

## Устранение помех неоднородной среды с использованием нескольких камер

В.И. Кобер\*, В.М. Сапцин\*\*, В.Н. Карнаухов\*, М.Г. Мозеров\*

\* *Институт проблем передачи информации, Российская академия наук, Москва, Россия*

\*\* *Челябинский государственный университет, Челябинск, Россия*

Поступила в редколлегию 03.06.2021

**Аннотация**—В рамках модели формирования искаженного изображения, задаваемой уравнением Кошмидера, предполагается использование оценки функции глубины сцены, знание которой позволяет восстановить неискаженное изображение сцены. Метод оценки функции глубины сцены основан на регистрации изображения сцены тремя идентичными камерами, обладающими достаточно большой глубиной резкости. Таким образом, передний план, средний план и задний план сцены кажутся резкими и четкими. Камеры соосно расположены в вершинах прямоугольного равнобедренного треугольника, плоскость которого перпендикулярна направлению съемки. В работе предлагается метод восстановления на основе трех наблюдаемых изображений, искаженных неоднородной средой. Предполагается, что искаженные изображения содержат информацию об исходном изображении, функции искажения средой и шуме датчиков. Метод устранения искажения явно решает линейную систему уравнений, полученную из квадратичной целевой функции. Экспериментальные результаты восстановления с использованием предлагаемого метода представлены и обсуждаются.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** обработка изображений, восстановление изображений, искажения неоднородной среды

### ВВЕДЕНИЕ

Задача восстановления изображений, искаженных изображающей системой или окружающей средой, не является новой, и существуют различные подходы к решению этой задачи. Рассмотрим некоторые из этих подходов. Большинство методов восстановления изображений, искаженных смазом, используют модель равномерного смаза [1]. Модели неравномерного смаза, как правило, основываются на предположениях локальной однородности искажения, например, для моделирования смаза на изображениях при кусочно-равномерном движении объектов сцены или камеры [2, 3]. В настоящее время разрабатываются глобальные модели неравномерного непрерывного смаза, однако в этом случае на движения объектов и камеры накладываются дополнительные ограничения, связанные, например, с траекторией и другими параметрами движения камеры или объектов [4, 5]. Если функция рассеяния точки для каждого элемента изображения известна, задача восстановления изображения упрощается. Для ее решения можно использовать стандартные методы, такие как Винеровская фильтрация (для равномерного смаза) или алгоритм Ричардсона-Люси (для обобщенного смаза) [6]. Задача восстановления изображений при неизвестной функции рассеяния точки для каждого элемента изображения является наиболее сложной и называется слепым восстановлением. Для равномерного смаза применяются, как методы оценивания ядра смаза по искаженному изображению с использованием различных статистических моментов [7], так и итерационно-вариационный подход [8–10]: искаженное изображение раскладывается на пирамиду изображений с разным

разрешением; затем, выбирается простое ядро смаза минимального размера и решается вариационная задача для самого маленького изображения пирамиды; увеличивается размер ядра и повторяется алгоритм для всех изображений пирамиды, уточняя ядро смаза. Задача оценивания функция рассеяния точки для каждого элемента изображения в случае произвольного неравномерного смаза может быть сведена к задаче равномерного смаза на небольших, пересекающихся фрагментах изображения.

Эффективные методы коррекции неравномерного освещения предполагают, что освещенность предметов трехмерной сцены обратно пропорциональна квадрату расстояния между этими предметами и направленным источником света. Неравномерность освещения на изображении сцены проявляется в резком градиенте перехода между световыми и теневыми областями. Если для освещения использовался сильный источник направленного света, то динамический диапазон современных цифровых камер оказывается недостаточным для корректного отображения значительного разброса уровней яркости. Для решения задачи неравномерного освещения используют как стандартные методы локального повышения контраста с целью улучшения визуального восприятия изображений [11, 12], так и специализированные методы, имитирующего визуальное восприятие человеком окружающей среды [13].

