



стр. 2

№ 6 СОДЕРЖАНИЕ:

НОВОСТИ, ОБЗОРЫ

Выставки и форумы «осень-зима 2007»

2



стр. 8

ВОПРОСЫ ТЕОРИИ

В. Г. Комар

О голографическом кинематографе

4

В. К. Гарипов, А. М. Васильев

Сжатие изображений на основе модифицированного дискретного косинусного преобразования

8

В. А. Никашин

Графический метод формирования волнового фронта

12

В. А. Ванин

Графическая парадигма мира

15

В. А. Сычёв

Математическая модель преобразования сигнала при дискретизации изображения

20

Ф. С. Блохин

Экология экранного изображения

23



стр. 23

ТЕХНОЛОГИИ

Ю. Барышненков, В. Глухов

Технологическое телевидение для хирургической клиники

31

Д. Г. Чекалин

Телекинопреобразователи и технологии сканирования

34



стр. 31

МАСТЕР-КЛАСС, СЕМИНАРЫ, НОВОСТИ SMPTE, ОТЗЫВЫ

Л. Ф. Артюшин

Свет и цвет

37

ИСТОРИЯ КИНО

Л. Г. Тарасенко, Д. Г. Чекалин

Голографическое кино

43



стр. 43

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»
Редакционный совет:
Комар Виктор Григорьевич, проф., д.т.н.
Василевский Юрий Антонович, проф., д.т.н.
Сакварелидзе Майя Александровна, д.х.н.
Тимофеев Александр Евгеньевич, к.т.н.
Блохин Александр Сергеевич, к.т.н.
Ковалевская Нонна Сергеевна, к.т.н.
Волков Александр Сергеевич,
отдел проката нац. фильмов
Управления кинематографией Роскультуры

Руководитель проекта:
Костылев Олег Юрьевич
Главный редактор:
Егоров Владимир Викторович
Выпускающий редактор:
Захарова Тамара Владимировна
Арт-директор, оформление обложки:
Шишкин Владимир Геннадьевич
Верстка и дизайн:
Семенычев Дмитрий Юрьевич
Корректор:
Сайкина Наталья Владимировна

Отпечатано в ООО «Типография ПАРАДИЗ»
Объем 6 п.л. Заказ № 1402
Тираж 999 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 не всегда совпадает со взглядами авторов статей.

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



ВЫСТАВКИ И ФОРУМЫ

«ОСЕНЬ- ЗИМА 2007»

С 4 по 8 сентября 2007г. в Санкт-Петербурге состоялась IX Международный Форум и выставка «Кино Экспо-2007». В выставке приняли участие около 50 представителей из разных стран. Научно-исследовательский кинофотоинститут (ОАО «НИКФИ») представил ксеноновые осветительные системы мощностью от 1 до 7 кВт (КОС 1-2, КОС 3 и КОС 4-7) для переоборудования моделей кинопроекторов, таких как 23КПК-2, КП30К и МЕ05Х с заменой электроники (разработка В.Гладышева, Е.Андреевой). Система позволяет увеличить световой поток кинопроектора при той же мощности света на 30%-35% и увеличить равномерность освещённости киноэкрана до 0,7. Такие проекторы до сих пор работают по всей России и странам СНГ, и потребность в замене осветительной системы огромная.



ВЫСТАВКИ
ФОРУМЫ

40

В рамках выставки и кинорынка прошла презентация анимационного фильма «Чучело», как первого отечественного образца коммерческого продукта для цифровых кинотеатров. Проекция фильма в стереорежиме проходила в большом зале «Ленэкспо» цифровым проектором «Christi 2000-CP» с сервера Doremi. Этот фильм был создан в ОАО «НИКФИ» совместно с анимационной студией NUKU FILM (Эстония) по технологии бесплёночной стереосъёмки, разработанной в ОАО «НИКФИ» лабораторией стереопоказа в 2006 году при финансовой поддержке Федерального агентства по культуре и кинематографии. На кинорынке были также продемонстрированы первые экспериментальные стереосъёмки живой природы, полученные в цифровой форме.

С 25 по 27 сентября в Москве прошли IV Международный Форум «Голография Экспо-2007» и IV Международная научно-практическая конференция «Голография в России и за рубежом. Наука и практика».

На секции «Изобразительная голография и отображение трёхмерных объектов на основе голографических методов» был представлен доклад «Цветная голография с использованием фотоматериала «Ultimate» – работа И.Женте (Голографическое ателье, Бордо, Франция) и М.К. Шевцова (ГОИ им. С.И.Вавилова, Санкт-Петербург, Россия). Технология цветной голографии с использованием фотоматериала «Ultimate» обеспечивает передачу цвета всего пространства снимаемой сцены. Некоторые материалы форума читайте на страницах журнала.

В марте 2007 года был сдан в эксплуатацию новый корпус на 800 мест клиники хирургического профиля в больнице им. С.П. Боткина. В лечебный процесс была интегрирована система технологического телевидения. Эта система, созданная ведущими специалистами ОАО НИКФИ (К. Неверовским, А. Гинзбургом, Ю. Барышненковым), предназначена для фиксации, архивирования, трансляции и воспроизведения в реальном масштабе времени аудиовизуальной информации (читайте на страницах журнала).

9 ноября с. г. в Москве в лекционном зале «Физика» Политехнического музея прошел круглый стол, посвящённый 80-летию академика Ю.Н. Денисюка, основоположника отечественной голографии. Наряду с другими докладами, были представлены доклады специалистов ОАО «НИКФИ» в области голографии – д.т.н., профессора В.Г. Комара «Компьютерное преобразование двухракурсных изображений в многоракурсные для получения голограмм больших размеров» и д.т.н. Ю.Н. Овечкиса «Цифровая система безочкового многоракурсного показа объёмных изображений». Благодаря более мощным компьютерам и новым многопиксельным проекторам с большей разрешающей способностью, появилась возможность использовать старые разработки (расстровый экран) с получением объёмного изображения.

Работающая установка находится в ОАО «НИКФИ». Просмотр изображения не требует очков и обеспечивает высокое качество изображения.

15 ноября в Большом зале Дома кино прошла презентация новых киноплёнок фирмы FUJIFILM и, работающей в тесном контакте с ней, фирмы ARRI. FUJIFILM представила три типа новых киноплёнок FUJICOLOR ETERNA: негативная плёнка Vivid 160, тип 8543–35мм и тип 8643–16мм; контратипная киноплёнка CI, тип 8503/4503 (ПЭТ)–35мм и тип 8603–16мм; контратипная киноплёнка RDI для цифрового кино, тип 8511/4511 (ПЭТ)–35мм. Fujicolor ETERNA Vivid 160 – это новая негативная киноплёнка с чувствительностью 160E.I., предназначенная для проведения киносъёмок в павильоне. Плёнка также может быть применена для съёмок при дневном освещении с чувствительностью 100E.I. Высокие резкостные и цвето-фотографические свойства этой киноплёнки позволяют использовать её для дальнейшего перевода киноизображения на цифровые носители (телекино), а также для производства фильмов с большой долей сложных цифровых эффектов.

Fujicolor ETERNA-CI – новая контратипная киноплёнка высокого разрешения и сверхмелкого зерна, разработана для изготовления цветных промежуточных позитивов и дубль-негативов при печати с маскированных негативов, а также с других контратипных киноплёнок.

Fujicolor ETERNA-RDI – контратипная записывающая киноплёнка, разработана впервые специально для работы с цифровыми данными с целью обеспечения при промежуточной обработке точной передачи деталей и цветов цифрового изображения.

Для новых плёнок FUJIFILM фирма ARRI представила полную линейку технологического оборудования. Был показан демонстрационный фильм – ридер для перевода отснятых на киноплёнке фильмов в цифровую форму.

13 декабря в Москве в гостинице «Космос» в рамках кинорынка прошла научно-практическая конференция «Обеспечение качества кинотеатрального кинопоказа». Обсуждались следующие вопросы: обеспечение качества – стратегия развития киноотрасли (Н.С. Ковалевская, ОАО «НИКФИ»), новые проекционные экраны (Г.З. Черниловская, ОАО «НИКФИ»), акустика и электроакустика кинотеатра (Ю.А. Индлин, ОАО «НИКФИ»).

20 декабря в ОАО «НИКФИ» прошёл круглый стол по теме «Технология долгосрочного хранения кинофильмов. Проблемы и решения». Отчёт читайте в следующем номере журнала.



О голографическом кинематографе

В. Г. Комар, д. т. н.,
профессор, ОАО НИКФИ



Применяемые в настоящее время системы стереоскопического кинематографа по сравнению с обычными системами кинематографа имеют большое преимущество – возможность воспроизведения трёхмерного изображения, особенно в пространстве перед экраном. В настоящее время в США вновь усиливается интерес к этому виду кино, снимается и показывается всё большее количество стереоскопических кинофильмов. Однако стереоскопический кинематограф, как и ранее, применяется в ограниченных масштабах, так как имеет ряд существенных недостатков – таких, как необходимость использования специальных очков, что не нравится многим зрителям. Кроме того, возникающие при этом геометрические искажения нарушают реалистичность изображения.



■ Несоответствие различного рода зрительных признаков в стереоскопическом кинематографе сильно ограничивает использование выразительных возможностей трёхмерного изображения. Так, попытки приблизить изображения неподвижных или движущихся с обычными скоростями предметов вызывает у зрителей двоение изображения, сильное зрительное напряжение и утомляемость.

Голографическое изображение принципиально отличается от стереоскопического тем, что оно формируется не субъективно в мозгу человека, а объективно в пространстве и представляет собой как бы световую скульптуру реального объекта. Поэтому все зрительные признаки голографического изображения могут соответствовать друг другу, как в жизни, и зритель воспринимает их как реальные предметы без какого-либо напряжения.

Во второй половине 70-х годов в НИКФИ автором были разработаны следующие принципы голографического кинематографа с трёхмерным цветным изображением [2]:

1. Использование толстослойных голографических киноплёнок, изобретённых учёным НИКФИ Н. И. Кириловым, обладающих сверхвысоким разрешением (тысячи линий на миллиметр) и угловой и спектральной селективностью, позволяло фиксировать и воспроизводить множество трёхмерных

цветных изображений путём интерференции при экспонировании и путём дифракции лазерного излучения на прозрачных фазовых решётках при воспроизведении изображения.

2. Использование съёмочных и проекционных объективов с большой апертурой и светосилой без виньетирования (когда все лучи света, входящие в объектив, выходят из него) обеспечивало фиксацию на киноплёнке множества трёхмерных изображений снимаемой сцены в огромном числе ракурсов. Такие объективы позволяют сформировать в пространстве зрительного зала трёхмерные изображения с множеством ракурсов и широкие зрительные зоны, из которых зрители видят трёхмерное изображение без необходимости соблюдать неподвижное положение.
3. Применение изобретённых автором точно-фокусирующих, множительных голографических экранов, формирующих в зрительном зале цветные трёхмерные изображения, которые видят зрители из множества зрительных зон, формируемых этими экранами.
4. Многокурсовая стереоскопическая съёмка больших сцен на природе при естественном освещении с последующим переводом многокурсового стереоскопического изображения в голографическое.

Экспериментальная проверка, выполненная коллективом специалистов НИКФИ при весьма активной творческой деятельности О.Б. Серова, подтвердила правомерность разработанных принципов и показала большие преимущества голографического изображения, которые заключались прежде всего в том, что такие изображения могут быть выполнены столь реалистично, что многие зрители принимают их за реальные предметы [2]. Голографическое изображение, используемое в разработанной системе, фиксируется на киноплёнке, в отличие от обычного фотографического процесса, не в виде поглощающих свет участков плёнки, а в виде множества фазовых решёток, преломляющих проходящий через них свет.

Особенностью голографической киноплёнки по сравнению с обычной цветной киноплёнкой является её очень высокое разрешение. При изготовлении отражательных голографических экранов пространственная частота голографических решёток для синего лазерного излучения может достигать 8000 линий на миллиметр. При киносъёмке в сходящихся опорных и объектных лазерных пучках пространственная частота в фотослое оказывается ниже, чем в случае встречных, но достигает, однако, нескольких тысяч линий на миллиметр.

Несколько меньшее разрешение киноплёнок, экспонируемых в сходящихся пучках, позволяет за счёт укрупнения зерна фотослоя достигнуть более высокой светочувствительности голографической киноплёнки,

предназначенной для киносъёмки в сходящихся объектных и опорных пучках лазерного света.

Применяемая для киносъёмки и копирования голографическая киноплёнка имеет три светочувствительных слоя (красно-, зелёно- и синечувствительный слой), причем эмульсионные галогенидосеребряные слои не содержат цветных компонент, как обычные цветные киноплёнки. Они имеют лишь сенсibilизаторы соответственно к красной, зелёной и синей частям спектра.

Важной особенностью голографической киноплёнки является её угловая селективность. Это достигается за счёт большой толщины фотослоя (5-10 мкм), которая превышает длину волны лазерного излучения. Отклонение угла падения опорных лучей от номинала снижает интенсивность восстанавливаемого пучка света, формирующего изображения, практически до нуля. Это свойство было использовано при создании экспериментальной системы голографического кинематографа в НИКФИ. При голографических киносъёмках опорные пучки разного цвета направлялись на киноплёнку в разных направлениях.

На рис. 1 показана схема съёмки голографического кинофильма. Трёхмерный объект 1 освещается осветителем 2 с лазерными источниками красного, зелёного и синего излучений, импульсного в случае живых и движущихся предметов; при кукольных съёмках применялись лазеры непрерывного действия. Отражённый от объекта 1 лазерный свет проходит через объектив съёмочной камеры 3, который вблизи кадрового окна с голографической киноплёнкой 5 формирует уменьшенное объёмное изображение 4 снимаемого объекта. Киноплёнка в кадровом окне одновременно экспонируется опорным пучком света 6 от тех же лазеров, которые освещают снимаемый объект.

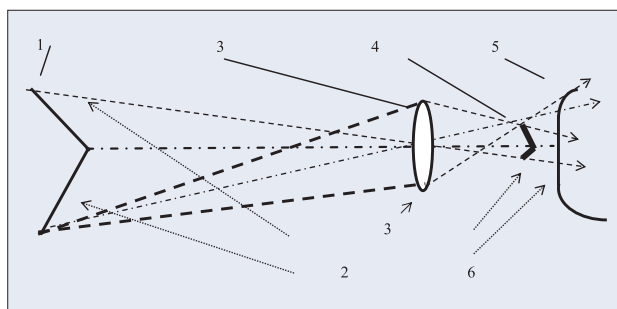


Рис. 1. Схема съёмки голографического кинофильма

Используются киноплёнки, рассчитанные на экспонирование в сопутствующих пучках света, обладающие более высокой чувствительностью, чем рассчитанные на экспонирование во встречных пучках. В светочувствительном слое возникают неподвижные световые интерференционные решётки, которые экспонируют киноплёнку. После химико-фотографической обработки в эмульсионном слое образуются дифракционные решётки, в которых чередуются узкие полосы (с ты-

сячами линий на каждый миллиметр) с повышенным и пониженным коэффициентом преломления света. Эти дифракционные решётки фиксируют огромную информацию о трёхмерном цветном изображении снятой сцены.

На **рис. 2** показана схема копирования голографического кинофильма.

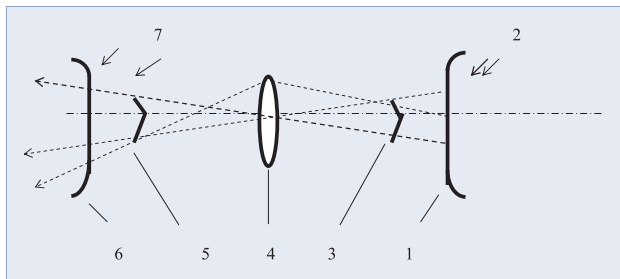


Рис. 2. Печать копии голографического кинофильма

Оригинальный (первичный) голографический фильм **1** освещается пучками лазерного света **2** (красным, зелёным, синим). В результате дифракции света вблизи кадрового окна кинокопировального аппарата формируется трёхмерное цветное изображение **3**, световая копия которого **5** формируется объективом **4** вблизи второго кадрового окна кинокопировального аппарата, через которое проходит голографическая киноплёнка **6**, освещаемая теми же лазерами **7**. В результате в эмульсионном слое возникает интерференционная световая решётка, подобная той, которая возникала при киносъёмке.

На **рис. 3** показана схема проекции голографического кинофильма.

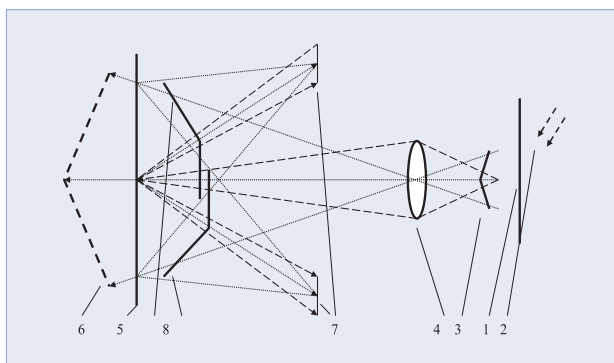


Рис. 3. Схема проекции голографического кинофильма

При проекции голографическая киноплёнка **1** освещается красным, зелёным и синим лазерными пучками света **2** в кадровом окне кинопроектора. В результате дифракции света вблизи кадрового окна формируется в пространстве малых размеров трёхмерное изображение **3** снятой сцены. Это изображение увеличивается до больших размеров **6** проекционным объективом **4**, имеющим большую апертуру. Свет от объектива падает на голографический киноэкран **5**, обладающий свой-

ствами фокусирования и размножения изображения.

Свет, отражённый от экрана **5**, образует множество (по числу зрителей) зрительных зон **7** в зале кинотеатра; из этих зон зрители могут видеть трёхмерное изображение. Таким образом, отражённый от экрана свет формирует в пространстве трёхмерные изображения **8** (для каждой зрительной зоны), которые являются копией первичного изображения **6**, формируемого проекционным объективом. Эти изображения могут быть либо действительными (как световые скульптуры снятых объектов), когда они располагаются перед экраном, либо мнимыми (как в зеркале), если они формируются за экраном.

Важно отметить, что на экспериментальной установке НИКФИ удалось практически устранить спекл-шум в голографическом изображении, что потребовало применения специальных мер.

В 1986 г. на киностудии им. М. Горького в Москве начались съёмки первого голографического кинофильма (режиссер Х. В. Триандофилов), предназначенного для кинотеатрального показа. Эти работы были прерваны из-за прекращения финансирования, как многие перспективные исследовательские работы в России в годы перестройки.

Созданная ранее в НИКФИ техника была рассчитана на съёмку голографических фильмов в лазерном свете. И поэтому в то время нельзя было производить съёмки больших сцен на натуре. Включение в голографические фильмы очень больших сцен, в том числе снятых на натуре при естественном освещении, оказалось возможным только путем перевода многоркурсных стереоскопических изображений, снятых при обычном освещении, на голографическую плёнку. Эта возможность была подтверждена экспериментально в НИКФИ при участии нескольких организаций [1].

Другие попытки создать голографический кинематограф не привели к положительным результатам. Голографическую киносъёмку впервые выполнил М. Леман (США) в 1966 г. Изображения неживых объектов были сняты на голографическую киноплёнку шириной 35 мм. Воспроизводимое изображение имело малые размеры, и его мог наблюдать только один зритель.

Метод сверхбольших сферических линз предложил и исследовал Е. Лейт (США) в 1972 г. По этому методу голографическую киносъёмку объекта, освещаемого лазерным светом, предлагалось производить на киноплёнку через линзу очень большого диаметра (порядка размеров экранов, применяемых в кинотеатрах). Кинопроекцию голографического фильма предлагалось производить также через линзу очень большого диаметра – порядка кинотеатрального экрана. Этот метод имеет принципиальный недостаток, обусловленный чрезмерно малым размером как снимаемой сцены, так и наблюдаемого изображения.

Метод сверхбольших цилиндрических линз предложил Д. Джонс (США) в 1970 г. Этот метод аналогичен ме-

тоту сверхбольших сферических линз и отличается тем, что вместо сферических линз применяются цилиндрические. Данный метод не получил практического применения по той же причине – чрезмерно малых угловых размеров изображения.

Метод сферического зеркала больших размеров для проекции голографических изображений предложил Ю. Денисюк (Россия) в 1974 г. Этот метод основан на использовании зеркала со сферической отражающей поверхностью очень больших размеров – такого же порядка, как экраны, применяемые в кинотеатрах. Данный метод имеет тот же принципиальный недостаток малых угловых размеров изображения, как и методы с применением линз очень больших размеров.

Способ голографической киносъёмки и кинопроекции на основе использования ретрорефлексного экрана был разработан и исследован К. Хигучи, Дж. Ишикава, С. Хияма (Япония) в 1995 г. В системе использовался ретрорефлексный экран, обладающий свойством отражать падающие на экран лучи света прямо в противоположном направлении за счёт расположенных на его поверхности мельчайших прозрачных шариков с высоким коэффициентом преломления. Недостатком этой системы является то, что трёхмерное голографическое изображение полноценно может наблюдать одновременно только один зритель.

Таким образом, перечисленные выше системы не позволяют одновременно наблюдать голографическое изображение даже небольшой группе зрителей. Преодоление этого недостатка возможно при использовании голографического множительного фокусирующего экрана.

Результаты исследований и разработка экспериментальной системы голографического кинематографа в НИКФИ были доложены на нескольких международных конференциях и получили высокую оценку многих крупных специалистов – таких, как Ю. Н. Денисюк, Л. Д. Бахрак (Россия), С. А. Бентон, Т. Г. Джонг (США), П. Смигильский (Франция), Г. И. Хаппе (Англия) и др. Международное Оптическое Общество SPIE (США) опубликовало том избранных публикаций по фундаментальным работам по технике голографии, включив в этот том доклад автора настоящей статьи на 1-ом Европейском конгрессе по прикладной оптике в Страсбурге (Франция) [4].

Большое перспективное значение голографического кинематографа отмечали и работники искусства кино (А. А. Тарковский и др.) В связи с работами в области голографического кинематографа Академия кинематографических искусств наградила автора Национальной кинематографической премией «НИКА».

Голографический кинематограф, благодаря уникальным свойствам голографического изображения, стал недоступным обычному и стереоскопическому кинематографу. Он имеет большие шансы получить важное практическое применение. Хотя основные принципы голографического кинематографа разработаны и провере-

ны экспериментально, для создания сначала голографического киноаттракциона, а затем и игровых фильмов необходимы ещё разработка и изготовление комплекса технических средств. Несколько таких проектов были разработаны (на изложенных выше принципах) в России и США. Однако до сих пор они так и не реализованы.

Литература:

1. Комар В. Г., Сон Д. Ю., Сабо С. А., Майоров В. П. и др. Трёхмерная цветная телевизионная многокурсная безочковая система// Техника кино и телевидения. 1998, №4.
2. Комар В. Г., Серов О. Б.. Изобразительная голография и голографический кинематограф. М.: Искусство, 1987.
3. Desmond. Holography – A Broken Image// Eyepiece, March/April. 1988. vol. 8, №2.
4. Komar V. G. Principle of the Holographic Cinematography// Selected Papers on Fundamental Techniques in Holography SPIE Milestone Series, vol. MS 171, 2001.
5. Smigilsky P. and others. Progress in Holographic cinematography// SPIE, vol. 600; Progress in holographic Applications, 1985, 186.

Обнародован прогноз развития кинорынка России

Компания «PricewaterhouseCoopers» опубликовала прогноз развития российской киноиндустрии на ближайшие четыре года.

«Москва – Онлайн»
28.06.2007

Одна из крупнейших аудиторских компаний «PricewaterhouseCoopers» опубликовала прогноз развития российской киноиндустрии на ближайшие четыре года. Согласно этим данным, к 2011 году кассовые сборы вырастут в два раза и достигнут более 940 миллионов долларов. Посещаемость кинотеатров увеличится в полтора раза. Правда, вместе со сборами будет расти и цена на билеты. Через четыре года поход в кино обойдётся москвичу примерно в 160 рублей. Впрочем, эксперты считают оценки и прогнозы «PricewaterhouseCoopers» заниженными. Уже сейчас средняя цена билета 130 рублей.

www.molnet.ru



Сжатие изображений на основе модифицированного

дискретного косинусного преобразования

В. К. Гарипов, д. т. н., МКВИ
А. М. Васильев, аспирант, МГУПИ

Цель статьи – показать, что существующий математический аппарат – дискретное косинусное преобразование (далее МДКП) послужил основой при разработке стандарта сжатия изображений JPEG. Однако, если его модифицировать (в этом новизна), то можно получить дополнительный положительный эффект при сжатии изображений, и таким образом рассматриваемое МДКП позволяет дополнительно увеличить точность представления сжатого изображения за счёт использования перекрывающихся блоков данных.

