

КЛАСТЕРИЗАЦИЯ БЛОКОВ АЭРОФОТОСНИМКА В ДВУХПРИЗНАКОВОМ СТРУКТУРНОМ ПРОСТРАНСТВЕ НА ОСНОВЕ МЕТОДА К-СРЕДНИХ В СИСТЕМЕ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ

*БАРАННИК В.В., МУСИЕНКО А.П.,
ЖУЙКОВ Д.Б., БРАЙЛОВСКИЙ Н.Н.*

Обосновывается необходимость обеспечения своевременной доставки цифровых снимков с использованием беспилотных бортовых средств аэромониторинга. Показывается направление для повышения эффективности процесса кластеризации блоков аэрофотоснимка на основе метода К-средних в двухпризнаковом структурном пространстве в системе обработки информации. Описывается возможность использования алгоритма К-средних для определения степени семантической насыщенности распределенных блоков аэрофотоснимка в кластерах по признаковым характеристикам. Такой подход позволяет сравнить результаты кластеризации блоков аэрофотоснимка, которые получены автоматическим способом дешифрирования (без участия оператора), с результатами, полученными дешифровщиком, основываясь на визуальном анализе.

Ключевые слова: кластеризация, метрика, блок, аэрофотоснимок, обработка, технология.

1. Введение

Современное развитие беспилотных летательных аппаратов свидетельствует о повышении интереса к получению своевременной и достоверной информации в системе аэромониторинга [1-5]. Здесь ключевым моментом является использование цифровых аэрофото-снимков, регистрируемых в процессе полета беспилотным летательным аппаратом (БПЛА). Однако возникает ряд вопросов, связанных с необходимостью одновременного решения задач относительно обработки, передачи, а также доставки цифровых аэрофотоснимков в реальном времени в центр обработки информации [6].

Один из подходов к решению таких задач заключается в использовании методов обработки цифровых изображений с учетом выделения структурно-значимой информации о характеристиках объектов. В случае обработки цифровых аэрофотоснимков на борту БПЛА необходимо предварительно выделить на снимке семантически насыщенные блоки, которые в дальнейшем будут передаваться с сохранением наибольшей информативности, с заданным качеством, а также с заданной пропускной способностью бортовых каналов связи. Поэтому актуальной задачей является необходимость обеспечения своевременной доставки цифровых аэро-фотоснимков с использованием беспилотных бортовых средств аэромониторинга,

с сохранением наибольшей информативности блоков аэрофотоснимка.

Анализ публикаций по цифровой обработке изображений показал, что наиболее семантически значимой является информация о контурах, границах объектов [5-8, 9]. При этом не учитывается семантическая структурно-значимая составляющая обрабатываемых изображений. Это позволяет снизить время обработки на этапе кодирования, но при этом вносятся значительные искажения в исходную семантическую структуру [10], что приводит к неправильному дешифрированию снимков и усложнению выделения значимых фрагментов.

Решением такого противоречия является применение технологии кластерного анализа с использованием методов обрабатывающих множество исходных данных – блоков аэрофотоснимка. Одной из реализаций такого подхода является способ кластеризации блоков аэрофотоснимка – К-средних. Среди многих методов кластерного анализа [11 - 13] выбор алгоритма К-средних связан с простотой реализации, высокой скоростью обработки исходных данных (в нашем случае множество блоков аэрофотоснимка). Из особенностей данного способа можно выделить то, что процесс кластеризации блоков аэрофотоснимка может происходить не по одной характеристике (показателю) блока, а по многим признаковым характеристикам. Однако ввиду ограничений, связанных с бортовой мощностью аппаратуры обработки и передачи данных БПЛА, в нашем случае предлагается использовать два показателя. Очевидно, что применение двух признаковых показателей в процессе кластеризации блоков аэрофотоснимка даст необходимый результат.

Алгоритм К-средних позволит более эффективно обрабатывать большую совокупность аэрофотоснимков за счет предварительного распределения блоков аэрофотоснимка в признаковом пространстве. Поэтому цель исследований заключается в создании способа кластеризации блоков аэрофотоснимка в двухпризнаковом структурном пространстве на основе метода К-средних в системе обработки информации.

