

АННОТАЦИЯ-ХАРАКТЕРИСТИКА

цикла работ **Ежова В.А.**

«Исследование физико-технических основ систем трехмерного отображения, трехмерной когерентнооптической обработки волновых сигналов и средств интеллектуализированной оптической защиты зрения»

(2011-2016 гг.)

Тематика цикла включает в себя разработку 5 смежных тем.

1. ФИЗИКО-ИНФОРМАЦИОННАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ ТРЕХМЕРНОГО (3D) ОТОБРАЖЕНИЯ [1]

Традиционно методы информационного 3D отображения идентифицируют только по их принадлежности к исторически сложившимся разнородным группам: «стереоскопические», «голографические», с «объемной метрикой» («volumetric»), «с световым полем» («light field»), «с интегральным изображением» («integral imaging») и т.д., без общего базового классификационного критерия.

Автором предложена [1] физико-информационная классификация методов информационного 3D отображения на основе 4-х базовых модальностей (форматов записи информации в рабочей среде 3D дисплея), соответствующих 4-м комбинациям двух концепций представления информации об отображаемой 3D сцене (объектное представление и представление угловым спектром сферических волн) с двумя взаимно комплементарными методами физической реализации этих концепций (метод геометрической оптики и метод дифракционной оптики).

Научная новизна и оригинальность: данная классификация впервые обеспечивает единый фундаментальный уровень и терминологию для анализа существующих и разработки новых методов 3D отображения (см. ДИ¹).

2. МЕТОДЫ БЕЗОЧКОВОГО СТЕРЕООТОБРАЖЕНИЯ С ПОЛНОЭКРАННЫМ РАЗРЕШЕНИЕМ С ФАЗО-ПОЛЯРИЗАЦИОННЫМ ПАРАЛЛАКСНЫМ БАРЬЕРОМ (ФППБ) [2-5]

Для автостереоскопических методов актуально осуществление полноэкранного (равного полному числу Q дисплейных пикселей экрана) разрешения в изображении каждого ракурса отображаемой 3D сцены, поскольку все представленные на мировом рынке автостереоскопические дисплеи характеризуются пониженным разрешением (величиной Q/N) в изображении каждого ракурса, где N – число ракурсов в формируемом 3D изображении 3D сцены.

Автором в [2, 3] описаны оптоэлектронные методы двухракурсного ($N=2$) автостереоскопического отображения с полноэкранным (Q) разрешением за счет одновременного воспроизведения двух элементов изображений двух ракурсов 3D сцены в каждом дисплейном пикселе на основе поляризационного кодирования света с последующим поляризационным декодированием на основе ФППБ.

Научная новизна и оригинальность:

а) метод с ФППБ – первый метод двухракурсного безочкового стереоотображения, в котором параллаксный барьер (пространственный селектор ракурсов ФППБ) работает по принципу перераспределения светового потока от каждого дисплейного пикселя одновременно в две зоны наблюдения (в известных двухракурсных методах параллаксные барьеры чисто амплитудные и осуществляют селекцию изображений ракурсов только за счет гашения света от несоответствующих данному ракурсу пикселей, неизбежно снижая разрешение);

б) впервые исследованы электрооптические (контрастные и спектральные) характеристики нематических жидкокристаллических (НЖК) структур при работе в качестве ячеек ФППБ с произвольным направлением линейной поляризации входного света (все известные методы 3D отображения работают с ЖК структурами только при единственном направлении поляризации света на входе).

¹ ДИ¹ – дополнительные материалы, раздел 1

Автором определены передаточные функции ФППБ, найден вид НЖК структуры (гомогенная полуволновая НЖК структура) с требуемым функционалом (взаимная перестановка двух проекций вектора поляризации света), проведена ее аналитическая оптимизация (на основе матрицы Джонса [4]). Автором были сформулированы граничные физические условия для проведенного компьютерного моделирования электрооптических характеристик [5] НЖК структур. Автором сделан экспериментальный образец безочкового стереоскопического дисплея (см. ДМ²), демонстрирующий работоспособность предложенного метода. Результаты доложены на трех международных конференциях [1Д-3Д]³.

