

УДК 381.32 : 681.192

Хорошко Владимир Алексеевич,доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры Национального авиационного университета,
г. Киев, Украина**Калантаевская Светлана Владимировна,**адъюнкт, Военный институт телекоммуникаций и информатизации,
г. Киев, Украина

ПРИНЦИПЫ РАСПАРАЛЛЕЛИВАНИЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ ИНФОРМАЦИИ, ПОСТУПАЮЩЕЙ С БПЛА

В статье показана возможность автоматического распараллеливания программ на уровне обобщенных операций применительно к системам обработки информации в реальном масштабе времени на наземном пункте управления. Рассмотрены основные принципы распараллеливания обработки информации, которая поступает с БПЛА, при распознавании образов объектов разведки и иерархичности представления структуры получаемой информации. Предложена методика обработки рецепторного поля, в результате применения которой, можно легко воспроизводить и отдельно выделять любой кадр, представленный на рецепторном поле, построить алгоритм, дающий возможность анализировать каждый отдельно взятый образ объекта, поступающий с борта БПЛА, и тем самым восстанавливать и выделять интересующие оператора кадры или часть кадра.

Ключевые слова: беспилотные летательные аппараты, рецепторное поле, изображение объекта, системы распознавания, распараллеливание обработки информации.

В статті показано можливість автоматичного розпаралелювання програм на рівні узагальнених операцій стосовно систем обробки інформації в реальному масштабі часу на наземному пункті управління. Розглянуто основні принципи розпаралелювання обробки інформації, яка надходить з БПЛА, при розпізнаванні образів об'єктів розвідки та ієрархічності представлення структури одержуваної інформації. Запропоновано методику обробки рецепторного поля, у результаті застосування якої можна легко відтворювати і окремо виділяти будь-який кадр, представлений на рецепторному полі, побудувати алгоритм, що дає можливість аналізувати кожний окремо взятий образ об'єкта, що надходить з борту БПЛА, і тим самим встановлювати і виділяти кадри, які цікавлять оператора або частина кадру.

Ключові слова: безпілотні літальні апарати, рецепторне поле, зображення об'єкта, системи розпізнавання, розпаралелювання обробки інформації.

Использование беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в настоящее время является основным элементом информационно-разведывательной системы обеспечения и дистанционного воздействия на объекты разведки противника во время боевых действий, а также для обеспечения внутренней безопасности государства. БПЛА является неотъемлемой частью вооружения современной армии и широко используется национальной гвардией, пограничными войсками и полицейскими подразделениями. Развитие силовой компоненты субъектов национальной безопасности и обороны без использования БПЛА будет неполным. Если ранее они использовались лишь для выполнения стратегических заданий, то сейчас, в связи с развитием IT-технологий, информация, которая поставляется беспилотником, используется во время ведения боевых, правоохранительных и экологических действий в тактическом звене [1–3].

Следует отметить, что в настоящее время применение БПЛА для разведывательных тактических заданий осуществляется практически всеми развитыми странами. При этом опыт применения БПЛА в боевых условиях показывает, что процесс развития беспилотников продолжается.

В связи с этим, возникают вопросы:

как работать в условиях, когда объект маскируется? Или когда сама природа “помогает” противнику и препятствует его выявлению?

В этом случае необходимо распознавать и идентифицировать разведываемый объект [4, 5, 6].

Также следует отметить, что системы распознавания БПЛА, с точки зрения общности классификации систем распознавания, рационально рассматривать в качестве классификационного принципа особенностей информации, которая используется в процессе распознавания [4, 5].

Кроме того, не следует забывать о том, что современное цифровое оборудование видеоконтроля и распознавания по своим характеристикам все больше приближается к современным интеллектуальным компьютерным системам, что позволяют выстраивать очень гибкую политику обеспечения разведанными, приближенную по своим функциям к системам принятия решения, близкого к человеческой логике. Именно поэтому некоторые из современных цифровых систем распознавания по праву можно назвать интеллектуальными [5, 6].

При решении задач распознавания объекта на практике приходится использовать системы распознавания, требующие большие массивы данных о признаках объекта, которые необходимо обрабатывать в реальном масштабе времени.

