

РОЗПІЗНАВАЛЬНІ МОЖЛИВОСТІ РЕЗУЛЬТАТІВ ВИДОВОГО СПОСТЕРЕЖЕННЯ ОБ'ЄКТА ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ

Руденко М.М., Слонов М.Ю., Хамула С.В.

Воєнно-дипломатична академія імені Євгенія Березняка
вул. Юрія Ільєнка, 81, 04050, м. Київ
slonovmu@gmail.com

У статті наголошується на те, що одним із раціональних напрямів оцінки екологічного стану об'єкта є аналіз його зовнішнього вигляду за поточними зображеннями. Найбільш звичними джерелами зображень є видові оптико-електронні засоби: фотографічні, відео, тепловізійні, спектральнозональні, гіперспектральні. Аналіз зображень здійснюється за результатом дешифрування знімків від видових засобів. Успішність вирішення завдань екологічного моніторингу в цьому разі визначатиметься якістю знімків. Запропоновано комплексний підхід до вибору найбільш раціонального варіанта виконання завдання з дистанційного спостереження об'єкта екологічного моніторингу. Він полягає у реалізації семантичного та апаратного підвищення можливостей щодо виявлення, розпізнавання та інтерпретації об'єкта за його зображенням. Семантичний підхід передбачає залучення додаткових розпізнавальних ознак як в одному інформаційному каналі, так і в разі їх збільшення. Такий підхід поєднує каналний та ознаковий напрями. За каналного напрям змінюють кількість інформативних параметрів об'єкта, що вимірюють у різних інформаційних полях. Ознаковий напрям спрямований на визначення на зображенні максимально можливої кількості типових розпізнавальних ознак об'єкта моніторингу: розміру, кольору, структури, наслідків діяльності тощо. За апаратного підходу змінюють значення дискретизації відповідного інформативного параметра під час спостереження, інші апаратні налаштування в усіх інформаційних каналах. У кожному конкретному випадку видового спостереження комплексний підхід дає змогу вибрати найбільш раціональний шлях виконання завдання. Він гарантує дотримання вимог завдання на моніторинг. Крім того, оцінюється можливість і доцільність фізичної та апаратної реалізації обраного шляху. За такого підходу обсяг видової інформації про об'єкт орієнтований на виконання саме поточних завдань на моніторинг. Надлишкова видова інформація буде відсутня. *Ключові слова:* моніторинг, видове спостереження, розпізнавальні ознаки, дискретизація інформаційного параметра, імовірність виконання завдання.

Recognitional possibilities of results of special observation of the environmental monitoring object. Rudenko M., Slonov M., Khamula S. The article emphasizes that one of the rational ways to evaluate the environmental status of an object is to analyze its appearance by current images. The most common sources of images are the kind of optoelectronic means: photographic, video, thermal imaging, spectral, hyperspectral. The analysis of images is carried out as a result of decryption of images from species. The success of environmental monitoring tasks in this case will be determined by the quality of the images. An integrated approach is proposed to choose the most rational variant of the task of remote monitoring of the object of environmental monitoring. It consists in the implementation of semantic and hardware enhancement of the ability to detect, recognize and interpret an object in its image. The semantic approach involves the attraction of additional distinctive features both in one information channel and as they increase. This approach combines channel and sign directions. The channel direction changes the number of informative parameters of the object, which are measured in different information fields. The marking direction is intended to determine the maximum number of typical distinctive features of the monitoring object in the image: size, color, structure, impact of activities, etc. In the hardware approach, the sampling value of the corresponding informative parameter under observation is changed, other hardware settings in all information channels. In each case of species observation, a comprehensive approach allows you to choose the most rational way of performing the task. It guarantees compliance with the requirements of the monitoring task. In addition, the possibility and feasibility of physical and hardware implementation of the chosen path is evaluated. With this approach, the amount of specific information about the object is focused on the current monitoring tasks. There will be no excess species information. *Key words:* monitoring, types of observation, recognition features, discretization of the information parameter, probability of task completion.

