

Мир Кино

ТЕХНИКИ

ОКТАБРЬ–ДЕКАБРЬ | 4(26)-2012 |

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ | ОАО «НИКФИ» | ООО «ИПП «Куна» | Подписной индекс: 81923 в каталоге Роспечати



О КОЛИЧЕСТВЕ
ОПОРНЫХ
ПЛОСКОСТЕЙ
В ЗАЭКРАННОМ
ПРОСТРАНСТВЕ
ЦИФРОВОГО
СТЕРЕОИЗОБРАЖЕНИЯ

ИССЛЕДОВАНИЕ
АРТЕФАКТОВ
В СТЕРЕОКИНО

ОДНОШАГОВАЯ
АХРОМАТИЧЕСКАЯ
ПРОПУСКАЮЩАЯ
ОБЪЁМНАЯ
ГОЛОГРАММА

ШИРОКОЭКРАННЫЕ
СИСТЕМЫ
КИНЕМАТОГРАФА

ЭТАПЫ
РАЗВИТИЯ
ИЗОБРАЗИТЕЛЬНОЙ
ГОЛОГРАФИИ

№ 26 СОДЕРЖАНИЕ



стр. 7

Вопросы теории

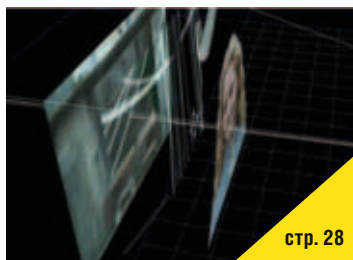
С.Н. Рожков, С.Д. Хетлерович О количестве опорных плоскостей в заэкранном пространстве цифрового стереокиноизображения	2
--	----------



стр. 20

Доклады

М.К. Шевцов Этапы развития изобразительной голографии и её современное состояние	7
Р. Баканас, С. Захаровас, А. Николский, Д. Бразертон-Рэдклифф Одношаговая ахроматическая пропускающая объёмная голограмма, изготовленная при помощи цифрового принтера с использованием 440 нм импульсного лазера	11



стр. 28

Технологии

О.Н. Раев Эффект отжимающего действия рамки при демонстрации цифровых стереофильмов	15
---	-----------

А.А. Чертихин, А.И. Винокур Использование алгоритма поиска ключевых точек в информационной системе, обеспечивающей стабильность кадра при оцифровке архивных киноматериалов	20
---	-----------

С.А. Ноздрачёв, И.Л. Артюшина, А.И. Винокур Алгоритм согласования динамических диапазонов в информационных системах обработки изображений	25
---	-----------

А. Воронов, В. Нападовский, А. Борисов, Д. Ватолин Исследование артефактов в стереокино и примеры анализа кинокартин	28
--	-----------



стр. 35

Страницы истории кино

Н.А. Майоров Широкоэкранные системы кинематографа (окончание)	35
---	-----------

Требования для публикации научных статей в журнале «МИР ТЕХНИКИ КИНО»

1. Статья представляется на электронном носителе, либо по почте Kevin@paradiz.ru, объёмом не более 40 000 знаков.
2. Рисунки должны быть отдельно в JPG или TIF с разрешением не менее 300 dpi.
3. Статьи должны содержать (на русском и английском языках):
 - название;
 - аннотацию (краткую);
 - ключевые слова.
4. С авторами заключается лицензионное соглашение на публикацию.
5. Плата с аспирантов за публикацию не взимается.

Электронная версия www.elibrary.ru

Подписной индекс Роспечать: № 81923

Научно-технический журнал «Мир Техники Кино»
Выходит 4 раза в год
Издатель: ООО «ИПП «КУНА»
Учредители: ОАО «НИКФИ», ООО «ИПП «КУНА»
при поддержке Министерства культуры Российской Федерации

Руководитель проекта:
Костылев Олег Юрьевич
Главный редактор:
Индлин Юрий Александрович, к.т.н.
Выпускающий редактор:
Захарова Тамара Владимировна
Арт-директор, оформление обложки:
Шишкин Владимир Геннадьевич
Вёрстка и дизайн:
Аверина Наталия Владимировна
Корректор:
Сайкина Наталья Владимировна

Редакционный совет:
Комар В.Г., проф., д.т.н., ОАО «НИКФИ»
Белоусов А.А., проф., д.т.н., СПбГУКИТ
Тихомирова Г.В., проф., д.т.н., СПбГУКИТ
Сакварелидзе М.А., д.х.н., МКВИ
Тимофеев А.Е., к.т.н., ОАО «НИКФИ»
Перегудов А.Ф., к.т.н., СПбГУКИТ
Блохин А.С., к.т.н., ОАО «НИКФИ»
Барский И.Д., к.т.н., МКВИ
Одиноков С.Б., д.т.н., МГТУ им. Н.Э. Баумана
Раев О.Н., к.т.н., МКБК
Волков А.С., Министерство культуры РФ

Отпечатано в ООО «ИПП «КУНА»
Объём 5,5 п.л. Заказ № 1705.
Тираж 600 экземпляров.

Свидетельство о регистрации
СМИ-ПИ № ФС77-28384 от 23 мая 2007 года.

Перепечатка материалов осуществляется только с разрешения редакции, ссылка на журнал обязательна. Редакция не несёт ответственности за достоверность сведений о рекламе и объявлениях. Мнение редакции и рецензентов не всегда совпадает с точкой зрения авторов статей.

www.mtk-magazine.ru, e-mail: kevin@paradiz.ru
телефон (факс): +7 (495) 795-02-99, 795-02-97



О КОЛИЧЕСТВЕ ОПОРНЫХ ПЛОСКОСТЕЙ В ЗАЭКРАННОМ ПРОСТРАНСТВЕ ЦИФРОВОГО СТЕРЕОКИНОИЗОБРАЖЕНИЯ



С.Н. Рожков, ОАО «НИКФИ», С.Д. Хетлерович, «Hive studio»

Аннотация

Рассмотрены особенности формирования массива стереоскопически различаемых планов (опорных плоскостей) в стереокиноизображении. Показано, что структура горизонтальных параллаксов в стереопаре, воспринимаемых зрительной системой, носит субпиксельный характер и что дискретность фактуры ПЗС-матрицы не ограничивает число опорных плоскостей в заэкранном пространстве количеством пикселей в горизонтальном отрезке, равном параллаксу бесконечности.

Ключевые слова: цифровой стереокинематограф, стереоскопическое киноизображение, стереоскопическое восприятие, порог стереоскопического зрения, параллакс бесконечности, опорные плоскости, субпиксельный параллакс.

ABOUT QUANTITY OF BASIC PLANES
IN THE BEHIND-THE-SCREEN SPACE OF DIGITAL
STEREO CINEMA IMAGE

S. Rozhkov, S. Hettlerovic

Abstract

The features of the formation of an array of stereoscopically distinguishable planes (basic planes) in a stereo image of digital cinema are considered. It is shown that the structure of the horizontal parallaxes in stereo pair, perceived by visual system, has subpixel character and that discreteness of CCD matrix texture does not limit the number of basic planes in space behind the screen by the quantity of pixels in the horizontal segment equal to a parallax of infinity.

Keywords: digital stereo-cinema, stereoscopic cinema image, stereoscopic perception, threshold of stereoscopic sight, infinity parallax, basic planes, subpixel parallax.

■ В естественных условиях, оценивая рельефность объектов и их взаимное расположение, человек не задумывается о том, каким образом действуют зрительные механизмы этой оценки и как, в зависимости от условий рассматривания, влияют на эту оценку бинокулярные и монокулярные факторы пространственного зрения.

Знакомые объекты обычно воспринимаются рельефными, но в ряде случаев оценка оказывается неверной. В качестве примера можно привести «картонных» сотрудников автоинспекции, устанавливаемых на обочинах дорог. Водители, не соблюдающие скоростной режим, издалека принимают их за реальных, объёмных, и сни-

жают скорость, распознавая подмену только на близком расстоянии. Такого рода примеры свидетельствуют о том, что роль бинокулярных факторов в визуальной оценке степени рельефности объектов и их взаимного расположения в пространстве может быть преобладающей только на ограниченных расстояниях. С увеличением дистанции до рассматриваемых объектов роль монокулярных факторов в восприятии пространственной картины постепенно возрастает, а роль бинокулярных снижается.

Максимально возможное расстояние, в пределах которого бинокулярные факторы ещё действуют, ограничено радиусом стереоскопического зрения. Его величина однозначно связана с порогом стереоскопического зрения – минимальной различимой разницей в удалении двух точек, измеряемой в угловых секундах:

$$R_{sv} = \frac{B_v}{tg\Delta\alpha_0} \quad (1)$$

где: R_{sv} – радиус стереоскопического зрения;
 B_v – базис зрения;
 $\Delta\alpha_0$ – порог стереоскопического зрения.

Величина порога стереоскопического зрения, который используется офтальмологами как показатель остроты стереоскопического зрения, зависит как от индивидуальных свойств зрительной системы и состояния наблюдателя, так и от условий, в которых производится определение этого показателя.

Для большинства людей с нормальным стереоскопическим зрением радиус стереозрения в естественных условиях при ясной погоде в дневное время составляет 350÷1500 м. Эти величины соответствуют порогам стереозрения 40" и 10" [3].

Количество стереоскопически различаемых планов в естественном пространстве можно определить, зная порог стереозрения и расстояние до плоскости сравнения.

Из рис. 1, а следует, что количество опорных плоскостей в диапазоне расстояний от плоскости сравнения до бесконечности можно определить по формуле:

$$N = \frac{\alpha - \Delta\alpha_0}{\Delta\alpha_0} \quad (2)$$

где: N – количество опорных плоскостей;
 α – угол конвергенции при рассматривании точки, лежащей на плоскости сравнения.

Величина угла конвергенции при рассматривании точки K на плоскости сравнения определяется соотношением:

$$\alpha = \arctg \frac{B_v}{L_k} \quad (3)$$

где: B_v – базис зрения,
 L_k – расстояние до плоскости сравнения.

Количество опорных плоскостей в условиях кинозала оценивают в диапазоне параллакса на экране от нуля

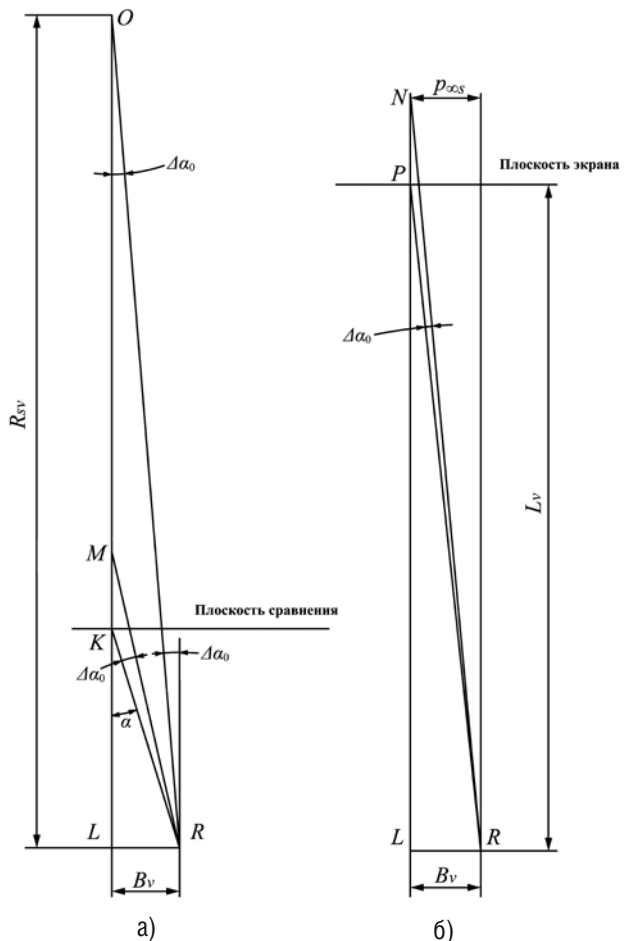


Рис. 1. Определение количества стереоскопически различаемых планов (опорных плоскостей) а – в естественном пространстве от плоскости сравнения до ∞ , б – в условиях кинозала в заэкранном пространстве: L – положение левого глаза; R – положение правого глаза; B_v – базис зрения; $\Delta\alpha_0$ – порог стереоскопического зрения. На рис 1, а: R_{sv} – радиус стереоскопического зрения; K – точка на плоскости сравнения; M – ближайшая более дальняя стереоскопически различаемая точка; α – угол конвергенции при рассматривании точки на плоскости сравнения; O – точка на расстоянии радиуса стереоскопического зрения. На рис. 1, б: L_v – расстояние от глаз до плоскости экрана; P – точка на плоскости экрана; N – ближайшая более дальняя стереоскопически различаемая точка; $p_{\infty s}$ – экранный параллакс бесконечности.

до параллакса бесконечности, то есть в заэкранном пространстве. Это количество зависит от разрешающей силы [2] сквозного стереокинематографического процесса (начиная с условий формирования стереопары и заканчивая способами и условиями её предъявления) и величины порога стереоскопического зрения, определяемого как минимальная разница углов между зрительными осями, с которыми воспринимаются две точки: одна с нулевым параллаксом (точка P на рис. 1, б), другая – более дальняя точка N , сформированная на сте-

реопаре с соответствующим положительным параллаксом. Количество N опорных плоскостей определяется соотношением:

$$N = \frac{\alpha}{\Delta\alpha_0} \quad (4)$$

где: α – угол конвергенции при рассматривании точки на плоскости экрана,
 $\Delta\alpha_0$ – порог стереоскопического зрения в условиях кинозала.

Порог стереоскопического зрения в значительной степени зависит от характеристик зрительной системы наблюдателя. Для условий кинозала расчётную величину порога чаще всего принимали равной 30" [2, 3].

При оценке качества плёночных систем стереокинематографа количество опорных плоскостей в заэкранном пространстве в соответствии с [1] определялось соотношением:

$$N = Rp_\infty \quad (5)$$

где: N – количество опорных плоскостей за плоскостью нулевых параллакс;
 R – разрешающая сила системы стереокинематографа;
 p_∞ – параллакс бесконечности системы в стереопаре на киноплёнке.

В цифровом стереокинематографе при отображении на экране расчётных размеров кадров стереопары с разрешением 2К (для каждого кадра) на горизонтальный отрезок длиной 65 мм, соответствующий параллаксу бесконечности, проецируется двадцать пикселей, формирующих участок изображения левого ракурса, и двадцать пикселей правого. Имеет место мнение, что изменение горизонтального параллакса может быть только дискретным, с шагом в один пиксель, и по этой причине воспринимаемое смещение по глубине участков изображения в объёмно-пространственной картине также должно быть строго дискретным. А это означает, что количество заложенных в стереопаре положительных параллакс, и, соответственно, опорных плоскостей в заэкранном пространстве, не может быть более двадцати [4, 10]. В указанных работах утверждается также, что именно этой дискретностью объясняется «кулидность» в цифровом стереокинематографе.

В реальной стереопаре количество стереоскопически различаемых планов (не приводящих к возникновению эффекта кулидности) может сильно отличаться. С одной стороны, известно, что в дальних планах без переднеплановых объектов полная иллюзия стереоизображения достигается при одинаковой для всего изображения величине положительного параллакса, близкой к параллаксу бесконечности. С другой стороны, отмечено, что для предотвращения возникновения эффекта кулидности требовалось формирование значительного количества опорных плоскостей. В практике С. Хетлеровича, одного из авторов настоящей статьи, часто случалось, что при

конвертации плоскостных фильмов в стереоформат (перевод из 2D в 3D — основное направление деятельности «Hive studio») для некоторых планов двадцати опорных плоскостей оказывалось явно недостаточно, и возникал эффект кулидности. В таких случаях количество опорных плоскостей увеличивалось. Участвуя в конвертации американского фильма «Конан-варвар», чтобы обеспечить максимальную выразительность и естественность стереоизображения, для отдельных планов приходилось формировать до шестидесяти ступеней заэкранных параллакс.

Приведённое в работах [4, 10] утверждение не учитывает, что структура светового пучка, проходящего через объектив и формирующего изображение на ПЗС-матрице, непрерывна. И если весь световой пучок или его часть смещается в какую-либо сторону на долю пикселя, то изменяется распределение плотностей в пиксельной структуре отдельного участка изображения без изменения его интегральной плотности.

Последнее достигается благодаря использованию методов «антиалиасинга» (англ. antialiasing – сглаживание), позволяющих уменьшать влияние различных артефактов цифрового изображения, в том числе влияние эффекта ступенчатости, возникающего из-за дискретности структуры цифрового изображения [9, 11]. Если при формировании изображения на матрице граница между соседними участками проходит по пикселю, то опция краевого антиалиасинга сглаживает эффект ступенчатости границы, задавая плотность и цвет каждого пикселя в соответствии с пропорцией, в которой пограничные участки отображаются на данном пикселе.

На рис. 2 представлен круг диаметром 25 пикселей в четырёх различных положениях. Положение *a* – исходное. В положении *b* изображение круга смещено в горизонтальном направлении относительно исходного на 1/3 пикселя, в положении *b* – на 2/3 пикселя, в положении *г* – на 1 пиксель. Из рисунка видно, что характер изменения плотностей пикселей на контуре круга при субпиксельном смещении исходного изображения относительно матрицы изменяется соответственно степени сдвига, при этом изменяется и число пикселей в идентичных горизонтальных сечениях. В частности, видно, что в формировании горизонтальной диаметальной части круга в положении *b* участвуют 26 пикселей. В то же время характер распределения плотностей пикселей по контуру круга в положениях *a* и *г* идентичен.

Величину субпиксельного смещения участков плоскостного изображения можно измерять. Для этого используют методы, основанные на вычислении положения центра тяжести (по плотности) смещаемого участка изображения. В частности, установлено, что в цифровых измерительных системах, использующих стандартную ПЗС-матрицу, реально измерение положения центра тяжести изображения оптической марки с погрешностью на уровне тысячных долей пикселя [7]. При генерации тестовых изображений, отображаемых на экране мони-

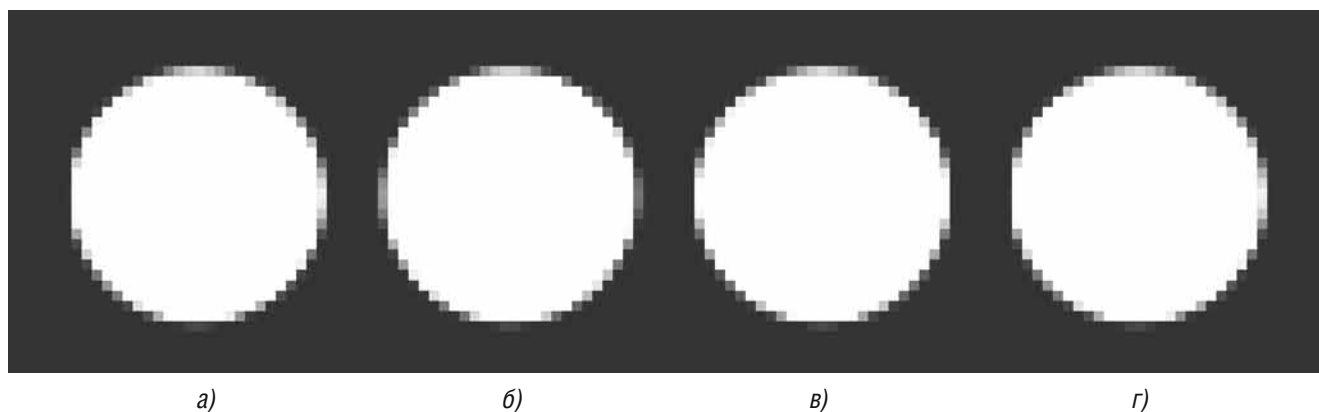


Рис. 2. Характер изменения плотностей пикселей на границах участка изображения объекта при его горизонтальном смещении относительно матрицы на дробное и целое число пикселей: а – исходное положение; б – смещение на 1/3 пикселя; в – смещение на 2/3 пикселя; г – смещение на один пиксель

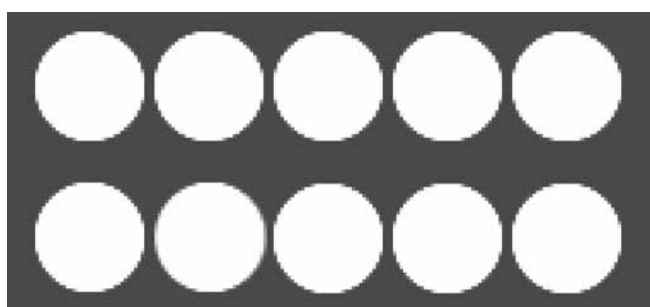


Рис. 3. Тестовые изображения левого (верхний ряд) и правого (нижний ряд) ракурсов стереопары с субпиксельным параллаксом одного из стимулов

тора для измерения остроты стереоскопического зрения, использовалось смещение зрительных стимулов на 1/20 долю пикселя [5].

Все приведённые выше литературные данные и примеры из реальной практики не согласуются с представлением, согласно которому количество воспринимаемых опорных плоскостей в стереокиноизображении ограничивается исключительно количеством пикселей на экране в горизонтальном отрезке, равном базису зрения.

Однако по стереокиноизображениям, в которых объёмно-пространственная картина оценивается на основе совокупности бинокулярных и монокулярных факторов пространственного зрения, определить количество стереоскопически различаемых планов невозможно. Такую задачу можно решить путём оценки тестовых стереоизображений, исключая влияние монокулярных факторов. В стереопарах таких тестов расположенные рядом плоскостные зрительные стимулы сформированы с различными субпиксельными параллаксами, что позволяет установить пороговые величины воспринимаемого взаимного удаления соседних стимулов и, исходя из этого, рассчитать количество опорных плоскостей в заэкранном пространстве.

С учётом изложенного выше было синтезировано несколько вариантов тест-изображений с различными

формами, размерами и взаимным расположением зрительных стимулов.

На рис. 3 показан пример построения тест-изображения, которое представляет собой пять зрительных стимулов в виде белых кругов на сером фоне. В изображениях левого ракурса расстояние между кругами принято постоянным для всех вариантов тест-изображений. В изображениях правого ракурса — два крайних круга и два из трёх центральных кругов (в различных сочетаниях) сформированы с неизменяемым нулевым параллаксом, а третий сформирован с положительным субпиксельным параллаксом. При таком построении любой из трёх кругов, представленный с параллаксом, отличным от нуля, всегда оказывался расположенным между двумя кругами с нулевым параллаксом. Диаметр кругов на рисунке составляет 32 пикселя, расстояние между кругами — 3 пикселя, второй круг слева в нижнем ракурсе смещён вправо на 0,3 пикселя. Такое смещение на рисунке можно различить. В стереоизображении на экране этот круг воспринимается дальше по отношению к соседним.

Для тестирования были синтезированы четыре группы однотипных тестовых изображений стереопар с идентичными зрительными стимулами в виде белых кругов диаметром 64 пикселя и яркостью 100% на равномерном сером фоне яркостью 30%. Просвет между кругами три пикселя. Величина параллакса для смещаемого стимула в пределах одной группы постоянна, отличается от параллакса другой группы в 1,25 раза и составляет, соответственно, 0,31, 0,25, 0,2 и 0,16 пикселя. В периферийной зоне изображения в зашифрованном виде помещена информация о номере круга с положительным параллаксом для оперативного контроля правильности оценки.