2. Основное содержание исследований

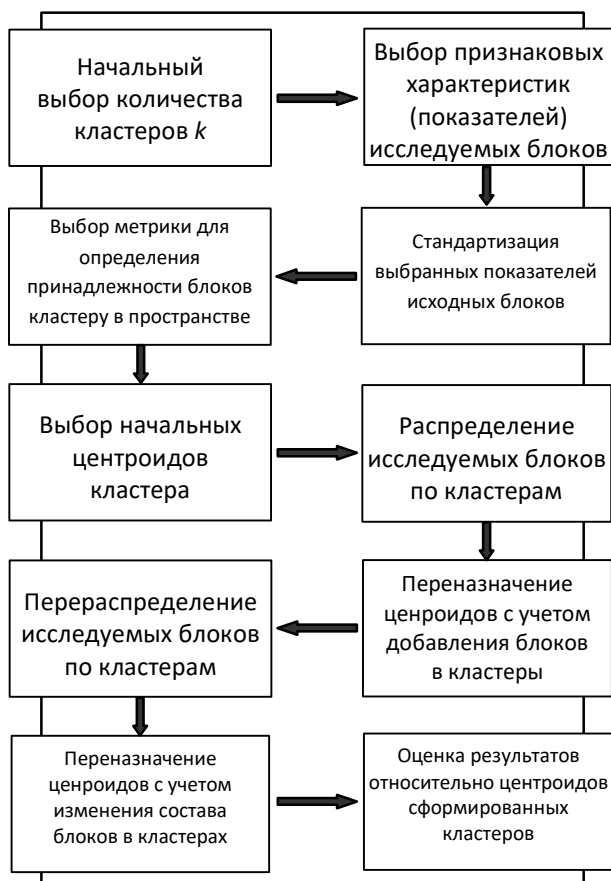
Поскольку нам неизвестно, к каким классам семантической насыщенности относятся исследуемые блоки аэрофотоснимка, то применение способа кластеризации на основе алгоритма К-средних позволит классифицировать характерные блоки аэрофотоснимков по степени семантической насыщенности. В конечном итоге, результативность процесса дешифрирования аэрофото-снимков будет зависеть от использования наиболее эффективного метода кластеризации [11, 14].

Проведем кластеризацию блоков аэрофотоснимка методом К-средних, для того чтобы:

– во-первых, получить распределение блоков аэрофотоснимков по кластерам;

– во-вторых, результаты кластеризации блоков аэрофотоснимка, которые получены автоматическим способом дешифрирования (без участия оператора), сравнить с результатами, полученные дешифровщиком, который основывается на визуальном анализе.

Этапы метода кластеризации блоков аэрофотоснимка, на основе алгоритма К-средних, представлены на рисунке.



Этапы метода кластеризации блоков аэрофотоснимка

Первым этапом предлагается выбрать количество кластеров $k=3$. Это объясняется тем, что в рамках исследования рассматриваются блоки $b(p_{k,\ell})$ аэрофотоснимка разных типов (контурные, текстурные, однородные), в которых учитывается степень насыщенности, а именно: слабонасыщенные, средненасыщенные и сильнонасыщенные [13].

На этапе выбора признаков (показателей) исследуемых блоков необходимо определить те показатели, которые будут наиболее точно характеризовать исследуемые блоки. В нашем случае для проведения эксперимента были выбраны показатель насыщенности $p_{k,\ell}^{(1)}$ и структурный показатель $p_{k,\ell}^{(2)}$. Ввиду того, что данные показатели разные по величине и по способу получения, необходимо произвести нормировку исходных значений показателей. Применение нормирования приведет к тому, что данные показатели станут равнозначными с точки зрения определения меры принадлежности исследуемых бло-

ков $b(p_{k,\ell})$ аэрофотоснимка в кластере в двухпризнаковом структурном пространстве $P(2)_j$.

