

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО СВЯЗИ

Московский технический университет связи и информатики

Кафедра Телевидения

Лабораторная работа № 72

ИССЛЕДОВАНИЕ ИСКАЖЕНИЙ КВАНТОВАНИЯ
ТЕЛЕВИЗИОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Москва 2010

План УМД на 2010/2011 уч. г.

Лабораторная работа № 72

ИССЛЕДОВАНИЕ ИСКАЖЕНИЙ КВАНТОВАНИЯ
ТЕЛЕВИЗИОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Составители к.т.н. Власюк И.В.
Врагова М.В.

Издание утверждено советом факультета Р и Т. Протокол №
от 20 г.

Рецензент д.т.н., проф. Безруков В.Н.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Ознакомиться с изменением визуального качества тестового и реальных изображений при изменении разрядности квантования. Ознакомиться с характеристикой изображения - гистограммой.

ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ

1. Согласно последней цифре студенческого билета выберете свой вариант задания. Заданно число разрядов квантования и значение γ . Определить значения сигнал-шум, при максимальном значении сигнала и при напряжении 0,1 от максимального уровня.

№ варианта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Число разрядов квантования	7	11	9	5	14	8	10	13	6	12
γ	0,6	1,3	1,8	0,5	1,1	0,8	1,6	1,4	0,7	2
$U_{вх}, В$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$U_{L2}, В$	0,4	0,1	0,05	0,35	0,5	0,25	0,45	0,2	0,3	0,15

ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

Процесс выполнения работы сводится к изучению и фиксации в отчете информации, появляющейся на экране монитора.

Программа выполнена очень просто. Основная управляющая кнопка в ней «МЕНЮ». В нем выбирается изображение для обработки, задается значение уровней квантования, а также запрос на гистограмму.

ОСНОВНЫЕ ИЗУЧАЕМЫЕ ВОПРОСЫ

1. Квантование. Ошибки квантования.
2. Искажения, вносимые процессом квантования. Шум квантования.

ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАДАНИЕ

1. Запустите программу **Уровни Квантования.exe**, воспользовавшись ярлыком на рабочем столе.
2. Исследование градационного клина
 - 2.1 Сформировать градационный клин
 - 2.2 В меню «уровни квантования» установить разрядность квантования
 - 2.3 Оценить визуально изменение изображения, сделать выводы
 - 2.4 Получить гистограмму изображения, записать ее максимальное значение.
 - 2.5 Прodelать пп. 2.3 и 2.4 для остальных разрядностей квантования
 - 2.6 Построить нормированный график изменения максимума гистограммы от разрядности квантования.
3. Исследование черно-белого изображения.
 - 3.1 Выбрать в меню «Открыть BMP» и загрузить черно-белое изображение.
 - 3.2 Выполнить для полученного изображения пп. 2.2 – 2.6
4. Исследование цветного изображения
 - 4.1 Выполнить пп. 3.1 – 3.2 для цветного изображения. При этом оценивать гистограмму и записывать значения максимума гистограммы следует как для яркостного сигнала (RGB), так и для сигналов отдельных цветов, соответственно на графике должны быть построены 4 зависимости.

Сравнить изменение трех типов изображения от разрядности квантования, полученные графики. Сделать соответствующие выводы.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Для получения цифрового сигнала из непрерывного сигнала необходимо кроме дискретизации по времени произвести квантование по амплитуде, а затем кодирование сигнала.

Квантование сигнала по уровню заключается в нахождении для каждого отсчета сигнала ближайшего к нему уровня квантования из используемого набора уровней квантования или, говоря проще, округлении значений отсчетов сигнала до ближайших уровней квантования. Количество уровней квантования $N_{\text{КВ}}$ связано с числом двоичных разрядов АЦП b соотношением $N_{\text{КВ}} = 2^b$.

Рассмотрим пример квантования сигнала. На рис. 1, а показан дискретный сигнал, содержащий 256 отсчетов (отдельные отсчеты в этом масштабе не различимы), значения уровня сигнала измеряются в вольтах и изменяются непрерывно, т.е. квантования нет. На рис. 1, б показан тот же сигнал после квантования с числом двоичных разрядов $b = 4$, т.е. имеющий 16 уровней квантования. Размер шага квантования $h = 0,1$. Масштаб шкалы по вертикальной оси координат такой же, как на предыдущем рисунке.

