

КИНОМЕХАНИК

НОВЫЕ ФИЛЬМЫ

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ

МАССОВО-ТЕХНИЧЕСКИЙ

ЖУРНАЛ

8/2006

А.С.К.

группа компаний

ОБОРУДОВАНИЕ КИНОТЕАТРОВ.
ПРОЕКТИРОВАНИЕ, МОНТАЖ, ГАРАНТИЯ.



А.С.К. ГРУППА КОМПАНИЙ

www.ackgroup.ru, e-mail: info@ackgroup.ru

Россия, 117571, Москва, ул. 26 Бакинских Комиссаров, 9

Аудитория С.К. (495) 510 2552, офис 44

Арт Саунд К. (495) 510 2550, офис 37

DEMO SPEC



ISCOOPTIC

LIGHTING-EDGE TECHNOLOGIES

USHIO

DOLBY DIGITAL

K.C.S.

KINETIK CINEMA SOUND



ТРЕХМЕРНЫЕ ДИСПЛЕИ: ВЫБОР ПРАКТИЧЕСКИ ЦЕННЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

В. Ежов

В статье предложена классификация трехмерных дисплеев и выделены подклассы реализуемых и перспективных технических решений. Оценка практической ценности технических решений (их конкурентоспособности в решении основных задач объемного отображения) выполнена на базе объективных (присущих самим дисплеям) физико-технических факторов с учетом субъективных (психофизиологических) факторов, обусловленных фундаментальными свойствами объемного видения человека.

Автор признателен С. А. Студенцову за полезные обсуждения физического механизма работы ЖК-ячеек. Статья печатается с некоторыми сокращениями.

Трехмерные дисплеи разрабатываются уже в течение многих десятилетий. Однако, несмотря на большое разнообразие технических предложений и многогранность задач, в которых востребовано объемное отображение, реальное применение пока находят лишь определенные варианты трехмерных дисплеев.

Для того чтобы установить принципиальные причины этой парадоксальной ситуации, в данной работе:

- предложена классификация технических решений (далее – решений) по трехмерным дисплеям исходя из двух критериев;
- определены первичные объективные и субъективные факторы для оценки реализуемости и перспективности решений;
- на основе первичных факторов определены априори нереализуемые или неперспективные подклассы решений;
- рассмотрены основные группы задач объемного отображения и предъявляемые ими требования к решениям;
- выделен перспективный подкласс решений, отвечающий требованиям современных задач объемного отображения.

О фундаментальных свойствах объемного видения человека. Прежде всего следует подчерк-

нуть, что в зрительном аппарате человека отсутствует прямой *3-координатный* анализатор объемных визуальных образов, то есть такой зрительный анализатор, который исследовал бы предъявляемый образ трехмерной сцены напрямую по трем пространственным координатам. Объемное изображение любой сцены всегда воспринимается зрением человека только посредством формирования промежуточных *двумерных* проекций (ракурсов) сцены, которые далее анализируются (обрабатываются) сознанием человека для получения полноценного восприятия им объема сцены. Иначе говоря, объемное видение человека основано на *бинокулярном (стереоскопическом)* зрении, когда зрительный аппарат анализирует различия в двумерной структуре двух моноскопических изображений сцены (сформированных на сетчатках двух глаз посредством хрусталиков-объективов) с последующим восстановлением объема сцены в виртуальном виде (в сознании человека).

При этом максимальная *реалистичность* восприятия человеком сцен реального мира обеспечивается за счет дополнительных факторов зрения (см. раздел 2.2), которые пока крайне редко используются при наблюдении *опосредованных* (формируемых трехмерными дисплеями) визуальных образов. Это

не ухудшает существенно восприятие человеком объема (за которое «ответственно» в основном бинокулярное зрение), а лишь снижает реалистичность восприятия (менее ярко выражен эффект присутствия наблюдателя в наблюдаемой сцене). Однако именно реалистичность восприятия для некоторых задач является доминантой, в таких случаях необходимо максимально учитывать все факторы зрения.

Комфортность восприятия образа трехмерной сцены соответствует естественности работы зрительного аппарата наблюдателя. Наивысшая комфортность отвечает созданию таких условий наблюдения опосредованных визуальных образов, которые максимально приближены к условиям естественного (прямого) восприятия человеком сцен (картин) реального мира. Рассогласование каких-либо характеристик зрительного аппарата человека при наблюдении опосредованных визуальных образов может привести к неадекватному восприятию образов и к повышенной утомляемости зрения.

