

УДК 778.534.1

ББК 37.95

*Кондранин Д.С., Ватолин Д.С.*

**РАЗРАБОТКА МЕТОДА ВЫДЕЛЕНИЯ  
ОБЛАСТЕЙ ИСКАЖЕНИЯ НА КАДРАХ  
СТЕРЕОСКОПИЧЕСКОГО ВИДЕО,  
СОДЕРЖАЩИХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ИСКАЖЕНИЯ  
ИЛИ РАСХОЖДЕНИЯ ПО РЕЗКОСТИ**

Кондранин Денис Сергеевич

E-mail: denis.kondranin@graphics.cs.msu.ru

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

Ватолин Дмитрий Сергеевич, кандидат физико-математических наук

E-mail: dmitriy@graphics.cs.msu.ru

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

При стереосъемке из-за ошибок в калибровке двух камер могут возникнуть геометрические искажения ракурсов стереофильма и несоответствие в них резкости. Поиск и анализ таких искажений в снятых стереофильмах производится автоматически с последующей визуальной оценкой заметности найденных искажений экспертами. В данной работе описан алгоритм, позволяющий автоматизировать процесс выделения фрагментов стереокадра, содержащих наиболее заметные геометрические искажения ракурсов и несоответствие ракурсов по резкости.

**Ключевые слова:** стереоскопическое видео, контроль качества, построение визуализаций, геометрические искажения, несоответствие по резкости.

## ВВЕДЕНИЕ

Ежегодно выпускается более 30 стереофильмов. Данная технология приобрела широкую известность после выхода фильма «Аватар» в 2009 году. Однако из-за сложности калибровки камер процесс стереосъёмки является дорогим, и в последнее время производители предпочитают использовать методы конвертации. По мнению аналитиков [3], стремление удешевить процесс производства оттолкнуло зрителей от стереоверсий фильмов — так, в Северной Америке кассовая доля фильмов в стереоформате в 2017 году составила всего 14%. Одна из причин падения спроса на стереофильмы — наличие в них искажений, появляющихся в процессе производства, которые способны вызвать у зрителей чувство дискомфорта.

Для того чтобы контролировать качество снимаемого стереоконтента, необходимо уметь распознавать и анализировать данные искажения. Часто при оценке качества стереофильма финальным результатом является отчёт, содержащий статистику о найденных искажениях [14]. Поиск искажений производится в два этапа. На первом этапе в автоматическом режиме выделяются все кадры, содержащие искажения вне зависимости от их заметности при просмотре зрителем. Таких искажений очень много, и устранение всех искажений может занять много времени. Поэтому на втором



Рис. 1. Пример визуализации несоответствия по резкости

этапе выполняется экспертная оценка заметности искажений. Для удобства просмотра проблемных сцен строятся визуализации: на кадрах выделяются области, где наиболее всего заметно искажение (рис. 1).

Выделение подобных областей вручную для нескольких тысяч кадров — трудоёмкий процесс, который может быть упрощён в результате применения метода выделения наиболее заметных искажений на ракурсах стереофильмов.

## **ИССЛЕДОВАНИЯ В ДАННОЙ ОБЛАСТИ**

Большинство методов, посвящённых анализу искажений в видео, направлены на поиск, измерение и удаление искажений, возникающих на этапе сжатия видео [5, 9, 12]. Исследования, связанные с анализом качества стереоскопического видео, направлены как на обнаружение различных типов искажений, так и на оценку их величины [2, 10]. Однако они не локализуют наиболее заметные искажения. Проект Video Quality Measurement Tool 3D (VQMT3D) [15] посвящён автоматической оценке качества стереоскопического видео. В его рамках разработаны алгоритмы оценки следующих типов несоответствия между ракурсами: геометрические искажения, несоответствия по резкости, расхождение ракурсов по времени и цвету.

Для вычисления геометрических искажений в кадре применяются алгоритмы ректификации [17], заключающиеся в нахождении проекции левого и правого ракурсов на некоторую плоскость, параллельную линии, соединяющей оптические центры камер, а также методы, вычисляющие параметры аффинного преобразования между кадрами [1]. Метод, рассмотренный в [11], основывается на искажении сетки с учётом функции энергии, однако локальные параметры поворота и масштаба получаются сильно зашумлёнными.

