

УДК 681.192

**В.А. Хорошко,**  
доктор технических наук, профессор,  
**Ю.Е. Хохлачева,**  
кандидат технических наук, доцент

## РАСПОЗНАВАНИЕ ВИДЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ПОТОКОВ, ПЕРЕДАВАЕМЫХ БЕСПИЛОТНЫМИ ЛЕТАТЕЛЬНЫМИ АППАРАТАМИ

*Речь идет о применении структурного метода распознавания образов различной сложности, что позволяет в реальном масштабе времени обрабатывать видеoinформацию, поступающую с борта БПЛА.*

*Показана возможность автоматического распараллеливания программ на уровне обобщенных операций применительно к системам обработки информации в реальном масштабе времени на наземном пункте управления.*

**Ключевые слова:** *распознавание видеoinформационных потоков, беспилотные летательные аппараты.*

*Йдеться про застосування структурного методу розпізнавання образів різної складності, що дозволяє в реальному масштабі часу обробляти відеоінформацію, яка надходить з борту БПЛА.*

*Показана можливість автоматичного розпаралелювання програм на рівні узагальнених операцій стосовно систем обробки інформації в реальному масштабі часу на наземному пункті управління.*

**Ключові слова:** *розпізнавання відеоінформаційних потоків, безпілотні літальні апарати.*

*An application of the structured method of the recognition of images of varying complexity that allows real-time processing videoinformation received from the Board of UAV. The possibility of automatic parallelization of programs at the level of generalized operations with regard to the processing of information in real time to ground control station is shown.*

**Keywords:** *recognition of videoinformation streams, unmanned aerial vehicles.*

### Введение

В наше время беспилотные летательные аппараты (БПЛА) являются основными элементами информационно-разведывательных средств обеспечения и дистанционного влияния на противника во время военных действий, а также для внутренней безопасности государства. БПЛА стали обязательной и неотъемлемой частью вооружения современных армий и широко используются невоенизированными формированиями, в том числе и полицейскими подразделениями как за границей, так и у нас. Если раньше получение информации при помощи этих средств предназначалось прежде всего для решения стратегических и только иногда для оперативных задач, то к началу 90-х годов в связи с развитием информационных систем и средств обработки использования информации, которая

поставляється БПЛА, существенно возросла их роль во время ведения боевых и правоохранительных действий в тактическом звене.

По мнению экспертов, применение БПЛА значительно повысит эффективность их применения [1; 2].

Важнейшими аспектами развития БПЛА являются:

- развитие и усовершенствование систем видеоизображения обстановки вокруг БПЛА;
- разработка бортовых систем обработки и передачи видеoinформации;
- разработка наземных систем обработки видеoinформации для информирования оператора в реальном масштабе времени;
- наличие информационного обеспечения достаточного для принятия решений;
- увеличение разведзащищенности каналов связи и управления БПЛА;
- увеличение в условиях ограниченного частотного ресурса большой скорости передачи данных в каналах связи;
- разработка и внедрение новых концепций, реализация которых является принятой по критерию “эффективность-стоимость-время”.

Следует отметить, что повышение внимания к БПЛА является влиянием времени. Количество государств, которые занимаются разработкой и производством БПЛА, быстро растет. Если в 1985 году их было 18, то в 1991 году – 33, а в 1996 году уже 50 [2].

Уже на начало 2003 года 55 фирм в 15 странах разрабатывали и выпускали БПЛА 145 типов. Сейчас их разработкой и изготовлением занимаются уже сотни компаний. Оригинальные модели этих аппаратов ныне производятся в США, Франции, Великобритании, Израиле, Швеции, Швейцарии, Нидерландах, ФРГ, Италии, России, Австрии, Чехии, Хорватии, Украине, ЮАР, Малайзии, Сингапуре [1]. К началу 2010 года на мировом рынке БПЛА сформировалось полное соотношение и равновесие между государствами разработчиками и производителями беспилотников.

Ведущим государством по объему производства и широкому использованию БПЛА является США – 35 %. Европейский рынок беспилотников, по оценке экспертов, составляет около 20 % мирового и занимает второе место [2]. На Россию приходится всего 7,8 % и она занимает после Израиля четвертое место среди стран-изготовителей беспилотников.

