

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Харківський національний університет

імені В.Н. Каразіна

Факультет радіофізики, біомедичної електроніки і комп'ютерних систем

Кафедра прикладної електродинаміки

Кваліфікаційна робота магістра

на тему: ТРИВИМІРНЕ ПОЗИЦІОНУВАННЯ НА ІМПУЛЬСНИХ
ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ХВИЛЯХ ЗА ДОПОМОГОЮ ШТУЧНИХ НЕЙРОННИХ
МЕРЕЖ

Виконав: студент VI курсу, групи РР-67

Спеціальності

105 – прикладна фізика та
наноматеріали

Юань Вейцян

Керівник: доктор. фіз.-мат. наук,
доцент Думін О.М.

Рецензент: канд. фіз. - мат. наук,
ст. наук. співроб. М. М. Легенький

Харків – 2022 рік

РЕФЕРАТ

Дипломний проект містить 10 рис., 26 стр., 24 бібліографічних посилань.

Проаналізовано стабільність роботи надширокосмугової системи позиціонування з використанням класифікації форми імпульсу за наявності шумів у прийнятому сигналі. Модель двовимірної системи, як перший крок до тривимірної системи, містить дві антени типу «Метелик», що збуджуються короткими гаусовими імпульсами. Електромагнітна задача вирішується методом FDTD. Деформація часової форми прийнятих ультракоротких імпульсів електромагнітного поля під різними кутами та різна тривалість випромінюваних імпульсів кожної антени розпізнається штучною нейронною мережею або кореляційним методом. Завадостійкість цих підходів порівнюється для різних рівнів шуму шляхом числового моделювання набору реалізацій шуму.

УЛЬТРАКОРОТКА ІМПУЛЬСНА ЕЛЕКТРОМАГНІТНА ХВИЛЯ,
АНТЕНА-МЕТЕЛИК, ШТУЧНА НЕЙРОННА МЕРЕЖА,
КОРЕЛЯЦІЙНИЙ МЕТОД, СИСТЕМА ПОЗИЦІОНУВАННЯ.

ABSTRACT

The diploma project contains 10 fig., 26 p., 24 bibliographic references.

The stability of work of the ultrawideband positioning system with the application of the nonstationary signal recognition is analyzed at presence of additive noise in received signal. The model of the two-dimensional system as a first step to three-dimensional system contains two bow-tie antennas excited by short Gaussian pulses. The electromagnetic problem is solved by the FDTD method. The deformation of time form of received ultrashort pulses of electromagnetic field at different angles and different duration of radiated pulses of each antenna are recognized by artificial neural network or correlation method. The noise immunity of these approaches is compared for different levels of noise by numerical simulations of a set of noise realizations.

ULTRASHORT IMPULSE ELECTROMAGNETIC WAVE, BOW-TIE ANTENNA, ARTIFICIAL NEURAL NETWORK, CORRELATION METHOD, POSITIONING SYSTEM

ЗМІСТ

Зміст	4
Вступ	5
1 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ	7
2 ЧИСЛОВИЙ РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРОДИНАМІЧНОЇ ЗАДАЧІ	9
3 ЧИСЛОВЕ МОДЕЛЮВАННЯ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ	12
ВИСНОВОК	21
ЛІТЕРАТУРА	

ВСТУП

Існуюча глобальна система позиціонування (GPS) може задовольнити більшість своїх користувачів, але в певних важких умовах або в закритих чи спеціально екранованих приміщеннях її використання не є успішним. Точне позиціонування необхідне в сільському господарстві [1], для безпеки дорожнього руху [2] і для різних видів спорту [3].

Деформація діаграми напрямленості антени, якщо вона здатна бути надширокосмуговою, на низькій частоті викликає зміну часової форми випромінюваного електромагнітного поля для різних кутів прийому [4], що було досліджено Хармутом [5]. Чим більш широка смуга антени, тим помітніша зміна випромінюваного імпульсу в дальній зоні [6]. Це означає, що використання надширокосмугової антени може забезпечити найкращий результат для визначення кута прибуття (AoA) [7]. У даній роботі досліджується нова система позиціонування типу [8] з використанням пари антен-метеликів [9]. Вона не потребує синхронізації за часом [10]. Система більш проста, ніж запропонована в [11], та складається з трьох антен. У роботі розглядається дальня зона імпульсної антени [12] для того, щоб знехтувати відповідними перетвореннями форми часу [13], які використовуються в системі позиціонування [14]. Вона має хорошу точність і перешкодостійкість [15], а також зберігає працездатність за наявності стін [16]. Існує два методи визначення кута в нашій представленій системі, а саме техніка штучної нейронної мережі (ШНМ) [17] і метод кореляції [18]. Реалізація першої ідеї вимагає спеціального навчання ШНМ на відомих входних даних для отримання відомої правильної відповіді [19] через розрахунок вагових коефіцієнтів, які зумовлюють затухання сигналу, який проходить між структурними шарами мережі. Її підготовка до роботи полягає у знаходженні

свого особливого алгоритму опрацювання інформації як сигналу з довільною часовою залежністю, яка передається як певні значення амплітуди поля в точках прийому [20]. Чим складніше завдання для ШНМ, тим складніша структура ШНМ і розподіл вагових коефіцієнтів [21]. Для проміжних вхідних даних ШНМ формує проміжну відповідь шляхом багатовимірної інтерполяції, але не екстраполяції [22]. Ці два підходи [23] порівнюються в даній роботі щодо аналізу завадостійкості системи позиціонування.

1 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Дві антени-метелик випромінюють у випадкові моменти часу в усіх напрямках електромагнітні імпульси, утворені шляхом її збудження імпульсами гауссової форми тривалістю 0,2 і 0,15 нс відповідно. Область визначення позиціонування зображена на рис. 1.

