

И. А. Мухин
О. В. Украинский

СПбГУТ, Санкт-Петербург, Россия

К выбору модели расчета параметров линзового растра

В статье описан принцип действия линзорастрового стереоскопического монитора, сформулированы критерии качества стереоскопического изображения. Указаны особенности линзовых растров, влияющие на сепарацию изображений кадров стереопары. Приведены основные принципы вычислений, применяемых в математической модели расчета параметров оптического растра.

Линзорастровый монитор, автостереоскопический дисплей, оптический растр, сепарация, математическая модель

В последние несколько лет довольно быстрыми темпами развивается тенденция создания отображающих устройств, позволяющих задействовать особенность бинокулярного зрительного аппарата человека – способность воспринимать объемное изображение. С появлением матричных дисплеев на основе жидкокристаллических, плазменных и светодиодных панелей широкие возможности для развития получило направление растровой стереоскопии.

Принцип формирования объемного изображения растровым стереомонитором заключается в следующем. Матричный дисплей воспроизводит так называемое кодированное изображение: совокупность нечетных столбцов дает правый кадр стереопары, а совокупность четных – левый кадр (1). Для отдельного наблюдения каждым глазом соответствующего изображения на поверхность экрана дисплея помещается специальный оптический растр, состоящий из набора вертикальных цилиндрических линз. Каждая линза прикрывает два столбца экрана таким образом, что наблюдатель видит правым глазом только левый столбец экрана, а левым глазом – правый столбец. Такая способность линзы (и растра в целом) разделять световые потоки в пространстве называется *сепарирующим* свойством. Таким образом, сепарация изображений в растровом стереомониторе производится самим монитором, без применения дополнительных внешних сепарирующих устройств, можно сказать – автоматически. По этой причине растровые стереомониторы в зарубежной литературе называют автостереоскопическими дисплеями.

При создании растрового стереомонитора на основе существующих матричных дисплеев основной задачей является расчет параметров линзового растра. Для решения этой задачи необходимо сформулировать критерии качества стереоскопического изображения, а затем выяснить, каким образом связаны между собой эти критерии и параметры растра.

Итак, будем считать, что растр сделан из оптически прозрачного материала, с коэффициентом пропускания близким к единице, а глаза наблюдателя находится напротив

геометрического центра экрана. В этом случае можно считать, что такие параметры стереоизображения, как яркость, контраст и цветопередача пренебрежимо мало отличаются от соответствующих параметров моноскопического изображения, формируемого матричным дисплеем при отсутствии линзового раstra. Следовательно, параметры раstra незначительно влияют на данные показатели качества изображения, и эти критерии качества можно исключить из рассмотрения.

Следующий важный критерий – это разрешающая способность. Описанный выше тип стереомонитора позволяет получить изображения каждого из кадров стереопары с уменьшенной вдвое по сравнению с матричным дисплеем горизонтальной разрешающей способностью. При этом вертикальное разрешение изображений совпадает с вертикальным разрешением дисплея. Горизонтальное разрешение в данном случае определяется количеством линз в растре, которое всегда должно быть равно половине количества столбцов монитора. Следовательно, такой критерий качества, как разрешающая способность также выпадает из рассмотрения.

Необходимо отметить, что существуют другие типы растровых мониторов, в которых используются наклонные линзовые раstra. Разрешение изображения в таких случаях так же является строго фиксированным и зависит от количества воспроизводимых ракурсов. Количество ракурсов определяется углом наклона раstra и шириной шага линз.

Итак, остается критерий качества, применимый исключительно к многоракурсным изображениям и, в частности, стереоизображениям. Это – сепарация изображений кадров стереопары. Качественно сепарацию можно определить как степень разделения изображений. Качество стереоскопического изображения напрямую зависит от степени сепарации изображений кадров стереопары. Сепарационные свойства раstra, в свою очередь, напрямую зависят от его параметров. Таким образом, рассчитав параметры раstra по критерию наилучшей сепарации, мы тем самым получим максимально возможное качество стереоскопического изображения.

Уточним требования к сепарационному свойству линзового раstra. Для получения качественного стереоскопического изображения необходимо, чтобы для заданного положения головы наблюдателя его правый глаз видел исключительно изображение правого кадра стереопары, а левый глаз – изображение левого кадра. Важно заметить, что сепарация изображений должна выполняться для всех участков раstra, а не только для его отдельных частей. В противном случае наблюдатель увидит каждым глазом картину из чередующихся фрагментов правого и левого изображений кадров стереопары, как это показано на рис.1.