Устранение помех окружающей среды на изображениях, таких как затуманивание, облачность, дымка и т.д., является важной задачей в обработке изображений. Методы восстановления от таких искажений основаны на априорном знании физического процесса искажения. Хотя было предложено много эффективных алгоритмов, процесс восстановления все еще остается открытой проблемой. В широком диапазоне приложений наиболее эффективными оказались методы устранения помех окружающей среды на изображениях, основанные на использовании модели Кошмидера [14]. В исходной версии эта модель предполагает нулевое отражение, однородность рассеивающей и поглощающей среды и отсутствие многократных отражений. Согласно этой модели, наблюдаемое изображение (искаженное изображение)  $I(x)$  и исходное изображение (свободное от помех)  $J(x)$  связаны соотношением:

$$I(x) = J(x) e^{-\beta d(x)} + (1 - e^{-\beta d(x)}) A, \quad (1)$$

где  $x = (x, y)^T$  — декартовы координаты,  $d(x)$  — карта глубины сцены,  $A$  — интенсивность и цвет изучения, исходящего от атмосферы,  $\beta$  — константа, характеризующая плотность тумана. Модель Кошмидера удобна тем, что для восстановления  $J(x)$  требуется оценка всего лишь одной неизвестной функции  $d(x)$  или связанного с ней оптического пропускания  $t(x)$ :

$$t(x) = e^{-\beta d(x)}. \quad (2)$$

Распределение  $d(x)$  может быть измерено непосредственно с помощью лазерных дальнометров или других датчиков глубины, однако такой подход малоэффективен для создания систем реального времени [15]. Среди удобных для практических применений методов с использованием одной камеры, наибольшую популярность приобрел метод темного канала (DCP) [16]. Оценка  $t(x)$  основывается на статистических особенностях реальных изображений, регистрируемых в трех цветовых каналах, и дает хорошие результаты при относительно простых алгоритмах. На основе DCP предложен алгоритм обработки [17], использующий локальные адаптивные окрестности [18], и была продемонстрирована возможность его реализации в системах реального времени. Однако применение этих методов становится проблематичным, если не выполняется хотя бы одно из перечисленных выше условий применимости модели Кошмидера. Более того, в некоторых специальных приложениях может отсутствовать необходимая априорная информация об оптических свойствах объекта и среды, либо они близки по тем характеристикам, различие которых используется для идентификации и подавления помех. В таком случае следует воспользоваться другими, более тонкими методами, которые базируются на различиях

в пространственном распределении светового поля объекта и помех. Обоснованием своевременности разработки таких подходов может служить быстрое повышение чувствительности, разрешения и метрологических качеств предлагаемой на рынке цифровой фото- и видеоаппаратуры, а также появление нового поколения 3D-камер пленочного типа, способных регистрировать пространственные световые поля [19].

В данной работе изучаются возможности метода подавления помех окружающей среды, которые неоднородны в плоскости  $(x, y)$ , с использованием нескольких снимков сцены, снятых одновременно с разных ракурсов.

## 1. МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ ИСКАЖЕННОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ

Формально, упрощая модель Кошмидера (1), положим:

$$\beta = \beta(x); A = A(x), \quad (3)$$

и введем обозначения:

$$g(x) = e^{-\beta(x)d(x)}; h(x) = \left(1 - e^{-\beta(x)d(x)}\right) A(x), \quad (4)$$

в результате придем к модели:

$$I(x) = g(x) J(x) + h(x), \quad (5)$$

в которой неизвестные мультипликативный  $g(x)$  и аддитивный  $h(x)$  коэффициенты характеризуют искажение изображения сцены  $J(x)$ . Обосновать (5) и выяснить точный физический смысл выражений, входящих в (5) можно, рассмотрев уравнение переноса излучения в неоднородной среде с рассеянием, поглощением и собственным излучением [20]:

