

Киев: Наук. думка, 1992. - 280 с.

4. Аристов В.В. Применение канонических передаточных функций для анализа, синтеза и преобразования итерационных алгоритмов. // Электрон. моделирование. – 1996, т. 18, № 4. С. 74 – 81.

Поступила 5.04.2017р.

УДК G02B27/22, G02F1/1347

Ю.Н.Груц, Киев

ВОЛЮМЕТРИЧЕСКАЯ СИСТЕМА НА ОСНОВЕ ГИБРИДНОЙ СЛОИСТОСТИ

On the base of idea of a combined parallel-serial layering proposed a principle of construction of the volumetric display systems 3D information, the essence of which lies in the fact that the 3D virtual image is synthesized with the help of a group of layers of two types, namely: parallelism is ensured by a special unit of liquid-crystalline matrices, and a sequence is ensured by system of rotating flat mirrors.

3D системы отображения пространственной информации обычно принято разделять на три класса: стереоскопические системы, голографические системы и волюметрические системы. Наиболее развитым и продвинутом на мировом рынке классом 3D систем, являются стереоскопические системы, хотя для всех видов стереоскопических систем присущ один принципиально не устранимый недостаток - это дисбаланс между аккомодацией и конвергенцией зрения, вызывающий дискомфорт и утомляемость у наблюдателя. В связи с этим, постоянно ведутся разработки волюметрических дисплеев и систем, в которых трехмерное изображение формируется непосредственно в пространстве. В таких системах не требуется использование каких-либо дополнительных устройств (типа очков или шлемов) для наблюдения 3D изображений; и следовательно, у них отсутствует указанный выше дисбаланс зрения.

Анализ доступных источников информации показывает, что существует огромный спектр предлагаемых решений в этой области. В большинстве предлагаемых решений использовано свойство инерции человеческого зрения. 3D изображение синтезируется за счет подвижных плоскостей [1,2,3,4] или поверхностей, на которые выводятся в нужный момент времени требуемые фрагменты искомого изображения. Движение плоскости может быть возвратно-поступательным, вращательным или колеблющимся [5]. Есть разработки, когда изображение проектируется на вращающуюся поверхность в форме спирали [6]. Существует отдельный класс систем, когда 3D изображение является виртуальным - в этом случае наблюдатель видит не

само 3D изображение, а его отражение в пространстве. При этом используются либо оптические системы с вариофокальными линзами [7], либо системы с зеркальными поверхностями различной формы, либо системы с гибкими отражающими поверхностями [8].

Стоит задача - разработать принципы конструирования волномерической системы, обладающей следующими основными характеристиками:

а) безочковость – отсутствие любых видов вспомогательных средств для наблюдения 3D изображений (очковых или нашлемных);

б) многоракурсность – возможность наблюдения без искажений 3D изображения с разных позиций с зоны оператора;

в) динамичность – возможность отображения подвижных объектов и сцен;

г) цветность - возможность отображения цветные 3D изображения;

д) четкость - разрешающая способность на уровне возможностей современных мониторов;

е) многооператорность - возможность независимой одновременной работы нескольких операторов со своими 3D базами данных.

Для удовлетворения заявленным выше характеристикам, во- первых, был выбран виртуальный послойный способ отображения, за счет отражения в плоских зеркалах; во-вторых был разработан принцип гибридной (параллельно-последовательной) слоистости [9]. Чтобы понять, как образуется послойное трехмерное изображение, рассмотрим рис. 1.

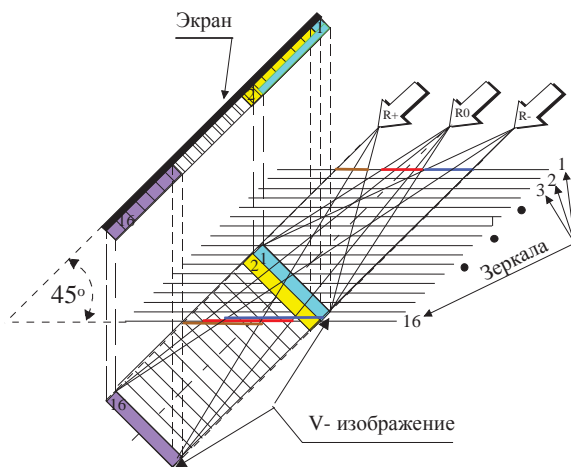


Рис.1. Принцип получения слоистого 3D изображения

На рисунке изображены 16 плоских зеркал, вид сбоку. Все зеркала параллельны друг другу и находятся на некотором расстоянии друг относительно друга. LCD экран расположен под углом 45 градусов к

