

УДК 621.397.13

А.Л. Конюхов, А.Г. Костевич, М.И. Курячий

Критерии оценки отношения сигнал/шум в активно-импульсных телевизионно-вычислительных системах

Работа посвящена анализу методик измерения отношения сигнал/шум в изображениях, полученных активно-импульсными телевизионно-вычислительными системами (АИ ТВС), работающими в сложных метеоусловиях. Рассмотрены методики измерения отношения сигнал/шум, проведен сравнительный анализ экспериментальных данных, полученных в непрерывном и импульсном режимах.

Ключевые слова: отношение сигнал/шум, дисперсия, математическое ожидание, плотность распределения вероятности, оценка качества.

Основными показателями качества телевизионных изображений являются отношение сигнал/шум, контраст и разрешающая способность системы. В АИ ТВС для оценки эффективности методов повышения качества изображений, как правило, используются следующие критерии:

- максимизация отношения сигнал/шум при заданной разрешающей способности;
- оптимизация формы контрастно-частотной характеристики (КЧХ) при заданном отношении сигнал/шум.

В данной работе будут рассмотрены методики вычисления отношения сигнал/шум.

В АИ ТВС, работающих в сложных метеоусловиях, формируются изображения, имеющие специфические шумы и помехи, которые можно представить тремя составляющими:

- аддитивной;
- мультипликативной;
- аппликативной.

Аддитивная составляющая образуется из следующих шумов:

- шум ПЗС-датчика, как правило, это нормальный шум;
- стационарная часть шума электронно-оптического преобразователя (ЭОП);
- шум квантования АЦП.

Мультипликативная составляющая:

- нестационарная часть шума ЭОП;
- спекл-шум или «кипение» изображения (из-за фазовых искажений и движения объекта);
- неравномерная чувствительность элементов ЭОП и ПЗС.

Апликативная составляющая:

- помеха типа «соль-перец» (поврежденные элементы ПЗС и ЭОП – сигнал от них либо нулевой, либо максимальный);
- «родимые пятна» и «пробои» (локализованные в небольших областях группы пикселей с аномальной чувствительностью);
- скинтिलляции (кратковременные световые вспышки на экране ЭОП).

Для оценки отношения сигнал/шум в АИ ТВС необходимо решить ряд задач:

- проанализировать распределения вероятностей шумов и помех на черном и белом фонах;
- выбрать методику для измерения отношения сигнал/шум;
- адаптировать методику определения отношения сигнал/шум к изображениям, полученным в АИ ТВС.

Общепринятые методики измерения качества изображения. Практический смысл имеют только те измерения, которые совпадают с субъективными оценками, т.е. инструментальный алгоритм должен оценивать изображение так же, как это делает глаз человека. Но большинство критериев оценки не отвечают этому требованию.

Также стоит упомянуть, что большинство общепринятых критериев измерения отношения сигнал/шум как параметра оценки изменения качества изображения основываются на сравнении пары изображений «до обработки» – «после обработки».

Основные критерии – это:

ПОСШ – пиковое отношение сигнал/шум, представляющее собой отношение пикового сигнала к среднеквадратичному уровню шума, определяемое при последовательной оценке разницы между всеми пикселями исходного и обработанного кадра. Параметр ПОСШ достаточно информативен при сравнительных измерениях, но в плане оценки качества изображений он может давать значительные отклонения, выявляемые при субъективной оценке изображения. Основная причина заключается в том, что ПОСШ не учитывает особенности визуальной системы человека (Human Visual System – HVS) [2].

Среднее квадратическое отклонение (СКО), представляющее собой попиксельное сравнение двух фрагментов изображений. Такой подход ненадежен, поскольку не соответствует системе визуального восприятия человека (HVS). Следует отметить, что значение СКО может незначительно изменяться при существенном ухудшении субъективно воспринимаемого качества сжатого изображения. Поэтому СКО, так же как и пиковое отношение сигнал/шум (ПОСШ), не может быть взято в качестве критерия оценки [3].