$$\frac{dI}{ds} = -\alpha I + \varepsilon, \quad (6)$$

где  $I$  — интенсивность излучения, производная берется вдоль направления его распространения,  $\alpha$  — коэффициент ослабления излучения, который учитывает как его поглощение, так и рассеяние,  $\varepsilon$  — коэффициент излучения. Последний коэффициент учитывает как собственное излучение среды, так и рассеянное излучение любого происхождения: от сцены, внешних источников, переотражений, и поэтому может зависеть от  $I$ . Эту зависимость задает интегральное уравнение энергетического баланса, которое необходимо для полного решения основной задачи теории рассеяния. Однако для нашей задачи важны только те световые лучи, которые формируют пиксели изображения, причем нас интересуют только связи между их интенсивностями в плоскости сцены и в плоскости фотоприемной матрицы. Поэтому будем считать коэффициенты  $\alpha$  и  $\varepsilon$  неизвестными, но формально заданными функциями от  $s$ . Тогда, вводя следующие обозначения:

$$g(s) = \exp\left(-\int_0^s \alpha(\bar{s}) d\bar{s}\right), \quad (7)$$

$$h(s) = \int_0^s \varepsilon(\bar{s}) g(\bar{s}) d\bar{s}, \quad (8)$$

решение уравнения (6) можно записать в виде:

$$I(s) = g(s)I(0) + h(s), \quad (9)$$

которое совпадает с (5). Легко убедиться, что при  $\alpha = \text{const}$ ,  $\varepsilon = \text{const}$  уравнения (7)–(9) переходят в классическое уравнение Кошмидера:

$$I(s) = I(0) \exp(-\alpha s) + \frac{\varepsilon}{\alpha} (1 - \exp(-\alpha s)). \quad (10)$$

Переходя к дискретному представлению, для луча, формирующего  $(i, j)$ -й пиксель искаженного изображения  $A_{ij}$ , в приближении геометрической оптики из (9) получаем:

$$A_{ij} = g_{ij}J_{ij} + h_{ij}. \quad (11)$$

Здесь предполагается, что камера имеет достаточную глубину резкости и эффектами дефокусировки можно пренебречь.

Пусть то пространство между сценой и камерой, в котором распространяются лучи, каким-то образом разбито на  $n$  слоев гладкими поверхностями. В простейшем случае — это плоскопараллельные слои, однако в общем случае их форма может быть произвольной. Единственным условием является требование, чтобы каждый из лучей, формирующих пиксели изображения (элементарный луч), пересекал границы между слоями не более одного раза. Мы также предполагаем отсутствие преломления в среде, так что осевые линии всех элементарных лучей — прямые линии. Тогда для  $(i, j)$ -го пикселя интенсивность луча  $J_{ij}^{(k)}$  на выходе  $k$ -го слоя связана с его интенсивностью  $J_{ij}^{(k-1)}$  на входе соотношением:

$$J_{ij}^{(k)} = g_{ij}^{(k)} J_{ij}^{(k-1)} + h_{ij}^{(k)}, \quad (12)$$

где  $k = 1, 2, \dots, n$ ,  $J_{ij}^{(0)} = J_{ij}$ ,  $J_{ij}^{(n)} = A_{ij}$ . Для такого  $n$ -слойного представления среды при  $n \geq 1$  (12) принимает вид:

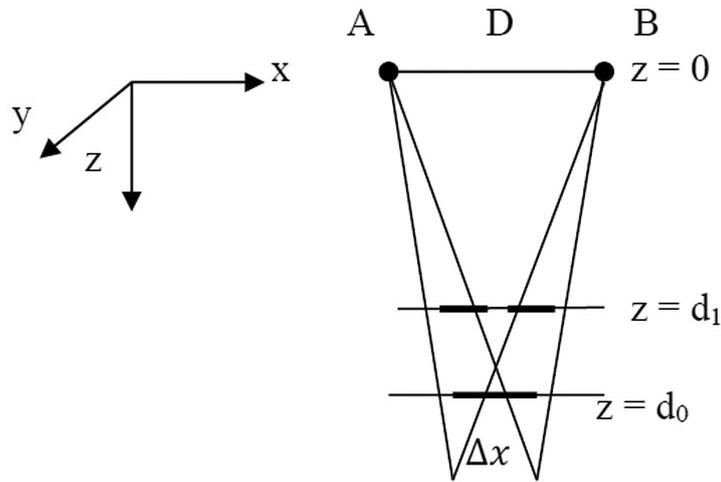
$$A_{ij} = I_{ij} \prod_{k=1}^n g_{ij}^{(k)} + \sum_{k=1}^{n-1} \left( h_{ij}^{(k)} \prod_{l=k+1}^n g_{ij}^{(l)} \right) + h_{ij}^{(n)}. \quad (13)$$