На рис. 1, в показаны значения величины ошибки Δu , вносимой в сигнал операцией квантования. Величина ошибки квантования Δu изменяется в пределах от 0 до h при округлении до ближайшего снизу уровня квантования. Если же делать округление до ближайшего уровня сверху или снизу, то величина Δu будет изменяться в диапазоне $(-h/2; h/2)$.

Ошибка квантования является случайной величиной, поэтому ее часто называют *шумом квантования*. В случае, когда все значения сигнала равновероятны, распределение вероятности величины шума квантования также равномерное. Среднеквадратическое значение шума квантования при квантовании путем округления до ближайшего уровня, постоянном шаге квантования и равновероятных значениях сигнала равно:

$$\sigma_{\text{кв}} = h / \sqrt{12}$$

Дисперсия шума квантования, характеризующая его мощность, может быть выражена в логарифмическом масштабе (в дБ - децибелах) по отношению к пиковому уровню мощности входного сигнала:

$$\sigma_{\text{кв}}^2 = 10 \lg \left(h^2 / 12 \right) = 10 \lg \left(2^{-2b} / 12 \right) \approx -(6,02b + 10,8), \text{ дБ}$$

В этой формуле b - число двоичных разрядов без учета знакового разряда, максимальный уровень сигнала принят равным единице. Если полное число разрядов АЦП равно 8, из них один бит определяет полярность сигнала, то $b = 7$, и получается $\sigma_{\text{кв}}^2 = -53$ дБ, т.е. средняя мощность шума квантования примерно в $2 \cdot 10^{-5}$ раз меньше максимальной мощности полезного сигнала. Отсюда следует, что при добавлении каждого бита к длине слова, обозначающего уровни квантования, ОСШ увеличивается примерно на 6 дБ.

На изображении шум квантования может проявляться различным образом в зависимости от характера изменений яркости или цвета на данном участке изображения. На участках, состоящих из мелких деталей, квантование приведет к случайным изменениям их яркости или цвета. На участках изображения с плавным изменением уровня видеосигнала квантование может привести к возникновению ложных контуров по тем линиям, на которых уровень видеосигнала переходит с одного уровня квантования на другой. На мелкоструктурных частях изображения искажения, создаваемые квантованием, практически незаметны.

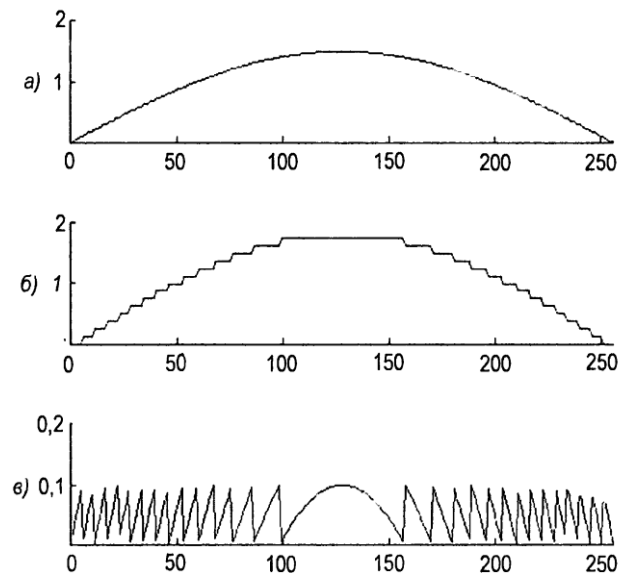


Рисунок 1. Сигнал до квантования (а), сигнал после квантования (б), ошибка квантования

Следовательно, мелкие детали, текстуру изображения можно квантовать более грубо, чем участки с плавными изменениями яркости. Этот факт используется во многих методах сжатия изображений.

Одним из средств для анализа изображений традиционно являются *гистограммы*. Они активно применяются для определения параметров экспозиции и проведения тоновой коррекции полученных фотографий.

