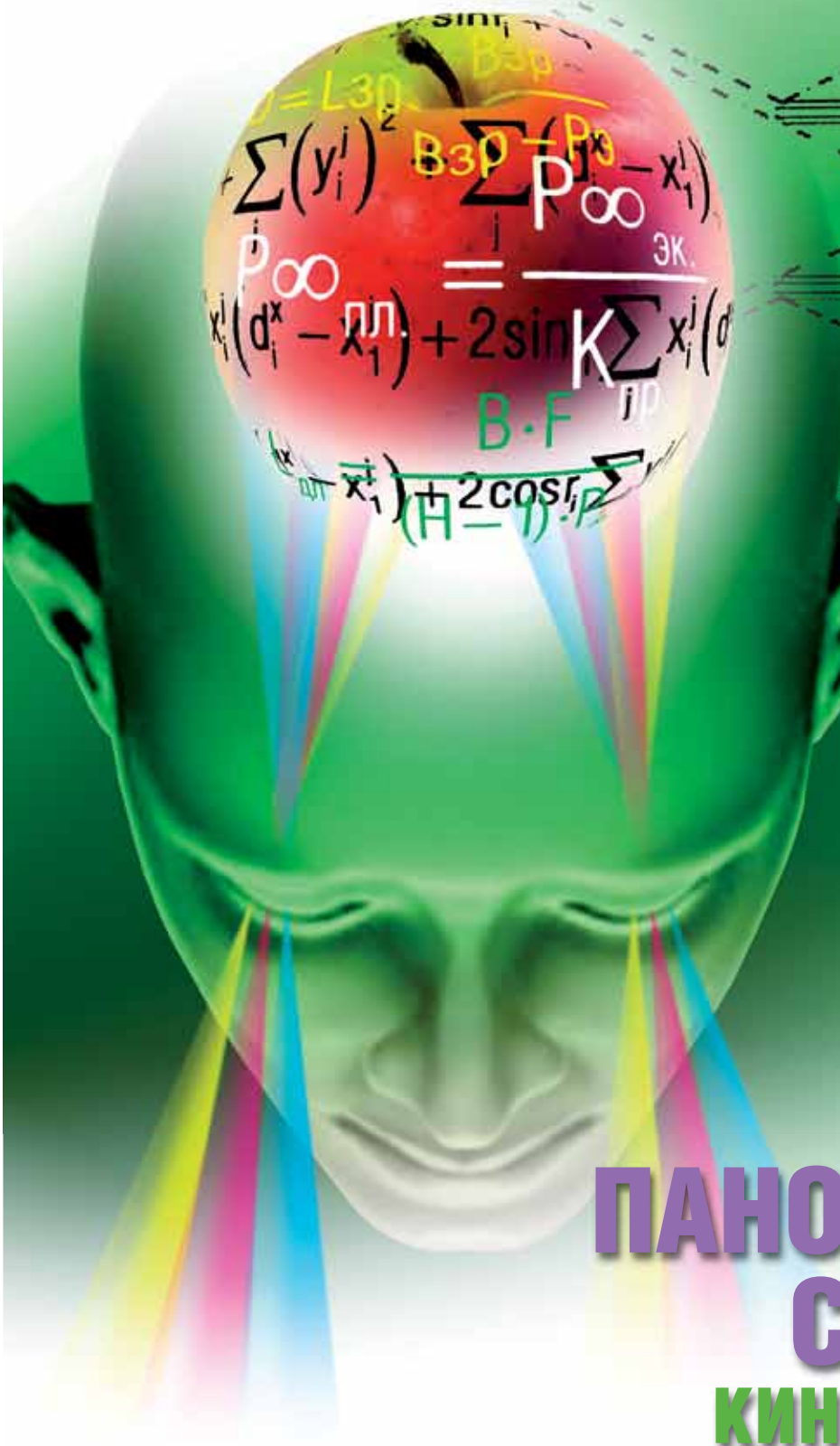


Мир Кино

ТЕХНИКИ

ЯНВАРЬ-МАРТ | 1(23)-2012 |

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



**СЖАТИЕ
МНОГОАКУРСНОГО
ВИДЕО**

**БЕСПРОВОДНЫЕ
СЕНСОРНЫЕ СЕТИ:
МОДЕЛИРОВАНИЕ
РАБОТЫ ПРИЛОЖЕНИЙ**

**ПОСТРОЕНИЕ
КАРТЫ ГЛУБИНЫ И
МНОГОАКУРСНОГО
ВИДЕО
ПО СТЕРЕОПАРЕ**

**РАЗРАБОТКА
ТЕСТОВЫХ
ИЗОБРАЖЕНИЙ
ДЛЯ КОНТРОЛЯ
КАЧЕСТВА ЦИФРОВОГО
КИНОПОКАЗА**

**ПАНОРАМНЫЕ
СИСТЕМЫ
КИНЕМАТОГРАФА**

№23 СОДЕРЖАНИЕ

Новости, обзоры

Н. Майоров
XVI кинофестиваль «Белые столбы» 2

О.Н. Раев
Фестиваль стереофильмов как механизм продвижения цифровых стереотехнологий 3

Технологии

Д.А. Сумин, А.А. Фёдоров, Д.С. Ватолин
Полуавтоматическое определение характеристик устройств отображения объёмного видео 5

С.Б. Матюнин, Д.С. Ватолин
Сжатие многоракурсного видео на основе межкадрового распространения карт глубины 8

А.И. Винокур, М.В. Сергиевский, Н.Е. Клименко
Беспроводные сенсорные сети: моделирование работы приложений 11

А.А. Зачёсов, М.Б. Колинченко, Д.С. Ватолин
Построение карты глубины и многоракурсного видео по стереопаре 19

Г.В. Тихомирова, И.В. Газеева, А.М. Спичихин, К.К. Гудинов
Система автоматического контроля поверхностного износа киноленты 22

А.С. Михайлов, М.А. Сакварелидзе, О.И. Орурк
Пищевые желатины в качестве альтернативы фотографическим желатинам 29

Ю.В. Повинский, Ш.Я. Вахитов
Выбор оптимальной характеристики направленности микрофона, исходя из шумозащищённости и разборчивости речи 36

А.С. Блохин
Разработка тестовых изображений для контроля качества цифрового кинопоказа 40

Страницы истории кино

Н.А. Майоров
Панорамные системы кинематографа 44



стр. 5



стр. 19



стр. 40



стр. 44

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:
Копошилова Мария Васильевна
Корректор:
Сайкина Наталья Владимировна

Редакционный совет:
Комар В.Г., проф., д.т.н., ОАО «НИКФИ»
Белюсов 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»
Переудов А.Ф., к.т.н., СПбГУКИТ
Блохин А.С., к.т.н., ОАО «НИКФИ»
Лишин Л. Г., к.т.н., ВНИИТР
Барский И.Д., к.т.н., ОАО «Кинотехника»
Одиноков С.Б., к.т.н., МГТУ им. Н.Э. Баумана
Раев О.Н., к.т.н., МКБК
Волков А.С., Министерство культуры РФ

Отпечатано в ООО «Типография ПАРАДИЗ»
Объём 6 п.л. Заказ № С-0175.
Тираж 1100 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



XVI КИНОФЕСТИВАЛЬ «БЕЛЫЕ СТОЛБЫ»

Николай Майоров, киновед,
Лауреат XV кинофестиваля «Белые столбы»

■ С 30 января по 5 февраля 2012 года в ГОСФИЛЬМО-ФОНДе Российской Федерации прошёл очередной фестиваль «Белые столбы». Вот уже шестнадцатый раз этот фестиваль открыл череду ежегодных киносмотров в России. Задуманный в 1997 году как фестиваль архивного кино, в отличие от своих многочисленных собратьев, кинофестиваль в Госфильмофонде России демонстрирует не новинки, а продолжает знакомить участников и гостей фестиваля с редкими кинолентами из уникальной коллекции этого фонда кинофильмов, насчитывающей около 60 тысяч названий фильмов. Именно здесь, на кинофестивале «Белые столбы», вот уже который год происходит возвращение на экран забытых или считавшихся потерянными фильмов. Здесь проходят «премьеры» восстановленных советских трёхцветных мультфильмов 30-х годов прошлого века. Здесь, в кинозале фестиваля, зрители вновь испытывают неповторимые ощущения своих дедушек и бабушек, смотревших отечественные стереоскопические фильмы в середине XX века.

В Госфильмофонде Российской Федерации бережно хранятся тысячи метров киноплёнки, ведётся постоянная и кропотливая работа по её реставрации и восстановлению.

На помощь реставраторам приходит новая цифровая техника, позволяющая вернуть к жизни фильмы, снятые по давно ушедшим технологиям. Большую работу по оснащению подразделений современной техникой проводят главный инженер Госфильмофонда России Нина БАННИКОВА и её заместитель Михаил ВАСИН. Постоянно пополняется парк участка цифровой работы с фильмовыми киноматериалами Госфильмофонда, которым ру-

ководит Владимир КОТОВСКИЙ. «Новый 35 мм фильм-сканер diTto evolution – Data Film Scanner, установленный недавно на участке, специально создан для работы с архивными киноматериалами, а это значит, что обретут новую жизнь и вернуться к зрителям фильмы, судьба которых ещё пару лет назад была обречена» – говорит ведущий специалист участка Юлия РАЗМАТНЁВА. Благодаря современной технике В. Котовскому и Ю. Разматнёвой удалось сканировать трёхцветный негатив первого отечественного цветного анимационного фильма «Лиса и Волк», снятого на киностудии «Мосфильм» в 1936 году и так поразившего зрителей нынешнего фестиваля чистотой и богатством цвета.

Высокое качество кинопоказа – резкость и яркость, что особенно важно при демонстрации стереоскопических фильмов, обеспечивает установленный в проекционной фестивальной зале новый цифровой проектор БАРКО ДП-2К. В отличие от многих московских 3D кинотеатров, где зритель на тёмном экране пытается хоть что-то увидеть, участники и гости фестиваля с первой же минуты забыли, что они в специальных очках, настолько изображение было ярким и резким.

Яркий мир отечественных мультфильмов, столетию которых и был посвящён XVI кинофестиваль «Белые столбы» в Госфильмофонде России, необыкновенные спецэффекты советского стереокино, программы игровых и документальных фильмов – настоящий праздник архивного кино. Следующий праздник – в январе будущего года. А в Госфильмофонде продолжают трудовые будни, с подвигами и победами, чтобы всё больше отличных отечественных фильмов вернулось на экран. ■



На XVI кинофестивале «Белые столбы»



ФЕСТИВАЛЬ СТЕРЕОФИЛЬМОВ

как механизм продвижения цифровых стереотехнологий

О.Н. Раев, к.т.н., ФГУП МКБК

■ Наблюдаемое в последние несколько лет возрождение показа объёмного кино в России началось вместе с приходом в страну зарубежных стереофильмов и зарубежной кинотехники.

Для того, чтобы российский кинематограф вновь стал полноправным участником современного мирового стереоскопического кинематографа, причём не только в кинопоказе, но и в кинопроизводстве, как это было раньше, необходимо объединить усилия специалистов разных звеньев кинотехнологического и творческого процесса.

Достижению поставленной цели служат проводимые мероприятия, в том числе ежегодная научно-техническая конференция «Запись и воспроизведение объёмных изображений в кинематографе и других отраслях», впервые состоявшаяся 23–24 апреля 2009 г. в Москве. Конференция стала площадкой для диалога специалистов из разных областей и для создания условий, содействующих выработке коллективных решений. Именно на этой конференции единогласно была сформулирована рекомендация об организации в 2010 г. российского фестиваля стереокино с целью содействия развитию и распространению современных стереоскопических кинотехнологий на территории России, а также для обучения киноспециалистов специфике стереоскопической киносъемки и кинопоказа.

Первый российский 3D-стерео кинофестиваль состоялся в Москве 9–12 декабря 2010 г.

Поскольку производство профессиональных отечественных стереофильмов ещё только возрождалось, организаторы приняли решение допустить к участию в фестивале авторские стереофильмы.

Резонанс фестиваля в стереоскопическом обществе, накопленный опыт организаторов фестиваля и пожелания участников и партнёров позволили признать целесообразным проведение фестиваля стереокино ежегодно, а учитывая зарубежные заявки на участие в фестивале, раздвинуть его рамки до международного.

В результате 8–11 декабря 2011 г. в Москве, при поддержке Министерства культуры Российской Федерации и Союза кинематографистов Российской Федерации, был проведён II ежегодный международный 3D-стерео кинофестиваль, организованный ФГУП «Московское конструкторское бюро киноаппаратуры» (МКБК), компанией «3D Лига» и ОАО «Кинотехника».

Партнёрами фестиваля стали:

- компании: Christie, Dedo Weigert Film, Госфильмофонд Российской Федерации и др.;
- учебные заведения: Всероссийский государственный университет кинематографии им. С.А. Герасимова (ВГИК), Московский киноинститут (МКВИ), Российский государственный гуманитарный университет (РГГУ), Санкт-Петербургский государственный университет кино и телевидения (СПбГУКиТ);
- московские кинотеатры: «Салют» и «Художественный»;
- и многие другие организации, и частные лица.

Для участия во втором кинофестивале поступило 25 заявок со стереофильмами из Великобритании, Германии, Испании, России и Украины. В результате квалифицированного отбора в конкурсную программу фестиваля был включён 21 стереофильм.



II международный 3D-стерео кинофестиваль: мастер-классы

В день открытия фестиваля 8 декабря 2011 г. был проведён круглый стол «Состояние и перспективы развития стереокино в России». За круглым столом обсуждались злободневные проблемы развития 3D-технологий и 3D-кинематографа в России. Основным итогом круглого стола стал план создания в России профессионального 3D-сообщества.

Учитывая актуальность и важность обсуждаемых вопросов, сотрудники компании «3D Лига» и МКБК обеспечили прямую трансляцию данного мероприятия в Интернете, предоставив тем самым возможность удалённым специалистам и любителям наблюдать работу круглого стола.

В малом зале МКБК все желающие смогли бесплатно посмотреть конкурсные стереофильмы.

Свободный и бесплатный показ фестивальных стереофильмов был организован и в одном из залов кинотеатра «Салют», который был оборудован всем необходимым для демонстрации и просмотра стереофильмов на современном 3D-проекторе Mirage HD10K-M, любезно предоставленным компанией Christie.

Лауреаты фестиваля

Для оценки конкурсных фильмов было создано жюри. В состав жюри вошли 12 авторитетных актёров, режиссёров, технических специалистов и преподавателей ведущих кинематографических вузов страны. Возглавил жюри Юрий Анатольевич Невский, народный артист России, дважды лауреат Государственной премии, профессор ВГИКа.

Согласно решению жюри, лауреатами фестиваля стали:

– В номинации «Игровые фильмы» – стереофильм «Мия» студии «Киностудия 3Д» (Российская Федерация). Автор сценария, режиссёр, оператор: Ярослав Романов.

– В номинации «Анимационные фильмы» – стереофильм «Опасный экспресс» студии «Аниматикс 4Д» (Украина). Автор сценария: Алексей Тараненко; режиссёр: Дмитрий Иванов.

– В номинации «Документальные фильмы» – стереофильм «Северный путь» студии «Daurov-stereo» при участии «3DTV Vision» и «Store3D.ru Studio» (Российская Федерация). Режиссёр, оператор, монтаж: Игорь Дауров.

– В номинации «Музыкальные зарисовки» – стереофильм «Sorry/Как жаль» студии «Soulpro» (Российская Федерация). Автор сценария: Paul Pavloff (Германия); режиссёр, оператор: Сергей Сулименко.

В завершение программы фестиваля участникам и гостям были показаны стереофильмы – победители II международного 3D-стерео кинофестиваля.

Мастер-классы

Организаторы фестиваля большое внимание уделили обучению молодых специалистов современным сте-

реотехнологиям, проведя в рамках фестиваля мастер-классы. И не случайно площадками для мастер-классов были выбраны ВГИК, МКВИ и РГГУ.

Для студентов и преподавателей кинематографических вузов и интересующихся стереотехникой, базовыми элементами на мастер-классах стали технические средства стереоскопической киносъёмки и безочкового стереокинематографа.

Для мастер-классов из Германии в Москву была привезена кинокамера Phantom 65, а представитель немецкой компании Dedo Weigert Film Алексей Беркович совместно со специалистами МКБК выступил во ВГИКе и в МКВИ с докладом об опыте эксплуатации стереокомплекса ZEPAR.

Из современных систем стереопоказа наиболее актуальными, быстро развивающимися и находящими широкое применение как в перспективных разработках, так и в изделиях, предлагаемых к продаже, являются безочковые системы кинопоказа. Группа учёных ОАО «НИКФИ» во главе с Юрием Натановичем Овеч-

кисом провела мастер-класс о современных тенденциях и перспективах развития безочкового растрового объёмного кинематографа. Теоретические данные были подкреплены практическими результатами проделанной сотрудниками НИКФИ работы. Мастер-классы сопровождалась демонстрацией стереофильмов.

10 декабря 2011 г. в РГГУ прошёл мастер-класс, в программе которого были выступления:

– Николая Анатольевича Майорова «Этапы развития отечественного стереокино»,

– Глеба Николаевича Ускова «Изменения, произошедшие в 3D-технологиях в 2011 году»,

– Сергея Викторовича Кувшинова «Использование стереофильмов в образовательном процессе».

Специалисты компании «3D Лига» и РГГУ обеспечили прямую трансляцию мастер-класса в Интернете.

Заключение

1. Организаторы выражают благодарность и признательность всем участникам фестиваля.

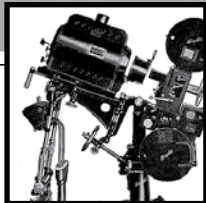
2. Объявляется начало подготовки III международного 3D-стерео кинофестиваля, который состоится в Москве в декабре 2012 г. Подробности смотрите на сайтах: www.фестивальстереокино.рф или www.3dfest.ru.

3. В Москве 26–27 апреля 2012 г. состоится IV международная научно-техническая конференция «Запись и воспроизведение объёмных изображений в кинематографе и других областях». Подробности смотрите на сайте www.стереоконференция.рф. ■

В статье использованы фотографии М.Г. Сапегина.



Приз 3D-стерео кинофестиваля



ПОЛУАВТОМАТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК УСТРОЙСТВ ОТОБРАЖЕНИЯ ОБЪЁМНОГО ВИДЕО



Д.А. Сумин, А.А. Фёдоров, студенты, Д.С. Ватолин, к.ф.-м.н., факультет вычислительной математики и кибернетики, лаборатория компьютерной графики и мультимедиа, МГУ им. М.В. Ломоносова

Аннотация

В статье кратко обсуждаются некоторые факторы, влияющие на качество восприятия трёхмерного изображения. Приводится классификация большого количества технологий отображения 3D-видео. Также рассматриваются методы, позволяющие узнавать некоторые качественные характеристики устройств. По этим характеристикам можно сравнивать устройства и определять их проблемные места. В заключение приведены примеры измерения характеристик устройств.

Ключевые слова: 3D-видео, технические характеристики 3D-устройств, тестовые изображения, перекрёстные помехи, геометрические искажения, параллакс, зона просмотра.

Введение

За последние несколько лет устройства, отображающие 3D-видео, стали доступными большому количеству людей. Но далеко не все 3D-устройства обеспечивают комфортное и качественное отображение (рис. 1), чем могут пагубно влиять не только на здоровье людей [1] (вызывать повышенную утомляемость глаз, головные боли и т.п.), но и на общественное мнение о технологии отображения 3D-видео. При этом, некоторые проблемы некачественного отображения могут диагностироваться и исправляться, тем самым делая просмотр более комфортным. Производители зачастую не полностью предоставляют конечному пользователю информацию о технических характеристиках своих устройств и об их реальных возможностях.

SEMI-AUTOMATIC ASSESSMENT OF 3D-DISPLAY SPECIFICATIONS

D. Sumin, A. Fedorov, D. Vatolin

Abstract

In this paper we briefly discuss different 3D content viewing devices and their possible technical disadvantages that can lead to bad viewing experience. This paper contains classification of a large number of display technologies of 3D-video. We also consider some methods to recognize some qualitative characteristics the devices. These characteristics can be used to compare devices for determinate their weak points. At the end of the paper the examples of testing several devices are shown.

Keywords: 3D-video, 3D-devices specifications, test pattern, crosstalk, geometry distortion, parallax, view zone.



Рис. 1. Пример одной из проблем оборудования – потери цвета

Существуют различные подходы к определению реальных характеристик устройств. В работах SARNOFF [2] и Planar System [3] разработаны шаблоны для тестирования стереоскопических мониторов, телевизоров и проекторов. Созданием норм параметров, определяющих качество стереоизображения в условиях кинозала, занимается ОАО «Научно-исследовательский кинофотоинститут» [4]. Тем не менее, на данный момент не существует автоматизированных систем, позволяющих тестировать и сравнивать устройства. Также ещё не полностью рассмотрен широкий класс технологий отображения 3D-видео.

Предлагаемое решение

Целью работы является создание методики тестирования, обнаружение проблем и измерение характеристик устройств, отображающих 3D-видео. Для этого создаётся система тестовых изображений (рис. 2), с помощью фотоаппаратуры производятся измерения характе-



Рис. 2. Тестовое изображение для проверки соответствия ракурсов по цвету

ристик, после чего результаты заносятся в базу данных и систематизируются.

Характеристики устройств, влияющие на восприятие

Существует множество технологий отображения 3D. Основные приведены на рис. 3.

Можно выделить проблемы, присущие широкому классу устройств:

- перекрёстные помехи (Crosstalk, Ghosting);
- потеря цвета и несоответствие ракурсов по цвету.

Также можно выделить проблемы, характерные для конкретных технологий. Для распространённых устройств отображения 3D приведём некоторые из них:

- геометрические искажения (для стереоскопических систем с двумя проекторами);
- рассинхронизация проекторов по времени (для стереоскопических систем с двумя проекторами);
- пересечение зон видимости ракурсов у многоракурсных дисплеев.

Также представляют интерес некоторые характеристики, позволяющие сделать просмотр более комфортным:

- оптимальное местоположение наблюдателя относительно экрана (для всех устройств) (рис. 4);
- реальное разрешение (для всех устройств);
- направление линз (для многоракурсных дисплеев с лентичулярными линзами);
- ширина зоны просмотра (для многоракурсных дисплеев);
- реальное количество ракурсов (для многоракурсных дисплеев, использующих формат 2D+depth).