Отметим, что как в (7) и (8), так и в вытекающих из них формулах (9), (11) и (12) мы не предполагаем изотропию оптических характеристик сцены и среды, поскольку в каждой точке пространства нас интересует только одно и определенное направление — направление распространения элементарного луча.

В рамках модели (11) задача восстановления изображений имеет формальное сходство с проблемой подавления геометрического шума матриц фотодетекторов, обусловленного разбросом и нестабильностью их параметров ( $g$ - и  $h$ -коэффициентов). В работе [21] для подавления геометрического шума до уровня собственных шумов отдельного фотодетектора было предложено использовать малоамплитудное двумерное сканирование матрицы фотоприемников относительно наблюдаемой сцены (имеющее аналогию с функционированием глаза) в сочетании с соответствующей цифровой обработкой последовательности регистрируемых изображений [22, 23].

## 2. ОПИСАНИЕ МЕТОДА

Пусть плоская сцена расположена перпендикулярно направлению визирования трех идентичных широкоформатных камер  $A, B, C$ , которые находятся в вершинах равностороннего



**Рис. 1.** Геометрическая иллюстрация к описанию метода:  $z = d_0, z = d_1, z = 0$  — плоскости сцены, помехи и фотокамеры, соответственно;  $D$  — расстояние между камерами  $A$  и  $B$ ;  $\Delta x$  — размер пикселя в плоскости сцены.

прямоугольного треугольника с катетами  $AB = AC = D$ . Камеры, так же как и катеты, ориентированы вдоль декартовых осей координат, передние главные плоскости их объективов находятся на расстоянии  $d_0$  от сцены. На Рис. 1 показана плоскость, образованная двумя координатными осями  $x$  и  $z$ .

Предположим, что помеха сосредоточена в достаточно узком слое (однослойное приближение) на некотором расстоянии  $d_0 - d_1$  от сцены, причем для  $D, d_0, d_1$  и размера пикселя в плоскости сцены  $\Delta x$  выполняются соотношения:

$$d_1 = d_0 \frac{D}{D + \Delta x}, \quad (14)$$

$$\frac{D}{\Delta x} = k, \quad (15)$$

где  $k$  — целое число. Тогда искаженные изображения  $\{B_{ij}\}$  и  $\{C_{ij}\}$ , смещенные по отношению к изображению  $\{A_{ij}\}$  (13), могут быть представлены в виде

$$B_{ij} = g_{i+k-1,j} J_{i+k,j} + h_{i+k-1,j}, \quad (16)$$

$$C_{ij} = g_{i,j+k-1} J_{i,j+k} + h_{i,j+k-1}. \quad (17)$$

Предположим, что вклад в правые части (16) и (17) аддитивных составляющих помехи достаточно мал (мультипликативное приближение) и им можно пренебречь. Тогда, рассматривая (16) и (17) как переопределенную систему уравнений для  $J_{ij}$  и  $g_{ij}$ , путем несложных манипуляций исключаем из нее неизвестные коэффициенты  $g_{ij}$ . В результате получаем также переопределенную систему уравнений для  $J_{ij}$ :

