

УДК 004.932

*Худов Геннадій Володимирович¹ (докт. техн. наук, професор)**Худов Владислав Геннадійович²**Хижняк Ірина Анатоліївна¹**Новікова Ірина Вікторівна³*¹*Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків, Україна*²*Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна*³*Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, Київ, Україна*

ОЦІНКА ВІДСТАНІ КУЛЬБАКА-ЛЕЙБНЕРА ПРИ ТЕМАТИЧНОМУ СЕГМЕНТУВАННІ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОГО ЗОБРАЖЕННЯ МЕТОДОМ КАННІ

Результат дешифрування зображень, що отримані з бортових систем оптико-електронного спостереження, залежить від якості сегментування зображень, особливо з урахуванням особливостей їх отримання (різнорідний фон, варіабельність різних частин зображення, наявність шумів). Проаналізовані основні методики, критерії і показники сегментування зображень, їх переваги та недоліки. Запропоновано провести оцінку інформаційного показника (відстані Кульбака-Лейбнера) тематичного сегментування оптико-електронного зображення методом Канні. Проведено аналіз основних етапів методу Канні: згладжування, пошук градієнту, придушення хибних максимумів, подвійна порогова фільтрація, трасування області невизначеності. Наведено результат сегментування оптико-електронного зображення методом Канні, проведено розрахунок відстані Кульбака-Лейбнера на її залежність від масштабного коефіцієнта вихідного зображення.

Ключові слова: дешифрування, об'єкт; космічний апарат; оптико-електронне зображення; обробка; сегментування; показник ефективності; відстань Кульбака-Лейбнера; метод Канні; згладжування; фільтрація; інформаційний показник; піксель.

Вступ

В сучасних умовах ведення мережецентричних, гібридних війн, антитерористичної операції на території Донецької та Луганської областей близько 80% розвідувальних завдань, 60% завдань по забезпеченню охорони та 50% завдань по забезпеченню вогневого ураження вирішується за допомогою інформації, що отримується з бортових систем спостереження (безпілотні літальні апарати, космічні системи спостереження) [1, 2].

Ефективність дешифрування інформації, що отримана з бортових систем спостереження, може бути представлена чотирма категоріями [3]:

- «А» - впевнена дешифрування без використання додаткових матеріалів;
- «В» - дешифрування можливе камеральним способом при використанні додаткових матеріалів;
- «С» - дешифрування можливе лише з використанням польового дослідження»
- «D» - дешифрування неможливо.

В таблиці 1 наведені зведені результати можливості дешифрування об'єктів по оптико-електронним зображенням, що отримані з космічних апаратів (КА) Pleiades, WorldView та при виконанні аерофотозйомки з використанням камери VisionMap A3 [3]. Проаналізовано 236 об'єктів наступних типів:

- рельєф суші;
- гідрографія;
- населені пункти;
- соціально-економічні об'єкти;
- дорожні мережі та дорожні споруди;

- рослинний покрив та ґрунти.

Таблиця 1

Зведені результати можливості дешифрування
об'єктів

Тип вихідних даних	Кількість об'єктів			
	A	B	C	D
КА Pleiades	103	92	21	20
КА WorldView	106	90	19	21
Камера Vision A3	126	78	16	16

З аналізу результатів, наведених в табл. 1, видно, що для трохи менше половини об'єктів дешифруються впевнено (категорія «А»), приблизно 10% об'єктів дешифрувати неможливо (категорія «D») та приблизно 50% об'єктів можуть бути дешифровані за допомогою додаткових матеріалів. При наявності навіть додаткових матеріалів складнощі виникають при вирішенні завдання дешифрування різних типів об'єктів, що мають невеликі розміри, точкових та малопротяжних об'єктів та об'єктів.

Результат дешифрування зображень, що отримані з бортових систем оптико-електронного спостереження, залежить від якості сегментування зображень, особливо з урахуванням особливостей їх отримання (різнорідний фон, варіабельність різних частин зображення, наявність шумів) [4]. При використанні відомих методів сегментування зображення не завжди вдається забезпечити стійкість методів сегментування до варіацій різних параметрів зображення (топологічних, геометричних,

фотометричних).

Постановка проблеми. Проведемо сегментування оптико-електронного зображення, що отримане з бортової системи оптико-електронного спостереження. У якості методу сегментування оберемо метод Канні [5]. Метод виділення контурів Канні є оптимальним по наступним параметрам [5]:

- критерію виділення контурів – метод повинен виділяти як можна більше існуючих на зображенні границь;

- локалізації країв – контури, що виділені, повинні розташовуватися як можна ближче до границі на зображенні;

- мінімізації кількості відкликів одного краю – кожен контур повинен відмічатися один раз і, якщо можливо, контури не повинні створюватися з причини шумів.

У якості показника ефективності сегментування оберемо інформаційний показник – відстань Кульбака-Лейбнера [6, 7].

