

МЕТОДЫ, ФОРМАТЫ И ТЕХНОЛОГИИ ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ СТЕРЕОСКОПИЧЕСКИХ ВИДЕОИЗОБРАЖЕНИЙ

© 2007 г. К. А. Гребенюк; В. В. Петров, доктор физ.-мат. наук

Саратовский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского, г. Саратов

E-mail: KonstantinAG@yandex.ru

Представлены краткий обзор и классификация подходов к созданию систем воспроизведения трехмерных изображений на основе принципов стереоскопии. Особое внимание уделено вопросам определения предмета и признака классификации, что обусловлено большим количеством встречающихся в литературе различных трактовок одних и тех же понятий.

Коды OCIS: 110.6880, 120.2040.

Поступила в редакцию 27.11.2006.

Введение

Объемное восприятие пространства зрительной системой человека в значительной степени основано на раздельной регистрации левым и правым глазами изображений двух ракурсов объемной сцены. Различия этих изображений, обусловленные эффектом параллакса, дают информацию о взаимном расположении объектов наблюдаемой сцены по глубине. Эта информация, получаемая благодаря бинокулярности зрения, а также информация, получаемая благодаря постоянному движению глаз и перенастройке фокусных расстояний, позволяет человеку видеть объемную сцену в чрезвычайно широких пределах углов и глубины пространства.

В стереоскопических системах воспроизведения объемных изображений движущихся объектов (далее – стереоскопических видеосистемах) поступающая к зрителю информация ограничивается двумя плоскими изображениями одной и той же части пространства, одно из которых соответствует ракурсу наблюдения левым глазом, а другое – правым. Такая пара изображений называется стереопарой. При раздельном бинокулярном наблюдении стереопары зритель воспринимает представленную сцену объемной. Работа любой стереоскопической видеосистемы (СВС) заключается в предъявлении стереопар зрителю и обеспечении их раздельного наблюдения.

В современной литературе накопилось большое количество публикаций, связанных с различными путями организации таких систем. Появилось много неоднозначных трактовок и классификаций, касающихся одних и тех же понятий. Поэтому весьма актуальной представляется систематизация накопленного материала по созданию СВС. Актуальность этой задачи подтверждается также материалами международных форумов по стандартам стереоскопических изображений [1–4].

Целью данной работы явилось выделение основных подходов к реализации современных СВС, а также составление классификации этих подходов, которая позволила бы сравнивать друг с другом точки зрения различных авторов несмотря на отсутствие единой терминологии. Для этого авторы проанализировали публикации, относящиеся к обсуждаемой теме. Особенности проведенной работы стали:

- 1) представление СВС как совокупности трех основных составляющих – метода, формата и технологии;
- 2) формулировка определений выделенных составляющих, выделение и классификация методов и форматов стереоскопического видео (СВ), в соответствии с данными определениями;
- 3) использование физических характеристик световой волны в качестве признака классификации методов СВ.

1. Концепция анализа

С точки зрения выделения и классификации, удобно рассмотреть каждый подход к созданию СВС (каждую систему) как совокупность трех основных составляющих:

- 1) методов воспроизведения стереоскопических видеоизображений (СВИ) (методов СВ);
- 2) форматов записи, хранения и воспроизведения СВИ (форматов СВ);
- 3) технологий СВ (реализация методов и использование форматов с конкретным аппаратным и программным обеспечением).

Таким образом, поставленная цель достигается посредством выделения и классификации основных методов, форматов и технологий, используемых в СВС. В соответствии с этим второй раздел данной работы посвящен классификации и описанию методов СВ, третий раздел – форматам СВ, а четвертый – технологиям СВ. На рис. 1 показана схема



Рис. 1. Три составляющие системы СВ.

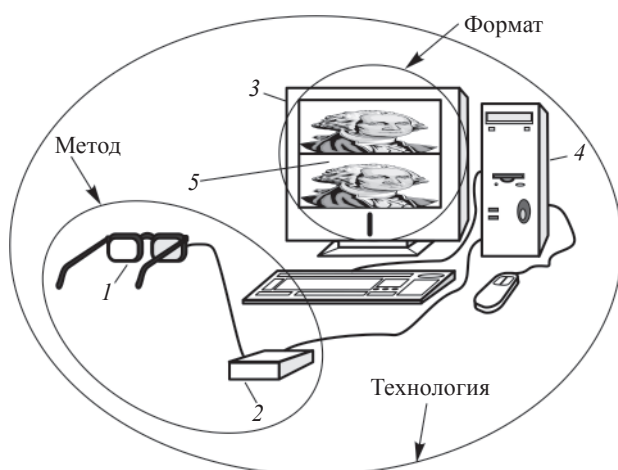


Рис. 2. Пример системы СВ. 1 – ЖК очки, 2 – контроллер ЖК очков, 3 – ЭЛТ-монитор, 4 – системный блок, 5 – изображение в формате “вертикальная стереопара” (above-and-below).

