

ПРИЛАДИ

УДК 528.7(07)

О.Є. Горшенін, к.т.н., проф.
В.В. Петрожалко, ад'юнкт
О.Ф. Дубина, к.т.н.

Житомирський військовий інститут ім. С.П. Корольова
Національного авіаційного університету

**МЕТОДИКА ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ КОСМІЧНИХ ЗНІМКІВ
ПРИ ЇХ ВИКОРИСТАННІ ДЛЯ ДЕШИФРУВАННЯ ШТУЧНИХ ОБ'ЄКТІВ ДИСТАНЦІЙНОГО
ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ**

У статті наведено теоретично обґрунтована оригінальна методика, що пропонується для практичного використання в установах і організаціях, що користуються даними дистанційного зондування Землі (ДЗЗ). Методика заснована на оцінюванні фізичних параметрів знімка: детальності, контрасту, масштабу зображення об'єктів, корисної площі знімка та врахування складності об'єктів дешифрування. Оцінювання часткових параметрів знімка реалізовано на базі спеціального програмного комплексу ENVI.

Постановка проблеми. На сьогоднішній час існують різні методи та засоби отримання космічних знімків наземних об'єктів. Відповідно, завдання вибору найкращого знімка для конкретно заданих цілей є актуальним. Якість вирішення завдань дешифрування знімків штучних об'єктів оцінюється ймовірністю вірного розпізнавання об'єкта. Аналіз якості проводиться на основі оцінювання інших важливих параметрів знімків. Але цілісної та обґрунтованої методики оцінювання не існує. Оцінювання робиться для кожного завдання окремо, найчастіше суб'єктивно «навмання».

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Теоретичні основи та практичні рекомендації, щодо здійснення дешифрування фотографічних зображень можна знайти у працях [1–8]. Але яким чином оцінити якість космічних знімків, отриманих за допомогою технічних засобів ДЗЗ, для їх подальшого використання з метою дешифрування штучних об'єктів у даній літературі та й взагалі в будь-яких офіційних джерелах не наводиться.

Метою статті є подання науково обґрунтованої методики оцінювання якості космічних знімків при їх використанні для дешифрування штучних об'єктів ДЗЗ.

Викладення основного матеріалу дослідження. Стосовно дешифрування інформації ДЗЗ якість знімків, що надходять, слід розуміти як ступінь їх корисності для виконання завдань щодо виявлення, розпізнавання і розкриття стану заданих об'єктів. Тобто те, на скільки повно і вірогідно знімок відображує об'єкт та його стан. Слід окремо розрізняти корисність знімка для задач виявлення, задач розпізнавання та для задач аналізу стану об'єкта. Вони вирішуються під час дешифрування послідовно та потребують різних за характеристиками знімків. Якість вирішення задач оцінюється відповідно ймовірністю вірного виявлення $P_{\text{вв}}$, ймовірністю вірного розпізнавання $P_{\text{рп}}$, та ймовірністю розкриття стану об'єкта $P_{\text{рс}}$.

Можна помітити, що є спільна характеристика, яка також впливає на ефективність використання знімка – це корисна площа знімка S_0 , тобто площа на знімку, що відображує без перекриття хмарами та завадами заданий район або об'єкт. Оцінити корисність використання площі знімка можна відносним показником – коефіцієнтом використання площі:

$$k_S = \frac{S_0}{S}, \quad (1)$$

де S – загальна площа знімка.

Практично оцінити k_S можна, вимірюючи відповідні площі.

Завдання практичного дешифрування космічних знімків рідко обмежується тільки виявленням: зазвичай вже на першому етапі дешифрування потрібно розпізнати всі об'єкти, що відбиті на знімку. Розпізнавання потребує більш якісних знімків, ніж просте виявлення. Тому вважаємо, що методика створюється саме для розпізнавання в процесі дешифрування знімків.