Измерение отношения сигнал/шум. Как упоминалось выше, изображения, полученные в АИ ТВС, сильно зашумлены, и необходимо иметь обоснованную методику определения отношения сигнал/шум, которой можно будет пользоваться для сравнения качества изображений. Необходимо также учитывать небольшой динамический диапазон (ДД) изображений, формируемых в АИ ТВС.

Для оценки визуального качества изображений, полученных с помощью различных телевизионно-вычислительных систем, широко используются понятия отношения сигнал/шум (1) и абсолютного контраста (2), полученные для стационарного шума:

$$\psi = \frac{U_B - U_{\text{ч}}}{\sigma}, \quad (1)$$

$$K = \frac{U_B}{U_{\text{ч}}}, \quad (2)$$

где ψ – отношение сигнал/шум, K – абсолютный контраст, U_B и $U_{\text{ч}}$ – значения яркости на самом светлом и самом темном участках изображения, σ – среднеквадратичное значение шума в изображении.

Объединяя формулы (1) и (2), отношение сигнал/шум ψ выражается через контраст K :

$$\psi = \frac{K-1}{K} \frac{U_B}{\sigma}. \quad (3)$$

При $K > 10$ формула (3) принимает вид

$$\psi = \frac{U_B}{\sigma}. \quad (4)$$

Данная формула широко используется для сравнительной оценки качества изображений в различных ТВС.

Как было показано выше, помехи в АИ ТВС имеют сложную структуру (содержат аддитивную, мультипликативную и аппликативную составляющую) и нестационарны, т.е. $\sigma = \sigma(u)$, где u – значение уровня видеосигнала.

Для оценки качества всего изображения введем усредненную помеху:

$$\bar{\sigma} = \int_{U_{\text{ч}}}^{U_B} \sigma(u) p(u) du, \quad (5)$$

где $p(u)$ – плотность вероятности помехи на уровне u . При равновероятном появлении уровня u , т.е.

$$p(u) = \frac{1}{U_B - U_{\text{ч}}}, \quad U_{\text{ч}} < u < U_B, \quad \bar{\sigma} = \frac{1}{U_B - U_{\text{ч}}} \int_{U_{\text{ч}}}^{U_B} \sigma(u) du.$$

При двухуровневом изображении (в изображении только две градации яркости – $U_{\text{ч}} < U_1 < U_2 < U_B$), плотность вероятности помехи на уровне u будет записано как $p(u) = \frac{\delta(u - U_1) + \delta(u - U_2)}{2}$, где $\delta(u)$ – дельта-функция, $\bar{\sigma} = \frac{\sigma(U_1) + \sigma(U_2)}{2}$ – среднее арифметическое.

Окончательно формулу (3) можно записать в виде

$$\Psi = \frac{K-1}{K} \frac{U_B}{\bar{\sigma}}. \quad (6)$$

Помехи в АИ ТВС имеют сложную структуру и представляют собой композицию аддитивной, мультипликативной и аппликативной составляющих. На практике используют различные оценки уровня помех [4, 5]. Среди них можно выделить:

- выборочное СКО (среднее квадратическое отклонение – σ_1);
- выборочное СЛО (среднее линейное отклонение – σ_2):

$$\sigma_1 = \sqrt{\frac{1}{MN} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N (x_{m,n} - m_x)^2}, \quad (7)$$

$$\sigma_2 = \frac{1}{MN} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N |x_{m,n} - m_x|, \quad (8)$$

где $m_x = \frac{1}{MN} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N x_{m,n}$, MN – объем выборки.

