

УДК 528.8:524.1:550.385

О.В. Батурін¹, М.В. Топольницький², С.В. Хамула², Е.О. Толокнеєв²¹Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків²Об'єднаний інститут при Національній академії оборони України, Київ

ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ДОДАТКОВОЇ ДЕШИФРУВАЛЬНОЇ ОЗНАКИ ОБ'ЄКТУ СПОСТЕРЕЖЕННЯ

Статтю присвячено розробці алгоритму оцінювання ефективності дешифрування зображення об'єктів спостереження. Одержано кількісну оцінку імовірності дешифрування зображення об'єктів спостереження за умови використання додаткових дешифрувальних ознак.

Ключові слова: перелік ключових слів: дистанційне зондування Землі, об'єкт спостереження, імовірність дешифрування, додаткова дешифрувальна ознака.

Вступ

Постановка проблеми. Об'єкти військового призначення при видовому спостереженні викриваються за рахунок визначення дешифрувальних ознак – характерних властивостей, що виявляються у даних дистанційного зондування Землі та дають можливість їх виділяти, розпізнавати та ідентифікувати [1]. Сукупність таких ознак, в свою чергу, дає можливість сформулювати і застосовувати в процесі дешифрування об'єкту спостереження (ОС) систему дешифрувальних ознак (ДО). Така система не є сталою для всіх ОС та в кожному окремому випадку може складатися як з прямих, так і непрямих ДО.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Однак, на сьогоднішній день, у відкритій літературі не описані підходи та алгоритми щодо оцінювання використання додаткових ДО під час дешифрування зображень ОС. Тому, **метою статті** є вирішення актуального завдання щодо оцінювання ефективності застосування додаткової дешифрувальної ознаки об'єкту спостереження. Для досягнення поставленої мети у статті розглянуті показники ефективності дешифрування зображень ОС, запропоновано алгоритм оцінювання ефективності дешифрування зображення ОС за умови використання додаткової дешифрувальної ознаки та проведено його розрахункова перевірка.

Виклад основного матеріалу

Дешифрування зображень, що отримані системами дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), є найважливішим етапом отримання даних про ОС. Виходячи з цього, до систем ДЗЗ пред'являються високі вимоги, а саме: цілеспрямованість, безперервність, активність, своєчасність, достовірність, повнота розвідувальних даних, висока точність визначення координат ОС, раптовість та скритність, які визначають ефективність ведення спостереження [2].

Одним з найважливіших показників ефективності є достовірність D даних, яка в свою чергу, характеризується імовірністю P_d дешифрування ОС і може бути визначена за виразом [3]:

$$P_d = \exp \left[\frac{\ln p_0}{\lg \frac{1-K}{1+K}} \left(\frac{\gamma H}{d_0} \right)^2 \right], \quad (1)$$

де p_0 – рівень достовірності визначення d_0 ; K – фактичний контраст; γ – кутове розрізнення електронно-оптичної системи; H – висота застосування системи ДЗЗ; d_0 – характерна детальність ОС.

Використання виразу (1) для оцінювання якості процесу дешифрування ОС в першу чергу обумовлено наявністю у об'єктів прямої дешифрувальної ознаки – форми. Під прямими ДО розуміють властивість зображення самого ОС, що безпосередньо передається на цифровому космічному знімку [1]. Такими ознаками є форма, розмір, тон або колір, тінь зображення ОС. Непрямі дешифрувальні ознаки характеризують ОС за допомогою властивостей та чинників, які не притаманні безпосередньо самому об'єкту, проте ідентифікують його опосередковано. Непрямі ДО визначаються взаємозв'язками між ландшафтом та розташованими на ньому об'єктами, складними та простими ОС, а також між їх елементами; вони проявляються у наслідках функціонування, у належності одних ОС до інших, у зміні властивостей та характеристик одних об'єктів у результаті впливу на них інших ОС [4].

У випадку застосування системи незалежних прямих та непрямих ДО, імовірність дешифрування ОС може бути визначена за таким виразом [5]:

$$P_{d,L} = 1 - \prod_{l=1}^L (1 - P_l), \quad (2)$$

де L – кількість дешифрувальних ознак, залучених при дешифруванні ОС.

Підкреслимо, що рівняння (2) справедливе лише у випадку застосування L незалежних дешифрувальних ознак. Наявність функціональних чи логічних зв'язків між ознаками наводить до необхідності використання елементів кореляційної теорії.

