

ИСПЫТАТЕЛЬНЫЕ ОБЪЕКТЫ ДЛЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА
ТВ ИЗОБРАЖЕНИЯ ОБЪЁМНОЙ СЦЕНЫ

ГОФАЙЗЕН О.В., СКАЛЯНЧУК Н.А.

Одесская национальная академия связи им. А.С. Попова
ГП “Украинский научно-исследовательский институт радио и телевидения”TEST SIGNALS FOR 3D SCENE TELEVISION IMAGE
QUALITY EVALUATION

GOFÄIZEN O.V., SKALIANCHUK N.A.

Odessa National Academy of Telecommunications named after O.S. Popov
SE “Ukrainian scientific-research institute of radio and television”

Аннотация. В статье представлены результаты исследований, направленных на построение системы испытательных объектов для оценки качества работы системы стереоскопического телевидения, основанных на представлении объёмной сцены в виде двух составляющих стереопары, несущих информацию для левого и правого глаз наблюдателя. Выведены общие соотношения, которые могут быть положены в основу построения оптических или электронных испытательных объектов в виде испытательных изображений или испытательных сигналов. Предлагается система испытательных объектов для оценки пространственных контрастно-частотной характеристики (ПКЧХ), пространственной переходной характеристики (ППХ) и пространственной импульсной характеристики (ПИХ) тракта системы стереоскопического телевидения для глубинного, горизонтального и вертикального направлений, математическое описание которых построено на основе предложенных соотношений, которые могут быть использованы для более общих целей, в том числе, для построения и других испытательных объектов, а также для анализа и оценки искажений, которые могут иметь место в тракте стереоскопического телевидения.

Abstract. The article presents the results of research aimed to development a system of test objects for evaluation the performance of stereoscopic television system based on the representation of 3D scene as two components of a stereo pair, carrying information to the left and right eye of the observer. General relations are derived which can be used as a basis for construction of optical or electronic test objects as test images or test signals. A system of test objects for evaluation of contrast spatial modulation transfer function (CSMTF), spatial transient response (STR) and spatial pulse response (STR) of stereoscopic television system tract for depth, horizontal and vertical directions, the mathematical description of which is built on the basis of proposed equations which may be used for more general purposes, including development and other objects, as well as for analysis and evaluation of the distortion that may occur in the stereoscopic television path.

ВВЕДЕНИЕ

С внедрением в мировую практику систем стереоскопического телевидения становится актуальной проблема оценки, измерения, контроля и автоматической коррекции искажений телевизионного изображения объёмной сцены. Для такой оценки необходимо располагать соответствующей системой испытательных объектов.

В Рекомендации ITU-R BT.2021 [1] представлено описание наборов испытательных неподвижных испытательных изображений и испытательных последовательностей для проверки зрительного восприятия объёмных изображений и оценки качества стереоскопических ТВ изображений, причём оценка может осуществляться путём субъективных испытаний или путём соответствующих измерений, возможно, с использованием методов цифровой обработки сигналов.

Важной особенностью стереоскопического телевидения является то, что характеристики передачи объёмной сцены, в частности, зависят от глубинной координаты, без знания которой невозможно судить об искажениях изображения в каждой точке, например, искажениях, связанных с ограниченной глубиной резкости, зависящей от характеристик объектива и параметров съёмки изображения. Это свидетельствует о том, что желательно систему испытательных объектов дополнить такими, которые позволяли бы судить о характеристиках системы стереоскопического телевидения, связанных с искажениями в точках изображения с заданной глубиной координатой.

Решению указанной задачи посвящена настоящая работа. В основу представления характери-

стик оптической части системы стереоскопического телевидения и предложений по построению системы испытательных объектов положено описание работы оптической системы, опубликованной в специальной оптической литературе [2–4].

ХОД ЛУЧЕЙ В ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ ПЕРЕДАЮЩЕЙ ЧАСТИ СИСТЕМЫ СТЕРЕОСКОПИЧЕСКОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ

Для построения хода лучей в оптической системе передающей части системы стереоскопического телевидения используются две линзы, соответствующие правой и левой половинам стереопары, которые расположены в одной плоскости, и посередине между оптическими осями которых располагается параллельная им общая оптическая ось (рис. 1). Для одной точки A на этой оси с помощью четырёх вспомогательных лучей, проходящих через две бесконечно тонкие линзы, строятся её два изображения A'_R и A'_L . Индексами “R” и “L” обозначена принадлежность объектов на рисунках и в тексте к правой и левой составляющим стереопары.

Пусть f – фокусное расстояние, B – расстояние между центрами линз, называемое базой, l – расстояние между оптической осью одной из линз и общей оптической осью (расстояние, равное половине базы), l'_1 – расстояние между оптической осью правой линзы и изображением A'_R , l'_2 – расстояние между оптической осью левой линзы и изображением A'_L , x – расстояние от заданной точки до фокуса, x' – расстояние от фокуса до плоскости изображений A'_R и A'_L , K_R и K_L – точки пересечения вспомогательного луча с линзой правой и левой стереопары. Из рассмотрения шести пар подобных треугольников следуют приведённые ниже соотношения. Поскольку координаты точек искомых изображений имеют отрицательное и положительное значения относительно общей оптической оси, для вывода формул все значения ниже взяты по модулю.