Постановка проблеми. Одним із раціональних напрямів оцінки екологічного стану об'єкта є аналіз його зовнішнього вигляду [1–3]. Інформація про об'єкт у цьому випадку (видова інформація) отримується у вигляді його зображень. Зображення є результатом спостереження об'єкта за допомогою, як правило, видових (таких, що будують зображення) електронних систем – оптико-електронних, магнітометричних, радіолокаційних. Найбільш звичними з них є видові оптико-електронні засоби:

фотографічні, відео, тепловізійні, спектральнозональні, гіперспектральні [4–6].

Видову інформацію про об'єкт за результатами його спостереження отримують під час дешифрування знімків (форматованих зображень картин, складовою частиною яких є зображення об'єкта, що спостерігається, чи наслідків його діяльності), які будуються видовими електронними системами. Процедура дешифрування знімків складається з етапів виявлення, розпізнавання та інтерпретації зобра-

жень конкретних об'єктів і ділянок місцевості [7]. Результатом дешифрування зображення на знімку є відомості про об'єкт видового екологічного моніторингу. За змістом такі відомості повинні бути спрямовані на вирішення завдання на моніторинг.

Етапи виявлення, розпізнавання та інтерпретації зображення об'єкта за результатами видового моніторингу здійснюються під час вивчення індивідуальних особливостей його зображення – ознак об'єкта. Сукупність ознак об'єкта, що дають змогу провести всі три етапи дешифрування знімків, називають набором ознак об'єкта: ознак виявлення, розпізнавальних ознак, ознак інтерпретації об'єкта. Всі ці ознаки поєднуються терміном *демаскувальні* ознаки об'єкта.

Необхідною умовою використання демаскувальної ознаки під час дешифрування зображення об'єкта є можливість її виявлення в зображенні, що отримане від конкретного видового засобу [8]. В цьому випадку демаскувальна ознака об'єкта стає *розпізнавальною* ознакою його зображення. Перехід демаскувальної ознаки об'єкта у розпізнавальну ознаку зображення обмежений іконічними (видовими) властивостями самої демаскувальної ознаки, конкретного видового засобу, а також поточних умов спостереження (ракурс, стан атмосфери, час спостереження тощо). Отже, для різних засобів видового моніторингу та поточних умов спостереження для одного й того самого об'єкта набір розпізнавальних ознак його зображення буде різним.

Спостереження об'єкта свідомо доцільне (апріорно обов'язково успішне) за умовою відображення тільки *всіх* демаскувальних ознак об'єкта в розпізнавальних ознаках його зображення (іконічні складники, що визначають результат спостереження об'єкта, максимально високі). Але в цьому випадку виникатиме *протиріччя* між безмежним зростанням обсягу отриманої інформації про об'єкт, а, відповідно, вартістю таких відомостей, часом їх обробки, оперативністю виконання завдання та, з іншого боку, необхідним обсягом таких відомостей, який забезпечить виконання саме конкретного поточного завдання на спостереження. Тому під час з'ясування завдання на спостереження актуальним є визначення достатнього рівня відтворення в зображенні демаскувальних ознак. Їх має бути досить для з'ясування стану об'єкта саме відповідно до завдання на спостереження. На особливості реалізації цієї умови звертається увага в статті.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Результатом видового спостереження об'єкта є отримання його зображення [1; 3; 9; 10]. Для успішного виконання завдання на спостереження об'єкта бажано визначитися з необхідною апріорною та апостеріорною інформацією про об'єкт моніторингу [4; 8]. До апріорної інформації про нього відносять сам об'єкт, що є метою спостереження, його особливості, задану глибину його визначення за зображенням – з точністю до виду (виявлення), до класу (розпізнавання) чи до типу (інтерпретації). Як апостеріорну інформацію важливо передбачити

детальність у зображенні, яка забезпечить наявність у ньому розпізнавальних ознак, достатніх для виконання саме цього завдання. Тільки в такому разі спостереження можна вважати раціональним.

Максимізація *апріорної* інформації про об'єкт досягається чіткою постановкою завдання на спостереження та його усвідомлення виконавцем [5]. Вона дає змогу обрати тип апаратури, прийоми, способи та умови спостереження. Це забезпечує *можливість* наявності в зображенні певних розпізнавальних ознак.

