

УДК 004.93'1; 004.932

Д.В. Прадун, А.А. Мамчич

## АЛГОРИТМ АВТОМАТИЧЕСКОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕНЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭНТРОПИЙНОГО МЕТОДА БИНАРИЗАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

*Предлагается алгоритм автоматического определения теней, который основан на представлении цифрового изображения в цветовом  $YUV$ -пространстве с последующим анализом гистограмм и использованием энтропийного метода определения порога бинаризации для выделения теневых пикселей. Разработанный алгоритм предусматривает параллельную модификацию с применением многопроцессорных вычислительных систем без усложнения программной реализации.*

### Введение

Процесс выявления и удаления теней на цветных изображениях представляет собой актуальную задачу при анализе космической информации. Так, наличие затемненных участков на аэро- или космических снимках может создавать ряд нежелательных особенностей (артефактов), которые значительно усложняют процесс распознавания и сегментации расположенных на них объектов. Поэтому в настоящее время разработка эффективных методов определения и удаления теней является чрезвычайно важной проблемой в области обработки цифровых изображений.

Существующие алгоритмы поиска и удаления теней основаны, главным образом, на анализе таких характеристик цифровых изображений, как цвет, яркость и текстура [1]. В работах [2, 3] предлагается подход, который заключается в получении специального изображения, инвариантного к освещению. С учетом того что на таком снимке отсутствуют тени, процесс их нахождения сводится к сравнению векторных полей градиентов исходного и инвариантного изображений. Как отмечается в [4], результат работы данного метода получается заметно размытым, что допускает его использование только в качестве предварительной обработки для большинства задач компьютерного зрения. При определении теней в алгоритмах плотного оптического потока возможно выделение цветовых составляющих каналов в  $RGB$ -пространстве с последующим приравниванием яркостей пикселей к среднему константному значению [5]. Существенным недостатком такого подхода является низкое качество его работы на широком диапазоне изображений с учетом того, что пороговые величины результирующей константной яркости различаются для множества снимков. С целью определения теней также применяются алгоритмы, основанные на известном методе кластеризации  $K$ -средних ( $K$ -means) [6]. Несмотря на приемлемую точность поиска, эти алгоритмы имеют высокую чувствительность к выбору начальных точек кластеров и медленно работают с большими объемами данных.

В настоящей статье предлагается алгоритм поиска теней, который основан на представлении цифрового изображения в цветовом  $YUV$ -пространстве с последующим анализом гистограмм и использованием энтропийного метода определения порога бинаризации для выделения теневых пикселей. Результат работы представляется в виде бинарного изображения, содержащего маску теней. Достоинствами разработанного алгоритма является высокая точность поиска, а также вычислительная эффективность с возможностью параллельной реализации.

### 1. Общая постановка задачи и схема алгоритма

Анализируя изображения с имеющимися тенями (рис. 1, а, в), можно сделать вывод, что основной характеристикой пикселей, принадлежащих теневым объектам, является низкий уровень их яркости по сравнению с другими объектами изображений. Поэтому для эффективного выделения таких пикселей фактически необходимо провести бинаризацию с выделением объектов, яркость которых ниже заданного порога. Кроме того, специфика изображений, получаемых в результате аэро- и космической съемки, заключается в наличии шума и помех при съемке, что, в

свою очередь, требует выполнения определенных действий над снимками с целью удаления подобных искажающих факторов. Для этого исходное изображение предварительно фильтруется или сглаживается, в результате чего получается улучшенный снимок с ярко выраженными однородными областями.

Общую схему алгоритма выявления теней можно представить следующим образом: пусть на цветном  $RGB$ -изображении размером  $M \times N$  имеются тени объектов, полученные в результате аэро- или космической съемки. Кроме того, исходное изображение предварительно отфильтровано с помощью алгоритма максимального потока сети с целью выделения однородных областей (рис. 1, б, з) [7, 8]. Для выполнения более эффективного и быстрого анализа изображение переводится в цветовую  $YUV$ -модель, которая состоит из следующих компонент:  $Y$  – яркостная составляющая пиксела;  $U$  и  $V$  – цветоразностные составляющие пиксела, необходимые для восстановления требуемого цвета при обратной конвертации.