Ймовірність вірного розпізнавання об'єкта $P_{\text{рп}}$ можна оцінити на основі оцінювання окремих показників фізичної якості знімка: контрасту зображення об'єкта, розрізнення, масштабу зображення об'єкта, завад на зображенні.

Основною розпізнавальною ознакою при дешифруванні штучних об'єктів є форма і розміри простих об'єктів, та форма і розміри розташування їх визначальних деталей.

Розрахунок $P_{\text{рп}}$ можна провести за формулою [1]:

$$P_{ep} = C \exp\left\{-\left(\frac{BA}{L}\right)^2\right\}, \quad (2)$$

де A – розмір найменшого відбитого на знімку об’єкта (приведена деталіньсть на заданому контрасті); B – коефіцієнт форми об’єкта; L – розмір об’єкта, що розпізнається; C – коефіцієнт складності об’єкта.

З урахуванням формули Н.П. Лаврова [4]:

$$A = \frac{m}{2R\sqrt{\Delta D}}, \quad (3)$$

де m – займенник головного масштабу знімка; R – розрізна здатність конкретного знімка (у лініях на мм); ΔD – тоновий контраст на знімку, маємо:

$$P_{ep} = C \exp\left\{-\left(\frac{mB}{2LR\sqrt{\Delta D}}\right)^2\right\}. \quad (4)$$

Реальну розрізнену здатність R конкретного знімка, можна оцінити за перехідною кривою на зображенні різкого (на поверхні Землі) переходу «чорне–біле». Для цього вимірюється довжина переходу l_x (рис. 1), або використовується один із способів, викладених в [5]. Гарним прикладом такого переходу є перехід «тінь будинку–дах». Вимір робиться перпендикулярно переходу в декількох місцях знімка. Виміри усереднюються.

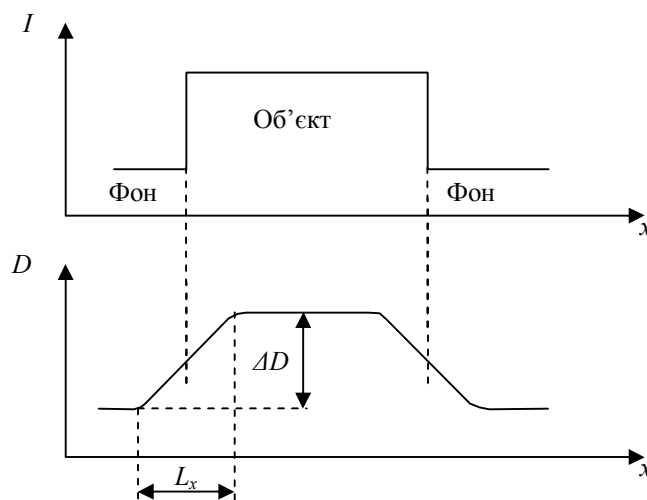


Рис. 1. Визначення розрізненої здатності знімка за перехідною кривою

У запропонованому підході розрахунок R ведеться за формулою:

$$R = m / (2,8l_x). \quad (5)$$

З урахування цього:

$$P_{ep} = C \exp\left\{-\left(\frac{1,4Bl_x}{L\sqrt{\Delta D}}\right)^2\right\}. \quad (6)$$

Фактично, відношення (l_x/L) – це величина, зворотна кількості довжин перехідної кривої, що вміщуються в розмір об’єкта (величина безрозмірна). Тоді практична формула для оцінки ймовірності вірного розпізнавання буде:

$$P_{ep} = C \exp\left\{-\left(\frac{1,4B}{N\sqrt{\Delta D}}\right)^2\right\}, \quad (7)$$

де N – кількість довжин перехідної кривої, що вміщуються в розмір найменшого об’єкта розпізнавання на знімку.