Рис. 3. Многообразие технологий отображения 3D-видео

View-Zone Map for Autostereoscopic Display "Spatial View"

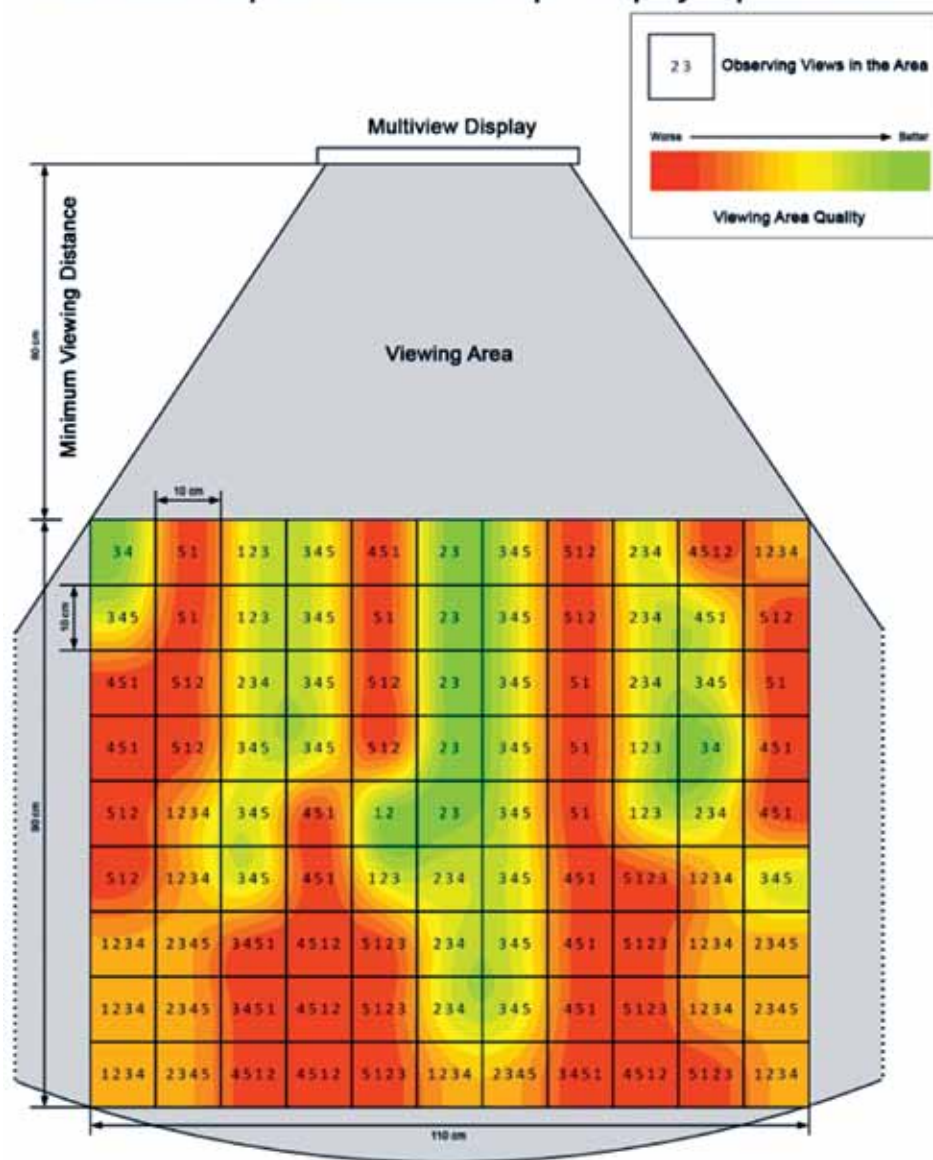


Рис. 4. Карта комфортного восприятия для многокарусного дисплея «Spatial view»

Полученные результаты

Протестировано несколько устройств, использующих различные технологии для отображения 3D-видео: автостереоскопические телевизоры, проекционные системы отображения и мониторы, использующие затворные и поляризационные очки.

Одним из тестируемых устройств был автостереоскопический 3D-телевизор Super-D HDL-46. В технических характеристиках данного устройства было заявлено 9 ракурсов с разрешением Full-HD и оптимальная дистанция просмотра 5 метров. На практике оказалось, что телевизор способен отображать всего 8 ракурсов с разрешением, меньшим заявленного. Оптимальное расстояние просмотра (по расстоянию между глазами) составило приблизительно 2,8 м. Зон комфортного просмотра три. Ширина центральной зоны просмотра составляет 11 градусов.

Ещё одним протестированным устройством является стереопроектор InFocus IN5102. Для него была произведена калибровка. Затем было выяснено, что в данной комплектации (со стандартным экраном) уровень перекрёстных помех составляет 4%, что может вызвать дискомфорт при просмотре. Также выяснилось, что эффективное разрешение (1024×768) отличается от заявленного (1600×1200). Эта информация может использоваться для подстройки генерации 3D-изображения под конкретное оборудование.

Заключение

Создана методика тестирования устройств, отображающих 3D-видео. Разработаны системы тестовых изображений для определения проблем и измерения большого числа характеристик. По результатам исследования создана база протестированных устройств. В дальнейшем планируется создание программного продукта для автоматизации систематизации и сравнения устройств. Данная методика важна для объективного сравнения 3D-устройств и

выбора наиболее подходящего оборудования.

Работа была поддержана грантами РФФИ № 10-01-00697-а и У.М.Н.И.К. ■

ЛИТЕРАТУРА

1. <http://www.samsung.com/sg/3dtv/notice.html>
2. Hurst N. I Can See Clearly Now – in 3D. SMPTE Meeting Presentation, 2011.
3. Abileah A. 3D Displays – Technologies & Testing Methods. Workshop on 3D Imaging, 2011.
4. Комар В.Г., Рожков С.Н., Чекалин Д.Г. Нормирование параметров, определяющих качество стереоизображения, воспринимаемого в условиях кинозала. Теоретические и технические вопросы записи, воспроизведения и восприятия стереоизображений. Сборник докладов, М., ОАО «НИКФИ», 2011.



СЖАТИЕ МНОГОРАКУРСНОГО ВИДЕО на основе межкадрового распространения карт глубины



С.Б. Матюнин, аспирант, Д.С. Ватолин, к.ф.-м.н., факультет вычислительной математики и кибернетики, лаборатория компьютерной графики и мультимедиа, МГУ им. М.В. Ломоносова

Аннотация

В работе рассматривается эффективный подход к сжатию многокурсного видео, основанный на представлении трёхмерного видео с использованием карт глубины. Для восстановления трёхмерной сцены используются сжатые карты глубины уменьшенного разрешения для ключевых кадров. Предложено использование информации из 2D видео потока для восстановления карты глубины для всей видео последовательности.

Ключевые слова: сжатие многокурсного видео, карты глубины, распространение карт глубины

Введение

В настоящее время активно развиваются технологии воспроизведения трёхмерного видео. Передача качественного многокурсного видео по сети требует в десятки раз большей пропускной способности по сравнению с обычным 2D видео такого же качества. Актуальной становится задача эффективного сжатия 3D видео. Наиболее распространённым подходом в этой области является использование межкурсного предсказания для устранения межкурсной избыточности [1]. Методы, основанные на совместном кодировании потоков нескольких ракурсов, на практике не показывают значительного выигрыша по сравнению с независимым сжатием. Другой подход состоит в использовании карт глубины для представления трёхмерного видео [3]. При этом кодируется только один (например, центральный) ракурс и карта глубины для него. При декодировании происходит построение необходимого числа ракурсов. Карты глубины не содержат текстурированных областей и допускают эффективное сжатие. В работе [10] ис-

MULTIVIEW VIDEO COMPRESSION BASED ON INTER-FRAME DEPTH MAPS PROPAGATION

S. Matyunin, D. Vatolin

Abstract

In this work we consider effective approach of multiview video compression based on 2D+depth representation. Compressed low resolution depth maps for key frames are used for transmitting information about 3D. Depth for the whole sequence is restored using information from 2D video.

Keywords: multiview video compression, depth map, depth map propagation

следуется оптимальное (с точки зрения качества восстановленного стереоизображения) соотношение между величиной потока для 2D видео и соответствующей карты глубины при независимом сжатии. Независимое сжатие глубины с использованием кодеков, предназначенных для кодирования обычного видео, неэффективно. Согласованность карты глубины и соответствующего 2D изображения должна использоваться при обработке и сжатии объёмного видео. В [8] используется 2D изображение для повышения частоты кадров и разрешения данных, полученных с помощью сенсора глубины. Для повышения пространственного разрешения используется модифицированная кросс-билатеральная фильтрация, для увеличения частоты кадров – интерполяция на основе компенсации движения для 2D видео. В [9] предлагается использовать векторы движения, найденные по исходному видео, для кодирования видео глубины. Дополнительно требуется оценка движения объектов по глубине и передача найденных векторов вместе со сжатым потоком.

Разработанный метод

Целью данной работы является создание алгоритмов, позволяющих максимально сократить объём дополнительных данных, необходимых для построения 3D изображения. Данная задача актуальна при передаче многокадровых видеоматериалов высокого разрешения по каналам с ограниченной пропускной способностью (например, беспроводным сетям). Разработанный алгоритм использует для передачи 3D видео только ключевые кадры карты глубины уменьшенного разрешения и один исходный ракурс. Схема метода приведена на рис. 1.

При декодировании разрешение восстанавливается до исходного по информации о цвете и границах соответствующего 2D кадра с помощью метода, аналогичного [7]. Для восстановления карты глубины для всей последовательности распакованные ключевые кадры подаются на вход алгоритма распространения, аналогичному описанному в [4, 5]. Глубина D_i вычисляется для каждого кадра i таким образом, чтобы минимизировалась ошибка $E(D_i)$ между картой глубины на обрабатываемом и скомпенсированных по движению ключевых (обработанных) кадрах:

$$E(D_i) = \int_{\Omega} \int_S |D_i(x) - D_{\omega}(x - V_i(x, \omega))| dx d\omega$$

где Ω – множество ключевых кадров, с которых происходит распространение; S – множество точек x кадра; $D_i(x)$ – значение глубины в точке x кадра i ; $V_i(x, \omega)$ – вектор движения между кадрами i и ω в точке x .

Для подавления артефактов и повышения качества итогового стерео видео используется кросс-билатеральная фильтрация [6]. При кодировании некалиброванного многокадрового видео также должна передаваться информация о взаимном расположении ракурсов, которая будет использована на этапе генерации итогового материала.

Было проведено сравнение разработанного метода с кодеком для многокадрового видео [2]. Для тестового набора стерео видео измерялся объём данных, необходимых

для восстановления стерео по одному ракурсу (рис. 5). В случае многокадрового кодирования потребовалось дополнительно 95,8% объёма одного ракурса. Для разработанного метода – 0,43% при аналогичном визуальном качестве (рис. 2–5).

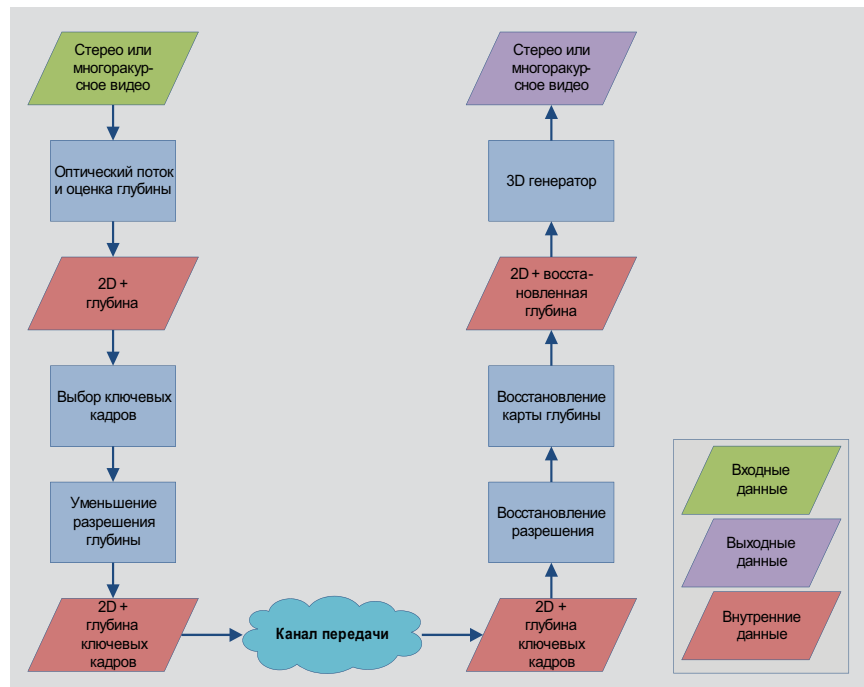


Рис. 1. Схема разработанного метода сжатия стерео/многокадрового видео



Рис. 2. Пример кадра исходной 2D последовательности



Рис. 3. Несжатая карта глубины, полученная с помощью Microsoft Kinect. Чем темнее область, тем ближе она находится



Рис. 4. Карта глубины, сжатая с использованием распространения глубины ключевых кадров



Рис. 5. Карта глубины, сжатая с использованием распространения глубины ключевых кадров уменьшенного разрешения

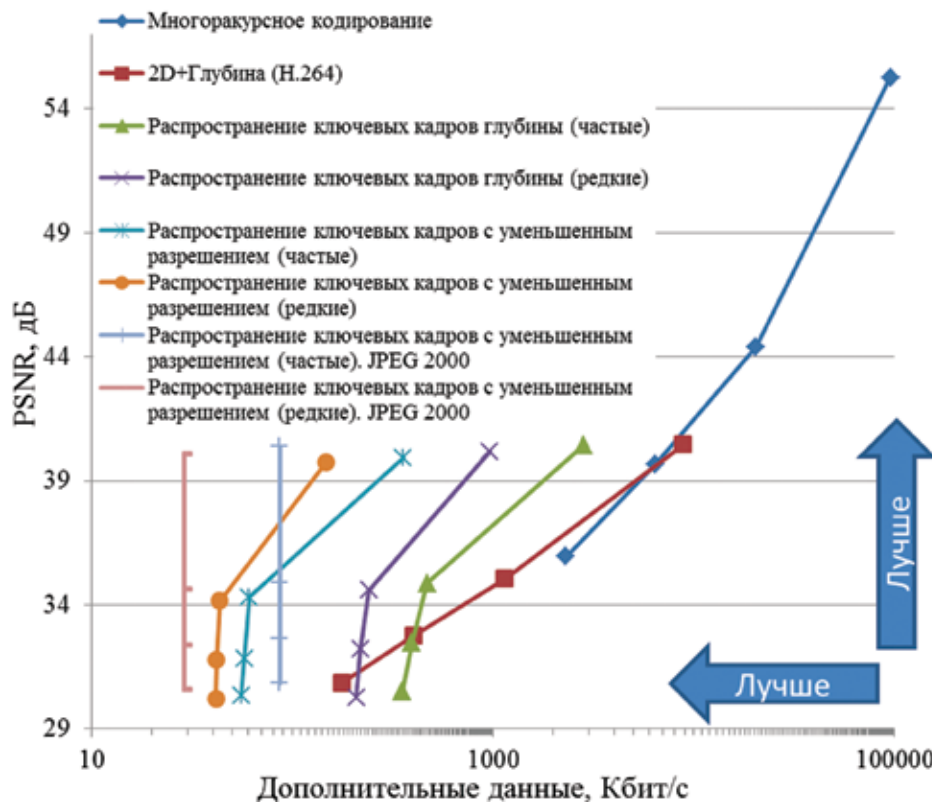


Рис. 6. График зависимости качества восстановленного стерео от объёма дополнительных данных

Заключение

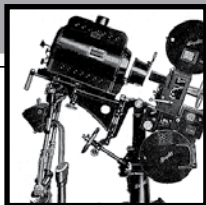
Разработан метод эффективного сжатия многоакурсного видео, основанный на использовании карт глубины. Отличительной особенностью метода является восстановление 3D видео по картам глубины ключевых кадров уменьшенного разрешения и 2D видеопотоку, что позволяет значительно сократить объём дополнительно передаваемых данных.

Проведённые эксперименты показывают перспективность разработанного метода. Дальнейшее увеличение эффективности возможно за счёт оптимального выбора ключевых кадров и сжатия с использованием восстановленных соседних ключевых кадров (аналог P-frames).

Работа выполнена при частичной поддержке грантов РФФИ 10-01-00697-а и Intel-Cisco Video Aware Wireless Network Project. ■

ЛИТЕРАТУРА

1. Lee S.H., Cho N.I. & Yang J.H. A Motion Vector Prediction Method For Multi-view Video Coding. 2008 International Conference on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing 1247-1250 (2008).
2. Chen Y., Pandit P., Yea S. WD 4 Reference software for MVC, JVT-AD207, JVT of ISO/IEC MPEG & ITU-T VCEG, 2009.
3. Morvan Y., de With P., Farin D. Platelet-based coding of depth maps for the transmission of multiview images, Proceedings of SPIE, Stereoscopic Displays and Applications, vol. 6055, p. 93–100, 2006.
4. Varekamp C., Barenbrug B. Improved depth propagation for 2D to 3D video conversion using key-frames, 4th European Conference on Visual Media Production (IETCVMP), p. 1–7, 2007.
5. Brosch N., Rhemann C., Gelautz M. Segmentation-based depth propagation in videos, Proceedings of AGM/AAPR Workshop, 2011.
6. Paris S., Kornprobst P., Tumblin J., Durand F. "Bilateral Filtering: Theory and Applications," Foundations and Trends in Computer Graphics and Vision, vol. 4, p. 1–75, 2008.
7. Riemens A.K., Gangwal O.P., Barenbrug B., Berretty R.P.M. Multistep joint bilateral depth upsampling, Proceedings of SPIE 7257, 72570M-72570M-12, 2009.
8. Choi J., Min D., Sohn K. 2D-plus-depth based resolution and frame-rate up-conversion technique for depth video. Consumer Electronics IEEE Transactions on 56, 2489–2497, 2010.
9. De Silva D.V.S.X., Fernando W.A.C., Yasakethu S.L.P. Object based coding of the depth maps for 3D video coding, IEEE Transactions on Consumer Electronics 55, 1699-1706, 2009.
10. Bosc E., et al. Bit-rate allocation for multi-view video plus depth, 3DTV Conference The True Vision Capture Transmission and Display of 3D Video 3DTVCON, 1-4, 2011.



БЕСПРОВОДНЫЕ СЕНСОРНЫЕ СЕТИ: моделирование работы приложений

А.И. Винокур, д.т.н.,
профессор ВГНА
Минфина России,
М.В. Сергиевский, к.т.н.,
доцент НИЯУ МИФИ,
Н.Е. Клименко, аспирант
НИЯУ МИФИ



Аннотация

Статья посвящена обоснованию применимости предметно-ориентированного подхода для моделирования приложений беспроводных сенсорных сетей. Авторами предлагается предметно-ориентированный язык, разработанный специально для создания управляющих приложений беспроводных сенсорных сетей. Проанализированы возможности применения платформы Microsoft SQL Server Modeling для создания программного средства моделирования приложений для беспроводных сенсорных сетей.

Ключевые слова: дистанционное управление, съёмочный процесс, робот, беспроводные сенсорные сети, моделирование, предметно-ориентированный язык.

Введение

При съёмке фильмов давно и успешно используется дистанционное управление кинокамерами и освещением [1]. В настоящее время на съёмочной площадке для расширения творческих возможностей активно участвуют и другие дистанционно управляемые технические средства. Весьма успешно применяются дистанционно управляемые устройства для перемещения камер по труднодоступным для человека траекториям и местам, такие как миниатюрные летательные аппараты (вертолёты и самолёты), миниатюрные автомобили, подводные аппараты, специальные устройства типа гибких зондов и других средств эндоскопических и лапароскопических исследований, особенно в фильмах о путешествиях, географических открытиях, жизни животных, медицинских и биологических исследованиях. К дистанционно управляемым объектам относят-

WIRELESS SENSOR NETWORKS: APPLICATIONS WORK MODELING

A. Vinokour, M. Sergievsky, N. Klimenko

Abstract

Article is devoted a substantiation of applicability of the domain-oriented approach for modeling of applications of wireless sensor networks. Authors offer the domain-oriented language specially developed for creation of control applications of wireless sensor networks. Possibilities of using of platform Microsoft SQL Server Modeling for creation of a software modeling of applications for wireless sensor networks are analyzed.

Keywords: remote control, film-making process, robot, wireless sensor networks, modeling, domain-oriented language.

ся также получившие широкое распространение роботы – объекты съёмки. Нижняя оценка количества кинофильмов, в которых используется дистанционно управляемые устройства за последние двадцать лет, по данным сайта «Энциклопедия кино» [2], составляет более тысячи примеров.

Таким образом, можно констатировать огромное разнообразие устройств и способов реализации дистанционного управления. С одной стороны, это говорит о востребованности подобных технических средств на съёмочной площадке. С другой стороны, при съёмке каждого фильма возникают сходные технические задачи, которые каждый раз решаются индивидуально. Техническая сложность устройств растёт, и соответственно творческим потребностям, растёт сложность управления. Не случайно, что очень многие технические решения становятся предметами научных статей.

Поэтому актуальным направлением развития кинотехники является создание технических и программных средств, обеспечивающих гибкое и надёжное оперативное управление в условиях реального съёмочного процесса на основе общего унифицированного подхода к дистанционному управлению как объектами съёмки, так и съёмочным и вспомогательным оборудованием.

Одним из эффективных средств реализации сложного управления является применение беспроводных сенсорных сетей. В настоящей статье рассматривается подход к разработке предметно-ориентированного языка моделирования работы беспроводных сенсорных сетей, в первую очередь, для решения задач кинематографии.

Беспроводные сенсорные сети (БСС), по мнению аналитиков Gartner, считаются, по крайней мере на ближайшие десять лет, одной из наиболее перспективных технологий. В то же время наиболее актуальным подходом к созданию программного обеспечения для стандартных и специализированных систем в последнее время становится разработка на основе моделей [3]. Этот подход в идеале должен позволить разработчику создавать программное обеспечение, описывая его функции на некотором высокоуровневом, часто графическом языке в виде набора моделей функционирования, а затем автоматически переводить их в программный код.

В данной статье речь пойдёт о соединении этих двух актуальных технологий, точнее, о применении подхода на основе моделей при разработке приложений для беспроводных сенсорных сетей. Авторами статьи предлагается многоуровневый язык описания функционирования беспроводных сенсорных сетей, который после реализации в среде платформы Microsoft SQL Server Modeling [4] применяется для создания управляющих приложений БСС.

Разработка приложений для БСС

Беспроводная сенсорная сеть представляет собой совокупность миниатюрных вычислительных устройств, снабжённых датчиками и способных к передаче данных по радиоканалам [5]. Эти устройства называют мотами от английского «mote» – пылинка. Важным элементом сети является базовая станция (или шлюз), на которую поступает вся информация, собираемая сетью. На базовой станции сенсорная информация проходит предварительную обработку и передаётся далее в корпоративную сеть для окончательной обработки и анализа.

Моты, образующие сеть, связаны между собой беспроводными радиоканалами. Выбор маршрутов коммуникации осуществляется динамически по алгоритмам, реализуемым протоколами связи. Передача сообщений по сети происходит поэтапно, от одного мота другому. Достаточно, чтобы от каждого мота существовал хотя бы один путь к базовой станции, однако на практике таких путей строится множество, что обеспечивает отказоустойчивость сети и увеличивает скорость передачи сообщений. Далее рассмотрим важные особенности БСС,

отличающие их как от проводных сенсорных, так и от обыкновенных беспроводных сетей.

Развёртывание БСС осуществляется предельно просто, поскольку моты являются автономными устройствами, и прокладки кабелей не требуется. Моты могут быть помещены в заранее определённые места или распределены случайным образом. Способность узлов БСС к самоорганизации гарантирует создание сети в случае выполнения единственного условия: связности. При этом количество узлов в сети может достигать нескольких тысяч.

Механизм самоорганизации, делающий таким простым развёртывание БСС, также обеспечивает её самовосстановление. Если какой-либо из узлов выходит из строя, сеть автоматически перенастраивается, чтобы компенсировать его отсутствие. Многие алгоритмы передачи данных в БСС также позволяют обходить участки сети с помехами и участки с низким уровнем заряда батарей, передавая сообщения по более выгодным маршрутам. Однако беспроводные сенсорные сети имеют ряд принципиальных ограничений: малая пропускная способность беспроводного канала, чувствительность к помехам, сложность организации коммуникаций при высокой плотности узлов, небольшой запас энергии и невысокая вычислительная мощность.

Ширина диапазона радиопередачи ограничена, а одновременное вещание двух и более устройств на одной частоте ведёт к необратимому искажению сигнала, то есть потере всех одновременно передаваемых сообщений. Следовательно, передача данных в сети должна быть организована таким образом, чтобы никакие два устройства не работали одновременно на одной частоте в радиусе действия третьего устройства. Это предъявляет жёсткие требования к плотности размещения узлов. Слишком плотное размещение мотов приводит к появлению помех. Решить проблему можно уменьшением радиуса действия узлов с помощью специальной настройки передатчиков. Однако помехи, присутствующие во внешней среде, к которым БСС так же чувствительны, как и к внутренним помехам, остаются слабым местом данной технологии.