■ Как показали исследования, проведённые рядом авторов, в применении к кодированию данных, для которых подходит марковская статистическая модель, дискретное косинусное преобразование (далее ДКП), имеющее быстрый алгоритм вычислений, приближается по эффективности к дискретному преобразованию Карунена-Лоева (далее ДПКЛ) [1, 2]. Данный факт явился причиной того, что именно ДКП послужило основой при разработке стандарта сжатия неподвижных изображений JPEG [4, 5]. Уже производятся специализированные микросхемы, реализующие сжатие и восстановление по JPEG аппаратно и обеспечивающие обработку цветных изображений в реальном масштабе времени (480x640 точек, 30 кадров/с [6]).

С точки зрения достижимого уровня сжатия, стандарт JPEG не является лучшим среди существующих ныне



методов эффективного кодирования изображений. Так, методы, базирующиеся на использовании векторного квантования (в пространственной или спектральной областях), субполосного кодирования преобразований на основе вейвлет-функций, а также фрактальные методы могут обеспечить более высокие уровни сжатия по сравнению с JPEG [6, 7, 8].

Однако пока во многих случаях внедрение новых перспективных методов упирается в проблемы сложности их реализации, которая часто объясняется отсутствием чётких алгоритмов. В этом свете метод JPEG предстает как компромиссный вариант, обеспечивающий, с одной стороны, достаточно высокое сжатие (10-50 раз [6]), а с другой стороны – приемлемую для самого широкого применения сложность реализации.

ДКП в одномерном случае определим как [9]:

$$x_j = \sqrt{\frac{2}{N}} \sum_{k=0}^{N-1} c(k) \cdot y_k \cos\left(\frac{\pi k}{N} \left(j + \frac{1}{2}\right)\right), \quad j = 0, 1, K, N-1, \quad 1)$$

а обратное ДКП (ОДКП):

$$y_k = \sqrt{\frac{2}{N}} \sum_{j=0}^{N-1} c(k) \cdot y_k \cos\left(\frac{\pi k}{N} \left(j + \frac{1}{2}\right)\right), \quad j = 0, 1, K, N-1, \quad 2)$$

где:

$$c(k) = \begin{cases} 1/\sqrt{2}, & \text{при } k = 0 \\ 1, & \text{при } k \neq 0 \end{cases}$$

Двумерные ДКП, ОДКП определим соответственно:

$$y_{k,l} = \frac{2}{\sqrt{MN}} c(k) c(l) \sum_{j=0}^{N-1} \cos\left(\frac{\pi k}{N} \left(j + \frac{1}{2}\right)\right) \sum_{m=0}^{M-1} x_{j,m} \cos\left(\frac{\pi l}{M} \left(m + \frac{1}{2}\right)\right), \quad k = 0, 1, K, N-1, \quad l = 0, 1, K, M-1, \quad 3)$$

$$x_{j,m} = \frac{2}{\sqrt{MN}} \sum_{k=0}^{N-1} c(k) \cos\left(\frac{\pi k}{N} \left(j + \frac{1}{2}\right)\right) \sum_{l=0}^{M-1} c(l) \cdot y_{k,l} \cos\left(\frac{\pi l}{M} \left(m + \frac{1}{2}\right)\right), \quad k = 0, 1, K, N-1, \quad l = 0, 1, K, M-1, \quad 4)$$

$c(k)$ определяются так же, как и в 1), 2)

$$m_{k,l} = E(y_{k,l}) = 0, \quad 5)$$

$$\sigma_{k,l}^2 = E(y_{k,l} \cdot y_{k,l}) = \sigma_k^2(N) \cdot \sigma_l^2(M)$$

$$\sigma_k^2(N) = \frac{2}{N} c^2(k) \sum_{j=0}^{N-1} \cos\left(\frac{\pi k}{N} \left(j + \frac{1}{2}\right)\right) \sum_{m=0}^{N-1} \cos\left(\frac{\pi k}{N} \left(m + \frac{1}{2}\right)\right) \cdot \rho^{|m-j|}, \quad 6)$$

$$c(k) = \begin{cases} 1/\sqrt{2}, & \text{при } k = 0 \\ 1, & \text{при } k \neq 0 \end{cases}$$

Преобразовать выражение 6) можно к следующему виду [3]:

$$\sigma_0^2 = \begin{cases} \frac{1+\rho}{1-\rho} + \frac{2\rho(\rho^N-1)}{N(1-\rho)^2}, & \text{при } 0 \leq \rho < 1 \\ N, & \text{при } \rho = 1 \end{cases}$$

$$\sigma_k^2 = \frac{1-\rho^2}{1-2\rho \cdot c_k + \rho^2} + \frac{2\rho((-1)^k \rho^N - 1)(c_k + 1)(\rho - 1)^2}{N(1-2\rho \cdot c_k + \rho^2)^2}, \quad 7)$$

$$c_k = \cos(\pi k/N), \quad k = 1, \dots, N-1$$

В работе [10] показано, что для стационарного марковского процесса первого порядка при значении коэффициента корреляции $\rho = 1$ преобразование ДПКЛ сводится к ДКП-II, а при $\rho = 0$ к ДКП-I. При увеличении длины блока ДПКЛ сводится к ДКП-IV. Базис ДКП не зависит от данных, следовательно, не требуется дополнительной информации для выполнения обратного преобразования. ДКП имеет быстрый алгоритм вычисления и целочисленные аппроксимации.

Вычисление ДКП на конечном множестве отсчётов эквивалентно умножению сигнала на прямоугольный импульс во временной области. Это приводит к искажению спектра сигнала и ухудшению характеристик преобразования, определяющих коэффициент сжатия.

Для уменьшения искажений в частотной области используются различные оконные функции, сглаживающие границы блока данных. Преобразования с перекрытиями позволяют дополнительно увеличить точность представления сигнала в частотной области за счёт использования перекрывающихся блоков данных.

Количество базисных векторов M преобразования с перекрытиями меньше длины базисного вектора L . Коэффициент перекрытия преобразования определяется как $K = L/M$. В [11] приведено описание ортогонального преобразования с перекрытиями. Для этого типа преобразования $M < L \leq 2M$. На практике выбирается $K = 2$.

Модифицированное дискретное косинусное преобразование (МДКП) сохраняет свойство концентрации энергии ДКП, выполняется над перекрывающимися блоками отсчётов сигнала и имеет соотношение между количеством входных и выходных отсчетов 1:1, i -й блок МДКП содержит половину отсчетов $(i-1)$ и половину отсчетов $(i+1)$ блоков. Преобразование одного блока сокращает количество отсчётов в два раза. МДКП вычисляется по формуле:

$$f_j = \sqrt{\frac{2}{N}} \sum_{k=0}^{2M-1} w_k x_k \cos\left[\frac{\pi}{N} \left(j + \frac{1}{2}\right) \left(k + \frac{1}{2} + \frac{N}{2}\right)\right], \quad j = 0, N-1 \quad 8)$$

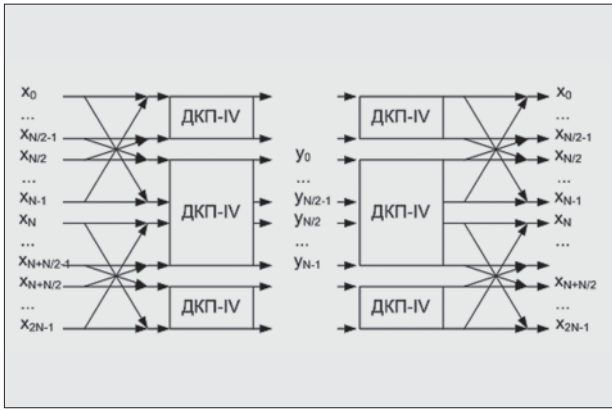


Рис. 1. Схема вычисления МДКП и обратного МДКП

Обратное МДКП вычисляется по формуле:

$$x_k = w_k \sqrt{\frac{2}{N}} \sum_{j=0}^{N-1} f_j \cos \left[\frac{\pi}{N} \left(j + \frac{1}{2} \right) \left(k + \frac{1}{2} + \frac{N}{2} \right) \right], \quad k = \overline{0, 2N-1} \quad (9)$$

где w_k – оконная функция.

Сигнал во временной области точно восстанавливается обратным преобразованием в случае, если для оконной функции выполняется условие Принсена-Брэдли.

$$w_k^2 + w_{k+N}^2 = 1 \quad (10)$$

Этому условию удовлетворяют функции:

$$w_k = \sin \left[\frac{\pi}{2N} \left(k + \frac{1}{2} \right) \right] \quad (11)$$

и

$$w_k = \sin \left(\frac{\pi}{2} \sin^2 \left[\frac{\pi}{2N} \left(k + \frac{1}{2} \right) \right] \right) \quad (12)$$

Для вычисления прямого и обратного МДКП применено дискретное косинусное преобразование ДКП-IV. Прямое и обратное ДКП-IV вычисляется по формулам:

$$\begin{aligned} f_j &= \sum_{k=0}^{N-1} x_k \cos \left[\frac{\pi}{N} \left(j + \frac{1}{2} \right) \left(k + \frac{1}{2} \right) \right]; \\ x_k &= \sum_{j=0}^{N-1} f_j \cos \left[\frac{\pi}{N} \left(k + \frac{1}{2} \right) \left(j + \frac{1}{2} \right) \right]. \end{aligned} \quad (13)$$

Процедуре вычисления ДКП-IV предшествует наложение оконной функции, как это показано на рис. 1. Умножение на оконную функцию и собственно ДКП-IV реализуется с помощью вращений Гивенса [11]. Коэффициенты вращения для окна определяются выражением:

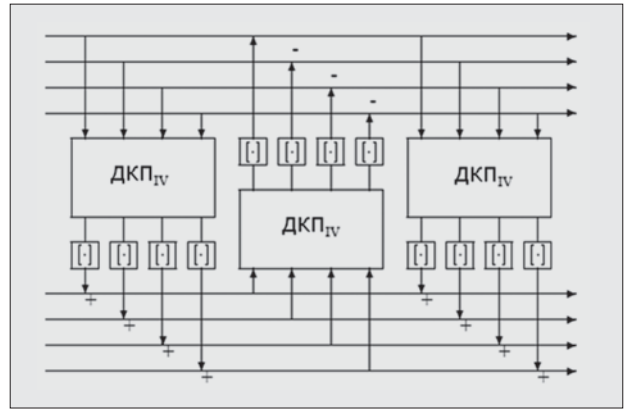


Рис. 2. Целочисленное ДКП-IV

$$a_k = \arctan \left[\frac{w_{\frac{N}{2}-1-k}}{w_{\frac{N}{2}+k}} \right], \quad k = \overline{0, \frac{N}{2}-1} \quad (14)$$

Для обеспечения сжатия без потерь требуется целочисленная аппроксимация МДКП. Целочисленное МДКП основано на факторизации вращений Гивенса. Операция вращения разделяется на три шага и носит название лифтинг [12]:

$$\begin{aligned} \begin{pmatrix} \cos(a) & -\sin(a) \\ \sin(a) & \cos(a) \end{pmatrix} &= \begin{pmatrix} 1 & c_0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ c_1 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & c_0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} = \\ &= \begin{pmatrix} 1 & \frac{\cos(a)-1}{\sin(a)} \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ \sin(a) & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & \frac{\cos(a)-1}{\sin(a)} \\ 0 & 1 \end{pmatrix}. \end{aligned} \quad (15)$$

На каждом шаге производится округление:

- 1) $z = x + [c_0 y]$;
 - 2) $x' = y + [c_1 z]$;
 - 3) $y' = z + [c_0 x']$
- (16)

Лифтинг является обратимой операцией. Значения x' и y' восстанавливаются подстановкой в качестве входных аргументов в 17) значений x и y изменением на противоположный знака угла вращения α в 16). Лифтинг позволяет избежать влияния на результат ошибок округления вычислений.

Процедура лифтинга может использоваться для декомпозиции любой несингулярной чётной матрицы ($2N \times 2N$), по формуле:

$$\begin{pmatrix} T & 0 \\ 0 & T^{-1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -I_N & 0 \\ T^{-1} & I_N \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_N & -T \\ 0 & I_N \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 & I_N \\ I_N & T^{-1} \end{pmatrix} \quad (17)$$

где T – инвертируемая матрица преобразования размерностью,

I_N – единичная матрица размерности $N \times N$.

Обратное и прямое ДКП-IV вычисляются по одинаковым формулам (14).

Следовательно, для вычисления ДКП-IV можно использовать (18):

$$\begin{pmatrix} ДКП_{IV} & 0 \\ 0 & ДКП_{IV} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -I_N & 0 \\ ДКП_{IV} & I_N \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_N & -ДКП_{IV} \\ 0 & I_N \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 & I_N \\ I_N & ДКП_{IV} \end{pmatrix} \quad (18)$$

Возможно вычисление одновременно ДКП для двух блоков данных. Это могут быть блоки двух параллельных каналов или два рядом расположенных блока одного канала.

Упрощенная схема целочисленного ДКП-IV без перестановок и инверсии знаков показана на рис. 2.

Исходные данные разделяются на перекрывающиеся блоки. Каждый блок содержит отсчёты. Соседние блоки перекрываются так, что первая половина отсчётов любого блока одновременно принадлежит предыдущему блоку, а вторая половина отсчётов блока одновременно принадлежит следующему блоку, затем для каждого блока рассчитывается МДКП.

Полученные блоки коэффициентов преобразования группируются в сегменты, состоящие из M перекрывающихся блоков. Вследствие перекрытия блоков декодирование сегмента становится зависимым от данных, содержащихся в соседних сегментах. Для обеспечения независимости декодирования сегментов в начало и в конец сегмента добавлены блоки нулей.

После преобразования всех блоков сегмента коэффициенты преобразования с одинаковыми индексами группируются и кодируются энтропийным кодером независимо друг от друга.

Таким образом, рассмотренное МДКП позволяет дополнительно увеличить точность представления сжатого изображения за счёт использования перекрывающихся блоков данных.

Будем рассматривать методику кодирования, при которой исходное цифровое изображение предварительно разбивается на квадратные фрагменты размером $N \times N$ точек (пикселей), размер таких фрагментов примем равным 8×8 точек, каждый фрагмент обрабатывается при помощи двумерного ДКП.

В свою очередь, двумерное ДКП представляет собой разделимое преобразование, т.е. его вычисление сводится к последовательному выполнению одномерных ДКП.

Такой подход определяет способ вычислений двумерного ДКП, который носит название метода строк и столбцов. При этом сначала вычисляются ДКП для каждого столбца блока элементов изображения, а затем в полученной матрице 8×8 чисел вычисляются ДКП для каждой строки.

В получившейся матрице коэффициентов низкочастотные компоненты расположены ближе к левому верхнему углу, а высокочастотные – справа и внизу. Это важно потому, что большинство графических образов состоит из низкочастотной информации. Высокочастот-

ные компоненты не так важны для передачи изображения. Таким образом, ДКП позволяет определить, какую часть информации можно безболезненно выбросить, не внося серьёзных искажений в картинку.

Применив для вычислений одномерного ДКП быстрый алгоритм, для выполнения двумерного ДКП 8×8 необходимо будет произвести 96 вещественных умножений и 466 вещественных сложений [12]. Диапазон возможных значений, которые могут принимать элементы спектра, после выполнения процедуры кодирования существенно уменьшается, появляется большое количество нулей.

Зададимся двумя уровнями ошибки восстановления $\sqrt{\epsilon_x^2} = 0.1$ (-20 дБ) и $\sqrt{\epsilon_x^2} = 0.05$ (-26 дБ). Зависимость средней энтропии $H^\circ(\text{ДКП})$ элемента спектра (бит) от коэффициента корреляции ρ представлена в табл. 1.

Таблица 1.

ρ	$H^\circ(\text{ДКП})$ $\sqrt{\epsilon_x^2} = 0.1$	$H^\circ(\text{ДКП})$ $\sqrt{\epsilon_x^2} = 0.05$
0,98	0,489	0,884
0,97	0,611	1,18
0,96	0,748	1,45
0,94	1,04	1,93
0,92	1,31	2,29
0,90	1,55	2,57
0,85	2,05	3,02
0,80	2,38	3,33
0,60	3,06	4,03
0,30	3,47	4,46

Анализ данных таблицы свидетельствует о том, что МДКП- спектр очень удобен для сжатия данных. Одной из его особенностей является то, что основной «вес» его составляющих концентрируется в небольшой области вблизи нулевых частот, а амплитуды высокочастотных составляющих или очень малы, или равны нулю. При этом передаются только те коэффициенты, которые превышают пороговую величину, а остальные считаются нулевыми. Введение порога, естественно, приводит к потерям информации и, соответственно, к снижению качества восстановленного изображения, однако, при оптимальном выборе величины порога такое ухудшение окажется практически незаметным.

(Продолжение статьи читайте в следующем номере.)



Графический метод формирования волнового фронта

В. А. Никашин

■ Формирование и преобразование волнового фронта – основная задача оптики как науки. Ещё Френель предложил рассматривать волновой фронт как суммарный, составленный светящимися точечными источниками объекта.

Наиболее полно и эффективно проблема формирования волновых фронтов нашла своё выражение при разработке способов получения объёмных изображений, где методы формирования волнового фронта как при записи, так и при восстановлении требуют ясного физического представления. Проблема получения объёмных изображений имеет давнюю историю, и ей посвящено достаточно много работ и монографий [1–4]. Методом, дающим реальное трёхмерное изображение объекта, в настоящее время является голография, основанная на записи каждой точки объекта как источника вторичных волн, рассеянных объектом. Сферическая волна при взаимодействии с плоской волной от того же источника излучения, падающего на регистрирующую среду, фиксируется в виде зонной решётки Френеля [5].

Таким образом, любая голограмма объекта представляет собой запись суммарного волнового фронта всех точек объекта (с опорной волной), т. е. запись зонных решёток Френеля от каждой точки, наложенных друг на друга. Параметры каждой зонной решётки определяют расположение точки по глубине, т. е. расстояние точки объекта от регистрирующей среды. Точки объекта, расположенные на одном расстоянии от регистрирующей среды, будут иметь одни и те же параметры зонных решёток (кроме расположения «X» и «Y»).

Восстановление волнового фронта голограммы, т. е. освещение её световой волной, близкой к пло-

ской, получение отражённого от объекта (при записи) волнового фронта происходит при отражении волны от зеркальных плоскостей. Эти плоскости образуются в регистрирующей среде при обработке (фиксации интерференционной картины объектного и опорного пучков [6–8], которая работает как дифракционная решётка с переменным шагом).

Вследствие того, что среда фиксирует синусоидальную решётку, мы имеем изображение только первого порядка (т. е. действительное и мнимое изображение).

Суть метода [9] видна из рассмотрения **рис. 1**. Для записи точечного источника (светящейся точки) необходимо в регистрирующей среде сформировать кольцевую канавку треугольного (для простоты объяснения) профиля, которая затем, при освещении ее пучком света, близкому к параллельному, даст изображение светящейся точки на определенном расстоянии от регистрирующей среды.

Из **рис. 1** следует, что расстояние (r) изображения светящейся точки от регистрирующей среды определяется радиусом кольца штриховой канавки (R) и углом наклона плоскостей профиля штриха к нормали в регистрирующей среде ($\text{tg } \alpha$) и имеет зависимость:

$$r = R \times \text{tg}(\alpha)$$

Т. е. можно задавать расположение изображения светящейся точки по глубине, меняя R и α . Причём расположение по глубине (расположение объекта от регистрирующей среды) может быть практически любым, в отличие от голограммы, где глубина ограничивается когерентностью. Для сохранения естественных размеров

объекта без искажений профиль канавки (угол α) для всех точек изображения должен быть одинаков.

В принципе, профиль канавки может быть любым и, как это и рассматривается в голографии, можно использовать фотоэмульсионный слой для получения кольцевой канавки [7] и восстановления изображения светящейся точки. Исходя из этих соображений, можно получить трёхмерное изображение объекта, путем нанесения на регистрирующую среду систему кольцевых канавок (растрограмму), каждая из которых несёт информацию о расположении точек объекта в пространстве, т. е. изменение радиуса кольцевой канавки даёт информацию по глубине, а изменение положения центра кольца даёт координаты X и Y .

Таким образом, кодируя каждую точку объекта одной кольцевой канавкой, мы можем записать информацию о волновом фронте любого объекта и воспроизвести её при восстановлении параллельным или близким к нему пучком света.

Кодирование светящихся точек может осуществляться различными способами. Одним из таких способов может быть разбиение объекта на параллельные плоскости регистрирующей среды. В этом случае все точки объекта в одной плоскости имеют один и тот же радиус, и изменяется только положение центра кольца. Шаг разбиения определяется условием слитности восприятия восстановленного изображения как по глубине, так и по X и Y . Ширина канавки определяется, исходя из яркости восстановленного изображения. Здесь следует учитывать и коллективный эффект воздействия большого числа кольцевых канавок при восстановлении всей растрограммы, что, на наш взгляд, уменьшает снижение яркости от увеличения числа пересечений штрихов при записи большого количества штрихов [8].

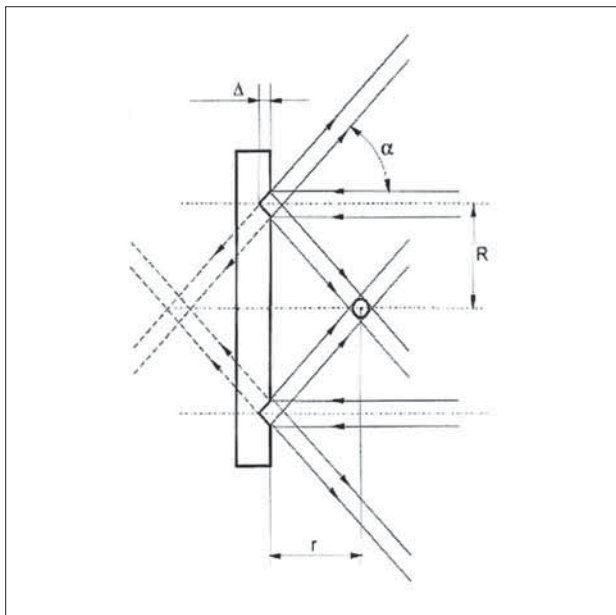


Рис. 1

Экспериментальные результаты

На основании изложенных рассуждений были проведены эксперименты по записи трёхмерных объектов различной формы и глубины. Для проверки принципов выбирались достаточно простые объекты – куб, надписи, разнесённые в пространстве, и т.п. При записи кольцевых канавок подбирались параметры, удовлетворяющие естественному восприятию объекта при восстановлении. Эксперименты по записи проводились вручную (программа для метода не разработана), поэтому технологические параметры были подобраны на пределе возможности исполнения глубины и ширины штрихов и перемещения центров окружностей. Измерения параметров на профилометре дали следующие результаты: ширина 15-20 мкм, глубина 0,5-0,7 мкм. Достигнутый шаг (расстояние между штрихами) – 0,1 мм.

На рис. 2 показана фотография двух ракурсов трёхмерного изображения куба с надписью и со светящимися рёбрами, которые подтверждают правильность рассуждений. Визуальное восприятие записи линии светящихся точек и одной отдельно взятой точки (была сделана запись только вершин куба) имеют почти одинаковую яркость.

Таким образом, в данной работе представлен метод получения трёхмерных изображений с помощью графического построения кольцевых растров (растрограммы), позволяющий получать изображения, подобные голографическим, без использования лазеров и высокоразрешающих регистрирующих сред, основанных на фотоматериалах.

Метод позволяет использовать для регистрации материалы любого типа (стекло, пластмассу, металл, плёнку и т. п.), что может значительно расширить возможности применения трёхмерных изображений.