Коефіцієнт форми найменшого простого об’єкта B знаходиться за емпіричною формулою [7]:

$$B = \sqrt{\frac{Gr_{cp}}{S_0}}, \quad (8)$$

де G – периметр контуру простого об’єкта; S_0 – площа простого об’єкта; $r_{cp} = r_e + r_o$ – середнє між радіусами вписаного r_e і описаного r_o кола.

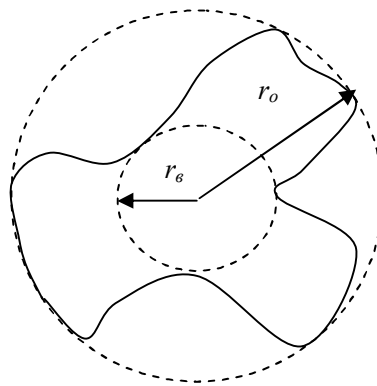


Рис. 2. Визначення положення вписаного і описаного кола

Коефіцієнт складності об'єкта C , який враховує вплив взаємного положення елементів складного об'єкта на якість дешифрування. Він може бути знайдений за графіком на рисунку 3.

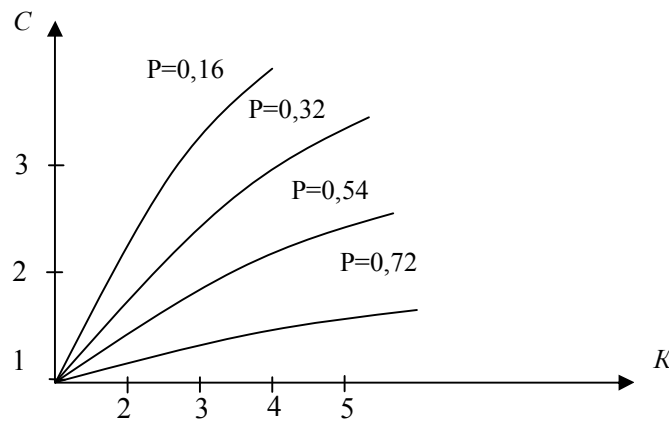


Рис. 3. Графік для розрахунку коефіцієнта C

На рисунку 3 показано в скільки разів C збільшується ймовірність вірного розпізнавання складного об'єкта, що складається з K простих, ймовірність вірного розпізнавання яких дорівнює P .

Ймовірність вірного розпізнавання простих об'єктів P розраховується за формулою (7), якщо $C = 1$.

Тоновий контраст на знімку:

$$\Delta D = \lg\left(\frac{I_{\max}}{I_{\min}}\right) = \lg(I_{\max}) - \lg(I_{\min}), \tag{9}$$

визначається усередненими значеннями яскравості найсвітлішої I_{\max} та найтемнішої I_{\min} ланок знімка у межах об'єкта.

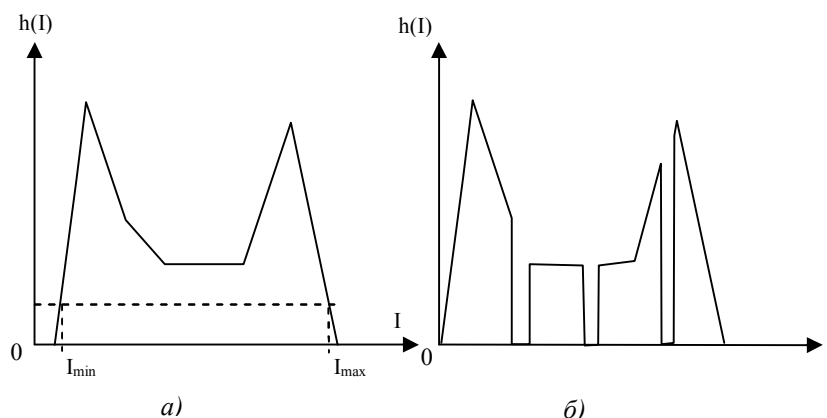


Рис. 4. Гістограма зображення до штучного контрастування (а) та гістограма того ж зображення після штучного контрастування (б)