Гистограмма — график распределения полутонов изображения, в котором по горизонтальной оси представлена яркость, а по вертикали — относительное число пикселей с данным значением яркости. Поскольку пикселей может быть довольно много, гистограмма при отображении обычно нормируется (рис. 2). Для тонкой настройки общей гистограммы яркости чаще всего недостаточно, поэтому строят гистограммы для каждого канала: красного (Red), зеленого (Green) и синего (Blue). Каналы, полутоновые изображения в градациях серого, хранят информацию о распределении одного компонента цветовой модели RGB. Максимуму интенсивности в канале отвечают области высокого содержания соответствующей составляющей.

Гистограмма служит источником как количественной, так и качественной информации. Гистограмма изображения позволяет оценить количество и разнообразие оттенков изображения, а также общий уровень яркости изображения. Гистограмма читается слева на право, от черного к белому. Для удобства описания областей гистограммы диапазон тонов делят на три части (рис. 2): *тени* (области низкой яркости — левая часть гистограммы), *средние тона* (области средней яркости — центральная часть гистограммы) и *света* (области высокой яркости — правая часть гистограммы).

Гистограмма темного изображения имеет ярко выраженное смещение тонов в сторону теней. Ей характерен широкий и высокий пик в левой части графика. То есть изображение считается темным, если основная масса пикселей

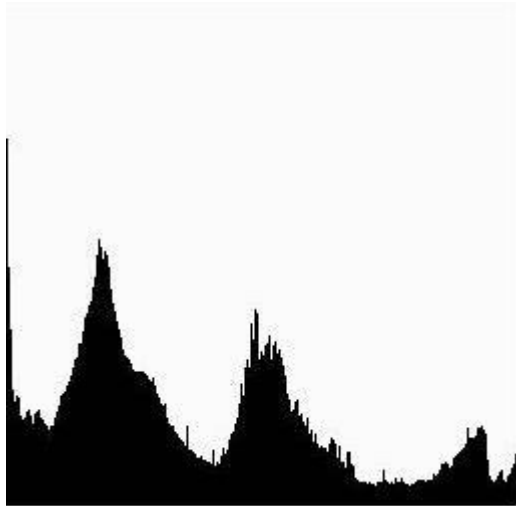


Рисунок 2. Пример гистограммы изображения

имеет низкие уровни яркости. *Гистограмма светлого изображения* имеет широкий и высокий «холм» в области светов, определяющий основную массу пикселей изображения, и экспоненциальный спад в тенях. Изображение может быть *средним по тону* либо вследствие того, что большинство пикселей имеют среднюю яркость, либо из-за равного соотношения светлых и темных пикселей в целом. *Оптимальная гистограмма* должна максимально эффективно использовать тоновый диапазон, плавно спадать до нуля к краям тонового диапазона (срезом ни в светах, ни в тенях быть не должно), быть относительно плавной, без разрывов.

В Рекомендации 601 для всех сигналов предусмотрено число разрядов квантования $b = 8$, что дает число уровней квантования $N_{KB} = 256$. При этом уровню черного сигнала яркости соответствует 16-й уровень квантования, а номинальному уровню белого - 235-й уровень квантования. 16 уровней квантования снизу и 20 уровней квантования сверху образуют *резервные зоны* на случай выхода значений аналогового сигнала яркости за пределы номинального диапазона. Особые назначения имеют 0-й и 255-й уровни квантования. С помощью соответствующих им кодов передаются сигналы синхронизации.

Аналого-цифровое преобразование сигнала яркости описывается соотношением:

$$Y = \text{Round}(219 E'_Y) + 16,$$

где E'_Y - аналоговый сигнал яркости, изменяющийся в диапазоне от 0 до 1 В (штрих, как это принято в технической литературе по телевидению, означает, что сигнал прошел гамма-коррекцию), Y - цифровой сигнал яркости, изменяющийся в диапазоне от 16 до 235, $\text{Round}(x)$ - операция округления числа x до целого.

Аналого-цифровые преобразования цветоразностных сигналов, в результате которых получаются цифровые цветоразностные сигналы C_R и C_B , выполняются в соответствии со следующими соотношениями:

$$C_R = \text{Round}(224E'_{CR}) + 128, \quad C_B = \text{Round}(224E'_{CB}) + 128.$$

Так как цветоразностные сигналы являются двуполярными, и максимальные отклонения от нулевого значения в положительную и отрицательную стороны примерно одинаковы, 128-й уровень квантования должен соответствовать нулевому значению этих сигналов. Старший бит в цифровом цветоразностном сигнале показывает полярность аналогового цветоразностного сигнала.