Тест-изображения синтезировались в программе Adobe After Effects с разрешением 1920x1080. Это означало, что при расчётной ширине экранного изображения 6,5 м на 65-мм отрезке укладывалось 19,2 пикселя.

Стереопары предъявлялись в DCP-формате в условиях кинозала. Для просмотра использовался зал № 8 московского кинотеатра «Октябрь». Стереопроекция осущест-

влялась по системе «Master image», предусматривающей использование пассивных поляризационных стереочков с циркулярной поляризацией. Размеры экранного изображения в процессе тестирования составляли 8,3x4,7 м.

Оценка изображений производилась с расстояний 8 и 18,5 м. Определялось, какой из тройки центральных стимулов воспринимается дальше, чем соседние два.

Выбранный вариант тест-изображения позволил обеспечить правильность визуальной оценки взаимного расположения стимулов в стереоизображениях для всех тестовых стереопар, в том числе тех, в которых один из кругов формировался с параллаксом 0,16 пикселя.

Зная величину p_s минимального воспринимаемого экранного параллакса, количество опорных плоскостей N можно определить по формуле:

$$N = \frac{p_{\infty s}}{p_s} \quad (6)$$

где: $p_{\infty s}$ – экранный параллакс бесконечности.

Если величину, равную 0,16 пикселя, принять за минимальный воспринимаемый параллакс, то количество стереоскопически различаемых планов в заэкранном пространстве окажется равным 120.

Условия эксперимента позволяют утверждать, что количество опорных плоскостей в экранном стереоизображении может быть увеличено за счёт таких факторов, как более высокая разрешающая сила сквозного стереокинематографического процесса, оптимизация светотехнических параметров стереокинопроекции, привлечение для оценки тест-изображений людей с повышенной остротой стереоскопического зрения и, разумеется, при использовании более совершенных тест-изображений с меньшими значениями параллаксов.

Нельзя не обратить внимание на утверждение, что число стереоскопически различаемых планов в заэкранном пространстве стереоизображения уменьшается с увеличением экранных изображений стереопары [4]. Объясняется это, исходя из положения, принятого за постулат, который, как показано выше, таковым являться не может.

В соответствии с этим положением число стереоскопически различаемых планов не может превышать количества пикселей в границах отрезка, равного базису зрения. И если для экрана шириной 6,5 м число опорных плоскостей в соответствии с этим положением не превышает 20, то для экрана шириной 13 м опорных плоскостей при ответственном увеличении экранных размеров пикселя должно быть не более 10. Но параллакс бесконечности, заданный в процессе стереокиносъёмки и заложенный в стереопаре, остаётся неизменным. Стереofilмы демонстрируются на экранах различных размеров без корректировки стереопараметров, и величина максимального экранного параллакса находится в прямо пропорциональной зависимости от ширины экрана. Ранее считалось, что при рассмотрении сопряжённых участков стереопары с положительными параллаксами, превышающими базис

зрения, обязательна дивергенция зрительных осей. Однако показано [6, 8], что возможности зрительной системы позволяют воспринимать в условиях кинотеатра стереоизображение с положительными параллаксами, увеличенными по сравнению с базисом зрения в три и более раз.

Отсюда следует, что утверждение, согласно которому зритель воспринимает в заэкранном пространстве только то количество стереоскопически различаемых планов («кулис»), которое «укладывается в глазной базе для выбранных параметров экрана» [4], неверно.

Выводы

В работе показано, что зрительная система воспринимает различия взаимного положения сопряжённых участков стереопары, сформированных с субпиксельными величинами горизонтальных параллаксов. Такие параллаксы формируются при двухобъективной цифровой стереосъёмке, при переводе плёночного стереокиноизображения в цифровое, при конвертации фильмов из плоскостного формата в стереоскопический и при иных способах создания цифровой стереопары. Это означает, что **структура параллаксов в стереопарах однозначно не связана с дискретностью фактуры ПЗС-матрицы. Количество стереоскопически различаемых планов, воспринимаемых в заэкранном пространстве, в реальности как минимум в шесть раз больше, чем количество пикселей в отрезке, равном параллаксу бесконечности.** ■

ЛИТЕРАТУРА

1. А.Г. Болтянский. Исследования искажений передачи пространственной модели в стереокино. Канд. дисс. М.: НИКФИ. 1958.
2. Н.А. Валюс. Стереоскопия. М.: Изд-во АН СССР, 1962.
3. Н.А. Валюс. Стереоскопия: фотография, кино, телевидение. М.: Искусство, 1986.
4. В.А. Елхов, Н.В. Кондратьев, Ю.Н. Овечкис, Л.В. Паутова. Особенности формирования объёмного изображения в цифровом стереоскопическом кинематографе. МТК № 20, с. 4–8, 2011.
5. R.S. Harwerth, P.M. Fredenburg, E.L. Smith. Temporal integration for stereoscopic vision // Vision Res. 2003. Vol. 43. P. 505–517.
6. В.Г. Комар, С.Н. Рожков, Д.Г. Чекалин. Необходимость нормирования параметров стереопары и стереопроекции с целью снижения зрительного дискомфорта в условиях кинозала. МТК № 24, с. 31–44, 2012.
7. А.Н. Королев, А.И. Гарцуев. «Исследование точности позиционирования изображения на ПЗС матрице», Измерительная техника. № 5, с. 20–22. 2004.
8. L. Lipton. Foundations of the stereoscopic cinema. A study in depth. New York et al.: VNB, 1982.
9. В.Н. Порев. Компьютерная графика: Изд-во «БХВ-Петербург», 2002.
10. О.Н. Раев. Дискретизация глубины изображения при цифровой стереосъёмке. МТК № 25, с.10–16, 2012.
11. <http://www.xserver.ru/wwwimg/mainlogo.gif> Антиалиасинг.



ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ ИЗОБРАЗИТЕЛЬНОЙ ГОЛОГРАФИИ и её современное состояние

(Доклад на 9-ой международной конференции «ГолоЭкспо-2012»
«Голография. Наука и практика», 17–21 сентября 2012, город Суздаль, Россия)

М.К. Шевцов, к.т.н., ВНЦ «ГОИ им. С.И. Вавилова», Санкт-Петербург



Истоки изобразительной голографии

В этом году исполняется пятьдесят лет со дня выхода научной статьи основоположника голографии в трёхмерных средах, академика РАН Юрия Николаевича Денисюка «Об отображении оптических свойств объекта в рассеянном им поле излучения», в которой был предложен способ регистрации волнового поля, рассеянного объектом когерентного излучения и последующего его восстановления в белом свете. По сути, эта статья положила начало развитию изобразительной голографии во всём мире, которая до сих пор активно развивается, и достижения в этой области из разных стран мира представлены на выставке «Художественная голография 2012».

В своей книге «Принципы голографии» Ю.Н. Денисюк детально изложил свои идеи получения объёмного изображения и предложил пути решения – регистрировать волновое поле рассеянного предметами излучения, в котором содержится вся информация об оптических свойствах предмета, а затем восстанавливать его в белом свете. Для реализации этой идеи необходимо, чтобы падающий на предмет свет и отражённый от него проинтерферировали, т.е. образовали в пространстве устойчивую структуру чередующихся поверхностей максимумов и минимумов световой волны, а затем зафиксировать эту картину интерференции в объёмной среде. Эта картина в

закодированном виде содержит всю информацию об отражённой волне. Декодировать её, т.е. восстановить, достаточно просто – осветить белым светом. В конце 50-х годов прошлого века ещё не было таких источников света, как лазеры, поэтому реализация этой идеи вызывала у многих большие сомнения. 3 декабря 1959 г. Ю.Н. Денисюк записал первую голограмму с ртутным источником света, которая, однако, не рассеяла сомнения научного сообщества в важности этого открытия и его перспектив. Но Юрий Николаевич, по собственному признанию, уже тогда понял, что, восстановив таким образом световую волну, идущую от предмета, можно будет увидеть этот предмет как реальный. В то время даже он не мог предположить, какие последствия повлечёт его открытие для человечества. Самое первое из них – изобразительная голография, которая с созданием лазеров стремительно распространилась по всему миру, стала развиваться самостоятельно как научное и прикладное направление, влияя на другие научные области и используя их последние достижения для собственного развития.

Термин голограмма был введён изобретателем голографии, лауреатом Нобелевской премии, английским учёным Денисом Габором ещё в 1948 году. Голограмма – это носитель светочувствительной среды, в которой регистрируется картина интерференции световых волн

в виде амплитудной или фазовой модуляции её оптических параметров. Для восстановления световой волны, отражённой от объекта, необходимо соответствующим способом осветить голограмму. Тогда голограмма преобразует падающий пучок света в тот, который шёл от объекта во время съёмки, и наблюдатель, глядя на голограмму, увидит реальный объект.

Основа изобразительной голографии – голограммы Ю.Н. Денисюка, относительно простые по записи и восстановлению, а главное – видимые в отражённом белом свете – они до сих пор остаются непревзойдёнными по степени реальности воспроизведения объёмного изображения, по тому «эффекту присутствия», который они создают. К изобразительной голографии можно отнести голограммы Лейта-Упатниекса, именно они впервые в 1962 году продемонстрировали объёмные голографические изображения, записанные лазером по так называемой внеосевой схеме записи (схема Лейта и Упатниекса) и восстанавливаемые в лазерном свете. Голограммы, записанные по методу С. Бентона (1968 г.), тоже могут воспроизводить объёмное изображение в белом свете, используя свойства рельефно-фазовой поверхности, что сейчас широко используется в защитных и декоративных целях. К изобразительным голограммам можно отнести и круговые голограммы Кросса (1977 г.), которые представляют собой синтез фотографии и радужной голографии. И, наконец, достижение последних лет – цифровые попиксельные голограммы объёмных и видео файлов, записанные на голографическом принтере и восстанавливающие объёмные, цветные, анимированные изображения в белом свете.

Первые шаги изобразительной голографии

С появлением лазерных источников света и первых голограмм, записанных с их помощью, во всём мире началось бурное развитие изобразительной голографии. Это касается оборудования для записи голограмм, регистрирующих сред и методов их обработки, лазерных источников света, а главное – применения. Над этим работали научные коллективы, конструкторские бюро и промышленные предприятия. Голографические центры образовались в Москве, Ленинграде, в столицах многих республик СССР – Киеве, Минске, Тбилиси, Алма-Ате, Кишинёве и других городах. В качестве источников света использовались в подавляющем большинстве He-Ne лазеры, излучающие красный свет на длине волны 622 нм. Голограммы записывались на галогенидо-серебряных фотопластинках лабораторного полива. Массивные оптико-механические элементы располагались на тяжёлых (до нескольких тонн) металлических или каменных плитах, которые размещались в подвалах с «развязанными» фундаментами и слоем автомобильных камер для амортизации (во время длительной экспозиции ни лазер, ни объект, ни фотопластинка, ни один элемент не должны были сместиться ни на микрон). Любое перемещение элементов схемы приводило к потере контраста полос интерференционной картины (понижение дифракцион-

ной эффективности голограмм) или вовсе к их отсутствию, а значит, и отсутствию изображения.

Направления развития изобразительной голографии

Освоив процесс получения голограмм, разобравшись в проблемах, которые перед ней стоят, учёные, а именно в научных организациях проводились исследования, планомерно приступили к их решению. Как и для других научных открытий, главной задачей стало найти применение голографии, в том числе и изобразительной. В первую очередь изобразительная голография нашла применение в музейном деле для создания голографических копий музейных объектов, что, кстати, остаётся актуальным и до сих пор. Самые известные музеи страны в Москве, Ленинграде, Киеве, Минске, Тбилиси предоставляли объекты для записи голограмм своих объектов. Особенно успешным это направление получило развитие на Украине благодаря усилиям Владимира Маркова и его сподвижников из института физики Украинской Академии наук. Большой вклад в развитие этого направления изобразительной голографии внесли сотрудники Государственного оптического института им. С.И. Вавилова под руководством Ю.Н. Денисюка (лаборатория изобразительной голографии, рук. М.М. Ермолаев), НИКФИ при участии Г.А. Соболева и О.Б. Серова, института физики АН БССР во главе с Л.В. Таниным, и многие другие лаборатории. В НПО «Платан» (Фрязино) под руководством В.А. Ванина было организовано промышленное производство голограмм. Повсеместно стали организовываться выставки, которые пользовались огромным успехом.

Дальнейшее развитие голографии связывалось с решением проблем получения голограмм большого размера, повышения яркости голограмм, записи голограмм живых объектов, записи цветных голограмм, повышения чувствительности фотоматериалов, а также с модернизацией самих голографических установок, которые в первоначальном виде было невозможно транспортировать в музеи и другие места съёмки. Все годы, прошедшие с момента открытия голографии, научные коллективы во всём мире работали над решением этих и других задач, стоящих перед голографией. Этот процесс продолжается до сих пор, поскольку расширение возможностей изобразительной голографии, улучшение качества голограмм связаны с использованием последних достижений науки в смежных областях, о чём будет рассказано далее.

Лазеры

Увеличение размеров голограмм напрямую зависит от мощности лазеров. В конце 70-х годов появились мощные непрерывные ионные газовые лазеры фирмы Spectra Physics и Coherent, которые обладали необходимыми свойствами для голографии. С их помощью удалось существенно сократить время экспозиции и увеличить размер голограмм, которые достигли характерного размера 1 кв. м. Кроме того, стало возможным получать голограммы и на таком малочувствительном материале, как

бихромированный желатин, отличающийся повышенной яркостью, и на других малочувствительных материалах. Сейчас на смену газовым лазерам в голографии приходят непрерывные твёрдотельные и полупроводниковые лазеры, имеющие ряд преимуществ перед газовыми – компактность, экономичность, отсутствие водяного охлаждения и долгий срок службы. Это позволяет конструировать новое оборудование, начиная от школьных приборов для записи голограмм и заканчивая профессиональными мобильными установками для цветной голографии. А применение когерентных импульсных лазеров позволило осуществить прорыв изобразительной голографии в животный и растительный мир, помогло изобразительной голографии использовать цифровые технологии.

Импульсная голография

Успешно овладев техникой записи голограмм стационарных объектов – из металла, стекла, камня, голография не давала возможности записывать объекты из мягких материалов, флору и фауну, портреты людей. Данная задача была решена с помощью внедрения импульсных лазеров, использования соответствующих фотоматериалов и методов съёмки. Длительность лазерного импульса порядка нескольких десятков наносекунд снимает ограничение на стабильность объектов во время съёмки, и уже нет необходимости в массивных голографических установках. При этом картина интерференции обычно записывается по схеме Лейта-Упатниекса, с последующим копированием голограмм для получения отражательной копии. Причём копирование может производиться как в непрерывном режиме работы лазера, так и в импульсном, а голографическое изображение можно вынести вперёд или сделать многоракурсным. Такие голограммы представлены на выставке. Импульсные голографические установки уже могут быть компактными и производить съёмку прямо в музеях или других местах расположения объектов, например, в зоопарках для записи голограмм животных. Такая голографическая мобильная камера «ГРИФ» была создана в ГОИ (Золотая медаль Брюсселя 2001 г.), которая способна записывать и голографические портреты. Голографический портрет является по существу носителем информации о свете, отражённом человеком при лазерной вспышке. В отличие от фотографии, голограмма имеет гораздо большее разрешение и может передать тончайшие детали объекта, что для портрета часто бывает избыточным. Если к этому добавить потерю цвета при съёмке (голографический портрет монохромный), то вид человека на портрете весьма непривычный для человеческого глаза и не всегда вызывает положительные эмоции. Сделать художественный голографический портрет – большое искусство. Тем не менее, в мире сделано огромное количество голографических портретов самых известных людей – артистов, спортсменов, политических деятелей, даже президентов, таких как, например, президент США Р. Рейган. В Санкт-Петербурге была подготовлена и проводилась выставка голографических

портретов «Люди, которые делают Петербург великим», где демонстрировались портреты знаменитых артистов, музыкантов, учёных города.

Фотоматериалы

В голографии фотоматериалы играют решающую роль. Благодаря голографии направление «Регистрирующие среды» вылилось в отдельное научное направление и стало развиваться самостоятельно. Для изобразительной голографии основным материалом служат галогенидо-серебряные среды. Именно наличие промышленного производства фотографических пластинок и плёнок в компании Агфа на Западе и в Советском Союзе в НПО «Славич» определило широкое распространение голографии. И если «Славич» выпускает фотопластинки для голографии до сих пор, то Агфа прекратила их выпуск ещё в прошлом веке, что сказалось на развитии голографии в Западных странах. Кроме «серебряных», существуют и «несеребряные» фотоматериалы, например, бихромированный желатин (БХЖ) – малочувствительная среда для записи голограмм в сине-зелёной области спектра. Голограммы, записанные на БХЖ, обладают высокой дифракционной эффективностью и прозрачностью. Несколько голограмм на БХЖ представлено на выставке. Особенно подходящей оказалась БХЖ для изготовления голографических брелоков, кулонов и других мелких изделий, промышленное изготовление которых было организовано во Фрязино. Самым серьёзным применением можно считать изготовление голограммных оптических элементов, в частности, HUD – head-up display для самолётов, а теперь уже и для автомобилей, хотя не всё в голографическом варианте.

По-настоящему прорыв в голографии, связанный с фотоматериалом, случился в 90-е годы прошлого века, когда фирма Дюпон выпустила на рынок фотополимерные фотоматериалы. Характерные особенности фотополимерной плёнки – высокая ДЭ, близкая к 100%, широкая спектральная чувствительность, отсутствие мокрой обработки. Голограммы на фотополимерном материале используются не только как трёхмерные картинки, но и как защитные элементы. А нынче немецкая фирма Байер объявила о создании своего собственного фотополимерного материала, который в ближайшем будущем тоже должен найти своё применение в защитных технологиях.

Наиболее важным для изобразительной голографии в последние годы в области регистрирующих материалов является разработка во Франции фотографического галогенидо-серебряного материала «Ultimate», который позволил сделать большой шаг в улучшении качества изображения, а главное, достичь прекрасных результатов в цветной голографии.

Цветная голография

Большой проблемой в изобразительной голографии является цвет. Если говорить о создании копии музейных объектов, то цвет просто необходим. И если с лазерами,

которые генерировали три длины волны из красной, зелёной и синей областей, вопросов давно нет, то с хорошими материалами для цветной голографии до сих пор существуют проблемы. Путь к полноцветной голографии был долгим, что связано, в первую очередь, с отсутствием соответствующего материала. Было много попыток сделать цветные голограммы «искусственным» способом – псевдоскопические голограммы, «окрашенные» голограммы, «сэндвич-голограммы», когда голограмма записывается на разных пластинках (даже на разных материалах) разными длинами волн, которые затем склеиваются, создавая цветное изображение, микропустотные голограммы и множество других. Сейчас появилось несколько регистрирующих фотоматериалов для цветной голографии – производства «Компании Славич» (Россия), фирмы «Color Holographics» (Англия), «Ultimate» (Франция), «Silver Cross» (Европа). Наиболее качественные цветные голограммы Денисюка записывают в Англии (Color Holographics) и во Франции (Ателье Ива Женте). Кстати, Ив Женте за свою цветную голограмму на «Ultimate» в 2000 году получил приз голографической организации IHMA за лучшую технологию. Высокая чувствительность материала «Ultimate», а также последнее поколение твёрдотельных непрерывных лазеров позволили сконструировать малогабаритную мобильную камеру для записи голограмм «in-situ». Основу камеры составляют полупроводниковые и твёрдотельные непрерывные лазеры, генерирующие когерентное излучение в красной ($\lambda=639$ нм), зелёной ($\lambda=532$ нм) и синей ($\lambda=473$ нм) областях спектра с мощностью 25, 50 и 40 мВт, соответственно. Лазеры отличаются своей долговечностью, стабильностью, отсутствием водяного охлаждения и компактностью, что позволило поместить оптическую схему голографической установки вместе с электронными блоками в один корпус размером (30x40x50) см и весом 12 кг. С помощью интерференционной оптики излучение от трёх лазеров сводится в один «белый» пучок света, который, проходя пространственный фильтр, освещает фотографическую пластинку и объект. Аналогичную камеру недавно сделали в Греции, в которой тоже используются фотопластинки «Ultimate». Испытания показали, что такие установки обладают достаточной стабильностью для записи высококачественных цветных голограмм размером до 30x40 см и позволяют обойтись без традиционной тяжёлой виброустойчивой плиты.

Цифровая голография

Подлинную революцию совершили цифровые технологии в изобразительной голографии. Благодаря работам Ю.Н. Денисюка и С. Бентона, заложившим физические основы технологии «holoprinting», в настоящее время в мире развивается попиксельная запись объёмного изображения из 3D компьютерных файлов. Эта технология требует решения широкого круга научно-технических задач, в число которых входит программное и компьютерное обеспечение оптических

расчётов, создание лазерных источников когерентного RGB излучения, изготовление интерференционной и поляризационной оптики, внедрение высокоточной программируемой механики, а также производство необходимого голографического панхроматического фотоматериала и обеспечение технологическими процессами его обработки. Результатом использования технологии «holoprinting» является плёночная голограмма, образованная тысячами элементарных отражательных голограмм (размером 0,5–1,6 мм), которая воссоздаёт объёмное, цветное, кинетическое, масштабируемое изображение размеров до нескольких квадратных метров. Запись может осуществляться непрерывными лазерами на фотополимерном материале (фирма «Zebra imaging», США) или импульсными лазерами на галогенидо-серебряных плёнках (фирма «Geola», Литва, Ателье Ива Женте, Франция и др.). Эти работы также представлены на выставке. Эта технология может иметь множество приложений в различных областях науки, техники, промышленности (особенно в области защитных технологий), искусстве и т.д.

Светодиодное освещение

Для восстановления голограмм в изобразительной голографии обычно используются галогенные лампы – точечные источники белого света. Результаты бурного развития ещё одного оптического направления – светодиодной техники – сулят ещё один скачок качества изобразительных голограмм, особенно в цветной голографии. Преимущества светодиодов перед галогенными лампами очевидны – узкий спектральный интервал, маленький размер источника, энергетическая экономичность, низкая температура самого источника, долговечность. Голограммы, восстановленные правильно подобранными светодиодными источниками света, дают яркое, чёткое по всей глубине, контрастное изображение. В настоящее время уже имеются светодиодные осветители голограмм, как для монохромных, так и для цветных голограмм, но процесс их конструирования находится в стадии развития, поскольку сама светодиодная технология и промышленность развиваются очень стремительно, регулярно предлагая более совершенные светодиодные источники. Последнее достижение Греческого института голографии (НИН) – система HOLOFOS, обеспечивающая отдельную регулировку каждого цвета при восстановлении голограммы с целью наиболее точного воспроизведения цветовой гаммы.

Заключение

Открытие изобразительной голографии сулило грандиозные перспективы в создании и использовании объёмного изображения. Время показало, что не все из них реализовались, но то, что сделано за эти годы, лишь подтверждает, что голография является перспективной основой многих инновационных проектов, реализация которых ждёт нас в ближайшее время. ■



ОДНОШАГОВАЯ АХРОМАТИЧЕСКАЯ ПРОПУСКАЮЩАЯ ОБЪЁМНАЯ ГОЛОГРАММА, изготовленная при помощи цифрового принтера с использованием 440 нм импульсного лазера

(Доклад на 9-ой международной конференции «ГолоЭкспо-2012»
«Голография. Наука и практика», 17–21 сентября 2012, город Суздаль, Россия)

Р. Баканас, ЗАО Геола Дигитал; С. Захаровас, А. Николский, Д. Бразертон-Рэдклифф,
ООО Геола Технологис, Литва

■ 1. Голограммы – защита первого уровня

Когда голограммы впервые начали использоваться в качестве элементов защиты бренда (например, уникальные книги, диски кинокартин) и защиты документов (например, картины художников), они логично были выбраны в качестве защиты первого уровня. Проверка устройства первого уровня подразумевает, что человек пользуется только чувствами, не прибегая к таким инструментам, как увеличительное стекло, источник ультрафиолета, ретро визуализатора, устройства для считывания бар-кода и т.п. [1]. В те времена было только несколько производителей защитных голограмм, поэтому эти голограммы широкая общественность воспринимала как уникальные идентификаторы с отличительными чертами.