1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ БАЗОВЫХ КЛАССОВ И ПОДКЛАССОВ ТРЕХМЕРНЫХ ДИСПЛЕЕВ

В качестве первого критерия классификации выберем *характер представления* исходной трехмерной сцены в визуальном образе, предъявляемом наблюдателю (в образе, формируемом дисплеем в его рабочей среде, рабочем пространстве). В результате получим два класса дисплеев:

а) с *объектным* представлением (сцены), когда предъявляется визуальный образ собственно объектов сцены, то есть исходное световое распределение, присущее разрешимым точкам самих объектов;

б) с *дифракционным* представлением, когда предъявляется дифракционный образ сцены, то есть дифракционное световое распределение, существующее в некоторой плоскости пространства, расположенной на некотором расстоянии, вплоть до бесконечности, от объектов сцены.

Математически дифракционное представление в произвольной плоскости описывается известным

дифракционным интегралом Френеля-Кирхгофа, который с позиции теории информации (пространственной обработки сигналов) содержит функцию искомого изображения (его светового распределения) не напрямую, как это имеет место в плоскости изображения, а в виде математической операции интегральной свертки функции указанного светового распределения с функцией отклика свободного пространства на импульсное воздействие. Импульсное воздействие в данном случае по сути соответствует световой точке; результатом ее воздействия на свободное пространство является распространяющаяся в его пределах сферическая волна. Математически импульсный отклик пространства (в данном случае сферическая волна) описывается элементарной комплексной экспоненциальной функцией. Роль линзы (хрусталика глаза) состоит в выполнении математической операции, обратной операции свертки, именно поэтому обеспечивается успешное наблюдение человеком изображения через восприятие дифракционного образа.

Данное уточненное понятие дифракционного представления, или образа, необходимо иметь в виду во избежание путаницы в терминологии при определении истинного характера предъявляемого каким-либо трехмерным дисплеем конкретного образа, например, отличать голографический метод, обеспечивающий корректное формирование вышеуказанного дифракционного образа, от не голографического дифракционного метода формирования объектного образа, который иногда ошибочно трактуется исследователями как голографический (см. раздел 7.2.).

В качестве второго критерия выбрана *размерность* (число пространственных степеней свободы) предъявляемого дисплеем образа исходной сцены. В результате каждый из указанных двух базовых классов разделится на два подкласса, один из которых характеризуется *трехмерностью* предъявляемого образа, другой – *двумерностью*.

Практически все известные технические решения по трехмерным дисплеям попадают в указанные базовые классы.

Термин «техническое решение» понимается в патентоведческом смысле, то есть техническое решение

(устройство или способ) должно удовлетворять условию единства изобретения. Произвольный известный трехмерный дисплей может сочетать в себе линейную комбинацию нескольких технических решений (изобретений) в указанном смысле, каждое из которых неизбежно попадет в один из базовых подклассов.

1.1. КЛАСС ТРЕХМЕРНЫХ ДИСПЛЕЕВ НА ОСНОВЕ ОБЪЕКТНОГО ОБРАЗА

1.1.1. ПОДКЛАСС С ТРЕХМЕРНЫМ ОБЪЕКТНЫМ ОБРАЗОМ

Техническая сущность – образ собственно объектов сцены развернут в 3-координатной среде (пространстве)

Техническое наименование подкласса: дисплеи с 3-координатной разверткой (volumetric displays)

В дисплеях данного подкласса пространственное расположение каждой разрешимой точки (пространственного отсчета) предъявляемого образа соответствует (с выбранным масштабом) пространственному расположению соответствующей разрешимой точки (или некоторой группы точек) исходной сцены. Поскольку пока невозможно технически реализовать предъявление всех разрешимых точек динамического трехмерного оптического образа *параллельно (одновременно)* во всех соответствующих точках трехмерного пространства, то предлагаются технические решения с *последовательной* 3-координатной разверткой образа, чаще