Цветовая  $YUV$ -модель применяется в основном в телевидении, а также при хранении и обработке видеоданных. Основной компонентой данной модели является яркостная составляющая  $Y$ , которая представляет собой полутоновое изображение исходного снимка. Обработка данной компоненты выполняется в предложенном алгоритме выявления теней.

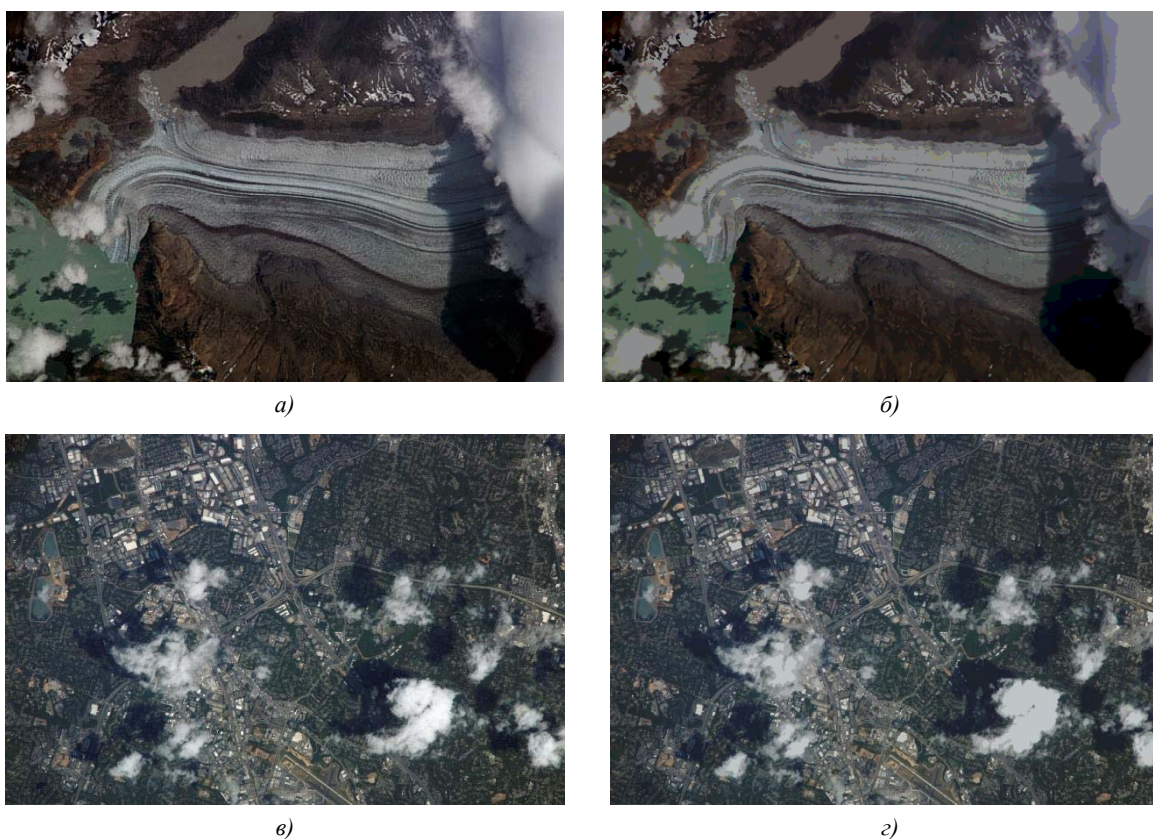


Рис. 1. Изображения с наличием теней: а), в) исходные снимки; б), з) фильтрация алгоритмом максимального потока