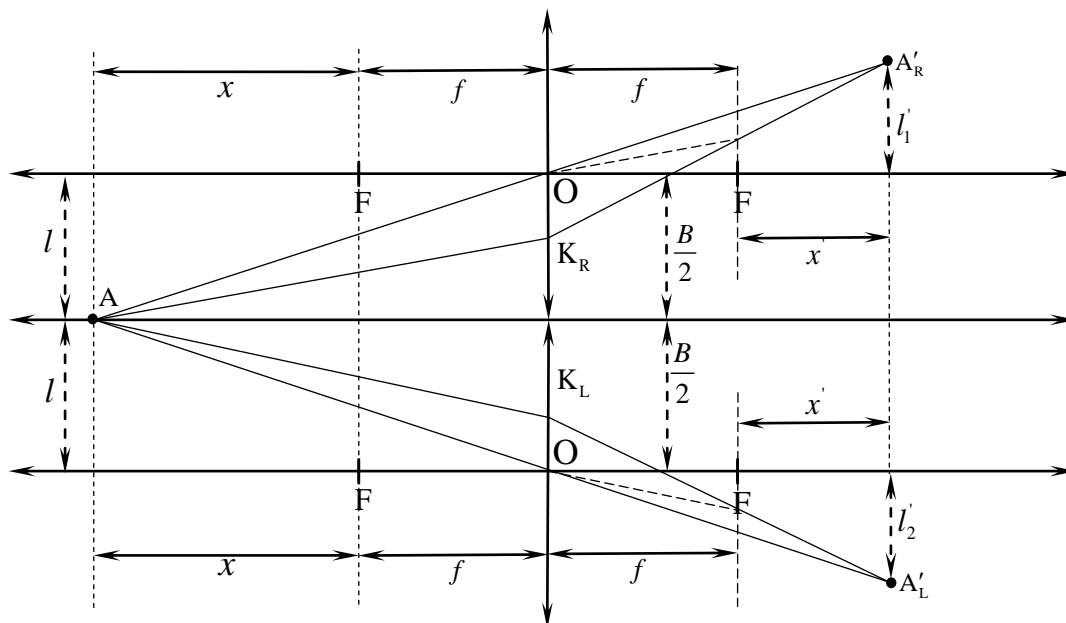


Рисунок 1 – Ход лучей в модели оптической системы камеры стереоскопического телевидения на основе бесконечно тонких собирающих линз для точки, лежащей на общей оптической оси

Расстояние между оптическими осями правой и левой линз и изображениями A'_R , A'_L равны:

$$l'_1 = l \frac{f}{x}; \quad l'_2 = l \frac{f}{x}, \quad (1)$$

откуда:

$$l' = l'_1 + l'_2 = \frac{B \cdot f}{x}. \quad (2)$$

Как видим, величина сдвига между двумя изображениями зависит от размера базы и расстояния от заданной точки до переднего фокуса.

Теперь рассмотрим случай, когда заданная точка не лежит на общей оптической оси – рис. 2. Ход лучей проектируется с помощью двух удобных вспомогательных лучей для каждого из двух объективов с учётом расстояния y сдвига между точкой A и общей оптической осью. Для этого случая расстояния между оптическими осями правой и левой линз и изображениями A'_R и A'_L равны:

$$l'_1 = (l - y) \frac{f}{x}; \quad l'_2 = (l + y) \frac{f}{x}. \quad (3)$$

Заменяв l на $\frac{B}{2}$, находим:

$$l'_1 = \left(\frac{B}{2} - y\right) \cdot \frac{f}{x}; \quad l'_2 = \left(\frac{B}{2} + y\right) \cdot \frac{f}{x}, \quad (4)$$

откуда следует выражение для взаимного сдвига между двумя изображениями рассматриваемой точки на матрицах преобразователей свет-сигнал для левой и правой половин передаваемой стереопары:

$$l' = l'_1 + l'_2 = \left(\frac{B}{2} - y\right) \cdot \frac{f}{x} + \left(\frac{B}{2} + y\right) \cdot \frac{f}{x} = \frac{B \cdot f}{x}. \quad (5)$$

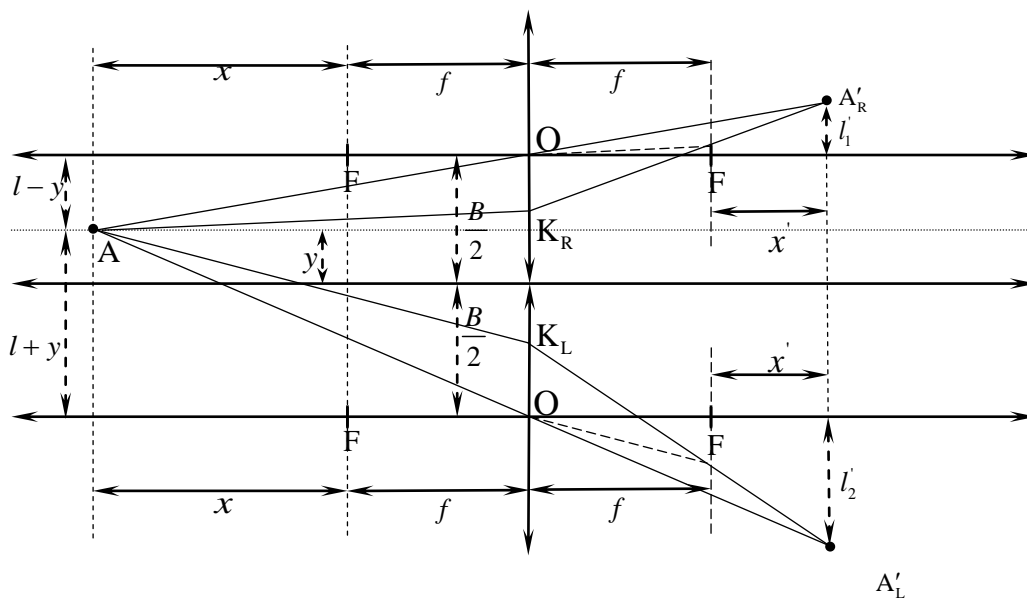


Рисунок 2 – Ход лучей в модели оптической системы камеры стереоскопического телевидения на основе бесконечно тонких собирающих линз для точки, не лежащей на общей оптической оси

Как видим, взаимный сдвиг между двумя изображениями точки не зависит от расположения этой точки относительно общей оси.

