

Д. В. ЗАЕРКО¹⁾, Н. Л. БОБРОВА¹⁾, Дм. В. ЗАЕРКО²⁾

ОЦЕНКА ТОНОВОЙ ДЕВИАЦИИ ГРАНИЧНЫХ ПИКСЕЛЕЙ СТАТИЧЕСКОГО РАСТРОВОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЛГОРИТМА СБАЛАНСИРОВАННОГО «ДООПРЕДЕЛЕНИЯ»

¹⁾ Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

²⁾ Гродненский государственный университет имени Янки Купалы
г. Гродно, Республика Беларусь.

Аннотация. Использование алгоритмов предварительной обработки растровых изображений предполагает улучшение набора характеристик изображения для использования полученного качественного эффекта преобразований на последующих этапах процесса обработки. Оценка эффекта воздействия на растровое изображение является нетривиальной задачей, от качества ее решения зависит выбор дальнейших шагов обработки и алгоритмического инструментария. Примером может быть алгоритм сбалансированного «доопределения» граничных пикселей изображения, разработанный для улучшения результатов работы алгоритмов выделения контуров объектов и основанный на операции двумерной свертки, где улучшение заключается в сокращении числа резко контрастирующих пикселей на границах растровых изображений относительно смежных. Существующие численные оценки PSNR и SSIM растровых изображений, полученных после применения алгоритма сбалансированного «доопределения», показали свою малую эффективность из-за малого числа пикселей, затрагиваемых преобразованиями. Альтернативным критерием является оценка тоновой девиации пикселей на границах растрового изображения. Объект исследования – пиксельная матрица цветного трехканального статического растрового изображения. Предмет изучения – оценка тоновой девиации граничных пикселей статического растрового изображения, полученных с использованием алгоритма сбалансированного «доопределения». Основная цель – вычисление оценки тоновой девиации граничных пикселей статического растрового изображения после применения алгоритма сбалансированного «доопределения», анализ и ранжирование альтернативных методов «доопределения» граничных пикселей по критерию тоновой девиации. В статье приводится определение понятия и обоснование использования оценки тоновой девиации. Представлен пример вычисления тоновой девиации пикселей после применения алгоритма сбалансированного «доопределения» и метода копирования для 1 тыс. цветных трехканальных растровых изображений из датасета SpaceNet Satellite Images от ImageNet. Проведен краткий анализ полученных результатов оценок, даны рекомендации к выбору лучшего метода «доопределения».

Ключевые слова: растровые изображения, пиксельная матрица, граничные пиксели, доопределенные пиксели, выделение контуров объектов, фильтр Собеля, SSIM, PSNR, оценка тоновой девиации пикселей

Введение

Работа алгоритмов предварительной обработки растровых изображений предполагает промежуточную оценку результатов преобразований над ними и характеристик работы самого алгоритма. Использование оценки экспертного типа носит субъективный характер и не всегда выполнимо в условиях конвейерной обработки большого объема растровых изображений, различных по своему первоначальному качеству и разрешению. Особенно затруднителен выбор методики оценки в случае специфических преобразований, выполняемых над изображениями, и оценкой отдельных интересующих характеристик, изменение которых не приводит к изменению величины этих оценок. В этом случае необходимо выстраивать собственную методику оценки характеристик, часто опираясь на возможности статистического аппарата и оценивая изменение характеристики по среднему выборочному значению (математическому ожиданию), выборочной дисперсии,

среднеквадратическому отклонению изменения базовых свойств изображения. Альтернативным вариантом оценки могут выступать классы общепринятых оценок [1], которые в последнее время получают аргументируемую критику в их справедливости [2, 3]. Наиболее общие оценки качества растровых изображений, такие как SSIM и PSNR, могут не в полной мере демонстрировать отличия оригинального и преобразованного некоторым способом изображения, например, в случае малого числа преобразуемых тонов пикселей. Примером может быть случай «доопределения» пикселей вне границ статического растрового изображения для корректного выделения контуров объектов фильтром Собеля, использующим операцию двумерной свертки и требующим дополнительный набор пикселей вне границ оригинального растрового изображения [4, 5].