В настоящее время голограммы слишком часто стали рассматриваться в качестве «блестящих наклеек»; как таковая изначальная уникальность использования голограмм была значительно утрачена. Современные голограммы изготовлены с применением сложных признаков, которые невозможно определить без специального оборудования, поэтому они больше не относятся к защите первого уровня – ведь сегодня любой блестящий кусок фольги с некоторым дизайном на разных изделиях воспринимается общественностью как голограмма.

2. Изображение цифровой голограммы как защита первого уровня

Изображение цифровой голограммы, произведённой по технологии Прямой Печати Цифровых Голограмм (DWDH), состоит из большого количества маленьких, обычно квадратной формы, простых голограмм. Этот процесс очень похож на то, каким образом в цифровой фотографии производится печать из набора пикселей. В цифровых голограммах эквивалент пикселя – хогель.

Хогель – очень маленькая голограмма, которая способна проецировать уникальный цветовой рисунок. Пиксель на фотографии производит примерно однородное изотропное отражение, которое несёт информацию только о своей уникальной яркости и цвете. С другой стороны, хогель способен проектировать информацию о яркости, угле отображения и цвете, которые меняются в вертикальной и горизонтальной плоскости проекции. Записывая каждый хогель, используются данные видов перспективы, взятые либо с виртуальной, либо с реальной камеры, также могут быть использованы трёхмерные сцены высокого разрешения. Это можно сравнить с обычной стереографией, но цифровая голография использует большее количество изображений перспективы, что позволяет создать трёхмерные изображения с большой глубиной и широким углом обзора. Важно отметить, что голограммы, созданные по технологии DWDH, могут быть записаны в один шаг, что позволяет эффективно записывать H2 голограммы без необходимости записывания H1 мастера. Плата за такое огромное удобство – пиксельная структура голограммы. Однако проделанная работа показывает, что такая структура может быть значительно смягчена, если размер хогеля достаточно мал. Кроме того, мы хотели бы подчеркнуть, что пиксельная структура хогелей – не то же самое, что мы наблюдаем в цифровой фотографии. На самом деле каждый хогель может состоять из более чем тысячи обычных фотографических пикселей, так, к примеру, цифровая голограмма размером 100x120 хогелей может содержать 12 (или более) миллионов фотографических пикселей!

На протяжении более двенадцати лет Геола работала над совершенствованием технологии Прямой Печати Цифровых Голограмм импульсным лазером, чтобы печатать полноцветные голограммы больших форматов до (1x1,8)

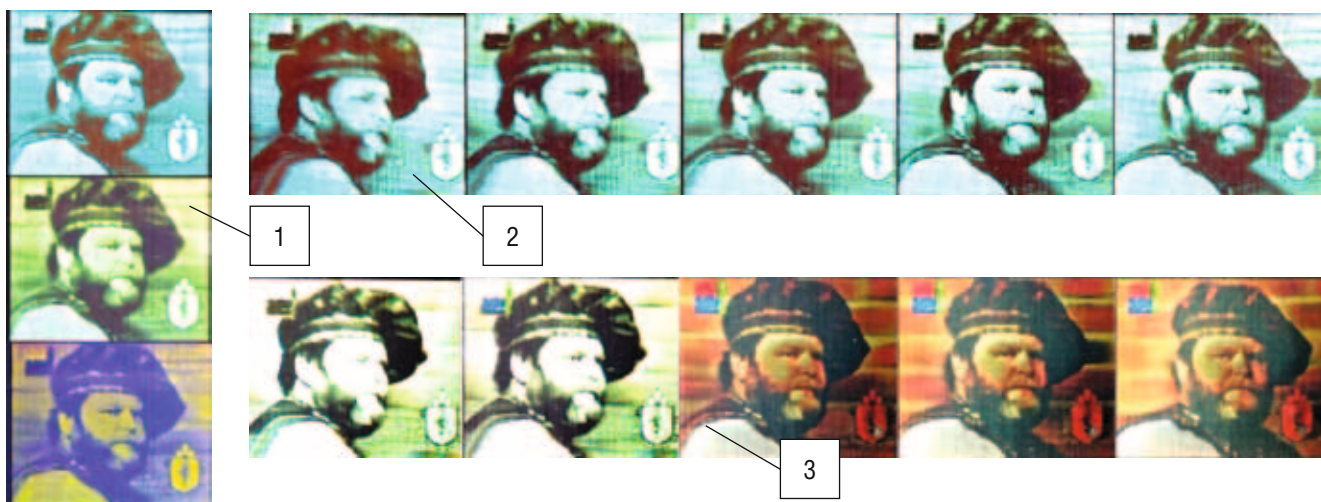


Рис. 1. Фотографии мастер-оригиналов, изготовленных Геолой на пластинах галогенида серебра: 1 – вид ахроматической голограммы с разных вертикальных углов обзора; 2 – вид ахроматической голограммы с разных горизонтальных углов обзора; 3 – вид ахроматической и полноцветной голограмм с разных горизонтальных углов обзора

м. Однако в последнее время мы производим небольшие голограммы, работающие на пропускание света, которые можно использовать в качестве мастер-оригиналов при производстве тиснёных защитных голограмм.

Цветные объёмные пропускные мастер-оригиналы голограмм Геолы имеют следующие особенности, которые отличают их от текущих защитных голограмм:

- Глубина изображения (до 1,5–2 от ширины голограммы).
- Цветовое соответствие на всём объёме изображения.
- Цветовое соответствие на широких вертикальных углах.
- Возможность получения полного ахроматического 3D изображения.
- Возможность получить сочетание полностью ахроматического и цветного 3D изображения на одной голограмме.
- Возможность получить полностью ахроматическое 3D изображение на цветном 3D изображении.

Эти явные особенности визуализации, вероятно, чрезвычайно привлекательны для широкой публики, а именно, в полиграфии. Таким образом, быстрая и удобная технология Прямой Печати Цифровых Голограмм должна рассматриваться как серьёзный кандидат, подходящий для продолжающейся борьбы с подделками. Внедряя результаты описанной технологии для полиграфии, можно смело задавать вопрос: почему бы не создать реально трёхмерную обложку популярных книг или нанести определённую трёхмерную картину на важные документы?

3. Производство пропускающих объёмных цифровых голограмм

3.1 Традиционная техника

Традиционный способ записи цифровой объёмной пропускной голограммы заключается в записи в два шага: первый – ахроматическая наклонённая H1 голо-

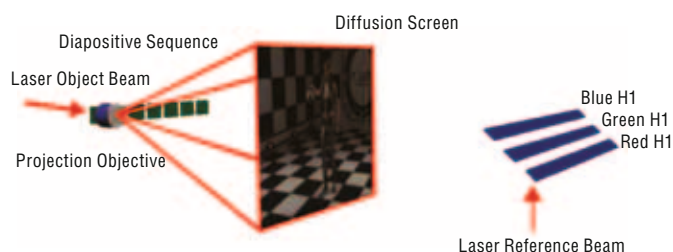


Рис. 2. Обычный путь записи ахроматического H1 мастера

грамма записывается с помощью данных из диапозитивов, изображающих 3D сцены с различных углов обзора. Одноцветный лазерный луч разделён на два: объектный луч и опорный. Объектный луч используется для проецирования изображения диапозитива на диффузный экран, изображение же состоит из трёх чёрно-белых линий (щелей), соответствующих красной, зелёной и синей составляющей информации. Все три линии проецируются на диффузный экран. Любые две вертикально разделённые точки на наклонном H1 будут соответствовать изображению на диффузном экране (рис. 2). В настоящее время вместо диапозитива для выведения цветных изображений 3D сцены используются ЖК экраны.

После производства пропускного мастера H1, он оптически переводится на видимую в дневном свете H2 пропускающую голограмму, используя одноцветный лазерный луч, разделённый на два: опорный и объектный (рис. 3) [4].

3.2 Цифровая технология

Чтобы записать H2 голограмму, при этом не записывая H1 голограмму, нужно проанализировать, какая именно информация записывает фоточувствительный материал при H1–H2 переносе.

Рассмотрим небольшой квадратный участок на H2 во время записи. Очевидно, что приходящее лазерное излучение от H1 модулируется узкими полосками мастер-голограммы S_R , S_G и S_B . При цифровой технологии у нас есть возможность удвоить количество излучения, попадающее на данный участок, путём кодирования соответ-

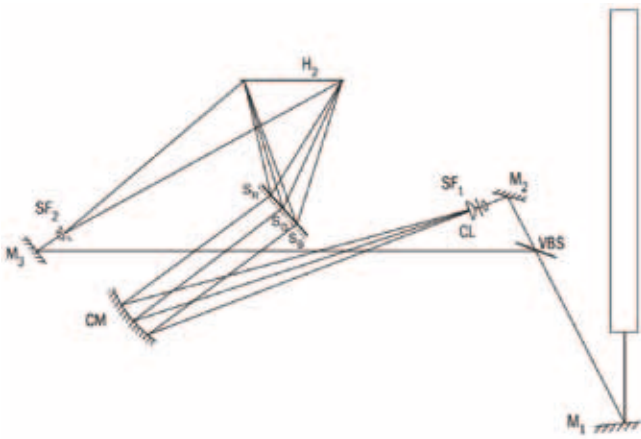


Рис. 3. Схема ахроматического H1-H2 переноса. SF1 имеет выпуклую цилиндрическую линзу CL для создания узкого пучка. Щелевые мастер-голограммы S_а (Красный H1), S_б (Зелёный H1) и S_в (Синий H1) могут быть успешно экспонированы, используя узкие лучи с CL или освещая все три мастера вместе одним широким лучом

ствующей информации об изображении непосредственно на ЖК модулятор (SLM) цифрового принтера.

В этом и есть суть нашего метода записи голограммы – для каждого небольшого участка на H2 мы вычисляем, какая информация будет «видна» во время H1–H2 переноса. Далее мы загружаем эту информацию (которая, конечно же, разная для каждого хогеля) в ЖК модулятор цифрового принтера. Объектный луч цифрового принтера проходит через ЖК модулятор и фокусируется на фоточувствительном материале, формируя квадратный хогель.

на той, что была бы во время аналогового оптического H1–H2 переноса, мы получаем изображение цифровой голограммы.

Схема оборудования, которое мы использовали во время записи цифровой пропускающей объёмной голограммы, используя процесс Прямой Печати Цифровых Голограмм, изображён на рис. 5. Нами использовался импульсный Nd:YAG лазер с длиной волны 440 нм. Излучение импульсного лазера разбито на два луча: объектный и опорный. Модулятор лазерного пучка формирует прямоугольную форму для обоих лучей таким образом, что они совместно освещают квадратный участок размером 250 мкм x 250 мкм (хогель) на фотопластине. Объектный луч формируется таким образом, чтобы он полностью освещал рабочую поверхность ЖК экрана. Далее ЖК дисплей модулируется перед тем как попасть на Фурье объектив, чтоб впоследствии интерферировать с опорным лучом на фотопластине 8. Фотопластина во время записи передвигается с постоянной скоростью по направлению 9. Когда же целая линия хогелей записана, фотопластина перемещается в направлении, перпендикулярном плоскости записи, на расстояние 250 мкм. Далее записывается следующая строка хогелей в обратном направлении.

При частоте лазера 30 Гц запись объёмной пропускающей цифровой голограммы размером (25x30) мм занимает около 25 минут. Химическая проявка пластины галогенида серебра занимает ещё 15 минут. При использовании фоторезиста, обработка (травление) пластины происходит всего за несколько секунд. Таким образом, техно-

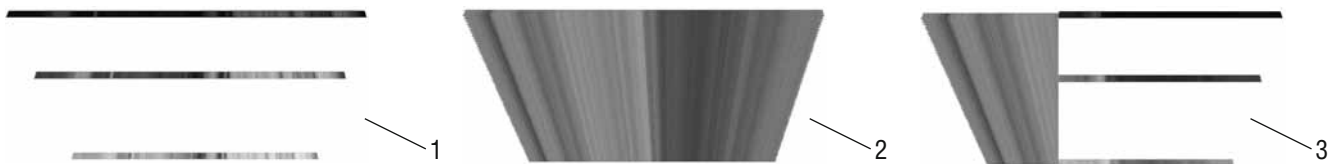


Рис. 4. Изображение, выводящееся на ЖК (SLM) цифрового принтера во время печати одного хогеля: 1 – для полноцветной голограммы; 2 – для полностью ахроматической голограммы (эффект «Радужной» голограммы отсутствует); 3 – для комбинированной полноцветно-ахроматической голограммы (с одной стороны голограмма выглядит полностью ахроматической, с другой – полностью полноцветной)

Рис. 4 показывает изображения, которые выводятся на SLM цифрового принтера для разных типов голограмм, которые мы записали при помощи 440 нм лазера на нашем цифровом принтере для пропускающих голограмм.

Изображения сверху разные для каждого хогеля и вычисляются из цифровых изображений 3D сцены, используя методы, упомянутые в разделе 2 и детально описанные в [5]. Вычисления производятся довольно быстро – для голограммы размером (25x30) мм вычисления занимают около минуты на современном портативном компьютере.

Когда вся площадь фоточувствительного материала покрывается хогелями, и каждый из этих участков «запомнил» информацию с ЖК экрана, которая идентич-

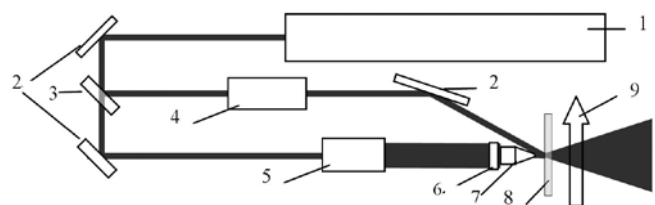


Рис. 5. Схема цифрового голографического принтера (DWDH) компании Геола: 1 - импульсный лазер 440 нм, 30 Гц, 40 нс; 2 - зеркала; 3 - делитель; 4 - преобразователь опорного луча; 5 - преобразователь объектного луча; 6 - жидкокристаллический экран (ЖК); 7 - объектив Фурье; 8 - фотопластина; 9 - направление движения пластины

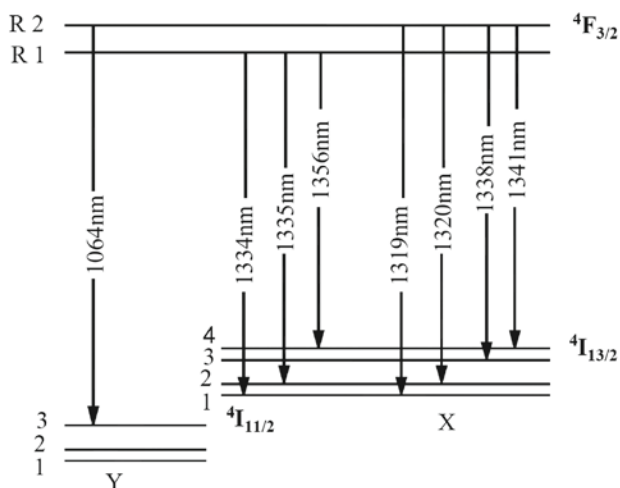


Рис. 6. Диаграмма уровней энергии перемещений Nd^{3+} иона в кристалле YAG[6]

логия Прямой Печати Цифровых Голограмм значительно быстрее, чем обычные технологии, как например оптическая H1–H2 или электронно-лучевая оригинация (e-beam).

4. Импульсный лазер 440 нм для голографических приложений

С 1998 года Геола развернула исследовательскую программу, ориентированную на применение лазерных источников в импульсной голографии. Когда эта программа только начиналась, не существовало коммерческих импульсных синих лазеров с характеристиками, пригодными для нужд голографии – к примеру, приемлемая форма луча, стабильность и достаточная длина когерентности. Кроме того, единственный реальный коммерческий источник красного света – рубиновый лазер, производящий слишком глубокое красное излучение на 694 нм. С 1998 года и на протяжении десятилетия Геола добилась значительного прогресса в реализации решений RGB импульсных лазеров для голографии. Эти лазеры в настоящее время в значительной степени удовлетворяют потребности изобразительной и защитной голографии.

Для записи одношаговых цифровых объемных пропускающих голограмм, описанных в этой статье, мы использовали 440 нм синий канал коммерческого RGB-ALFA лазера. Фундаментальная генерация 1319 нм рождается при переходе с $4F_{3/2}$ уровня на уровень $4I_{11/2}$ в кристалле неодим-иттрий-алюминиевого граната (Nd:YAG). Лазер ламповой накачки работал с частотой 30 Гц. Эта частота была подобрана таким образом, чтобы соответствовать частоте обновления ЖК микродисплея. Частота более 30 Гц также тестировалась и возможна. Фундаментальная генерация с длиной импульса $\tau = \sim 60$ ns далее конвертируется во вторую гармонику 660 нм при помощи трибората лития LiB_3O_5 (LBO)[7].

Третья гармоника 440 нм генерируется с помощью дополнительного кристалла трибората лития (LBO). Генерация синего цвета с длиной волны 440 нм представляет двухступенчатый процесс, за которым стоит генерация

двух гармоник. В первом нелинейном кристалле какая-то часть фракции на длине волны в 1319 нм перерабатывается во вторую гармонику, получая длину волны в 660 нм. В следующем (LBO) кристалле не преобразованная часть 1319 нм излучения смешивается со второй гармоникой, для получения третьей 440 нм гармоники.

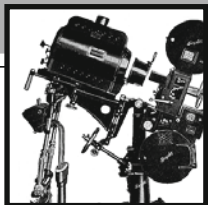
Выходная энергия синей гармоники в среднем излучается в регионе 3мДж (что в мощности на частоте повторения импульсов 30 Гц выдаёт 90 мВт). Длина импульса в синем $\tau = 50$ ns, стабильность энергии $\pm 2\%$ (RMS), а длина когерентности превышает три метра. Для обеспечения долгосрочной стабильности выходной энергии синего канала, в резонатор лазера внедрена система активной стабилизации мод, которая позволяет лазеру работать 7 дней в неделю по 24 часа, стабильно выдерживая одну продольную моду (SLM).

Длина волны синего лазера 440 нм легла в достаточно широко используемую зону главных голографических материалов, таких как фоторезисты, эмульсии галогенида серебра и фотополимеры. Используя ламповую накачку для синего лазера, частоту повторения практически можно увеличить до 60 Гц, при этом надёжно генерируется синий с мощностью 180 мВт (CW)!

В настоящее время ГЕОЛА работает над версией лазера с усилением, позволяющим достичь синего 440 нм до уровня 500 Вт! Как показала практика, такие лазеры являются превосходной заменой недолговечных лазеров на парах кадмия (He-Cd). Особенно важно подчеркнуть, что менять лампу в синем лазере надо всего лишь раз в год, что в сто раз дешевле, чем поменять трубу для He-Cd лазера. ■

ЛИТЕРАТУРА

1. R.L. Van Renesse. The Human Factor of Security, International Conference on Document Counterfeiting Protection, Reconnaissance International & PIRA, Argent Hotel, San Francisco, California, USA, January 28–29, 1999.
2. D. Brotherton-Ratcliffe, S. Zacharovas, R. Bakanas, J. Pileckas, A. Nikolskij, J. Kuchin. Digital Holographic Printing using Pulsed RGB Lasers, SPIE Optical Engineering, special edition on digital holography, Opt. Eng. 50, 091307 (2011); doi:10.1117/1.3596182 (9 pages).
3. S. Zacharovas. Advances in Digital Holography, IWHM 2008 International Workshop on Holographic Memories Digests, 55–67, Japan, 2008.
4. Saxby Graham. Practical Holography, Third Edition, Taylor & Francis, Chapter 18, p. 275, 2003.
5. D. Brotherton-Ratcliffe, A. Rodin, L. Hrynkiw. A Method of writing a composite 1-step hologram, Canadian patent CA 2465817.
6. Yong Wei, Ge Zhang, Chenghui Huang, Lingxiang Huang, Min Wei. High power single wavelength 1338nm Nd:YAG laser; Optics & Laser Technology 38 (2006), p. 173–176.
7. V.G. Dmitriev, G.G. Gurzadyan, D.N. Nikogosyan. Handbook of Nonlinear Optical Crystals; Springer series in Optical Science, Third Revised Edition, p. 68–77.



ЭФФЕКТ ОТЖИМАЮЩЕГО ДЕЙСТВИЯ РАМКИ при демонстрации цифровых стереофильмов



О.Н. Раев, к.т.н.,
ФГУП «МКБК»

Аннотация

Проанализированы причины появления эффекта отжимающего действия рамки. Показано, что эффект возникает не только в результате психологических факторов восприятия изображения, но и из-за объективных технических параметров стереосъёмки. Приведена методика расчёта зон изображения, в которых теряется стереоскопичность. Проанализированы рекомендации по снижению заметности искажений стереоизображения, возникающих в результате эффекта отжимающего действия рамки.

Ключевые слова: искажения стереоизображения, объектный пиксель, опорные плоскости, отжимающее действие рамки, стереоскопический кинематограф, цифровой кинематограф.

■ В любой публикации последних лет, посвящённой восприятию стереоскопического киноизображения, например [2, 3, 5, 6], обязательно говорится об эффекте отжимающего действия рамки, под которым понимается «феномен восприятия стереоизображения, заключающийся в том, что если отдельные его участки, сформированные в пространстве между зрителем и экраном, отсекаются границами изображения, то они как бы отжимаются от наблюдателя в сторону экрана и воспринимаются с меньшей степенью выхода в зал, чем

THE FRAME SQUEEZING EFFECT WHEN PROJECTING STEREO FILMS

O. Raev

Abstract

The reasons of the frame squeezing effect are analyzed. It is described that the effect will arouse not only for the reason of the psychological factors of the picture perception, but also because of the objective technical parameters of the stereo shooting. The method of calculating of the zones in which the stereoscopic effect is distorted. The recommendations of how to lower the visibility of the stereo-picture distortions that appear as a result of the squeezing frame effect are made.

Keywords: stereo image distortions, object pixel, supporting planes, the squeezing frame effect, paradoxical stereowindow effect, stereoscopic cinematography, digital cinematography.

это было обусловлено горизонтальными параллаксами, заложенными в стереопаре» [2].

Эффект отжимающего действия рамки известен со времени зарождения стереокино. Как пишет в 1945 году В. Шепелюк [7], впервые этот эффект был замечен сотрудниками Института психологии во время проведения исследований анаглифных способов сепарации световых потоков для демонстрации стереофильмов. Тогда же эффект получил своё, сохранившееся до настоящего времени, название. Примерно в то же время эффект от-

жимающего действия рамки исследовался в стереолаборатории Всесоюзного института экспериментальной медицины. В кинематографии операторы и режиссёры стереофильмов, в том числе съёмочная группа создателя первых отечественных стереофильмов режиссёра А.Н. Андриевского, столкнулись с эффектом отжимающего действия рамки с первых же стереосъёмок.