Общее количество классов (типов) объектов и их признаков может исчисляться несколькими сотнями. При этом распознавание объектов в условиях, когда природа или противник может препятствовать как выявлению отдельных признаков объектов, так и изменению тактики в отношении объемов предъявляемых разнообразных классов стороне, которая осуществляет разведку [4, 7].

Следует отметить, что это очень важный фактор при применении БПЛА. Так как противник широко использует разные способы маскировки и противодействия, чтобы сторона, которая осуществляет распознавание, не могла определить, какие именно объекты находятся, какое их количество и т.д. Особенно

© Khoroshko Volodymyr, Kalantaievska Svitlana, 2020

DOI (Article): [https://doi.org/10.36486/mst2411-3816.2020.1\(60\).5](https://doi.org/10.36486/mst2411-3816.2020.1(60).5)

Issue 1(60) 2020

<http://suchasnaspetstehnika.com/>

это важно в условиях боевых действий и при проведении спасательных операций на море или на пожарах.

Важное значение при распознавании образов имеет проблема рассмотрения образов. В связи с этим, большое значение приобретает иерархичность представления структуры получаемой информации [8, с. 189].

Именно иерархичность структуры получаемой информации дает возможность описать ее высокоуровневыми структурными соотношениями, перейти к поярусной обработке информации, рассматривая основные принципы построения средств параллельной обработки информации на основе распараллеливания алгоритмов. С этой точки зрения, структура информации, которую получаем в виде изображений некоторых объектов с БПЛА, является глубоко иерархичной. Таким образом, изображение объекта можно описать высокоуровневыми структурными соотношениями. С другой стороны, имеется возможность применить для анализа изображения развитой аппарат теории формальных грамматик, которому свойственна иерархичная структура [9, с. 157].

При обработке и распознавании образов с помощью структурного подхода важной является задача выделения признаков (непроизводных элементов). Одним из условий, которое при этом накладывается, является простота признаков для описания образов. То есть исследуются вопросы, связанные с информативностью элементов спектра, обобщенного спектра и при описании и распознавании образов, поступающих с БПЛА, в реальном времени.

Целью работы является исследование информативности элементов спектра при описании и распознавании изображений, которые поступают с БПЛА, при распараллеливании обработки этой информации в реальном масштабе времени.

Пусть задан образ объекта n , представляющий некоторое изображение ϕ на рецепторном поле R размерностью $n \times n$:

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

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

Тогда на основании [10, с. 198] введем следующее определение.

Определение 1. Спектром изображения θ называется кадром

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

$$\text{где } a_r^s = \sum_{i=1}^n a_{ir}, \quad \forall r = \overline{1, n}. \quad (3)$$

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 [11, 12] проведены исследования по описанию некоторых классов изображений с помощью спектров S_α при распознавании образов. Элементы спектров – это частный случай общих образов. Далее будем исследовать задачу определения информативности элементов спектра S_α при описании изображений с целью их распознавания и возможность распараллеливания обработки информации. Таким образом, постараемся выяснить возможность использования элементов спектра S_α в качестве основных информационных признаков при описании выпуклых изображений, представленных в виде образа объекта (1), и исследуем некоторые их свойства [13, 14].

Определение 2. Образ объекта v_α , полученный из v записью элементов под углом α , назовем образом объекта, записанным (просматриваемым) под углом α .

Определение 3. Спектром изображения θ_α , представленного с помощью образа объекта v_α , называется кадр

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

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

где a_{ir}^α – элементы v_α и $a_{ir}^\alpha \in E$.

Определение 4. Кадр

$$T_{k, \alpha_0}^\Lambda = (a_k^{S_{\alpha_0}} a_k^{S_{\alpha_1}} a_k^{S_{\alpha_2}} \dots a_k^{S_{\alpha_j}}) \quad (8)$$

назовем k -м левым спектром изображения θ при j заданных направлениях просмотра изображения.

Определение 5. Кадр

$$T_{k, \alpha_0}^\Pi = (a_{n_{\alpha_0}}^{S_{\alpha_0}} - k a_{n_{\alpha_1}}^{S_{\alpha_1}} - k a_{n_{\alpha_2}}^{S_{\alpha_2}} - k \dots a_{n_{\alpha_j}}^{S_{\alpha_j}} - k); \quad (9)$$

назовем k -м правым спектром изображения θ при j заданных направлениях просмотра изображения.