Аналіз остатніх досліджень і публікацій. Відомо [8, 9], що основні методики сегментування зображень поділяються на:

1. Суб'єктивні.
2. Об'єктивні.
 - 2.1. Системні.
 - 2.2. Прямі.
 - 2.2.1. Аналітичні.
 - 2.2.2. Емпіричні.

- 2.2.2.1. Контрольовані.
- 2.2.2.2. Неконтрольовані (автоматичні).

Одним з ключових елементів методики порівняльного тестування є критерій оцінки якості сегментування зображення. На теперішній час основні критерії і показники розроблені для двох основних підходів до сегментування зображення [8, 10, 11]:

1) розділення зображення контурами на області зі схожими характеристиками (в англійській термінології – edge-based methods (boundary-based, contour-based));

2) об'єднання пікселів зображення в групи на основі близькості деяких кількісних ознак (region-based methods).

Для оцінки результатів роботи методів першої групи використовуються, в основному критерії і показники такі ж самі, що і для детекторів границь (такі показники наведені в [8, 9]). Критерії оцінки якості методів сегментування зображення, що відносяться до другої групи наведені в [9].

Основними ознаками якісного сегментування є [8, 9-11]:

- однорідність області по характеристикам (в першу чергу, по кольору та текстурі);
- відмінність значень обраних характеристик для суміжних областей зображення;
- гладкість границь кожного сегменту зображення;
- незначна кількість «дірок» у сегменті.

По відповідності указаним ознакам і класифікуються відомі показники якості

сегментування зображення [8].

1. Перша група – це показники, які засновані на порівнянні з еталонним сегментуванням.

1.1. Кількість пікселів, що віднесені при сегментуванні не до свого сегменту. Оцінюється шляхом побудови матриці неточності (таблиця 2) [8]. Стовбці матриці відповідають класу, до якого пікселі дійсно належать, а строки – класу, до якого пікселі віднесені при сегментуванні. Таким чином, правильно класифіковані пікселі відносяться до елементів матриці, що знаходяться на головній діагоналі, неправильно класифіковані – до всіх інших елементів матриці [8].

Таблиця 2

Приклад матриці неточності [8]

	BK	PA	RD	CY	NU	Total
BK	909	2		2		913
PA						
RD			111	10		121
CY	37	3	67	802	1	910
NU				87	419	506
Total	946	5	178	901	420	

Показники, що використовуються при цьому, наступні. Перший – процентне відношення неправильно класифікованих пікселів даного k-го класу до загальної кількості пікселів цього класу на еталонному зображенні (вираз (1)):

$$M_1^k = 100 \frac{\sum_{i=1}^n C_{ik} - C_{kk}}{\sum_{i=1}^n C_{ik}}, \quad (1)$$

де n - кількість класів;

C_{kk} - кількість правильно класифікованих пікселів k-го класу;

$\sum_{i=1}^n C_{ik}$ - кількість пікселів, що дійсно належать до k-го класу.

Другий показник – це процентне відношення пікселів, що помилково віднесені до k-го класу до загальної кількості пікселів других класів на еталонному зображенні (вираз (2)):

$$M_2^k = 100 \frac{\sum_{i=1}^n C_{ki} - C_{kk}}{\sum_{i=1, i \neq k}^n \sum_{l=1}^n C_{il}}, \quad (2)$$

де $\sum_{i=1}^n C_{ki}$ - кількість пікселів, що віднесені до k-го класу;

$\sum_{i=1, i \neq k}^n \sum_{l=1}^n C_{il}$ - загальна кількість пікселів на зображенні k-го класу;

C_{kk} - кількість правильно класифікованих пікселів k-го класу;

$\sum_{i=1}^n C_{ik}$ - кількість пікселів, що дійсно належать до k -го класу.

Третій показник – імовірність помилки сегментування $p(erg)$. Імовірність того, що піксель вихідного зображення буде віднесений на сегментованому зображенні до об'єкту $P_s(o)$ може бути представлена виразом (3):

$$P_s(o) = p(o)p(o/o) + p(b)p(o/b), \quad (3)$$

де $p(o)$, $p(b)$ - імовірності того, що випадковим образом обраний піксель вихідного зображення належить об'єкту або фону, при цьому $p(o) + p(b) = 1$;

$p(o/o)$ - імовірність того, що піксель, що належить об'єкту, при сегментуванні також буде віднесений до об'єкту;

$p(o/b)$ - імовірність того, що піксель, що належить фону, при сегментуванні буде помилково віднесений до об'єкту.

Імовірність того, що піксель вихідного зображення буде віднесений на сегментованому зображенні до фону $P_s(b)$ може бути представлена виразом (4):

$$P_s(b) = p(b)p(b/b) + p(o)p(b/o), \quad (4)$$

де $p(b/b)$ - імовірність того, що піксель, що належить фону, при сегментуванні також буде віднесений до фону;

$p(b/o)$ - імовірність того, що піксель, що належить об'єкту, при сегментуванні буде помилково віднесений до фону.

