



REFERENCES

1. Maragos Petros. Pattern Spectrum and multiscale shape representation. IEEE transaction on pattern analysis and machine intelligence, 1989, V. II, № 7.
2. Serra J. Image analysis and mathematical morphology. Academic Press, London, 1982.
3. Mestetskiy L. M. Nepreryvnaya morfologiya binarnykh izobrazheniy: figury, skelety, tsirkulyary [Continuous morphology of binary images: shapes, frames, circulars]. Moscow, Fizmatlit, 2009, 288 p.
4. Mestetskiy L. M. Medialnaya shirina figury – deskriptor formy izobrazheniy [Shape medial width – image shape descriptor]. Mashinnoe obuchenie i analiz dannykh [Computer education and data analysis]. 2014.
5. Fabbri R., Costa L. Da F., Torelli J. C., Bruno O. M. 2D euclidean distance transform algorithms: A comparative survey. ACM computing surveys, 2008, V. 40, № 1, Article 2.
6. Meijster A., Roerdink J. B. T. M., Hesselink W. H. A general algorithm for computing distance transforms in linear time. Mathematical morphology and its applications to image and signal processing computational imaging and vision, 2000, V. 18.
7. Ramirez-Cortes J. M., Gomez-Gil P., Sanchez-Perez G., Baez-Lopez D. Feature extraction method based on the pattern spectrum for hand shape biometry. Proceedings of the World congress on engineering and computer science, 2008, 22–24 October, World congress on engineering and computer science, San Francisco, USA, 2008.
8. Rubner Y., Tomasi C., Guibas L. J. The Earth mover's distance as a metric for image retrieval, International Journal of Computer Vision, 2000, V. 40 (2), P. 99–121.
9. Sidyakin S.V. Razrabotka algoritmov postroeniya morfologicheskikh spektrov dlya analiza tsifrovyykh izobrazheniy i videoposledovatel'nostey [Developing algorithms of morphological spectrum construction for analyzing digital images and video sequences]: dis. ... kand. tekhn. nauk, Moscow, 2013.
10. Bhattacharyya A. On a measure of divergence between two statistical populations defined by their probability distributions, Bulletin of the Calcutta Mathematical Society, 1943, V. 35, P. 99–109.

© Л. М. Местецкий, Е. М. Зак, Н. А. Ломов, 2014

Получено: 18.10.2014 г.

УДК 004.942

Б. Х. БАРЛАДЯН, канд. техн. наук, ст. науч. сотр.; **Е. Д. БИРЮКОВ**, мл. науч. сотр.; **И. В. ВАЛИЕВ**, науч. сотр.; **А. Г. ВОЛОБОЙ**, д-р физ.-мат. наук, вед. науч. сотр., **Л. З. ШАПИРО**, канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр.

ПОСТОБРАБОТКА СИНТЕЗИРОВАННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ С ВЫСОКИМ ДИНАМИЧЕСКИМ ДИАПАЗОНОМ

ФГБУН «Институт прикладной математики им. М. В. Келдыша РАН»

Россия, 125047, г. Москва, Миусская пл., д. 4. Тел.: (499) 250-79-95; факс: (499) 972-06-87; эл. почта: obb@gin.keldysh.ru, voloboy@gin.keldysh.ru

Ключевые слова: системы реалистичной визуализации, анализ результатов моделирования, изображения с высоким динамическим диапазоном, регрессионное тестирование, операторы сжатия динамического диапазона яркости.

В статье сформулированы требования к программам постобработки изображений с высоким динамическим диапазоном, являющихся результатами физически корректного моделирования распространения света. Каждый пиксель таких изображений содержит реальное физическое значение яркости, полученное в результате моделирования. В дальнейшем они могут быть либо преобразованы в обычную картинку, либо должна существовать возможность проведения разностороннего анализа изображения. Рассмотрены детали реализации модуля постобработки полученных синтезированных изображений.

В большинстве случаев результатом работы систем оптического моделирования и реалистичной компьютерной графики являются изображения. Их можно разделить на два класса: 1) изображения, предназначенные для восприятия человеком; 2) результаты оптического моделирования, полученные с помощью виртуальных сенсоров, представляют распределение физических значений на плоскости или в пространстве направлений. Виртуальные сенсоры позволяют получать значения яркости или освещенности на различных реальных или виртуальных поверхностях сцены при естественном и искусственном освещении. Они используются для проверки допустимых величин освещенности при проектировании зданий, салонов автомобилей и самолетов, для оценки гониодиаграмм источников света при проектировании новых светодиодов и других осветительных устройств.

