

УДК 681.51:623.592

*Григорій Сергійович Степанов* (канд. військ. наук, доцент, професор кафедри)<sup>1</sup>*Олександр Павлович Кондратенко* (д-р техн. наук, професор, професор кафедри)<sup>2</sup>*Андрій Станіславович Могілатенко*<sup>3</sup>*1Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, Київ**2Національна академія Національної гвардії України, Харків**3Військова частина А2183, Первомайськ*

## РОЗРОБКА МЕТОДУ СТИСНЕННЯ ПОВІДОМЛЕНЬ ПРО ПОВІТРЯНІ ОБ'ЄКТИ

При використанні змінної структури вихідних повідомлень про повітряні об'єкти необхідно мати можливість відновлення на приймальному боці повного складу інформаційних елементів і їх розміру. Для цих цілей пропонується використовувати методи стиснення даних без втрат якості радіолокаційної інформації. Так як найбільшу ефективність стиснення можна забезпечити за рахунок максимального врахування статистичних особливостей стиснення даних, то доцільно розробити окремі методи стиснення для інформації про якісні ознаки в повідомленнях про повітряні об'єкти, для координатної інформації і для інформації про швидкість польоту повітряних об'єктів.

**Ключові слова:** метод, інформація, стиснення

### Вступ

#### Постановка проблеми та аналіз літератури.

Для передачі інформації про якісні ознаки в повідомленнях про повітряні об'єкти (ПО) можуть використовуватися різноманітні інформаційні елементи [1]. В якості прикладу, в таблиці 1. представлена частина таких інформаційних елементів, що використовуються в комплексі засобів автоматизації «Межа».

З таблиці 1 видно, що інформаційні елементи, що відображають якісні ознаки радіолокаційної інформації (РЛІ), мають невеликий розмір. Це знижує ефективність їх представлення в полі специфікації формату ASTERIX, так як для кожного елемента виділяється один заявлений біт в цьому полі.

Таблиця 1

Характеристики ознакових інформаційних елементів

Позначення	Назва	Можливі значення	Розмір, біт
С	Склад ПО (кількість повітряних об'єктів у групі)	Невідомо, один, два, група	2
ДП	Ознака державної приналежності	Свій, чужий, терпить лихо, нерозпізнаний	2
ОЗ	Ознака завад	Немає завад, пасивні, активні, комбіновані	2
ОН	Ознака новизни ПО	Новий, старий	1
ОЕ	Ознака екстраполяції траси ПО	Поновлена, екстрапольована	1
$\sigma_{xz}$	С.к.п. оцінки площинних координат	Номери інтервалів від 0 до 1000 м.	3
$\sigma_h$	С.к.п. оцінки значення висоти	Номери інтервалів від 0 до 500 м.	2
ОП <sub>h</sub>	Ознака поновлення значення висоти	Висота поновлена, не поновлена	1
М	Ознака маневру	Маневр по курсу, по висоті, по швидкості, немає маневру	2

Тому, для зменшення розміру повідомлень про повітряні об'єкти доцільно розділити якісні

ознаки радіолокаційної інформації на групи при їхньому уявленні в полі специфікації. При цьому група ознак буде вважатися такою, що змінилася, якщо хоча б один елемент в ній змінив своє значення. Стиснення інформації пропонується здійснювати за рахунок виключення з повідомлень груп якісних ознак, що не змінилися.

Для забезпечення максимального коефіцієнта стиснення при такому підході слід розробити ефективний спосіб формування таких груп. Так як зміна якісних ознак в повідомленні про повітряні об'єкти носить імовірнісний характер, то спосіб формування груп повинен апріорно забезпечувати максимальне середнє число груп, що не змінилися. Очевидно, що ймовірність зміни групи ознак буде залежати від ймовірностей зміни окремих ознак, що входять в цю групу. Отримати значення цих ймовірностей можна за допомогою оцінки статистичної ймовірності події, що складається в тому, що не відбудеться зміна значення відповідної ознаки між періодами поновлення повідомлень про повітряні об'єкти. Отримати таку оцінку можна на підставі аналізу інформаційного потоку повідомлень про повітряні об'єкти. При цьому визначити мінімальну кількість вибірки статистичних даних, достатнього для отримання оцінок ймовірностей зміни окремих ознак з необхідною достовірністю і точністю, можливо на основі підходів, викладених в літературі [2-4].