Украина также не может стоять в стороне процесса создания и производства БПЛА. Тем более, что как Вооруженные Силы Украины, так и подразделения других силовых ведомств требуют оснащения беспилотниками.

Как уже отмечалось ранее, возможными вариантами решения этой проблемы могут быть такие: покупка лицензии на производство БПЛА или своя разработка и производство беспилотников силами отечественных предприятий; разработка и производство БПЛА совместно с иностранными компаниями; покупка беспилотников у зарубежных производителей.

Такой подход является комплексным и требует проведения научных исследований по таким направлениям:

- разработка технических средств для повышения помехозащищенности и разведзащищенности канала “борт-земля”;
- разработка программного обеспечения для обработки и передачи видеоизображения с беспилотников;

– разработка программного обеспечения для обработки видеoinформации в наземном пункте управления.

Наиболее сложным на наш взгляд является разработка методов восстановления видеоизображения в наземном пункте. Это связано с тем, что быстро поступающий информационный поток необходимо обрабатывать в реальном масштабе времени, а обычными методами это осуществить нельзя.

Поэтому необходимо осуществлять распараллеливание алгоритмов обработки видеoinформации для эффективного и качественного ее использования. В ряде работ [3; 4; 5] рассмотрены случаи распараллеливания процессов и программ, решения различных практических задач. Однако они не очень подходят для решения задач распознавания образов в быстро меняющихся видеоизображениях. Некоторые вопросы, связанные с этой проблемой: разработан ряд алгоритмов и исследованы подходы к решению задачи распознавания образов особого внимания заслуживают структурный подход и использование синтаксического анализа при описании и распознавании образов [6–17]. Некоторые задачи восстановления и распознавания образов по структурному подходу рассмотрены в работах [18; 19]. Этот подход интересен с точки зрения построения алгоритмов, обладающих глубокой степенью распараллеливания процессов обработки видеoinформации, что позволяет решать задачи в условиях реального времени.

При обработке и распознавании образов с помощью структурного подхода важной является задача выделения признаков (непроизводных элементов). Одним из условий, которое при этом накладывается, – это простота признаков для описания образов.

**Цель работы.** В работе исследуются вопросы, связанные с информативностью элементов спектра, обобщенного спектра и при описании и распознавании образов в системах реального времени. При этом рассматриваются возможности эффективного распараллеливания алгоритмов обработки информации при реализации их с помощью вычислительных средств параллельного действия.

#### Основная часть

Пусть задана фаза  $\Upsilon$ , представляющая некоторое изображение  $\Theta$  на рецепторном поле  $R$  размерностью  $n \times n$ :

$$X = \begin{cases} a_{11} & a_{12} & a_{13} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & \cdots & a_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ a_{n1} & a_{n2} & a_{n3} & \cdots & a_{nm} \end{cases}, \quad (1)$$

где  $a_{ij} \in E = \{0, 1, 2, \dots, m-1\} \forall_i, j \in [1, n]$ .

Тогда на основании [10] введем следующее определение.

Определение 1. Спектр изображения  $\Theta$  называется словом

$$S_0 = \{a_1^s a_2^s a_3^s \dots a_n^s\} \quad (2)$$

где

$$a_r^s = \sum_{(i=1)}^n a_i r, \forall_r = \overline{(1, n)}, \quad (3)$$

Таким образом, из формул (2) и (3) следует, что элементы спектра  $S$

$$a_r^s \in E_1 = \{0, 1, 2, 3, \dots, (m-1)n\}, \quad (4)$$

и при  $E = \{0, 1\}$

$$E_1 = \{0, 1, 2, 3, \dots, n\}. \quad (5)$$

Обычно рассматривают двоичный алфавит.

В работах [18; 19] проведены исследования по описанию некоторых классов изображений с помощью спектров  $S_\alpha$  при распознавании образов. Элементы спектров – частный случай общих отрезков. Далее будем исследовать задачу определения информативности элементов спектра  $S_\alpha$  при описании изображений с целью их распознавания и возможность распараллеливания обработки информации. Таким образом, постараемся выяснить возможность использования элементов спектра  $S_\alpha$  в качестве основных информационных признаков при описании выпуклых изображений, представленных в виде фразы (1), и исследуем некоторые их свойства.