Если линза находится в однородном пространстве, то луч, идущий вдоль главной оптической оси, не преломляется. Тогда по этому принципу можно построить ход лучей в системе из двух двояковыпуклых собирающих линз для стереоскопического телевидения и убедиться в том, что положение изображения заданной точки будет соответствовать рис. 3. Величина сдвига между двумя изображениями на выходах двояковыпуклых линз будет определяться теми же соотношениями, что и для бесконечно тонких линз.

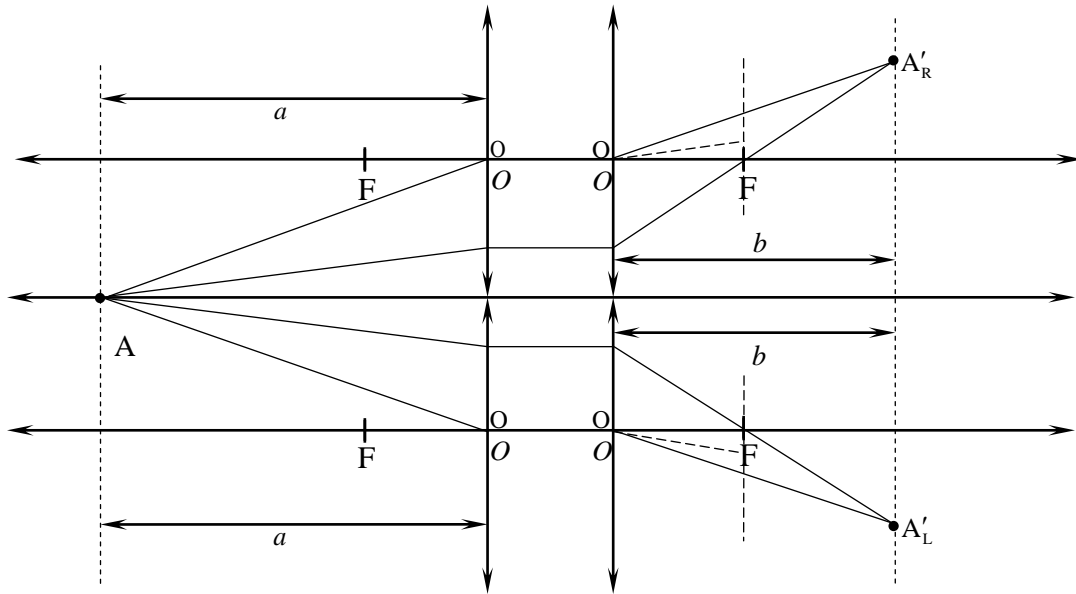


Рисунок 3 – Ход лучей в модели оптической системы камеры стереоскопического телевидения на основе произвольных двояковыпуклых собирающих линз

ОСНОВНЫЕ СООТНОШЕНИЯ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИЕ СВЯЗЪ ОБЪЁМНОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ С ИЗОБРАЖЕНИЯМИ ДВУХ ПОЛОВИН СТЕРЕОПАРЫ ПЕРЕДАЮЩЕЙ КАМЕРЫ

Введя обозначения для координат по горизонтали (ξ_1), по вертикали (ξ_2) и по глубине (ξ_3) объекта и изображения, распределение энергии света в каждой точке объекта и изображения можно записать в следующем виде:

– для идеальной камеры стереоскопического телевидения, в которой каждой точке трёхмерного объекта соответствует трёхмерное изображение на объёме трёхмерной матрицы-преобразователя “свет-сигнал”:

$$S_O(\xi_1, \xi_2, \xi_3) \Rightarrow S_I(\xi_1, \xi_2, \xi_3), \quad (6)$$

где индексы “O” и “I” относятся к передаваемому объекту и его изображению;

– для реальной камеры стереоскопического телевидения, в которой для получения объёмного изображения используется бинокулярная модель зрения человека:

$$S_O(\xi_1, \xi_2, \xi_3) \Leftrightarrow S_{ИЛ}\left(\xi_1 - \frac{Bf}{\xi_3 - f}, \xi_2\right), S_{ИР}\left(\xi_1 + \frac{Bf}{\xi_3 - f}, \xi_2\right). \quad (7)$$

где индексы “L” и “R” относятся к левой и правой составляющим стереопары.

Эти соотношения могут быть использованы для построения электронных образов любых синтетических изображений, в том числе испытательных изображений для объёмного телевидения.

Координата по глубине (ξ_3) передаётся через сдвиг $\Delta\xi_1$ по горизонтали левой и правой составляющих стереопары по отношению к общей оси камеры (находящейся посередине между осями двух объективов), и, исходя из этого, мы можем записать взаимосвязь между ξ_3 и $\Delta\xi_1$ в виде:

$$\Delta\xi_1 = \frac{Bf}{\xi_3 - f} \Leftrightarrow \xi_3 = f + \frac{Bf}{\Delta\xi_1} = f\left(1 + \frac{B}{\Delta\xi_1}\right). \quad (8)$$

Соответственно формулу (7) можно переписать в виде:

$$S_O(\xi_1, \xi_2, \xi_3) \Leftrightarrow S_{ИЛ}(\xi_1 - \Delta\xi_1, \xi_2), S_{ИР}(\xi_1 + \Delta\xi_1, \xi_2). \quad (9)$$

Задавшись числом активных строк изображения z_a и высотой изображения H на матрицах преобразователей “свет-сигнал” стереопары, находим, что сдвиг $\Delta\xi_1$ связан с угловым расстоянием между изображениями точек сцены, относящимися к двум половинам стереопары, в соответствии с соотношением:

$$\alpha = 2 \operatorname{arctg} \frac{\Delta\xi_1}{2f \left(\frac{z_a}{H} + \frac{\Delta\xi_1}{B} \right)}. \quad (10)$$

Этому соотношению соответствует обратное соотношение:

$$\Delta\xi_1 = \frac{2f \frac{z_a}{H} \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}}{1 - \frac{2f}{B} \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}}, \quad (11)$$

Таким образом, имеет место возможность исчислять характеристики системы стереоскопического телевидения, используя линейную ($\Delta\xi_1$) или угловую (α) оценку, связывающую глубинную координату точки сцены с её изображениями на половинах стереопары.