всего с «послойным» воспроизведением последнего (рис.1), слитное объемное восприятие которого во времени наблюдателем *W* обеспечивается за счет кратковременной (оперативной) памяти его зрительного аппарата. Геометрия и физическое содержание указанных «слоев» могут быть самыми различными. В одних вариантах («твердотельные» дисплеи) пространство 3-координатной развертки заполнено множеством взаимно параллельно расположенных (вдоль координаты оси *Z*) планарных «слоев» (рис.1,а) некоторого вещества (рабочей среды *T*), которые электрически и/или оптически адресуются последовательно во времени с помощью сканирующего (проеекционного) устройства с источником *S* информации, в других вариантах дисплеев 3-координатная развертка осуществляется вращением одного и того же планарного «слоя» – экрана *Э* (рис.1,б) при его последовательной во времени адресации, в третьих вариантах 3-координатная развертка осуществляется в пространстве, не содержащем твердого вещества, в частности, образ может развертываться в виде *послойного действительного* трехмерного изображения, «висящего» в воздухе или вообще в вакууме, при этом ввод информации с источника *S* осуществляется с использованием неподвижной двумерной рабочей среды, а переход от одного слоя к другому (вдоль координаты *Z*) осуществляется изменением фокусного расстояния сферического зеркала *MR* (рис.1,в).

Многообразие подобных технических предложений образуется в основном за счет варьирова-

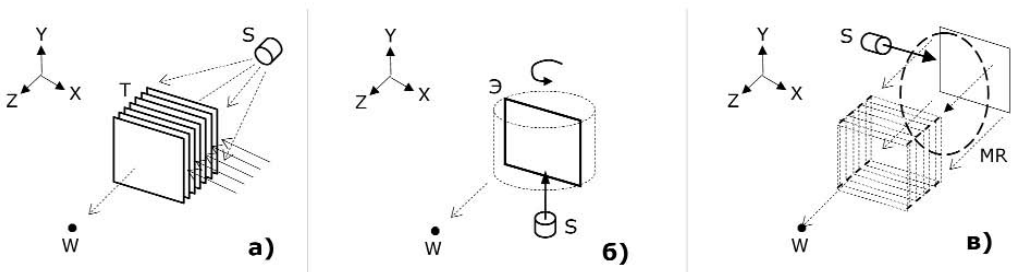


Рис.1 Примеры принципиальных схем дисплеев с 3-координатной разверткой

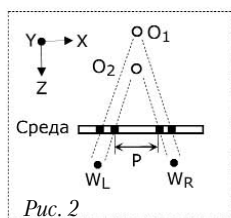
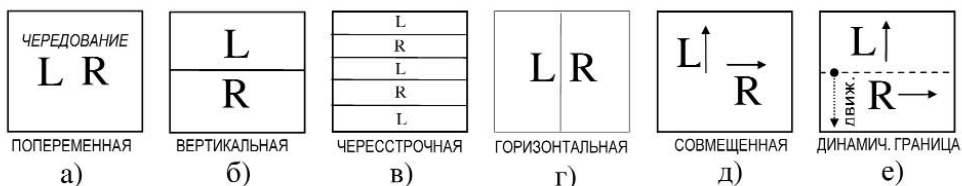


Рис. 2

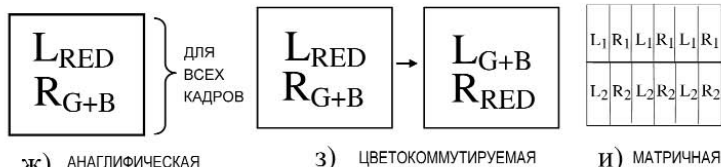


Рис. 3. Основные стереоскопические форматы

ния способов адресации рабочей среды (пространства 3-координатной развертки) и за счет перебора всевозможных веществ в качестве рабочей среды.

1.1.2. ПОДКЛАСС НА ОСНОВЕ ДВУМЕРНОГО ОБЪЕКТНОГО ОБРАЗА

Техническая сущность – образ собственно объектов сцены представлен двумерными проекциями (стереопарами)

Техническое наименование подкласса: стереоскопические дисплеи (stereoscopic displays)

Образ трехмерной исходной сцены представлен в виде плоских проекций, называемых ракурсами (views) сцены. Различают левый L и правый R ракурсы, одновременно предъявляемые соответственно левому W_L и правому W_R глазам наблюдателя (рис. 2) с целью получения объемного изображения, например, двух объектов в виде точек O_1 и O_2 – для каждой по двум проекциям. Глубина кажущегося расположения указанных объектов (вдоль оси Z) определяется расстоянием P (параллаксом) между одинаковыми фрагментами левой и правой проекций заданного объекта на плоскости (вдоль оси X).

