

УДК 528.92

## КІЛЬКІСНА ОЦІНКА ІНТЕРПРЕТАЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ АЕРОКОСМІЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ СПОСОБОМ ДУАЛЬНОГО ШКАЛУВАННЯ

О. Дорожинський

Національний університет “Львівська політехніка”

**Ключові слова:** аерокосмічні зображення, інтерпретація знімків, експертна оцінка, дуальне шкалування.

### Постановка проблеми

Інтерпретаційні та дешифрувальні властивості аерознімків та космічних зображень можна розцінювати як інтегральний, сукупний якісний показник, спричинений дією багатьох чинників. Застосовуючи класичну схему кібернетичної тріади “вхід–процес–вихід”, можна структурувати шлях проходження сигналу від об’єкта (вхід), його опрацювання (процес) та отримання кінцевого результату (вихід) у вигляді відповіді на запитання “що є що?”. Результатом повинен бути розпізнаний на зображенні об’єкт та максимальна кількість його якісних показників.

Детальний кількісний аналіз впливу різних чинників на хід променя від об’єкта до реєстратора (плівка, ПЗЗ тощо) проводиться віддавна, і підтвердженням цього є великий перелік публікацій, що охоплюють майже сторічний період.

Натомість інтерпретація зображень розцінюється як якісний показник, а отримання інформації про об’єкт значною мірою залежить від кваліфікації виконавця-оператора, його фахової підготовки та досвіду.

На відміну від топографічного дешифрування, особливо гострою є ця проблема у тематичному картографуванні, коли оператор повинен мати спеціальну підготовку та пройти ефективний тренінг-процес. Отже, на якість кінцевої продукції істотно впливає людський чинник, вплив якого неможливо формалізувати.

### Невирішені частини загальної проблеми

Оскільки результатом інтерпретації зображень є якісні характеристики, постає питання кількісної оцінки отриманої на виході інформації.

У прикладній статистиці для розв’язання такої задачі рекомендується кілька різних підходів, в яких за основу беруть експертну оцінку досліджуваного процесу. Числові значення якісним змінним надають на основі опрацювання таблиць спряженості [1]. Доволі ефективним є так званий спосіб дуального шкалування, який дозволяє об’єктивно оцінити як якісні показники, так і рівень підготовки (кваліфікації) експертів – операторів. Важливим аргументом є те, що немає необхідності в застосуванні моделі розподілу вхідних даних. Отже, до невирішених питань належать формування математичних моделей оцінки якості інтерпретації зображень, визначення якісних характеристик об’єктів, що зобразились на знімках, та визначення шляхів розв’язання задач.

### Аналіз досліджень та публікацій, що стосуються вирішення цієї проблеми

В останні кілька десятиліть аерокосмічні знімальні системи почали широко застосовувати в різних галузях науки і практики. Висока точність геометрії зображень та їх якісних характеристик дають змогу отримувати повноцінну інформацію про досліджувані об’єкти. Опис таких знімальних систем подано в низці робіт, зокрема в працях [1, 2]

Методи інтерпретації аерокосмічних зображень розвивались по шляху від ручного опрацювання до автоматичного й описані в багатьох наукових працях. Щоб було зрозумілим, яким довгим є цей шлях, наведемо кілька публікацій [3–5].

Проте питанню, як оцінити якість інтерпретації аерокосмічних образів так, щоб ця оцінка була об’єктивною, не надавалось суттєвого значення. В практиці вважали (і вважають), що інтерпретація має бути безпомилковою. В реальності можемо спостерігати іншу картину. Тому пропонуємо використати відомі з математичної статистики математичні моделі, детально опрацьовані, доволі об’єктивні та ефективні [6, 7].

### Виклад основного матеріалу

Основним принципом опрацювання даних є принцип оптимізації кореляційного відношення  $\eta^2$ . Найвдалішим є виклад такого підходу в матричному формулюванні [6].

Використаємо його для оцінки інтерпретаційних властивостей космічних зображень, над якими здійснювалась операція поєднання панхроматичного, IR та RGB-каналів. Одне з таких рішень – “Pan – Sharpening”. Практичне завдання – оцінити якість конкретного поєднання каналів, що дасть змогу сформулювати рекомендації для широкого використання. Оскільки математичний апарат дуального шкалування практично не описаний в публікаціях з фотограмметрії та дистанційного зондування, подамо його основні положення та послідовну реалізацію.

