

А. М. Горелов, А. Ф. Ширанков

**АВТОСТЕРЕОСКОПИЧЕСКАЯ  
ПРОЕКЦИОННАЯ СИСТЕМА  
ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПОЛНОЦЕННОГО  
3D-ОБРАЗА**

*Рассмотрены общие принципы построения и схемотехника автостереоскопической проекционной системы для формирования полноценного 3D-образа на основе принципов интегральной фотографии, состоящей из проектора светового поля и специального многослойного растрового экрана. Получены условия преобразования координат проецируемого объекта в оптическом и электронном трактах проектора для формирования его неискаженного F3D-образа. Рассмотрены основные схемотехнические решения, позволяющие исключить недостатки классического метода интегральной фотографии.*

**E-mail:** amgorelov@mail.ru; ashirankov@bmstu.ru

**Ключевые слова:** 3D-образ, F3D-образ, интегральная фотография, линзовый растр, растровый экран, 3D-проектор, автостереоскопическое изображение, изображающая панель.

В настоящее время значительно возрос интерес к стерео- и 3D-технологиям. Наиболее перспективными в этой области являются исследование и разработка современных автостереоскопических (не требующих при наблюдении применения каких-либо дополнительных приспособлений — очков, шлемов и т. п.) устройств для наблюдения полноценного F3D-образа.

Под F3D-образом понимается такое отображение объекта, которое создает световое поле, идентичное по структуре и параметрам световому полю от реального объекта. Наиболее близким к F3D-образу является голографический образ, однако известные недостатки голографических образов (необходимость использования высоко разрешающих регистрирующих сред при записи и воспроизведении голограмм, когерентного освещения и др.) препятствуют широкому распространению данной технологии при воспроизведении крупноформатных (единицы и десятки метров) образов.

F3D-образ по сравнению со стереоизображением обладает следующими преимуществами:

- не испытывает паразитных искажений при перемещении точки наблюдения;
- обеспечивает правильные перспективные искажения и масштабирование при изменении положения точки наблюдения;

– правильно передает текстуру поверхности объекта, включая слабосероховатые и зеркально отражающие участки;

– вызывает правильную аккомодацию при наблюдении, соответствующую реальному объекту.

Особенности предлагаемой в данной работе проекционной автостереоскопической системы обуславливают ее перспективное применение в ряде областей, включая, в частности [1]:

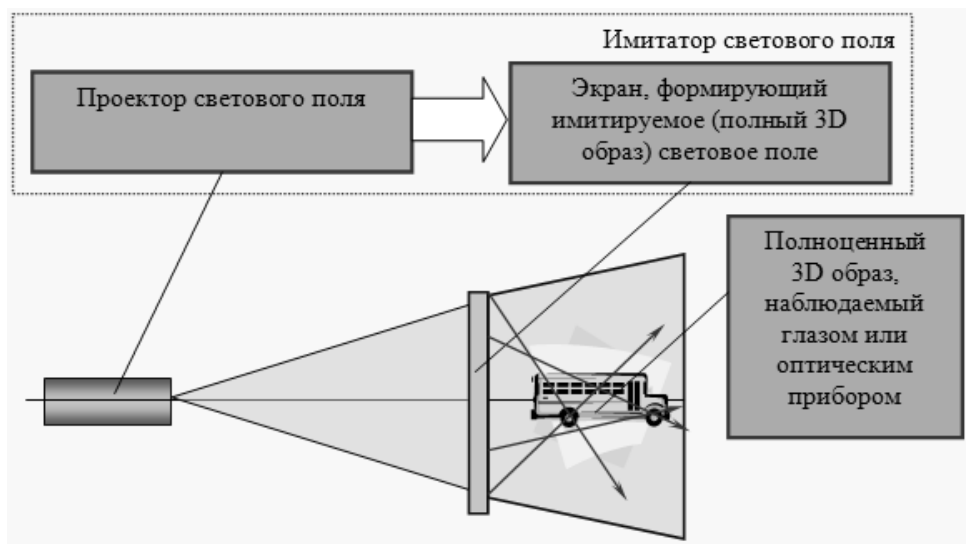
– автостереоскопические домашние кинотеатры, проекционные системы для больших и малых кинозалов, автостереоскопические информационные панели для стадионов, спортивных залов и других больших помещений;

– автостереоскопические системы с матрицей F3D-проекторов для имитации крупных объектов;

– автостереоскопические системы для имитации средних и малых объектов купольными экранами;

– боксы виртуальной реальности для реализации динамических тренажеров.