Стереоскопические форматы (форматы представления ракурсов). Стереоскопический формат – способ совместного представления двух ракурсов отображаемой сцены (стереопар) на плоскости экрана дисплея. Основные стереоскопические

форматы¹ иллюстрируются рис.3: *попеременная* стереопара ПС (рис.2,а), *вертикальная* стереопара ВС (рис.2,б), *чересстрочная* стереопара ЧС (рис.2,в), *горизонтальная* стереопара ГС (рис.2,г), *совмещенная* стереопара СС (рис.2,д), стереопара с *динамической (движущейся) границей* ДГС (рис.2,е), *анаглифическая* стереопара АС (рис.2,ж), *цветокоммутируемая* стереопара ЦС (рис.2,з), *матричная* стереопара МС (рис.2,и).

Многообразие указанных форматов вызвано стремлением обеспечить максимальную гибкость объемного отображения.

Основная черта данного подкласса – наивысшая степень совместимости с двумерными (моноскопическими) дисплеями по выходу (способу представления информации) и по входу (источнику сигнала). Достаточно пары двумерных проекций для наблюдения сцены любой глубины и с расположением ее объектов на любом расстоянии от наблюдателя. Ограничения на глубину отображаемой сцены и на величину минимального расстояния от ее объектов до наблюдателя накладываются только из-за стремления минимизировать (не допустить) утомляемости зрения.

¹ Большинство форматов (отмечены курсивом) получило адекватное их смыслу определение на русском языке впервые в этом тексте. Широко распространенные англоязычные определения форматов являются, как правило, устаревшими по смысловому содержанию, и поэтому нецелесообразен прямой перевод этих терминов с английского языка.

1.2. КЛАСС ТРЕХМЕРНЫХ ДИСПЛЕЕВ НА ОСНОВЕ ДИФРАКЦИОННОГО ОБРАЗА

Техническая сущность – образ представлен двумерной или трехмерной динамической голограммой

Техническое наименование класса: дисплей с динамической голограммой

Дифракционный образ в виде оптической волны, идущей от сцены, можно записать в веществе рабочей среды дисплея только в виде интерференционной картины, то есть только в виде суммы (точнее, квадрата модуля суммы) мгновенной амплитуды оптической волны от сцены и мгновенной амплитуды когерентной с ней опорной волны.

Непосредственная запись в любом веществе мгновенной амплитуды оптической волны (без применения опорной волны) не представляется физически возможной в силу крайне высокой несущей частоты оптической волны и отсутствия веществ с адекватным быстродействием. Взаимная когерентность двух волн практически есть постоянство разности фаз мгновенных амплитуд этих волн во всех точках рассматриваемого пространства, что позволяет «вычлесть» оптическую несущую из записи.

Применение опорной волны, суммируемой с когерентной оптической волной от сцены (которую обычно называют предметной волной), позволяет получить стационарную интерференционную картину, структура которой (видность и форма интерференционных полос) и есть запись

предметной волны (дифракционного образа сцены), которую назвали *голографической* для отражения полноты сохранения информации (*holos* – полная, греч.).

В результате каждой из элементарных точек сцены отвечает зонная картина Френеля (рис. 4,а), представляющая в интерференционном виде элементарную сферическую оптическую волну с кривизной и с углом наклона волнового фронта, отражающими пространственное расположение соответствующих точек O_1 и O_2 сцены (с целью наглядности иллюстрации зонные пластинки условно показаны разнесенными в пространстве, на самом деле они записываются в среде интегрально с взаимным наложением, но, тем не менее, действуют на свет независимо друг от друга, подчиняясь принципу линейной суперпозиции, если запись осуществляется на линейном участке передаточной функции рабочей среды).

На практике взаимно когерентные предметную и опорную волны с достаточным (для голографической записи) размахом амплитуды можно получить, применяя монохроматические (лазерные) источники света; использовать для записи не лазерные широкополосные источники света (источники белого света) не представляется возможным.

В левом W_L и правом W_R окнах наблюдения (в которых расположены глаза наблюдателя) осуществляются выборки волнового фронта, идущего с голограммы при ее восстановлении (воспроизведении).