**Мета статті** полягає в розроблянні методу стиснення інформації про якісні ознаки в повідомленнях про повітряні об'єкти, для координатної інформації, а також інформації про швидкість польоту повітряних об'єктів.

### Виклад основного матеріалу дослідження

Сформулюємо постановку задачі для розроблення ефективного способу формування груп якісних ознак в повідомленнях про повітряний об'єкт.

**Змістовна постановка задачі.** Нехай в повідомленні про повітряні об'єкти є  $n$  одинітових якісних ознак з відповідною ймовірністю незміни своїх значень  $q_n$ . Необхідно так сформулювати одинбайтові групи ознак, щоб забезпечити максимум математичного очікування числа незмінних груп в повідомленнях про повітряні об'єкти. Перейдемо до вирішення поставленої задачі.

**Рішення задачі.** В якості вихідної посилки для вирішення задачі будемо використовувати наступне припущення: ознаки з великою частотою зміни і ознаки з малою частотою зміни повинні бути рознесені по різних групах, щоб ознаки, що часто змінюються, не впливали на стиск інших груп. Тоді для формування таких груп

пропонується провести сортування ознак по зростанню ймовірності незміни їх значень між періодами поновлення повідомлень про повітряні об'єкти, а потім в отриманому списку виділити послідовні ознаки в групі по байту:

$$q_1 < q_2 < \dots < q_n, \quad (1)$$

$$[q_1, \dots, q_8], [q_9, \dots, q_{16}], \dots, [q_{n-7}, \dots, q_n]$$

Оцінимо оптимальність такого розподілу ознак за групами. Так як ознаки повітряного об'єкта незалежні, то математичне сподівання (м.с.)  $m$  кількості скороченої ознакової інформації в повідомленні про повітряні об'єкти дорівнює сумі математичних очікувань кількості скороченої ознакової інформації в сформованих групах [2]. Так як група ознак скорочується тільки в тому випадку, якщо жодна ознака в ній не змінилася, то м.с. кількості скорочених біт в  $j$ -тій групі рівно:

$$m_j = 0 \cdot P_j + 8 \cdot Q_j \quad (2)$$

де  $P_j$  – ймовірність події, полягає в тому, що в  $j$ -ої групі зміниться хоча б одна ознака;

$Q_j$  – ймовірність події, полягає в тому, що в  $j$ -ої групі не зміниться ні одна ознака:

$$Q_j = \prod_{i=1}^8 q_{ij}$$

Тоді м.с. кількості скороченої ознакової інформації в повідомленні:

$$m = \sum_{j=1}^{n/8} m_j = \sum_{j=1}^{n/8} \left[ 8 \cdot \prod_{i=1}^8 q_{ij} \right] \quad (3)$$

Необхідно довести, що запропоноване компонування груп ознак забезпечує максимум  $m$ . Це твердження відповідає тому, що будь-яка перестановка ознак між групами, наприклад,  $q_8 \leftrightarrow q_9$ , призведе до зменшення  $\sum_j \prod_i q_{ij}$  в виразі (4):

$$\sum_j \prod_i q_{ij} = [q_1 \times q_2 \times \dots \times q_8] + [q_9 \times q_{10} \times \dots \times q_{16}] + \dots + [q_{n-7} \times \dots \times q_n] \quad (4)$$

Так, наприклад, при перестановці ознак  $q_8 \leftrightarrow q_9$  перший доданок у виразі (4) збільшиться, а другий зменшиться, так як  $q_8 < q_9$ . Перший доданок в (4) збільшиться на величину  $\Delta_1$ :

$$\Delta_1 = (q_1 q_2 q_3 q_4 q_5 q_6 q_7) q_9 - (q_1 q_2 q_3 q_4 q_5 q_6 q_7) q_8 = \prod_{i=1}^7 q_i \times (q_9 - q_8) \quad (5)$$