Для преобразования  $RGB$ -изображения в  $YUV$ -изображение используются следующие формулы:

$$\begin{aligned}
 Y &= 0,299 \cdot R + 0,587 \cdot G + 0,114 \cdot B; \\
 U &= -0,14713 \cdot R - 0,2886 \cdot G + 0,436 \cdot B; \\
 V &= 0,615 \cdot R - 0,51499 \cdot G - 0,10001 \cdot B.
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

Отметим, что в большинстве случаев для определенного  $Y$ -слоя изображения диапазон значений пикселей данной составляющей меньше чем  $[0; 255]$ , что чаще всего усложняет дальнейший

процесс анализа яркостной составляющей снимка. Поэтому следующим шагом алгоритма является так называемое расширение гистограммы  $Y$ -компоненты до диапазона  $[0; 255]$  по формуле

$$\tilde{x}_{i,j} = 255 \cdot \frac{x_{i,j} - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}}, \quad (2)$$

где  $x_{i,j}$  и  $\tilde{x}_{i,j}$  – старое и новое значения яркости пиксела  $Y$ -компоненты в точке  $(i, j)$ ,  $i=1, \dots, M$ ,  $j=1, \dots, N$ , соответственно;  $x_{\max}$  и  $x_{\min}$  – максимальное и минимальное значения яркости  $Y$ -компоненты изображения. Гистограммы изображений на рис. 1, полученные в результате подобных преобразований, показаны на рис. 2.

