

## Разработка модели зрительной системы человека для метода объективного контроля качества изображений в системах цифрового телевидения

Власюк И.В.

Аннотация: Задача создания методов объективной оценки качества изображений в системах цифрового телевидения является актуальной. Для определения величины заметности искажений необходима разработка модели зрительной системы человека. Настоящий доклад посвящен решению этой задачи. Подробно рассмотрена аппроксимация пространственной частотно-контрастной характеристики зрения с помощью экспоненциальных функций для различных условий контроля с учётом ее анизотропии.

В настоящее время на территории РФ функционирует система аналогового телевизионного (ТВ) вещания. Качество передачи изображения в ней поддерживается благодаря контролю параметров и характеристик принимаемого сигнала, осуществляемому как непрерывно (ведется контроль параметров сигнала, в том числе и специальных элементов сигналов испытательных строк), так и периодически, с применением испытательных таблиц. Внедрение систем цифрового телевизионного вещания требует создания новой системы контроля и поддержания качества передаваемого изображения в контрольных точках тракта. Задача контроля качества передачи сигналов по каналам связи в значительной степени решена, в частности, за счет контроля коэффициента ошибок, в канале и на выходе помехоустойчивого декодера, хотя диагностика причин недостаточного качества канала связи с применением традиционных, построенных на принципах приемлемых для сигналов аналогового телевидения, средств измерений из-за более сложной структуры спектра передаваемых сигналов может быть затруднена или невозможна. Однако качество изображения на абонентском устройстве определяется не столько качеством канала связи (который оказывает, как правило, пороговый эффект – в случае недостаточного соотношения сигнал-шум происходит полное разрушение части изображения), сколько работой кодера. Это усугубляется также разнообразием кодеров и их возможных уровней и профилей, что делает удобным и часто применяемым на практике для задач передачи неоднократное транскодирование изображений с разными скоростями цифрового потока в соответствии с возможностями аппаратуры и каналов связи. Различные кодеры вносят в изображение искажения как во внутрикадровом и цветовом направлениях видеoinформационного пространства, так и в межкадровом, эти искажения классифицированы и насчитывается несколько десятков их видов. Ввиду такого разнообразия искажений и различной степени их заметности в зависимости от характера изображения, эффективным способом оценки качества изображения является проведение субъективно-статистических экспертиз [1]. Однако их проведение сопряжено

со значительными временными и финансовыми затратами, поскольку требует привлечения достаточного количества экспертов, специально оборудованного помещения для обеспечения условий наблюдения, и даже в этом случае повторяемость результатов измерений не обеспечивается. В связи с изложенным, разработка объективного метода оценки качества телевизионных изображений является актуальной задачей. Одной из задач, которые необходимо при этом решить, является создание математической модели зрительной системы человека для обеспечения соответствия результатов объективных измерений и экспертных оценок.

Зрительная система человека является преобразователем свет - электрический сигнал и соответственно может быть охарактеризована своей многомерной передаточной функцией в частотной области. Частные случаи таких функций (при фиксированных параметрах – время или координаты) известны из литературы [2]. Рассмотрим пространственную частотно-контрастную характеристику зрительной системы человека в горизонтальном направлении, приведенную на рисунке 1, кривая 1.

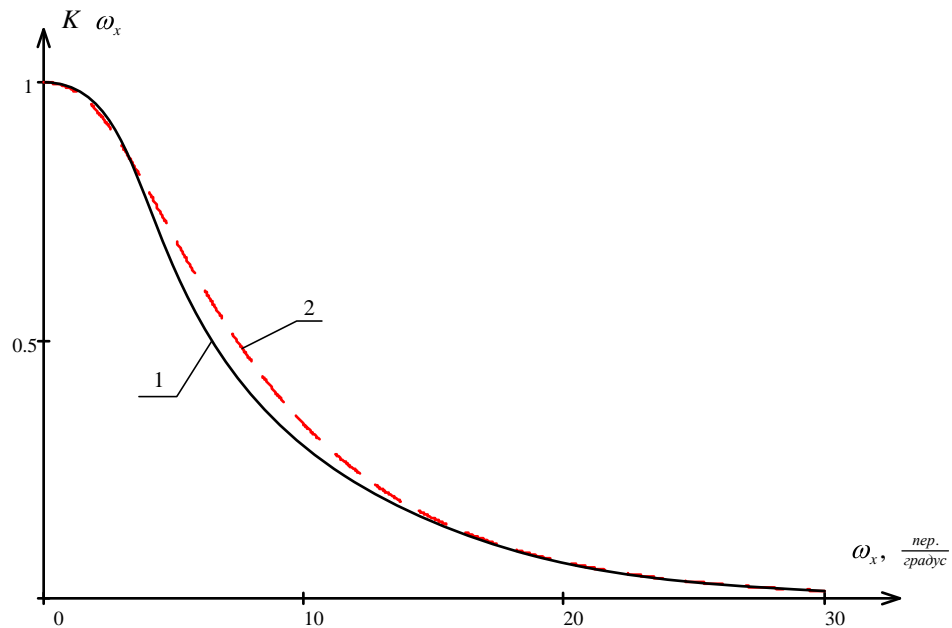


Рисунок 1. Сечение пространственной ЧКХ зрительной системы человека в условиях низкой освещенности