Примером оценки взаимосвязи глубинной координаты с линейной и угловой оценками может служить табл. 1, рассчитанная для реальных параметров: $f = 50$ мм, $B = 65$ мм, $z_a = 1080$ и $H = 24$ мм, где ЭИ – элемент изображения.

Таблица 1 – Пример оценки взаимосвязи ξ_3 , $\Delta\xi_1$ и α

ξ_3 , м	$\Delta\xi_1$, ЭИ	α , град
1	154	3,899
3	50	1,271
10	15	0,380
30	5	0,127
100	1,5	0,038
300	0,5	0,013

ИСПЫТАТЕЛЬНЫЕ ОБЪЕКТЫ ДЛЯ ОЦЕКИ ПКЧХ СИСТЕМ СТЕРЕОСКОПИЧЕСКОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ

Возможны две реализации испытательных объектов для оценки ПКЧХ системы стереоскопического телевидения, а именно набора синусоид и косинусоид разных частот (синусоидальный и косинусоидальный испытательный объект) или набора прямоугольных периодических функций разных частот (прямоугольный испытательный объект).

Синусоидальный и косинусоидальный испытательный объект для оценки глубинной ПКЧХ

Поскольку $\Delta\xi_1$ непосредственно характеризует глубинное положение точек объёмного изображения, можно считать, что построение точек испытательного объекта в виде функции $\Delta\xi_1$ непосредственно его выражает взаимосвязь с координатой ξ_3 . Поэтому испытательные сигналы, характеризующие глубинные характеристики изображения, можно строить в виде функций от $\Delta\xi_1$.

Для построения пространственной контрастно-частотной характеристики (ПКЧХ) системы по глубине можно использовать пространственные объекты типа $\exp(i\omega_3\Delta\xi_1)$, которые могут быть основаны на использовании пары функций $\sin(\omega_3\Delta\xi_1)$ и $\cos(\omega_3\Delta\xi_1)$, где ω_3 – круговая частота, что позволяет реализовать модель сигнала, позволяющую определять его амплитуду в каждом отсчёте.

Задаваясь традиционной для телевизионной практики пространственной частотой V_3 , измеряемой числом полупериодов колебания, приходящихся на высоту изображения, можем записать аргумент испытательного объекта в виде:

$$\omega_3 \Delta \xi_1 = \pi \frac{V_3}{z_a} \Delta \xi_1. \quad (12)$$

Таким образом, такой испытательный объект будет состоять из двух периодических сигналов:

$$\begin{cases} S_{L \sin}(\Delta \xi_1) = \frac{1}{2} \left[1 + \sin \left(-\pi \frac{V_3}{z_a} \Delta \xi_1 \right) \right] \\ S_{R \sin}(\Delta \xi_1) = \frac{1}{2} \left[1 + \sin \left(+\pi \frac{V_3}{z_a} \Delta \xi_1 \right) \right] \end{cases}, \quad (13)$$

$$\begin{cases} S_{L \cos}(\Delta \xi_1) = \frac{1}{2} \left[1 + \cos \left(-\pi \frac{V_3}{z_a} \Delta \xi_1 \right) \right] \\ S_{R \cos}(\Delta \xi_1) = \frac{1}{2} \left[1 + \cos \left(+\pi \frac{V_3}{z_a} \Delta \xi_1 \right) \right] \end{cases}. \quad (14)$$

Форма таких сигналов изображена на рисунке 4, на котором обозначено $\theta = \pi \frac{V_3}{z_a} \Delta \xi_1$.

Этот испытательный объект соответствует изображению в геометрическом пространстве передаваемой сцены в виде функции от ξ_3 в виде пары изображений:

$$\begin{cases} S_{\sin}(\xi_3) = \frac{1}{2} \left[1 + \sin \left(\pi \frac{V_3}{z_a} \frac{Bf}{\xi_3 - f} \right) \right] \\ S_{\cos}(\xi_3) = \frac{1}{2} \left[1 + \cos \left(\pi \frac{V_3}{z_a} \frac{Bf}{\xi_3 - f} \right) \right] \end{cases}. \quad (15)$$

Задавшись набором испытательных объектов для ряда значений пространственной частоты V_3 , можно обеспечить возможность измерения ПКЧХ системы стереоскопического телевидения по глубине.

Синусоидальный и косинусоидальный испытательный объект для оценки ПКЧХ по горизонтали

Для измерения ПКЧХ по горизонтали можно использовать испытательный объект, сигнал которого изменяется в зависимости от координаты по горизонтали ξ_1 для плоскости, в которой измеряют ПКЧХ, параллельной плоскости преобразователей “свет-сигнал” камеры, занимающей положение, определяемое координатой ξ_3 , соответствующей сдвигу $\Delta \xi_1$. Такой испытательный объект можно представить в виде пары сигналов:

$$\begin{cases} S_{L \sin}(\xi_1) = \frac{1}{2} \left[1 + \sin \left(\pi \frac{V_1}{z_a} (\xi_1 - \Delta \xi_1) \right) \right] \\ S_{R \sin}(\xi_1) = \frac{1}{2} \left[1 + \sin \left(\pi \frac{V_1}{z_a} (\xi_1 + \Delta \xi_1) \right) \right] \end{cases}, \quad (16)$$