Таким чином, пошук та залучення до процесу дешифрування додаткових ДО призводить до збіль-

шення імовірності дешифрування зображення ОС. При цьому, важливо з'ясувати рівень доцільності залучення додаткової ДО, яка може збільшити значення P_d та визначити її величину. Така оцінка дає можливість прогнозувати необхідність пошуку та застосування додаткової дешифрувальної ознаки.

Оцінювання ефективності дешифрування зображення ОС

У випадку виявлення двох і більше ДО на зображенні для визначення імовірності дешифрування j -го ОС вираз (2) не може бути застосований. Це обумовлено залежністю прояву дешифрувальних ознак від наявності на знімку самого об'єкта. Для вирішення цього питання пропонується використувати формулу повної імовірності [6, 7]:

$$P(A_j) = \sum_{l=1}^L P(H_l) P(A_j|H_l), \quad (3)$$

де $P(A_j)$ – імовірність дешифрування j -го ОС; $P(H_l)$ – імовірність дешифрування l -ої дешифрувальної ознаки; $P(A_j|H_l)$ – імовірність дешифрування j -го ОС за умови, що була дешифрована l -та ДО; L – кількість дешифрувальних ознак, які формують повну групу несумісних подій.

Імовірність появи події A_j за умови, що відбулась гіпотеза H_l – $P(A_j|H_l)$ є умовною імовірністю, яка може бути визначена за формулою Байєса [8]:

$$P(A_j|H_l) = \frac{P_0(A_j) P(H_l|A_j)}{\sum_{j=1}^J P_0(A_j) P(H_l|A_j)}, \quad (4)$$

де $P_0(A_j)$ – апіорна імовірність дешифрування j -го ОС; $P(H_l|A_j)$ – імовірність дешифрування l -ої ДО за умови, що було правильно дешифровано j -ий ОС; J – кількість ОС.

Розглянемо можливу схему аналізу даних. Нехай розглядається деяка кінцева сукупність об'єктів A_1, A_2, \dots, A_J загальною кількістю J . Для опису j -го ОС застосовують систему дешифрувальних ознак $H_l = (h_1, h_2, \dots, h_l, \dots, h_L)$ загальною кількістю L . Причому імовірність виявлення l -ої дешифрувальної ознаки дорівнює $P(h_l)$. Тоді, з урахуванням виразу (3), імовірність дешифрування j -го ОС може бути розрахована як:

$$P(A_j) = \sum_{l=1}^L P(H_l) P(A_j|H_l), \quad (5)$$

де $P(H_l)$ – імовірність виявлення системи дешифрувальних ознак H_l , наприклад $P(H_1)$ – виявлена перша ДО і не виявлена друга, $P(H_2)$ – виявлена друга дешифрувальна ознака і не виявлена перша, $P(H_3)$ – виявлена перша і друга ДО і так далі;

$P(A_j|H_l)$ – імовірність того, що система дешифрувальних ознак H_l відноситься до j -го ОС;

$N=2^L$ – кількість можливих комбінацій ДО, яка складає повну групу несумісних подій.

Оскільки поява l -ої та $(l+1)$ -ої дешифрувальних ознак є незалежною подією, імовірність виявлення системи ДО H_l може бути визначено як [9]:

$$P(H_l) = \prod_{l=1}^L P_l; \quad (6)$$

$$P_l = \begin{cases} P(h_l), & h_l \in H_l; \\ 1 - P(h_l), & h_l \notin H_l. \end{cases}$$

Відповідно, імовірність того, що система дешифрувальних ознак H_l відноситься до j -го ОС може бути розрахована за виразом (4).

Апіорну імовірність $P_0(A_j)$ з деяким наближенням можна вважати рівною частоті появи j -го ОС:

$$P_0(A_j) = \frac{n_j}{\sum_{j=1}^J n_j}, \quad (7)$$

де n_j – кількість j -х ОС.

Припустивши, що дешифрувальні ознаки стаціонарні і незалежні, тобто мають в якості характеристик лише значення істини (ця умова може бути виконана при формуванні робочого словника ДО), імовірність наявності l -ої дешифрувальної ознаки при виявленні j -го ОС визначається за умовою:

$$P(H_l|A_j) = \prod_{l=1}^L P(h_l|A_j); \quad (8)$$

$$P(h_l|A_j) = \begin{cases} 1, & h_l \in A_j; \\ 0, & h_l \notin A_j. \end{cases}$$

Таким чином, система рівнянь (5) – (8) є алгоритмом визначення величини імовірності дешифрування j -го ОС з урахуванням системи ДО загальною кількістю L . Перевіримо запропонований алгоритм.