Ограниченная вычислительная мощность мотов требует использования в них простых алгоритмов и не позволяет производить сложные вычисления. Моты не способны поддерживать сложные сетевые протоколы, обеспечивающие оптимальную маршрутизацию.

Стремление максимально продлить срок службы сети ведёт к требованию экономии энергии батарей. Потребление энергии в БСС производится сенсором (датчиком и аналогово-цифровым преобразователем), приёмопередатчиком сообщений и непосредственно вычислителем. Одной из важнейших мер экономии энергии является использование для узлов «спящего» режима. Другим способом экономии энергии является выбор оптимального пути передачи сообщений, причём оптимальность в каждом конкретном случае трактуется по-разному. К примеру, оптимальным может быть путь с минимальны-

ми помехами, что позволяет не тратить энергию на повторную пересылку потерянных сообщений, или путь, проходящий через узлы, сохранившими максимальный запас энергии. Кроме того, протоколы передачи данных должны минимизировать число передач дублирующих друг друга сообщений. При функционировании беспроводных сенсорных сетей велика вероятность, что данные, собранные близко расположенными сенсорами, дублируются. Поэтому желательно, предваряя пересылку, выполнять агрегирование данных.

Однако слишком строгий режим экономии, например, длительное пребывание мотов в спящем режиме, передача сообщений без подтверждения доставки или агрегирование с утратой значащей информации, приводит к уменьшению скорости реакции сети, к снижению точности и даже потере данных. Таким образом, выделяются следующие основные характеристики качества БСС: надёжность и скорость передачи данных, длительность работы, качество мониторинга и безопасность.

Различные приложения предъявляют принципиально разные требования к конкретным реализациям БСС. В настоящее время предложены несколько типов архитектуры сетей и огромное количество различных алгоритмов, описывающих их функционирование.

На основе проведённых исследований можно выделить основные особенности БСС, учёт которых необходим при создании программных приложений:

Архитектура сенсорных узлов: моты состоят из нескольких компонентов, в число которых обязательно входят процессор и передатчик; кроме того, обычно присутствуют датчики, память, батарея. Таким образом, состав компонентов мота может различаться для разных устройств даже в рамках одной сети (гетерогенная сеть).

Работа в реальном времени: в большинстве приложений беспроводные сенсорные сети работают в реальном времени, то есть передают информацию по мере её поступления, отвечают на посылаемые запросы, обмениваются технологическими сообщениями.

Обмен сообщениями: основной функцией БСС, наряду со сбором информации об окружающей среде, является её передача. Механизмы обмена сообщениями критически важны для БСС.

Режимы функционирования: из-за необходимости экономии энергии моты должны функционировать в различных режимах, предусматривающих различные схемы питания их компонентов. Таких режимов у одного устройства может быть несколько.

Работа на основе событий: в работе БСС важную роль играют события, то есть изменения, происходящие в окружающей среде или в самом устройстве, на которые должна следовать определённая реакция. События обычно связаны с работой устройств мота, например, событие «получено сообщение» инициируется радиопередатчиком, событие «получены показания» – датчиком. Следует выделить события, возникающие при ошибках в функционировании компонентов мота.

Псевдопараллелизм: в связи с ориентацией на обработку событий моты работают по принципу псевдопараллелизма: в составе управляющей программы выделяются задачи, которые выполняются единственным процессором последовательно, однако их выполнение может прерываться обработкой событий. Таким образом, мот постоянно готов к обработке событий, каждое из которых предполагает свою последовательность действий. Эти действия, разделённые на задачи, будут выполняться попеременно в соответствии со своим приоритетом, что на определённом уровне абстракции можно считать одновременным их исполнением.

Различные уровни абстракции: различные платформы предоставляют конечному пользователю различные возможности для настройки сети на конкретное приложение.

Рассмотрев основные характеристики предметной области, учёт которых требуется при разработке управляющих приложений для БСС, перейдём к обсуждению возможностей, предоставляемых платформой моделирования SQL Server Modeling.

Моделирование и платформа SQL Server Modeling

Вначале заметим, что моделирование уже давно играет важную роль в разработке ПО, позволяя представлять структуру и поведение будущей программы в виде удобной для обсуждения, изменения и воплощения схемы-модели. Эти модели используются для разработки вариантов воплощения той или иной необходимой функциональности, описания процессов, потоков данных и т.д., также для закрепления принятых решений, общения специалистов разных областей и блоков и представления структуры будущего или уже созданного ПО в формальном виде. Таким образом, модели используются на всех этапах разработки ПО, создаются же они, в основном, на этапе проектирования.

Наиболее известным языком моделирования является UML (Unified Modeling Language). Он широко применяется для описания ПО в различных областях, однако из-за своей универсальности имеет ряд недостатков. Создание собственных средств моделирования, предназначенных для работы в конкретной предметной области, значительно повышает скорость и качество разработки соответствующих программных продуктов.

Процесс разработки модели, ориентированной на конкретную предметную область, называется предметно-ориентированным моделированием (DSM), а язык, которым оперирует разработанная модель, – предметно-ориентированным языком (DSL). Предметно-ориентированные языки могут быть текстовыми и графическими. Целесообразно использовать DSL в случаях, когда разработчикам приходится работать в определённой предметной области или с применением технологий, для описания которых языков моделирования общего назначения недостаточно. Именно такая ситуация сложилась в области БСС.

Метод создания приложений, при котором в качестве спецификаций используются модели сущностей, процессов и данных предметной области, получил специальное название – разработка, основанная на моделях. Этот метод предусматривает:

- использование абстракций для представления структуры на необходимом уровне детализации, что подразумевает исключение из модели деталей, учёт которых на данном этапе не является необходимым;
- использование моделей и отношений как основы разработки;
- использование модельно-ориентированных компонентов, которые соответствуют требованиям приложения или бизнес-процесса;
- связывание моделей и моделируемых сущностей на всех стадиях разработки таким образом, чтобы в течение всего жизненного цикла эти связи сохранялись;
- автоматизацию средств разработки и создание артефактов таким образом, чтобы обеспечивалась возможность их повторного использования.

Основным достоинством такого подхода является поддержка эффективного и легко управляемого процесса создания сложных приложений.

Платформа SQL Server Modeling (прежнее название OSLO), в настоящее время разрабатываемая компанией Microsoft, специально приспособлена для описанного выше подхода. Целью создания платформы SQL Server Modeling является преодоление разрыва между идеями разработчиков и реальными программными компонентами, которые для реализации этих идей разрабатываются и используются в сложных распределённых приложениях. Моделирование приложений означает представление описаний и спецификаций в виде унифицированных данных и схем, которые значительно удобнее в восприятии, чем нестандартизированные описания, то есть являются удобными средствами представления результатов работы и надёжными средствами коммуникации между разработчиками и заказчиками.

Платформа SQL Server Modeling позволяет разработчикам в процессе создания моделей оперировать понятиями, специально разработанными для данной предметной области, и делает составленные описания доступными для компонентов платформы в процессе выполнения программ. В состав платформы SQL Server Modeling входят:

- Инструмент для визуального проектирования «Quadrant», который позволяет представлять процессы в виде графических схем, похожих на структурные схемы; разрабатывать приложения и компоненты, которые удовлетворяют требованиям описанных процессов; переключаться между различными фазами разработки, чтобы контролировать, как внесённые на одном из этапов изменения влияют на приложение в целом.

- Язык моделирования «М», который позволяет расширять модели, предоставляемые системой (такие как Windows Communication Foundation или Windows

Workflow Foundation) и создавать новые модели для использования в рамках платформы SQL Server Modeling.

- Репозиторий, в котором созданные модели хранятся в виде таблиц MS SQL Server.

Данные, находящиеся в репозитории, доступны для средства «Quadrant» и других инструментов и приложений, которые могут использовать и изменять их. Создание моделей визуальным методом с помощью средства «Quadrant», языка «М» или непосредственно с использованием инструментов SQL Server, позволяет рассматривать и изменять не только сами данные, но и модели приложений. Кроме того, с репозиторием SQL Server Modeling можно работать как с обыкновенной базой данных, осуществлять поиск, выборки и прочее.

Предметно-ориентированный язык моделирования

С учётом всех рассмотренных выше тенденций и особенностей предметной области авторами статьи был разработан язык описания функционирования БСС. Предлагаемый язык предназначен для описания функционирования узлов беспроводной сенсорной сети. Если сеть является гетерогенной, то есть содержит узлы различной архитектуры, то для её описания необходимо составить схемы работы узлов всех входящих в неё типов.

Предлагаемый язык не предназначен для описания работы базовой станции и построения топологии сети. Перечисленные возможности не нужны для описания функционирования БСС, так как базовая станция, являясь интерфейсом между беспроводной сенсорной сетью и потребителем информации, чаще всего представлена стандартным компьютером, снабжённым необходимым передатчиком, что позволяет описывать его функционирование обычными средствами. Архитектура сети предполагается выбранной при построении схем функционирования БСС и для предлагаемого языка является внешней информацией, используемой в нём опосредованно. Так, при описании однородной сети схемы функционирования всех узлов совпадают. Если же в сети предусмотрены узлы-маршрутизаторы, то для них потребуются особые схемы. Аналогично, использование иерархической структуры с возможностью передачи функций маршрутизатора найдёт отражение в описании состояний узлов. Способности мотов к самоорганизации обеспечивают создание сети любой допустимой конфигурации без изменения схем функционирования узлов. Однако необходимость учёта расположения узлов может привести к созданию отдельных схем функционирования для разных узлов. Предложенный язык имеет три уровня описания, которые представлены схемами различной нотации. *Первый* из них – компонентный. Он является базовым для создания остальных схем. Компонентный уровень описывает устройства, из которых состоит мот, и их особенности, такие как возможные состояния, принимаемые команды, возвращаемые события, ошибки и так далее. Также на данном уровне описываются необходимые структуры памяти (предназначенные для хра-

нения списков соседей, сообщений, данных) и типы сообщений, отправляемых и принимаемых узлом. *Второй* уровень – уровень состояний. На данном уровне описываются состояния мота, зависящие от состояний его компонентов и выполняемых алгоритмов. Считается, что в каждом состоянии выполняется единственный алгоритм и компоненты узла остаются в фиксированном состоянии. Последнее условие не является обязательным, однако удобно в работе. Переходы между состояниями осуществляются после завершения соответствующих алгоритмов: это может быть выход по событию, по выполнении необходимых действий, по ошибке и т.д. *Третий* уровень – уровень функционирования. Он описывает работу мота, находящегося в конкретном состоянии. Описание функционирования состоит из ветвящейся в зависимости от условий нити управления, с которой связаны действия и события. Действия – это запрограммированные операции, выполняемые мотом. События определяются в соответствии с терминологией, принятой в БСС. Кроме этого, данный уровень учитывает обращения к компонентам узла и работу с сообщениями, описанными на компонентном уровне. Для лучшей читаемости схем данного уровня, которые могут быть весьма сложными, до-

пустима вложенность схем друг в друга. То есть действие может описываться дополнительной схемой. Такие действия названы действиями, требующими детализации. Не требуют детализации либо действия, суть которых очевидна на данном уровне абстракции, либо действия, являющиеся командами языка управления мотами, например NesC.

Полный набор схем, описывающий некоторое приложение, называется функциональной схемой этого приложения.

Для удобства работы с предлагаемым языком он представлен в двух нотациях – графической и текстовой. Рассмотрим его основные возможности на примере проектирования реальной программы, создаваемой на языке программирования БСС NesC. Программа управляет сбором и передачей данных в однородной сети, то есть сети, где все узлы одинаковы и выполняют одинаковые алгоритмы. Программа использует протоколы передачи данных из библиотеки XMesh, описание которых не приводится.

Первым уровнем описания является компонентный.

На данной схеме (рис. 1) представлены все компоненты мота: Таймер, Батарея, Сенсор, Набор индикаторов, Приёмник, Память – с соответствующими им команда-

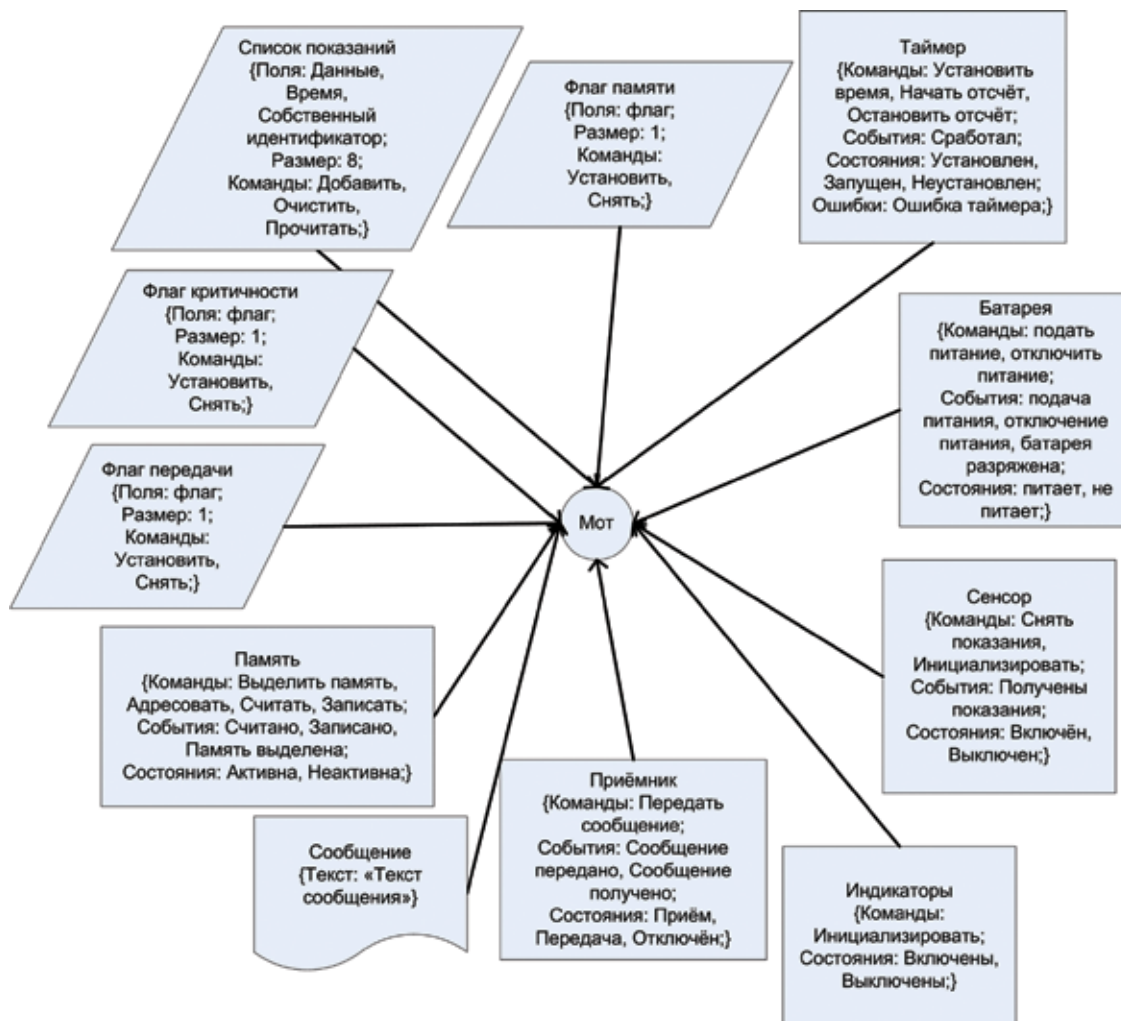


Рис. 1. Компонентная схема

ми, событиями, состояниями и ошибками. Также на этой схеме присутствуют необходимые для работы структуры памяти: Список показаний, Флаг памяти, Флаг критичности, Флаг передачи; и их характеристики: поля, размеры, команды. К типам принимаемых и передаваемых сообщений относится единственное присутствующее на схеме Сообщение.

В текстовой нотации представленная схема выглядит следующим образом:

Описание компонента «Таймер»

Данный компонент выполняет команды: «Установить время», «Начать отсчёт», «Остановить отсчёт». Данным компонентом инициируется событие «Сработал». Данный компонент может находиться в одном из состояний: «установлен», «запущен» или «не установлен». Для данного компонента возможны ошибки: «Ошибка таймера».

Описание компонента «Сенсор»

Данный компонент выполняет команды: «Снять показания», «Инициализировать». Данным компонентом инициируется событие «Получены показания». Данный компонент может находиться в одном из состояний: «Включён», «Выключен».

Описание компонента «Приёмник»

Данный компонент выполняет команду «Отправить сообщение». Данным компонентом инициируются события: «Сообщение передано», «Сообщение получено». Данный компонент может находиться в одном из состояний: «Отключён», «Приём» или «Передача». Для данного компонента возможны ошибки: «Потеря сообщения», «Сбой передачи».

Описание компонента «Батарея»

Данный компонент выполняет команды: «Подать питание», «Отключить питание». Данным компонентом инициируются события: «Подача питания», «Отключение питания» и «Батарея разряжена». Данный компонент может находиться в одном из состояний: «Подключена» или «Отключена».

Описание компонента «Память»

Данным компонентом инициируются события: «Считано», «Записано» и «Память выделена».

Данный компонент может находиться в одном из состояний: «Активна», «Неактивна».

Описание компонента «Индикаторы»

Данный компонент выполняет команду «инициализировать». Данный компонент может находиться в одном из состояний: «Включены» или «Выключены».

Описание структуры памяти «Список показаний»

Данная структура имеет поля: «данные», «время» и «собственный идентификатор». Размер данной структуры: 8 элементов. Для данной структуры применимы команды: «добавить», «очистить», «прочитать».

Описание структуры памяти «Флаг передачи»

Данная структура имеет поле «флаг». Размер данной структуры: 1 элемент. Для данной структуры применимы команды: «установить», «снять».

Описание структуры памяти «Флаг памяти»

Данная структура имеет поле «флаг». Размер данной структуры: 1 элемент. Для данной структуры применимы команды: «установить», «снять».

Описание структуры памяти «Флаг критичности»

Данная структура имеет поле «флаг». Размер данной структуры: 1 элемент. Для данной структуры применимы команды: «установить», «снять».

Описание типа сообщения «Сообщение»

Сообщение данного типа не имеет шаблона.

В текстовой нотации данная схема выглядит следующим образом:



Рис. 2. Схема состояний

Описание схемы «Тестовая программа»

Работа начинается с состояния «Отключён».

Описание состояния «Отключён». Компоненты находятся в состояниях: «Память» – «неактивна», «Сенсор» – «отключён», «Таймер» – «остановлен», «Приёмник» – «отключён», «Батарея» – «отключена». Из данного состояния возможны переходы: в состояние «Инициализация и запуск программы» по результату «Подано питание».

Описание состояния «Инициализация и запуск программы»

Компоненты находятся в состояниях: «Память» – «активна», «Сенсор» – «отключён», «Приёмник» – «приём», «Батарея» – «подключена». Из данного состояния возможны переходы: в состояние «Работа» по результату «Инициализация окончена», в состояние «Отключён» по результату «Питание отключено».

Описание состояния «Работа»

Компоненты находятся в состояниях: «Память» – «активна», «Таймер» – «запущен», «Батарея» – «подключена». Из данного состояния возможны переходы: в состояние «Отключён» по результату «Питание отключено».

Уровень функционирования содержит не менее одной схемы для каждого состояния, присутствующего в схеме уровня состояний. Однако их может быть и больше, если в основных схемах встречаются действия, требующие детализации.

В рассматриваемом нами примере обратим внимание на одну из схем функционирования – описание алгоритма «Работа».

В текстовой нотации имеем следующее описание:

Описание алгоритма «Работа»

Вначале происходит параллельное выполнение «Ожидание событий». Параллельное исполнение «ожидание событий» позволяет обрабатывать события «Сработал» (таймер показал, что наступило время снимать показания), «Память выделена», «Показания получены», «Записано», «Отключение питания».

Событие «сработал» инициируется компонентом «таймер». После данного события делается проверка «выделена ли память».

Проверка «выделена ли память» предполагает следующие варианты: либо «память выделена», тогда выполня-

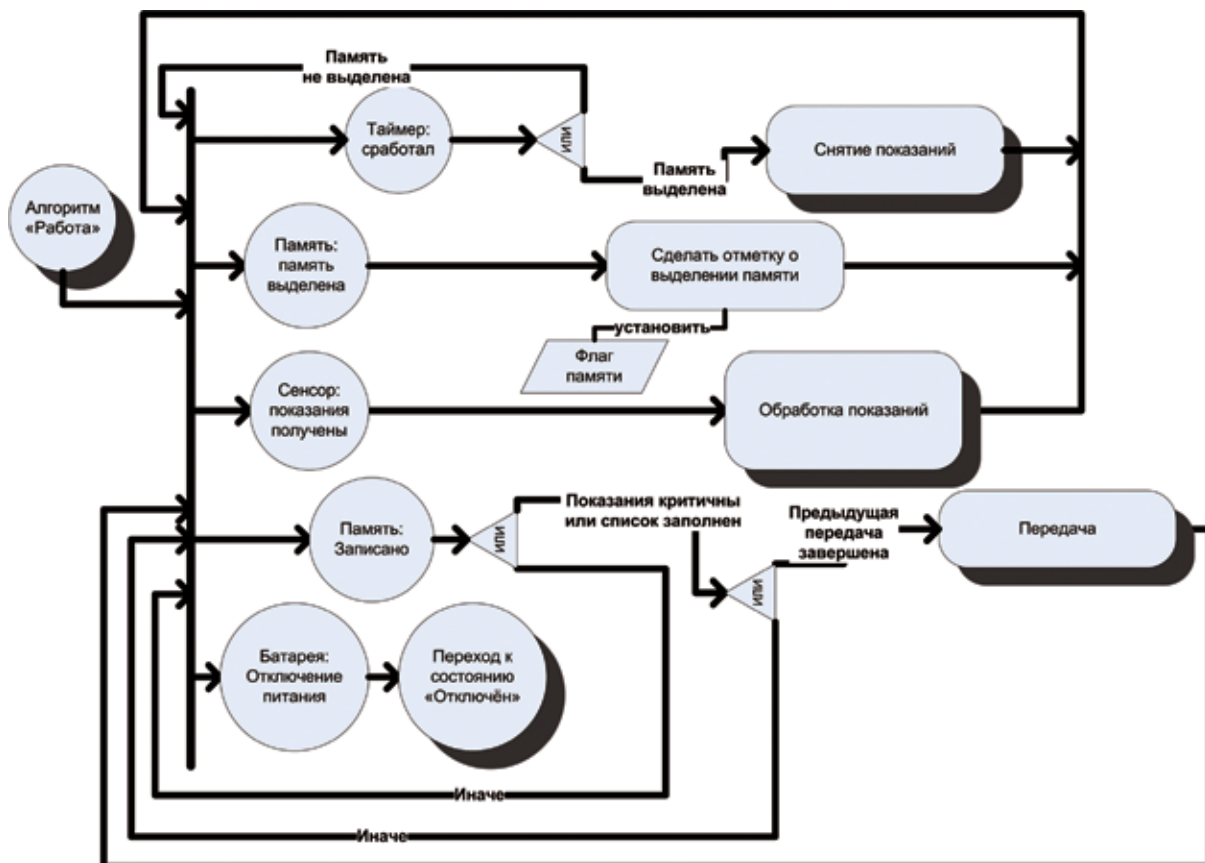


Рис. 3. Пример схемы функционирования

На рис. 3 кругами с тенью обозначается начало и конец алгоритма; обычными кругами – события компонентов мота, описанные в компонентной схеме; скруглёнными прямоугольниками – действия; скруглёнными прямоугольниками с тенью – действия, требующие пояснений; параллелограммами – структуры памяти, участвующие в действии. Стрелки обозначают нити управления, треугольники – выбор «исключающее или». Вертикальная черта соответствует псевдопараллельной обработке следующих за ней событий. На рисунке не представлена работа с сообщениями: она описывается так же, как и работа со структурами памяти (сущность «сообщение» обозначается, как на компонентной схеме).