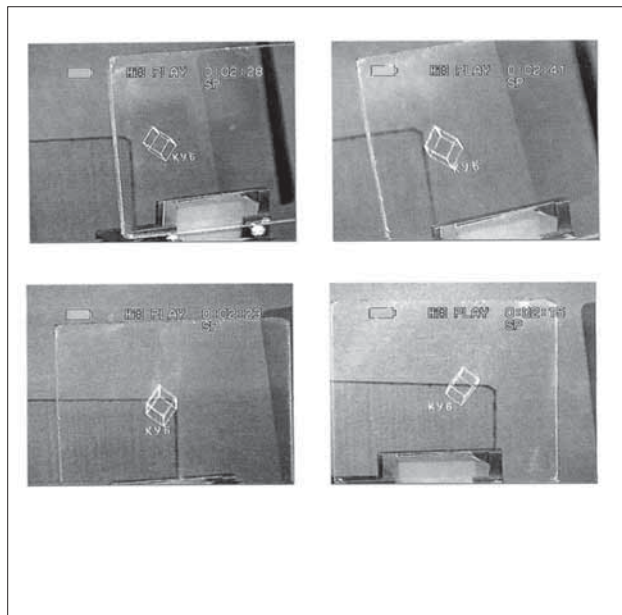


Рис. 2

По принципам метод очень напоминает голографический, но, благодаря использованию для кодирования светящейся точки одной кольцевой зоны, на наш взгляд, не имеет той избыточности информации, которая принципиально заложена в голограмме.

Сравнение описанного метода с методом цифровой голографии [3] показывает преимущество этого метода и в трудоёмкости расчетов на ЭВМ по машинному времени, и в работе по графике.

При графических работах (создание растрограммы больших размеров с последующим уменьшением масштаба) не требуется высокоразрешающих фоторегистрирующих сред, как в цифровой голографии.

Основным достоинством метода является получение трёхмерных изображений без наличия объекта. Это значительно расширяет области применения. К достоинствам метода относится и возможность получения практически любой глубины пространства, т. е. требования к когерентности и мощности источника здесь отсутствуют.

Метод может быть встроены в технологическую цепочку тиражирования рельефных голограмм на этапе получения никелевой матрицы, что позволит получать большое количество копий, не уступающих, а в некоторых случаях, превосходящих оригинал.

При определённых условиях формирования профиля штриха можно получить цветные изображения, но это требует специальных экспериментов. Метод позволяет получать трёхмерные изображения на больших площадях (несколько кв.м), что в голографии возможно только с использованием очень сложной техники, а голограммы площадью более 5 кв.м практически получить невозможно.

Поскольку кодирование положения точки в пространстве осуществляется программно только радиусом и положением центра окружности, появляется возможность решения обратной задачи – получения трёхмерного изображения по плоскому, т. е. при наличии плоского изображения, используя методы компьютерной графики, можно «подобрать» объёмное изображение, близкое к реальному.

Одним из достоинств метода является возможность восстановления как мнимого, так и действительного изображения одновременно, что невозможно сделать в голографии.

Преимуществом метода является также возможность восстановления объекта как в отраженном, так и в проходящем свете.

Одним из важнейших достоинств метода является возможность изменения масштаба объекта.

Кратко перечислим возможные применения метода:

- Получение трёхмерных учебных пособий;
- Рекламные трёхмерные изображения большого размера в витринах;
- Художественные объёмные изображения;

- Создание экранов растрового типа для безочкового стереокино и стереотелевидения;
- Получение трёхмерных изображений проектируемых объектов (зданий, сооружений и т. п.);
- Получение трёхмерных товарных знаков и этикеток;
- Разработка способов защиты ценных бумаг;
- Возможность разработки трёхмерного дисплея;
- Использование метода формирования волнового фронта даёт возможность получения оригинальных оптических элементов;
- При разработке соответствующего программного обеспечения возможно получать трёхмерные изображения с плоского оригинала (например, объёмные портреты);
- Возможность моделирования объёмных физических процессов.

Естественно, это только часть применений, и при дальнейшем совершенствовании этого направления работ области применения могут быть расширены.

В заключении автор хотел бы выразить искреннюю благодарность Р.В. Покровскому, А.Н. Лоцилову и А.Н. Путилину за поддержку, дельные советы и участие в проведении экспериментов.

Литература:

1. Gabor D. Nature. 1948, v. 161, p. 777.
2. Денисюк Ю.Н. ДАН СССР, 1962. Т. 144. №6. С.1275.
3. Ярославский Л.П. и др. Методы цифровой голографии. М.:Наука, 1977. С.103.
4. Валюс Н.А. Спектроскопия, М.: АН СССР, 1972. С. 299.
5. Кольер Р., Беркхард К., Лин Л.. Оптическая голография. М.: Мир, 1973. С.62.
6. Дитчберн Р. Физическая оптика. М.: Наука, 1965. С.183.
7. Ландсберг Г.С. Оптика. М.: ГИЗ технико-теоретической литературы, 1954. С. 147.
8. Зоммерфельд А. Оптика. М.: Иностранная Литература, 1953. С. 298-305.
9. Покровский Р.В., Никашин В.А. Патент РФ № 18117575. Способ получения объёмных изображений. Приоритет 11.11.86.
10. Власов Н.Г., Колейчук В.Ф. Оптическая техника. 1995. №3 (7).



- открытие голографии дало человечеству более совершенный инструмент в познании окружающего мира, в том числе в объяснении работы мозга человека и устройства вселенной;
- зеркало, как идеальная голограмма, может служить эталоном, маяком, направляющим развитие голографической науки и её применений;
- голографическая модель устройства вселенной может оказаться полезной при разработке концепции нанотехнологий.

В какой-то степени эти вопросы являются философскими, но мне представляется, что в нашей науке мы им уделяем мало внимания.

В названии статьи есть иностранное слово «парадигма», которое означает систему взглядов и представлений, в рамках которых мы воспринимаем окружающий мир и предсказываем его поведение в будущем. Однако мир постоянно меняется и правила, которые хорошо «работали» в прошлом, могут стать тормозом к развитию.

Приступив к написанию статьи, я понял, что с названием явно переборщил, оно должно быть скромнее, например, «возможная модель нашей реальности». Признаюсь, что другие модели без слова «голографическая» мне неинтересны. Но почему это должно быть интересно простому человеку, не интересующемуся голографией?

Фактически этот вопрос подразумевает формулировку сути голографической парадигмы (модели). И в чем же она? Я полагаю, что эту суть определяет основ-

Голографическая парадигма мира

В.А. Ванин.
к.т.н., НИИ «ПЛАТАН», г. Фрязино

«Две вещи наполняют душу всё новым и нарастающим удивлением и благословением, чем чаще, чем продолжительнее мы размышляем о них, — звёздное небо надо мной и моральный закон во мне».

Эммануил Кант

■ Эта статья является развитием моей статьи «Изобразительная голография. Ретроспективный обзор и прогноз», опубликованной в № 4 журнала «Мир техники кино».

Я хотел бы продолжить рассмотрение некоторых положений, обозначенных в ней:

ное свойство голограммы, согласно которому полная информация об объекте присутствует в каждой точке голограммы.

Именно это свойство голограммы было решающим для Дэвида Бома и Карла Прибрама, которые выбрали голографическую модель для объяснения устройства вселенной и работы мозга.

И каковы же были причины для такой экзотики? На первый взгляд – не очень существенные. Попробуем разобраться.

Дэвид Бом и голографическая вселенная

Дэвид Бом, физик – теоретик, коллега Эйнштейна

и Бора, занимаясь вопросами плазмы, обнаружил, что при определенных условиях она ведет себя как живое существо. Например, поведение электронов становится организованным, они как бы становятся частью коллективного целого.

Существующая квантовая теория этот эффект не объясняет. Для объяснения поведения электронов в плазме он вводит понятие плазмонов, а вот для устранения принципиальных трудностей квантовой теории в 1952 году вводит понятие «квантового потенциала» – фактически это новый вид поля, действующий на субквантовом уровне. Это поле, как и гравитационное, пронизывает всё пространство. Однако, в отличие от гравитационных, магнитных и других полей, его действие не ослабевает с расстоянием, и его сила распределена равномерно по всему пространству. Развитие гипотезы квантового потенциала привело к тому, что элементарные частицы не являются независимыми «частицами материи», а представляют собой часть неделимого целого, и постулировали целое, как первичную реальность.

Ещё более удивительное свойство квантового потенциала заключается в его связи с локализацией. На уровне нашего обычного опыта вещи обладают вполне конкретной локализацией, однако, в интерпретации Девиды Бомы, на субквантовом уровне, то есть уровне, на котором «работает» квантовый потенциал, локализация отсутствует. Все точки пространства становятся едиными, и говорить о пространственном разделении становится бессмысленным. Физики называют такое свойство пространства «нелокальностью».

Нелокальный аспект квантового потенциала позволил Д. Бому объяснить связь между парными частицами без нарушения специальной теории относительности, запрещающей превышение скорости света. Для пояснения он предлагает следующий пример: представьте себе рыбу, плавающую в аквариуме. Представьте также, что информацию о ней вы получаете через две телевизионные камеры, одна из которых направлена на торец аквариума, а другая смотрит сбоку. Если смотреть на два телевизионных экрана, можно ошибочно предположить, что рыбы на экранах разные. Но, продолжая наблюдать за рыбами, вы в конце концов понимаете, что между ними существует некая связь. Если вы не знакомы с реальностью, можно ошибочно заключить, что рыбы мгновенно координируют свои движения, однако это не так. Никакой мгновенной связи между ними нет, просто на более глубоком уровне реальности – реальности аквариума – существует одна, а не две рыбы. Именно это, отмечает Д. Бом, и происходит с частицами, например, с двумя фотонами, испускаемыми при распаде атома позитрония.

Идея «нелокальности» выходила за рамки существующей квантовой теории. Поэтому она и не была поддержана большинством физиков, но в 1964 году Джон Стюарт Белл, физик-теоретик из швейцарского центра ядерных исследований, получает элегантное математи-

ческое обоснование такого эксперимента, а в 1982 году группа физиков из Института оптики Парижского университета под руководством А. Аспекта проводит такой эксперимент и получает положительный результат.

Продолжая познавать неизвестное, Д. Бом переключается на исследование вопросов порядка и хаоса. По мере углубления в изучаемый предмет он стал понимать, что существуют различные степени порядка. Некоторые вещи более упорядочены, чем другие, причем иерархия порядка бесконечна во вселенной. Из этих наблюдений Д. Бом сделал вывод: то, что нам кажется неупорядоченным, вовсе может и не являться таковым. Возможно, порядок этих вещей имеет «такую бесконечно большую величину», что они только кажутся беспорядочными.

Тем временем русский ученый Юрий Денисюк и американские радиоинженеры Е. Лейт и Ю. Упатниекс опубликовали свои пионерские работы по голографии. Это открытие сильно воодушевило Д. Бому. Наконец он нашел метафору для понимания порядка, которая позволила не только свести воедино все его разрозненные мысли за многие годы, но и предоставила аналитический аппарат в его распоряжение. Этой метафорой была голограмма. Картины, записанные на кусочке голографической плёнки, кажутся хаотичными для невооруженного глаза, однако они обладают скрытым, или свернутым порядком, напоминающим порядок плазмы, состоящей из кажущегося случайным индивидуальным поведением электронов. И это не было единственной блестящей догадкой, полученной с помощью голограммы.

Чем больше Д. Бом думал об этом феномене, тем более он убеждался в том, что вселенная фактически использует голографический принцип в своей работе, да и сама представляет своего рода огромную, плавающую, динамическую голограмму.

Эта мысль в конце концов позволила Д. Бому выкристаллизовать различные догадки в целостную и поражающую своим радикализмом теорию. Свои первые статьи о голографическом характере вселенной Д. Бом опубликовал в начале 1970-х годов, а в 1980 году издал законченный труд под названием «Полнота и имплицитивный порядок». Книга соединяет воедино множество идей и даёт новую картину мироздания.

Скрытый порядок и раскрытая реальность

Одно из самых революционных предположений Д. Бомы заключается в том, что наша осязаемая повседневная реальность на самом деле всего лишь **иллюзия**, наподобие голографического изображения. Под ней находится более глубокий порядок бытия – беспредельный и изначальный уровень реальности, – из которого рождаются все объекты и, в том числе, видимость нашего физического мира. Д. Бом называет этот глубинный уровень реальности имплицитивным (то есть «скрытым») порядком, в то время как наш собственный уровень существования он определяет как эксплицитивный, или «раскрытый» порядок.

Д. Бом использует эти термины потому, что видит проявление всех форм во вселенной как результат бесконечного процесса свёртывания и развёртывания между двумя порядками. Постоянный и динамический обмен между двумя порядками объясняет, как частицы такие как электрон, в атоме позитрония могут превращаться из одного типа в другой. Такие превращения можно рассматривать как свёртывание, скажем, электрона обратно в имплицативный порядок и развёртывание фотона на его месте. Это также объясняет, каким образом квант может проявляться в виде либо частицы, либо волны. Согласно Д. Бому, оба аспекта всегда присутствуют в свёрнутом виде во всём множестве кванта, но способ взаимодействия наблюдателя с этим множеством определяет, какой аспект проявится, а какой останется скрытым. Поскольку термин «голограмма» обычно относится к статичному изображению и не передает динамику и активный характер бесконечных свёртываний и развёртываний, непрерывно создающих нашу вселенную, Д. Бом предпочитает определять вселенную не как голограмму, а как «голодинамику» (holomovement).

Неделимая полнота вещей

Наиболее захватывающим является развитие Д. Бомом идей о полноте, или целостности (wholeness). Поскольку всё в космосе состоит из непрерывной голографической ткани, пропитанной имплицативным порядком, бессмысленно (согласно Д. Бому) говорить о вселенной, состоящей из «частей». Так же бессмысленно было бы говорить о независимо существующих формах гейзера, выходящих из одной скважины. Электрон более не является «элементарной частицей». Это просто ИМЯ, присвоенное некоторому аспекту голодинамики. Разделение реальности на части и затем присвоение имён этим частям всегда произвольно, всегда условно, поскольку элементарные частицы, как и всё во вселенной, существуют не более независимо друг от друга, чем элементы орнамента на ковре.

Это очень глубокий вывод. В своей общей теории относительности Эйнштейн буквально ошеломил мир своим заявлением, что пространство и время – не отдельные, но плавно соединенные сущности, вытекающие как части целого, которое он назвал пространственно-временным континуумом. Д. Бом делает ещё один гигантский шаг вперёд. Он говорит, что всё во вселенной – часть континуума. Несмотря на кажущуюся отдельность вещей на экспликативном уровне, всё представляет собой непрерывно распределённую реальность, в конце концов заканчивающуюся тем, что имплицативные и экспликативные порядки сливаются друг с другом.

Сознание как более тонкая форма материи

Поскольку все вещи являются аспектами голодинамики, Д. Бом полагает, что нет смысла говорить о взаимодействующих сознании и материи. В некотором смысле наблюдатель и есть само наблюдаемое. Фактически, Д. Бом

считает, что сознание – это более тонкая форма материи, и основа для её взаимодействия с другими формами материи лежит не на нашем уровне реальности, а в глубинном имплицативном порядке. Сознание присутствует в разных степенях свёртывания и развёртывания во всей материи – вот почему плазма, например, обладает некоторыми признаками живого существа. Как говорит Д. Бом: «Способность формы быть динамичной – это наиболее характерный признак сознания, и мы уже видим нечто сознательное в поведении электрона». Подобным образом он считает, что разделение вселенной на живые и неживые объекты не имеет смысла. Одушевленная и неодушевленная материя неразрывно связаны друг с другом, и жизнь находится в скрытом состоянии во всей вселенной. Даже камень в некотором смысле живой, говорит Д. Бом, поскольку жизнь и интеллект присутствуют не только в материи, но и в «энергии», «пространстве», «времени», во «всей ткани вселенной» и во всем остальном, что мы абстрактно выделяем из голодинамики и ошибочно рассматриваем как независимо существующие объекты.

Мозг как голограмма

Эта идея принадлежит известному нейрофизиологу, специалисту по изучению мозга Карлу Прибраму. Высказана она была, независимо от работ Девида Бома, в 1966 году, а обстоятельно рассмотрена и обоснована в его монографии «Языки мозга» (1974).

Прибрам понимал, что если голографическую модель мозга довести до логического конца, откроется вероятность того, что объективный мир вовсе не существует, или, по крайней мере, не существует в том виде, в котором мы его наблюдаем. Стало быть, древние мистики были правы, утверждая, что реальность – это «майя», иллюзия, а внешний мир на самом деле – бесконечная звучащая симфония волновых форм, «частотная область», трансформированная в мир и познанная нами только после прохождения через наши органы чувств?

Работы Д. Бома по голографической модели вселенной существенно укрепили его уверенность в правильности выбранного подхода.

Первой загадкой, с которой в начале 1940-х годов столкнулся Прибрам, была природа памяти – в частности, её местонахождение. Тогда господствовало мнение, что хранилище памяти – головной мозг.

Однако многочисленные эксперименты этого не подтверждали. Более того, удаление, например у крыс, до 90% зрительного отдела коры головного мозга не препятствовало выполнению сложной работы по распознаванию образов. Нечувствительность, которую проявляет зрительная область мозга к хирургическому вмешательству, означала, что, зрение, как и память, имеет распределённый характер.

Ознакомившись с теорией голографии, Прибрам начал рассматривать её как возможное объяснение

работы мозга. Природа голограммы как «целого, заключённого в части», вполне могла объяснить, почему удаление большей части коры головного мозга не нарушает способность мозга выполнять зрительные задачи. Если мозг обрабатывает изображения с помощью некоторой внутренней голограммы, даже небольшая часть этой голограммы могла бы восстановить увиденную ранее целую картину. Эта теория также объясняла отсутствие взаимного соответствия между внешним миром и электрической активностью мозга. Действительно, если мозг использует голографический принцип для обработки зрительной информации, взаимное соответствие между изображением и электрической активностью должно быть не больше, чем соответствие между отвлечённой интерференционной картиной на фрагменте голографической плёнки и самим закодированным на плёнке изображением.

Оставалось непонятным, какие волновые явления в мозгу способны создавать такие внутренние голограммы. К этому времени было известно, что в электрическом взаимодействии между нервными клетками мозга или нейронами с необходимостью принимает участие прочая мозговая ткань. Нейроны имеют древовидные разветвления, и когда электрический сигнал достигает конца одного такого разветвления, он распространяется далее в виде волн. Поскольку нейроны тесно прилегают друг к другу, расходящиеся волны постоянно налагаются друг на друга. Когда Прибрам увидел это своим мысленным взором, ему стало ясно, что волны могут создавать бесконечный калейдоскопический ряд интерференционных картин, в которых и коренится адаптированность мозга к принципу голографии.

«Голографический принцип неизменно фигурирует в волновой природе взаимодействия нервных клеток мозга», — пишет Прибрам, осуществляя прямое и обратное преобразование Фурье. Голографическая теория достаточно хорошо объясняет и другие «способности» мозга, такие как:

- большая ёмкость памяти, её ассоциативность и способность моментально узнавать знакомые предметы;
- фантомные ощущения;
- способность забывать и вспоминать.

В заключение этого краткого эссе о голографическом характере деятельности мозга хочу привести характерный пример практического применения теории Прибрама в системах «голографического звука».

Основываясь на голографической модели мозга, аргентинский физиолог Хьюго Цукарелли разработал новую систему записи, позволяющую создавать голограммы из звука, а не из света. Метод Цукарелли основан на том любопытном факте, что сами уши человека в действительности издают звук. Увидев, что эти природные

звуки являются аудиоэквивалентом «опорного лазера», используемого для воссоздания голографического образа, он использовал их как базис для совершенно нового метода записи, воспроизводящего звуки ещё более реалистичным, трёхмерным методом, чем посредством стереосистемы. Этот новый вид звука Цукарелли назвал «голографическим».

Кстати замечу, что в 1979 году Б.Г. Турухано сделал блестящее предположение, что и дельфины и летучие мыши для распознавания мелких объектов производят синтез апертуры за счёт запоминания в мозгу фазированной картины, образованной интерференцией, отражённой от предмета, и вспомогательными волнами, отражёнными от внутреннего ультразвукового источника. Фактически речь идёт о динамической синтезированной голограмме.

Теория физического вакуума и торсионные поля

Теоретическим обоснованием структуры вселенной, описанной Бомом, может стать теория физического вакуума, предложенная Г.И. Шиповым в 1997 году, который продолжил работы А. Эйнштейна в области общей теории поля. В основе его теории лежит вращательная механика Декарта, который утверждал, что любое движение есть вращение.

В механике Декарта (торсионной механике) отсутствует понятие инерциальной системы отсчёта, в ней допускается движение изолированных систем под действием внутренних сил. В качестве таких сил выступают силы инерции, которые, как известно, не подчиняются третьему закону механики Ньютона.

Эта теория, в частности, предсказывает и описывает свойства торсионных полей, которые сопутствуют всем мыслимым формам реальности (как материи, так и сознания).

Появление торсионных полей связано с вращением элементарных частиц, что называется торсией или скручиванием и вызывает вращение самих пространств и времени.

Некоторые свойства торсионных полей:

- в противоположность гравитационному и электромагнитному полям, торсионные поля сугубо нелинейны, в частности, наложение двух разных торсионных полей не всегда в результате даёт торсионное поле. Они могут быть генерированы за счёт определённой геометрической формы или мыслеформы, т. е. они имеют подчеркнuto информационный характер;
- торсионный сигнал распространяется мгновенно и проходит через любые преграды без затрат энергии, поскольку торсионное поле асимметрично, а его квант, называемый «фитон», не обладает массой;
- частицы, имеющие одинаковые спины, притягиваются друг к другу.

Торсионное поле по своим свойствам фактически идентично полю квантового потенциала, введенного Д. Бомом для объяснения свойств субатомного мира и вселенной в целом. По этой причине интересны выводы, сделанные г-ном Шиповым из анализа уравнений своей теории.

Существуют три мира – мир Высшей реальности, Тонкоматериальный и Грубоматериальный миры. Парадигма Ньютона касается только Грубоматериального мира, который включает в себя твёрдые тела, жидкости, газы и элементарные частицы, т. е. то, что мы называем материей.

Уравнения Тонкоматериального мира описывают объекты, которые по своим свойствам разительно отличаются от материальных и, скорее, представляют собой Праматерию, предшествующую рождению материи из вакуума. В отличие от Грубоматериального мира, имеющего энергетическую природу, Тонкоматериальный мир – это мир информации, отвечающий за эволюцию Грубоматериального мира.

Предполагается, что такие психофизические явления, как биогравитация, телекинез проявляются за счёт изменения массы, путём психофизического влияния на вращение элементарных частиц внутри различных объектов. Это влияние определяется сознанием оператора, поскольку различные органы человека, включая головной мозг, представляют собой своеобразные торсионные генераторы, способные воздействовать на вращение элементарных частиц, из которых состоят все органические и неорганические массы.

Особое место в парадигме Декарта занимает мир Высшей реальности – мир законов. Этот мир представляет собой не только своеобразный «банк данных», по которым строится Реальность, но и указывает на существование Творца, не познаваемого научными методами.

Заключение

Итак, древняя идея, вошедшая в той или иной мере во все мировые философские и метафизические системы, сделала полный круг. Но если прозрения предков могли привести к изобретению голограммы, а изобретение голограммы привело к формулированию голографической модели вселенной, то к каким новым открытиям ведёт сама модель? Выводы из этой модели очень интересны, необычны и касаются буквально всех сторон нашей жизни – не только чистой науки, но и общественного бытия. Вот, например:

- если физическое тело не более чем голографическая проекция нашего сознания, становится ясным, что каждый из нас более ответственен за своё здоровье, чем это позволяют достижения медицины;
- глубокий вывод из теории Д. Бома заключается в том, что всё во вселенной – часть континуума.

К сожалению, мы, люди, разделяем целое даже не на части, а на фрагменты, тем самым разрушая гармонию нашего мира;

- коллективное сознание – это огромная созидательная или разрушительная сила, выбор за нами. Природой мы наделены свободой воли.

В поддержку этого вывода приведу слова уже цитируемого Эммануила Канта: «...Высшее нравственное благо не может быть осуществлено исключительно посредством стремления отдельного человека к его собственному моральному совершенству, а требует объединения людей в одно целое ради той же цели, т. е. системы благомыслящих людей, в которой и благодаря единству которой это благо только и может осуществиться...»