Определение 2. Фразе  $X_\alpha$ , полученную из  $X$  записью элементов под углом  $\alpha$ , назовем фразой, записанной (просматриваемой) под углом  $\alpha$ .

Определение 3. Спектром изображения  $\Theta_\alpha$ , представленного с помощью фразы  $X_\alpha$ , называется слово

$$S_\alpha = (a_1^{(S_\alpha)} a_2^{(S_\alpha)} a_3^{(S_\alpha)} \dots a_1^{(S_\alpha)}), \quad (6)$$

$$a_r^{S_\alpha} = \sum_{i=1}^{n_\alpha} a_{ir}^a, 1 \leq r \leq n_\alpha, \quad (7)$$

где  $a_{ir}^a$  – элементы  $X_{\alpha ir}^a \in E$

Определение 4. Слово

$$T_{(k, a_0)}^n = (a_k^{(S_{(a_0)})} a_k^{(S_{(a_1)})} a_k^{(S_{(a_2)})} \dots a_k^{(S_{(a_j)})}), \quad (8)$$

Назовем  $k$ -м левым спектром изображения  $\Theta$  при  $j$  заданных направлениях просмотра изображения.

Определение 5. Слово

$$T_{(k, a_0)}^n = (a_{(n_{(a_0)})}^{(S_{(a_0)})} - k a_{(n_{(a_1)})}^{(S_{(a_1)})} - k a_{(n_{(a_2)})}^{(S_{(a_2)})} \dots a_{(n_{(a_j)})}^{(S_{(a_j)})} - k); \quad (9)$$

Назовем  $k$ -м правым спектром изображения  $\Theta$  при  $j$  заданных направлениях просмотра изображения.

Обозначим

$$a_{z_{ar}}^{S_{ar}} = \max_{1 \leq i \leq n_{ar}} a_i^{S_{ar}}; \quad (10)$$

$$\forall_{z_{ar}} = \overline{1, n_{ar}}, \forall_{ar} \in [0, 2\pi], \forall_r = 0, j$$

Определение 6. Слово

$$V = (a_{(r_{(a_0)})}^{(S_{(a_0)})} a_{(r_{(a_1)})}^{(S_{(a_1)})} a_{(r_{(a_2)})}^{(S_{(a_2)})} \dots a_{(r_{(a_j)})}^{(S_{(a_j)})}); \quad (11)$$

назовем обобщенным спектром изображения  $\Theta$  при заданных направлениях просмотра изображения.

Определение 7. Зеркальным отображением спектра назовем слово

$$S_a^D = (a_{(n_a)}^{(S_a)} a_{(n_{(a-1)})}^{(S_a)} a_{(n_{(a-2)})}^{(S_a)} \dots a_1^{(S_a)}), \quad (12)$$

Определим некоторые свойства спектров.

Из выражения (10) и определения 3 следует:

$$1) \quad n_{a_q} = a_{z_{a_q} + \frac{\pi}{2}}^{S_{a_q} + \frac{\pi}{2}}; \quad (13)$$

$$\forall_q = 0, j; \forall_{a_0} \in [0, 2\pi]$$

Из определений 3 и 7 имеем:

$$2) \quad S_0 = S_{\pi}^D; \quad (14)$$

$$3) \quad S_a = S_a^D + \pi; \quad (15)$$

$$\forall_a \in [0, 2\pi].$$

Из выражения (13) и определения 6 имеем:

$$4) \quad V = (n_{a_0 \frac{\pi}{2}} n_{a_1 \frac{\pi}{2}} n_{a_2 \frac{\pi}{2}} \dots n_{a_q \frac{\pi}{2}}) \quad (16)$$

Из выражения (10) имеем:

5) величина

$$a_{max} = \max_{a_r} a_{z_{a_r}}^{S_{a_r}} = \max_{a_r} (\max_{1 \leq i \leq n_{a_r}} a_i^{S_{a_r}}); \quad (17)$$

определяет максимальный размер;

6) величина

$$a_{min} = \min_{a_r} a_{z_{a_r}}^{S_{a_r}} = \min_{a_r} (\min_{1 \leq i \leq n_{a_r}} a_i^{S_{a_r}}); \quad (18)$$

определяет минимальный размер  $\Theta$ .