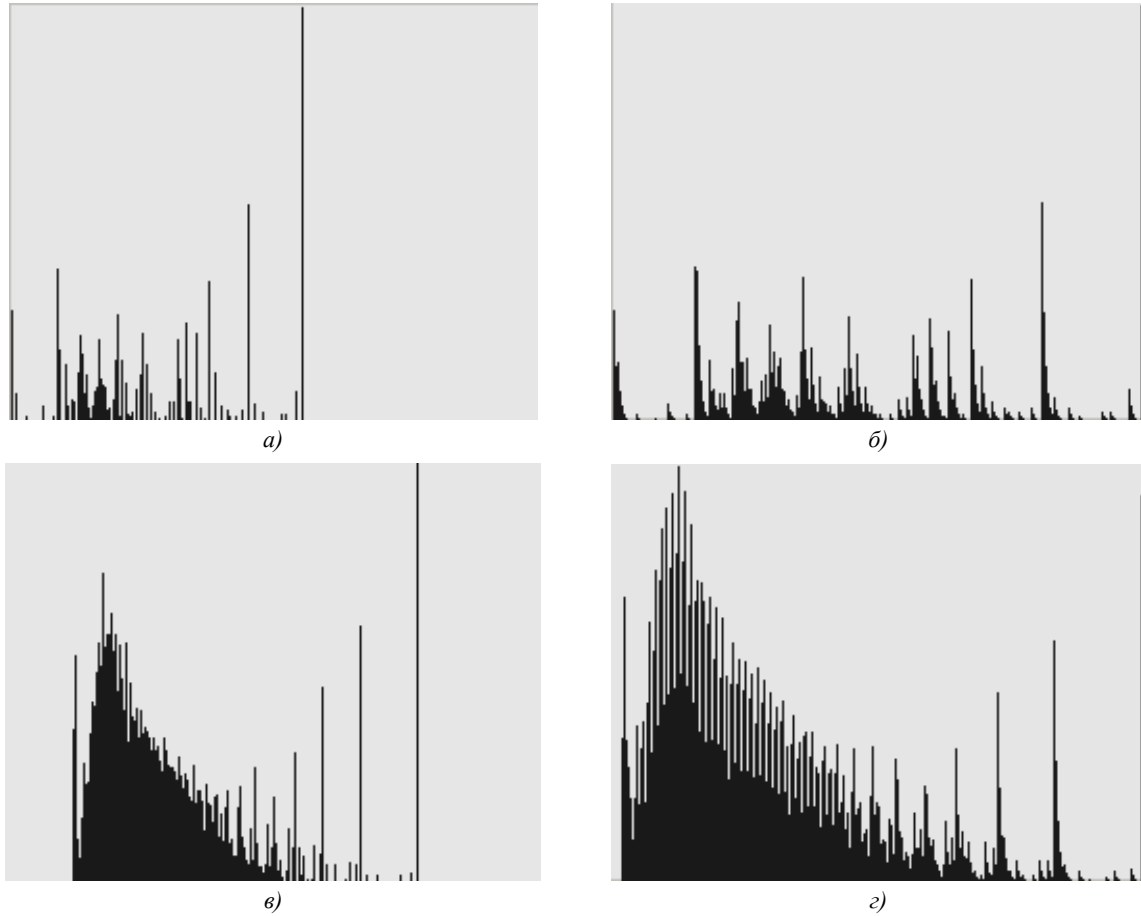


Рис. 2. Гистограммы изображений на рис. 1: а), в) исходные; б), г) после видоизменения

После того как значения яркостной составляющей  $YUV$ -модели определены в диапазоне  $[0; 255]$ , строится маска теней исходя из значений  $Y$ -компоненты. Для этого сначала вычисляется порог бинаризации изображения  $T_{bin}$  с помощью энтропийного метода Капура [9, 10]. Данный метод бинаризации основывается на вычислении значений энтропий переднего плана и заднего фона изображения по формулам

$$T_{bin} = \arg \max [H_b(T) + H_f(T)];$$

$$H_b(T) = - \sum_{g=0}^T \frac{p(g)}{P_b(T)} \cdot \log \frac{p(g)}{P_b(T)}; \quad H_f(T) = - \sum_{g=T+1}^G \frac{p(g)}{P_f(T)} \cdot \log \frac{p(g)}{P_f(T)}, \quad (3)$$

где  $G$  – максимально возможное значение интенсивности пикселей;  $T$  – порог бинаризации, выбираемый в заданном диапазоне  $[0; G]$  (в нашем случае  $G = 255$ );  $P_b(T)$  и  $P_f(T)$  – функции

распределения вероятности для переднего плана и заднего фона соответственно, вычисляемые по формуле

$$P_b(T) = \sum_{i=0}^T p(i), \quad P_f(T) = \sum_{i=T+1}^G p(i). \quad (4)$$

Здесь  $p(i)$  – оценка вероятности, вычисляемая как  $p(g) = \frac{K_g}{K}$ . При этом  $K_g$  – число пикселей, интенсивность которых равна  $g$ ;  $K = M \times N$  – общее число пикселей.

Результаты бинаризации с помощью метода Капура используются для определения пикселей, принадлежащих теням, по следующей схеме:

$$mask_{i,j} = \begin{cases} 255, & \text{если } \tilde{x}_{i,j} < \frac{T_{bin}}{255} \cdot avg; \\ 255, & \text{если } \tilde{x}_{i,j} < \frac{T_{bin}}{255} \cdot avg_{window}; \\ 0 & \text{в противном случае,} \end{cases} \quad (5)$$

где  $mask_{i,j}$  – значение маски теней в точке  $(i, j)$ ,  $i = 1, \dots, M$ ,  $j = 1, \dots, N$ ;  $avg$  – среднее значение яркости  $Y$ -слоя;  $avg_{window}$  – среднее значение яркости в заданном окне  $w \times w$ .

