

МАМУТА М.С.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені І. Сікорського»

<https://orcid.org/0000-0002-7674-4984>e-mail: [rybalkomaryna@gmail.com](mailto:rybalkomaryna@gmail.com)

МАМУТА О.Д.

Інститут Фізики НАН України

<https://orcid.org/0000-0002-6404-5879>e-mail: [mamuta.aleksandr@gmail.com](mailto:mamuta.aleksandr@gmail.com)

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ДВОКАНАЛЬНОЇ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОЇ СИСТЕМИ СПОСТЕРЕЖЕННЯ З НЕЙРОМЕРЕЖЕВИМ КОМПЛЕКСУВАННЯМ ІНФОРМАЦІЇ

Стаття присвячена дослідженню ефективності двоканальної оптико-електронної системи спостереження у складі телевізійного та тепловізійного каналів при комплексуванні інформації цих каналів за допомогою нейронних мереж. Увага зосереджена на оцінці ймовірності виявлення, розпізнавання та ідентифікації об'єкта такою системою. Результати досліджень показують, що комплексування дозволяє підвищити ймовірнісні характеристики системи майже на 6% за сприятливих погодних умов.

Ключові слова: оптико-електронна система спостереження, комплексування, нейронні мережі

Maryna MAMUTA

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

Oleksandr MAMUTA

Institute of Physics, National Academy of Sciences of Ukraine

### PERFORMANCE EVALUATION OF DUAL CHANNEL OPTOELECTRONIC SURVEILLANCE SYSTEM WITH NEURAL NETWORK INFORMATION FUSION

Optoelectronic surveillance systems are widely used in many areas of human activity: in agriculture, medicine, military systems, in search and rescue operations. These systems are designed for space, airborne, ground and maritime applications. They have to work under all climate conditions with absolute certainty under all light and weather conditions. And on the other hand, they have to be cost effective. That's why optoelectronic surveillance systems use channels which provide complimentary information about the object and background. And for the most applications channels that operate in visible and thermal ranges of optical spectrum are indispensable element of such systems. Optoelectronic surveillance systems have to continuously meet and even exceed today's performance and reliability requirements. That's why there is a need to use not only cutting-age technology, but also adaptive signal processing. Information fusion is state-of-the-art technic to improve overall system performance. Numerous image fusion methods have been proposed during several decades but the most promising are neural networks.

Television system, which work in visible range of optical spectrum, and thermal system, which work in long-wave infrared range where chosen for the modeling. Probability of target detection, recognition and identification was used for performance evaluation. Probability of target detection, recognition and identification for separate long-wave infrared and television channels were modeled. Also, probabilities were estimated for the fused data. Information fusion was done with the help of convolutional neural networks. Simulation results showed that probability of target detection, recognition and identification are almost for 6% higher for fused data compared to separate channels.

Keywords: optoelectronic surveillance system, fusion, neural network

### Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

На сьогоднішній день оптико-електронні системи спостереження (ОЕСС) стають невід'ємною частиною в багатьох сферах життєдіяльності людини. Вони містять в своєму складі різні канали в залежності від вирішуваної задачі, але для більшості систем характерна комбінація телевізійного (реєструє інформацію у видимому діапазоні електромагнітних хвиль) та тепловізійного (реєструє інформацію в далекому інфрачервоному діапазоні електромагнітних хвиль) каналів. ОЕСС широко представлені на ринку.

Але умови сьогодення вимагають все нового удосконалення ОЕСС і не лише за рахунок покращення елементної бази, вдосконалення схемо-технічних рішень, але й за рахунок використання передових методів обробки сигналів. Одним з таких сучасних методів є комплексування інформації, отриманої в різних каналах ОЕСС. В даній статті пропонується об'єднати інформативність телевізійного та тепловізійного каналів ОЕСС за допомогою згорткових нейронних мереж з подальшою оцінкою ефективності окремих каналів ОЕСС та системи з комплексуванням в цілому.

### Аналіз досліджень та публікацій

В роботі [1] розглянуто методи комплексування зображень на рівні пікселів із застосуванням нейронних мереж. В роботі [2] розглянуто методи комплексування видимих та інфрачервоних зображень.