предложенной концепции анализа. Рисунок 2 схематично иллюстрирует ее применение к одной из наиболее распространенных СВС.

2. Методы СВ

2.1. Классификация методов

Метод – это способ теоретического исследования или практического осуществления чего-либо (С.И. Ожегов, Словарь русского языка, 1989), совокупность приемов и операций практического и теоретического освоения действительности (Философский энциклопедический словарь, 1989).

Под методом воспроизведения СВИ будем понимать совокупность приемов и операций, обеспечивающих раздельное наблюдение левым и правым глазом соответствующих изображений при просмотре стереоскопической видеозаписи.

Часто выделяют пять методов воспроизведения СВИ: анаглифный, поляризационный, эклипсный,

растровый, с применением стереоскопов [5–7]. Кроме того, методы делят на очковые и безочковые [8, 9], однодисплейные и двухдисплейные [10], методы сепарации параллельным растром, точечным растром [8] и др. Иногда в одной и той же классификации используются различные признаки.

В настоящей работе предлагается применить в качестве признака классификации методов физические характеристики световой волны, которые используются в данном методе для разделения изображений, предъявляемых левому и правому глазу. Информацию такого рода, например, требуются ли в данном методе очки, какие дополнительные устройства (растры, проекторы и другие) используются при показе видеозаписи, предлагается отнести к области технологий, которую мы рассматриваем как третью составляющую СВС.

Запишем для наглядности уравнение монохроматической световой волны $E(\mathbf{r}, t) = E_0 \cos(\omega t - \mathbf{k}\mathbf{r} + \phi)$ (1) и посмотрим, какие методы можно выделить в соответствии с ее физическими характеристиками.

Названия характеристик световой волны и соответствующих им методов СВ представлены в табл. 1.

Такой подход к классификации методов представляется нам интересным тем, что он

- основан на физических принципах разделения изображений, а не на их конкретных технических реализациях;

- позволяет определить, что является методом, а что нет;

- позволяет составить минимальный список методов, достаточный для рассмотрения современных СВС;

- позволяет избежать повторного упоминания в списке одного и того же метода под другим названием.

2.2. Описание методов

2.2.1. Метод Пульфриха (Pulfrich)

Метод Пульфриха основан на том, что зрительной системе человека требуется больше времени для обработки более темных сцен [10, 11]. Данный метод работает при просмотре стандартной видеозаписи, содержащей объекты, движущиеся вдоль экрана дисплея.

При обычном просмотре такой видеозаписи восприятие пространства усиливается в результате движения сцены [8, 12, 13], но не настолько, чтобы изображение можно было считать объемным. При просмотре через очки, у которых одно из стекол темнее другого, происходит преобразование временного параллакса в пространственный и изображение воспринимается объемным. Например, если темное

Таблица 1. Классификация стереоскопических методов по характеристикам световой волны, используемым для раздельного предъявления изображений

Характеристика световой волны	Метод СВ	Пример реализации метода
Амплитуда вектора напряженности электрического поля $ E_0 $ (определяет интенсивность)	Метод Пульфриха	Очки, у которых одно из стекол темное + видеозапись с движением
Частота T (цвет)	Анаглифный метод	Очки со светофильтрами + видеозапись в формате Anaglyph*
Направление вектора напряженности электрического поля E (поляризация)	Поляризационный метод	Поляризационные очки + два проектора с поляризационными фильтрами + экран, сохраняющий поляризацию падающего света
Время существования световой волны Δt (светового потока, идущего от изображения)	Эклипсный** метод	Очки с ЖК затворами + видеозапись в формате Above-and-below (см. рис. 2)
Направление волнового вектора k (направление распространения волны)	Метод пространственного разделения изображений	Стереоскопы, НМД***, автостереоскопические системы

* Anaglyph – от греч. anaglyphos – рельефный.

** Эклипсный – от англ. eclipse – затмевать, заслонять.

*** НМД – Head (Helmet) Mounted Display – дисплей, закрепляемый на голове (шлеме).

стекло находится напротив правого глаза, то объект, движущийся справа налево, будет казаться находящимся за экраном, а объект, движущийся слева направо, – перед экраном дисплея [11].

По сравнению с другими стереоскопическими методами метод Пульфриха дает менее сильное ощущение объемности¹ [14].

2.2.2. Анаглифный метод

Другие названия: анаглифический метод, метод цветных анаглифов. Анаглифный метод воспроизведения СВИ основан на разделении левого и правого изображений по частоте идущих от них световых потоков (по цвету).

Части стереопары окрашиваются в цвета, дополняющие друг друга [15]. При наблюдении анаглифного изображения через очки с соответствующими светофильтрами каждый глаз видит только “свое” изображение. Обычно применяются следующие комбинации цветов: $R-B$, $R-G$, $R-G+B$.

Анаглифный метод не получил широкого распространения, так как позволяет наблюдать только монокромное объемное изображение [16].