Поняття достатності *апостеріорної* інформації вимагає більш ретельного тлумачення. Виявлення та спостереження демаскувальних ознак об'єкта фізично можна реалізувати на цифрових знімках шляхом контролю (якісного чи кількісного) зображень фізичних полів, які він створює та змінює [8–10]. Такі фізичні поля називають *інформаційними* полями об'єкта, тобто такими, що є носіями інформації про ті чи інші його властивості.

Отже, кожен об'єкт формально можна описати функціоналом існування L , який відображає властивості всіх інформаційних полів як функцій спостережуваних змінних – часу, просторових координат, складу довжини хвиль та іншого. Індивідуальні особливості інформаційних полів об'єкта саме і створюють його демаскувальні ознаки у вигляді *розподілів градієнтів параметрів*, які під час спостереження перетворюються в їхні зображення [7; 9].

Такі параметри (наприклад, амплітуда, фаза, інтенсивність поля; для об'єктів, що спостерігаються за допомогою некогерентних видових засобів, як правило, – інтенсивність I_i) можна вважати *інформативними*. Якщо інформативні параметри I_i від усіх m інформаційних полів адитивні і спостерігаються у просторі (x, y, z) , часі t та за довжиною хвиль λ , а одночасно спостерігається n об'єктів, то *функціонал* L_j існування картини, що спостерігається, можна записати в такому вигляді:

$$L_j = L_j \left[\sum_{i=1}^{i=m} I_i(x, y, z, t, \lambda) \right],$$

$$i = \overline{1, m},$$

$$j = \overline{1, n}, \quad (1)$$

де m – кількість інформаційних полів;

n – кількість об'єктів у картині, що спостерігається.

Функціонал L_j існування об'єкта надає системні шляхи реалізації її спостереження [1; 5; 6]. Саме такий підхід до організації видового спостереження дає змогу раціонально оцінити об'єкт моніторингу згідно з поточним завданням. Розроблений у статті підхід є продовженням досліджень із раціональної організації видового спостереження об'єкта.

Виклад основного матеріалу. Спостереження об'єктів за допомогою засобу видового спостереження зводиться до вимірювання (дискретного, безперервного) поточних значень інформативних параметрів. Результати такого вимірювання у про-

сторі x, y, z , часі t та за спектральним складом λ є формалізованим описом *відомостей про об'єкт* (ВО).

Запис їх передбачає урахування фізичних обмежень на точність вимірювання, а також вплив на результати вимірювань низки випадкових факторів. Тому виявлення розпізнавальної ознаки, розпізнавання об'єкта за його зображенням оцінюються ймовірністю P розпізнавання [8].

Умовою успішності спостереження об'єкта є досягнення заданого рівня його розпізнавання (заданої імовірності $P_{\text{зад}}$) за максимального дотримання сукупності $\{A_k\}$ вимог, які висувуються до здійснення моніторингу. Такі вимоги та ступінь їх задоволення формують поняття *ефективності* проведеного моніторингу:

$$\begin{aligned} \text{ВО}_j &= ML_j \left[\sum_{i=1}^{i=m_{\text{вим}}} I_i(x, y, z, t, \lambda) \right], \\ \Delta x, \Delta y, \Delta z, \Delta t, \Delta \lambda &\rightarrow \text{var}, \\ P_{\text{зад}} &\leq P: (\Delta x, \Delta y, \Delta z, \Delta t, \Delta \lambda)_i, \\ \{A_k\} &\rightarrow \max, \\ i &= \overline{1, m_{\text{вим}}}, \\ j &= \overline{1, n}, \\ k &= \overline{1, K}, \end{aligned} \quad (2)$$

де $m_{\text{вим}}$ – кількість інформаційних полів, що вимірюються під час спостереження;

$(\Delta x, \Delta y, \Delta z, \Delta t, \Delta \lambda)_i$ – дискретизація відповідного інформативного параметра під час спостереження об'єкта в i -му інформаційному полі.