### Формулювання цілей статті

Метою роботи є дослідження ефективності двоканальної ОЕСС при комплексуванні інформації, отриманої в телевізійному та тепловізійному каналах. За критерій якості обрано ймовірність виявлення, розпізнавання та ідентифікації об'єкта.

**Виклад основного матеріалу**

Як відомо, телевізійний канал надає інформацію про фонову-цільову обстановку з високим просторовим розділенням, але є надзвичайно чутливим до погодних умов та рівня освітлення; інфрачервоний же діапазон фіксує власне теплове випромінювання об'єктів незалежно від умов функціонування. А, отже, об'єднання інформації цих двох каналів забезпечує більш достовірну картину фонову-цільової обстановки, в тому числі підвищує стійкість до штучних завад та маскування.

Імовірність виявлення, розпізнавання та ідентифікації об'єкта знайдемо за формулою [3, 4]:

$$P_3(R) = \frac{\left(\frac{V(R)}{V_{50}(3)}\right)^E}{1 + \left(\frac{V(R)}{V_{50}(3)}\right)^E}, \tag{1}$$

де  $V(R) = \frac{\sqrt{A_0 TTP}}{R}$  – число пар штрихів, що розміщуються на об'єкті;  $V_{50}$  – число штрихів, що

розділяються, необхідних для забезпечення 50 % ймовірності правильного рішення залежно від змісту задачі;  $E=1,51+0,24[V(R)/V_{50}(3)]$  – емпірично визначена константа, що залежить від спектрального діапазону та відношення  $V(R)/V_{50}$ ;  $TTP$  – показник успішності виконання задачі;  $A_0$  – площа об'єкта;  $R$  – відстань від об'єкта до ОЕСС.

Згідно з формулою (1) імовірнісні характеристики ОЕСС залежать від показника успішності виконання задачі, який оцінює якість зображення на моніторі і визначається функцією передачі контрасту системи та контрастом об'єкта на дисплеї. Для знаходження функції передачі контрасту системи використаємо теорію лінійних систем, а отже і модуляційну передавальну функцію кожної ланки ОЕСС [5].

