

МЕТОД КОНТРОЛЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕЛЕВИЗИОННЫХ КАМЕР

Власюк И.В., МТУСИ, г. Москва

В настоящее время различные производители представляют на рынке большое количество моделей телевизионных камер, отличающихся параметрами и характеристиками и стоимостью. При этом заявленные производителями параметры камер часто измерены по частным методикам, разработанным самими фирмами-производителями. Поэтому на выполненные на одноптипных светочувствительных матрицах в типовом включении камеры с аналогичной оптикой могут быть заявлены существенно различающиеся параметры.

В условиях хорошей освещенности на качество видеосигнала наибольшее влияние оказывает сквозная частотно-контрастная характеристика (ЧКХ) ТВ камеры, оцениваемая обычно параметром «разрешающая способность». Измерение этого параметра производится предъявлением таблицы – тестового изображения, содержащего, например, сужающуюся штриховую миру. Контроль качества изображения ведется с помощью ВКУ, разрешающая способность которого должна быть достаточно высокой для обеспечения точности проводимых измерений. Предъявляемая таблица имеет реперные метки, которые должны быть совмещены с краями раstra. При измерениях плоскость фокусировки объектива должна совпадать с плоскостью предъявляемой таблицы. Измерение разрешающей способности ТВ камеры данным способом имеет субъективный характер, поскольку оценку качества изображения таблицы дает эксперт, которому предъявляется ТВ изображение на ВКУ [1]. С помощью данного метода оценивают граничную частоту КЧХ, однако ее форма существенно влияет на результаты измерений описанным способом. Например, подъем АЧХ видеотракта в области верхних частот вызывает ощущение того, что испытываемая ТВ камера имеет существенно более высокую разрешающую способность. Причиной этого являются искажения субдискретизации – «биения» структуры изображения штриховой миры и периодической структурой светочувствительных элементов матрицы.

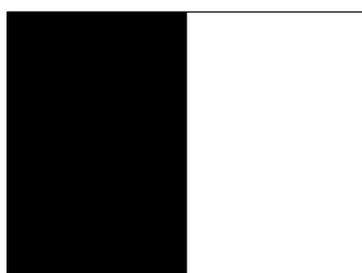


Рис. 1а



Рис. 1б



Рис. 1г



Рис. 1в



Рис. 1д

Предлагаемый метод измерения частотно-контрастной характеристики камеры является косвенным. Фактически при этом контролируется сквозная переходная характеристика камеры, по форме которой определяют искомую ЧКХ. Контроль реализуется с использованием тестового изображения, представленного на рис. 1. Следует отметить, что переход от черного к белому должен быть достаточно резким по отношению к разрешающей способности камеры, то есть протяженность перехода должна быть, по крайней мере, меньше $1/1440$ от общей ширины тестового изображения при оценке параметров ТВ камер стандартной четкости, то есть менее половины размера элемента, что практически достаточно легко реализуется. При проведении эксперимента данное изображение предъявлялось в четырех различных вариантах, как представлено на рис.1б-д. При проведении эксперимента необходимо обеспечивать достаточную равномерность освещенности, а уровень освещенности следует выбирать таким, чтобы не сказывались нелинейные эффекты в камере (ограничение сигнала по уровню), вместе с тем, недостаточный уровень освещенности вызывает снижение отношения сигнал-шум.

По изображению рис. 1д переходная характеристика может быть оценена с использованием осциллографа с блоком выделения строки, однако в полной мере проведение измерений может быть выполнено с использованием цифровой обработки изображений, которая реализуется, например, на персональном компьютере с платой видеозахвата. Следует отметить, что при этом к плате видеозахвата предъявляются особые требования – достаточно широкая полоса пропускания входного сигнала, соответственно, повышенная частота дискретизации. Кроме того, существенна линейность амплитудной характеристики для получения неискаженных результатов измерения. Линейность АЧХ видеотракта также имеет большое значение, но нелинейность данной характеристики может быть измерена и учтена при обработке результатов измерений. К разрядности АЦП особых требований не предъявляется – при представлении результатов в графическом виде восьмиразрядное преобразование можно считать вполне достаточным. В ходе эксперимента в память компьютера записываются изображения в виде массивов данных вида $g(x,y)$. Зафиксировав одну из переменных (x для рис. 1б, v и u для рис. 1г, д), нетрудно получить переходные характеристики камеры в вертикальном направлении – $g(x_0,y)$ или в горизонтальном направлении по растру – $g(x,y_0)$ как в его центре, так и на краях в зависимости от значений зафиксированных переменных. На рис. 2 представлены примеры полученных переходных характеристик для трех различных образцов ТВ камер. На рис. 2а представлены кривые для горизонтального направления, а на рис. 2б – для вертикального.