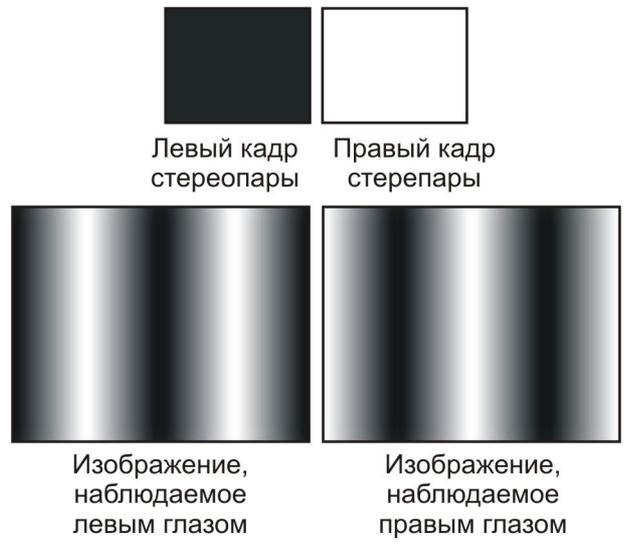


Рис.1. Муар

Этот эффект называется муаром. Он возникает при неправильно рассчитанном шаге линз в результате биений пространственных частот шага столбцов монитора и шага линз растра.

При разработке требований к модели расчета параметров растра, следует обратить внимание на уже существующую методику расчета просветных линзовых растров. В этой методике расчет параметров производится на основе геометрических построений, которые приведены на рисунке 2.

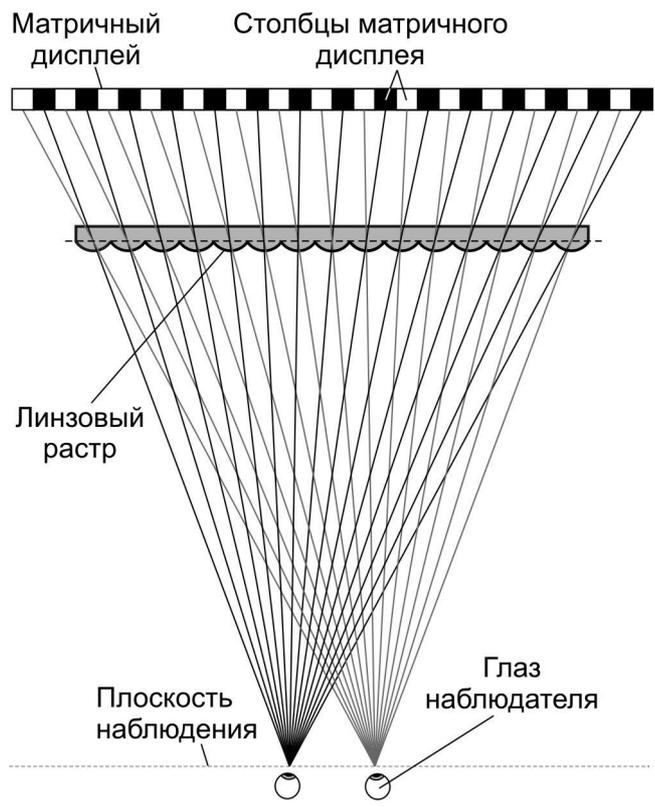


Рис.2. Упрощенный расчет параметров растра

Как видно из рисунка, при построении предполагается, что лучи, проходящие через главную оптическую плоскость линзы, не только не меняют свое направление, но и не приобретают дополнительного бокового смещения. Такое предположение влияет на точность расчета шага линз растра. Для просветных растров расчет шага линз не требует высокой точности. А вот при расчете параметров растра матричного дисплея шаг линз должен находиться в определенном соотношении с шагом столбцов. Поэтому вычисления должны производиться с очень высокой точностью и пренебрегать боковым смещением лучей нельзя. Кроме того, описанная выше методика не учитывает aberrаций линз (рис.3).