Указанная характеристика относится к случаю работы зрительной системы в условиях низкого уровня освещенности. Аппроксимируем эту характеристику выражением вида (1)

$$K_{a_x} \omega_x = a_{1x} e^{-|b_{1x}\omega_x|} + a_{2x} e^{-|b_{2x}\omega_x|} + a_{3x} e^{-|b_{3x}\omega_x|} \quad (1)$$

Для решения этой задачи зададимся начальными условиями:

1) нормировка – аппроксимирующая функция должна принимать значение  $K_{a_x} 0 = 1$ , что обеспечивается условием  $a_1 + a_2 + a_3 = 1$ . Выразим, например,  $a_3$  через остальные параметры:  $a_3 = 1 - a_1 - a_2$ .

2) Функция в точке  $\omega_x = 0$  должна иметь экстремум (максимум), для чего необходимо, чтобы ее производная в этой точке равнялась нулю. Подставив в производную от (1)  $\omega_x = 0$ , получим:  $a_1 b_1 + a_2 b_2 + a_3 b_3 = 0$  или, используя условие 1),  $a_2 = \frac{a_1 b_3 - a_1 b_1 - b_3}{b_2 - b_3}$ .

3) Функция в точке  $\omega_x = 4,5 \frac{\text{нер}}{\text{градус}}$ , как и аппроксимируемая, должна иметь перегиб, для чего необходимо, чтобы ее вторая производная равнялась нулю в этой точке. С учетом условий 1) и 2), это условие может быть записано следующим образом:  $a_1 b_1 e^{-4,5 b_1} - a_2 b_2^2 e^{-4,5 b_2} + a_3 b_3^2 e^{-4,5 b_3} = 0$  или, с учётом условий 1) и 2),

$$a_1 = \frac{b_2 b_3 b_2 e^{-4,5 b_2} - b_3 e^{-4,5 b_3}}{b_1^2 b_2 e^{-4,5 b_1} - b_1 b_2^2 e^{-4,5 b_2} - b_1^2 b_3 e^{-4,5 b_1} + b_1 b_3^2 e^{-4,5 b_3} + b_2^2 b_3 e^{-4,5 b_2} - b_2 b_3^2 e^{-4,5 b_3}}$$

Подбор параметров  $b_1$ ,  $b_2$  и  $b_3$  и соответствующих им  $a_1$ ,  $a_2$  и  $a_3$  осуществлялся как численное решение системы уравнений полученных при задании некоторых частот и соответствующих значений аппроксимируемой функции, в результате были получены следующие значения параметров:  $a_1 = 1,639$ ;  $a_2 = -267,539$ ;  $a_3 = 266,953$ ;  $b_1 = 0,1577$ ;  $b_2 = 0,7237$ ;  $b_3 = 0,7245$ . График аппроксимирующей функции (1) с найденными параметрами приведен на рисунке 1, кривая 2.

В условиях большой освещенности зрительная система переходит в режим дифференцирования, соответствующая характеристика, известная из литературы, приведена на рисунке 2, кривая 1. Анализ функционирования зрительной системы [3] позволяет сделать вывод, что дифференцирование реализуется в зрительной системе за счёт вычитания из полного сигнала низкочастотного (в зрительной системе имеются соответствующие нейронные связи). Соответственно и аппроксимация должна выполняться как разность двух функций вида (1) с разным масштабом по оси частот, то есть, аппроксимирующая функция примет вид:

$$K_{a.\partial_x} \omega_x = k_n K_{a_x} \omega_x - K_{a.p_x} \omega_x \quad (2)$$

где  $K_{a.p_x} \omega_x$  - выражение (1), в котором все параметры  $b_i$  умножены на некоторый коэффициент  $b_0$ ;  $k_n$  - коэффициент нормировки.

В результате для аппроксимирующей функции были найдены значения  $b_0 = 1,1$   $k_n = 19,128$ . Графически функция представлена кривой 2 на рисунке 2.

