

Космический мониторинг чрезвычайных ситуаций в рекреационных зонах

Space monitoring of emergencies in recreational areas

Казарян / Kazaryan M.

Маретта Леоновна

(marettak@bk.ru)

кандидат физико-математических наук, доцент,
профессор Российской академии естествознания.
ФГБОУ ВО «Северо-Осетинская государственная
медицинская академия» Минздрава России,
доцент кафедры химии и физики.
г. Владикавказ, Республика Северная Осетия-Алания

Шахраманьян / Shahramanyan M.

Михаил Андраникович

(7283963@mail.ru)

доктор технических наук, профессор,
заслуженный деятель науки РФ,
почетный строитель РФ,
изобретатель СССР, дважды лауреат премии
Правительства РФ в области науки и техники,
академик РАЕН, МАИ,
Международной академии наук Евразии,
Всемирной академии комплексной безопасности.
ФГБОУ ВО «Финансовый университет
при Правительстве РФ» (Финансовый университет),
профессор кафедры безопасности
жизнедеятельности.
г. Москва

Лопухов / Lopukhov A.

Алексей Анатольевич

(aalopukhov@fa.ru)

кандидат технических наук.
Финансовый университет,
доцент кафедры безопасности жизнедеятельности.
г. Москва

Балицкий / Balitskij P.

Петр Станиславович

(psbalitskij@fa.ru)

кандидат военных наук, доцент.
Финансовый университет,
доцент кафедры безопасности жизнедеятельности.
г. Москва

Ключевые слова: ГИС-анализ – GIS analysis; несанкционированные объекты захоронения отходов – unauthorized waste disposal sites; дистанционное зондирование Земли – Earth remote sensing; космические снимки высокого пространственного разрешения – high-resolution satellite imagery; рекреация – recreation; экология – ecology; туристический бизнес – tourism; чрезвычайные ситуации природного и техногенного характера – natural and man-made emergencies; медико-профилактические мероприятия – medical and preventive measures; медианная фильтрация – median filtration.

В данной работе построена математическая модель динамики изменения ресурсов туристической отрасли с применением дистанционного зондирования Земли из космоса, а также проведен анализ медианных фильтров, адаптированных к особенностям космических снимков. Исследуется возможность применения таких фильтров в контексте космического мониторинга Земли. Эти исследования имеют практическое значение для предотвращения экологических и чрезвычайных ситуаций в глобальном масштабе, в частности в рекреационных зонах, что достигается благодаря использованию аппарата дистанционного зондирования Земли.

This paper analyzes median filters adapted to the features of satellite images. The possibility of using such filters for space monitoring of Earth is investigated. These studies are of practical importance for preventing environmental and emergency situations on a global scale, achieved through the use of Earth remote sensing devices.

Резюме

Введение. В наши дни геоэкологические исследования представляют собой одно из наиболее значимых направлений научных изысканий. Одним из методов объективного мониторинга динамики изменения ресурсного потенциала туристической составляющей цифровой экономики страны является дистанционное зондирование Земли из космоса.

В качестве примера можно рассмотреть проблему объектов размещения отходов (ОРО), которая является актуальной для современного общества. Стихийные несанкционированные свалки мусора оказывают негативное влияние на экологическое и эпидемиологическое состояние окружающей среды. Решение этой проблемы целесообразно осуществлять дистанционно, используя технологии дистанционного зондирования Земли и информацию высокого и среднего разрешения, получаемую с космических аппаратов.

Цели и задачи исследования. Цель работы заключается в использовании методов дистанционного зондирования Земли для исследования рекреационных зон и оценки снижения ресурсного потенциала в сфере туризма в условиях ухудшения экологической обстановки. В статье рассматриваются нелинейные пространственные фильтры, которые позволяют повысить качество космических снимков и их интерпретацию.

Методы исследования. В исследовании применяются методы дешифровки космических снимков с использованием различных методик, включая медианную фильтрацию и математическое моделирование.