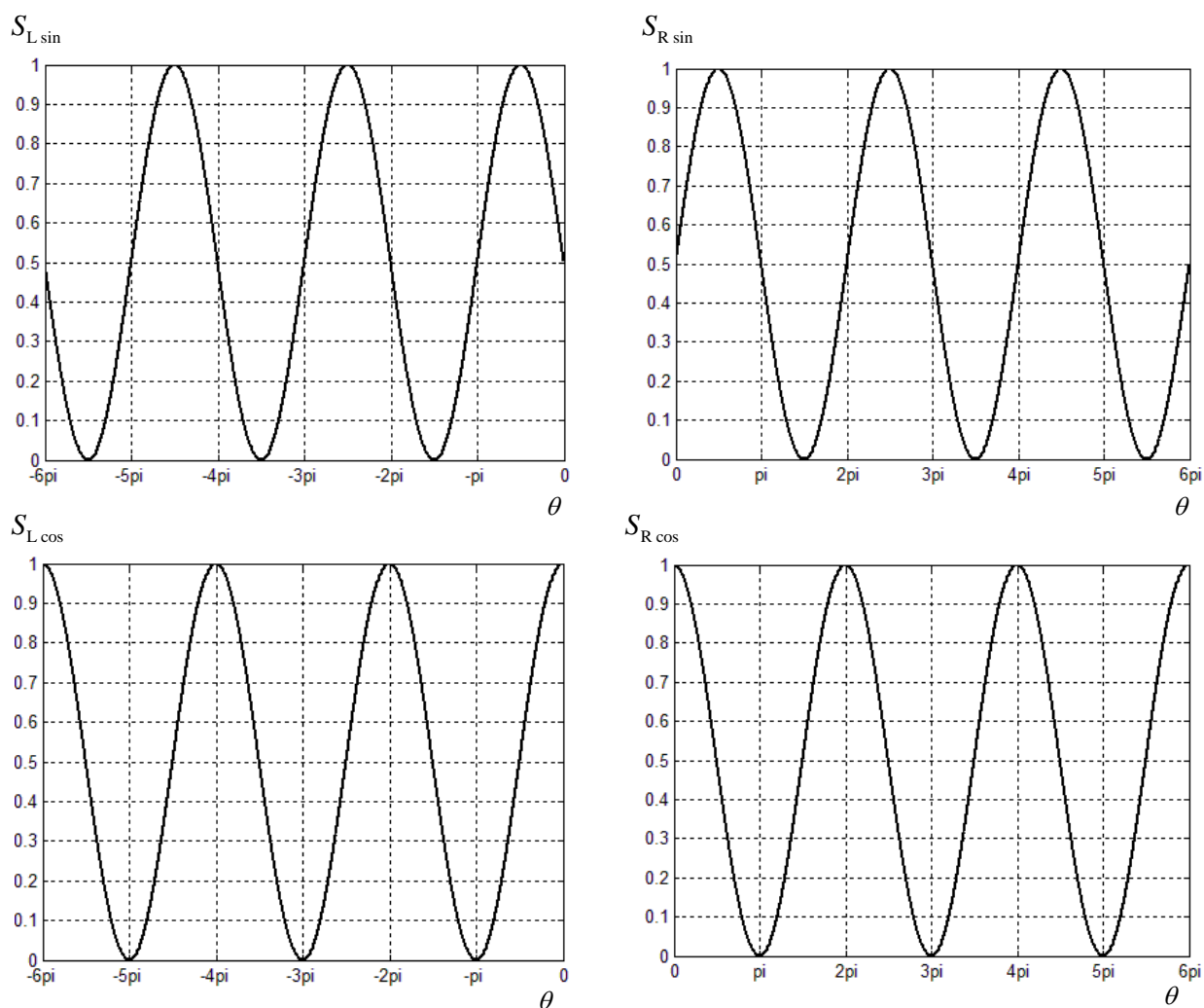


Рисунок 4 – Форма испытательных объектов для определения ПКЧХ по глубине, представленная в виде функции от $\Delta \xi_1$

$$\begin{cases} S_{L \cos}(\xi_1) = \frac{1}{2} \left[1 + \cos \left(\pi \frac{V_1}{z_a} (\xi_1 - \Delta \xi_1) \right) \right] \\ S_{R \cos}(\xi_1) = \frac{1}{2} \left[1 + \cos \left(\pi \frac{V_1}{z_a} (\xi_1 + \Delta \xi_1) \right) \right] \end{cases} \quad (17)$$

Синусоидальный и косинусоидальный испытательный объект для оценки ПКЧХ по вертикали

Для измерения ПКЧХ по вертикали, поскольку в системе стереоскопического телевидения, в которой изображение передаётся в виде стереопары, нет различия в сигнале, зависящем только от координаты по вертикали ξ_2 , можно использовать испытательный объект в виде пары сигналов:

$$S_{L \sin}(\xi_2) = S_{R \sin}(\xi_2) = \frac{1}{2} \left[1 + \sin \left(\pi \frac{V_2}{z_a} \xi_2 \right) \right], \quad (18)$$

$$S_{L \cos}(\xi_2) = S_{R \cos}(\xi_2) = \frac{1}{2} \left[1 + \cos \left(\pi \frac{V_2}{z_a} \xi_2 \right) \right]. \quad (19)$$

Прямоугольный испытательный объект для оценки глубинной ПКЧХ

Для построения пространственной контрастно-частотной характеристики (ПКЧХ) системы по глубине можно использовать пространственные объекты типа $\text{sinc}[\sin(i\omega_3\Delta\xi_1)]$.

Такой испытательный объект будет состоять из периодических сигналов:

$$\begin{cases} S_{L\Pi}(\Delta\xi_1) = \frac{1}{2} \left\{ 1 + \text{sign} \left[\sin \left(-\pi \frac{V_3}{z_a} \Delta\xi_1 \right) \right] \right\} \\ S_{R\Pi}(\Delta\xi_1) = \frac{1}{2} \left\{ 1 + \text{sign} \left[\sin \left(-\pi \frac{V_3}{z_a} \Delta\xi_1 \right) \right] \right\} \end{cases} \quad (20)$$

Форма таких сигналов изображена на рис. 5.