При квантовании цветоразностных сигналов также предусматриваются резервные зоны - по 16 уровней квантования сверху и снизу. На АЦП поступают не сами цветоразностные сигналы E'_{R-Y} , E'_{B-Y} , а компрессированные цветоразностные сигналы, формируемые в соответствии с соотношениями:

$$E_{CR} = 0,713 \cdot E'_{R-Y}, \quad E_{CB} = 0,564 \cdot E'_{B-Y},$$

причем значения сигналов E_{CR} и E_{CB} изменяются в диапазоне от $-0,5В$ до $0,5В$. Рекомендацией также предусмотрено 10 – разрядное квантование, при этом формирование защитных интервалов и компрессия цветоразностных сигналов осуществляются аналогично 8-разрядному квантованию, описанному выше.

Квантователь — это нелинейная система, чья функция состоит в преобразовании значений каждого отсчета входного сигнала $x[n]$ в одно из ближайших по значению из заданных величин. Обозначим эту операцию как:

$$\hat{x}[n] = Q(x[n])$$

и будем называть члены последовательности $\hat{x}[n]$ *квантованными отсчетами*. Квантователь можно определять с равномерными или неравномерными уровнями. На рис. 3 показан типовой равномерный квантователь, характеристики¹ в котором *округлены* к наиболее близкому уровню квантования. Необходимо остановиться на некоторых моментах рис. 3. Прежде всего, заметим, что такой квантователь подходит для сигналов как с положительными, так и отрицательными отсчетами (биполярный). Если априори известно, что входящие отсчеты всегда положительны (или отрицательны), то удобнее выбрать другое распределение уровней квантования. Далее, обратим ваше внимание на то, что квантователь из рис. 3 обладает четным числом уровней квантования. Но, поскольку один из них занят нулем, получается разное количество положительных и отрицательных уровней квантования. Как правило, число уровней квантования равно степени двойки и, так как эта степень

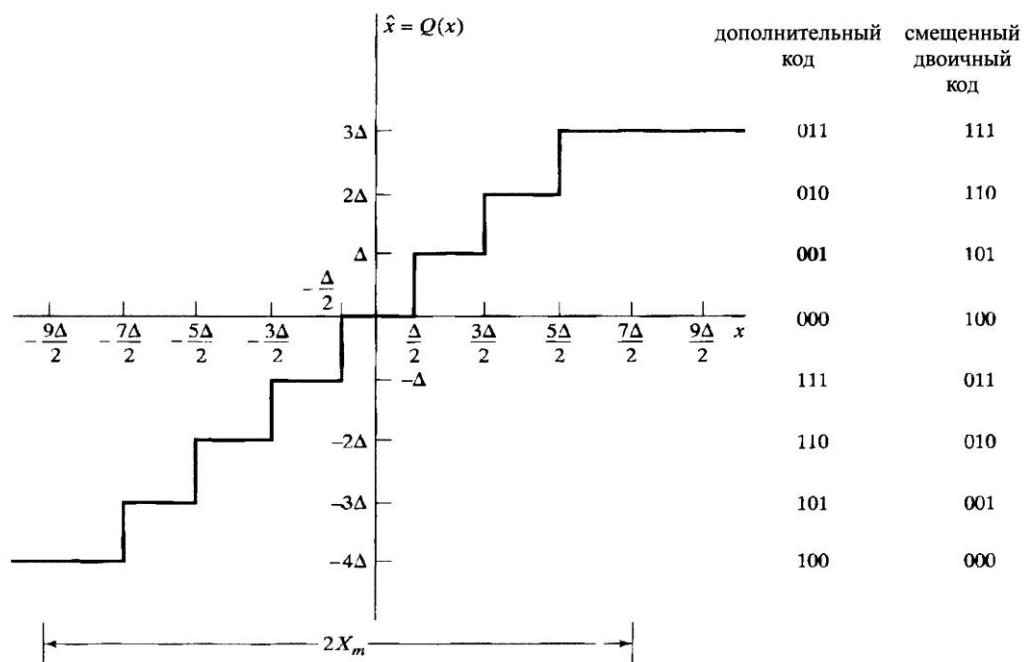


Рисунок 3. Типовой квантователь при АЦП

значительно больше восьми, различием в количестве отрицательных и положительных уровней можно пренебречь.

