

УДК 681.51:623.592

А.С. Могилатенко¹, Ю.А. Данилов², М.А. Павленко³¹ Воинская часть А0593, Никополь² Командование Воздушных Сил Вооруженных Сил Украины, Винница³ Харьковский национальный университет Воздушных Сил имени И. Кожедуба, Харьков**РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ СЖАТИЯ СООБЩЕНИЙ О ВОЗДУШНЫХ ОБЪЕКТАХ**

При использовании переменной структуры выдаваемых 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 сжимаемых 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.

Введение

Для передачи информации о качественных признаках в сообщениях о воздушных объектах (ВО) могут использоваться различные информационные элементы [1]. В качестве примера, в табл. 1 представлены часть таких информационных элементов, используемых в комплексе средств автоматизации систем управления воздушного движения. Из табл. 1 видно, что информационные элементы, отражающие качественные признаки радиолокационной информации (РЛИ), имеют небольшой размер. Это снижает

эффективность их представления в поле спецификации формата ASTERIX, так как для каждого элемента выделяется один заявочный бит в этом поле. Поэтому для уменьшения размера сообщений о воздушных объектах целесообразно разделить качественные признаки радиолокационной информации на группы при их представлении в поле спецификации. При этом группа признаков будет считаться изменившейся, если хотя бы один элемент в ней изменил свое значение. Сжатие информации предлагается осуществлять за счет исключения из сообщений неизменившихся групп качественных признаков.

Таблица 1

Характеристики признаков информационных элементов

Обозначение	Название	Возможные значения	Размер, бит
С	Состав ВО (кол-во возд. объектов в группе)	Неизвестно, один, два, группа	2
ГП	Признак государственной принадлежности	Свой, чужой, терпит бедствие, неопознан	2
ПП	Признак помех	Нет помех, пассивные, активные и т.д.	2
ПН	Признак новизны ВО	Новый, старый	1
ПЭ	Признак экстраполяции трассы ВО	Обновлена, экстраполирована	1
σ_{xz}	С.к.о. оценки плоскостных координат	Номера интервалов от 0 до 1000 м.	3
σ_h	С.к.о. оценки значений высоты	Номера интервалов от 0 до 500 м.	2
ПО _h	Признак обновления значения высоты	Высота обновлена, не обновлена	1
М	Признак маневра	Нет маневра, маневр по курсу, по высоте т.д.	2

Для обеспечения максимального коэффициента сжатия при таком подходе следует разработать эффективный способ формирования таких групп. Так как изменение качественных признаков в сообщении о воздушных объектах носит вероятностный характер, то способ формирования групп должен априорно обеспечивать максимальное среднее число неизменившихся групп. Очевидно, что вероятность изменения группы признаков будет зависеть от вероятностей изменения отдельных признаков, входящих в эту группу.

Получить значения этих вероятностей можно с помощью оценки статистической вероятности собы-

тия, состоящего в том, что не произойдет изменение значения соответствующего признака между периодами обновления сообщений о воздушных объектах.

Получить такую оценку можно на основании анализа информационного потока сообщений о воздушных объектах.

При этом определить минимальное количество выборки статистических данных, достаточного для получения оценок вероятностей изменения отдельных признаков с требуемой достоверностью и точностью, можно на основе подходов, изложенных в литературе [2-4] и представленных в следующем разделе.

Результаты исследований

Сформулируем постановку задачи для разработки эффективного способа формирования групп качественных признаков в сообщениях о ВО.

Содержательная постановка задачи. Пусть в сообщении о воздушных объектах имеется n однобитовых качественных признаков с соответствующей вероятностью неизменения своих значений q_n . Необходимо так сформировать однобайтовые группы признаков, чтобы обеспечить максимум математического ожидания числа неизменяющихся групп в сообщениях о воздушных объектах. Перейдем к решению поставленной задачи.

Решение задачи. В качестве исходной посылки для решения задачи будем использовать следующее предположение: признаки с большой частотой изменения и признаки с малой частотой изменения должны быть разнесены по разным группам, чтобы часто меняющиеся признаки не влияли на сжатие других групп. Тогда для формирования таких групп предлагается произвести сортировку признаков по возрастанию вероятности неизменения их значений между периодами обновления сообщений о воздушных объектах, а затем в полученном списке выделить подряд идущие признаки в группы по байту:

$$q_1 < q_2 < \dots < q_n, [q_1, \dots, q_8], \dots, [q_{n-7}, \dots, q_n]. \quad (1)$$

Оценим оптимальность такого распределения признаков по группам. Так как признаки воздушного объекта независимы, то математическое ожидание (м.о.) m количества сокращенной признаковой информации в сообщении о воздушных объектах равно сумме математических ожиданий количества сокращенной признаковой информации в сформированных группах [2]. Так как группа признаков сокращается только в том случае, если ни один признак в ней не изменился, то м.о. количества сокращенных бит в j -той группе равно:

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

где P_j – вероятность события, состоящего в том, что в j -й группе изменится хотя бы один признак; Q_j – вероятность события, состоящего в том, что в j -й группе не изменится ни один признак:

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

Тогда м.о. количества сокращенной признаковой информации в сообщении равно

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

Необходимо доказать, что предложенная компоновка групп признаков обеспечивает максимум m . Это утверждение соответствует тому, что любая перестановка признаков между группами, например, $q_8 \leftrightarrow q_9$, приведет к уменьшению составляющей:

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

Так, например, при перестановке признаков $q_8 \leftrightarrow q_9$ первое слагаемое в выражении (4) увеличится, а второе уменьшится, так как $q_8 < q_9$. Первое слагаемое в (4) увеличится на величину Δ_1 :

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

Второе слагаемое уменьшится на величину Δ_2 :

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

Согласно (5) и (6) выражение (4) изменится на величину Δ :

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

Величина $\Delta < 0$ в выражении (7), так как $\left(\prod_{i=1}^7 q_i - \prod_{i=10}^{16} q_i \right) < 0$ согласно правилу сортировки признаков (1). Следовательно, м.о. количества сокращенной признаковой информации в сообщении о ВО (3) уменьшится.

Таким образом, предложенный принцип формирования групп качественных признаков по формуле (1) обеспечивает максимум математического ожидания числа неизменяющихся групп в сообщениях о ВО, что соответствует максимальной эффективности сжатия информации о качественных признаках в сообщениях о ВО [5].

В приведенных выше рассуждениях предполагалось, что размер качественных признаков информационных элементов равен одному биту. Вместе с тем, реальные признаки могут иметь и больший размер (табл. 1). Поэтому необходимо учитывать при формировании признаков групп не только вероятность неизменения признаков, но и их размер. В таких случаях предлагается использовать следующий прием: можно представить значение вероятности неизменения k -битового признака $Q^{(k)}$ в виде произведения одинаковых значений вероятностей неизменения каждого бита этого признака:

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

где q – вероятность неизменения 1-го бита признака.

Теперь k -битовый признак можно рассматривать как k однобитовых признаков с одинаковыми вероятностями их неизменения q . Хотя вероятности неизменения битов в k -битовом признаке в общем случае не равны, но благодаря искусственно введенному равенству этих вероятностей по формуле 8,

при сортировке признаков по предложенному принципу эти k бит окажутся вместе, т.е. k -битовый признак не распадется [6-11]. Достоверность такого искусственного приема обусловлена тем, что в предложенном методе сжатия признаковой информации можно абстрагироваться от вероятности неизменения отдельных битов в k -битовом признаке, важна лишь вероятность неизменения значения этого признака. При этом можно предполагать любые значения вероятностей неизменения битов в k -битовом признаке, лишь бы их произведение было равно $Q^{(k)}$. Таким образом, k -битовый качественный признак будет отсортирован как с учетом вероятности его неизменения, так и с учетом своего размера.

Может оказаться, что при побайтном формировании признаковых групп из отсортированного списка признаков часть k -битового признака выйдет за рамки одной группы (байта) и перейдет в следующую группу. В таком случае необходимо переместить k -битовый признак в одну из групп с помощью побитного сдвига таким образом, чтобы было минимальное уменьшение м.о. количества сокращенной признаковой информации в сообщении о ВО. Конкретных рекомендаций по выбору направления перемещения k -битового признака получить не удастся, ввиду необходимости учета при этом значений q_i для каждой конкретной реализации списка признаков. Таким образом, используя оценки частоты неизменения значений признаков, представленных в табл. 1, можно сформировать следующие группы информационных элементов, имеющих размер по одному байту:

- 1)(С, ГП, ПП, ПН, ПЭ);
- 2)($\sigma_{xz}, \sigma_h, \text{ПО}_H, \text{М}$).

Определение достаточности выборки при оценке вероятности события по частоте. Пусть проведено n опытов, причем в X из них событие A , состоящее в том, что не произойдет изменение значения соответствующего признака между периодами обновления донесений о ВО, произошло, а в $(n - X)$ - не произошло. Частота события A равна

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

Предполагая о том, что опыты независимы, то случайная величина X распределена по биномиальному закону с параметрами p и n . Известно, что математическое ожидание случайной величины X , распределенной по биномиальному закону, равно np , где n – число опытов, p – вероятность «успеха» (появления события A) в каждом опыте, а дисперсия с.в. X равна npq , где $q = 1 - p$. С.в. X можно представить как:

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

где X_i – индикатор события A в i -м опыте:

$$X_j = \begin{cases} 1, & \text{если в } i\text{-м опыте } A \text{ произошло;} \\ 0, & \text{если в } i\text{-м опыте } A \text{ не произошло, } i = \overline{1, n}. \end{cases}$$

Из центральной предельной теоремы известно, что при достаточно большом n сумма n независимых случайных величин распределена приблизительно нормально; значит с.в. X можно считать распределенной по нормальному закону с параметрами при \sqrt{npq} . Ее линейная функция $p^* = X/n$ имеет также нормальное распределение с параметрами:

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

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

Из того, что математическое ожидание частоты p^* события A равно p , следует, что p^* является несмещенной оценкой для p (то, что эта оценка состоятельна, следует из теоремы Бернулли).