Обобщенная схема автостереоскопической системы приведена на рис. 1. Применяемый метод проекции в общих деталях совпадает с существующими методами для обычных 2D-изображений, реализуемых в кинотеатрах и на открытых площадках. Отличия заключаются в принципах построения и работы основных элементов — проектора полноценного F3D-образа и специального линзово-растрового экрана (при необходимости и нескольких линзово-растровых экранов).

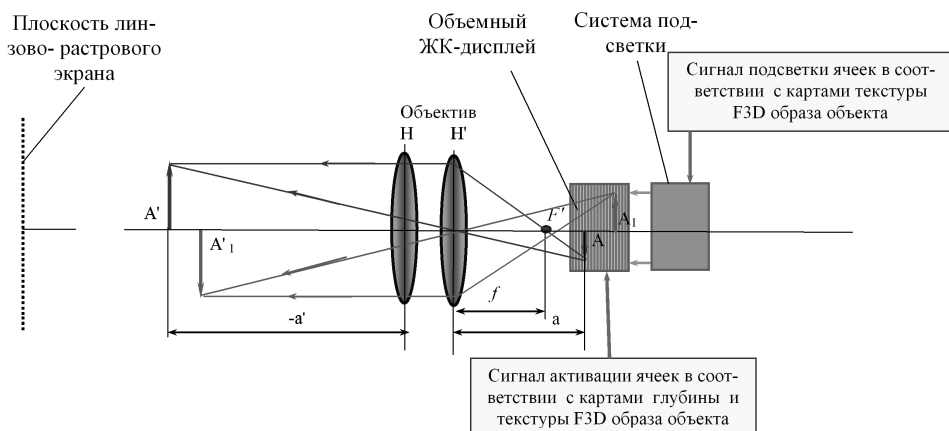


**Рис. 1.** Обобщенная схема автостереоскопической системы

Линзово-растровый экран, преобразуя световое поле проектора F3D-образа, формирует в своей плоскости такое изображение, которое визуализируется глазами зрителей как F3D-образ на фоне этого экрана. Особая конструкция экрана обеспечивает непрерывную и широкую зону 3D-видения, не требующую конкретной привязки точки зрения к определенным точкам в пространстве 3D-видения, инвариантную к ориентации зрачков глаз наблюдателя по отношению к горизонту [2].

Схема, поясняющая принцип работы проектора, приведена на рис. 2. Проектор состоит из трех основных систем:

- системы подсветки, которая определяет цвет 3D-пиксела с заданными координатами  $x, y, z$  по сигналам с карт текстуры;
- объемного ЖК-дисплея, синтезирующего 3D-пикселы с заданными координатами внутри своего прозрачного объема и цветом, обеспечиваемым системой подсветки, причем объемный дисплей проектора делает возможным активацию 3D-пиксела по информации, получаемой с 2D-карт глубины и текстуры исходного объекта в объеме небольшого по размерам пространства (единицы сантиметров по стороне) — 3D-куба;
- объектива проектора (с системой позиционирования для реализации блочной структуры автостереоскопической проекционной системы).



**Рис. 2. Оптическая схема F3D-проектора:**

$f'$  — фокусное расстояние объектива F3D-проектора;  $HH'$  — главные плоскости объектива;  $A, A_1$  — предметные точки внутри объемного экрана;  $A', A_1'$  — изображение этих предметных точек после объектива;  $a$  — расстояние от задней фокальной плоскости объектива до активного пиксела внутри объемного ЖК-дисплея;  $a'$  — расстояние от передней фокальной плоскости объектива до изображения соответствующего активного пиксела объемного ЖК-дисплея