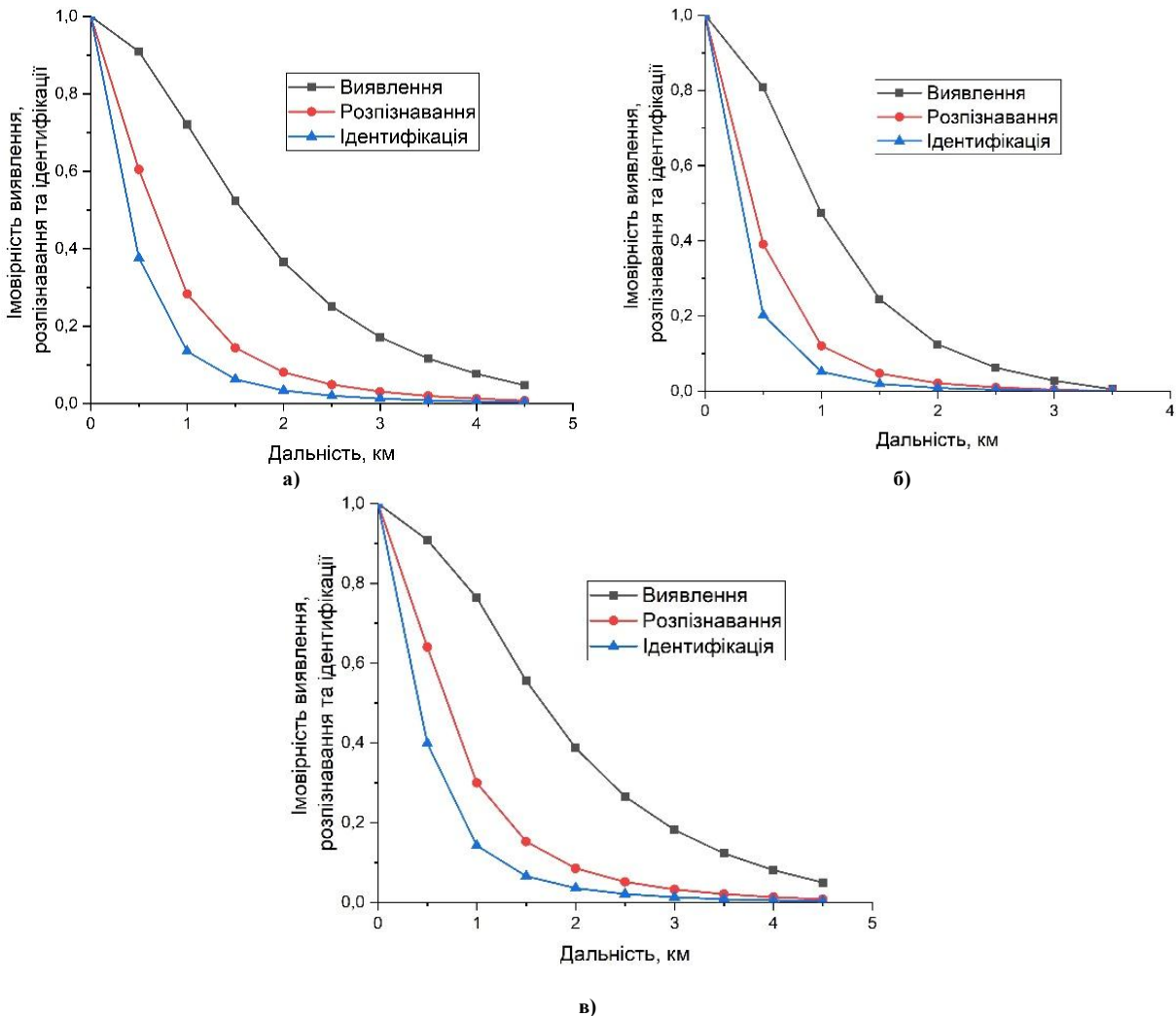


Рис. 1. Імовірність виявлення, розпізнавання та ідентифікації об'єкта: а) – для телевізійного каналу; б) – для тепловізійного каналу; в) – для ОЕСС з комплексуванням

Комплексування інформації телевізійного та тепловізійного каналів здійснюємо в декілька етапів. Спершу знаходимо унікальну інформацію для кожного каналу за допомогою нейронної мережі VGG-19 [6], після чого будуюмо карту інформативності використовуючи перетворення Softmax [7]. На основі отриманої карти інформативності здійснюємо власне комплексування.

А для визначення ефективності системи з комплексуванням інформації скористаємось методикою, запропонованою в [4].

Для моделювання об'єкта скористаємось стандартом НАТО 4347 [8], згідно з яким тест-об'єктом є АЧТ, що має розмір  $2,3 \times 2,3 \text{ м}^2$  з температурним контрастом  $\Delta T = 2\text{К}$  на фоні температурою  $T_b = 288\text{К}$ .

Виходячи з технічних та масо-габаритних міркувань обираємо для тепловізійного каналу камеру TAU 2 [9], а для телевізійного каналу – Blackfly S [10] з оптичною системою фірми Edmund Optics (68215). Основні технічні характеристики наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

**Технічні характеристики камер телевізійного та тепловізійного каналів**

	Blackfly S	TAU 2
Розмір пікселя, мкм <sup>2</sup>	6,9×6,9	17×17
Робочий спектральний діапазон, мкм	0,42-0,76	7,5-13,5
Формат	720×540	640×512
Еквівалентна шуму різниця температур, мК	-	30
Фокусна відстань, мм	8,5	13
Відносний отвір	f/1.4	f/1.0

Результати розрахунків показано на рис. 1.

### Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

Результати моделювань показують, що комплексування інформації з використанням нейронних мереж дозволяє підвищити ймовірність виявлення, розпізнавання та ідентифікації об'єкта двокальною ОЕСС за сприятливих погодних умов майже на 6%.

Подальші дослідження будуть присвячені визначенню ефективності роботи багатоканальних ОЕСС при використанні нейронних мереж для комплексування інформації, отриманої в її каналах.

