

УДК 623618: 77 058

МЕТОД И ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ ЦИФРОВЫХ ТЕКСТУРНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ В СИСТЕМАХ АЭРОКОСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

Коваленко Т. В.

METHOD AND INFORMATION TECHNOLOGY FOR PROCESSING DIGITAL TEXTURES IN AEROSPACE MONITORING SYSTEMS

Kovalenko T.

Статья посвящена разработке метода и информационной технологии сегментации текстурных областей изображений, близких по цвету и структуре, которые представляют собой совокупность операций по обработке цифрового статического изображения, полученного в результате аэрофотосъемки. Входными параметрами являются аэрофотоснимок, априорные сведения об областях, которые требуется сегментировать, и метеорологические и навигационно-технические условия аэрофотосъемки. Выходными параметрами являются изображения с локализованными информативными областями.

Ключевые слова: изображение, текстура, пиксель, аэрофотоизображение, цифровая матрица, модели текстур, информационная система, метод, сегментация, цифровая коррекция изображения

Введение. В настоящее время при изучении природно-территориальных комплексов широко применяется воздушный мониторинг, выполняемый по аэрокосмическим снимкам. Современный термин «мониторинг» обозначает систематическое наблюдение, анализ и оценку состояния окружающей среды, её изменение в ходе естественной эволюции и хозяйственной деятельности человека, а также прогнозирование этих изменений для целей управления и контроля. Автоматизированная обработка изображений земной поверхности позволяет эффективно решать научные и прикладные задачи в области картографии, исследования природной среды, океанологии, поиска и освоения полезных ископаемых, сельского и лесного хозяйства и многих других областях. Исходя из изложенного выше, задача оперативной обработки и оперативного анализа данных воздушного мониторинга, является актуальной.

Постановка задачи исследования. Под цифровым аэрофотоизображением будем понимать двумерное цифровое фотографическое изображение, отображающее данные, необходимые пользователю. Цифровые аэрофотоизображения формируются при регистрации сканирующими системами с аэроносителей [1].

Для каждой единицы площади аналогового изображения рассчитывается средняя плотность затенения и ставится соответствующее этой плотности числовое значение. Результатом такой операции является цифровая матрица. Далее цифровая матрица на дисплее преобразуется в видимые элементы изображения – пиксели. Таким образом, видимое изображение складывается из отдельных пикселей, окрашенных в тона шкалы цвета в соответствии с приданными им числовыми значениями.

Пиксель цифрового изображения является оптически однородным и внутри его отдельные элементы не выделяются. Геометрические размеры цифрового изображения ограничены характеристиками формирующей системы и параметрами фоторегистрирующей [2]. Анализ литературы [1-4] показал, что, с точки зрения математического представления, цифровое изображение – это двумерная функция $f(x,y)$, где x и y – пространственные координаты, а f – яркость для каждой пары координат (x,y) , которая также называется интенсивностью или цветом изображения в точке с этими координатами.

Цифровое изображение $f(x,y)$ может быть представлено в виде матрицы размерами $M \times N$. Значения (x,y) являются дискретными величинами. Для удобства и ясности значения координат принимаются целочисленными. За начало

координат принимается верхний левый угол изображения, координатами которого служит пара $(x, y) = (0, 0)$. Следующая точка в первой строке изображения имеет координаты $(x, y) = (0, 1)$, причем $x \in [0, N - 1], y \in [0, M - 1]$, как показано на рис.1.

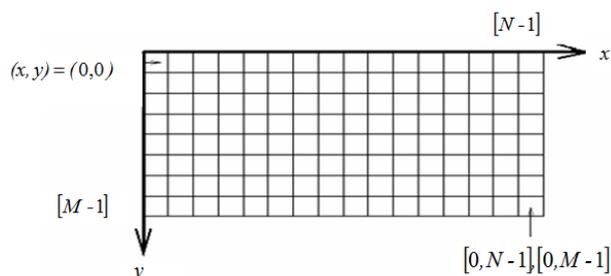


Рис.1. Представление аэрофотоизображений в системе координат

Разработка структуры комплекса программно-технических средств обработки изображений в системах воздушного мониторинга. Рассмотрим основные информационные ограничения рассматриваемой системы:

- входными данными являются аэрофотоснимок, априорные сведения об областях, которые требуется сегментировать, и метеорологические и навигационно-технические условия аэрофотосъемки;

- выходными параметрами являются изображения с локализованными информативными областями.

