

Винахід відноситься до галузі дешифрування зображень об'єктів дистанційного спостереження за аерознімками, одержаними у різних зонах електромагнітного спектра, передбачає застосування оптичного приладу синтезу та може бути використаний в системах обробки матеріалів аерокосмічного моніторингу.

Відомий спосіб комплексного дешифрування зональних аерознімків з використанням кольорового синтезування, який включає такі операції: встановлювання зональних аерознімків (аеронегативів) у знімкотримач приладу синтезу; сполучення зональних зображень на проглядовому екрані приладу синтезу; довільне регулювання складу кольорових та нейтральних світлофільтрів в кожному проєкційному каналі приладу синтезу до завершення синтезування кольорового (псевдокольорового) зображення; візуальне виявлення та розпізнавання об'єктів дистанційного спостереження на синтезованому зображенні [1].

Недоліком даного способу є великі витрати часу, потрібні для настроєння оптичного приладу до отримання кольоровосинтезованого зображення задовільної якості, а також невисока імовірність та оперативність виявлення об'єкта дистанційного спостереження на синтезованому зображенні внаслідок практичної неможливості забезпечення досягнення максимальної величини кольорової відміни між об'єктом та фоном.

В основу винаходу поставлено задачу підвищення вірогідності та скорочення часу виявлення об'єктів дистанційного спостереження на кольоровосинтезованому зображенні.

Поставлена задача вирішується тим, що в спосіб комплексного дешифрування зональних аерознімків з використанням кольорового синтезування, який включає встановлювання зональних аерознімків у знімкотримач приладу синтезу, сполучення зональних зображень на проглядовому екрані приладу синтезу, довільне регулювання складу кольорових та нейтральних світлофільтрів в кожному проєкційному каналі приладу синтезу до завершення синтезування кольорового (псевдокольорового) зображення, візуальне виявлення та розпізнавання об'єктів дистанційного спостереження на синтезованому зображенні згідно винаходу введені операції:

1) попереднього розрахунку параметрів оптимального регулювання кожного проєкційного каналу оптичного приладу синтезу за відомими спектральними характеристиками оптичного відбиття (випромінювання) об'єктів дистанційного спостереження і фонів;

2) настроєння складу кольорових та нейтральних світлофільтрів в кожному проєкційному каналі оптичного приладу синтезу згідно з результатами попередніх розрахунків для забезпечення максимально можливої кольорової відміни між об'єктом та фоном на синтезованому зображенні;

3) розрахунок за параметрами регулювання оптичного приладу синтезу кольорових координат об'єкта дистанційного спостереження на синтезованому зображенні та надання оператору-дешифрувальнику зразка розрахункового кольору для полегшення виявлення об'єкта на синтезованому зображенні, які забезпечують скорочення часових витрат на кольорове синтезування за рахунок виключення перебору неоптимальних параметрів регулювання в процесі настроєння приладу синтезу, зменшення тривалості та підвищення вірогідності виявлення об'єктів дистанційного спостереження за рахунок збільшування кольорової відміни між об'єктом і фоном на синтезованому зображенні.

Оптичне пропускання зображення об'єкта  $\tau_{об}$  і фону  $\tau_{ф}$  на аерознімку, одержаному багатоспектральною фотографічною апаратурою, може бути визначене за співвідношеннями [2]:

$$\tau_{об} = \left[ \frac{1}{4} t_e \bar{O}^2 \cos^4 \beta_s \int_{\Delta\lambda} S_{\lambda} E_o(\lambda) \times \right. \\ \left. \times \tau_o(\lambda) \rho_{об}(\lambda) d\lambda \right]^{-\gamma_{ф}} \quad (1)$$

$$\tau_{ф} = \left[ \frac{1}{4} t_e \bar{O}^2 \cos^4 \beta_s \int_{\Delta\lambda} S_{\lambda} E_o(\lambda) \times \right. \\ \left. \times \tau_o(\lambda) \rho_{ф}(\lambda) d\lambda \right]^{-\gamma_{ф}}.$$

