

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА СИНТЕЗА ВИЗУАЛЬНОЙ ОБСТАНОВКИ

УДК 691.397.13

А. П. Якимович

(Москва)

СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ «БОЛЬШОГО ЭКРАНА» В ОБЪЕМНОМ ТЕЛЕВИДЕНИИ

Рассматривается способ получения в большом зрительном зале объемного изображения, состоящего из ряда горизонтальных сечений сцены. Предлагается использовать индивидуальную оптическую развертку сечений по вертикали с помощью дефлекторов, вмонтированных в очки зрителей. Это существенно снижает требования к элементам монитора объемного телевидения. Обсуждаются два типа дефлекторов для индивидуальной оптической развертки: на основе сканирующего гальванометра и вращающейся кольцевой призмы Френеля. Существенным преимуществом рассматриваемого метода по сравнению со стереометодами является то, что наблюдатель может свободно перемещаться в зрительном зале.

Введение. В работах [1—7] предложен один из возможных методов создания объемного телевидения (3D ТВ), заключающийся в генерации и последующей визуализации изображений ряда горизонтальных сечений сцены. Развитие метода идет по пути поиска технических решений «большого экрана» с таким окном наблюдения, через которое большая группа людей, находящихся в зрительном зале, может наблюдать объемное изображение. Непосредственное увеличение апертуры элементов 3D-монитора, рассматриваемое в [3], требует существенного улучшения современной элементной базы, и, по-видимому, на этом пути можно надеяться только на получение окна наблюдения для группы из нескольких человек. Проекция объемного изображения на линзорастровый [8] или голографический [9] экран с целью расширения окна наблюдения не приводит к достижению поставленной цели, так как в этих случаях обеспечивается множество малых фиксированных в пространстве и тождественных зон наблюдения.

Оптически увеличить окно наблюдения или апертуру объемного изображения с сохранением его угловых размеров невозможно из-за известной теоремы о сохранении фазового объема [10], согласно которой при любом увеличении будет происходить эквивалентное уменьшение угловых размеров изображения и зоны его наблюдения. Увеличенное изображение можно наблюдать только на большом диффузном экране, который преобразует падающий узкий световой конус в широкоугольное рассеянное излучение. Это наблюдается, например, при проецировании на него изображений слайдов.

Рассматриваемый ниже способ получения большой зоны наблюдения объемного изображения, состоящего из ряда горизонтальных сечений, также использует рассеивающие свойства диффузного экрана, на который последовательно проецируют увеличенные изображения сечений. При этом зрители наблюдают в большом сферическом зеркале мнимые изображения этих сечений с помощью индивидуальных дефлекторов, находящихся в очках каждого из наблюдателей и осуществляющих их кадровую развертку. Диффузный

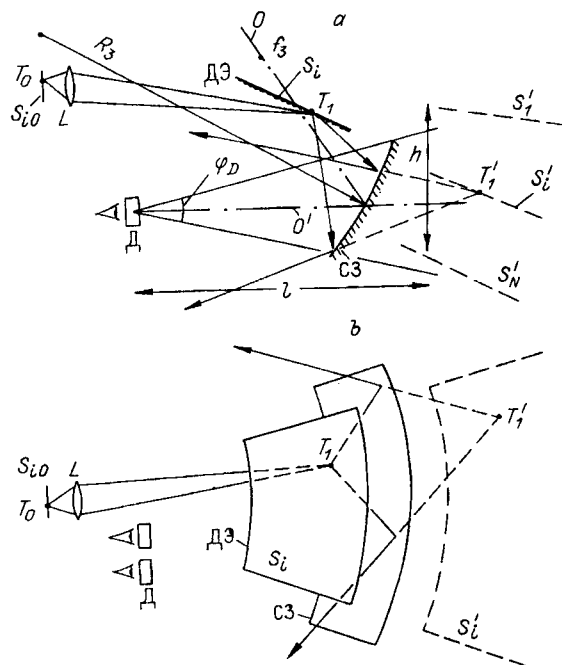


Рис. 1

экран и сферическое зеркало существенно увеличивают зону наблюдения объемного изображения, не уменьшая при этом его угловых размеров. Несмотря на то что в рассматриваемом методе по сравнению со стереометодами предполагается использование более сложных очков, он тем не менее имеет перед ними ряд существенных преимуществ.