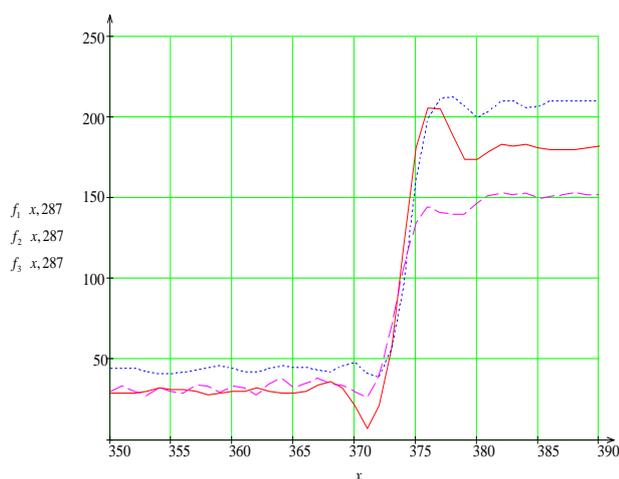


Рис. 2а

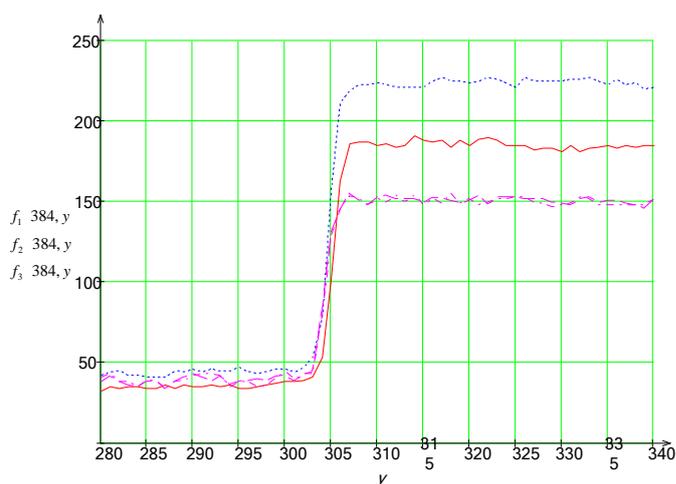


Рис. 2б

Как можно заметить из приведенных на рис. 2 характеристик, уровень шумов на выходе камеры оказывается существенным и может исказить результаты измерения. Для уменьшения влияния шумов использовалось усреднение по пяти строкам в горизонтальном и по пяти «столбцам» в вертикальном направлении. Число усредняемых строк выбрано эмпирически, из компромиссных соображений – меньшее количество не дает существенного эффекта, а при большем количестве может сказываться неравномерность уровня и контрастности изображения, кроме того, повышаются требования точности позиционирования камеры и тестового изображения. В данной работе применяется усреднение без весовой функции. Под $g_y(x,y)$ понимается переходная характеристика изображения с горизонтально расположенной линией границы, а под $g_x(x,y)$ – соответственно, с вертикально расположенной:

$$g_{\Sigma x}(x, y) = \frac{\sum_{i=y-2}^{y+2} g_x(x, i)}{5}; \quad g_{\Sigma y}(x, y) = \frac{\sum_{i=x-2}^{x+2} g_y(i, y)}{5}. \quad (1)$$

По имеющимся переходным характеристикам получим импульсные реакции. Как известно, для этого их необходимо продифференцировать. Используя определение производной при величине dx в один пиксель, получим:

$$h_x(x, y) = g_{\Sigma x}(x, y) - g_{\Sigma x}(x-1, y); \quad h_y(x, y) = g_{\Sigma y}(x, y) - g_{\Sigma y}(x, y-1). \quad (2)$$

Далее осуществляется переход к непрерывному виду функции (2) за счет выполнения интерполяции. В данном случае был выбран интерполяционный многочлен Ньютона второго порядка.

$$h_{x_i}(x, y) = h(x_{i-1}, y) + (x - x_{i-1})(h(x_i, y) - h(x_{i-1}, y))h(x_{i-1}, y) + \frac{1}{2}(x - x_{i-1})(x - x_{i-1} - 1)(h(x_{i+1}, y) - h(x_i, y) - h(x_{i-1}, y)), \quad (3)$$

для $x_{i-1} \leq x < x_i$

Для импульсной реакции изображения с горизонтально расположенной границей записывается выражение, аналогичное (3).