Из выражений (17) и (18) имеем:

7) для изображения круга диаметром  $d = 2a$

$$a_{max} = a_{min} = a; \quad (19)$$

8) для изображения квадрата со стороной  $a$

$$a_{min} = a;$$

$$a_{max} = \sqrt{2}a \quad (20)$$

9) для изображения прямоугольника со сторонами  $a$  и  $b$ ,

$$a_{min} = a; a_{max} = \sqrt{a^2 + b^2}.$$

Используя свойства 5–9, можно определить  $a_{min}$  та  $a_{max}$  для ряда сложных выпуклых изображений.

10) Из выражений (6)–(9) следует, что

$$T_{k,a_0}^n = T_{k,a_0+2\pi}^n; \quad T_{k,a_0}^n = T_{k,a_0+2\pi}^n; \quad (21)$$

11) Из выражений (8) и (9) имеем

$$T_{(n(a_r)-k,a_0)}^n = T_{(k,a_0)}^n; \quad T_{n a_r - k, a_0}^n = T_{k, a_0}^n.$$

Теорема 1. Пусть задан произвольный выпуклый многоугольник  $\Theta$  со сторонами  $a$  и  $b$ , угол между которыми равен  $a_{2q}$ . Тогда

$$a \approx a_1^{(S_{a_0})} > a_1^{(S_{a_1})} > a_1^{(S_{a_2})} > \dots > a_1^{(S_{a_q})}; \quad (22)$$

$$a_1^{(S_{a_q})} > a_1^{(S_{a_{q+1}})} > a_1^{(S_{a_{q+2}})} > \dots > a_1^{(S_{a_{2q}})} \approx b; \quad (23)$$

$$a_1^{S_{a_q}} = \min_r a_1^{S_{a_r}}; \quad (24)$$

$$a_1^{S_{a_r}} \neq 0, \forall_r = 1, 2q, \quad (25)$$

$$a_1^{S_{a_r}} = \frac{2}{\sin 2a_r} + \frac{2 \sin a_r \sin \beta}{\sin 2a_r \cos(a_r + \beta)}, \quad -\frac{\pi}{2} < \beta < \frac{\pi}{2}.$$

Доказательство. На основании [10] имеем изображение двух сторон

многоугольника  $a$  и  $b$ , угол между которыми  $a_{2q} = \frac{\pi}{2} + \beta; 0 \leq \beta \leq \frac{\pi}{2}$ . Изображение

просматривается под углом  $a$  с точностью представления изображения, равной  $h$ , на рецепторном поле размерностью  $n \times n$ . При  $a = a_0 = 0, h = 0$  (непрерывный случай представления изображения)  $a_1^{S_0} = a$ . При достаточно малом  $h > 0$  по

сравнению с  $n$   $a_1^{S_0} \approx a$ . Аналогично имеем, если  $a = a_{2q} = \frac{\pi}{2} + \beta$  и  $h = 0$ , то

$a_1^{S_0} \approx \beta$ . При достаточно малом  $h > 0$  по сравнению с  $n$   $a_1^{S_0} \approx \beta$ . Т.е. исходя из этого и с учетом выражения (25) имеем

$$x_1 = x_4 \cos \beta; \quad (26)$$

$$x_2 = x_4 \sin \beta; \quad (27)$$

$$x_3 = \frac{x_2}{\cos(a + \beta)}; \quad (28)$$

$$x_4 = x_6 \sin a; \quad (29)$$

$$x_5 = \frac{h}{\sin a}; \quad (30)$$

$$x_6 = \frac{2h}{\sin 2a}. \quad (31)$$

Из выражений (26)–(31) получим

$$x_3 = \frac{2hsinasin\beta}{\sin 2a \cos(a + \beta)} \quad (32)$$

Таким образом, из выражений (31) и (32), принимая  $a = a_r$ , получаем

$$a_1^{S_{a_r}} = x_3 + x_6 = \frac{2}{\sin 2a_r} + \frac{2hsina_r \sin\beta}{\sin 2a_r \cos(a_r + \beta)} \quad (33)$$

Исходя из [10] можно представить изображение двух сторон многоугольника

$a$  и  $b$ , угол между которыми равняется  $a_{2q} = \frac{\pi}{2} - \beta; 0 \leq \beta < \frac{\pi}{2}$ .

