

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДИСКРЕТИЗАЦИИ НА КАЧЕСТВО ПЕРЕДАВАЕМОЙ ИНФОРМАЦИИ

*Канд. техн. наук ЗАЙЦЕВА Е. Г., ПРОТАС О. И.*

*Белорусский национальный технический университет*

В настоящее время компьютерное проектирование изделия осуществляется в трехмерном пространстве. Сравнение фактических размеров изделия с номинальными при контроле с применением систем технического зрения производится также с использованием компьютерной обработки в трехмерной системе координат. Указанное совершенствование методов проектирования и контроля создает достаточно жесткие требования к качеству фиксируемой визуальной информации.

Получение визуальной информации в цифровой форме включает в себя дискретизацию, которая обуславливает возможность возникновения в сигнале искажений (ложной информации). Наличие ложной информации может привести к производству бракованных деталей и опасным последствиям при эксплуатации таких изделий. Поэтому необходимо разработать методику исследования процесса возникновения ложной информации и разработать критерии для ее оценки. На основании предложенных критериев возможны анализ качества известных систем записи и воспроизведения по критерию «ложная информация», а также обоснование требований к параметрам систем для обеспечения отсутствия ложной информации.

**Постановка задачи.** Цель работы видеосистемы – получение изображения, которое не отличается, по мнению наблюдателей, от объекта съемки. Оценка качества визуальной информации представляет собой специфическую проблему, так как конечным звеном системы воспроизведения зрительной информации является человек. Существуют два аспекта оценки качества изображения – субъективный, при котором количественные показатели задаются шкалой баллов, категорий, отношений и т. д., и объективный, при котором параметры системы воспроизведения информации можно измерить либо вычислить. Между этими двумя группами систем оценки существуют соответ-

ствия, называемые сенсорными характеристиками (количественные зависимости субъективной оценки от параметров систем). Если сенсорная характеристика известна, то, измерив или рассчитав параметры визуальной информации, возможно без проведения психофизических экспериментов предсказать эту субъективную оценку.

Интегральная оценка качества изображения формируется как совокупность оценок по единичным показателям. Большинство единичных показателей качества и их критерии были достаточно глубоко исследованы в период широкого использования аналоговых средств записи и воспроизведения визуальной информации, где в качестве носителя использовалась киноплёнка. Появление пространственных искажений изображения, обусловленных дискретизацией, связано с появлением телевизионных и цифровых устройств записи и воспроизведения.

Переход визуальной информации в цифровую форму обусловил риск возникновения пространственных искажений передаваемой информации. Математический аппарат для анализа искажений разработан Н. К. Игнатьевым [1] и О. Ф. Гребенниковым [2] и др. В [2] был проведен анализ пространственных преобразований изображения в системе с одним дискретизатором, в то время как современные системы записи воспроизведения изображения содержат два и более пространственных дискретизатора. Кроме того, в указанных источниках отсутствует информация по количественному влиянию пространственных искажений на качество восприятия информации.

Изложенное выше свидетельствует о необходимости:

- предложить критерий, позволяющий учесть как частотный, так и амплитудный состав ложной информации;

- проанализировать связь между этим критерием и субъективной оценкой ложной информации;
- субъективно оценить известные системы записи и воспроизведения цифровой информации с помощью предложенного критерия и тем самым проверить возможность субъективной оценки качества расчетным способом;
- установить значения параметров для системы записи и воспроизведения визуальной информации, обеспечивающих отсутствие или минимальное наличие ложной информации в изображении.

**Определение спектрального состава пространственных искажений.** В процессе записи и воспроизведения визуальной цифровой информации с использованием ЭВМ процесс дискретизации происходит как минимум дважды: при записи на ПЗС-матрицу и при воспроизведении на дисплее.