Для получения частотных характеристик воспользуемся преобразованием Фурье. Учитывая конечность импульсной характеристики и особенности интерполяционного многочлена, следует перейти к конечным пределам интегрирования.

$$H_x(j\omega, y) = \int_0^{\infty} e^{j\omega x} h_{xi}(x, y) dx \approx \int_0^{x_{\max}-2} e^{j\omega x} h_{xi}(x, y) dx \quad (4)$$

При практических расчетах можно брать и существенно более узкие пределы интегрирования, поскольку для реальных ТВ камер, как правило, протяженность отклика границы достаточно мала по сравнению с размерами изображения. В формуле (4) y является параметром. Задав его конкретные значения, можно получать частотно-контрастные характеристики в различных областях изображения (на краю, в центре).

При расчетах следует учитывать дискретность структуры твердотельных преобразователей свет-сигнал. Примем, что форма элемента светочувствительной матрицы – квадрат со стороной, равной расстоянию между элементами, то есть, светочувствительные элементы занимают всю поверхность матрицы. Для реальных матриц это утверждение не вполне соответствует действительности, при наличии сведений о структуре светочувствительной матрицы исследуемой камеры, эти сведения можно использовать для получения более точной формы частотно-контрастной характеристики в области верхних частот. Считая элемент однородным, его можно описать как $rect(x, y)$ с соответствующими смещением и протяженностью. Для учета влияния блочной структуры следует вычислять его свертку с импульсной характеристикой, однако, учитывая, что в спектральной области свертка функций соответствует их произведению, умножим частотную характеристику на спектр прямоугольного импульса, соответствующего размерам элемента. Получим:

$$H_x(j\omega, y) = \frac{\sin(\omega/2)}{\omega/2} \int_0^{x_{\max}-2} e^{j\omega x} h_{xi}(x, y) dx \quad (5)$$

Полные выражения позволяют рассчитывать сквозные КЧХ исследуемых ТВ камер, взяв модуль передаточной функции (5).

С использованием рассмотренной выше методики были получены сквозные частотно-контрастные характеристики нескольких ТВ камер для систем охранного телевидения. На все исследованные камеры была заявлена четкость 380 ТВЛ.

На рис. 3 представлены сквозные КЧХ одной из них.