Нехай на зображенні виявлено m об'єктів першого типу та n другого типу. Відомо, що ОС першого типу характеризується системою дешифрувальних ознак, загальною кількістю L , сумарна імовірність виявлення яких складає P_{dL} . Крім того, визначено імовірність $P_{до}$ дешифрування ОС першого типу за додатковою $(L+1)$ -ою дешифрувальною ознакою. Необхідно визначити імовірність дешифрування ОС першого типу за умовою, що в процесі дешифрування використовується додаткова $(L+1)$ -ша ознака.

Використаємо запропонований алгоритм для визначення імовірності дешифрування ОС за умови використання системи ДО загальною кількістю $(L+1)$. У випадку використання додаткової дешифрувальної ознаки вираз (5) запишемо у такому вигляді:

$$P_{d,L+1} = P(H_1) P(A_1|H_1) + P(H_2) P(A_1|H_2) + \dots + P(H_L) P(A_1|H_L), \quad (9)$$

де $P_{d,L+1}$ – імовірності дешифрування ОС за умови

використання системи дешифрувальних ознак загальною кількістю $(L+1)$;

$P(H_1)$ – виявлена система ДО об’єкту, додаткова дешифрувальна ознака не виявлена (гіпотеза 1);

$P(H_2)$ – виявлена додаткова ДО, система дешифрувальних ознак ОС не виявлена (гіпотеза 2);

$P(H_3)$ – виявлена додаткова ДО і система дешифрувальних ознак ОС (гіпотеза 3);

$P(H_4)$ – не виявлена ні додаткова ДО, ні система дешифрувальних ознак ОС (гіпотеза 4);

$P(A_1|H_1)$ – імовірність того, що система ДО за гіпотезою 1 належить ОС першого типу;

$P(A_1|H_2)$ – імовірність того, що система ДО за гіпотезою 2 належить ОС першого типу;

$P(A_1|H_3)$ – імовірність того, що система ДО за гіпотезою 3 належить ОС першого типу;

$P(A_1|H_4)$ – імовірність того, що система ДО за гіпотезою 4 належить ОС першого типу;

$L=4$ – кількість гіпотез, які складають повну групу несумісних подій.

Відповідно до виразу (6), величина $P(H_1)=P_L(1-P_{до})$, $P(H_2)=(1-P_L)P_{до}$, $P(H_3)=P_L P_{до}$, а $P(H_4)=(1-P_L)(1-P_{до})$. Априорні імовірності можна визначити як:

$$P_0 A_1 = \frac{m}{m+n}; \quad (10)$$

$$P_0 A_2 = \frac{n}{m+n}.$$

Величина $P(H_1|A_1)$, згідно з (8), дорівнює 1, $P(H_1|A_2)=0$, $P(H_2|A_1)=1$, $P(H_2|A_2)=0$, $P(H_3|A_1)=1$, $P(H_3|A_2)=0$, $P(H_4|A_1)=0$, а величина $P(H_4|A_2)=1$.

Звідки, складові $P(A_1|H_1)$, $P(A_1|H_2)$, $P(A_1|H_3)$ та $P(A_1|H_4)$ можуть бути розраховані як:

$$P A_1 | H_1 = \frac{\frac{m}{m+n} P H_1 | A_1}{\frac{m}{m+n} P H_1 | A_1 + \frac{n}{m+n} P H_1 | A_2} = \frac{\frac{m}{m+n} \times 1}{\frac{m}{m+n} \times 1 + \frac{n}{m+n} \times 0} = 1; \quad (11)$$

З урахуванням виразів (11) – (12), імовірність дешифрування ОС при використанні додаткової $(L+1)$ -ої ознаки можна розрахувати за таким виразом:

$$P_{д, L+1} = P_L - P_{до} P_L + P_{до} - P_L P_{до} + P_L P_{до} = P_L + P_{до} - P_L P_{до}. \quad (12)$$

За аналогією, при використанні двох додаткових ознак, імовірність дешифрування ОС можна розрахувати за таким виразом:

$$P_{д, L+2} = P_L + P_{до} + P_{до2} + P_L P_{до} P_{до2} - P_L P_{до} - P_{до} P_{до2} - P_L P_{до2}, \quad (13)$$

де $P_{до2}$ – імовірність дешифрування ОС за додатковою $(L+2)$ -ою дешифрувальною ознакою;

Аналіз (12) та (13) дає можливість зробити висновки про те, що застосування (залучення) оператором додаткової ДО, збільшує імовірність дешиф-

рування ОС. Відповідно до керівних документів, імовірність дешифрування ОС повинна бути не меншою за величину 0,8, що відповідає умові $P_{д} \geq P_{зад} \geq 0,8$.