Алгоритм [16], вычисляющий несоответствия по резкости между ракурсами, основан на локальном анализе областей и поэтому обнаруживает локальное несоответствие резкости в ракурсах, однако не учитывают степень заметности данных искажений.

## **ПРЕДЛОЖЕННЫЙ АЛГОРИТМ**

Формальная постановка задачи следующая. На вход алгоритма подаётся кадр стереофильма  $F = (I_L, I_R)$  высоты  $H$  и ширины  $W$  и

тип артефакта (несоответствие по резкости, поворот между ракурсами, несоответствие по масштабу, вертикальный сдвиг), для которого необходимо найти область, где наиболее заметно данное искажение. Результатом работы алгоритма является набор значений  $(x, y, w, h)$  и  $(\Delta x, \Delta y)$ , где  $x, y$  — координаты центра области;  $w$  и  $h$  — ширина и высота области соответственно,  $(\Delta x, \Delta y)$  — сдвиг этой области на правом ракурсе относительно левого. Высота и ширина области связаны соотношением

$$w = \frac{hw}{2H}.$$

На первом шаге алгоритма производится вычисление векторов диспаратности кадра с четвертьпиксельной точностью для левого и правого ракурсов стереофильма на основе блочного алгоритма сопоставления [13]. Для уменьшения влияния неверных значений, возможных из-за неправильного сопоставления блоков, вычисляется доверие к блокам, в котором учитывается контрастность областей и оценка Left-Right Consistency check (LRC) [7].

Получившиеся карты горизонтальной и вертикальной диспаратности и карты доверия обозначим как  $Disp_x, Disp_y$  и  $Conf$ . Для обозначения ракурса, которому соответствует построенная карта, введём верхний индекс  $i \in \{L, R\}$ . Таким образом, для левого ракурса получены карты  $Disp_x^L, Disp_y^L, Conf^L$ , для правого —  $Disp_x^R, Disp_y^R, Conf^R$ .

Следующим этапом является вычисление физических характеристик стереокадра. При анализе экспертной разметки кадров для каждого из типов искажений разработаны критерии заметности искажения — наличие каких физических характеристик необходимо для заметности каждого артефакта.

Из исходных ракурсов выделяется компонента яркости и на её основе вычисляется локальный контраст области  $Contrast$ . К ней применяется вертикальная и горизонтальная свёртки Собеля с целью выделения областей с высоким значением градиента яркости. Обозначим получившиеся карты  $Sobel_y, Sobel_x$ . Однако при оценке наличия градиентов в области необходимо убедиться, что данные градиенты присутствуют в обоих ракурсах. Например, данная область может попасть в область открытия или присутствовать на другом кадре, но быть размытой. Для этого строится карта устой-

чивых вертикальных градиентов Собеля, вычисляемая по формуле (напомним, что карта диспаратности строится с четвертьпиксельной точностью):

$$RobustSobel_y(x, y) = \min \left( \left| Sobel_y^L(x, y) \right|, \left| Sobel_y^R \left( x + \frac{1}{4} Disp_x^L(x, y), y + \frac{1}{4} Disp_y^L(x, y) \right) \right| \right).$$

Для геометрических артефактов важно также наличие горизонтальных границ — за счёт вертикальной диспаратности артефакт хорошо заметен на областях с их присутствием. Для вычисления горизонтальных границ воспользуемся модифицированным алгоритмом Кэнни [4]: после вычисления градиентов вместе с подавлением немаксимумов обращаются в ноль те пиксели, в которых  $\left| \frac{\pi}{2} - \left| \arctg \frac{G_y}{G_x} \right| \right| > \frac{\pi}{4}$ . Таким образом, на карте остаются только значения модулей градиентов, у которых угол близок к  $\frac{\pi}{2}$ .

Аналогично с картой устойчивых вертикальных градиентов Собеля строится карта устойчивых горизонтальных границ. Так как граница имеет ширину в 1 пиксель и карты диспаратности могут быть вычислены с небольшой погрешностью, необходимо рассматривать на другом ракурсе не одно скомпенсированное значение пикселя  $HorEdges^R \left( x + \frac{1}{4} Disp_x^L(x, y), y + \frac{1}{4} Disp_y^L(x, y) \right)$ , а результаты работы детектора границ в окрестности  $5 \times 5$  данного пикселя.