Другий доданок зменшиться на величину  $\Delta_2$ :

$$\Delta_2 = q_9 (q_{10}q_{11}q_{12}q_{13}q_{14}q_{15}q_{16}) - q_8 (q_{10}q_{11}q_{12}q_{13}q_{14}q_{15}q_{16}) = \prod_{i=10}^{16} q_i \times (q_9 - q_8) \quad (6)$$

Відповідно (5) і (6) вираз (4) зміниться на величину  $\Delta$ :

$$\Delta = \Delta_1 - \Delta_2 = \prod_{i=1}^7 q_i \times (q_9 - q_8) - \prod_{i=10}^{16} q_i \times (q_9 - q_8) = (q_9 - q_8) \times \left( \prod_{i=1}^7 q_i - \prod_{i=10}^{16} q_i \right) < 0 \quad (7)$$

Величина  $\Delta < 0$  у виразі (7), так як  $\left( \prod_{i=1}^7 q_i - \prod_{i=10}^{16} q_i \right) < 0$  відповідно правилу сортування ознак (1). Отже, м.с. кількості скорочень ознакової інформації в повідомленні про ПО (3) зменшиться.

Таким чином, запропонований принцип формування груп якісних ознак по формулі (1) забезпечує максимум математичного очікування числа незмінних груп в повідомленнях про ПО, що відповідає максимальній ефективності стиснення інформації про якісні ознаки в повідомленнях про ПО [ 5].

У наведених вище міркуваннях передбачалося, що розмір якісних ознакових інформаційних елементів дорівнює одному біту. Разом з тим, реальні ознаки можуть мати і більший розмір (табл. 1). Тому необхідно враховувати при формуванні ознакових груп не тільки ймовірність незміни ознак, але і їх розмір. У таких випадках пропонується використовувати наступний прийом: можна уявити значення ймовірності незміни k-бітової ознаки Q (k) у вигляді твору однакових значень ймовірностей незміни кожного біта цієї ознаки.

$$Q^{(k)} = \prod_{i=1}^k \sqrt[k]{Q^{(k)}} = \prod_{i=1}^k q \quad (8)$$

де q- ймовірність незміни одного біта ознаки.

Тепер k-бітову ознаку можна розглядати як k однобітових ознак з однаковими можливостями їх незміни q. Хоча ймовірності незміни бітів в k-бітовій ознаці в загальному випадку не рівні, але завдяки штучно введений рівності цих ймовірностей за формулою 8, при сортуванні ознак по запропонованому принципу ці k біт виявляться разом, тобто k-бітова ознака не розпадеться [6-11]. Достовірність такого штучного прийому обумовлена тим, що в запропонованому методі стиснення ознакової інформації можна абстрагуватися від ймовірності незміни окремих бітів в k-бітовій ознаці, важлива лише ймовірність незміни значення цієї ознаки. При цьому можна

припускати будь-які значення ймовірностей незміни бітів в k-бітовій ознаці, аби їх добуток дорівнював  $Q^{(k)}$ . Таким чином, k-бітова якісна ознака буде впорядкована як з урахуванням ймовірності його незміни, так і з урахуванням свого розміру.

Може виявитися, що при побайтному формуванні ознакових груп з відсортованого списку ознак частина k-бітової ознаки вийде за рамки однієї групи (байта) і перейде в наступну групу. В такому випадку необхідно перемістити k-бітову ознаку в одну з груп за допомогою побітного зсуву таким чином, щоб були мінімальними зменшення м.с. кількості скороченої признакової інформації в повідомленні про ПО. Конкретних рекомендацій з вибору напрямку переміщення k-бітової ознаки одержати не вдається, через необхідність урахування при цьому значень  $q_j$  для кожної конкретної реалізації списку при-знаків.

Таким чином, використовуючи оцінки частоти незміни значень ознак, представлених в таблиці 1, можна сформувати такі групи інформаційних елементів, що мають розмір по одному байту:

- 1)(С, ОД, ОП, ОН, ОЕ);
- 2) ( $\sigma_{xz}, \sigma_h, ОП_H, M$ ).