Результаты и обсуждение. Были применены технологии дистанционного зондирования Земли для анализа рекреационных территорий с целью оценки снижения ресурсного потенциала в туристическом бизнесе в условиях ухудшения экологической ситуации. Научная новизна проводимых исследований заключается в том, что предлагается общая методология построения экологической модели, осуществляющей мониторинг территорий на наличие объектов, представляющих опасность для окружающей среды, с социально-экономическим обоснованием туристического бизнеса на рекреационных территориях. Исследование проводится с применением технологий дистанционного зондирования Земли и медианной фильтрации данных.

Заключение. В данной работе построена математическая модель динамики изменения ресурсов туристической отрасли с применением дистанционного зондирования Земли из космоса, а также проводится анализ медианных фильтров, адаптированных к особенностям космических снимков. Исследуется возможность применения таких фильтров в контексте космического мониторинга Земли. Эти исследования имеют практическое значение для предотвращения экологических и чрезвычайных ситуаций в глобальном масштабе, в частности в рекреационных зонах, что достигается

благодаря использованию аппарата дистанционного зондирования Земли.

Введение

Организация космического наблюдения в чрезвычайных ситуациях, вызванных техногенными и природными факторами, а также реализация мер, направленных на поддержание и укрепление здоровья людей – это важная и масштабная задача.

В исследовании рассматривается вопрос космического мониторинга и, в частности, использование алгоритма медианной фильтрации для повышения качества космических снимков в условиях возникновения шумов.

В масштабах планеты деятельность человека обусловлена наличием значительного количества опасных загрязняющих веществ, объектов захоронения отходов (ОЗО) и промышленных отходов (ПО), которые оказывают разрушительное воздействие на окружающую среду и живые организмы, включая человека. Особенно остро эта проблема стоит в азиатских и африканских странах.

Например, всем известны пластиковые острова в Тихом океане, которые представляют угрозу для морских обитателей. Предотвращение образования стихийных несанкционированных ОЗО является первоочередной задачей для всех стран мира.

ОЗО разрушает почву, а фильтрат, содержащий опасные химические элементы, проникает через неё. Вступая в реакцию с природными и техногенными компонентами, он образует канцерогенные и ксенобиотические соединения.

Избыток фильтрата может привести к поверхностным выбросам, изменению почвы, заболачиванию и другим изменениям рельефа. Попадание фильтрата в подземные воды ещё более опасно, так как это может вызвать экологические нарушения и негативно повлиять на жизнь живых организмов и человека.

Свалочный газ, попадающий в атмосферу, представляет собой серьёзную угрозу для здоровья человека, поскольку может стать причиной возникновения онкологических и хронических лёгочных заболеваний, а также злокачественных опухолей.

Основная часть

Таким образом, объектом исследования является региональный туристический поток. Для проведения точных исследований необходимо использовать технологии и данные космического мониторинга (КМ) с применением дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Это способствует обеспечению устойчивости экологического мониторинга на предмет нарушений в рекреационных зонах исследуемых территорий [7, 8]. Экологический мониторинг (ЭМ) представляет собой процесс наблюдений, направленных на прогнозирование

вание и оценку состояния окружающей среды (ОС). Для обеспечения достоверных результатов ЭМ мониторинг должен быть непрерывным. В рамках систематических наблюдений незаменимо использование аэро- и космических снимков. Изменения в ОС могут происходить как быстро, например в результате наводнений, селей, пожаров и других стихийных бедствий, так и медленно, например из-за засух или накопления мусора на свалках [11, 12].

В современном мире управление зонами отдыха в городских и пригородных районах стало непросто задачей, так как жители мегаполисов активно используют эти территории для проведения досуга.

Развитие инфраструктуры для отдыха и развлечений – это перспективное и экономически выгодное направление в сфере услуг.

Вопрос реабилитации территорий, длительное время испытывавших интенсивное рекреационное воздействие, является актуальным.

В местах отдыха сложно отслеживать состояние мусорных полигонов, поскольку их слишком много. В этом отношении мониторинг объектов размещения отходов (ОРО) на основе дистанционного зондирования Земли имеет преимущества. Он позволяет проводить исследования в труднодоступных местах без прямого контакта с исследуемой территорией.