Последний признак, характеризующий в области наличие градиентов, вычисляется по формуле:

$$Texture = D \arctg \frac{Sobel_y}{Sobel_x},$$

где каждый пиксель учитывается пропорционально абсолютной величине градиента в нём.

При анализе карты диспаратности сначала ракурс разделяется на планы, т. е. производится сегментация по глубине. Сегментация ракурсов производится на основе mean-shift кластеризации [6] с

адаптивной силой и последующим выделением связанных компонент на горизонтальной карте диспаратности. Результатом сегментации ракурсов являются карты  $Segm^L$ ,  $Segm^R$ , значение которых в пикселе указывает на принадлежность некоторой связанной компоненте, лежащей на одном плане.

При анализе экспертной разметки было отмечено, что во многих случаях предпочтение отдаётся области, расположенной целиком на одном плане. Чтобы учитывать данное свойство, вводится гладкость по глубине для каждого пикселя изображения — доля пикселей окрестности данного пикселя, принадлежащая одному плану. Формула гладкости по глубине имеет вид:

$$Flatness^i(x, y) = \frac{\max_j \sum_{-r \leq \delta x, \delta y \leq r} \mathbb{1}_j(Segm^i(x + \delta x, y + \delta))}{(2r + 1)^2},$$

где  $r = 100$ ,  $i \in (L, R)$ ,  $\mathbb{1}_{j(x)}$  — индикаторная функция.

Несоответствие по вертикальному сдвигу означает вертикальное смещение области одного ракурса относительно другого. Данное смещение распознаётся на карте вертикальной диспаратности. Это искажение хорошо заметно на горизонтальных границах, а также на областях, содержащих вертикальные градиенты. Вычисление локальной заметности искажения производится по формулам:

$$Visibility_1^{VS} = Disp_y^L \circ Conf^L \circ RobustEdges,$$

$$Visibility_2^{VS} = Disp_y^L \circ Conf^L \circ RobustSobel_y,$$

где символ  $\circ$  обозначает поэлементное умножение матриц.

Рассмотрим левый ракурс стереокадра и векторы диспаратности некоторой области, для которой существует локальное несоответствие по масштабу. Построим двумерную гистограмму, отражающую зависимость вертикальной составляющей диспаратности от координаты пикселя внутри. В зависимости от степени локального искажения, вертикальный сдвиг пикселя в блоке будет сильнее зависеть от координаты  $y$  данного пикселя. Поэтому уравнение регрессии выглядит следующим образом:

$$Disp_y^L(x, y) = a \cdot y + b,$$

где параметр  $a$  является значением локального увеличения. Для решения уравнения применяется метод RANSAC [8]. Для построения карты локального несоответствия по масштабу  $LocalScale^L$

кадр разбивается на блоки — 4 блока в высоту и 8 блоков в ширину. Для каждого блока строится двумерная гистограмма и вычисляется коэффициент  $a$ . Также строится блочная карта доверия  $LocalScaleConf^L$ , где доверием к блоку считается доля векторов, соответствующих вычисленной модели. Также учитывается наличие градиентов в области и её гладкость по глубине. Итоговые карты заметности артефакта определяются как:

$$\begin{aligned} Visibility_1^{SD} &= LocalScale_y^L \circ Conf^L \circ LocalScaleConf^L \\ &\circ RobustSobel \circ Flatness^L, \\ Visibility_2^{SD} &= LocalScale_y^L \circ Conf^L \circ LocalScaleConf^L \\ &\circ Texture^L \circ Flatness^L. \end{aligned}$$