### Визначення достатньої вибірки при оцінці ймовірності події по частоті

Нехай виконано n дослідів, причому в X з них подія A, що складається в тому, що не відбудеться зміна значення відповідної ознаки між періодами поновлення донесень про ПО, відбулося, а в (n-X) - не відбулося. Частота події A виражається формулою:

$$p^* = X / n \quad (9)$$

Припускаючи те, що досліди незалежні, то випадкова величина X розподілена по біноміальному закону з параметрами пір. Відомо, що математичне очікування випадкової величини X, розподіленої за біноміальним законом, дорівнює np, де n – число дослідів, p – вірогідність «успіху» (появи події A) в кожному досліді, а дисперсія с.в. X дорівнює npq, де q = 1-p.

С.в. X можна представити у вигляді суми і випадкових величин:

$$X = \sum_{i=1}^n X_i \quad (10)$$

де  $X_i$  – індикатор події A в i-тому досліді:

$$X_j = \begin{cases} 1, & \text{якщо в } i\text{-тому досліді } A \text{ відбулося,} \\ 0, & \text{якщо в } i\text{-тому досліді } A \text{ не відбулося,} \\ (i = 1, 2, \dots, n) \end{cases}$$

З центральної граничної теореми відомо, що при досить великому  $n$  сума  $n$  незалежних випадкових величин розподілена приблизно нормально; значить с.в.  $X$  можна вважати розподіленою за нормальним законом з параметрами при  $\sqrt{pq}$ . Її лінійна функція  $p^* = X/n$  має також нормальний розподіл з параметрами.

$$m_{p^*} = M[p^*] = p \quad (11)$$

$$\sigma_{p^*} = \sqrt{D[p^*]} = \sqrt{D_x/n^2} = \sqrt{pq/n} \quad (12)$$

З того, що математичне очікування частоти  $p^*$  події  $A$  дорівнює  $p$ , слід, що  $p^*$  є незміщеною оцінкою для  $p$  (то, що ця оцінка спроможна, впливає з теореми Бернуллі).

Щоб оцінити точність наближеної рівності  $p \approx p^*$  необхідно знайти ймовірність того, що помилка цієї рівності не перевищить  $\varepsilon$ :

$$P\{|p^* - p| < \varepsilon\} = 2\Phi\left(\frac{\varepsilon/\sigma_{p^*}}{\sqrt{pq}}\right) = 2\Phi\left(\frac{\varepsilon \cdot \sqrt{n}}{\sqrt{pq}}\right) \quad (13)$$

Так як ймовірність  $p$  заздалегідь невідома, то з положення можна вийти замінивши в формулах (12), (13) ймовірність  $p$  її наближеним значенням  $p^*$ , а замість  $q$  підставивши  $1-p^*$ . Тоді формула (13) приблизно запишеться у вигляді:

$$P\{|p^* - p| < \varepsilon\} \approx 2\Phi\left(\frac{\varepsilon \cdot \sqrt{n}}{\sqrt{p^* q^*}}\right) \quad (14)$$

Використовуючи формулу (14) можна визначити кількість необхідних дослідів для отримання оцінки параметрів біномного розподілу з необхідною точністю і достовірністю наступним чином.

На першому етапі за результатами довільного числа  $k$  дослідів визначається значення  $p^*$  і  $q^*$ . Підставивши їх у формулу (14) при заданих  $\varepsilon$  і  $p$  можна отримати шукане число дослідів  $n$ .

На другому етапі, після проведених необхідного числа дослідів може знадобитися нова перевірка точності визначення ймовірності по частоті, так як буде отримано в загальному випадку вже інше значення частоти  $p^*$ , відмінне від спостережуваного в раніше проведених

дослідах. При цьому може виявитися, що число дослідів все ще недостатньо для забезпечення необхідної точності, і його доведеться збільшити.