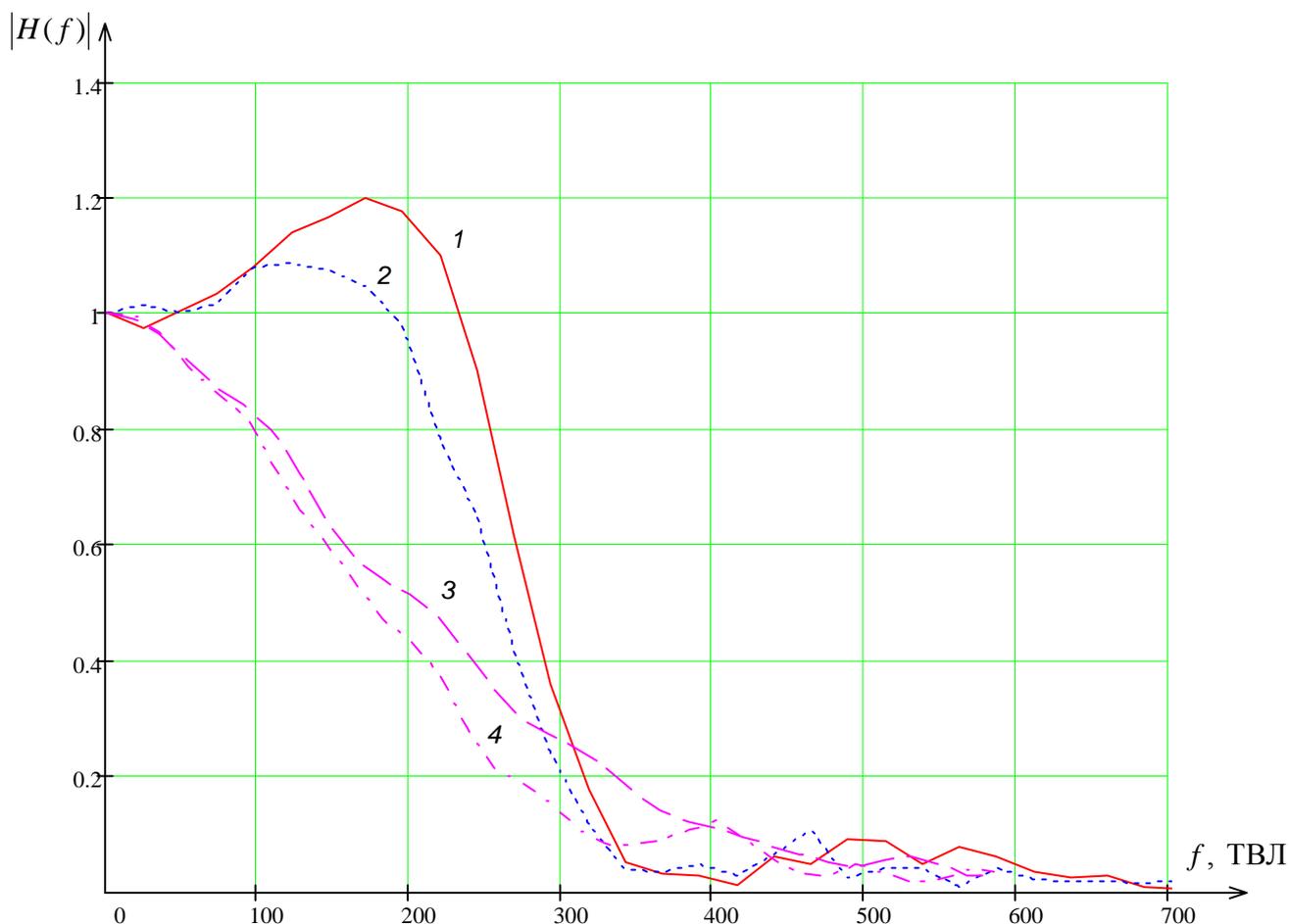


Рис. 3.

На приведенном на рис. 3 графике представлены КЧХ: 1 – для горизонтального направления в центре растра 2 – для горизонтального направления на расстоянии 10 пикселей от края растра, 3 – для вертикального направления в центре растра, 4 – для горизонтального направления на расстоянии 10 пикселей от края растра. Частота f на графике приведена в соответствие с известным понятием «телевизионные линии» (ТВЛ). При этом для оценок в горизонтальном направлении учитывается используемый формат получаемого при захвате кадра $4/3$ и количество активных строк разложения 576 . Учитывая кроме того, что один период изменения яркости соответствует паре ТВЛ, для перевода нормированных частот, которые необходимо подставлять в выражение (5) в частоты, соответствующие ТВЛ следует использовать соответственно для вертикального и горизонтального направления следующие соотношения:

$$f_v(\omega) = 2 \cdot 576 \frac{\omega}{2\pi} = \frac{576\omega}{\pi} \quad (6a)$$

$$f_h(\omega) = \frac{4}{3} f_v(\omega) = \frac{768\omega}{\pi} \quad (6б)$$

Как видно из приведенного на рис. 3 графика, реальная разрешающая способность данной ТВ камеры несколько ниже заявленной производителем. Кроме того, следует отметить, что пространственная КЧХ имеет существенную анизотропию за счет подъема верхних частот в видеотракте камеры для компенсации спада КЧХ оптической системы, а также придания изображению большей «резкости», что вызывает ощущение повышенной четкости изображения. В вертикальном же направлении такая коррекция, очевидно, отсутствует вследствие более сложной реализации, однако, в вертикальном направлении характеристика несколько более протяженная, поскольку отсутствует влияние спада АЧХ видеотракта. Таким образом, для данной ТВ камеры имеется возможность получения АЧХ видеотракта, для чего следует разделить ЧКХ горизонтального направления на ЧКХ вертикального.

В области верхних частот, как в горизонтальном, так и в вертикальном направлении можно заметить колебательный процесс, связанный с возникновением искажений субдискретизации в датчике ПЗС, имеющем периодическую структуру светочувствительных элементов.

Различия пар кривых 1, 2 и 3, 4 обусловлены влиянием спада КЧХ оптической системы в зависимости от угла смещения контролируемого объекта от оптической оси. Приведенные характеристики позволяют вычислить величину этой неравномерности.

Автор выражает глубокую признательность зав. кафедрой телевидения МТУСИ д.т.н., проф. В.Н.Безрукову за научные консультации по вопросам, возникшим при проведении данной работы и подготовке статьи.

Список литературы

1. М. И. Кривошеев, Основы телевизионных измерений. – М.: Связь, 1979.
2. Проектирование и техническая эксплуатация телевизионной аппаратуры. В.Н. Безруков, В.С., Беляев, Г.Т., Дерibas и др.; под ред. С.В. Новаковского. – М.: Радио и связь, 1994.
3. Измерение характеристик телевизионных систем при цифровом многопрограммном вещании. – Broadcasting: телевидение и радиовещание. 2004 № 2.