Тогда исходя из [10] будем иметь

$$\left. \begin{aligned} x_2 &= x_4 \sin\beta; \\ x_3 &= \frac{x_4 \sin\beta}{\cos(a - \beta)}; \\ x_4 &= \frac{2hsina}{\sin 2a}; \\ x_6 &= x_4 - x_3. \end{aligned} \right\} \cdot \quad (34)$$

Таким образом, из формул (34), принимая  $a = a_r$ , получаем

$$a_1^{S_{a_r}} = \frac{2h}{\sin 2a_r} - \frac{2hsina_r \sin\beta}{\sin 2a_r \cos(a_r + \beta)} \quad (35)$$

Из выражения (35), принимая  $h = 1$ , получаем

$$a_1^{S_{a_r}} = \frac{2}{\sin 2a_r} + \frac{2sina_r \sin\beta}{\sin 2a_r \cos(a_r + \beta)} \quad (36)$$

Из выражений (32), (33) и (35), (36) видно, что, полагая  $-\frac{\pi}{2} < \beta < \frac{\pi}{2}$ ,

имеем

$$a_1^{S_{a_r}} = \frac{2}{\sin 2a_r} + \frac{2sina_r \sin\beta}{\sin 2a_r \cos(a_r + \beta)}.$$

На основании [19], с учетом [10] и выражений (33) и (34) легко проследить, что при увеличении  $a_r$  значения  $a_1^{S_{a_r}}$  уменьшаются, достигая минимального значения при  $a_r = \frac{\pi}{4} + \frac{\beta}{2}$  ( $a_r = \frac{\pi}{4} - \frac{\beta}{2}$ ), затем при увеличении  $a_r$   $a_1^{S_{a_r}}$  увеличиваются. Таким образом, выполняются неравенства (22) и (23), а при  $a_q = \frac{\pi}{4} + \frac{\beta}{2}$  ( $a_q = \frac{\pi}{4} - \frac{\beta}{2}$ ) выполняется равенство (24).

Из теоремы 1 вытекают следующие следствия.

Следствие 1.1. При  $2q = \frac{\pi}{2}$  имеем

$$a_1^{S_{a_r}} = \frac{2}{\sin 2a_r}, \quad (37)$$

$$\text{и } a_1^{S_{a_r}} = \min_r a_1^{S_{a_r}} = 2. \quad (38)$$

Следствие 1.2. Оно заключается в следующем

$$a_1^{S_{a_r}} = \frac{2}{\sin(\frac{\pi}{2} + \beta)} + \frac{2\sin(\frac{\pi}{4} + \frac{\beta}{2})\sin\beta}{\sin(\frac{\pi}{2} + \beta)\cos(\frac{\pi}{4} + \frac{3}{4}\beta)}. \quad (39)$$

Следствие 1.3.  $a_1^{S_{a_r}}$  являются информационными признаками для описания и распознавания двух прямых многоугольников, угол между которыми равен  $a$ .

Теорема 2. Пусть задан произвольный выпуклый многоугольник со сторонами длиной  $a_1, a_2, a_3, \dots, a_n$  и соответственно углы между сторонами равны  $a_{2q_1}, a_{2q_2}, a_{2q_3}, \dots, a_{2q_n}$ . Тогда

$$a_1 \approx a_1^{S_{a_0^X}} > a_1^{S_{a_1^X}} > a_1^{S_{a_2^X}} > \dots > a_1^{S_{a_{q_X}^X}}; \quad (40)$$