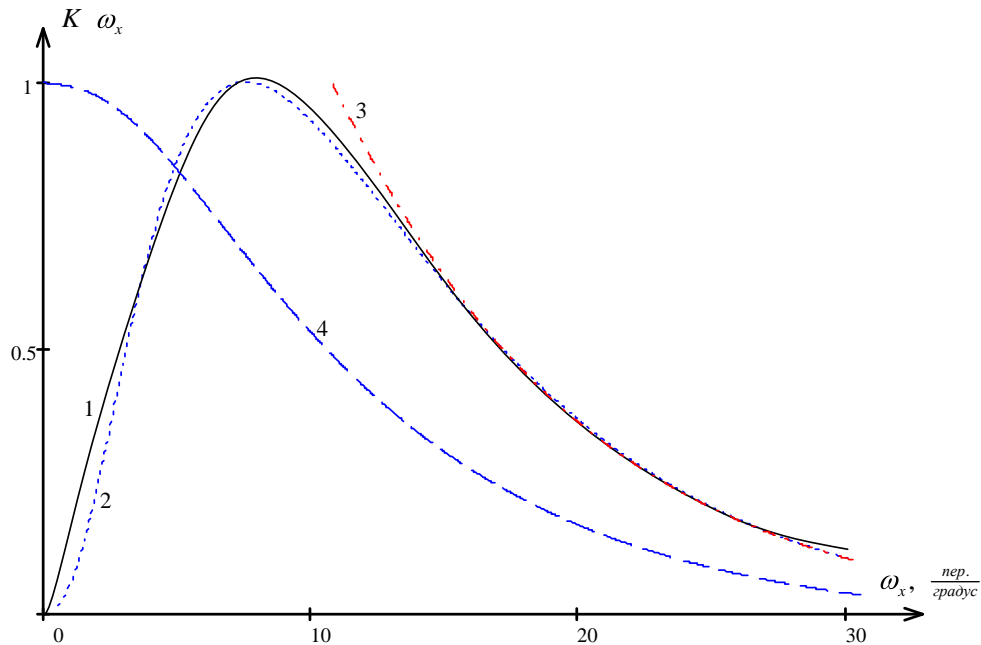
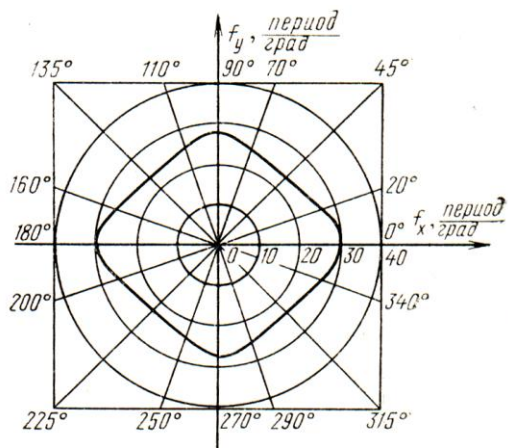


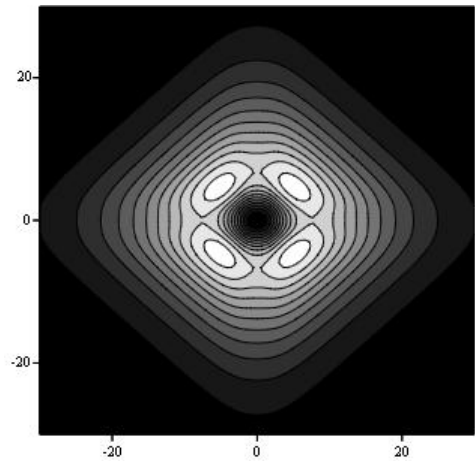
Рисунок 2. Сечение пространственной ЧКХ зрительной системы человека в условиях высокого уровня освещенности

Кривая 1 соответствует случаю отсутствия временных изменений видеоинформации, при их наличии степень подавления низких пространственных частот уменьшается. Например, рассмотрим кривые 3 и 4, полученные при построении функции  $K_{a.p.x} \omega_x$  с параметром  $b_0 = 0,7$  и умножении ее на 2 (кривая 3) и нормировании (кривая 4), которые соответствуют случаю движения. В данном случае аппроксимация выполнялась в предположении, что при временных изменениях видеоинформации ЧКХ зрительной системы меняется лишь в области нижних частот. Это утверждение справедливо для низкочастотных временных изменений (например, относительно медленное движение), в противном случае процесс накопления в зрительной системе приводит к тому, что пространственная четкость объекта в направлении движения снижается. Экспериментальные результаты оценки такого снижения отсутствуют, однако, очевидно, что ЧКХ зрительной системы в этом случае приобретет вид рисунка 1.