Следует отметить, что значение  $avg_{window}$  вычисляется только для тех пикселей, которые не были определены как принадлежащие теням изображения при сравнении их яркостной составляющей с глобальным средним значением  $avg$ . Поэтому размеры окна  $w \times w$  итерационно уменьшаются от большего к меньшему для более точного анализа окрестности пикселей. В предложенном алгоритме значение размера окна  $w$  изменяется от 21 до 3 с шагом 3. По сравнению с предложенными размерами окна в [1] были выбраны сравнительно небольшие значения  $w$ , так как в ином случае при анализе некоторых изображений возникает опасность появления на маске теней большого количества маленьких кластеров размером 3-5 пикселей, а также слияния теневых пикселей с нетеневыми, что в дальнейшем будет мешать обработке графических данных (рис. 3). Кроме того, результаты исследований показали, что применение метода Капура для определения порога бинаризации предпочтительнее других известных алгоритмов. Так, при использовании кластерных методов бинаризации Отсу и Киттлера, которые известны как наиболее эффективные и известные методы приведения изображений к двоичному виду [10], заметно определение слишком низкого порога, что приводит к потере теневых объектов и крайне негативно влияет на дальнейший процесс обработки (рис. 4).

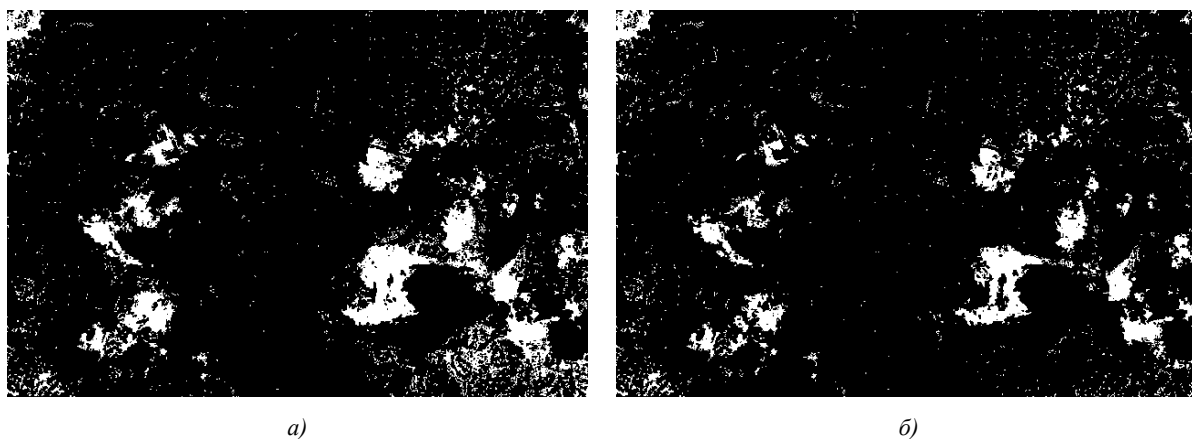


Рис. 3. Маски теней для изображения на рис. 1, в: а) использование больших размеров окна; б) использование предложенных значений  $w$

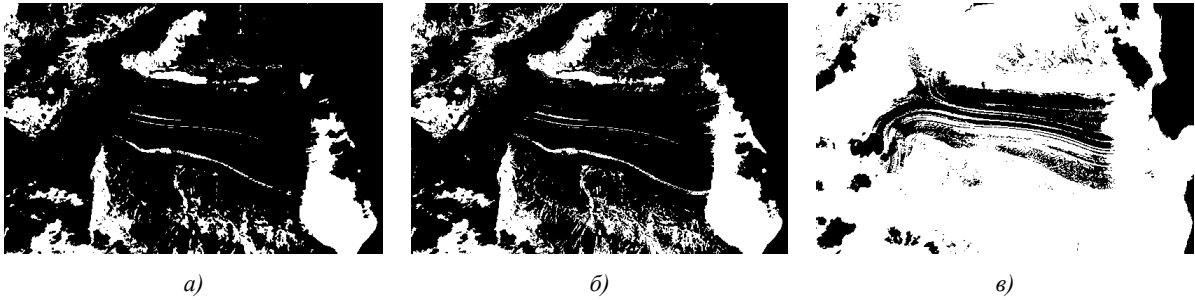


Рис. 4. Определение теней разными методами бинаризации изображения на рис. 1, *а*: *а*) методом Капура; *б*) методом Отсу; *в*) методом Киттлера