В случае локального поворота между ракурсами, величина вертикального сдвига пикселя зависит от координаты  $x$  данного пикселя. Поэтому, как и в случае поиска несоответствия по масштабу между ракурсами, для анализа кадра строится блочная карта локального искажения  $LocalRotate^L$ , в каждом блоке равная коэффициенту  $a$  для соответствующего уравнения регрессии:

$$Disp_y^L(x, y) = a \cdot x + b.$$

Итоговые карты заметности определяются как:

$$\begin{aligned} Visibility_1^{RD} &= LocalRotate_y^L \circ Conf^L \circ LocalRotateConf^L \circ RobustSobel, \\ Visibility_2^{RD} &= LocalRotate_y^L \circ Conf^L \circ LocalRotateConf^L \circ Texture^L. \end{aligned}$$

Для поиска локального несоответствия резкости рассматривается карта метрики, полученная при помощи алгоритма, представленного в [16]. Особенностью алгоритма является построение сразу двух карт — областей, где правый ракурс больше размыт относительно левого  $LocalSharpness^L$ , и областей, где левый ракурс размыт больше, чем правый  $LocalSharpness^R$ . Для последующего анализа выбирается ракурс, в котором значение локального несоответствия по резкости больше.

Блочная карта искажения фильтруется — значения в блоках заменяются на среднее арифметическое в окрестности блока  $3 \times 3$  с целью удаления локальных выбросов. Кроме того, учитывается локальный контраст области. Итоговая карта заметности определяется как:

$$Visibility_1^{SM} = LocalSharpnessFiltered_y \circ Contrast.$$

После получения карт заметности искажения потенциальные центры областей в кадре рассматриваются скользящим окном размером  $20 \times 20$  пикселей. Они сортируются по убыванию суммы значений на карте заметности. Затем выбираются кандидаты для будущих областей, для которых высота определяется в зависимости от типа и величины искажения. Из постановки задачи имеем:  $w = \frac{hw}{2H}$ . В качестве координат  $(x, y)$  области выбирается центр окна.

Если необходимо выделить несколько областей, то последующие области выбираются так, чтобы в соответствии с мерой Жаккара  $K_j(R_1, R_2) = \frac{\text{площадь пересечения } R_1 \text{ и } R_2}{\text{площадь объединения } R_1 \text{ и } R_2}$  они имели значение,

меньшее  $0,3$  с каждой из уже отобранных областей. Первая область выбирается на основе первой карты заметности, остальные — по второй (если для данного типа искажения она приводилась).

Последним шагом является выделение соответствующей области на втором ракурсе стереофильма. Так как возможна ситуация, что область кадра не содержит неподвижных фрагментов, не всегда выгодно на другом ракурсе выбирать ту же самую область  $(x, y, w, h)$ . В таком случае определить степень искажения трудно из-за сдвига объекта на левом ракурсе относительно правого. Поэтому на втором ракурсе выбирается область с учётом её движения —  $(x + \Delta x, y + \Delta y, w, h)$ . Значения  $\Delta x$  и  $\Delta y$  вычисляются по формулам:

$$\Delta x = \frac{\sum_{-10 \leq \delta x, \delta y \leq 10} Disp_x^i(x + \delta x, y + \delta y) \cdot Conf^i(x + \delta x, y + \delta y)}{\sum_{-10 \leq \delta x, \delta y \leq 10} Conf^i(x + \delta x, y + \delta y)},$$

$$\Delta y = \frac{\sum_{-10 \leq \delta x, \delta y \leq 10} Disp_y^i(x + \delta x, y + \delta y) \cdot Conf^i(x + \delta x, y + \delta y)}{\sum_{-10 \leq \delta x, \delta y \leq 10} Conf^i(x + \delta x, y + \delta y)},$$

где  $i \in \{L, R\}$  в зависимости от ракурса, для которого проводится компенсация.

Для построения области для кадра, содержащего вертикальный сдвиг между ракурсами,  $\Delta y \equiv 0$ , так как данным искажением как раз является наличие вертикальной диспаратности в области. При необходимости  $(x, y, w, h)$ ,  $\Delta x$  и  $\Delta y$  модифицируются так, чтобы область целиком помещалась внутри ракурсов стереокадра.

## АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ АЛГОРИТМА

Перед тем как применять алгоритмы для анализа полнометражных фильмов, необходимо было проверить корректность их работы. Для проведения валидационной оценки была подготовлена выборка кадров из 4 художественных фильмов («Сумасшедшая езда» (2011), «Цунами 3D» (2011), «Путешествие к Центру Земли» (2008), «Обитель зла: Возмездие» (2012)), содержащих рассматриваемые искажения.