Третьим этапом, при построении кластеризации, необходимо выбрать метрику относительно принадлежности исследуемых блоков кластеру. В нашем случае на этом этапе процесс кластеризации заключается в определении минимального расстояния $d(2)_{\min}^{(\gamma)}$ между блоком $b(p'_{k,\ell})$ аэрофотоснимка и центроидом $C_j^{(\gamma)}$ (центром) кластера.

Центроиды кластеров необходимы для вычисления на каждом шаге процесса кластеризации меры близости элементов. При этом начальные центроиды кластеров выбираются с учетом нормированного показателя $p'_{k,\ell}$ начальных блоков $b(p'_{k,\ell})$ аэрофотоснимков. В этом случае значения нормированных показателей $p'_{k,\ell}$ блоков каждого кластера должны быть наиболее показательны, удалены друг от друга (отличаться в наибольшей степени).

В качестве метрики определения расстояния $d(2)_{\xi}^{(\gamma)}$ между блоком аэрофотоснимка $b(p'_{k,\ell})$ и начальным центроидом $C_j^{(\gamma)}$ j -го кластера по нормированному показателю $p'_{k,\ell}$ – используется мера близости $D(2)_{Ev}$ евклидово расстояние:

$$d(2)_{\xi}^{(\gamma)} = \sqrt{|p'_{k,\ell} - \bar{p}_{\xi}^{(\gamma)}|^2} = |p'_{k,\ell} - \bar{p}_{\xi}^{(\gamma)}|, \quad (1)$$

где $\bar{p}_{\xi}^{(\gamma)}$ – среднее значение по нормированному показателю среди всех элементов ξ -го кластера на γ -м шаге процесса кластеризации в двухпризнаковом структурном пространстве $P(2)_j$.

Далее по полученному расстоянию принимается решение, к какому кластеру отнести блок.

На четвертом этапе проводится переназначение центроида $C_j^{(\gamma+1)}$ для j -го кластера на $(\gamma+1)$ -м шаге процесса кластеризации.

В нашем случае центроид $C_j^{(\gamma+1)}$ на $(\gamma+1)$ -м шаге процесса кластеризации при добавлении i -го элемента к j -му кластеру переназначается с учетом своего текущего значения $\bar{p}_j^{(\gamma)}$ и нормированного показателя $p'_{i,j}$ элемента, являющегося наиболее близким к значению центроида $C_j^{(\gamma)}$. Происходит уточнение сред-

него значения $\overline{p}_j^{(\gamma+1)}$ на $(\gamma+1)$ -м шаге процесса кластеризации между текущим значением $\overline{p}_j^{(\gamma)}$ центроида и нормированным показателем $p'_{i,j}$ элемента $m_{i,j}^{(\gamma)}$, что представлено выражением:

$$\overline{p}_j^{(\gamma+1)} = \frac{\overline{p}_j^{(\gamma)} + p'_{i,j}}{2}. \quad (2)$$

Каждый последующий шаг, с учетом изменения состава кластера, предусматривает переназначение центроида. В результате этого, элемент $m_{i,j}^{(\gamma)}$, принадлежащий одному кластеру, может перераспределиться в другой кластер.

Обобщенный критерий эффективности всего процесса кластеризации позволяет оценить степень уменьшения ошибки относительно внутрикластерной близости центроида $C_j^{(\gamma)}$ и блоков $b(p'_{k,\ell})$ аэрофотоснимков в двухпризнаковом структурном пространстве $P(2)_j$ и может быть рассчитан как сумма квадратичных ошибок, что представлено выражением:

$$E(2)^{(\gamma)} = \left[\sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{n_j^{(\gamma)}} (p'_{i,j} - \overline{p}_j^{(\gamma)})^2 \right], \quad (3)$$

где k – число кластеров; $n_j^{(\gamma)}$ – количество элементов $m_{i,j}^{(\gamma)}$, которые принадлежат j -му кластеру; при этом $n_j^{(\gamma+1)} = n_j^{(\gamma)} + 1$.