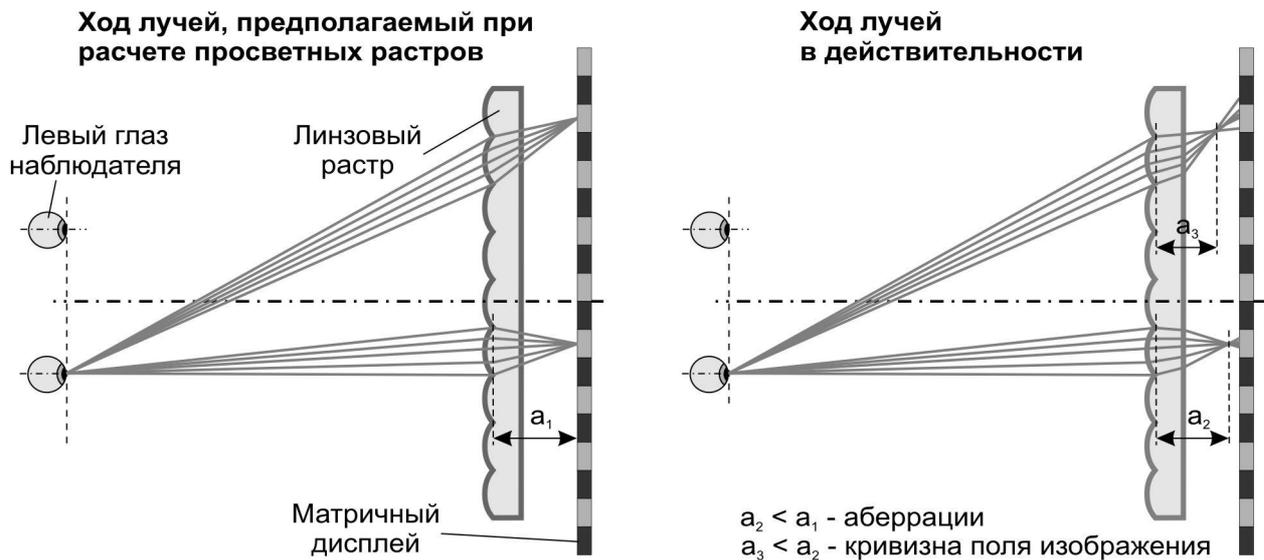


Рис.3. Аберрации линз

Аберрационные искажения приводят к рассеянию пучка света луча, что ухудшает сепарационные свойства растра. Необходимо так же учесть следующий факт. Когда направление взгляда перпендикулярно плоскости растра, сечение линзы имеет одну форму, а если направление взгляда составляет с нормалью к экрану некоторый угол, отличный от нуля, то сечение линзы имеет уже другую форму и траектория движения лучей будет другой (рис. 4).

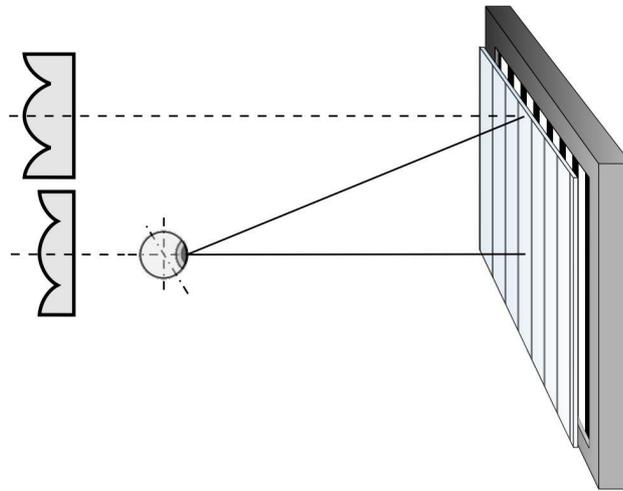


Рис. 4. Изменение формы линз

Вычисления показывают, что изменение формы сечения линз в значительной степени влияет на ход лучей, а потому не учитывать это изменение нельзя.

Итак, учитывая все вышесказанное, задачу расчета параметров раstra можно сформулировать следующим образом. Необходимо разработать математическую модель, которая позволяет рассчитать с высокой точностью коэффициент сепарации для любой точки линзового раstra. Для этого модель должна учитывать:

- параметры матричного дисплея
- параметры линзового раstra
- взаимное расположение матричного дисплея и раstra
- особенности преломления растром световых лучей
- положение глаз наблюдателя в пространстве

Для расчета коэффициента сепарации изображений можно воспользоваться известным способом – сравнить освещенности сетчатки глаза, создаваемые световыми потоками левого и правого изображений кадров стереопары. Однако в случае линзового раstra такой способ очень сложен. Каждая из линз создает на сетчатке глаза, вообще говоря, изображение не только «своего», но и нескольких соседних столбцов. Учесть соотношение освещенностей сетчатки глаза для разных столбцов крайне сложно. В этих условиях более простым явилось применение в расчете принципа обратимости распространения света. При этом источник излучения помещался в точку размещения глаза наблюдателя и определялась освещенность столбцов матричного дисплея. Кроме того, ввиду малости элементарных телесных углов, составляющих поле зрения исследуемой области, их оказалось возможным заменить отдельными лучами. Поясним сказанное на примере. Допустим, необходимо вычислить коэффициент сепарации изображений кадров стереопары для заданного участка раstra S (рис.5).