28

поверхности зеркал. Наблюдатель находится в точке R_0 , линия его зрения по отношению к зеркалам также составляет 45 градусов. Изображение первого глубинного слоя (вдоль координаты Z) выводится в верхней части экрана монитора (область, обозначенная цифрой 1 на экране), отражаясь в первом зеркале занимает виртуальное изображение 1 (первый виртуальный срез искомого 3D изображения). Для того, чтобы виртуальное изображение второго глубинного слоя 2 расположилось точно под виртуальным изображением первого слоя, необходимо: во - первых, сдвинуть изображение второго слоя на экране монитора (область, обозначенная цифрой 2 на экране) вниз на определенную величину; а во - вторых, расположить второе зеркало ниже первого также на некоторую величину (зеркало 2). И так далее, до последнего 16-го слоя. В результате, как видно из рисунка 1, образуется виртуальное 3D изображение, состоящее из 16 слоев (V- изображение).

На рис. 1 также показаны возможные области смещения наблюдателя ($R-$, $R+$); при этом смещения 3D изображения не происходит. Другими словами, имеется возможность обзора трехмерного изображения с места оператора – это удовлетворение требованию многоракурсности.

Конечно, шестнадцати глубинных слоев виртуального образа для практического применения не достаточно, требуется хотя бы слоев сто. Поэтому было предложено вместо обычного LCD - монитора, применить слоистый монитор, идея построения которого, была предложена в американском патенте [1]. Суть построения такого монитора понятна из рис. 2.

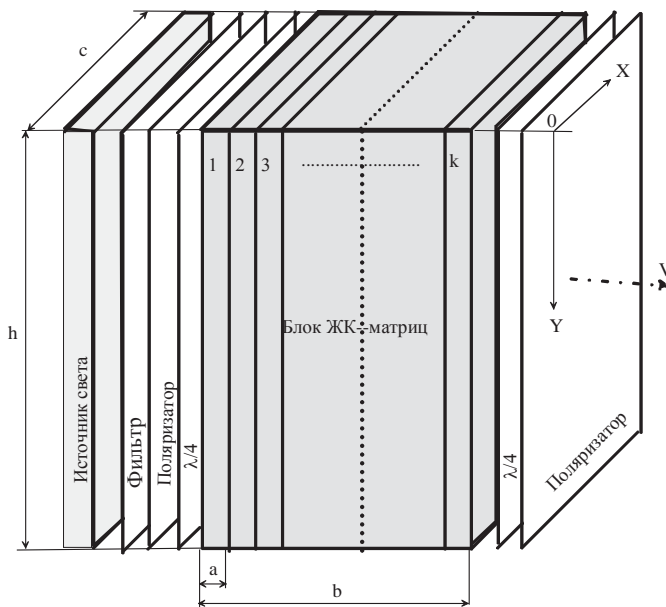


Рис. 2. Слоистый LCD- монитор

Имеется общий источник света с рассеивающим фильтром; два поляризатора на входе и выходе монитора; блок ЖК- матриц, состоящий из k одинаковых ЖК – панелей. Вполне понятно, что кроме самой глубокой панели (на рис. 2 панель №1), все остальные работают на просвет. Возникает вопрос, какой интенсивности будет изображение, прошедшее через весь блок панелей. Известно, что потери света при прохождении через один слой ЖК-панели находятся на уровне 3%.

В таблице1 приведены расчетные данные интенсивности света, учитывающие потери при прохождении света через различное количество слоев ЖК-панелей.

Таблица 1
Потери света при прохождении через слои ЖК- матриц

№ слоя	Интенсивность света
1	1
2	0,97
3	0,94
4	0,91
5	0,885
6	0,858
7	0,833
8	0,81
9	0,78
10	0,76
11	0,74
12	0,72
13	0,69
14	0,67
15	0,65
16	0,63

Из таблицы видно, что, если блок ЖК- панелей, например, состоит из 12 слоев, то интенсивность света с самой дальней панели будет составлять цифру 0,72 от первоначальной интенсивности, принятой за единицу.

На рис. 3 , где введены следующие обозначения:

a - толщина одного слоя ЖК-панели, без учета подсветки и поляризаторов;

b – толщина пакета слоев ЖК- панелей;

τ - расстояние между зеркалами;

V_k - проекция волнометрического кадра (Y, Z);

Z - глубинная координата;

h –высота волнометрического кадра, соответствует координате Y ;

δ - величина смещения каждого последующего кадра изображения на ЖК панелях при переходе к очередному зеркалу;

α, σ - углы падения и отражения лучей взгляда наблюдателя на

различные по глубине точки А , В соответственно;

А', В' - виртуальное изображение искомых точек, расположенных на различных глубинах 3D изображения, приведен чертеж, поясняющий принцип 3D системы гибридной слоистости для случая четырех слоев ЖК-панелей и двух зеркал.

