

## Эффективные методы и модели цифровой обработки киноматериала

Е.В. Боревиц, С.В. Мещеряков, В.Э. Янчус  
 plasma5210@mail.ru|serg-phd@mail.ru|victorimop@mail.ru  
 Санкт-Петербургский политехнический университет, Санкт-Петербург, Россия

В статье представлены новые эффективные методы и 3D модели для цифровой постобработки киноматериала, включая задачи захвата движения с использованием инфракрасных маркеров, воссоздания реалистичных теней динамических 3D объектов, а также цифровой цветокоррекции кинокадров с целью улучшить их восприятие зрителем в кинематографе. Выработаны практические рекомендации по цифровой обработке киноматериала, которые внедрены и успешно применяются в малобюджетной виртуальной видеостудии при создании короткометражных фильмов и видеоклипов.

**Ключевые слова:** кинокадр, цифровая цветокоррекция, 3D моделирование, захват движения, виртуальная реальность.

## Effective methods and models for digital processing of the film contents

E.V. Borevich, S.V. Mescheryakov, V.E. Yanchus  
 plasma5210@mail.ru|serg-phd@mail.ru|victorimop@mail.ru  
 St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russia

The paper presents new effective methods and 3D models for digital film post-processing, including the problems of motion capture using infrared markers, recreation of realistic shadows of dynamic 3D objects, and digital colour correction of film frames for the purpose of better perception of the film contents by a viewer in the cinematography. Practical recommendations for digital film processing are worked out and are successfully implemented in a virtual visualization studio to produce short films and video clips having low budget.

**Keywords:** film frame, digital colour correction, 3D modelling, motion capture, virtual reality.

### 1. Введение

С развитием современных информационных технологий и компьютерной графики целиком изменился технологический процесс производства фильмов в кинематографе и на телевидении (рис. 1). Кроме замены классического монтажа на нелинейный, автоматизированные программно-аппаратные комплексы предоставляют большие возможности постобработки и улучшения отснятого киноматериала [8]:

- 1) добавлять визуальные эффекты совмещением видео и компьютерной графики для привлечения внимания;
- 2) создавать реалистичные тени как статических, так и динамических 3D объектов, что является главным отличием художественного кино от анимационного;
- 3) применять различные схемы цифровой цветокоррекции кинокадров с целью их художественной гармонизации и улучшения восприятия зрителем.

Данная работа посвящена исследованиям 2-го и 3-го этапов постобработки как менее изученных и наиболее затратных по времени и вычислительным ресурсам. Конечной целью постобработки является повышение эффективности всего процесса кинопроизводства, достижение максимальной реалистичности и визуальной привлекательности киноматериала на основе разработки новых моделей и методов графических преобразований.

### 2. Построение реалистичных теней в виртуальном пространстве

После захвата движения актера и перехода к виртуальной сцене все тени 3D объектов теряются, и необходимо их воссоздать с нуля (рис. 2). Построение теней является эффективным методом достижения максимальной реалистичности сцены в виртуальном пространстве. Тени, отбрасываемые от движущихся и

статичных объектов, создают объем, обеспечивают глубину сцены, показывают взаимное расположение объектов. Построение теней является достаточно сложной задачей, особенно для динамических 3D объектов, так как человек замечает «неправильные» тени и необходим их точный расчет.

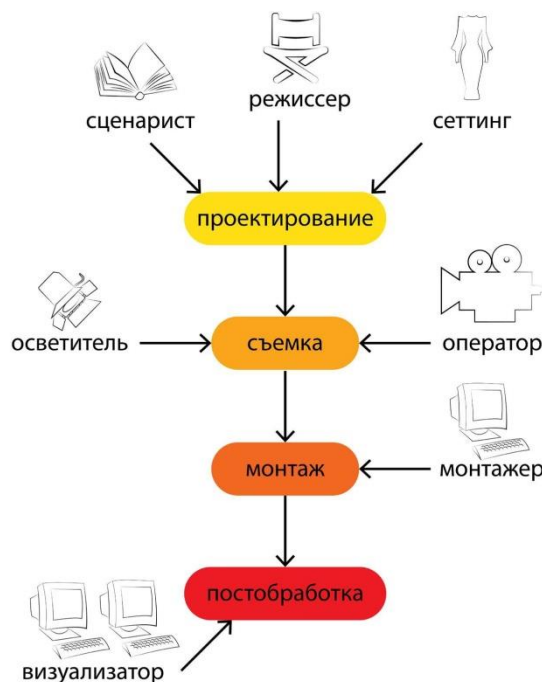


Рис. 1. Структура современного кинопроизводства.