Слід зауважити, що цифровою обробкою можна створити будь-який потрібний тоновий контраст, але інформації від цієї операції більше не стане – в гістограмі контрастного зображення з’являться провали. У штучно контрастному зображенні гістограма стає «розірваною» з провалами (рис. 4). Тому оцінку тонового контрасту краще проводити за шириною гістограми $I_{\max} - I_{\min}$, контролюючи її суцільність. Вимірювання значень найтемнішого I_{\min} і найсвітлішого I_{\max} , слід проводити за суттєвою частиною гістограми – по рівню 10 % від максимального значення.

Якщо при аналізі гістограми зображення виявлений факт попереднього контрастування, слід зменшити вимірне значення I_{\max} гістограми на сумарну ширину всіх провалів.

У літературі [8] на основі проведених експериментів стверджується, що для колірносинтезованих знімків (кольорових, спектрзональних, багатоспектральних) ймовірність вірного розпізнавання $P_{ер}$ об’єкта збільшується на 15–20 %. Можна вважати для колірносинтезованого знімка:

$$P_{ер.кол} = 0,15 + 0,85P_{ер.півтон} \tag{10}$$

Методика оцінювання якості півтонових та колірносинтезованих знімків для дешифрування штучних об’єктів ДЗЗ

1. Вихідні дані:

- ймовірність вірного розпізнавання $P_{ер}$. Типова вимога – $P_{ер} = 0,75$;
- найменший розмір обрису найменшої деталі простого об’єкта, що повинна розпізнаватися, наприклад: «аераційний ліхтар на даху промислового будинку» $L = 1$ м;
- припустимий відсоток перекриття площі об’єкта (району) спостереження хмарами та іншими природними та штучними завадами: деревами, снігом, засвітленнями, глибокими (з нульовим контрастом) тінями будинків, гір та ін. V_{x0} . Типова вимога – $V_{x0} = 10$ %.

2. Підготовка знімка.

2.1. Перевіряється відповідність і повнота зображеного на знімку району. Перевірка ведеться шляхом грубої прив’язки до карт відповідної місцевості по контурам природних та штучних стаціонарних об’єктів «на око». Якщо відповідності не має, знімок відкидається як непридатний. Неповні знімки відкладаються до їх доповнення іншими – поки не буде відбитий весь заданий район. Якщо район покривається декількома знімками – оцінюється весь комплект, як один знімок.

2.2. Якщо знімок наданий на фотоплівці чи фотопапері, він переводиться в цифровий вигляд (сканується) з роздільною здатністю не гіршою 50 лін/мм (1200 dpi) з глибиною кольору не менш 24 біт для кольорових (колірносинтезованих) і 8 біт для півтонових знімків.

2.3. Оцифрований знімок завантажується в АВЛ програмного виробу ENVI [3 п. 3.1.1].

3. Проведення оцінки ймовірності вірного розпізнавання

Якщо знімок кольоровий, або колірносинтезований розраховуємо припустиму еквівалентну ймовірність вірного розпізнавання півтонового зображення:

$$P_{ер.півтон} = (P_{ер} - 0,15) / 0,85 \tag{11}$$

Для типових даних:

$$P_{ер.півтон} = (0,75 - 0,15) / 0,85 \approx 0,7.$$

3.1. Оцінка тонового контрасту.

Вимір гистограми [3 п. 3.2.3]. Гистограма вимірюється для всього вікна *Scroll*. Якщо гистограма суцільна, то I_{\max} , I_{\min} вимірюються як показано на рисунку 4. Точні значення отримуються за допомогою вертикальних ліній – вказівників обрізування гистограми (*Stretch*) внизу вікна початкової гистограми, або у вікнах значень *Stretch*.