3. МЕТОД БЕЗОЧКОВОГО СТЕРЕООТОБРАЖЕНИЯ С ДИСТАНЦИОННЫМ БИНОКУЛЯРНЫМ ФИЛЬТРОМ (ДБФ), В ТОМ ЧИСЛЕ - ВАРИАНТ ДБФ ДЛЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ МИЛЛИСЕКУНДНОЙ ДЛИТЕЛЬНОСТИ [6-12]

ДБФ (метод изложен в [6]) позволяет без очков наблюдать стереоизображения с использованием стереоскопических дисплеев, спроектированных для работы с активными стереочками (такие дисплеи пока наиболее распространены на мировом рынке) за счет расположения оптической части ДБФ на некотором рассчитанном расстоянии от лица наблюдателя.

По результатам компьютерного моделирования [7, 8] (для которого автором были сформулированы граничные физические условия) и экспериментальных исследований (проведенных автором) [отчет по НИР - 4Д] найдена НЖК структура с 270-градусной закруткой ЖК молекул, обладающая требуемым значением контраста (246:1) и быстродействия (единицы мс) для реализации активного ДБФ при кадровых частотах 100-160 Гц. Автором реализован макет активного ДБФ с оптической частью цилиндрической формы [9, 10], который установлен (вмонтирован в авиашлем) в визуальной системе авиационного тренажера) ОКБ им. А.И. Микояна РСК «МиГ» (см. ДМ3).

Автором предложена оптоэлектронная схема быстродействующего ДБФ [11] для реализации максимальной яркости изображения при коротких (2 мс) временах воспроизведения стереоизображений (такой режим используется при генерации стереоизображений в компьютерной системе nVidia 3D Vision, имеющейся на мировом рынке)

Научно-техническая новизна:

а) разработаны физико-технические основы для первой в России и СНГ технологии реализации неплоских НЖК модуляторов (по которой изготовлен экспериментальный образец оптической части ДБФ цилиндрической формы),

б) быстродействующий ДБФ предложен на уровне изобретения (патентообладатель – ИОФРАН).

4. МЕТОД ТРЕХМЕРНОЙ КОГЕРЕНТНО-ОПТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ РАДИОВОЛНОВЫХ СИГНАЛОВ [12] [Отчет по НИР - 5Д].

Автором разработаны [12] принципиальная оптическая схема и математическая модель спектроанализатора-коррелятора (КОСК) для обработки в реальном времени трехмерного радиоволнового сигнала с получением в выходной плоскости КОСК одновременно значений двух угловых координат прихода фронта волны и ее спектра (см. ДМ4).

Научная новизна:

а) все 3 степени свободы когерентнооптического КОСК используются при реализации аналогового двумерного фурье-преобразования (ДБФ) в комбинации с корреляционной обработкой результата преобразования на основе временного интегрирования в выходной плоскости КОСК, что обеспечивает максимальную пропускную вычислительную способность данного КОСК (по сравнению с всеми известными оптическими схемами аналогичного назначения);

² ДМ2 - дополнительные материалы, раздел 2

³ 1Д-3Д - ссылки 1-3 в дополнительном списке публикаций (в дополнительных материалах к аннотации)

б) КОСК не накладывает принципиальных ограничений как на полосу частот (которая может быть величиной до сотен ГГц - определяется полосой частот электрооптических модуляторов), так и на длительность обрабатываемого трехмерного сигнала (потенциально интересно для радиолокации, электроника не может работать с такими частотами).

5. МЕТОД ЛОКАЛЬНО-АДАПТИВНОЙ СВЕТОЗАЩИТНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ (ЛАСФ) [13]

Автором предложена [13] система ЛАСФ-защиты оптического входа видео (фото) камеры с автоматической блокировкой (с понижением до заданного уровня) излишне яркого света от источника (солнечный диск) в воспринимаемой (сенсором камеры и зрением на выходе видеокамеры) сцене реального мира при сохранении неизменным воспринимаемого уровня света от остальных объектов сцены, характеризующихся средней и малой яркостью для сохранения четкости восприятия (наблюдения) этих объектов.

Научно-техническая новизна: система предложена на уровне изобретения (патентообладатель - ИОФ РАН); оригинальным является управление ЛАСФ выходными сигналами самой видеокамеры; также создана технология неплоского ЛАСФ (см. ДМ5). Подобные «интеллектуализированные» («умные») защитные фильтры в настоящее время отсутствуют на мировом рынке светозащитных средств (используются светозащитные фильтры только с однородной оптической плотностью по апертуре).

