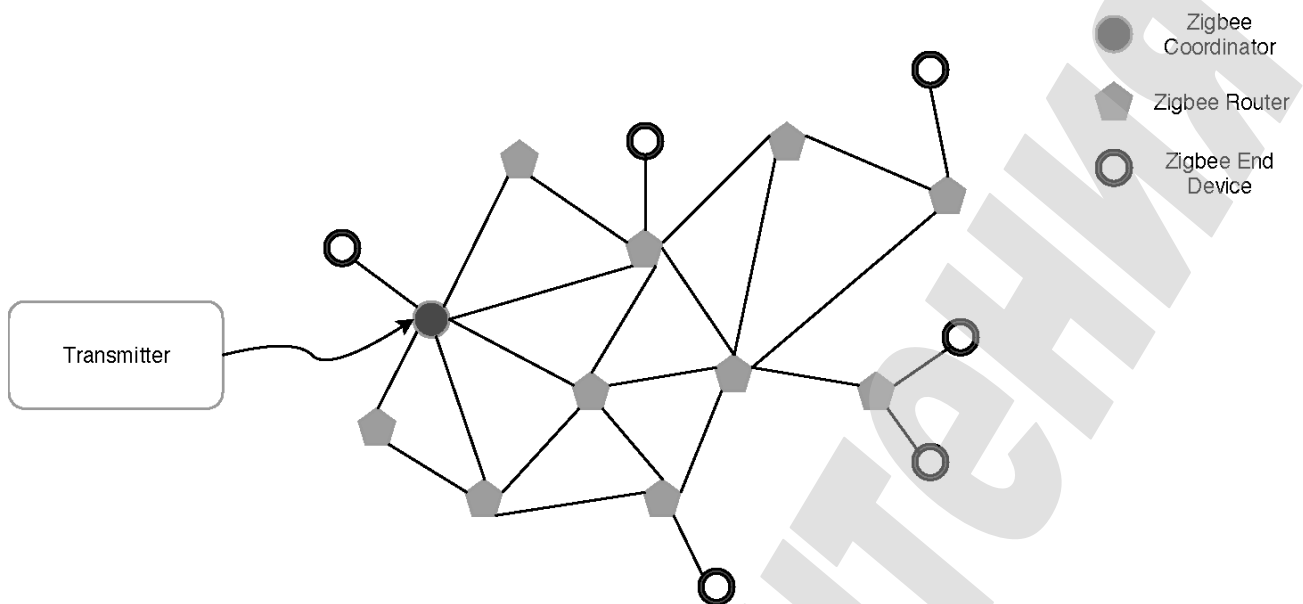


Рис. 5. Приклад Zigbee мережі

У свою чергу, недоліками цієї технології є: складна структура мережі через велику кількість задіяних пристроїв, низька пропускна здатність в порівнянні з bluetooth та WiFi.

Для усіх бездротових технологій передачі даних характерне наступне [21–23]:

- широка смуга пропускання. Застосовувані в супутникових системах сигнали і частоти дозволяють забезпечити передачу не лише мовної інформації, але і пакетну передачу даних з відносно високою швидкістю;
- можливість визначення місцезположення (координат) споживачів;
- мала ймовірність помилки передачі даних. При цифровій передачі даних, застосовуваної в безпроводних системах, використовуються ефективні алгоритми виявлення і корекції помилок;
- стійкі витрати. Вартість передачі даних за одним з'єднанням зазвичай не залежить від відстані між передавальною і приймаючою земними станціями. Крім того, безпроводні системи зазвичай широкомовні і вартість передачі залишається незмінною при збільшенні числа приймаючих абонентів.