Оптическая система для формирования сечений сцены. На рис. 1, а, б показаны соответственно схемы вертикальной и горизонтальной проекций этой оптической системы. Ее основу составляет большой фрагмент сферического зеркала (СЗ), который обеспечивает требуемое окно наблюдения объемных изображений. Перед зеркалом наклонно к отраженной от него оптической оси O установлен диффузно отражающий экран (ДЭ), на который объективом L последовательно проецируют действительные изображения сечений S_i . Сферическое зеркало преобразует эти изображения в мнимые, находящиеся в плоскости S'_i . Последняя существенно наклонена к главной оптической оси системы O' и почти горизонтальна. Согласно оптической схеме базового 3D-монитора [2], для пространственной развертки этих сечений по вертикали необходим дефлектор с апертурой, равной апертуре сферического зеркала. Создать такой дефлектор, конечно, нереально. Поэтому предлагается снабдить каждого наблюдателя очками с малогабаритными дефлекторами индивидуальной оптической кадровой развертки. Эти дефлекторы должны работать синхронно со сменой сечений на экране и формировать у каждого наблюдателя ряд горизонтальных сечений сцены S'_1, \dots, S'_N .

Если индивидуальные дефлекторы у всех наблюдателей тождественны и имеют одинаковые углы сканирования φ_D , то вертикальные размеры изображения h и расстояния между сечениями S'_1 и S'_N зависят от расстояния между наблюдателем и изображением l , т. е. от местонахождения наблюдателя в зрительном зале ($h = l \sin \varphi_D / 2$). Поэтому, когда наблюдатель будет перемещаться к сферическому зеркалу или от него, при фиксированном угле сканирования дефлекторов изображение будет сжиматься или расширяться по вертикали. Этот недостаток можно устранить, если ввести обратную связь, причем

такую, что при приближении к зеркалу угол сканирования дефлекторов возрастает, а при удалении от него — уменьшается.

Для рассматриваемого 3D-монитора не играет никакой роли способ создания на экране исходных сечений. Их можно генерировать с помощью проекционной электронно-лучевой трубки, «рисовать» тонким лазерным лучом или же создавать другими способами. Благодаря диффузным свойствам экрана, независимо от угловой расходимости падающего на него светового пучка, несущего изображение, отраженное излучение будет иметь угловую расходимость, достаточную для освещения сферического зеркала сравнительно большой апертуры. Это хорошо иллюстрирует рис. 1. Точка T_0 исходного изображения проецируется объективом в точку T_1 на диффузном экране. Эту точку формирует узкий световой конус, опирающийся на выходную апертуру проецирующего объектива. Рассеянное экраном излучение характеризуется существенно большей угловой расходимостью, в результате чего точку T_1 можно будет видеть в значительно большей угловой зоне наблюдения.

Разумеется, в рассмотренном 3D-мониторе можно использовать диффузные экраны, работающие на пропускание. Для увеличения световой эффективности их целесообразно изготавливать, например, голографическим способом. В этом случае можно добиться того, что индикатриса рассеяния экрана будет иметь максимум своей величины в требуемом направлении.