Імовірність $p(erg)$ визначається виразом (5):

$$p(erg) = p(o)p(b/o) + p(b)p(o/b). \quad (5)$$

В роботі [11] наведено ще декілька узагальнень показника (5) на випадок довільної кількості сегментів.

1.2. Показники, що характеризують неправильне місце розташування класифікованих пікселів. Перший показник - e (вираз (6)):

$$e = \frac{\sum_{i=1}^N d_i^2}{A} \times 100, \quad (6)$$

де N - кількість помилково класифікованих пікселів;

A - загальна кількість пікселів на зображенні;

d_i - евклідова відстань між i -им помилково класифікованим пікселем, що дійсно відноситься до даного класу.

Інтервал значень, що приймає e : від 0 (при ідеальному сегментуванні) до e_{max} , яке залежить від розмірності зображення n , та розраховується для квадратного зображення розміром $(n \times n)$ за виразом (7):

$$e_{max} = \begin{cases} 100 \sqrt{\frac{7}{6} - \frac{3}{2n} + \frac{1}{3n^2}}, & \text{якщо } n - \text{чїтне} \\ 100 \sqrt{\frac{7}{6} - \frac{3}{2n} - \frac{1}{6n^2} + \frac{1}{2n^2}}, & \text{якщо } n - \text{нечїтне.} \end{cases} \quad (7)$$

Другий показник – FOM (figure of merit) [11] – емпірична відстань даного пікселя від його дійсного розташування. Існують дві різновиди показника FOM – вирази (8), (9):

$$FOM = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{1}{d_i^2}, \quad (8)$$

$$FOM_1 = \begin{cases} \frac{1}{N_e} \sum_{i=1}^N \frac{1}{d_i^2}, & N_e > 0 \\ 1, & N_e = 0. \end{cases} \quad (9)$$

де N - кількість пікселів на зображенні;

d_i - відстань i -го пікселя зображення до найближчого пікселя, що віднесений до того ж класу на еталонному зображенні;

g - масштабний множник;

N_e - помилково класифіковані пікселі.

Існують ще декілька емпіричних показників якості сегментування зображення, наприклад, - показник Хаусдорфа – вираз (10):

$$Hausdorff(I_t, I_s) = \max(h(I_t, I_s), h(I_s, I_t)), \quad (10)$$

де I_t, I_s - множини пікселів різних областей;

$h(I_s, I_t)$ - відстань між відповідними областями;

$$h(I_t, I_s) = \max_{t_i \in I_t} \min_{s_j \in I_s} \|t_i - s_j\|. \quad (11)$$

Якщо $h(I_t, I_s) = d$, то це означає що всі пікселі множини I_t знаходяться не далше, ніж на відстані d від множини пікселів I_s .

Використовують також показники [11]:

- RMS (root mean squared error) – середньоквадратична похибка (вираз (12)):

$$RMS(I_1, I_2) = \frac{1}{\text{card}(X)} \sum_{x \in X} (I_1(x) - I_2(x))^2 \frac{1}{\text{card}(X)}, \quad (12)$$

де $\text{card}(X)$ - кількість пікселів в множині X ;

$I_i(x)$ - інтенсивність пікселя x в I_i ;

X - множина пікселів на сегментованому зображенні;

- показник Баддели (вираз (13)):

$$Baddeley(I_1, I_2) = \frac{1}{\text{card}(X)} \sum_{x \in X} |d(x, I_1) - d(x, I_2)|^p \frac{1}{\text{card}(X)}, \quad (13)$$

де $d(x, I) = \min_{y \in I} d(x, y)$;

$p \geq 1$,

та інші. Показники за виразами (8)-(13) також називають супервізорними показниками оцінки якості сегментування зображення [8].

1.3. Показники, що характеризують ступінь фрагментації зображення (вираз (14)):

$$FRAG = \frac{1}{1 + |a(n_R - n_1)|^b}, \quad (14)$$

де n_R - кількість сегментів на сегментованому зображенні;

n_1 - кількість сегментів на еталонному зображенні;

a, b - масштабні коефіцієнти.

1.4. Показники, що характеризують значення характеристик вихідного зображення, що використовуються для сегментування (вираз (15)):

$$FOC = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{1}{1 + |y(f_i - m_j)|^d}, \quad (15)$$

де N - кількість пікселів на зображенні;

f_i - значення інтенсивності пікселя i вихідного зображення;

m_j - репрезентативне значення інтенсивності j -го сегменту, до i -тий піксель був віднесений при сегментуванні;

y, d - масштабні параметри.

2. Друга група – показники, які не потребують наявності еталонного сегментування.