Разом з цим, необхідно відзначити ряд обмежень, характерних для безпроводних технологій передачі даних:

- необхідність захисту від несанкціонованого доступу до інформації. Широкомовний характер передачі даних дозволяє будь-якій наземній станції, налаштованій на відповідну частоту, отримувати трансльовану інформацію. Шифрування сигналів найчастіше досить складне, що дозволяє забезпечити їх надійний захист від несанкціонованого доступу;
- вкрай слабкий сигнал, що доходить до наземної станції (що обумовлено великими відстанями та обмеженістю потужності передавача) часто вимагає застосування складних методів кодування та обробки;
- розміри наземних станцій зазвичай більше, ніж розміри аналогічних станцій в інших системах зв'язку (наприклад, супутниковий телефон і звичайний стільниковий телефон). Це обумовлено складністю апаратури та необхідністю застосовувати відносно великі антени наземних станцій;

– значна затримка. Великі відстані від наземної станції до супутника призводять до затримок поширення сигналу, які досягають величини в чверть секунди.

Базуючись на проведеному аналізі бездротових засобів для реалізації ДК, можна виділити такі загальні переваги як:

- швидка модернізація існуючої мережі;
- покриття сигналом великої площі;
- низька споживча потужність;
- наявність можливості використання режиму сну для енергозбереження.

Основними недоліками бездротових засобів для реалізації ДК є:

- перешкоди сигналу через неможливість контролювати середовище передачі інформації;
- наявність можливості втручання до створеної мережі стороннім пристроєм.

6.3. Аналіз можливості використання нейронних мереж як частини дистанційного керування

Нейронна мережа – це величезний розподілений паралельний процесор, що складається з елементарних одиниць обробки інформації, які накопичують експериментальні знання і надають їх для подальшої обробки [24]. Штучна нейронна мережа схожа на природну за двома параметрами:

– знання надходять в нейронну мережу з навколишнього середовища і використовуються в процесі навчання;

– для накопичення знань використовуються зв'язки між нейронами, які мають назву синоптичні ваги. У загальному випадку, нейронна мережа являє собою машину, що моделює спосіб обробки мозком конкретного завдання. Процес навчання вибудовує в певному порядку синоптичні ваги нейронної мережі для забезпечення необхідної структури взаємозв'язків нейронів. Зміна синоптичних ваг являє собою традиційний метод налаштування нейронних мереж.

Властивості нейронних мереж дозволяють вирішувати складні завдання, які на сьогоднішній день вважаються важковирішуваними. Однак на практиці при автономній роботі нейронні мережі не можуть забезпечити готові рішення. Їх необхідно інтегрувати в складні системи [24]. Приклад структури нейронної мережі з одним прихованим шаром зображено на рис. 6 [25].

Використання нейронних мереж забезпечує наступні корисні властивості систем:

1. *Нелінійність.* Штучні нейрони можуть бути лінійними і нелінійними. Нелінійність нейронної мережі специфічна через те, що вона розподілена по всій мережі. Вона є надзвичайно важливою властивістю, особливо якщо сам фізичний механізм, який відповідає за формування вхідного сигналу, теж є нелінійним.

2. *Відображення вхідної інформації у вихідну.* Однією з популярних парадигм навчання є навчання з вчителем. Це мається на увазі зміна синоптичних ваг на основі набору маркованих навчальних прикладів. Кожен приклад складається з вхідного сигналу і відповідному йому бажаному відгуку. Випадковим чином вибирається приклад, а нейронна мережа модифікує синоптичні ваги для мінімізації розбіжностей бажаного вихідного сигналу і формуємого мережею згідно заданого статистичного критерію.

3. *Адаптивність*. Нейронні мережі мають здатність адаптувати свої синоптичні ваги до змін навколишнього середовища.

4. *Відмовостійкість*. При виникненні відмов у задіяній електронній апаратурі продуктивність нейронні мережі падає незначно.

5. *Масштабованість*. Паралельна структура нейронних мереж потенційно прискорює рішення деяких завдань і забезпечує масштабованість нейронних мереж в рамках технології VLSI (Very Large Scale Integrated). Одним з переваг цієї технології є можливість представити досить складну поведінку за допомогою ієрархічної структури.

6. *Однорідність аналізу і проектування*. Нейронні мережі є універсальним механізмом обробки інформації. Це означає, що одне й те саме проектне рішення нейронної мережі може використовуватися в багатьох предметних областях [24].