2.2.3. Поляризационный метод

Другие названия: поляроидный метод, метод поляризационных анаглифов. Поляризационный метод основан на разделении левого и правого изображений по направлению колебаний вектора напря-

женности электрического поля в идущих от них световых потоках (по состоянию поляризации).

Световым потокам, идущим от левой и правой частей стереопары, сообщаются различные состояния поляризации. Зритель наблюдает стереопару через пассивные поляризационные очки с соответствующей ориентацией фильтров. В результате каждый глаз видит только “свою” часть стереоизображения, что приводит к возникновению стереописса. Применяется линейная или циркулярная поляризация [12, 15, 17–20].

Для успешного применения поляризационного метода необходимо, чтобы между наблюдателем и источником поляризованного света не было деполяризующей среды, а ориентация поляризационных фильтров в очках соответствовала направлениям поляризаций световых потоков [15]. При использовании линейной поляризации последнее требование накладывает существенное ограничение на допустимый угол наклона головы зрителя [15, 21].

С точки зрения соотношения цена–результат, применение поляризационного метода является наиболее эффективным путем организации стереоскопической презентации [19]; кроме того, он лучше подходит для зрительной системы человека, чем анаглифный метод [22].

2.2.4. Эклипсный метод

Другие названия: обтюраторный, обтюрационный, затворный метод. Основан на разделении левого и правого изображений по времени их предъявления.

¹ Для более удобного сравнения достоинства и недостатки описываемых стереоскопических методов сведены в табл. 2.

Таблица 2. Сравнительная таблица достоинств и недостатков различных стереоскопических методов

Метод	Достоинства	Недостатки
Метод Пульфриха	+ простота, дешевизна, доступность, + используется стандартное оборудование, + используется обычная видеозапись, + возможно большое число зрителей	– жесткие требования к сюжету, – ненадежность, – низкое качество объемного изображения, – может быть вреден для зрения, – снижение яркости изображения
Анаглифный метод	+ простота, дешевизна, + используется стандартное оборудование, + возможно большое число зрителей	– объемное изображение воспринимается монохромным, – может быть вреден для зрения, – снижение яркости изображения
Поляризационный метод	+ во многих реализациях не требует больших затрат и особых условий, + лучше подходит для зрительной системы человека, чем другие методы с использованием очков, + позволяет получать объемные изображения высокого качества, + возможно большое число зрителей	– ограничение угла наклона головы зрителя, – необходимость в специальных устройствах (полупрозрачное зеркало, сохраняющий поляризацию экран), – снижение яркости изображения
Эклипсный метод	+ во многих реализациях не требует больших затрат и особых условий, + позволяет получать объемные изображения высокого качества, + возможно большое число зрителей	– необходимость в системе синхронизации, – очки более сложные и дорогие, чем в других методах, – возможность фликкер-эффекта, – может быть вреден для зрения, – сильное снижение яркости.
Метод пространственного разделения изображений	+ позволяет получать объемные изображения высокого качества, + позволяет обойтись без использования индивидуальных зрительных приборов	– необходимость в дорогих сложных специальных устройствах (линзовый растр, HMD), – ограничение свободы движения зрителя в некоторых реализациях

В эклипсном методе с помощью активных жидкокристаллических (ЖК) очков осуществляется поочередное перекрытие световых потоков, поступающих в правый и в левый глаз, синхронизированное с чередованием левых и правых частей стереопар на экране. Принципиальными особенностями этого метода являются поочередное предъявление частей стереопары, активный характер очков и использование дополнительного устройства для синхронизации перекрытия световых потоков с предъявлением соответствующих изображений (см. рис. 2).

Для избежания эффекта неполной сепарации частей стереопары (эффекта crosstalk) необходимо, чтобы к моменту формирования каждого нового кадра световой поток от предыдущего кадра полностью исчезал [17]. Поэтому эклипсный метод работает с дисплеями с электронно-лучевой трубкой (ЭЛТ), но не работает с ЖК дисплеями [17]. Нарушение сепарации в таких системах происходит из-за остаточного свечения фосфора ЭЛТ и реже из-за остаточного пропускания ЖК фильтров [16, 22–27].

Характерным для эклипсного метода нежелательным эффектом является мерцание наблюдаемого изображения (фликкер-эффект). Оно возникает из-за того, что при прочих равных условиях частота стереокадров оказывается в два раза ниже частоты обычных кадров. Для устранения эффекта мерцания монитор

должен работать на удвоенной частоте. Во многих системах это достигается за счет снижения количества пикселей, используемых для представления изображения каждому глазу. Это означает снижение не только разрешения изображения, но и его яркости [28].

2.2.5. Метод пространственного разделения изображений

Основан на разделении левого и правого изображений по направлениям идущих от них световых потоков.

Световые потоки от левого и правого изображений направляются так, что левым глазом зритель может видеть только левое изображение, а правым – только правое.

