

**ОБ ОДНОМ ПОДХОДЕ
К ФОРМИРОВАНИЮ ВИРТУАЛЬНОГО ОКРУЖЕНИЯ**

А. В. Торчигин

*Институт проблем информатики РАН,
119333, Москва, ул. Вавилова, 44, корп. 2
E-mail: torchigin_a@mail.ru*

Рассматриваются свойства и области применения изображений, возникающих при наблюдении в колеблющемся зеркале линейки модулируемых по яркости светодиодов. Показано, что эти свойства могут быть использованы для погружения больших зрительских аудиторий в виртуальное окружение.

Ключевые слова: виртуальное окружение, виртуальная реальность, объемное изображение.

Введение. Появление новых точечных источников света в виде светодиодов [1] и мощных дешевых микропроцессоров [2, 3], управляющих их яркостью, позволяет реализовать новые подходы к формированию изображений и, в частности, к созданию виртуального окружения для больших зрительских аудиторий.

Целью предлагаемой работы является анализ специфики одного из таких подходов [4], полученных при этом изображений и возможных областей применения.

Принцип формирования изображений с помощью светодиодов. Пусть имеется обычное плоское зеркало прямоугольной формы, приспособленное вращаться вокруг вертикальной оси. Разглядывая в зеркале отражение светодиодов, расположенных вдоль некоторой вертикальной линии на одинаковом минимальном расстоянии друг от друга, наблюдатель видит светящуюся вертикальную линейку светодиодов. При повороте зеркала вокруг вертикальной оси эта линейка сдвигается в горизонтальном направлении. В зеркале, совершающем вращательные колебания вокруг вертикальной оси, наблюдатель увидит светящийся прямоугольник, ширина которого зависит от амплитуды колебаний зеркала. Если при этом светодиоды модулируются во времени, то вместо однородно светящегося прямоугольника наблюдатель может видеть картину [4], соответствующую этой модуляции.

Изображение в колеблющемся зеркале принципиально отличается от обычных картинок на экране телевизора или монитора. Видимое изображение расположено не в плоскости зеркала, а в его глубине на расстоянии, равном расстоянию от линейки светодиодов до зеркала. При увеличении амплитуды колебаний зеркала размеры прямоугольника увеличиваются в горизон-

тальном направлении, и при некоторой амплитуде наблюдатель будет видеть в зеркале только часть прямоугольника. Если высота линейки достаточно большая, то и в вертикальном направлении наблюдателю видна только часть линейки. В зависимости от положения наблюдателя относительно зеркала он будет видеть различные фрагменты формируемого изображения. Зеркало можно рассматривать как окно в виртуальный мир. Две фотографии одного и того же изображения, полученные с помощью фотоаппарата, находящегося на разном расстоянии от колеблющегося зеркала, приведены на рис. 1. При приближении к зеркалу наблюдатель видит большую часть логотипа.

Совпадает ли размер наблюдаемой в окно картины реального мира с размерами окна? Разумеется, не совпадает. Изображение формируется не в плоскости экрана, как это имеет место в существующих устройствах отображения, а в его глубине на расстоянии, равном расстоянию от линейки светодиодов до зеркала. Находясь вблизи окна, наблюдатель, поворачивая голову и зрачки глаз в разные стороны, может видеть в окне почти половину окружающего его пространства, а вблизи колеблющегося зеркала аналогично может разглядывать фрагмент виртуального мира в пределах телесного угла, под которым он видит зеркало. Изменяя свою позицию относительно зеркала, наблюдатель меняет положение угла. При этом изменяется наблюдаемый фрагмент виртуального мира.