2.1. Показник, що враховує однорідність сегментів, який заснований на обчисленні дисперсії величини відповідної ознаки зображення, що використовується для сегментування. Нехай f_i - значення ознаки F в пікселі i . Тоді дисперсія ознаки F для сегменту зображення R_j визначається наступним чином:

$$s_j^2 = \frac{1}{\hat{N}_{R_j}} \sum_{i \in R_j} \frac{(f_i - \bar{f}_j)^2}{A_j}, \quad (16)$$

$$\text{де } \bar{f}_j = \frac{1}{\hat{N}_{R_j}} \sum_{i \in R_j} f_i;$$

A_j - площа сегменту R_j .

Міра однорідності області W , яка складається з сегментів R_j , визначається виразом (17):

$$U_W = 1 - \frac{1}{\hat{N}_W} \sum_{R_j \in W} \frac{w_j s_j^2}{N}, \quad (17)$$

де w_j - вага, що визначає вклад сегменту R_j в

U_W ;

$N = s_{\max}^2 \sum_{R_j \in W} w_j$ - нормуючий коефіцієнт;

$$s_{\max}^2 = \frac{1}{2} (f_{\max} - f_{\min})^2;$$

f_{\max}, f_{\min} - максимальне та мінімальне значення ознаки F в області W .

2.2. Показник, що враховує контраст між сегментами.

$$c_{ij} = \frac{|\bar{f}_i - \bar{f}_j|}{\bar{f}_i + \bar{f}_j}, \quad (18)$$

де \bar{f}_i, \bar{f}_j - середні значення ознаки F в сегментах R_i та R_j відповідно.

2.3. Комплексний показник, який, наприклад, враховує як однорідність сегментів, так і їх кількість (вираз (19)):

$$F = \frac{1}{1000N} \sqrt{R} \sum_{i=1}^R \frac{e_i^2}{\sqrt{A_i}}, \quad (19)$$

де N - кількість пікселів на зображенні;

R - кількість сегментів;

A_i - площа i -го сегмента;

e_i - величина, що характеризує ступінь однорідності i -го сегмента.

Однак, наведені вище показники оцінки якості сегментування зображення мають наступні недоліки:

- іноді результати сегментування, які є найкращими з точки зору експертів, мають більш високий відсоток помилково класифікованих пікселів;

- не враховується розташування помилкових пікселів відносно відповідного сегменту – тому помилка на границі та помилка в центрі сегменту повинні штрафуватися по різному;

- не враховується різниця у важкості окремих ділянок зображення для сегментування – помилки для різних сегментів зображення повинні мати різну вагу;

- відсутня інформація по клас пікселів, що вносить найбільшу помилку.

Метою статті є оцінка інформаційного показника якості (відстані Кульбака-Лейбнера) тематичного сегментування оптико-електронного зображення методом Канні.

Виклад основного матеріалу дослідження.

В роботах Канні, наприклад [5], введено поняття Non-Maximum Suppression, яке означає, що пікселями границь є точки, в яких досягається максимум градієнта у напрямку вектору градієнта. Етапи методу Канні наводяться нижче.

1. Згладжування. Проводиться з метою зменшення впливу шумів на визначення границь, для чого використовується фільтр Гауса (вираз (20)):

$$f(x, y) = \frac{1}{2\pi s^2} e^{-\frac{x^2 + y^2}{2s^2}}, \quad (20)$$

де (x, y) - координати пікселя на зображенні;

$f(x, y)$ - яскравість зображення;

s - параметр розмиття.

Значення параметра розмиття необхідно обрати таким, що забезпечує найбільше придушення шуму. Більше значення параметра використовується для виділення крупних границь, менше – для виділення

маленьких деталей.

2. Пошук градієнту. Для визначення градієнту на зображенні після фільтру Гауса (20) будемо використовувати оператор Собеля [12], схема просторової фільтрації з використанням якого наведена на рис. 1 [12].

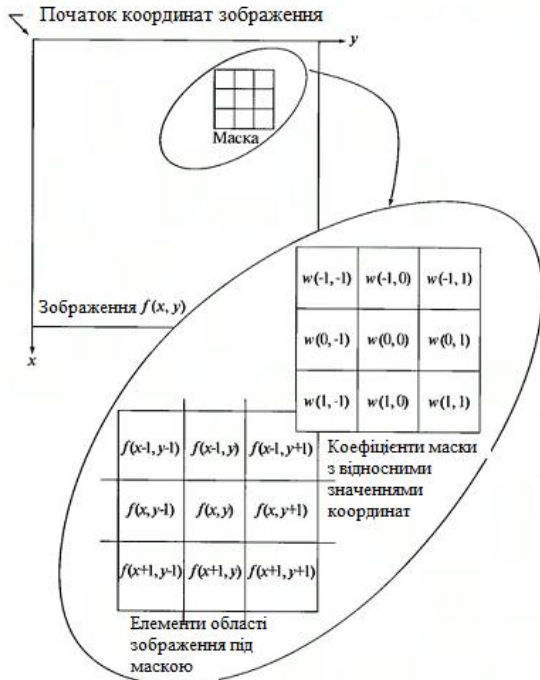


Рис. 1. Схема просторової фільтрації з використанням оператора Собеля [12]