Предполагается, что система, в которой обрабатываются аэрофотоснимки, полученные в результате мониторинга поверхности Земли, может быть представлена тремя подсистемами:

- подсистема предварительной обработки изображения;
- подсистема настройки и корректировки параметров информационного комплекса;
- подсистема окончательной обработки изображения.

Выделим основные составляющие процесса обработки изображений [5]. На предварительном этапе оператор анализирует навигационно-технические и метеорологические условия съемки и выбирает алгоритмы для предобработки изображения. Входное изображение (аэрофотоснимок) поступает в систему предобработки изображений. Подсистема предобработки изображения предназначена для реализации алгоритмов повышения качества входного изображения. Она включает в себя программные модули фильтрации изображения с помощью заданных масок медианной фильтрации, усредняющего фильтра, регулирования интенсивности и других параметров изображения [6]. Параллельно процессу предобработки

параметры условий съемки вводятся в подсистему настройки параметров. Этапы технологии сегментации изображений в системе воздушного мониторинга представлены на рис.2.

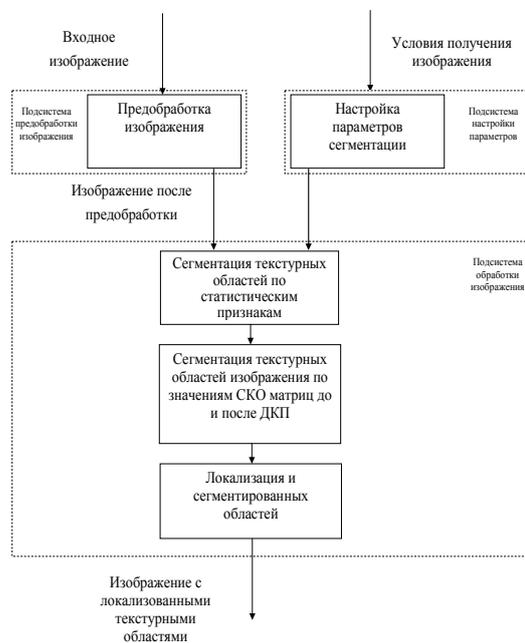


Рис.2. Технология сегментации изображений в системе воздушного мониторинга

В подсистеме настройки параметров формируется набор признаков информативных областей с учетом заданных классов и условий съемки. В базе данных настройки параметров содержатся эталонные описания классов текстур (в виде векторных наборов признаков). Подсистема настройки параметров выполняет обработку и анализ изображения с целью получения вектора признаков с учетом условий получения изображения и условий съемки. В результате комплексной обработки формируется изображение с локализованными (выделенными маркированными линиями) информативными областями. Для дальнейшего анализа характеристик изображений используется комплекс операций, призванных улучшить восприятие изображения наблюдателем или же (если возникает такая задача) преобразовать его в другое изображение, более удобное для машинной обработки [7].

Подсистема предварительной обработки представлена на рис. 3. На первом этапе изображение проверяется на соответствие перечисленным ниже требованиям. Аэрофотоизображения одного и того же объекта местности могут отличаться по таким критериям как условия съемки, освещенность, шум и т.д. В случае если на вход системы обработки поступают изображения, не удовлетворяющие требованиям, результат работы алгоритмов может быть некорректен.



Рис. 3. Подсистема предобработки изображения

Рассмотрим наиболее существенные факторы полета объекта, осуществляющего аэрофотосъемку, влияющие на качество получаемого снимка.

- Высота аэросъемки. От высоты зависит пространственное разрешение снимка. Чем она больше, тем разрешение меньше, что затрудняет распознавание.