Сравним предлагаемый «большой экран» со стереоэкраном, для которого также необходимы специальные очки — поляризационные или светоклапанные. Между ними, наряду с принципиальными отличиями, есть много общего: наличие оптических систем для увеличения размеров изображения, а также диффузных экранов, служащих для расширения угловой зоны их наблюдения. Однако они отличаются тем, что в случае стереоэкрана генерируемые изображения находятся в плоскости, ортогональной линии наблюдения, а в случае «большого экрана» эти изображения параллельны линии наблюдения. В первом случае очки служат для сепарации двух ракурсов отображаемого изображения, предназначенных для левого и правого глаза, а во втором — для пространственной сепарации большого числа горизонтальных сечений сцены.

В заключение отметим, что если использовать кольцевой сегмент сферического зеркала, диффузный экран в виде сегмента конической поверхности и несколько проекторов для получения круговых горизонтальных сечений сцены, то рассмотренным способом можно формировать круговую объемную панораму для большого зрительного зала.

Дефлекторы индивидуальной оптической кадровой развертки. Рассмотрим два типа дефлекторов, которые можно использовать для вертикальной развертки горизонтальных сечений. Первый из них (рис. 2, а) состоит из зеркального гальванометра с зеркалом Z_1 , параллельно которому установлено зеркало Z_2 . Излучение от изображения сечения, например, точки T_0 отражается приемным зеркалом Z_2 на зеркало Z_1 , которое направляет излучение под разными углами в глаз наблюдателя. Угол развертки сечений по вертикали, т. е. угловые размеры объемного изображения по вертикали φ_v , равен удвоенному углу отклонения гальванометра α . Если зеркало Z_2 также колеблется, то $\varphi_v = 4\alpha$.

Дефлектор имеет весьма полезное свойство: координаты выходного изображения слабо зависят от его ориентации в горизонтальной плоскости. Поясним это на следующем примере. Пусть в исходной позиции оба зеркала параллельны друг другу. Тогда изображением точки T_0 сечения (см. рис. 2, а) в зеркале Z_2 будет точка T_2 , а изображением этой же точки в зеркале Z_1 , которую видит наблюдатель, — точка T_1 . Эти точки находятся на перпендикулярной к плоскости зеркал линии, проходящей через точку T_0 . Расстояние от точки T_1 до исходной точки T_0 сечения равно удвоенному расстоянию между зеркалами d . Если же расстояние от наблюдателя до точки сечения l велико по сравнению с расстоянием между зеркалами, то это смещение выходного изображения можно не учитывать, так как его наблюдатель не замечает. Такое условие выполняется при любой ориентации зеркал. Если после первого отражения изображение сместится в какую-либо сторону, то после второго оно

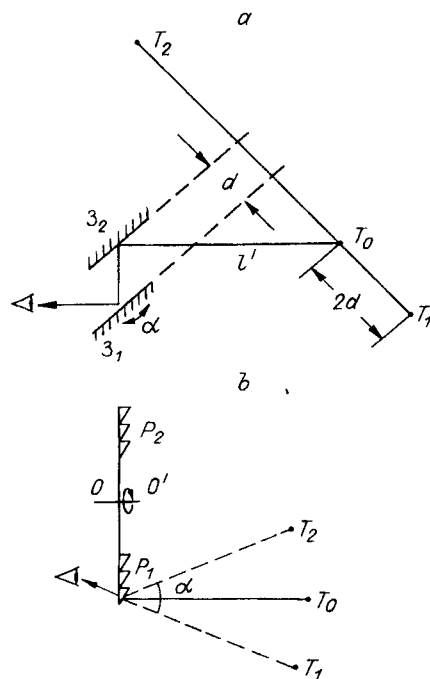


Рис. 2

вернется в исходную позицию. Таким образом, до тех пор пока ось колебаний зеркала при перемещениях наблюдателя остается горизонтальной, изображения сечений сцены будут разворачиваться строго по вертикали. Объемные изображения объектов не искажаются и фиксированы в пространстве. Искажение этого изображения будет происходить только при боковых наклонах головы наблюдателя, когда условие горизонтального положения оси колебаний зеркала будет нарушено. В этих случаях верхние сечения могут сместиться, например, влево, а нижние — вправо.