Среди всех стереоскопических методов данный метод имеет наибольшее количество вариантов реализации:

1) стереоскопические системы с использованием индивидуальных зрительных приборов: стереоскопы [29, 30] и наглемные дисплеи (HMD) [22, 31–33];

2) стереоскопические системы, не требующие индивидуальных зрительных приборов (автостереоскопические системы):

2а) системы с “объемной” оптикой (bulk optics): большие линзы, зеркала [34–41];

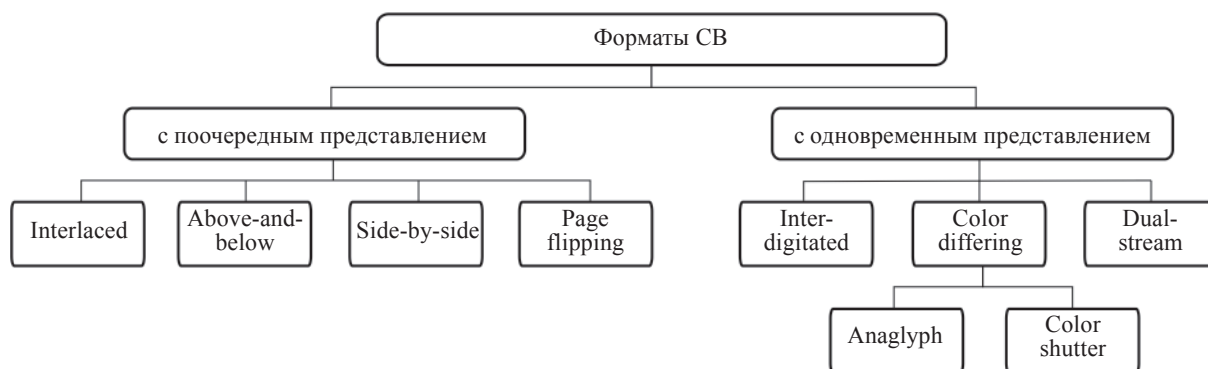


Рис. 3. Классификация форматов СВ.

2б) системы с микрооптикой: оптические растры [5, 7, 15, 18, 35, 37, 42–47];

2в) системы с одновременным использованием “объемной” оптики и микрооптики [35].

Автостереоскопические системы направляют световые потоки от левого и правого изображений стереопары соответственно в левый и правый глаз зрителя, что позволяет наблюдать объемное изображение без использования индивидуальных зрительных приборов [35]. Говорят, что система образует зоны избирательного видения (окна наблюдения), т. е. направляет световые потоки от стереопары так, что глаз может увидеть левое или правое изображение стереопары, находясь только в определенных областях пространства. Если левый глаз зрителя оказывается в окне с левым изображением, а правый глаз – в окне с правым изображением стереопары, то зритель будет воспринимать изображение объемным.

Для наблюдения объемного изображения положение глаз все время должно соответствовать фиксированным зонам наблюдения, что ограничивает свободу движений зрителя. Для устранения этого ограничения [21, 35] либо обеспечивают отклонение окон наблюдения в соответствии с изменением положения зрителя [44, 48], либо создают последовательность окон наблюдения так, чтобы, покидая одну пару окон, глаза зрителя попадали в другую [39, 40].

Особенностью автостереоскопических систем с микрооптикой является необходимость точного совмещения элементов оптического раstra с пикселями двумерного дисплея. В этих системах используются ЖК дисплеи, так как их пиксели имеют точную постоянную позицию [35, 36].

3. Форматы СВ

3.1. Классификация форматов

В работах [13, 49] ставится вопрос об определении понятия “формат” в области СВ. В [49] приводится следующее определение: “Электростереоскопический формат – метод назначения пикселей (или совокупностей пикселей – линий или кадров),

соответствующих левому и правому изображениям, делающий возможным их отображение на экране дисплея и наблюдение зрителем как изображения с бинокулярным стереопсисом”.

Принимая во внимание это определение и лексическое значение слова “формат”, определим формат СВ как совокупность правил размещения информации, составляющей СВИ, при ее хранении и воспроизведении, выполнение которых делает возможным наблюдение воспроизводимого изображения как изображения с бинокулярным стереопсисом. Обычно речь идет о размещении информации на пленке, в кадровом буфере видеокарты компьютера и на экране дисплея.

Распространенным является деление на форматы с чередованием во времени² (Temporally multiplexed formats) и форматы с чередованием в пространстве (Spatially multiplexed formats). Однако некоторые форматы не могут быть включены ни в ту, ни в другую группу, например, формат “Анаглифная стереопара” (Anaglyph), упоминаемый в работе [17]. Поэтому при составлении классификации форматов СВ мы использовали разделение на форматы с одновременным представлением обеих частей стереопары и форматы с поочередным представлением частей стереопары (см. рис. 3).