Для уникнення ітераційного процесу пошуку достатнього розміру вибірки можна скористатися наближеними розрахунками, наведеними в [4]. У цій роботі вирішується завдання визначення обсягу вибірки, щоб будь-який невідомий заздалегідь параметр  $p$  біноміального розподілу міг бути оцінений із заданою точністю при необхідній достовірності  $(1-\alpha)$ , тобто задача складається в тому, щоб знайти таке  $n_0$ , при якому  $n \geq n_0$

$$\min_p P\{|k/n - p| < \varepsilon\} \geq 1 - \alpha \quad (15)$$

де  $k$  - число успіхів в  $n$  випробуваннях Бернуллі,

$\varepsilon, \alpha$  - задані малі числа.

Мінімальні значення обсягів вибірки  $n_0$ , забезпеченні оцінювання параметрів біноміального розподілу частотою успіхів із заданою точністю  $\varepsilon$  і надійністю  $(1-\alpha)$ , і значення  $n_0$ , для яких при  $n > n_0$  гарантується задана точність, наведені в таблиці 2.

Таблиця 2

Значення об'ємів вибірки при біноміальному розподілі

1- $\alpha$	$\varepsilon=0,1$		$\varepsilon=0,5$	
	$\bar{n}_0$	$n_0$	$\bar{n}_0$	$n_0$
0,55	20	20	60	70
0,60	20	25	80	80
0,70	30	35	110	120
0,80	45	45	170	180
0,90	70	75	280	280
0,95	100	100	390	400
0,96	110	110	430	440
0,97	120	125	480	480
0,98	140	140	550	550
0,99	170	170	670	680

### Висновки й перспективи подальших досліджень

Метод стиснення інформації про якісні ознаки в повідомленнях про повітряні об'єкти передбачає наступну послідовність дій: групування якісних ознак по одному байту зі списку сортування (1); встановлення кожній групі заявочного біта в полі специфікації повідомлення в форматі ASTERIX; виключення із повідомлення групи ознак, що не

змінилися; відновлення на приймальному боці виключним виключених груп за попереднім повідомленням по даному повітряному об'єкту.

Якщо застосування даного методу не дозволяє досягти потрібного стиснення радіолокаційної інформації, то необхідно додатково здійснювати стиснення інших інформаційних елементів. Доцільно в таких випадках використовувати в першу чергу менш складний і більш ефективний метод стиснення радіолокаційної інформації. Таким методом є стиснення інформації про швидкість польоту повітряного об'єкта.

### Література

1. Eurocontrol standard document for radar dataexchange, Part 1 - All Purpose Structure- Eurocontrol Radar Information Exchange (ASTERIX), (Ref: SUR.ET1 .ST05.2000 - STD-01-01), November 1997, 59 p.
2. **Вентцель Е. І.** Теорія ймовірностей: Навчальний посібник. - М.: Вища школа, 2001. - 575 с.
3. **Вентцель Е. С.** Теорія ймовірностей та її інженерні додатки: Навчальний посібник / Вентцель Е. С., Овчаров Л. О. - М.: Вища школа, 2000. - 480 с.

4. **Петрович М. Л.** Статистичне оцінювання і перевірка гіпотез на ЕВМ / Петрович М. Л., Давидович М. І. - М.: Фінанси і статистика, 1989. - 191 с.

5. **Кузьмін С. З.** Цифрова радіолокація. Введення в теорію. - Київ: Видавництво КВЦ, 2000. - 428 с.

6. **Сергієнко І. В.** Наближені методи вирішення дискретних задач оптимізації / Сергієнко І. В., Лебедева Т. Т., Ропці В. А. - К.: Наукова думка, 1980. - 276с.

7. **Кузнєцов О. П.** Дискретна математика для інженерів / Кузнєцов О. П., Адельсон-Вельський Г. М. - М.: Енергоатоміздат, 1988. - 480 с.

8. **Коршунов Ю. М.** Математичні основи кібернетики. - М.: Енергоатоміздат, 1987. - 496 с.

9. **Гермейер Ю. Б.** Введення в теорію досліджень операцій. - М.: Наука, 1971.-383 с.

10. **Міхалевич В. С.** Обчислювальні методи дослідження і проектування складних систем / Міхалевич В. С., Волкович В. Л. - М.: Наука, 1982. - 286 с.

11. **Вагін В. М.** Дедукція і ототожнення в системах прийняття рішень. -М.: Наука. 1988. - 384 с.

