

А. В. Горевой, В. Я. Колючкин,
Ю. А. Лушин, Л. Н. Тимашова

ЗЕРКАЛЬНАЯ СТЕРЕОСИСТЕМА С ПРОСТРАНСТВЕННЫМ РАЗДЕЛЕНИЕМ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Рассмотрена двухракурсная зеркальная стереосистема для восстановления трехмерного изображения объекта. Система основана на пространственном разделении изображений, формируемых на одном матричном приемнике излучения. Приведена методика расчета стереосистемы и проведен анализ качества двух пространственно разделенных изображений.

E-mail: Ti64@yandex.ru

Ключевые слова: *трехмерное изображение, стереосистема, двухракурсное изображение, зеркальная поверхность, разрешающая способность.*

Восстановление трехмерного изображения объекта является важной задачей технического зрения. Для обеспечения пассивности регистрации (без специальной подсветки объекта) применяют стереоскопический метод регистрации изображений объекта под различными ракурсами.

Стереосистемы, состоящие из нескольких определенным образом ориентированных относительно друг друга видеокамер, имеют некоторые недостатки, в частности сложность алгоритмов цифровой постобработки изображений и необходимость частой калибровки камер.

Альтернативным подходом является разработка однокамерных стереосистем [1, 2]. С точки зрения точности восстановления трехмерного изображения наиболее перспективными представляются однокамерные системы с временным или пространственным разделением стереоизображений [1, 2], в которых разноракурсные изображения регистрируются на одном приемнике излучения. Однокамерные стереосистемы с временным разделением изображений целесообразно использовать при съемке статичных объектов, но при регистрации динамических объектов качество восстановления изображения снижается.

Более перспективными являются стереосистемы с пространственным разделением изображений, несмотря на то что они имеют более низкую разрешающую способность, чем системы с временным разделением. В работе [2] описана линзовая стереосистема с пространственным разделением изображений, которая содержит пери-

скопическую насадку из двух плоских зеркал базовый линзовый объектив плоское зеркало, изламывающее оптическую ось две симметрично наклоненные линзы для разделения изображений и объектив видеокамеры. Недостатком линзовой стереосистемы является необходимость использования дополнительной линзы для согласования зрачков базового объектива и объектива видеокамеры.

Актуальным представляется создание однокамерных стереосистем с пространственным разделением изображений на основе зеркальных поверхностей. Данная работа посвящена анализу и разработке зеркальной стереосистемы с пространственным разделением изображений.

Линзовая стереосистема с пространственным разделением изображений (рис. 1) содержит две перископические насадки; базовый линзовый объектив с двухзрачковой диафрагмой; дополнительную линзу; две линзы, симметрично наклоненные к оптической оси, и видеокамеру.

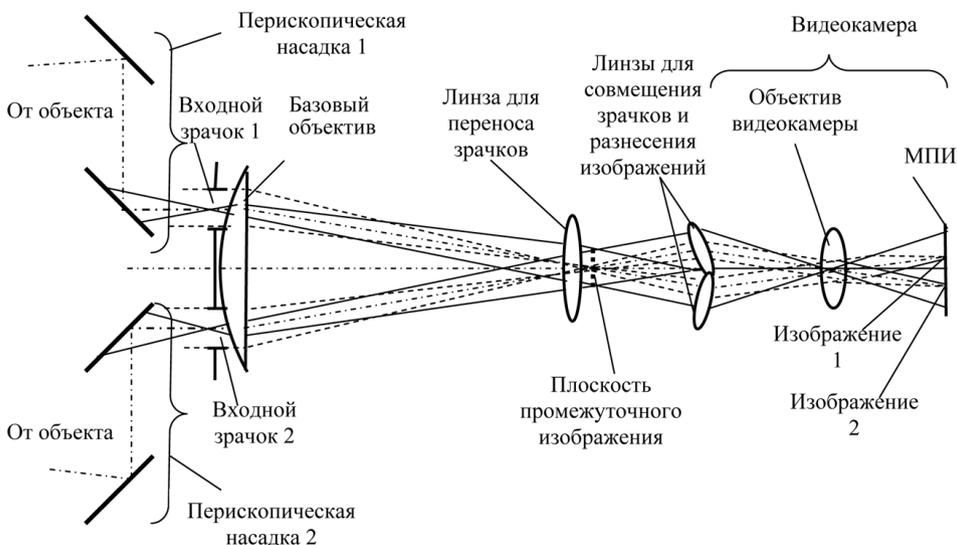


Рис. 1. Схема линзовой стереосистемы с пространственным разделением изображений

Перископические насадки, каждая из двух зеркал, симметрично расположенных под углом 45° к оптической оси, служат для увеличения базы стереосистемы. Базовый линзовый объектив формирует через два входных зрачка два совмещенных промежуточных изображения объекта. Дополнительная линза расположена в непосредственной близости к плоскости промежуточного изображения объекта и формирует два совмещенных изображения входных зрачков на входном зрачке объектива видеокамеры. Две наклоненные линзы,