- Влияние атмосферы. При аэросъемке с больших высот оптическое излучение, несущее информацию об объектах разведки, проходит через атмосферу. Чем меньше размеры объектов, тем в большей степени атмосфера уменьшает контраст между объектами. Если под влиянием атмосферы контраст информативных областей уменьшится настолько, что станет меньше порогового контраста оптико-электронной системы воздушного мониторинга, то такие области не будут обнаруживаться на аэрофотоснимках.

- Изменение величины освещенности Земли. Освещенность земной поверхности зависит от высоты солнца над горизонтом.

- Линейные и угловые перемещения летательного аппарата, а также вибрации летательного аппарата приводят к сдвигам изображения в плоскости аэроснимка, что приводит к ухудшению резкости изображения.

Выделим основные методы предварительной обработки изображений, применяемые с целью устранения или коррекции факторов полета для цифровых аэрофотоснимков.

1. Цифровая коррекция изображения: устранение нелинейности функции тонопередачи, улучшение резкости изображения, геометрическая коррекция.

2. Яростные преобразования изображения: изменение контраста, устранение шумов, подчеркивание границ.

В зависимости от задач предварительной обработки для их решения применяются соответствующие методы обработки изображений. Для повышения контрастности снимка для его наилучшего отображения выполняется изменение гистограммы значений яркости; фильтрация, квантование снимка по яркости и т.д. Слабый

контраст – наиболее распространенное свойство изображений дистанционного зондирования, обусловленное условиями наблюдения, ограничением диапазона воспроизводимых яркостей и др. Задача контрастирования связана также и с улучшением согласования динамического диапазона изображения и экрана, на котором выполняется визуализация. Возникновение шума обусловлено многочисленными факторами: тепловыми эффектами, сбоем детектора, взаимодействиями между электронными компонентами системы формирования изображения, ошибками дискретизации, ошибками передачи и др. Шумы на изображении появляются в самых разнообразных формах и зачастую их сложно смоделировать, поэтому многие методы шумоподавления являются специальными, что удобно для разделения видов шумов по категориям и обобщения описательных моделей шумов.

Так как большинство видов шумов возникает в самих детекторах или в электронных компонентах системы формирования изображения, их характеристики определяются в отдельных пикселях изображения или в пределах линий сканирования. Поэтому лучше попытаться устранить шум перед любой передискретизацией изображения, так как передискретизация «смажет» шум в соседние пиксели и линии, что в дальнейшем только затруднит фильтрацию. Предполагается, что входные изображения могут быть зашумлены тремя видами шумов: нормально распределенным шумом, импульсным шумом вида «соль-перец» и мультипликативным шумом.

При наличии нормально распределенного шума к каждому пикселю исходного (незашумленного) изображения $F(i, j)$ добавляется случайная величина $N(0, q)$ с математическим ожиданием 0 и дисперсией q , характеризующей амплитуду шума. На рис. 4 приводятся результаты применения адаптивной медианной фильтрации для удаления шума «соль-перец» высокой интенсивности. Входное аэрофотоизображение (рис. 4а) зашумленное гауссовским шумом, на рис. 4б изображение, искаженное шумом типа «соль-перец», на рис. 4в изображение зашумленное мультипликативным шумом. На рис. 4г приведено изображение после применения к нему гауссовской фильтрации для удаления шума.

Импульсный шум, именуемый в англоязычной литературе как шум типа «соль-перец», возникает при некорректном функционировании (отказе) тех или иных элементов матрицы фото- или видеокамеры. Мультипликативный шум (спекл-шум) образуется в результате когерентной суперпозиции от пространственно случайных источников рассеяния. Рассеянные волны накладываются друг на друга, вызывая тем самым появление спекл-шума на изображениях. Методы и алгоритмы предварительной обработки в зависимости от исходных данных выбирает оператор.