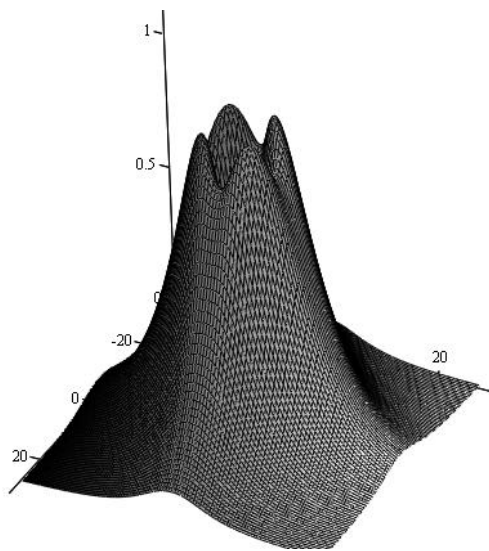
Известно, что острота зрения человека зависит от направления в плоскости, перпендикулярной оптической оси, то есть пространственной ЧКХ свойственна анизотропия. Величина и характер анизотропии известны из [4] и показаны на рисунке 3а, на котором показана зависимость уровня пороговой чувствительности зрительной системы при предъявлении штриховой миры определенной яркости от пространственной частоты последней в при различных направлениях ее штрихов.



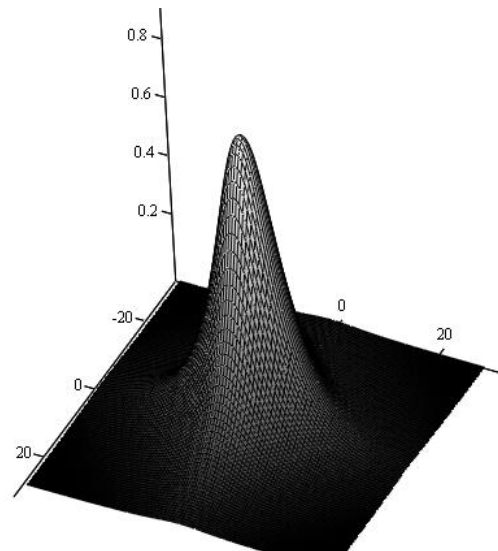
а)



б)



в)



г)

Рисунок 3. Пространственная ЧКХ зрительной системы человека

На основании этих данных перейдем от сечения ЧКХ зрительной системы (2) к ее соответствующей пространственной характеристике. Одним из критериев выбора аппроксимирующей функции было соответствие формы сечения плоскостью в направлении, перпендикулярном оси аппликат, поверхности, полученной перемножением ортогональной пары этих функций сечению, приведенному на рисунке 3а, и экспоненциальная функция соответствует этому критерию. При аппроксимации учтем анизотропию пространственной ЧКХ в ортогональных направлениях введением коэффициента анизотропии  $k_a=1,11$ . Выражение для аппроксимированной ЧКХ имеет вид:

$$K_{a.o} \omega_x, \omega_y = K_{a.o_x} \omega_x K_{a.o_y} \omega_y = K_{a.o_x} \omega_x K_{a.o_x} k_a \omega_y \quad (3)$$

По выражению (3) построены поверхности б) и в), на рисунке 3.

Аналогичным образом, при подстановке в (3) не выражения (2), а выражения (1), может быть получена пространственная ЧКХ зрительной системы для случая малой освещённости. Эта характеристика приведена на рисунке 3 г). Количественно определить оценку погрешности аппроксимации пространственной ЧКХ зрительной системы не представляется возможным, поскольку необходимые экспериментальные данные отсутствуют, в частности, наличие максимумов чувствительности в направлении диагоналей к горизонту не подтверждено. Однако, по соответствию сечений рассматриваемой характеристики экспериментальным данным можно считать, что погрешность невелика. Следует также отметить, что зрительная система человека является весьма сложной, адаптивной системой с обработкой видеoinформации, памятью и мощными средствами сегментации анализа и распознавания изображений, поэтому её модель в виде фильтра является лишь первым приближением, но при видеоконтроле, в условиях, близких к тем, при которых данная характеристика снималась, её применение, в частности, для задач объективного контроля качества изображений даст положительный результат.

#### Литература

1. Recommendation ITU-R BT.500 "Methodology for the subjective assessment of the quality of television pictures"
2. Davidson M.L. Perturbation approach to spatial brightness interaction in human vision.-J. Opt. Soc. Am, 1968, 58, №9, p. 1300-1308.
3. Хьюбел. Д. Глаз, Мозг, Зрение: Пер. с англ. – М.: Мир, 1990. – 239с., ил.
4. Безруков В.Н. О некоторых особенностях характеристик зрительной системы наблюдателя телевизионных изображений. – Труды учебных институтов связи, 1976, № 74, с. 28 – 36.