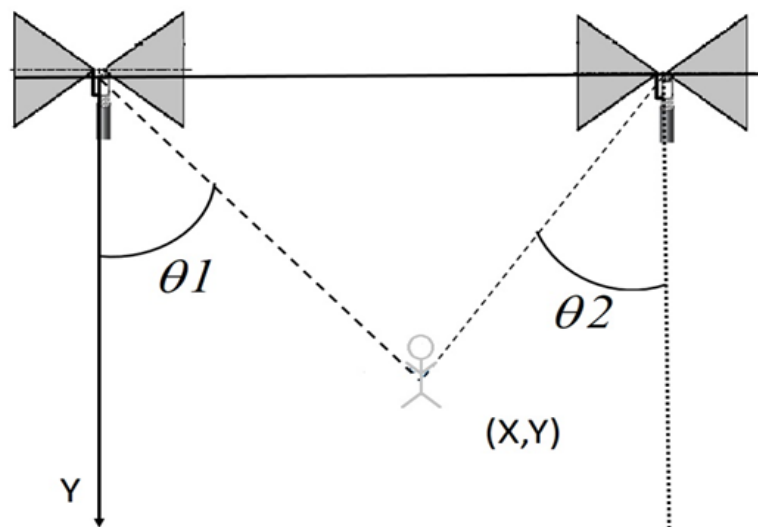


Рис. 1 Постановка задачі.

Компонента X-електричного поля отримується в точці (X,Y) для визначення координати. Електромагнітна задача підлягає розрахунку числовим підходом з використанням різницевої схеми, в яку включаються як координати, так і час (FDTD) [24]. Постійна відстань між випромінюючими антенами забезпечує визначення координати (X,Y) шляхом класифікації прийнятих імпульсів за кутами приходу θ_1 і θ_2 . Розпізнавання кутів здійснюється ШНМ і кореляційним методами. Структура ШНМ подібна до описаної в [8]. Кореляційний підхід базується на обчисленні взаємної кореляційної функції:

$$B(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)g(t-\tau)dt$$

де – $f(t)$ часова залежність прийнятого сигналу, $g(t-\tau)$ – часова форма вибірок для кожного кута приходу від кожного сигналу антени зі зсувом його за часом на значення τ . Для дискретного представлення сигналів наведена формула набуває вигляду

$$B_k = \frac{\sum_{(n)} f_n g_{n-k}}{\sqrt{\sum_{(n)} (f_n)^2 \sum_{(n)} (g_n)^2}}$$

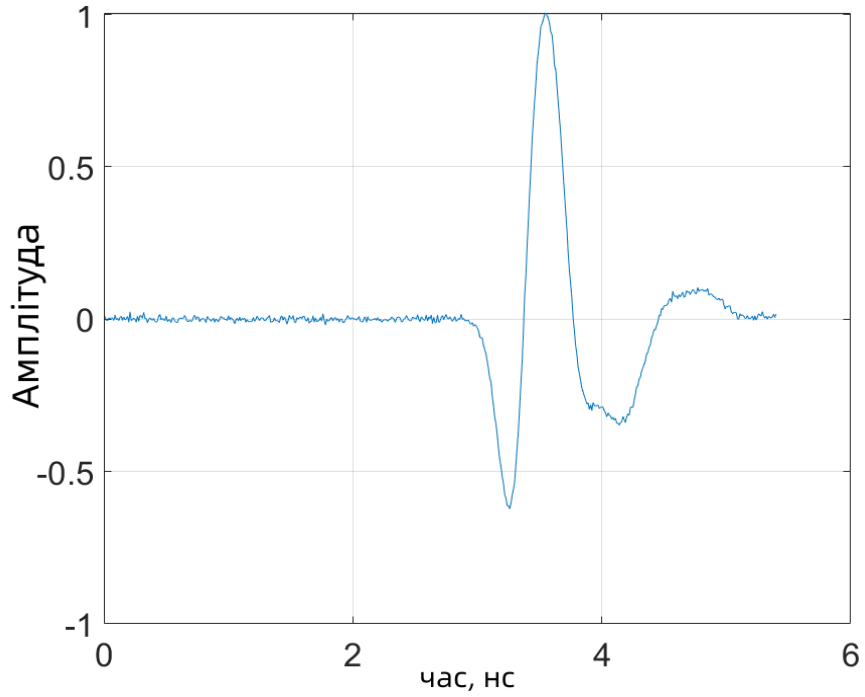
де n позначає кількість моментів часу, а k вказує на крок по часу.

2. ЧИСЛОВИЙ РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРОДИНАМІЧНОЇ ЗАДАЧІ