Імовірність дешифрування ОС залежить поперечно від його власних характеристик та тактико-технічних характеристик і параметрів застосування бортових сенсорів.

Результати оцінювання ефективності дешифрування зображення ОС за умови використання додаткових ознак

З’ясуємо, яким чином впливає застосування додаткової $(L+1)$ -ої та $(L+2)$ -ої ДО на імовірність дешифрування, якщо їх величина за системою дешифрувальних ознак (загальною кількістю L) не задовольняє вимогам керівних документів, наприклад, $P_{д}=P_{до}=0,5 \leq 0,8$. Тобто, оператор-дешифрувальник може лише констатувати наявність або відсутність ОС та додаткової дешифрувальної ознаки. Використавши вирази (12) та (13), визначимо імовірність дешифрування зображення ОС за умови застосування додаткової ДО. Результати обчислень наведено в табл. 1, за якими побудовано залежність імовірності дешифрування зображення ОС від застосування $(L+1)$ -ої додаткової ДО (рис. 1).

Таблиця 1
Результати обчислень імовірності дешифрування зображення ОС

	$P_{д, L+1}$					
	$P_{до}=0,5$	$P_{до}=0,6$	$P_{до}=0,7$	$P_{до}=0,8$	$P_{до}=0,9$	$P_{до}=1,0$
$P_L=0,5$	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95	1,0
$P_L=0,6$	0,80	0,84	0,88	0,92	0,96	1,0
$P_L=0,7$	0,85	0,88	0,91	0,94	0,97	1,0
$P_L=0,8$	0,90	0,92	0,94	0,96	0,98	1,0
$P_L=0,9$	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	1,0
$P_L=1,0$	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

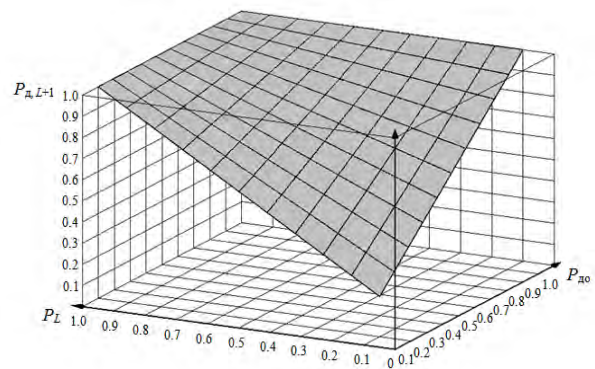


Рис. 1. Залежність імовірності дешифрування зображення ОС

З отриманих результатів видно, що у випадку використання системи дешифрувальних ознак загальною кількістю L , імовірність якої складає

$P_L=0,50 \leq P_{\text{зад}}$ у випадку застосування додаткової прямої чи непрямої дешифрувальної ознаки з величиною $P_{\text{до}}=0,6$, загальна імовірність дешифрування ОС $P_{\text{д},L+1}$ буде дорівнювати 0,80, що відповідає вимогам керівних документів. Під час використання системи дешифрувальних ознак загальною кількістю L , імовірність якої складає $P_L=0,70 \leq P_{\text{зад}}$ у випадку застосування додаткової прямої чи непрямої дешифрувальної ознаки з величиною $P_{\text{до}}=0,70$, загальна імовірність дешифрування ОС $P_{\text{д},L+1}$ буде дорівнювати 0,91.

На рис. 2 представлено залежність імовірності дешифрування зображення ОС від застосування $(L+1)$ -ої та $(L+2)$ -ої додаткової ДО для різних значень величини вихідної імовірності.

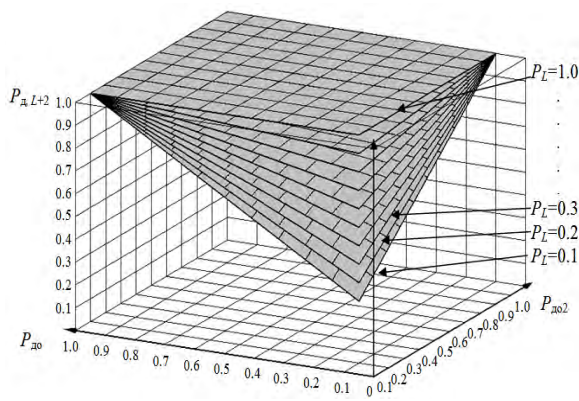


Рис. 2. Залежність імовірності дешифрування зображення ОС при застосуванні двох додаткових ДО для різних значень величини вихідної імовірності

У випадку застосування в процесі дешифрування $(L+1)$ -ої та $(L+2)$ -ої додаткової ДО загальна імовірність дешифрування ОС, як видно з рис. 2, збільшується значно швидше, ніж у разі використання тільки $(L+1)$ -ої додаткової ознаки.