Обозначим

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

$$\forall Z_{\alpha_r} = \overline{1, n_{\alpha_r}} \text{ и } \forall \alpha_r \in (0, 2\pi), \quad \forall r = 0, j.$$

Определение 6. Кадр

$$V = \left(a_{Z_{\alpha_0}}^{S_{\alpha_0}} a_{Z_{\alpha_1}}^{S_{\alpha_1}} a_{Z_{\alpha_2}}^{S_{\alpha_2}} \dots a_{Z_{\alpha_j}}^{S_{\alpha_j}} \right) \quad (11)$$

назовем обобщенным спектром изображения θ при j заданных направлениях просмотра изображения.

Определение 7. Зеркальным отображением спектра назовем кадр

$$S^D_{\alpha} = \left(a_{n_{\alpha}}^{S_{\alpha}} a_{n_{\alpha-1}}^{S_{\alpha}} a_{n_{\alpha-2}}^{S_{\alpha}} \dots a_1^{S_{\alpha}} \right). \quad (12)$$

Определим некоторые свойства спектров. Из выражения (10) и определения 3 следует:

$$1) n_{\alpha q} = a_{Z_{\alpha q} + \frac{\pi}{2}}^{S_{\alpha q} + \frac{\pi}{2}}; \quad (13)$$

$$\forall q = 0, j \text{ и } \forall \alpha_0 \in [0, 2\pi].$$

Из определений 3 и 7 имеем:

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

$$3) S_{\alpha} = S_{\alpha}^D + \pi; \quad (15)$$

$$\forall \alpha \in [0, 2\pi].$$

Из выражения (13) и определения 6 имеем:

$$4) V = \left(n_{\alpha_0 - \frac{\pi}{2}} n_{\alpha_1 - \frac{\pi}{2}} n_{\alpha_2 - \frac{\pi}{2}} \dots n_{\alpha_j - \frac{\pi}{2}} \right). \quad (16)$$

Из выражения (10) имеем:

5) величина

$$a_{\max} = \max_{\alpha_r} a_{Z_{\alpha_r}}^{S_{\alpha_r}} = \max_{\alpha_r} \left(\max_{1 \leq i \leq n_{\alpha_r}} a_i^{S_{\alpha_r}} \right) \quad (17)$$

определяет максимальный размер;

6) величина

$$a_{\min} = \min_{a_r} a_{Z_{a_r}}^{S_{a_r}} = \min_{\alpha_r} \left(\min_{1 \leq i \leq n_{a_r}} a_i^{S_{a_r}} \right) \quad (18)$$

определяет минимальный размер θ .

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

$$\begin{aligned} a_{\min} &= a_i \\ a_{\min} &= \sqrt{2a} \end{aligned} \quad (20)$$

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

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

Используя свойства можно определить a_{\min} и a_{\max} для ряда сложных выпуклых изображений.

10) Из выражений 5 ÷ 9, следует, что

$$T_{k, \alpha_0}^{\Lambda} = T_{k, \alpha_0 + 2\pi}^{\Pi} \quad \text{и} \quad T_{k, \alpha_0}^{\Pi} = T_{k, \alpha_0 + 2\pi}^{\Lambda}. \quad (21)$$

11) Из выражений (8) и (9) имеем

$$T_{n\alpha_r - k, \alpha_0}^{\Lambda} = T_{k, \alpha_0}^{\Lambda}.$$

Теорема 1. Пусть задан произвольный выпуклый многоугольник θ со сторонами длиной a и b , угол между которыми равен α_{2q} . Тогда

$$a \approx a_1^{S_{\alpha_0}} > a_1^{S_{\alpha_1}} > a_1^{S_{\alpha_2}} > \dots > a_1^{S_{\alpha_q}}; \quad (22)$$

$$a_1^{S_{\alpha_q}} < a_1^{S_{\alpha_{q+1}}} < a_1^{S_{\alpha_{q+2}}} \dots < a_1^{S_{\alpha_{2q}}} \approx b; \quad (23)$$

$$a_1^{S_{\alpha_q}} = \min_r a_1^{S_{\alpha_r}}, \quad (24)$$

$$a_1^{S_{\alpha_r}} \neq 0, \quad \forall r = 1, 2q, \quad (25)$$

$$\text{где } a_1^{S_{\alpha_r}} = \frac{2}{\sin 2\alpha_r} + \frac{2 \sin \alpha_r \sin \beta}{\sin 2\alpha_r \cos(\alpha_r + \beta)},$$