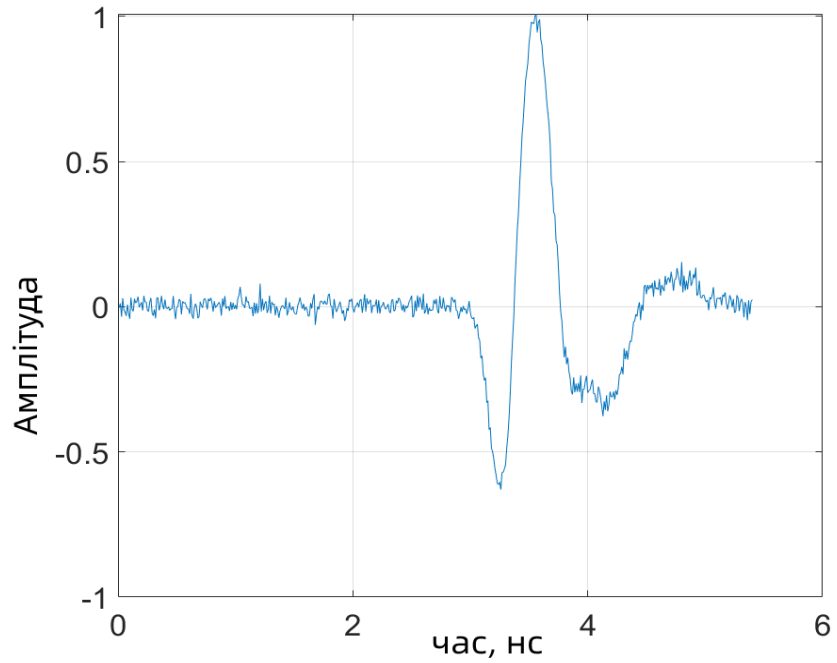
Була навчена повнозв'язна мережа шестишарової структури 540–1000–500–200–SoftMax–182 з використанням збудження нейрона по лінійному закону (ReLU) [8] з метою класифікації вхідного сигналу, незалежно, від якої антени він прийшов, з можливістю їхньої автоматичної диференціації, використовуючи заданий точністю позиціонування крок по кутам, який був вибраний як 1 градус. Для навчання використали 182 зразки прийнятих сигналів, що йдуть від обох випромінювачів, що дозволяє для кожної забезпечити робочий сектор 90 градусів, коли крок по часу складає 0,01 нс з часовим вікном 5,4 нс. Таким чином довжина кожної навчальної часової залежності становить 540 точок. Залежність часової форми сигналу від кута представлена в [8]. Залежність сигналу від ШНМ містить 182 виходи, де (0° – 90°) для θ_1 (1-91 вихід) і такий же діапазон кутів для θ_2 (92-182 вихід). На відміну від даного підходу, класифікація прийнятих сигналів також здійснюється шляхом розрахунку взаємної кореляційної функції з вибірками зразків часових залежностей, що відповідають конкретним кутам спостереження для обох антен, з врахуванням неточностей часового позиціонування через випадковість часу прийому, а саме – шляхом послідовного розрахунку для однієї і тієї ж функції, здвигнутої у часі. Найбільша величина функції кореляції вказує на правильний кут і випромінюючу антену.

Класифікація отриманих сигналів перевіряється тими самими зразками отриманого сигналу, спотвореного додаванням випадкового сигналу, що у певному наближенні для дискретного випадку може розглядатися як білий шум. Варіація параметрів цього сигналу дозволяє змінювати відношення

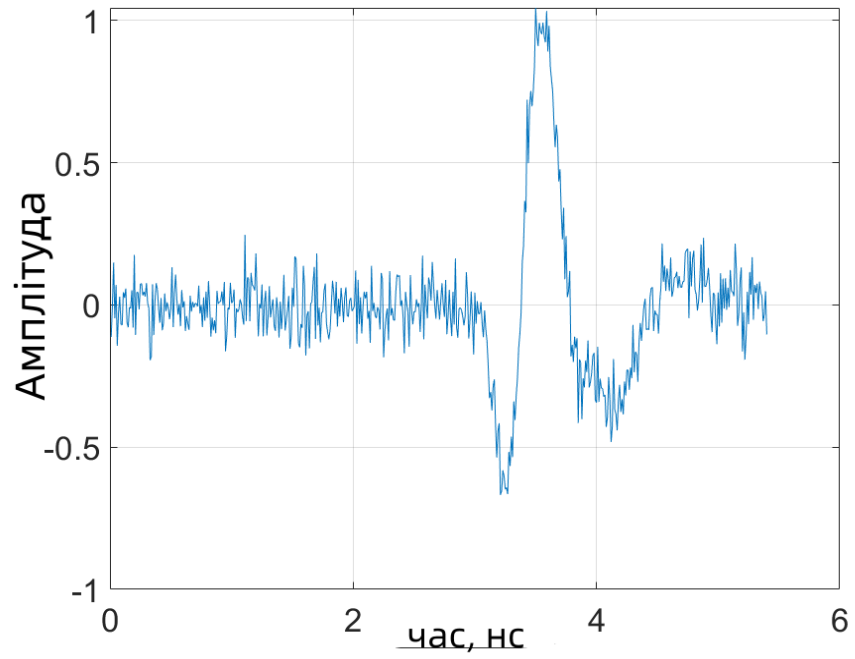
енергії корисного сигналу, до енергії шумової складової. (SNR). Приклади прийнятого сигналу для різних SNR представлені на Рис. 2.



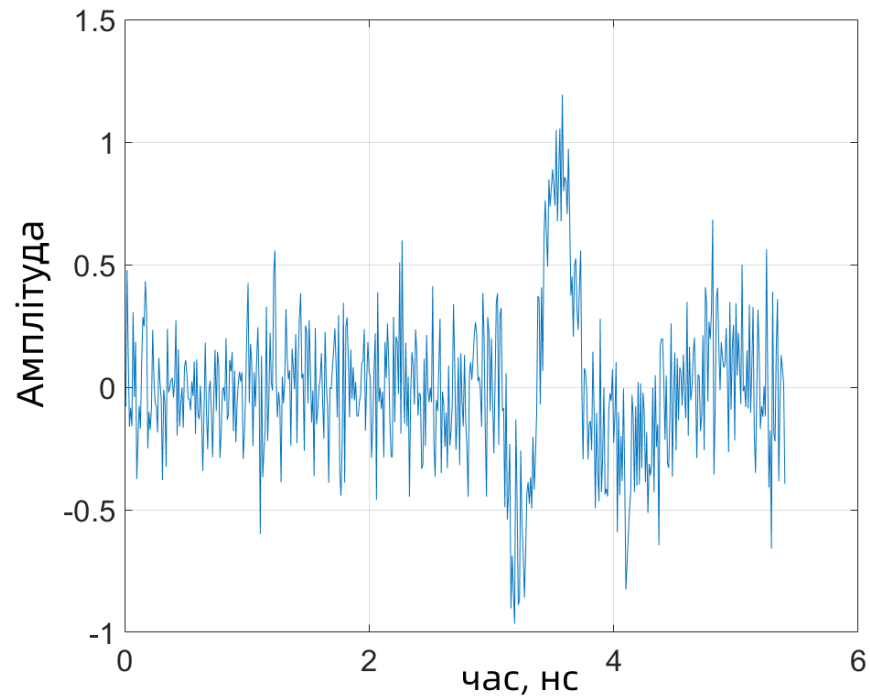
а)



б)



в)



г)

Рис. 2. Зразки вхідних часових залежностей, отриманих шляхом числового розрахунку із додаванням шуму для наступних ССШ (SNR): а) 30 дБ, б) 20 дБ, в) 10 дБ, г) 0 дБ.