В разрабатываемых нами системах оба типа изображений получаются в результате моделирования в физических единицах в динамическом диапазоне чисел с плавающей точкой, т. е. являются изображениями с высоким динамическим диапазоном. Для отображения результатов на графическом мониторе их необходимо преобразовать в RGB пространство монитора с учетом особенностей человеческого зрения.

Существует несколько программ, работающих с такими изображениями. Практически все они, начиная с самой первой HDRshop [1], позволяют преобразовывать значения пикселей в RGB пространство монитора. Эта функциональность интенсивно проработана в системах обработки фотоизображений для профессиональных фотографов, таких как Lightroom [2], Apple Aperture [3], Capture One [4]. Однако требования к преобразованиям изображений, полученных путем компьютерного моделирования, и изображений, полученных с помощью фотоаппарата, имеют существенные различия. Программы обработки фотографий предоставляют спектр возможностей для усиления художественных достоинств фотографии или создания спецэффектов. Динамический диапазон обрабатываемых фотоизображений, сохраненных в RAW [5] формате, расширен до 12–14 бит на пиксель, но истинные значения яркостей, как правило, не известны. В то же время для изображений, получаемых в системах оптического моделирования, известны значения «истинных» яркостей и освещенностей, которые являются результатом моделирования. Соответственно, важной задачей при обработке синтезированных изображений является получение итоговых фотореалистичных изображений с корректным учетом специфики человеческого зрения и анализ физических характеристик, сохраненных в полученных изображениях. Пользователей могут интересовать такие значения, как яркости для сечений изображения, статистические характеристики для выделенных областей. При спектральном моделировании интерес представляет спектральный состав яркости или освещенности в различных точках и областях изображения.

Анализ изображений, представляющих результаты моделирования на виртуальных сенсорах, помимо удобного визуального представления, требует также учета специфики данного сенсора. Оси координат у таких изображений могут быть как в линейных, так и в угловых единицах. Изображение может представлять различные физические единицы: яркость, освещенность, интенсивность и т. д.

Требования к постобработке синтезированных изображений

Авторы имеют богатый опыт разработки и практического использования систем реалистичной компьютерной графики и оптического моделирования. Из изученных систем можно выделить две, имеющие наиболее полный инструмен-



тарий и интенсивно используемые дизайнерами и конструкторами в мире. Это система, разработанная в ИПМ им. М. В. Келдыша РАН [6], и система OPTIS (SPEOS, OptisWorks) [7]. Исходя из опыта, можно сформулировать следующие требования к модулю постобработки и анализа результатов:

1. Модуль должен обеспечивать преобразование исходного изображения в RGB пространство монитора с ограниченным динамическим диапазоном. Желательно иметь несколько типовых операторов сжатия динамического диапазона, удобное варьирование их параметров для получения необходимого изображения.

2. Необходимо обеспечивать построение изображений в искусственном цвете (color contours) для визуализации распределения значений физических величин в сцене. Также должен быть предоставлен гибкий контроль параметров визуализации.

3. Изображения, получаемые в системе моделирования, могут быть сферическими панорамами или результатами моделирования, полученными на виртуальных измерительных приборах в полярных координатах. В силу этих причин модуль должен поддерживать визуализацию изображений как в декартовой, так и полярной системах координат, а также визуализировать панорамные изображения.

4. Для обеспечения регрессионного анализа должна существовать возможность загрузки и сравнения двух и более изображений.

5. Модуль должен обеспечивать визуализацию физических величин в различных сечениях изображения в графическом и табличном виде.

6. Для каждого пикселя изображения необходимо иметь возможность показать его физическое значение как в фотометрических, так и в радиометрических единицах и в различных цветовых пространствах (RGB, спектральном, HSV и т. д.). Для спектральных изображений должна быть представлена спектральная плотность анализируемой величины. А для величин, полученных с помощью моделирования стохастическими методами, желательно показывать оценку точности их вычисления.

7. Модуль должен предоставлять возможность экспорта физических данных, таких как, например: яркость, освещенность, цветность (x, y chromaticity) – в текстовые форматы, пригодные для загрузки в текстовые процессоры для дальнейшего анализа.

Реализация модуля постобработки изображений

С учетом приведенного списка требований в ИПМ им. М. В. Келдыша РАН был создан модуль постобработки изображений. Рассмотрим, как перечисленные требования были в нем реализованы.