И, наконец, подведём итог развитию положений, обозначенных в начале статьи:

- голография выполняет свою историческую миссию: помогает сменить существующую научную парадигму мира, способствуя тем самым дальнейшему развитию науки;
- голографическая модель организации природы вместе с теорией торсионных полей может оказаться полезной в разработке методик создания различного рода наноструктур;
- ничто не мешает сделать зеркало, которое будет не только отражать мир настоящего, но и миры прошлого и будущего (своеобразное зеркало Воланда), теория г-на Шипова этому не препятствует.

Литература

1. Денисюк Ю. Н. Принципы голографии. Л., ГОИ. 1978.
2. Прибрам К. Языки мозга. Издательство Прогресс, М.: 1975.
3. Фактор Д. Развёртывающееся значение. Три дня диалогов с Дэвидом Бомом. Пер. с английского М. Немцова.
4. Кришнамурти Дж. О самом важном. Беседа с Д. Бомом. 1996//www.koob.ru
5. Талбот М. Голографическая Вселенная. М.: София. 2004.
6. Демидов В. Как мы видим то, что видим. М.: Знание. 1979.
7. Тихоплав В. Ю., Тихоплав Т. С. Новая физика веры. СПб.: Крылов. 2007.
8. Всесоюзный семинар. «Юрий Николаевич Денисюк – основоположник отечественной голографии» (сборник трудов). ИТЦ СПб. ГУ ИТМО. 2007.
9. В. А. Ванин. Изобразительная голография: ретроспективный обзор и прогноз//«Мир техники кино». 2007. №4.



Математическая модель преобразования сигнала при дискретизации изображения

В.А. Сычёв,
к. т. н., ОАО НИКФИ

■ Одной из задач математического моделирования является замена физического эксперимента (часто трудоёмкого и дорогостоящего) расчётным определением исследуемых параметров процесса. В статье предлагаются уравнения для анализа частотно-контрастных характеристик и артефактов процесса дискретизации изображений цифровыми матричными устройствами (фильм-сканерами, фото- и видеокамерами). В последние десятилетия подробно разработана теория дискретных преобразований и частотного анализа на ограниченных интервалах [1, 2]. Данная работа предлагает модель, позволяющую сформировать массивы данных для дальнейшего анализа известными методами.

Рассмотрим регистрацию информации фотографического кадра светочувствительной матрицей размера $L \times H$ с прямоугольной формой пикселей, расположение и геометрические размеры которых указаны на **рис. 1**. Обозначим период матрицы по осям x и y переменными d_x , d_y , размер фотоприёмника – h_x , h_y . Количество пикселей связано с размерами матрицы соотношениями:

$$L = Nd_x \quad 1)$$

$$H = Md_y \quad 2)$$

где N и M – количество пикселей по горизонтали и вертикали.

Пусть n и m – порядковые номера пикселя по осям x и y соответственно. Тогда координаты точки внутри пикселя определяются неравенствами:

$$0 < x - nd_x < h_x \quad 3)$$

$$0 < y - md_y < h_y \quad 4)$$

Введём функцию $Pix(x, y, h_x, h_y)$, определяющую принадлежность точки на плоскости пикселу с индексами $(0; 0)$:

$$Pix(x, y, h_x, h_y) = \begin{cases} 1, & 0 < x < h_x, 0 < y < h_y \\ 0, & \text{иначе} \end{cases} \quad 5)$$

Тогда совокупность точек $Grid(x, y)$, принимающих участие в регистрации светового излучения, можно представить выражением:

$$Grid(x, y) = \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{m=0}^{M-1} Pix(x - nd_x, y - md_y, h_x, h_y) \quad 7)$$

Подаём на матрицу синусоидальный сигнал. Синусоидальное распределение может иметь световой поток (яркостная решётка) или плотность тестового объекта,

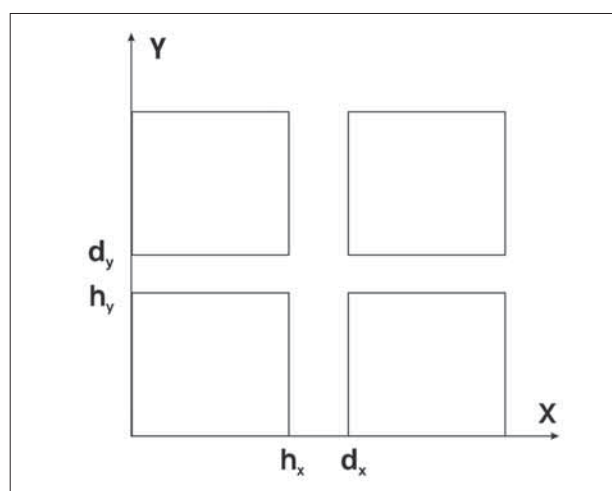


Рис. 1

модулирующего равномерный световой поток (плотностная решётка). Соответствующие выражения для сигналов $F(x, y)$, попадающих на матрицу, приведены ниже:

$$F(x, y) = A \sin \omega x + B, \quad \text{яркостная решетка} \quad 8)$$

$$F(x, y) = 10^{-(A \sin \omega x + B)}, \quad \text{плотностная решетка} \quad 9)$$

Для сигнала, повернутого к системе координат матрицы на произвольный угол α , в выражениях 8) и 9) делаем подстановку:

$$x' = x \cos \alpha + y \sin \alpha \quad 10)$$

Получаем:

$$F(x, y) = A \sin \omega(x \cos \alpha + y \sin \alpha) + B \quad 11)$$

$$F(x, y) = 10^{-(A \sin \omega(x \cos \alpha + y \sin \alpha) + B)} \quad 12)$$

При этом сигнал $Signal(n, m)$, регистрируемый пикселем (n, m) , будет равен:

$$Signal(n, m) = \frac{1}{S} \int_0^L \int_0^H F(x, y) \cdot Pix(x - nd_x, y - md_y, h_x, h_y) dx dy \quad 13)$$

где:

S – площадь пиксела.

Для прямоугольного пиксела выражение 13) можно упростить:

$$Signal(n, m) = \frac{1}{h_x h_y} \int_{nd_x}^{nd_x+h_x} \int_{md_y}^{md_y+h_y} F(x, y) dx dy \quad 14)$$

Результатом анализа является двумерный массив отсчётов $Image(x, y)$, соответствующий виртуальному изображению следующего вида:

$$Image(x, y) = Pix(x - nd_x, y - md_y, h'_x, h'_y) Signal(n, m) \quad 15)$$

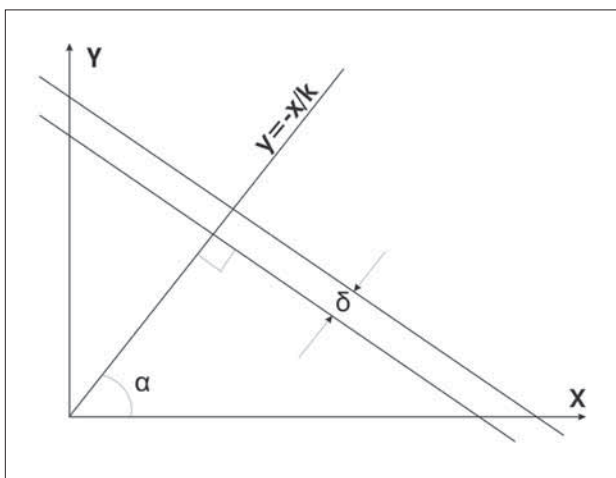


Рис. 2

Где:

$$n = \text{int}\left(\frac{x}{d_x}\right), \quad m = \text{int}\left(\frac{y}{d_y}\right) \quad 15.1)$$

Это «идеальное» изображение соответствует предельному разрешению для данных условий анализа, при котором синтез осуществляется матрицей с таким же количеством, расположением и формой элементов, как в светочувствительной матрице, и линейной градационной передачей. Отметим, что размеры пикселей могут при этом отличаться (h_x, h_y и h'_x, h'_y). Поскольку нас интересуют частотные характеристики аналитической стадии, в модели не учитывается высокочастотная фильтрация в оптических системах устройства воспроизведения и глаза.

Для оценки передачи модуляции рассмотрим изображение, формируемое пикселями, попадающими в полосу шириной δ , направленную вдоль исходной синусоидальной решётки. Функция полосы $Strip(x, y, i, \alpha, \delta)$, находящейся на расстоянии $i\delta$ от начала координат и перпендикулярной лучу, образуемому с осью x углом α (рис. 2):

$$Strip(x, y, i, \alpha, \delta) = \begin{cases} 1, & 0 < y - kx - i\delta\sqrt{k^2 + 1} < \delta\sqrt{k^2 + 1} \\ 0, & \text{иначе} \end{cases} \quad 16)$$

где: $k = -\text{ctg}\alpha, \alpha \neq 0, \alpha \neq 90^\circ$.

Для $\alpha=0$ и $\alpha=90^\circ$ функция полосы выглядит следующим образом:

$$Strip(x, y, i, 0, \delta) = \begin{cases} 1, & 0 < x - i\delta < \delta \\ 0, & \text{иначе} \end{cases} \quad 16.1)$$

$$Strip(x, y, i, 90^\circ, \delta) = \begin{cases} 1, & 0 < y - i\delta < \delta \\ 0, & \text{иначе} \end{cases} \quad 16.2)$$

Световой поток $E(i)$, излучаемый пикселями i -й полосы:

$$E(i) = \int_0^L \int_0^H Image(x, y) \cdot Strip(x, y, i, \alpha, \delta) dx dy \quad 17)$$

Длина полосы SL в пределах матрицы в зависимости от её расположения определяется выражениями:

$$\begin{aligned} SL &= -i\delta(k+1/k) \\ SL &= SL + (Y-H) \frac{\sqrt{1+k^2}}{k}, \quad \text{если } Y = \frac{i\delta}{\sin \alpha} > H \\ SL &= SL - (X-L) \sqrt{1+k^2}, \quad \text{если } X = \frac{i\delta}{\cos \alpha} > L \end{aligned} \quad 18)$$

Тогда средняя яркость по i -й полосе:

$$\overline{E(i)} = \frac{E(i)}{SL \cdot \delta}, \quad \text{где } i \neq 0 \quad 19)$$

Логарифмированное значение средней яркости полосы, являющееся аналогом фотографической плотности формируемого изображения, определяем как:

$$\overline{D(i)} = -\lg \frac{\overline{E(i)}}{E_0} \quad 20)$$

где:

$$E_0 = (A+B) \frac{h_x h_y}{d_x d_y} \quad \text{для яркостного сигнала;}$$

$$E_0 = 10^{A-B} \frac{h_x h_y}{d_x d_y} \quad \text{для плотностного сигнала.}$$

Восстанавливая по полученным отсчётам $\overline{E(i)}$ или $\overline{D(i)}$ синусоидальный сигнал $F'(x,y)$, получаем искомую амплитудно-частотную зависимость.

Таким образом, предложена математическая модель, описывающая преобразование сигнала при дискретизации изображения. Отметим, что для простоты в статье рассмотрена прямоугольная форма пиксела матриц. Прямоугольная форма может быть изменена на любую другую, например, мозаичную, путём замены выражений 3), 5) и 15.1).

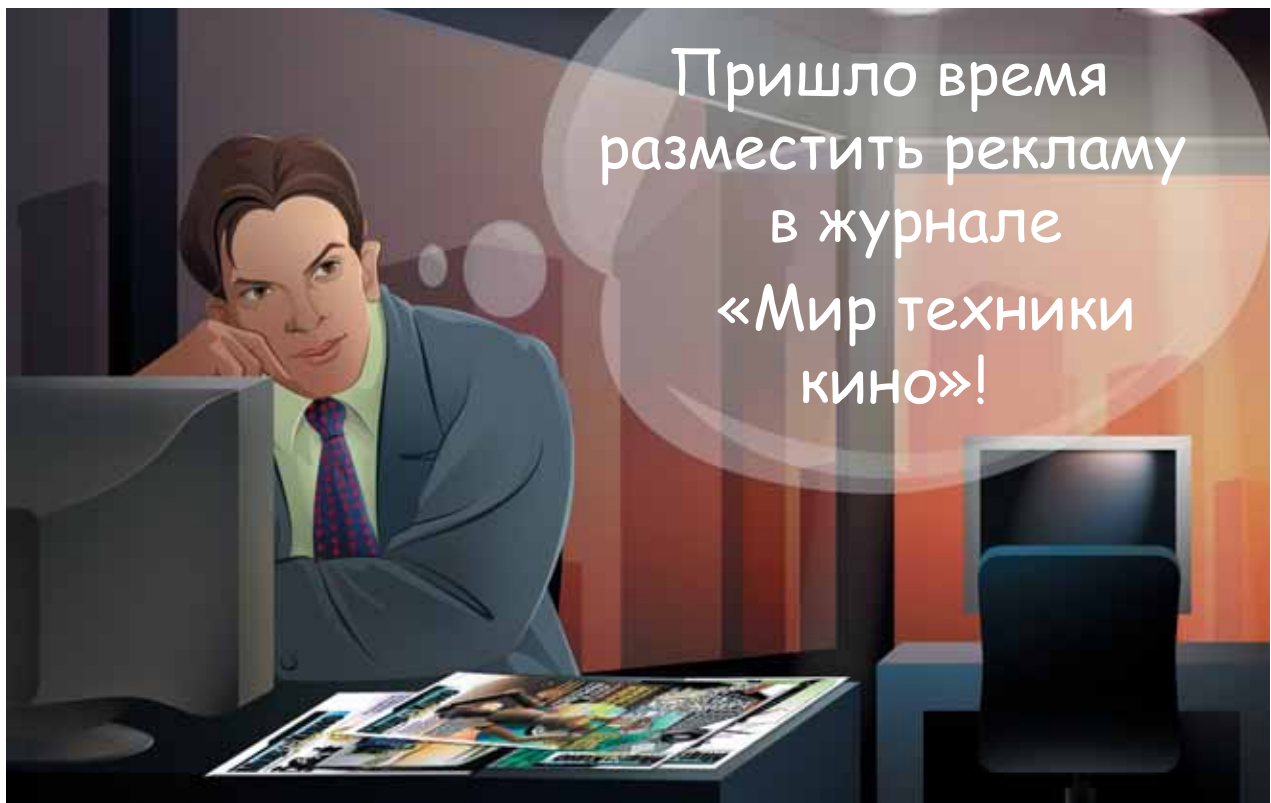
Данная модель может быть использована не только для исследования искажений, вносимых аналого-циф-

ровым преобразованием изображений, но и для разработки испытательных таблиц и анализа результатов тестирования. Модель может быть также полезна для оптимизации и согласования параметров аналитической и синтетической стадий проектируемых систем.

Литература:

1. Быков Р.Е. и др. Цифровое преобразование изображений. М.: Горячая линия – Телеком, 2003.
2. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов. СПб.: Питер, 2002.
3. Разрешающая способность – теория. CCD vs. SuperCCD vs. Плёнка – fotozoom.ru.

(Продолжение читайте в следующем номере).



Расценки на рекламу в журнале «МИР ТЕХНИКИ КИНО»

Стоимость рекламы – на обложке: 2-я сторона – 56 000 руб., 3-я сторона – 42 000 руб., 4-я сторона – 56 000 руб. Скидки, если реклама оплачивается сразу: в 4 номера – 30 %, в 3 номера – 25 %, в 2 номера – 20 %. 1/2 полосы – 23 800 руб., 1/4 – 11 200 руб., 1/8 – 7000 руб., 1/16 – 3360 руб.

Для размещения рекламы просим прислать гарантийное письмо с Вашими реквизитами по адресу: kevin@paradiz.ru или 125 167, Москва, Ленинградский проспект, д. 47, ОАО НИКФИ, офис 920А, на основании которого будет выставлен счёт.



Экология

Экология экранного цифрового киноизображения

экранного цифрового киноизображения

А. С. Блохин,
к. т. н., ОАО НИКФИ

1. Анализ влияния технологий преобразования «сигнал – свет» на зрительный анализатор человека

Степень утомляемости зрителя при просмотре экранного цифрового киноизображения является наименее изученной в связи с тем, что небольшое время, прошедшее с момента начала массового внедрения электронного цифрового кинематографа, не позволило накопить достаточное количество данных для статистического анализа.

В связи с этим фактор утомляемости зрителя при просмотре программ электронного кинематографа может оцениваться преимущественно на основе общих закономерностей воздействия импульсных световых потоков на зрительный анализатор, характерных для телевизионных и компьютерных систем отображения визуальной информации.

При этом, как следует из опыта эксплуатации телевизионных систем, большое влияние на утомляемость зрительного анализатора оказывает отношение «мгновенной» яркости элемента изображения к средней яркости кадра.

Для дальнейшего анализа примем некоторые произвольные допущения, которые позволяют упростить понимание вопроса утомляемости, не оказывая при этом принципиального влияния на результаты анализа.

Допустим, что каждый элемент изображения «разгорается» и «затухает» за произвольно малый промежуток времени. Тогда, в соответствии с законом Тальбота, визуально воспринимаемая яркость изображения будет пропорциональна произведению «мгновенной» яркости элементов изображения на длительность их свечения.

Очевидно, что необходимая визуальная яркость изображения может быть получена при малой длительности свечения элемента и большой «мгновенной» ярко-

сти и, наоборот, при большой длительности и малой «мгновенной» яркости.

В телевизионных и компьютерных системах при наблюдении изображения на экране кинескопа «мгновенная» яркость элемента превышает среднюю яркость в несколько раз при длительности свечения элемента изображения в десятки миллисекунд, при этом обеспечивается достаточно низкая утомляемость зрителя.

Известны эксперименты по формированию телевизионного изображения при помощи системы сканирующих лучей газовых лазеров, которые проводились автором в начале 70-х годов в Московском научно-исследовательском телевизионном институте. Длительность свечения элемента изображения при этом определялась только временем нахождения лазерного луча в геометрическом месте этого элемента и составляла около 50 нс. При такой длительности свечения мгновенная яркость элемента изображения превышала среднее значение в 50.000-100.000 раз.

Наблюдение такого изображения в условиях, приближенных к типичным условиям просмотра телевизионных программ, показало повышенную утомляемость зрителя после нескольких минут просмотра, часто сопровождающееся головной болью и ухудшением общего состояния.

Исходя из результатов описанных экспериментов, можно сделать следующий вывод:

Увеличение «мгновенной» яркости элемента изображения при одновременном снижении длительности его свечения может приводить к повышенной утомляемости зрительного анализатора в процессе внутрикадрового синтеза изображения.

Рассмотрим соотношение «мгновенной» и средней яркости элемента изображения в различных преобразователях «сигнал – свет».

LCD матрицы современного технологического уровня характеризуются временем «послесвечения» каждого элемента порядка 10 мс, которое определяется инерционностью движения молекул нематика.

Такое относительно большое время послесвечения может привести к появлению ложных изображений (артефактов) при наличии быстрой динамики в сюжете, что является принципиальным недостатком технологии LCD при её использовании в электронном кинематографе.

С другой стороны, соотношение «мгновенной» и средней яркости элемента изображения в LCD преобразователях близко к единице, что является оптимальным с точки зрения снижения утомляемости зрителя.

D-ILA технологии обеспечивают несколько меньшее время послесвечения (около 5 мс), что немного увеличивает соотношение «мгновенной» и средней яркости, сохраняя, впрочем, достаточно малую утомляемость зрителя при возможности неискаженного воспроизведения сюжетов с высокой динамикой.

В DMD технологии модуляция яркости элемента изображения осуществляется изменением количества световых импульсов, посылаемых отклоняющимся микрорезеркалом в объектив. Длительность таких импульсов составляет единицы микросекунд, при этом «мгновенная» яркость элемента превышает среднюю яркость в несколько сотен раз. Очевидно, что столь малая инерционность преобразователей DMD может обеспечить полное отсутствие ложных контуров и смазывания изображения в сюжетах с высокой динамикой, однако утомляемость зрителя при наблюдении изображений, формируемых DMD преобразователями, будет выше, чем у преобразователей LCD и D-ILA технологий.

Таким образом, для всех известных в настоящее время технологий преобразования «сигнал–свет» предлагается классификация по степени увеличения нагрузок на зрительный анализатор человека:

- LCD и D-ILA технологии – малые нагрузки;
- DMD технология – увеличенные нагрузки;
- лазерная сканирующая технология – высокие нагрузки.

2. Особенности восприятия цифрового киноизображения

Технология формирования цветного изображения в преобразователях «сигнал–свет» оказывает существенное влияние на восприятие цветности изображения в системах электронного кинематографа. В настоящее время в указанных преобразователях используются, в основном, две технологии:

1. Технология одновременной передачи всех трёх цветных компонентов каждого элемента изображения.

Эта технология состоит в том, что цветность каждого элемента изображения на экране формируется в один и тот же момент времени и сохраняется неизменной

в течение развёртки полного кадра изображения. Реализация этой технологии происходит при сложении одновременно формируемых в соответствующих матрицах трёх цветоделенных изображений в одно цветное. Такое сложение осуществляется в специальном оптическом элементе – цветоскладывающем кубе. Куб состоит из четырёх склеенных прямоугольных призм, на внутренние грани которых нанесены дихроичные покрытия, имеющие определённые спектральные характеристики пропускания и отражения света. Три цветоделённых световых потока – красный, зелёный и синий, пройдя через такой куб, складываются в единый поток с минимальными световыми потерями. Таким образом, каждый элемент изображения получает свои цветовые характеристики, сохраняющиеся в течение длительности одного кадра изображения.

2. Технология последовательной цветопередачи каждого цветового компонента изображения.

Такая технология используется исключительно в одноматричных DMD преобразователях «сигнал–свет». При последовательной цветопередаче каждый цветной кадр изображения формируется при последовательной проекции красной, зелёной и синей составляющими цветного изображения. Для реализации такой проекции используется вращающийся диск с тремя светофильтрами – красным, зелёным и синим.

Каждый элемент изображения на экране при этом последовательно изменяет свой цвет в течение развёртки одного кадра. Синтез цветного изображения в этом случае происходит в зрительном анализаторе человека.

Очевидно, что система последовательной цветопередачи может создавать артефакты в виде тянущихся цветовых окантовок движущихся объектов. Кроме этого, цветовая палитра в технологии последовательной цветопередачи в значительной степени определяется субъективными свойствами каждого зрителя (по аналогии с цветоощущениями в круге Бенхэма) и создаёт повышенную нагрузку на зрительный анализатор, заставляя его работать в несвойственном для него режиме синтеза цветного изображения, состоящего из трёх следующих друг за другом цветоделённых изображений.

В середине 2003 г. в технической литературе появились сообщения о том, что наблюдение изображений, формируемых некоторыми моделями DLP-видеопроекторов (имеются в виду одночиповые DLP-видеопроекторы), приводит к повышенной утомляемости зрительного анализатора, а иногда сопровождается головокружением и общим ухудшением самочувствия. Кроме того, цветопередача этих видеопроекторов в значительной степени зависит от зрителя, т.е. носит выраженный субъективный характер. Делаются попытки объяснить эти явления используемым в одночиповых DLP-видеопроекторах методом последовательной передачи основных цветов, для чего используется вращающийся диск с прозрачными светофильтрами, окрашенными в синий, зелёный

и красный цвета. В некоторых моделях однокиповых DLP-видеопроекторов дополнительно к указанным цветным светофильтрам добавлен прозрачный сектор, что при некоторых условиях обеспечивает увеличение светового потока проектора на 15% – 20%.

Метод последовательной передачи цветов рассматривался в середине 20 столетия в качестве одного из принципов построения системы цветного телевидения. Эксперименты с последовательной передачей цветов показали, что этот метод имеет серьезные принципиальные недостатки, основным из которых является неизбежное появление цветных окантовок на движущихся предметах (расслоение цветов). Кроме того, последовательная передача цветов приводит к неадекватности цветových ощущений у различных зрителей. По этим причинам метод последовательной передачи цветов был признан непригодным для перспективных систем цветного телевидения. Можно сделать вывод, что использование последовательной передачи цветов в однокиповых DLP-видеопроекторах будет приводить к неизбежному появлению указанных недостатков.

Учитывая изложенное, можно заключить, что технология последовательной цветопередачи и использующие ее одноматричные DMD преобразователи сигнал-свет, не могут быть рекомендованы для применения в электронной проекции кинофильмов.