## 2. Результаты работы алгоритма

Исходя из описанной ранее схемы алгоритма можно заметить, что при итерационном сравнении значения  $Y$ -составляющей со значениями  $avg$  и  $avg_{window}$  и уменьшении значений размеров окна можно определить пиксели, которые принадлежат теневым объектам изображения (рис. 5). Такие пиксели могут быть исключены из дальнейшего процесса обработки графической информации для обеспечения более эффективного анализа исходных данных. Кроме того, достоинство алгоритма состоит в том, что его параллельная модификация с использованием многопроцессорных вычислительных систем не потребует дополнительных преобразований самого алгоритма с точки зрения сложности его реализации.

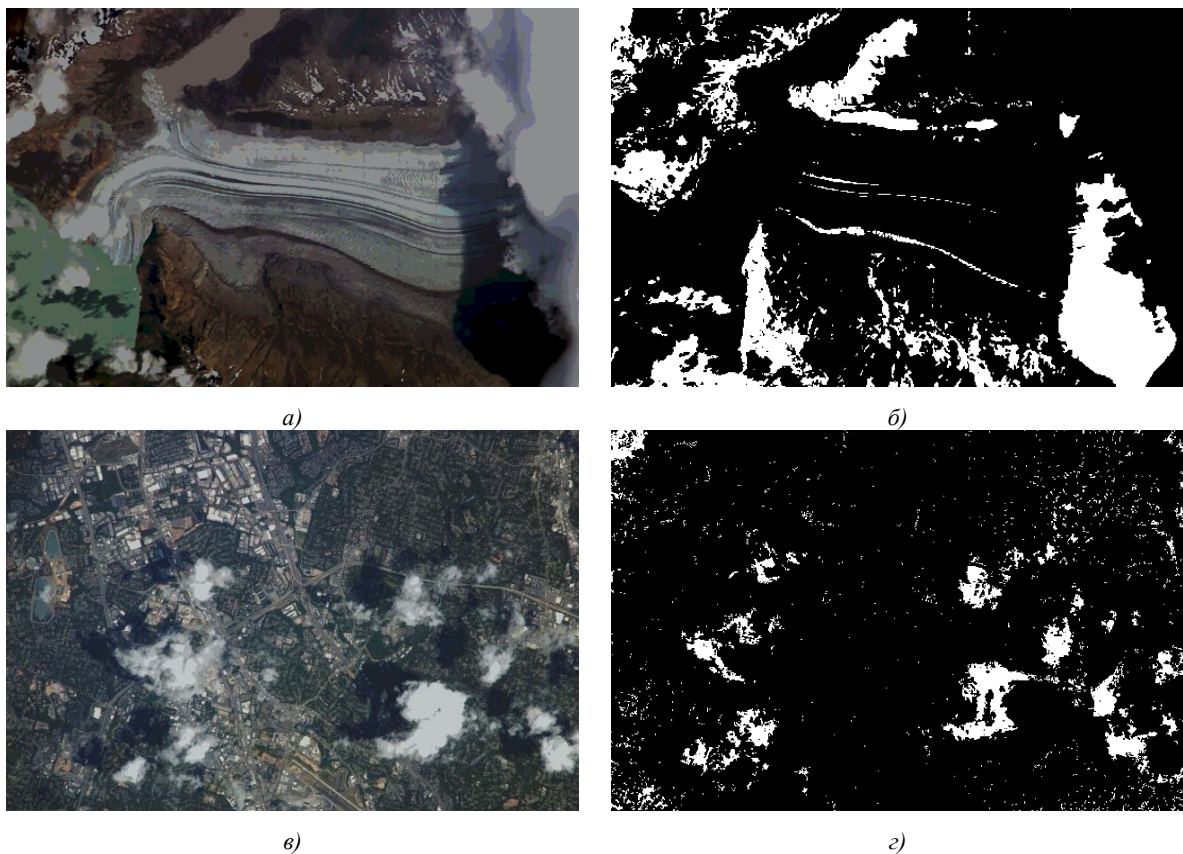


Рис. 5. Результаты поиска теней на изображениях: *а*), *в*) исходные сглаженные снимки; *б*), *з*) построенные маски теней