Введем следующие системы координат:  $XYZ$  в предметной области объектива F3D-проектора и  $X'Y'Z'$  в его плоскости изображений. Пусть  $x, y, z$  — координаты 3D-пиксела в объемном ЖК-дисплее, тогда координаты изображений 3D-пикселей можно получить по формулам

$$x' = \frac{f'}{f' - z} x; \quad y' = \frac{f'}{f' - z} y; \quad z' = \frac{f'}{f' - z} z. \quad (1)$$

Линзово-растровый экран позволяет наблюдателю видеть обоими глазами соответствующие изображения 3D-пикселей с F3D-проектора. Введем систему координат  $X''Y''Z''$ , связанную с наблюдателем F3D-образа. Для автостереоскопического изображения

$$x'' = x'; \quad y'' = y'; \quad z'' = z'. \quad (2)$$

Пусть  $X_0Y_0Z_0$  — система координат, соответствующая исходному F3D-образу, тогда условия неискаженного воспроизведения этого образа проекционной системой можно записать в виде

$$\begin{aligned} x'' &= \beta_0 x_0 - c_x; \\ y'' &= \beta_0 y_0 - c_y; \\ z'' &= \beta_0 z_0 - c_z, \end{aligned} \quad (3)$$

где  $\beta_0$  — увеличение F3D-образа;  $c_x, c_y, c_z$  — константы, определяющие смещение F3D-образа.

В качестве вариативного (задаваемого в зависимости от выполняемой задачи) преобразования координат введем функции преобразования от координат исходного F3D-образа к координатам 3D-пикселей внутри объемного ЖК-дисплея (преобразования выполняются ЭВМ) по следующим условиям:

$$\begin{aligned} x &= f_x(x_0, y_0, z_0); \\ y &= f_y(x_0, y_0, z_0); \\ z &= f_z(x_0, y_0, z_0). \end{aligned} \quad (4)$$

Подставляя выражения (4) в формулы (1), для автостереоскопического изображения с учетом координат (2) получаем

$$x'' = \frac{f'}{f' - f_z(x_0, y_0, z_0)} f_x(x_0, y_0, z_0); \quad (5)$$

$$y'' = \frac{f'}{f' - f_z(x_0, y_0, z_0)} f_y(x_0, y_0, z_0);$$

$$z'' = \frac{f'}{f' - f_z(x_0, y_0, z_0)} f_z(x_0, y_0, z_0).$$
(5)

Подставив выражения (5) в условия неискаженного воспроизведения, получим систему уравнений для определения функций преобразования:

$$\frac{f'}{f' - f_z(x_0, y_0, z_0)} f_x(x_0, y_0, z_0) = \beta_0 x_0 - c_x;$$

$$\frac{f'}{f' - f_z(x_0, y_0, z_0)} f_y(x_0, y_0, z_0) = \beta_0 y_0 - c_y;$$

$$\frac{f'}{f' - f_z(x_0, y_0, z_0)} f_z(x_0, y_0, z_0) = \beta_0 z_0 - c_z.$$
(6)

Из третьего уравнения (6) следует, что

$$f_z(x_0, y_0, z_0) = f_z(z_0) = \frac{f'}{1 + f' / (\beta_0 z_0 - c_z)}.$$
(7)

Подставляя уравнение (7) в первое и второе уравнения (6), имеем

$$f_x(x_0, y_0, z_0) = f_x(x_0, z_0) = \frac{f'(\beta_0 x_0 - c_x)}{(\beta_0 z_0 - c_z + f')};$$

$$f_y(x_0, y_0, z_0) = f_x(y_0, z_0) = \frac{f'(\beta_0 y_0 - c_y)}{(\beta_0 z_0 - c_z + f')}.$$
(8)