Доказательство. На основании [10, с. 201] имеем изображение двух сторон многоугольника a и b , угол между которыми $\alpha_{2q} = \frac{\pi}{2} + \beta$; $0 \leq \beta \leq \frac{\pi}{2}$. Изображение просматривается под углом α с точностью представления изображения, равной h , на рецепторном поле размерностью $n \times n$. При $\alpha = \alpha_0 = 0$ и $h = 0$ (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 $\alpha = \alpha_{2q} = \frac{\pi}{2} + \beta$ и $h = 0$, то $a_1^{S_0} = b$. При достаточно малом $h > 0$ по сравнению с n $a_1^{S_0} \approx b$. Т.е. исходя из этого и с учетом выражения (25), имеем:

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

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

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

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

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

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

Из выражений (26) – (31) получим

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

Таким образом, из выражений (31) и (32), принимая $\alpha = \alpha_k$ получаем

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

Исходя из [10, стр. 253], можно представить изображение двух сторон многоугольника a и b , $0 \leq \beta \leq \frac{\pi}{2}$.

Тогда, исходя из [10, 12], будем иметь

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

Таким образом, из формулы (34), принимая $\alpha = \alpha_k$, получаем

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

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

$$a_1^{S_{\alpha_r}} = \frac{2}{\sin 2\alpha_r} - \frac{2 \sin \alpha_r \sin \beta}{\sin 2\alpha_r \cos(\alpha_r + \beta)}. \quad (36)$$

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

На основании [15, стр. 258], с учетом [10, стр. 121] и выражений (33) и (34), можно проследить, что при увеличении α_k значения $a_1^{S_{\alpha_r}}$ уменьшаются, достигая минимального значения при $\alpha_k = \frac{\pi}{4} + \frac{\beta}{2}$ ($\alpha_k = \frac{\pi}{4} - \frac{\beta}{2}$), затем при увеличении α_k $a_1^{S_{\alpha_r}}$ увеличивается. Таким образом выполняются равенство (22) и (23), а при

$$\alpha_q = \frac{\pi}{4} + \frac{\beta}{2} \left(\alpha_q = \frac{\pi}{4} - \frac{\beta}{2} \right) \text{ выполняется равенство (24).}$$

Из теоремы 1 выполняются следующие следствия.

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

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

и

$$a_1^{S_{\alpha_q}} = \min_r a_1^{S_{\alpha_r}} = 2. \quad (38)$$

Следствие 1.2. Оно заключается в следующем

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

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

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 $\alpha_{2q_1}, \alpha_{2q_2}, \alpha_{2q_3}, \dots, \alpha_{2q_n}$. Тогда

$$a_1 \approx a_1^{S_{\alpha_0^v}} > a_1^{S_{\alpha_1^v}} > a_1^{S_{\alpha_2^v}} > \dots > a_1^{S_{\alpha_{q_v}^v}}; \quad (40)$$

$$a_1^{S_{\alpha_{q_v}^v}} < a_1^{S_{\alpha_{q_v+1}^v}} < a_1^{S_{\alpha_{q_v+2}^v}} < \dots < a_1^{S_{\alpha_{2q_v}^v}} \approx a_{2i} \quad (41)$$

$$a_1^{S_{\alpha_{q_v}^v}} = \min_{0 \leq r \leq 2q_v} a_1^{S_{\alpha_r^v}}; \quad (42)$$

$$a_1^{S_{\alpha_r^v}} = \frac{2}{\sin 2\alpha_r^v} + \frac{2 \sin \alpha_r^v \sin \beta}{\sin \alpha_r^v \cos(\alpha_r^v + \beta)}; \quad (43)$$

где

$$\alpha_{2q^v}^v - \alpha_0^v = \alpha_{2q^v} \quad \text{и} \quad -\frac{\pi}{2} < \beta < \frac{\pi}{2}; \quad 1 \leq v \leq n. \quad (44)$$

Доказательство. С учетом теоремы 1 и справедливости выражений (22)–(25) для различных направлений α_{κ}^v по всем $1 \leq v \leq n$ и $1 \leq r \leq 2q^v$, то теорема 2 доказана. При этом из нее выходят следующие следствия.