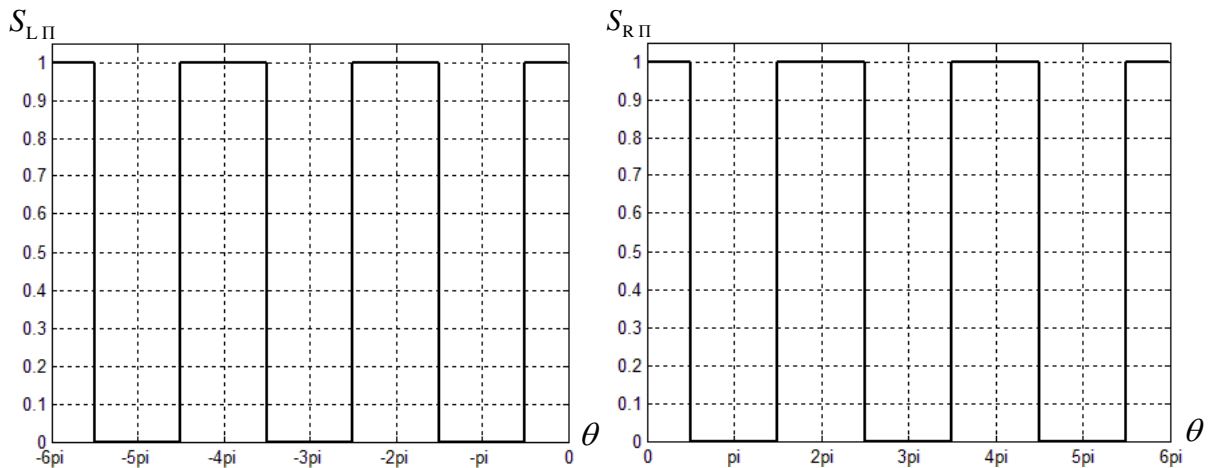


Рисунок 5 – Форма испытательных объектов для определения ПКЧХ по глубине, представленная в виде функции от $\Delta\xi_1$

Этот испытательный объект соответствует изображению в геометрическом пространстве передаваемой сцены в виде функции от ξ_3 в виде пары изображений:

$$\begin{cases} S_{L\Pi}(\xi_3) = \frac{1}{2} \left\{ 1 + \text{sign} \left[\sin \left(\pi \frac{V_3}{z_a} \frac{Bf}{\xi_3 - f} \right) \right] \right\} \\ S_{R\Pi}(\xi_3) = \frac{1}{2} \left\{ 1 + \text{sign} \left[\cos \left(\pi \frac{V_3}{z_a} \frac{Bf}{\xi_3 - f} \right) \right] \right\} \end{cases} \quad (21)$$

Задавшись набором испытательных объектов для ряда значений пространственной частоты V_3 , можно обеспечить возможность измерения ПКЧХ системы стереоскопического телевидения по глубине.

Прямоугольный испытательный объект для оценки ПКЧХ по горизонтали

Для измерения ПКЧХ по горизонтали можно использовать испытательный объект, сигнал которого изменяется в зависимости от координаты по горизонтали ξ_1 для плоскости, в которой измеряют ПКЧХ, параллельной плоскости преобразователей “свет-сигнал” камеры, занимающей положение, определяемое координатой ξ_3 , соответствующей сдвигу $\Delta\xi_1$. Такой испытательный объект можно представить в виде пары сигналов:

$$\begin{cases} S_{L\Pi}(\xi_1) = \frac{1}{2} \left\{ 1 + \text{sign} \left[\sin \left(\pi \frac{V_1}{z_a} (\xi_1 - \Delta\xi_1) \right) \right] \right\} \\ S_{R\Pi}(\xi_1) = \frac{1}{2} \left\{ 1 + \text{sign} \left[\sin \left(\pi \frac{V_1}{z_a} (\xi_1 + \Delta\xi_1) \right) \right] \right\} \end{cases} \quad (22)$$

Прямоугольный испытательный объект для оценки ПКЧХ по вертикали

Для измерения ПКЧХ по вертикали, поскольку в системе стереоскопического телевидения, в которой изображение передаётся в виде стереопары, нет различия в сигнале, зависящем только от координаты по вертикали ξ_2 , можно использовать испытательный объект в виде пары сигналов:

$$S_{L\Pi}(\xi_2) = S_{R\Pi}(\xi_2) = \frac{1}{2} \left\{ 1 + \text{sign} \left[\sin \left(\pi \frac{V_2}{z_a} \xi_2 \right) \right] \right\} \quad (23)$$

ИСПЫТАТЕЛЬНЫЕ ОБЪЕКТЫ ДЛЯ ОЦЕКИ ППХ СИСТЕМ СТЕРЕОСКОПИЧЕСКОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ

Испытательный объект для оценки глубинной переходной характеристики

В общем случае для определения переходной характеристики линейной системы используют объект в виде единичного скачка, описываемого функцией Хэвисайда $1(\xi)$, или его модель.

Для построения в системе стереоскопического телевидения пространственной переходной характеристики (ППХ) по глубине можно использовать пространственный объект типа $1(\xi_3 - \xi_{30})$, где ξ_{30} – координата проекции точки черно-белого перехода вдоль общей оси по глубине (рис. 6).