В составленную классификацию форматов не включены “код белой линии” (White Line Code) и формат с последовательным сегментом (Segment sequential format), упоминаемые в работах [13, 49], так как согласно принятому нами определению они скорее относятся не к форматам СВ, а к технике использования этих форматов.

Как следует из [50], “код белой линии” является названием способа разметки кадров в системе с ЖК очками (см. рис. 2), позволяющей компьютеру автоматически определять, для какого глаза предназна-

² В рассмотренной литературе названия почти всех форматов даны только на английском языке. Используемые в данной статье русскоязычные названия форматов, за исключением “вертикальной стереопары” и “горизонтальной стереопары”, введены авторами и еще не являются общепринятыми.

чен данный кадр. Этот способ разметки может быть использован с любым форматом с поочередным представлением частей стереопары [50]. Как следует из [49, 51], “формат с последовательным сегментом” является названием способа устранения эффекта нарушения сепарации, возникающего из-за остаточного свечения фосфора ЭЛТ. Данный способ также может использоваться при работе с различными форматами.

3.2. Описание форматов

3.2.1. Формат “чересстрочная стереопара” (Interlaced)

Другие названия: line blanking, interleaved, alternate line.

Формат “чересстрочная стереопара” используется при работе с дисплеями с чересстрочной разверткой и является основным форматом для стереоскопического телевидения [49]. Каждый кадр содержит обе части стереопары. В нечетных строках содержится изображение, адресованное левому глазу, а в четных – правому (или наоборот).

При чересстрочной развертке каждый кадр отображается в два этапа. Сначала на экран выводятся все нечетные строки, затем – все четные. Получается, что левое и правое изображения отображаются на экране попеременно. Если смотреть на такой дисплей через очки с ЖК затворами, синхронизированные с обновлением кадров, каждый глаз будет видеть только то изображение, которое ему адресовано.

Недостатками данного формата является двукратное снижение частоты обновления и разрешения по вертикали у стереокадров по сравнению с частотой обновления и разрешением обычных кадров [49], достоинством – хорошая совместимость с телевизионным оборудованием и стандартами.

3.2.2. Формат “альтернативная стереопара” (Page flipping)

Другие названия: alternate page, page swapping.

Используется при работе с дисплеями с непрерывной разверткой, в основном с компьютерными мониторами. Каждый кадр, формируемый в кадровом буфере видеокарты компьютера, содержит только одну из двух частей стереопары. Например, все нечетные кадры содержат изображения для левого, а все четные – только для правого глаза. Левые и правые части стереопар выводятся поочередно. Для просмотра используются очки с ЖК затворами.

Как и в случае с форматом “чересстрочная стереопара”, наблюдаемая частота обновления стереокадров оказывается в два раза ниже частоты обновления обычных кадров, что может привести

к эффекту мерцания. Для предотвращения этого эффекта необходимо, чтобы монитор и видеокарта могли выводить кадры с удвоенной частотой. Поэтому формат “альтернативная стереопара” имеет ограниченную совместимость с компьютерным оборудованием. Достоинством формата является то, что каждый кадр имеет полное разрешение.

3.2.3. Формат “вертикальная стереопара” (Above-and-below)

Другие названия: over-under, top-bottom, sync-doubled, sub-fields.

В основном используется в компьютерных системах и может работать в режиме как непрерывной, так и чересстрочной развертки [13]. Каждый кадр делится пополам по горизонтали. Левая часть стереопары располагается в верхней половине, а правая – в нижней половине кадра (или наоборот). При этом обе части должны быть сжаты по вертикали вдвое. Таким образом, вся стереопара умещается в кадровом буфере (см. рис. 2).

При выводе такого кадра на экран специальное устройство (контроллер для ЖК очков) добавляет дополнительный синхроимпульс в сигнал, поступающий от видеокарты к монитору, в середину между двумя соседними синхроимпульсами [17]. В результате сначала растягивается на весь экран верхняя часть кадра, а затем – нижняя. Получается, что изображения, предназначенные для левого и правого глаз, предъявляются поочередно. Для наблюдения можно использовать очки с ЖК затворами.

Монитор отображает кадры с удвоенной частотой. В результате каждый глаз видит адресованное ему изображение с той же частотой, что и при просмотре обычной видеозаписи. Таким образом, данный формат позволяет избежать мерцания при работе с не очень быстрыми видеокартами. Другим достоинством формата является его совместимость со стандартным компьютерным оборудованием. Недостатком является снижение в два раза разрешения по вертикали, а следовательно, и яркости при растягивании изображения.

3.2.4. Формат “горизонтальная стереопара” (Side-by-side)

Другое название: side-fields.

Формат “вертикальная стереопара” позволяет избежать мерцания, но дает недостаточно хорошее изображение при работе с телевизионными сигналами NTSC и PAL из-за относительно малого количества строк [13]. В связи с этим был разработан формат “горизонтальная стереопара”, в котором обе

части стереопары также размещаются в половинах одного кадра, но кадр разделен не по горизонтали, а по вертикали [13]. При этом обе части должны быть сжаты по горизонтали вдвое.