Эффективность процесса кластеризации аэрофотоснимка определяется как минимизация функции $E(2)^{(\gamma)}$:

$$E(2)^{(\gamma)} \rightarrow \min.$$

Таким образом, чем ближе блоки $b(p'_{k,\ell})$ аэрофотоснимка относительно центроида сформированного кластера, тем более качественно проведен процесс кластеризации. При этом значение функционала $E(2)^{(\gamma)}$ будет стремиться к нулевой отметке.

3. Выводы

1. Усовершенствован метод кластеризации фрагментов аэрофотоснимка в двухпризнаковом структурном пространстве на основе метода К средних в системе обработки информации. Данная технология позволяет отобрать блоки аэрофотоснимка в двухпризнаковом структурном пространстве по кластерам, с учетом степени семантической насыщенности исследуемых

блоков. Особенностью усовершенствованного метода является то, что среди выделенных признаков характеристик для кластеризации блоков аэрофотоснимка использовались показатель степени насыщенности блока $p_{k,\ell}^{(1)}$ и структурный показатель блока $p_{k,\ell}^{(2)}$.

2. Проведенные практические расчеты показали, что эффективность процесса кластеризации достигается при использовании не менее двух признаков показателей, характеризующих блок, а процесс распределения блоков по кластерам завершен на второй итерации работы разработанного способа.

3. Преимущество усовершенствованного метода заключается в том, что при несложной вычислительной реализации он позволяет достаточно точно распределить блоки аэрофотоснимка по кластерам.

Усовершенствованный метод дает возможность:

- более эффективно обрабатывать множество аэрофотоснимков за счет предварительного распределения блоков аэрофотоснимка в двухпризнаковом структурном пространстве;

- отбирать кластеризованные блоки аэрофото-снимка по степени дешифровочной насыщенности. Это позволит дешифровать его с учетом выделенных значимых признаков (контуры, границы объектов, текстура и однородные участки местности).

Литература: 1. *Мосов С.* Аэрокосмическая разведка в современных военных конфликтах: монография / С.Мосов. К.: Изд. дом. "Румб", 2008. 248 с. 2. *Баранник В.В.* Метод повышения информационной безопасности в системах видеомониторинга кризисных ситуаций / В.В. Баранник, Ю.Н. Рябуха, О.С. // Монография. Черкассы, 2015. 143 с. 3. *Баранник В.В.* Метод селекции кадрового потока в системах критического аэромониторинга для повышения безопасности государственного информационного ресурса / В.В. Баранник, Ю.Н. Рябуха, С.С. Бульба // Авиационно-космическая техника и технологи. 2015. № 3. С. 111-118. 4. *Баранник В.В.* Концептуальный метод повышения безопасности дистанционного видеoinформационного ресурса в системе аэромониторинга кризисных ситуаций на основе интеллектуальной обработки видеокладов / В.В. Баранник, Ю.Н. Рябуха // Радиоэлектронные компьютерные системы. 2015. № 3. С. 19-21. 5. *Баранник В.В.* Методология совершенствования обработки видеoinформации, для повышения эффективности сервиса предоставления дистанционных видеоуслуг, при управлении в кризисных ситуациях / В.В. Баранник, Ю.Н. Рябуха, А.А. Красноруцкий, В.Ж. Яценко // АСУ и приборы автоматики. №170. 2015. С. 12-20. 6. *Баранник В.В.* Метод повышения доступности видеoinформации аэромониторинга / В.В. Баранник, О.С. Кулица // Радиоэлектронные и компьютерные системы. №3. 2013. С. 17-20. 7. *Гонсалес Р.С., Вудс Р.Э.* Цифровая обработка изображений / Р.С. Гонсалес, Р.Э. Вудс. М.: Техносфера, 2006. 1072 с. 8. *Кашкин В.Б.* Цифровая обработка аэрокосмических изображений. Красноярск: ИПК СФУ, 2008. 121 с. 9. *Красильников Н.Н.* Цифровая обработка изображений / Н. Н. Красильников. М.: Вузовская книга, 2011. 320. 10. *Баранник В.В.* Метод кластеризации фрагментов аэрофо-