Основою перетворення Собеля є припущення, що функція розриву яскравості на гранях естановиться значно більше. З цього припущення можна зробити висновок, що для знаходження граней достатньо здійснити диференціювання функції яскравості $f(x, y)$ (вирази (21), (22)):

$$\frac{\partial f(x, y)}{\partial x} = D_x = \frac{f(x + dx, y) - f(x, y)}{dx}, \quad (21)$$

$$\frac{\partial f(x, y)}{\partial y} = D_y = \frac{f(x, y + dy) - f(x, y)}{dy}. \quad (22)$$

В дискретних зображеннях dx та dy можна вимірювати в кількості пікселів між двома точками з використанням виразів (23), (24):

$$D_x = f(i + 1, j) - f(i, j), \quad (23)$$

$$D_y = f(i, j + 1) - f(i, j). \quad (24)$$

Вираз для визначення величини градієнту G можна записати наступним чином (вираз (25)):

$$G = \sqrt{(D_x)^2 + (D_y)^2}, \quad (25)$$

а напрямок q (вираз (26)):

$$q = \arctan \frac{\partial D_y}{\partial D_x} \frac{\partial}{\partial}. \quad (26)$$

У виразах (25), (26) оцінка градієнту проводиться з використанням масок (2x2):

$$D_x = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad (27)$$

$$D_y = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}. \quad (28)$$

Основний недолік використання масок (27), (28) – велика кількість помилок з причини наявності шуму [12]. Крім того, використання масок парного порядку не дає можливості проводити оцінку на основі пікселя, що розташований по центру маски. Тому, будемо використовувати оператор Собеля з масками (29), (30):

$$K_{G_x} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 \\ 2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad (29)$$

$$K_{G_y} = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{pmatrix}. \quad (30)$$

З аналізу виразів (29), (30) (у порівнянні з (27), (28)) видно використання коефіцієнту 2 для середніх елементів. Цей факт використаний з роботи [13], а збільшене значення коефіцієнту використовується для зменшення ефекту згладжування за рахунок надання більшої ваги середнім точкам. Значення та напрямок величини градієнту G приймають вид (31), (32), відповідно:

$$G = \sqrt{G_x^2 + G_y^2}, \quad (31)$$

$$q = \arctan \frac{\partial G_x}{\partial G_y} \frac{\partial}{\partial}. \quad (32)$$

Після використання оператора Собеля інтенсивність кожного пікселя вихідного зображення дорівнює градієнту вектора яскравості.

3. Придушення хибних максимумів. Мета цього етапу – перетворити «розмиті» границі в «чіткі». Це досягається збереженням локальних максимумів та видаленням всього іншого. Для кожного пікселя виконуються наступні дії:

- напрямок градієнту округлюється до найближчого значення, що кратне 45° (рис. 2а) [5];
- якщо у поточній точці досягається локальний максимум у напрямку градієнту, то вона є частиною границі;
- у протилежному випадку точка видаляється (рис. 2).

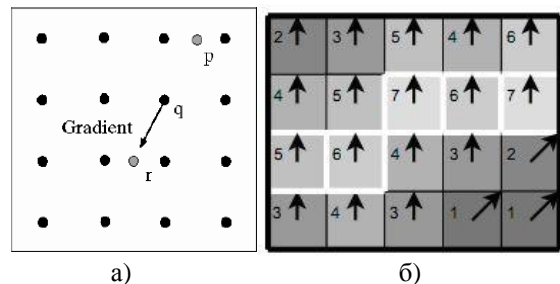


Рис. 2. Пошук локальних максимумів [5]:

- а) (максимуми p та r інтерполюються (видаляються)); б) принцип придушення хибних максимумів

Принцип придушення проілюстрований на рис. 26. Всі пікселі на рис. 26 мають «орієнтацію вверх», тому значення градієнту в цих точках буде порівняно з нижче та вище розташованими пікселями. Пікселі, що обведені білим кольором на рис. 26 залишаться у вихідному зображенні, інші – будуть придушені.

4. Подвійна порогова фільтрація (рис. 3 [5]). Сутність – кожен піксель, що перевищує верхній поріг, відмічається як «сильний», кожен піксель, що попадає між двома порогами, - «слабий» (яскравість таких пікселів приймає фіксоване середнє значення та буде уточнюватися на наступному етапі), пікселі, що менше нижнього порогу, видаляються.