Якщо гистограма має регулярні провали (тобто зображення штучно контрастувалося), виміряне значення I_{\max} потрібно зменшити на сумарну ширину провалів:

$$I_{\max} = I_{\max} - K\Delta, \tag{12}$$

де K – кількість провалів, Δ – ширина одного провалу (вимірюється у вікні початкової гистограми вказівниками обрізування гистограми *Stretch*).

Розрахунок тонового контрасту:

$$\Delta D = \lg(I_{\max} + 1) - \lg(I_{\min} + 1), \tag{13}$$

приклад: $I_{\max} = 200$; $I_{\min} = 50$. $\Delta D = 2,3 - 1,7 = 0,6$.

3.2. Розрахунок коефіцієнта форми B .

На знімку знаходиться визначений простий об’єкт розпізнавання і вимірюються радіуси вписаного r_o і описаного r_o кола, заданої визначальної деталі об’єкта, як показано на рисунку 2. Вимірюється периметр контуру визначальної деталі G_i – площа визначальної деталі S_o . Для вимірів можна використати інструменти виміру ENVI [3 п. 3.1.5]. Вимір краще вести в пікселях.

Розраховується середнє радіусів і коефіцієнт форми B відповідно до формули (8).

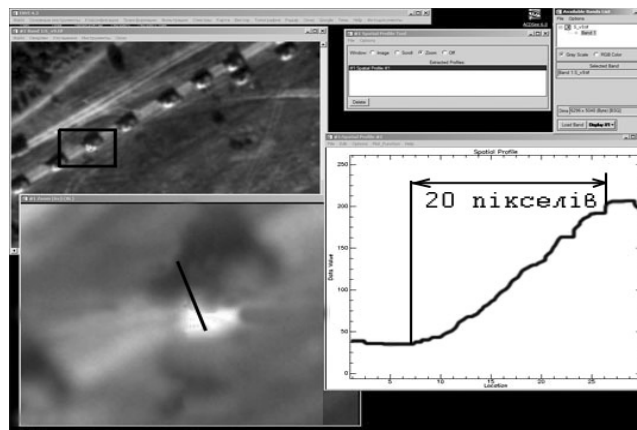


Рис. 5

3.3. Оцінювання детальності знімка.

Оцінюється довжина перехідної кривої $l_{\text{пер}}$. На знімку (краще на краях) шукається об’єкт, який має передбачувано різкий перехід «світло–тінь» («тінь будинку–дах», «борт судна–вода» та ін.). Вимір робиться перпендикулярно переходу в декількох місцях знімка. Для виміру доцільно використати інструмент *Image* – вікна ENVI «Профіли-Произвольный профиль» («Spatial Profile Tool») [3].

Виміри усереднюються та розраховується кількість довжин перехідної кривої, що вміщуються в розмір визначальної деталі об’єкта:

$$N = \frac{2r_o}{l_{\text{пер}}}. \tag{14}$$

3.4. Розраховується оцінка ймовірності вірного розпізнавання визначальної деталі заданого об’єкта для даного знімка P :

$$P = \exp\left\{-\left(\frac{1,4B}{N\sqrt{\Delta D}}\right)^2\right\}. \tag{15}$$

Якщо заданий об’єкт розпізнавання має декілька K визначальних деталей, тоді потрібно по графіку на рисунку 3 визначити коефіцієнт збільшення ймовірності правильного розпізнавання всього об’єкта C :

$$P_{\text{ер}} = CP. \tag{16}$$

Інакше, $C = 1$ та $P_{\text{ер}} = P$.

4. Оцінка коефіцієнта використання площі

Оцінити корисність використання площі знімка можна відносним показником – коефіцієнтом використання площі відповідно за формулою (1). Практично оцінити k_s можна, вимірюючи відповідні площі [3 п. 3.1.5].

5. Загальна оцінка якості знімка.

Якість Q може оцінюватися у відносних одиницях (діапазон зміни від 1 – «найкращий» до 0 – «непридатний»):

$$Q = P_{ep} k_s. \quad (17)$$

Можна додатково ввести бальну або вербальну шкалу.