Однако, несмотря на широкую известность эффекта отжимающего действия рамки, в доступных публикациях не рассматриваются причины появления этого эффекта. Считается, что отжимающее действие рамки обусловлено психологическими факторами зрительного восприятия объёмного изображения. Действительно, мы с детства знаем, что если какой-либо объект перекрывает другой объект, то первый объект ближе к нам, чем второй объект.

При рассматривании стереоизображения в поле зрения зрителя находится не только рамка экрана, воспринимаемая при просмотре стереофильмов как некое окно, через которое зритель видит изображения объектов в заэкранном пространстве, но и изображения объектов киносъёмки, выходящие в предэкранное (зальное) пространство. Благодаря заложенным при киносъёмке и формируемым при кинопоказе отрицательным параллаксам зритель воспринимает изображения этих объектов находящимися ближе, чем экран.

Теперь представим, что зритель видит только часть изображения объекта, обрезаемую рамкой экрана. Классический пример – изображение актёра в светлых брюках, частично обрезанное снизу кадром [1, 7]. В этом случае мозг зрителя, согласуя получаемую информацию со всем предыдущим жизненным опытом, не может признать такую визуальную информацию достоверной и выстраивает в мозгу пространственное положение объектов таким образом, как будто наблюдаемые объекты находятся сразу за рамкой, т. е. несмотря на получаемую зрительную информацию от конвергированных глаз на изображение объекта, мозг при обработке зрительной информации смещает такой объект в плоскость экрана.

Именно поэтому констатируется: «элементы композиции кадра, которые обрезаются границами кадра, не могут восприниматься зрителем в зальном пространстве» [3].

Но остаётся вопрос: а только ли психологическими причинами объясняется эффект отжимающего действия рамки? Или существуют и другие, объективные причины появления данного эффекта?

Отсутствие стереозффекта в левом и правом краях стереоизображения

Для ответа на поставленный вопрос рассмотрим, как формируется стереоизображение при стереосъёмке.

В статье [4] показано, что при цифровой стереосъёмке пространство объектов съёмки виртуально разбивается на регулярные области, названные объектными пикселями и представляющие собой в горизонтальном разрезе

игольчатые, вытянутые вдоль оптических осей объективов, четырёхугольники. Границы объектных пикселей в горизонтальной плоскости описываются уравнениями:

для левого объектива —

$$z_m^{лев} = \frac{a'(2x + B_{ко} - 2m_{лев}\Delta)}{B_{ко} - B_{об} - 2m_{лев}\Delta} \quad (1)$$

и для правого объектива —

$$z_m^{пр} = \frac{a'(-2x + B_{ко} + 2m_{пр}\Delta)}{B_{ко} - B_{об} + 2m_{пр}\Delta}, \quad (2)$$

где m – порядковый номер пикселя относительно центра кадра; Δ – расстояние между центрами соседних пикселей на матрице киносъёмочного аппарата; a' – расстояние от задней главной точки объектива до изображения объекта съёмки; $B_{ко}$ – расстояние между центрами светочувствительных участков матрицы или матриц, на которых формируются левым и правым объективами, соответственно, левый и правый кадры; $B_{об}$ – базис стереосъёмки, т.е. расстояние между оптическими осями киносъёмочных объективов со стороны объектов съёмки.

В методике расчётов принято, что для пикселей, находящихся справа от центра кадра (при взгляде со стороны матрицы), номер пикселя положительный; для пикселей, находящихся слева от центра кадра, – отрицательный; а для границы пикселя, совпадающей с центром кадрового окна, $m=0$.

Расстояние a' рассчитывается следующим образом:

$$a' = \frac{L_c}{2} - \sqrt{\left(\frac{L_c}{2}\right)^2 - L_c f'}, \quad (3)$$

где L_c – расстояние от объекта съёмки до светочувствительного слоя матрицы киносъёмочного аппарата, f' – фокусное расстояние киносъёмочного объектива.

При стереосъёмке фокусные расстояния обоих объективов должны быть одинаковыми.

Пересечение границ объектных пикселей, образуемых левым и правым объективами от границ пикселей соответствующих матриц, происходит в точках, значение координаты x которых рассчитывается по формуле, полученной из уравнений (1) и (2) при равенстве в них значений $z_m^{лев}$ и $z_m^{пр}$:

$$x = \frac{-\Delta B_{об}(m_{пр} + m_{лев})}{2[(B_{ко} - B_{об}) + \Delta(m_{пр} - m_{лев})]}. \quad (4)$$

Координаты z точек пересечения линий определяются из уравнения (1) или (2) подстановкой в него значения x , полученного из уравнения (4).

При выводе формул (1), (2) и (4) использована прямоугольная система координат с началом координат в плоскости светочувствительного слоя матрицы в центре отрезка $B_{ко}$, с осью x , направленной вдоль отрезка $B_{ко}$ в сторону правой матрицы, и осью z , направленной в сторону объектов съёмки [4].

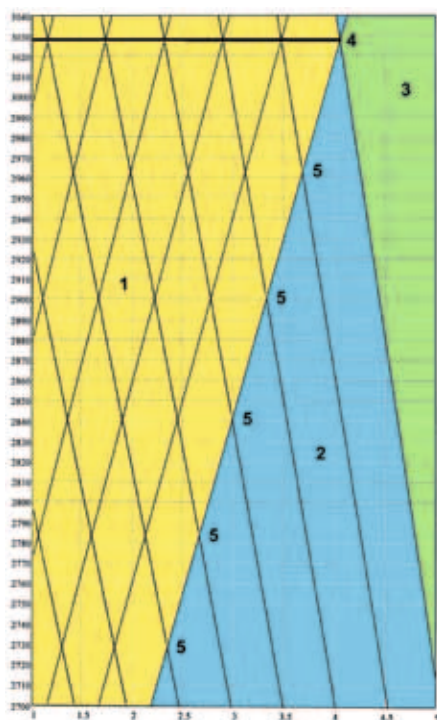


Рис. 1. Горизонтальный разрез фрагмента краевой предрамповой области объектов стереосъемки, разбитой на объектные пиксели: 1 — зона объектных пикселей; 2 — зона области стереосъемки, объекты в которой запишутся только в одном изображении стереопары; 3 — область объектов, не попавшая в стереокадр; 4 — плоскость рампы; 5 — опорные плоскости

На рис. 1 показан расчётный пример разбиения области объектов стереосъемки на объектные пиксели у правой границы снимаемой сцены.

Из рис. 1 видно, что объекты, расположенные в плоскости рампы и приходящиеся на объектные пиксели, запишутся одновременно в изображениях и левого, и правого ракурсов, причём в этом случае количество объектных пикселей $k_{о.п.}$ равно количеству реальных пикселей k в кадре матрицы.

В предыдущей опорной плоскости, находящейся ближе к киносъёмочному аппарату, количество объектных пикселей становится на один меньше, а слева от крайнего левого объектного пикселя появляется зона, при нахождении в которой объект съёмки запишется только в изображении правого ракурса. Симметрично такая же зона образуется и на левой стороне снимаемой сцены, объекты в которой запишутся при стереосъемке только в изображении левого ракурса.

В общем случае, если объекты съёмки находятся между плоскостью рампы и киносъёмочным аппаратом и соответствуют n -й опорной плоскости, то количество объектных пикселей в этой плоскости составит:

$$k_{о.п.} = k - n. \quad (5)$$

Слева от объектных пикселей присутствует n зон и справа от них — также n зон, объекты стереосъемки

в которых запишутся только в одном ракурсе, соответственно, в n правых пикселях левого ракурса и в n левых пикселях правого ракурса.

В результате при кинопоказе стереофильма на экране шириной $L_э$ в демонстрируемом зрителям киноизображении часть изображения от левого края шириной $l_{моно}$ и аналогично — от правого края шириной $l_{моно}$ будет воспроизводиться не двумя ракурсами, а только одним. Величина $l_{моно}$ может быть рассчитана следующим образом:

$$l_{моно} = \frac{L_{экp}n}{k}, \quad (6)$$

т. е. при одних и тех же параметрах стереосъемки, чем ближе к киносъёмочному аппарату, тем больше горизонтальный размер зоны одноракурсного изображения в кадре стереопары.

Зона стереоскопического изображения в горизонтальной плоскости в процентах от общей ширины изображения составляет:

$$\frac{k - 2n}{k} \cdot 100\%. \quad (7)$$

Например, если количество пикселей в матрице по горизонтали $k=1290$ и если при стереосъемке объект съёмки расположен в 20-й опорной плоскости, то на экране шириной 6 м изображение от левого и правого края на расстоянии 62,5 мм будет не объёмным, а плоским и будет восприниматься зрителями находящимися в плоскости экрана.

Именно поэтому, как известно, «дискомфорт... особенно ощутим при рассматривании... участков изображения у боковых границ экрана» [2].

Казалось бы, 6 см с каждой стороны это немного для изображения на экране в 6 м, а значит, и не существенно. Проанализируем, так ли это.

Рассмотрим какой-либо объект или его фрагмент, характеризующийся равномерной яркостью и цветом. Человек зрительно воспринимает такой объект в основном по его контурам.

Произведём цифровую стереосъемку, установив данный объект перед плоскостью рампы в области объектных пикселей. Очевидно, что изображение объекта запишется с отрицательным параллаксом и займёт некоторое количество пикселей на матрице, зависящее от его размеров и коэффициента увеличения объектива. Количество занимаемых этим изображением пикселей одинаково на обоих изображениях стереопары, но изображения сдвинуты относительно друг друга на количество пикселей, равное номеру опорной плоскости, в которой размещён данный объект.

При проекции стереопары на экран зритель увидит два изображения (рис. 2, а), каждое из которых предназначено для соответствующего глаза зрителя. Конвергенция глаз зрителя при просмотре таких изображений может быть выполнена исключительно по горизонтальным краям двух изображений, каких бы размеров они ни были. В результате зритель увидит изображение такого объекта в предэкранном пространстве кинозала.

Теперь предположим, что при стереосъёмке объект частично сдвинут за пределы области объектных пикселей и один его край попадает в зону записи изображения только в одном из ракурсов. В этом случае в одном ракурсе объект будет записан полностью, а в другом его изображение будет обрезано границей кадра.

При проекции такой стереопары на экран выводится два изображения разной длины. Интерпретировать такую информацию мозг может только одним способом: один край изображения объекта находится в том же месте предэкранного пространства (на рис. 2, б, левый край изображения объекта), как и в предыдущем случае, а другой край – ближе к экрану, поскольку величина его параллакса меньше, т.е. изображение объекта вос-

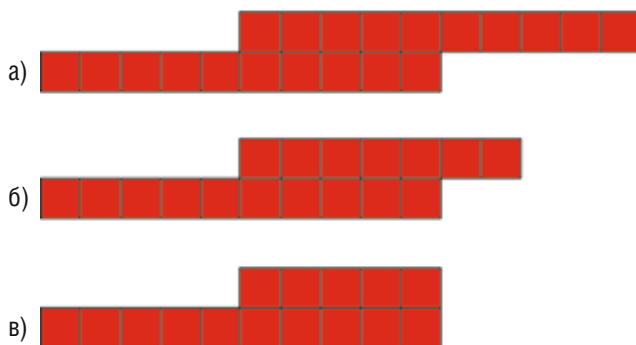


Рис. 2. Пример наложения левого и правого ракурсов на экране при демонстрации стереофильма. Для наглядности и понимания хода рассуждений левое изображение смещено по вертикали относительно правого (в действительности вертикальный параллакс недопустим). Чёрными линиями показаны границы пикселей. Снимаемый объект, длина которого соответствует 10 пикселям в изображении на матрице, находился в 5-й предрамповой опорной плоскости.

а) объект при стереосъёмке находился в области объектных пикселей, величины параллаксов левого и правого края объекта одинаковы; изображение объекта воспринимается зрителем выходящим в зальное пространство;

б) объект при стереосъёмке частично сдвинут за пределы области объектных пикселей (в левом ракурсе изображение частично вышло за пределы кадра); величина параллакса правого края объекта меньше величины параллакса левого края объекта; изображение объекта воспринимается зрителем повёрнутым к боковому краю экрана или отодвинутым ближе к экрану;

в) объект при стереосъёмке касается или выходит за пределы общей зоны записываемого пространства (в обоих ракурсах изображение касается или частично выходит за пределы кадра); величина параллакса правого края объекта равна 0; изображение объекта воспринимается зрителем повёрнутым к краю экрана (если его размеры велики) или отодвинутым в плоскость экрана

принимается повёрнутым относительно плоскости экрана к краю кадра или отодвинутым ближе к экрану.

Если же объект при стереосъёмке будет касаться границ общей зоны записываемого пространства или выйдет за её пределы, то оба изображения в стереопаре с этой стороны кадра будут совпадать на экране. Зритель воспримет такое изображение с нулевым параллаксом, и изображение отодвинется к экрану (рис. 2, в).

Но если размеры изображения объекта велики, то глаз будет рассматривать каждый край объекта отдельно, и тот край, который ближе к центру кадра, будет виден с правильным параллаксом. Этот факт позволяет сделать заключение, что «воздействие эффекта отжимающего действия рамки существенно ослабевает... при увеличении угловых размеров изображения, когда его участки у боковых границ воспринимаются периферийным зрением» [2].

Итак, чтобы избежать искажений стереоизображения на краях кадра, необходимо при стереосъёмке следить, чтобы объекты съёмки, расположенные между плоскостью рампы и киносъёмочным аппаратом, не только не касались вертикальных краёв кадра, но и не выходили за пределы области объектных пикселей.

Искажения передачи глубины пространства на вертикальных краях кадра при стереосъёмке объектов, расположенных за плоскостью рампы

Выше показано, что перед плоскостью рампы слева и справа от объектных пикселей появляются зоны, в которых объекты съёмки (если они присутствуют, конечно) запишутся только в одном ракурсе стереопары. За плоскостью рампы формирование объектных пикселей происходит с той же закономерностью. Отличие только в размерах пикселей: они тем больше, чем дальше от киносъёмочного аппарата. Поэтому формулы (5)–(7) действительны и при формировании изображения в зарамповом пространстве.

Рис. 3 иллюстрирует, почему объекты стереосъёмки за плоскостью рампы, если они находятся у вертикальных краёв кадра, могут быть записаны только в одном из ракурсов стереопары. При просмотре таких изображений в кинотеатре они будут восприниматься плоскими и находящимися в плоскости экрана. Поскольку прилегающие к области объектных пикселей зоны, в которых запись осуществляется только в одном из изображений стереопары, уходят в бесконечность, то при киносъёмке на краях кадра всегда будут присутствовать объекты съёмки, изображения которых записываются только в одном из ракурсов. По этой причине изображения данных объектов при воспроизведении стереопары на экране будут восприниматься зрителем прижимающимися к рамке, хотя психологических причин к этому нет. Рассмотрение изображения таких объектов также вызывает дискомфорт, поэтому зритель почти сразу переводит взор на изображения других объектов в центре кадра. Спасает положение то обстоятельство, что чем дальше объект съёмки, тем меньше его изображение в кадре, поэтому сюжетно важные объекты съёмки почти никогда не касаются вер-

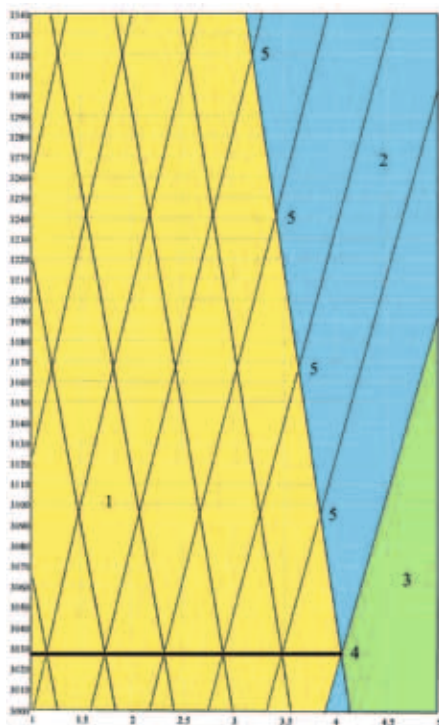


Рис. 3. Горизонтальный разрез фрагмента краевой зарамповой области объектов стереосъемки, разбитой на объектные пиксели: 1 — объектные пиксели; 2 — зона области стереосъемки, объекты в которой запишутся только в одном изображении стереопары; 3 — область объектов, не попавшая в стереокадр; 4 — плоскость рампы; 5 — опорные плоскости

тикальных краёв кадра, кроме, пожалуй, случая съёмки движущихся объектов, пересекающих границы кадра. Однако зритель, переключив внимание на вновь появившиеся объекты, затратит некоторое время на перестройку аккомодации и конвергенции глаз, чтобы «поймать» стереозффект. За это время объект сместится от краёв кадра и появится объёмность воспринимаемого изображения. А, кроме того, здесь полностью отсутствует психологический фактор зрительского восприятия. Именно по этим причинам рассматриваемые искажения редко замечаются зрителями.

Искажения будут не заметны, если по вертикальным краям кадра разместить равномерный по яркости и цвету фон. Можно предложить и другой способ устранения данных искажений, который заключается в исключении из показа N левых пикселей левого изображения и N правых пикселей правого изображения стереопары, где N — количество опорных плоскостей в зарамповом пространстве съёмки.

Заключение

Выполненный анализ процесса формирования стереоизображения при киносъёмке позволил сделать следующие выводы:

1. Эффект отжимающего действия рамки объясняется не только психологическими факторами восприятия

изображения зрителем, но и объективными параметрами стереосъемки и стереосъёмочной аппаратуры.

2. Вдоль боковых сторон кадра расположены зоны, в которых изображение записано только в одном из ракурсов стереопары. Ширина этих зон возрастает при увеличении числа опорных плоскостей и уменьшается при увеличении количества горизонтальных пикселей в матрице. Записанные в этих зонах изображения, соответствующие лишь одному ракурсу стереосъемки, воспринимаются зрителем плоскими и находящимися в плоскости экрана.

3. Эффект отжимающего действия рамки присутствует не только в предэкранном пространстве, но и в заэкранном. В последнем случае его правильнее назвать «эффектом прижимающего действия рамки». Он редко замечается зрителями из-за малых размеров изображений объектов, из-за расположения сюжетно важных объектов фильма в центре кадра и отсутствия в этом случае психологических факторов, влияющих на зрительское восприятие.

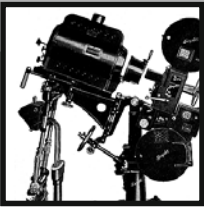
4. При стереосъемке объекты съёмки, расположенные между плоскостью рампы и киносъёмочным аппаратом, не должны выходить за пределы области объектных пикселей.

5. В зарамповом съёмочном пространстве сюжетно важные объекты съёмки (те, за которыми будет следить зритель при просмотре стереофильма) не должны выходить за пределы области объектных пикселей. ■

Настоящая научно-исследовательская работа проводилась в рамках федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007–2013 годы» при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (Государственный контракт № 14.514.11.4033).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Н.А. Валюс.* Стереоскопия: Фотография, кино, телевидение. М.: Искусство, 1986.
2. *В.Г. Комар, С.Н. Рожков, Д.Г. Чекалин.* Необходимость нормирования параметров стереопары и стереопроекции с целью снижения зрительского дискомфорта в условиях кинозала // МТК № 2 (24), с. 31–44, 2012.
3. *А.С. Мелкумов.* Основы стереографии // МТК № 4 (18), с. 30–37, 2010.
4. *О.Н. Раев.* Дискретизация глубины киноизображения при цифровой стереосъемке // МТК № 3 (25), с. 10–16, 2012.
5. *С.Н. Рожков.* Восприятие стереокиноизображения и организация стереопроекции в проектируемых и переоборудуемых кинозалах // Запись и воспроизведение объёмных изображений в кинематографе и других областях: Научно-техническая конференция, Москва, 23–24 апреля 2009 г.: Материалы и доклады. М.: МКБК, с. 87–102, 2009.
6. *С.Н. Рожков, Н.А. Овсянникова.* Стереоскопия в кино-, фото-, видеотехнике. Терминологический словарь. М.: Парадиз, 2003.
7. *В. Шепелюк.* Стереоскопия. М.: Госкиноиздат, 1945.



ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АЛГОРИТМА ПОИСКА КЛЮЧЕВЫХ ТОЧЕК В ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ, обеспечивающей стабильность кадра при оцифровке архивных киноматериалов



■ А.А. Чертихин, аспирант, МГУП им. Ивана Фёдорова;
А.И. Винокур, д.т.н., ВГНА Минфина России ■

Аннотация

Рассматривается возможный путь решения проблемы получения стабилизированного киноизображения при оцифровке фильмовых материалов на фильм-сканере. Проведён краткий обзор проблем, возникающих при сканировании архивных фильмовых материалов, обусловленных деформацией носителя или регистрацией кинокадра на нескольких носителях. Предлагается метод анализа изображений, позволяющий разработать программное решение, способное снизить нестабильность. Приводится алгоритм, обеспечивающий получение необходимой информации. Описаны возможные методы классификации данных, полученных в результате его применения.

Ключевые слова: кинокадр, неустойчивость, нелинейные искажения, усадка, ключевая точка, предварительная обработка.

THE USE OF KEY POINTS SEARCH ALGORITHM IN THE INFORMATION SYSTEM THAT PROVIDES THE STABILITY OF FRAMES FOR DIGITIZATION OF ARCHIVAL FILMS

A. Chertikhin, A. Vinokour

Abstract

The article is devoted to possible solution to the problem of distortion on images obtained by digitizing film on film scanner. A brief review of the problems encountered in this matter, and based on their analysis of a method for the analysis of images, which allows to develop a software solution that can reduce the amount of instability. An algorithm that can obtain the required information, and describes possible methods of classification of data obtained as a result of its use.

Keywords: newsreels instability, harmonic distortion, shrinkage, the key point, pre-treatment.

■ Одна из основных технических задач любого киноархива, хранящего кинофильмы в виде фильмовых материалов, заключается в оцифровке аналогового контента для достижения двух главных целей – обеспечения бессрочного хранения и обеспечения безо-

пасного доступа к архивным материалам [1]. Объёмы информации, хранящейся в виде фильмовых материалов, весьма велики, многие материалы уникальны и в другом виде не встречаются, а данный способ хранения затрудняет доступ к ним и ставит под угрозу само их

существование в исходном виде. Деграция плёнки в виде усадки носителя, с последующим изменением геометрии в виде стягивания краёв, выгибания и коробления поверхности плёнки, и разрушения эмульсионного слоя снижают техническое качество изображения, а в перспективе приводят к полному его исчезновению. Представление в цифровом виде устраняет данный недостаток, а также увеличивает доступность материала, позволяя предоставлять к нему выборочный доступ, в том числе, и через мультимедийные сети, будь то телевидение или интернет.

В настоящее время киноархивы, в силу эволюционного развития киноиндустрии, становятся заметными поставщиками контента, поэтому перевод в цифровую форму следует осуществлять как можно в более короткие сроки.