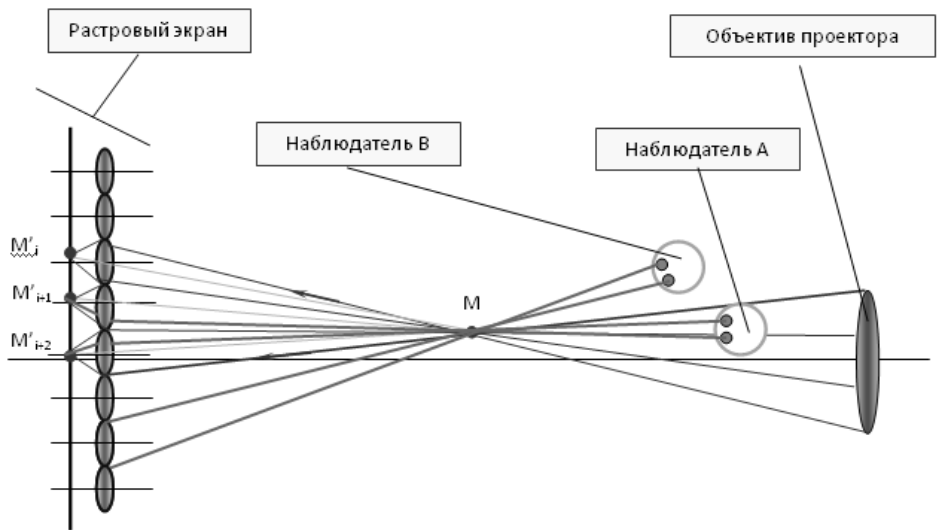
С учетом условий (4) из уравнений (7) и (8) получаем необходимые формулы преобразования в виде

$$x = \frac{f'(\beta_0 x_0 - c_x)}{(\beta_0 z_0 - c_z + f')};$$

$$y = \frac{f'(\beta_0 y_0 - c_y)}{(\beta_0 z_0 - c_z + f')};$$

$$z = \frac{f'}{1 + f' / (\beta_0 z_0 - c_z)}$$

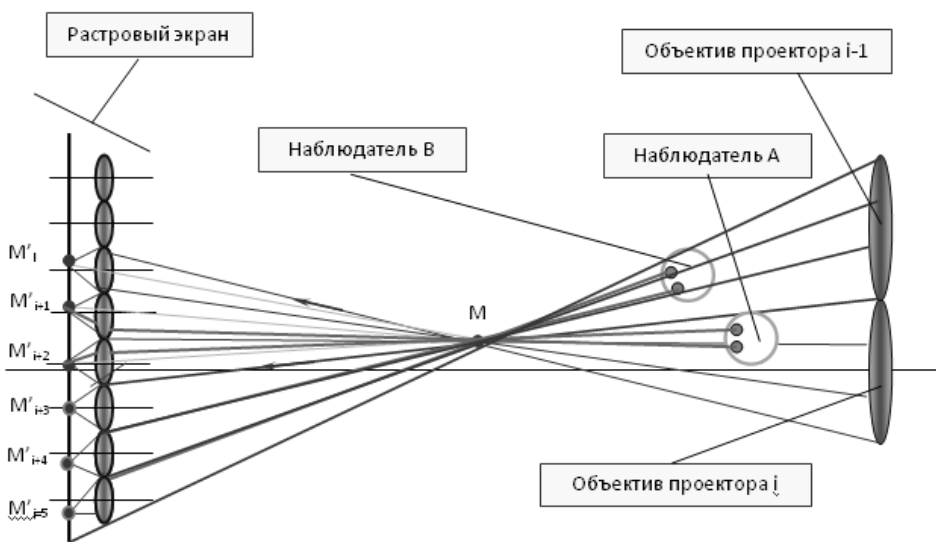
Одной из основных проблем, присущих проекционным системам с растровыми экранами, является проблема соответствия области восстановления апертуре проектора. На рис. 3 видно, что наблюдатель *A*, находящийся в пределах угловой апертуры, соответствующей проектируемой точке *M*, видит эту точку, а наблюдатель *B*, находящийся вне угловой апертуры, соответствующей точке *M* при заданной линейной апертуре объектива, эту точку видеть не может из-за апертурных ограничений проекции. Таким образом, вследствие этого эффекта линейная апертура проектора должна быть сравнима с размером экрана проекционной системы, что в случае больших экранов практически неприемлемо.