3. ЧИСЛОВЕ МОДЕЛЮВАННЯ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ

Відомо, що шум має випадкові у часі значення, тому аналіз сигналу ШНМ і кореляційними методами дає кожен раз непередбачуваний результат класифікації. Щоб випадковість не вплинула негативно на висновки щодо роботи ШНМ, в системі неодноразово породжується шум, а саме було вибрано 1000 повторів. Це дає не тільки спиратися на середній результат взагалі, але і розглянути розподіл, тобто, скільки разів які кути були ШНМ розпізнані, що найкраще видно на гістограмах, які відображають статистику цього випадкового процесу. Перші розподіли розпізнаних кутів представлені на Рис. 3 для сигналу від першої антени, випромінюваного під кутом 40 градусів з рівнем шуму $SNR=30$ дБ. Можна побачити, що ШНМ не допускає жодної помилки в класифікації (внизу), тоді як кореляційний метод розпізнає абсолютно правильно в 24% випадків.

Настільки ж успішний результат розпізнавання мережею побудовано на Рис. 4 для часової залежності поля, випроміненого другим випромінювачем під аналогічним кутом 40 градусів. Неважко зрозуміти, що за цей кут відповідальний вихід мережі під номером 131. Має сенс показувати вихідні сигнали на всіх виходах усіх нейронів останнього шару, оскільки таким чином ми заодно бачимо, чи правильно класифікується не тільки кут, а і сама антена. Це дуже важливо, бо використовуються однакові антени, які збуджуються струмами однієї форми, але різних тривалостей. Метод кореляції дозволив абсолютно правильно класифікувати 31 % сигналів. Схожий результат розпізнавання коротшого імпульсу було виконано раніше [8].