Следствие 2.1. Для произвольного прямоугольника со сторонами a и b при $\alpha = \alpha_0 = 0$, $a_{s_1}^{s_0} = a$ и $\alpha = \alpha_{2q} = \frac{\pi}{2}$ $a_1^{s_0} = b$.

Следствие 2.2. Для произвольного прямоугольника имеем

$$a_{a_2}^{s_{a_2}} = \frac{2}{\sin 2\alpha_r^v}; \quad (45)$$

$$a_1^{s_{a_{2q^v}}} = \min_r a_{a_r}^{s_{a_r}} = 2. \quad (46)$$

Следствие 2.3. Для $a_1^{s_{a_{2q^v}}}$ имеем

$$a_1^{s_{a_{2q^v}}} = \frac{2}{\sin\left(\frac{\pi}{2} + \beta\right)} + \frac{2 \sin\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\beta}{2}\right)}{\sin\left(\frac{\pi}{2} + \beta\right) \cos\left(\frac{\pi}{4} + \frac{3}{2}\beta\right)}. \quad (47)$$

Следствие 2.4. $a_1^{s_{a_{2q^v}}}$ являются информационными признаками для описания и распознавания произвольного выпуклого многоугольника. В результате обобщения теорем 1 и 2 получаем теорему 3.

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

$$a_k^{s_{a_0^v}} > a_k^{s_{a_1^v}} > a_k^{s_{a_2^v}} > \dots > a_k^{s_{a_{2q^v}^v}}; \quad (48)$$

$$a_k^{s_{a_{2q^v}^v}} < a_k^{s_{a_{2q^{v-1}}^v}} < a_k^{s_{a_{2q^{v-2}}^v}} < a_k^{s_{a_{2q^{v-3}}^v}}; \quad (49)$$

$$a_k^{s_{a_{2q^v}^v}} = \min_{0 \leq r \leq 2q^v} a_k^{s_{a_r^v}}; \quad (50)$$

© Khoroshko Volodymyr, Kalantaievska Svitlana, 2020

$$a_k^{S_{\alpha_r^v}} = \frac{2k}{\sin 2\alpha_r^v} + \frac{2k \sin \alpha_r^v \sin \beta}{\sin 2\alpha_r^v \cos(\alpha_r^v + \beta)}, \quad (51)$$

где $\alpha_{2q\nu}^v - \alpha_0^v = \alpha_{2q\nu}^v$, $-\frac{\pi}{2} < \beta < \frac{\pi}{2}$; $1 \leq \nu \leq n$.

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

Теорема 4. Для произвольного изображения выпуклого многоугольника θ 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

$$a_k^{S_{\alpha_r^v}} \neq 0, \quad \forall r = \overline{0, q_\nu}, \quad \forall \nu = \overline{1, n}, \quad (52)$$

буквы $a_k^{S_{\alpha_r^v}}$ являются информационными признаками для описания и распознавания образов с помощью k -го левого спектра θ в виде кадра

$$T_{k, \alpha_0}^\Lambda = (a_k^{S_{\alpha_0^1}} \dots a_k^{S_{\alpha_1^2}} \dots a_k^{S_{\alpha_2^3}} \dots a_k^{S_{\alpha_{q\nu}^v}}) \quad (53)$$

Доказательство. Пусть k такое, что выполняется условие (52). Тогда, начиная с некоторого начального направления просмотра изображения α_0^1 и до $\alpha_{q_1}^1$ можно определить элементы $a_k^{\alpha_1^1}$, описывающие ту часть изображения θ , которая в соответствии с [12–15] обозначаются буквой A на расстоянии k от вершины 0 . Далее по всем остальным направлениям с помощью элементов $a_k^{S_{\alpha_r^v}}$ можно описать последовательно части изображения θ на расстоянии k от каждой из сторон многоугольника. Таким образом, T_{k, α_0}^Λ в виде (53) полностью характеризует внутреннюю структуру θ . Поскольку выполняются равенства (21), то T_{k, α_0}^Λ может быть эффективно использовано для распознавания выпуклых изображений θ .