Однако процесс оцифровки сам по себе способен вносить дополнительные, не являющиеся следствием деформации усевающей плёнки, искажения в материал. Они образуются из-за наличия люфта в лентопротяжном механизме сканера, в результате чего кадры при создании копии находятся не в одинаковом положении. В результате сложные нелинейные искажения накладываются. Эта проблема особенно проявляется при работе с кадрами, зарегистрированными более чем на одном носителе, например, цветоделённые изображения или стереопары. В этих случаях задача совмещения становится весьма нетривиальной. Так, при работе с плёнками, содержащими стереопары, стабилизация

и коррекция геометрии кадров особенно важна ввиду необходимости поддерживать заданные параметры при демонстрации фильма для обеспечения стереоэффекта. Причём в дополнение к имеющимся, для процесса обработки стереопар возникает дополнительная трудность. В идеальном случае стереопару можно рассматривать как два последовательных кадра с нулевой собственной динамикой сцены и известным смещением камеры, сводя задачу стабилизации к поиску смещения камеры в межкадровый промежуток. Однако наблюдения показывают, что практически во всех случаях присутствуют различия между двумя каналами стереосистемы [2]. Разное приближение плана, несоосность и прочие отличия, обусловленные несовершенством техники, в том числе и меняющиеся в произвольном порядке в пределах монтажного кадра.

В настоящее время стабилизация и сборка во всех перечисленных случаях производится преимущественно в ручном режиме, так как имеются сложности с автоматизацией процесса. Для сканируемых плёнок предлагаются решения, позволяющие снизить процент погрешностей, вносимых люфтами; основанные на особенностях получаемых изображений: на цифровой копии кадра плёнки имеются в том числе и изображения перфораций, используя которые как опорные точки, возможно выполнить коррекцию положения кадра [3]. Однако подобный подход позволяет решить лишь небольшую частную задачу биения плёнки в горизонтальной плоскости, оставив большую часть проблем в неизменном виде. Привязка к уже имеющимся маркерам, будь то перфорация плёнки или размещаемые внутри сцены при серийной фотосъёмке специализированные контрастные мишени, есть частный случай поиска опорных точек на сцене, призванный решить проблему общей динамики сцены путём искусственного ввода в неё дополнительной внешней информации, что сильно ограничивает сферу применения и при этом не даёт ответа, как же быть с остальными трудностями. Решить данную задачу возможно, если отойти от анализа частных областей и принять всю сцену за набор подобных маркеров, т.е. найти некое соответствие между кадрами, не теряющееся при смещении или изменении масштаба.

Самое простое и естественное решение проблемы поиска заключается в следующем: выбрать некий образец с изображения-источника, продублировать его в разных масштабах и углах поворота, перебрать всевозможные места на исследуемом изображении, и затем все эти шаблоны непосредственно сравнивать со сценой. При нахождении аналогичной области на втором кадре пометить координаты, выбрать новый образец на первом и начать анализ с начала. Однако это невозможно ввиду того, что вычислительная сложность данной задачи слишком высока для большинства компьютерных систем, из-за чего в сколь-либо приемлемое время произвести анализ не представляется возможным. Кроме того, непосредственное сравнение образца со сценой на



Рис. 1. Условное представление деформации кадра на плёночном носителе

втором кадре может дать плохой результат из-за шумов, искажений, наложения иных объектов, ввиду чего выбор образца сам по себе становится нетривиальной задачей, и в конечном счёте мы будем иметь сравнительно небольшое количество опорных точек. Поэтому в качестве классифицирующего признака удобно брать математические описания явно выраженных особенностей участка сцены. Подобный подход позволит абстрагироваться непосредственно от изображений и работать с малым объёмом формальных данных, снижая количество производимых вычислений.

Ключевой точкой следует считать такую точку, которая имеет некие признаки, существенно отличающие её от прочих участков изображения. Например, это могут быть края линий, небольшие пятна, резкие перепады освещённости, углы однородных областей. Для построения описания вокруг точек необходимо будет выделить некую небольшую окрестность. Небольшую берём для того, чтобы меньше влияли крупномасштабные искажения. Так, если объект в целом подвержен эффекту перспективы (то есть ближний край объекта в кадре имеет больший видимый размер, чем дальний), то для малого его участка явлением перспективы можно пренебречь и заменить на изменение масштаба. Аналогично, небольшой поворот объекта вокруг некоторой оси может сильно изменить картинку объекта в целом, но малые участки изменятся ненамного. Кроме того, если часть одного кадра лежит за пределами другого, то небольшие участки вокруг части ключевых точек будут видны целиком, что также позволяет их легче идентифицировать. Аналогично, если малые области лежат целиком внутри некоего искомого объекта, то на них не оказывают никакого влияния объекты фона.

С другой стороны, участок вокруг ключевой точки не должен быть слишком мал, так как такие участки несут слишком мало информации об изображении и с большей вероятностью могут случайно совпадать между собой. В качестве подобных точек могут быть взяты дескрипторы, вычисляемые при помощи алгоритма Speeded up robust features [4] (SURF), представленного в 2006 году Гербертом Байем, и сменивший своего предшественника алгоритм Scale-invariant feature transform [5] (SIFT). В настоящее время это наиболее быстрый алгоритм, способный предоставить для анализа требующиеся сведения об изображении.

SURF решает две задачи – поиск особых точек изображения и создание их описаний (дескрипторов), инвариантных к масштабу и вращению. Это значит, что описание ключевой точки будет одинаково, даже если кадр изменит размер и будет повернут.

Метод ищет особые точки с помощью матрицы Гессе. Детерминант матрицы Гессе достигает экстремума в точках максимального изменения градиента яркости. Дескриптор представляют собой массив из 64 (в расширенной версии 128) чисел, отображающих флуктуации градиента вокруг ключевой точки и позволяющих одно-



Рис. 2. Ключевые точки, выделенные при помощи алгоритма SURF

значно идентифицировать особую точку. Флуктуации градиента окрестностей ключевой точки считаются относительно направления градиента вокруг точки в целом (по всей окрестности ключевой точки). Таким образом, достигается инвариантность дескриптора относительно вращения. Размер же области, на которой считается дескриптор, определяется масштабом матрицы Гессе, что обеспечивает инвариантность относительно масштаба. Флуктуации градиента считаются с помощью фильтра Хаара.

Для эффективного вычисления фильтров используется интегральное представление изображений. Также для описания точки используется знак следа матрицы Гессе. Для светлых точек на тёмном фоне след отрицателен, для тёмных точек на светлом фоне – положителен.

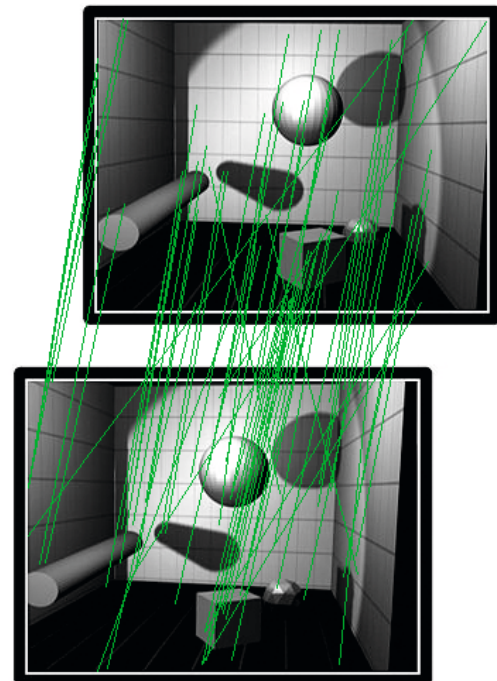


Рис. 3. Сопоставление ключевых точек на стереопаре без фильтрации ложных соответствий

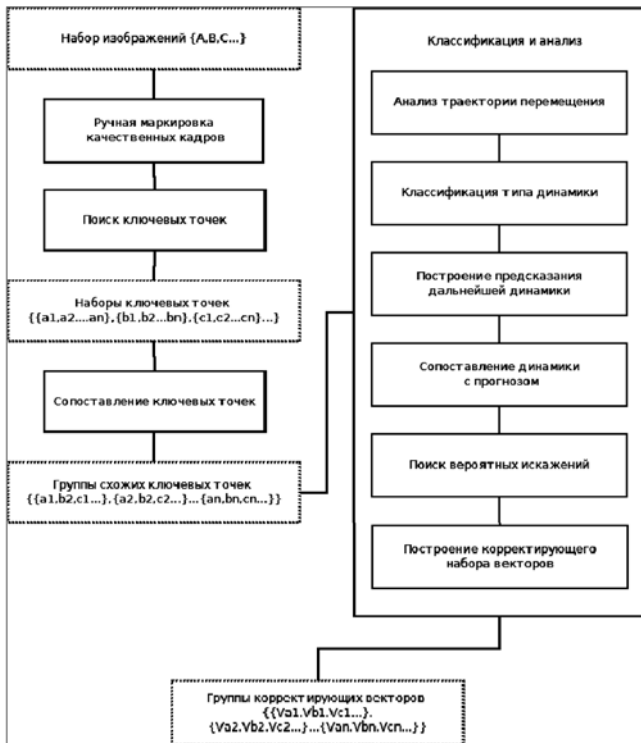


Рис. 4. Схематическое изображение процесса определения искажений

Используя абстрактные дескрипторы, предоставляемые данным алгоритмом, становится возможным создать формальный классификатор общих и локальных динамик. Соответственно, необходимо выделить и формализовать типичные возможные случаи расхождений между наборами точек в последовательности кадров фильма для дальнейшей разработки правил классификации присутствующих различий. Для этого необходимо определить основные виды возможного изменения сцены, которое и образует разницу в наборах.

Рассматривая различия между наборами дескрипторов смежных кадров в серии, можно выявить три множества ключевых точек:

- Точки, относительно сильно изменившие положение.
- Слабоподвижные точки.
- Точки, отсутствующие на одном из двух соседних кадров.

Типы же возможных искажений следующие:

- Собственная динамика участков сцены, заключающаяся в изменении объектов, остающихся при этом малоподвижными. Примером является колышущаяся на ветру листва, рябь на воде, изменение объема грудной клетки при дыхании человека в кадре. Особенностью данного типа динамики является то, что область, демонстрирующая его, слабо воздействует на соседние участки. Также к данному типу можно отнести искажения, появляющиеся при сильном короблении хранимой в архивах плёнки ввиду усыхания материала. Для данного типа динамики характерно массовое появление/исчезновение ключевых точек и

их слабо связанные внутри группы высокочастотные колебания в небольшой окрестности.

- Динамика объектов сцены, появляющаяся при движении объектов внутри относительно неподвижных участков сцены. Движущиеся объекты могут вносить неопределённость при анализе общего смещения кадра или параллакса стереоизображения. Для данного типа динамики характерно связанное перемещение группы точек, по характеру которого можно составить представление о направлении смещения объекта.
- Глобальное изменение положения кадра. Возникает, как правило, при смещении камеры или полной динамике сцены (например, съёмка плывущего теплохода крупным планом). При таком типе динамики наблюдается связанное изменение положения значительной части точек с одновременным исчезновением и появлением новых возле границ изображения.
- Глобальное изменение освещённости, заключающееся в изменении светового потока, регистрируемого камерой. При этом возможны затруднения при поиске общих участков на разных кадрах ввиду того, что одинаковые объекты на снимках будут описываться различными характеристиками. Характерно исчезновение точек и появление на их месте новых со схожими характеристиками при достижении некоторого порога инвариантности к освещённости сцены.

Соответственно, после формализации вышеописанных явлений дальнейший анализ сможет дать нам информацию о всех событиях, произошедших при сканировании, либо при съёмке, после чего можно будет провести фильтрацию точек по интересующим параметрам, и далее выполнять манипуляции по стабилизации и выравниванию.

Для фильтрации ложных соответствий можно использовать метод RANSAC [6].

Для нелинейных искажений, вызываемых деформацией плёнки, становится возможным по найденным точкам выполнить триангуляцию изображения, а затем путём морфинга с учётом заданного оператором эталонного кадра привести изображение к приемлемому виду. После установления соответствий в качестве данных для анализа будут выступать структуры из наборов точек, в которых основной интерес представляют последовательности координат. Таким образом совершается переход от работы с данными о группе изображений к анализу независимых групп векторов.

Формализация характера динамик может быть выполнена на основе анализа статистических данных, получение которых возможно при экспериментальном анализе больших последовательностей тестовых изображений с заведомо известными проблемами.

Заключение

Данная работа ставит целью автоматизировать процесс анализа искажений, появляющихся при работе с фильмовыми материалами на киноплёнке. Основной идеей является поиск и выделение ярко выраженных точек на последовательности кадров, последующее их сопоставление и выработка решения при помощи специального классификатора. Таким образом возможно существенное упрощение задач создания цифровых изображений с высоким динамическим диапазоном и оцифровки архивных плёнок, весьма трудоёмких в условиях отсутствия автоматизации процесса.

Работа ведётся в МГУП и планируется ко включению в состав информационной системы обработки архивных фильмовых материалов. ■

ЛИТЕРАТУРА

1. *А.А. Белоусов, А.И. Винокур, М.С. Васин.* Технология копирования архивных фильмовых материалов, 2003.
2. *Н.А. Майоров.* Становление и развитие отечественного стереокино, МТК № 1 (19), 2011.
3. *С. Озеров.* Метод компьютерного выравнивания кадров сканированной киноплёнки, МТК № 2(20), с. 9–7, 2011.
4. *Herbert Bay, Andreas Ess, Tinne Tuytelaars, Luc Van Gool.* SURF: Speeded Up Robust Features, Computer Vision and Image Understanding (CVIU), Vol. 110, No. 3, p. 346–359, 2008.
5. *Lowe, G David.* Object recognition from local scale-invariant features, Proceedings of the International Conference on Computer Vision, p. 1150–1157, 1999.
6. *A. Martin, Fischler and Robert C. Bolles.* Random Sample Consensus: A Paradigm for Model Fitting with Applications to Image Analysis and Automated Cartography. Comm. Of the ACM 24, p. 381–395, 1981.

V МЕЖДУНАРОДНАЯ ЕЖЕГОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ**«ЗАПИСЬ И ВОСПРОИЗВЕДЕНИЕ ОБЪЁМНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ
В КИНЕМАТОГРАФЕ И ДРУГИХ ОТРАСЛЯХ»**

состоится 25–26 апреля 2013 г.

**в помещении Московского киноvideоинститута
по адресу: Москва, ул. Академика Королёва, 21**

В работе V конференции ожидается участие широкого круга специалистов, занимающихся исследованиями и практическим применением объёмных изображений не только в кинематографе, но и в других сферах деятельности; построенных не только на стереоэффектах, но и на основе голографических принципов.

Цель конференции – обмен информацией, комплексный анализ и выработка путей совершенствования отечественного 3D-стерео кинематографа на всех этапах кинематографического процесса (от сценария до кинопоказа, от научных исследований до выпуска продукции: как кинотехники, так и контента).

Важной темой конференции станет обмен практическим опытом создания стереофильмов и перспективы 3D-технологий.

На конференции планируется также рассмотреть вопросы применения объёмных изображений в учебных процессах, медицине, тренажёрах, защитных системах и т.д.

По итогам V конференции, как и в предыдущие годы, будет издан сборник докладов.

Информационная поддержка конференции – журналы «MediaVision», «Мир техники кино», «Кинемеханик», газета «Новости Союза кинематографистов».

Командировочные расходы и оплата гостиницы за счёт участников.

Срок подачи заявок на участие
в работе конференции с докладом:

20 марта 2013 г.

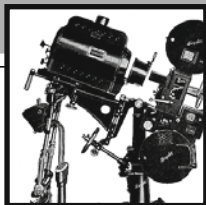
Срок подачи заявок на презентацию
оборудования, показ стереофильмов
и организацию тематических

выставок: **10 апреля 2013 г.**

Срок подачи заявок на участие
в работе конференции без доклада:

10 апреля 2013 г.

Подробную информацию о предстоящей конференции и бланк заявки на участие можно получить на сайте www.стереоконференция.рф или в оргкомитете по телефону: **(495) 619-8611**, e-mail: **ncenter@list.ru**



АЛГОРИТМ СОГЛАСОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ДИАПАЗОНОВ

в информационных системах обработки изображений



С.А. Ноздрачёв, аспирант, И.Л. Артюшина, к.т.н, МГУП им. Ивана Фёдорова; А.И. Винокур, д.т.н., ВГНА Минфина России

Аннотация

Предложен алгоритм согласования динамических диапазонов цифровых изображений, использующий функцию Л.Ф. Артюшина. Алгоритм обеспечивает разделение изображения для сохранения контурной, цветовой и градиентной составляющей. При этом алгоритм не ориентируется на какую-то конкретную систему. Приведён алгоритм определения численных значений модели для различных систем воспроизведения.

Ключевые слова: алгоритм, информационная система, динамический диапазон, градиентная информация, контуры.

■ В мире существуют громадные архивы изображений, в первую очередь, фильмовых материалов. Количество записей в таких архивах огромно. Только в Госфильмофонде России и французском архиве Буа-д'Арси количество записей можно оценить в 1000000 роликов в каждом (под одним роликом понимается массив изображений, снятый на плёнку длиной 1000 футов (305 м). В одном метре примерно 52 кадра, следовательно, в одном ролике около 15860 кадров).

Развитие современных технологий позволяет сделать однозначный вывод о необходимости перевода этих архивов в цифровую форму. В этом процессе существует очень много различных задач. Таких как подбор оборудования для оцифровки изображений, выбор формата для хранения данных и многие другие, но ключевой среди них, с точки зрения качества изображений, является

ALGORITHM FOR MATCHING DYNAMIC RANGE OF REPRODUCTION SYSTEMS

S. Nozdrachev, I. Artushina, A. Vinokour

Abstract

Algorithm for matching dynamic range of digital images using a conversion Artyushina. Image segmentation algorithm provides for the conservation of contour, color and graded component. In this case, the algorithm is not focusing on any particular system. An algorithm for determining the numerical values of the model for different reproduction systems.

Keywords: algorithm, information system, dynamic range, graded component, contours.

проблема минимизации потери информации. Данная проблема может решаться аппаратными и технологическими методами. Аппаратный путь – это увеличение разрешающей способности сканирующего устройства до размеров, соответствующих возможностям плёнки. Согласно оценке SMPTE, превышать разрешение более чем в два раза не имеет смысла, руководствуясь теоремой Котельникова (нормальный кадр на 35-мм плёнке имеет разрешение 6500x3500 пикселей). Другим аспектом является динамический диапазон, есть необходимость сохранения деталей в тенях и светах изображения. Эта проблема также может решаться аппаратно путём увеличения характеристик оборудования и технологически – путём нескольких сканирований одного и того же изображения с недодержкой и передержкой. Считается, что регистрируемое цифровое изображение в точности

повторяет градационную информацию, содержащуюся в फिल्मовом материале. Вопросы регистрации изображения из двух и более экспозиций рассматривались в других статьях [1].

Предметом данной статьи являются вопросы кросс-медийного подхода при воспроизведении. Что скрывается за этим понятием? Это означает, что одна и та же цифровая копия будет воспроизводиться разными технологическими способами. Здесь имеется в виду то, что будут использоваться системы с различным принципом воспроизведения, цветовым охватом и динамическим диапазоном.

В данной статье рассматривается вопрос согласования разных динамических диапазонов, который предложено решать с помощью следующего алгоритма. Прежде чем перейти к сжатию динамического диапазона, требуется предварительная обработка изображения для сохранения информативности изображения.

Предположим, что монохромное изображение – некая функция двух переменных $D(x;y)$. Тогда можно выделить низкие и высокие частоты в изображении. Такая необходимость связана с тем, что при простом линейном преобразовании со снижением контраста будут потеряны высокие частоты исходного изображения, что сильно повлияет на информативность. Таким образом, в качестве ключевого приёма предлагается проводить разложение изображения на две составляющие:

$$D_{исх} = D_H + D_B$$

Здесь D_H – размытое изображение, содержащее низкочастотные компоненты, а D_B – контурное (высокочастотное) изображение. Этого можно достичь, например, с помощью применения гауссова фильтра к исходному изображению, а потом вычесть полученное изображение из исходного:

$$D_B = D - D_H$$

После этого необходимо в контурном изображении выделить высококонтрастное и низкоконтрастное изображения:

$$D_B = D_B^{BK} + D_B^{HK}$$

В результате исходное изображение выглядит как сумма трёх изображений:

$$D_{исх} = (D_H + D_B^{BK}) + D_B^{HK}$$

Здесь изображения D_B^{BK} и D_H обеспечивают психологическую точность воспроизведения, а D_B^{HK} – дубликационную точность. Необходимость разделения на высококонтрастное и низкоконтрастное изображения связана с тем, что если производить, не разделяя, преобразование D_B , то могут появиться лишние контуры или пойти потери существующих контуров, что нарушает точность передачи контурной информации [4]. Цветовая составляющая остаётся неизменной, так как преобразование происходит согласно схеме на рис. 2.

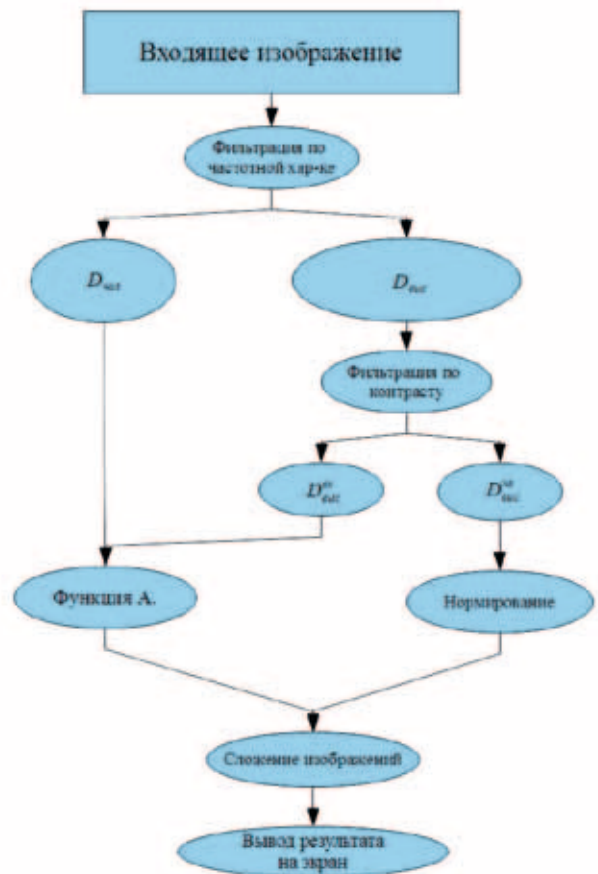


Рис. 1. Схема алгоритма

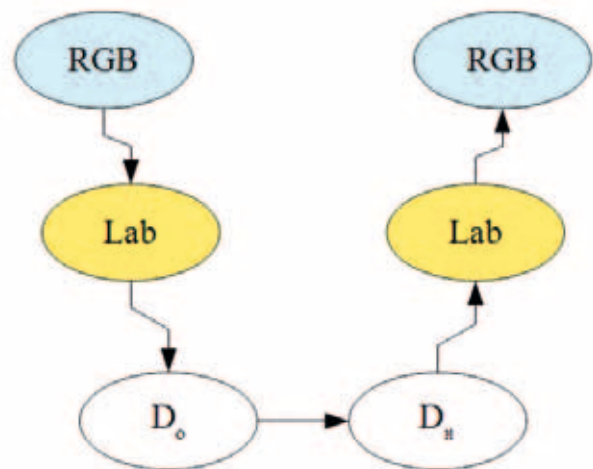


Рис. 2. Преобразование цветовой составляющей

Для согласования динамических диапазонов исходного изображения и воспроизводящей системы для визуализации предлагается проводить преобразование Л.Ф. Артюшина:

$$D_{виз} = f(D_H + D_B^{BK}) + D_B^{HK}$$

f – это функция Артюшина (1.1) и (1.2). Функция позволяет преобразовать значения пикселей и привести их к значениям, которые входят в диапазон возможностей системы визуализации. Она основана на свойствах восприятия человеческого зрения.