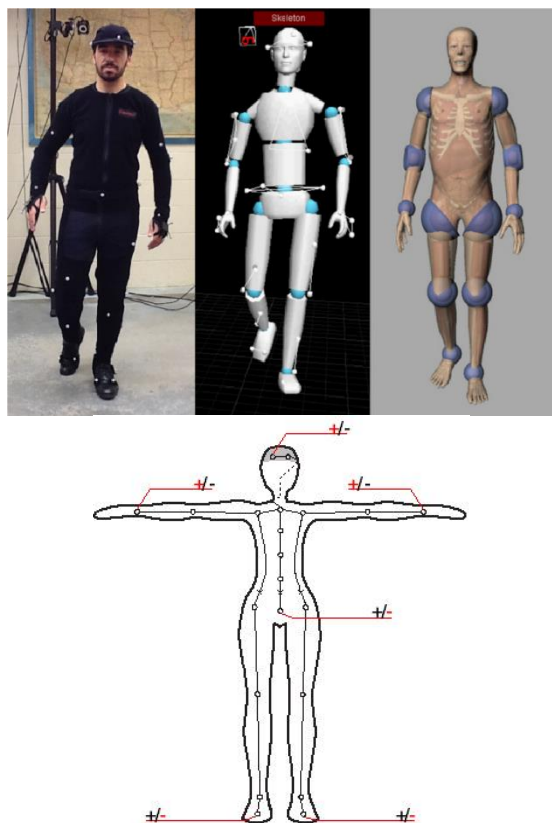


Рис. 2. Топология костюма с инфракрасными маркерами для захвата движения.

Существующие методы и модели захвата движения требуют больших вычислительных ресурсов [10]. С другой стороны, использовать высокоточную модель 3D объекта для расчета его теней не имеет смысла. Поэтому для задачи построения теней предложен новый метод на основе низкополигональной 3D модели, тени которой от источников освещения предполагается создавать такими же правильными и реалистичными, но объем их вычислений намного меньше. В случае создания теней от динамического 3D объекта модель анимируется, для чего создается скелет и система управления (рис. 3).

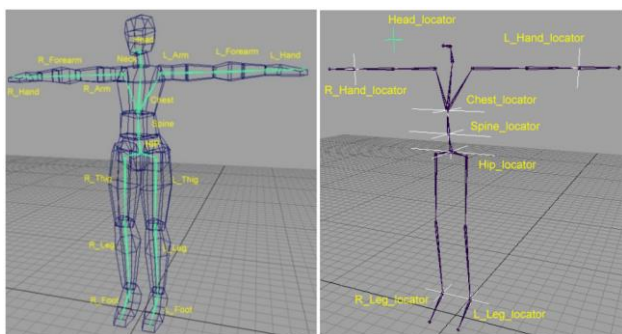


Рис. 3. Низкополигональная 3D модель и система ее управления.

Мощности современных компьютеров позволяют в реальном времени выполнять вычисления и рендеринг около 1,5 млн пикселей с максимальной глубиной цвета 24М и стандартной частотой 50 кадров в сек. Однако анимационный фильм может иметь тысячи 3D объектов, каждый из которых содержит от сотен до тысяч полигонов. Объем вычислений также зависит от разрешающей способности экрана (до 4К пикселей в кинотеатрах IMAX)

и его доли, которую занимает 3D объект. Учитывая, что низкополигональная модель насчитывает не более 10К полигонов в зависимости от размера 3D объекта, ее преимущество в объеме вычислений по сравнению с высокополигональными моделями оценивается минимум в 100 раз [11].

Другой проблемой постобработки отснятого материала является трудоемкость процесса удаления следов маркеров захвата движения, оставшихся после съемки инфракрасной (ИК) камерой. В традиционных студиях с декорациями и актером используются специальные костюмы с системой маркеров (рис. 2). Но эта технология не подходит для случаев, когда актер присутствует в виртуальной сцене, так как маркеры видны на отснятом материале [11].

Для решения этой проблемы разработана специальная система динамических ИК маркеров, которая представляет собой параллельное соединение трех цепочек диодов, соединенных последовательно как показано на рис. 2. В качестве маркеров использованы ИК светодиоды, которые фиксируются только специальными ИК камерами. Одежда, надетая поверх маркерного костюма, не поглощает свет в ИК диапазоне. В результате на главной камере маркеры не видны, а ИК камеры их фиксируют.