Наблюдать формируемое в зеркале изображение в пределах большего телесного угла можно, если зеркало поместить вблизи глаз. В этом случае используется зеркало, размеры которого сравнимы с размерами линз в очках, обеспечивающих необходимый для человека телесный угол зрения. Следует подчеркнуть, что если угол зрения, под которым видно колеблющееся зеркало, превосходит максимальный телесный угол, в котором неподвижный глаз может видеть изображение, то наблюдатель видит только часть формируемого изображения. При движении глаз он наблюдает другой фрагмент виртуального мира точно так же, как в реальном мире – другой фрагмент реального мира. Как известно, движение зрачков глаз человека происходит произвольно и достаточно быстро. Это движение не регистрируется известными системами создания виртуальной реальности, которые обычно реагируют только на поворот головы.

Любопытная ситуация возникает при повороте головы зрителя относительно вертикальной оси на угол φ . При этом колеблющееся зеркало поворачивается также на угол φ вокруг вертикальной оси. Это приводит к тому, что



Рис. 1. Фотографии одного и того же изображения, формируемого линейкой модулируемых по яркости светодиодов в прикрепленном к стене колеблющемся зеркале. Правая фотография сделана фотоаппаратом, находящимся на меньшем расстоянии от зеркала, чем левая

зритель начинает видеть фрагмент панорамного изображения также сдвинутый на угол φ , как и при разглядывании панорамы реального мира. Таким образом, отпадают весьма сложные системы виртуальной ориентации при поворотах головы. Нет необходимости в таких системах и при наклонах головы вверх и вниз. Однако при наклоне головы влево или вправо направление оси вращения зеркал отклоняется от вертикали. Так как в горизонтальном направлении картина разворачивается перпендикулярно оси вращения, зритель будет видеть картину в наклонном параллелограмме.

Формирование объемных изображений. Рассмотрим подход, который позволяет создавать объемное изображение для большого количества зрителей, не требуя при этом, чтобы они надевали какие-либо очки. Приведем простой пример. Две линейки светодиодов 1 и 2 расположены на разных расстояниях от колеблющегося зеркала (рис. 2). Если с помощью линейки 1 формировать изображение одного человека, а с помощью линейки 2 – изображение другого человека, которое не совмещается с первым, то зритель будет видеть в зеркале двух людей, расположенных от него на разных расстояниях.

Обобщая этот прием, можно расположить N линеек светодиодов на расстояниях $R, R + \Delta R, \dots, R + (N - 1)\Delta R$ от оси вращения зеркала, а отображаемую объемную картину разбить на систему колец толщиной ΔR с внутренними диаметрами $R, R + \Delta R, \dots, R + (N - 1)\Delta R$. При этом фрагмент изображения, попадающий в i -е кольцо, следует показывать с помощью i -й линейки светодиодов. Таким образом, всеми линейками светодиодов будут сформированы фрагменты изображения, расположенные от оси вращения на разных расстояниях, т. е. получено объемное изображение. Как следует из вышеизложенного, это объемное изображение могут наблюдать зрители без каких-либо очков, находящиеся в некоторой области, откуда стереоизображение видно наилучшим образом. Заметим, что размеры этой области совпадают с размерами области, из которой видно стереоизображение при традиционных способах формирования, когда для левого и правого глаза наблюдателя формируются два несколько различающихся изображения, зависящие от местоположения наблюдателя.

В частном случае двумя линейками светодиодов можно создавать передний и задний планы, которые воспринимаются зрителем в виде псевдообъемной картины.

Заметим, что рассматриваемый подход позволяет использовать бинокулярность человеческого зрения совершенно другим образом. Обычно на большой экран проектируют два изображения для левого и правого глаза соответственно. Каждый из зрителей снабжается очками, пропускающими в левый глаз свет одной поляризации, а в правый – ортогональной. Если свет от проекторов имеет разную поляризацию, каждый глаз зрителя воспринимает предназначенное для него изображение при условии, что отраженный от экрана свет сохраняет свою поляризацию. Этот способ требует больших помещений, двух мощных проекторов и

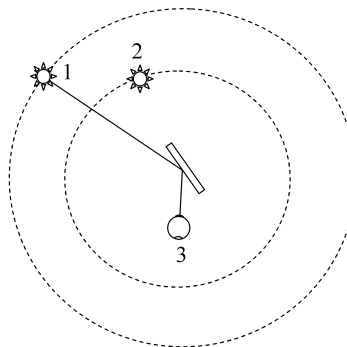


Рис. 2. Наблюдатель 3 видит две картины (1, 2) на разных расстояниях от зеркала

большого дорогостоящего экрана, сохраняющего поляризацию отраженного света.