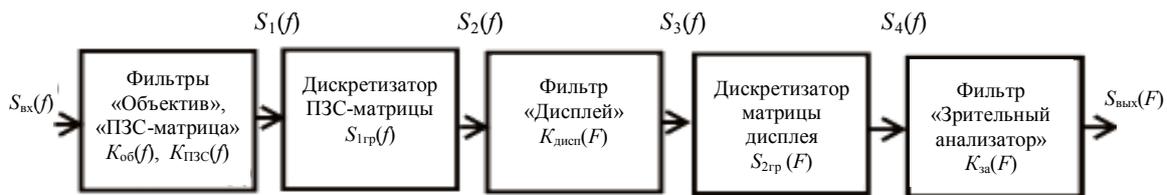


Рис. 1. Схема преобразования сигнала при записи и воспроизведении визуальной информации

В качестве входного сигнала был выбран наиболее критичный к искажениям вариант с АЧХ, равной единице во всем частотном диапазоне пропускания входных фильтров. Затем входной сигнал проходит через два фильтра: «Объектив» и «ПЗС-матрицу». АЧХ фильтра «объектив»  $K_{об}(f)$  можно определить экспериментальным путем по методике, приведенной в [3]. График типичной АЧХ фильтра «Объектив» представлен на рис. 2.

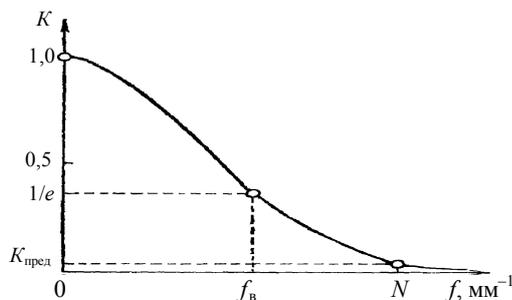


Рис. 2. График АЧХ фильтра «Объектив»

Преобразование сигнала в системе записи и воспроизведения визуальной информации, содержащей два дискретизатора, можно представить в виде схемы (рис. 1).

Изображение объекта фиксируется цифровой фото- или видеокамерой. При этом происходит пространственная фильтрация сигнала объективом и пикселями ПЗС-матрицы камеры. Каждый пиксель усредняет яркость сформированного на нем участка изображения, т. е. производит пространственную фильтрацию. ПЗС-матрица также является дискретизатором, так как ее элементы имеют дискретную структуру.

Анализ преобразований сигнала при записи и воспроизведении визуальной информации произведен в спектральном пространстве. Пусть на вход системы подается сигнал с амплитудно-частотной характеристикой (АЧХ)  $S_{вх}(f)$ .

АЧХ фильтра «ПЗС-матрица»  $K_{ПЗС}(f)$  можно рассчитать по формуле

$$K_{ПЗС}(f) = \text{sinc}(\pi f d) = \frac{M \sin \frac{\pi f d}{M}}{\pi f d}, \quad (1)$$

где  $d$  – размер пикселя ПЗС-матрицы;  $f$  – пространственная частота сигнала в плоскости ПЗС-матрицы;  $M$  – значение масштаба увеличения изображения при переходе от плоскости ПЗС-матрицы к плоскости дисплея, которое можно найти как отношение диагонали дисплея изображения на мониторе к диагонали изображения на ПЗС-матрице фотоаппарата:

$$M = \frac{L_{дисп.}}{L_{ПЗС}}$$

Введение значения масштаба в расчетную формулу обусловлено дальнейшей необходимостью учесть изменение масштаба изображения на дисплее.

С учетом АЧХ сигнала на выходе фильтров «Объектив», «ПЗС-матрица» имеем

$$S_1(f) = S_{\text{вх}} K_{\text{об}}(f) K_{\text{ПЗС}}(f). \quad (2)$$

Запись изображения производится на совокупность дискретных элементов ПЗС-матрицы, имеющей период дискретизации  $T_1$ , равный удвоенному размеру  $d$  пикселя ПЗС-матрицы. В результате такой записи возникают ложные спектральные составляющие, смещенные относительно истинной АЧХ на значения, кратные частоте дискретизации  $1/T_1$ . Затем дискретизированный сигнал попадает в фильтр «Дисплей», АЧХ которого  $K_{\text{дисп}}(F)$  рассчитывается по формуле, аналогичной формуле, предназначенной для расчета АЧХ ПЗС-матрицы:

$$K_{\text{дисп}}(F) = \text{sinc}(\pi FD) = \frac{\sin(\pi FD)}{\pi FD}, \quad (3)$$

где  $F$  – частота сигнала в плоскости дисплея монитора;  $D$  – размер пикселя дисплея монитора.