Експерти-оператори проводять спостереження космічних зображень, отриманих у панхроматичному, RGB та IR каналах та у різних їх комбінаціях, застосовуючи методику покращення образів, наприклад: “Pan – Sharpening”. Для кожного каналу експерт виставляє оцінку (“добре, задовільно, або незадовільно”) залежно від його підходу до інтерпретаційних властивостей зображення. Результатом сукупного спостереження є матриця спряженості розміром  $m \times n$ , де  $m$  – кількість рядків (кількість досліджуваних каналів),  $n$  – кількість стовпчиків (в нашому випадку  $n = 3$ ) з оцінками “4”, “3”, “2”. Для зрозумілішого трактування подамо таблицю спряженості (табл. 1), в якій наведено оцінки десяти експертів.

Таблиця 1

**Результати експертних оцінок, об'єднаних у таблицю спряженості**

№ каналу	Оцінки експериментів			Сума
	“4”	“3”	“2”	
1	5	3	2	$q_1=10$
2	2	4	4	$q_2=10$
3	3	5	2	$q_3=10$
4	6	3	1	$q_4=10$
Сума	$r_1=16$	$r_2=15$	$r_3=9$	$S=40$

$$X_{m,n} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{11} & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & x_{1n} \\ x_{m1} & x_{m1} & x_{mn} \end{bmatrix}. \quad (1)$$

З табл. 1 отримаємо похідну табл. 2, яка називається “односторонньою таблицею дискретного аналізу”.

Таблиця 2

**Одностороння таблиця дискретного аналізу**

№ каналу	Оцінки	Разом
1	V1 V1 V1 V1 V1 V2 V2 V2 V3 V3	$5V1+3V2+2V3=q1$
2	V1 V1 V2 V2 V2 V2 V3 V3 V3 V3	$2V1+4V2+4V3=q2$
3	V1 V1 V1 V2 V2 V2 V2 V3 V3 V3	$3V1+5V2+2V3=q3$
4	V1 V1 V1 V1 V1 V1 V2 V2 V2 V3	$6V1+3V2+1V3=q4$
Всього $S=16V1+15V2+9V3=q1+q2+q3+q4$		

Числові значення оцінок  $V_1, V_2, V_3$  поки невідомі, будуть знайдені пізніше. Вони формують вираз:

$$\vec{V}_{3,1} = \begin{pmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \end{pmatrix}. \quad (2)$$

Допоміжні матриці є такими:

$$A_{m,1} = \begin{pmatrix} q_1 \\ q_2 \\ \vdots \\ q_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 10 \\ 10 \\ 10 \\ 10 \end{pmatrix}. \quad (3)$$

$$B_{n,1} = \begin{pmatrix} r_1 \\ r_2 \\ \vdots \\ r_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 16 \\ 15 \\ 15 \\ 19 \end{pmatrix}; \quad (4)$$

$$W_{m,m} = \begin{pmatrix} q_1 & & \\ & q_2 & \\ & & q_m \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 10 & 0 & 0 \\ 0 & 10 & 0 \\ 0 & 0 & 10 \end{pmatrix}; \quad (5)$$

$$V_{n,n} = \begin{pmatrix} r_1 & & \\ & r_2 & \\ & & r_m \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 16 & & \\ & 15 & \\ & & 9 \end{pmatrix}. \quad (6)$$

Загальна кількість спостережень  $S=40$ .