Изображение D_B^{HK} нормализуем линейным преобразованием в соответствии с возможностями системы визуализации. Получившиеся изображения выводятся для визуального наблюдения.

$$D_n = \frac{\gamma_n}{G_n} \lg \left[\frac{1 + 10^{G_n(D_0 + Z_n)}}{1 + 10^{G_n(D_0 + Z_n - L_n)}} \right] \quad (1.1)$$

$$D_n = \frac{\gamma_n}{G_n} \lg \left[\frac{1 + 10^{G_n(D_n + Z_n)}}{1 + 10^{G_n(D_n + Z_n - L_n)}} \right] \quad (1.2)$$

Параметры преобразования выбираются следующим образом. Значение γ_n выбирается согласно результатам ранее проведённых экспериментов [3], $L_n = \Delta D$, другие значения требуют некоторых вычислений. Параметр Z_n из условия:

$$Z_n : \Delta D_n \rightarrow \max$$

Данный параметр отвечает за сдвиг графика функции по оси X и выбирается такое значение, при котором ΔD_n принимает максимальное значение. Данное значение можно получить методом подбора или через поиск первой производной от функции 1.1.

$$\Delta D_n = f(D_0^{\max}) - f(D_0^{\min})$$

Параметр L_n должен быть равен ΔD_0 .

Параметр L_n должен быть равен ΔD_n .

Параметр γ_n вычисляется из соотношения:

$$\gamma_n L_n = \Delta D_n,$$

из которого следует

$$\gamma_n = \frac{\Delta D_n}{L_n}.$$

Параметр Z_n вычисляется аналогично, как и в случае с Z_n , только для выражения (1.2.)

Выражения (1.1) и (1.2) описывают класс психологически допустимых преобразований, они соответствуют градационной функции зрительного восприятия человеческого глаза. Существенная особенность заключается в том, что, в силу адаптационного сдвига при рассмотрении изображения в тёмном окружении, контрастная чувствительность глаза выше в светах изображения. На основе этого факта был сделан вывод, что белые детали любого изображения должны воспроизводиться на уровне полезного градиента, а параметры L_n и L_n , определяемые для каждого конкретного изображения как интервалы оптических плотностей объекта, должны принимать максимальное значение [2].

G_n и G_n отвечают за протяжённость криволинейных участков графика функций (1.1) и (1.2). Если G большая величина, то протяжённость криволинейных участков мала, если величина маленькая – криволинейные участки имеют большое протяжение (рис. 3). Исходя из ранее

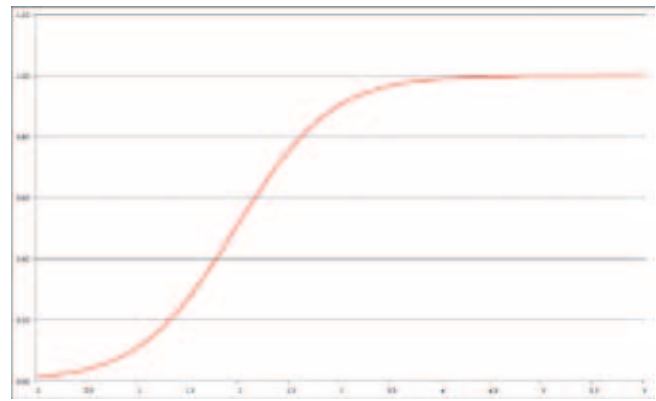


Рис. 3. График функции (1.1)

проведённых экспериментов, γ_n можно принять равной 0,5 [3]. Коэффициенты G_n и G_n выбираются в зависимости от ситуации, хотя если их принять равными 1, то график будет иметь достаточно плавные переходы. Нахождение параметров Z_n и Z_n сводится к поиску экстремумов функций (1.1) и (1.2), соответственно.

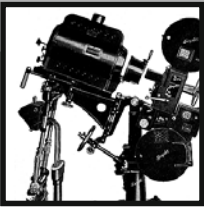
Данный алгоритм позволяет минимизировать потери информации при воспроизведении изображений с высоким динамическим диапазоном. Также этот алгоритм позволяет хранить в архивах графическую информацию в высоком качестве.

Заключение

Предложен конструктивный подход к воспроизведению архивных фильмовых материалов. Этот подход реализует дубликационно точное воспроизведение контуров и градационной составляющей с сохранением цветовой составляющей. Предложенная функция Л.Ф. Артюшина описывает класс психологически точных градационных преобразований. Возможна реализация модуля информационной системы при использовании любого профессионального оборудования для визуализации изображений. ■

ЛИТЕРАТУРА

1. И.Л. Артюшина, А.И. Винокур. Информационные системы: проблемы регистрации и воспроизведения изображений // Известия высших учебных заведений. Проблемы полиграфии и издательского дела № 4, с. 75–82, 2011.
2. А.И. Винокур. Технология копирования архивных фильмовых материалов // А.А. Белоусов, М.С. Васин, А.И. Винокур. Москва: НИКФИ, 2003.
3. А.И. Винокур. Экспериментальные определения сенситометрических параметров для современных многослойных киноплёнок. Труды НИКФИ, 1992.
4. И.Л. Артюшина, А.И. Винокур. О точности передачи градационной и структурной информации в репродукционных процессах // Сборник научных трудов Научно-исследовательского кинофотоинститута «Методы совершенствования технологии кинематографии с использованием вычислительной техники», с. 43–47, 1996.



ИССЛЕДОВАНИЕ АРТЕФАКТОВ В СТЕРЕОКИНО и примеры анализа кинокартин



А. Воронов, аспирант, В. Нападковский, А. Борисов, студенты, Д. Ватолин, к.ф.-м.н. факультет вычислительной математики и кибернетики, лаборатория компьютерной графики и мультимедиа, МГУ им. М.В. Ломоносова

Аннотация

В работе рассмотрены артефакты, характерные для современных стереофильмов. Приведены примеры часто встречающихся артефактов как для видео, снятого с помощью стереокамеры, так и для сконвертированных видеопоследовательностей. Предложено несколько новых методов обнаружения артефактов. Представлены наработки по созданию системы комплексной оценки качества стереоскопического видео. Приведены результаты анализа качества видео нескольких современных кинофильмов.

Ключевые слова: артефакты, стерео видео, алгоритм, визуализация, кинофильм.

STEREO VIDEO ARTIFACTS INVESTIGATION AND EXAMPLES OF MOVIE ANALYSIS

A. Voronov, V. Napadovskiy, A. Borisov, D. Vatolin

In this work we observe artifacts, which are specific for the modern stereo films. Examples of common artifacts are provided both for video captured with stereo camera and for converted video sequences. Several new methods of artifact detection are proposed. We present studies on the development of the system for integrated quality assessment of stereoscopic video. The quality analysis results for several modern films are provided.

Keywords: artifacts, stereo video, algorithm, visualization, movie.

Введение

В настоящее время растёт популярность трёхмерного видео. Увеличивается количество материала, доступного в формате 3D, растут объёмы продаж дисплеев и проекторов с поддержкой 3D. Появляются проблемы при переходе от 2D-формата к 3D, решение которых приводит к дополнительным требованиям к качеству материала.

Первая проблема состоит в том, что не любое 3D-видео подходит для комфортного просмотра на всех устройствах. Разные устройства имеют различные диапазоны комфортного параллакса, и, например, 3D-эффект в видео, подготовленном для большого экрана в кинотеатре, будет практически незаметным при просмотре на домашних дисплеях. Таким образом, необходим инстру-

мент для оценки параллакса стереоскопического видео и требуется умение определять, какой параллакс является комфортным для каждого конкретного устройства воспроизведения.

Вторая проблема – это контроль соответствия между ракурсами. Существует множество различных техник для создания трёхмерного материала. Видео может быть снято с помощью стереокамеры, конвертировано из 2D-формата или получено с помощью визуализации 3D-модели сцены. В некоторых случаях эти подходы используются совместно.

При создании стереовидео возникают следующие трудности. При съёмке видео с помощью стереокамеры необходима точная калибровка геометрии и цветопередачи камер, достичь которую на практике бывает трудно. Кроме того, стерео, снятое с наездом камеры, может быть рассинхронизировано. Необходимо контролировать резкость каждого ракурса: один и тот же объект должен быть в фокусе и в левом, и в правом ракурсе.

При конвертации из 2D-формата в 3D наиболее важной является обработка краёв и областей открытия. При неаккуратной обработке полупрозрачных краёв и тонких объектов некоторые части переднего плана могут «приклеиться» к фону. Для границ сложной формы или для текстурированного фона неаккуратная обработка может привести к характерному дрожанию на краях, которое будет особенно заметно при движении объектов. Подобные проблемы могут полностью испортить впечатление от просмотра 3D-видео.

Обзор области

Мы провели обзор подходов для определения и исправления проблем, описанных выше, в стереовидео, в основном сосредоточившись на методах определения.

Для оценки соответствия по цвету можно применить алгоритмы цветокоррекции стереовидео. Существуют как методы, вычисляющие глобальное преобразование для всего кадра [1], так и анализирующие отдельные области кадра независимо [2]. С помощью этих методов мы можем оценить разницу по цвету между ракурсами. В большинстве работ по исправлению геометрических искажений рассматривается задача ректификации стерео [3,4], в них, в том числе, рассматривается вычисление таких параметров, как вертикальный параллакс, поворот и вертикальные перспективные искажения. Специальный метод для исправления рассинхронизации по времени при приближении (при съёмке с наездом камеры) представлен в [5]. Для определения различий по резкости в стереопаре возможно произвести сопоставление с помощью опорных точек, оценить меру резкости [6] в обоих ракурсах и сравнить результаты в соответствующих областях.

Также важной задачей является оценка синхронизации во времени. Существует множество методов для решения этой задачи. В основе некоторых лежит сопоставление 3D-структуры видео в измерениях ширина×высота×время на уровне пикселей или супер-

пикселей [7]. В других методах понижается сложность задачи за счёт вычисления специального «следа» на основе видео, и затем происходит сопоставление таких «следов». Примерами «следов» являются пиксели, находящиеся на эпиполярных линиях [8] или количество точек интереса в кадре [9]. Вычисление рассинхронизации во времени также необходимо для выявления случаев, когда стереовидео получено из 2D путём временного сдвига в одном ракурсе. Но если движение в видео было неравномерным, то полученное стерео будет нестабильным.

Предложенный метод

Нашей целью является создание инструмента для анализа стереовидео, с помощью которого можно оценивать максимальный и средний параллакс в видео. Это позволит определять, подходит ли данное видео для данного дисплея, и автоматически находить сцены с искажениями. На текущий момент реализованы следующие метрики :

- оценка максимального параллакса;
- оценка соответствия по цвету;
- оценка геометрического соответствия;
- оценка соответствия по фокусу.

Для сопоставления ракурсов мы используем блочный алгоритм оценки движения, описанный в [10]. Данный алгоритм оценивает движение с точностью $\frac{1}{4}$ пикселя для блоков размером от 4×4 до 16×16 . Основной причиной использования блочного подхода является скорость обработки: данный подход заметно быстрее, чем оценка оптического потока или сопоставление особых точек.

Оценка максимального параллакса

Алгоритм оценки максимального параллакса состоит из следующих шагов:

1. Оценка смещения между ракурсами;
2. Фильтрация поля векторов смещения;
3. Построение приближённой карты смещения и оценка распределения глубины в кадре;
4. Анализ распределения глубины по всей видеопоследовательности.

Фильтрация векторов смещения необходима для устранения выбросов, которые возникают, в основном, в слабо текстурированных областях. Важно заметить, что подобные артефакты по глубине в однородных областях будут практически незаметны, поэтому эти области не оказывают значительного влияния на конечный результат. Фильтрация поля векторов основывается на мере надёжности [11].

В работе [11] оценивается надёжность на основе дисперсии яркости пикселей блока, ошибки компенсации блока и соответствия направления векторов между соседними блоками. На этом этапе получается карта надёжности поля векторов смещения. Эта карта в дальнейшем используется при вычислении распределения глубины в кадре. Оцениваем глубину как горизонтальную

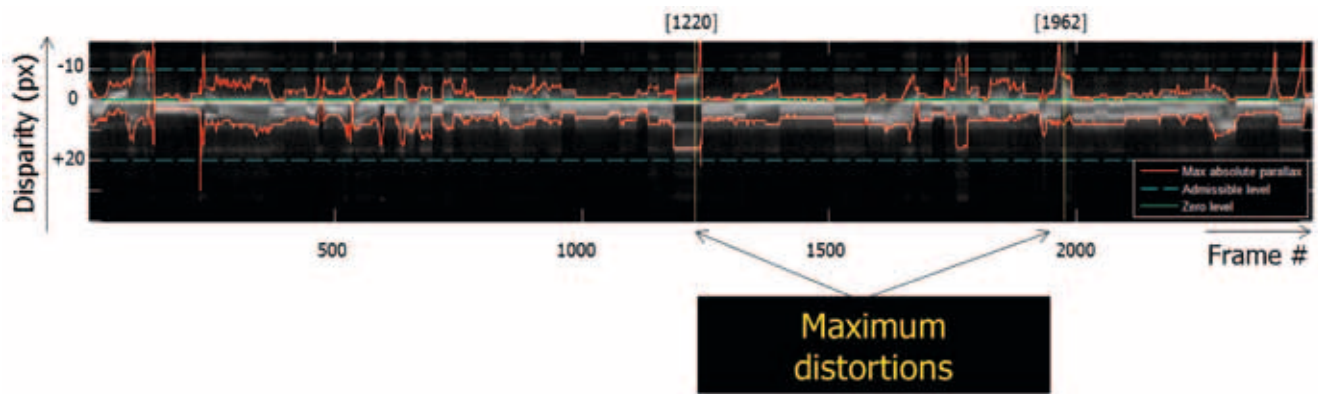


Рис. 1. График контроля параллакса для трейлера фильма «Смурфики»



а) Левый ракурс



б) Правый ракурс



в) Визуализация (левый ракурс)

Рис. 2. Результат метрики контроля параллакса

компоненту вектора смещения для данного блока, затем вычисляем гистограмму распределения глубины в кадре. Учитываются только блоки с высокой надёжностью. Затем обрезаем по 5% крайних значений гистограммы и принимаем получившиеся крайние значения как минимальный и максимальный параллакс.

Для анализа глубины строим график распределения, на котором для каждого кадра в видео показана доля пикселей данной глубины. Предварительно просим пользователя ввести значение характеристик дисплея, которые однозначно позволяют определить допустимый уровень параллакса, на котором не будут возникать артефакты. Пример такого графика приведён на рис. 1 для трейлера фильма «Смурфики». Параллакс заметно различается

от сцены к сцене. Значительный параллакс присутствует только на небольшом количестве сцен. Затем отмечаем кадры, параллакс которых превосходит допустимый уровень (рис. 2). Приведён пример сцены с избыточным параллаксом и визуализация к ней. Красным цветом на визуализации отмечен объект с избыточным параллаксом, синим и зелёным — области с комфортным параллаксом.

Соответствие по цвету

Причины появления несоответствия по цвету обычно связаны с камерами. Во-первых, даже у одинаковых камер могут отличаться сенсоры, что приводит к тому, что один и тот же объект имеет разные оттенки в разных ракурсах. Во-вторых, недорогие камеры не позволяют установить ручную экспозицию и баланс белого, что потенциально приводит к разнице в цветовом диапазоне между ракурсами.

Алгоритм оценки соответствия по цвету состоит из двух шагов. Первый шаг — компенсируются глобальные цветовые искажения с помощью алгоритма сопоставления гистограмм по каждому из цветовых каналов. С помощью такого преобразования правый ракурс приводится к левому. Второй шаг — выполняется блочная компенсация движения между левым и правым ракурсом. В алгоритме компенсации движения применена метрика вычисления ошибки компенсации каждого блока, которая более устойчива к искажениям по цвету. Сумма квадратичных разностей (MSE) между скомпенсированным левым и преобразованным правым ракурсами является значени-

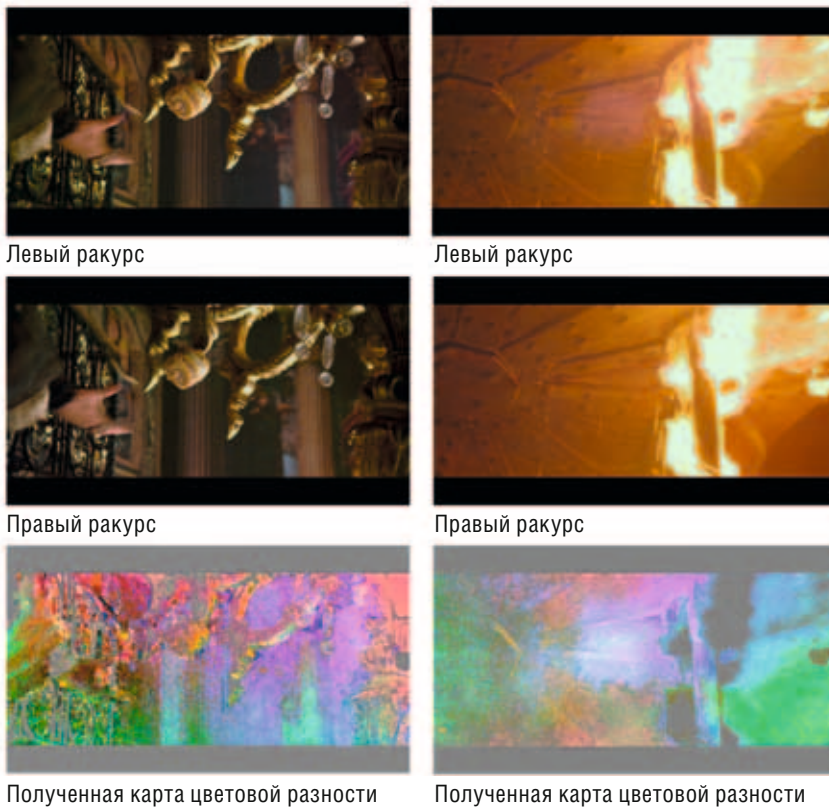


Рис. 3. Примеры выявленного несоответствия по цвету из фильма «Пираты Карибского моря: на странных берегах»



Рис. 4. Пример автоматически найденной сцены с геометрическими искажениями из фильма «Обитель зла 4: Жизнь после смерти»

ем метрики. Чем больше значение метрики, тем больше несоответствие по цвету. Примеры сцен с выявленным расхождением по цвету приведены на рис. 3, где серым цветом отмечены области без искажений. Чем больше отличие от серого, тем сильнее искажение в области.

Геометрическое соответствие

Данный алгоритм позволяет выявлять случаи, когда камеры не были откалиброваны геометрически. Алгоритм обнаруживает сцены с вертикальным параллаксом и поворотом камер друг относительно друга. На текущий момент не используется эпиполярная геометрия. Оценивается блочное поле векторов смещения между ракурсами, и вертикальный параллакс оценивается как среднее значение вертикальной компоненты векторов.

Для определения поворота камер вычисляется полученное значение вертикального параллакса из векторов, затем вычисляется среднее значение возможных углов поворота. В расчёт берутся только вектора с высокой мерой доверия. Анализ полученных значений во времени позволяет обнаруживать проблемные сцены (рис. 4). Вертикальный параллакс можно оценить по положению пальцев и подбородка девушки относительно вспомогательных красных линий. Также в сцене присутствует заметное искажение по цвету.

Соответствие по фокусу

Алгоритм оценки соответствия по фокусу ориентирован на поиск областей сцены, отличающихся по резкости. Основные этапы алгоритма следующие:

1. выделение высоких частот в каждом ракурсе;
2. сопоставление высоких частот между ракурсами;
3. выделение связанных компактных областей, различных по высоким частотам.

Для выделения высоких частот вычитаем из исходного кадра результат сглаживания этого кадра. Мы используем билатеральный фильтр [12] вместо фильтра Гаусса, чтобы избежать выделения границ объектов. Сопоставление высоких частот осуществляется на основе результатов алгоритма компенсации движения [12]. Для повышения надёжности карта высоких частот предварительно сглаживается с помощью фильтра Гаусса. Результатом первого и второго этапов является карта штрафа: для каждого пикселя вычисляется разница между значениями на карте высо-

ких частот левого и правого ракурса, затем выделяются 15% пикселей с наибольшим значением разницы. С помощью алгоритма выделения связанных компонент на карте штрафа выделяются крупные проблемные области. Для каждой области вычисляется значение штрафа, учитывающее площадь области и среднее значение в области по карте штрафа. Результат метрики – максимальное значение штрафа для некоторой области. Промежуточные данные и конечный результат работы алгоритма проиллюстрированы на рис. 5. Наиболее яркая область на карте штрафа (е) указывает на область с различным фокусом между ракурсами. Формируемое значение учитывает силу артефакта (насколько сильно область отличается по резкости на левом и правом ракурсах) и заметность артефакта (площадь проблемной области).