тоснимков в спектрально-частотном пространстве // Баранник В.В., Мусиенко О.П., Яливец К.С. // Научно-технический журнал. 2016, №29(1). 2016. С. 23-30. **11. Blizorukov M. G.** Количественные методы анализа многомерных величин / Blizorukov M. G. Урало-Сибирский институт бизнеса. Издательство АМБ, 2006. 68 с. **12. Barannik V.** The Evaluation Method Of Coding Efficiency Of Basic Frames Of The Video Stream In Infocommunication / V.V. Barannik, A.P. Musienko // IEEE Second International Scientific-Practical Conference ["IEEE Problems of Infocommunications. Science and Technology, PICS&T'2015"], (Kharkiv, Ukraine, October 13-15, 2015) / Kharkiv: 2015. P. 223-225. **13. Barannik V.** Methodological base for representation transformants in equilibrium uneven-diagonal / V.V. Barannik, Sergii Shulgin, A.P. Musienko // 2015 1st International Conference ["Advanced Information and Communication Technologies-2015 (AICT'2015)"], (Lviv, Ukraine, October 29 - November 1, 2015) / Lviv: 2015. P. 138-140. **14. Barannik V.V.** Methodological basis for determining the energy significance of the structural unit of a video frame based on the estimation of low-frequency components of the matrices of the DCT blocks of the luminance component / V.V. Barannik, Dmitry Komolov, A.P. Musienko, R.V. Tarnopolov // XIVth International Conference ["Modern Problems of Radio Engineering, Telecom-munications and Computer Science, TCSET'2016"], (Lviv-Slavske, Ukraine, February 22-26, 2016) / Lviv-Slavske: 2016. P. 572-574.

Transliterated bibliography:

1. Mosov S. Aerokosmicheskaya razvedka v sovremennykh voennykh konfliktakh: monografiya / S.Mosov. K.: Izd. dom. "Rumb", 2008. 248 s.
2. Barannik V.V. Metod povysheniya informatsionnoy bezopasnosti v sistemah videomonitoringa krizisnykh situatsiy / V.V. Barannik, Yu.N. Ryabuha, O.S. // Monografiya. Cherkassy, 2015. 143 s.
3. Barannik V.V. Metod selektsii kadrovogo potoka v sistemah kriticheskogo aeromonitoringa dlya povysheniya bezopasnosti gosudarstvennogo informatsionnogo resursa / V.V. Barannik, Yu.N. Ryabuha, S.S. Bulba // Aviatsonno-kosmicheskaya tehnika i tehnologii. 2015. # 3. S. 111-118.
4. Barannik V.V. Kontseptualnyy metod povysheniya bezopasnosti distantsionnogo videoinformatsionnogo resursa v sisteme aeromonitoringa krizisnykh situatsiy na osnove intellektualnoy obrabotki videokadrov / V.V. Barannik, Yu.N. Ryabuha // Radioelektronnyye kompyuternyye sistemy. 2015. # 3. S. 19-21.
5. Barannik V.V. Metodologiya sovershenstvovaniya obrabotki videoinformatsii, dlya povysheniya effektivnosti servisa predostavleniya distantsionnykh videouslug, pri upravlenii v krizisnykh situatsiyah / V.V. Barannik, Yu.N. Ryabuha, A.A. Krasnorutskiy, V.Zh. Yaschenok // ASU i pribory avtomatiki. #170. 2015. S. 12-20.
6. Barannik V.V. Metod povysheniya dostupnosti videoinformatsii aeromonitoringa / V.V. Barannik, O.S. Kulitsa // Radioelektronnyye i kompyuternyye sistemy. #3. 2013. S. 17-20.
7. Gonsales R.S., Vuds R.E. Tsifrovaya obrabotka izobrazheniy / R.S. Gonsales, R.E. Vuds. M.: Tehnosfera, 2006. 1072 s.
8. Kashkin V.B. Tsifrovaya obrabotka aerokosmicheskikh izobrazheniy. Krasnoyarsk: IPK SFU, 2008. 121 s.
9. Krasilnikov N.N. Tsifrovaya obrabotka izobrazheniy / N. N. Krasilnikov. M.: Vuzovskaya kniga, 2011. 320.
10. Barannik V.V. Metod klasterizatsii fragmentov aerofotosnimkov v spektralno-chastotnom prostranstve //

Barannik V.V., Musienko O.P., Yalivets K.S. // NaukoEmnI tehnologiyi. 2016, #29(1). 2016. S. 23-30.