Основним предметом для оцінки експерименту є кореляційне відношення  $\eta^2$ , яке обчислюють за формулою:

$$\eta^2 = \text{СК}_m / \text{СК}_{\text{вн}} \quad (7)$$

де  $\text{СК}_m$  – сума квадратів відхилень між каналами;  $\text{СК}_{\text{вн}}$  – сума квадратів відхилень всередині каналів;  $\text{СК}_n$  – повна сума квадратів відхилень.

$$\text{Оскільки } \text{СК}_n = \text{СК}_m + \text{СК}_{\text{вн}}, \quad (8)$$

то кореляційне відношення може змінюватися в границях:

$$0 \leq \eta^2 \leq 1, \quad (9)$$

Для отримання однозначного розв'язання приймаємо

$$\sum V_i = 0; V_1 > 0, \text{СК}_n = 40. \quad (10)$$

За цих позначень маємо:

$$\eta^2 = \vec{V}' X' W^{-1} X \vec{V} / \vec{V}' V \vec{V} \quad (11)$$

за умови:

$$B' \vec{V} = \vec{V}' B \quad (12)$$

$$\vec{V}' V \vec{V} = S, \quad (S=40). \quad (13)$$

Відшукують естремум величини  $\eta^2$  класичним способом: знаходять частинні похідні – функція (14) з множниками Лагранжа:  $\lambda_1, \lambda_2$ :

$$Q(\vec{V}) = \vec{V}' X' W^{-1} X \vec{V} - \lambda_1 (\vec{V}' V \vec{V} - S) - \lambda_2 \vec{V}' B \quad (14)$$

прирівнюють їх до нуля і отримують відповідну систему рівнянь.

Опускаючи проміжні викладки, подібні до описаних у [6], отримуємо остаточно:

$$(C - \eta^2 E) \vec{V} = 0, \quad (15)$$

$$C = R - V^{1/2} E_n E_n' V^{1/2} / S, \quad (16)$$

$$R = V^{1/2} X' W^{-1} X V^{1/2}, \quad (17)$$

$$\vec{V} = V^{1/2} \vec{V}. \quad (18)$$

Обчислювальна процедура ускладнюється тим, що шукана величина  $\eta^2$  є максимальним числом (важливо: другим по порядку після 1) і відповідного йому власного вектора (15).

Рівняння (15) згідно з теорією розв'язання нормальної однорідної системи [8] має нетривіальний розв'язок за умови, що визначник матриці  $(C - \eta^2 E)$  дорівнює нулю:

$$\Delta(\eta^2) = \begin{bmatrix} \eta^2 - c_{11} & c_{12} & c_{1n} \\ c_{21} & \lambda^2 - c_{22} & c_{2n} \\ c_{n1} & c_{n2} & \eta^2 - c_{nn} \end{bmatrix}. \quad (19)$$

Оскільки порядок матриці  $C$  дорівнює  $n$ , то  $\Delta(\eta^2)$  буде многочленом  $n$ -го ступеня відносно  $\eta^2$ :

$$\Delta(\eta^2) = \Delta(\eta^2)^n + a_1 \Delta(\eta^2)^{n-1} + \dots + a_{n-1} (\eta^2) + a_n = 0. \quad (20)$$

Нулі цього многочлена будуть коренями рівняння (20) і дадуть значення

$$(\eta^2)_1, (\eta^2)_2, \dots, (\eta^2)_n, \quad (21)$$

Значимо що матрицю  $(C - \eta^2 E)$  називають характеристичною матрицею. Рівняння

$$\Delta(\eta^2) = |C - \eta^2 E| = 0 \quad (22)$$

є характеристичним рівнянням, а корені  $(\eta^2)_1, (\eta^2)_2, \dots, (\eta^2)_n$  – характеристичними (власними) значеннями.

Тоді з (15) можна отримати вектори  $\bar{V}_1, \bar{V}_2, \dots, \bar{V}_n$  – власні вектори матриці  $C$ .

Знаючи вектор  $\bar{V}$ , з (18) отримують вектор  $\tilde{V}$ . Отже, розв'язана перша частина задачі: оцінки “добре”, “задовільно”, “незадовільно” отримали числові характеристики. В нашому випадку це  $V_1, V_2, V_3$ .

Для оцінки якостей інтерпретаційних властивостей кожного каналу обчислимо  $\omega_1, \omega_2, \dots$ . У нашому випадку:

$$\begin{aligned} \omega_1 &= (5V_1 + 3V_2 + 2V_3) / 10 \\ \omega_2 &= (2V_1 + 4V_2 + 4V_3) / 10 \\ \omega_3 &= (3V_1 + 5V_2 + 2V_3) / 10 \\ \omega_4 &= (6V_1 + 3V_2 + 1V_3) / 10. \end{aligned} \quad (23)$$

Така кількісна оцінка є оцінкою в балах інтерпретаційних можливостей кожного каналу, а їх порівняння дозволить дати певні рекомендації для практики.