Список публикаций, выдвигаемых на конкурс

1. **Ezhov V.** Toward the Physical-Information Fundamentals of Three-Dimensional Displays. – Journal of Display Technology, 2016, v. 12, № 11, pp.1344-1351.

2. **Ezhov V.** Three-dimensional imaging with simultaneous reproduction of two image elements in one display pixel by linearization of intensity ratio of two images formed by any physical gear. – Applied Optics, 2011, v. 50, № 34, pp.6313-6318.

3. **Ezhov V.** Optical Layout of Autostereoscopic Display That Simultaneously Reproduces Two Image Elements in Each Display Pixel. – Applied Optics, 2014, vol. 53, № 36, pp. 8449-8455.

4. **Ezhov V.** Phase-polarization parallax barriers for an autostereo/stereo/monoscopic display with full-screen resolution at each operation mode. – Applied Optics, 2015, v. 54, № 28, pp.8306-

5. Симоненко Г.В., Студенцов С.А., **Ежов В.А.** Ахроматичность жидкокристаллических модуляторов для 3D применений. – Жидкие кристаллы и их практическое использование, 2015, v. 15, № 3, с.82-90.

6. **Ezhov V.** Distant binocular filters for full-resolution autostereoscopic viewing and for single-aperture stereo glasses. – Journal of Display Technology, 2014, v. 10, № 2, pp.114-119.

7. Симоненко Г.В., Студенцов С.А., **Ежов В.А.** Выбор оптимальной конструкции оптического затвора на пи - ячейке. – Оптический журнал, 2013, т. 80, № 9.

8. **Ежов В.А.**, Студенцов С.А., Симоненко Г.В. Жидкокристаллический модулятор на основе волноводного режима в твист-структуре с большим углом закрутки. – Известия Саратовского университета. Серия «Физика», 2015, Т. 15. № 3, с.24-30.

9. **Ezhov V.**, Studentsov S., Simonenko G., Ivashkin P. Cylindrical liquid crystal modulator for stereoscopic video systems. – Physics of Wave Phenomena, 2015, v.23, № 4, pp. 265-267.

10. **Ezhov V.** Curved Distant Binocular Filter for Autostereoscopic Imaging. – Journal of Display Technology, 2016, v. 12, № 1, pp. 62-65.

11. **Ежов В.А.** Безочковая стереоскопическая видеосистема с дистанционным бинокулярным фильтром. – Патент РФ № 2604210, опублик. 10.12.2016.

12. **Ezhov V.** Coherent optical three-dimensional spectrum-correlation processing of wave signals based on space-time integration. – Applied Optics, 2012, v. 51, № 33, pp. 7900-7909.

13. **Ежов В.А.** Наблюдательно-регистрирующее устройство с локально-адаптивной оптической защитой. – Патент РФ № 2604110, опублик. 10.12.2016.

..

Автор

Ежов В.А.

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ
к циклу работ Ежова В.А. (2011-2016 гг.)

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ СПИСОК РАБОТ ЕЖОВА В.А.

1Д. Ezhov V. Autostereoscopic imaging with simultaneous reproduction of two image elements in one display pixel: general approach and experimental results. – SID Symp. Digest of Tech. Papers (Boston, USA, June 2012), v. 43, No. 1, pp.125-128.

2Д. Ezhov V. A Working Prototype of Flickerless Full-Screen Resolution Autostereoscopic Display With Simultaneous Reproduction of Two Image Elements in One Display Pixel. – Proc. 33rd International Display Conference (EuroDisplay 2013), London, United Kingdom, September 2013, pp.255-257.

3Д. Ezhov V. Novel Optical Layout of Autostereoscopic Display That Simultaneously Reproduces Two Image Elements in Each Display Pixel. – SID Digest of Technical papers, 2014, v. 45, № 1, pp. 1063-1066.

4Д. Научно-технические отчеты по ПНИ (2014-2015) «Разработка и исследование мобильных средств наблюдения с трехмерным отображением и оптической защитой зрения»
Соглашение ИОФРАН-Минобрнауки РФ № 14.604.21.0032 – рук. Ежов В.А..

5Д. Научно-технический отчет по НИР (2012-2013 г.) «Адаптивные когерентнооптические методы получения трехмерных радиоизображений для астрофизических применений.
Соглашение ИОФРАН-Минобрнауки-РАН № 8700 – рук. Ежов В.А..

1. ФИЗИКО-ИНФОРМАЦИОННАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ 3D ОТОБРАЖЕНИЯ.