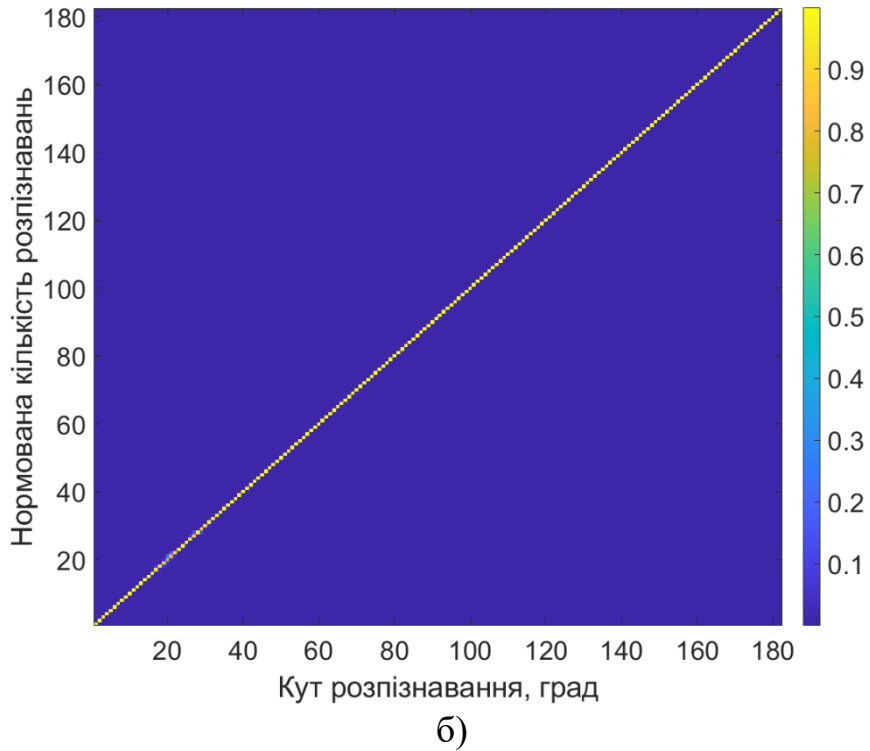
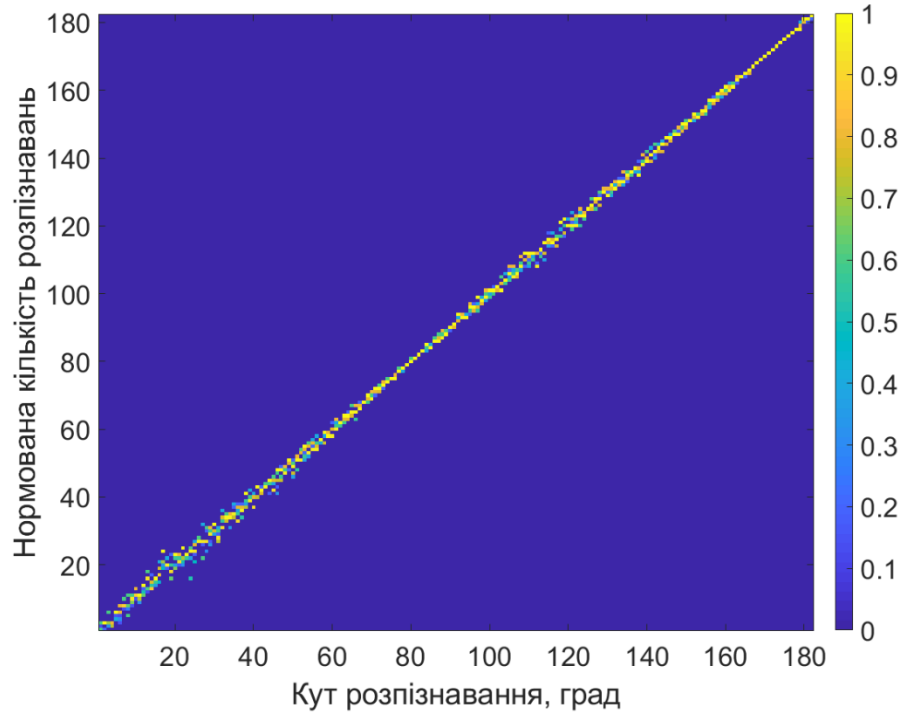
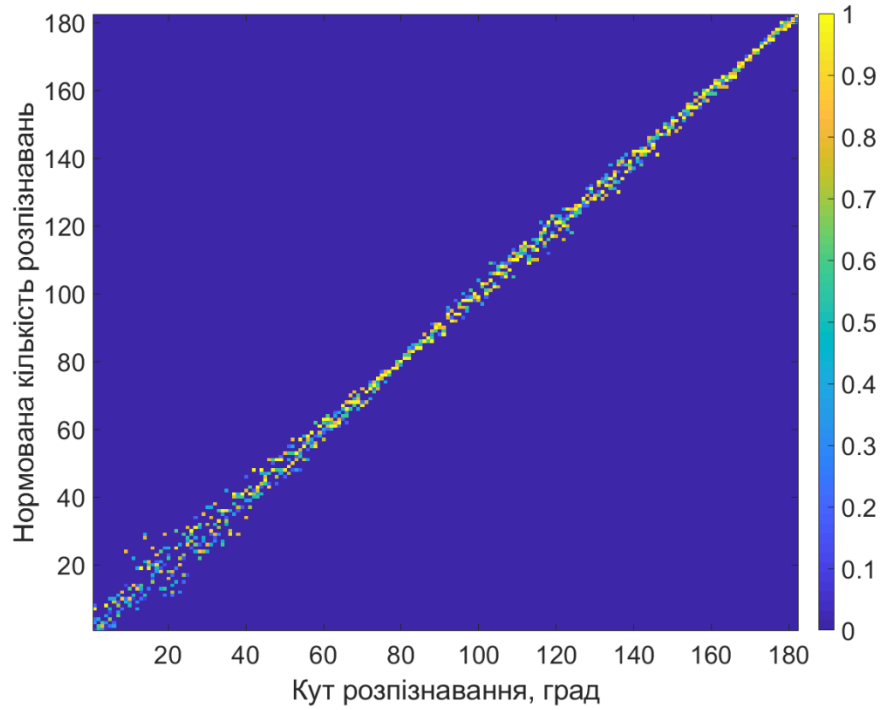
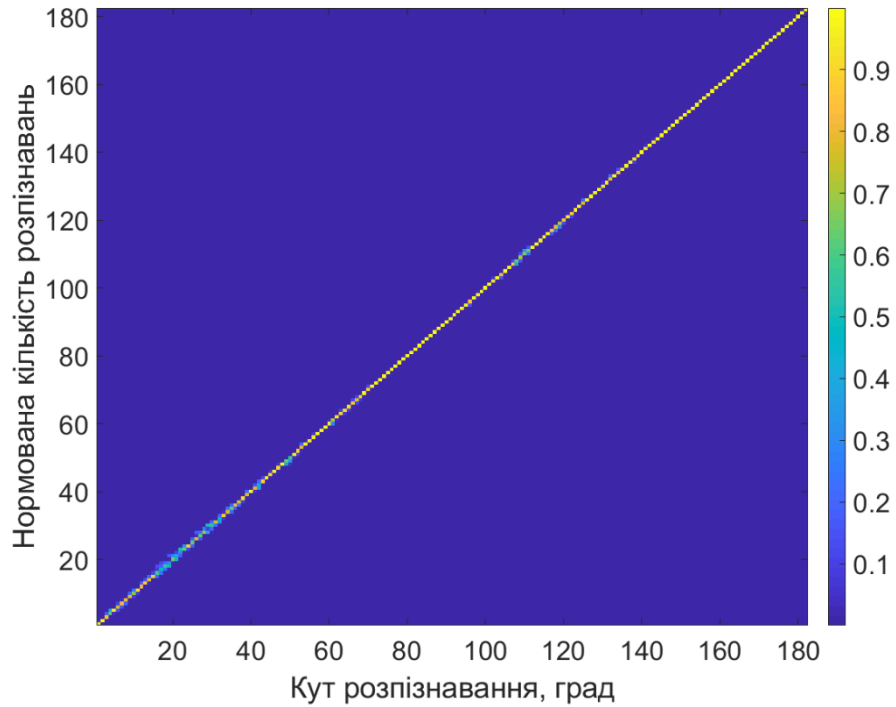


Рис. 3. Кількість розпізнавань різних кутів в залежності від зашумленості, отриманих методами взаємної кореляції (а) та ШНМ (б) для отриманої часової залежності **для всіх кутів від обох випромінювачів** з $\text{SNR} = 30$ дБ.

Зростання зашумленості вхідного сигналу до $SNR = 20$ дБ призводить до зниження якості розпізнавання, що показано на Рис. 5. Коефіцієнт вдалого розпізнавання знижується з 24 % до майже 13 % і зі 100 % до 87 % для кореляції та підходів ШНМ відповідно. Що стосується другої антени, результати кращі з падінням від 31% до 17% і від 100% до 91% для тих самих випадків. Це показано на Рис. 6. Те саме моделювання для більш зашумлених сигналів із $SNR = 10$ дБ, представлене на Рис. 7 і Рис. 8. Без сумнівів, ми отримали втрату точності класифікації. З'явилися неточності у розпізнаванні самих випромінювачів для кореляційного підходу. Крім того, несподівано для класифікації другої антени ці помилки трапляються частіше. Така ж тенденція спостерігається на Рис. 9 і Рис. 10 для $SNR = 0$ дБ.