передние фокусы которых совпадают с плоскостью промежуточного изображения объекта, формируют в бесконечности два пространственно разделенных изображения объекта, а объектив видеокамеры переносит разделенные изображения на матричный приемник излучения (МПИ). Недостатками линзовой стереосистемы являются низкое качество изображений из-за аберраций дополнительной линзы, расположенной перед плоскостью промежуточного изображения объекта, и большие габариты.

В данной работе представлен разработанный авторами зеркальный вариант стереосистемы с пространственным разделением изображений с меньшими габаритами и повышенным качеством изображения. Отличительной особенностью стереосистемы является то, что пространственное разделение изображений объекта осуществляется с помощью зеркал перископических насадок, а совмещение зрачков — двумя симметрично наклоненными друг к другу сферическими зеркалами.

Зеркальная стереосистема (рис. 2) содержит две перископические насадки; двухзрачковую диафрагму; зеркальный базовый объектив; два симметрично наклоненных к оптической оси зеркала, передние фокусы которых совпадают с плоскостью промежуточного изображения объекта, и видеокамеру.

Базовый объектив представляет собой сферическое зеркало с прозрачной центральной зоной, диаметр которой равен диаметру входного зрачка объектива видеокамеры.

Малые зеркала перископической насадки симметрично наклонены к оптической оси стереосистемы на угол $\alpha_{1,2} = 45^\circ \mp \frac{W}{2}$, где $2W$ — угловое поле стереосистемы, поэтому базовый объектив формирует два пространственно разделенных промежуточных изображения объекта.

Наклоненные к оптической оси сферические зеркала выполнены в виде половинок зеркал с линией среза, проходящей по диаметру. Фокусные расстояния наклоненных зеркал равны фокусному расстоянию базового зеркала. Угол 2φ между их оптическими осями равен угловому полю стереосистемы $2W$:

$$2\varphi = 2W.$$

Зеркальная стереосистема работает следующим образом. Излучение от объекта через две симметричные относительно оптической оси стереоскопические насадки и два входных зрачка попадает в базовый объектив — сферическое зеркало.

Первое зеркало перископических насадок расположено под углом $\alpha_1 = \pm 45^\circ$ к оптической оси стереосистемы. Для получения двух пространственно разделенных изображений объекта в задней фокальной плоскости базового объектива, формируемых через два зрачка диафрагмы (т. е. под разными ракурсами), второе зеркало насадок располагают под углом $\alpha_2 = 45^\circ \mp \frac{W}{2}$ к оптической оси.