Сравним оценки (7) и (8) между собой. Оценка СКО является эффективной и асимптотически несмещенной для помехи, имеющей нормальное распределение. Для положительного эксцесса ($\gamma > 0$ – «утяжеленные хвосты») и отрицательного эксцесса ($\gamma < 0$ – функция распределения становится более прямоугольной) эффективность оценки СКО падает [4]. Оценка СЛО более эффективна при $\gamma > 0$ и менее чувствительна к импульсным помехам. Для нормальной помехи

$$\sigma_1 = \sqrt{\frac{\pi}{2}} \sigma_2, \text{ где } \sqrt{\frac{\pi}{2}} \approx 1,25 \text{ [5].}$$

Введем определение реальных отношений сигнал/шум (РОСШ), которые для оценки СКО на светлом и темном фонах имеют вид

$$\Psi_{1Б} = \frac{\hat{U}_Б - \hat{U}_Ч}{\sqrt{\frac{1}{MN} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N (x_{m,n} - \hat{U}_Б)^2}}, \quad (9)$$

$$\Psi_{1Ч} = \frac{\hat{U}_Б - \hat{U}_Ч}{\sqrt{\frac{1}{MN} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N (x_{m,n} - \hat{U}_Ч)^2}}, \quad (10)$$

где $\hat{U}_Б$ – математическое ожидание значения яркости на светлом фоне, $\hat{U}_Ч$ – математическое ожидание значения яркости на темном фоне, $x_{m,n}$ – яркость текущего пикселя.

Соответственно, РОСШ для оценки СЛО на светлом и темном фонах имеют вид

$$\Psi_{2Б} = \frac{\hat{U}_Б - \hat{U}_Ч}{\frac{1}{MN} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N |x_{m,n} - \hat{U}_Б|}, \quad (11)$$

$$\Psi_{2Ч} = \frac{\hat{U}_Б - \hat{U}_Ч}{\frac{1}{MN} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N |x_{m,n} - \hat{U}_Ч|}. \quad (12)$$

Описание эксперимента. Экспериментально оценим функцию плотности распределения уровней видеосигнала на светлом и темном фонах. Для этого воспользуемся тестовым изображением, полученным в АИ ТВС (рис. 1).

Функцию $p(u)$ можно оценить экспериментально, например по гистограмме фрагментов изображения. Гораздо сложнее оценить зависимость СКО или СЛО суммарной помехи $\sigma(u)$. Здесь потребуется провести ряд экспериментов при разных плотностях тумана, дальностях и коэффициентах отражения объектов и фонов.

В случае получения экспериментальных данных с помощью АИ ТВС можно использовать некую тестовую таблицу, содержащую участки с одним и тем же коэффициентом отражения (это может быть градиционный клин, набор квадратов и др.). При эксперименте необходимо выделять эти участки и на них тем или иным способом оценивать СКО или СЛЮ суммарной помехи.

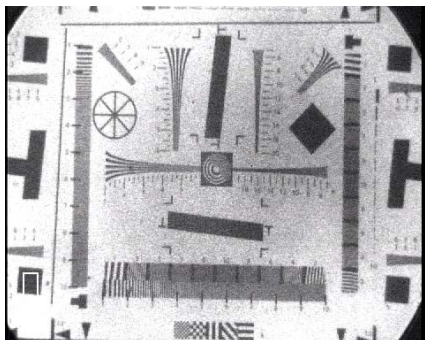


Рис. 1. Тестовое изображение, полученное в АИ ТВС (анализировалась выделенная область)

Гистограмма для тестового изображения со светлыми и темными фрагментами изображения приведена на рис. 2 (по оси абсцисс расположены значения уровней квантования видеосигнала, по оси ординат – частота появления данного уровня).

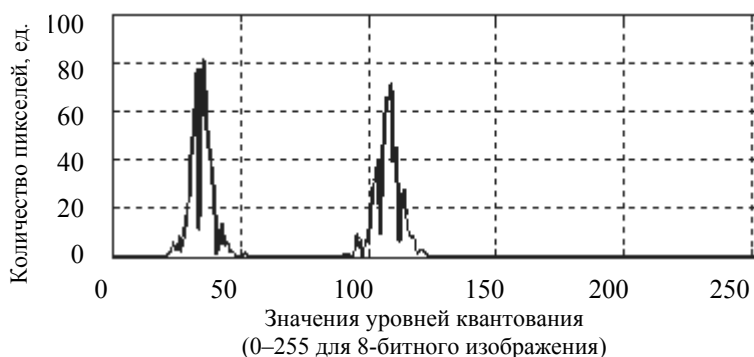


Рис. 2. Гистограмма яркости тестового изображения, или функция плотности распределения яркостей

Из рис. 2 видно, что функции плотности распределения яркостей ни на белом, ни на черном фоне не являются нормальными. На светлом и темном участках изображения анализировались фрагменты изображений с объемом выборки от 100 до 500 пикселей. Для повышения достоверности эксперимента результаты, полученные в процессе измерения РОСШ по формулам (9)–(12), усреднялись по 10 кадрам видеопоследовательности.