Теорема 5. Для произвольного изображения выпуклого многоугольника θ 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

$$a_{n\alpha_r^v - k}^{S_{\alpha_r^v}} \neq 0, \quad \forall r = \overline{0, 2q_\nu}, \quad \forall \nu = \overline{1, n}, \quad (54)$$

буквы $a_{n\alpha_r^v - k}^{S_{\alpha_r^v}}$ являются информационными признаками для описания и распознавания образов с помощью k -го правого спектра θ в виде кадра

$$T_{k,\alpha_0}^{\Pi} = (a_{n\alpha_0^v-k}^{S_{\alpha_0}^1} \dots a_{n\alpha_1^v-k}^{S_{\alpha_1}^2} \dots a_{n\alpha_2^v-k}^{S_{\alpha_2}^3} \dots a_{n\alpha_{2q^v}^v-k}^{S_{\alpha_{2q^v}}^v}). \quad (55)$$

Доказательство. Доказательство теоремы 5 вытекает из теоремы 1 и равенства следствия 11

$$T_{n\alpha_1^v-k,\alpha_0}^{\Pi} = T_{k,\alpha_0}^{\Pi}.$$

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

Из теорем 4 и 5 вытекают следующие следствия.

Следствие 4-5.1. Процесс описания и распознавания произвольного выпуклого многоугольника θ можно проводить параллельно по буквам $a_k^{S_{\alpha_i}^i}$, $i = \overline{1, \nu}$.

Действительно, из выражения (53) имеем

$$T_{k,\alpha_0}^{\Lambda} = S^{\nu+1}(f^{\nu}, a_k^{S_{\alpha_0}^1}, \dots, a_k^{S_{\alpha_{q^v}}^{\nu}}), \quad (56)$$

где $S^{\nu+1}$ – оператор суперпозиции; $f^{\nu} - \nu$ – местная функция, которая буквами $a_k^{S_{\alpha_i}^i}$ ставит в соответствие кадр вида (53).

Представление (56) показывает, что процесс вычисления T_{k,α_0}^{Λ} распараллеливается на уровне $a_k^{S_{\alpha_i}^i}$.

Следствие 4-5.2. Процесс описания и распознавания произвольного выпуклого многоугольника θ можно производить параллельно по буквам $a_{n\alpha_i^v-k}^{S_{\alpha_i}^i}$.

То есть обеспечивается эффективное распараллеливание обработки информации при их реализации с помощью вычислительных средств параллельного действия и осуществляется распознавание образов в реальном масштабе времени.

Таким образом, рассмотрены основные принципы распараллеливания обработки информации, которая поступает с БПЛА, при распознавании образов объектов разведки и иерархичности представления структуры получаемой информации. В результате обработки рецепторного поля по предложенной методике на каждую из фигур распространяется свой обобщенный признак, причем он распространяется одновременно на все фигуры видеокадров.

Таким образом, можно легко воспроизводить и отдельно выделить любой кадр, представленный на рецепторном поле, построить алгоритм, дающий возможность анализировать каждый отдельно взятый образ объекта, поступающий с борта БПЛА и тем самым восстанавливать и выделять интересующие оператора кадры или часть кадра.

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

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

Кроме того, следует отметить, что представление образов объекта в виде иерархической структуры позволяет установить обработку, так как она проводится попарно и параллельно.

Таким образом, можно воспроизводить и отдельно выделять любые изображения, поступающие с беспилотника для детального поиска и распознавания объекта и его анализа оператором.

Применение этого метода позволяет за несколько секунд достичь распознавания образов объектов достигающего 97 %, независимо от его положения в поле зрения видеосистемы БПЛА. Кроме этого, полученные результаты позволяют сделать вывод, что обработку образов можно осуществлять не только на пункте управления, а в том числе и на борту беспилотника. Эти вопросы необходимо решать в дальнейшем.