В модуле возможен выбор из трех операторов сжатия динамического диапазона:

1. Нелинейный оператор сжатия динамического диапазона [8].

2. Простой линейный оператор сжатия, контролируемый максимальным значением величины яркости.

3. Табулированный оператор сжатия, задаваемый таблицей значений, редактируемой пользователем.

В случае использования нелинейного оператора управление осуществляется либо с помощью максимального значения величины яркости, которое не будет обрезано, либо с помощью адаптационной яркости сцены. Пример его работы в области архитектуры приведен на рис. 1 цв. вклейки.

Визуализация изображений в искусственном цвете предназначена для представления значений физических величин (в приведенном примере – освещенность поверхностей) в виде, интуитивно понятном для человека (рис. 2 цв. вклейки). Интерфейс управляющих параметров в этом случае позволяет контролировать как цвета визуализации, так и значения яркостей, освещенностей или точности вычислений, соответствующих этим цветам.

**К СТАТЬЕ Б. Х. БАРЛАДЯНА, Е. Д. БИРЮКОВА,
И. В. ВАЛИЕВА, А. Г. ВОЛОБОЯ, Л. З. ШАПИРО
«ПОСТОБРАБОТКА СИНТЕЗИРОВАННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ
С ВЫСОКИМ ДИНАМИЧЕСКИМ ДИАПАЗОНОМ»**



Рис. 1. Синтезированное изображение офиса



Рис. 2. Визуализация распределения физических величин освещенности на поверхностях сцены в искусственном цвете