Несмотря на хорошие результаты поиска теней, можно увидеть, что наряду с теньевыми пикселями в маске теней содержатся пиксели, которые на исходном изображении сложно оп-

ределить как принадлежащие теням. Это связано с тем, что часто на изображениях располагаются слабоосвещенные объекты или объекты темного цвета, которые по своим яркостным характеристикам схожи с теневыми пикселями. Поэтому необходим последующий анализ полученных масок теней с целью исключения пикселей, которые реально не относятся к теням. В работе [1] как вариант предлагается использовать анализ контуров теневых объектов исходя из того, что тени обладают более гладкими гранями, нежели все остальные объекты изображений. С другой стороны, можно применять определенные методы распознавания и кластеризации выделенных в маске теней пикселей для анализа того, к каким видам объектов и к кластерам с какими характеристиками они относятся.

Заметим, что данный алгоритм эффективен при его использовании именно для изображений, где наличие теней очевидно. В ситуациях, когда обрабатываются снимки без наличия теневых пикселей, результаты построения маски теней являются неудовлетворительными (рис. 6). Поэтому предварительно анализируемый снимок необходимо оценить с точки зрения наличия теней, что может быть выполнено самим оператором системы распознавания, в которой предложенный алгоритм будет использоваться.

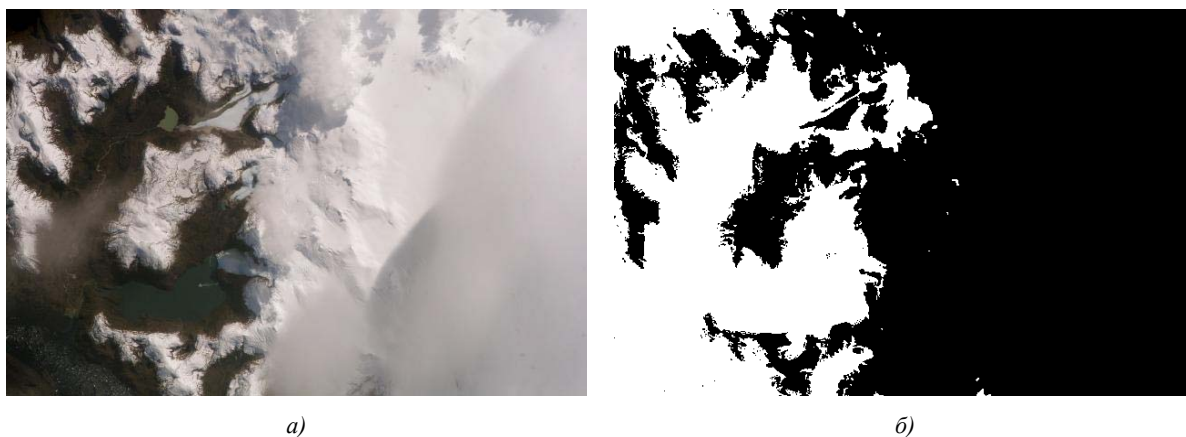


Рис. 6. Поиск теней на изображениях без явного наличия теневых пикселей:  
а) исходный снимок; б) результат ошибочного нахождения теней

### Заключение

Предложенный алгоритм поиска теней на космических и аэроснимках позволяет выявлять теневые пиксели на изображениях с помощью построения соответствующих масок. Используя энтропийный метод бинаризации и итерационный анализ заданной окрестности пикселей, алгоритм выполняет адаптивное определение принадлежности пикселей теневым объектам на изображении. Кроме того, он предусматривает параллельную модификацию с использованием многопроцессорных вычислительных систем без усложнения программной реализации. На данном этапе разработанная технология выявления теней обладает рядом недостатков, заключающихся в основном в отнесении к теневым объектам пикселей, изначально не принадлежащих к таковым. Поэтому дальнейшая модификация алгоритма будет направлена на решение данной проблемы с помощью кластеризационных и классификационных методов обработки изображений, которые позволят определить, какие из выбранных в маске теней пикселей действительно являются теневыми.