Визначимо шляхи досягнення заданого значення розпізнавання об'єкта за його зображенням. Нехай під час спостереження j -го об'єкта на зображенні присутній $(j+1)$ -й об'єкт. Об'єкт моніторингу буде відрізнений від нього у разі, коли за результатами спостереження відомості ВО_j про j -й об'єкт відрізняються від відомостей ВО_{j+1} на величину $\Delta \text{ВО}_j$, тобто:

$$\begin{aligned} \Delta \text{ВО}_j &= ML_j \left[\sum_{i=1}^{i=m_{\text{вим}}} I_i(x, y, z, t, \lambda) \right] - \\ &\quad - ML_{j+1} \left[\sum_{i=1}^{i=m_{\text{вим}}} I_i(x, y, z, t, \lambda) \right] = \\ &= M \left\{ \begin{aligned} &L_j \left[\sum_{i=1}^{i=m_{\text{вим}}} I_i(x, y, z, t, \lambda) \right] - \\ &- L_{j+1} \left[\sum_{i=1}^{i=m_{\text{вим}}} I_i(x, y, z, t, \lambda) \right] \end{aligned} \right\} \geq \Delta \text{ВО}_{\text{меж}}, \\ i &= \overline{1, m_{\text{вим}}}, \\ P_{\text{зад}} &\leq P: \Delta x, \Delta y, \Delta z, \Delta t, \Delta \lambda, \end{aligned} \quad (3)$$

де $\Delta \text{ВО}_{\text{меж}}$ – межа для прийняття рішення (наприклад, можлива дискретність) відомості про інформативний параметр (сукупність параметрів).

Аналіз співвідношення (3) показує, що напрямами виявлення об'єкта за результатами його видового спостереження можна вважати такі:

- дотримання правила $\Delta x_m, \Delta y_m, \Delta z_m, \Delta t_m, \Delta \lambda_m \rightarrow 0$, тобто зменшення рівня можливої дискретизації інформативних параметрів. У цьому випадку засіб спостереження повинний працювати зі збільшеною точністю вимірювання інформативного параметра інформаційного поля – *інструментальний* чи *апаратний* напрям;

- прагнення до $\Delta \text{ВО}_{\text{меж}} \rightarrow 0$, тобто зменшення межі виявлення розпізнавальної ознаки. Якщо людина вперше бачить окремо здорову або хвору рослину, обидва об'єкти сприймаються як зразки рослинності. Для неї складно звернути увагу на їхні типові розпізнавальні ознаки: розмір, колір, структуру. Тому дієвим шляхом реалізації такого напрямку є цілеспрямоване навчання дешифрувальника розпізнаванню саме цієї розпізнавальної ознаки на зображеннях, що отримані на цьому засобі – *ознаковий* напрям;

- забезпечення правила $m_{\text{вим}} \rightarrow t$, тобто урізноманітнення вимірювальних інформаційних полів – каналів вимірювання інформативних параметрів. У цьому випадку видові засоби повинні вимірювати інформативні параметри об'єкта у різних інформаційних полях. Спрямоване на збільшення кількості розпізнавальних ознак завдяки виявленню нових семантичних зв'язків між об'єктом та інформативними параметрами різних інформаційних полів, тобто залучення додаткових розпізнавальних ознак об'єкта – *каналний* напрям.

Канальний та ознаковий напрям поєднуються поняттям *семантичного* напрямку. Він ураховує особливості змістових зв'язків між окремими складниками зображення об'єкта. Наприклад, якщо це зображення трубопроводу, то у нього повинні спостерігатися поділення на окремі секції, сліди розташування на місцевості. Якщо в ньому транспортується продукція, залишатиметься тепловий слід її пересування, відмінний від оточення.

Інструментальний напрям передбачає виявлення в зображенні об'єкта найменшої необхідної розпізнавальної ознаки, але такої, яка б забезпечувала його розпізнавання за заданою глибиною. Семантичний підхід ураховує комбінації розпізнавальних ознак, які в сукупності наводять до того самого результату. За ознакового підходу комбінуються розпізнавальні ознаки в зображенні від одного видового засобу, за каналного – розпізнавальні ознаки від різних видових засобів (каналів).