Построенные области анализировались вручную и помечались как подходящие или неподходящие для будущей визуализации. Результаты тестирования алгоритмов приведены на рис. 2.

После проведения валидационной оценки базовые версии алгоритмов использовались для построения визуализаций отчётов по найденным артефактам в стереофильмах. Базовая версия алгоритма, без учёта гладкости областей, использовалась при анализе 150 полнометражных художественных стереофильмов.

По каждому артефакту была подготовлена выборка из стереокадров, предположительно содержащих заданное искажение (644 для поворота между ракурсами, 586 для несоответствия по масштабу, 1003 для несоответствия резкости, 638 для вертикального сдвига между ракурсами).

Для геометрических артефактов создавалось 3 варианта областей, для несоответствия резкости — одна область. Участникам эксперимента предлагалось проверить наличие искажения в кадре и выбрать либо одну из предложенных областей, где искажение заметно больше всего, либо создать свою собственную область,

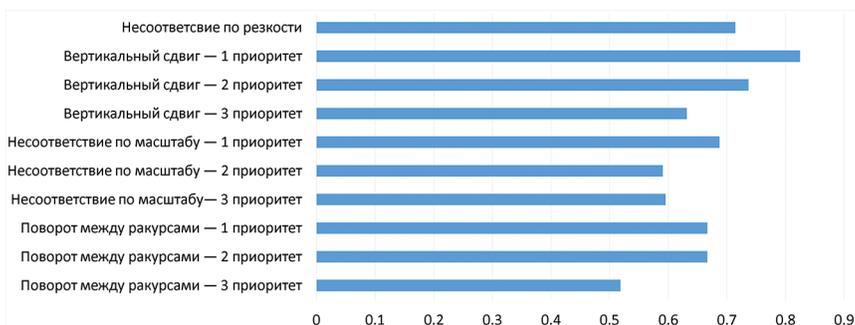


Рис. 2. Процент подходящих областей для каждого типа искажений и для каждого приоритета

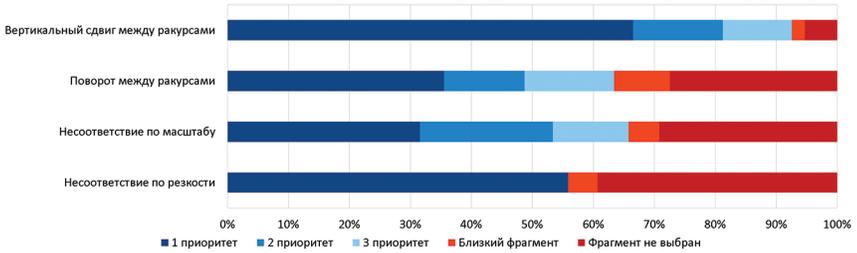


Рис. 3. Результаты работы алгоритма при анализе 150 полнометражных художественных стереофильмов

содержащую искажение. Результаты тестирования алгоритмов приведены на рис. 3.

Базовая версия алгоритма использовалась при анализе стереофильмов VIII Международного 3D-стерео кинофестиваля 2017 года. Как и в случае 150 полнометражных стереофильмов, была создана выборка из кадров (45 для поворота между ракурсами, 84 для несоответствия по масштабу, 197 для несоответствия по резкости, 188 для вертикального сдвига между ракурсами). Результаты тестирования алгоритмов приведены на рис. 4.



Рис. 4. Результаты работы алгоритма при анализе стереофильмов VIII Международного 3D-стерео кинофестиваля 2017 года

Таким образом, алгоритм определения наиболее заметных областей искажения позволил существенно сократить участие экспертов в процессе разметки кадров, следовательно, сократить и время, необходимое для проведения анализа качества стереофильма.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для упрощения процесса определения визуальной заметности экспертами искажений предложен алгоритм, позволяющий в автоматическом режиме находить области стереокадров, содержа-

щих наиболее существенные искажения между ракурсами. Проведена оценка работы алгоритмов на валидационной выборке из 4 фильмов. Базовые алгоритмы встроены в систему оценки качества стереофильмов VQMT3D, на их основе проанализированы 150 полнометражных художественных стереофильмов и стереофильмы — участники VIII Международного 3D-стерео кинофестиваля 2017.