В рассматриваемом случае при использовании зеркал, расположенных вблизи глаз наблюдателя, достаточно просто реализуется система формирования объемных изображений. Более того, размер формируемого изображения может быть больше размера помещения. Для этого достаточно выполнить условие, при котором в один интервал времени линейка светодиодов, отражаясь от колеблющегося зеркала, должна быть видна левым глазом и не видна правым, а в другой момент времени, наоборот; при этом формируется соответствующее изображение. Один из вариантов такого расположения зеркал показан на рис. 3.

Для увеличения яркости дополнительно в очки с колеблющимися зеркалами можно вставить пленки, пропускающие соответствующую поляризацию. В этом случае яркость формируемой картины увеличивается вдвое, так как оба глаза одновременно воспринимают предназначенные для них изображения.

Особенности реализации рассмотренного способа формирования изображений. Из вышеизложенного следует, что чем больше размеры колеблющегося зеркала, тем больший фрагмент виртуального мира виден зрителю. При выборе размера зеркала следует иметь в виду, что расстояние от зеркала до глаз наблюдателя может быть значительно меньше, чем рекомендуемое расстояние от зрителя до экрана телевизора. Это расстояние рекомендуется с учетом того, что изображение формируется в плоскости экрана телевизора. В рассматриваемом случае изображение формируется в глубине зеркала на расстоянии нескольких метров от его поверхности. Поэтому зритель может располагаться достаточно близко к зеркалу, как и при разглядывании своего лица в обычном зеркале. Исходя из простых геометрических соотношений, можно убедиться в следующем. Если расстояние от линейки светоди-

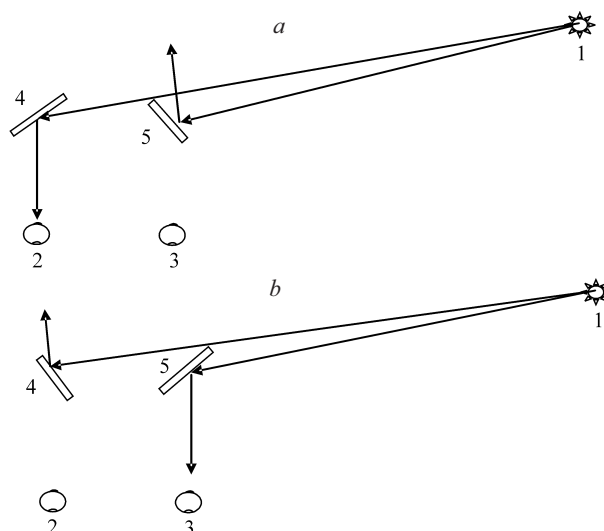


Рис. 3. Схема формирования изображений при различных положениях зеркал: для левого (a) и правого (b) глаза (1 – светодиод, 2, 3 – левый и правый глаз соответственно, 4, 5 – зеркала)

одов до зеркала равно 5 м, а ее высота равна 3 м, то наблюдатель, находящийся на расстоянии 0,25 м от зеркала, будет видеть всю линейку в зеркале, высота которого в $5/0,25 = 20$ раз меньше высоты линейки, т. е. равна 15 см. При привычном соотношении горизонтального и вертикального размеров изображения (4 : 3) наблюдатель видит изображение размером 4×3 м в зеркале размером 20×15 см. При амплитуде колебаний изображения линейки светодиодов в зеркале 2 м амплитуда угловых перемещений изображения равна $\arctg 2/5 \approx 20^\circ$. Так как амплитуда угловых перемещений изображений в зеркале в 2 раза больше амплитуды угловых перемещений самого зеркала, то амплитуда угловых колебаний зеркала равна 10° , а максимальное отклонение боковых граней зеркала от положения равновесия составляет 1,5 см. Если амплитуду колебаний увеличить в 2 раза, то горизонтальный размер изображения также увеличится в 2 раза и будет равен 8 м. В зеркале размером 20×15 см видно изображение, размеры которого превосходят размеры комнаты. При изменении позиции наблюдения видимый фрагмент полной картины будет изменяться. Таким образом, при рассматриваемом подходе отсутствует связь между размером наблюдаемого изображения и размером устройства, с помощью которого это изображение формируется, что позволяет избавиться от громоздких устройств.