ется действие «снятие показаний», либо «память не выделена», тогда происходит параллельное выполнение «Ожидание событий».

После действия «снятие показаний» происходит параллельное выполнение «Ожидание событий». Данное действие требует пояснений.

Событие «память выделена» инициируется компонентом «память». После данного события выполняется действие «сделать пометку о выделении памяти».

Действие «сделать пометку о выделении памяти» обращается к структуре памяти «флаг памяти». После данного действия происходит параллельное выполнение «Ожидание событий».

Событие «показания получены» инициируется компонентом «сенсор». После данного события выполняется действие «обработка показаний». После действия «обработка показаний» происходит параллельное выполнение «Ожидание событий».

Событие «записано» инициируется компонентом «память». После данного события делается проверка «проверка показаний».

Проверка «проверка показаний» предполагает следующие варианты: либо «показания критичны или список заполнен», тогда делается проверка «окончена ли передача», либо «иначе», тогда происходит параллельное выполнение «Ожидание событий».

Проверка «окончена ли передача» предполагает следующие варианты: либо «предыдущая передача завершена», тогда выполняется действие «передача», либо «иначе», тогда происходит параллельное выполнение «Ожидание событий».

Событие «отключение питания» инициируется компонентом «батарея». После данного события алгоритм завершается переходом в состояние «Отключён».

...

Данный алгоритм может завершиться переходом в состояние «Отключён».

Текстовая нотация разработанного языка реализована с помощью языков семейства M платформы SQL Server Modeling. Для каждого типа схем разработана грамматика MGrammar, переводящая входной текст в древовидную структуру MGraph, и коллекция типов MSchema, позволяющая на основе структуры MGraph получить SQL-код для хранения модели в репозитории SQL Server Modeling.

Грамматика проверяет соответствие входного текста правилам языка соответствующего уровня. В случае ошибки процесс трансляции прекращается. Трансляция из представления в виде графа в SQL-код не требует дополнительных действий, кроме запуска скрипта и соответствующих настроек.

В настоящий момент разработанная грамматика представлена, во-первых, в виде скомпилированных скриптов, которые можно использовать для трансляции и, во-вторых, в текстовом виде, с которым можно работать при помощи программы Intellipad, входящей в состав SQL Server Modeling.

Грамматики выполняют трансляцию исходного текста в модель, хранимую в репозитории. В дальнейшем полученные модели можно просматривать и изменять с помощью программы Quadrant, входящей в состав SQL

Server Modeling, а также транслироваться непосредственно в части исполняемого кода.

Выводы

В данной статье предлагается использовать беспроводные сенсорные сети для реализации сложного управления объектами съёмки и съёмочным оборудованием. Описывается предметно-ориентированный язык, ориентированный на создание моделей приложений для БСС и учитывающий принятые в БСС стандарты. Разработаны две нотации языка – графическая и текстовая. Проанализированы возможности применения платформы Microsoft SQL Server Modeling для создания средства моделирования приложений для БСС.

В процессе разработки предметно-ориентированного языка были выделены все сущности, участвующие в функционировании приложения на узле БСС, а также их характеристики, такие как состояния, команды, сообщения и т.д. Для наиболее полного и удобного описания приложений разработанный язык имеет три уровня:

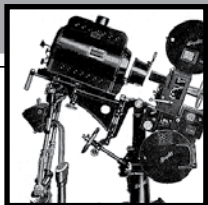
1. Компонентный уровень описывает физические и программные компоненты устройства, а также необходимые структуры памяти и шаблоны используемых сообщений.
2. Уровень состояний рассматривает состояния мота в целом, часто соответствующие режимам питания мота; состояние мота характеризуется состояниями компонентов мота и выполняемым в данном состоянии алгоритмом.
3. Уровень функционирования описывает конкретные последовательности операций, выполняемых мотом. Схемы уровня функционирования могут расширять и дополнять друг друга для описания приложений любой сложности в доступной восприятию форме.

Использование трёх уровней языка даёт возможность сформировать полное описание функционирования мота, позволяя разрабатывать соответствующие алгоритмы любой степени абстракции – от непосредственного управления аппаратной частью до работы с высокоуровневыми программными компонентами. Работа с упомянутыми высокоуровневыми компонентами происходит через описанные для них интерфейсы по схеме «команда – ответ», принятой в БСС. При этом реализация используемых программных компонент для предлагаемого языка не важна.

В настоящее время ведётся разработка программного инструментального средства на платформе SQL Server Modeling, которое позволит строить схемы на предметно-ориентированном языке и транслировать их во фрагменты управляющего кода для исполнения непосредственно на мотах. ■

ЛИТЕРАТУРА

1. Артюшин Л.Ф., Винокур А.И., Мкртумов А.С. Съёмка и подготовка видеоматериалов в телевизионном производстве. Москва, АО ВНИИТР, 2000.
2. Энциклопедия кино, <http://horror-movies.ru/Pages/robots.html>
3. Кознов Д.В. Визуальное моделирование: теория и практика. Бином, 2008.
4. Microsoft. «OSLO» Developer Center. Microsoft, [http://msdn.microsoft.com/ru-ru/oslo/default\(en-us\).aspx](http://msdn.microsoft.com/ru-ru/oslo/default(en-us).aspx).
5. Сергиевский М.В. Беспроводные сенсорные сети (1 и 2 части). Журнал КомпьютерПресс, №8 2007, №4 2008.



ПОСТРОЕНИЕ КАРТЫ ГЛУБИНЫ И МНОГОРАКУРСНОГО ВИДЕО ПО СТЕРЕОПАРЕ



А.А. Зачёсов, М.Б. Колинченко, студенты, Д.С. Ватолин, к.ф.-м.н., факультет вычислительной математики и кибернетики, лаборатория компьютерной графики и мультимедиа, МГУ имени М.В. Ломоносова

Аннотация

В статье рассматривается проблема создания высококачественных материалов для показа на автостереоскопических устройствах. Описывается разработанный алгоритм для автоматического преобразования стереопары в последовательность из произвольного числа ракурсов. Алгоритм анализирует геометрию исходного стерео, строит соответствующую ей карту диспаратета. При помощи этой карты затем происходит генерация ракурсов, в том числе поддерживается увеличение параллакса оригинального видео. Продемонстрированы результаты работы алгоритма на срендеренном (переведённом из одного формата в другой) и отснятом материале.

Ключевые слова: многоракурсное видео, карта глубины, диспаратет, стереовидео, параллакс, геометрия стереопары, фильтрация карт глубины.

■ Стоимость одного пикселя на экране цифрового устройства непрерывно снижается. В мае 2011 года компания Sharp представила ЖК-телевизор с разрешением Ultra HDTV (7680 x 4320), что означает в 16 раз большее количество пикселей, чем у HD 1080p. Та-

DISPARITY MAP AND MULTIVIEW GENERATION FROM STEREO VIDEO

A. Zachesov, M. Kolinichenko, D. Vatolin

Abstract

This paper acknowledges the problem of creating high-quality content for autostereoscopic devices. It describes the algorithm, developed for automatic creation of arbitrary number of views, using only input stereo video. Algorithm analyses the geometry of the input stereo, estimates the corresponding depth map. Then the required number of views is generated, and algorithm can expand parallax of the original video as well. The results of the proposed method on rendered and filmed content are presented.

Keywords: multiview video, depth map, disparity, stereo video, parallax, stereo geometry, depth map filtering.

кой объём информации можно использовать не только для отображения более качественной картинки, но и для увеличения количества ракурсов и увеличения разрешения каждого ракурса, отображаемого устройством. Массовое производство автостереоскопических

дисплеев видится наиболее вероятным вариантом развития индустрии 3D телевизоров. В свою очередь, одним из главных факторов, сдерживающих популярность 3D видео, является недостаток контента. В силу технической сложности и высокой стоимости съёмки многоракурсного видео, предпочтительным способом получения контента для автостереоскопических дисплеев является искусственная генерация нужного количества ракурсов.

На рынке в настоящее время представлен ряд продуктов, использующих различные подходы к решению данной проблемы. При создании алгоритма учитывались их недостатки и преимущества. Были изучены реализации, представленные в VisuMotion Z.L.I.C.E. [4], The Foundry OCULA plugins [5] и MPEG Depth Estimation and View Synthesis Tool [6]. Все они используют различные подходы оценки геометрии при генерации карты глубины: поиск особых точек (OCULA), оценка движения (Z.L.I.C.E.), Graph Cuts (MPEG DE software), что позволяет не только сравнить качество результата, но и сопоставить области применимости каждого из указанных алгоритмов. Подход, представленный в OCULA, основан на поиске соответствий особых точек между исходными ракурсами. Результат работы здесь сильно зависит от их качества и распределения в кадре, что в целом не позволяет получить большое количество деталей на карте глубины. Из-за этого возникают проблемы при генерации ракурсов по кадрам, содержащим высоко детализированные объекты. Кроме того, не поддерживается экстраполяция за рамки исходной стереопары. Реализация Z.L.I.C.E. имеет недостаточную точность на этапе оценки движения. Из-за этого теряется необходимая для генерации высококачественного многоракурсного видео гладкость карты глубины. Генератор ракурсов также не поддерживает экстраполяцию. Алгоритм, предложенный в ре-

Таким образом, ни одна из рассмотренных реализаций не может предложить качественного решения поставленной задачи на произвольных входных данных и в полностью автоматическом режиме. Был реализован метод, объединяющий их преимущества. В результате представленный алгоритм решает задачу полностью автоматического построения многоракурсного видео с произвольным количеством ракурсов. В качестве входных данных алгоритм получает стереопару. Основные параметры – желаемое число ракурсов и значение параллакса.

Предложенный метод способен получать как ракурсы, для которых точка наблюдения находится между имеющимися ракурсами (интерполяция), так и за ними (экстраполяция).

Первым шагом алгоритма является быстрое построение начального приближения карт глубины для левого и правого ракурсов путём поблочной оценки сдвига между ними. Оценка производится с помощью алгоритма, аналогичного описанному в [2]. Следующие шаги алгоритма направлены на обработку полученных карт с целью повышения качества, для чего используется информация из соседних кадров. Текущее значение карты глубины заменяется взвешенной суммой значений по пространственно-временной окрестности (алгоритм аналогичен описанному в [1]) текущего кадра с весами:

$$W_{x,y,t} = \sum_{\Omega_t} \sum_{\Omega_u} \sum_{\Omega_v} (I_{x+u,y+v,t} - I_{x+u,y+v,t})^2 \cdot f(x, y, u, v),$$

где: T – номер текущего кадра, $t \in (T-n, T+n)$ – номер кадра во временной окрестности кадра T , n – параметр алгоритма, $I_{x,y,t}$ – интенсивность пикселя, $f(x, y, u, v)$ – дополнительное влияние относительного расположения пикселя окрестности.

Результаты построения карты глубины представлены на рис. 1 и 2.



Рис. 1. Пример карт глубины, полученных на основе синтезированной сцены. Слева – исходная стереопара, справа – карты глубины для левого и правого ракурсов

ализации MPEG, при неплохих результатах на демонстрационных последовательностях способен работать только с тремя ракурсами на входе и также требует для работы информацию о параметрах съёмки камерой (расстояние до сцены, фокусное расстояние камеры и т.п.). То есть алгоритм, в принципе, неприменим для автоматической обработки стереовидео.

На основе карт глубины происходит построение дополнительных ракурсов путём соответствующего преобразования исходных кадров и заполнения открывшихся областей за объектами переднего плана аналогичное алгоритму из [3]. Скорость работы – около 200 миллисекунд на генерацию одного ракурса в разрешении Full HD. Результаты работы представлены на рис. 3.



Рис. 2. Пример карты глубины, полученной на основе стереосъемки. Слева – левый ракурс, по центру – правый ракурс, справа – карта глубины



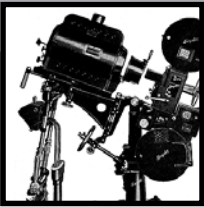
Рис. 3. Пример ракурсов, полученных на основе кадра из 3D-трейлера к фильму «Пираты Карибского моря: На странных берегах»

Предложенный алгоритм является одним из наиболее стабильных на текущем рынке программ для обработки стерео и генерации много ракурсных изображений. За счёт многоуровневой фильтрации карты глубины метод позволяет без значительной потери качества увеличивать параллакс исходной стереопары более чем в два раза. Алгоритм способен обрабатывать, в том числе и стереовидео низкого качества,

за счёт использования большого количества информации из исходного видео. Основным направлением дальнейшей работы является уточнение границ на карте глубины и продвинутая обработка областей открытия. Также планируется значительное усовершенствование алгоритма генерации видов за счёт использования восстановления фона и предобработки мягких границ. ■

ЛИТЕРАТУРА

1. *Matyunin S., Vatolin D., Smirnov M.* Fast Temporal Filtering of Depth Maps. 19th International Conference on Computer Graphics, Visualization and Computer Vision, Posters proceedings, p. 5-8, 2011.
2. *Simonyan K., Grishin S., Vatolin D., Popov D.* Fast Video Super-Resolution via Classification. Proc. IEEE ICIP, p. 349-352, San Diego, 2008.
3. *Jain A.K., Tran L.C., Nguyen T.Q.* Efficient Stereo-To-Multiview Synthesis. IEEE ICASSP, p. 889-892, San Diego, 2011.
4. <http://visumotion.com/web2/index.php/en/products/3d-software/vim-zlice-3d>
5. <http://www.thefoundry.co.uk/products/ocula/>
6. http://mpeg.chiariglione.org/working_documents.php



СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ПОВЕРХНОСТНОГО ИЗНОСА КИНОЛЕНТЫ

Г.В. Тихомирова, д.т.н., профессор,
И.В. Газеева, к.т.н., доцент, А.М. Спичихин, аспирант, К.К. Гудинов, доцент, кафедра киноvideоаппаратуры СПбГУКИТ



Аннотация

Разработана система автоматического контроля дефектов поверхности киноленты, работа которой основана на сканировании изображения отдельно от сюжета. Показаны области использования этой системы. Приведено математическое обоснование для расчёта параметров сканирования: разрешение сенсора, временная частота считывания данных при линейном сканировании, время выдержки электронного затвора и частота съёмки при сканировании матричным сенсором непрерывно движущегося носителя. Определено значение минимальной ширины царапин на киноленте, которые ещё улавливаются глазом в условиях кинопроекции. Рассчитаны параметры сканирования систем автоматического контроля, позволяющие идентифицировать указанные царапины в оцифрованном изображении. Определены камеры машинного видения, удовлетворяющие этим параметрам.

Ключевые слова: техническое состояние фильмокопий, автоматический контроль, параметры сканирования, разрешение, частота сканирования, непрерывное транспортирование киноленты.

■ Необходимость проведения исследований по разработке методов и устройств автоматического контроля поверхностного износа фильмовых материалов обусловлена не только наличием большого парка киноаппаратуры, работающей с гибким носителем, но и актуальностью реставрации оригинальных фильмовых материалов, а также перевода изображения с киноленты на твёрдотельные носители с целью их архивирования. Например, в Госфильмофонде, где хранится более 60 тыс. кинофильмов, ведётся большая работа по их оцифровке с целью сохранения и возможности показать старые фильмы массовому зрителю.

THE SYSTEM FOR AUTOMATIC CONTROL OF SURFACE DEFECTS FILMS: BASIS PARAMETERS OF SCANNING

G. Tikhomirova, I. Gazeeva,
A. Speechikhin, K. Gudinov

Abstract

The system for automatic control of defects in the surface film is developed. This system is based on scanning defects separately from the plot image. Areas of use of this system are shown. The mathematical foundation for calculating the parameters of scanning are given: the sensors resolution, the frequency of data read-out at line scanning and exposure time, frequency shoot for a matrix scanning continuously moving film. Value of the minimum width of scratches on the film which are still caught by an eye in the conditions of a film projection is defined. On this basis scanning parameters of the systems for automatic control are calculated. This systems can be embedded in a film projector and rewriter for the identification of these scratches on digital image. Cameras of the machine vision, satisfying to these parameters are found.

Keywords: wear (scratches), film surface, automatic control, scanning resolution, scanning frequency, continuously moving film.

До недавнего времени разработке устройств автоматического контроля поверхностного износа киноленты мешало отсутствие высокоразрешающих светочувствительных сенсоров. Появление таких сенсоров, а также камер машинного видения с возможностью регулирования параметров сканирования, позволяет ставить задачу разработки автоматизированного комплекса для контроля поверхностного износа киноленты при различных условиях эксплуатации.

Дефекты поверхности фильмовых материалов в значительной мере влияют на качество изображения, поэтому при эксплуатации этих материалов стремятся максимально уменьшить вероятность их появления.

Контроль состояния поверхности киноленты осуществляют в фильмофонде, прокатной сети, кинотеатрах. Техническое состояние фильмовых материалов оценивается четырьмя категориями [1]. В зависимости от технического состояния поверхности и перфораций каждая часть фильма относится к одной из четырёх категорий. При этом заключение о категории технического состояния поверхности фильма дают в зависимости от заметности дефектов на просвет и их протяжённости, а также учитывают, затрагивают ли царапины центральную часть кадра. Традиционно определение состояния поверхности киноленты происходит на основании визуальной оценки через лупу выборочных её участков. Контроль возможен только для неподвижного носителя, поэтому при перематывании на фильмопроверочном столе необходимо периодически делать остановку, что также приводит к новым повреждениям поверхности носителя. Вследствие субъективности оценки точность подобных измерений невысока.

Контролировать текущее состояние фильмовых материалов непосредственно во время их движения в киноаппаратуре, анализировать характер повреждений по всей длине носителя, а также своевременно выявлять причину их возникновения целесообразно только при использовании автоматической системы обнаружения. Эта система должна обеспечивать оцифровку изображения с выделением поверхностных дефектов и включать программные алгоритмы анализа изображения.

Принципы автоматического детектирования поверхностных дефектов киноленты

Рассмотрим принципы, на основе которых автоматически (без участия оператора) может быть отделено изображение поверхностных дефектов (царапин, потёртостей, следов грязи, пыли, ворсинок) от самого изображения кинокадра.

Царапины, потёртости и аналогичные дефекты представляют собой повреждения, геометрия которых характеризуется случайными микронеровностями и шероховатостью. В силу этого, они в значительной степени рассеивают проходящий сквозь них световой поток [2]. В результате в проецируемом на экран изображении указанные дефекты визуализируются как более тёмные объекты на фоне неповреждённых областей. Естественно, что тёмные царапины будут наиболее заметны на светлых участках изображения.

Аналогичная картина распределения освещённости в изображении царапин и окружающих неповреждённых областей будет создана сканирующим объективом на сенсоре фильм-сканера при оцифровке изображения.

Для того чтобы отделить изображение дефектов от сюжета, при сканировании фильма может использоваться инфракрасное излучение с длиной волны порядка 800–1000 нм. Этот интервал длин волн превышает спектральный диапазон поглощения красителей цветных многослойных фотографических материалов, но в

то же время входит в область чувствительности кремниевых сенсоров. Инфракрасное излучение проходит через киноленту практически независимо от плотности красителей, но так же, как и видимый свет, рассеивается на царапинах. Поэтому на сенсоре будет получено тёмное изображение дефектов на светлом фоне неповреждённых участков. По данному принципу строится, например, технология коррекции и улучшения изображения Digital ICE (Image Correction & Enhancement), которая успешно применяется в некоторых моделях фото- и фильм-сканеров [3, 4].

При сканировании на просвет считывание информации о дефектах происходит одновременно с обеих поверхностей киноленты (основы и фотослоя). Следствием этого является невозможность дифференцирования дефектов по поверхностям киноленты. Сепарация изображений дефектов и сюжета с помощью инфракрасного излучения возможна только для цветных плёнок. В чёрно-белых фильмовых материалах металлическое серебро, образовавшееся после проявления, задерживает инфракрасное излучение в зависимости от плотности почернения, поэтому данный метод выделения дефектов не подходит. Также он не годится и для звуковых дорожек кинофильмов, содержащих серебро.

Для чёрно-белых (а также и для цветных) фильмовых материалов детектирование дефектов может осуществляться отражённым световым потоком. При сканировании фильма в отражённом свете под некоторым углом (порядка 60–75°) к нормали поверхности киноленты, коэффициент отражения неповреждённой поверхности практически не будет зависеть от плотности почернения на киноленте [2]. В то же время, при таком освещении царапины или другие дефекты поверхности носителя будут рассеивать свет. Это приводит к нарушению направленного отражения в дефектных зонах и, как следствие, их дифференцированию на фоне неповреждённой поверхности как более тёмных объектов. Данный метод позволяет контролировать отдельно повреждения со стороны фотослоя и основы, но требует либо два отдельных устройства сканирования, либо одно устройство, применяемое последовательно для сканирования основы и фотослоя фильма.

Области использования систем автоматического контроля поверхностного износа киноленты

Система автоматического контроля может использоваться для диагностики состояния архивных фильмов и прокатных копий. При установлении категории технического состояния киноленты система автоматического контроля должна выдавать информацию о степени заметности царапин, их протяжённости, включая последовательные кадры, анализировать положение дефектов по полю кадра.

Система автоматического контроля может также использоваться для диагностики настройки лентопротяжного тракта киноаппаратуры. В данном случае необходи-

мо, чтобы она анализировала форму и расположение царапин (вертикальная, наклонная или горизонтальная, непрерывная или прерывистая и т.д.) и с помощью программного алгоритма определяла возможную причину износа киноленты.

Нивелирование дефектов поверхности уже повреждённых кинолент возможно при помощи реставрационно-профилактической обработки, которая осуществляется на специальных фильмореставрационных машинах [5]. Причём реставрацию основы и фотослоя выполняют отдельно. Способ реставрации, активные моющие и полирующие средства, режим работы фильмореставрационных машин (скорость обработки, температура раствора, количество наносимого раствора, прижим плёнки к полирующим роликам или аппликаторным дискам) выбирают в зависимости от ширины царапин, плоскости расположения дефектов (основа или фотослой), материала основы киноленты. Здесь также будет полезно применение системы автоматического обнаружения поверхностных дефектов. В данном случае система автоматического контроля должна определять ширину царапин и устанавливать, на какой поверхности они образованы: со стороны фотослоя или основы.

При оцифровке фильмовых материалов система автоматического контроля поверхности киноленты позволит выявить дефекты и их расположение по полю кадра с тем, чтобы они могли быть устранены методами цифровой обработки в «сюжетном» изображении.

Ввиду вышесказанного актуальной является задача разработки и исследования методов и средств автоматизации контроля поверхностного износа киноленты, позволяющих количественно оценить повреждения и определить возможную причину износа. Такие системы могут быть востребованы:

- в фильмофонде, как при контроле состояния фильмовых материалов, так и при выборе методов реставрации или при оцифровке изображения;
- в прокатных организациях для оперативного контроля текущего состояния фильмокопий и диагностики настройки лентопротяжного тракта кинооборудования.

Математическое обоснование для расчёта параметров сканирования

В зависимости от назначения будут отличаться как требования к системам контроля, так и их конструктивные решения, параметры сканирования, алгоритмы анализа изображения.

Как нами показано в [6], системы автоматического контроля могут быть относительно просто встроены в лентопротяжный тракт кинопроектора или фильмопроверочного стола. В кинопроекторе система сканирования принципиально могла бы находиться в зоне прерывистого транспортирования или в районе звукочитающей системы, однако расположить её среди уже существующих элементов МТЛ проблематично. Целесообразнее поместить её в зоне непрерывного транспор-

тирования киноленты, например, на натянутом участке носителя между задерживающим зубчатым барабаном и наматывателем кинопроектора (или перед плэттером). В фильмопроверочном столе, где кинолента транспортируется непрерывно, указанная система может быть введена в участок перематываемой ветви. При этом такая система одновременно смогла бы выполнять функцию делителя натяжения. Скорость движения киноленты в первом случае будет составлять 24 кадр/с, что для 35-мм фильмокопии составляет 0,456 м/с, во втором случае скорость движения киноленты может составлять 2–3 м/с и выше.