Для космического мониторинга ОРО разработаны определенные методики [7, 8] и, в частности:

1. Методика автоматического обнаружения и оценки параметров с применением дискретных ортогональных преобразований.
2. Методика, осуществляющая проверку состояния почвы и растительности.
3. Методика, осуществляющая проверку состояния подстилающей поверхности.
4. Методика проведения фрактального и текстурного анализа космических изображений свалок.

Предполагается, что исходные изображения прошли надлежащие этапы предварительной обработки, нет необходимости в рассмотрении специальных процедур валидации космических снимков в рамках данных исследований [7, 8].

Одним из ключевых аспектов, представляющих значительный интерес для современного человека, является его потребность в профилактике и восстановлении физического здоровья и психологического состояния. Основываясь на этом, мы можем построить математическую модель формирования туристического потока с учётом применения дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) для определения одного из ключевых факторов – качества окружающей среды.

Известные исследования Касагранди и Ринальди [3, 4], проведённые с глубоким анализом и теоретическими результатами, позволили создать динамическую модель, связывающую основные экологические и социальные факторы развития туризма.

Рассмотрим подробнее эту модель динамического развития туризма.

Введем следующие обозначения:

$T(t)$ – количество туристов, посещающих зону отдыха в определённый момент времени t .

$E(t)$ – качество природы в этот период.

$C(t)$ – объём инвестиций, вложенных в улучшение условий для отдыха и развлечений туристов.

$\alpha(T, E, C)$ – уровень развития конкретного направления отдыха в момент времени t (степень его популярности и востребованности).

β – общее количество туристов, выбравших данное направление.

$\beta_E(T, E, C)$ – качество природы именно в данном направлении.

$\beta_C(T, E, C)$ – состояние зоны отдыха в данном направлении.

$\beta_T(T, E, C)$ – количество туристов, привлечённых в зону отдыха благодаря рекламе.

Имеем следующую систему уравнений (1):

$$\begin{cases} \frac{dT}{dt} = T(\alpha(T, E, C) - \beta) \\ \alpha(T, E, C) = \beta_E(T, E, C) + \beta_C(T, E, C) + \beta_T(T, E, C) \end{cases} \quad (1)$$

Используя функцию Монода, мы можем выразить численно $\beta_E(T, E, C)$ и $\beta_C(T, E, C)$ (2). $\beta_T(T, E, C)$ количественно определяется линейной функцией, которая уменьшается с ростом T (2).

$$\begin{cases} \beta_E(T, E, C) = \frac{\gamma_E E}{E + f_E} \\ \beta_C(T, C, E) = \gamma_C \frac{\frac{C}{T+1}}{\frac{C}{T+1} + f_C} \\ \beta_T(T, E, C) = -\delta T \end{cases}, \quad (2)$$

где:

γ_E при $E \rightarrow \infty$ характеризует интерес туристов к рекреационной зоне;

γ_C при $E \rightarrow \infty$ отражает степень вовлеченности туристов в процесс формирования и совершенствования инфраструктуры рекреационной зоны;

f_E – константа полуудовлетворения, то есть качество развития ОС (удовлетворенность туристов на половину от максимально возможного уровня);

f_C – константа полуудовлетворения, представляет собой показатель качества развития инфраструктуры, который оценивается туристами на половину от максимального значения;

δ – коэффициент, отражающий скорость снижения привлекательности рекреационной зоны при увеличении числа посетителей. После подстановки (2) в (1) имеем:

$$\frac{dT}{dt} = T \left(\frac{\gamma_E E}{E + f_E} + \gamma_C \frac{\frac{C}{T+1}}{\frac{C}{T+1} + f_C} - \delta T - \beta \right). \quad (3)$$

Для анализа динамики изменений окружающей среды во времени применим следующую формулу (4):

$$\frac{dE}{dt} = RE \left(1 - \frac{E}{K} \right) - E (\tau C + \nu T), \quad (4)$$

где

R – темп изменения экологической обстановки ОС;
 K – объём ёмкости ЭС;
 τ, ν – параметры негативного воздействия туристов на ОС.