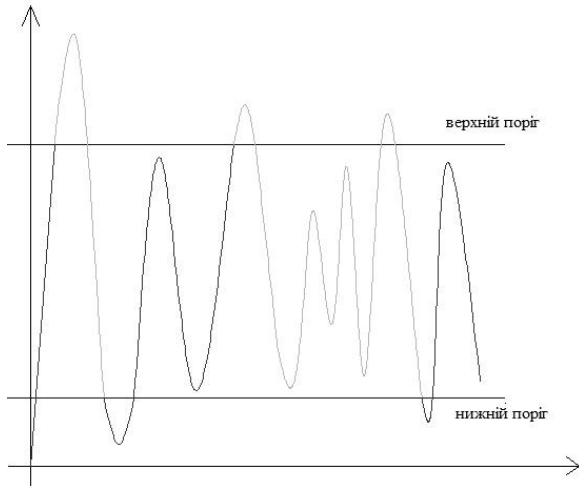


Рис. 3. Використання двох порогів в методі Канні [5]

Використання подвійного порогу дозволяє зменшити вплив шуму (за рахунок верхнього порогу) та не втратити «хвости» (за рахунок нижнього порогу).

5. Трасування області невизначеності. Задача зводиться до виділення груп пікселів, що отримали на попередньому етапі проміжне значення та віднесенню їх до границі (якщо вони з'єднанні з однією з встановлених границь) або їх придушенню (в протилежному випадку).

Результат сегментування вихідного зображення (рис. 4) методом Канні наведений на рис. 5.



Рис. 4. Вихідне зображення [14]

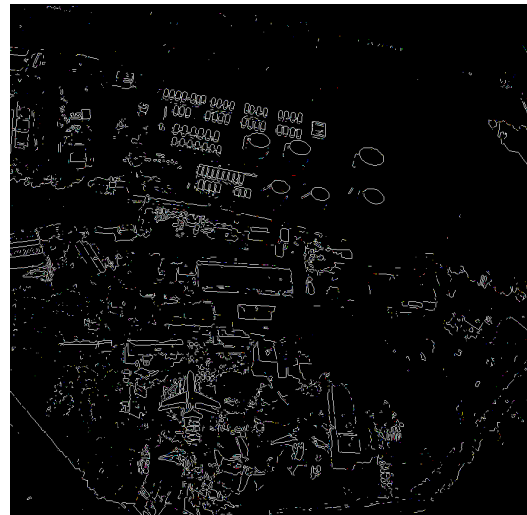


Рис. 5. Результат сегментування вихідного зображення (рис. 4) методом Канні

Показником якості сегментування вихідного зображення (рис. 4) методом Канні оберемо інформаційний показник – відстань Кульбака-Лейбнера $K(p_x, p_h)$ (вираз (33)) [6, 7]:

$$K(p_x, p_h) = \int_{R^2} p_x(x) \log \frac{p_x(x)}{p_h(x)} dx,$$

(33)

де p_x - розподіл яскравості на вихідному зображенні (рис. 4);

p_h - розподіл яскравості на сегментованому зображенні (рис. 5);

R^2 - площа зображення.

На рис. 6 наведена крива залежності відстані Кульбака-Лейбнера від зміни коефіцієнту масштабування m вихідного зображення (рис. 4) при сегментуванні зображення з використанням методу Канні.

$K(p_x, p_h)$, біт

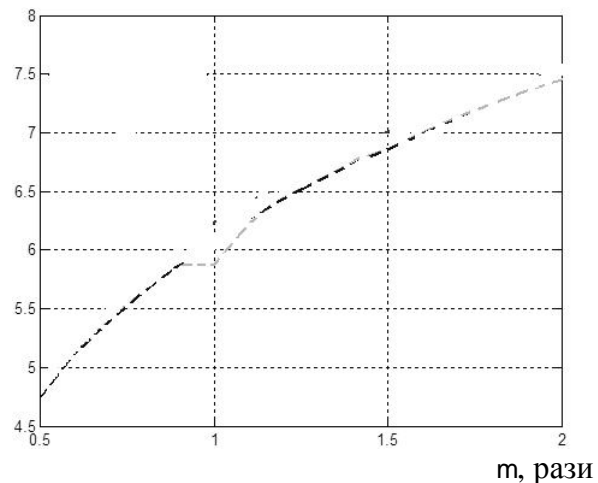


Рис. 6. Залежність відстані Кульбака-Лейбнера від зміни коефіцієнту масштабування вихідного зображення (рис. 4) при сегментуванні зображення з використанням методу Канні

Відстань Кульбака-Лейбнера розраховувалась за виразом (33) з використанням логарифму за основою 2, отже відстань Кульбака-Лейбнера вимірюється у бітах, а для зображення в градаціях (0...255) максимальне значення відстані Кульбака-Лейбнера дорівнює 8.