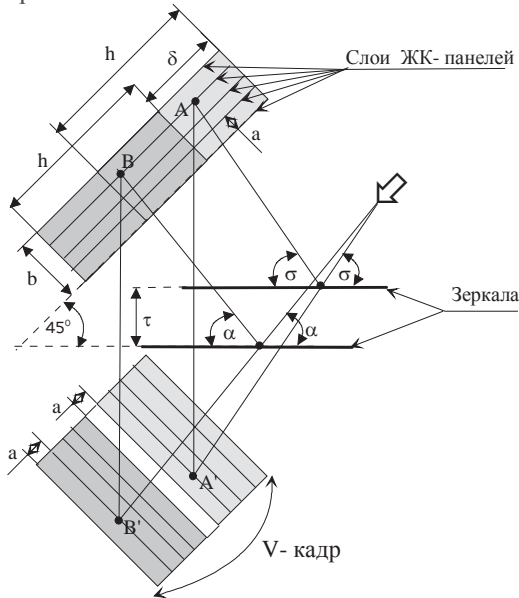


Рис.3. Принцип гибридной слоистости

Как видно из рис. 3, зазор между двумя виртуальными блоками должен быть равен толщине одного ЖК – слоя.

Для конструирования системы необходимо знать: во-первых, какой зазор должен быть между соседними зеркалами; а во - вторых, на какую величину должен сдвигаться каждый последующий видеокадр на экране монитора по отношению к предыдущему. Для ответа на эти вопросы запишем некоторые очевидные соотношения:

$$b=ka, \quad \delta=b+a=(k+1)a, \quad \tau=\delta/\sqrt{2}, \quad \tau=(b+a)/\sqrt{2},$$

где k- количество ЖК-панелей в пакете.

Глубинная координата Z при этом будет равна:

$$Z=m(k+1)a-a,$$

где m- количество зеркал в системе.

Гибридность системы заключается в том, что слои волнометрических срезов искомого трехмерного изображения, поступают на весь ЖК- пакет матриц одновременно, то есть параллельно и отражаются в соответствующем зеркале. Следующий, сдвинутый по экрану вниз параллельный пакет должен отразиться в следующем зеркале, чтобы занять свое соответствующее место в

виртуальном 3D изображении. Но как видно из приведенных выше рисунков, каждое верхнее зеркало закрывает видимость для всех последующих зеркал.

Чтобы этого не происходило - зеркала должны быть подвижными; в нашем случае зеркала должны вращаться параллельно друг другу в горизонтальной плоскости. То есть блоки параллельных слоев отображаются в зеркалах последовательно. Отсюда и слово гибридность (параллельно – последовательность). Синхронизация вращения зеркал должна быть таковой, чтобы, когда перед наблюдателем появится очередное i-е зеркало, на экране монитора в нужном месте должно появиться изображение i-го блока глубинных срезов волнометрического кадра.

Чтобы удовлетворить динамическим характеристикам проектируемой системы, смена всего волнометрического 3D кадра должна выполняться с частотой не ниже (12,5-25) гц. Это накладывает дополнительные условия на выбор ЖК-матриц, способных удовлетворить временным требованиям. Мы в своих исследованиях ориентировались на предельную цифру 2мс на смену ЖК-кадра .

В табл. 2 приведены расчетные характеристики волнометрических систем гибридной слоистости, которые представляют практический интерес.

Таблица 2

Характеристики волнометрических систем гибридной слоистости

№ вида	Частота (гц)	Время V-кадра (мс)	К-во зеркал (м)	Число ЖК-слоев (k)	Координата Z	Время ЖК-кадра (мс)	Интенсивность светового потока
1	25	40	16	8	128	2,5	0,81
2	-'-	-'-	4	16	64	10	0,63
3	-'-	-'-	8	16	128	5	0,63
4	-'-	-'-	12	12	144	3,3	0,72
5	-'-	-'-	12	16	192	3,3	0,63
6	-'-	-'-	16	12	192	2,5	0,72
7	-'-	-'-	16	16	256	2,5	0,63

Ниже приведен пример расчета характеристик объема 3D- кадра на базе конкретной модели.

Выбран блок ЖК- матриц , размером (540x320), рисунок 4. В качестве расчетной волнометрической системы выбрана модель № 4 из таблицы 2. Толщина слоя одной ЖК-матрицы принята равной 2 мм, при этом толщина слоя отображения равна $(12-1) \times 12 = 22$ мм.

В случае с 12 зеркалами размер глубины волнометрического кадра (координата Z) равна $12 \times 24 = 288 - 2 = 286$ мм.