Чтобы оценить точность приближенного равенства $p \approx p^*$ необходимо найти вероятность того, что ошибка этого равенства не превысит ε :

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

Так как вероятность p заранее неизвестна, то из положения можно выйти заменив в формулах (12), (13) вероятность p ее приближенным значением p^* , а вместо q подставив $1 - p^*$. Тогда формула (13) приближенно запишется в виде:

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

Используя формулу (14) можно определить количество необходимых опытов для получения оценки параметров биномиального распределения с требуемой точностью и достоверностью следующим образом.

На первом этапе по результатам произвольного числа k опытов определяется значения p^* и q^* . Подставив их в формулу (14) при заданных ε и p можно получить искомое число опытов n .

На втором этапе, после проведения необходимого числа опытов может понадобиться новая проверка точности определения вероятности по частоте, так как будет получено вобщем случае уже другое значение частоты p^* , отличное от наблюдаемого в ранее проведенных опытах. При этом, может оказаться, что число опытов все еще недостаточно для обеспечения необходимой точности, и его придется увеличить.

Для избегания итерационного процесса поиска достаточного размера выборки можно воспользоваться приближенными расчетами, приведенными в [4]. В этой работе решается задача определения объема выборки, чтобы любой неизвестный заранее параметр рбиномиального распределения мог быть оценен с заданной точностью при требуемой

достовірності $(1-\alpha)$, т.е. задачасостоит в том, чтобы найти такое n_0 , при котором $n \geq n_0$:

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

где k – число успехов в n испытаниях Бернулли, ε , α – заданные малые числа.

Минимальные значения объемов выборки n_0 , обеспечивающие оценивание параметров биномиального распределения частотой успехов с заданной точностью ε и надежностью $(1-\alpha)$, и значения n_0 , для которых при $n > n_0$ гарантируется заданная точность, приведены в табл. 2.

Таблица 2

Значения объемов выборки при биномиальном распределении

$1-\alpha$	$\varepsilon=0,1$		$\varepsilon=0,5$	
	\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

Выводы

Метод сжатия информации о качественных признаках в сообщениях о воздушных объектах предусматривает следующую последовательность действий: группирование качественных признаков по одному байту из списка сортировки (1); установление каждой группе заявочного бита в поле спецификации сообщения в формате ASTERIX; исключение из сообщения неизменившейся группы признаков; восстановление на приемной стороне исключенных групп по предыдущему сообщению по данному воздушному объекту. Если применение данного метода не позволяет достичь требуемого сжатия

радиолокационной информации, то необходимо дополнительно осуществлять сжатие других информационных элементов. Целесообразно в таких случаях использовать в первую очередь менее сложный и более эффективный метод сжатия радиолокационной информации.

Таким методом является сжатие информации о скорости полета воздушного объекта.

Список литературы

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.И. Теория вероятностей: Учебное пособие. – М.: Высшая школа, 2001. – 575 с.
3. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория вероятностей и ее инженерные приложения: Учебное пособие. – М.: Высшая школа, 2000. – 480 с.
4. Петрович М.Л., Давидович М.И. Статистическое оценивание и проверка гипотез на ЭВМ. – М.: Финансы и статистика, 1989. – 191 с.
5. Кузьмин С.З. Цифровая радиолокация. Введение в теорию. – Киев: Издательство КВЦ, 2000. – 428 с.
6. Сергиенко И.В., Лебедева Т.Т., Ропици В.А. Приближенные методы решения дискретных задач оптимизации. – К.: Наукова думка, 1980. – 276 с.
7. Кузнецов О.П., Адельсон-Вельский Г.М. Дискретная математика для инженеров. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 480 с.
8. Кориунов Ю.М. Математические основы кибернетики. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 496 с.
9. Гермейер Ю.Б. Введение в теорию исследования операций. – М.: Наука, 1971. – 383 с.
10. Михалевич В.С., Волкович В.Л. Вычислительные методы исследования и проектирования сложных систем. – М.: Наука, 1982. – 286 с.
11. Вагин В.Н. Дедуция и обобщение в системах принятия решений. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит. 1988. – 384 с.

Надійшла до редколегії 17.01.2017

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.І. Тимочко, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків.

РОЗРОБКА МЕТОДІВ СТИСНЕННЯ ПОВІДОМЛЕНЬ ПРО ПОВІТРЯНІ ОБ'ЄКТИ

А.С. Могілатенко, Ю.А. Данилов, М.А. Павленко

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 найбільш ефективність стиснення можна забезпечити за рахунок максимального врахування статистичних особливостей стискаються 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.

DEVELOPMENT COMPRESSION TECHNIQUES REPORTS OF AIRCRAFT OBJECTS

A.S. Mohilatenko, Y.A. Danilov, M.A. Pavlenko

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.