Отфильтрованный дисплеем сигнал в нем же и дискретизируется с периодом  $T_1$ , равным удвоенному размеру  $D$  пикселя дисплея, образуя сигнал, аналогичный сигналу после дискретизации ПЗС-матрицей.

Опять имеет место возникновение ложных спектральных составляющих, как и на ПЗС-матрице. Примеры графиков АЧХ сигнала на входе и выходе дискретизатора представлены на рис. 3.

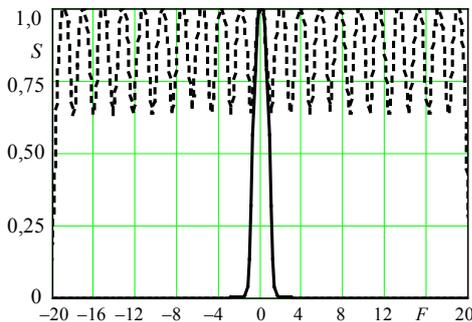


Рис. 3. Графики АЧХ сигнала  $S_3(F)$  на входе дискретизатора (сплошная линия) и АЧХ сигнала  $S_4(F)$  на выходе дискретизатора (пунктирная линия): тип ПЗС-матрицы – CCD; период дискретизации  $T_1 = 0,0374$  мм; пространственные частоты приведены к плоскости дисплея; тип матрицы дисплея – TN-Film; период дискретизации  $T_2 = 0,528$  мм

Информация с дисплея фильтруется зрительным анализатором (ЗА) человека. Экспериментально найденную АЧХ ЗА  $K_{\text{за}}(F)$  с учетом указанного условия при рассмотрении фото изображения на дисплее монитора и приведения к плоскости монитора можно аппроксимировать следующим образом [4]:

$$K_{\text{за}}(F) = \exp \left[ \left( -m \frac{f}{N} \right)^n \right], \quad (4)$$

где  $m, n$  – коэффициенты аппроксимации, равные соответственно 3,7 и 1,127;  $N$  – разрешающая способность ЗА в плоскости сетчатки;  $M_{\text{за}}$  – значение масштаба при пересчете от плоскости сетчатки к дисплею, равное отношению расстояния между дисплеем и глазом к фокусному расстоянию глаза.

С учетом указанных преобразований АЧХ сигнала  $S_{\text{вых}}(F)$  на выходе цифровой системы записи и воспроизведения визуальной информации вычисляется по формуле

$$S_{\text{вых}}(F) = \left( \left( \left( \left( S_{\text{вх}} \left( \frac{f}{M} \right) K_{\text{ПЗС}} \left( \frac{f}{M} \right) K_{\text{об}} \left( \frac{f}{M} \right) \right) * S_{1\text{гр}} \left( \frac{f}{M} \right) \right) K_{\text{дисп}}(F) \right) * S_{2\text{гр}}(F) \right) K_{\text{за}}(F), \quad (5)$$

где  $*$  – операция свертки;  $S_{1\text{гр}}$  – АЧХ гребенчатой функции дискретизатора ПЗС-матрицы;  $S_{2\text{гр}}$  – то же дискретизатора матрицы дисплея; прочие обозначения соответствуют приведенным ранее.

Пример графика АЧХ сигнала на выходе системы приведен на рис. 4. Для сравнения здесь же пунктирной линией представлена АЧХ зрительного анализатора человека, которая является единственным фильтром при непосредственном восприятии объектов, отсутствии системы записи и воспроизведения зрительной информации.