3. Результаты практических исследований одноматричных DLP-проекторов

Прежде чем перейти к устройству проекторов, вспомним основы физиологии зрения. Известно, что за зрение отвечают не только глаза – это совместная работа глаз и головного мозга. Зрение человека инерционно, время инерции примерно 1/25 с, на этом явлении построен современный кинематограф. Кроме инерционности, человеческое зрение обладает способностью суммирования по цветам и по времени, или интегральными свойствами. Интегрирование по цвету заключается в том, что три разных цвета (Red (красный), Green (зелёный) и Blue (синий) – RGB), показанных одновременно, человек воспринимает как один смешанный. Любой оттенок можно воспроизвести, комбинируя эти три основных цвета. Интегрирование по времени заключается в том, что одна и та же точка на экране, светящаяся в течение 1 мс, будет казаться ярче в 10 раз, чем точка, светящаяся в течение 0,1 мс. В DLP-проекторах используются обе интегральные способности зрения человека: на экран последовательно «выводят» основные цвета (RGB) в течение разного времени, передавая изображение желаемого цвета и яркости.

Чем дальше микрозеркало находится в положении «включено», тем ярче человеку кажется этот пиксел. При этом понятно, что реальная яркость точки на экране неизменна, меняется только продолжительность её свечения. Живое существо с другой физиологией зрения увидит просто набор коротких вспышек чистых цветов

(красный, зелёный, синий), причем все вспышки одного цвета будут иметь одинаковую яркость.

При сравнении различных проекторов, потребителей обычно впечатляет качество и невысокая цена однокиповых DLP-проекторов, однако, при особенно длительном просмотре многие люди жалуются на усталость и головную боль от такого «механического цветового» телевидения, поэтому относиться к DLP-проекторам следует с осторожностью [1].

Остановимся подробнее на принципе работы однокиповых DLP-проекторов (рис. 1). С целью воспроизведения цветной картинки такие проекторы передают на экран в течение очень короткого времени последовательно красное (R), зелёное (G) и синее (B) изображения. Интегрированное цветное изображение, ещё раз подчеркиваю, воссоздается только в голове человека, но не на экране. Последовательная передача цветов происходит с помощью цветного колеса, состоящего из трёх цветных секторов-фильтров (рис. 2). Колесо первых проекторов вращалось с частотой 60 оборотов в секунду, или 3600 оборотов в минуту. Проекторы с такими колёсами в специальной литературе обозначаются как проекторы с однократной скоростью (1x).

Практически все современные проекторы имеют колесо с удвоенной частотой вращения (2x), т. е. 7200 оборотов в минуту. Появление проекторов с реальной тройной частотой вращения – 10800 оборотов в минуту –

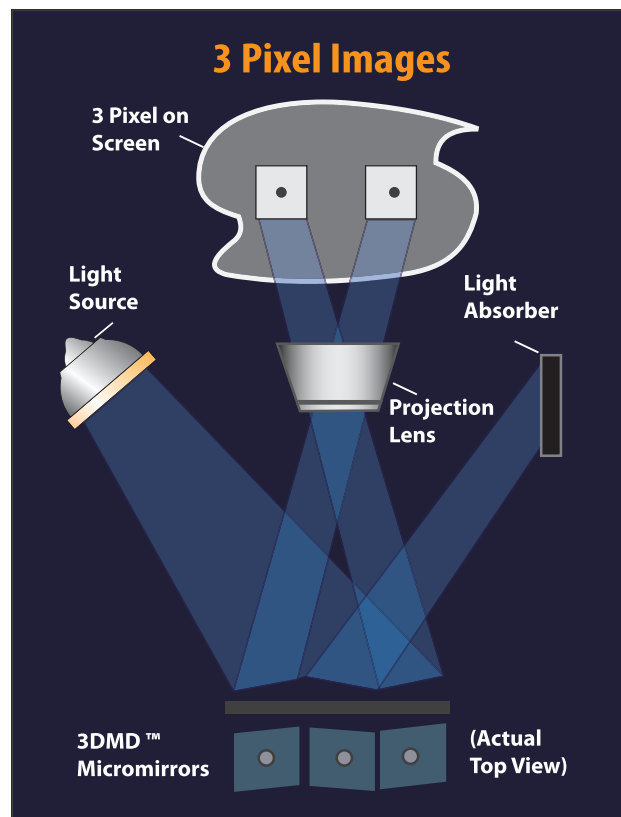


Рис. 1. Формирование изображения в DLP-проекторе

маловероятно, так как технически сложно изготовить цветное колесо требуемой прочности и малозумные подшипники, работающие длительное время на таких частотах. Однако выпускаются проекторы со скоростью 4х. Реально эти проекторы имеют колесо с удвоенной частотой вращения, но не с тремя цветными секторами, а с шестью. Все это делается для уменьшения времени формирования цветной точки, которое на проекторах 1х и 2х происходит за один оборот колеса – соответственно за 17 и 8 мс, а для проекторов 4х – за пол-оборота, т. е. за 4 мс (рис. 3).

С какой целью создатели стремятся сократить время формирования цветной точки? Для уменьшения эффекта «радуги», который заключается в том, что человек видит вместо однотонного цвета различные цветные вспышки. В первую очередь это относится к людям молодым, у которых хорошее быстродействие зрения. Часто такие вспышки можно заметить, если быстро переводить взгляд с одного участка изображения на другое, например, по диагонали, или просто быстро махать перед глазами ладонью с раздвинутыми пальцами. Причина эффекта – в последовательном формировании цвета. Предположим, у нас есть изображение с белым фоном, например, электронная таблица или текстовый файл, а на колесе секторы находятся в таком порядке: красный – зелёный – синий. Если мы посмотрим на левый нижний угол и в момент прохождения зелёного сегмента переведём взгляд на правый верхний угол и обратно, то нам может показаться, что первый угол не белый, а цветной с нехваткой синего, и второй угол тоже цветной с нехваткой зелёного. Когда мы машем ладонью перед глазами, то в момент прохождения одного из цветных секторов пальцы закрывают от нас на короткое время фрагмент изображения, вырезая одну из цветовых составляющих.

Анализ работы одного из инсталлированных одночиповых проекторов показал следующее. Изображение нормальное – яркое и контрастное – никаких замечаний. Но примерно через 40 мин. у всех зрителей появились какие-то неприятные ощущения в глазах: жжение, резь, головная боль. И это случилось с молодыми здоровыми мужчинами. Оказалось, это был DLP-проектор известной фирмы.

Анализ показывает, что эффект «радуги», вызывающий подобные ощущения, – это только вершина айсберга, а проблема гораздо глубже.

Об эффекте «радуги» ранее было не принято упоминать в компьютерной прессе, хотя некоторые уважаемые эксперты считают, что около 20% людей наблюдают его даже при использовании современных DLP-проекторов с частотой вращения колеса 2х [2]. В последние год-два об этом начали писать специализированные журналы, посвященные аудио- и видеотехнике. Это связано с тем, что теперь даже в зарубежных рекламных материалах по проекторам 2-го класса указывается, что в предлагаемом ус-

ройстве эффекта «радуги» нет, так как используется 6-сегментное колесо.

Но эффект «радуги» – только одно из проявлений последовательного формирования цветной точки, у многих людей болит голова, возникают другие неприятные ощущения. Не исключено, что в результате увлечения просмотром фильмов на одночиповом DLP-проекторе может ускориться развитие катаракты или других недугов. Это всего лишь предположение. Четких данных о том, насколько вредно воздействие DLP-технологии на человека, до сих пор нет, хотя в мире уже продано более 2 млн. таких DLP-проекторов.

Попытка научного исследования влияния просмотра DLP-изображения на зрение была осуществлена в специализированной лаборатории ВНИИТР. Исследование позволило сделать предварительный вывод о том, что длительный просмотр изображений на DLP-проекторах вызывает большую утомляемость у зрителей, нежели аналогичная работа с LCD-проекторами.

В чем может быть вредное воздействие этой технологии? Во-первых, сам последовательный принцип формирования цветной точки противоестественен – он отсутствует в природе. Последствия здесь неопределённые. Во-вторых, время вспышки одного пиксела современных проекторов находится в диапазоне 4-1000 мкс и имеет тенденцию к уменьшению. Где тот безопасный предел минимального времени вспышки для зрения? Могут ли люди, склонные к эпилепсии, смотреть такое изображение? Насколько адекватно преобразовывает человеческий мозг набор коротких вспышек в цветную точку? Воздействие изображения на мозг человека – вопрос сложный, но актуальный для современного человека. Ведь был реальный случай в 1997г. в Японии, когда после просмотра по телевидению одного мультфильма произошло несколько смертей.

Глаза утомляются от любого дисплея, будь то телевизор или проекционная система. Однако именно DLP-тех-

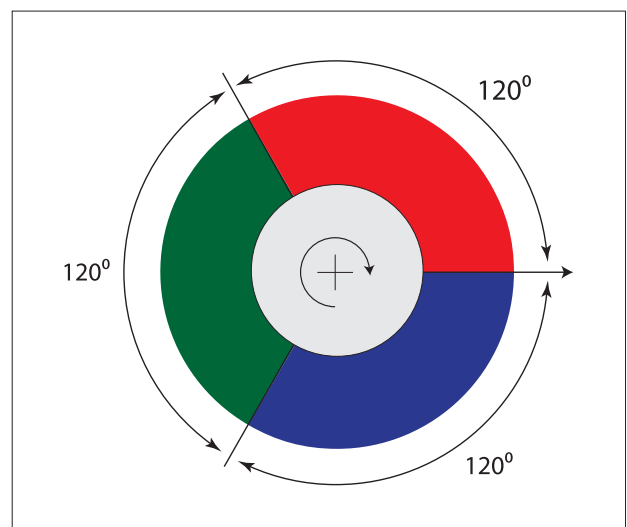


Рис. 2. Колесо с тремя цветными фильтрами

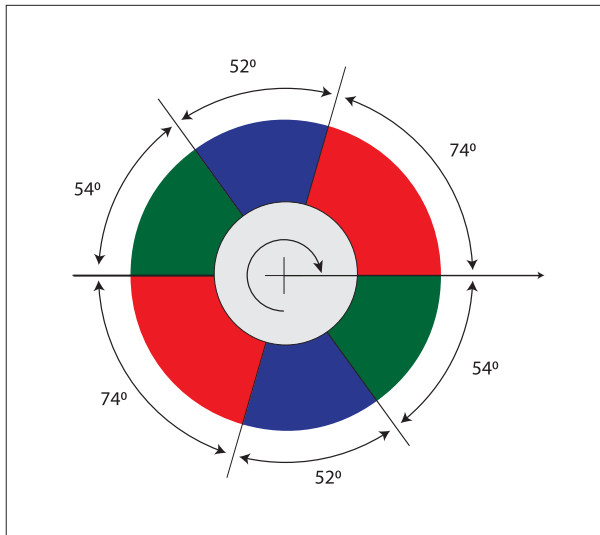


Рис. 3. Колесо для обеспечения скорости 4х (Sharp Z-9000)

нология, особенно в своих ранних воплощениях, заставила обратить усиленное внимание на данный фактор.

Очевидно, сложный механизм синтеза изображения на экране, сопровождающийся яркими вспышками отдельных пикселей, который зрительный механизм интегрирует во времени, плюс последовательное наложение цветовых полей, не говоря уже о пиксельной структуре (особенно при невысоком разрешении матрицы), и являются причиной того, что даже при хороших цветопередаче и чёткости зритель иногда чувствует некий дискомфорт.

Этот эффект носит субъективный характер, но всё же одни модели проекторов оцениваются как «утомительные» большим количеством людей, чем другие. Иногда у зрителя складывается ощущение, что он надел чужие очки: наступает лёгкое головокружение, глаз как будто всё время пытается подстроиться под экран, будучи не в силах «поймать фокус», хотя проектор сфокусирован идеально. LCD-проекция, безусловно, обладает гораздо более естественным механизмом получения изображения, практически аналогичным киноплёнке [3].

Несколько лет назад, в самый разгар популярности чёрного текста на белом фоне для офисных компьютерных программ, неизвестный инженер придумал 4-й прозрачный сектор и создал 4-секторное колесо. Суть изобретения – увеличение яркости белого поля путём уменьшения цветовой насыщенности изображения. Такое решение оправдано только для показа простых компьютерных картинок, где цвета носят условный характер.

Сравним классическое 3-х секторное и 4-х секторное цветные колёса (рис. 2 и 3). Предположим, что вращаются они с одинаковой частотой, и пропускание каждого цветного фильтра равно 1/3 от белого света, угловые размеры секторов одинаковы и составляют соответственно 1/3 и 1/4 окружности.

Рассчитаем интенсивность свечения (ИС) пиксела для 3-х секторного и 4-х секторного колёс (в условных единицах):

$$ИС_3 = \text{ВРЕМЯ} \times \text{Пропускание RGB} = 1/3 \times 1/3 (R) + 1/3 \times 1/3 (G) + 1/3 \times 1/3 (B) = 1/3 \text{ у.е.} \quad 1)$$

$$ИС_4 = \text{ВРЕМЯ} \times \text{Пропускание WRGB} = 1/4 \times 1 (W) + 1/4 \times 1/3 (R) + 1/4 \times 1/3 (G) + 1/4 \times 1/3 (B) = 1/2 \text{ у.е.} \quad 2)$$

Кроме того, оценим свечение пиксела без примеси белого света для 4-х секторного колеса:

$$ИС_4 = (\text{Без белого}) = \text{ВРЕМЯ} \times \text{Пропускание (W=0) + RGB} = 0 \times 1 (W) + 1/4 \times 1/3 (R) + 1/4 \times 1/3 (G) + 1/4 \times 1/3 (B) = 1/4 \text{ у.е.} \quad 3)$$

Из приведенных формул видно, что только за счёт модификации цветного колеса мы получаем прирост светового потока в 1,5 раза, причём, не нарушая стандарта ANSI. Происходит это за счёт подмешивания белого света к цветному, картинка «разбеливается», уменьшается цветовая насыщенность. Если сравнивать 2-й и 3-й расчёты, то видно, что они отличаются в два раза. Для нашего примера световой поток проектора по формированию «честной» цветной точки будет в два раза ниже, чем при формировании «белёсой» точки.

Прежде чем перейти к результатам опытов, напомним, как формируется цветная точка в современных компьютерах.

Любой цвет можно создать, комбинируя три основных цвета: красный (R), зелёный (G) и синий (B). Интенсивность каждого цвета лежит в диапазоне чисел от 0 (нет сигнала) до 255 (максимальный сигнал). Если мы будем подавать на вход монитора или проектора сигнал с одинаковыми значениями основных цветов (R=G=B), то мы увидим серую точку (табл. 1).

Таблица 1. Формирование цвета

R	G	B	Описание цвета (степень белого цвета, %)
0	0	0	Чёрный (0%)
26	0	0	Тёмно-красный
0	170	0	Светло-зелёный
64	64	64	Тёмно-серый (25%)
128	28	28	Средне-серый (50%)
192	192	192	Светло-серый (75%)
255	255	255	Белый (100%)

Измерение освещённости белого и цветных полей

Для измерений нужны только люксметр, проектор и компьютер. Устанавливаем проектор, подключенный к компьютеру, и крепим люксметр в любой центральной точке экрана. Затем подаём на вход проектора последовательно четыре сигнала: красный 100% (Red=255), зелёный 100% (Green=255), синий 100% (Blue=255) и белый 100% (Red=Green=Blue=255). Сделать это можно с помощью программы «DLP-test» [4] или любой другой аналогичной. Полученное значение освещенности записываем, находим сумму освещенностей первых трёх сигналов и сравниваем её с четвёртой.

Допустим, получились такие цифры: красный = 220 лк, зелёный = 928 лк, синий = 98 лк, RGB-сумма (сумма освещенностей основных цветов) = 1246 лк. Если наш проектор был LCD или DLP с цветным колесом без прозрачного сектора, то освещённость белого поля (четвёртое измерение) будет не больше RGB-суммы, например 1240 лк. На первый взгляд, у нас получились парадоксальные результаты: RGB-сумма больше значения освещённости белого поля. Объяснение простое: в момент измерения каждого цвета остальные две ЖК-панели немного пропускают свет, и так происходит трижды. Этот дополнительный свет объясняет превышение RGB-суммы над значением освещённости белого поля.

Самое интересное, когда RGB-сумма меньше, чем освещённость белого поля. Это указывает, как правило, на то, что тестируемый DLP-проектор содержит прозрачный 4-й сектор (рис. 4). Чем больше разница между этими значениями, тем бледнее изображение вы видите. Пусть освещённость белого поля равна 2150 лк, тогда (RGB-сумма)/White = 1246/2150 x 100% = 58%. Реальная картинка такого проектора только на 58% цветная и на 42% «разбавлена» белым.

Массовые одночиповые DLP-проекторы имеют более высокую контрастность, чем другие проекторы. Контрастность проектора, как любого сложного оптико-механического прибора, зависит от очень многих факторов. Основные из них – это характеристики формирователя изображения (DMD-чип или LCD-матрица), электронных цепей и качество оптических элементов (зеркала и объектива). При общих равных условиях DLP-технология в лучших своих изделиях обеспечивает более высокую контрастность. Но это не относится к большинству массовых проекторов. Тестирование однозначно показывает, что реальная средняя контрастность DLP-проекторов, измеренная по методике ANSI, не превышает реальную среднюю контрастность LCD-проекторов. Более того, не наблюдается сильного прогресса в реальном увеличении контрастности DLP-проекторов за последние годы, хотя при этом контрастность DMD-чипов сильно возросла. Но самое интересное не в этом, а в том, что вполне достаточно иметь контрастность по шахматному полю (КШП), равную 100:1 для любых проекторов, рассчитанных для показа изображения при внешнем свете. Для таких случаев важнее не покупать более контрастный

проектор, а обеспечить малую засветку экрана. Общепринятая практика свидетельствует: изображение выглядит очень хорошо, если имеет реальную контрастность с учетом засветки 10:1.

Массовые DLP-проекторы имеют более бледное изображение из-за его низкой цветовой насыщенности, так как все они имеют 4-й сектор и тщательно скрывают этот факт (о чём не пишут в рекламных листовках и руководстве пользователя).

Российский специалист в области электроники и акустики Александр Клячин считает: «Ещё несколько лет назад микрозеркальные (DPL) проекторы считались единственным классом устройств, в котором можно было найти аппараты, сочетавшие достойное качество изображения с приемлемыми габаритами, простотой установки и эксплуатации. Но производители самых недорогих жидкокристаллических (LCD) аппаратов вовсе не хотели оставаться на задворках рынка. Они славно потрудились и создали новые модельные ряды проекторов с различ-

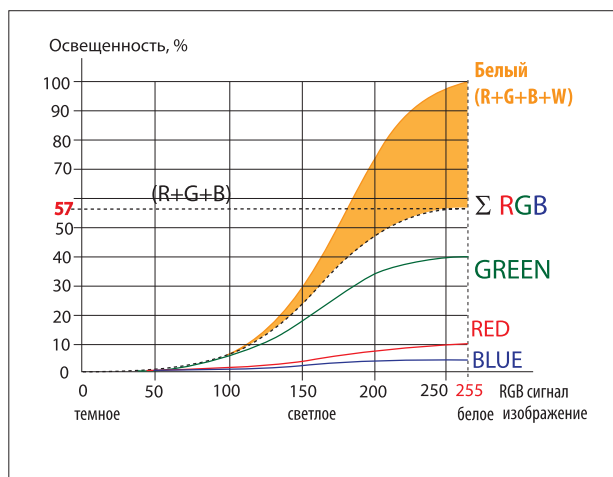


Рис. 4. Влияние 4-го сектора на световой поток (PLUS U2-1150)

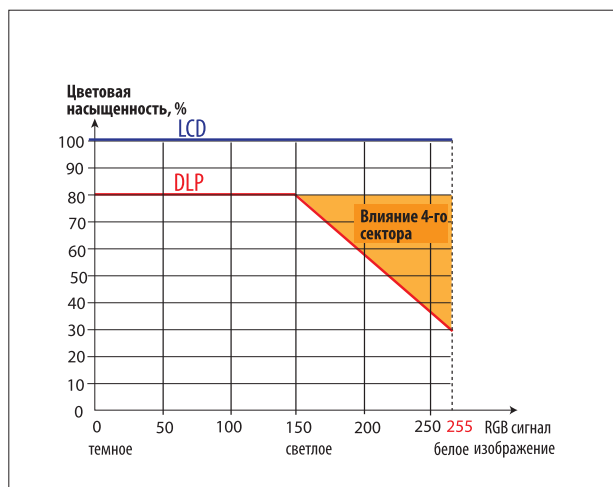


Рис. 5. Цветовая насыщенность изображения

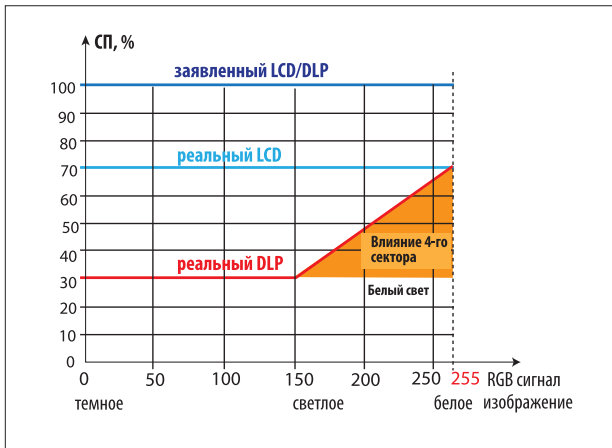


Рис. 6. Световой поток проектора с белым сектором

ной яркостью и разрешением. Представители последнего поколения ЖК проекторов вплотную приблизились по качеству изображения к «микрозеркалкам».

Как показала практика тестирования, все производители завышают значения светового потока проекторов.

Рекламное завышение световых потоков имеет место для проекторов всех технологий, реальный средний световой поток проектора равен примерно 70% от рекламируемого.

Рекламное завышение светового потока характерно только для DLP-проекторов с 4-м сектором. «Честный» световой поток без примеси белого обычно равен 35-50% реально измеренного по методике ANSI (DLP-проекторы 2-го класса не содержат 4-й сектор) – рис. 4, 5, 6.

Реальный средний световой поток проектора по цветному изображению для подавляющего большинства DLP-проекторов 1-го класса равен 28-45% от рекламируемого.

Как известно, яркость каждого элемента изображения в DLP-видеопроекторах формируется как суммарное воздействие на зрительный анализатор коротких световых импульсов, формируемых при колебаниях микрозеркал. Модуляция яркости достигается изменением количества колебаний микрозеркала, т. е. количеством поступивших в зрительный анализатор коротких импульсов света. В соответствии с законом Тальбота интегральное ощущение яркости в этом случае определяется количеством поступивших в зрительный анализатор световых импульсов.

Ввиду того, что такой способ формирования яркости каждого элемента изображения не встречается в природных условиях, зрительный анализатор испытывает повышенные нагрузки, формируя яркостное ощущение как сумму воздействия очень коротких световых импульсов, каждый из которых имеет весьма большое амплитудное значение яркости.

Современная офтальмологическая наука в настоящее время не может дать заключение о том, насколько вредно подобное воздействие на зрительный анализатор,

ввиду отсутствия соответствующих экспериментальных данных. Однако, имеющиеся данные по неблагоприятному воздействию на зрительный анализатор коротких световых импульсов, обладающих высокой энергией, позволяют предположить, что подобное воздействие может травмировать зрительный анализатор с непредсказуемыми последствиями для зрения и соответствующих мозговых структур.

Имеются данные о чрезвычайно неблагоприятном воздействии на психику зрителя коротких световых вспышек, следующих с определённой частотой. Такие световые вспышки приводят в некоторых случаях к психическим травмам, иногда сопровождающимся смертельным исходом. Это диктует необходимость проведения серьёзных психофизиологических исследований для выявления всех аспектов воздействия таких источников световой энергии на зрительный анализатор и мозг человека.

4. Специфические искажения изображений в системах электронной цифровой проекции

Характерной чертой систем электронного кинематографа является использование в преобразователях «свет–сигнал» и «сигнал–свет» преобразующих матричных структур с определённым количеством, формой и расположением чувствительных элементов (пикселей). В общем случае указанные характеристики преобразователей «свет–сигнал» и «сигнал–свет» в рамках одной системы электронного кинематографа могут отличаться друг от друга.