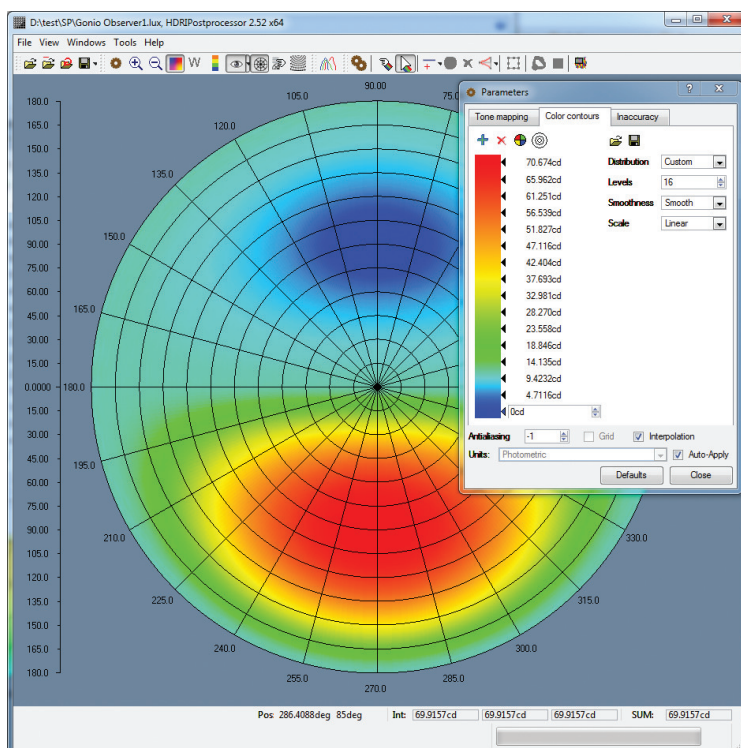


Рис. 3. Визуализация углового распределения интенсивности в полярных координатах

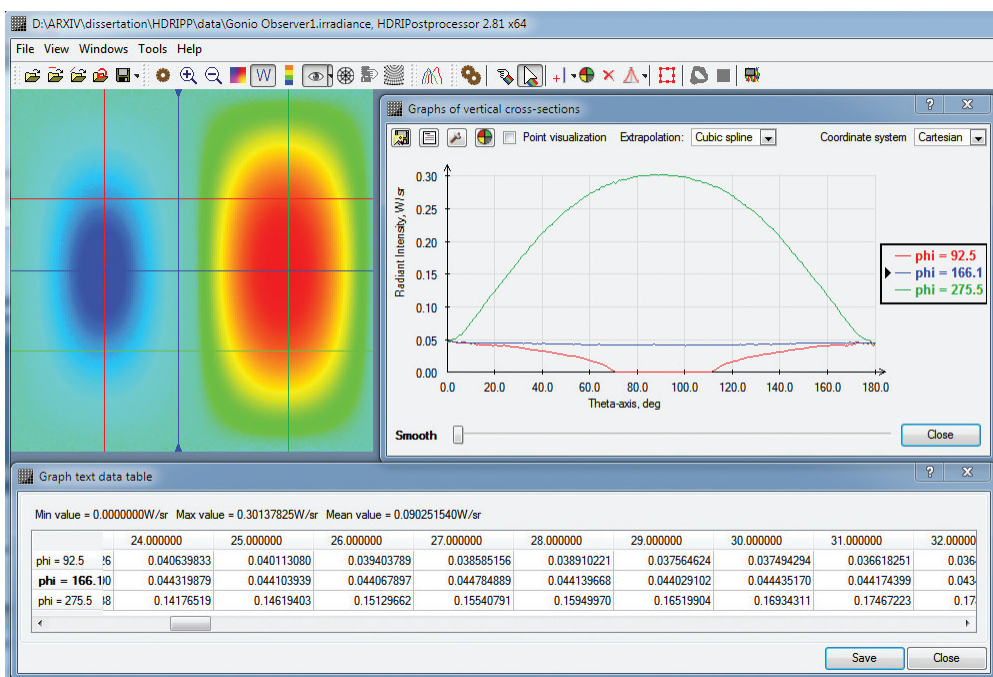


Рис. 4. Анализ сечений

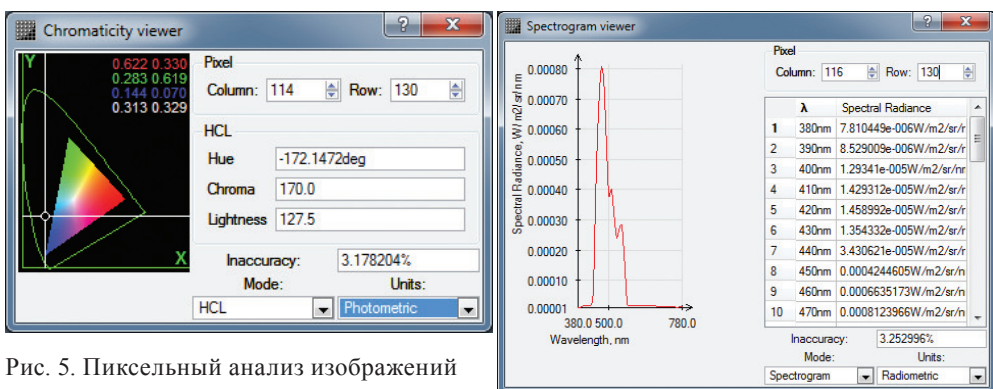


Рис. 5. Пиксельный анализ изображений

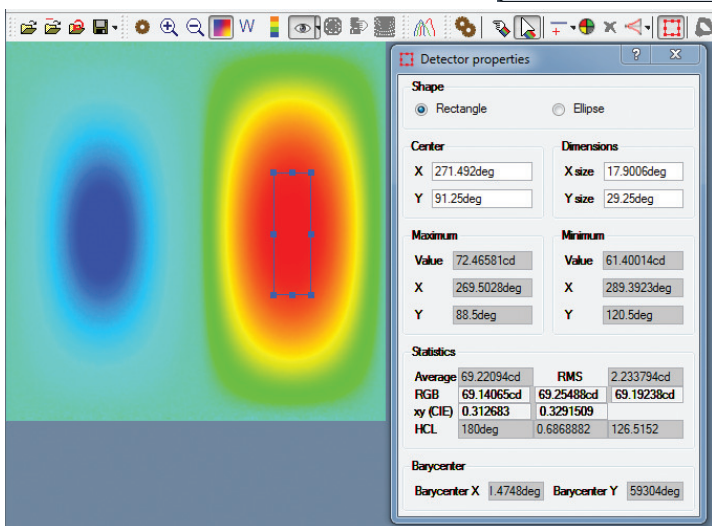


Рис. 6. Анализ областей

Изображения, получаемые в базовой системе моделирования, могут быть не только обычными изображениями, но и являться результатами моделирования на виртуальных измерительных приборах (сенсорах) в полярных и декартовых координатах или могут быть сферическими панорамами. Модуль показывает такие изображения и поддерживает декартову и полярную системы координат (рис. 3).

Для визуализации сферической панорамы был реализован специальный режим, показывающий эти изображения с помощью перспективной проекции. Камера находится в центре сферы и поворачивается для визуализации требуемой части панорамы. Угол зрения камеры может варьироваться. Угловое распределение интенсивности на виртуальном «гонометре» может быть также представлено в искусственном цвете (рис. 3 цв. вклейки).