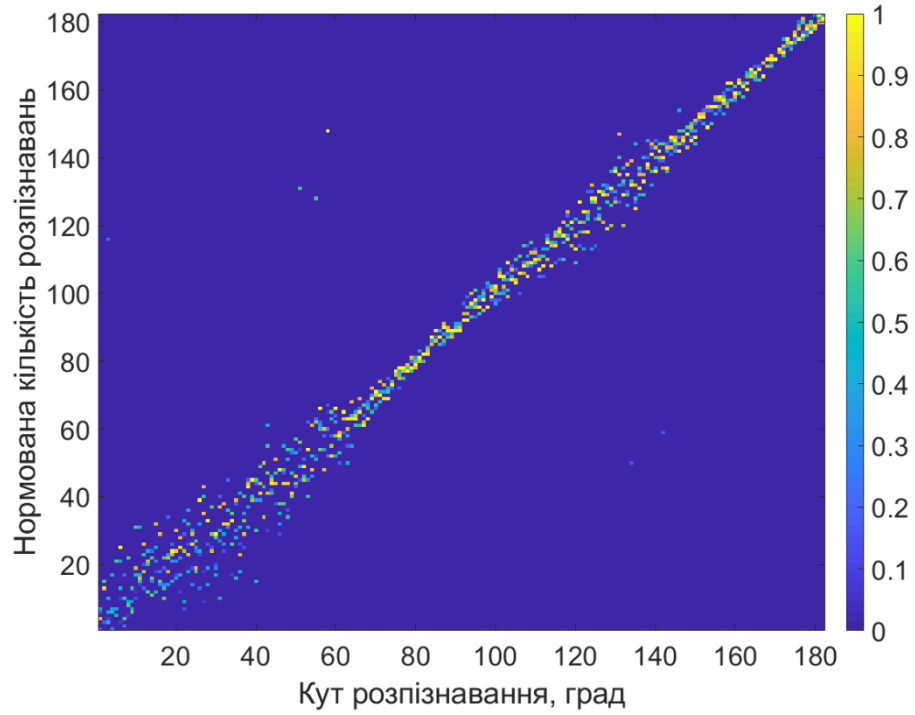


а)

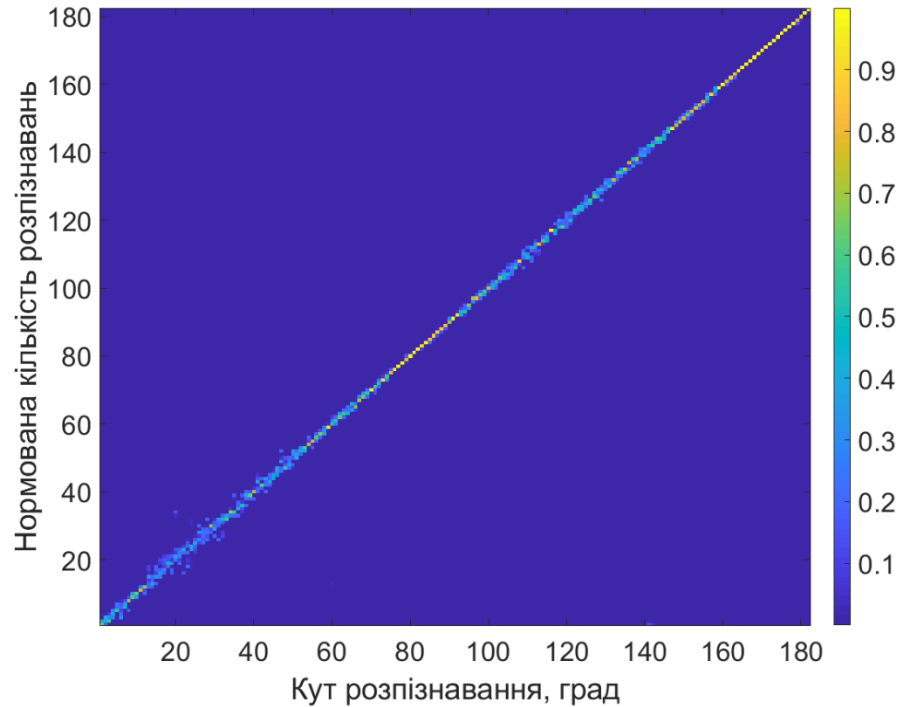


б)

Рис. 5. Кількість розпізнавань для кожного кута при повторних генераціях шуму методами взаємної кореляції (а) та ШНМ (б) для прийнятої хвилі **для всіх кутів від обох випромінювачів** з $\text{SNR} = 20$ дБ.

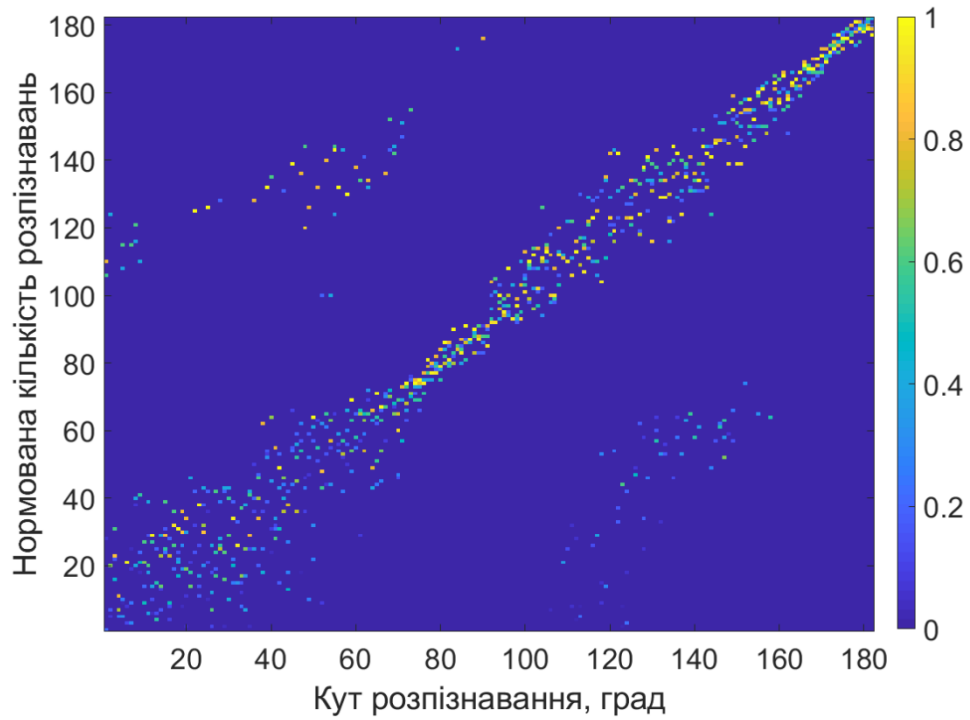


а)