«Доопределение» граничных тонов пикселей в алгоритмах сегментации контуров объектов растровых изображений на базе операции двумер-

ной свертки, оценка тоновой девиации пикселей. Задача «доопределения» дополнительного набора пикселей вне границ оригинального растрового изображения широко известна [6]. Она связана с необходимостью «доопределения» пикселей вне границ первоначального изображения для корректной работы алгоритмов, использующих операцию двумерной свертки на его границах, и одновременного заполнения неконтрастирующих значений тонов относительно близлежащих смежных. Необходимость дополнительного набора пикселей вне границ следует из особенностей работы операторов двумерной свертки – последние граничные пиксели не будут обработаны из-за выхода алгоритма за пределы границ исходного изображения. Ранее в исследованиях сообщалось, что практический интерес «доопределения» граничных тонов пикселей на границах статического растрового изображения связан с применением их в операции двумерной свертки, с различными ядрами свертки [4, 5]. Эффект воздействия «доопределенных» пикселей с их контрастирующими значениями будет существенным образом влиять на результат однократного применения операции двумерной свертки из-за особенности принципа ее работы, независимо от выбранного вида ядра. Воздействие будет распространяться в направлении центра изображения с постепенным затуханием эффекта. Особенно эффект ошибочного контрастирующего «доопределения» проявляется в алгоритмах выделения контуров объектов, где оцениваются «резкие» изменения тонов пикселей. Для решения указанной выше задачи был разработан и предложен алгоритм сбалансированного «доопределения» тонов пикселей [4, 5]. В ходе разработки алгоритма и при его практическом применении возникла проблема оценки изменений, возникающих после его использования. Оценка и анализ работы алгоритма сбалансированного «доопределения» граничных пикселей возможен по следующим критериям. *Оценка визуальных эффектов*, вызванных «доопределенными» пикселями на границах изображения, и их влияния на процесс дальнейшей обработки изображения алгоритмами нелинейной фильтрации для выделения контуров объектов. Под визуальным эффектом подразумевается появление отдельных отличающихся по тону пикселей, множества точек, линий или областей, не содержащихся на оригинальном изображении, и их ложное использование при оценке яркостных характеристик на них. Данный критерий практически осложнен тем, что при оценке работы алгоритмов на большой базе растровых изображений требуется наличие эксперта. *Численная оценка* «доопределенных» пикселей представляется их статистическими оценками, изменением выборочного среднего и выборочной дисперсии до и после включения «доопределенных» значений тонов пикселей, PSNR и SSIM оценками. Использование PSNR и SSIM является общепринятой практикой оценки изменений растрового изображения. Однако в связи

с небольшим числом «доопределяемых» пикселей относительно их общего числа значение оценки изменяется несущественно и не дает ясного понимания степени влияния «доопределенных» пикселей на последующее выделение контуров объектов. Альтернативным критерием оценки алгоритмов является анализ тоновой девиации «доопределенных» пикселей растрового изображения. При условии, что тон «доопределенного» пикселя – это дискретная случайная величина, изменяющая свое значение байт в границах $x \in [0, 255]$, тогда оценка выборочного среднего

$$\overline{pel} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n pel_i \text{ и несмещенной выборочной дисперсии}$$

$$D = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (pel_i - \overline{pel})^2, \text{ где } pel_1, \dots, pel_n - \text{значения } n \text{ тонов пикселей.}$$

Наличие резкого изменения дисперсионной оценки или среднего значения указывает на **тоновое отличие** «доопределенных» значений, которые будут визуально проявляться при выходе за некоторый диапазон допустимого перепада тонов. На практике величина диапазона варьируется в зависимости от общей тоновой характеристики анализируемых изображений. Чем меньше диапазон колебаний значений и разность между выборочным средним до и после применения алгоритма «доопределения», тем эффективнее выбранный алгоритм. *Таким образом, тоновая девиация растрового изображения – это модуль сумм приращений выборочных дисперсий «доопределенного» и близлежащих смежных к «доопределяемому» тонов пикселей, до и после применения алгоритма «доопределения» граничных пикселей растрового изображения.* Особый интерес представляет не только оценка тоновой девиации растрового изображения, характеризующая «приращение» значений растрового изображения за счет «доопределенных» пикселей, но и отношение между оценками полученных при использовании различных алгоритмов и методов «доопределения» тонов пикселей. Отношение позволяет ранжировать и оценивать работу алгоритмов относительно друг друга, а также осуществлять выбор при дальнейшем совместном использовании с алгоритмами выделения контуров объектов.