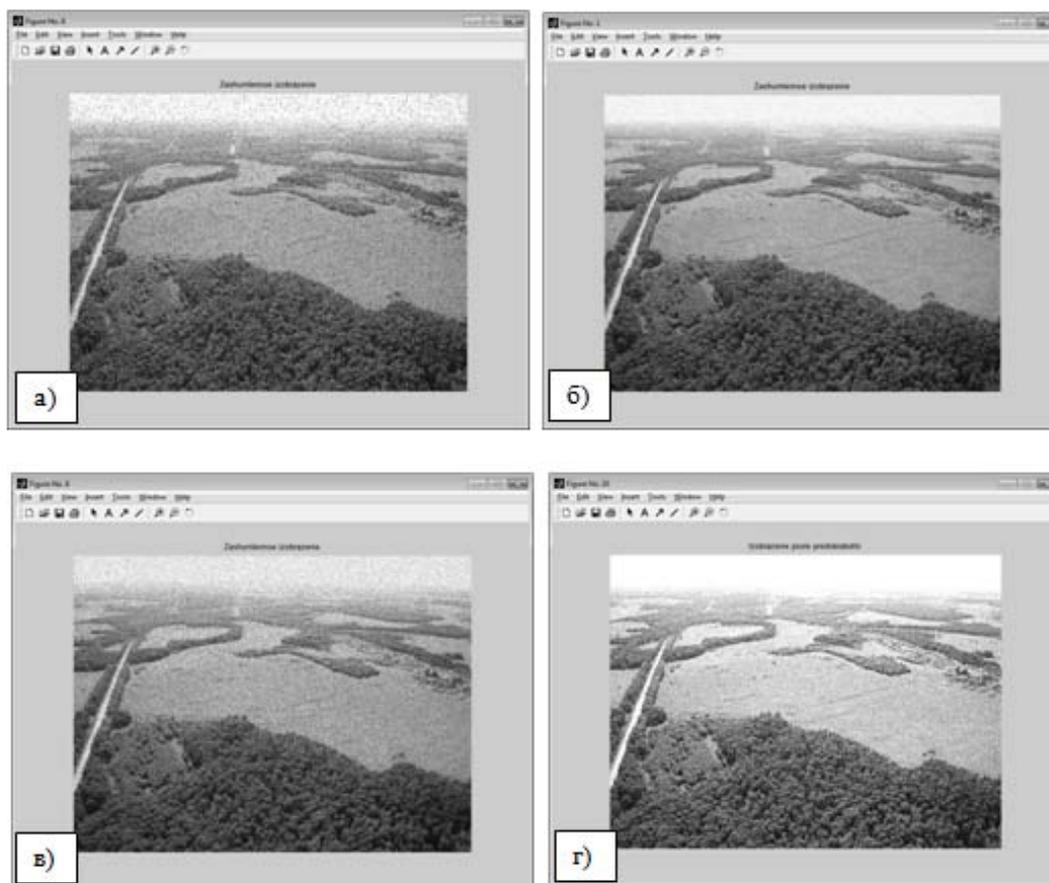


Рис. 4. Изображения до и после предобработки с целью устранения шумов:
 а – изображение, искаженное гауссовским шумом; б – изображение, искаженное шумом типа «соль-перец»;
 в – изображение, искаженное мультипликативным шумом; г – изображение после предобработки

Таким образом, в результате предобработки получаем изображение, подготовленное для сегментации текстурных областей, что повышает эффективность работы метода.

Из условий фотографирования наиболее существенными факторами являются: время года (наилучшее – летний период), время дня (наилучшее по состоянию атмосферы – предполуденное время), влажность объектов и воздушная дымка, угол наклона снимка и скатов местности. Под влиянием угла наклона аэрофотоснимка возникают линейные и угловые искажения изображения на снимке. Рельеф местности также вызывает смещение точек аэрофотоснимка. Линейные смещения точек аэрофотоснимка, вызванные влиянием угла наклона и рельефа местности, приводят к искажениям длин отрезков, ограничивающих области участков изображений. Из физических свойств фотоизображения решающее суммарное влияние на дешифрируемость снимков оказывают разрешающая способность и контрастность исходного изображения, степень контрастности полученного изображения, предопределяющие физические возможности его дешифрирования – детальность изображения [8].