При непрерывном транспортировании носителя сканирование может осуществляться линейным или матричным (с прогрессивной развёрткой) сенсором. К наиболее важным параметрам сканирования следует отнести разрешение сенсора, временную частоту считывания данных при линейном сканировании, время выдержки электронного затвора сенсора и частоту съёмки при матричном сканировании непрерывно движущегося носителя.

От разрешения сенсора, под которым будем понимать физическое количество пикселей, содержащееся в каждой горизонтальной строке сенсора, зависит минимальная ширина дефекта (царапины) $d_{\text{мин}}$ на поверхности киноленты, которая может быть обнаружена в системе автоматического контроля.

$$P_{\text{сенси}} = \frac{2 \cdot M}{d_{\text{мин}}}, \quad (1)$$

где: M – ширина сканируемой области.

Примечание: формула (1) основывается на теореме Котельникова.

Разрешение сканирования $P_{\text{скан}}$ принято выражать в количестве пикселей на дюйм (dpi), которое может быть найдено:

$$P_{\text{скан}} = \frac{2 \cdot 25,4}{d_{\text{мин}}}. \quad (2)$$

Рассмотрим отдельно параметры сканирования непрерывно движущейся киноленты в устройствах с линейным и матричным сенсором.

А) При линейном сканировании непрерывно движущегося носителя со скоростью V временная частота ν считывания данных с сенсора определяет разрешение (по длине киноленты). Связь между временной частотой сканирования и разрешающей способностью N (выраженной в линиях на миллиметр), приведённой к поверхности носителя [7], устанавливает формула:

$$\nu = N \cdot V. \quad (3)$$

Поскольку мы полагаем, что качество сканируемого изображения вдоль осей x и y должно быть одинаковым, то:

$$v = \frac{P_{\text{сенси}}}{M} \cdot V, \quad (4)$$

где: M – ширина сканируемой области, мм.

Б) При матричном сканировании непрерывно движущегося носителя для устранения смаза изображения вдоль направления движения киноленты необходимо, чтобы за время выдержки $t_{\text{выд}}$ электронного затвора сенсора кинолента не успела переместиться на величину, большую половины шага дискретизации $0,5Y^*$. Отсюда

$$t_{\text{выд}} = \frac{0,5 \cdot Y^*}{V} = \frac{0,5 \cdot M_y}{V \cdot P_{\text{сенси } y}}, \quad (5)$$

где: V – скорость движения носителя, мм/с; M_y – высота сканируемой области одного кадра, мм; $P_{\text{сенси } y}$ – количество пикселей по высоте сенсора.

Частота съёмки v_c матричного сенсора должна быть согласована со скоростью непрерывного движения носителя V . Оцифровывать отдельно каждый последующий кадр фильма возможно только при условии, что

$$v_c = \frac{V}{H_k}, \quad (6)$$

где v_c – частота съёмки матричного сенсора, кадр/с;

H_k – шаг кадра на киноленте, который для 35-мм киноленты обычно составляет 19 мм.

Таким образом, при транспортировании 35-мм киноленты со скоростью 0,456 м/с частота съёмки матричным сенсором должна быть равна 24 кадр/с, при перематке фильмового материала со скоростью $V = 2$ м/с $v_c = 105$ кадр/с, при $V = 3$ м/с, соответственно, $v_c = 158$ кадр/с. В некоторых случаях системы контроля могут оцифровывать не все последующие кадры, а, например, через один или через два кадра, тогда частоту съёмки можно уменьшить, соответственно, в 2 или 3 раза.

Приведённые выражения (1–6) позволяют определить основные параметры сенсора в зависимости от скорости носителя. Однако в качестве исходных данных здесь следует определить минимальный размер дефекта (ширины царапины) $d_{\text{мин}}$ на поверхности носителя, который может быть замечен зрителю в условиях кинопроекции.

Расчёт минимальной ширины царапины на киноленте, видимой глазом, в условиях проекции

Как известно [8], предельный угол разрешения глаза $\delta_{\text{за}}$ – это функция контраста K и яркости поля адаптации L . Указанный угол (в градусах), согласно [8], может быть найден по формуле:

$$\delta_{\text{за}} = \frac{0,44 + 0,63L^{-0,42}}{60(K - 0,02)^{2/3}}, \quad (7)$$

где K – контраст дефекта поверхности, который вычисляется согласно выражению:

$$K = \frac{|L_{\text{ф}} - L_{\text{д}}|}{L_{\text{ф}}}, \quad (8)$$

где: $L_{\text{ф}}$ – яркость окружающего фона; $L_{\text{д}}$ – яркость зоны, имеющей повреждение (дефект) поверхности киноленты.

Время наблюдения влияет на восприятие яркости и контраста [8]. Так, например, если время наблюдения τ меньше времени инерции зрения θ , то визуально воспринимаемый контраст дефектов определяется эффективным контрастом $K_{\text{эф}}$ и вычисляется по формуле:

$$K_{\text{эф}} = K\tau / \theta,$$

где K – контраст, найденный по формуле (8).

Время инерции θ составляет около 0,05–0,2 секунды [8]. В условиях стандартной кинопроекции с частотой 24 кадр/с длительность однократного освещения кадра (время наблюдения τ) приблизительно равно 1/96 секунды, при этом каждый кадр показывается дважды. В связи с малым временем проекции дефекты, имеющиеся на отдельно взятом кадре фильма, будут восприниматься зрителем с несколько меньшим контрастом. Если царапины на киноленте расположены вдоль её движения и повторяются от кадра к кадру, то снижения контраста не происходит. В дальнейшем для того, чтобы учесть наиболее критичный случай, будем полагать, что $K_{\text{эф}} = K$.

В качестве минимальной ширины царапины $d_{\text{мин}}$ может быть принят дефект, рассматриваемый зрителем в условиях кинопроекции на экране под углом, равным угловому разрешению глаза. Пересчитаем угловое разрешение глаза к линейному d_s на поверхности экрана:

$$\text{tg}(\delta_{\text{за}} / 2) = \frac{d_s / 2}{S}, \quad (9)$$

где: S – расстояние от зрителя до экрана. При условии, что наблюдатель находится в области лучших зрительских мест в кинотеатре, S составляет примерно 4Н (четыре высоты экранного изображения); d_s – минимальная ширина царапины, видимая на экране.

Наконец, найдём минимальную ширину царапины на поверхности киноленты:

$$d_{\text{мин}} = \frac{d_s}{\beta} = \frac{2\text{tg}(\delta_{\text{за}} / 2)S}{H/h} = \frac{2\text{tg}(\delta_{\text{за}} / 2)4H}{H/16} = 128\text{tg}(\delta_{\text{за}} / 2), \quad (10)$$

$$\text{или} \quad d_{\text{мин}} = 128\text{tg} \left(\frac{0,44 + 0,63L^{-0,42}}{2 \cdot 60(K - 0,02)^{2/3}} \right) \quad (11)$$

где: β – линейное увеличение объектива кинопроектора; H – высота экранного изображения; h – высота проецируемого кадра на поверхности киноленты, которая для обычной системы кинематографа равна 16 мм.

Из выражения (11) видно, что минимальная ширина царапины, видимой зрителем в условиях проекции на экран, уменьшается с повышением яркости поля адаптации L и с ростом контраста K . Зрительный анализатор имеет свойство адаптации к средней яркости рассматриваемой сцены [7]. Максимальную яркость поля адаптации L примем равной яркости экрана 50 кд/м^2 . Для того чтобы найти контраст по формуле (8), нами проведён следующий эксперимент. Отсканированы образцы «изношенных» фильмокопий с различными плотностями и измерены освещённости фона и царапины полутонового изображения в программе Matlab. В результате установлено, что на тёмных участках изображения K находится в диапазоне $0,1-0,4$, на светлых K равен $0,3-0,5$. Найдём предельную ширину царапины для светлых участков. Подставив в выражение (11) контраст $K=0,5$, получим

$$d_{\text{мин}} = 128 \text{tg} \left(\frac{0,44 + 0,63 \cdot 50^{-0,42}}{120(0,5 - 0,02)^{2/3}} \right) = 0,017 \text{ мм} = 17 \text{ мкм} .$$

Для $K=0,3$

$$d_{\text{мин}} = 128 \text{tg} \left(\frac{0,44 + 0,63 \cdot 50^{-0,42}}{120(0,3 - 0,02)^{2/3}} \right) = 0,0245 \text{ мм} = 24 \text{ мкм} .$$

Таким образом, в условиях «плёночной» кинопроекции минимальная ширина царапины на поверхности киноленты, видимая глазом, составляет $17-24 \text{ мкм}$.

Для проверки правильности найденного значения минимальной ширины царапины был проведён эксперимент. С помощью слайд-проектора был спроецирован на экран кадр, вырезанный из «изношенной» фильмокопии с царапинами по полю изображения, и найдены едва заметные царапины в изображении. Яркость экрана в эксперименте устанавливалась равной 50 кд/м^2 . Расстояние наблюдения соответствовало четырём высотам экрана. Измерения ширины едва заметных царапин, выполненные на экране при увеличении изображения $\beta=100\times$, показали, что $d_{\text{мин}}$ составляет около 20 мкм . Полученное значение $d_{\text{мин}}$ вполне согласуется с данными вычислений.

Расчёт параметров сканирования при условии обнаружения царапин на киноленте предельно малой ширины, видимой глазом

Разрешение сканирования, выраженное в dpi, для обнаружения дефектов размером $d_{\text{мин}}=17 \text{ мкм}$, составляет:

$$P_{\text{скан}} = \frac{2 \cdot 25,4}{17 \cdot 10^{-3}} = 2988 \approx 3000 \text{ dpi},$$

а для $d_{\text{мин}}=24 \text{ мкм}$

$$P_{\text{скан}} = \frac{2 \cdot 25,4}{24 \cdot 10^{-3}} = 2116 \approx 2100 \text{ dpi}.$$

Таким образом, на основании расчётов показано, что для выявления дефектов предельно малой ширины, разрешение сканирования должно составлять $2100-3000 \text{ dpi}$. Для того чтобы убедиться в этом, нами было отсканировано изображение с разрешениями $2000, 2700, 3600$ и 4000 dpi . Едва заметные царапины, наблюдаемые в условиях проекции на экран, были идентифицированы в отсканированных изображениях, начиная с разрешения 2700 dpi . При разрешении сканирования 2000 dpi передавались чуть более крупные дефекты. Результаты сканирования подтверждают правильность расчётов.

Рассчитанная по формуле (2) зависимость ширины минимального дефекта, который может быть обнаружен в оцифрованном изображении, от разрешения сканирования показана на рис. 1. Здесь прямой линией обозначен порог заметности дефектов зрителю. Ниже этого порога находятся дефекты, незаметные зрителю.

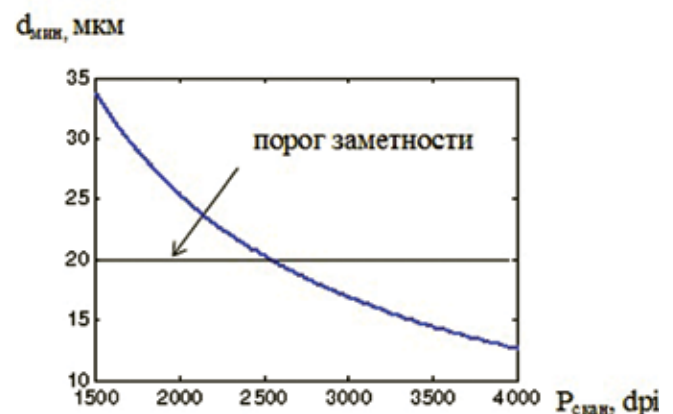


Рис. 1. Зависимость ширины минимального дефекта, обнаруживаемого в оцифрованном изображении, от разрешения сканирования

Найдём количество пикселей сенсора по формуле (1), при котором система сканирования будет обнаруживать дефекты размером $d_{\text{мин}}$. Допустим вначале, что область сканирования охватывает всю ширину плёнки $M=35 \text{ мм}$ и $d_{\text{мин}}=17 \text{ мкм}$. Тогда

$$P_{\text{сенс}} = \frac{2 \cdot 35}{17 \cdot 10^{-3}} = 4118 \approx 4096.$$

Соответственно, если принять $d_{\text{мин}}=24 \text{ мкм}$, то

$$P_{\text{сенс}} = \frac{2 \cdot 35}{24 \cdot 10^{-3}} = 2857 \approx 3072 .$$

Если ограничить область сканирования размером изображения на киноленте $M=22 \text{ мм}$, то при $d_{\text{мин}}=17 \text{ мкм}$ потребуется сенсор с количеством пикселей

$$P_{\text{сенс}} = \frac{2 \cdot 22}{17 \cdot 10^{-3}} = 2588 \approx 2560.$$

Соответственно, при $d_{\text{мин}}=24$ мкм:

$$P_{\text{сенси}} = \frac{2 \cdot 22}{24 \cdot 10^{-3}} = 1796 \approx 2048.$$

Примечание: разрешение сенсора принято выражать в единицах K: 1K=1024, 2K=2048, 2,5K=2560, 3K=3072, 4K=4096.

Таким образом, при сканировании киноленты по всей ширине, включая области фонограммы и перфораций, разрешение сенсора в системе автоматического контроля должно составлять 3K или 4K, а при сканировании только области изображения – 2K или 2,5K. В устройствах автоматического контроля, применяемых для выявления и последующего устранения дефектов в оцифрованном изображении, разрешения сканирования «дефектного» и «сюжетного» изображений целесообразно выбирать одинаковыми.

Данные расчётов параметров сканирования, выполненные по выражениям (1–11) для различных скоростей непрерывного транспортирования киноленты, сведены в табл. 1 и табл. 2. Из таблиц видно, что в перематывателе в связи с большей скоростью движения носителя записи требуется более высокая частота сканирования линейного сенсора или очень малое время выдержки матричного сенсора.

При разработке устройств автоматического контроля целесообразно использовать не отдельные сенсоры, а уже готовые камеры для машинного видения, позволяющие регулировать параметры сканирования. Выпускаемые в настоящее время камеры с матричными сенсорами, как правило, имеют либо высокую частоту смены кадров, либо разрешение. Временная частота в камерах с линейными сенсорами не превышает 140 кГц. В табл. 3, 4 приведены технические характеристики некоторых современных цифровых камер с линейным и матричным сенсорами [9–13].

Из анализа данных, приведённых в табл. 1–4, следует, что большинство требуемых характеристик для предлагаемых систем автоматического контроля может быть удовлетворено существующей элементной базой. Так, системы с разрешением 2K и со скоростью транспортирования ленты 0,456 м/с могут быть реализованы как с помощью матричного (например, камеры Basler A400 Series, PT-21-04M30 или PT-41-04M60), так и линейного сенсоров (Basler spL2048, Piranha2 2k). Разрешение 4K при скорости 0,456 м/с может быть обеспечено при помощи камер с линейным сенсором (Basler spL4096, Piranha ES 4k). Сканирование в режиме перематки киноленты возможно с помощью матричных камер с разрешением 2K (Basler A400 Series, PT-21-04M30 или PT-41-04M60). Готовой камеры для сканирования в режиме

Табл. 1. Расчёт параметров сканирования устройства автоматического контроля с линейным сенсором

Область использования	Кинопроектор, 35-мм				Перематыватель, 35-мм							
	0,456				2				3			
Скорость движения носителя, м/с	2K	2,5K	3K	4K	2K	2,5K	3K	4K	2K	2,5K	3K	4K
Разрешение	22	22	35	35	22	22	35	35	22	22	35	35
Область сканирования, мм	42	52	39	52	182	227	171	228	273	341	257	343
Временная частота сканирования строки ν , кГц	22	17,6	23,3	17,5	22	17,6	23,3	17,5	22	17,6	23,3	17,5
Минимальная ширина выявляемого дефекта, мкм												

Табл. 2. Расчёт параметров сканирования системы автоматического контроля с матричным сенсором и непрерывным движением носителя

Область использования	Кинопроектор, 35-мм				Перематыватель, 35-мм							
	0,456				2				3			
Скорость движения носителя, м/с	24				105				158			
Частота съёмки, кадр/с	2K×	2,5K×	3K×	4K×	2K×	2,5K×	3K×	4K×	2K×	2,5K×	3K×	4K×
Разрешение	1,45K	1,8K	1,6K	2,2K	1,45K	1,8K	1,6K	2,2K	1,45K	1,8K	1,6K	2,2K
Область сканирования, мм ²	22×16		35×19		22×16		35×19		22×16		35×19	
Соотношение сторон сенсора	1,375		1,84		1,375		1,84		1,375		1,84	
Время выдержки электронного затвора сенсора $t_{\text{выд}}$, мкс	12,1	9,6	12,8	9,4	2,7	2,2	2,9	2,1	1,8	1,5	1,9	1,4
Минимальная ширина выявляемого дефекта, мкм	22	17,6	23,3	17,5	22	17,6	23,3	17,5	22	17,6	23,3	17,5

Табл. 3. Технические характеристики камер с линейным сенсором

Название камеры (фирма-производитель)	Basler spL2048 (Basler)	Basler spL4096 (Basler)	Piranha2 2k (DALSA)	Piranha ES 4k (DALSA)
Количество пикселей	2048	4096	2048	4096
Сенсор	Цветной или монохромный	Цветной или монохромный	Монохромный	Монохромный
Глубина яркости, бит	8,10,12	8,10,12	8,10	8,12
Максимальная частота сканирования строк ν , кГц	70 (цветной) 140 (монохром.)	70 (цветной) 140 (монохром.)	68	110

Табл. 4. Технические характеристики камер с матричным сенсором

Название камеры (фирма-производитель)	Basler A400 Series (Basler)	PT-21-04M30/ PT-41-04M60 (DALSA)	CSC12M25BMP19-01B (Toshiba)
Общее количество пикселей матрицы	2352×1726	2352×1728	4096×3072 2048×1536
Соотношение сторон сенсора	1,36	1,36	1,33
Сенсор	Цветной или монохромный	Монохромный	Монохромный
Частота съёмки, кадр/с (*максимальная для различных конфигураций камер)	*24;48;96;167;209	*31; 62	25 / 41.8
Минимальное время выдержки электронного затвора $t_{\text{выд}}$, мкс	2	10	50

перематки с разрешением 4K нами не найдено, поэтому данный вариант системы в настоящее время реализовать сложно.

Заключение

Разработана система автоматического контроля поверхностного износа киноленты с использованием цифровых технологий с параметрами:

1. В условиях «плёночной» кинопроекции минимальная ширина царапины на поверхности киноленты, видимая глазом, составляет 17–24 мкм.

2. При сканировании киноленты по всей ширине, включая области фонограммы и перфораций, для обнаружения системой контроля царапин шириной 17–24 мкм разрешение сенсора должно составлять 3К–4К, а при сканировании только области изображения 2К–2,5К.

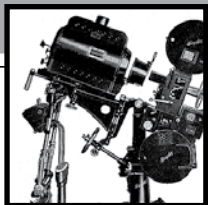
3. При сканировании линейным сенсором с разрешением 2К непрерывно движущегося носителя со скоростью 0,456 м/с временная частота считывания данных с сенсора должна составлять 42 кГц. При том же разрешении и скорости транспортирования киноленты 2 м/с частота сканирования должна быть увеличена до 182 кГц.

4. При матричном сканировании сенсором с разрешением 2К непрерывно движущегося носителя со скоростью 0,456 м/с целесообразно использовать частоту съёмки 24 кадр/с и время выдержки электронного затвора не более 12,1 мкс. В случае матричного сканирования киноленты, перематываемой со скоростью 2 м/с, частоту съёмки следует выбрать равной 105 кадр/с, а время выдержки не более 2,7 мкс.

5. Выпускаемые в настоящее время камеры машинного видения позволяют реализовать системы контроля с разрешением 2К для кинолент, перематываемых со скоростью до 2 м/с, и с разрешением 4К – при транспортировании киноленты со скоростью 0,456 м/с. ■

ЛИТЕРАТУРА

1. Правила технической эксплуатации фильмокопий. Инструкция по определению технического состояния фильмокопий и материальной ответственности кинотеатров и киноустановок за получаемые в прокат фильмокопии. М., Госкино СССР, 1986.
2. Neumeier J. Die Messung und Bewertung von Oberflächenbeschädigungen an Filmmaterialien// Bild und Ton., №7, s. 197–202, №8, s. 229–236, №9, s. 261–264, 1971.
3. <http://www.compress.ru/article.aspx?id=9881&iid=414>
4. <http://www.dlr.de/os/Portaldata/48/Resourcen/dokumente/projekte/fr-handout.pdf>
5. Бурдыгина Г.И. Фильмокопии. Свойства, профилактика, реставрация, хранение. М.: Искусство, 1991.
6. Газеева И.В., Спичихин А.М. Пути построения систем автоматического контроля износа поверхности кинолент. МТК, №17, с. 8–13, 2010.
7. Гребенников О.Ф., Тихомирова Г.В. Основы записи и воспроизведения информации (в аудиовизуальной технике). СПб.: СПбГУКИТ, 2002.
8. Луизов А.В. Глаз и свет. Л.: Энергоатомиздат, 1983.
9. http://www.baslerweb.com/beitraege/beitrag_en_17803.html
10. <http://www.avsupply.com/Basler/spL4096-140k.php>
11. http://www.baslerweb.com/downloads/17599/sprint_11_1007.pdf
12. http://www.asiovision.com/_Uploads/dbsAttachedFiles/2.pdf
13. http://www.motionanalysisinc.com/specs/dalsa/piranha2_manual.pdf \3XЖЭ



ПИЩЕВЫЕ ЖЕЛАТИНЫ в качестве альтернативы фотографическим желатинам

А.С. Михайлов, к.т.н,
доцент, лауреат
Гос. премии СССР
М.А. Сакварелидзе,
д.х.н., МКВИ (филиал
СПбГУКиТ); О.И. Орурк,
Переславский
технопарк



Аннотация

Исследована возможность использования пищевого желатина в технологии производства светочувствительных материалов в качестве альтернативы фотографическому желатину. Изучено изменение сенситометрических характеристик фотографической эмульсии как от свойств самого желатина, так и в зависимости от основных компонентов, вводимых в эмульсию на стадии химической сенсibilизации. Показано, что по ряду свойств пищевой желатин марки П-17 соответствует инертному фотографическому желатину. Полученные результаты могут иметь большое практическое значение в технологии производства и эксплуатации плёночных материалов.

Ключевые слова: пищевой желатин, инертный желатин, химическая сенсibilизация, сенситометрические характеристики, тиосульфат натрия.

Введение

В связи с тем, что в настоящее время в России отсутствует производство фотографических желатин, тогда как сами светочувствительные материалы продолжают выпускаться (ПО «ТАСМА», «СЛАВИЧ»), представлялось целесообразным рассмотреть возможность замены фотографического желатина на желатин пищевой категории.

Одной из таких попыток являлось исследование возможности получения фотографического желатина из отходов производства птицефабрик [1]. Пищевые желатины, как наиболее близкие по своим свойствам к фотографическим и производящиеся на предприятиях постсоветского пространства, представляют интерес для ис-

EDIBLE GELATINS AS AN ALTERNATIVE TO PHOTOGRAPHIC GELATINS

A. Mikhailov, O. Orurk, M. Sakvarelidze

Abstract

Investigated a possibility to use an edible gelatin in technology of manufacturing of light-sensitive materials as an alternative to photographic gelatin. Studied variation of sensitometric characteristics of photographic emulsion on the properties of the gelatin, and depending on the basic components introduced into the emulsion on the stage of chemical sensitization

It is shown that a number of properties of edible gelatin grade P-17 corresponds to the inert photographic gelatin. Obtained results can have of great practical value in the manufacturing technology and operation of thin film materials.