Что касается разрешающей способности формируемого изображения, то количество строк по вертикали равно количеству светодиодов в линейке. Если иметь в виду, что количество светодиодов в уличных экранах измеряется сотнями тысяч, то реализация линейки из 1000 светодиодов не вызывает проблем. Предельное разрешение по горизонтали задается максимальной скоростью переключения светодиодов. При использовании стандартного оборудования эта скорость определяется не столько скоростными возможностями самих светодиодов, сколько параметрами драйверов – специальными микросхемами, предназначенными для согласования электрических параметров логических сигналов от микроконтроллера с параметрами сигналов, управляющих включением и выключением светодиодов. Обычно максимальная тактовая частота таких драйверов равна 25 МГц. Если допустить, что на показ одного кадра отводится 10 мс, то за такое время драйверы могут переключить светодиод 250000 раз. Эта цифра определяет предельную разрешающую способность по горизонтали при показе контрастных изображений.

Для формирования полутоновых изображений используется метод широтно-импульсной модуляции, при котором время нахождения светодиода во включенном состоянии пропорционально требуемой яркости. При 250 градациях яркости разрешающая способность по горизонтали равна 1000. Применение специально разработанных заказных микросхем позволяет увеличить эту цифру. Следует иметь в виду, что задача управления яркостью светодиодов в реальном масштабе времени хорошо распараллеливается, что дает возможность для каждого конкретного случая выбрать компромисс между количеством оборудования и качеством изображения.

При необходимости размеры системы зеркал можно увеличить двумя способами. Во-первых, плоское зеркало состоит из нескольких плоских меньшего размера. Вид сверху на такие зеркала показан на рис. 4, а. Зеркала могут совершать вращательные колебания вокруг осей, перпендикулярных плоскости рисунка. Нетрудно убедиться, что при отклонении зеркал от горизонтального положения изображение светодиода сначала видно в одном зеркале и при его вращении перемещается от одного края к другому.

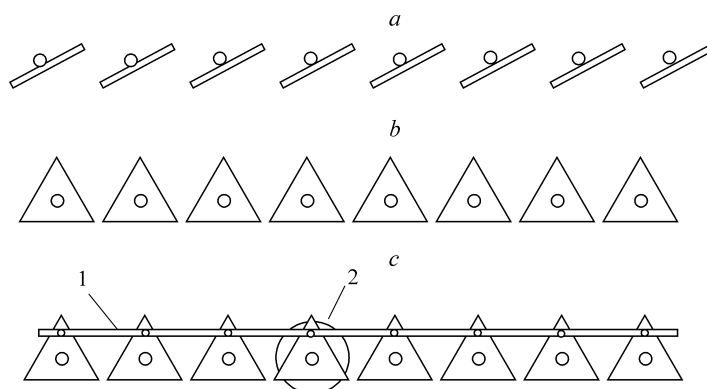


Рис. 4. Варианты замены колеблющегося сплошного зеркала: множество одинаковых синхронно колеблющихся зеркал (*a*); множество одинаковых правильных призм с зеркальными боковыми поверхностями, синхронно вращающихся в одном направлении (*b*); синхронизация вращения призм с помощью штока (*c*)