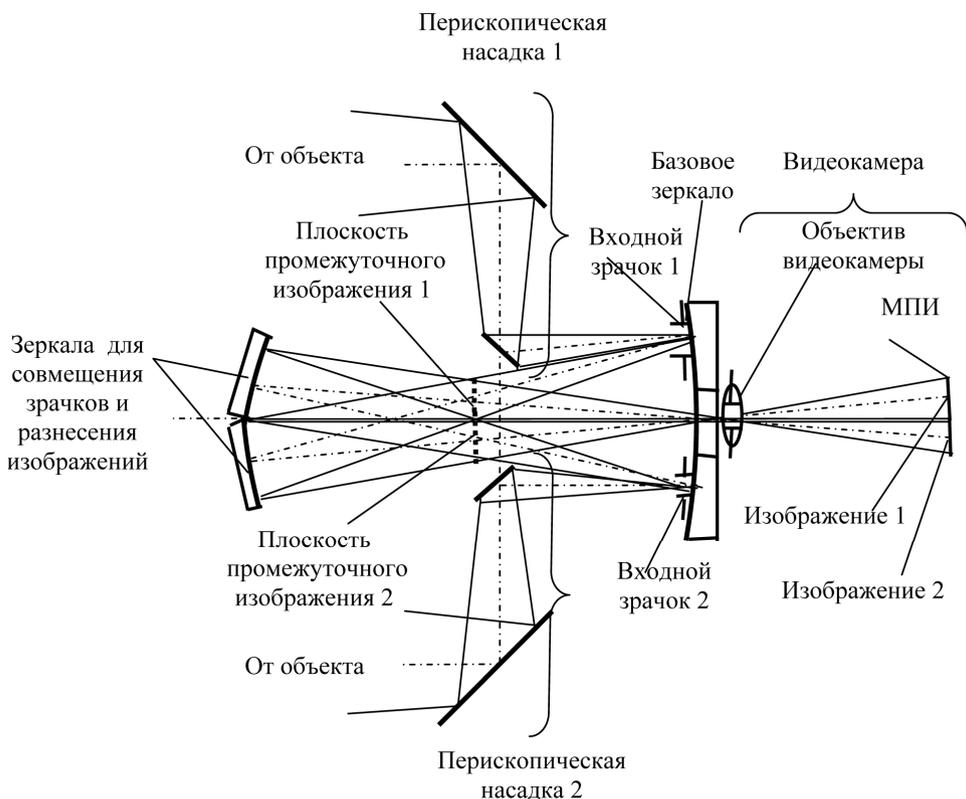


Рис. 2. Схема зеркальной стереосистемы с пространственным разделением изображений

Затем два пространственно разделенных разноракурсных изображения переносятся наклоненными зеркалами в бесконечность, так как их фокальные плоскости совмещены с фокальной плоскостью базового зеркала. При этом один из главных лучей изображений совпадает с оптической осью системы. Угол между оптическими осями наклоненных зеркал обеспечивает совмещение изображений зрачков.

На рис. 3 представлена расчетная схема стереосистемы для одного ракурса. Оптическая схема рассчитывается из условия направления главного луча, входящего в стереосистему под углом W к оптической оси стереосистемы, на базовое зеркало параллельно оптиче-

ской оси стереосистемы: $W_{\text{гл}} = 0$. Это обеспечивается за счет разворота малого зеркала перископической насадки на угол

$$\alpha_2 = 45^\circ - \frac{W}{2}.$$

При таком угле два разноразмерных изображения пространственно разделяются.

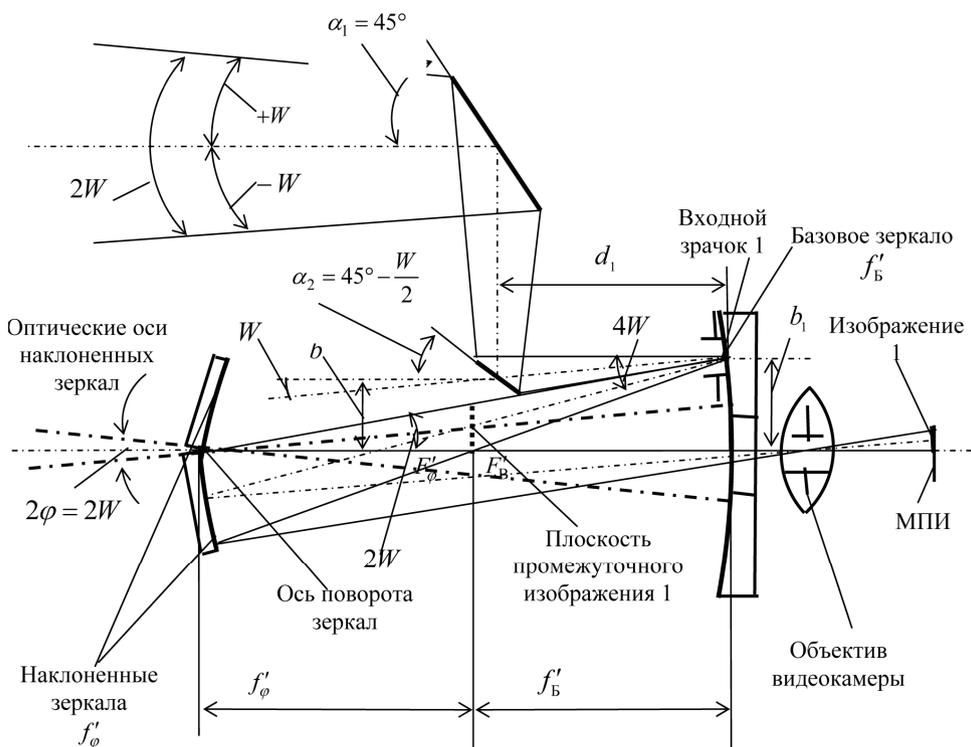


Рис. 3. Расчетная схема зеркальной стереосистемы с ходом главных лучей

Фокусные расстояния f'_φ наклоненных зеркал принимаются равными фокусному расстоянию базового зеркала

$$f'_\varphi = f'_b.$$

Расстояние между базовым зеркалом и наклоненными зеркалами определяется из условия совмещения их фокусов, т. е. равно сумме их фокусных расстояний:

$$d = f'_b + f'_\varphi.$$

Главный луч, вошедший в стереосистему под углом $+W$, падает на базовое зеркало под углом $W_{\text{гл}} = 0$ и после отражения пересекает

оптическую ось в фокусе базового зеркала. Таким образом, промежуточное изображение объекта формируется смещенным относительно оптической оси стереосистемы, а крайняя точка изображения расположена на оптической оси стереосистемы.