Для анализа динамики изменения основных средств используем формулу (5):

$$\frac{dC}{dt} = -\Delta C + \varepsilon T. \quad (5)$$

Здесь:
 второй компонент – это вложения в инфраструктуру;

ε – коэффициент, отражающий эффективность использования инвестиций в инфраструктуру;

Δ – скорость снижения уровня развития инфраструктуры.

После всех подстановок модель принимает следующий вид:

$$\begin{cases} \frac{dT}{dt} = T \left(\frac{\gamma_E E}{E + f_E} + \gamma_C \frac{\frac{C}{T+1}}{\frac{C}{T+1} + f_C} - \delta T - \beta \right) \\ \frac{dE}{dt} = RE \left(1 - \frac{E}{K} \right) - E (\tau C + \nu T) \\ \frac{dC}{dt} = -\Delta C + \varepsilon T \end{cases}. \quad (6)$$

Проведя детальный анализ, авторы пришли к выводу, что рассмотренная модель устойчивого развития туризма является упрощенной и не учитывает в достаточной степени факторы, отражающие реальную ситуацию.

В дополнение к этой модели можно добавить сведения о конкретных местах отдыха, используя паспорта этих территорий. В частности, необходимо включить геоинформационные данные, полученные с помощью геоинформационных систем и алгоритмов обработки спутниковых снимков.

Для проведения аэрокосмического мониторинга на основе аэрокосмических снимков применяются различные методы обнаружения ОРО и ПО [7, 8].

Продолжим изучение рекреационных зон, формализуя их с помощью математической модели, построенной на основе ранее полученных данных. Уточним экологический аспект модели Касагранди – Ринальди на примере особо охраняемых природных территорий, определяемых на карте с помощью дистанционного зондирования Земли. Свалки – антропогенные природные объекты, созданные человеком.

В научных трудах [11] была создана методика обнаружения и анализа объектов, загрязняющих окружающую среду, по данным космических снимков. Эта методика позволяет автоматически определять местоположение, размеры и характеристики таких объектов. Также была разработана методика оценки параметров объектов, загрязняющих окружающую среду, по данным космических снимков. Эта методика позволяет анализировать изменения границ объектов, их площади, объёма, высоты и других параметров с течением времени. Кроме того, она позволяет оценить степень замусоренности и изменения температуры поверхности объектов.

Была создана методика оценки влияния объектов, загрязняющих окружающую среду, на природную среду. Она позволяет оценить состояние природной среды в окрестностях объектов по индексам реакции растительности и степени деградации почвы. На основе полученных данных формируются экологические паспорта для каждой рекреационной зоны. Эти паспорта содержат информацию о природно-ресурсном потенциале территорий и их характеристиках.

Приведем некоторые теоретические основы медианных фильтров, которые будут служить инструментом в наших дальнейших исследованиях.

Для обработки сигналов, которые не следуют линейным законам, применяется метод медианной фильтрации. Этот метод эффективен в устранении помех на изображениях. Одномерный медианный фильтр представляет собой скользящее окно с нечётным количеством элементов. Центральный элемент в окне заменяется медианой всех остальных элементов в окне. Как известно [10, 14, 15], этот фильтр предназначен для ослабления импульсных сигналов, продолжительность которых составляет менее половины длительности окна. Один из методов использования медианной фильтрации для снижения уровня шума заключается в следующем:

1. Сначала применяется медианный фильтр с окном, включающим три пикселя изображения.
2. Если эффект от фильтрации незначителен, окно фильтра расширяется до пяти пикселей.
3. Процесс продолжается до тех пор, пока медианная фильтрация не начинает приносить больше вреда, чем пользы.

Концепцию медианного фильтра легко применить в двух измерениях, используя двумерное окно нужной формы, например прямоугольное или близкое

к круглому. Очевидно, что двумерный медианный фильтр с окном размером $L \times L$ обеспечивает более эффективное подавление шума по сравнению с последовательным применением горизонтального и вертикального одномерных медианных фильтров с окном $L \times 1$. Однако двумерная обработка приводит к более заметному ослаблению сигнала. Следует рассматривать медианную фильтрацию изображений для подавления шумов как эвристический метод.