де  $\tau_{ф}$  - коефіцієнт контрастності аерофотоплівки;  $t_e$  - ефективний час експонування, с;  $\bar{O}$  - відносний отвір об'єктива;  $\beta_s$  - кут візування, рад;  $S_{\lambda}$  - спектральна чутливість аерофотоплівки, Дж/м<sup>2</sup>;  $E_o(\lambda)$  - спектральна освітленість аероландшафту, Вт/м<sup>2</sup>;  $\tau_o(\lambda)$  - спектральний розподіл добутку значень спектральних коефіцієнтів пропускання оптичної системи і атмосфери;  $\rho_{об}(\lambda)$ ,  $\rho_{ф}(\lambda)$  - спектральні коефіцієнти відбиття об'єкта і фону;  $\Delta\lambda$  - спектральний діапазон роботи апаратури. Схожі вирази можна записати для скануючої апаратури дистанційного спостереження ультрафіолетового, видимого, інфрачервоного та мікрохвильового діапазонів [3, 4].

Кольорові координати об'єкта  $\{X_{obj} Y_{obj} Z_{obj}\}$  та фону  $\{X_{ф} Y_{ф} Z_{ф}\}$ , сформовані j-им проєкційним каналом на проглядовому екрані оптичного приладу синтезу можуть бути розраховані з використанням стандартних колориметричних формул [5]

$$\begin{aligned}
X_{o6j}=100 &= \frac{\int_{x(\lambda)>0} \Phi_{nj}(\lambda) \tau_{nj} \tau_{kj}(\lambda) \tau_{o6j} \bar{X}(\lambda) d\lambda}{\int_{y(\lambda)>0} \Phi_{nj}(\lambda) \bar{Y}(\lambda) d\lambda} ; \\
Y_{o6j}=100 &= \frac{\int_{y(\lambda)>0} \Phi_{nj}(\lambda) \tau_{nj} \tau_{kj}(\lambda) \tau_{o6j} \bar{Y}(\lambda) d\lambda}{\int_{y(\lambda)>0} \Phi_{nj}(\lambda) \bar{Y}(\lambda) d\lambda} ; \\
Z_{o6j}=100 &= \frac{\int_{z(\lambda)>0} \Phi_{nj}(\lambda) \tau_{nj} \tau_{kj}(\lambda) \tau_{o6j} \bar{Z}(\lambda) d\lambda}{\int_{y(\lambda)>0} \Phi_{nj}(\lambda) \bar{Y}(\lambda) d\lambda} ;
\end{aligned} \tag{2}$$

та

$$\begin{aligned}
X_{\phi j}=100 &= \frac{\int_{x(\lambda)>0} \Phi_{nj}(\lambda) \tau_{nj} \tau_{kj}(\lambda) \tau_{\phi j} \bar{X}(\lambda) d\lambda}{\int_{y(\lambda)>0} \Phi_{nj}(\lambda) \bar{Y}(\lambda) d\lambda} ; \\
Y_{\phi j}=100 &= \frac{\int_{y(\lambda)>0} \Phi_{nj}(\lambda) \tau_{nj} \tau_{kj}(\lambda) \tau_{\phi j} \bar{Y}(\lambda) d\lambda}{\int_{y(\lambda)>0} \Phi_{nj}(\lambda) \bar{Y}(\lambda) d\lambda} ; \\
Z_{\phi j}=100 &= \frac{\int_{z(\lambda)>0} \Phi_{nj}(\lambda) \tau_{nj} \tau_{kj}(\lambda) \tau_{\phi j} \bar{Z}(\lambda) d\lambda}{\int_{y(\lambda)>0} \Phi_{nj}(\lambda) \bar{Y}(\lambda) d\lambda} .
\end{aligned} \tag{3}$$

де  $\Phi_{nj}(\lambda)$  - спектральний розподіл оптичного потоку джерела підсвітлювання  $j$ -го проекційного каналу,  $\tau_{nj}$  - коефіцієнт пропускання нейтрального світлофільтру,  $\tau_{kj}(\lambda)$  - спектральний розподіл оптичного пропускання кольорового світлофільтру,  $\tau_{o6j}$  і  $\tau_{\phi j}$  - коефіцієнти пропускання відповідно об'єкта та фону зонального аерознімки в  $j$ -му проекційному каналі,  $\bar{x}(\lambda), \bar{y}(\lambda), \bar{z}(\lambda)$  - криві додавання колориметричної системи CIE XYZ 1931.