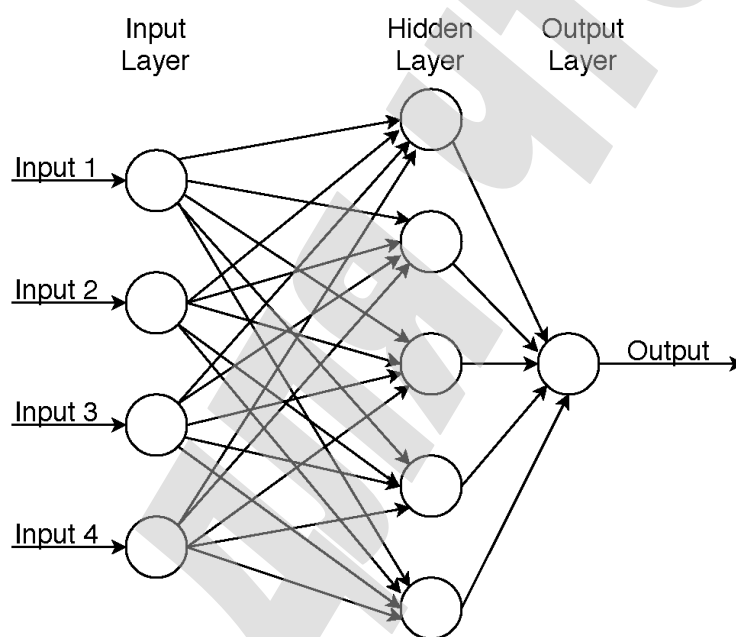


Рис. 6. Приклад взаємозв'язку елементів штучної нейронної мережі

Нейрона мережа будується за наступним принципом. Вхідний сигнал подається на вхідні перцептрони (нейрони штучної нейронної мережі), результат їх роботи передається на внутрішні шари мережі, де відбувається основна частина аналізу інформації. Кількість внутрішніх шарів може змінюватись, в залежності від складності задачі. Результати роботи внутрішніх шарів передаються на зовнішній вихідний шар як результат роботи мережі. Приклад взаємозв'язку між елементами нейронної мережі наведено на рис. 4.

Виходячи з принципів навчання нейронної мережі, наведених в джерелах [18–20], можна визначити такі переваги нейронної мережі:

- можливість адаптуватись до вхідної інформації;
- здатність до самоперевірки результатів та корегування існуючих залежностей автоматично;
- здатність навчатись на даних з різними значеннями якості вхідної інформації;
- можливість використання вже існуючої мережі для вирішення задач різного характеру;

– наявність великої кількості готових мереж різних типів та можливість створення власного типу мережі при виникненні необхідності.

Недоліками нейронних мереж є:

- необхідність великих об'ємів даних для початкового навчання мережі;
- неможливість швидкої перебудови мережі через складність структури;
- ресурсоемність;
- неможливість швидкого адаптування мережі для вирішення інших задач.

Під час проведення дослідження зроблено аналіз існуючих методів реалізації дистанційного керування та виявлено потенційні місця інтеграції з нейронною мережею. Такими місцями виявились:

- фільтр вхідного сигналу приймача;
- оброблювач відфільтрованого вхідного сигналу приймача;
- елемент формування вихідного сигналу передавача.

Аналіз можливостей нейронних мереж дозволив встановити методи, що потенційно мають змогу підвищити такі показники системи ДК, як:

- точність;
- швидкість обробки сигналів;
- надійність;
- стабільність.

Було проведено аналіз систем ДК без нейронних мереж та з ними з боку теорії автоматичного управління. Моделі систем, за допомогою яких проводився аналіз, зображено на рис. 2, 3 відповідно.

7. SWOT-аналіз результатів дослідження

Strengths. Використання нейронних мереж як частини моделі дистанційного керування дозволяє суттєво підвищити якість фільтрації як вихідного, так і вхідного сигналів, а також дозволяє одночасно розширити та спростити методи формування сигналів на команд.