Окрім цього, можна оцінити кваліфікацію експертів на основі відхилень їх оцінок від оптимізованого рішення.

### Висновок

Спосіб дуального шкалування дає змогу виконати кількісну оцінку якості інтерпретаційних властивостей зображень, що є певним позитивним кроком у подоланні суб'єктивної оцінки таких властивостей. Цей підхід дозволяє одночасно оцінити якість інтерпретаційних властивостей синтезованих зображень і кваліфікацію експертів-операторів. Практична реалізація способу потребує відповідного програмного забезпечення, з повноцінним використанням наявних пакетів.

### Література

1. Kurczynski Z. Lotnicze i satelitarne obrazowanie Ziemi / Kurczynski Z. // Oficyna Wydawnictwa Politechniki Warszawskiej. – Warszawa, 2006. – S. 582.
2. Бурштинська Х. Аерокосмічні знімальні системи / Бурштинська Х., Станкевич С. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2010. – С. 288.
3. Лобанов А. Аерофототопографія / Лобанов А. – Москва: Недра, 1971. – С. 558.
4. Шлихт Г. Цифровая обработка цветных изображений / Шлихт Г. – М.: ЕКОММ, 1997. – С. 336.
5. Butowtt J. Fotogrametria / Butowtt J., Kurczynski R. – Warszawa: Wojskowa Akademia Techniczna, 2010. – S. 280.
6. Айвазян С. Прикладная статистика. Исследование зависимостей / Айвазян С., Енюков И., Мешалкин Л. – М.: Финанси и кредит, 1985. – С. 487.
7. Lingoes J. C. Geometric Representation of Relation Data / Lingoes J. C. // Readings in Multidimensional Scaling Ann. Arbor: Mathesis Press, 1977. – S. 165.

8. Бахвалов Н. Численные методы / Бахвалов Н. – Ч. 1. – Москва: Наука, 1975. – С. 631.

### Кількісна оцінка інтерпретаційних властивостей аерокосмічних зображень способом дуального шкалування

О. Дорожинський

Запропоновано оцінку інтерпретаційних властивостей космічних зображень, над якими здійснювалась операція поєднання панхроматичного та мультиканалів, виконувати на основі експертних оцінок. Для опрацювання цих даних рекомендована математична модель дуального шкалування, детально опрацьована в теорії дослідження залежностей.

Подано постановку задачі та покрокове її розв'язання. Вказано, що спосіб дуального шкалування дає змогу одночасно оцінити якість інтерпретаційних властивостей синтезованих зображень і кваліфікацію експертів-операторів. Практична реалізація способу потребує відповідного програмного забезпечення, з повноцінним використанням наявних пакетів.

### Количественная оценка интерпретационных свойств аэрокосмических изображений способом дуального шкалирования

А. Дорожинский

Предложено оценку интерпретационных свойств космических изображений, над которыми осуществлена операция объединения панхроматического и мультиканалов, выполнять на базе экспертных оценок. Для обработки этих данных рекомендована математическая модель дуального шкалирования, детально разработанная в теории исследования зависимостей.

В работе описана постановка задачи и поэтапное ее решение. Отмечено, что способ дуального шкалирования позволяет одновременно оценить качество интерпретационных свойств синтезированных изображений и квалификацию экспертов-операторов. Практическая реализация способа требует создания программного обеспечения с полноценным использованием существующих пакетов.

### Quantification of aerospace image properties interpretation method dual scaling

O. Dorozhynskyy

An assessment of interpretational properties of space images on which surgery was performed combining panchromatic and multichannel, perform on the basis of expert opinion. To process these data mathematical model recommended dual scaling, detailed study in the theory of dependency.

The paper submitted statement of the problem and its solution of step by step. Indicated that dual scaling method can simultaneously assess the quality of the synthesized image properties interpretational skills and expert operators. Practical implementation of the method requires appropriate software, with full use of the existing packages.