Наряду с динамическими маркерами, в виртуальной 3D сцене используются и статические калибровочные маркеры, которые необходимы для реконструкции камеры (рис. 4). Вначале определяются оси пространства, относительно которых будет понятно расположение виртуального окружения и положение актера. Калибровочные маркеры располагаются на зеленом фоне.

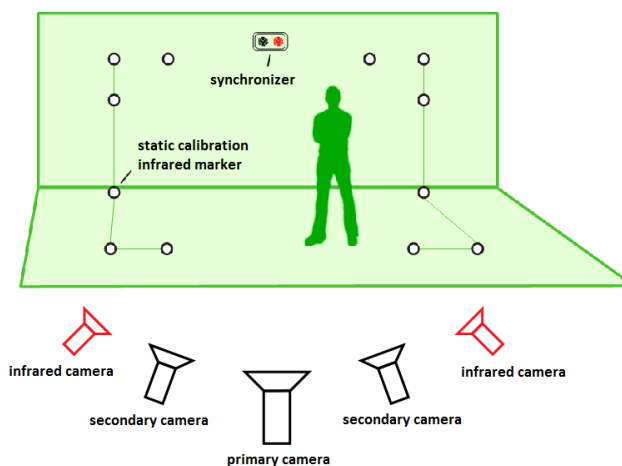


Рис. 4. Расположение маркеров и камер в виртуальном съемочном пространстве.

Для съемок используется пять синхронно записывающих с разных ракурсов камер. Все камеры статичны. Три из них снимают в видимом диапазоне. Главная камера стоит по центру, материал с этой камеры используется в создаваемом кадре. Две боковые камеры нужны для реконструкции камеры. Рядом с ними находятся еще две вспомогательные камеры, снимающие в ИК диапазоне.

Важно, чтобы подвижные маркеры были видны для всех ИК камер, так как они обеспечивают правильность траектории движения 3D образа персонажа. В случае, если при движении какой-либо маркер закрывается, его ставят на другое место для обеспечения видимости на всех камерах. Такая технология использования ИК маркеров значительно упрощает и ускоряет обработку отснятого киноматериала без ущерба его качеству.

### 3. Исследование влияния цветового решения на визуальную привлекательность кадра

Спектр задач, решаемых с помощью коррекции цвета, очень широкий. Однако особое место занимает художественная цветокоррекция как творческий инструмент режиссера. Она позволяет сделать кадр более выразительным и визуально привлекательным.

Одна из актуальных проблем принятия цветовых решений состоит в том, что в настоящее время не существует единицы количественного измерения визуальной привлекательности кинокадра, что не позволяет объективно сравнивать кадры между собой. Качество киноматериала оценивается субъективными методами экспертного анализа [1, 2].

На рис. 5 изображены элементы кинокадра, влияющие на его визуальную привлекательность. Одним из них является информативность киноматериала [5]. Это пассивная составляющая визуальной привлекательности, поскольку она зависит от замысла режиссера и не имеет прямых средств реализации. Активной составляющей визуальной привлекательности кинокадра является композиционное построение, так как это средство реализации кадра и наполнения его информативностью.



Рис. 5. Влияние на визуальную привлекательность кадра.

Композиционное построение кадра состоит из трех основных элементов:

- 1) композиция, которую контролирует оператор;
- 2) динамика, движение, которым управляет режиссер и которое является главным отличием кино от фотографии;
- 3) цветовое решение, которым занимается колорист.

Таким образом, на визуальную привлекательность кинокадра влияют информативность и композиционное построение. В свою очередь информативность кадра определяется замыслом режиссера, а реализация замысла происходит с помощью композиционного построения, состоящего из трех составляющих – композиции, динамики и цветового решения. Композиционное построение кадра, как его неотъемлемая составляющая, влияет на процесс рассматривания [6]. Тогда логично предположить, что информативность кинокадра тоже влияет на процесс рассматривания. Параметры рассматривания кинокадров, такие как количество и длительность зрительных фиксаций, являются количественными, и их можно объективно измерить с помощью ай-трекера – программно-аппаратного комплекса фиксации глазодвигательной активности человека, основанного на принципе отражения ИК лучей от зрачка [7].