Keywords: edible gelatin, inert gelatin, chemical sensitization, sensitometric characteristics, sodium thiosulfate

пользования их при производстве светочувствительных материалов. Однако, при всей схожести свойств пищевого и фотографического желатина, у них есть кардинальные различия, заключающиеся в том, что некоторые свойства фотографического желатина (фотографическая активность, вуалирующая способность и др.) не являются необходимыми параметрами пищевого. Вполне естественно, что технология производства пищевого желатина отличается по отдельным технологическим параметрам от технологии производства фотографического желатина [2].

Для проведения предварительных исследований с целью установления принципиальной возможности использования пищевых желатин для фотографических

целей, в настоящей работе был изучен пищевой желатин производства ОАО «МОЖЕЛИТ» (Республика Беларусь) марки П-17 (партия 4871), который по ряду параметров в наибольшей степени соответствовал требованиям, предъявляемым к инертным фотографическим желатинам (кроме требований по фотографическим параметрам).

Сравнительные характеристики желатина марки П-17 и инертного фотографического желатина Казанского производства (партия 25866) представлены в табл. 1. Их предварительные испытания были проведены на ОАО «СЛАВИЧ», затем они были использованы нами для дальнейших исследований.

Как следует из данных табл. 1, некоторые характеристики фотографического желатина, важные для производства светочувствительных материалов (массовая доля тиосульфата натрия, показатель депрессии, падение вязкости, время растворения желатина), отсутствуют в ГОСТ на пищевой желатин.

Экспериментальная часть

При проведении экспериментальной работы использовалась представленная ниже методика синтеза фотографической эмульсии.

Метод синтеза фотографической эмульсии

Синтез эмульсии проводили путём мгновенного влияния аммированного раствора азотнокислого серебра в желатино-бромидный раствор (использовалась инертная желатина КФЖЗ № 25866) при скорости перемешивания 200 об/мин и с последующей паузой в течение 5 минут. После нейтрализации аммиака уксусной кислотой проводили выделение твёрдой фазы раствором натриевой соли полистиролсульфокислоты с расходным коэффициентом $K = 0,3$. Выделившийся осадок промывали трижды в дистиллированной воде с температурой $18 \pm 1^\circ\text{C}$ и диспергировали в воде с добавлением углекислого натрия при температуре $42 \pm 1^\circ\text{C}$ в течение 20 минут при скорости вращения мешалки 150–200 об/мин. Затем осадок быстро делили на две равные части, в каждую из которых вводили предва-

Табл. 1. Сравнительные характеристики пищевого и инертного желатина

№№ п/п	Наименование показателя	Пищевой желатин марки П-17 ГОСТ 11293-89		Желатин фотографический инертный высоковязкий ТУ 6-44-1548-91	
		Нормы по ГОСТ	Фактические данные на партию 4871	Нормы по ТУ	Фактические данные на партию 25866*
1	Динамическая вязкость раствора с массовой долей желатина 10%, мПа •с, не менее	24	33	25	27,1
2	Прочность студня с массовой долей желатина 10%, Н, не менее	17	17,5	230 (граммы по Блюму)	-
3	Температура плавления студня с массовой долей желатина 10%, °С, не менее	32	32	32	-
4	Массовая доля золы, %, не более	2,0	1,4	1,3	-
5	Массовая доля влаги, %, не более	16	11,6	12,5	11,9
6	Показатель активности водородных ионов водного раствора желатина с массовой долей 1%, ед. рН	5–7	6,0	5,8–6,5	6,1
7	Массовая доля сернистой кислоты (в пересчёте на SO_2), млн ⁻¹ (ppm), не более	750	150	45	13
8	Массовая доля тиосульфата натрия (в пересчёте на $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), млн ⁻¹ (ppm), не более	-	-	12	-
9	Загрязнение желатина жировыми веществами (депрессия), число кратеров, не более	-	-	2	-
10	Падение вязкости, %, не более	-	-	3	-
11	Время растворения, мин., не более	-	-	25	-

*Данные по результатам испытаний на ОАО «СЛАВИЧ»

рительно набухший желатин (инертный фотографический или пищевой марки П-17). Эмульсию перемешивали вручную в течение 5 минут (до получения однородной консистенции), затем перемешивали с помощью механической мешалки в течение 20 минут, после чего доводили водой до заданного объёма, требуемых значений pH ($6,8 \pm 0,1$) и рВг ($2,9 \pm 0,1$), вводили фенол (50% раствор в количестве 5 мл/л эмульсии) и студенили. Готовые эмульсии хранили в холодильнике в течение всего периода проведения экспериментальной работы.

Характеристики синтезированной эмульсии¹⁾ представлены в табл. 2

Полив фотопластинок, химическую сенсibilизацию и затем экспонирование проводили по стандартной методике.

Химико-фотографическую обработку проводили по методу, приведённому ниже.

Метод химико-фотографической обработки фотопластинок

Экспонированные на сенситометре ФСП-41 фотопластинки проявляли в стандартном проявителе УП-2 при температуре $20 \pm 0,5^\circ\text{C}$ в течение 8 минут в термостати-

рованной кювете с постоянным покачиванием. По окончании проявления пластинки переносили на 2 мин. в 1% раствор уксусной кислоты и затем в стандартный фиксаж БКФ-2. Продолжительность фиксирования определяли как удвоенное время осветления эмульсионного слоя. Отфиксированные пластинки промывали в проточной воде в течение 15–20 минут и затем сушили под вентилятором в естественных комнатных условиях до полного высыхания.

Измерения оптических плотностей сенситограмм проводили на денситометре ДП-1М с последующим построением характеристических кривых на стандартных сенситометрических бланках.

В табл. 3 приведены рецептуры использованных растворов.

Результаты и их обсуждение

1. Определение степени инертности исследованных желатин

Определение степени инертности исследованных желатин проводилось путём выдерживания образцов

Табл. 2. Характеристики синтезированной эмульсии

Тип микрокристаллов	Средний размер МК, d, мкм	Кoeffициент вариации Cv, %	Содержание AgI, моль %	Содержание металл. серебра, г/кг эм.	C _{Ag} ^{желат.} ρ*	Сенситометрические характеристики эмульсии в оптимуме 2-го созревания (для инертного или высокоактивного среднего желатина) ²⁾			
						S _{0,2}	S _{0,85}	γ	Do + Dосн.
Округлые и кубообразные	0,40–0,45	28–34	4,2	100±5	0,7	20–25	70–100	3,5–4,5	не более 0,10

Примечания:

1) количество синтезированной с каждым типом желатина эмульсии составляло 700 ± 50 г;

2) указаны требуемые для использованного в экспериментах типа эмульсии сенситометрические характеристики, получаемые на пластинках, политых с наносом по серебру (здесь и далее в пересчёте на металлическое) ~ 10 г/м² и проявленных в проявителе УП-2 в течение 8 мин. при температуре 20°C .

Табл. 3. Рецептuru использованных растворов

Наименование компонентов раствора	Проявитель УП-2	Стоп-ванна	Фиксаж БКФ-2
	количество веществ в г (мл)/л раствора		
Метол	5,0		
Гидрохинон	6,0		
Натрий серноватистоокислый б/в (натрия сульфит б/в)	40,0		
Натрий углекислый б/в (сода б/в)	31,0		
Калий бромистый	4,0		
Трилон Б	2,0		
Кислота уксусная ледяная		10,0	
Тиосульфат натрия кристаллический (гипосульфит кристаллический)			250,0
Калий пироксернистоокислый (калия метабисульфит)			17,0
Аммоний хлористый			50,0

Табл. 4. Зависимость сенситометрических параметров от продолжительности химической сенсibilизации

Тип испытуемого желатина	Сенситометрические параметры	Продолжительность химической сенсibilизации (часы)			
		0	2	4	6
инертный КФЖЗ № 25866	$S_{0,2}$	1,7	1,8	2,0	2,1
	$S_{0,85}$	6,6	6,6	6,9	7,0
	γ	3,3	3,5	3,6	3,6
	$D_o + D_{очн.}$	0,05	0,05	0,05	0,05
пищевой «МОЖЕЛИТ» П-17	$S_{0,2}$	1,6	1,6	1,7	1,6
	$S_{0,85}$	6,5	6,4	6,6	6,5
	γ	2,5	2,8	2,6	2,6
	$D_o + D_{очн.}$	0,05	0,06	0,05	0,05

эмульсии при температуре сенсibilизации $49 \pm 0,5^\circ\text{C}$ (без введения каких-либо добавок) с целью определения изменения сенситометрических характеристик. Результаты испытаний представлены в табл. 4.

Как следует из представленных данных, эмульсия, синтезированная на пищевом желатине, практически не даёт каких-либо изменений сенситометрических показателей в течение 6 часов выдерживания при повышенной температуре, что позволяет пищевой желатин П-17 классифицировать как инертный. В присутствии фотографического желатина наблюдается слабая тенденция к росту светочувствительности, что может быть обусловлено имею-

щейся в нём примесью тиосульфата натрия. Следует также отметить, что при использовании пищевого желатина отсутствует рост вуали.

2. Влияние тиосульфата натрия на скорость химической сенсibilизации и уровень достигаемых сенситометрических характеристик

Так как необходимая скорость химической сенсibilизации обеспечивается за счёт введения компонентов, содержащих серу (с двухвалентной лабильной серой), была проведена серия экспериментов с введением в образцы эмульсии переменных количеств тиосульфата натрия. Полученные результаты представлены в табл. 5.

Табл. 5. Зависимость сенситометрических параметров от количества тиосульфата натрия и продолжительности химической сенсibilизации

Тип желатина	Количество $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, мг/кг эм.	Сенситометрические параметры	Продолжительность химической сенсibilизации (часы)						
			0	1	2	3	4	5	6
инертный КФЖЗ № 25866	10	$S_{0,2}$	1,6	1,8	1,8	2,2	2,5		
		$S_{0,85}$	6,5	7,5	7,5	9,4	11		
		γ	3,3	3,5	3,6	3,6	3,6	-	-
		$D_o + D_{очн.}$	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05		
	20	$S_{0,2}$	1,7	2,5	3,1	5,6	7,8	9,0	9,2
		$S_{0,85}$	7,5	10	14	23	31	40	38
		γ	3,4	2,9	3,2	3,6	3,6	3,5	3,3
		$D_o + D_{очн.}$	0,05	0,05	0,05	0,06	0,11	0,25	0,35
пищевой «МОЖЕЛИТ» П-17	10	$S_{0,2}$	1,7	1,8	2,1	2,5	2,6		
		$S_{0,85}$	6,0	7,0	8,0	9,3	10		
		γ	1,6	2,8	2,8	3,1	3,1	-	-
		$D_o + D_{очн.}$	0,04	0,05	0,05	0,06	0,05		
	20	$S_{0,2}$	1,9	2,3	3,2	4,0	6,0	7,2	8,0
		$S_{0,85}$	6,5	9,0	13	16	23	27	30
		γ	2,9	3,1	2,6	3,0	3,2	3,3	3,1
		$D_o + D_{очн.}$	0,05	0,05	0,07	0,06	0,07	0,12	0,18

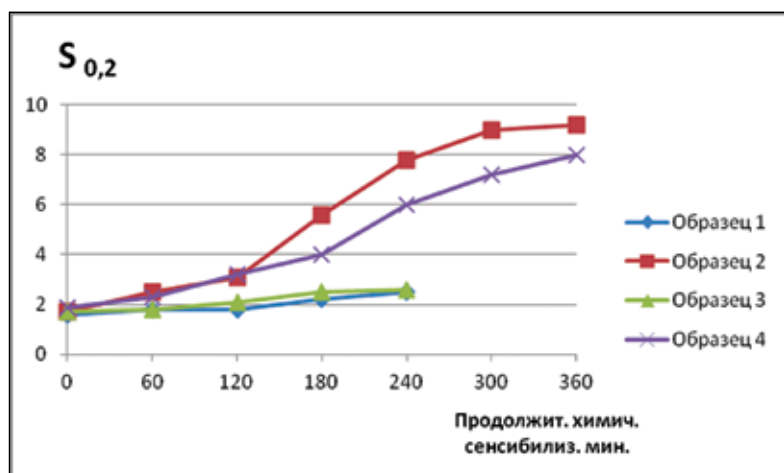
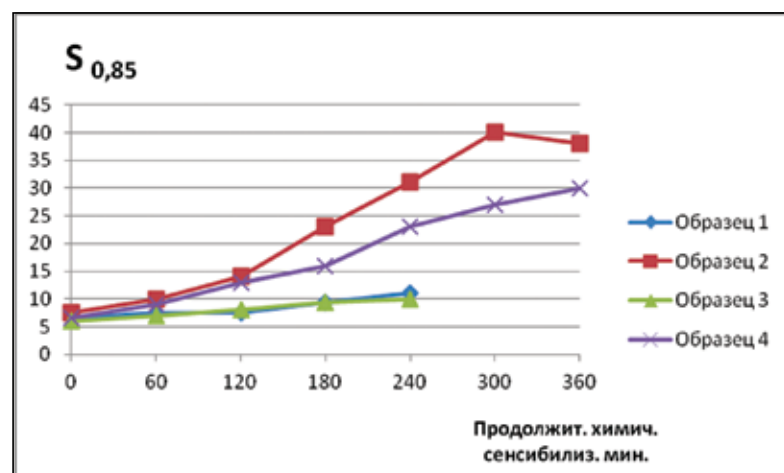
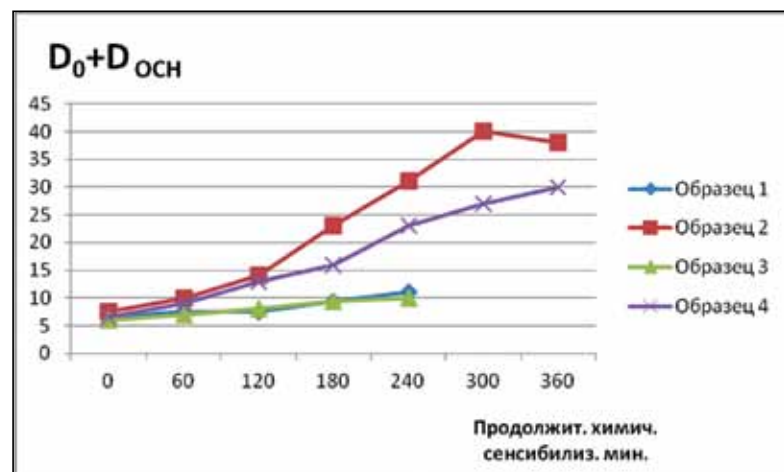
а) Светочувствительность $S_{0,2}$ б) Светочувствительность $S_{0,85}$ в) Оптическая плотность вуали $D_0 + D_{осн}$

Рис. 1. Влияние тиосульфата натрия, вводимого в эмульсию (мг/кг), на сенситометрические характеристики в зависимости от продолжительности химической сенсibilизации

Данные таблицы 5 представлены на рисунке 1 в виде графиков зависимости сенситометрических характеристик от концентрации тиосульфата натрия и продолжи-

тельности химической сенсibilизации, где: образец 1 – инертный КЖФ3, тиосульфат 10 мг/кг эм.; образец 2 – инертный КЖФ3, тиосульфат 20 мг/кг эм.; образец 3 – пищевой «Можелит» П-17, тиосульфат 10 мг/кг эм.; образец 4 – пищевой «Можелит» П-17, тиосульфат 20 мг/кг эм.

Как следует из представленных данных, введение тиосульфата натрия в количестве 20 мг/кг эмульсии обеспечивает достижение максимума светочувствительности (при допустимой плотности вуали для используемого в данном эксперименте типе эмульсии не более 0,10) для инертного желатина № 25866 за 4 часа сенсibilизации, а для желатина П-17 – за 5 часов. При этом достигаемые значения максимумов светочувствительности для двух образцов практически близки. Но следует отметить, что с технологической точки зрения такие концентрации тиосульфата натрия являются предельными. В случае необходимости сокращения продолжительности процесса сенсibilизации, более целесообразным является повышение температуры, а не увеличение количества вводимого тиосульфата натрия. Избыточный тиосульфат, как правило, ухудшает сохраняемость эмульсионных слоёв. Но следует отметить, что использованная в данной работе рецептура эмульсии рассчитана на использование и других компонентов химической сенсibilизации, за счёт которых процесс химической сенсibilизации протекает несколько быстрее и обеспечивает достижение необходимых сенситометрических характеристик за более короткое время.

3. Влияние роданида золота на сенситометрические характеристики

Сенсibilизация золотом является неотъемлемой частью технологии производства современных фотографических эмульсий и её использование наиболее эффективно при проведении совместно с сернистой сенсibilизацией. Природа центров золотой сенсibilизации и механизм их образования рассматривается многими авторами, например, в работах [3–6]. Оптимальная концентрация соли золота, вводимой в фотографическую эмульсию, обычно зависит от ряда факторов (условия синтеза микрокристаллов $AgHal$, свойства использованного желатина, pH и pVr эмульсии, наличия других компонентов, присутствующих при химической сенсibilизации и др.). Так, например, в работе [7], посвящённой изучению условий химической сенсibil-

Табл. 6. Влияние количества 0,04% раствора роданистого золота на сенситометрические характеристики в зависимости от продолжительности химической сенсibilизации

Тип желатина	Количество вводимого 0,04% раствора роданида золота, мл/кг эм.	Сенситометрические параметры	Продолжительность химической сенсibilизации (часы)						
			0	1	2	3	4	5	6
инертный КФЖЗ № 25866	4,0	$S_{0,2}$	2,2	5,8	11	13	16	17	-
		$S_{0,85}$	8,0	22	50	58	75	80	
		γ	3,0	3,7	4,2	4,2	4,4	3,7	
		$D_o + D_{очн.}$	0,07	0,07	0,10	0,09	0,08	0,09	
пищевой «МОЖЕЛИТ» П-17	0,0	$S_{0,2}$	0,95	1,8	2,1	2,3	4,0	4,5	-
		$S_{0,85}$	4,5	7,0	8,5	10	15	20	
		γ	2,1	3,1	3,9	2,7	3,4	2,8	
		$D_o + D_{очн.}$	0,05	0,06	0,07	0,07	0,12	0,11	
	2,7	$S_{0,2}$	1,6	3,8	5,0	4,5	3,0	-	
		$S_{0,85}$	5,8	16	19	16	12		
		γ	2,7	3,8	3,8	2,5	2,6		
		$D_o + D_{очн.}$	0,05	0,07	0,10	0,25	0,89		
	4,0	$S_{0,2}$	2,2	5,0	7,5	10,3	8,0	-	
		$S_{0,85}$	8,0	17	21	20	23		
		γ	2,5	2,7	2,8	2,8	2,2		
		$D_o + D_{очн.}$	0,08	0,07	0,12	0,39	1,12		
	6,0	$S_{0,2}$	2,0	6,0	9,5	11	-		
		$S_{0,85}$	7,5	20	35	42			
		γ	3,1	3,7	3,6	2,7			
		$D_o + D_{очн.}$	0,07	0,09	0,11	1,13			

зации ядерных эмульсий, указывается на то, что количества тиосульфата натрия и роданида золота должны соответствовать минимуму, обеспечивающему требуемую фотографическую чувствительность.

Нами проведены исследования влияния концентрации роданида золота на сенситометрические характеристики.

В табл. 6 представлены данные сенситометрических испытаний влияния концентрации 0,04% раствора роданида золота, вводимого в эмульсию в начале химической сенсibilизации, на сенситометрические характеристики. Концентрация тиосульфата натрия была выбрана по результатам предыдущей серии опытов и составила 20 мг/кг эмульсии. Температура сенсibilизации составляла, как и в предыдущих опытах, $49 \pm 0,5^\circ\text{C}$.

Как видно из представленных данных, с увеличением количества вводимого роданида золота увеличиваются как светочувствительность, так и плотность вуали. При малом количестве золота (2,7 мл/кг эм.) достижение максимума светочувствительности происходит при небольшой плотности вуали, и дальнейшая сенсibilизация приводит только к её росту. При этом следует отметить, что падение светочувствительности начинает происходить раньше достижения эмульсией большого уровня плотности вуали.

Поскольку значение вуали 0,25 (продолжительность сенсibilизации 3 часа при содержании золота 2,7 мл) ещё не является той величиной, которой можно объяснить снижение чувствительности, такой причиной может быть протекание процессов восстановления золота и, соответственно, выведение его из сферы реакции на поверхности микрокристаллов. Если же рассматривать кинетику сенсibilизации при увеличении содержания вводимого золота, то можно отметить более быстрый рост плотности вуали, но при одновременном росте и светочувствительности. Интересно, что рост светочувствительности имеет место даже при таких значениях плотности вуали ($\geq 1,0$), при которых понятие светочувствительности уже теряет смысл.

Такое поведение эмульсии может предполагать наличие в желатине большого количества восстановителей, одним из которых является сернистая кислота. Роль её заключается в локализации десенсибилизирующего влияния кислорода, адсорбированного на микрокристаллах AgBr [2]. Но количество сернистой кислоты, обычно вводимой в инертный желатин, как правило, невелико (не более 45 ppm по ГОСТ на инертный фотожелатин).

Обычно содержание сернистой кислоты коррелирует с содержанием тиосульфата натрия – чем больше вводят

тиосульфата, тем больше вводят и сульфита [8]. Хотя в реальных условиях это не всегда подтверждается, т.к. очень многое зависит от совокупности факторов (режим синтеза эмульсии, структура и поверхность микрокристаллов, pH, рВг и др.).

4. Влияние бензолсульфиновокислого натрия и сернисто-кислого натрия на процесс вуалеобразования фотографической эмульсии

В связи с тем, что увеличение содержания золота при химической сенсibilизации эмульсии, синтезированной на желатине П-17, приводит как к росту светочувствительности, так и к росту вуали, представлялось целесообразным рассмотреть влияние антивуалента – бензолсульфиновокислого натрия (Na-БСК) на сенситометрические характеристики. Количество тиосульфата натрия и 0,04% раствора роданистого золота в этой серии опытов составляло 20 мг/кг эмульсии и 4 мл/кг, соответственно. Температура сенсibilизации составляла $49 \pm 0,5^\circ\text{C}$.

Полученные результаты для предварительно установленной оптимальной концентрации Na-БСК представлены в табл. 7.

Выводы

Проведены сравнительные испытания пищевого и инертного фотографического желатина и показана прин-

ципальная возможность применения пищевого желатина марки П-17 в технологии производства фотографических материалов.

Показано, что по ряду свойств пищевой желатин марки П-17 соответствует инертному фотографическому желатину.

Фотографическая эмульсия, синтезированная на пищевом желатине, обладает повышенной вуалирующей способностью в процессе химической сенсibilизации в присутствии соли золота, что указывает на наличие в желатине большого количества восстанавливающих примесей.

Показана возможность устранения вуали при проведении химической сенсibilизации эмульсии солью золота совместно с бензолсульфиновокислым натрием. При этом достигаются сенситометрические характеристики, близкие к тем, которые получаются на инертном желатине, за исключением пониженных значений коэффициента контрастности.