Висновки й перспективи подальших досліджень

Таким чином, встановлено, що результат дешифрування зображень, що отримані з бортових систем оптико-електронного спостереження, залежить від якості сегментування зображень, особливо з урахуванням особливостей їх отримання (різномірний фон, варіабельність різних частин зображення, наявність шумів). Проаналізовані основні методики, критерії і показники сегментування зображень, їх переваги

Література

1. Савин Л.В. Сетевая и сетевая война. Введение в концепцию. - М.: Евразийское движение, 2011. - 130 с. 2. Bayuk J.L., Healey J., Ronmeyer P., Sachs M.H., Schmidt J., Weiss J. Cyber security policy guidebook. - New Jersey.: Wiley, 2017. - 270 p. 3. Кобзева Е.А. Оценка потенциала снимков с КА Pleiades для создания цифровых топографических карт и планов. - Геопрофи, 2013. № 1. - С. 52-57. 4. Худов В.Г. Мультиагентный метод сегментування зображень, що отримані з бортових систем оптико-електронного спостереження. Системи озброєння і військова техніка, 2016. № 3 (47). - С. 116-119. 5. Canny J.F. A Computational Approach to Edge Detection. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1986. № 8. - PP. 679-698. 6. Kullback S., Leibler R.A. On information and sufficiency. The Annals of Mathematical Statistics, 1951. V.22. № 1. - P. 79-86. 7. Терещук В.Ю. Восстановление изображений при минимальной априорной информации. Успехи физических наук, 1995. Т. 165. № 2. - С. 143-176. 8. Рубан І.В., Худов В.Г., Худов Р.Г. Показники якості сегментування оптико-електронних зображень. Системи управління, навігації

та недоліки. Запропоновано провести оцінку інформаційного показника (відстані Кульбака-Лейбнера) тематичного сегментування оптико-електронного зображення методом Канні. Проведено аналіз основних етапів методу Канні: згладжування, пошук градієнту, придушення хибних максимумів, подвійна порогова фільтрація, трасування області невизначеності. Наведено результат сегментування оптико-електронного зображення методом Канні, проведено розрахунок відстані Кульбака-Лейбнера на її залежність від масштабного коефіцієнта вихідного зображення.

Напрямок подальших досліджень є порівняння різних методів сегментування з використанням інформаційного показника – відстані Кульбака-Лейбнера.

та зв'язку, 2017. Вип. 2 (42). - С. 143-146. 9. Захаров А.В., Кольцов П.П., Котович Н.В., Кравченко А.А., Куцаев А.С., Осипов А.С. Некоторые методы сравнительного исследования детекторов границ. Труды НИИСИ РАН, 2012. Том 2. № 1. - С. 4-13. 10. Захаров А.В., Кольцов П.П., Котович Н.В., Кравченко А.А., Куцаев А.С., Осипов А.С. Критерии оценки качества сегментации изображений. Труды НИИСИ РАН, 2012. Том 2. № 2. - С. 87-99. 11. Zhang H., Fritts J.E., Goldman S.A. Image segmentation evaluation: A survey of unsupervised methods. Computer Vision and Image Understanding, 2008. Vol. 110. Issue 2. - PP.260-280. 12. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. М.: Техносфера, 2005. - 1072 с. 13. Senthilkumarani N., Rajesh R. Edge Detection Techniques for Image Segmentation - A Survey of Soft Computing Approaches. International Journal of Recent Trends in Engineering, 2009. Vol. 1. № 2. - PP. 26-37. 14. Електронний ресурс. Режим доступу <http://www.satimagingcorp.com/gallery/ikonos>.

ОЦЕНКА РАССТОЯНИЯ КУЛЬБАКА-ЛЕЙБНЕРА ПРИ ТЕМАТИЧЕСКОЙ СЕГМЕНТАЦИИ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ МЕТОДОМ КАННИ

Геннадий Владимирович Худов¹ (докт. техн. наук, профессор)

Владислав Геннадиевич Худов²

Ирина Анатольевна Хижняк¹

Ирина Викторовна Новикова³

¹Харьковский национальный университет Воздушных Сил имени Ивана Кожедуба, Харьков, Украина

²Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков, Украина

³Национальный университет обороны Украины имени Ивана Черняховского, Киев, Украина

Результат дешифрования изображений, полученных с бортовых систем оптико-электронного наблюдения, зависит от качества сегментации изображений с учетом особенностей их получения (разнородный фон, вариабельность разных частей изображения, наличие шумов). Проанализированы основные методики, критерии и показатели сегментации изображений, их преимущества и недостатки. Предложено провести оценку информационного показателя (расстояния Кульбака-Лейбнера) тематической сегментации оптико-электронного изображения методом Канни. Проведено анализ основных этапов метода Канни: сглаживание, поиск градиента, подавление ложных максимумов, двойная пороговая фильтрация, трассировка областей неопределенности. Приведен результат сегментации оптико-электронного изображения методом Канни, проведен расчет расстояния Кульбака-Лейбнера и его зависимость от масштабного коэффициента исходного

ізображення.

Ключевые слова: дешифрование; объект; космический аппарат; оптико-электронное изображение; обработка; сегментация; показатель эффективности; расстояние Кульбака-Лейбнера; метод Канни; сглаживание; фильтрация; информационный показатель; пиксель.