Пример оценок работы алгоритма сбалансированного «доопределения» тонов пикселей. Оценки тоновой девиации пикселей. Для численного анализа алгоритма сбалансированного «доопределения» с критерием минимальной тоновой девиации «доопределяемых» пикселей воспользуемся коллекцией в 1000 растровых RGB изображений, свободно предоставляемой ImageNet (датасет SpaceNet Satellite Images) для машинного обучения в целях образовательного процесса. Для демонстрации различий значений оценок тоновой девиации выполним ее также с целью «доопределения» методом копирования близлежащего смежного пикселя,

как наиболее популярным. Вычисление и оценка тоновой девиации требуют проведения расчета выборочного среднего значения и выборочной дисперсии пикселей из трех ближайших столбцов к «доопределяемому» столбцу пиксельной матрицы растрового изображения, до и после включения в оценку значений из «доопределяемого» столбца. Их расчет проводится для трех RGB компонент в отдельности, а результаты будут описаны в виде векторов $\overline{pel}$ и D трех значений, характеризующих цветовые компоненты: красный pel_r, D_r ; зеленый pel_g, D_g ; синий pel_b, D_b . Пусть $\overline{pel}^{bef}, D^{bef}$ – значение вектора выборочного среднего и выборочной дисперсии тонов пикселей до включения в оценку «доопределенных» значений; $\overline{pel}_{copy}^{aft}, D_{copy}^{aft}$ – значение вектора выборочного среднего и выборочной дисперсии тонов пикселей после

включения в оценку «доопределенных» значений методом заполнения ближайшим смежным значением; $\overline{pel}_{bal}^{aft}, D_{bal}^{aft}$ – значение вектора выборочного среднего и выборочной дисперсии тонов пикселей после включения в оценку «доопределенных» значений алгоритмом сбалансированного «доопределения» с необходимым для этого алгоритма набором весовых коэффициентов $b_1 = 0,25; b_2 = 0,125, c_1 = 0,4; c_2 = 0,15; c_3 = 0,06$, и согласно формульным выражениям, представленным в [4, 5]. Так как расчет оценок проводится для множества растровых изображений, то по множеству полученных выборочных средних и выборочных несмещенных дисперсий тонов пикселей из $i \in [1, 1000]$ изображений будет проведено вычисление их средних арифметических. Результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1. Значение среднеарифметических оценок множества выборочных средних и дисперсий тонов пикселей (покомпонентно) для i изображений до и после включения в оценку «доопределенных» значений

i	$\frac{\sum_i \overline{pel}^{bef}}{i}$	$\frac{\sum_i D^{bef}}{i}$	$\frac{\sum_i \overline{pel}_{copy}^{aft}}{i}$	$\frac{\sum_i D_{copy}^{aft}}{i}$	$\frac{\sum_i \overline{pel}_{bal}^{aft}}{i}$	$\frac{\sum_i D_{bal}^{aft}}{i}$
250	$\begin{pmatrix} 203 \\ 96 \\ 72 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 3407 \\ 2757 \\ 3235 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 198 \\ 113 \\ 59 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 3781 \\ 3842 \\ 3534 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 205 \\ 91 \\ 72 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 3398 \\ 2753 \\ 3227 \end{pmatrix}$
500	$\begin{pmatrix} 195 \\ 78 \\ 63 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 3351 \\ 2790 \\ 2202 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 174 \\ 71 \\ 46 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 3751 \\ 3910 \\ 3455 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 195 \\ 77 \\ 65 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 3406 \\ 2710 \\ 2279 \end{pmatrix}$
750	$\begin{pmatrix} 187 \\ 84 \\ 51 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 3320 \\ 2566 \\ 2771 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 190 \\ 89 \\ 42 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 3694 \\ 3922 \\ 2148 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 183 \\ 81 \\ 55 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 3147 \\ 2510 \\ 2680 \end{pmatrix}$
1000	$\begin{pmatrix} 171 \\ 83 \\ 47 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 3271 \\ 2398 \\ 1973 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 184 \\ 86 \\ 59 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 3553 \\ 2806 \\ 2241 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 170 \\ 81 \\ 45 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 3226 \\ 2310 \\ 1935 \end{pmatrix}$