3.2.5. Формат “смешанная стереопара” (*Interdigitated* [49])

Другие названия: pixel sequential, spatially multiplexed.

Каждый кадр разбит на участки, размеры которых сравнимы с размерами пиксела двухмерного дисплея (например, на строки, столбцы, квадраты). Эти участки заполняются поочередно соответствующими участками левого и правого изображений. Получается, что части левого и правого изображений чередуются в пространстве. Вся стереопара помещается в одном кадре.

Данный формат применяется в основном в автостереоскопических дисплеях, использующих щелевые или линзовые растры. Недостатками формата являются как минимум в два раза меньшие разрешение и яркость наблюдаемого стереоскопического изображения и необходимость точного совмещения элементов микрооптического растра с пикселями ЖК дисплея.

3.2.6. Форматы “хроматические стереопары” (*Color differing* [17])

В каждом кадре присутствуют обе половины стереопары, окрашенные в дополнительные друг другу цвета. Если распределение цветов между левым и правым изображениями постоянно, это формат “анаглифная стереопара”, если непостоянно – это формат “цветопеременная стереопара” (Color-shutter). Данные форматы работают только с анаглифным методом разделения изображений.

3.2.7. Формат “анаглифная стереопара” (*Anaglyph* [17])

В каждом кадре содержатся обе части стереопары, окрашенные в дополнительные друг другу цвета [17]. Разделение цветов между изображениями для левого и правого глаз постоянно (одинаково во всех кадрах) [17]. Для наблюдения используются пассивные очки с цветными светофильтрами.

3.2.8. Формат “цветопеременная стереопара” (*Color-shutter* [17, 36])

В каждом кадре присутствуют обе части стереопары, окрашенные в дополнительные друг другу цвета, разделение цветов непостоянно. Например,

во всех нечетных кадрах используется R -компонент для левого изображения и $(G + B)$ -компонент для правого изображения, а во всех четных кадрах – наоборот [17].

Для наблюдения используются очки с цветными ЖК фильтрами, цвета которых изменяются на дополнительные синхронно с показом кадров. Вместо “яркостного мерцания”, наблюдаемого в форматах с поочередным представлением частей стереопары, здесь возникает “цветовое мерцание”, к которому зрительная система человека менее чувствительна [36].

Из-за использования активных очков может показаться, что при просмотре видеозаписи в формате “цветопеременная стереопара” применяется эклипсный метод. На самом деле здесь, как и в случае с форматом “анаглифная стереопара”, разделение частей стереопары происходит по частоте света, следовательно, метод, используемый с форматом “цветопеременная стереопара”, является анаглифным.

3.2.9. Форматы “двухпоточковые стереопары” (*Dual-stream* [49])

Форматы, в которых для воспроизведения СВ используются два отдельных потока информации: один – для левого и другой – для правого изображения. Особенностью этих форматов является необходимость синхронизации двух информационных потоков, содержащих изображения, адресованные левому и правому глазам зрителя.

Термин “Dual-stream” взят из работы [49], в которой он означает формат СВ в системе HMD, где используются два видеопотока – по одному для каждого дисплея. В данной работе термин “Dual-stream” (“двухпоточковая стереопара”) использован для обозначения целой группы форматов, из которых не все имеют общепринятые собственные названия.

4. Технологии СВ

Технологии СВ связаны с конкретной реализацией выбранного метода и использованием выбранного формата с помощью оптических устройств, вычислительной техники, программного обеспечения и других средств. Под технологией СВ будем понимать применение определенных технических и программных средств, обеспечивающих воспроизведение стереопары и ее наблюдение как изображения с бинокулярным стереопсисом.

Например, для реализации метода пространственного разделения изображений в одних системах используется представление обеих частей стереопары на едином дисплее [38, 44] – однодисплей-

ная технология, а в других – на различных дисплеях [31, 35] – двухдисплейная технология. Используемые в этих системах форматы тоже различны.

Для построения автостереоскопических систем, использующих одни и те же метод и формат, также применяются различные технологии, например, сепарация с помощью щелевого раstra [8, 35], раstra с цилиндрическими линзами [8], технологии параллакс-освещения (Parallax illumination) [45].

Таким образом, наряду с методом и форматом целесообразно ввести третью составляющую СВС – технологию. Сформулировав определения метода, формата и технологии применительно к стереоскопии, получаем систему из трех координат, в которой удобно рассматривать и сравнивать различные подходы к созданию СВС.

Технологии СВ настолько разнообразны, что их классификацию следовало бы сделать предметом отдельного анализа. Поэтому при обсуждении технологий в данной работе ограничимся сформулированным выше определением и тем, что уже было сказано о них в предыдущих разделах. Для более детального ознакомления с современными технологиями СВ заинтересованный читатель может обратиться к работам [11, 17, 35, 52, 53], кратко затрагивающим реализацию различных стереоскопических методов, а также к работам [24, 25, 31, 38, 41, 44, 48], каждая из которых подробно описывает реализацию одного из методов.