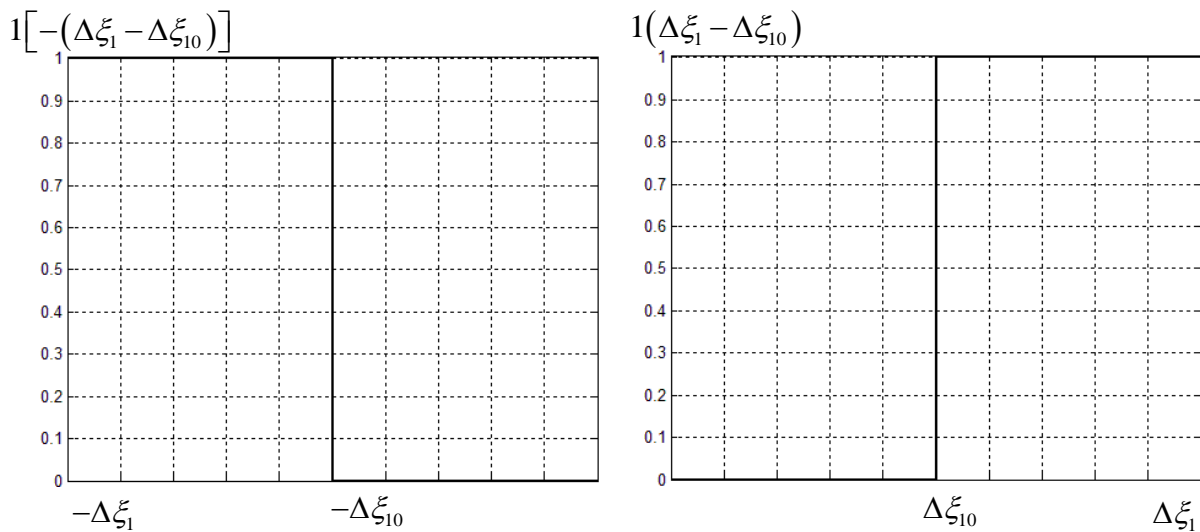


Рисунок 6 – Форма испытательных объектов для определения ППХ по глубине, представленная в виде функций $1[-(\Delta\xi_1 - \Delta\xi_{10})]$ и $1(\Delta\xi_1 - \Delta\xi_{10})$

Объекты в виде единичного перехода сигналов в зависимости от глубинной координаты проектируются на плоскость светозлектрических преобразователей камеры для левой и правой половины стереопары в виде сигналов, соответствие которых объёмному изображению может записано в виде:

$$\begin{cases} 1(-\Delta\xi_1 + \Delta\xi_{10}) \\ 1(+\Delta\xi_1 - \Delta\xi_{10}) \end{cases} \Rightarrow S_{3D}(\xi_1, \xi_2, \xi_3), \quad (24)$$

или

$$\begin{cases} 1 \left(-\frac{Bf}{\xi_3 - f} + \frac{Bf}{\xi_{30} - f} \right) \\ 1 \left(+\frac{Bf}{\xi_3 - f} - \frac{Bf}{\xi_{30} - f} \right) \end{cases} \Rightarrow S_{3D}(\xi_1, \xi_2, \xi_3). \quad (25)$$

Испытательный объект для оценки пространственной переходной характеристики по горизонтали

Для измерения ППХ по горизонтали можно использовать испытательный объект в виде сигнала единичного перехода, изменяющийся в зависимости от координаты по горизонтали ξ_1 , причём координата точки перехода равна ξ_{10} , в которой измеряют ППХ, на плоскости, параллельной плоскости преобразователей “свет-сигнал” камеры, занимающей положение, определяемое координатой ξ_3 , соответствующей сдвигу $\Delta\xi_1$. Такой испытательный объект можно представить в виде пары сигналов:

$$\begin{cases} S_{L \text{ ППХ}}(\xi_1) = 1(\xi_1 - \xi_{10} - \Delta\xi_1) \\ S_{R \text{ ППХ}}(\xi_1) = 1(\xi_1 - \xi_{10} + \Delta\xi_1) \end{cases}. \quad (26)$$

Испытательный объект для оценки пространственной переходной характеристики по вертикали

Для измерения ППХ по вертикали, учитывая, что в системе стереоскопического телевидения, в которой изображение передаётся в виде стереопары, нет различия в сигналах двух половин стереопары, зависящих только от координаты по вертикали ξ_2 , можно использовать испытательный объект в виде пары сигналов:

$$\begin{cases} S_{L \text{ ППХ}}(\xi_2) = 1(\xi_2 - \xi_{20}) \\ S_{R \text{ ППХ}}(\xi_2) = 1(\xi_2 - \xi_{20}) \end{cases}. \quad (27)$$

ИСПЫТАТЕЛЬНЫЕ ОБЪЕКТЫ ДЛЯ ОЦЕКИ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ИМПУЛЬСНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИСТЕМЫ СТЕРЕОСКОПИЧЕСКОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ

Испытательный объект для оценки пространственной импульсной характеристики может быть реализован на основе использования одиночного импульса. Здесь в качестве примера используется sinc-импульс.

Испытательный объект для оценки глубинной пространственной импульсной характеристики

Испытательный объект для оценки глубинной пространственной импульсной характеристики может быть реализован описывается следующим образом:

$$\begin{cases} S_{L \text{ ПИХ}}(\Delta\xi_1) = \text{sinc} \left(-\pi \frac{V_c}{z_a} (\Delta\xi_1 - \Delta\xi_{10}) \right) \\ S_{R \text{ ПИХ}}(\Delta\xi_1) = \text{sinc} \left(+\pi \frac{V_c}{z_a} (\Delta\xi_1 - \Delta\xi_{10}) \right) \end{cases}. \quad (28)$$

где V_c – пространственная частота среза спектра испытательного объекта.