Одним из направлений развития данной работы является адаптация разработанных алгоритмов для других типов искажений, возникающих как при стереосъёмке, так и при конвертации видео в стереоформат. Разработанные методы можно совместить с существующими методами оценки дискомфорта при просмотре стереоскопического видео, что делает возможным локализацию наиболее дискомфортных искажений.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Чафонова В.Г., Газеева И.В., Тихомирова Г.В. Автоматический контроль и цифровая коррекция масштаба и взаимного поворота изображений стереопары // Компьютерная оптика. 2016. Т. 40. № 1.
2. Antsiferova A., Vatolin D. The influence of 3d video artifacts on discomfort of 302 viewers // 3D Immersion (IC3D), 2017 International Conference on / IEEE. 2017. P. 1–8.
3. Are audiences tiring of 3D movies? <https://stephenfollows.com/audiences-tiring-of-3d-movies>. Дата обращения: 26.03.2018.
4. Canny J. A computational approach to edge detection // Readings in Computer Vision. Elsevier, 1987. P. 184–203.
5. Dai Y., Liu D., Wu F. A convolutional neural network approach for post-processing in hevc intra coding // International Conference on Multimedia Modeling /Springer. 2017. P. 28–39.
6. Derpanis K.G. Mean shift clustering // Lecture Notes. 2005.
7. Egnal G., Wildes R.P. Detecting binocular half-occlusions: Empirical comparisons of five approaches // IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence. 2002. Vol. 24. No 8. P. 1127–1133.
8. Fischler M.A., Bolles R.C. Random sample consensus: a paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography // Readings in computer vision. Elsevier, 1987. P. 726–740.

9. Huynh-Thu Q., Le Callet P., Barkowsky M. Video quality assessment: From 2d to 3d-challenges and future trends // Image Processing (ICIP), 2010. 17th IEEE International Conference on / IEEE. 2010. P. 4025–4028.
10. Khaustova D., Fournier J., Wyckens E., Le Meur O. An objective method for 3d quality prediction using visual annoyance and acceptability level // Stereoscopic Displays and Applications XXVI / International Society for Optics and Photonics. 2015. Vol. 9391. P. 93910P.
11. Liu F., Niu Y., Jin H. Casual stereoscopic photo authoring // IEEE Transactions on Multimedia. 2013. Vol. 15. No 1. P. 129–140.
12. Li Z., Aaron A., Katsavounidis I. et al. Toward a practical perceptual video quality metric // The Netflix Tech Blog. 2016. Vol. 6.
13. Simonyan K., Grishin S., Vatolin D., Popov D. Fast video super-resolution via classification // Image Processing, 2008. ICIP 2008. 15th IEEE International Conference on / IEEE. 2008. P. 349–352.
14. Vatolin D., Bokov A., Dolganov S. et al. VQMT3D project stereo-film-quality analysis report 9. <http://www.compression.ru/video/vqmt3d/report9/>. Дата обращения: 15.04.2018.
15. Video Quality Measurement Tool 3D Project. <http://compression.ru/video/vqmt3d/>. Дата обращения: 15.04.2018.
16. Voronov A., Vatolin D., Sumin D. et al. Towards automatic stereo-video quality assessment and detection of color and sharpness mismatch // 3D Imaging (IC3D), 2012 International Conference on / IEEE. 2012. P. 1–6.
17. Zilly F., Müller M., Eisert P., Kauff P. Joint estimation of epipolar geometry and rectification parameters using point correspondences for stereoscopic tv sequences // Proceedings of 3DPVT. 2010.