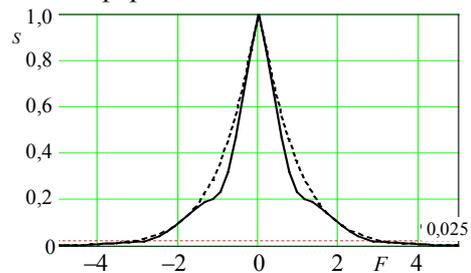


Рис. 4. Графики АЧХ сигнала на выходе цифровой системы записи и воспроизведения визуальной информации

(сплошная линия) и зрительного анализатора человека (пунктирная линия)

Анализ графиков позволяет сделать вывод о том, что наличие системы записи и воспроизведения приводит к уменьшению амплитуд ряда частотных составляющих сигнала по сравнению с непосредственным восприятием информации без системы.

Разность между АЧХ сигналов в системах «объект – зрительный анализатор человека» и «объект – цифровая система записи и воспроизведения – зрительный анализатор человека» графически представлена на рис. 5.

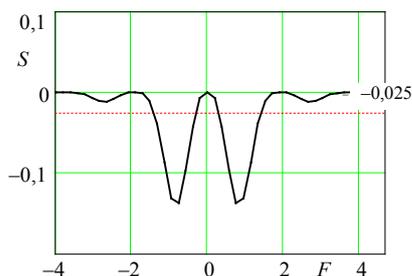


Рис. 5. Графики разности между АЧХ сигналов в системах «объект – зрительный анализатор человека» и «объект – цифровая система записи и воспроизведения – зрительный анализатор человека» (сплошная линия) и порога заметности изменения контраста  $K_{пред}$  (пунктирная линия)

Очевидно, что данная разность между АЧХ представляет собой ложную информацию. Так как на отдельных частотах она превышает по абсолютной величине порог заметности изменения контраста  $K_{пред}$ , логично предположить, что эта ложная информация заметна зрителю.

**Выбор количественного критерия пространственных искажений и установление связи с субъективной оценкой.** Для количественной оценки качества систем записи и воспроизведения информации используется критерий «информационная плотность», определяемая информационной емкостью на единицу площади изображения и зависящая только от параметров АЧХ.

Расчет информационной плотности производится по формуле

$$h = \ln \left( \frac{1}{K_{пред}} \right) + \frac{1}{L} \int_0^L \ln(|S(F)|) dF, \quad (6)$$

где  $K_{пред}$  – минимально возможное значение коэффициента передачи модуляции системы (фильтра), определяемое шумами в системе;  $L$  – частотный диапазон, в пределах которого рассматривается АЧХ;  $S(F)$  – АЧХ системы записи и воспроизведения изображений.

Очевидно, что и для оценки ложной информации целесообразно исследовать возможность применения критерия «информационная плотность». В данном случае при расчете информационной плотности рационально использовать не АЧХ системы, а разность между АЧХ сигнала в системах «объект – зрительный анализатор человека» и «объект – цифровая система записи и воспроизведения – зрительный анализатор человека».

Чтобы обеспечить возможность оперативной оценки качества системы по критерию «пространственные искажения», необходимо сопоставить предложенный для системы информационный критерий и субъективную оценку восприятия изображения, воспроизводимого этой системой. Решить эту задачу можно с использованием психофизических экспериментов путем построения сенсорных характеристик.

Для проведения эксперимента было выбрано 30 наблюдателей. Их располагали на расстоянии 500 мм от дисплея. Наблюдателю вначале предъявляли эталонное изображение, оцениваемое 10 баллами, а затем – серию изображений, соответствующих различным значениям информационной плотности искажений. Наблюдатели должны были оценивать каждое цифровое изображение по показателю качества «пространственные искажения», используя 10-балльную шкалу. Они были проинструктированы о способах проявления этих искажений (муар-эффект и ложные высокочастотные составляющие).

Информационная плотность искажений, соответствующая предъявляемым изображениям, вычислялась как разность между АЧХ сигналов в системах «объект – зрительный анализатор человека» и «объект – цифровая система записи и воспроизведения – зрительный анализатор человека».

На рис. 6 показана экспериментально полученная зависимость балльной оценки качества изображения по показателю «ложная информация» от информационной плотности.