Для проверки сделанных выводов поставлен эксперимент. В качестве стимульного материала выбраны

кадры из фильмов, имеющие два центра интереса и нейтральный фон. Каждый кадр изменен на основе пяти разных цветовых решений согласно теории цветовых контрастов Иттена [3]. В итоге была сформирована база из 120 кадров.

В эксперименте участвовало 30 испытуемых, которым демонстрировались 600 стимулов в пяти цветовых решениях. Всего с помощью ай-трекера собрано более 8000 фиксаций. Пример одного из графиков распределения параметров рассматривания кинокадров представлен на рис. 6.

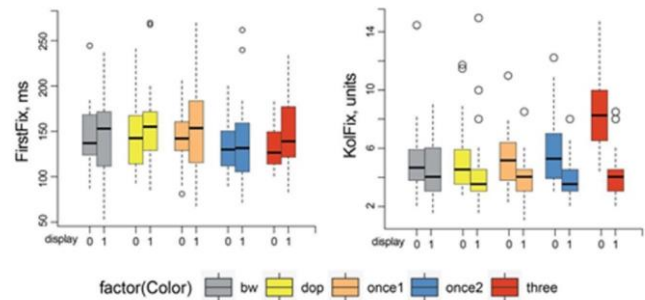


Рис. 6. График распределения выборок измеряемых параметров рассматривания кинокадров.

Для математической обработки статистических данных разработана программа на языке программирования R [4]. Для проверки и анализа выборок с нормальным распределением использовался критерий Шапиро-Уилка, а для ненормального – тест Уилкоксона. Для принятия гипотезы о статистической значимости сравниваемых выборок использован известный критерий  $p$ -value < 0,001 [4]. Такие значения выделены зеленым цветом для триадной схемы на рис. 7, где приведен пример расчета значений  $p$ -value для следующих параметров рассматривания кадров:

- Time – среднее время рассматривания одного стимула;
- KolFix – среднее количество зрительных фиксаций при рассматривании одного стимула;
- FirstFix – средняя длительность первой фиксации;
- SumFix – средняя длительность всех фиксаций.

p-value	achromatic scheme (bw)	complementary scheme (dop)	warm monochrome (once1)	cold monochrome (once2)	triadic scheme (three)
Time	0,227	0,041	0,015	0,004	5,738e-10
KolFix	0,218	0,029	0,009	0,002	1,26e-7
FirstFix	0,768	0,539	0,355	0,852	0,2311
SumFix	0,499	0,058	0,064	0,017	1,386e-6

Рис. 7. Сравнение параметров рассматривания кинокадров в различных цветовых решениях.

### 4. Практические рекомендации по цифровой цветокоррекции киноматериала

Полученные результаты объективно подтверждают, что фактор цветового решения имеет приоритетное значение при гармонизации кинокадра. Это позволило сформулировать практические рекомендации по цветокоррекции на этапе постобработки с целью правильной интерпретации кинокадра и улучшения его восприятия зрителем:

- 1) при работе с ахроматическим или монохромным кадром важным моментом является облегчение фона сцены, то есть кинокадр необходимо «вычищать», убирать мелкие незначимые элементы, которые перегружают кинокадр и, как следствие, увеличивают время его анализа;

2) использование комплементарного цветового решения (двух дополнительных противоположных цветов) является способом ускорения восприятия кадра, поэтому этот прием работы с цветом рекомендуется в жанрах кино с высокой динамикой сюжета и частой сменой кадров.

В результате исследования установлено, что фактор цветового решения имеет значимое влияние на процесс распознавания изображения человеком. Данный вывод полезен при композиционном построении кадра на начальном этапе проектирования фильма – раскадровке. В зависимости от режиссерской идеи можно использовать разное цветовое решение. На основании этого сформулированы практические рекомендации по цветовому решению кинокадра:

- 1) использование разных цветовых решений влияет на скорость чтения кадра зрителем, что влечет за собой возможность управления длительностью кадра, то есть в зависимости от режиссерского замысла можно цветовым решением управлять динамикой повествования фильма;
- 2) контрастные цветовые решения существенно облегчают задачу композиционного построения кадра, поскольку цвет передает дополнительную информацию о форме и идентификации объектов кадра, глубине сцены;
- 3) при использовании триадного цветового решения кадр получается наиболее читаемым в условиях его перегруженности, однако триада является наиболее сложным цветовым решением и требует грамотного сочетания и гармонизации трех основных цветов в кадре.