Однородные модальности (одинаковое представление по всем координатам)

• O_{2C}^R - *объектное (O) двухкоординатное (2C) представление геометрической (Ray) оптикой*
Охватывает методы: (авто)стереоскопические всех видов, включая «сверхплотное расположение ракурсов («super multiview»), интегрального отображения («integral imaging»), «парциальных пикселей» («partial pixels»).

• O_{3C}^R - *объектное (O) трехкоординатное (3C) представление геометрической (Ray) оптикой*
Методы: «соединяемой глубины» («depth-fused»), «светового поля» («light field»), «объемной метрики» («volumetric»).

• S_{2C}^D - *спектрально-угловое (S) двухкоординатное (2C) представление дифракционной (D) оптикой*

Охватывает: «истинно»-голографические методы с одиночными «тонкослойными» (Лейт-Упатниекс) или «толстослойными» (Денисюк) динамическими голограммами плоской конфигурации.

• S_{3C}^D -- *спектрально-угловое (S) трехкоординатное (3C) представление дифракционной (D) оптикой*

«Истинно»-голографические методы с рядом «тонкослойных» и «толстослойных» динамических голограмм плоской конфигурации каждая или с одиночной либо с группой указанных голограмм неплоской конфигурации (такие методы пока не реализованы на практике).

• O_{2C}^D - *объектное (O) двухкоординатное (2C) представление дифракционной (D) оптикой*

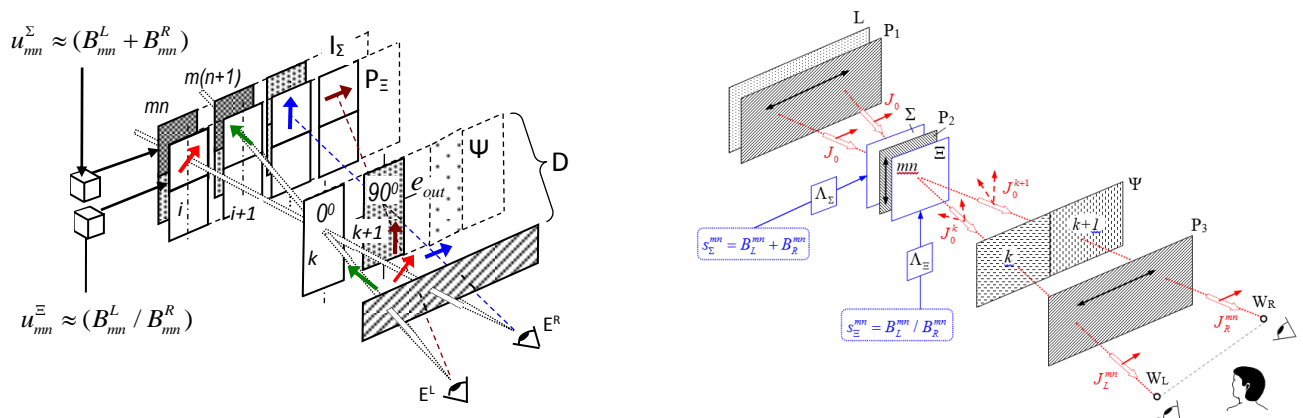
Голографические стереограммы плоской конфигурации (запись двумерных изображений ракурсов 3D сцены в виде плоской голограммы).

- \mathbf{O}_{3C}^D - объектное (O) трехкоординатное (3C) представление дифракционной (D) оптикой
Голографические стереограммы неплоской конфигурации (запись двумерных изображений ракурсов 3D сцены в виде голограммы, например, конической конфигурации).

Неоднородные модальности

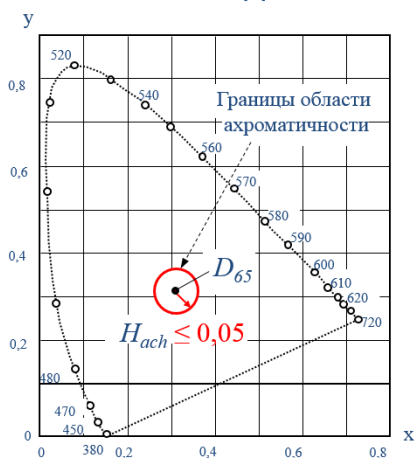
- $\sum_{j=1}^N \mathbf{S}_{xY(j)}^D$ - спектрально-угловое представление дифракционной оптикой вдоль x-координаты, мультиплексированное вдоль y – координаты
«Истинно-голографическое» изображение только вдоль x-координаты
- $\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \mathbf{S}_{X(i)Y(j)}^D$ - «ограниченное» спектрально-угловое представление дифракционной оптикой вдоль x,y-координат, мультиплексированное вдоль каждой из этих координат
«Истинно-голографическое» изображение только вдоль x-координаты
- $\sum_{j=1}^N \mathbf{S}_{xY(j)}^R$ - спектрально-угловое представление геометрической оптикой вдоль x-координаты, мультиплексированное вдоль y – координаты