*Denis S. Kondranin, Dmitriy S. Vatolin*

**DEVELOPMENT OF DISTORTION AREA HIGHLIGHTING METHOD FOR STEREOSCOPIC VIDEO CONTAINING GEOMETRIC INCONSISTENCES OR SHARPNESS MISMATCH**

Denis S. Kondranin

E-mail: [denis.kondranin@graphics.cs.msu.ru](mailto:denis.kondranin@graphics.cs.msu.ru)

Lomonosov Moscow State University

Dmitriy S. Vatolin, PhD (Physics and Mathematics)

E-mail: dmitriy@graphics.cs.msu.ru

Lomonosov Moscow State University

When shooting 3D video the quality of the content is mainly determined by the camera's calibration. Due to such calibration errors, geometric distortions and sharpness mismatch between frames may occur. The investigation and analysis of such distortions are usually performed partially automatically, with the subsequent expert evaluation of the visibility of detected distortions, which take up a lot of time. In this paper, an algorithm is described that makes it possible to automate the process of extracting the fragments of a 3D frame containing the most noticeable geometric distortions and sharpness mismatch.

**Key words:** stereoscopic video, quality assessment, visualization creation, geometric inconsistencies, sharpness mismatch.

## REFERENCES

1. Chafonova V.G., Gazeeva I.V., Tikhomirova G.V. Avtomaticheskii kontrol' i tsifrovaya korrektsiya masshtaba i vzaimnogo povorota izobrazhenii stereopary // Komp'yuternaya optika. 2016. Vol. 40. No 1.

2. Antsiferova A., Vatolin D. The influence of 3d video artifacts on discomfort of 302 viewers // 3D Immersion (IC3D), 2017 International Conference on / IEEE. 2017. P. 1–8.

3. Are audiences tiring of 3D movies? <https://stephenfollows.com/audiences-tiring-of-3d-movies>. Data obrashcheniya: 26.03.2018.

4. Canny J. A computational approach to edge detection // Readings in Computer Vision. Elsevier, 1987. P. 184–203.

5. Dai Y., Liu D., Wu F. A convolutional neural network approach for post-processing in hevC intra coding // International Conference on Multimedia Modeling /Springer. 2017. P. 28–39.

6. Derpanis K.G. Mean shift clustering // Lecture Notes. 2005.

7. Egnal G., Wildes R.P. Detecting binocular half-occlusions: Empirical comparisons of five approaches // IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence. 2002. Vol. 24. No 8. P. 1127–1133.

8. Fischler M.A., Bolles R.C. Random sample consensus: a paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography // Readings in computer vision. Elsevier, 1987. P. 726–740.

9. Huynh-Thu Q., Le Callet P., Barkowsky M. Video quality assessment: From 2d to 3d-challenges and future trends // Image Processing (ICIP), 2010. 17th IEEE International Conference on / IEEE. 2010. P. 4025–4028.
10. Khaustova D., Fournier J., Wyckens E., Le Meur O. An objective method for 3d quality prediction using visual annoyance and acceptability level // Stereoscopic Displays and Applications XXVI / International Society for Optics and Photonics. 2015. Vol. 9391. P. 93910P.
11. Liu F., Niu Y., Jin H. Casual stereoscopic photo authoring // IEEE Transactions on Multimedia. 2013. Vol. 15. No 1. P. 129–140.
12. Li Z., Aaron A., Katsavounidis I. et al. Toward a practical perceptual video quality metric // The Netflix Tech Blog. 2016. Vol. 6.
13. Simonyan K., Grishin S., Vatolin D., Popov D. Fast video super-resolution via classification // Image Processing, 2008. ICIP 2008. 15th IEEE International Conference on / IEEE. 2008. P. 349–352.
14. Vatolin D., Bokov A., Dolganov S. et al. VQMT3D project stereo-film-quality analysis report 9. <http://www.compression.ru/video/vqmt3d/report9/>. Data obrashcheniya: 15.04.2018.
15. Video Quality Measurement Tool 3D Project. <http://compression.ru/video/vqmt3d/>. Data obrashcheniya: 15.04.2018.
16. Voronov A., Vatolin D., Sumin D. et al. Towards automatic stereo-video quality assessment and detection of color and sharpness mismatch // 3D Imaging (IC3D), 2012 International Conference on / IEEE. 2012. P. 1–6.
17. Zilly F., Müller M., Eisert P., Kauff P. Joint estimation of epipolar geometry and rectification parameters using point correspondences for stereoscopic tv sequences // Proceedings of 3DPVT. 2010.