Для проведения регрессионного анализа модуль позволяет загрузить два изображения одинакового типа и разрешения. Модуль вычисляет их разность, и для нее поддерживаются все те же функциональности, что и для одиночного изображения.

Специальное диалоговое окно предоставляет детальную информацию о каждом пикселе изображения. Цвет пикселя может быть представлен в различных цветовых пространствах, включая спектральное представление. CIE $x y$ координаты отображаются на цветовом треугольнике графического монитора, что позволяет сразу распознать случаи, когда цвет исследуемого пикселя находится за пределами допустимой палитры (рис. 4 цв. вклейки). Показываются также величина оценки точности вычислений и значение физической величины в фотометрических или радиометрических единицах.

Модуль обеспечивает визуализацию графиков изменения физической величины вдоль горизонтальных и вертикальных сечений изображения. Несколько сечений могут существовать одновременно, их графики визуализируются в дополнительном окне (рис. 5 цв. вклейки). Численные значения величин в сечениях можно также вывести в виде таблицы, которая сохраняется в текстовом файле.

Модуль также обеспечивает анализ прямоугольных и эллиптических областей изображения (рис. 6 цв. вклейки).

Вся информация, рассчитанная системой оптического моделирования и содержащаяся в изображении, может быть экспортирована в файл в текстовом или CSV формате. Последний удобен для последующего ввода данных в табличные процессоры (например, Microsoft Excel).

Для исследуемого изображения может выводиться не только непосредственно физическая величина в каждом пикселе, но и ее производные. Так, например, для спектрального изображения, зарегистрированного на виртуальном измерительном приборе в полярных координатах, могут выводиться файлы, содержащие для каждого пикселя интенсивность, цветность, спектрограмму, оценку ошибки вычислений и количество лучей.

Выводы

Разработанный нами и описанный в данной работе модуль постобработки и анализа изображений, сгенерированных системами реалистичной компьютерной графики, постоянно используется для анализа полученных результатов, для отладки алгоритмов моделирования распространения света, для получения итоговых изображений в пространстве графического монитора. Он удовлетворяет большинству требований, сформулированных выше.

Модуль поставляется с несколькими системами реалистичной визуализации и оптического моделирования.

Работа поддержана грантами РФФИ № 12-01-00560 и № 13-01-00454.



БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ward, G. Real Pixels / G. Ward // Graphics Gems. – 1992. – № II. – P. 80–83. – (Academic Press).
2. Kelby, S. The Adobe Photoshop Lightroom 4 Book for Digital Photographers / Scott Kelby. – Moscow : Williams, 2012. – 512 p.
3. Apple – Aperture – Pro performance with iPhoto simplicity [Electronic resource]. – Access mode : <http://www.apple.com/ru/aperture/>.
4. Phase One [Electronic resource]. – Access mode : <http://www.phaseone.com/>.
5. Фрейзер, Б. Реальный мир Camera Raw и Adobe Photoshop CS2 = World Camera Raw with Adobe Photoshop CS2 / Б. Фрайзер. – Москва : Вильямс, 2007. – 304 с.
6. Волобой, А. Г. Технологии визуализации в задачах современной индустрии / А. Г. Волобой, В. А. Галактионов // Научная визуализация. – 2013. – № 4. – С. 31–36.
7. Алямовский, А. SolidWorks/OptisWorks – интегрированная среда анализа и синтеза в светотехнике и оптике. Оптический анализ и структура программного комплекса / А. Алямовский // САПР и графика. – 2006. – № 4. – С. 73–79.
8. Эффективный оператор сжатия динамического диапазона яркостей / Б. Х. Барладян, А. Г. Волобой, В. А. Галактионов, Э. А. Копылов // Программирование. – 2004. – № 5. – С. 35–42.

BARLADYAN Boris Khaimovich, candidate of technical sciences, senior scientist; BIRYUKOV Elissey Dmitrievich, scientist; VALIEV Il'dar Vagizovich, scientist; VOLOBOY Aleksey Gennadievich, doctor of physical-mathematical sciences, leading scientist; SHAPIRO Lev Zalmanovich, candidate of physical-mathematical sciences, senior scientist

POST-PROCESSING OF THE SYNTHESIZED HIGH DYNAMIC RANGE IMAGES

Keldysh Institute of Applied Mathematics

4, Miusskaya Sq., Moscow, 125047, Russia. Tel.: +7 (499) 250-79-95; fax: +7 (499) 972-07-37, e-mail: obb@gin.keldysh.ru, voloboy@gin.keldysh.ru

Key words: realistic rendering software, analysis of simulation results, HDRI, regression testing, tone mapping operators.