Наложение двух дискретных структур в сквозном процессе электронного кинематографа может привести к возникновению искажений типа муаров, особенно хорошо заметных при наблюдении изображений на больших экранах.

Полностью исключить муаровые искажения возможно только при соблюдении точно-точечного соответствия матричных структур преобразователей «свет–сигнал» и «сигнал–свет» и при сохранении в канале связи информации о точных координатах каждого пикселя.

Современные цифровые системы обработки видеoinформации позволяют преобразовывать дискретные структуры изображения с изменением количества отсчётов в каждой строке изображения и количества строк в кадре. Таким образом, можно привести в соответствие различные дискретные структуры преобразователей «свет–сигнал» и «сигнал–свет», что позволит принципиально избавиться от возникновения муаровых искажений. Кроме того, только в полностью цифровом канале связи преобразователей «свет–сигнал» и «сигнал–свет» может быть сохранена информация о пространственных координатах каждого пикселя и обеспечено условие точно-точечного соответствия дискретных структур этих преобразователей.

При наличии хотя бы одного аналогового звена в ка-

нале связи между преобразователями «свет – сигнал» и «сигнал – свет» теряется информация о точных координатах каждого пиксела изображения, и становится невозможным обеспечить точно-точечное соответствие дискретных структур этих преобразователей. В этом случае принципиально невозможно избежать появления муаровых искажений без соответствующей оптической и электронной фильтрации.

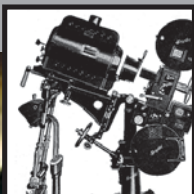
Литература

1. Телевизор будущего? // ТКТ. 2004. № 12. С. 43.
2. Eymann W. A Vision of the Future // SMPTE Motion Imaging Journal, v. 113, No. 1. pp. 22-26.
3. Eymann W. Whatever happened to the laser projector? // Cinema Technology, v.17, No.4, Dec.2004. pp. 38-41.
4. Eymann W. 3D, 4D displays and beyond // Image Technology, v. 86, No. 6, Nov. 2004. pp. 38-41.
5. Журавлев А. Видеопроекторы в домашнем кинотеатре // www.digitalvideo.ru.
6. Powell E. Which is the best? Panasonic PT-L300U vs. In Focus // www.projectorcentral.com.
7. Журавлев А., Фрунджян А. Кинопробы: часть вторая // Эра DVD, апрель-май 2003.
8. www.r-presentations.ru/dlp.
9. Устинов В.А. Лазерная кинопроекция // Техника и технология кино. 2005. №1. С. 68-76.
10. Tiberi M. and as. The Laser Cathode Ray Tube – A Paradigm Shift in Illumination // J.SMPTE, May 2002, pp. 210 – 213.
11. Хлебородов В.А. Выставка NFD-2003 // ТКиТ. 2003. №8. С. 3 – 10, 17.
12. Оптический диск сверхбольшой ёмкости // ТКиТ. 2003. №7. С. 31.

Сводная ведомость киноустановок по регионам РФ за 2006 г.

(по данным Федерального агентства по культуре и кинематографии)

Регион	По городу	По селу	Всего	Из них стационарные
Северо-Западный округ	203	558	761	761
Центральный федеральный округ	445	1916	2361	2355
Северо-Кавказский федеральный округ	275	885	1160	1147
Приволжский федеральный округ	369	2579	2948	2944
Уральский федеральный округ	175	251	426	401
Сибирский федеральный округ	265	958	1223	1222
Дальневосточный федеральный округ	74	119	193	190
ИТОГО:	1806	7266	9072	9020



ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ТЕЛЕВИДЕНИЕ ДЛЯ ХИРУРГИЧЕСКОЙ КЛИНИКИ

Ю. Барышников,
В. Глухов,
ОАО НИКФИ

■ В марте 2007 года открылся новый Лечебно-клинический комплекс Городской клинической больницы имени С.П. Боткина, рассчитанный на 800 пациентов. В нём двадцать четыре операционных, оснащённых современным медицинским оборудованием. Четыре из них – экстренные операционные – работают круглосуточно, в двадцати других проводятся по несколько сложнейших операций ежедневно. В этом же здании расположены реанимационные и больничные палаты, диагностические, лечебные и процедурные кабинеты, научные кафедры, кабинеты руководителей клиники, конференц-залы.

В лечебный процесс интегрирована система технологического телевидения (Система), созданная специалистами Научно-исследовательского кинофотоинститута (ОАО «НИКФИ») и предназначенная для фиксации, архивирования, трансляции и воспроизведения в реальном масштабе времени аудиовизуальной информации в клинике хирургического профиля. Эта система используется также для научных и учебных целей.

Структура системы технологического телевидения

В структуре разработанной Системы можно выделить подсистему первичного ввода аудиовизуальной информации, рабочие места пользователей, компьютерную сеть передачи данных, аудиовизуальный сервер и хранилище аудиовизуальных данных.

Базовым элементом этой системы является пост аудиовизуального мониторинга на основе цветных видеокамер с дистанционным управлением параметрами съёмочного процесса (Рис 1). Посты аудиовизуального мониторинга

размещены в операционных и конференц-залах клиники стационарно и мобильно, образуя единую подсистему первичного ввода аудиовизуальной информации.

Рабочее место пользователя системы технологического телевидения предназначено для организации авторизованного доступа медицинского персонала к аудиовизуальной информации в реальном времени, доступа к видеоархиву, а также для дистанционного управления видеокамерами.

В качестве среды передачи аудиовизуальной информации и сигналов управления используется специальная компьютерная сеть. В состав сети введены высокоскоростные участки с использованием оптоволоконного кабеля и активное сетевое оборудование. Компьютерная сеть Системы клиники связывает в единое информационное пространство двадцать две операционных, два конференц-зала, рабочие места пользователей, в том числе три рабочих места руководителей и зал заседаний. Аудиовизуальный сервер и хранилище аудиовизуальных данных образуют информационное ядро системы.

Стационарный пост аудиовизуального мониторинга операционной

Стационарные посты аудиовизуального мониторинга размещены в пяти операционных клиники. В составе поста аудиовизуального мониторинга используется аналоговая видеокамера операционного светильника, размещённая на его подвижном потолочном кронштейне. Для обеспечения оперативного визуального контроля съёмочного процесса предусмотрен видеомонитор,

размещённый на стене операционной. Для управления основными съёмочными параметрами в состав стационарного поста мониторинга введён пульт дистанционного управления. Сопряжение камеры по видеосигналу с компьютерной сетью системы технологического телевидения осуществляется сетевой видеостанцией. Передача звукового сопровождения для стационарного поста аудиовизуального мониторинга в настоящее время не предусмотрена.

Мобильный пост аудиовизуального мониторинга операционной

Мобильный пост аудиовизуального мониторинга операционной разработан и изготовлен специалистами для данной системы с учётом конкретных пожеланий клиники и является оригинальным результатом тесного, продолжительного и конструктивного сотрудничества разработчиков и хирургов Боткинской больницы (Рис 2).

Видеокамера мобильного поста аудиовизуального мониторинга Sony SNC-RZ30P размещена на подвижном напольном штативе вблизи операционного стола. Предусмотрен перевод видеокамеры в рабочие положения, соответствующие требуемым ракурсам съёмки, в том числе над операционным столом. Для оперативного визуального контроля съёмочного процесса имеется видеомонитор, размещённый на штативе видеокамеры.

Конструкция штатива позволяет перевести кронштейн с видеокамерой в транспортное положение с уменьшенной высотой для возможности беспрепятственной транспортировки видеокамеры через дверные проёмы и лифты. Детальное оперативное управление съёмкой может осуществляться дистанционно, в том числе с мобильной управляющей станции ассистента хирурга (Рис 4).

В составе мобильного поста для записи звука и ведения диалогов предусмотрен радиомикрофон (петлич-

Рис. 1



ный и гарнитура) как часть громкоговорящей системы аудиоконференц-связи на базе протокола SIP 2.0.

Мобильные посты аудиовизуального мониторинга (Рис. 2) могут быть оперативно размещены в любой из операционных и наркозных третьего этажа Лечебно-клинического комплекса с подключением к проводной компьютерной сети системы. Для передачи данных и управления при работе мобильного поста в двух операционных экстренного блока (первый этаж) используется высокоскоростной радиоканал.

Аудиовизуальный сервер и хранилище данных

Для обеспечения необходимых объёмных и скоростных характеристик системы технологического телевидения аудиовизуальный сервер построен на базе двух связанных серверов типа HP ProLiant ML350 G4p. Хранилище аудиовизуальных данных имеет суммарный объём дисковой памяти 9.0ТВ, используются дисковые массивы HP MSA-20.

Максимальное время нахождения аудиовизуальных данных в архиве с сохранением возможности оперативного доступа соответствует сложившейся в современной практике продолжительности нормального периода госпитализации (для хирургического пациента до двух недель) и для осложнённого случая, когда оперативный доступ к записи первичной операции может оказаться особенно важным, до одного месяца.

Для управления, администрирования и работы с архивными данными предусмотрено рабочее место администратора системы технологического телевидения.

Заключение

Таким образом, созданная специалистами ОАО «НИКФИ» система технологического телевидения построена на базе новейших сетевых информационных технологий и в настоящее время функционирует в новом Лечебно-клиническом

Рис. 2



комплексе Городской клинической больницы имени С. П. Боткина.

Система органично вписывается в лечебный процесс и обеспечивает наиболее востребованные в современной клинике хирургического профиля возможности интерактивного ввода, вывода и хранения аудиовизуальной информации:

- Вывод изображения с любой из видеокамер системы, равно как и аудиовизуальных данных из архива, на видеопроекторы конференц-залов через демонстрационные компьютеры. Возможность доступа к этой информации в операционных через мобильные управляющие станции (Рис 3).
- Посты аудиовизуального мониторинга в конференц-залах клиники, расширяющие возможности учебной и научной деятельности. Оперативный полномасштабный доступ из кабинетов руководителей клиники и зала заседаний к аудиовизуальной информации и возможность дистанционного управления видеокамерами.
- Оснащённость мобильных постов, рабочих мест руководителей и конференц-зала клиники терминалами громкоговорящей аудиоконференц-связи на базе протокола SIP 2.0. Возможность организации интерактивного «он-лайн» общения, включая публику в конференц-залах, при проведении рабочих консультаций, научных и учебных мероприятий.

Разработчики считают своей приятной обязанностью выразить благодарность Главному хирургу ГКБ имени С. П. Боткина, профессору Алексею Васильевичу Шабунину за постоянное, терпеливое и содержательное внимание к данной работе.

Рис. 3



TDK удвоила плотности записи данных на голографические носители

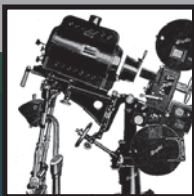
Александр Бакаткин

Сотрудники компании TDK сообщили о новом достижении в области создания голографических носителей – специалистами найден материал, который позволит увеличить плотность размещения информации до рекордных на сегодняшний день значений. Согласно опубликованной информации, плотность записи данных при использовании нового материала увеличена до значения 76 Гбит/кв. дюйм носителя. Отметим, что на сегодняшний день компания InPhase Technologies, уже продающая голографические носители своим клиентам, может похвастаться достижением плотности записи данных «лишь» 31,5 Гбит/кв. дюйм, то есть вдвое меньше нового рекорда от TDK. Главное усовершенствование исследователей компании TDK – увеличение разности коэффициентов преломления между областями носителя, которые подверглись изменению в ходе записи информации, и соседними с ними областями, сохранившими изначальную структуру. Именно это и позволило увеличить плотность записи данных. О результате компания уже отчиталась на ряде выставок, в том числе на международной конференции ISOM, представив носители с рекордными показателями ёмкости. В данный момент разработчики сосредоточились на развитии своего успеха, а вот когда модернизированная технология голографической записи появится в коммерческих продуктах – не сообщается.

Материалы по теме:
Hitachi улучшает голографические носители;
Голографические носители ёмкостью 4Тб.
WWW.3Dnews.ru

Рис. 4





Телекино преобразователи и технологии сканирования

Д.Г. Чекалин,
ОАО НИКФИ

(Продолжение)

■ На сегодняшний день телекинопреобразователи разрабатываются и выпускаются достаточно большим числом фирм. Следует отметить, что наряду с фирмами, традиционно занимающимися этим классом оборудования, созданием телекинопреобразователей и фильмосканеров занялись как известные в отрасли кино- и телеиндустрии фирмы (например Kinoton и Arri), так и фирмы, не связанные с кино и телевидением или совсем новые и неизвестные. Это свидетельствует о возросшем интересе и потребностях в таком оборудовании, что связано с развитием цифровых технологий и переходом кино- и телевизионного постпроизводства полностью на цифровую основу, а также с необходимостью оцифровывания киноархивов. При создании новых моделей и образцов телекинопреобразователей разработчики применяют как апробированные и хорошо зарекомендовавшие себя решения, так и новейшие достижения в области науки и технологии. В этой статье мы не будем рассматривать хорошо известные классические модели и образцы, а остановимся только на нескольких, наиболее интересных с точки зрения применения в них новых технологических решений.

Northlight. FilmLight Ltd

Сканер Northlight (рис. 1) английской фирмы FilmLight Ltd. впервые был представлен в 2002 году и интересен прежде всего тем, что в нём применены три



Рис. 1. Фильмосканер Northlight английской фирмы FilmLight Ltd

линейные однострочные ПЗС матрицы с 8192 элементами в каждой (разрешение 8K).

На тот момент такое высокое разрешение стало настоящим техническим прорывом, да и сегодня моделей телекинопреобразователей с разрешением выше 4K насчитываются единицы. Другой примечательной характеристикой этого аппарата является возможность сканирования фильмов широкого формата на 65-мм плёнке. Из особенностей можно отметить довольно редкую для телекинопреобразователей компоновку лентопротяжного механизма в горизонтальной плоскости, при такой компоновке плёнка в аппарате всегда находится в вертикальном положении (рис. 2), что уменьшает вероятность попадания на неё пыли.

В качестве источника света применена металлогалогеновая лампа мощностью 700 Вт. Сканер многоформатный и может работать со следующими форматами плёнки: 16-мм, Super16 мм, 2/3/4/8 перфораций 35-мм и 5/8/10/15 перфораций 65-мм. Изменение формата занимает всего несколько минут (рис. 3).

В сканере установлены матрицы с разрешением 8K, однако такое разрешение возможно только для 65-мм форматов, для 35-мм формата доступно максимальное разрешение 6Kx4,5K (для кадра с 4 перфорациями), а для 16-мм только 3Kx1,5K. Данные записываются в виде 10- или 16-разрядных логарифмических файлов DPX/Cineon. В сканере применяется система допол-



Рис. 2. Узлы фильмосканера Northlight: фильмовый канал и панель управления



Рис. 3. Сканирование 16-мм фильмокопии

нительного инфракрасного сканирования, позволяющая выявлять на плёнке грязь и царапины и формировать карту дефектов, которую затем можно использовать для устранения этих дефектов. Модель Northlight была модернизирована в Northlight 2, за счёт применения более совершенных решений и узлов удалось повысить скорость сканирования и довести её до 0,75 секунд на кадр для разрешения 4K.

В сканер можно загружать листы монтажных решений. Управление сканером осуществляется через компьютер на базе SGI или Linux.

ARRISCAN. ARRI

Одним из наиболее интересных с точки зрения применённых технологических решений является созданный немецкой компанией ARRI фильмсканер ARRISCAN (рис. 4). Стоит отметить, что эта компания исторически занимается разработкой оборудования для профессионального кинематографа, и ARRISCAN предназначен именно для кино, а не для телевидения, и в названии прибора разработчики применили термин фильмсканер (Film Scanner). В разработке ARRISCAN применён целый ряд инновационных решений. В качестве электронного считывающего устройства использована одна КМОП (CMOS) матрица без раstra Байера с базовым разрешением 3Kx2K (рис. 5). Для освещения киноплёнки в качестве источника света применена цветная RGB светодиодная матрица (рис. 6), что, во-первых, позволяет повысить качество цветопередачи за счёт узкополосного спектрального излучения в трёх цветах, а, во-вторых, благодаря малому тепловыделению, позволяет избежать нагрева плёнки (а следовательно, и её выцветания, обезвоживания, деформации) и КМОП сенсора (нагрев которого приводит к увеличению шумов в сигнале). Светодиодная матрица работает в импульсном режиме, последовательно включая красные, зелёные и синие светодиоды матрицы, а система автоматического контроля обеспечивает стабильность светотехнических характеристик и цветовой температуры. Светодиодный источ-

ник света характеризуется низким энергопотреблением и малым тепловыделением, долгосрочной стабильностью светотехнических параметров, высокой эффективностью, хорошим цветоделением, а также долговечностью и надёжностью. Световой поток регулируется и оптимизируется цифровой системой управления для конкретного типа плёнки. Эти настройки сохраняются в базе данных и затем могут быть повторно использованы в любое время, обеспечивая повторяемость результатов сканирования.

Для повышения равномерности освещённости кадра и уменьшения заметности на плёнке царапин применяется специальная интегрирующая сфера.

Для выявления на плёнке частиц пыли и царапин в сканере установлены светодиоды, работающие в инфракрасном диапазоне. Цветная плёнка практически полностью пропускает инфракрасное излучение, благодаря чему можно получить подробную карту дефектов и сформировать дополнительный канал изображения (альфа-канал). Сканер ARRISCAN использует технологию KODAK Digital ICE для удаления грязи и царапин с изображения по карте дефектов с применением сложных алгоритмов коррекции, входящих в технологию KODAK DIGITAL ICE (рис. 7). Карта может интегрироваться в качестве четвёртого канала в сканированный файл DPX или сохраняться в виде отдельного файла.

В сканере ARRISCAN применена оригинальная система «микросканирования», позволяющая вдвое увеличить разрешение. В этом режиме один фиксированный кадр сканируется дважды, при этом второе сканирование осуществляется при смещении матрицы специальным пьезоэлектрическим микроприводом на величину половины её ячейки (пиксела), в результате чего получается изображение с удвоенным разрешением 6Kx3K. Не менее интересное решение предложено для сканирования фильмов с высокой оптической плотностью. Применяется метод коррелированной двойной дискретизации, при котором каждый кадр плёнки экспонируется дважды с разным уровнем светового потока. Затем оба изображения оцифровываются, и формируется одно комбинированное результирующее изображение. Этим обеспечивается расширение динамического диапазона и высокое отношение сигнал/шум.

Механизм транспортирования плёнки имеет прецизионные узлы, обеспечивающие её сохранность и стабильность протяжки. Все электродвигатели механизма име-



Рис. 4. Фильмсканер ARRISCAN компании ARRI

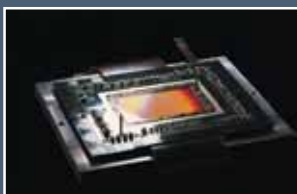


Рис. 5. КМОП (CMOS) матрица без раstra Байера с базовым разрешением 3Kx2K



Рис. 6. Цветная RGB светодиодная матрица



Рис. 7. Применение технологии KODAK Digital ICE для удаления грязи и царапин с изображения (исходный кадр, карта дефектов, исправленный кадр)

ют независимые цифровые системы автоматического регулирования и обеспечивают аккуратное обращение с фильмом, который может продергиваться с частотой до 20 кадр/с и перематываться со скоростью 5 м/с. Подающая и приёмная «тарелки» снабжены механическими тормозами, которые срабатывают в случае аварийного отключения электропитания и, тем самым, предотвращают порчу плёнки. Фильмопротяжный механизм оснащён быстродействующим контргрейфером, а включение светодиодов матрицы возможно только при полной остановке плёнки. Сканер имеет три сменных фильмовых канала. Стандартный фильмовый канал (рис. 8) рассчитан для работы с 35-мм плёнкой с двумя, тремя и четырьмя перфорациями на кадр. Для 16-мм плёнок предусмотрен отдельный, легко заменяемый фильмовый канал (рис. 9). При работе с архивными фильмовыми материалами, в том числе, имеющими усадку, используется оптическая фиксация кадра по перфорациям. В этом случае устанавливается специальный фильмовый канал с расширенным кадровым окном, благодаря чему крайние горизонтальные элементы матрицы могут «видеть» перфорации плёнки. Сканирование производится со скоростью 1 кадр/с при разрешении 2K и 0,25 кадр/с при разрешении 4K и 2K, полученных в результате пересчета из 6K в режиме «микросканирования». Для предотвращения попадания внутрь аппарата пыли, в нём поддерживается избыточное давление воздуха.

Сканер обеспечивает на выходе изображение 2K или 3K, и, соответственно, в режиме «микросканирования» разрешение 4K или 6K, при этом обеспечивается пересчёт с понижением разрешения в 2K и 4K. Отсканированные кадры записываются в виде 16-разрядных линейных файлов формата TIFF и DPX, или 10-разрядных логарифмических формата DPX и Cineon. Сканер также может работать в автоматическом режиме с выборкой только необходимых кадров и сцен на основе импортированных листов монтажных решений (EDL), полученных в результате чернового монтажа. Управление работой сканера осуществляется под операционной системой Linux.

Работы по созданию новых телекинопреобразователей интенсивно ведутся в Германии, Великобритании, США, Франции, Японии. В Венгрии для Национальных

Фильмовых Архивов специально разрабатывается вся технологическая линейка для цифровой обработки фильмовых материалов (система DIMORF) с разрешением 6K, включая фильмсканер, автоматизированную систему реставрации, фильмрекордер и комплекс цифрового хранения. Приятно отметить, что и в России ведутся работы по разработке сканеров. Однако при таком разнообразии в выборе производителей, моделей и различных типов устройств встает вопрос – как и по каким параметрам можно оценивать и сравнивать различные телекинопреобразователи. Вопрос на самом деле очень непростой и заслуживает внимательного и подробного изучения.

(Продолжение статьи читайте в следующем номере.)



Рис. 8. Сменный 35-мм фильмовый канал



Рис. 9. Сменный 16-мм фильмовый канал



СВЕТ И ЦВЕТ

Л. Ф. Артюшин,
д. т. н., профессор,
ОАО НИКФИ

(окончание)

25. Новая ЖК матрица Epson обещает качественный рост нового цифрового кинематографа.

Сейчас идет снижение цен на широкоформатные цифровые проекторы. Корпорация Seiko Epson начала серийный выпуск преобразующих электронно-оптических ЖК панелей с разрешением 2048x1080 (2K) для видео- и кинопоказа. Ещё недавно столь высокое разрешение, требуемое в спецификации цифрового кинематографа DCI, обеспечивала только технология DLP. ЖК технология гораздо более экономична. Это значит, что у основных производителей широкоформатных ЖК проекторов (Sanyo, Sony, Hitachi и др.) появились новые флагманские 2K модели, а сегодняшние устройства высшей потребительской категории с разрешением 1280x720 переместятся в средний ценовой класс.

Новые электронно-оптические преобразователи Epson, производимые по фирменной технологии HTPS (High Temperature PolySilicon), имеют большой размер диагонали (1,6 дюйма), что позволяет создавать на их основе мощные стационарные проекторы для оснащения кинозалов. Обратите внимание: размер матрицы не совпадает с наивысшим разрешением, используемым в телевидении высокой чёткости (1920x1080). Дело в том, что разработчики из Epson ориентировались на спецификацию Digital Cinema Initiatives (DCI) – организации, которая была образована киностудиями Disney, Fox, MGM, Paramount, Sony Pictures Entertainment, Universal и Warner Brothers как совместное предприятие с целью выработки и поддержки спецификаций для открытой архитектуры цифрового кинематографа. По замыслу организаторов, эти спецификации обеспечат единоеобразие реализации, высокий технический уровень, надёжность, а также контроль качества устройств отображения. Компания DCI, рекомендуя использовать разрешение 2K, планирует стимулировать создание со-

ответствующего контента и внедрение цифровых технологий в общественных кинотеатрах.

Фирма Sanyo уже продемонстрировала проектор Sanyo PLV-HD2K со световым потоком 7000 ANSI-лм и контрастностью 1300:1, основанный на новой матрице Epson. Разработчик альтернативной технологии отображения фирма Texas Instruments тоже выпускает DLP матрицы с разрешением 1920x1080 (размер 0,65 дюйма). Они используются, в основном, в проекционных телевизорах и стационарных DLP-проекторах, например, в аппарате D-Cine Premiere DP100 компании Varco и модели Roadie 25K ведущего производителя цифровых кинопроекторов фирмы Christie.