Пусть $\{W\}$ – множество метеорологических условий, влияющих на качество получаемого изображения, а $\{\Delta W\}$ – множество значений искажений цвета изображения, возникающих при влиянии метеорологических условий во время получения аэрофотоснимка.

Тогда множество значений статистических признаков текстурной области принимает вид (1):

$$N_{p \text{ обл}} = \{N_p + \{\Delta W\}\}, \quad (1)$$

где $N_{p \text{ обл}}$ – набор значений интенсивностей цвета искомой области с учетом влияния метеорологических условий.

Учитывая влияние $\{\Delta W\}$, вектор значений статистических признаков будет задан диапазоном максимально и минимально допустимых значений (2):

$$N_{p\text{ обл}} = \left\{ \begin{aligned} &(m_{\text{обл min}}, m_{\text{обл max}}), \\ &(e_{\text{обл min}}, e_{\text{обл max}}), \\ &(U_{\text{обл min}}, U_{\text{обл max}}) \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

где $m_{\text{обл min}} = m_{\text{обл}} - \Delta W$,

$m_{\text{обл max}} = m_{\text{обл}} + \Delta W$,

$e_{\text{обл min}} = e_{\text{обл}} - \Delta W$,

$e_{\text{обл max}} = e_{\text{обл}} + \Delta W$,

$U_{\text{обл min}} = U_{\text{обл}} - \Delta W$,

$U_{\text{обл max}} = U_{\text{обл}} + \Delta W$.

Аналогичным образом учитываются при формировании значений набора признаков навигационно-технические условия получения изображений.

Под информацией о параметрах текстурных областей подразумеваются параметры модели информативной текстурной области, которые включают в себя следующее:

- ввод названия класса искомой текстуры («трава», «лес», «поле» и т.д.);
- ввод значений статистических признаков для заданного класса текстуры (значения N_p и P_s)

с учетом навигационно-технических и метеорологических условий получения изображения;

- ввод порога сегментации (P_s) для заданного класса текстур.

Обзор и выбор программно-аппаратных средств обработки изображений воздушного мониторинга. В настоящее время при проектировании и разработке систем комплексного анализа изображений воздушного мониторинга целесообразно использовать современные матричные процессоры, позволяющие существенно повысить эффективность обработки изображений при решении таких задач как сжатие данных, сегментация изображения, кодирование и декодирование, а также идентификация и дешифрирование изображений.

Анализ существующих программно-технических комплексов показал, что процессоры семейства NeuroMatrix являются представителями нового класса векторно-конвейерных DSP и они могут эффективно использоваться в задачах обработки изображений. Их отличает высокая производительность обработки больших потоков данных при относительно небольших аппаратных затратах и малом потреблении питания, а также перспективы дальнейшего повышения

вычислительной мощности процессоров семейства за счет углубления конвейера и реализации на других технологиях, имеющих меньшие топологические нормы проектирования.

Благодаря аппаратной поддержке матрично-векторных операций и возможности увеличения производительности, процессоры NeuroMatrix могут найти применение для решения широкого класса задач в таких областях, как видеообработка, распознавание образов, сигнальная обработка, радиолокация, телекоммуникация, навигация и многих других. Благодаря встроенным средствам для построения многопроцессорных систем, они могут использоваться как базовые блоки для создания параллельных вычислительных систем. Таким образом, использование современных средств разработки программного обеспечения, ориентированное на использование процессоров семейства NeuroMatrix, позволяет создавать высокоэффективные программно-аппаратные комплексы обработки изображений воздушного мониторинга.

На основании проведенных исследований может быть предложен метод сегментации текстурных областей аэрофотоснимков, схематично приведенный на рис. 5, 6. Как представлено на рис. 5, сегментация по статистическим признакам приводит к пересечению текстурных областей, принадлежащих разным классам. Это говорит о наличии на изображении областей, близких по цвету и структуре или другими словами, областей пересечения.