$$\ln B_{i-k+1,j} - \ln A_{ij} = \ln J_{i+1,j} - \ln J_{ij}, \quad (18)$$

$$\ln C_{i,j-k+1} - \ln A_{ij} = \ln J_{i,j+1} - \ln J_{ij}. \quad (19)$$

Минимизируя квадратичный функционал вида:

$$F \{ \{\ln J_{ij}\} \} = \sum_{i,j} (\ln J_{i+1,j} - \ln J_{ij} - \ln B_{i-k+1,j} + \ln A_{ij})^2 + \sum_{i,j} (\ln J_{i,j+1} - \ln J_{ij} - \ln C_{i,j-k+1} + \ln A_{ij})^2 \quad (20)$$

при каком-либо дополнительном нормировочном условии, например,  $\sum_{i,j} \ln J_{ij} = 0$ , можно восстановить изображение  $J_{ij}$ . Аналогично рассматривается случай, когда вариации  $g_{ij}$  пренебрежимо малы, и без ограничения общности можно положить  $g_{ij} = 1$ .

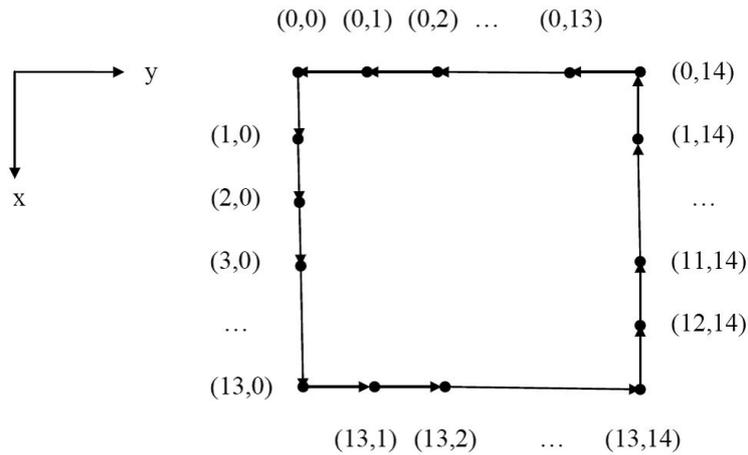
### 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ



Рис. 2. Экспериментальная установка.

Общий вид установки приведен на Рис. 2. В качестве сцены использовались фотоплакаты, помехой служили медицинские рентгеновские снимки, съемки осуществлялись зеркальным фотоаппаратом Nikon D3400 Kit AF – P 18 – 55 mm V, при фокусном расстоянии  $f = 24$  мм и диафрагме  $f/8 - f/11$ . (см. Рис. 2).

Сцена освещалась светодиодными лампами, питавшимися от стабилизированного источника. Многокурсовая съемка имитировалась дискретным сканированием фотоаппарата в вертикальной плоскости с помощью двухкоординатного столика с микрометрическими винтами, с точностью 0,01 мм. Фотоаппарат фокусировался на сцену перед началом сканирования. Сканирование осуществлялось с шагом в 1 мм по замкнутому циклу прямоугольной формы (см. Рис. 3) с возвращением фотоаппарата в исходное положение. Это позволило в цифровой постобработке результатов экспериментов в широком диапазоне варьировать  $D$  и подбирать, согласно условиям (14) и (15) размер пикселя  $\Delta x$  (расстояние до сцены  $d_0 = 549 \pm 1$  мм и два варианта расстояния помехи от сцены  $d_0 - d_1 = 92 \pm 1$  мм и  $d_0 - d_1 = 157 \pm 1$  мм были фиксированы). Это также послужило дополнительной проверкой стабильности всех параметров установки в течение измерительного цикла, подтверждая высокое качество использованной имитации многокурсовой съемки. Для повышения отношения сигнал/шум и увеличения динамического диапазона в каждом положении снималось по 10 кадров.