Целесообразно проведение более детальных исследований различных партий пищевого и фотографического желатина с учётом конкретных рецептур фотографических эмульсий, включая проведение архивных испытаний, что будет иметь большое практическое значение в технологии производства и эксплуатации плёночных материалов. ■

Табл. 7. Зависимость сенситометрических параметров от продолжительности химической сенсibilизации при оптимальной концентрации Na-БСК

Тип желатина	Количество 40% раствора Na-БСК, мл/кг	Сенситометрические параметры	Продолжительность химической сенсibilизации (мин.)						
			0	30	60	90	120	150	180
инертный КФЖЗ № 25866	40	$S_{0,2}$	2,2		14	20	24	24	22
		$S_{0,85}$	8,0		60	86	110	109	100
		$D_0 + D_{\text{осн.}}$	3,0	-	4,2	4,2	4,4	3,7	3,3
пищевой «МОЖЕЛИТ» П-17	40	$S_{0,2}$	2,1		17	21	23	23	22
		$S_{0,85}$	8,0		72	95	105	105	100
		$D_0 + D_{\text{осн.}}$	2,1	-	3,0	2,7	3,4	2,8	2,7
			0,05		0,05	0,08	0,09	0,10	0,11

ЛИТЕРАТУРА

1. Булычев Э.Ю., Гапонова В.Е., Шапиро Б.И., Михайлов А.С. Разработка нового способа получения фотографического желатина. Вестник МИТХТ, Т. 5, вып. 2, с. 69–72, 2010.
2. Основы технологии светочувствительных материалов. Под общей редакцией Шеберстова В.И. М., Химия, с. 133–140, 1977.
3. Килинский И.М., Леви С.М. Технология производства кинофотоплёнок. Л., Химия, с. 122–125, 1973.
4. Джеймс Т.Х. Теория фотографического процесса. Л., Химия, с. 157–158, 1980.
5. Cash D.I. Photogr. Sci. Ing., Vol 27, №4, p. 156, 1983.
6. Шапиро Б.Н. Теоретические начала фотографического процесса. М., Эдиториал УРСС, с. 72–75, 2000.
7. Богомолов К.С., Сиротинская А.А., Дебердеев М.Ю., Уварова В.М. Научные принципы рациональной рецептуры ядерных эмульсий, регистрирующих следы частиц с минимальной ионизацией. Успехи научной фотографии, Наука, Т. 12, с. 73–85, 1966.
8. Килинский И.М. Химическое созревание фотографической эмульсии. Обзорная информация НИИТЭХИМ, М., 1973.



ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ НАПРАВЛЕННОСТИ МИКРОФОНА, исходя из шумозащищённости и разборчивости речи

Ю.В. Повинский,
аспирант,
Ш.Я. Вахитов, д.т.н.,
профессор, кафедра
акустики СПбГУКиТ



Аннотация

Статья посвящена выбору оптимальной характеристики направленности микрофона ближнего действия с точки зрения шумозащищённости и разборчивости речи. Приводятся результаты расчёта индекса шумозащищённости микрофона и степени повышения разборчивости речи в зависимости от типа характеристики направленности микрофона и условий распределения акустических шумов в пространстве.

Ключевые слова: характеристика направленности, коэффициент направленности, микрофон, индекс шумозащищённости, коэффициент повышения разборчивости, чувствительность, акустический шум.

■ С целью построения модели шумозащищённого микрофона, в первую очередь, необходимо определить, какой тип характеристики направленности разрабатываемого микрофона будет обеспечивать максимальное отношение сигнал-шум в условиях сильных акустических шумов. Кроме того, необходимо оценить влияние типа характеристики направленности разрабатываемого микрофона на разборчивость речи на выходе микрофона в этих условиях.

Совершенно определён, для того, чтобы достичь большого отношения сигнал/шум, необходимо распола-

THE CHOICE OF OPTIMAL TYPE OF MICROPHONE DIRECTIVITY, BASED ON NOISE REDUCTION AND SPEECH INTELLIGIBILITY

Y. Povinsky, Sh. Vakhitov

Abstract

The article focused on choosing the optimum directional characteristics of the microphone in terms of noise reduction and speech intelligibility. The article presents the results of the calculation of the noise reduction index and the degree of improvement of speech intelligibility, depending on the type of microphone directivity and conditions of the distribution of acoustic noise in space.

Keywords: directional characteristic, coefficient of microphone directivity, noise reduction index, coefficient of improving speech intelligibility, sensitivity, acoustic noise.

гать микрофон как можно ближе к рту диктора (оператора), т.е. располагать микрофон в ближней зоне. Для конкретизации ближней зоной для нашего микрофона будем считать пространство в радиусе 2,5–5 см от рта. Как известно, эффект ближней зоны заключается в повышении чувствительности микрофона в области низких частот [1]. Для каждого типа направленности микрофона величина повышения чувствительности на низких частотах различна. Величина подъёма чувствительности может быть вычислена по формуле (1), определяемой как отношение чувствительности микрофона в условиях

сферической волны (ближняя зона) к чувствительности в условиях плоской волны (дальняя зона):

$$\left| \frac{M_{\text{сф}}}{M_{\text{пл}}} \right| = \frac{\sqrt{(\tau_{rc} + \tau_d)^2 + (l/\omega R)^2}}{\tau_{rc} + \tau_d} \quad (1)$$

Величина подъёма определяется временами структурной τ_{rc} и базовой задержками τ_d , которые, в свою очередь, зависят от типа характеристики направленности. При выражении τ_{rc} через τ_d и подстановке τ_{rc} через $\tau_d = d/c_0$ (d – разность хода, c_0 – скорость звука), ω через $\omega = k \cdot c_0$, найдём расчётные формулы для оценки подъёма чувствительности в ближней зоне при различных типах характеристики направленности микрофона:

для «кардиоиды»:

$$\left| \frac{M_{\text{сф}}}{M_{\text{пл}}} \right|_{\text{к}} = \frac{\sqrt{1 + 4k^2 R^2}}{2kR} \quad \text{при } \tau_{rc} = \tau_d \quad (2)$$

для «восьмёрки»:

$$\left| \frac{M_{\text{сф}}}{M_{\text{пл}}} \right|_{\text{в}} = \frac{\sqrt{1 + k^2 R^2}}{kR} \quad \text{при } \tau_{rc} \rightarrow 0 \quad (3)$$

для «суперкардиоиды»:

$$\left| \frac{M_{\text{сф}}}{M_{\text{пл}}} \right|_{\text{ск}} = \frac{\sqrt{1 + \left(\frac{8}{5}kR\right)^2}}{\frac{8}{5}kR} \quad \text{при } \tau_{rc} = 3/5\tau_d \quad (4)$$

для «гиперкардиоиды»:

$$\left| \frac{M_{\text{сф}}}{M_{\text{пл}}} \right|_{\text{гк}} = \frac{\sqrt{1 + \left(\frac{4}{3}kR\right)^2}}{\frac{4}{3}kR} \quad \text{при } \tau_{rc} = 1/3\tau_d \quad (5)$$

Рассчитаем величину подъёма чувствительности (в раз) в ближней зоне на расстоянии $R = 0,05$ м от рта на среднегеометрических частотах третьоктавных полос диапазона 100–8000 Гц и вычислим среднюю величину подъёма по формуле (6):

$$\left| \frac{M_{\text{сф}}}{M_{\text{пл}}} \right|_{\text{ср.}} = \frac{\sum_{i=1}^n \left| \frac{M_{\text{сф}}}{M_{\text{пл}}} \right|_i}{n} \quad (6)$$

График зависимости $|M_{\text{сф}}/M_{\text{пл}}|$ от частоты представлен на рис. 1.

Расчёт в условиях равномерно распределённого шума

Так как шумозащищённость микрофона от относительно дальних и равномерно распределённых источников шума определяется повышением чувствительности микрофона к ближнему источнику и коэффициентом направленности [1], то можно найти индекс шумозащищённости микрофона $N_{\text{шз}}$ (дБ) по следующей формуле:

$$N_{\text{шз}} = 20 \lg K_{\text{шз}} = 20 \lg \frac{M_{\text{сф}}}{M_{\text{пл}}} + 10 \lg \Omega \quad (7)$$

Коэффициент направленности Ω для «кардиоиды» и «восьмёрки», как известно, равен 3, для «суперкардиоиды» – 3,7, для «гиперкардиоиды» – 4.

Далее произведём расчёт индекса шумозащищённости с учётом предполагаемых характеристик направленности микрофона на средних частотах третьоктавных полос в диапазоне 100–8000 Гц для $R = 0,05$ м и вычислим среднюю величину индекса шумозащищённости в полосе частот 100–8000 Гц по формуле:

$$N_{\text{шз.ср.}} = 20 \lg \frac{\sum_{i=1}^n \frac{M_{\text{сф}_i}}{M_{\text{пл}_i}} \cdot \sqrt{\Omega}}{n} \quad (8)$$

График зависимости индекса шумозащищённости от частоты представлен на рис. 2.

Из приведённых выше расчётов можно сделать вывод, что наибольшей шумозащищённостью на данном расстоянии от рта обладает микрофон с характеристикой направленности «восьмёрка».

Для оценки влияния типа характеристики направленности разрабатываемого микрофона на разборчивость речи введём коэффициент повышения разборчивости речи $K_{\text{пр}}$, показывающий увеличение вероятности появ-

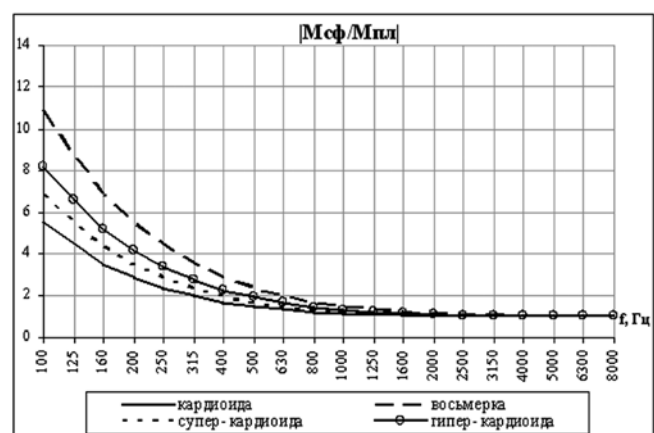


Рис. 1. Величина подъёма чувствительности в ближней зоне в зависимости от типа характеристики направленности микрофона

ления формант $w(\Delta f)$ [2] в третьоктавных частотных полосах при определённом частотном распределении коэффициента шумозащищённости:

$$K_{np} = w(\Delta f) \cdot \left| \frac{M_{сф}}{M_{пл}} \right| \cdot \sqrt{\Omega} \quad (9)$$

Также введём суммарный коэффициент повышения разборчивости речи $K_{np\Sigma}$, не несущий физического смысла, но необходимый для оценки общего вклада шумозащищённости в разборчивость речи:

$$K_{np\Sigma} = \sum_{i=1}^n K_{np_i} \quad (10)$$

По результатам расчёта по формулам (9) и (10) суммарный коэффициент повышения разборчивости речи для исследуемых типов характеристик направленности микрофона следующий: для «кардиоиды» – 2,07, для «восьмёрки» – 2,67, для «суперкардиоиды» – 2,45, для «гиперкардиоиды» – 2,71. Отсюда можно сделать вывод, что наибольший вклад в повышение разборчивости речи вносит микрофон с «гиперкардиоидной» характеристикой направленности.

Расчёт в условиях шума с заднего полупространства

Приведённую выше оценку помехозащищённости микрофона нельзя считать достаточной, т.к. коэффициент направленности микрофона Ω определяется в условиях чисто диффузного поля шумов. Однако равномерное распределение акустических помех вокруг микрофона на практике встречается достаточно редко. Чаще всего приходится сталкиваться с источником акустических помех, расположенным в задней полусфере относительно микрофона. Даже при чисто диффузном (равномерном в пространстве) распределении источников шума (например, кабина пилота или транспортного средства при расположении микрофона на голове) происходит экра-

нировка источников шума из передней полусферы, достаточно эффективная во всём диапазоне частот выше 600–700 Гц [3]. Поэтому целесообразно также произвести расчёт шумозащищённости микрофона в зависимости от отношения коэффициентов направленности в передней и задней полусферах $\Omega_{фт}$ [1]. $\Omega_{фт}$ физически показывает степень подавления помех и шумов из задней полусферы по сравнению с полезным сигналом из передней полусферы микрофона.

Отношение коэффициентов направленности в передней и задней полусферах $\Omega_{фт}$ для «кардиоиды» равно 7,3, для «восьмёрки» – 1, для «суперкардиоиды» – 14,7, для «гиперкардиоиды» – 6,7.

Индекс шумозащищённости $N_{шз}$ и коэффициент повышения разборчивости K_{np} в данном случае будут вычисляться по формулам:

$$N_{шз} = 20 \lg \frac{M_{сф}}{M_{пл}} + 10 \lg \Omega_{фт} \quad (11)$$

$$K_{np} = w(\Delta f) \cdot \left| \frac{M_{сф}}{M_{пл}} \right| \cdot \sqrt{\Omega_{фт}} \quad (12)$$

Суммарный коэффициент повышения разборчивости будет вычисляться по формуле (10).

Произведём аналогичным образом расчёт индекса шумозащищённости и коэффициента повышения разборчивости на среднегеометрических частотах третьоктавных полос в диапазоне частот 100–8000 Гц при расположении микрофона на расстоянии 0,05 м от рта.

График зависимости индекса шумозащищённости от частоты представлен на рис. 3.

По результатам расчёта по формулам (12) и (10) суммарный коэффициент повышения разборчивости речи для исследуемых типов характеристик направленности микрофона следующий: для «кардиоиды» – 3,22, для «восьмёрки» – 1,54, для «суперкардиоиды» – 4,87, для «гиперкардиоиды» – 3,51.

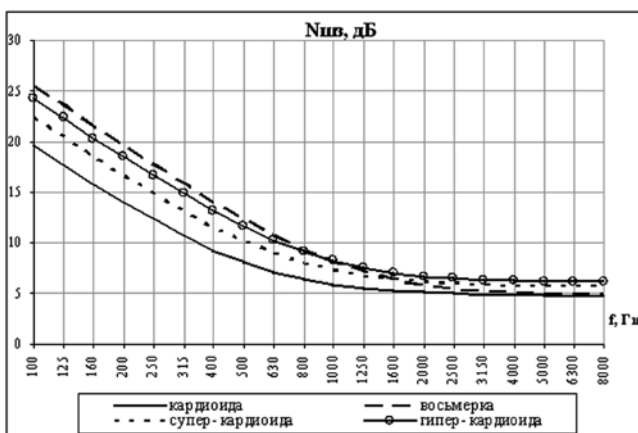


Рис. 2. Индекс шумозащищённости микрофонов в условиях равномерно распределённого шума для разных типов характеристики направленности

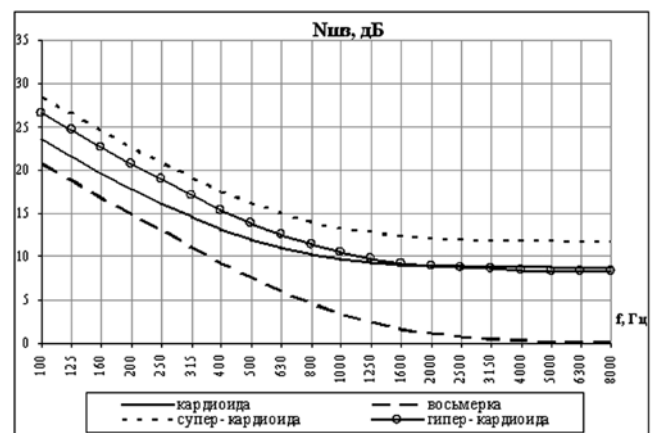


Рис. 3. Индекс шумозащищённости микрофонов в условиях распределения шумов в заднем полупространстве для разных типов характеристики направленности

Из приведённых выше результатов можно сделать вывод, что наилучшие показатели индексов шумозащищённости и коэффициентов повышения разборчивости у микрофона, обладающего «суперкардиоидной» характеристикой направленности, при распределении источников помех в заднем полупространстве относительно микрофона на данном расстоянии от рта. Поэтому «суперкардиоидную» характеристику направленности можно считать оптимальной для разрабатываемого шумозащищённого микрофона.

Ранее разными авторами доказывалось, что наилучшей шумозащищённостью обладают микрофоны с характеристикой направленности «восьмёрка» (что и было подтверждено в первой части данной статьи при расчёте шумозащищённости в условиях равномерно распределённого шума). Однако при условии распределения шума в заднем полупространстве, наибольшей шумозащищённостью обладают микрофоны с «суперкардиоидной» ха-

рактеристикой направленности. Также существенен выигрыш в величине повышения разборчивости речи «суперкардиоидным» микрофоном при данных условиях распределения шума. ■

ЛИТЕРАТУРА

1. *Вахитов Ш.Я.* Современные микрофоны. Теория, проектирование. – СПб: изд. СПбГУКиТ, 2003.
2. *Повинский Ю.В., Вахитов Ш.Я.* Расчёт разборчивости речи с теоретическим распределением спектральной плотности.
3. *Вахитов Я.Ш.* Теоретические основы электроакустики и электроакустическая аппаратура. – М.: Искусство, с. 170, 1982.
4. *Акустика: Справочник. Ефимов А.П., Никонов А.В., Сапожков М.А., Шоров В.И.; под ред. Сапожкова М.А.* – М.: Радио и связь, 1989.

IV МЕЖДУНАРОДНАЯ ЕЖЕГОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИЯ

«ЗАПИСЬ И ВОСПРОИЗВЕДЕНИЕ ОБЪЁМНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ В КИНЕМАТОГРАФЕ И ДРУГИХ ОТРАСЛЯХ»

состоится **26–27 апреля 2012 г.**
в помещении Московского киноvideоинститута
по адресу: Москва, ул. Академика Королёва, 21

В работе IV конференции примет участие широкий круг специалистов, занимающихся исследованиями и практическим применением объёмных изображений не только в кинематографе, но и в других сферах деятельности; построенных не только на стереозэффектах, 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, полиграфии, тренажёрах, защитных системах и т.д.

По итогам IV конференции, как и в предыдущие годы, будет издан сборник докладов. Сборники докладов предыдущих конференций имеются в продаже.

Командировочные расходы и оплата гостиницы за счёт участников.

Срок подачи заявок на участие
в работе конференции с докладом:

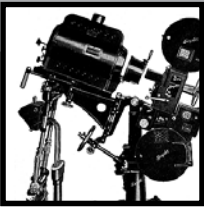
20 марта 2012 г.

Срок подачи заявок на презентацию
оборудования, показ стереофиль-
мов и организацию тематических
выставок: **10 апреля 2012 г.**

Срок подачи заявок на участие
в работе конференции без доклада:

10 апреля 2012 г.

Подробную информацию о предстоящей конференции и бланк заявки на участие можно получить в оргкомитете по телефонам: **(495) 619-8611, (495) 618-8207** и по электронной почте: **ncenter@list.ru**



РАЗРАБОТКА ТЕСТОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ для контроля качества цифрового кинопоказа



А.С. Блохин, к.т.н.,
МКВИ

Аннотация

В процессе электронного цифрового кинопоказа возникает необходимость периодического контроля параметров цифрового киноизображения, контроля как визуального, так и инструментального.

Для этого необходимо иметь определённый набор тест-изображений, позволяющих контролировать эти параметры.

В соответствии с международными рекомендациями разработаны требования к тест-изображениям, предназначенным для контроля параметров цифрового кинопроектора, обеспечивающего получение экранного изображения в условиях просмотрового зала и кинотеатра.

■ Введение

В процессе цифрового кинопоказа возникает проблема контроля качества работы цифровых проекторов. Указанный контроль необходим для обеспечения единства характеристик цифрового съёмочного процесса с технологическим процессом цифрового кинопоказа. Для цифрового кинематографа единство характеристик является основополагающим принципом, обеспечивающим сохранение всех параметров киноизображения с момента его съёмки до показа на кинотеатральном экране.

Для контроля качества аппаратуры цифрового кинопоказа необходимо создание специальных тест-файлов, содержащих цифровые сигналы изображений с заданными характеристиками. Каждое такое изображение позволяет контролировать один или несколько параметров цифрового экранного киноизображения.

Необходимо отметить, что наряду с контролем известных параметров киноизображения (яркости, контрастности, разрешающей способности) в цифровом кинопоказе

Abstract

In the process of electronic digital movie showing appears the need for the periodic testing of the parameters of digital picture image (visual and instrumental testing).

For this it is necessary to have the specific collection of the test patterns, which make it possible to control these parameters.

In accordance with the international recommendations are examined requirements for the test patterns, intended for the inspection of the parameters of the digital motion picture projector, which ensures obtaining screen image under the conditions of review room and the movie theatre.

необходимо контролировать специфические параметры, характерные только для этого вида кинопоказа.

Разработка полного набора тест-файлов, позволяющих контролировать все качественные параметры цифрового экранного киноизображения, является сложной научно-технической задачей ввиду отсутствия в настоящее время полной математической модели цифрового кинопроизводства и кинопоказа.

В настоящей работе обосновывается содержание минимального набора цифровых тест-изображений, позволяющих контролировать все известные характеристики цифровых проекторов.

Контроль качества цифрового экранного киноизображения подразделяется на два этапа:

- визуальный контроль, осуществляемый при визуальном восприятии цифрового экранного киноизображения;
- инструментальный контроль, осуществляемый при измерении характеристик изображения специальными инструментами.

Параметры контроля качества изображения

Некоторые рекомендации для контроля качества экранных изображений в цифровом кинематографе сформулированы в ISO/DIS 26431-2 Part 2 [1] и приведены в табл. 1.

Особенности экрана

Экран должен быть беломатовым и иметь одинаковый коэффициент отражения света по всему видимому спектру. Экран должен иметь регулируемую чёрную окантовку, обеспечивающую проекцию изображений с форматом 1.85:1 или 2.39:1 [2].

1. Тест-изображения для визуального контроля качества

1.1. Контроль положения центра изображения

Центр изображения должен соответствовать центру его пиксельной структуры в соответствии с таблицей 2.

По горизонтали должно быть равное число пикселей направо и направо от центра. По вертикали должно быть равное число пикселей выше и ниже центра.

Для изображения 4K центр находится между горизонтальными пикселями 2047 и 2048 и между вертикальными пикселями 1079 и 1080.

Для изображения 2K центр находится между горизонтальными пикселями 1023 и 1024 и между вертикальными пикселями 539 и 540.

Для проверки правильности расположения центра изображения относительно центра экрана используется тест-изображение типа «сетчатое поле», состоящее из вертикальной и горизонтальной белых линий на чёрном фоне (рис. 1).

Перекрестье четвёртой слева вертикальной линии и второй сверху горизонтальной линии должны совпадать с центром экрана, на который проецируется изображение.