Weaknesses. На основі отриманих значень необхідно зазначити те, що використання нейронної мережі у складі моделі дистанційного керування потребує значної кількості ресурсів системи, а саме – оперативної пам'яті. Від цього показника суттєво залежить ступінь вкладеності нейронної мережі, що може використовуватись та час обробки інформації нейронною мережею. Це означає, що недостатній об'єм оперативної пам'яті можна нівелювати складністю нейронної структури та кількістю перцептронів

Opportunities. Використання нейронних мереж є виправданим на стороні головного елемента мережі, або на стороні приймача у випадку наявності необхідних ресурсів для обробки. Використання нейронних мереж в ДК дозволяє вирішувати складні задачі в рази швидше.

Threats. Використання нейронних мереж вимагає наявності вільних обчислювальних ресурсів, що призведе до здорожчання вартості системи ДК в цілому.

8. Висновки

1. Проведено аналіз сучасних методів реалізації каналу для дистанційного керування. В рамках цієї задачі було проаналізовано існуючі інтерфейси для

організації надійних з'єднань між електронними апаратами та існуючі підходи до організації зв'язку між різноманітними пристроями. Результатом цієї задачі є виявлення переваг та недоліків існуючих методів реалізації ДК. Недоліками реалізації ДК з використанням дротових інтерфейсів є низьке значення гнучкості системи та вразливість каналу передачі до механічних пошкоджень. В свою чергу, перевагами є ізоляція каналу передачі від зовнішнього середовища та висока швидкість передачі інформації.

2. Проведено аналіз можливостей нейронних мереж. В результаті чого, було виділено особливості нейронних мереж, що покращать якості системи дистанційного керування, а саме:

- здатність до самонавчання;
- можливість використовувати у якості вхідних даних інформацію зі значним значенням шуму.

3. Створено модель дистанційного керування, до складу якої входить нейронна мережа. Отримана модель була проаналізована з боку теорії автоматичного керування. За результатами проведеного аналізу видно, що передаточна функція загальної системи значно спростилася. Це говорить про підвищення стійкості системи загалом за рахунок зменшення дестабілізуючих впливів.

Література

1. Ящук А. Системи безпроводних технологій передачі даних // Міністерство освіти та науки України. 2013. URL: http://lutskntu.com.ua/sites/default/files/4_yashchuk_sistemi_bezprov_tehnologiy_0.pdf
2. Галкін П. В., Голюков М. О. Безконтактний метод контролю об'єктів. 2018 // 22 міжнародний молодіжний форум «Радиоелектроника и молодеж в 21 веке». Харків, 2018. С. 56–57.
3. Tengfei Z., Qinxiao L., Fumin M. Remote control system of smart appliances based on wireless sensor network // 25th Chinese Control and Decision Conference (CCDC). 2013. P. 3704–3709. doi: <http://doi.org/10.1109/ccdc.2013.6561592>
4. Improving wireless devices identification using gray relationship classifier to enhance wireless network security / Yun L. et. al. // IEEE Conference on Computer Communications Workshops (INFOCOM WKSHPs). 2018. P. 421–425. doi: <http://doi.org/10.1109/infcomw.2018.8406960>
5. Метод виявлення вторгнень в мобільні радіомережі на основі нейронних мереж / Сальник С. В., Сальник В. В., Симоненко О. А., Сова О. Я. // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. 2015. № 4. P. 82–90.
6. Shubham S., Achyut H. WiFi-aware as a connectivity solution for IoT pairing IoT with WiFi aware technology: Enabling new proximity-based services // International Conference on Internet of Things and Applications (IOTA). 2016. Issue 2. P. 137–142. doi: <http://doi.org/10.1109/iota.2016.7562710>
7. Investigation on the performance of 10 Gb/s on uplink space optical communication system based on MSK scheme / Mi L. et. al. // 4th International Conference on Optical Communications and Networks (ICOON). 2015. P. 1–3. doi: <http://doi.org/10.1109/icocn.2015.7203690>