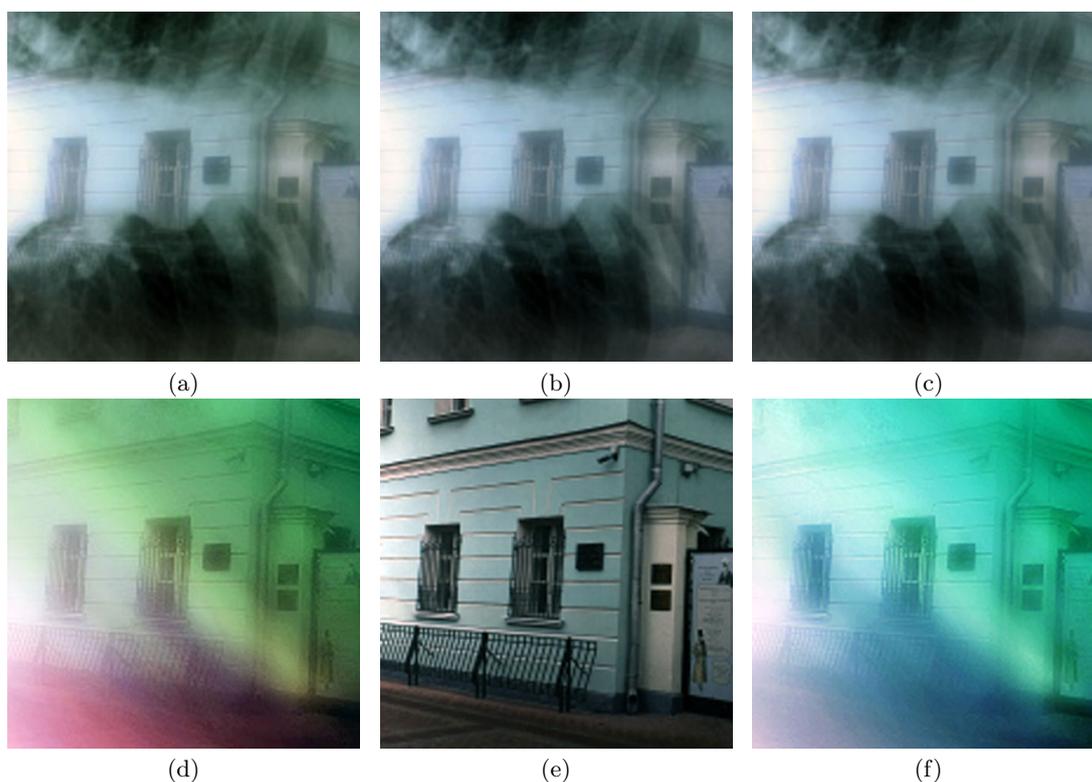


**Рис. 3.** Схематичное изображение цикла сканирования. Указаны декартовы координаты (в мм) дискретного набора положений двухкоординатного микрометрического столика.

В постобработке результатов экспериментов по имитации трехкамерной съемки с использованием алгоритма (11),(16)–(20) для однослойной мультипликативной помехи варьировались расстояние между камерами  $A, B$  и  $C$  (длина катета  $D$ ) и размер пикселя, который менялся с помощью стандартного изменения разрешения фотокамеры. Размер пикселя в плоскости сцены  $\Delta x$  при разрешении  $4000 \times 6000$  составлял  $\Delta x = 0,09$  мм. Увеличение размера пикселя уменьшало погрешности восстановления (благодаря пространственному усреднению), но ухудшало разрешение.

На Рис. 4 приведены исходные искаженные кадры (a), (b), (c), результат восстановления (d), изображения сцены без помех (e) и погрешность восстановления (f) — разность кадров (d) и (e) при  $\Delta x = 1,6$  мм (размер приведенных кадров  $150 \times 150$ ). Отметим, что некоторые элементы сцены на искаженных изображениях из-за большого уровня и сильной неоднородности помех (близким по пространственным частотам к элементам сцены) не различимы. Однако на изображении (d) эти элементы восстановлены (см. Рис. 5).