Табл. 1. Параметры изображения – Рекомендации ISO

Параметры изображения	Номинал	В испытательной комнате	В кинозале
Разрешение, пиксели	2048x1080 или 4096x2160	номинал	номинал
Яркость на белом поле в центре	48 кд/м ²	±2,4 кд/м ²	±10,2 кд/м ²
Точность цветопередачи белого	Как в центре	+0.08 x, y относительно центра	+0.10 x, y относительно центра
Последовательный контраст	2000:1 минимум	1500:1 минимум	1200:1 минимум
Внутрикадровый контраст	150:1 минимум	100:1 минимум	100:1 минимум
Передача серого клина	Незаметна окраска градаций	Незаметна окраска градаций	Незаметна окраска градаций
Оконтуривание	Визуально незаметно	Визуально незаметно	Визуально незаметно
Цветовой охват	R: 0.680 x, 0.320 y, 10.1 Y G: 0.265 x, 0.690 y, 34.6 Y B: 0.150 x, 0.060 y, 3.31 Y	номинал	номинал
Точность цветопередачи	Точность колориметра	+1÷4 delta E	± 4 delta E
Неравномерность яркости по полю	85% от центра	80%–90% от центра	70%–90% от центра

Табл. 2. Пиксельная структура изображения

Уровень	Горизонтальные пиксели	Вертикальные пиксели	Формат изображения	Форма пикселя
1	4096	2160	1.896	1:1
2	2048	1080	1.896	1:1

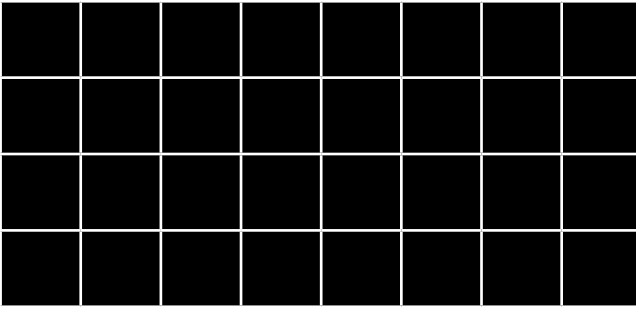


Рис. 1. Тест-изображение «сетчатое поле»

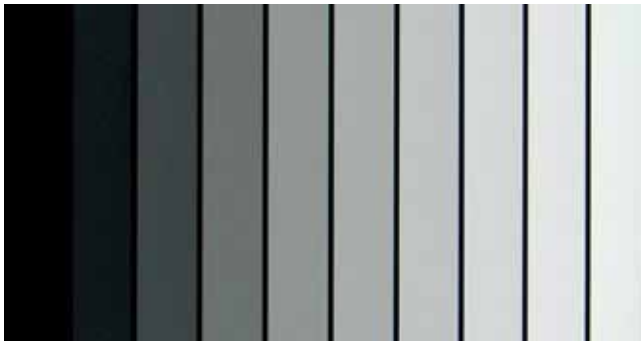


Рис. 2. Тест-изображение «градации серого клина»



Рис. 3. Тест-изображение «непрерывный горизонтальный серый клин»

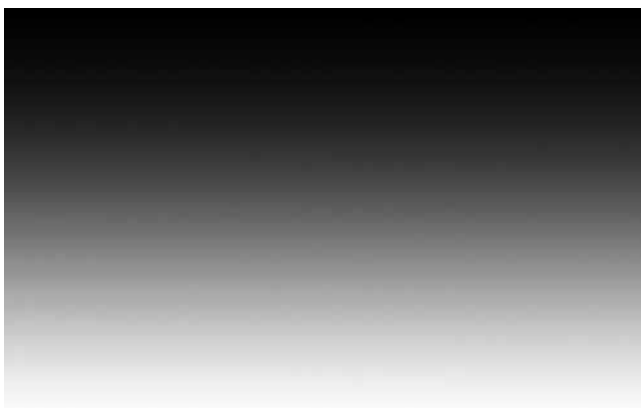


Рис. 4. Тест-изображение «непрерывный вертикальный серый клин»

1.2. Проверка точности фокусирования объектива цифрового проектора

Проверка точности фокусирования объектива цифрового проектора производится с использованием испытательного сигнала «Resolution» NTEST [2]. Последовательно воспроизводится испытательный сигнал «горизонтальные полосы» и «вертикальные полосы». При воспроизведении на экране указанных сигналов должны быть визуально различимы соответственно горизонтальные и вертикальные линии на всём поле изображения.

1.3. Проверка правильности воспроизведения градаций серого клина

Для указанной проверки формируется изображение, состоящее из 10 градаций серого клина (табл. 3).

Табл. 3. Координаты градаций серого клина

Номер полосы	Координаты цветности		Яркость
	X	Y	Y
1	0.3140	0.3510	0.12
2	0.3140	0.3510	0.73
3	0.3140	0.3510	2.10
4	0.3140	0.3510	4.43
5	0.3140	0.3510	7.92
6	0.3140	0.3510	12.72
7	0.3140	0.3510	18.99
8	0.3140	0.3510	26.87
9	0.3140	0.3510	36.50
10	0.3140	0.3510	48.00

Изображение десяти вертикальных градаций серого клина показано на рис. 2.

Все градации серого клина должны быть визуально нейтральными без любой видимой цветовой окраски.

Серый клин должен занимать 20% высоты и 80% ширины экрана.

Каждая градация должна занимать 8% ширины экрана и определяться уровнями, указанными в табл. 3.

1.4. Контроль незаметности яркостных границ при воспроизведении испытательных изображений «непрерывный серый клин»

Тест-изображения «непрерывный горизонтальный серый клин» и «непрерывный вертикальный серый клин» показаны на рис. 3 и 4.

При визуальном наблюдении этих испытательных изображений из центра зрительской зоны не должны быть заметны яркостные границы на всём поле изображения.

1.5. Контроль геометрических искажений изображения

Геометрические искажения изображения измеряются при проекции на экран тест-изображения «сетчатое поле» NTEST, представляющего собой изображение сетки из белых линий с квадратными ячейками на чёрном фоне и пяти окружностей, расположенных в центре и в углах изображения (рис. 5).

Измерение геометрических искажений производится по ячейкам, расположенным в центре и углах изображения. Отклонение размеров ячейки от квадратной формы не должно превышать $\pm 5\%$.

1.6. Контроль отсутствия артефактов типа «лестница»

Проверка визуального отсутствия артефактов типа «лестница», проявляющихся в виде ступенчатости наклонных линий в изображении, производится при наблюдении тестового изображения окружностей NTEST в виде белых линий на чёрном поле (рис. 5).

Необходима проверка в центре и углах экрана.

Линии, образующие окружности, не должны иметь визуальных искажений в форме зубчатой структуры типа «лестницы».

1.7. Контроль отсутствия артефактов типа «оконтуривание»

Оконтуривание – появление цветовых или яркостных ступеней там, где должен присутствовать только непрерывный или гладкий градиент яркости или цвета. Поскольку оконтуривание – функция многих переменных, важно иметь возможность наблюдения ряда испытательных образцов с мелкими градациями, чтобы моделировать естественные градации в изображениях. Примеры включают изображения горизонта, особенно на закате или восходе солнца, и естественном спаде яркости вокруг ярких центров, особенно если есть рассеяние света объективом или атмосферой. Эти испытательные градации яркости должны быть помещены в фон, равный минимальной яркости в градации, так, чтобы глаз был адаптирован к максимальной чувствительности.

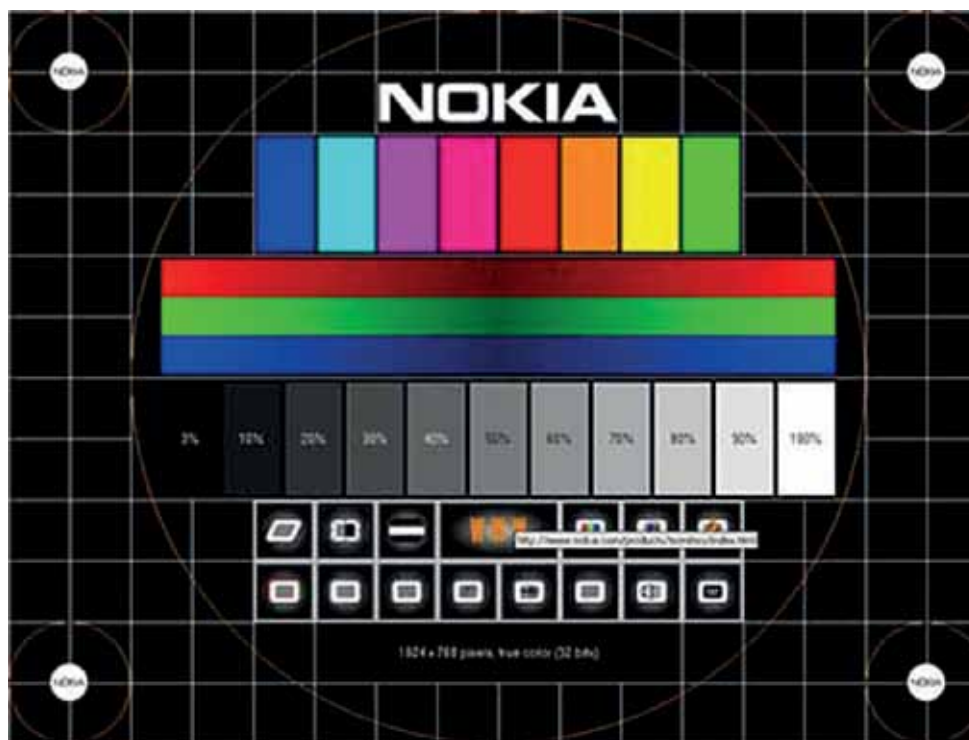


Рис. 5. Тест-изображение «сетчатое поле» NTEST и изображения окружностей

Каждое изображение должно рассматриваться с нормального расстояния рассматривания и не должно содержать никакого видимого оконтуривания (ступеней яркости) или окрашивания нейтрально серых объектов.

1.8. Контроль отсутствия временных артефактов

Временные артефакты, такие как яркостные и цветные хвосты на контурах при перемещении объектов, могут значительно ухудшить качество в изображении на экране. Эти артефакты трудно измерить, однако визуальную их заметность на изображении должна быть минимальной, не отвлекающей от основного содержания.

Для визуальной оценки этого вида артефактов можно рекомендовать тест-изображение вертикальной и горизонтальной белой полосы, имеющей ширину около 10% соответствующих размеров экрана.

За пределами этих полос экран должен быть чёрного цвета.

Указанные полосы должны перемещаться по экрану со скоростью около одного цикла перемещения за 2–3 секунды. При этом вертикальная полоса перемещается слева направо, а горизонтальная полоса – сверху вниз.

В процессе визуального наблюдения за перемещающимися полосами не должно быть заметно никаких цветовых окантовок на границах перехода от белого к чёрному. ■

Продолжение следует



ПАНОРАМНЫЕ СИСТЕМЫ КИНЕМАТОГРАФА

Начало в МТК № 22

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



■ Первый советский панорамный фильм «Широка страна моя...» демонстрировался и в капиталистических странах. Так, в одном из старейших американских кинотеатров «Mayfair Theatre» в Нью-Йорке советский фильм, получивший название «Great Is My Country», демонстрировался почти целый месяц с 30 июня по 20 июля 1958 года. Годом позже в этом же кинотеатре в течение двух недель с 21 июля 1959 года демонстрировался и второй советский панорамный фильм «Волшебное зеркало» под названием «The Enchanted Mirror».

Оборудование для демонстрации панорамных фильмов по советской системе «Кинопанорама» было установлено в 1959 году в старейшем и знаменитейшем кинотеатре Парижа «Splendid» (Сплендид). В зале был установлен панорамный экран 20x7,7 м с дугой 91,5° и звуковоспроизводящее оборудование для обеспечения девятиканального стереофонического сопровождения панорамных фильмов. С октября 1959 года в течение двух лет здесь демонстрировался советский панорамный фильм «Два часа в СССР» (Deux heures en URSS), который за этот период посмотрело более 850 000 зрителей.



Кинотеатр советской кинопанорамы в Париже.
Сегодня это кинотеатр «GAUMONT KINOPANORAMA»

Советские панорамные фильмы с большим успехом в течение нескольких недель (для западного кинопроката это очень высокий показатель) демонстрировались в кинотеатрах «Cinegama» многих стран мира, в том числе Греции, Кубы, Норвегии, Швеции и других.

В нашей стране было снято 11 панорамных фильмов и построено больше десятка панорамных кинотеатров в Алма-Ате, Днепрпетровске, Душанбе, Киеве, Ленинграде, Москве, Одессе, Перми, Ростове-на-Дону, Донецке, Таллинне, Ташкенте, Фрунзе и Целинограде.

Планировалось построить панорамные кинотеатры во всех крупных городах Советского Союза. На Украине был разработан проект мобильного передвижного панорамного кинотеатра большой вместимости (по принципу цирка шапито) для демонстрации панорамных фильмов вне крупных городов.

Пятьдесят лет назад, 9 октября 1961 года, в московском кинотеатре «Мир» прошла премьера первого в мире игрового панорамного фильма, снятого по советской системе трёхплёночной кинопанорамы. Весёлая спортивная кинокомедия несколько лет с огромным



«Опасные повороты» на экране московского панорамного кинотеатра «Мир» (1961)

успехом демонстрировалась во всех панорамных кинотеатрах Советского Союза и ряда стран мира.

Создатели этого фильма на целый год опередили своих американских коллег – первый панорамный полнометражный игровой фильм по системе Cinerama «The Wonderful World of the Brothers Grimm» (Сказочный мир Братьев Гримм) был выпущен на экран только 7 августа 1962 года.

«Опасные повороты» стал первым в истории отечественного кинематографа ремейком, снятым той же съёмочной группой, с теми же актёрами и в тех же местах, но только в новом формате. В основе фильма сюжет популярного чёрно-белого широкоэкранный фильма «Озорные повороты» Таллиннской киностудии, вышедшего на экраны СССР 28 декабря 1959 года. В панорамном фильме прибавилось несколько трюков и эффектных проездов гонщиков, демонстрирующих не только мастерство спортсменов, но главное – изобразительное и эмоциональное преимущество изображения на панорамном экране.

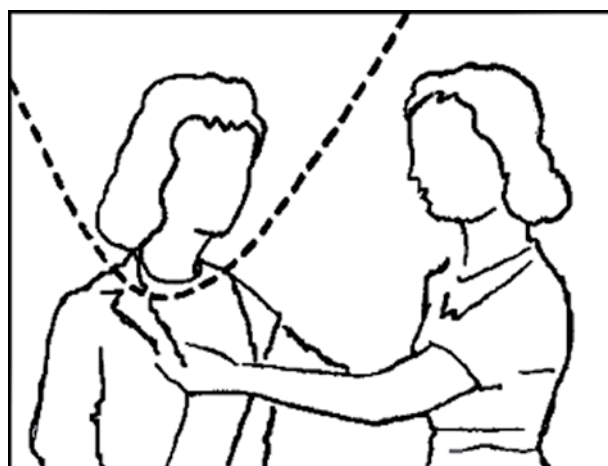
Впервые в панорамном кинематографе были применены сложнейшие комбинированные съёмки, выполнение которых не всегда удаётся качественно сделать в обычных системах кино. В первую очередь это относится к съёмке двойников. Это сегодня компьютерная техника позволяет легко контролировать и создавать такие кадры, а в те годы – только точный расчёт и мастерство всех: кинооператора, режиссёра, актёров и даже осветителей могли обеспечить получение качественного комбинированного кадра. В фильме «Опасные повороты» несколько эпизодов, в которых героиня беседует со своим двойником. В одном из этих кадров актриса свободно перемещается по всему кадру, проходя при этом за своим двойником, в другом – подходит к своему двойнику и обнимает его за плечи, поправляет воротник на платье.

Все эти кадры снимались в две экспозиции. В первую – снята актриса, исполнявшая главную роль, а её дублёр опиралась на поддерживающее устройство, которое было скрыто у неё за спиной, была неподвижна, а её лицо было перекрыто каше. Это давало возможность актрисе свободно проходить за ней, т.е. беспрепятственно перемещаться по всему кадру. Во вторую экспозицию устанавливалось контр-каше и снималось только лицо героини фильма, которое максимально точно совмещалось с фигурой дублёрши. В результате получался комбинированный кадр, в котором героиня свободно перемещалась в декорации и общалась со своим двойником. Успех в получении такого кадра зависел от способности актрисы и двойника сохранять неподвижность головы.



Три 35 мм позитива и панорамный кадр из кинофильма «Опасные повороты» (1961)

Для того чтобы неизменное положение актрисы в течение длительного времени не могло показаться неестественным, в следующем плане этого эпизода линия кашетирования, проходившая в предыдущем кадре по волосам актрисы и дублёрши, устанавливалась по части платья дублёра и декорации (см. рисунок). Такое кашетирование несколько ограничивало свободу передвижения актрисы в кадре, но давало возможность подходить вплотную к своему двойнику и обнимать его, а у двойника появлялась возможность поворачивать голову и более естественно общаться с героиней. При первом и втором варианте съёмки синхронизация действия осуществлялась с помощью фонограммы, на которой была записана половина того диалога, который актриса вела сама с собой.



Линия кашетирования при съёмке двойников в фильме «Опасные повороты»



Кадры с двойниками из фильма «Опасные повороты» (1961)

Прекрасная игра актёров, захватывающие сцены гонок, поучительный сюжет обеспечили фильму зрительский успех и аншлаги в панорамных кинотеатрах Советского Союза.

13 июля 1964 года панорамный фильм «Опасные повороты» увидели жители эстонской столицы. Премьера фильма прошла в панорамном кинотеатре «Космос», открывшемся в Таллинне 11 марта 1964 года и, как выяснилось позже, ставшего последним в череде панорамных кинотеатров СССР.

1 марта 1963 года на экранах советских панорамных кинотеатров начал демонстрироваться второй и последний игровой полнометражный панорамный фильм «Течёт Волга».

Последний кинотеатр, последний фильм, последний сеанс. 6 января 1966 года в московском панорамном кинотеатре «Мир» на крупнейшем в Европе экране в последний раз показали панорамную кинокартину «Течёт Волга» и полностью перешли на демонстрацию фильмов по широкоформатной системе с 70 мм киноплёнки.

Так в середине 60-х годов прошлого века производство трёхплёночных панорамных фильмов полностью прекратилось. Панорамные кинотеатры были переоборудованы под современные системы кинопроекции. Заняли своё место в фильмохранилище коробки с панорамными фильмами, которые уже нигде нельзя посмотреть.

Сегодня только цифровые способы восстановления позволяют вновь увидеть трёхплёночные панорамные фильмы.

В Госфильмофонде России сохранились исходные негативы и фонограммы первого в мире советского игрового панорамного фильма «Опасные повороты», что

дало возможность впервые в России цифровым способом произвести восстановление трёхплёночной кинопанорамы.

Надо сказать, что приступая к работе по восстановлению «Опасных поворотов», никто из участников этой работы не был уверен в её успехе. Было только одно – желание попробовать, а вдруг получится, ну хоть как-нибудь. Все исходные материалы фильма находились в гидролизном шкафу – негативная нитроплёнка «Свема» не выдержала времени и начинает медленно «умирать». Время и безжалостный гидролиз полностью уничтожили негатив 1-й и 3-й камеры первой части фильма, а в негативе 2-й камеры – первые его сто метров с титрами фильма.

За сканирование оригинального негатива взялась Юлия Разматнёва – ведущий специалист участка цифровой обработки фильмовых материала

Госфильмофонда России. Бережно, метр за метром, Юлия отсканировала гидролизный, с большим коэффициентом усадки, кионегатив с нестандартным количеством перфораций на кадр.

Первые пробы по коррекции цвета и сборке трёх кадров в один панорамный вселили оптимизм в наши души. Стало ясно – можно работать дальше. Владимир Николаевич Котовский – начальник участка цифровой обработки фильмовых материалов Госфильмофонда РФ – специалист высокого класса, человек, любящий и знающий свою работу, просто заболел идеей восстановления фильма. Именно он провёл цифровую реконструкцию «трёхплёночной кинопроекции». На первом этапе сканированные изображения каждой из плёнок были стабилизированы, и была проведена их предварительная цветокоррекция. Дальше начиналась сборка одного панорамного кадра из трёх составляющих его частей.

Ещё в конце 50-х годов прошлого века руководитель работ по созданию отечественной системы кинопанорамы Е.М. Голдовский отметил главные недостатки, являющиеся неотъемлемой частью трёхплёночной панорамной киносистемы:

- неустойчивость всех кадров на экране по отношению друг к другу;
- неодинаковая яркость и цветность трёх частичных киноизображений на экране;
- образование светлых полос в местах стыков кадров;
- геометрические искажения перспективы и горизонтальных линий;
- в некоторых случаях дублирование части изображения на краях соседнего кадра в местах стыков, и др.



Сканы с негатива 1, 2, 3 камеры с предварительной цветокоррекцией из фильма «Опасные повороты» (1961). На границах смежных кадров хорошо видны части изображений, снятых внахлёт



Восстановленный цифровым способом панорамный кадр из фильма «Опасные повороты» (1961)



Пример цветовой коррекции трёх кадров и восстановление цифровым способом панорамного кадра без разделительных полос на стыках из фильма «Опасные повороты» (1961)

Надо заметить, что цифровая реконструкция панорамной кинопроекции позволяет частично устранить многие недостатки, присущие трёхплёночным системам кинематографа. Добиться идентичности цвета и света всех трёх кадров, большей их устойчивости по отношению друг к другу на экране. В то же время не всегда удаётся избавиться от вертикальных межкадровых швов, геометрических и оптических искажений.

При цифровой сборке панорамного кадра из трёх составляющих во многих случаях удавалось добиться цветокоррекции каждого из кадров единого по цвету изображения собранного панорамного кадра. А также избавиться от стыковочных полос даже в кадрах с однотонным цветом. При проекции на экран кадры неба практически всегда имели светлые разделительные полосы. Цифровая сборка и коррекция цвета позволили во многих случаях устранить этот недостаток.

Поскольку панорамные негативы имеют зону, снятую каждой камерой внахлёт, повторяя пограничное изображение края соседнего кадра, при сборке была возможность выбирать наиболее качественное, хорошо сохранившееся в зоне стыка изображение. В некоторых случаях это дало возможность заменить частично повреждённое гидролизом изображение одного кадра его изображением, снятым внахлёт из соседнего кадра. Но, к сожалению, не все кадры удалось полностью избавиться от следов времени.

Собранные В.Н. Котовским панорамные кадры подвергались автором этой статьи дополнительной поккадровой реставрации. В результате этой работы удалось «залатать дыры» в изображении, возникшие от разрушения эмульсии. В некоторых случаях удалось убрать цветные пятна, смягчить швы стыков и исправить некоторые геометрические искажения.

Поскольку первая часть фильма сохранилась только в виде стометрового куска 2-й камеры и полной фонограммы, мной была предложена и реализована идея создания полиэкранного вариоскопического изображения из оставшегося негатива и создание пролога с документальными киносъёмками в кинотеатре «Мир» 1959 года. А также был создан комбинированный кадр, дающий представление современному зрителю о том, как выглядят три плёнки панорамного фильма и как из них получается панорамное изображение на экране кинотеатра.

Таким образом, в восстановленном варианте первой части фильма была полностью сохранена фонограмма. А титры фильма, восстановленные по рекламным публикациям в прессе того времени, вместе с оставшимся изображением 2-й камеры были смонтированы в виде полиэкрана.

К сожалению, девятиканальная магнитная фонограмма фильма перед сдачей на хранение в Госфильмофонд по непонятной причине была переписана в шестиканальную. То есть эффектные звуковые дрожки шестая, седьмая, восьмая и девятая были сведены в одну. Сама перезапись была сделана не лучшим образом. Звук при переходе с одного канала на другой становится то очень тихим, то — очень громким. Поэтому для показа на кинофестивале «Белые столбы 2011» восстановленный цифровой вариант фильма был записан с монофонической фонограммой. Так что впереди ещё работа по восстановлению стереофонического звука первого в мире панорамного игрового полнометражного фильма «Опасные повороты». И хотелось бы надеяться, что со временем будут восстановлены все сохранившиеся советские панорамные фильмы.

ПАНОРАМНЫЕ КИНОТЕАТРЫ СССР



ПАНОРАМАНЫЙ КИНОТЕАТР «ЛЕНИНГРАД»

Трёхзальный кинотеатр открылся в Ленинграде на Потёмкинской улице в 1959 году показом панорамного фильма «Широка страна моя...»



ПАНОРАМАНЫЙ КИНОТЕАТР «РОССИЯ»

В 1958 году в Ростове-на-Дону открылся панорамный кинотеатр «Россия» со зрительным залом на 960 мест.



ПАНОРАМАНЫЙ КИНОТЕАТР «КОСМОС»

Кинотеатр для демонстрации панорамных фильмов открылся в Таллинне 11 марта 1964 года демонстрацией широкоформатного фильма «Повесть пламенных лет». 13 июля этого же года здесь состоялась премьера панорамного фильма «Опасные повороты».

Сегодня реконструированный «Космос» один из старейших действующих кинотеатров в Таллинне и самый большой в Эстонии, где по сей день трудятся многие из тех, кто встречал первых кинозрителей в шестьдесят четвёртом. ■