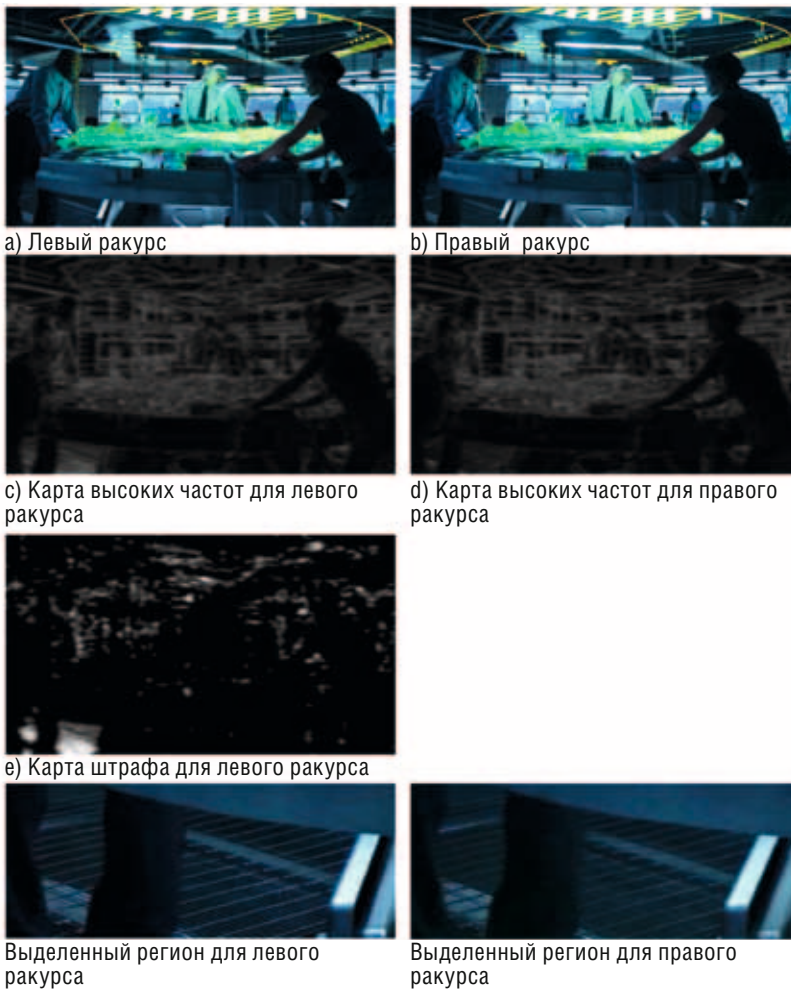


Рис. 5. Этапы работы алгоритма выявления несоответствия по фокусу на примере кадра из трейлера «Аватар: Мир Пандоры»

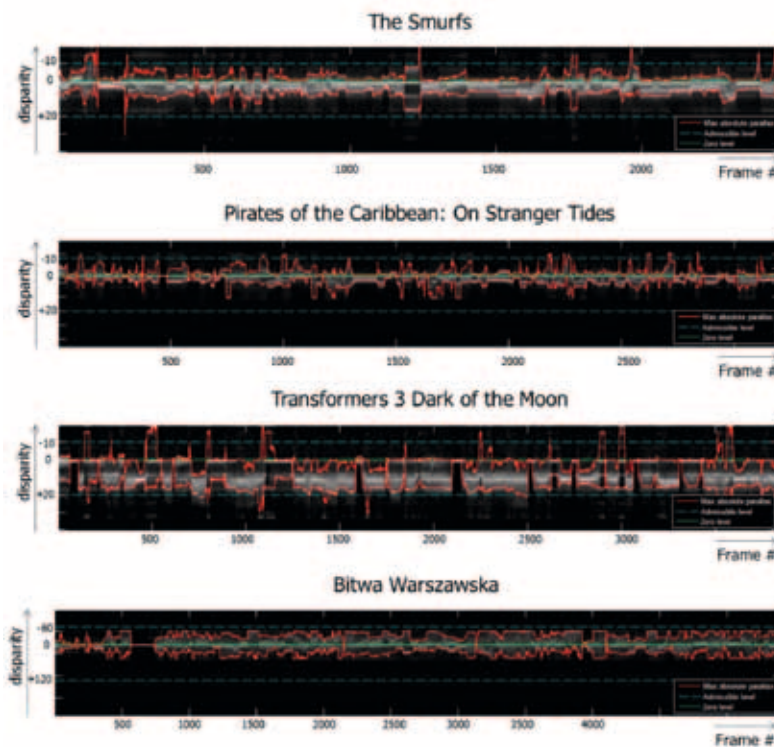


Рис. 6. Графики, демонстрирующие разные стратегии распределения глубины для трейлеров разных фильмов

Тестирование трейлеров и фильмов

Изначально в качестве материалов для изучения были выбраны трейлеры известных современных стереофильмов:

1. Аватар: Мир Пандоры;
2. Пираты Карибского моря: на странных берегах;
3. Трансформеры 3: тёмная сторона Луны;
4. Алиса в Стране Чудес;
5. Пастырь;
6. Обитель зла 4: жизнь после смерти;
7. Смурфики;
8. Варшавская битва. 1920;
9. Трон: Наследие;
10. Хроники Нарнии: Покоритель Зари.

Для всех видео была проанализирована стратегия распределения глубины. Примеры графиков приведены на рис. 6. По горизонтальной оси отложена временная шкала, по вертикальной – параллакс. Красные линии означают крайние значения параллакса в данном кадре. Яркость точек между ними соответствует площади относительной площади областей в кадре с данным параллаксом. В фильмах «Трансформеры 3» и «Варшавская битва» глубина распределена равномерно на протяжении всей последовательности, а в «Пиратах Карибского моря» и «Смурфиках» присутствуют сцены с разной силой 3D-эффекта. Из рассмотренных трейлеров все, кроме «Варшавской битвы», были созданы с параллаксом для 3D-кинотеатров.

Также было проанализировано соответствие по цвету, фокусу и геометрии. Во всех снятых материалах присутствуют сцены с несоответствием по цвету. Расхождение по геометрии практически не встречается. Несоответствие по фокусу характерно для сцен крупным планом, которые обычно снимаются на зеркальный стереориг. Возникновение несоответствия по фокусу также может быть связано со способом кодирования стереовидео. При использовании H.264 MVC кодеков один ракурс представляет собой стандартный H.264-поток, а второй ракурс закодирован с использованием первого. Таким образом, сжатие является асимметричным, и в одном из ракурсов может присутствовать меньше высокочастотной информации. Суммарно по итогам тестирования трейлеров было выявлено около 70 сцен с артефактами.

При тестировании полнометражных фильмов основной проблемой является время вычислений, поскольку обработка



«Левый» ракурс

«Правый» ракурс

Рис. 7. Пример перепутанных ракурсов в трейлере фильма «Смурфики», кадр 1969



Левый ракурс

Правый ракурс

Рис. 8. Пример неаккуратного контроля плавающего окна в фильме «Аватар»

трёхчасового фильма в разрешении 960×540 (четверть FullHD) с помощью четырёх метрик занимает около пяти дней на процессоре Intel Core i7-920.

Направление дальнейшей работы

Есть два основных направления дальнейшего развития. Первое – это увеличение количества вычисляемых метрик. Второе – оптимизация вычислений с целью ускорения обработки.

Далее описаны примеры артефактов, автоматическое определение которых планируется реализовать.

Перепутанные каналы

Мы планируем оценивать, не были ли перепутаны левый и правый каналы местами. Такое возможно на стадии редактирования и монтажа, особенно для коротких по времени сцен. Пример такого артефакта встречается в трейлере фильма «Смурфики» (рис. 7). Основной частью данного алгоритма будет являться анализ областей открытия при сопоставлении ракурсов. На основе того, с какой стороны от объекта находится область открытия, можно определить, какой это ракурс.

Плавающее окно

Данная метрика подразумевает выявление кадров, в которых объект, находящийся перед плоскостью экрана, расположен с одного из краёв изображения так, что он виден в одном ракурсе и не виден в другом (на рис. 8 проблемный объект отмечен красным прямоугольником). На стадии создания фильма это может быть исправлено изменением базового уровня глубины или добавлением чёрной полосы к краю кадра, чтобы скрыть проблемный объект. При отсутствии обработки это воспринимается как искажение на границе кадра. Определение таких сцен требует анализа карт глубины и областей открытия на границе кадра.

Рассинхронизация во времени

Планируется выявлять случаи расхождения потоков во времени как для снятого видео, так и для сконвертированного видео, полученного путём смещения на несколько кадров.

Эффект кулисности

Эффект кулисности – возможный артефакт сконвертированного видео. В случае недостаточно качественной конвертации, возможно, с использованием масок объектов, каждому объекту может быть назначена глубина, при этом сам объект будет плоским. Задний план также может остаться плоским или недостаточно детально прорисованным. При этом, если есть маски только для объектов переднего плана, то объекты заднего плана будут «приклеены» к фону. Иллюстрация на рис. 9 поясняет причины появления таких артефактов (для 3D-эффекта объекты отделены от фона и их форма плоская. Схема с конференции I3DS 2011, презентация Jon Karafin). На рис. 10 приведены примеры артефактов, где разница между ракурсами, скомпенсированная по фону, демонстрирует, что толпа и горы за ней имеют одинаковую глубину, а два человека, стоящие позади, имеют одинаковую глубину со стеной на заднем плане.

люстрация на рис. 9 поясняет причины появления таких артефактов (для 3D-эффекта объекты отделены от фона и их форма плоская. Схема с конференции I3DS 2011, презентация Jon Karafin). На рис. 10 приведены примеры артефактов, где разница между ракурсами, скомпенсированная по фону, демонстрирует, что толпа и горы за ней имеют одинаковую глубину, а два человека, стоящие позади, имеют одинаковую глубину со стеной на заднем плане.

Заключение

В работе представлена система автоматической оценки качества стереовидео. Описаны алгоритмы и представлены результаты оценки четырёх характеристик стереовидео:

- максимальный параллакс;
- соответствие по цвету;
- соответствие по геометрии;
- соответствие по фокусу.

Проведено тестирование на трейлерах современных фильмов и полнометражных версиях, представлены примеры проблемных сцен, которые были найдены.

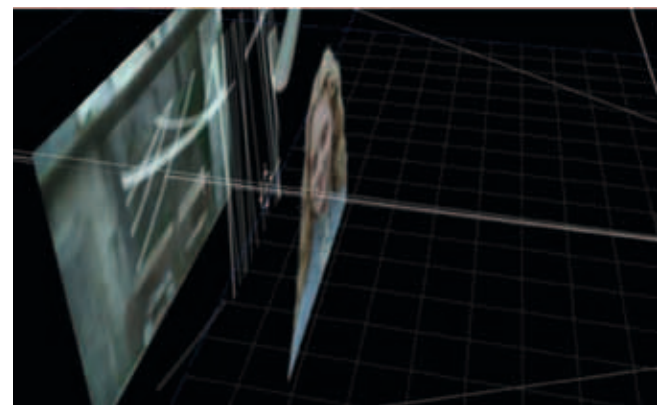


Рис. 9. Схема, иллюстрирующая эффект кулисности



Рис. 10. Примеры эффекта кулиности в фильме «Гарри Поттер и дары смерти: часть 2»

Основным направлением дальнейшего развития работ является расширение набора вычисляемых метрик, в том числе, и для сконвертированного видео. По итогам обработки полнометражных фильмов планируется публиковать отчёты с демонстрацией найденных проблемных сцен, а также анализом качества по всему фильму.

Возможные способы исправления каждой из описанных проблем являются отдельной большой темой для изучения.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Yamamoto Kenji and Oi Ryutarō*. Color correction for multi-view video using energy minimization of view networks. *International Journal of Automation and Computing*, vol. 5, no. 3, p. 234–245, 2008.
2. *Yu J.J., Kim H.D., Jang H.W. and Nam S.W.* A hybrid color matching between stereo image sequences. *Proceedings of 3DTV-Conference 2011*, p. 1–4, 2011.
3. *Lin Guo-Yu, Chen Xu and Zhang Wei-Gong*. A robust epipolar rectification method of stereo pairs. *Measuring Technology and Mechatronics Automation, International Conference*, vol. 1, p. 322–326, 2010.
4. *J. Zhou and B.X. Li*. Image rectification for stereoscopic visualization without 3D glasses. *Image and Video Retrieval*, p. 495–498, 2006, Springer Berlin / Heidelberg.
5. *Doutre Colin, Pourazad Mahsa T., Tourapis Alexis M., Nasiopoulos Panos and Ward Rabab K.* Correcting unsynchronized zoom in 3D video. *Proceedings of IEEE International Symposium on Circuits and Systems*, p. 3244–3247, 2010.
6. *Liang Luhong, Chen Jianhua, Ma Siwei, Zhao Debin and Gao Wen*. A no-reference perceptual blur metric using histogram of gradient profile sharpness. *Proceedings of the 16th IEEE International Conference on Image Processing*, p. 4309–4312, 2009.
7. *Caspi Yaron and Irani Michal*. Spatio-temporal alignment of sequences. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 24, p. 1409–1424, 2002.
8. *V. Guitteny, R. Benosman and C. Charbuillet*. Synchronizing video sequences from temporal epipolar lines analysis. *Advanced Concepts for Intelligent Vision Systems*, October 2008.
9. *Jingyu Yan and Pollefeys Marc*. Video synchronization via space-time interest point distribution. *Proceedings of Advanced Concepts for Intelligent Vision Systems*, 2004.
10. *Simonyan Karen, Grishin Sergey, Vatolin Dmitry and Popov Dmitry*. Fast video super-resolution via classification. *International Conference on Image Processing*, p. 349–352, 2008.
11. *Simonyan Karen, Grishin Sergey and Vatolin Dmitry*. Confidence measure for block-based motion vector field. *Graphicon*, p. 110–113, 2008.
12. *C. Tomasi, R. Manduchi*. Bilateral filtering for gray and color images. *Sixth International Conference on Computer Vision*, p. 839–846, 1998.

Благодарности

Работа частично поддержана грантами РФФИ № 10-01-00697-а и Intel/Cisco Video-Aware Wireless Network (VAWN) Program. ■



ШИРОКОЭКРАННЫЕ СИСТЕМЫ КИНЕМАТОГРАФА



Н.А. Майоров, режиссёр-оператор, киновед, член Международной Федерации журналистов

(Окончание. Начало в МТК № 24, 25)

Разработка отечественной системы широкоэкрannого кинематографа была вызвана не борьбой за кинозрителя, а желанием не отстать от Запада.

В отличие от системы «CinemaScope», разработчики советской системы «Широкий экран» выбрали размеры

кадра, дающие одинаковое соотношение сторон изображения на экране, равное 2.35:1, и для фильмокопий с одноканальной фотографической фонограммой, и фильмокопий с четырёхканальной магнитной стереофонической фонограммой (в обоих вариантах размер кадра в позитиве – 21,2x18,1 мм).

Характеристики системы «Широкий экран»

ПАРАМЕТРЫ	Магнитная четырёхканальная фонограмма	Фотографическая одноканальная фонограмма
Размер киноплёнки, мм	35	35
Размер кадра негатива, мм	22x18,6	22x18,6
Размер проецируемого кадра, мм	21,2x18,1	21,2x18,1
Шаг кадра, мм	19	19
Шаг перфорации, мм	4,75	4,75
Размер перфораций негатива, мм	1,98x2,8	1,98x2,8
Размер перфораций позитива, мм	1,85x1,98	1,98x2,8
Соотношение сторон кадра в негативе	1.18:1	1.18:1
Соотношение сторон кадра в позитиве	1.17:1	1.17:1
Соотношение сторон экрана	2.35:1	2.35:1
Коэффициент анаморфирования при проекции	2	2
Фонограмма	четыре магнитные звуковые дорожки: три – шириной 1,6 мм одна – шириной 0,74 мм	Одна оптическая шириной 2,54 мм
Площадь проецируемого кадра, мм ²	384	384

29 июля 1955 года на первой полосе газеты «Вечерняя Москва» под названием «На широком экране» читатели прочли сообщение о том, что в этот день открылись двери кино «Художественный» – первого в СССР широкоэкрannого стереофонического кинотеатра.

По порядку демонстрации документальный фильм «МОСКВА ПРАЗДНИЧНАЯ», открывавший программу, можно считать первым советским широкоэкрannым фильмом со стереофоническим звуком, вторым – видовой фильм «ПОД СОЛНЦЕМ ЮГА» и третьим – киноочерк «В ЧУДЕСНОМ ГОРОДЕ», завершавшим кинопрограмму. В РГАКФД сохранились все исходные материалы (негатив, лаванда, фонограмма), а также по одной позитивной копии с



Кадр из фильма «Под солнцем юга» (1955)



Кадр из фильма «Илья Муромец» (1956)

магнитной фонограммой фильмов первой широкоэкранной программы.

В августе 1955 года первая широкоэкранная кинопрограмма начала демонстрироваться и в реконструированном московском кинотеатре «Форум», вмещавшем 927 зрителей.

Впервые кинотеатр «Форум» был открыт в январе 1915 года. Тогда кинотеатр вмещал две тысячи зрителей, и по общему признанию считался роскошнейшим и величайшим в Москве кинотеатром, специально выстроенным для этой цели.

В 1955 году «Форум» стал вторым широкоэкранном кинотеатром в СССР, после кинотеатра «Художественный». Но если последний, пережив несколько реконструкций и оснащённый сегодня по последней кинотехнической моде, продолжает «крутить кино», то «Форум» закрылся в 1994 году, а позже просто сгорел.

24 октября 1955 года одновременно в кинотеатрах «Художественный» и «Форум» началась демонстрация первого экспериментального игрового широкоэкранного фильма-ревю «СЧАСТЛИВАЯ ЮНОСТЬ», поставленного режиссёрами С. Гуровым и Э. Рязановым.

В этот же день, 24 октября 1955 года, на экран был выпущен широкоэкранный документальный киноотчёт о футбольном матче «Футбол. Германская Федеративная Республика – СССР». К сожалению, найти исходные материалы или копию этого фильма ни в РГАКФД, ни в Госфильмофонде России не удалось.

15 декабря 1955 года на экраны первых широкоэкранных кинотеатров вышли ещё два широкоэкранных фильма: «Мелодии фестиваля» и «В гостях у птиц и зверей».

«Великолепная семёрка» первых советских широкоэкранных фильмов больше года с неизменным успехом демонстрировалась в открывающихся широкоэкранных кинотеатрах по всей стране. 14 февраля 1956 года на экран был выпущен восьмой отечественный широко-

экранный фильм «Товарищ» уходит в море», которому в этом же году была присуждена Большая премия Каннского фестиваля за высокое качество стереозвука (звукорежиссёр К. Бек-Назаров).

16 ноября 1956 года в московском кинотеатре «Художественный» прошла премьера первого советского широкоэкранного полнометражного игрового фильма «ИЛЬЯ МУРОМЕЦ».

В 1956 году также были выпущены в прокат цветные широкоэкранные фильмы со стереофоническим звуком:

– короткометражный игрово-

вой фильм «Пять дней», поставленный на киностудии «Ленфильм» режиссёром Михаилом Шапиро;

– историко-революционный боевик «Пролог», поставленный режиссёром Ефимом Дзиганом на киностудии «Мосфильм»;

– документальные фильмы «В древней Агре» (оператор Д. Каспий) и «Ленинградская осень» (операторы В. Микоша, А. Зенякин), снятые на Центральной студии документальных фильмов.

23 мая 1957 года был выпущен на экран «Дон Кихот» – первый цветной широкоэкранный полнометражный игровой фильм киностудии «Ленфильм» (режиссёр-постановщик Г.М. Козинцев, операторы-постановщики А.Н. Москвин и А.И. Дудко). А в июле 1957 года свой цветной широкоэкранный стереофонический первенец под названием «Песни над Днепром» представила на суд зрителей Киевская киностудия имени А.П. Довженко.

14 ноября 1959 года выпущен на экран первый советский цветной широкоэкранный фильм-опера «ХОВАНЩИНА».

В начале 60-х годов XX века началось освоение широкого экрана советскими мультипликаторами. 22 августа 1960 года киностудия «Союзмультфильм» представила юным зрителям первый советский цветной широкоэкранный мультфильм «МУРЗИЛКА НА СПУТНИКЕ».

С 2 ноября 1963 года по 30 августа 1964 года в одном из залов московского кинотеатра «Рекорд» демонстрировался первый советский цветной широкоэкранный стереоскопический фильм со стереофоническим звуком «ВЕЧЕР В МОСКВЕ».

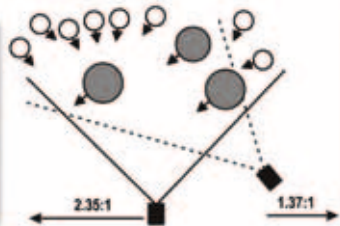
Надо отметить, что с увеличением производства широкоэкранных фильмов уменьшилась доля выпускаемых цветных широкоэкранных фильмов. Так, если все широкоэкранные фильмы выпуска до 1957 г. были цветными, то в 1958 году и 1959 цветные фильмы составляли только 50%.

Производство широкоэкранных фильмов в СССР с 1955 по 1959 год

Виды фильмов	1955	1956	1957	1958	1959
Широкоэкранные игровые фильмы	1	4	4	6	6
Широкоэкранные неигровые фильмы	6	3	2	3	6
Итого широкоэкранных фильмов всех видов	7	7	6	9	12



Широкоэкранный вариант



Обычный вариант



Схема одновременной съёмки в двух форматах сцены фильма «Дон Кихот»

К началу 1960 г. в Советском Союзе насчитывалось не более 500 широкоэкранных киноустановок. Сеть широкоэкранных кинотеатров расширялась медленно из-за недостаточного и некомплектного выпуска необходимого оборудования для её технического оснащения. Специальные широкоэкранные кинопроекторы выпускались в небольшом количестве, а недостаточное производство анаморфотных насадок не давало возможности приспособить кинопроекторы обычного типа для широкоэкранный проекции.

Постепенно сократился и выпуск широкоэкранных фильмов со стереофоническим звуком. Это объясняется двумя главными причинами. Первая – это нехватка оборудования для кинопроекции и воспроизведения звука по многоканальной системе. Вторая причина заключалась в том, что массовая печать стереофонических фильмов, из-за особенности тиражирования магнитных фонограмм, требует дополнительных операций и оборудования, что удорожает и удлиняет срок производства стереофонических фильмокопий. А так как цветные копии печатались в то время непосредственно с оригинального негатива, то скорость печати на копировальном аппарате снижалась больше чем вдвое, то есть уменьшалась производительность и увеличивалась цена.

При этом тиражирование цветных широкоэкранных стереофонических фильмов производилось только на Московской фабрике массовой печати цветных фильмов. Другие фабрики массовой печати не имели специального оборудования для нанесения магнитного полива и копирования на них стереофонических фонограмм. Чёрно-белые широкоэкранные фильмы тиражировались исключительно на Московской кинокопировальной фабрике и только с оптической монофонической фонограммой.

Расширение сети широкоэкранных кинотеатров, не имевших оборудования для стереофонического звуковоспроизведения, постепенно привело к переходу на массовую печать цветных фильмокопий с оптической монофонической фонограммой.

Таким образом, в первой половине 60-х годов сложились объективные предпосылки для прекращения выпуска широкоэкранных фильмов со стереофоническим звуком.

Только в конце XX века в России вновь появились широкоэкранные цветные фильмы со стереофоническим звуком, записанным по новым системам.

Кинокомедия «Три плюс два» и ещё два десятка пер-

вых цветных широкоэкранных игровых фильмов снимались в двух вариантах. Подчеркнём, что именно цветные. Все чёрно-белые широкоэкранные фильмы, начиная с 1958 года, снимались в одном варианте с последующей выкопировкой для обычного экрана методом контратипирования. Для проведения выкопировки и получения хорошего качества цветного изображения в эти годы ещё не было комплекта цветных киноматериалов. Но в связи с недостаточным количеством широкоэкранных киноустановок, необходимо было обеспечить возможность демонстрации широкоэкранных фильмов и в обычных кинотеатрах, что и заставило снимать цветные широкоэкранные фильмы в двух вариантах.

Существовало несколько способов съёмки второго, обычного варианта фильма. Именно второго, потому что первым был – широкоэкранный вариант. С расчётом на него строились декорации, устанавливался свет, разрабатывалась мизансцена и композиция кадра. В этих условиях при съёмке обычного варианта операторам приходилось как бы подстраиваться к предлагаемым обстоятельствам, изменяя композицию широкоэкранный кадра к пропорциям кадра обычного. В одном случае съёмка велась одновременно двумя камерами: оператор обычного варианта компоновал кадр так, чтобы в нём



Кадр из фильма «Алые паруса»: слева – широкоэкранный вариант, справа – обычный вариант



Кадр из фильма «Дон Кихот»: слева – широкоэкранный вариант, справа – обычный вариант



Кадр из фильма «Илья Муромец»: слева – широкоэкранный вариант, справа – обычный вариант



Кашированный позитив с негатива по системе «SuperScope»



Анаморфированный позитив по системе «SuperScope»

разместилась вся мизансцена и основные персонажи. В другом случае – обычный вариант снимался после окончания съёмки дублей для широкоэкранный вариант. Тогда у кинооператора была возможность изменить мизансцену, композицию кадра и свет, но естественно, что игра актёров отличалась от первого варианта. Иногда съёмка обычного варианта проходила не сразу после окончания основной съёмки, а через несколько часов или даже дней. В результате получалось как бы два разных фильма. Справедливости ради надо заметить, что не всегда второй (обычный вариант) был хуже широкоэкранный. И многие, особенно камерные сцены, наиболее органично смотрелись в обычном формате.