Анализ значений в таблице 1 указывает на то, что средние выборочные значения тонов пикселей, полученные при использовании алгоритма сбалансированного «доопределения», характеризуются меньшим смещением значения относительно тонов пикселей оригинального изображения, чем при использовании метода копирования смежного пикселя. Несмещенная выборочная дисперсия и среднее квадратичное отклонение тонов пикселей у алгоритма сбалансированного «доопределения» пикселей в большинстве случаев меньше, чем у метода копирования ближайшего смежного, т.е. *меньший диапазон разброса значений относительно среднего выборочного тона пикселя*. Для $i = 1000$ изображений значения оценок приращений выборочного среднего тонов пикселей и выборочных дисперсий относительно выборочных средних

$$\Delta \overline{pel}_{copy} = \left| \left(\frac{\sum_i \overline{pel}^{bef}}{i} \right) - \left(\frac{\sum_i \overline{pel}_{copy}^{aft}}{i} \right) \right|;$$

$$\Delta \overline{pel}_{bal} = \left| \left(\frac{\sum_i \overline{pel}^{bef}}{i} \right) - \left(\frac{\sum_i \overline{pel}_{bal}^{aft}}{i} \right) \right|$$

и выборочных дисперсий

$$\Delta D_{copy} = \left| \left(\frac{\sum_i D^{bef}}{i} \right) - \left(\frac{\sum_i D_{copy}^{aft}}{i} \right) \right|;$$

$$\Delta D_{bal} = \left| \left(\frac{\sum_i D^{bef}}{i} \right) - \left(\frac{\sum_i D_{bal}^{aft}}{i} \right) \right|$$

после учета «доопределенных» тонов пикселей для алгоритма сбалансированного «доопределения» показывают лучшие результаты по диапазонам колебаний тоновых значений $\Delta \overline{pel}_{bal} = 2$; $\Delta D_{bal} = 83$; $\Delta \sigma_{bal} \approx 9$, при сравнении значений, полученных методом ко-

пирования ближайшего смежного $\overline{\Delta pel_{copy}} = 13$; $\Delta D_{copy} = 408$; $\Delta \sigma_{copy} \approx 20$. Оценки приращений для алгоритма сбалансированного «доопределения» и метода копирования ближайших смежных тонов пикселей попадают в диапазон $\overline{\Delta pel} \approx 15$; $\Delta D \approx 400$; $\Delta \sigma_n \approx 20$, что является удовлетворительным результатом. Это указывает на то, что для алгоритма сбалансированного «доопределения» ошибочные визуальные эффекты не наблюдаются, и работа алгоритмов нелинейной фильтрации по выделению контуров объектов будет осуществлена с минимальной тоновой девиацией и без интерпретации контуров по «мнимым» объектам на границах растрового изображения. Оценка тоновой девиации пикселей на границах изображений для алгоритма сбалансированного «доопределения» тонов пикселей в среднем сокращена в 5 раз относительно метода «доопределения» копированием. Оценка тоновой девиации наглядно демонстрирует разницу в результатах работы анализируемых способов, однако она является специально разработанным критерием

оценки, основанным на статистическом анализе и использующим выборочное среднее, а также выборочную дисперсию «доопределяемых» тонов пикселей.