Requirements to software for post-processing of high dynamic range images generated in the realistic rendering systems are formulated in the paper. It is implied that realistic rendering is based on physically accurate simulation of light propagation. So the simulation results can be interrogated by the proposed software and converted into usual images. Details of the software implementation are also presented.

REFERENCES

1. Ward G. Real Pixels, Graphics Gems, 1992, № II, P. 80–83 (Academic Press)
2. Kelby S. The Adobe Photoshop Lightroom 4. Book for Digital Photographers. Williams, 2012, 512 p.
3. Apple – Aperture – Pro performance with iPhoto simplicity [Electronic resource]. Access mode : <http://www.apple.com/ru/aperture/>.
4. Phase One [Electronic resource]. Access mode : <http://www.phaseone.com/>.
5. Bruce Fraser. [Real World Camera Raw and Adobe Photoshop CS2 = World Camera Raw with Adobe Photoshop CS2]. Moscow, Williams, 2007, 304 p.
6. Voloboy A. G., Galaktionov V. A. Tekhnologii vizualizatsii v zadachakh sovremennoy industrii [Imaging problems in modern industry]. Nauchnaya vizualizatsiya. [Scientific Visualization]. № 4, 2013, P. 31–36.
7. Alyamovskiy A. SolidWorks/OptisWorks – integrirovannaya sreda analiza i sinteza v svetotekhnike i optike. Opticheskiy analiz i struktura programmnoy kompleksa [SolidWorks/



OptisWorks – integrated environment for analysis and synthesis in the light engineering and optics. Optical analysis and structure of the software system]. SAPR i grafika [CAD and Graphics]. № 4, 2006, P. 73–79.

8. Barladyan B. Kh., Voloby A. G., Galaktionov V. A., Kopylov E. A.. Effektivny operator szhatiya dinamicheskogo diapazona yarkostey [An effective tone mapping operator for high dynamic range images]. Programmirovaniye [Programming and Computer Software]. № 5, 2004, P. 35–42.

© Б. Х. Барладян, Е. Д. Бирюков, И. В. Валиев, А. Г. Волобой, Л. З. Шапиро, 2014

Получено: 18.10.2014 г.

УДК 628.55:550.461

А. Е. АФАНАСЬЕВА, аспирант кафедры автоматизации систем вычислительных комплексов; А. В. ИГНАТЕНКО, канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр. лаборатории компьютерной графики и мультимедиа кафедры автоматизации систем вычислительных комплексов

ПОИСК РЕЗКИХ ОБЛАСТЕЙ НА СТЕРЕОИЗОБРАЖЕНИЯХ

ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова»
Россия, 119991, г. Москва, ул. Ленинские горы, д. 1. Тел.: (495) 939-10-00; факс: (495) 939-01-26;
эл. почта: info@rector.msu.ru

Ключевые слова: области резкости, метрика резкости, стереопоток, стереоизображение, дополненная реальность, диспаратитет, стереосоответствие.

Ввиду сложности восприятия изображений некоторых объектов многие современные системы обработки изображений используют стереотехнологии. Работа посвящена алгоритму нахождения областей резкости на стереоизображении, который может лежать в основе инструментов работы с резкостью. Разработанный алгоритм использует ранее изученные классические методы измерения резкости моноизображений, а также учитывает особенности человеческого восприятия стереоданных для поиска областей резкости в стерео.

В настоящее время ряд природных объектов подвергается детальному изучению при помощи различных приборов ввиду сложности их восприятия невооруженным глазом. В случае работы с прозрачными объектами немалую роль играет качество восприятия глубины данных объектов, которое можно существенно повысить за счет использования стереотехнологий. Работа со стереоданными активно ведется в рамках технологий дополненной реальности. Фактически это означает, что оперируя со стереоданными, человек получает их в совокупности с некоторой дополнительной информацией об объекте. Зачастую данная информация может значительно улучшить восприятие объекта и облегчить навигацию по нему. Таким образом, преподнесенная информация образует некоторый интерфейс, целью которого является улучшение качества восприятия стереоданных. Данный интерфейс является совокупностью инструментов, облегчающих работу человека.

Особую роль среди данных инструментов занимает инструмент, облегчающий работу с полностью или частично расфокусированными объектами.

Рассматривая объект с разных сторон, при наличии данного инструмента можно контролировать текущее состояние фокуса. Результаты алгоритма для на-