Для системи із  $m$  проекційних каналів оптичного приладу синтезу, вважаючи спектральний розподіл оптичного потоку для усіх їх однаковим  $\Phi_n(\lambda)$ , можна визначити кольори об'єкта  $\{X_{o6} Y_{o6} Z_{o6}\}$  і фону  $\{X_{\phi} Y_{\phi} Z_{\phi}\}$  на синтезованому зображенні [6]:

$$X_{об} = 100 \frac{\int_{x(\lambda) > 0} \Phi_n(\lambda) W_{об}(\lambda) \bar{X}(\lambda) d\lambda}{\int_{y(\lambda) > 0} \Phi_n(\lambda) \bar{Y}(\lambda) d\lambda};$$

$$Y_{об} = 100 \frac{\int_{y(\lambda) > 0} \Phi_n(\lambda) W_{об}(\lambda) \bar{Y}(\lambda) d\lambda}{\int_{y(\lambda) > 0} \Phi_n(\lambda) \bar{Y}(\lambda) d\lambda}; \quad (4)$$

$$Z_{об} = 100 \frac{\int_{z(\lambda) > 0} \Phi_n(\lambda) W_{об}(\lambda) \bar{Z}(\lambda) d\lambda}{\int_{y(\lambda) > 0} \Phi_n(\lambda) \bar{Y}(\lambda) d\lambda};$$

$$X_{\phi} = 100 \frac{\int_{x(\lambda) > 0} \Phi_n(\lambda) W_{\phi}(\lambda) \bar{X}(\lambda) d\lambda}{\int_{y(\lambda) > 0} \Phi_n(\lambda) \bar{Y}(\lambda) d\lambda};$$

$$Y_{\phi} = 100 \frac{\int_{y(\lambda) > 0} \Phi_n(\lambda) W_{\phi}(\lambda) \bar{Y}(\lambda) d\lambda}{\int_{y(\lambda) > 0} \Phi_n(\lambda) \bar{Y}(\lambda) d\lambda}; \quad (5)$$

$$Z_{\phi} = 100 \frac{\int_{z(\lambda) > 0} \Phi_n(\lambda) W_{\phi}(\lambda) \bar{Z}(\lambda) d\lambda}{\int_{y(\lambda) > 0} \Phi_n(\lambda) \bar{Y}(\lambda) d\lambda};$$

де

$$W_{об}(\lambda) = \sum_{j=1}^m \tau_{nj} \tau_{kj}(\lambda) \tau_{oj}; \quad (6)$$

$$W_{\phi}(\lambda) = \sum_{j=1}^m \tau_{nj} \tau_{kj}(\lambda) \tau_{\phi j};$$

спектральні коефіцієнти синтезування зображень об'єкта і фону відповідно.

Для оцінки кольорового контрасту використовується стандартна міжнародна рівноконтрастна колориметрична система CIE LAB 1994 [7]. В такій системі кількість порогів кольорової відміни  $\Delta E$  визначається як

$$\Delta E = \sqrt{\left(\frac{\Delta L}{W_L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C}{W_C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H}{W_H}\right)^2}. \quad (7)$$

де  $\Delta L = L_{об} - L_{\phi}$  - яскравісна відміна між об'єктом і фоном  $\Delta C = C_{об} - C_{\phi}$  - відміна за колірністю між об'єктом і фоном,  $\Delta H = H_{об} - H_{\phi}$  - відміна за насиченістю між об'єктом і фоном,  $W_L, W_C, W_H$  - відповідні вагові коефіцієнти. Величини  $L, C, H$  розраховуються згідно з такими формулами:

$$L_{об} = 116 \sqrt[3]{\frac{Y_{об}}{Y_H}} - 16, \quad (8)$$

$$L_{\phi} = 116 \sqrt[3]{\frac{Y_{\phi}}{Y_H}} - 16,$$

$$C_{об}^2 = A_{об}^2 + B_{об}^2, \quad (9)$$

$$C_{\phi}^2 = A_{\phi}^2 + B_{\phi}^2,$$

$$\Delta H^2 = 2(C_{об}C_{\phi} - A_{об}A_{\phi} - B_{об}B_{\phi}). \quad (10)$$

де  $A_{об}, B_{об}$  і  $A_{\phi}, B_{\phi}$  - допоміжні величини, які визначаються таким чином:

$$A_{об} = 500 \left( \sqrt[3]{\frac{X_{об}}{X_H}} - \sqrt[3]{\frac{Y_{об}}{Y_H}} \right); \quad (11)$$

$$A_{\phi} = 500 \left( \sqrt[3]{\frac{X_{\phi}}{X_H}} - \sqrt[3]{\frac{Y_{\phi}}{Y_H}} \right),$$

$$B_{об} = 200 \left( \sqrt[3]{\frac{Y_{об}}{Y_H}} - \sqrt[3]{\frac{Z_{об}}{Z_H}} \right)$$

(12)

$$B_{\phi} = 200 \left( \sqrt[3]{\frac{Y_{\phi}}{Y_H}} - \sqrt[3]{\frac{Z_{\phi}}{Z_H}} \right),$$

де  $\{X_H Y_H Z_H\}$  - кольорові координати нейтрально-білого кольору в колориметричній системі XYZ. Наприклад, для стандартного колориметричного джерела підсвітлювання D65 [6]  $X_H = 95,0448$ ,  $Y_H = 100,00$ ,  $Z_H = 108,8918$ .

Стандартна колориметрична система CIE LAB 1994 рекомендує такі значення вагових коефіцієнтів в формулі [7]:

$$W_L = 1,00; \\ W_C = 1 + 0,045 \sqrt{C_{об} C_{\phi}}; \quad (13)$$

$$W_H = 1 + 0,015 \sqrt{C_{об} C_{\phi}}.$$

Співвідношення (1) - (13) дозволяють розрахувати кольорову відміну об'єкта від фону для усіх комбінацій параметрів регулювання оптичного приладу синтезу, обрати ті, що відповідають її максимуму та визначити колір об'єкта дистанційного спостереження на синтезованому зображенні.

Збільшення кольорового контрасту синтезованого зображення приводить не тільки до полегшення його дешифрування, а й підвищення імовірності правильного дешифрування  $P_d$  та скорочення часу пошуку об'єкта. Імовірність  $P_d$  можливо оцінити за формулою [8]

$$P_d = P_0 \left[ 1 - \exp\left(-k \Delta E \frac{\Omega_0}{\Omega} \Delta t\right) \right], \quad (14)$$

де  $P_0$  - імовірність правильного розпізнавання об'єкта, яка може бути розрахована, наприклад, згідно із спрощеною формулою Живичина [7],  $\Omega_0/\Omega$  - відносна кутова площа зображення об'єкта,  $\Delta t$  - загальний час пошуку об'єкта на зображенні,  $k$  - коефіцієнт пропорційності.

Як слідує із співвідношення (14), при фіксованій завданій імовірності  $P_d^* = \text{const}$  потрібний час пошуку об'єкта на синтезованому зображенні є обернено пропорційним величині кольорової відміни:

$$\Delta t = \frac{-\ln\left(1 - \frac{P_d^*}{P_0}\right)}{k \Delta E \frac{\Omega_0}{\Omega}}. \quad (15)$$

Таким чином, завдяки реалізації в пропонуємому способі ознак, як) відрізняються від прототипу, час дешифрування об'єктів дистанційного спостереження скорочується, зменшуються трудовитрати і знижується стомлення оператора-дешифрувальника. Як показали результати експериментальних дешифрувань аерознімків чотиризональної фотографічної апаратури дистанційного спостереження, одержаних в спектральних діапазонах від 0,4 мкм до 0,9 мкм, імовірність правильного дешифрування кольоровосинтезованих зображень складає майже у 2 рази більшу величину при оптимальному визначенні параметрів регулювання оптичного приладу синтезу порівняно з традиційною методикою. При цьому загальний час виявлення об'єктів дистанційного спостереження при використанні пропонуємого способу зменшується, в середньому, у 3,44 рази.