8. Liu Y. Wireless Information and Power Transfer for Multirelay-Assisted Cooperative Communication // IEEE Communications Letters. 2016. Vol. 20, Issue 4. P. 784–787. doi: <http://doi.org/10.1109/lcomm.2016.2535114>
9. Wireless Powered Communication Networks Assisted by Backscatter Communication / Lyu B. et. al. // IEEE Access. 2017. Vol. 5. P. 7254–7262. doi: <http://doi.org/10.1109/access.2017.2677521>
10. Обработка сигналов в радиоэлектронных системах дистанционного мониторинга атмосферы / Карташов В. М., Олейников В. Н., Тихонов В. А. и др. Харьков: СМИТ, 2014. 213 с.
11. Юревич Е. Теория автоматического управления. СПб.: БХВ-Петербург, 2016. 4-е изд., перераб. и доп. 560 с.
12. Remotized Control of Power Electronic Devices Exploiting a Plastic Optical Fiber Photonic Bus / Anantaram V. et. al. // 20th International Conference on Transparent Optical Networks (ICTON). 2018. P. 1–4. doi: <http://doi.org/10.1109/icton.2018.8473992>
13. Switch automation of smart devices between test beds using distributed control system / Pavan K. Y. V. et. al. // International Conference on Control, Instrumentation, Communication and Computational Technologies (ICCICCT). 2014. P. 1330–1333. doi: <http://doi.org/10.1109/iccicct.2014.6993168>
14. Sabri G., Cihan K. Remote controllable electronic signboard // International Conference on Computer Science and Engineering (UBMK). 2017. P. 78–83. doi: <http://doi.org/10.1109/ubmk.2017.8093561>
15. The design and realization of a comprehensive SPI interface controller / Jianlong Z. et. al. // Second International Conference on Mechanic Automation and Control Engineering. 2011. P. 4529–4532. doi: <http://doi.org/10.1109/mace.2011.5988014>
16. A design of ultra-low power I2C synchronous slave controller with interface voltage level independency in 180 nm CMOS technology / Ali I. et. al. // International SoC Design Conference (ISOCC). 2017. P. 262–263. doi: <http://doi.org/10.1109/isocc.2017.8368885>
17. Chandwani N., Jain A., Vyavahare P. D. Throughput comparison for Cognitive Radio network under various conditions of primary user and channel noise signals // Radio and Antenna Days of the Indian Ocean (RADIO). 2015. P. 1–2. doi: <http://doi.org/10.1109/radio.2015.7323379>
18. Pinku R., Anand S., Ravi K. Experimental investigation on probe feed equilateral triangular dielectric resonator antenna for 5.8 GHz ISM band (IEEE 802.11) // Progress In Electromagnetics Research Symposium – Spring (PIERS). 2018. P. 2195–2199. doi: <http://doi.org/10.1109/piers.2017.8262115>
19. Suh D., Ko H., Pack S. Efficiency Analysis of WiFi Offloading Techniques. IEEE Transactions on Vehicular Technology // IEEE Transactions on Vehicular Technology. 2015. Vol. 65, Issue 5. P. 3913–3917. doi: <http://doi.org/10.1109/tvt.2015.2437325>
20. Khan W. M., Zualkernan I. A. SensePods: A ZigBee-Based Tangible Smart Home Interface // IEEE Transactions on Consumer Electronics. 2018. Vol. 64, Issue 2. P. 145–152. doi: <http://doi.org/10.1109/tce.2018.2844729>
21. Galkin P. V. Analysis of energy consumption nodes wireless sensor networks // ScienceRise. 2014. Issue 2 (2). P. 55–61. doi: <http://doi.org/10.15587/2313-8416.2014.27246>

22. Galkin P. V. An algorithm for operating and optimizing information flows in wireless sensor networks // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2014. Vol. 6, Issue 3 (72). P. 53–63. doi: <http://doi.org/10.15587/1729-4061.2014.30419>
23. Haykin S. Neural Networks: A Comprehensive Foundation. Prentice Hall, 1998. 842 p.
24. Yonghua Y., Lan W., Erol G. Multi-layer neural networks for quality of service oriented server-state classification in cloud servers // International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN). 2017. Issue 1. P. 1623–1627. doi: <http://doi.org/10.1109/ijcnn.2017.7966045>
25. Yasuaki K., Hitoshi I. A model of Hopfield-type octonion neural networks and existing conditions of energy functions // International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN). 2016. Issue 2. P. 4426–4430. doi: <http://doi.org/10.1109/ijcnn.2016.7727778>