### Література

1. Liu Yu. Deep learning for pixel-level image fusion: Recent advances and future prospects / Yu Liu, Xun Chen, Zengfu Wang, Z. Jane Wang, Rabab K. Ward, Xuesong Wang // Information Fusion. – 2018. – Vol. 42. – P. 158-173. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.inffus.2017.10.007>.
2. Ma Jiayi. Infrared and visible image fusion methods and applications: A survey / Jiayi Ma, Yong Ma, Chang Li // Information Fusion. – 2019. – Vol 45. – P. 153-178. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.inffus.2018.02.004>.
3. Vollmerhausen R.H. Analysis and evaluation of sampled imaging systems / R.H. Vollmerhausen, D. Reago, R.G. Driggers. – Washington: SPIE Press, 2010. – 304 p.
4. Колобродов В. Г. Оцінка ефективності багатоканальних оптико-електронних систем спостереження з комплексуванням інформації / В. Г. Колобродов, В. І. Микитенко, М. С. Мамута // Наукові вісті НТУУ “КПІ”. – 2012. – № 6. – С. 127–131.
5. Holst G. C. Electro-optical imaging system performance / Gerald C. Holst. – [5th ed.]. – Winter Park, Florida: JCD Publishing, 2008. – 438 p. – ISBN 978-0964000063.
6. Raj A. Handbook of research on deep learning-based image analysis under constrained and unconstrained environments / Alex Noel Joseph Raj, Vijayalakshmi G. V. Mahesh, Ruban Nersisson. – Hershey, PA: Engineering Science Reference, 2021. – 381 p. – ISBN 9781799866923.
7. Goodfellow I. Deep learning / Ian Goodfellow, Yoshua Bengio, Aaron Courville. – Cambridge, MA: MIT Press, 2017. – 800 p. – ISBN 978-0262035613.
8. STANAG 4347: NATO standardization agreement: definition of nominal static range performance for thermal imaging systems. – 1995. – 14p.
9. TAU 2. Проспект фірми Teledyne FLIR, США. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.flir.com/products/tau-2/>
10. Blackfly S. Проспект фірми Teledyne FLIR, США. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.flir.com/products/blackfly-s-usb3/>

### References

1. Liu Yu. Deep learning for pixel-level image fusion: Recent advances and future prospects / Yu Liu, Xun Chen, Zengfu Wang, Z. Jane Wang, Rabab K. Ward, Xuesong Wang // Information Fusion. – 2018. – Vol. 42. – P. 158-173. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.inffus.2017.10.007>.
2. Ma Jiayi. Infrared and visible image fusion methods and applications: A survey / Jiayi Ma, Yong Ma, Chang Li // Information Fusion. – 2019. – Vol 45. – P. 153-178. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.inffus.2018.02.004>.

3. Vollmerhausen R.H. Analysis and evaluation of sampled imaging systems / R.H. Vollmerhausen, D. Reago, R.G. Driggers. – Washington: SPIE Press, 2010. – 304 p.
4. Kolobrodov V. G. Otsinka efektyvnosti bahatokanalnykh optyko-elektronnykh system sposterezhennia z kompleksuvanniam informatsii / V. G. Kolobrodov, V. I. Mykytenko, M. S. Mamuta // Naukovi visti NTUU “KPI”. – 2012. – № 6. – S. 127–131.
5. Holst G. C. Electro-optical imaging system performance / Gerald C. Holst. – [5th ed.]. – Winter Park, Florida: JCD Publishing, 2008. – 438 p. – ISBN 978-0964000063.
6. Raj A. Handbook of research on deep learning-based image analysis under constrained and unconstrained environments / Alex Noel Joseph Raj, Vijayalakshmi G. V. Mahesh, Ruban Nersisson. – Hershey, PA: Engineering Science Reference, 2021. – 381 p. – ISBN 9781799866923.
7. Goodfellow I. Deep learning / Ian Goodfellow, Yoshua Bengio, Aaron Courville. – Cambridge, MA: MIT Press, 2017. – 800 p. – ISBN 978-0262035613.
8. STANAG 4347: NATO standardization agreement: definition of nominal static range performance for thermal imaging systems. – 1995. – 14p.
9. TAU 2. Prospekt firmy Teledyne FLIR, SShA. [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu: <https://www.flir.com/products/tau-2/>
10. Blackfly S. Prospekt firmy Teledyne FLIR, SShA. [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu: <https://www.flir.com/products/blackfly-s-usb3/>