Заключение

Описанные стандартные методы оценки подвергаются критике и не всегда подходят для оценки изменяемых характеристик растровых изображений и результатов специфических преобразований над ними. Следовательно, целесообразно проводить оценку, используя как стандартные общепринятые критерии, так и собственный разработанный критерий, если он позволяет качественно и наглядно оценить изменения между исходным и обработанным растровым изображением [3]. Представленные критерии могут быть эффективно использованы для оценки результатов работы разработанного сбалансированного алгоритма по критерию изменения тоновой девиации «доопределенных» пикселей [4, 5].

ЛИТЕРАТУРА

1. Оценка качества цифровых изображений и видеоданных / Д. В. Матвеев, А. Г. Седов, В. В. Хрящев, А. Л. Приоров. Ярославль : ЯрГУ, 2018. 76 с.
2. Старовойтов, В. В. Уточнение индекса SSIM структурного сходства изображений / В. В. Старовойтов // Информатика. 2018. Т. 15, № 3. С. 41–55. URL: <https://inf.grid.by/jour/article/view/438/429> (дата обращения: 10.06.2026).
3. Старовойтов, В. В. Индекс SSIM не является метрикой и плохо оценивает сходство изображений / В. В. Старовойтов // Системный анализ и прикладная информатика. 2019. № 2. С. 12–17. DOI: 10.21122/2309-4923-2019-2-12-17.
4. Определение контуров объектов методами не линейной фильтрации для граничных пикселей / Д. В. Заерко, В. А. Липницкий, Н. Л. Боброва, Дм. В. Заерко. Системный анализ и прикладная информатика. 2022. № 3. С. 4–11. DOI: 10.21122/2309-4923-2022-3-4-11.
5. Заерко, Д. В. Алгоритм сбалансированной интерполяции пикселей при выделении контуров объектов на границах изображения / Д. В. Заерко, Н. Л. Боброва // Вестник СибГУТИ. 2022. № 2. С. 79–93. <https://doi.org/10.55648/1998-6920-2022-16-2-79-93>.
6. Bailey, D. G. Image border management for FPGA based filters / D. G. Bailey // 2011 Sixth IEEE International symposium on electronic design, test and application, DELTA 2011, 17–19 January 2011, Queenstown, New Zealand / ed.: G. S. Gupta [et al.]. Los Alamitos ; Washington ; Tokyo, 2011. P. 144–149. DOI: 10.1109/DELTA.2011.34.

REFERENCES

1. Matveev D.V., Sedov A.G., Hryashhev V.V., Priorov A.L. *Ocenka kachestva cifrovyyh izobrazhenij i videodannyh [Assessing the Quality of Digital Images and Video Data]*. Jaroslavl: JarGU; 2018. 76 p.
2. Starovoitov V.V. Enhancement of the structural similarity index SSIM. *Informatics*. 2018;15(3):41–55. Available at: <https://inf.grid.by/jour/article/view/438/429> (accessed 10 June 2026) (in Russian).
3. Starovoitov V.V. The SSIM index is not a metric and it is badly evaluate the similarity of images. *System Analysis and Applied Information Science*. 2019;(2):12–17 (in Russian). <https://doi.org/10.21122/2309-4923-2019-2-12-17>.
4. Zaerko D.V., Lipnitski V.A., Bobrova N.L., Zaerko Dm.V. Objects outline delineation by nonlinear filtration methods for boundary pixels. *System Analysis and Applied Information Science*. 2022;(3):4–11 (in Russian). <https://doi.org/10.21122/2309-4923-2022-3-4-11>.
5. Zaerko D.V., Bobrova N.L. Balanced pixel interpolation algorithm when identifying the object's contours on the borders of the image. *Vestnik SibGUTI*. 2022;(2):79–93 (in Russian). <https://doi.org/10.55648/1998-6920-2022-16-2-79-93>.
6. Bailey D.G. Image border management for FPGA based filters. *2011 Sixth IEEE International Symposium on Electronic Design, Test and Application*. Queenstown, New Zealand; 2011. pp. 144–149. <https://doi.org/10.1109/DELTA.2011.34>.