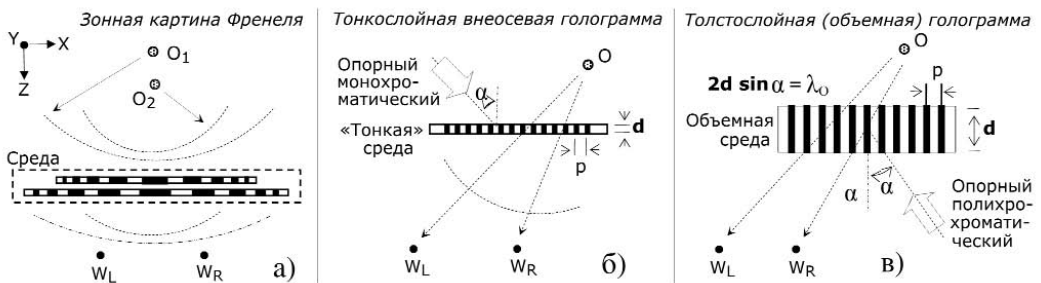


Рис.4. Получение объемных изображений при помощи двух основных видов голограмм

Существует два типа голограмм, в соответствии с которыми можно говорить о двух подклассах рассматриваемых дисплеев.

1.2.1. ПОДКЛАСС С ДВУМЕРНЫМ ДИФРАКЦИОННЫМ ОБРАЗОМ

Техническая сущность – образ представлен в двумерной (тонкослойной) динамической голограмме

Техническое наименование подкласса: дисплей с динамической тонкослойной голограммой

«Тонкослойность» голограммы означает сравнимость толщины d (рис.4,б) слоя рабочей среды со средним периодом p зарегистрированных интерференционных полос. Минимальная величина периода p равна половине средней длины волны света λ (которая для видимого света попадает в диапазон 0,4-0,6 мкм). В этом случае запись последних образует обычную (двумерную) дифракционную решетку, которая характеризуется хроматической дисперсией и наличием двойной системы дифракционных порядков (расположенных симметрично относительно перпендикуляра плоскости решетки).

При записи тонкослойной голограммы необходимо создать достаточно большой угол между направлениями распространения предметной и опорной волн (применить схему записи с внеосевым опорным пучком, называемой схемой Лейта – Упатниекса), чтобы при восстановлении голограммы (подачей опорного пучка под тем же углом α – рис.4,б, под которым он подавался при записи объекта O) обеспечить достаточный пространственный разнос между истинным и «ложным» восстановленными образами (два образа возникают вследствие указанной симметрии системы дифракционных порядков в тонкослойной дифракционной решетке). Угол между предметным и опорным пучком должен быть не меньше, чем наивысшая пространственная частота в угловом спектре частот изображения сцены. Это приводит к тому, что вся интерференционная картина оказывается пространственно промодулирована несущей частотой с периодом, который

должен быть меньше самого малого периода среди всех записанных зонных картин Френеля. Следовательно, что для записи таких голограмм нужна рабочая среда с существенно большим пространственным разрешением (по крайней мере, на порядок), чем это потребовалось бы при записи осевой голограммы (голограммы Габора), которая практически не применяется в устройствах отображения из-за практической невозможности отдельно наблюдать ложный и истинный восстанавливаемые образы (из-за взаимного наложения последних).

1.2.2. ПОДКЛАСС С ТРЕХМЕРНЫМ ДИФРАКЦИОННЫМ ОБРАЗОМ

Техническая сущность – образ сформирован в объемной (толстослойной) динамической голограмме

Техническое наименование подкласса: дисплей с динамической объемной голограммой

Объемные, или толстослойные, голограммы (голограммы Денисюка) характеризуются толщиной d слоя рабочей среды на один-два порядка большей максимального периода p зарегистрированных интерференционных полос (d -30–100 мкм при среднем p -0,2–0,3 мкм). В этом случае зарегистрированные интерференционные полосы фактически образуют решетки Брэгга, которые характеризуются взаимосвязанными спектральной и угловой селективностью (рис. 4,в). Спектральная селективность означает, что при освещении толстослойной голограммы широкополосным источником света (источником белого света) она сама выделит требуемую длину λ_0 волны света для заданного угла α наблюдения в восстановленной предметной волне. Это означает, что для восстановления толстослойной голограммы можно использовать обычные источники белого света.

Угловая селективность означает, что образуется только истинный восстановленный образ, а ложный образ практически подавлен (дифракционные порядки в такой голограмме образуются только с одной стороны от ее оси).

Продолжение следует