Помимо этого, на наш взгляд, необходимо продолжать исследование методов логических систем для БПЛА с приборами ночного видения и поиска, так как они достаточно эффективны в условиях противоборства.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Алексеев С.В. Беспилотні літальні засоби: історія та перспективи розвитку. Сучасна спеціальна техніка. № 3(38), 2014. С. 89–99.
2. Харченко О.В., Кулешин В.В., Коцуренко Ю.В. Класифікація та тенденції створення безпілотних літальних апаратів військового призначення. Наука і оборона. 2005. № 1. С. 47–54.
3. Василин Н.Я. Беспилотные летательные аппараты. Минск: ООО “Попурри”, 2003. 272 с.
4. Хорошко В.О., Хохлачова Ю.Є., Паламарчук С.В. Розпізнавання об'єктів безпілотними літаючими апаратами в умовах протидії. Збірник наукових праць ВІТІ. 2017. № 4. С. 91–96.
5. Хорошко В.О., Калантаєвська С.В. Метод корекції зображення, отриманого з БПЛА при наявності шумів і завад. Збірник наукових праць ВІТІ. 2018. № 3. С. 123–131.
6. Дуксенко Н.А., Хорошко В.А. Алгоритм восстановления изображений, получаемых с беспилотных летательных аппаратов. Информатика та математичні методи в моделюванні. Т. 6. 2016. № 1. С. 5–11.
7. Горелик А.Л., Гуревич Н.Б., Скрипкин В.А. Современное состояние проблемы распознавания. М.: Радио и связь, 1985. 162 с.
8. Месарович М., Мако Д., Тахакара И. Теория иерархических многоуровневых систем. М.: Мир, 2008. 344 с.
9. Фор Р., Кафман Р., Дени-Папен М. Современная математика. М.: Мир, 2006. 277 с.
10. Ахо А., Ульман Дж., Хопкрофт Дж. Построение и анализ вычислительных алгоритмов. М.: Мир, 2009. 536 с.
11. Ковалевский В.Н. Методы оптимальных решений в распознавании изображений. М.: Наука, 2006. 328 с.
12. Бенгард М.М. Проблема узнаваемости. М.: Наука, 2007. 320 с.
13. Ахо А., Ульман Дж. Теория синтаксического анализа, перевода и компиляции: в 2-х томах. М.: Мир, 1978. 334 с.
14. Фу К. Структурные методы распознавания образов. М.: Мир, 2007. 321 с.
15. Ту Дж. Принципы распознавания образов. М.: Мир, 1998. 411 с.

REFERENCES

1. *Aleksyeyev, S.V.* (2014) *Bezpilotni lital'ni zasoby: istoriya ta perspektyvy rozvytku*. “Remotely Piloted Vehicle: History and Prospects of Development”. *Modern Special Technique* 3(38), 89–99 [in Ukrainian].

© Khoroshko Volodymyr, Kalantaievska Svitlana, 2020

2. *Kharchenko, O.V., Kulyeshyn, V.V., Kotsurenko, Yu.V.* (2005) Klyasyfikatsiya ta tendentsiyi stvorenniya bezpilotnykh lital'nykh aparativ viys'kovoho pryznachennya. "Classification and Tendency of the Development of Non-Profitable Legal Equipment". Science and Defense 1, 47–54 [in Ukrainian].

3. *Vasilin, N.Ya.* (2003) Bepilotnyye letatel'nyye apparaty. "Unmanned Aerial Vehicles". Minsk: OOO Potpourri. 272 p. [in Russian].

4. *Khoroshko, V.O., Khokhlachova, Yu.Ye., Palamarchuk, S.V.* (2017) Rozpiznavannya ob'yektiv bezpilotnykh litayuchymy aparatamy v umovakh protydyi. "Object Recognition by Unmanned Aerial Vehicles in Counteraction Conditions". Collection of Scientific Works VITI. No 4. P. 91–96 [in Ukrainian].

5. *Khoroshko, V.O., Kalantayevska, S.V.* (2018) Metod korektsiyi zobrazhennya, otrymuyemoho z BPLA pry nayavnosti shumiv i zavud. "The Method of Correction of the Image Obtained from the UAV in the Presence of Noise and Interference". Collection of scientific works VITI. No 3. P. 123–131 [in Ukrainian].

6. *Duksenko, N.A., Khoroshko, V.A.* (2016) Algoritm vosstanovleniya izobrazheniy, poluchayemykh s bespilotnykh letatel'nykh aparatov. "Algorithm for Recovering Images from Unmanned Aerial Vehicles". Informatics and Mathematical Methods in Modeling. Vol. 6. No 1. P. 5–11 [in Ukrainian].

7. *Gorelik, A.L., Gurevich, N.B., Skripkin, V.A.* (1985) Sovremennoye sostoyaniye problemy raspoznavaniya. "The Current State of the Recognition Problem". M: Radio and communications. 162 p. [in Russian].

8. *Mesarovich, M., Mako, D., Takhakara, I.* (2008) Teoriya iyerarkhicheskikh mnogourovnevnykh sistem. "Theory of Hierarchical Multilevel Systems". M.: Mir. 344 p. [in Russian].