Апаратне забезпечення виконання умови передбачає перебільшення можливостей видового засобу з дискретизації зображення над необхідним її рівнем із погляду дешифрування зображення об'єкта за заданою глибиною:

$$\Delta x_n, \Delta y_n, \Delta z_n, \Delta t_n, \Delta \lambda_n \geq \Delta x_m, \Delta y_m, \Delta z_m, \Delta t_m, \Delta \lambda_m. \quad (4)$$

Канальне забезпечення, тобто залучення двох і більше незалежних (у загальному випадку $L = m_{\text{вим}}: P \rightarrow P_L$) інформаційних каналів [6], дає змогу оцінювати ймовірність виконання завдання за співвідношенням:

$$P_L = 1 - \prod_{l=1}^L (1 - P_l), \quad (5)$$

де P_l – ймовірність виконання завдання під час отримання інформації про об’єкт тільки в l -тому каналі, $l = 1, 2, \dots, L$.

На рис. 1 наведено графік залежності ймовірності виконання завдання $P_L(P_l, L)$ в координатах P_l, L за умовами $P_l \in (0 \dots 0,6), L \in (1 \dots 5), P_2 = P_3 = P_4 = P_5 = 0,3$. В цьому випадку за $P_l = 0,5, L = 3$ ймовірність виконання завдання P_L дорівнюватиме вже 0,755.

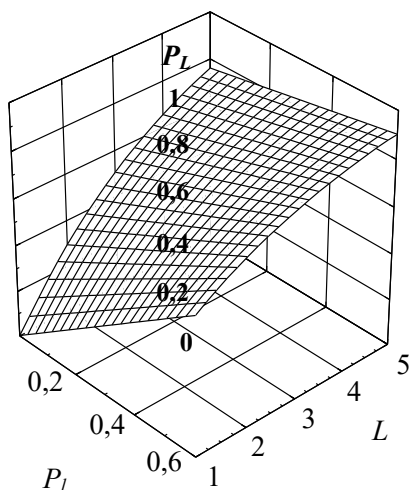


Рис. 1. Залежність ймовірності виконання завдання $P_L(P_l, L)$ від кількості інформаційних каналів

Ознакове забезпечення, тобто використання додаткової незалежної $(G+1)$ -ої розпізнавальної ознаки [7], передбачає прогнозування ймовірності виконання завдання P_{G+1} за таким співвідношенням:

$$P_{G+1} = P_G - P_{\text{до}} P_G + P_{\text{до}} - P_G P_{\text{до}} + P_G P_{\text{до}} = P_G + P_{\text{до}} - P_G P_{\text{до}}, \quad (6)$$

де P_G – ймовірність виконання завдання під час отримання інформації про об’єкт за G розпізнавальними ознаками;

$P_{\text{до}}$ – ймовірність виявлення в зображенні $(G+1)$ -ої розпізнавальної ознаки.

На рис. 2 наведено графік залежності ймовірності виконання завдання $P_{G+1}(P_G, P_{\text{до}})$ в координатах $P_G, P_{\text{до}}$ за умовами $P_G \in (0 \dots 0,6), P_{\text{до}} \in (0 \dots 0,6)$. В цьому випадку за $P_G = 0,5, P_{\text{до}} = 0,6$ ймовірність виконання завдання P_{G+1} дорівнюватиме вже 0,8.

Необхідно ще раз підкреслити, що реалізація напряму $\Delta B O_{\text{меш}} \rightarrow 0$ як у випадку семантичного, так і (чи) апаратного підходів до раціонального вирішення

завдання зі спостереження об’єкта за допомогою видових засобів вимагає відпрацювання двох складників. По-перше, це розроблення бази даних демаскувальних ознак типових об’єктів, визначення межових апаратних можливостей із їхньої реєстрації, обґрунтування заданої глибини ідентифікації об’єкта за його зображенням.