11. Blizorukov M. G. Kolichestvennyye metody analiza mnogomernykh velichin / Blizorukov M. G. Uralo-Sibirskiy institut biznesa. Izdatelstvo AMB, 2006. 68 s.

12. Barannik V. The Evaluation Method Of Coding Efficiency Of Basic Frames Of The Video Stream In Infocommunication / V.V. Barannik, A.P. Musienko // IEEE Second International Scientific-Practical Conference ["IEEE Problems of Infocommunications. Science and Technology, PICS&T'2015"], (Kharkiv, Ukraine, October 13-15, 2015) / Kharkiv: 2015. P. 223-225.

13. Barannik V. Methodological base for representation transformants in equilibrium uneven-diagonal / V.V. Barannik, Sergii Shulgin, A.P. Musienko // 2015 1st International Conference ["Advanced Information and Communication Technologies-2015 (AICT'2015)"], (Lviv, Ukraine, October 29 - November 1, 2015) / Lviv: 2015. P. 138-140.

14. Barannik V.V. Methodological basis for determining the energy significance of the structural unit of a video frame based on the estimation of low-frequency components of the matrices of the DCT blocks of the luminance component / V.V. Barannik, Dmitry Komolov, A.P. Musienko, R.V. Tarnopolov // XIVth International Conference ["Modern Problems of Radio Engineering, Telecom-munications and Computer Science, TCSET'2016"], (Lviv-Slavske, Ukraine, February 22-26, 2016) / Lviv-Slavske: 2016. P. 572-574.

Поступила в редколлегию 11.06.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Безрук В.М.

Баранник Владимир Викторович, д-р техн. наук, профессор, начальник кафедры Харьковского национального уни-верситета Воздушных Сил имени Ивана Кожедуба. Научные интересы: системы, технологии преобразования, кодирования, семантической обработки изображений. Адрес: Украина, 61023, Харьков - 23, ул. Сумская, 77/79, тел. 8 050-3038971.

Barannik Vladimir Viktorovich, Doctor of Science (eng.), Professor, chief of chair, Kharkiv National University of Aircraft of the name of Ivan Kozhedub. Scientific interests: systems, tech-nologies of transformation, encoding, defence and information transfer, semantic processing of images. Address: Ukraine, 61023, Kharkiv - 23, Sumskaya street , 77/79, tel. 8 050-3038971. E-mail: Barannik_V_V@mail.ru.

Мусиенко Александр Павлович, адъюнкт кафедры Харьковского национального университета Воздушных Сил им. Ивана Кожедуба. Научные интересы: кодирование и се-мантическая обработка изображений. Адрес: Украина, 61023, Харьков, ул. Сумская, 77/79, тел. 8 093-7103877.

Musienko Olexandr Pavlovich, adjunct department, Kharkiv National University of Aircraft of the name of Ivan Kozhedub. Scientific interests: semantic processing of images. Address: Ukraine, 61023, Kharkiv, Sums'ka street, 77/79. tel. 8 093-7103877.

Жуйков Дмитрий Борисович, канд. техн. наук, доцент, заместитель начальника факультета Харьковского национального университета Воздушных Сил им. Ивана Кожедуба. Ад-рес: Украина, 61023, Харьков, ул. Сумская, 77/79

Браиловский Николай Николаевич, доцент кафедры кибербезопасности и защиты Киевского национального уни-верситета имени Т.Г.Шевченко. Научные интересы: кодиро-вание и семантическая обработка изображений. Адрес: Київ, 01033, вул. Володимирська, 60.

Brailovskyi Mykola Mykolaevich, associate professor of the cyber security and defense department of Kyiv National University of the name of Taras Shevchenko. Scientific interests: semantic processing of images.