**Рецензент:** д-р техн. наук доцент М.А.Павленко, ХНУПС, Харків.

## РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ СЖАТИЯ СООБЩЕНИЙ О ВОЗДУШНЫХ ОБЪЕКТАХ

*Григорій Сергеевич Степанов (канд. воен. наук, доцент, профессор кафедры)<sup>1</sup>*

*Александр Павлович Кондратенко (д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры)<sup>2</sup>*

*Андрей Станиславович Могилащенко<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>*Национальный университет обороны Украины имени Ивана Черняховского, Киев*

<sup>2</sup>*Национальная академия Национальной гвардии Украины, Харьков*

<sup>3</sup>*Воинская часть А2183, Первомайск*

*При использовании переменной структуры исходных сообщений о воздушных объектах необходимо иметь возможность восстановления на приемной стороне полного состава информационных элементов и их размера. Для этих целей предлагается использовать методы сжатия данных без потерь качества радиолокационной информации. Так как наибольшую эффективность сжатия можно обеспечить за счет максимального учета статистических особенностей сжимаются данных, то целесообразно разработать отдельные методы сжатия для информации о качественных признаках в сообщениях о воздушных объектах, для координатной информации и для информации о скорости полета воздушных объектов.*

**Ключевые слова:** метод, информация, сжатие

## DEVELOPMENT COMPRESSION TECHNIQUES REPORTS OF AIRCRAFT OBJECTS

*Hrygorii S. Stepanov (Philosophy Doctor of Military Sciences, Associate Professor, Professor of a Department)<sup>1</sup>*

*Oleksandr P. Kondratenko (Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of a Department)<sup>2</sup>*

*Andrey S. Mohilatenko<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>*National Defence University of Ukraine named after Ivan Cherniakhovsky, Kyiv, Ukraine*

<sup>2</sup>*National Academy of National Guard of Ukraine, Kharkiv, Ukraine*

<sup>3</sup>*Military unit А2183, Pervomaysk, Ukraine*

*When using variable structure issued reports of aerial objects must be able to recover at the receiving end of the whole information elements and their size. For these purposes it is encouraged to use methods of data compression without loss of quality of radar data. Since the highest compression efficiency can be achieved by maximizing account of statistical characteristics of compressed data, it is advisable to develop a separate compression techniques for information about the qualitative characteristics in the reports of aerial objects, to coordinate information and information on flight speed air targets.*

**Keywords:** method, information, compression

*References*

1. Eurocontrol standard document for radar dataexchange, Part 1 - All Purpose Structure- Eurocontrol Radar Information Exchange (ASTERIX), (Ref: SUR.ET1 .ST05.2000 - STD-01-01), November 1997, 59 p.
2. **Ventsel E.I.** (2001), Probability Theory: Textbook. Moscow: Higher School, 575 p.
3. **Ventsel E.S., Ovcharov L.O.** (2000), Probability Theory and Its Engineering Applications: A Manual, Moscow: Higher School, 480 p.
4. **Petrovich M.L., Davidovich M.I.** (1989), Statistical estimation and testing of hypotheses on the computer, Moscow: Finances and statistics, 191 p.
5. **Kuzmin S.S.** (2000), Digital radar. Introduction to the theory, Kyiv: Publishing house KVSCH., - 428 p.
6. **Sergienko I.V., Lebedeva T.T., Ropschi V.A.** (1980), Approximate methods for solving discrete optimization problems Kyiv: Naukova dumka, 276 p.
7. **Kuznetsov O.P., Adelson-Velsky G.N.** (1988), Discrete Mathematics for Engineers, Moscow: Energoatomizdat, 480 p.
8. **Korshunov Yu.M.** (1987), Mathematical Foundations of Cybernetics, Moscow: Energoatomizdat, 496 P.
9. **Germeyer Yu.B.** (1971), Introduction to the theory of operations research, Moscow: Nauka, 383 p.
10. **Michalevich B.C., Volkovich V.L.** (1982), Computational methods of research and design of complex systems, Moscow: Nauka, 286 p.
11. **Vagin V.M.** (1988), Deduction and identification in decision-making systems, Moscow: Nauka, 384 p.