Результаты расчетов по формулам (9)–(12) представлены в таблице.

РОСШ	$\Psi_{1Б}$	$\Psi_{1Ч}$	$\Psi_{2Б}$	$\Psi_{2Ч}$
Значение	15	41	19	23

Заключение. Полученные теоретические и экспериментальные результаты позволяют сделать следующие выводы.

1. Предложено выражение (6) для расчета отношения сигнал/шум, учитывающее контраст и нестационарность шумов в АИ ТВС. Под нестационарностью подразумевается наличие различных шумовых составляющих – аддитивной, аппликативной и мультипликативной.

2. Для вычисления реальных отношений сигнал/шум (РОСШ) в изображениях, полученных АИ ТВС, предлагаются к использованию соотношения (9)–(12) с оценкой СКО и СЛЮ на темном и светлом фонах.

3. Экспериментально подтверждено наличие существенной нестационарной составляющей помех в изображениях, формируемых АИ ТВС. Реальные отношения сигнал/шум на темных участках изображения в 1,2 раза выше, чем на белых участках (оценка СЛЮ), и в 2,7 раза выше при оценке СКО. Средний уровень яркости темного участка, взятого для анализа, – 35, средний уровень яркости светлого участка – 110.

4. Оценка СЛЮ более эффективна, чем оценка СКО при положительном эксцессе суммарного распределения шумов, и менее чувствительна к импульсным помехам.

Данное исследование выполнено по госзаданию ТУСУРа «Наука–2012».

Литература

1. Активные ТВ-системы видения с селекцией фонов рассеяния / В.В. Белов, Г.Г. Матвиенко, Р.Ю. Пак и др. // Датчики и Системы. – 2012. – № 3. – С. 25–30.
2. Бомбелли Ж. Качество видео в системах с коммутацией потоков // Теле-Спутник. – 2005. – № 10 (120). – С. 58.
3. Илюшкина Н. Применение новых критериев оценки качества изображений после их сжатия с потерями / Н. Илюшкина, М. Чобану // Современная электроника. – 2007. – № 3. – С. 66–69.
4. Красовский Г.И. Планирование эксперимента / Г.И. Красовский, Г.Ф. Филаретов. – Мн.: Изд-во БГУ, 1982. – 302 с.
5. Заездный А.М. Основы расчетов по статистической радиотехнике. – М.: Связь, 1969. – 448 с.

Конохов Александр Львович

Аспирант каф. телевидения и управления (ТУ) ТУСУРа
Тел.: 8 (382-2) 70-15-04
Эл. почта: akon@tu.tusur.ru

Костевич Анатолий Геннадьевич

Ст. науч. сотрудник каф. ТУ
Тел.: 8 (382-2) 41-33-68
Эл. почта: ak@tu.tusur.ru

Курячий Михаил Иванович

Доцент каф. ТУ
Тел.: 8 (382-2) 41-33-80
Эл. почта: kur@tu.tusur.ru

Konukhov A.L., Kostevitch A.G., Kouryatchy M.I.

The evaluation criteria of the signal/noise ratio active-impulse television-computer systems

The paper analyzes the methods of measurement of the signal/noise ratio of images obtained in the active-impulse television-computer systems (AI TVCS) that form the images in bad weather. We considered generally accepted methods of measuring the signal/noise ratio, and made a comparative analysis of qualitative and quantitative experimental data obtained in continuous and impulse modes.

Keywords: S/N ratio, variance, expectation, probability density function, quality assessment.