Затем это изображение видно в соседнем зеркале, где также перемещается от одного края к другому. В результате такая система зеркал обеспечивает перемещение изображения светодиода в горизонтальном направлении и, следовательно, может быть использована для формирования изображения. Во-вторых, используется система зеркал, составленная из правильных треугольных призм, как показано на рис. 4, *b*. Призмы вращаются вокруг осей, перпендикулярных их основаниям и проходящих через центр основания. Боковые грани призм образованы плоскими зеркалами. В этом случае изображение светодиода также перемещается в горизонтальном направлении и переходит последовательно от одной призмы к другой (соседней). За один оборот призмы изображение светодиода перемещается в горизонтальном направлении 3 раза. Это позволяет в 3 раза уменьшить угловую скорость вращения призм по сравнению со скоростью вращения плоских зеркал на рис. 4, *a*. Заметим, что устройства, аналогичные устройствам на рис. 4, *b*, широко используются в рекламе для поочередного показа трех изображений, фрагменты которых прикреплены к соответствующим боковым граням призм. При этом формируются картины стандартного для рекламных щитов размера 6×3 м.

Синхронность колебаний или вращения зеркал может быть обеспечена различными способами, в частности с использованием шестеренок (см. рис. 4, *a, b*). Однако более простым является прием, при котором элементы системы шарнирно соединены между собой с помощью штока 1 (рис. 4, *c*). При вращении призм шток совершает поступательное движение, напоминающее движение штока, соединяющего колеса паровоза. Предполагается, что одна из призм вращается с помощью расположенного снизу призмы электромотора 2, ось которого совпадает с осью вращения призмы.

Если указанные методы не обеспечивают необходимую точность синхронизации, то могут быть применены программные методы, не требующие дополнительного оборудования. Для понимания сути этих методов необходимо привести некоторые сведения об алгоритме работы микропроцессоров по формированию изображений с использованием одного зеркала или при идеальной синхронизации зеркал. Будем считать, что в системе имеется датчик положения, который выдает сигнал при состоянии зеркал, соответствующем

щем началу показа самого левого столбца изображения. В качестве такого датчика берется либо датчик Холла, аналогичный используемому в современных автомобилях для индикации угла поворота коленчатого вала, либо оптический датчик, который применяется в приводах гибких дисков. Сигнал с датчика положения поступает в микроконтроллер, где используется в качестве сигнала прерывания. В микроконтроллере имеется независимый таймер, с помощью которого определяется период колебаний или вращения следующим образом. Процедура обработки прерывания считывает значение таймера и обнуляет его. Так как в предыдущем периоде таймер также был обнулен, то считанное значение равно текущему периоду. Поскольку изображение показывается только в течение определенной части периода, то вычисляется длительность этой части t . Затем находится длительность показа одного столбца изображения. Например, если изображение состоит из 1000 столбцов, то длительность временного интервала, в течение которого показывается один столбец, равна $t/1000$. В каждом временном интервале микропроцессор выдает сигналы на включение соответствующих светодиодов и после этого постоянно опрашивает таймер, дожидаясь окончания временного интервала. В следующем временном интервале процесс повторяется с единственным отличием – выдаются другие сигналы на включение светодиодов. Информация о том, какие светодиоды должны быть включены, хранится для каждого временного интервала в оперативной памяти микроконтроллера.

Рассмотрим теперь модификацию этого алгоритма, обеспечивающую формирование изображения при неидеальной синхронизации вращения призм. Пусть система состоит из 10 элементарных зеркал и требуется сформировать изображение, содержащее 1000 столбцов. В этом случае каждое из зеркал создает изображение, содержащее 100 столбцов. Сознательно введем в угловые положения зеркал рассогласования таким образом, чтобы зеркало с номером $i + 1$ было повернуто против направления вращения относительно зеркала с номером i на угол γ_i ($i = 0, 1, \dots, 9$). При этом для самого левого зеркала $i = 0$ и $\gamma_i \ll 1$. Углы γ_i могут отличаться в несколько раз для различных i , но все они значительно меньше углов, на которые поворачиваются элементарные зеркала при показе своего фрагмента изображения. Введение этих рассогласований дает гарантию, что линейка светодиодов не будет видна одновременно в нескольких зеркалах.