$$a_1^{S_{a_{q_X}^X}} < a_1^{S_{a_{q_X+1}^X}} < a_1^{S_{a_{q_X+2}^X}} < \dots < a_1^{S_{a_{2q_X}^X}} \approx a_2; \quad (41)$$

$$a_1^{S_{a_{q_X}^X}} = \min_{0 \leq r \leq 2q_X} a_1^{S_{a_r^X}}; \quad (42)$$

$$a_1^{S_{a_r^X}} = \frac{2}{\sin 2a_r^X} + \frac{2\sin a_r^X \sin\beta}{\sin 2a_r^X \cos(a_r^X + \beta)} \quad (43)$$

$$a_{2q_X}^X - a_0^X = a_{2q_X}^X; \quad -\frac{\pi}{2} < \beta < \frac{\pi}{2}; \quad 1 \leq X \leq n \quad (44)$$

Доказательство. С учетом теоремы 1 и справедливости выражений (22)–(25) для различных направлений  $a_r^X$  по всем  $1 \leq X \leq n$  и  $1 \leq r \leq 2q_X$ , то теорема 2 доказана.

При этом из нее выходят следующие следствия.

Следствие 2.1. Для произвольного прямоугольника со сторонами  $a$  и  $b$  при  $a = a_0 = 0; a_1^{S_0} = a; a = a_{2q} = \frac{\pi}{2}; a_1^{S_0} = b$ .

Следствие 2.2. Для произвольного прямоугольника имеем

$$a_1^{S_{a_r^X}} = \frac{2}{\sin 2a_r^X}, \quad (45)$$



$$a_1^{S_{a_{qX}^X}} = \min_r a_X^{S_{a_r}} = 2 \quad (46)$$

Следствие 2.3. Для  $a_1^{S_{a_{qX}^X}}$  имеем

$$a_1^{S_{a_{qX}^X}} = \frac{2}{\sin(\frac{\pi}{2} + \beta)} + \frac{2\sin(\frac{\pi}{4} + \frac{\beta}{2})\sin\beta}{\sin(\frac{\pi}{2} + \beta)\cos(\frac{\pi}{4} + \frac{3}{2}\beta)}. \quad (47)$$

Следствие 2.4.  $a_1^{S_{a_{qX}^X}}$  являются информационными признаками для описания и распознавания произвольного выпуклого многоугольника. Обобщением теорем 1 и 2 получаем теорему 3.

Теорема 3. В условиях теоремы 2 для целого  $k \geq 1$  достаточно малого по сравнению с  $a_1, a_2, a_3, \dots, a_n$  имеют место равенства

$$a_k^{S_{a_0^X}} > a_k^{S_{a_1^X}} > a_k^{S_{a_2^X}} > \dots > a_k^{S_{a_{qX}^X}}; \quad (48)$$

$$a_k^{S_{a_{qX}^X}} < a_k^{S_{a_{qX+1}^X}} < a_k^{S_{a_{qX+2}^X}} \dots < a_k^{S_{a_{2qX}^X}}; \quad (49)$$

$$a_k^{S_{a_{qX}^X}} = \min_{0 \leq r \leq q_X} a_k^{S_{a_r^X}}; \quad (50)$$

$$a_k^{S_{a_r^X}} = \frac{2k}{\sin 2a_r^X} + \frac{2k \sin a_r^X \sin \beta}{\sin 2a_r^X \cos(a_r^X + \beta)}; \quad (51)$$

где  $a_{2q_X}^X - a_0^X = a_{2q_X}^X$ ;  $-\frac{\pi}{2} < \beta < \frac{\pi}{2}$ ;  $1 \leq X \leq n$ .

Доказательство. Доказательство теоремы 3 аналогично доказательству теорем 1 и 2.