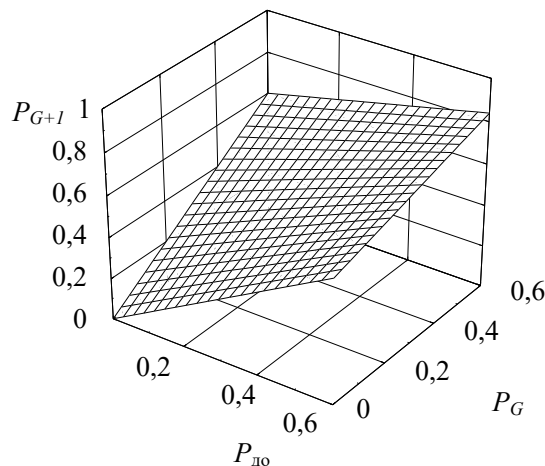


Рис. 2. Залежність ймовірності виконання завдання під час отримання інформації про об’єкт за $(G+1)$ розпізнавальними ознаками $P_{G+1}(P_G, P_{\text{до}})$

Вирішення завдань першого складника є запорукою успішного впровадження завдань другого складника – організації навчання дешифрувальника досвіду розпізнавання зображень тих об’єктів, що є актуальними на поточний час. Важливо при цьому проводити навчання за зображеннями об’єктів, що отримані від тих видових засобів, які застосовуватимуться під час виконання завдання.

Головні висновки. Отже, можна виділити *семантичний* (завдяки залученню додаткових розпізнавальних ознак як у одному інформаційному каналі, так і під час їх збільшення) та *апаратний* (завдяки змінам у значеннях дискретизації відповідного інформативного параметра під час спостереження) підходи до підвищення можливостей визначення об’єкта за результатами його спостереження. У кожному конкретному випадку спостереження необхідно обрати найбільш раціональний підхід до виконання завдання з дотриманням нормативних вимог, а також оцінкою можливості та доцільності фізичної й апаратної реалізації. Використання результатів цього дослідження перспективне під час організації та проведення екологічного моніторингу видовим спостереженням об’єкта.

Перспективи використання результатів дослідження. Реалізація семантичного та (чи) апаратного підходів до вирішення завдання з раціонального спостереження об’єкта вимагає розроблення бази даних демаскувальних ознак типових об’єктів, визначення межових апаратних можливостей із деталізації їхніх зображень, обґрунтування заданої глибини ідентифікації об’єкта за його зображенням.

Література

1. Багатоспектральні методи дистанційного зондування Землі в задачах природокористування / за ред. В.І. Лялько, М.А. Попова. Київ : Наукова думка, 2006. 357 с.
2. Боголюбов В.М., Клименко М.О. Моніторинг довкілля : підручник / за ред. В.М. Боголюбова, Т.А. Сафранова. Херсон : Грінь, 2016. 530 с.
3. Мацнев А.І., Проценко С.Б., Саблій Л.А. Моніторинг та інженерні методи охорони довкілля. Рівне : Рівненська друкарня, 2017. 504 с.
4. Станкевич С.А., Козлова А.О. Особливості розрахунку індексу видового різноманіття за результатами статистичної класифікації аерокосмічних знімків. *Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского*. 2006. Т. 19 (58). С. 144–150.
5. Машков О.А., Васильев В.Э., Фролов В.Ф. Методы и технические средства экологического мониторинга. *Екологічні науки*. 2014. № 1 (5). С. 57–67.
6. Кохан С.С., Востоков А.Б. Дистанційне зондування Землі: теоретичні основи. Київ : Вища школа, 2009. 511 с.
7. Словник з дистанційного зондування Землі / за ред. В.І. Лялько, М.А. Попова. Київ : НАН України, 2003. 169 с.
8. Живичин Л.Н., Соколов В.С. Дешифрирование изображений. Москва : Недра, 1980. 253 с.
9. Костюченко Ю.В. та ін. Використання даних супутникових спостережень для оцінки регіональних гідролого-гідрологічних ризиків. *Космічна наука і технологія*. 2011. Т. 17. № 6. С. 19–29.
10. Лялько В.И., Сахацкий А.И., Ходоровский А.Я. Применение многозональных космических снимков для оценки экологического состояния лесов (на примере зоны отчуждения ЧАЭС). *Праці Міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні технології управління екологічною безпекою, ресурсами та заходами у надзвичайних ситуаціях»*, Крим, с. Рибаче, 8–11 вересня 2002 р. : тези доп. Київ : НАУ «ХАІ», 2002. С. 75–77.