Висновки

Алгоритмом оцінювання ефективності дешифрування зображення ОС за умови використання додаткової дешифрувальної ознаки є сукупність рівнянь (3) – (8). При цьому застосування запропонованого алгоритму має такі особливості:

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ДЕШИФРОВОЧНОГО ПРИЗНАКА ОБЪЕКТА НАБЛЮДЕНИЯ

О.В. Батурин, М.В. Топольницький, С.В. Хамула, Е.А. Толокнеєв

Статья посвящена разработке алгоритма оценивания эффективности дешифрации изображения объектов наблюдения. Получена количественная оценка вероятности дешифрации изображения объектов наблюдения при условии использования дополнительных дешифровочных признаков.

Ключевые слова: дистанционное зондирование Земли, объект наблюдения, вероятность дешифрации, дополнительный дешифровочный признак.

EFFICIENCY EVALUATION OF USING ADDITIONAL ATTRIBUTE OF THE OBSERVATION OBJECT

O.V Baturin, M.V. Topol'nickiy, S.V. Khamula, E.A. Tolokneev

The article is devoted development of algorithm of evaluation of efficiency of decoding of image of objects of supervision. The quantitative estimation of probability of decoding of image of objects of supervision on condition of the use of additional deciphering signs is got.

Keywords: remote sensing of Earth, object of supervision, probability of decoding, additional deciphering sign.

чим менша вихідна імовірність дешифрування зображення, тим більший зріст імовірності дешифрування із урахуванням додаткових дешифрувальних ознак;

залучення до процесу $(L+1)$ -ої дешифрувальної ознаки для вихідної імовірності дешифрування зображення $P_L=0,5 \dots 0,7$ підвищує загальну імовірність дешифрування $P_{\text{д},L+1}$ на 20-31 %;

доцільність залучення додаткових дешифрувальних ознак зумовлена як вихідним значенням імовірності дешифрування зображення ОС, так і рівнем імовірності дешифрування зображення об'єкту за окремою додатковою ознакою, яка передбачається до залучення при дешифруванні.

Список літератури

1. Словник з дистанційного зондування Землі / За ред. В.І. Лялько, М.А. Попов. – К.: НАН України, 2003. – 169 с.

2. Мосов С.П. Об унификации требований к результатам дешифрирования данных воздушной разведки / С.П. Мосов, С.А. Станкевич, Ю.И. Гунько, П.А. Арбузов // Информационные технологии в дешифрировании изображений: методология, модели, алгоритмы. – К.: КИ ВВС, 1993. – С. 30-34.

3. Живичин А.Н. Дешифрирование фотографических изображений / А.Н. Живичин, В.С. Соколов. – М.: Недра, 1980. – 253 с.

4. Военна розвідка. Терміни та визначення: ВСТ 01.101.001-2006 (01). – [Чинний від 2006-03-01]. – К.: МОУ, 2006. – 25 с. – (Військовий стандарт).

5. Бакуменко Ф.О. Методика оцінки ефективності військової розвідки в операції і бою: видання академії / Ф.О. Бакуменко. – К.: НАО України, 1998. – 126 с.

6. Попов М.О. Основи обробки даних та прийняття інформаційних рішень: навчальний посібник / М.О. Попов. – К.: МО України, 2000. – 72 с.

7. Вентцель Е.С. Теория вероятностей / Е.С. Вентцель. – М.: Наука, 1969. – 581 с.

8. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика: учеб. [пособие для вузов] / Гмурман В.Е. – 9-е изд., стер. – М.: Высш. шк., 2003. – 479 с.

9. Технические средства видовой разведки / А.В. Варламов, Г.А. Кисиленко, А.А. Хорев, А.Н. Федоринов. – М.: РВСН, 1997. – 327 с.

Надійшла до редколегії 4.11.2009

Рецензент: канд. техн. наук О.В. Зайцев, Об'єднаний інститут при Національній академії оборони України, Київ.