Отметим, что гальванометр, удовлетворяющий требованиям работы в составе индивидуальных очков наблюдателя, реализован на практике [11]. Он предназначен для развертки двумерного изображения в мини-дисплее (частота регенерации изображения — 60 Гц, количество строк — 720).

Другой тип дефлектора описан в [7] и представляет собой вращающийся диск, выполненный в виде замкнутой в кольцо специальной призмы Френеля. На рис. 2, б показан вертикальный разрез этого диска, где OO' — ось вращения. Излучение от точки T_0 сечения отклоняется участком P_1 призмы Френеля, который в данный момент времени находится перед зрачком глаза наблюдателя, и создает изображение исходной точки T_1 . Если при повороте диска перед зрачком глаза наблюдателя появится верхняя часть диска — участок P_2 , то излучение от точки T_0 отразится в противоположную сторону и наблюдатель будет видеть ее изображение в точке T_2 . Вращающийся диск изготавливается так, что отклонение излучения от точки T_1 к точке T_2 происходит непрерывно и линейно в некотором диапазоне углов α . В [7] рассматриваются aberrации таких дефлекторов и способы их коррекции.

Этот дефлектор, как и предыдущий, также имеет слабую зависимость координат выходного изображения от собственной ориентации.

Недостаток дефлектора на основе вращающегося диска — сложность получения переменной амплитуды угла сканирования при фиксированной частоте развертки.

Заключение. Предложен способ создания «большого экрана» для наблюдения объемных изображений в зрительном зале. В отличие от ранее предложенных способов в нем применена индивидуальная развертка горизонтальных сечений объемной сцены с помощью дефлекторов, находящихся в очках наблюдателей. Это позволяет существенно снизить требования к дефлекторам оптической кадровой развертки и к другим элементам 3D-монитора, в частности к оптической системе формирования сечений сцены.

Рассмотрены два типа дефлекторов индивидуальной оптической кадровой развертки: на основе сканирующего гальванометра и вращающейся кольцевой призмы Френеля. Показано, что в обоих случаях выходные изображения практически не зависят от ориентации дефлекторов в горизонтальной плоскости, что позволяет наблюдателю свободно перемещаться в зоне наблюдения. Это является существенным преимуществом предлагаемого метода перед стереометодами.

Автор выражает признательность И. Н. Компанцу и П. Е. Твердохлебу за полезное обсуждение работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Якимович А. П. О новом подходе к проблеме объемного телевидения // Техника кино и телевидения. 1978. № 4. С. 58.
2. Васильев Н. А., Компанец И. Н., Якимович А. П. Метод горизонтальных сечений для объемного телевидения // Радиотехника. 1991. № 9. С. 15.
3. Якимович А. П. Способ передачи и восстановления широкоапертурных объемных изображений в методах зондирования сцены // Автометрия. 1993. № 4. С. 83.
4. Kompanets I. N., Yakimovich A. P. // SPIE. 1993. 2068. P. 274.
5. Якимович А. П. Трехмерные мониторы с горизонтальным сканированием сцены и уменьшенным числом вертикальных ракурсов // Автометрия. 1995. № 3. С. 106.
6. Якимович А. П. Пространственное разрешение активной и пассивной трехмерных видеокамер, воспринимающих горизонтальные сечения сцены // Автометрия. 1995. № 4. С. 113.
7. Якимович А. П. Широкоапертурные дефлекторы света для оптической кадровой развертки объемного телевидения // Автометрия. 1995. № 5.
8. Okoshi T. // SPIE. 1977. 120. P. 102.
9. Komar V. G., Ioshin O. I. // SMPY J. 1980. 89. P. 927.
10. Борн М., Вольф Э. Основы оптики. М.: Наука, 1977.
11. Photonics Spectra. 1991. 25, N 5. P. 114.

Поступила в редакцию 3 октября 1995 г.