При указанном расположении зеркал алгоритм работы микропроцессора должен быть модифицирован следующим образом. После показа 100 столбцов изображения с помощью зеркала с номером 0 микропроцессор некоторое время ждет, пока зеркало с номером 1 не повернется на угол γ_0 . После показа следующих 100 столбцов изображения микропроцессор некоторое время ждет, пока зеркало с номером 2 не повернется на угол γ_1 , и т. д. Подбирая в программе микроконтроллера соответствующие задержки для углов γ_i , можно обеспечить выполнение этого условия для системы зеркал с любыми малыми γ_i ($i = 0, 1, \dots, 9$), устраняя таким образом отклонения реальной системы от идеальной.

Схема формирования динамических изображений на стандартном рекламном щите с использованием рассматриваемого подхода приведена на рис. 5. Рекламный щит состоит из вращающихся призм с зеркальными боковыми стенками (см. рис. 4, *b*). В зеркалах отражается линейка светодиодов. Высота получаемого изображения может несколько превосходить высоту зеркальных призм. Заметим, что формируемое изображение видно практически из любого места полупространства, удаленного от рекламного щита на

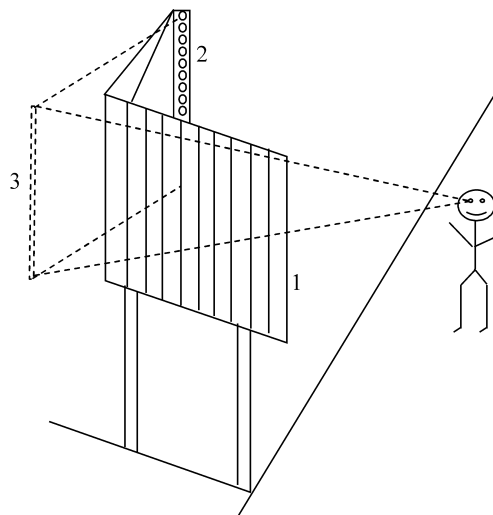


Рис. 5. Взаимное расположение вращающихся призм 1, линейки светодиодов 2 и зрителя, при котором создается «окно» в виртуальный мир 3

расстояние, превосходящее некоторый предел R . При этом чем выше расположены вращающиеся призмы, тем больше R .

Например, если расстояние между светодиодами 3 мм, то линейка из 1000 таких светодиодов имеет длину 3 м. В этом случае формируется изображение высотой 3 м с разрешением 1000 пикселей по вертикали. Размеры изображения и разрешение по горизонтали могут быть в несколько раз больше.

У зрителя создается впечатление, что он наблюдает изображение в виртуальном мире через отверстие, площадь которого совпадает с площадью рекламного щита. Это впечатление усиливается при движении относительно щита. Для зрителя постепенно открываются новые фрагменты изображения и исчезают некоторые из существующих. Аналогичная ситуация имеет место при наблюдении с разных позиций в обычном неподвижном зеркале отраженных предметов реального мира.

Предположим, что для погружения в объемное виртуальное окружение больших зрительских аудиторий каждому зрителю выдаются очки с колеблющимися зеркалами и каждый из них разглядывает через очки одну и ту же линейку светодиодов. Сигналы о начале показа очередного изображения выдаются со стороны линейки, так как линейка одна, а очков много. Это могут быть инфракрасные сигналы, как в пультах дистанционного управления, либо радиосигналы, используемые для беспроводной связи элементов компьютерной сети. В каждые очки встроен синхронизатор, который приводит фазу колебаний зеркал к такому состоянию, когда с появлением сигнала зритель видит начало показа очередного кадра изображения. При этом автоматически будет обеспечиваться равенство частоты показа изображения линейкой светодиодов и частоты колебаний зеркал.