Теорема 4. Для произвольного изображения выпуклого многоугольника со сторонами  $a_1, a_2, a_3, \dots, a_n$  углы между которыми равны  $a_{q_1}, a_{q_2}, a_{q_3}, \dots, a_{q_n}$  и произвольного целого  $k \geq 1$ , для которого

$$a_k^{S_{a_r}} \neq 0, \forall_r = \overline{0, q_X}, \forall_X = \overline{1, n}, \quad (52)$$

буквы  $a_k^{S_{a_r^X}}$  являются информационными признаками (буквами) для описания и распознавания образов с помощью  $k$ -го левого спектра в виде слова

$$T_{k, a_0}^{\wedge} = a_k^{S_{a_0^1}} \dots a_k^{S_{a_1^2}} \dots a_k^{S_{a_2^3}} \dots a_k^{S_{a_{q_X}^X}}. \quad (53)$$

Доказательство. Пусть  $k$  такое, что выполняется условие (52). Тогда, начиная с некоторого начального направления просмотра изображения  $a_0^1$  и до  $a_{q_1}^1$ , можно определить элементы  $a_k^{a_0^1}, \dots, a_k^{a_{q_1}^1}$ , описывающие ту часть изображения  $\Theta$ , которая

в соответствии с [19] обозначается буквой  $A$  на расстоянии  $k$  от вершины  $0$ . Далее по всем остальным направлениям с помощью элементов  $a_k^{S_{a_r^x}}$  можно описать последовательно части изображения  $\Theta$  на расстоянии  $k$  от каждой из сторон многоугольника. Таким образом,  $T_{k,a_0}^{\wedge}$  в виде (53) полностью характеризует внутреннюю структуру  $\Theta$ . Поскольку выполняются равенства (21), то  $T_{k,a_0}^{\wedge}$  может быть эффективно использовано для распознавания выпуклых изображений  $\Theta$ .

Теорема 5. Для произвольного изображения выпуклого многоугольника  $\Theta$  со сторонами длиной  $a_1, a_2, a_3, \dots, a_n$ , углы между которыми равны  $a_{q_1}, a_{q_2}, a_{q_3}, \dots, a_{q_n}$  и произвольного целого  $k \geq 1$ , для которого имеем

$$a_{n_{a_r^x}-k}^{S_{a_r^x}} \neq 0, \forall_r = \overline{0, 2q_x}, \forall_x = \overline{1, n}, \quad (54)$$

буквы  $a_{n_{a_r^x}-k}^{S_{a_r^x}}$  являются информационными признаками (буквами) для описания и распознавания образов с помощью  $k$ -го правого спектра  $\Theta$  в виде слова

$$T_{k,a_0}^n = (a_{n_{a_0^x}-k}^{S_{a_0^x}^1}, \dots, a_{n_{a_1^x}-k}^{S_{a_1^x}^2}, \dots, a_{n_{a_2^x}-k}^{S_{a_2^x}^3}, \dots, a_{n_{a_{2q_x}^x}-k}^{S_{a_{2q_x}^x}^X}). \quad (55)$$

Доказательство. Доказательство теоремы 5 вытекает из теоремы 1 и равенства следствия 1.1.

$$T_{n_{a_r^x}-k, a_0}^n = T_{k, a_0}^n.$$

До сих пор рассматривались изображения выпуклых многоугольников  $\Theta$ . Однако любое выпуклое изображение можно аппроксимировать некоторым многоугольником. В силу этого теоремы 1–5 и выражения (22)–(55) справедливы для произвольного выпуклого изображения  $\Theta$ , представленного на рецепторном поле размерностью  $n \times n$ .

Из теорем 4 и 5 вытекают следующие следствия.

Следствие 1. Процесс описания и распознавания произвольного выпуклого многоугольника  $\Theta$  можно проводить параллельно по буквам  $a_k^{S_{a^i}^d}, i = \overline{1, X}$ .

Действительно, из выражения (53) имеем

$$T_{k, a_0}^{\wedge} = S^{X+1} \left( f^X, a_k^{S_{a_0^i}^d}, \dots, a_k^{S_{a_{q^x}^x}^d} \right), \quad (56)$$

где  $S_{a_{q^i}^d}^{X+1}$  – оператор суперпозиции;  $f^X$  – местная функция, которая буквами  $a_k^{S_{a^i}^d}$  ставит в соответствие слово вида (53).

Представление (56) показывает, что процесс вычисления  $T_{k, a_0}^{\wedge}$  распараллеливается на уровне  $a_k^{S_{a^i}^d}$ .