## 5. Практическая реализация и апробация результатов исследования

Новые методы цифровой постобработки киноматериала являются логическим продолжением исследований, представленных на международных научно-технических конференциях [1, 2] и опубликованных в журналах [8, 11]. Предложенные методы внедрены в лаборатории визуализации и компьютерной графики Санкт-Петербургского политехнического университета (СПбПУ) и успешно апробированы на некоторых низкобюджетных видеопроектах, например, воссоздание теней в фильме «Тень» Е. Шварца.

Сформулированные практические рекомендации по цветокоррекции применяются студентами и аспирантами при создании короткометражных фильмов и рекламных видеороликов для ежегодного международного фестиваля короткометражного кино Movie Art Fest [9].

## 6. Заключение

Таким образом, в работе получены следующие основные результаты, имеющие научную новизну:

- 1) новая схема размещения ИК маркеров, позволяющая целиком перейти на цифровую обработку в виртуальной реальности без макетов и декораций и исключить трудоемкий этап удаления следов маркеров из кинокадров;
- 2) новый эффективный метод поверхностного моделирования динамических 3D объектов при решении задачи воссоздания теней, который позволяет сократить объем вычислений в сотни раз без потери качества и реалистичности изображения;
- 3) методика проведения и результаты статистического и вычислительного экспериментов по исследованию влияния различных схем цветокоррекции на визуальную привлекательность кадров и их восприятие зрителем;

4) новые численные критерии объективной оценки информативности и привлекательности кадра, такие как количество и длительность зрительных фиксаций и пр., которые использованы совместно с технологией ай-трекинга для обработки результатов вычислительного эксперимента;

5) практические рекомендации по цветокоррекции с целью улучшения восприятия и визуальной привлекательности киноматериала, которые внедрены в лаборатории визуализации и компьютерной графики СПбПУ и используются студентами и аспирантами при создании короткометражных фильмов и рекламных видеороликов для международных конкурсов и кинофестивалей.

## 7. Литература

- [1] Борович Е.В., Мещеряков С.В., Янчус В.Э. Экспериментальное исследование компьютерной цветокоррекции на основе бинарной модели визуального восприятия / Компьютерное моделирование (КОМОД-2016): труды науч.-техн. конф., СПб, СПбПУ, 2016.
- [2] Борович Е.В., Янчус В.Э. Исследование влияния фактора цветовых гармоний в композиционном решении кинокадра на восприятие его зрителем / Неделя науки СПбПУ: Материалы научного форума с междунар. участием, СПб, 2015.
- [3] Иттен И. Искусство цвета. – М.: Аронов Д., 2014.
- [4] Кабаков Р.И. R в действии. Анализ и визуализация данных в программе R. – М.: ДМК Пресс, 2014.
- [5] Лотман Ю.М. Семиотика кино и проблемы киноэстетики. Об искусстве. – СПб., 1998.
- [6] Матюшин М.В. Справочник по цвету. Закономерность изменчивости цветовых сочетаний. – М.: Аронов Д., 2007.
- [7] Орлов П.А., Лаптев В.В., Иванов В.М. К вопросу о применении систем ай-трекинга // Научно-технические ведомости СПбГПУ. – 2014. – № 5 (205).
- [8] Янчус В.Э. Компьютерная обработка видеоматериала в кинематографической промышленности // Научно-технические ведомости СПбГПУ. – 2016. – № 2 (241).
- [9] Annual International Festival of Students Short Films (MovieArtFest-2017). <http://www.movieart.spbstu.ru>
- [10] Bodenheimer B., Rose C., Rosenthal S., and Pella J. The Process of Motion Capture: Dealing with the Data. Computer Animation and Simulation, Springer-Verlag, 1997.
- [11] Mesheryakov S.V., Shchemelinin D.A., and Yanchus V.E. Effective Technique to Reduce Big Data Computations in 3D Modeling of Dynamic Objects. Humanities and Science University Journal, Vol. 17, 2016.

## Об авторах

Борович Екатерина Владиславовна, студентка кафедры инженерной графики и дизайна Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого. Ее e-mail [plasma5210@mail.ru](mailto:plasma5210@mail.ru).

Мещеряков Сергей Владимирович, д.т.н., профессор кафедры инженерной графики и дизайна Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого. Его e-mail [serg-phd@mail.ru](mailto:serg-phd@mail.ru).

Янчус Виктор Эдмундасович, старший преподаватель кафедры инженерной графики и дизайна Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого. Его e-mail [victorimop@mail.ru](mailto:victorimop@mail.ru).