Сплошные плоские колеблющиеся зеркала вместо линз обычных очков могут быть заменены уже существующими и широко используемыми в цифровых проекторах матрицами DMD (Digital Mirror Device) [5]. Эти матрицы

представляют собой множество плоских микрозеркал, угол поворота каждого из которых задается соответствующим электрическим сигналом. Такие зеркала в состоянии совершать колебательно-вращательное движение с частотой в десятки кГц. В рассматриваемом применении требования к таким матрицам существенно проще. Количество микрозеркал может быть гораздо меньше, а их размеры гораздо больше. Все микрозеркала должны периодически совершать одно и то же вращательно-колебательное движение с более низкой частотой (около 100 Гц).

Необходимое изменение угла отражения лучей от зеркала можно получить и без механических перемещений. С этой целью колеблющиеся зеркала заменяют неподвижными дифракционными решетками, период которых управляется электрическими сигналами [6]. При постепенном изменении периода решетки меняется угол отклонения проходящих через нее лучей и у наблюдателя создается впечатление, что предметы, которые он видит через решетку, перемещаются в пространстве.

Заключение. Появление новых точечных источников света в виде светодиодов, способных модулироваться с высокой частотой, а также наличие мощных дешевых микропроцессоров, обеспечивающих такую модуляцию, открывают путь к реализации принципиально нового способа формирования изображений. В отличие от дорогостоящих и громоздких плазменных или жидкокристаллических панелей, размер изображения в которых не превышает 2 м по диагонали, этот способ позволяет показывать в обычной комнате телевизионные изображения в виде картины, вертикальный размер которой может достигать высоты комнаты, а горизонтальный размер значительно превосходить ее размеры. При этом все оборудование практически не занимает места в комнате. Оно состоит из расположенной в углу комнаты линейки светодиодов, яркостью которых управляют микропроцессоры, и простой механической системы из подвижных зеркал, размеры которой не зависят от размеров формируемого изображения и могут выбираться пользователем по своему усмотрению, например от 10 до 30 см. Чем меньше размер этой системы, тем ближе пользователь должен к ней располагаться, чтобы видеть все изображение. Так как изображение формируется в глубине системы, то пользователь не подвержен опасности испортить зрение.

Одни и те же светодиоды можно использовать и для показа изображений, и для освещения. Как известно, светоотдача и срок службы уже существующих светодиодов соответственно в 10 и 50 раз выше, чем у ламп накаливания. В связи с постоянным ростом стоимости энергоносителей светодиоды активно внедряются в качестве альтернативных источников света. В этом случае целесообразно размещать одну или несколько линеек светодиодов на потолке параллельно наибольшей стене, а ось вращения зеркал – параллельно линейкам.

При использовании нескольких линеек светодиодов, расположенных на разных расстояниях от системы зеркал, возможно формирование объемных изображений, которые зритель воспринимает без каких-либо дополнительных очков.

Применение двух систем подвижных зеркал в очках вместо линз позволяет наблюдать объемные изображения, формируемые традиционным способом, в виде нескольких различающихся картин для левого и правого глаза наблюдателя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Бурняшев А.** Современные мощные светодиоды и их оптика // Современная электроника. 2006. № 1. С. 24–27.
2. **Редькин П. П.** Микроконтроллеры ARM7 семейства LPC2000. Руководство пользователя. М.: Издательский дом «Додэка XXI», 2007.
3. **Евстифеев А. В.** Микроконтроллеры AVR семейств Tiny и Mega фирмы ATMEL. М.: Издательский дом «Додэка XXI», 2005.
4. **Пат. РФ № 2328024.** Способ формирования изображений и устройство для его осуществления /А. В. Торчигин. Оpubл. 2008, Бюллетень изобретений № 18.
5. **Попов С. Н.** Видеосистема РС. С.-Пб.: БВХ-Петербург, 2000.
6. **Пат. РФ № 2337386.** Способ формирования стереоизображений /В. П. Торчигин. Оpubл. 2008, Бюллетень изобретений № 30.

Поступила в редакцию 6 июня 2008 г.