26. ПЗС матрицы с разрешением выше 100 мегапикселей (Мп)

В то время как в любительских фотокамерах устанавливают датчики разрешением несколько мегапикселей, есть области, где таким разрешением не обойтись.

Специализирующаяся на изготовлении датчиков высокого разрешения компания DALSA Semiconductor (подразделение корпорации DALSA) объявила о выпуске первого в мире датчика, перешагнувшего 100 Мп отметку. Заказчиком изделия-рекордсмена является калифорнийская компания Semiconductor Technology Associates (STA). Прибор с зарядовой связью (CCD) имеет размеры около 10x10 см. На указанной площади поместилось 111 миллионов пикселей (10560x10560). Датчик был изготовлен на заводе DALSA Semiconductor, расположенном в Канаде.

В 2006 году швейцарская компания Seitz создала панорамную цифровую камеру (сканирующего типа) с уникальным разрешением в 160 мегапикселей, которая позволяет получить кадры размером 7500x21250 точек. В продажу новинка поступит в начале следующего года. Камера называется Seitz 6x17 Digital, и, как

ясно из названия, соотношение сторон кадра в ней составляет 6х17.

Светочувствительность камеры очень высока и регулируется в пределах 500–1000 единиц ISO/ASA. Глубина цвета составляет 48 бит. Разумеется, камеру можно переключать на более низкое разрешение и даже на другие пропорции кадра. Отличается она и высокой скоростью обработки данных. Устройство управления камерой и хранения данных представляет собой встроенный в заднюю стенку КПК со стандартами связи Ethernet и WLAN, цветным экраном 640х480, чувствительным к прикосновению. Компьютер можно вынимать из фотокамеры для автономной работы со снимками или для соединения с PC.

Уникальную светочувствительную матрицу создала специально для Seitz канадская компания Dalsa, совсем

- форматы кадров 2:1 или 1.98:1;
- используются стандартные кинообъективы 35 мм;
- механический затвор (shutter);
- оптический видеоискатель.

Камера Origin может быть конфигурирована для использования со стандартным ТВЧ-оборудованием, 24p ТВЧ или для записи некомпьютеризированных 16-бит/12-битт/10-бит 4:4:4 RGB.

Камеры Thomson Viper/Grass Valley

Grass Valley Viper FilmStream производства Thomson является единственной цифровой кинематографической камерой, которая фиксирует каждый бит изображения сцены таким, каким он выглядит в исходном со-



Камера Dalsa Origin



Камера Red One



Камера Kinor



Камкодер AJ-HDX 400E

недавно прославившаяся тем, что преодолела барьер в 100 Мп для цифровых матриц.

Далее рассмотрим характеристики некоторых цифровых камер, используемых в кинопроизводстве.

27. Цифровые камеры

Камера DALSA ORIGIN

Канадская компания Dalsa, специализирующаяся на производстве CCD- и CMOS-матриц, в 2004 году разработала камеру Origin.

Существенным преимуществом Origin является её ПЗС-матрица, размер которой равен размеру кадра 35-мм киноплёнки. ПЗС-матрица содержит 8.2 миллиона пикселей (4096х2048), из которых активных 4046х2048). Камера позволяет вести съёмку со следующими разрешениями: 4K (4048х2048), Super2K (2048х1080), HD2K (1920х1080). Поддерживаются все форматы кадров и кадровые частоты, включая режим Variframe.

Основные особенности:

- выходы 4:2:2 HD-SDI, 4:4:4 RGB Dual Link, 4x Infiniband Fiber Optic;

стоянии, т.е. без компрессии, обработки избыточности и т.д. – без традиционной для видеокамер цифровой обработки. Оптический блок камеры состоит из трёх уникальных HD-DPM матриц, каждая из которых имеет размер 2/3 дюйма и содержит 9.2 миллиона пикселей. Это позволяет работать в нескольких форматах изображения прогрессивной развертки: 1080 строк 24/25/30 кадров в секунду, а также 720 строк 50/60 кадров в секунду. В дополнение к этому, при использовании режима 720 строк/60 кадров камеру можно использовать в режиме slow-motion.

Основные особенности:

- вывод изображения непосредственно с ПЗС-матриц;
- выход 4:4:4 RGB Dual Link FilmStream;
- форматы кадров 16:9 или 2.37:1;
- переключение между форматами кадров без потери чёткости;
- ПЗС-матрицы с FT-переносом;
- механический затвор (shutter) гарантирует отсутствие вертикального смаза;

- электронный видеоискатель с системой согласования точной фокусировки.

Поддержка форматов:

- 1080p: @ 23.98-, 24-, 25-, и 29.97 кадр/сек;
- 1080i x 50 и 59,94;
- 720p x 23.98-, 24-, 25-, 29.97; 50, и 59.94 кадр/сек.

Камера Viper может быть встроена для использования со стандартным ТВЧ-оборудованием, 24р ТВЧ или для записи некомпьютеризованного 10-бит. 4:4:4 RGB FilmStream потока.

Камеры Sony

Компания Sony разработала оборудование высокой чёткости, объединённое в линейку CineAlta.

Высокая длительность записи на кассету: 50 минут на одну видеокассету в режиме 24 кадр/сек.

Полная совместимость со всеми киноаксессуарами.

Запись настроек: параметры камеры могут быть записаны на Memory stick.

12-разрядный цифровой процессор DSP: 12-разрядное аналого-цифровое преобразование и цифровой процессор точно контролирует параметры гаммы в любой части изображения и обеспечивает широкий динамический диапазон и контраст.

TruEye™ обработка: гарантирует точное и натуралистическое цветовоспроизведение при повышенной освещённости.

Многие функции управления схожи с Digital Betacam™, позволяя быстро и с лёгкостью перейти к производству в формате HDCAM.



Камера 5AJ-HDC 27FE



Камера AJ-HDC 27FE



Камера Grass Valley



Камера AJ-HDX 40

Выпускаются камкордеры и видеомэгниетофоны HDCAM и HDCAM SR.

В настоящее время выпускаются три камкордера высокой чёткости, записывающие сигнал на плёнку шириной 1/2 дюйма.

HDW-F900H

Камкордер HDW-F900H фирмы Sony предназначен для съёмки в формате HD 24р. Камера оснащена тремя матрицами ПЗС Common Image Format – 1920x1080. Обеспечивает переключение кадровых частот, включая 24 кадр/сек.

Адаптер HDCA-901 добавляет HD-SDI выход и контроль 3 и 4 каналов записи звука. Запись ведётся на кассету типоразмера Betacam. Максимальная длительность записи – 50 минут (в режиме 24 кадр/сек).

Высокое разрешение: 2.2 миллиона пикселей в каждом цвете обеспечивает высокое разрешение, без дополнительного электронного расширения.

Переключаемые кадровые частоты: переключение между 23.98, 24, 25, 29.94 и 30 кадр/сек. прогрессивной развёртки, и 50, 59.94 и 60 чересстрочной развёртки.

Совместимость с частотой кинокадров: при переносе материала из файла на киноплёнку осуществляется перенос «кадр в кадр».

Memory stick™ для установки и настроек дают возможность сохранить до 5 файлов сцен, а также параметры и настройки камеры.

Две кнопки управления обеспечивают лёгкий доступ к большинству часто используемых функций.

Multi matrix: эта функция используется для точной настройки цветов.

Маркеры зон кадра: все стандартные маркеры, включая анаморфотный 2.4.

Совместимость со всеми аксессуарами «Panavision».

Изменяемая скорость затвора: возможна установка различных скоростей затвора. Например, скорость 1/48 секунды при 24 кадр/сек. является эквивалентом затвора 180° кинокамеры и обеспечивает идентичное кинематографическое движение. Скорость затвора меняется от 10° до 360°.

Совместимость с адаптером Angenieux позволяет использовать объективы Zeiss Ultra Primes. Требуется опционная плата переверота кадра HKDW-902.

Запись одного кадра: покадровая запись с минимальным интервалом в три секунды.

Цветное воспроизведение: возможность качественного просмотра записей и прослушивания 4-х каналов цифрового звука.

HDW-750P

Оборудование формата HDCAM фирмы Sony предназначено для производства программ в стандарте высокой чёткости и их дальнейшей демонстрации по эфирным телевизионным каналам. Камкордер HDW-750P предназначен для съёмки в формате HDCAM. Камера имеет три FIT ПЗС-матрицы с 2.2 миллионом пикселей каждая. Запись ведётся на кассету типоразмера Betacam. Максимальная длительность записи – 48 минут. Камера осуществляет съёмку 1920x1080 с частотой кадров 50i, 25p.

Основные особенности:

- выход HD-SDI для мониторинга;
- формат кадра 16:9;
- опционный понижающий конвертор в SDI или PAL композит;
- две турели фильтров – нейтральные и цветные.

HDW-730S

Оборудование формата HDCAM фирмы Sony предназначено для производства программ в стандарте высокой чёткости и их дальнейшей демонстрации по эфирным телевизионным каналам (высокой и стандартной чёткости).

Камкордер HDW-730S предназначен для съёмки в формате HDCAM.

Камера имеет три ПЗС-матрицы IT-типа с 2.2 миллионом пикселей каждая. Запись ведётся на кассету типоразмера Betacam. Максимальная длительность записи – 48 минут. Камера осуществляет съёмку 1920x1080 с частотой кадров 50i.

Основные особенности:

- выход HD-SDI для мониторинга;
- формат кадра 16:9;
- опционный понижающий конвертор в SDI или PAL композит;
- две турели фильтров – нейтральные и цветные.

SONY F23

Камера F23 оснащена новым блоком ПЗС-матриц 2/3" с прогрессивным сканированием и разрешающей способностью 1920x1080 пикселей, формирует изображение в соответствии со стандартом ITU CIF.

F23 обладает широким динамическим диапазоном и отличным соотношением сигнал/шум, в результате – чрезвычайно богатая градация яркости: на 50% больше, чем у обычных камер высокой чёткости. Благодаря использованию новой оптической системы камера F23 позволяет получать изображения с широким цветовым диапазоном, который эквивалентен цветовой гамме киноплёнки.

На выходе F23 формируется цифровой широкополосный сигнал HD RGB 4:4:4 без сжатия.

Камера SONY F23 поддерживает съёмку в следующих режимах:

- прогрессивном: 1080/23.98p, 24p, 25p, 29.97p, 50p, 59.94p;

- чересстрочном: 1080/50i, 59.94i.

Основные особенности:

- режим Cine-Mode, предназначенный для кинопроизводства, когда изображение обрабатывается в процессе постпроизводства;
- режим Custom-Mode – для тех, кто хочет настроить параметры камеры для минимальной обработки в дальнейшем;
- режим гамма-коррекция S-LOG;
- функция Super-Gamma;
- функция цветовой коррекции, с помощью которой можно согласовывать колориметрию при съёмке несколькими камерами.

Panavision genesis

Совместная разработка компаний Sony и Panavision. Камера Genesis имеет одну ПЗС-матрицу (12,4 мегапикселей) с размером кадра, аналогичным 35 мм киноплёнке – 1,78:1 (16:9). Номинальная чувствительность матрицы 400 ASA может быть увеличена до 1600 ASA в условиях низкой освещённости. Угол затвора – от 0,8 до 360 градусов, а частота киносъёмки – от 1 до 60 кадров/с как в прогрессивном режиме (23.98p, 24p, 25p, 29.97p), так и в чересстрочном (50i, 59i, 94i, 60i). Эта камера имеет выходы 4:4:4 HD-SDI Dual Link (для записи) и 4:2:2 HD-SDI (для мониторинга) и встроенный адаптер для оптоволоконного кабеля.

Камеры Panasonic

Фирма Panasonic выпускает оборудование формата DVCPRO HD для использования в производстве программ высокой чёткости для ТВ и цифрового кинематографа.

Для цифрового кинематографа выпускаются камкордеры высокой чёткости, записывающие сигнал на плёнку шириной 1/4 дюйма типа DVCPRO.

AJ-HDC27FE

Камкордер AJ-HDC27FE позволяет записывать на видеоплёнку HD-изображение 720/60p с изменяемой 4p-60p в меню камеры частотой кадров (скоростью затвора). Благодаря этой возможности, камкордер получил второе наименование – Varicam. Цифровые процессоры камкордера предоставляют возможность пользователю работать в одном из двух основных режимов: «видео» и «кино». В режиме «видео» камкордер работает как обычная камера высокой чёткости, с доступом ко всем функциям и регулировкам меню. В режиме «кино» камкордер превращается в цифровую кинокамеру, при этом часть регулировок, отвечающих за коррекцию изображения и приближающих изображение визуально к видео-качеству, блокируются. Основным инструментом в режиме «кино»

становится «кино-гамма», обеспечивающая натуралистическую передачу цветов и гарантирующая проработку всего динамического диапазона изображения.

Параметры камерной головки:

- три матрицы 2/3" 1.000.000 пикселей FIT-3CCD, построчный перенос заряда, прогрессивная развертка;
- переменная скорость съемки, 4р-60р;
- кадровые частоты: 24р, 60р;
- чувствительность при съемке (24 кадр/сек) f11/2000 люкс, 50% shutter, 1000 ASA;
- чувствительность при съемке (60 кадр/сек) f11/2000 люкс, 640ASA;
- функция «кино-гамма»;
- функция переверота изображения при использовании кинообъективов (Prime lens);
- оптимизация цветовоспроизведения с помощью программируемой 12-полюсной матрицы;
- внешняя синхронизация;
- переменные оптические фильтры;
- память на 8 настроек (операторов).

Параметры видеомагнитофона:

- компонентная запись потока 100 Мбит/сек;
- формат записи: 720/60р;
- максимальное время записи: 46 минут;
- функция длительной записи на ленту Time Lapse;
- HD-SDI выход (720/60р);
- функция предварительной записи (примерно 10 сек.);
- устройство GPS (поставляется опционно);
- слот для радиомикрофона.

АЖ-HDX40

Камкордер АЖ-HDX400Е формата DVCPRO HD предназначен для использования в составе производственных комплексов цифрового кинематографа и телевидения высокой четкости.

Камерная головка камкордера АЖ-HDX400Е работает в режиме 720р, обеспечивая изображение высокой четкости. Цифровые процессоры камкордера конвертируют сигнал 720р в формат 1080/25р или 1080/50i, и в таком формате записывают изображение высокой четкости на кассету. Таким образом, камкордер пригоден для производства кинопродукции и дальнейшего её показа на телевизионных каналах. Материал, записанный в режиме 1080/25р, может быть также переведён на киноплёнку.

Параметры камерной головки:

- три матрицы 2/3" 1.000.000 пикселей FIT-3CCD, построчный перенос заряда;
- прогрессивная развертка;
- усовершенствованная 12-разрядная обработка сигнала;
- кадровые частоты: 25р/50i;
- чувствительность: f10/2000 люкс;

- минимальная освещённость: 0,008 люкс (при 74 дБ (суперусиление +48 дБ),
- режим цифрового суперусиления +6 дБ... +20 дБ;
- гамма-коррекция для киносъёмки;
- функция переверота изображения при использовании кинообъективов (Prime lens);
- внешняя синхронизация;
- оптимизация цветовоспроизведения с помощью программируемой 12-полюсной матрицы;
- затвор с переменной выдержкой (Synchro-Scan);
- переменные оптические фильтры ND, CC;
- память на 8 настроек (операторов);
- совместимость со стандартными киноаксессуарами.

Параметры видеомагнитофона:

- компонентная запись потока 100 Мбит/сек;
- формат записи: 1080/50i, 25 кадр/сек;
- максимальное время записи: 33 минуты на М-кассету;
- функция длительной записи на ленту Time Lapse;
- HD-SDI выход (720/60р);
- функция предварительной записи (примерно 10 сек.);
- устройство GPS (поставляется опционно).

Камера Red One

Камера Red One производства компании Red Digital Cinema разработана в 2006 г. Оснащена CMOS-сенсором Mysterium с разрешающей способностью 11,4 мегапикселей, который позволяет осуществлять съёмку с разрешением 2540р, 4К, 2К, 1080р, 1080i и 720р. Сенсор камеры является эквивалентом киноплёнки 35 мм (соотношение сторон 16:9), что даёт возможность использовать оптику формата 35 мм, Super 16 и с байонетным креплением B4.

Российская кинокамера KINOR

Цифровые кинокамеры высокой четкости DC4K и DC8K, ориентированные прежде всего на рынок независимых производителей, были разработаны российской компанией «Кинор». Каждая из моделей имеет матрицу CMOS с диагональю 22 мм, которая позволяет использовать любые кинообъективы формата 35 мм с креплением PL. При этом нет необходимости в наличии специальных конвертеров, которые обычно ухудшают качество картинки. Благодаря специальному адаптеру есть возможность использования недорогой оптики от фотоаппаратов (Зенит, Canon, Nikon), что позволяет существенно снизить затраты на начальном этапе становления собственной студии и при этом не потерять в качестве. Камеры оснащены 8-дюймовым электронным ЖК видеоскопом, имеющим разрешение 960x540 пикселей. Чувствительность камер – F8 при освещенности 2000 люкс (частота 24 кадр/сек). Съёмка производится с разрешением 1080р, 2К и 4К. Немаловажная особенность камер – возможность записи изображений в формате RAW, что позволяет делать

высококачественную цветокоррекцию на любом персональном компьютере в таких программах, как Adobe After Effect, Photoshop и многих других. Самая высокая скорость, которую можно получить с камер Kinor в формате HD, – 700 кадров в секунду. Камера DC4K ориентирована прежде всего на пользователей анаморфотной оптики. Камера при использовании анаморфотных объективов имеет разрешение 4040x1720 пикселей и формат кадра 2,35:1. Если на камеру установлен стандартный объектив, разрешение составляет 2400x1350 пикселей. DC4K оснащена 10-битным аналогово-цифровым преобразователем, имеет расширенный динамический диапазон – примерно 14 бит. Максимальная частота – 250 кадр/сек для съёмки с разрешением кадра 4040x1720 пикселей и 400 кадр/сек – для съёмки с разрешением 1920x1080 пикселей. Высокоскоростная камера DCHS имеет встроенный рекордер с флэш-памятью, который не зависит от питания. Он может записывать некомпьютеризованный HD поток по каналу HD-SDI в твердотельную память по типу карточек памяти фотоаппаратов. Объём рекордера может составлять 80, 160, 320, 640 Гб. Максимально производитель может

предложить камеру с рекордером на 1,6 Тб памяти, что позволит непрерывно снимать почти 7 часов материала при обычной частоте кадров. Частота киносъёмки на камеру Kinor DCHS варьируется от 0,001 до 400 кадр/сек (в формате HD). Камера может работать в режиме 1080p/24, 1080p/25, 1080p/30, 1080i/25-30. Материал записывается в формате RAW 10 бит. Дополнительно на камере могут быть использованы крепления для объективов SLR и для макросъёмки.

Важная особенность камер Kinor – их модульность. Стоимость камер – от 15500 USD, дальше всё зависит от набора опций. Ориентировочно стоимость камеры со встроенной памятью 160Гб и возможностью съёмки 700 кадр/сек может составить около 50000 USD.

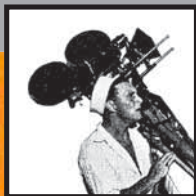
28. Сравнительные характеристики цифровых камер для киносъёмки

У современных цифровых камер для киносъёмки чувствительность значительно выше, чем у камер предыдущего поколения.

	DALSA ORIGIN	THOMSON VIPER FILMSTREAM	SONY F23	PANASONIK AJ-HDC27	PANAVISION GENESIS	KINOR DC4K, DCHS
Тип матрицы	1 x кадр 35мм CMOS	3 x 2/3" HD DPM CCD	3 x 2/3" CCD	3 x 2/3" FIT 3 CCD	1 x кадр 35мм CMOS	1 x 1" CMOS
Количество элементов в блоке матрицы, мегапикс.	8,2	9,2	2,2	1,0	12,4	1,9
Реальное разрешение	4048 x 2048	1920 x 1080	1920 x 1080	1280 x 720	1280 x 720	1920 x 1080
Соотношение сторон кадра при съёмке	2:1; 1,98:1 и др.	16:9; 2,37:1	16:9; 2,37:1 и др.	16:9 и др.	1,78:1; 16:9	2,35:1 и др.
Чувствительность матрицы	2000 люкс при f 9	2000 люкс при f 9	2000 люкс при f 10	2000 люкс при f 11	2000 люкс при f 11	2000 люкс при f 8
Видеовыход	HD-SDI, Dual Link RGB, Fiber Optik без сжатия	HD-SDI, Dual Link RGB без сжатия	HD-SDI Dual Link без сжатия	HD-SDI	HD-SDI Dual Link без сжатия	HD-SDI Dual Link без сжатия.

Современные студийные цифровые камеры практически не нуждаются в периодической подстройке основных электрических параметров, как было раньше (при использовании трубчатых датчиков или в камерах с полностью аналоговой обработкой сигналов). Это гарантируется как очень высокой стабильностью самих ПЗС-датчиков, так и переходом на полностью цифровую обработку сигналов.

Материалы к печати подготовили: к.т.н., А. С. Городников и Э. А. Рохлина (ОАО НИКФИ).



ГОЛОГРАФИЧЕСКОЕ КИНО

Глава 4.4 из справочника
«КИНОЗРЕЛИЩА И
КИНОАТТРАКЦИОНЫ», 2003 г.

Л. Г. Тарасенко,
Д. Г. Чекалин,
ОАО НИКФИ

Голография (от греческих слов *holos* – весь, полный и *grapho* – пишу, рисую, т. е. полная запись) – метод записи и воспроизведения объёмного изображения объекта (волнового поля), основанный на интерференции и дифракции волн. В голографии, в отличие от фотографии, на которой регистрируется (записывается) только распределение интенсивности отражённой объектом световой волны, позволяющее зафиксировать лишь плоское двумерное изображение реального объекта с одного ракурса, проводится фиксация и амплитуды и фазы световых волн, рассеянных объектом, что позволяет записывать и воспроизводить уже полное объёмное изображение с разных ракурсов.

Принцип голографии основан на эффекте интерференции двух взаимодействующих световых волн – волны, рассеянной объектом (объектной или предметной), и вспомогательной опорной волны от того же источника излучения, создающей когерентный фон. Опорная волна должна быть когерентной по отношению к объектной и иметь плоский или сферический фронт. В результате интерференции в пространстве вокруг объекта образуется стационарная стоячая волна (пространственная интерференционная картина), которую можно записать и зафиксировать на светочувствительном материале (например, на фотопластинке) в виде дифракционной решётки. Такая запись волнового поля называется голограммой и представляет собой систему чередующихся полос и пятен (или поверхностей в случае толстослойной голограммы) с разными коэффициентами отражения или поглощения. Если на голограмму снова направить опорную (восстанавливающую) волну, то в результате дифракции

на её микроструктуре воспроизведётся объектная волна и восстановится изображение объекта, которое зрительно невозможно отличить от реального и можно рассматривать под разными углами, наблюдая изображение объекта в перспективе с разных сторон.

Свойства оптических голограмм зависят от физических свойств и геометрической конфигурации регистрирующей светочувствительной среды, в которой осуществляется запись – это двумерные и трёхмерные голограммы, а также от схемы взаимного расположения голограммы, объекта и опорного пучка – это схемы записи в попутных пучках (осевая схема Габора и внеосевая схема Лейта) для случая размещения объекта и источника опорного освещения по одну сторону от голограммы и схема во встречных пучках (схема Денисюка) в случае расположения объекта и опорного источника по разные стороны от голограммы (рис. 1). При восстановлении изображения в зависимости от того, формируется ли изображение в результате освещения голограммы восстанавливающим пучком «на просвет» или «на отражение», соответственно различают просветные и отражательные голограммы.

Двумерные (тонкие, плоские) голограммы имеют толщину регистрирующего светочувствительного слоя меньше пространственного периода регистрируемой интерференционной картины, которая образована интерференционными полосами, фиксируемыми только на поверхности регистрирующей среды. Такие голограммы обладают рядом характерных недостатков: они неоднозначно восстанавливают волновое поле излучения объекта, и кроме истинной объектной волны дополнительно формируется ложное сопряжённое изображение; кроме

этого они не обладают спектральной селективностью и поэтому источник света для восстановления изображения с двумерной голограммы должен быть строго монохроматическим и точно таким же (по длине волны и направлению), в противном случае изображение будет сильно смазанным. Так как двумерные голограммы могут восстанавливать только монохроматическое изображение, то для получения цветных изображений необходимо записывать и затем восстанавливать три голограммы – отдельно для красного, зелёного и синего света.