Этот испытательный объект соответствует изображению в геометрическом пространстве передаваемой сцены в виде функции от ξ_3 в виде пары изображений:

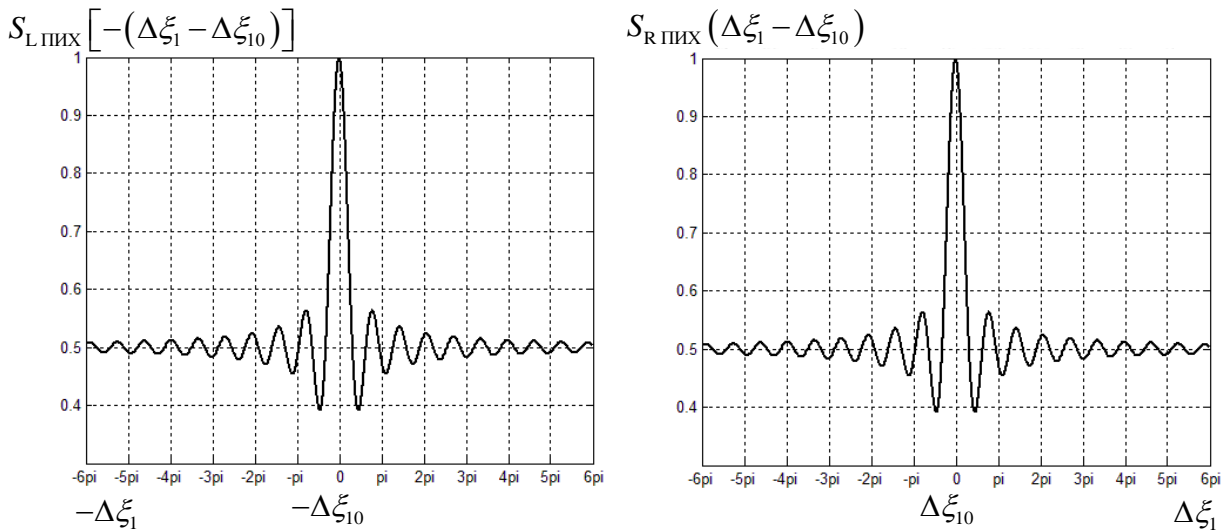


Рисунок 7 – Форма испытательных объектов для определения ПИХ по глубине, представленная в виде функции от $\Delta\xi_1$

$$\begin{cases} S_{L_ПИХ}(\xi_3) = \text{sinc}\left(-\pi \frac{v_c}{H} \left(\frac{Bf}{\xi_3 - f} - \xi_{30}\right)\right) \\ S_{R_ПИХ}(\xi_3) = \text{sinc}\left(+\pi \frac{v_c}{H} \left(\frac{Bf}{\xi_3 - f} - \xi_{30}\right)\right) \end{cases} \quad (29)$$

где v_c – частота среза выраженная числом полупериодов изменения яркости отнесённой к расстоянию к высоте кадра.

Испытательный объект для оценки пространственной импульсной характеристики по горизонтали

Для измерения ПИХ по горизонтали можно использовать испытательный объект в виде функции $\text{sinc } x$, изменяющийся в зависимости от координаты по горизонтали ξ_1 , причём координата точки центра ПИХ равна ξ_{10} , на плоскости, в которой измеряют ПИХ, параллельной плоскости преобразователей “свет-сигнал” камеры, занимающей положение, определяемое координатой ξ_3 , соответствующей сдвигу $\Delta\xi_1$. Такой испытательный объект можно представить в виде пары сигналов:

$$\begin{cases} S_{L_ПИХ}(\xi_1) = \text{sinc}\left(-\pi \frac{v_c}{H} (\xi_1 - \xi_{10} - \Delta\xi_1)\right) \\ S_{R_ПИХ}(\xi_1) = \text{sinc}\left(+\pi \frac{v_c}{H} (\xi_1 - \xi_{10} - \Delta\xi_1)\right) \end{cases} \quad (30)$$

Испытательный объект для оценки пространственной импульсной характеристики по вертикали

Для измерения ПИХ по вертикали, учитывая, что в системе стереоскопического телевидения, в которой изображение передаётся в виде стереопары, нет различия в сигналах двух половин стереопары, зависящих только от координаты по вертикали ξ_2 , можно использовать испытательный объект в виде пары сигналов:

$$\begin{cases} S_{L_{\text{ПИХ}}}(\xi_2) = \text{sinc}\left(-\pi \frac{V_c}{H}(\xi_2 - \xi_{20})\right) \\ S_{R_{\text{ПИХ}}}(\xi_2) = \text{sinc}\left(+\pi \frac{V_c}{H}(\xi_2 - \xi_{20})\right) \end{cases} \quad (2.23)$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленные в настоящей работе количественные соотношения и предложенная на их базе система испытательных объектов может служить основой для исследования свойств систем стереоскопического телевидения с учётом зависимости их характеристик от глубинной координаты и для проведения соответствующих оценок, а также автоматической коррекции искажений.

Предлагаемая система испытательных объектов может быть реализована в определённой части в виде оптических объёмных испытательных изображений, насколько это осуществимо, и в этом случае эта система может служить для объективной оценки и контроля искажений изображений в сквозном тракте системы стереоскопического телевидения “от света до света”.

Электронная реализация испытательных объектов, может быть представлена в виде электронных испытательных изображений или сигналов, и может служить для оценки искажений от любой точки электрического тракта системы стереоскопического телевидения до света.

С использованием представленных соотношений и предложенных испытательных объектов можно также осуществлять оценку и автоматическую коррекцию искажений изображения в системах производства программ для моноскопического телевидения и тем самым реализовать новый уровень качества изображения, в частности, в системах телевидения высокой и сверхвысокой чёткости.

ЛИТЕРАТУРА

1. Recommendation ITU-R BT.2021:2012 Subjective methods for the assessment of stereoscopic 3DTV systems.
2. Глубина резкости – как рассчитать и учесть при съёмке [Электронный ресурс], 2013 – <http://fotoapparat-expert.ru/glubina-rezkosti-kak-rasschitat-i-uchest-pri-semke.html>.
3. Крылов И.Р. Курс лекций по оптике. – СПбГУ ФФ, 2013-2012. – 28 с.
4. Мальцев М.Д., Каракулино Г.А. Прикладная оптика и оптические измерения // Машиностроение, 1968 – 474 с.