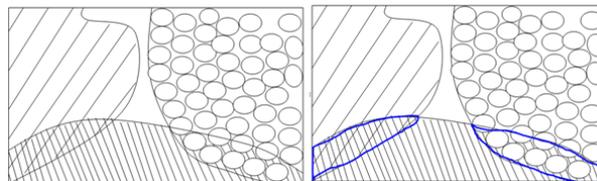


Рис. 5. Схематический результат первичной сегментации

В связи с этим, для уточнения границ текстурных областей реализуется этап вторичной сегментации по признаку значений среднеквадратичного отклонения матриц изображений текстурных областей до и после применения дискретно-косинусного преобразования. На этапе вторичной сегментации обработке подвергаются только области пересечения. Схематически результат вторичной сегментации представлен на рис. 6.

После выполнения этапа вторичной сегментации оператор принимает решение о выполнении следующего этапа – либо уточнение параметров для более точной сегментации областей, либо переход к этапу локализации выделенных областей. Результатом работы метода является изображение с локализованными текстурными областями.

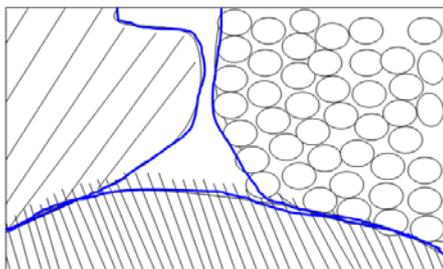


Рис. 6. Схематический результат вторичной сегментации

Выводы. В рассматриваемой статье разработан и описан метод сегментации информативных текстурных областей изображения, близких по значениям цвета и структуре, состоящий из этапов первичной и вторичной сегментации, которые обеспечивают решение задачи локализации областей изображений. Поэтапная обработка изображения предложенным методом обеспечивает максимальное исключение ошибки локализации ложных участков областей. Кроме того, при переходе от одного этапа обработки к другому уменьшается анализируемый объем информации, а именно площадь сегментируемых участков изображения. С целью уменьшения времени при практической реализации метода появляется возможность распараллеливания процессов обработки и решения задач в масштабе времени, близком к реальному. Результатом работы метода являются локализованные области искомым информативных текстурных областей.

Література

1. Кашкин, В.Б. Дистанционное зондирование Земли из космоса. Цифровая обработка изображений: [учебное пособие] / В.Б. Кашкин, А.И. Сухинин. – М.: Логос, 2001. – 264 с.
2. Прэтт, У. Цифровая обработка изображений: [в 2-х томах]. / У. Прэтт. – М.: Мир, 1982. – Т. 1. – 312с. – Т. 2 – 480с.
3. Абламейко, С.В. Обработка изображений: технология, методы, применение / С.В. Абламейко, Д.М. Лагуновский. – Минск: Ин-т технической кибернетики НАН Беларуси, 1999. – 300 с.
4. Визильтер, Ю.В. Обработка и анализ изображений в задачах машинного зрения: курс лекций и практических занятий / Ю.В. Визильтер, С.Ю. Желтов и др. – М.: Физматкнига, 2010. – 672 с.
5. Коваленко, Т.В. Модели и методы обработки цифровых текстурных изображений в системах аэрокосмического мониторинга // Наукові праці : Науково-методичний журнал. – Вип. 275. Т.287. Комп'ютерні технології. – Миколаїв : ЧДУ ім. П. Могили, 2016. – С. 132-137.
6. Gonzalez R.R. Woods Digital Image Processing. Second Edition / Gonzalez R.R. – Prentice Hall, 2002. – 793 p.
7. Howarth P., S. Ruger. Robust texture features for still image retrieval. In Proc. IEE Vis. Image Signal Processing, vol. 152, No. 6, December 2006.
8. Фисенко, В.Т. Компьютерная обработка и распознавание изображений: [учебное пособие] / В. Т.

Фисенко, Т. Ю. Фисенко. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2008. – 192 с.