Заключение

Активное развитие систем воспроизведения объемных изображений движущихся объектов, основанных на принципах стереоскопии, обусловило появление большого количества неоднозначных терминов и классификаций, связанных с различными подходами к организации стереоскопических видеосистем.

В настоящей работе предложена идея анализа каждого такого подхода как совокупности метода, формата и технологии и сформулированы определения данных терминов применительно к стереоскопическому видео. Это открывает возможности для создания более полных и непротиворечивых классификаций, имеющих четко обозначенные предмет и критерий. Именно такие классификации попытались предложить авторы для методов и форматов стереоскопического видео. При этом в качестве критерия классификации методов были выбраны физические характеристики световой волны, используемые для разделения левого и правого изображений. Это кажется особенно важным, так как один и тот же метод может быть реализован различными техническими средствами.

Представляется, что предложенные концепция анализа стереоскопических видеосистем и классификации методов и форматов стереоскопического видео позволят эффективнее использовать накопленный в стереоскопии материал при создании новых, еще более совершенных стереоскопических систем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Weissman M. Forum on Stereoscopic Imaging Standards: A Summary // Proc. SPIE. 1998. V. 3295. P. xvii.
2. Weissman M. Stereoscopic Imaging Standards Forum Summary // Proc. SPIE. 2000. V. 3957. P. 139.
3. Weissman M. Stereoscopic Imaging Standards Forum Summary // Proc. SPIE. 2001. V. 4297. P. xix.
4. Woods A. Stereoscopic Standards Forum Summary // Proc. SPIE. 2002. V. 4660. P. xix.
5. Иванов Б.Т., Барцевский Б.У. Объемные изображения. М.: Гостехиздат, 1957. 72 с.
6. Иванов Б.Т. Стереокинотехника. М.: Искусство, 1956. 216 с.
7. Шепелюк В. Стереokino. М.: Госкиноиздат, 1945. 107 с.
8. Валуев Н.А. Стереоскопия. М.: Изд-во АН СССР, 1962. 379 с.
9. Груц Ю.Н. Стереоскопическая машинная графика. Киев: Наук. думка, 1989. 158 с.
10. Roberts J., Slattery O. Display Characteristics and the Impact on Usability for Stereo // Proc. SPIE. 2000. V. 3957. P. 128–137.
11. McAllister D.F. Display Technology: Stereo & 3D Display Technologies // Wiley Encyclopedia on Imaging Science and Technology. Wiley Interscience, 2002. [preprint].
12. Lipton L. Foundations of the Stereoscopic Cinema: A study in depth. New York: Van Nostrand Reinhold Publishing, 1982. 325 p.
13. Lipton L. StereoGraphics Developer's Handbook. StereoGraphics Corporation, 1997. 58 p.
14. Иванов С.П. О стереоскопическом кино. Стенограмма публичной лекции, прочитанной 5 мая 1948 года в Центральной лектории Общества в Москве. М.: Правда, 1948. 31 с.
15. Шмаков П.В. Основы цветного и объемного телевидения. М.: Сов. наука, 1954. 304 с.
16. Lipton L. The Stereoscopic Cinema: From Film to Digital Projection // SMPTE Journal. September 2001. P. 586–593.
17. Ezhov V.A., Studentov S.A. Volume (or stereoscopic) images on the screens of standard computer and television displays // Proc. SPIE. 2005. V. 5821. P. 102–116.
18. Валуев Н.А., Савицкая Л.В., Кондрашевский В.В. и др. Стереоскопия и ее применение / Под ред. Б.А. Аничкина, И. Г. Винницкого. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1989. 244 с.