Рассмотрим адаптивные медианные фильтры. Они работают только с теми пикселями, которые были искажены импульсным шумом, оставляя без изменений остальные пиксели. Прежде чем применить адаптивный медианный фильтр, необходимо определить, был ли пиксель изображения искажён или нет.

Воспользуемся предложенным методом при проведении мониторинга рекреационных территорий на наличие ОЗО.

Эксперимент

Ухудшение состояния почв – это комплекс процессов, которые приводят к снижению их функциональности, а также к изменениям их свойств как в количественном, так и в качественном отношении. Это постепенное снижение способности почвы обеспечивать растения необходимыми питательными веществами.

Основной причиной ухудшения состояния почв является деятельность человека. К этому приводят такие процессы, как индустриализация, урбанизация, загрязнение почвы твёрдыми и жидкими отходами, а также использование пестицидов.

В этом исследовании мы предлагаем способ выявления ОЗО с помощью анализа индексов реакции растений. Для этого мы используем адаптивную медианную фильтрацию цифровых снимков, полученных в ходе дистанционного мониторинга объектов ТБО. В ходе исследования используются мультиспектральные изображения, полученные со спутников Landsat 4-5 ТМ за период не менее десяти лет. Также учитываются данные об осадках в регионе за тот же период. Снимки должны быть привязаны к местности, скорректированы с учётом атмосферных условий и не должны содержать облаков. В исследовании используются три канала: красный, синий и зелёный.

Установлено [14, 15], что корреляция между каналами мультиспектральных изображений может быть вызвана несколькими причинами: сходство объектов по цвету, например неяркие растения; одинаковое количество тени на всех участках изображения; регистрация одним датчиком нескольких диапазонов отражённого света, что может быть исправлено путём изменения конструкции датчика.

Такая корреляция приводит к избыточности информации, и наша задача – минимизировать её влияние с минимальными потерями.

В качестве одного из способов обработки многоспектральных изображений, который может повысить точность дешифровки, рассмотрим дополнительно к пороговой фильтрации также метод медианной фильтрации [2, 5, 6, 13].

Суть медианной фильтрации состоит в том, чтобы последовательно перемещать окно по изображению и заменять центральный элемент окна его медианным значением. Это позволяет получить более сглаженное изображение.

Итак, возьмем в качестве одного из методов обработки многоспектральных снимков, позволяющих улучшить результаты дешифрования, метод медианной фильтрации, в частности возьмем медианный фильтр 3-го порядка и бегущую среднюю с адаптивными коэффициентами. При разработке алгоритма используем алгоритмический язык Matlab [15], а также геоинформационную систему ENVI [7, 8].

В процессе выполнения работы по применению медианного фильтра и метода скользящего среднего с использованием адаптивных коэффициентов было выбрано изображение ТБО Фенино, подвергнуто воздействию шума типа «соль-перец» [13], после чего была произведена фильтрация (см. рис. 1).

Для анализа эффективности процесса фильтрации исходного изображения от импульсного шума была применена среднеквадратическая метрика, определяемая в соответствии с формулой [1,9]:

$$MSE = \frac{\sum_i \sum_j (y_{i,j} - s_{i,j})^2}{D_1 \cdot D_2}, \quad (7)$$

где $s_{i,j}$ – исходное изображение, $y_{i,j}$ – снимок с выполненной медианной фильтрацией, D_1 и D_2 – ширина и высота рассматриваемого космического снимка. Снимок имеет максимальное значение пикселя N , т. е. равное 255 в наших исследованиях.

Ещё один параметр, по которому можно судить о качестве обработки изображения – это соотношение сигнал/шум в его максимальной точке. Оно вычисляется по следующей формуле:

$$PSNR = 10 \lg \left(\frac{N^2}{MSE} \right). \quad (8)$$

Чем выше значение $PSNR$, тем лучше результат восстановления изображения. В идеале $PSNR = \infty$.