Главный луч, входящий в стереосистему под противоположным углом $-W$, пересекает оптическую ось стереосистемы на поверхностях наклоненных зеркал в точке пересечения их оптических осей под углом, равным $2W$.

Для принятых условий расстояние между центром входного зрачка и оптической осью стереосистемы

$$b_1 = f'_6 \operatorname{tg} 4W,$$

а расстояние между центрами входных зрачков

$$2b_1 = 2f'_6 \operatorname{tg} 4W.$$

При выбранном расстоянии d_1 от центра малого зеркала перископической насадки до базового зеркала расстояние центра этого зеркала до оптической оси

$$b = b_1 - d_1 \operatorname{tg} W,$$

а расстояние между оптическими осями малых зеркал перископических насадок

$$2b = 2b_1 - 2d_1 \operatorname{tg} W.$$

Наклоненные зеркала выполнены в виде половинок зеркал с линией среза, проходящей по диаметру.

Угол наклона оптических осей зеркал к оптической оси стереосистемы находят из условия направления второго главного луча, входящего в стереосистему под углом $-W$, вдоль оптической оси, т. е.

$$\varphi = W,$$

причем поворот зеркал осуществляется относительно осевой точки зеркала.

Угол между оптическими осями наклоненных зеркал к оптической оси стереосистемы равен угловому полю стереосистемы:

$$2\varphi = 2W.$$

В результате такого наклона зеркал формируются совмещенные изображения разнесенных входных зрачков, совпадающие с входным зрачком объектива видеокамеры, и два разнесенных изображе-

ния объекта на МПИ. При этом для ввода излучения в объектив видеокамеры базовое зеркало выполняется с прозрачной центральной зоной с диаметром, равным диаметру входного зрачка объектива видеокамеры.

Ниже приведены результаты расчета зеркальной стереосистемы для объекта с угловым размером $2W_x \times 2W_y = 5^\circ \times 4^\circ$, расположенного на большом расстоянии, и для объектива видеокамеры с фокусным расстоянием $f'_{в.к} = 60$ мм.

Радиусы базового и наклоненного зеркал $R_6 = 175,5$ мм и $R_\phi = 180$ мм, а их фокусные расстояния $f'_6 = 87,75$ мм и $f'_\phi = 90$ мм приблизительно равны. Незначительное увеличение радиуса наклоненного зеркала потребовалось для того, чтобы изображение зрачка было вынесено за базовую зеркальную поверхность в плоскость входного зрачка объектива видеокамеры.

Расстояние между зеркалами $d = f'_6 + f'_\phi = 175,5$ мм.

Расстояние между центром зрачка и оптической осью

$$b_1 = f'_6 \operatorname{tg} 4W_y = 12,6 \text{ мм.}$$

Принимаем $d_1 = 80$ мм, тогда расстояние между оптической осью малого зеркала перископических насадок и оптической осью перископической системы

$$b = f'_6 \operatorname{tg} 4W - d_1 \operatorname{tg} W = 9,8 \text{ мм.}$$

Угол наклона оптической оси малого сферического зеркала к оптической оси стереосистемы

$$\varphi = W = 2^\circ.$$

На рис. 4 представлена расчетная схема зеркальной стереосистемы с ходом широких наклонных пучков лучей, используемая для расчета модуляционной передаточной функции стереосистемы. Расчет проводился для меридионального сечения $2W_y = 4^\circ$.

Модуляционная передаточная функция рассчитанной стереосистемы при использовании идеального регистрирующего объектива с фокусным расстоянием $f'_{в.к} = 60$ мм при диаметре входного зрачка, равном $D_{вх} = 5$ мм, представлена на рис. 5.

Из приведенной модуляционной передаточной функции следует, что рассчитанная стереосистема передает пространственную частоту $\nu_{ог} = 50 \text{ мм}^{-1}$ с контрастом $M = 0,3$.