Трёхмерные (толстослойные, объёмные) голограммы имеют толщину светочувствительного слоя много больше пространственного периода регистрируемой интерференционной картины, что даёт возможность фиксировать внутри слоя трёхмерную интерференционную картину

большую информационную ёмкость, определяемую их высокой селективностью и способностью взаимодействовать только с теми компонентами восстанавливающего излучения, которые присутствовали на этапе их записи. Благодаря этому на один и тот же участок фотоматериала можно записать голограммы различных объектов, используя для этого различные направления опорной волны или различные длины волн записывающего излучения. Каждая из записанных голограмм может затем быть считана независимо.

Развитие электронной вычислительной техники сделало возможным появление цифровой голографии, в которой цифровыми методами осуществляется моделирование физической голографии. В цифровой голографии в компьютер вводятся параметры, описывающие реальный

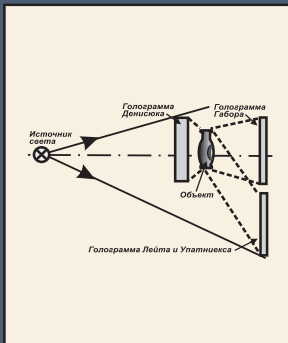


Рис. 1

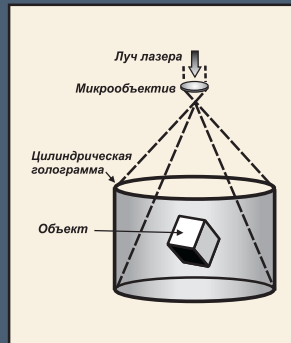
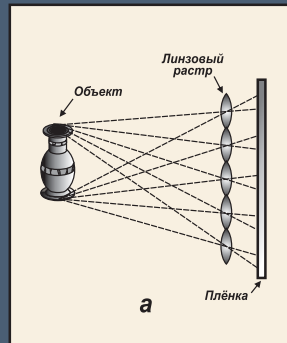
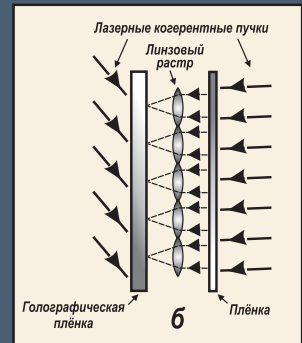


Рис. 2



а



б

Рис. 3

и позволяет регистрировать не только амплитуду и фазу, но также и спектральный состав записываемого излучения. Для восстановления толстослойных голограмм можно использовать не лазерные источники света и получать цветные изображения, при этом, в отличие от плоских двумерных голограмм, образуется только одно изображение.

Мультиплексная (интегральная, композиционная, многокадровая) голограмма предполагает такой способ регистрации изображения, при котором на одну голограмму одновременно записано много изображений, либо отдельно записаны части одного изображения, либо одно изображение зарегистрировано несколько раз. Например, объект можно несколько раз отснять с различных точек зрения, а затем впечатать эти фотографии на смежные участки голограммы, при рассматривании которой зритель будет видеть объект с разных ракурсов, в результате чего возникнет иллюзия объёмности изображения. Если записать на мультиплексной голограмме последовательные ракурсы движущегося объекта, то затем при их быстром поочерёдном воспроизведении можно получить подвижное голографическое изображение. Для мультиплексной голографии более применимы трёхмерные (толстые, объёмные) голограммы, так как они имеют

объект, или он изначально синтезируется на компьютере. Затем в компьютере вычисляется объектная волна трёхмерной модели объекта и математически складывается с опорной волной, в результате чего мы получаем цифровой образ интерференционной картины или собственно голограммы, которую уже можно вывести на фотоплёнку и получить обычную оптическую голограмму или осуществить визуализацию трёхмерной модели объекта другим способом. Цифровые методы так же позволяют осуществлять синтез дополнительных промежуточных кадров ракурсной зоны по нескольким, например двум, кадрам изображения или восстанавливать трёхмерные объекты по их проекциям (томография, фотограмметрия, построение карт рельефа местности по аэрофотоснимкам).

Для создания театрального голографического кинематографа и превращения его в массовое зрелище необходимо решить целый комплекс задач, связанных со съёмкой, копированием, тиражированием и демонстрацией объёмных голографических изображений в больших аудиториях. Сложности начинаются уже на этапе съёмки, так как для получения голограмм необходимо когерентное лазерное освещение, которое может оказывать вредное воздействие на актёров и, кроме того, в принципе не применимо для съёмок на натуре, съёмок больших сцен,

самосветящихся объектов или ландшафтов с естественным освещением. Другой серьезной проблемой является показ голографических изображений больших размеров одновременно большому числу зрителей. Для наблюдения объёмного голографического изображения во всех случаях необходимо смотреть на него непосредственно сквозь голограмму (независимо от того, находится ли изображение за – или перед плоскостью голограммы), а получать голограммы, имеющие размеры киноэкранов, технологически не представляется возможным. Также для получения большого увеличенного голографического изображения нельзя и просто увеличить голограмму или спроецировать её на экран как в обычном кино, так как голограмма является дифракционной решёткой, и любое изменение её размеров вызовет изменение шага

графической фотопластинкой на одной оси с ними, при этом свет, прошедший сквозь объект и промодулированный им, являлся предметной волной, а свет, прошедший сквозь прозрачные участки без изменений, был опорной волной. Для восстановления изображения голограмму освещают таким же пучком света, как и при её записи. В результате дифракции на микронеоднородностях голограммы, падающий на неё свет перераспределяется и образует изображение, точнее два изображения, так как помимо действительного изображения, формирующегося за голограммой, между источником света и голограммой появляется дополнительное мнимое, мешающее наблюдению основного. Однако это открытие не было замечено научным миром и в течение 15 последующих лет не имело никакого развития.

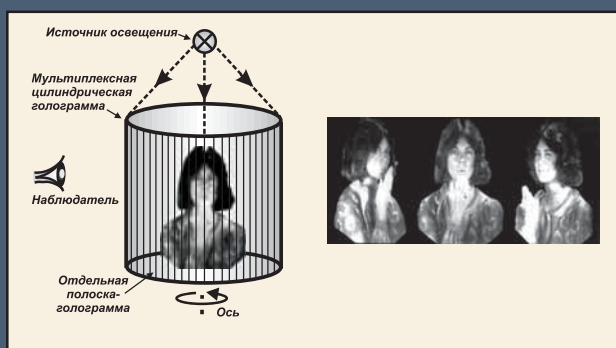


Рис. 4

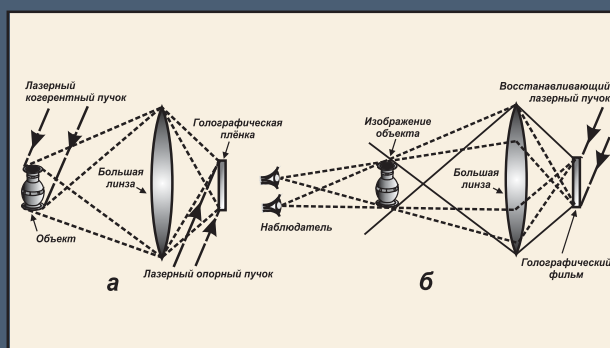


Рис. 5

решётки, что приведет к нарушению дифракции на ней света и сделает невозможным восстановление изображения. Однако художественные возможности и высокая степень реалистичности голографического киноизображения заставляют исследователей искать способы решения этих задач.

1947г. Основателем голографии является английский учёный (венгр по происхождению) профессор Деннис Габор, получивший первую голограмму в плоской двумерной среде, используя в качестве источника света ртутную лампу с точечной диафрагмой. Открытие голографии было им сделано в ходе экспериментов по увеличению разрешающей способности электронного микроскопа. Д. Габор установил, что двумерная фотографическая запись картины интерференции, образованной произвольным волновым полем (объектной волной), излучения, рассеянного объектом, и волновым полем опорной (референтной) волны, позволяет полностью восстанавливать волновое поле этого объекта при последующем облучении фотозаписи-голограммы опорной волной, которая должна иметь плоский или сферический волновой фронт и быть когерентной по отношению к объектной. В схеме Габора объект при записи был полупрозрачным и находился между источником света и голо-

1960г. В результате создания советскими физиками Н.Г. Басовым и А.М. Прохоровым, а также американским ученым Чарльзом Таунсом оптического квантового генератора (или лазера) с излучением, обладающим высокой степенью пространственной и временной когерентности, стало возможным практическое развитие голографии.

1962г. Физики мичиганского Технологического Института (США) Э.Лейт и Ю.Упатниекс усовершенствовали схему Д.Габора и предложили внеосевую схему получения голограмм. В этой схеме пучок света от одного источника расщеплялся на два: предметный и опорный, расположенный, в отличие от схемы Габора, вне оси предмет – голограмма, что делает возможным работу с непрозрачными объектами, а мнимое изображение располагается так, что не мешает наблюдению действительного. Новая схема в сочетании с появившимися в 1964г. газовыми лазерами с высокой интенсивностью и когерентностью излучения позволила получать высококачественные объёмные монохроматические голограммы в двумерной среде, восстанавливаемые в лазерном свете. Работы Э.Лейта и Ю.Упатниекса стали началом изобразительной голографии.

1962-1963 гг. Советский физик Ю.Н. Денисюк раз-

работал новый метод получения голограмм с записью изображения в трёхмерной регистрирующей среде, при этом плоская двумерная голограмма Д. Габора является частным случаем нового метода. Трёхмерная голограмма позволяет воспроизводить волновое поле со всеми его параметрами – амплитудой, фазой, спектральным составом, состоянием поляризации. Новые голограммы позволили получить цветное изображение, а, кроме того, для их воспроизведения можно использовать не только лазерное излучение, но и обычный белый свет. Работы Ю. Н. Денисюка имели решающее значение для развития изобразительной голографии, и практически вся современная изобразительная голография базируется на предложенных им методах.

1966 г. М. Леман (США) впервые снимает голографи-

В. Поль (США) предлагает метод получения голограмм с промежуточной предварительной съёмкой через множество маленьких линз в обычном некогерентном свете (рис. 3). Объект снимается на пленку через линзовый растр в обычном свете, в результате чего получается интегральное многоракурсное изображение, состоящее из большого числа (соответствующего числу линз) маленьких фотографий объекта с разных ракурсов. После проявления это многоракурсное изображение переводят в голографическое, для чего оно проецируется с плёнки через тот же растр с помощью когерентного лазерного излучения на голографическую плёнку, освещённую когерентным опорным лазерным пучком, в результате чего получается отражательная голограмма. Недостатком данной схемы является возможность снимать только небольшие объекты.

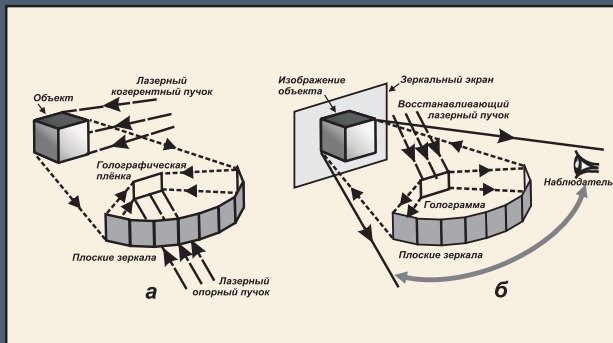


Рис. 6

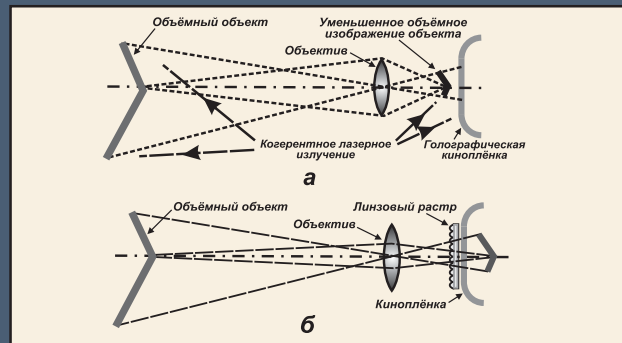


Рис. 7

ческий мультипликационный фильм с механически оживляемым объектом на 35-мм голографической плёнке. Это была первая голографическая киносъёмка, однако, воспроизводимое изображение имеет очень маленькие размеры и наблюдать его может только один зритель.

1967 г. С помощью импульсного лазера на рубине становится возможной фиксация на голограмме подвижных объектов, получен первый голографический монохроматический портрет живого человека.

Т. Джонг предложил метод формирования голограммы внутри цилиндра. Такую голограмму называют **цилиндрической**. Для её получения объект помещают внутрь цилиндра из голографической фотоплёнки и освещают объект и внутреннюю часть цилиндра расходящимся лазерным лучом, направленным по его оси (рис. 2). Для воспроизведения проявленную цилиндрическую голограмму освещают таким же лучом, как во время съёмки, что позволяет зрителям рассматривать полученное внутри цилиндра изображение со всех сторон. Если цилиндр заменить конусом, то получится коническая голограмма, обладающая такими же свойствами, как и цилиндрическая.

1968 г. Выполнены первые высококачественные голограммы по методу Ю. Н. Денисюка, в СССР – Г. А. Соболевым и Д. А. Стаселько, в США – Л. Зибертом.

1969 г. Стивен Бентон из «Polaroid Research Laboratories» (США) изобрел новый вид голографической записи, позволяющий получать голограммы, известные как «спектральные» или «радужные». «Радужная» голограмма является обычной пропускающей голограммой, в которой с целью уменьшения требований к когерентности и монохроматичности восстанавливающего источника света исключается параллакс в одном направлении. Изображение с голограммы без вертикального параллакса является объёмным в горизонтальной плоскости и может наблюдаться в обычном белом свете, переливаясь всеми цветами радуги (отсюда и название), в зависимости от угла наблюдения. «Радужную» голограмму получают в результате проекции на неё действительного изображения с обычной пропускающей двумерной голограммы через узкую горизонтальную щель, используя опорный пучок с плоским волновым фронтом. Для улучшения резкости изображение располагают очень близко к плоскости эмульсии. При рассматривании «радужной» голограммы цвета не смешиваются, а разделяются, и мы можем наблюдать в обычном белом свете монохроматическое восстановленное объёмное в горизонтальной плоскости изображение, изменяющее свой цвет при изменении угла наблюдения в вертикальной плоскости. «Радужные» го-

лограммы легко и технологично тиражируются механически методом «штамповки» интерференционных картин на пластике, который предложил в 1974 г. М. Фостер. Это позволило начать их массовое производство, в частности для защиты от подделок документов, банкнот и т. д.

1969 г. Д. Габор предлагает **голографический экран с зональным фокусированием**. Экран предназначался для усовершенствования системы стереоскопического кино и создавался для проекции с одной стереопарой с просмотром стереоизображения без очков. Голографический экран отражает падающий на него свет от проектора и формирует в зрительном зале большое число параллельных зон, близко расположенных друг к другу, так, чтобы каждый глаз (левый и правый) видел только своё изображение. Как оказалось, такой экран подходит

кадр киноплёнки освещается лазерным светом и проецируется в виде узкой вертикальной полоски с помощью цилиндрической линзы на широкую горизонтальную голографическую ленту, освещённую когерентным опорным пучком от того же лазера, после экспозиции образуется полоска-голограмма кадра. Затем голографическая плёнка смещается на ширину проэкспонированной полоски, и процесс повторяется для следующего кадра. В результате экспозиции всех кинокадров получается мультиплексная голограмма, образованная отдельными узкими вертикальными полосками-голограммами, которую после фотохимической обработки можно свернуть в цилиндр, а для восстановления изображения осветить источником белого света, размещенным на оси цилиндра (рис. 4). При рассмотрении восстановленного изображения каждый

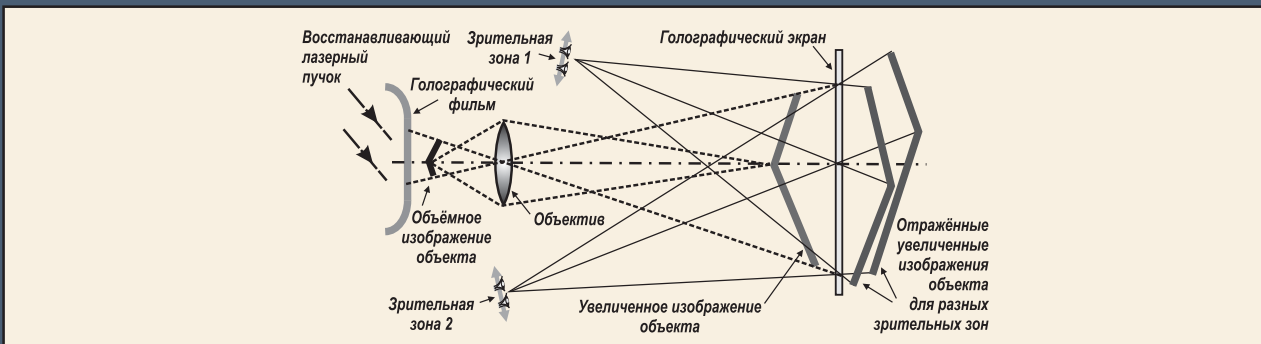


Рис. 8

только для стереопроекции и его принципиально нельзя использовать для проекции трёхмерного голографического изображения, так как такое изображение не удастся сфокусировать в пространстве и обеспечить необходимую резкость.

1972 г. Ллойд Кросс разрабатывает метод получения **мультиплексной (интегральной) цилиндрической голограммы**, синтезированной из фотографических изображений объекта и восстанавливаемой в обычном белом свете. В предложенном методе объект помещается на плавно вращающийся стол и снимается неподвижной кинокамерой (так же можно применять круговой объезд кинокамеры вокруг снимаемого объекта) в обычном свете на обычную плёнку. Во время съёмки объект может перемещаться или совершать медленные (по сравнению со скоростью вращения стола или кинокамеры) несложные движения, например, можно произвести съёмку медленно танцующих людей. Затем полученные кинокадры объекта, снятого с множества различных ракурсов, последовательно переводятся с применением источника когерентного света методом узкой вертикальной щели, в виде смежных, примыкающих друг к другу, узких вертикальных полосок-голограмм на горизонтальную ленту голографической плёнки. Для этого каждый отдельный

глаз видит разные участки голограммы (вертикальные полоски-голограммы) и соответствующие им изображения различных ракурсов объекта, в результате чего возникает иллюзия объёмности изображения, расположенного внутри цилиндра, и мы наблюдаем эффект, аналогичный рассмотрению трёхмерного объекта через голограмму. Обходя цилиндрическую голограмму по кругу или вращая её, можно увидеть объект со всех сторон, при этом изображение будет двигаться так же как во время съёмки.

1972 г. Для съёмки и демонстрации голографического изображения Лейт, Брум и Хсиао разработали **метод большой сферической линзы** (рис. 5). В этом методе при съёмке объект освещается пучком когерентного света, далее отражённый объектом свет проходит через линзу большого размера, которая фокусирует его на голографическую киноплёнку, освещённую когерентным опорным лучом. Воспроизведение осуществляется в обратном порядке: проявленная голографическая плёнка освещается когерентным восстанавливающим пучком, после плёнки лучи восстановленного изображения проходят сквозь линзу, которая формирует в пространстве псевдоскопическое изображение объекта, наблюдаемое зрителем. Диапазон ракурсов и размеры изображения зависят от диаметра линзы. При таком методе гологра-

фическое киноизображение уже могут наблюдать одновременно несколько человек, однако размер снимаемых объектов и величина зрительного зала ограничены и определяются размерами линзы, являющейся для зрителей аналогом экрана.

1974 г. Ю. Денисюк (СССР) предложил для голографической съёмки и воспроизведения **метод большого сферического зеркала**, который аналогичен методу большой сферической линзы, но линза заменена большим вогнутым зеркалом, формирующим изображение вместо линзы.

1976 г. Японский ученый Т. Окоши разрабатывает **метод голографической съёмки и проекции с помощью набора плоских зеркал (рис. 6)**. Во время съёмки объект освещается когерентным лазерным пучком. Отражённый от объекта свет попадает на горизонтальный ряд примыкающих друг к другу плоских зеркал, которые перенаправляют его на голографическую плёнку, освещённую когерентным опорным пучком света, в результате чего получается просветная голограмма. При воспроизведении восстанавливающий лазерный пучок направляется на голограмму, дифрагирует на ней и попадает на зеркала (установленные так же, как во время съёмки), формирующие в пространстве трёхмерное изображение исходного объекта, для наблюдения которого устанавливается зеркальный экран, отражающий изображение к зрителям. Основным недостатком метода является низкая световая эффективность системы при съёмке, так как на голограмму попадает лишь незначительная часть света, отраженного снимаемым объектом, что ограничивает размеры снимаемой сцены.

1976 г. В СССР во Всесоюзном научно-исследовательском кинофотоинституте (НИКФИ) профессором В. Г. Комаром впервые предложена и экспериментально проверена система голографического кинематографа (эта система и до настоящего времени является наиболее разработанной как в теоретическом, так и в экспериментальном плане), использующая при съёмке и проекции **объектив с большим зрачком (большой апертурой) и точно-фокусирующий множительный экран** при проекции. Был снят и продемонстрирован на специальном голографическом экране экспериментальный голографический фильм с трёхмерным монохроматическим изображением. Объёмное голографическое изображение 30-секундного фильма одновременно могли наблюдать четыре человека.

Съёмка фильма осуществляется по одному из двух методов (**рис. 7**). Для небольших по размерам сцен используется когерентное импульсное лазерное освещение. Короткие лазерные импульсы освещают сцену синхронно с частотой смены кадров и изображение записывается на движущейся голографической киноплёнке в виде последовательности кадров-голограмм. Съёмка больших сцен и съёмки на натуре производятся в обычном некогерентном свете на обычную киноплёнку через линзовый растр, в результате чего получается

интегральное многоакурсное изображение, которое затем переводится в голографическое и записывается на голографической плёнке. Далее кадры, полученные по двум методам, монтируются в единый голографический фильм. Съёмка и проекция осуществляются с применением объектива с широким зрачком (150-200 мм) и большой светосилой, что позволяет при съёмке зарегистрировать на голографической киноплёнке и затем воспроизвести при проекции изображение в диапазоне ракурсов, достаточном для восприятия объёмного изображения сидящими в зале зрителями. При съёмке снимаемое трёхмерное изображение уменьшается объективом до размеров кадра на плёнке, а при проекции этот же объектив увеличивает восстановленное с кадроголограммы объёмное изображение до исходных размеров снятой сцены и проецирует на специальный экран. Для наблюдения объёмного увеличенного изображения необходим специальный линзо-растровый, зеркально-растровый или голографический точно-фокусирующий множительный экран. В НИКФИ создан голографический экран, который представляет собой голограмму множества вогнутых зеркал, каждое из которых фокусирует и формирует изображение только для одного из зрителей. Таким образом, голографический экран отражает падающее на него голографическое изображение, размножает и фокусирует его в зрительных зонах. Зрители, находящиеся в пределах этих зон, одновременно могут наблюдать трёхмерные изображения (каждый своё), при смещении глаз зрители наблюдают естественное изменение ракурса воспроизводимого объёмного изображения (**рис. 8**). Предложенная система принципиально позволяет создать экспериментальную систему театрального голографического кинематографа.

1984 г. В. Г. Комар и О. Б. Серов совершенствуют предложенную ранее систему и впервые в мире производят мультипликационную киносъёмку на цветную голографическую плёнку и осуществляют проекцию на специальный цветной точно-фокусирующий множительный голографический экран трёхмерного цветного изображения.

В настоящее время теоретические и экспериментальные исследования в области изобразительной голографии, голографического кинематографа и телевидения активно развиваются, но пока не вышли за рамки лабораторных исследований. Несмотря на достигнутые успехи, ни в одной стране пока не создан голографический кинотеатр, нет и общепринятой концепции голографического кинематографа. Однако исследовательские работы по применению голографических методов для создания движущихся объёмных изображений ведутся в целом ряде стран: Великобритании, Корею, России, США, Франции, Японии и др., что позволяет рассчитывать на создание совершенно нового трёхмерного кинематографического зрелища, обладающего высочайшей степенью реалистичности, уже в столь отдалённом будущем.