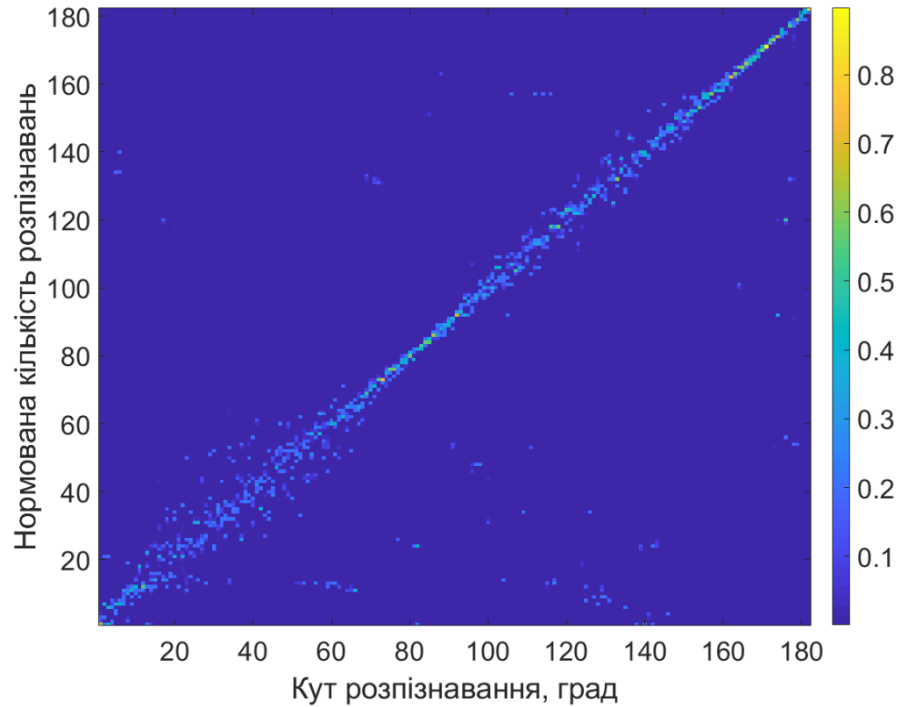


б)

Рис. 7. Кількість розпізнавань для кожного кута при повторних генераціях шуму методами взаємної кореляції (а) та ШНМ (б) для прийнятої хвилі **для всіх кутів від обох випромінювачів** з $\text{SNR} = 10$ дБ.



а)



б)

Рис. 9. Кількість розпізнавань для кожного кута при повторних генераціях шуму методами взаємної кореляції (а) та ШНМ (б) для прийнятої хвилі **для всіх кутів від обох випромінювачів** з $\text{SNR} = 0$ дБ.

Аналіз класифікації сигналів із $\text{SNR} = 0$ дБ, проілюстрований на Рис. 9 і Рис. 10. Бачимо, що обидва методи не впорались із розпізнаванням сильно зашумлених сигналів. Як видно з останніх рисунків, підхід ШНМ дає неправильне розпізнавання номера антени, так як метод взаємної кореляції для $\text{SNR} = 10$ дБ. На Рис. 10 показано, що для випадку другої антени ШНН дає більше невірних розпізнавань номеру антени, ніж метод взаємної кореляції, але кількість правильних класифікацій у 4 рази більша, ніж для першої антени.

ВИСНОВКИ

Система двовимірного позиціонування використана для випадку двох випромінювачів і не потребує часової синхронізації. Навіть маленькі зміни часової залежності хвилі дозволяють дізнатися про кут, під яким вона випромінена. Досягнута точність в один градус не є остаточною, і, вочевидь, може бути покращена. Аналіз методів ШНМ і взаємної кореляції для класифікації кута приходу хвилі свідчить, що ШНМ демонструють кращу точність визначення кутів, ніж кореляційний підхід. ШНМ можна використовувати для значення SNR до 10 дБ, тоді як метод взаємної кореляції забезпечує точність не менш ніж для 20 дБ. Але навіть для рівня SNR 0 дБ метод ШНМ дав якісне розпізнавання кута шляхом накопичення і усереднення великого числа повторів реалізації шуму. Крім того, штучна мережа у числовому моделюванні продемонструвала втричі швидший час обчислення, ніж час обчислення всіх кореляційних функцій для визначення кута.