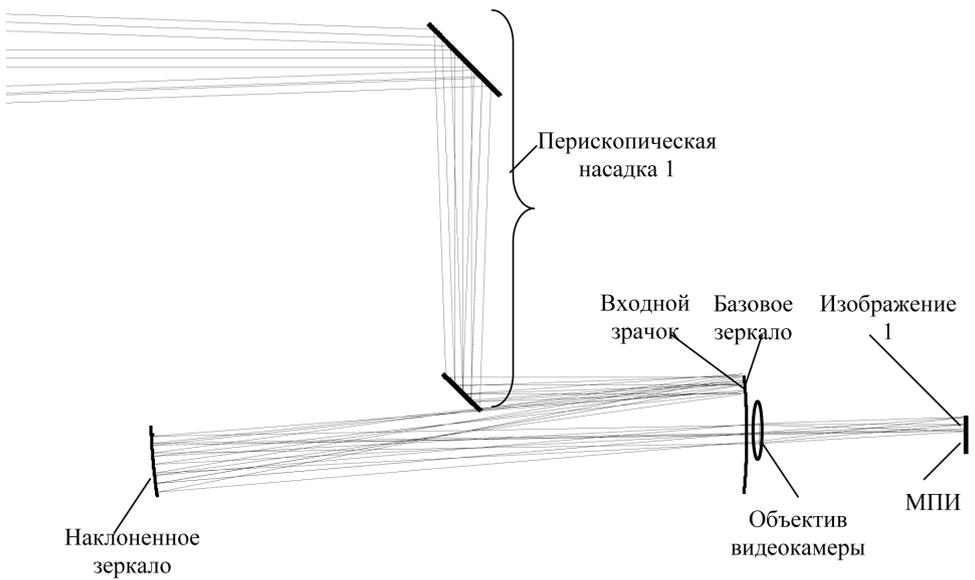


Рис. 4. Расчетная схема зеркальной стереосистемы с ходом широких пучков лучей через один зрачок

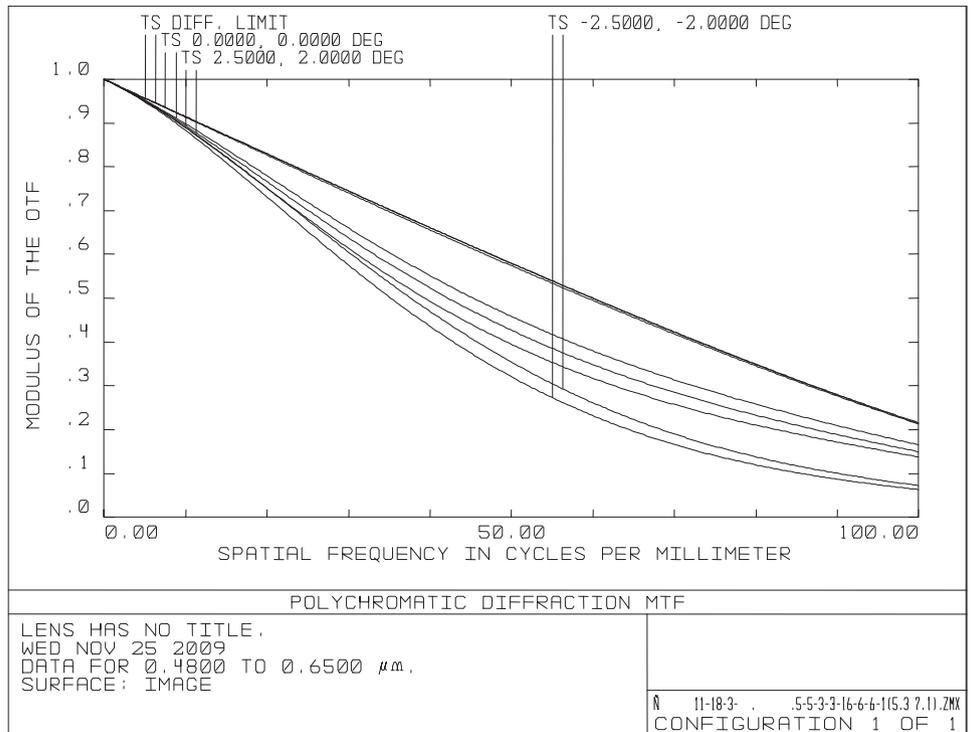


Рис. 5. Модуляционная передаточная функция стереосистемы

Таким образом, рассмотренная зеркальная стереосистема при существенно меньших габаритах по сравнению с линзовой системой отличается достаточно высоким качеством формирования двух пространственно разделенных изображений на приемнике излучения одной видеокамеры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пат. De WO2004/068211.
2. Апенко М. И., Дубовик А. С. Прикладная оптика. М.: Наука, 1982. С. 352.

Статья поступила в редакцию 28.09.2012.