Кадр (f), хотя и получен как разность кадров (d) и (e), предварительно приведенных к одинаковым дисперсиям, содержит большую примесь неискаженного изображения. Это обусловлено тем, что условия съемки сцены с помехами и без помех, с одной стороны, заведомо отличались по однородности освещенности, а с другой стороны, использованная мультипликативная модель не учитывает аддитивной составляющей помехи, не смотря на то, что в наших экспериментах она было относительно мала. Обработка данных эксперимента с использованием аддитивной модели дала худшие результаты, что также свидетельствует о преобладании в помехе мультипликативной составляющей. Очевидно, что восстановление в рамках аддитивно-мультипликативной модели (11), как и рассмотрение многослойной модели, требует увеличения числа ракурсов, поскольку возрастает число неизвестных переменных. Следует отметить, что предлагаемый метод, прежде всего, дает возможность выявить неоднородность среды в плоскости, перпендикулярной к направлению распространения излучения, поэтому не исключает, а дополняет другие методы, основанные на модели однородной среды Кошмидера. В частности, наличие в данном методе измерений с разными ракурсами позволяет, используя бинокулярный эффект, получить карту расстояний. Эта информация может быть использована для уточнения модели и повышения качества восстановления, в том числе и опираясь на известные методы.



**Рис. 4.** Изображения: (a), (b), (c) — искаженные, (d) — восстановленное, (e) — исходное (без искажений), (f) — разность восстановленного и исходного изображений.



**Рис. 5.** Фрагменты изображений: (a) — фрагмент исходного (без искажений) Рис. 4e, (b) — фрагмент искаженного Рис. 4a, (c) — фрагмент восстановленного Рис. 4d, (d) — фрагмент разности восстановленного и исходного изображений Рис. 4f.