Следствие 2. Процесс описания и распознавания произвольного выпуклого многоугольника можно производить параллельно по буквам  $a_{n_{a^i}^x-k}^{S_{a^i}^d}$ .

## Выводы

Применение структурного метода распознавания образов различной сложности позволяет в реальном масштабе времени обрабатывать видеoinформацию, поступающую с борта БПЛА.

Показана возможность автоматического распараллеливания программ на уровне обобщенных операций применительно к системам обработки информации в реальном масштабе времени на наземном пункте управления.

Таким образом, можно воспроизводить и отдельно выделять любое изображение, поступившее с беспилотника, для детального его анализа оператором.

Применение этого метода позволяет за несколько секунд достичь распознавания образа достигающей 97 % независимо от его положения в поле зрения видеосистемы.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. *Малярчук М.В.* Перспективні інформаційні технології зв'язку з безпілотними літальними апаратами / М.В. Малярчук, В.І. Слюсар // Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони. – 2010. – № 1 (7). – С. 47–51.
2. *Алексеев С.В.* Безпілотні літальні засоби : історія та перспективи розвитку / С.В. Алексеев // Сучасна спеціальна техніка. – 2014. – № 3 (38). – С. 89–98.
3. *Дуксенко Н.А.* Алгоритм восстановления изображений, получаемых с беспилотных летательных аппаратов / Н.А. Дуксенко, В.А. Хорошко // Информатика та математичні методи в моделюванні. – 2016. – Т. 6, № 1. – С. 5–11.
4. Stone H.S. Problems of parallel computation – In: Complexisty of sequential and parallel numerical algorithms / New York : Acad.press, 2003. P. 1–15.
5. Volansky S.A. Graph model analysis and implementation of computational sequences. – Los Anqeles, 2000, 232 p.
6. *Ковалевский В.Н.* Методы оптимальных решений в распознавании изображений. Изд. 2-е. / В.Н. Ковалевский. – М. : Наука, 1996. – 358 с.
7. *Красильников Н.Н.* Статистическая теория передачи изображений / Н.Н. Красильников. – М. : Связь, 2006. – 194 с.
8. *Ту Дж. Гонсалес Р.* Принципы распознавания образов / Ту Дж. Гонсалес Р. – М. : Мир, 1998. – 411 с.
9. *Фукунага К.* Введение в статистическую теорию распознавания образов. Изд. 2-е / К. Фукунага. – М. : Наука, 2009. – 367 с.
10. *Andrems H.C.* Introduction to mathematical techniques in pattern recognition. – New York: Wikey, 2002. – 250 p.
11. *A Uneave F., Arnoutt M.D.* The quantitative study of shape and pattern perception / Psychol. Bull., 2006. 55, P. 34–40.
12. *Chen T.C.* Pattern recognition and signal processing. – North Dartmouth (Mass.), 2008. – 114 p.
13. *Завалишин Н.В.* Модели зрительного восприятия и алгоритмы анализа изображений / Н.В. Завалишин, И.Б. Мучник. – М. : Наука, 1994. – 344 с.
14. *Хорошко В.А.* Система обработки видеoinформации, поступающей с беспилотников / В.А. Хорошко, Ю.Е. Хохлачева // Сб. науч. труд. НАУ “Защита информации, Вып. 22, 2015. – С. 60–74.
15. *Фу К.* Структурные методы в распознавании образов. Изд. 2-е. / К. Фу – М. : Мир, 2006. – 329 с.
16. *Moayer B. Fu K.S.* An application of stochastic languages to fingerprint pattern recognition. – Pattern Recogn. 2006,8, P. 173–179.
17. *Pavlidis T.* A review of algorithms for analysis. – Comput. Graph. And Image Proces, 2008, 7, P. 243–258.
18. *Грицьк В.В.* Распараллеливание алгоритмов обработки информации в системах реального времени / В.В. Грицьк. – К. : Наукова думка, 1981. – 216 с.
19. *A Uneave F.* Some informational aspects in visual perception. – Psychol. Rev. 2000, 61, P. 23–29.

Отримано 27.07.2016

Рецензент Рибальський О.В., д.т.н.