9. *For, R., Kafman, R., Deni-Papen, M.* (2006) Sovremennaya matematika. "Modern Math». M.: Mir. 277 p. [in Russian].

10. *Akho, A., Ul'man, Dzh., Khopkroft, Dzh.* (2009) Postroyeniye i analiz vychislitel'nykh algoritmov. "Construction and Analysis of Computational Algorithms". M.: Mir. 536 p. [in Russian].

11. *Kovalevskiy, V.N.* (2006) Metody optimal'nykh resheniy v raspoznavanii izobrazheniy. "Methods of Optimal Solutions in Image Recognition". M.: Nauka, 2006. 328 p. [in Russian].

12. *Bengard, M.M.* (2007) Problema uznayemosti. "The Problem of Recognition". M.: Nauka. 320 p. [in Russian].

13. *Akho, A., Ul'man, Dzh.* (1978) Teoriya sintaksicheskogo analiza, perevoda i kompilyatsii. "Theory of Syntactic Analysis, Ttranslation and Compilation": in 2 volumes. M.: Mir, 1978. 334 p. [in Russian].

14. *Fu K.* (2007) Strukturnyye metody raspoznavaniya obrazov. "Structural Methods for Pattern Recognition". M.: Mir. 332 p. [in Russian].

15. *Tu Dzh.* (1998) Printsipy raspoznavaniya obrazov. "Pattern Recognition Principles". M.: Mir. 411 p. [in Russian].

UDC 381.32 : 681.192

Khoroshko Volodymyr,

Doctor Sci. (Engineering), professor,

professor of the Department of the National Aviation University, Kyiv, Ukraine

Kalantayevska Svitlana,

postgraduate student,

Military Institute of Telecommunications and Informatization, Kyiv, Ukraine

PRINCIPLES OF PARALLELIZATION WHEN PROCESSING INFORMATION ARRIVING FROM THE UAV

At present, the use of UAVs for reconnaissance tactical missions is carried out by almost all developed countries. Moreover, the experience of using UAVs in combat conditions shows that the process of drone development continues. In this regard, the

© Khoroshko Volodymyr, Kalantayevska Svitlana, 2020

DOI (Article): [https://doi.org/10.36486/mst2411-3816.2020.1\(60\).5](https://doi.org/10.36486/mst2411-3816.2020.1(60).5)

Issue 1(60) 2020

<http://suchasnaspetstehnika.com/>

issues of UAV operation in the conditions of camouflage of a reconnaissance object, or in bad weather conditions become relevant. In this case, it is necessary to recognize and identify the object under reconnaissance. When solving object recognition problems in practice, it is necessary to use recognition systems, which require large sets of data on object characteristics, which need to be processed in real time, when they are used.

Paper considers the possibility of automatic parallelization of programs at the level of generalized operations for real-time information processing systems at the ground control station. A technique for processing a receptor field, which can easily reproduce and separately allocate any frame represented on the receptor field, to construct an algorithm enabling analysis of each individual image of an object coming from a UAV board, thereby restoring and extracting frames of interest to the operator or part of the frame. The use of the structural method of recognition of images of different complexity allows real-time processing of video information coming from the UAV, and representation of images of the object in the form of a hierarchical structure allows establishing processing, as it is carried out in layers and in parallel. A technique for processing a receptor field, which can easily reproduce and separately allocate any frame represented in the receptor field, as well as construct an algorithm enabling analysis of each individual image of an object coming from a UAV board, thereby restoring and extracting frames of interest to the operator or part of the frame. The use of the structural method of recognition of images of different complexity allows real-time processing of video information coming from the UAV, and representation of images of the object in the form of a hierarchical structure allows establishing processing, as it is carried out in layers and in parallel.

Research article concludes that the results obtained during the study show the ability to process images not only at the control point, but also on the board of the drone. Implementation of the proposed method allows, in a few seconds, to achieve the recognition of images of objects reaching 97 %, regardless of its position in the field of view of the UAV videosystem. For today, the issues on continuing research on the methods of logical systems for UAVs with night vision and search devices remain relevany, since they are quite effective in confrontation.

Keywords: unmanned aerial vehicles, receptor field, object image, recognition systems, parallelization of information processing.

Отримано 21.11.2019

Рецензент д.т.н., проф. Рибальський О.В.