**Рис. 3. Апертурные ограничения при автостереоскопической проекции**

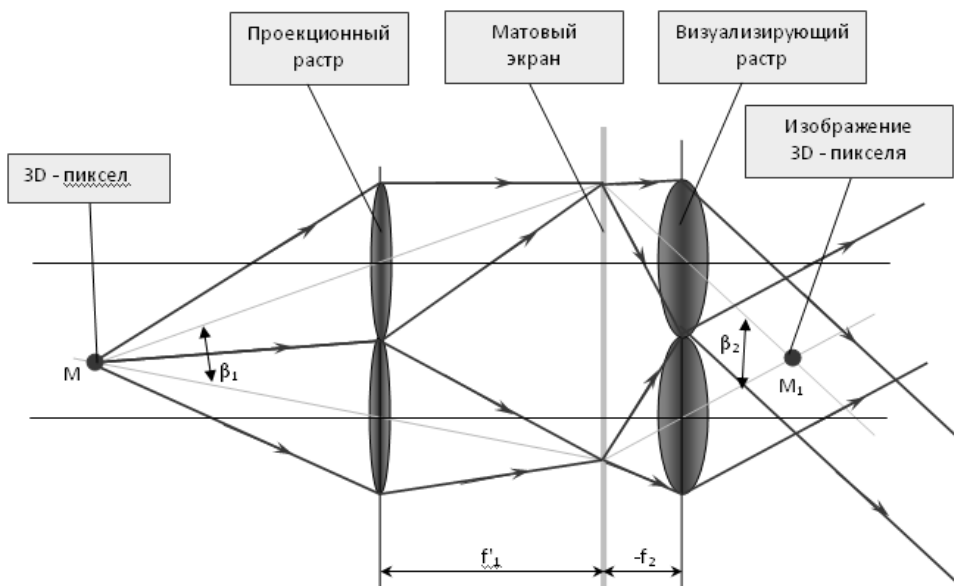
В данной работе предлагаются два метода решения этой проблемы. Первый метод заключается в использовании вместо одного проектора матрицы проекторов, но с меньшей линейной апертурой — фактически режим синтезированной апертуры.

В этом случае (рис. 4) видимость точки *M* для наблюдателя *A*, как и ранее, обеспечивает центральный проектор (проектор *i*). Однако наблюдатель *B* также видит изображение точки *M*, так как видимость этой точки обеспечивается проектором *i* – 1. Для восстановления неискаженного изображения проектор *i* – 1 добавляет соответствующие смещения в 3D-пиксели изображения так, чтобы они по пространственному положению совпадали с соответствующими 3D-пикселями проектора *i*.



**Рис. 4. Схема синтеза апертуры при автостереоскопической проекции**

Второй метод заключается в использовании проекции F3D-образа через длиннофокусный растр, а наблюдение осуществляется через короткофокусный растр. Схема метода приведена на рис. 5.



**Рис. 5. Принцип действия несимметричного растрового экрана**

Видно, что чем больше разность фокусных расстояний первого и второго растров (чем меньше фокусное расстояние  $f'_2$  визуализирующего растра по сравнению с фокусным расстоянием  $f'_1$  линз про-

екционного растра) и чем больше светосила линз визуализирующего растра, тем больше угловой размер зоны 3D-видения. Однако геометрическое положение изображения точки  $M$  (точка  $M_1$ ) претерпевает при такой схемотехнике существенные изменения. Для получения неискаженного 3D-образа эти искажения необходимо компенсировать на стадии ввода (преобразования) координат перед их вводом в проектор. В результате появляется возможность, учитывая в преобразованиях координат различие в фокусах проекционного и визуализирующего растра, разработать такую схему устройства, которая будет иметь широкопольную сплошную зону 3D-видения.

Таким образом, разработанные концепция построения автостереоскопической системы и схемотехнические решения обеспечивают возможность полноценной технической реализации такой системы на существующей элементной базе, получение и наблюдение большим числом зрителей F3D-образа.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ширанков А. Ф., Горелов А. М., Штыков С. А. 3D-видеокамера на основе одноканальной объективной схемы // Материалы и доклады III Международной научно-технической конференции «Запись и воспроизведение объемных изображений в кинематографе и других областях». М.: МКБК, 2011. 104 с.
2. Проектор 3D-изображения для автостереоскопических систем / А. М. Горелов, А. Ф. Ширанков, В. Ю. Павлов, О. В. Рожков // Материалы и доклады III Международной научно-технической конференции «Запись и воспроизведение объемных изображений в кинематографе и других областях». М.: МКБК, 2012.

Статья поступила в редакцию 26.09.2012.