Дополнительным критерием для оценки качества обработки изображения может служить коэффициент структурного сходства между двумя изображениями.

$$SSIM(y, s) = \frac{(2\mu_y \mu_s + c_1)(2\sigma_{ys} + c_2)}{(\mu_y^2 + \mu_s^2 + c_1)(\sigma_y^2 + \sigma_s^2 + c_2)}, \quad (9)$$

где μ_y – среднее y , μ_s – среднее s , σ_y^2 – дисперсия y , σ_s^2 – дисперсия s , σ_{ys} – ковариация y, s , $c_1 = (k_1 L)^2$, $c_2 = (k_2 L)^2$ – это переменные, L – динамический диапазон пикселей



а) Исходное изображение

б) Наложение на данное изображение шума «соль-перец» с интенсивностью $p=0,02$

в) Отфильтрованное изображение

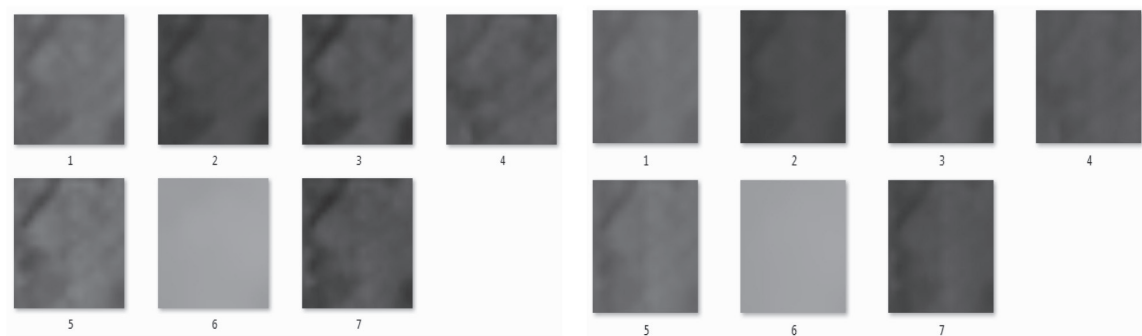
Рис. 1. Результат работы алгоритма адаптивной медианной фильтрации на примере ТБО Фенино

Таблица 1

Оценка качества медианной фильтрации			
Вид изображения	MSE	PSNR	SSIM
Зашумленное	0,1	0,07	0,002
Обработанное медианным фильтром	0,03	0,08	0,004