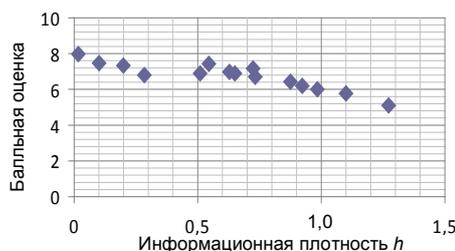


Рис. 6. Экспериментально полученная зависимость балльной оценки качества изображения по показателю «ложная информация» от информационной плотности

Из графика на рис. 6 следует, что имеет место тенденция уменьшения балльной оценки с ростом информационной плотности искажений. Для аппроксимации экспериментальных данных был использован метод наименьших квадратов. Наилучший результат аппроксимации был получен с использованием экспоненциальной зависимости. Кривая аппроксимации (рис. 7) описывается уравнением

$$B(h) = a_0 e^{a_1(h)}, \quad (7)$$

где  $B$  – субъективная оценка;  $h$  – информационная плотность искажений;  $a_0$  и  $a_1$  – константы, равные соответственно 8 и  $-0,294$ .

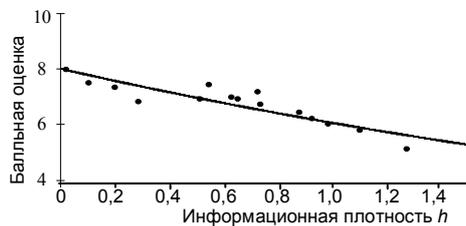


Рис. 7. Экспериментально полученная зависимость балльной оценки качества изображения по показателю «ложная информация» от информационной плотности (точки) и аппроксимация этой зависимости (линия)

Полученная зависимость позволяет прогнозировать показатель качества изображения «ложная информация» по информационной плотности систем записи и воспроизведения как для УДК 004.7

реально существующих, так и для проектируемых систем без проведения психофизических экспериментов.

### ВЫВОДЫ

1. Пространственные искажения в цифровой системе записи и воспроизведения визуальной информации при определенных условиях могут быть заметны наблюдателю.
2. В качестве количественного критерия пространственных искажений возможно использовать их информационную плотность.
3. Информационная плотность пространственных искажений однозначно связана с субъективной оценкой по показателю «ложная информация» экспоненциальной зависимостью.

### ЛИТЕРАТУРА

1. **Игнатъев, Н. К.** Дискретизация и ее приложения / Н. К. Игнатъев. – М.: Связь, 1988. – 272 с.
2. **Гребенников, О. Ф.** Основы записи и воспроизведения изображения (в кинематографе) / О. Ф. Гребенников. – М.: Искусство, 1982. – 239 с.
3. **Афанасенков, М. А.** Измеряем МТФ самостоятельно / М. А. Афанасенков. On-line: <http://www.afanas.ru>
4. **Кулаков, А. К.** АЧХ зрительного анализатора как звена кинематографической системы / А. К. Кулаков // Разработка и проектирование узлов кинотехнической аппаратуры: сб. тр. Ленинградского ин-та киноинженеров. – Л., 1979. – С. 133–145.

Поступила 01.04.2009

## ИНФОРМАЦИОННО-ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ИНФОРМАЦИИ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ПРОГРАММЫ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

*Канд. техн. наук РЫБАК В. А., асп. МАЛИК Д. В., канд. техн. наук ПИСАРИК Г. П.*

*Академия управления при Президенте Республики Беларусь,  
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,  
Научно-исследовательский экономический институт*

Научно-инновационное и научно-техническое обеспечение, разработка инновационных проектов для усовершенствования технологических процессов на основе НИР, научно обоснованная оценка и управление эколого-экономической эффективностью рационального природопользования – один из важнейших этапов

инновационной деятельности и инновационного развития экономики Республики Беларусь [1, 2].  
Основопологающим нормативно-правовым и технико-экономическим документом в области инновационного развития Беларуси являются Указ Президента Республики Беларусь от 26 марта 2007 г. № 136 «О Государственной