не: в «SuperScope» – 2:1, а в «SuperScope 235» – 2.35:1.

Съёмка в этих системах производится обычной 35-мм аппаратурой со сферической оптикой, как в системе «скрытого каше». Но с целью получения максимальной площади кадра для съёмки используется вся ширина плёнки между перфорациями 24,9 мм при высоте, равной 16 мм. Таким образом, размер будущего широкоэкранный кадра на негативе составлял, соответственно, в «SuperScope» – 12,45x24,9 мм и в «SuperScope 235» – 10,6x24,9 мм. На аппарате оптической печати происходит выпечка указанного изображения с одновременным анаморфированием его с коэффициентом 2:1.

В начале 60-х годов прошлого века в СССР были разработаны и начали выпускаться более качественные киноплёнки. Это дало возможность отказаться от съёмки цветных широкоэкранных фильмов в двух вариантах. Получение обычного варианта в цвете производилось путём выкопировки с цветного анаморфированного негатива оригинала. 9 ноября 1964 года в московском кинотеатре «Коллизей» прошла премьера первого советского цветного игрового широкоэкранный фильма «РУССКИЙ ЛЕС», снятого в одном варианте.

Системы с последующим анаморфированием кадра

К данной группе относятся системы, в которых съёмка производится обычной 35-мм аппаратурой без анаморфирования, а демонстрация фильма производится с 35-мм анаморфированных фильмокопий формата «Cinemascope» и его аналогов, полученных путём выпечки изображения с анаморфированием.

SuperScope® (Суперскоп)

Системы «SuperScope» и «SuperScope 235» разработаны Джозефом и Ирвингом Тушинскими (Joseph and Irving Tushinsky) для кинокомпании «RKO» в 1954 году. Главным отличием этих систем друг от друга является соотношение сторон изображения на экра-



Кадр из кинофильма «Vera Cruz» (Вера Круз) (1954) с соотношением сторон 2:1

12 мая 1954 года кинокомпания «Юнайтед Артист» (United Artists) выпустила на экраны «VERA CRUZ» (Вера Круз) – первый широкоэкранный фильм, снятый по этой системе совместно двумя кинофирмами «Флора



Позитив с негатива по системе «TechniScope»



Кадр из кинофильма «Per un pugno di Dollari» (За пригоршню долларов) (1963)



«Универсальный формат кадра»

Продакшнс» (Flora Productions) и «Хест-Ланкастер Продакшнс» (Hecht-Lancaster Productions), поставленный режиссёром Робертом Олдричем (Robert Aldrich) и оператором Эрнестом Лацло (Ernest Laszlo).

Свой первый широкоэкранный фильм – «Underwater!» (Под водой) по системе «SuperScope» кинокомпания «RKO Pictures» выпустила на экран только в 1955 году.

В августе 1956 года на экраны был выпущен первый игровой полнометражный фильм по системе «SuperScope 235» – «RUN FOR THE SUN» (К солнцу). Это была третья экранизация приключенческого романа Ричарда Коннелла (Richard Connell) «Самая опасная Игра» («The Most Dangerous Game»).

В 50-60-х годах по системам «SuperScope» и «SuperScope 235» было снято около пятидесяти фильмов.

В 80-х годах XX века на основе системы «SuperScope» была разработана система «Super 35®».

Techniscope® (Технископ)

Система разработана итальянским отделением компании «Technicolor» в 1963 году. В отличие от системы «SuperScope» (Суперскоп), съёмка производится модифицированной кинокамерой, обеспечивающей шаг кадра в две перфорации на 35-мм плёнке. Уменьшение шага кадра даёт экономию плёнки, увеличивая продолжительность съёмки на стандартной кассете в два раза. Печать позитивной копии фильма производится так же, как в системе «SuperScope» (Суперскоп).

Первый широкоэкранный фильм по системе «TechniScope» «PER UN PUGNO DI DOLLARI» (За пригоршню долларов), поставленный в Италии режиссёром Серджо Леоне (Sergio Leone) и оператором Массимо Далламаном (Massimo Dallamano) с Клинтом Иствудом (Clint Eastwood) в главной роли, выпущен на экран 27 августа 1964 года.

Универсальный формат кадра

Советская система «Универсальный формат кадра» была разработана Н.Д. Бернштейном, М.З. Высоцким и Б.Н. Коноплёвым на киностудии «Мосфильм» совместно с НИКФИ (Авторское свидетельство № 240474 от 5 октября 1967 г.).

В основе процесса лежит принцип использования полной площади кадра по высоте и по ширине от перфорации до перфорации, как и в американской системе «Super Scope». Для съёмки используется обычная съёмочная аппаратура, стандартная скорость съёмки и шаг кадра, вся линейка сферической оптики и трансфокаторы. Замена подлежит только кадровая рамка. Вместо стандартной кадровой рамки устанавливается рамка с размерами 24,85x16 мм, что увеличивает площадь негатива и его информационную ёмкость.

В отличие от «SuperScore», где композиция кадра строится оператором только в расчёте на широкоэкранный вариант, съёмка по системе «Универсальный формат кадра» ставит сложную задачу перед кинооператором. Он должен компоновать кадр так, чтобы сюжетно

важные элементы находились в пределах зоны видения, соответствующей сразу двум форматам – широкоэкранному и обычному, а также помнить о том, что около 3 мм левой части кадра не входят в поле кадра обычной системы кинематографа и пропадёт при печати обычной копии.

В то же время все предметы, лежащие выше и ниже горизонтальных границ широкоэкранный кадра, не будут обрезаться, то есть надо следить за тем, чтобы в кадр не попадали посторонние предметы, и вообще всё, что не относится к сюжету данного кадра.

С полученного кадра можно напечатать следующие варианты фильмокопий:

1. Классический формат 1.37:1 на 35-мм киноплёнке;
2. Широкоэкранный 2.35:1 с анаморфированным кадром на 35-мм киноплёнке;
3. Широкоформатный 2.21:1 на 70-мм киноплёнке;
4. Кашированный от 1.66 до 1.85:1 на 35-мм киноплёнке.

Обычный формат получают путём контактной печати, а широкоэкранный, широкоформатный и кашированный варианты получают путём оптической печати.

Универсальность системы для тиражирования и выпуска фильма в разных форматах, включая и широкоформатный вариант, при значительно меньших расходах на производство, была настолько привлекательна для кинопрокатчиков, что некоторые нарушения в композиции кадра их мало интересовали.

Операторам же приходилось проявлять настоящее мастерство, соединяя несоединимое, чаще строить композицию кадра для широкоэкранный варианта, что хорошо заметно при демонстрации обычного варианта фильма по телевидению. Особой радости новый формат операторам не доставлял, но все неудобства компенсировались им плёнкой «Кодак», а именно, только на ней и снимались в то время фильмы по системе «Универсальный формат кадра».

14 января 1974 года на советский экран был выпущен первый цветной широкоэкранный полнометражный



а)

б)



в)

Кадр из фильма «Экипаж» (1980).

Три варианта позитивной копии по системе «Универсальный формат кадра»:

- а) 35 мм широкоэкранный вариант с анаморфированным кадром; б) 35 мм обычный вариант; в) 70 мм широкоформатный вариант со стереофонической магнитной фонограммой

Характеристики системы «Универсальный формат кадра»

Параметры	Негатив	Фильмокопии		
		Обычный формат	Широко-экранные	Широко-форматные
Ширина киноплёнки, мм	35	35	35	70
Размеры, мм:	24,85x16	-	-	-
- кадра в негативе		22x16	24,85x10,6	24,85x11
- участка негатива для печати проецируемого участка позитива		20,7x15,2	21,2x18,1	48,5x22
Коэффициент анаморфирования при печати	-	-	0,5	-
Номинальная частота, кадр/с	24	24	24	24
Шаг кадра, мм	19	19	19	23,75
Фонограмма	-	Оптическая моно	Оптическая моно	Магнитная шести-канальная стерео

Характеристики системы «VistaVision»

Параметры	Негатив	Соотношение сторон фильмокопии			
		Контактная печать	Оптическая печать		
			1.96:1	1.48:1	1.66:1
Размер киноплёнки, мм	35	35	35		
Размер кадра негатива, мм	37,72x25,17				
Размер проецируемого кадра, мм		36x18,34	21,9x14,65	21,9x13,13	21,9x11,8
Шаг кадра, мм	38	38	19	19	19
Площадь кадра, мм ²	949	660	321	288	258
Фонограмма		монофоническая одноканальная оптическая			

игровой фильм «НЕЙЛОН 100%», снятый по советской системе «Универсальный формат кадра». По этой системе снято около двадцати фильмов, среди них (в скобках дата выпуска в прокат): «Они сражались за Родину» (12.05.1975), «Сказ про то, как царь Петр арапа женил» (06.12.1976), «Легенда о Тиле» (14.11.1977), «Мимино» (27.03.1978), «Экипаж» (12.05.1980), «Тегеран-43» (21.08.1981), «Сказка странствий» (05.09.1983) и другие.

Super 35® (Супер 35)

Система разработана на основе системы «SuperScope®» (Суперскоп) в 1986 году. Съёмка производится стандартной 35-мм кинокамерой с расширенной до размера немого кино кадровой рамкой с пропорцией 1.33:1. Таким образом, площадь кадра увеличивается до максимальной. С полученного оригинала путём оптической выпечки с анаморфированием получают стандартную широкоэкранный фильмокопию на 35-мм плёнке по системе «Panavision» с соотношением сторон на экране 2.35:1. А для демонстрации фильма по обычной системе делают пан-сканирование сюжетно важной части изображения и оптическим путём печатают 35-мм позитив с соотношением сторон 1.37:1.

При построении композиции кадра во время съёмки кинооператор ориентируется на получение широкоэкранный варианта фильма, как основного. Но поскольку пан-сканирование обычного варианта производится со всей площади негатива-оригинала, кинооператор должен учитывать этот факт при съёмке и не допускать попадание в кадр посторонних предметов, не имеющих отношения к сюжету.

12 декабря 1985 года кинокомпания «20th Century Fox» выпустила на экран фантастический фильм «ENEMY MINE» (Враг мой) – первый широкоэкранный фильм по системе «Super 35®».

Известный американский режиссёр Джеймс Кэмерон (James Cameron) многие свои фильмы снимал в этом формате. Среди них такие ленты, как «Aliens» (Чужие) (1986), «The Abyss» (Бездна) (1989), «Terminator 2: Judgment Day» (Терминатор-2: Судный день) (1991), «True Lies» (Правдивая ложь) (1994), «Titanic» (Титаник) (1999).

Системы с горизонтальным кадром

Начало развития и внедрения широкоэкранный кинематографа совпало по времени с началом массового внедрения негативно-позитивного процесса на многослойных цветных киноплёнках. Эти киноплёнки, в отличие от современных, ещё не обладали теми высокими качествами по светочувствительности, резкости и мелкозернистости. Последние два недостатка, помноженные на ещё недостаточное совершенство анаморфотной оптики, сильно влияли на качество изображения при его проекции на большие широкие экраны и тем самым ухудшали восприятие изображения и ограничивали увеличение размера киноэкрана.

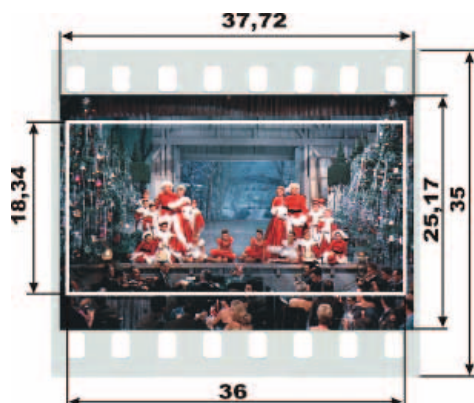
VistaVision® (Виста-Вижн)

Решение проблемы улучшения качества изображения при проекции на сверхбольшие экраны с использованием имеющихся 35-мм киноплёнок предложила кинокомпания «Paramount» в 1954 году. Увеличение площади кадра достигалось за счёт применения специальных 35-мм киносъёмочных и кинопроекторных аппаратов с частотой съёмки и проекции 24 кадр/с, но с горизонтально расположенным кадром с шагом 38 мм, равным восьми перфорациям. Размер кадра в негативе равен 37,72x25,17 мм с соотношением сторон 1.48:1.

С негатива, снятого по системе «VistaVision», можно было получить три варианта фильмокопий:

1. Контактную копию на 35-мм киноплёнке с горизонтальным ходом плёнки и шагом кадра в восемь перфораций с соотношением сторон 1.96:1 для демонстрации в специально оборудованных кинотеатрах.

2. Копию на 35-мм киноплёнке с вертикальным ходом плёнки, получаемую путём оптической печати на специальных кинокопировальных аппаратах, с одновременным уменьшением первоначального размера изображения в 1,72 раза и поворотом его на 90°. Таким образом, на площади стандартного кадра получалось позитивное изображение размером 21,9x14,65 мм с соотношением сторон 1.48:1 и оптической фонограммой, пригодное для проката фильмов, снятых по системе «VistaVision», в сети обычных кинотеатров на стандартном проекци-



Контактная копия на 35-мм киноплёнке по системе VistaVision®

онном оборудовании. Соотношение сторон кадра может быть изменено в сторону увеличения от 1.66:1 до 1.85:1 за счёт дополнительного каширования при проекции. Такой вариант проекции предусматривается оператором при съёмке. Для этого визирные устройства съёмочных камер снабжаются специальной разметкой полей изображения, соответствующих соотношениям сторон кадра 1.66:1, 1.85:1 и 1.96:1 (основное соотношение для контактной копии на 35-мм киноплёнке с горизонтальным ходом плёнки).

3. Был разработан, но практически не реализован, вариант печати 35-мм анаморфированной копии по системе «CinemaScope» с оптической фонограммой.

27 апреля 1954 года кинокомпанией «Paramount» на экраны был выпущен первый широкоэкранный игровой фильм по системе «VistaVision®» «WHITE CHRISTMAS» (Светлое Рождество).

Интересно, что первый фильм по системе «VistaVision» снимался двумя модифицированными кинокамерами для съёмки цветных фильмов по двухцветной системе «Natural Color», изготовлявшихся ещё в 20-е годы фирмой «William P. Stein company». Желая быстрее внедрить новый процесс в производство, руководство компании «Paramount» поручило руководителю операторского отдела Джону Р. Бишопу (John R. Bishop) подобрать съёмочное оборудование из имевшегося в наличии и не требующего капитальных затрат на модернизацию. Камеры для двухцветной съёмки по системе «Natural Color» были идеальным выбором. Киноплёнка в них транспортировалась горизонтально с шагом в восемь перфораций, и для съёмки по системе «VistaVision» необходимо было заменить всего две кадровые рамки с размером кадра 25x18 мм на одну с размером кадра 37,72x25,16 мм. Надо заметить, что эти камеры комплектовались прекрасными объективами фирмы «Leica».

Следующие фильмы по системе «VistaVision» снимались кинокамерами фирмы «Mitchell Camera Company», специально разработанными для съёмки фильмов по этой системе.

В 1954 году в Великобритании по системе «VistaVision®» был снят и 16 апреля 1955 года выпу-



Кадр из кинофильма «White Christmas» (Светлое Рождество) (1954)

щен на экраны Англии цветной широкоэкранный фильм «Richard III» (Ричард III). Этот фильм вошёл в историю кино не только как прекрасная режиссёрская и актёрская работа Лоренса Оливье (Laurence Olivier), но и как первый фильм, премьера которого проводилась 11 марта 1956 года в Нью-Йорке одновременно и в кинотеатре, и по телевидению телекомпанией Эн-Би-Си (NBC).

С 1954 по 1963 год по системе «VistaVision®» было снято около ста широкоэкранных фильмов. Среди них: «War And Peace» (Война и мир, 21.08.1956), «The Ten Commandments» (Десять заповедей, 05.10.1956). Альфред Хичкок (Alfred Hitchcock) по системе «VistaVision» в 50-е годы снял пять широкоэкранных фильмов: «To Catch A Thief» (Поймать вора, 1955), «The Trouble With Harry» (Неприятности с Гарри, 1955), «The Man Who Knew Too Much» (Человек, который слишком много знал, 1956), «Vertigo» (Головокружение, 1958), «North By Northwest» (К северу через северо-запад, 1959).

В шестидесятые годы, с переходом на широкоэкранный процесс по системе «Panavision®», интерес к системе «VistaVision» угас. И её, наверное, как и другие системы широкоэкранный кинематографа, постигло бы полное забвение, если бы не главное, что отличало «VistaVision» от своих собратьев первой широкоэкранный волны – удвоенная площадь кадра на стандартной 35-мм киноплёнке, прекрасная оптика и полный комплект оборудования для кинопроизводства. Вот и вспомнили о «VistaVision» в семидесятые годы. Система пригодилась не для непосредственной съёмки фильмов, а для изготовления высококачественных комбинированных съёмок. На этой ниве «VistaVision» продолжает трудиться и сегодня.

Technirama® (Технирама)

Итальянское отделение американской фирмы «Техниколор» 24 октября 1955 года получило Патент на широкоэкранный процесс по системе «Technirama®», отличавшуюся от системы «VistaVision» применением во время съёмки анаморфирования изображения с коэффициентом 0,67, то есть сжатие его по горизонтали в полтора раза. При проекции с коэффициентом анаморфирования 1,5 на



Контактная позитивная копия на 35-мм киноплёнке по системе «Technirama»

экране получается изображение с соотношением сторон 2.35:1. Учитывая тот факт, что коэффициент анаморфирования при съёмке и проекции меньше, а площадь изображения в негативе и позитиве в два раза больше, чем в системе «CinemaScope», качество широкоэкранный изображения по системе «Technirama» намного лучше.

Из приведённой таблицы видно, что система «Technirama» рассчитана на получение трёх видов фильмокопий: двух – путём контактной печати с горизонтальным кадром и с соотношением сторон 2.35:1 и 2.55:1; одной – оптическим путём (при печати изображение поворачивается на 90°, размер его уменьшается, и оно дополнительно анаморфируется в горизонтальном направлении с коэффициентом 0,75) на 35-мм киноплёнке с вертикальным кадром с соотношением сторон 2.35:1.

Премьера первого широкоэкранный игрового фильм «THE MONTE CARLO STORY» (Случай в Монте Карло), снятого по системе «Technirama», прошла в декабре 1956 года в кинотеатре «Репози Синема» (Reposi Cinema) в итальянском Турине (Turin).

Характеристики системы «Technirama»

Параметры	Негатив	Соотношение сторон фильмокопии		
		Оптическая печать	Контактная печать	
			2.35:1	2.35:1
Размер киноплёнки, мм	35	35	35	35
Размер кадра негатива, мм	37.72x25.17			
Размер проецируемого кадра, мм		21,2x18,1	36,11x23,1	36,11x21,2
Шаг кадра, мм	38	19	38	38
Площадь кадра, мм ²	949	384	834	765
Коэффициент анаморфирования:				
- при съёмке	0,67	-	-	-
- при печати	-	0,75	-	-
- при проекции	-	2,0	1,5	1,5
Фонограмма		МОНО	МОНО	МОНО



Кадр из кинофильма «The Monte Carlo Story» (1956)

Прокатные копии по системе «Technirama®» выпускались с одноканальной фотографической фонограммой.

Super Technirama 70® (Супер Технирама 70)

Появление широкоформатного кинематографа и создание сети широкоформатных кинотеатров послужило толчком к дальнейшему развитию системы «Technirama». Учитывая высокое качество изображения исходных материалов, площадь которых была незначительно меньше площади кадра в широкоформатной системе «Todd AO» (см. Широкоформатные системы кинематографа в МТК № 2 (20), 2011), на основе системы «Technirama» была разработана система «Super Technirama 70», дававшая возможность печатать фильмокопии на 70-мм киноплёнке. Оптическая система для неё была разработана профессором А. Боуверсом (А. Bouwers) на голландской фирме «Оптиш Индастри ди «Оуд Делфт» (N.V.Optische Industrie de «Oude Delft»). Все работы велись под непосредственным руководством Президента корпорации «Technicolor» Герберта Т. Кальмуса (Herbert T. Kalmus).

Съёмка производилась киноаппаратурой «Technirama» на 35-мм киноплёнке с горизонтально расположенным кадром и шагом в восемь перфораций и с коэффициентом анаморфирования 0,67. С полученных исходных материалов изготавливались все виды фильмокопий, принятых в системе «Technirama», а также оптическим путём с дезанаморфированием изображения печатались широкоформатные копии на 70-мм киноплёнке с шестиканальной стереофонической фонограммой.

Первую новую систему опробовала компания Дисней. Освоив первым из всех мировых аниматоров широкоэкранный вид кинематографа, Дисней решил не отставать от новых форматов для гигант-



35-мм негатив по системе «Super Technirama 70»
из кинофильма «Sleeping Beauty» (1959)



Широкоформатный позитив на 70-мм киноплёнке с шестиканальной магнитной
стереофонической фонограммой из кинофильма «Sleeping Beauty» (1959)



Широкоформатный позитив на 70-мм киноплёнке по системе «Super
Technirama 70» из кинофильма «Solomon and Sheba» (Соломон и Шеба) (1959)

ских экранов, и свой первый цветной широкоформатный мультипликационный фильм «SLEEPING BEAUTY» (Спящая красавица) снял по системе «Super Technirama 70». Думается, что выбор системы был не случаен. Дис-

ней умел считать, тратить и экономить деньги. Дело в том, что для съёмки широкоформатной картины по системе «Todd AO» необходимо не только иметь кинокамеру, способную выполнять покадровую съёмку на 65-мм киноплёнке, но и целый комплекс аппаратуры для обработки и монтажа. То есть требуется переоснащение всего аппаратно-лабораторного комплекса студии. А при съёмке по системе «Super Technirama 70» все процессы обработки можно производить на стандартном 35-мм оборудовании, заменив кадровую рамку кинокамеры на более широкую.

Таким образом, не нарушался привычный ритм: съёмка, просмотр, исправления, окончательная съёмка. А вот получение широкоформатного варианта – это уже труды лаборатории «Technicolor», разработчика системы.

Выгода в использовании для съёмки оригинала мультфильма системы «Super Technirama 70» была ещё и в том, что этот оригинал позволял получить одновременно и за те же деньги не только широкоформатный вариант фильма, но и высококачественные широкоэкранный вариант по системе «CinemaScope», а также вариант в классическом формате 1.37:1 путём выкопировки. Вложив в этот проект 6 миллионов долларов, компания Дисней стала первопроходцем в освоении новой системы кинематографа и 29 января 1959 года познакомила зрителей, пришедших в лос-анджелесский кинотеатр «Fox Wilshire», с новой версией знаменитой сказки Шарля Перро (Charles Perrault).

История любви царя Соломона и царицы Савской в фильме мастера американского кино Кинга Видора (King Vidor) «SOLOMON AND SHEBA» (Соломон и Шеба) стала первым игровым фильмом по системе «Super Technirama 70®». Премьера фильма прошла 27 октября 1959 года в лондонском «Астория Театре» (Astoria Theatre). Фильм был выпущен в массовый прокат на Рождество 24 декабря 1959 года.

По системе «Super Technirama 70» было выпущено в прокат около тридцати игровых фильмов, среди которых такие всемирно известные колоссы: «Spartacus» (Спартак, 06.10.1960), «El Cid» (Эль Сид, 14.12.1961), «Le Guepard» (Леопард, 28.03.1963). ■