Найпростіша оцінка: «Придатний–непридатний», робиться шляхом порівняння розрахованої за пунктом 3.4. методики P_{ep} з припустимої еквівалентної ймовірності вірного розпізнавання півтонового зображення $P_{ep,ніетон}$. Якщо $P_{ep} < P_{ep,ніетон}$ знімок вважається таким, що не задовольняє вимогам.

Якщо потрібно оцінити наскільки даний знімок задовольняє висунутим вимогам, слід надати йому відносну відсоткову оцінку, що розраховується за формулою:

$$Q_{\%} = \left(1 - \frac{P_{\text{дод.доді}} - P_{\text{дод}}}{P_{\text{дод.доді}}}\right) \cdot 100 \%. \quad (18)$$

Висновки. Отже, представлено теоретично обґрунтовану оригінальну методику, яку доцільно використовувати з метою дешифрування штучних об'єктів ДЗЗ. Дана методика заснована на оцінюванні фізичних параметрів знімка: детальності, контрасту, масштабу зображення об'єктів, корисної площі знімка та врахування складності об'єктів дешифрування. Оцінювання часткових параметрів знімка реалізовано на базі спеціального програмного комплексу ENVI. Методика пропонується для практичного використання в установах і організаціях, що користуються даними ДЗЗ.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Живичин А.Н. Дешифрирование фотографических изображений / А.Н. Живичин, В.С. Соколов. – М. : Недра, 1980. – 253 с.
2. Аковецкий В.И. Дешифрирование снимков : учебник / В.И. Аковецкий. – М. : Недра, 1983. – 373 с.
3. Программное изделие «Обработка изображений высокой разрешающей способности». Руководство пользователя. 25527406.00035-02 92 01. ГП «Днепрокосмос», 2003.
4. Болобан С.І. Дешифрування аерокосмічних знімків. Ч. 1 : навч. посібник / С.І. Болобан, О.Є. Горшенін. – Житомир : ЖВІ НАУ, 2009. – 292 с. : ил.
5. Болобан С.І. Дешифрування аерокосмічних знімків. Ч. 2 : навч. посібник / С.І. Болобан, О.Є. Горшенін. – Житомир : ЖВІ НАУ, 2009. – 328 с. : ил.
6. Основи побудови комплексів космічного видового спостереження : навч. посібник / О.Є. Горшенін, С.О. Кондратенко, О.Ф. Дубина, П.П. Топольницький ; за ред. О.Є. Горшеніна. – Житомир : ЖВІРЕ, 2007. – 384 с. : ил.
7. Цифрова обробка зображень та основи фотограмметрії : навч. посібник / О.Є. Горшенін, С.І. Болобан, О.Ф. Дубина, С.О. Кондратенко. – Житомир : ЖВІ НАУ, 2008. – 268 с.
8. Космические методы дистанционного зондирования Земли : учеб. пособие / А.Е. Горшенин, С.А. Кондратенко, Р.Н. Осадчук, А.М. Перегуда. – Житомир : ЖВІ НАУ, 2011. – 280 с. : ил.

ГОРШЕНИН Олександр Євгенович – кандидат технічних наук, професор кафедри геоінформаційних і космічних систем Житомирського військового інституту ім. С.П. Корольова Національного авіаційного університету.

Наукові інтереси:

– обробка даних космічних систем.

ПЕТРОЖАЛКО Володимир Володимирович – ад'юнкт очної ад'юнктури Житомирського військового інституту ім. С.П. Корольова Національного авіаційного університету.

Наукові інтереси:

– планування використання космічних систем.

ДУБИНА Олександр Федорович – кандидат технічних наук, начальник факультету Житомирського військового інституту ім. С.П. Корольова Національного авіаційного університету.

Наукові інтереси:

– моделювання процесів у складних технічних системах.