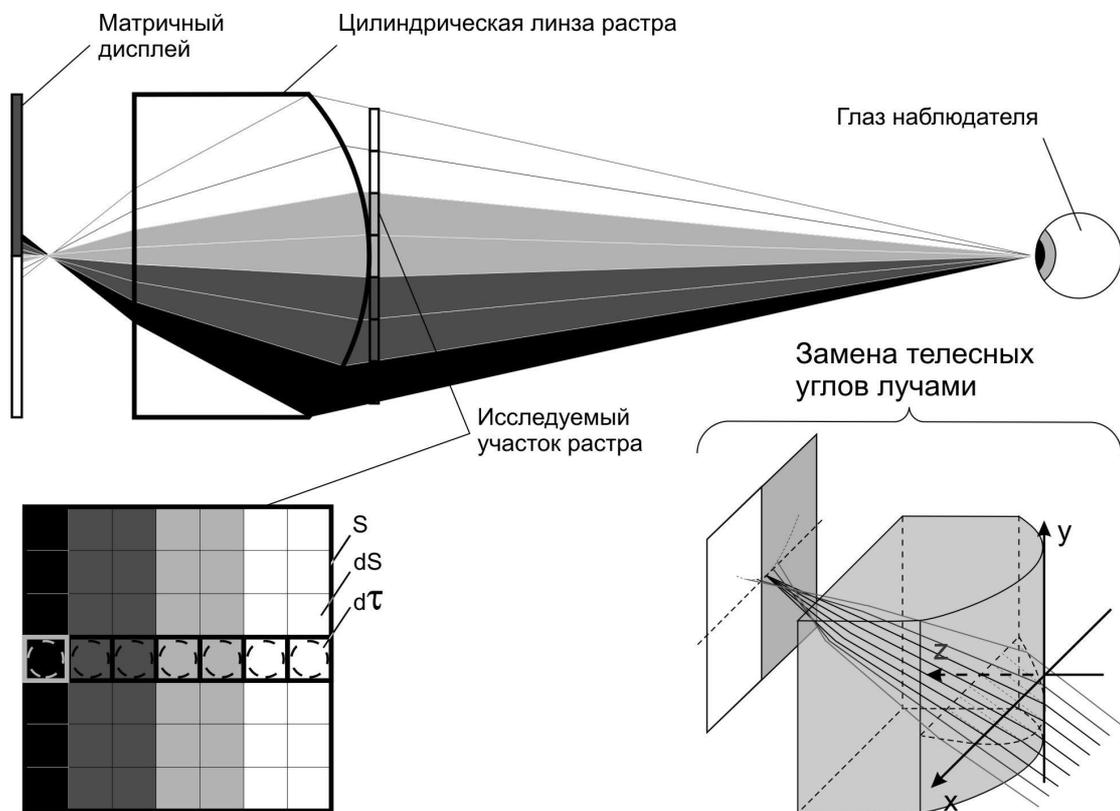


Рис.5. Математическая модель расчета

Мысленно разобьем этот участок на более мелкие, элементарные, участки dS . Каждый такой участок можно представить телесным углом $d\tau$, в пределах которого находятся лучи, исходящие из глаза наблюдателя и попадающие на один из столбцов матричного дисплея. Необходимо отметить, что лучи, относящиеся к элементарным областям, расположенным на одной вертикали, будут иметь практически одинаковые траектории распространения, а потому для оценки коэффициента сепарации достаточно исследовать не все элементарные области, а только составляющие одну из строк. Если количество элементарных областей таково, что ширина каждой из них на порядок меньше ширины столбцов матричного дисплея, то каждый телесный угол, соответствующий элементарной области можно заменить одним лучом. Точность вычислений при этом практически не пострадает. Далее вычисляется траектория лучей. Для этого в системе Федера составляются уравнения преломляющих поверхностей и падающих лучей. Совместное решение этих уравнений позволяет вычислить траекторию движения лучей и определить, какое количество лучей попало на какой из столбцов. Отсюда можно с высокой точностью посчитать коэффициент сепарации изображений для данного участка раstra. Изменяя положение исследуемого участка в пределах раstra, можно вычислить зависимость коэффициента сепарации от координат точки на экране. Эту зависимость можно назвать *сепарацией изображений по полю экрана*. Если же мы зафиксируем исследуемый участок раstra, но будем изменять положение глаз наблюдателя, то получим функцию *сепарации при смещении наблюдателя*.

Описанная выше математическая модель была применена при разработке программы LenticularScreen v.1.0, предназначенной для расчета и исследования линзовых цилиндрических растров.

Библиографический список

1. Lipton L., Feldman M. A new autostereoscopic display technique: The SynthaGram™. San Jose: Stereoscopic Displays and Virtual Reality Systems IX, Proceedings of SPIE volume 4660, 2002, pp. 229-235.

I. A. Mukhin, O. V. Ukrainsky

St. Petersburg State University of Telecommunication

Towards The Lenticular Raster Parameters Calculation Model

The article describes how the lenticular stereoscopic monitor works and states quality criteria for the stereoscopic image. It points out lenticular raster characteristics that influence the image separation of the stereo mate frames and lists the main principles used in the mathematical model of the optical raster parameters calculation.

Autostereoscopic Display, lenticular raster stereoscopy, stereo mate, matrix display, calculation model