2. МЕТОДЫ БЕЗОЧКОВОГО СТЕРЕООТОБРАЖЕНИЯ С ПОЛНОЭКРАННЫМ РАЗРЕШЕНИЕМ НА ОСНОВЕ ФППБ

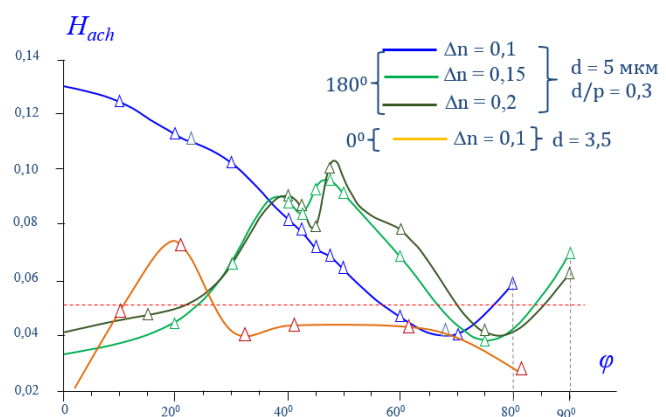


Принцип безочкового наблюдения для двухракурсного варианта 3D дисплея: прямая схема (слева) и обратная схема (справа)

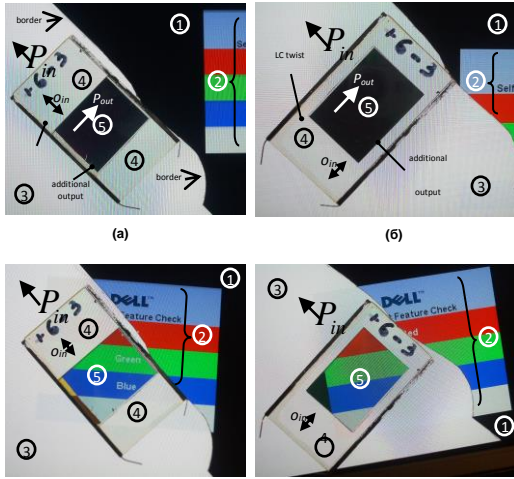
Исследование ахроматичности ЖК π-структуры



Область ахроматичности H_{ach} на диаграмме СIE x-y цветового пространства:
 $H_{ach} \leq 0,05$ – условие ахроматичности для случая белого света (спектра дневного света)



Характеристики ахроматичности ЖК ячеек с 180⁰-ной и нулевой закруткой ЖК молекул



Экспериментальное доказательство принципиальной возможности НЖК ячейки работать при двух взаимно ортогональных направлениях входной поляризации с достаточным контрастом и визуальной хорошей цветопередачей



Экспериментальный образец 3D дисплея

3. МЕТОД БЕЗОЧКОВОГО СТЕРЕООТОБРАЖЕНИЯ С ДИСТАНЦИОННЫМ БИНОКУЛЯРНЫМ ФИЛЬТРОМ (ДБФ)



Экспериментальные образцы оптической части ДБФ

4. МЕТОД 3D КОГЕРЕНТНО-ОПТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ВОЛНОВЫХ СИГНАЛОВ

Когерентнооптический каскад

$$|S_T(\chi)|^2 = \int_0^T |A_t^{\wedge}(\chi)|^2 dt = |A_T^{\wedge}(\chi)|^2$$

Входная плоскость

Выходная плоскость

Сигнал на пространственной несущей

$$tg \alpha_{\chi} = \frac{\sin \theta_0}{\sin \varphi_0}$$

5. МЕТОД ЛОКАЛЬНО-АДАПТИВНОЙ СВЕТОЗАЩИТНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ (ЛАСФ)



Экспериментальный образец неплоской оптической части ЛАСФ (цилиндрической формы)