#### 4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе предложен метод устранения искажений неоднородной средой на изображениях с использованием многоракурсной съемки. Метод явно решает линейную систему уравнений, полученную из квадратичной целевой функции. Результаты проведенных экспериментов показывают, что предложенный метод подавления помех неоднородной среды может быть полезен при сильной неоднородности среды и, дополняя известные методы, может повысить их чувствительность и расширить сферы применения. Дальнейшее направление исследований может быть связано с рассмотрением аддитивно-мультипликативных и многослойных помех и учетом 3D-структуры реальных объектов и сцен.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Banham M., Katsaggelos A. Digital image restoration // *IEEE Signal Processing Magazine*. 1997. Vol. 14, no. 2. P. 24–41.
2. Kober V., Karnaukhov V. Restoration of multispectral images degraded by non-uniform camera motion // *Journal of Communications Technology and Electronics*. 2015. Vol. 60, no. 12. P. 1366–1371.
3. Kober V. Robust and efficient algorithm of image enhancement // *IEEE Transactions on Consumer Electronics*. 2006. Vol. 52, no. 2. P. 655–659.
4. Ramos Michel E.M., Kober V. Design of correlation filters for recognition of linearly distorted objects in linearly degraded scenes // *Journal of Opt. Soc. Am. A*. 2007. Vol. 24, no. 11. P. 3403–3417.
5. Ramos-Michel E. M., Kober V. Adaptive composite filters for pattern recognition in linearly degraded and noisy scenes // *Optical Engineering*. 2008. Vol. 47, no. 4. P. 047204.
6. Lucy L. B. An iterative technique for the rectification of observed distributions // *Astronomical Journal*. 1974. Vol. 79, no. 6. P. 745–754.
7. Biemond J., Lagendijk R.L., Mersereau R.M. Iterative methods for image deblurring // *Proceedings of the IEEE*. 1990. Vol. 78, no 5. P. 856–883.
8. Fergus R., Singh B., Hertzmann A., Roweis S.T., Freeman W.T. Removing camera shake from a single photograph // *ACM Transactions on Graphics*. 2006. Vol. 25, no. 3. P. 787–794.
9. Makovetskii A., Voronin S., Kober V., Voronin A. Tube-based taut string algorithms for total variation regularization // *Mathematics*. 2020. Vol. 8, no. 1141. P. 20.
10. Kober V., Makovetskii A., Voronin S., Karnaukhov V. A fast algorithm of regularization of the total variation for the class of radially symmetrical functions // *Journal of Communications Technology and Electronics*. 2019. Vol. 64, no. 12. P. 1500–1507.
11. Martinez-Diaz S., Kober, V. Nonlinear synthetic discriminant function filters for illumination-invariant pattern recognition // *Optical Engineering*. 2008. Vol. 47, no. 6. P. 067201.
12. Diaz-Ramirez V.H., Kober V. Target recognition under nonuniform illumination conditions // *Applied Optics*. 2009. Vol. 48, no. 7. P. 1408–1418.
13. Kober V., Karnaukhov V. Adaptive correction of nonuniform illumination of multispectral digital images // *Journal of Communications Technology and Electronics*. 2016. Vol. 61, no. 12. P. 1419–1425.
14. Horvath H. On the applicability of the Koschmieder visibility formula // *Atmospheric Environment (1967)*. 1871. Vol. 5, no. 3. P. 177–184.
15. Wang W., Yuan X. Recent advances in image dehazing // *IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica*. 2017. Vol. 4, no. 3. P. 410–436.
16. He K., Sun J., Tang X. Single image haze removal using dark channel prior // *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. 2011. Vol. 33, no. 12. P. 2341–2353.
17. Valderrama J.A, Diaz-Ramirez V.H., Kober V., and Hernandez E., Real-time image dehazing using local adaptive neighborhoods and dark-channel-prior // *Proceedings of SPIE Optical Engineering Applications*. 2015. Vol. 9598. P. 95981G.
18. Kober V., Mozerov M., Alvarez-Borrego J. Nonlinear filters with spatially-connected neighborhoods // *Optical Engineering*. 2001. Vol. 40, no. 6. P. 971–983.
19. Bishop T., Favaro P. The light field camera: Extended depth of field, aliasing, and superresolution // *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. 2012. Vol. 34, no. 5. P. 972–986.
20. Соболев, В.В. Перенос лучистой энергии в атмосферах звезд и планет. Москва, ГИТТЛ, 1956. 392 с.
21. Kober V., Vavilov V. P., Sapsin V. M. New method of digital modulative adaptive autocalibration of IR-imaging devices // *Proceedings of Eurotherm Seminar № 27 QIRT-92 (Chatenay-Malabry, Franes, July 7–9, 1992), Paris: EETI ed. P. 3–7.*

22. Lopez-Martinez J.L., Kober V. Blind adaptive method for image restoration using microscanning // IEICE Trans. Inf. Systems. 2012. Vol. E95-D, no. 3. P. 280–284.
23. Lopez-Martinez J.L., Kober V., Karnaukhov V. Image Restoration with a microscanning imaging system // Journal of Communications Technology and Electronics. 2014. Vol. 59, no. 12. P. 1451–1464.

## **Suppression of heterogeneous environment interference using multiple cameras**

**Kober V.I., Saptsin V.M., Karnaukhov V.N., Mozerov M.G.**

The distorted image model, given by the Koshmieder equation, assumes the use of an estimate of the scene depth function, the knowledge of which makes it possible to reconstruct an undistorted (original) scene image. The method for estimating the scene depth function is based on the registration of the scene image by three identical cameras with a sufficiently large depth of field. So, the foreground, middle-ground and background of the scene appear sharp and clear. The cameras are coaxially located at the vertices of a right-angled isosceles triangle, the plane of which is perpendicular to the shooting direction. The paper proposes a reconstruction method based on three observed images distorted by heterogeneous environment. It is assumed that degraded images contain information about an original image, environment interference function, and sensor noise. The method explicitly solves the linear system of equations obtained from a quadratic objective function. The experimental results of reconstruction using the proposed method are presented and discussed.

**KEYWORDS:** image processing, image restoration, heterogeneous environment interference.