19. Woods A. Stereoscopic Presentations – Taking the Difficulty out of 3D // Proc. of the 6th International Workshop on 3D Imaging Media Technology. Seoul, 2000. [preprint].
20. Woods A. Optimal Usage of LCD Projectors for Polarized Stereoscopic Projection // Proc. SPIE. 2001. V. 4297. P. 5–7.
21. Meesters L., Isselstein W., Seuntiens P. A Survey of Perceptual Evaluations and Requirements of Three-dimensional TV // IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology. 2004. V. 14. № 3. P. 381–391.
22. Katys P.G., Katys G.P. Synthesis and Analysis of Three-dimensional Video Information // Proc. SPIE. 2005. V. 5821. P. 93–101.
23. Lipton L. Factors affecting “ghosting” in time-multiplexed plano-stereoscopic CRT display systems // Proc. SPIE. 1987. V. 761. P. 75–78.
24. Kwon S.-B., Woo S.-I., Im J.-S., Park S.-K., Hwang W.-M., Han J.-H., Kim H.-S. Plastic Film Liquid Crystal Shutter and Its Application to 3D Stereoscopic Display // Proc. of the 3rd International Meeting on Information Display. Daegu, 2003. P. 468–471.
25. Belyaev V. PDLCD Shutters for 3D Imaging // Proc. SPIE. 2005. V. 5821. P. 117–124.
26. Woods A. Characterising Sources of Ghosting in Time-Sequential Stereoscopic Video Displays // Proc. SPIE. 2002. V. 4660. P. 66–77.
27. Konrad J., Lacotte B., Dubois E. Cancellation of Image Crosstalk in Time-sequential Displays of Stereoscopic Video // IEEE Trans. on Image Processing. 2000. V. 9. № 5. P. 897–908.
28. Lipton L. The Future of Autostereoscopic Electronic Displays // Proc. SPIE. 1992. V. 1669. P. 156–162.
29. Веденов А.А. Математика стереоизображений. М.: Знание, 1991. 48 с.
30. McKay H. Three-dimensional Photography: Principles of Stereoscopy. New York: American Photography Book Department, 1953. 333 p.
31. Rolland J., Cakmakci O. The Past, Present and Future of Head Mounted Display Designs // Proc. SPIE. 2005. V. 5638. P. 368–377.
32. Hua H., Girardot A., Gao Ch., Rolland J. Engineering of Head-Mounted Projective Displays // Appl. Opt. 2000. V. 39. № 22. P. 3814–3824.
33. Min P., Jense H. Interactive Stereoscopy Optimization for Head-mounted Displays // Proc. SPIE. 1994. V. 2177. P. 306–316.
34. McKay S., Manson S., Mair L., Waddell P., Fraser S. Stereoscopic display using a 1,2-m diameter stretchable membrane mirror // Proc. SPIE. 1999. V. 3639. P. 122–131.
35. Holliman N. Three-dimensional Display Systems // Handbook on Optoelectronics. V. 2. Taylor & Francis, 2005. [preprint].
36. Starks M. Stereoscopic Imaging Technology: Review of Patents and Literature // Int. Jour. Virtual Reality. 1995. V. 1. № 2. P. 2–25.
37. Putlin A. 3D display as a black box // Proc. SPIE. 2005. V. 5821. P. 85–92.
38. Travis A.R.L. Time-multiplexed 3D Display // Proc. of the 3rd International Meeting on Information Display. Daegu, 2003. P. 444–447.
39. Dodgson N., Moore J., Lang S., Martin G., Canepa P. A Time Sequential Multi-projector Autostereoscopic Display // SID Journal. 2000. V. 8. № 2. P. 169–176.
40. Martin G., Smeyne A., Moore J., Lang S., Dodgson N. Three-dimensional Visualization Without Glasses: A Large-screen Autostereoscopic Display // Proc. SPIE. 2000. V. 4022. P. 203–213.
41. Kim S.S., Shestak S.A. Multi-view Autostereoscopic Display Technology and Applications // Proc. of the 3rd International Meeting on Information Display. Daegu, 2003. P. 463–467.
42. Иванов Б.Т. Стереоскопическое кино. М.: Госкиноиздат, 1951. 56 с.
43. Комар В.Г., Серов О.Б. Изобразительная голография и голографический кинематограф. М.: Искусство, 1987. 282 с.
44. Surman Ph., Sexton I., Bates R., Wing Kai Lee, Kam Chuan Yow. Multi-user 3D display employing coaxial optics // Proc. SPIE. 2005. V. 5821. P. 163–174.
45. Макушенко А.М. Новейшие дисплейные технологии // Оптический журнал. 2003. Т. 70. № 7. С. 78–80.
46. Yan J., Kowel S., Cho H.J., Ahn Ch. H. Real-time Full-color Three-dimensional Display with a Micromirror Array // Optics Letters. 2001. V. 26. № 14. P. 1075–1077.
47. Lipton L., Feldman M. New Autostereoscopic Display Technology: The SynthaGram // Proc. SPIE. 2002. V. 4660. P. 229–235.
48. Surman Ph., Sexton I., Hopf K., Buckley E., Lee W., Bates R. Multi-user 3D Display Using a Head Tracker and RGB Laser Illumination Source // Proc. of the XV International Symposium Advanced Display Technologies 2006. Moscow, 2006. P. 27–32.
49. Lipton L. Stereo-vision Formats for Video and Computer Graphics // Proc. SPIE. 1997. V. 3012. P. 239–244.
50. Lipton L., Halnon J. Universal Electronic Stereoscopic Display // Proc. SPIE. 1996. V. 2653. P. 219–223.
51. Lipton L., Halnon J., Dorworth B., Wuopio J. An Improved Byatt Modulator // Proc. SPIE. 1998. V. 3295. P. 121–126.
52. Томилин М.Г. Передовые дисплейные технологии // Оптический журнал. 2003. Т. 70. № 7. С. 4–17.
53. Woods A. Compatibility of Display Products with Stereoscopic Display Methods // Proc. of the International Display Manufacturing Conference 2005. Taipei, 2005. [preprint].