References

1. Kashkin, V.B. Distancionnoe zondirovanie Zemli iz kosmosa. Cifrovaja obrabotka izobrazhenij: [uchebnoe posobie] / V.B. Kashkin, A.I. Suhinin. – M.: Logos, 2001. – 264 p.
2. Prjett, U. Cifrovaja obrabotka izobrazhenij: [v 2-h tomah]. / U. Prjett. – M.: Mir, 1982. – Т. 1. – 312s. – Т. 2 – 480 p.
3. Ablamejko, S.V. Obrabotka izobrazhenij: tehnologija, metody, primenenie / S.V. Ablamejko, D.M. Lagunovskij. – Minsk: In-t tehniczeskoj kibernetiki NAN Belarusi, 1999. – 300 p.
4. Vizil'ter, Ju.V. Obrabotka i analiz izobrazhenij v zadachah mashinnogo zrenija: kurs lekcij i praktičeskijh zanjatij / Ju.V. Vizil'ter, S.Ju. Zheltov i dr. – M.: Fizmatkniga, 2010. – 672 p.
5. Kovalenko, T.V. Modeli i metody obrabotki cifrovijh teksturnijh izobrazhenij v sistemah ajerokosmicheskogo monitoringa // Naukovi pracj : Naukovo-metodichnij zhurnal. – Vip. 275. T.287. Komp'juterni tehnologii. – Mikolaiv : ChDU im. P. Mogili, 2016. – P. 132-137.
6. Gonzalez R.R. Woods Digital Image Processing. Second Edition / Gonzalez R.R. – Prentice Hall, 2002. – 793 p.
7. Howarth P., S. Ruger. Robust texture features for still image retrieval. In Proc. IEE Vis. Image Signal Processing, vol. 152, No. 6, December 2006.
8. Fisenko, V.T. Komp'juternaja obrabotka i raspoznavanie izobrazhenij: [uchebnoe posobie] / V. T. Fisenko, T. Ju. Fisenko. – SPb: SPbGU ITMO, 2008. – 192 p.

Коваленко Т.В. Метод та інформаційна технологія обробки цифрових текстурних зображень у системах аерокосмічного моніторингу

У статті розроблений і описаний метод сегментації текстурних областей зображення, близьких за значеннями кольору і структурою, що складається з етапів первинної і вторинної сегментації, які забезпечують рішення задачі локалізації областей зображень. Поетапна обробка зображення запропонованим методом забезпечує максимальне вилучення помилок локалізації помилкових ділянок областей. Крім того, при переході від одного етапу обробки до іншого зменшується аналізований обсяг інформації, а саме площа ділянок зображення що сегментуються. З метою зменшення часу при практичній реалізації методу з'являється можливість розпаралелювання процесів обробки і вирішення завдань в масштабі часу, близькому до реального. Вхідними параметрами є аерофотознімок, апріорні відомості про області, які потрібно сегментувати, і метеорологічні, навігаційно-технічні умови аерофотозйомки. Вихідними параметрами є зображення з локалізованими інформаційними областями.

Ключові слова: зображення, текстура, піксель, аерофотознімок, цифрова матриця, моделі текстур, інформаційна система, метод сегментації, цифрова корекція зображення

T. Kovalenko Method and information technology for processing digital textures in aerospace monitoring systems

In this article, we developed and described a method for segmentation of informative textured regions of an image that are close in color and structure, consisting of the stages of

primary and secondary segmentation that provide the solution to the problem of localization of image areas. Step-by-step processing of the image by the proposed method ensures maximum elimination of localization errors in false regions. In addition, the transition from one processing step to the next decreases the analyzed amount of information, namely the area of segmented image areas. In order to reduce the time during the practical implementation of the method, it becomes possible to parallelize the processing and solving problems in a time scale close to the real one. The input parameters are an aerial photograph, a priori information about the areas to be segmented, and meteorological and navigation-technical

conditions for aerial photography. Output parameters are images with localized informative areas.

Keywords: *image, texture, pixel, aerial image, digital matrix, texture models, information system, method of segmentation, digital image correction*

Коваленко Т. В. – молодший науковий співробітник, Інститут проблем реєстрації інформації НАНУ, м. Київ, e-mail: tarasvkovalenko@gmail.com

Рецензент: д.т.н., проф. **Горбунов М.І.**

Стаття подана 18.09.2017