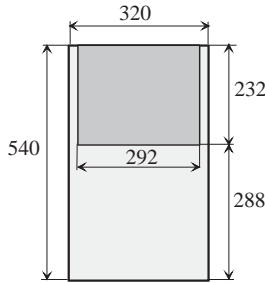


Рис.4. Габариты ЖК-матрицы

Таким образом, в соответствии с рисунком 4 высота V-кадра (координата Y), будет меньше или равна величине $540\text{мм}-286\text{мм}=254\text{мм}$.

В этом случае соотношение сторон $(X/Y)=320/234=5/3,6$. Ближе всего полученная величина находится к стандартному соотношению сторон 5/4.

Чтобы получить точное соотношение сторон $X/Y=5/4$, необходимо уменьшить размер координаты X до величины 292мм, рис. 4.

В результате получим следующий размер волнометрического объема:

V-кадра $(X, Y, Z)=(292 \times 232 \times 288)\text{мм}$.

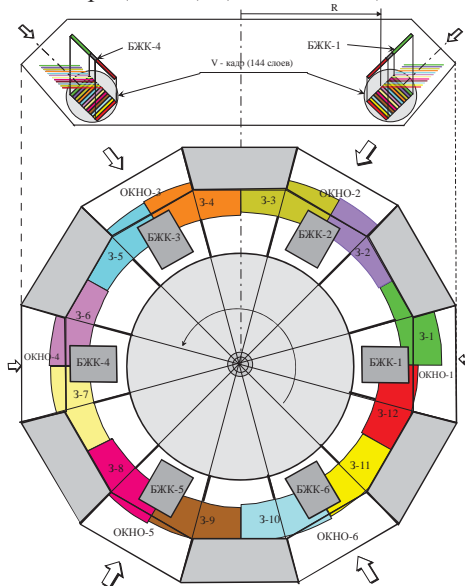


Рис.5. Упрощенный чертеж 3D системы

На рис. 5, где 3-1...3-12 – вращающиеся зеркала; БЖК-1 ...БЖК-6 - ЖК-блоки; R- конструкционный параметр, приведен упрощенный чертеж валометрической системы №4, таблица 2, состоящей из 12 вращающихся зеркал, шести ЖК- блоков. Стрелками показано шесть независимых

посадочных мест операторов. Как видно из рисунка, имеется возможность размещения в промежутках еще шести БЖК, получая двенадцать посадочных мест операторов. Параметр R определяет радиус окружности вращения нижней кромки нижнего зеркала. Расчеты показывают, что для данной конструкции $R=1220\text{мм}$. В зависимости от вида блока ЖК-матриц в данной конфигурации возможны либо 12 цветных слоев, либо 144 слоя, из которых каждый двенадцатый слой может быть цветным.

Начиная с 2014 года на рынке появились цветные прозрачные матрицы с боковой подсветкой. Использование блоков таких матриц даст возможность получить 3D изображение, у которого все гибридные слои будут цветными.

Выводы.

Предложенный вид волнометрической системы, реализуемой на основе гибридных слоев и вращающихся плоских зеркал, полностью удовлетворил основным характеристикам, предъявляемым к таким системам.

3D система – безочковая, многоакурсная, цветная, динамическая (смена полного трехмерного файла может осуществляться с частотой 25 гц).

Система допускает до 16 независимых посадочных мест операторов.

Количество виртуальных срезов по глубине, в зависимости от конфигурации системы, может достигать величин, порядка 192.

По нашему мнению, предложенная волнометрическая система, в которой принципиально исключен дисбаланс между конвергенцией и аккомодацией зрения наблюдателя, будет востребована при оперативном анализе пространственных данных и критической обстановки (командные и диспетчерские пункты; медицинская и промышленная томография; геологоразведка и т.д.)

1. *Martin S. Leung*. Three-dimensional real-image volumetric display system and Method.-1998.-Патент US 5,745,197.
2. *Alan Sullivan*. Multi-planar volumetric display system and method of operation using psychological vision cues.- 2002.-Патент US 6,466,185.
3. *Victor Weiss*. Multi-layered, three-dimensional display.- 2004.- Патент US 6,721,023
4. *Rick K. Dorval*. Volumetric three-dimensional display system.- 2003.- Патент US 6,554,430.
5. *Che-Chih Tsao*. Moving screen projection technique for volumetric three dimensional display.- 2001.-Патент US 6,302,542.
6. *Zheng Jason Geng*. Method and apparatus for high resolution three dimensional display.- 2000.-Патент US 6,064,423.
7. *Alan C. Traub*. Three-dimensional display.-1970.- Патент US 3,493,290.
8. *Thomas P. O'Brien*. Gimbaled three-dimensional display system.-1987.- Патент US 4,539,081.
9. *Грузь Ю.Н.* Принцип построения волнометрической 3D системы на основе комбинированной слоистости// Сборник трудов конференции SIMULATION-2016, 25-27 мая.- Киев.: 2016.- С.178-182.

Поступила 27.04.2017р.