### Список литературы

1. Shadow detection and removal from a single image / C. Blajovici [et al.] // 19<sup>th</sup> Summer School on Image Processing, Szeged, Hungary, 7–16 July, 2011 / University of Szeged. – Szeged, Hungary, 2011. – P. 1–6.
2. Finlayson, G. Removing Shadows from Images / G. Finlayson, S. Hordley, M. Drew // European Conference on Computer Vision. – 2002. – Vol. 2353. – P. 823–836.

3. Entropy Minimization for Shadow Removal / G. Finlayson [et al.] // International Journal of Computer Vision. – 2009. – Vol. 85 (1). – P. 35–57.
4. Кононов, В. Применение уравнения Пуассона в задачах обработки изображений / В. Кононов, В. Конушин // Сетевой журнал «Компьютерная графика и мультимедиа» [Электронный ресурс]. – 2009. – Режим доступа : [http://www.cgm.computergraphics.ru/files/cgm/pdf/cgm\\_17\\_2202.pdf](http://www.cgm.computergraphics.ru/files/cgm/pdf/cgm_17_2202.pdf). – Дата доступа : 15.02.2012.
5. Харченко, К.В. Удаление теней в изображениях для обработки плотного оптического потока / К.В. Харченко // Материалы Междунар. науч.-техн. конф. САИТ-2011, Киев, 23–28 мая 2011 г. – Киев : УНК «ИПСА» НТУУ «КПИ», 2011. – С. 394.
6. Xu, L. Shadow Removal from a Single Image / L. Xu, F. Qi, R. Jiang // Proc. of the Sixth Intern. Conf. on Intelligent Systems Design and Applications (ISDA 2006). – Jinan, China, 2006. – Vol. 2. – P. 1049–1054.
7. Прадун, Д.В. Фильтрация и кластеризация мультиспектральных изображений с помощью алгоритма максимального потока в сети на основе вычисления градиента / Д.В. Прадун, Б.А. Залесский // Информатика. – 2010. – № 3(27). – С. 73–79.
8. Pradun, D.V. Block-Parallel Clustering of Multispectral Images Using Max Flow Network Algorithm / D.V. Pradun // Proc. of the 11<sup>th</sup> Intern. Conf. PRIP'2011, Minsk, May 18–20, 2011 / Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics. – Minsk, 2011. – P. 76–79.
9. Kapur, J.N. A new method for gray-level picture thresholding using entropy of the histogram / J.N. Kapur, P.K. Sahoo, A.K.C. Wong // Graph. Models Image Process. – 1985. – Vol. 29. – P. 273–285.
10. Sezgin, M. Survey over image thresholding / M. Sezgin, B. Sankur // Journal of Electronic Imaging. – 2004. – Vol. 13, № 1. – P. 146–165.

Поступила 02.03.12

*Объединенный институт проблем  
информатики НАН Беларуси,  
Минск, Сурганова, 6  
e-mail: lexatam@newman.bas-net.by*

**D.V. Pradun, A.A. Mamchich**

### **THE ALGORITHM OF AUTOMATIC SHADOW DETECTION USING ENTROPIC THRESHOLDING METHOD**

An algorithm for automatic shadow detection is suggested, which is based on the representation of digital image in the color space  $YUV$ , succeeding analysis of histograms and entropic threshold method for detection of the shadow pixels. The algorithm admits parallel modification for multiprocessor computing systems without complication of the program implementation.