Можна відзначити, що використання більш коротких електромагнітних імпульсів покращує результати розпізнавання кутового положення приймача у випадку зашумленості шляхом застосування обох підходів. Нема сумнівів, що використання більшої кількості антен в режимі випромінювання покращить якість і надійність позиціонування і забезпечить тривимірне визначення положення об'єкта, застосовуючи тільки одну єдину мережу, яка буде для всіх них надійно розпізнавати кут і номер випромінювача із заданими координатами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Wu Gangshan, Chen Chiyuan, Yang Ning, Hui Haifang, Xu Peifeng, “Design of differential GPS system based on BP neural network error correction for precision agriculture”, Proceedings of 2019 Chinese Intelligent Automation Conference (CIAC–2019), LNEE 586, pp. 426–438. Jiangsu, China, 20-22 September, 2019.
2. Xuerong Cui, Jingzhen Li, Juan Li, Jianhang Liu, Tingpei Huang & Haihua Chen, “Research on autocorrelation and cross-correlation analyses in vehicular nodes positioning,” International Journal of Distributed Sensor Networks, vol. 15, issue 4, 2019.
3. A. Martinelli, M. Dolfi, S. Morosi, L. Mucchi, M. Paoli & A. Agili, “Ultra-wide Band Positioning in Sport: How the Relative Height Between the Transmitting and the Receiving Antenna Affects the System Performance,” International Journal of Wireless Information Networks, 2019.
4. G.P. Pochanin, I.E. Pochanina, P.V. Kholod, S.O. Masalov, “The Experiments on Radiation of Short Pulse Signals by the Large Current Radiators of Dr. H. F. Harmuth,” Radio Physics and Radio Astronomy, vol. 7, issue 4, pp. 379–384, 2002.
5. H. F. Harmuth, “Nonsinusoidal Waves for Radar and Radio Communication,” New York: Academic Press, 1981.
6. G. P. Pochanin, O. A. Orlenko, V. P. Ruban, V. G. Korzh, M. V. Andreev, O. O. Drobakhin, “Antenna pattern measurements: UWB impulse and multifrequency signals comparison”, Proc. 9th International Conference on Antenna Theory and Techniques (ICATT–2017), pp. 36-39, Ukraine, May 2017.

7. R. F. Brena, J. P. García-Vázquez, C. E. Galván-Tejada, D. Muñoz-Rodríguez, C. Vargas-Rosales, J. Fangmeyer, “Evolution of indoor positioning technologies: a survey”, *Journal of Sensors*, V. 6, article 359, 2017.
8. O. Dumin, V. Plakhtii, I. Persanov, C. Shuaishuai, “Positioning System Using Classification of Ultra Short Electromagnetic Pulse Forms by ANN,” 15th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET – 2020), Ukraine, February 2020.
9. I. Persanov, O. Dumin, V. Plakhtii and D. Shyrokorad, “Subsurface object recognition in a soil using UWB irradiation by butterfly antenna,” 2019 XXIVth International Seminar/Workshop on Direct and Inverse Problems of Electromagnetic and Acoustic Wave Theory (DIPED), Ukraine, 2019, pp. 160-163.
10. T. M. Schmidl & D. C. Cox, “Robust frequency and timing synchronization for OFDM,” *IEEE Transactions on Communications*, vol. 45, issue 12, 1997.
11. A. Alarifi, A. Al-Salman, M. Alsaleh, A. Alnafessah, S. Al-Hadhrami, M. Al-Ammar, & H. Al-Khalifa, “Ultra Wideband Indoor Positioning Technologies: Analysis and Recent Advances,” *Sensors*, vol.16, issue 5, 2016.
12. Y. S. Volvach, O. M. Dumin, O. O. Dumina, “The energy of the field radiated by Hertz dipole,” *Proc. VII International Conf. on Antenna Theory and Techniques (ICATT–2011)*, Ukraine, 2011, pp. 86–88.
13. O. M. Dumin, V. A. Plakhtii, I. S. Volvach, S. V. Pshenichnaya, O. O. Dumina, “Near field of Hertzian dipole excited by impulse current,” *Proc. 10th International Conference on Antenna Theory and Techniques (ICATT-2015)*, Kharkiv, Ukraine, April 2015, pp. 90-92.
14. H. G. Schantz, “A real-time location system using near-field electromagnetic ranging,” 2007 *IEEE Antennas and Propagation International Symposium*, 2007.

15. H. G. Schantz & R. E. DePierre, "System and method for near-field electromagnetic ranging," US Patent No.: US 6,963,301 B2, November 8, 2005.
16. H. G. Schantz, C. Weil, & A. H. Uden, "Characterization of error in a Near-Field Electromagnetic Ranging (NFER) Real-Time Location System (RTLS)," 2011 IEEE Radio and Wireless Symposium, 2011.
17. O. O. Drobakhin, A. V. Doronin, "Estimation of thickness of subsurface air layer by neuron network technology application to reflected microwave signal," 12th International Conference on Mathematical Methods in Electromagnetic Theory (MMET), Ukraine, 2008, pp. 150-152.
18. A. Awoseyila, C. Kasparis & B. Evans, "Improved preamble-aided timing estimation for OFDM systems," IEEE Communications Letters, vol. 12, issue 11, 2008.
19. O. Dumin, O. Prishchenko, G. Pochanin, V. Plakhtii, D. Shyrokorad, "Subsurface Object Identification by Artificial Neural Networks and Impulse Radiolocation," 2018 IEEE Second International Conference on Data Stream Mining Processing (DSMP-2018), August 2018, Ukraine, pp. 434-437.
20. O. M. Dumin, S. Khmara, D. Shyrokorad, "Artificial Neural Networks in Time Domain Electromagnetics," Proc. 11th International Conference on Antenna Theory and Techniques (ICATT-2017), Kyiv, Ukraine, May 2017, pp. 118-121.
21. O. M. Dumin, O. Prishchenko, D. Shyrokorad, V. Plakhtii, "Application of UWB Electromagnetic Waves for Subsurface Object Location Classification by Artificial Neural Networks," Proc. 9th International Conference on Ultrawideband and Ultrashort Impulse Signals (UWBUSIS-2018), Ukraine, September 2018, pp. 290-293.
22. O. Dumin, V. Plakhtii, D. Shyrokorad, O. Prishchenko, "Signal Processing in UWB Subsurface Radiolocation by Artificial Neural Networks," 2019 IEEE International Scientific and Practical Conference Problems of

Infocommunications Science and Technology (PIC S&T'2019), Kyiv, Ukraine, October 2019.

23.O. Dumin, V. Plakhtii, O. Prishchenko, G. Pochanin, “Comparison of ANN and Cross-Correlation Approaches for Ultra Short Pulse Subsurface Survey,” 15th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET – 2020), Ukraine, February 2020.

24.A. Taflove, S. Hagness, “Computational Electrodynamics: The Finite-Difference Time-Domain Method,” 3rd ed. Boston, London: Artech House, 2005.