D. V. ZAEKO¹⁾, N. L. BOBROVA¹⁾, Dm. V. ZAEKO²⁾

-tone deviation evaluation of boundary pixels static raster image using balanced extending algorithms

¹⁾ Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics
Minsk, Republic of Belarus

²⁾ Yanka Kupala State University of Grodno
Grodno, Republic of Belarus

Abstract. While use algorithms of pre-processing raster image involves improving image characteristics to use qualitative transformation effect result on following processing stages. Assessing the effect of an impact on a raster image is not a trivial task, where the choice of further processing steps and algorithmic tools depends on the quality of its implementation. The algorithm for balanced "extension" of boundary pixels of a static raster image is as example. Algorithm developed to improve the results of object edge detection algorithms based on the two-dimensional convolution operation, where the improvement consists of reducing the number of sharply contrasting pixels at the boundaries of raster images relative to adjacent ones. Existing numerical raster images estimates of PSNR and SSIM which obtained after applying the balanced algorithm of redefining border pixels have shown their low efficiency due to the small number of pixels affected by the transformations. The tonal deviation of raster image boundary pixels is alternative assessment criterion. The object of study in the article is the pixel matrix of three-channel color static raster image. The subject of the study is the evaluation of the tonal deviation of the boundary pixels of a static raster image obtained by used balanced algorithm for redefining border pixels. The main objective is to calculate the tonal deviation estimates of boundary static raster images after applying balanced algorithm of "redefining" border pixels, analysis and ranking by alternative methods of "extension" of boundary sizes according to the criterion of tonal deviation. The article provides a definition of the concept of tonal deviation and justification for the use of tonal deviation assessment. An example of calculating the tonal deviation of pixels after applying the balanced algorithm of "redefining" border pixels and the copy method for 1 thousand color three-channel raster images from the SpaceNet Satellite Images dataset from ImageNet is presented. It was carried out short analysis of the obtained assessment results and recommendations for choosing the best methods of "redefining" border pixels.

Keywords: raster images, pixel matrix, boundary pixels, pixel redefining, outline object segmentation, Sobel filter, SSIM, PSNR, evaluation of tone deviation



Заерко Денис Владимирович

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники (БГУИР), г. Минск, Республика Беларусь.

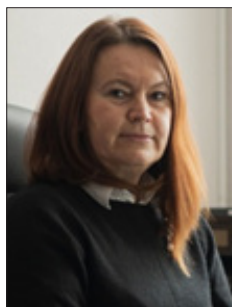
Аспирант кафедры информатики БГУИР. Область научных исследований: машинные алгоритмы распознавания объектов, машинное обучение, анализ данных.

D. V. Zaerko

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics (BSUIR), Minsk, Republic of Belarus.

Postgraduate Student at the Department of Informatics, BSUIR. Research interests: machine object recognition algorithms, machine learning, data analysis.

E-mail: zaerko1991@gmail.com



Боброва Наталия Леонидовна

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники (БГУИР), г. Минск, Республика Беларусь.

Кандидат технических наук, доцент кафедры информатики БГУИР. Область научных исследований: прикладная логика, нечеткие множества, система поддержки принятия решений.

N. L. Bobrova

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics (BSUIR), Minsk, Republic of Belarus.

PhD in Technical Sciences, Associate Professor at the Department of Informatics, BSUIR. Research interests: applied logic, fuzzy sets, decision support systems.

E-mail: bobrova@bsuir.by

**Заерко Дмитрий Владимирович**

Гродненский государственный университет имени Янки Купалы (ГрГУ им. Я. Купалы), г. Гродно, Республика Беларусь.

Кандидат физико-математических наук, доцент кафедры электротехники и электроники ГрГУ им. Я. Купалы. Область научных интересов: радиофизика, радиоэлектроника, взаимодействия электромагнитного излучения с периодическими структурами и композиционными материалами.

Dm. V. Zaerko

Yanka Kupala State University of Grodno, Republic of Belarus.

PhD in Physics and Mathematics, Associate Professor at the Department of Electrical Engineering and Electronics. Research interests: radiophysics, radioelectronics, interaction of electromagnetic radiation with periodic structures and composite materials.

E-mail: zaerko1983@gmail.com