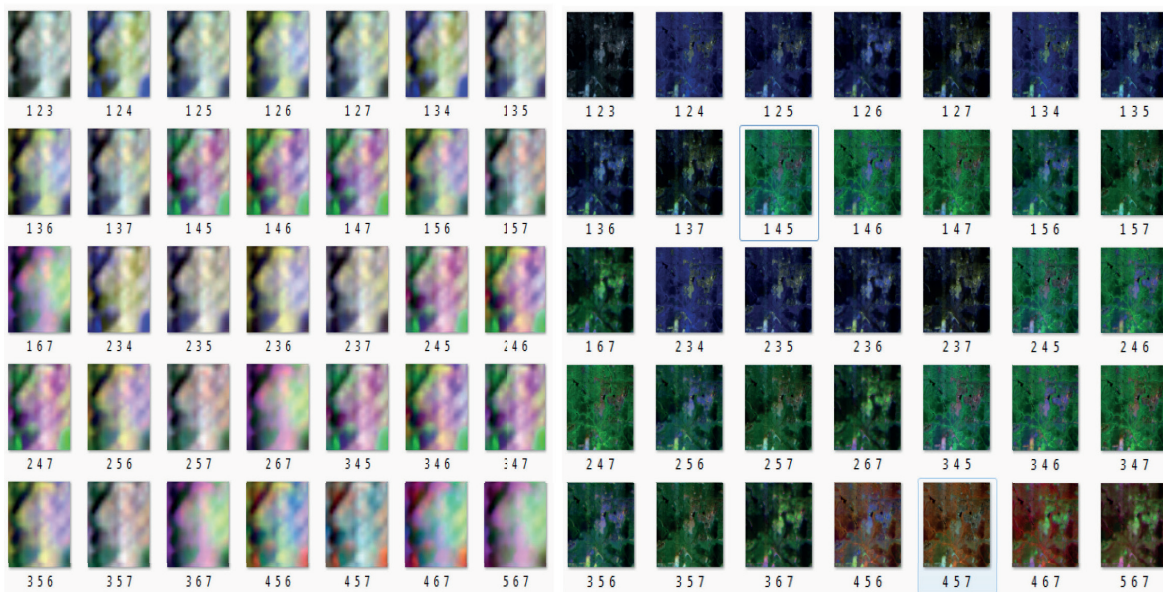
Таблица 2

Ошибки медианной фильтрации: MSE на различных каналах и при различных значениях импульса p								
значение p	1-канал	2-канал	3-канал	4-канал	5-канал	6-канал	7-канал	8-канал
0,01	0,0198	0,0198	0,0198	0,0199	0,0199	0,0202	0,0212	0,0212
0,1	0,013	0,013	0,0131	0,0131	0,0132	0,0133	0,0141	0,0141
0,25	0,0211	0,0211	0,0211	0,0211	0,0212	0,0213	0,0215	0,0226
0,5	0,0147	0,0147	0,0147	0,0147	0,0148	0,0148	0,015	0,0161
0,75	0,0238	0,0238	0,0239	0,0239	0,0239	0,0241	0,0244	0,0259
0,9	0,0064	0,0064	0,0064	0,0064	0,0064	0,0064	0,0065	0,0066
0,99	0,0193	0,0193	0,0193	0,0193	0,0194	0,0195	0,0197	0,0208



а)

б)



в)

д)

Рис. 2. Пример применения медианной фильтрации к изображению замусоривания:
 а) исходные изображения с импульсным шумом $p=0.02$ (с увеличением пространственного разрешения);
 б) адаптивная медианная фильтрация; в) композиты преобразований (совмещение разных каналов);
 д) наилучшее преобразование (комбинация [3, 5, 7])



(равен 255), $k_1=0.01$, $k_2=0.03$ – константы. *SSIM* находится в интервале (0,1). Если изображения равны, то *SSIM*=1.

Задача экспериментальных исследований – определить, насколько точно можно расшифровать почву, сопоставляя результаты визуального анализа исходного изображения и изображения, обработанного адаптивным медианным фильтром.

В ходе эксперимента необходимо применить адаптивный медианный фильтр к исходному изображению – это позволит уменьшить корреляцию между составляющими векторами изображения.

Исследуются изменения чистой почвы при наличии ОЗО, нас интересует признак «яркость».

В результате проделанного эксперимента были получены следующие результаты в виде таблиц 1, 2 и рисунков 1, 2.

На рис. 1 и в таблице 1 прослеживается следующее – медианная фильтрация, адаптированная к специфике изображения, устраняет импульсные помехи с минимальными ошибками.

В таблице 2 даны значения среднеквадратической ошибки *MSE* медианной фильтрации, примененной к изображению ТБО Фенино при различных значениях импульса p из интервала (0,1) на семи каналах.

Прослеживается следующая картина: наихудший вариант – это $p=0.75$ по всем каналам, и наилучший – это при $p=0.9$ по всем каналам.

На рис. 2 рассматривается пример применения медианной фильтрации к изображению замусоривания ТБО Фенино. Даны композиты изображения, т. е. совмещение разных каналов при значении $p=0.02$. Наилучший результат дает комбинация 3, 5, 7 каналов.

Учитывая незначительные погрешности, можно сделать вывод, что поставленный эксперимент с задачей применения медианного фильтра при возникновении импульсного шума на космическом снимке устраняет его.

Заключение

1. В представленном исследовании предлагается математическая модель, описывающая устойчивое развитие туризма в рекреационных зонах. В дополнение к разработанной модели в статье представлены сведения о конкретных местах отдыха, основанные на анализе паспортов этих территорий. В работе также используются данные, полученные с помощью геоинформационных систем и алгоритмов обработки спутниковых снимков.

2. В данном исследовании проводится анализ и адаптация медианных фильтров с целью их применения для обработки характеристик космических снимков.