ESTIMATION OF THE DISTANCE OF THE KULBAK-LEIBNER AT THE THEMATIC SEGMENTATION OF OPTIC-ELECTRONIC IMAGES BY THE CANNI'S METHOD

*Hennadii V. Khudov*¹ (Doctor of Technical Sciences, Professor)

*Vladislav H. Khudov*²

*Irina A. Khizhnyak*¹

*Irina V. Novikova*³

¹*Kharkov National Air Force University named after Ivan Kozhedub, Kharkov, Ukraine*

²*Kharkov National University of Radio Electronics, Kharkov, Ukraine*

³*National Defence University of Ukraine named after Ivan Cherniakhovsky, Kyiv, Ukraine*

The result of decoding the images obtained from on-board optic-electronic surveillance systems depends on the quality of image segmentation, taking into account the features of their production (heterogeneous background, variability of different parts of the image, the presence of noise). The main methods, criteria and indicators of image segmentation, their advantages and disadvantages are analyzed. It is suggested to evaluate the information indicator (Kulbak-Leibner distance) of the thematic segmentation of the optic-electronic image by the Canni's method. The analysis of the main stages of the Canni's method is carried out: smoothing, gradient search, suppression of false maxima, double threshold filtering, tracing of uncertainty areas. The result of segmentation of the optic-electronic image by the Canni's method is given, the Kulbak-Leibner distance calculation and its dependence on the scale factor of the original image are carried out.

Keywords: decoding; an object; spacecraft; optic-electronic image; treatment; segmentation; performance indicator; Kulbak-Leibner distance; Canni's method; smoothing; filtration; information indicator; pixel.

References

- Savin L.V.** (2011), Network-centric and network war. Introduction to the concept. [Setetsentricheskaya i setevaya voyna. Vvedeniye v kontseptsiyu], Moscow: The Eurasian Movement, 130 p. 2. **Bayuk J.L., Healey J., Ronmeyer P., Sachs M.H., Schmidt J., Weiss J.,** (2017) Cyber security policy guidebook. – New Jersey.: Wiley. – 270 p. 3. **Kobzeva E.A.** (2013), Estimation of the potential of images from the Pleiades spacecraft for creating digital topographic maps and plans [Otsenka potentsiala snimkov s KA Pleiades dlya sozdaniya tsifrovyykh topograficheskikh kart i planov], Geoprofi. No. 1. - P. 52-57. 4. **Khudov V.G.** (2016), Multiagent image segmentation method derived from on-board optoelectronic monitoring systems [Mul'tyagentnyy metod sehmentuvannyya zobrazheni, shcho otrymani z bortovykh system optyko-elektronnoho sposterezheniyai], Armament and military equipment systems. No. 3 (47). - P. 116-119. 5. **Canny J.F.** (1986), A Computational Approach to Edge Detection. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. № 8. - P. 679-698. 6. **Kullback S., Leibler R.A.** (1951), On information and sufficiency. The Annals of Mathematical Statistics. V.22. № 1. - P. 79-86. 7. **Terebyzh V.Yu.** (1995), Restore images with minimal a priori information [Vosstanovleniye izobrazheniy pri minimal'noy apriornoy informatsii], Progress in Physical Sciences. T. 165. № 2. - P. 143-176. 8. **Ruban I.V., Khudov V.G., Khudov R.G.** (2017), Quality Indicators for Segmentation of Optoelectronic Imagery [Pokaznyky yakosti sehmentuvannyya optyko-elektronnykh zobrazheni], Control, Navigation and Communication Systems. Vip. 2 (42). - P. 143-146. 9. **Zakharov A.V., Koltsov P.P., Kotovich N.V., Kravchenko A.A., Kutsaev A.S., Osipov A.S.** (2012), Some methods of comparative study of boundary detectors Imagery [Nekotoryye metody sravnitel'nogo issledovaniya detektorov granits], Proceedings of NIISI RAS. Volume 2. № 1. - P. 4-13. 10. **Zakharov A.V., Koltsov P.P., Kotovich N.V., Kravchenko A.A., Kutsaev A.S., Osipov A.S.** (2012), Criteria for assessing the quality of image segmentation [Kriterii otsenki kachestva segmentatsii izobrazheniy], Proceedings of NIISI RAS. Volume 2. № 2. - P. 87-99. 11. **Zhang H. Fritts J.E., Goldman S.A.** (2008), Image segmentation evaluation: A survey of unsupervised methods. Computer Vision and Image Understanding. Vol. 110. Issue 2. - PP.260-280. 12. **Gonzalez R., Woods R.** (2005), Digital Image Processing Imagery [Tsyfrovaya obrabotka izobrazhenii], Moscow: Technosphere. - 1072 p. 13. **Senthilkumaran N., Rajesh R.** (2009), Edge Detection Technigues for Image Segmentation – A Survey of Soft Computing Approaches. International Journal of Recent Trends in Engineering. Vol. 1. № 2. - PP. 26-37. 14. **Electronic resource.** Access mode <http://www.satimagingcorp.com/gallery/ikonos>.