3. Результаты данного исследования могут быть востребованы в сфере космического мониторинга Земли с применением аппаратов дистанционного

зондирования. Это способствует предупреждению экологических и чрезвычайных ситуаций в глобальном измерении.

Литература

1. Tukey, J. W. Exploratory data analysis / J.W. Tukey. – Reading, MA : Pearson, 1977. – 711 p.
2. Wang, Z. Progressive switching median filter for the removal of impulse noise from highly corrupted images / Z. Wang, D. Zhang // IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Analog and Digital Signal Processing. – 1999. – Vol. 46, Iss. 1. – P. 78–80.
3. Casagrandi, R. A theoretical approach to tourism sustainability / R. Casagrandi, S. Rinaldi // Conservation Ecology. – 2002. – No. 6 (1). – URL : http://home.deib.polimi.it/rinaldi/ENS/fr_5.a.pdf (дата обращения: 15.10.2024).
4. Butowski, L. Sustainable Tourism – A Model Approach, Visions for Global Tourism Industry – Creating and Sustaining Competitive / L. Butowski. – 2012. – URL : <http://www.intechopen.com/books/visions-for-global-tourism-industry-creating-and-sustaining-competitive-strategies/sustainable-tourism-a-modeling-approach> (дата обращения: 15.10.2024).
5. High density impulse noise removal using robust estimation based filter / V.R. Vijaykumar, P.T. Vanathi, P. Kanagasabapathy, D. Ebenezer // IAENG International Journal of Computer Science. – 2008. – Vol. 35, Iss. 3. – P. 259–266.
6. Zhang, P. A new adaptive weighted mean filter for re-moving salt-and-pepper noise / P. Zhang, F. Li // IEEE Signal Processing Letters. – 2014. – Vol. 21, Iss. 10. – P. 1280–1283.
7. Космический мониторинг объектов захоронения твердых бытовых отходов и промышленных отходов (ТБО и ПО): теоретико-методические и социально-экономические аспекты : монография / М.Л. Казарян, А.А. Рихтер, М.А. Шахраманьян, Р.Д. Недков. – Москва : ИНФРА-М, 2019. – 278 с.
8. Мониторинг и прогнозирование социально-экономического развития регионов на основе анализа космических снимков (на примере объектов захоронения твердых бытовых отходов и их влияние на окружающую среду) : монография / М.Л. Казарян, А.А. Рихтер, М.А. Шахраманьян, Р.Д. Недков. – Москва : ИНФРА-М, 2019. – 256 с.
9. Image quality assessment: from error visibility / Z. Wang, A. Bovik, H. Sheikh, E. Simoncelli // IEEE Transactions on image processing. – 2004. – Vol. 13, No. 4. – P. 600–612.
10. Pratt, W. K. Digital Image Processing / W.K. Pratt. – Hoboken : John Wiley and Sons Inc., 1978. – 738 p.
11. Global system for space monitoring of environmental littering / M. Kazaryan, M. Shakhramanyan, A. Richter [et al.] // Proceedings of the Bulgarian Academy of Sciences. – 2022. – T. 75, No. 7. – P. 1028–1036.
12. Kazaryan, M. Space monitoring of the earth on the presence of solid domestic wastes using a discrete orthogonal transforms / M. Kazaryan, M. Shakhramanyan, A. Richter // Serbian Journal of Electrical Engineering. – 2017. – Vol. 14, No. 3. – P. 343–364.



13. Ng, P.-E. A switching median filter with boundary discriminative noise detection for extremely corrupted images / P.-E. Ng, K.-K. Ma // IEEE Transactions on Image Processing. – 2006. – Vol. 15, Iss. 6. – P. 1506–1516.

14. Gonzalez, R. C. Digital image processing / R.C. Gonzalez, R.E. Woods ; 3rd ed. – Upper Saddle River : Pearson Prentice Hall, 2007. – 976 p.

15. Gonzalez, R. C. Digital image processing using MATLAB / R.C. Gonzalez, R.E. Woods, S.L. Eddins ; 2nd ed. – Upper Saddle River, NJ : Prentice-Hall, Inc., 2010. – 344 p.