На рис. 3 видно, что расстояние между соседними уровнями квантования составляет:

$$\Delta = h = \frac{2X_m}{2^{b+1}} = \frac{X_m}{2^b} \quad (1)$$

Анализ ошибок квантования. Очевидно, что квантованный отсчет $\hat{x}[n]$ в большинстве случаев отличается от истинного значения $x[n]$. Разность между ними называется *ошибкой квантования* и определяется по формуле:

¹ Такой квантователь иногда называют *линейным* из-за линейности уровней квантования.

$$e[n] = \hat{x}[n] - x[n]$$

Например, в случае 3-битового квантователя (рис.3) при $h/2 < x[n] \leq 3h/2$ значение $\hat{x}[n]$ равно h , откуда:

$$-h/2 < e[n] < h/2$$

В общем случае $(b + 1)$ -битного квантователя со значением h из формулы (1) ошибка квантования удовлетворяет неравенству выше при условии:

$$(-X_m - h/2) < x[n] < (X_m - h/2)$$

Если $x[n]$ выходит за эту область, то ошибка квантования по абсолютной величине превышает $h/2$, и говорят, что отсчеты *срезаются*.

Упрощенная, но полезная модель квантователя изображена на рис. 4. В этой модели ошибки квантования отсчетов рассматриваются как аддитивный шумовой сигнал. Модель в точности эквивалентна квантователю при условии, что нам известна ошибка $e[n]$. В большинстве случаев, однако, ошибка неизвестна, и в таких ситуациях оказывается полезной статистическая модель, основанная на схеме рис. 4. Статистическое представление ошибок квантования исходит из следующих предположений.

1. Последовательность ошибок $e[n]$ является последовательностью отсчетов стационарного случайного процесса.

2. Последовательность $e[n]$ не коррелирует с последовательностью $x[n]$.

3. Случайные величины процесса ошибок не коррелируют между собой, т.е. ошибки — это случайный процесс, описывающий белый шум.

4. Вероятность ошибок распределена равномерно на отрезке ошибок квантования.

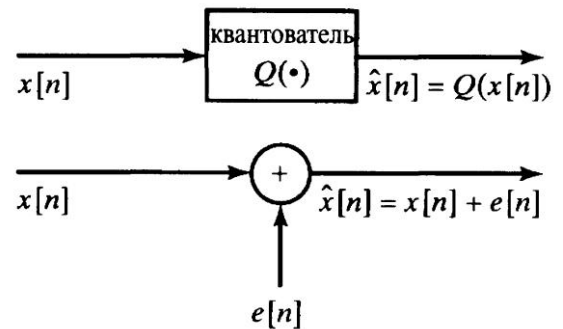


Рисунок 4. Модель аддитивного шума для квантователя

Как мы увидим, хотя сделанные предположения приводят к довольно простому анализу эффектов квантования, легко подобрать ситуацию, когда эти предположения не выполнены. Например, они не выполняются для ступенчатого сигнала $x_a(i)$. Однако, когда сигнал достаточно сложен (например, речевой или музыкальный), осциллирует быстро и непредсказуемо, сформулированные предположения более реалистичны. Эксперименты показали: при усложнении сигнала измеренная модель аддитивного шума для квантователя корреляция между сигналом и ошибками квантования уменьшается, причем и ошибки становятся некоррелированными между собой. С интуитивной точки зрения статистическая модель адекватно отражает ситуацию, когда сигнал достаточно сложен, а шаг квантования настолько мал, что амплитуда сигнала от отсчета к отсчету пересекает сразу много уровней.

При малых h есть основания предполагать, что $e[n]$ – случайная величина, равномерно распределенная от $-h/2$ до $+h/2$. Следовательно, плотность вероятности первого порядка шума квантования будет такой, как на рис. 5. (Если при реализации квантователя всегда используется округление с недостатком, т. е.

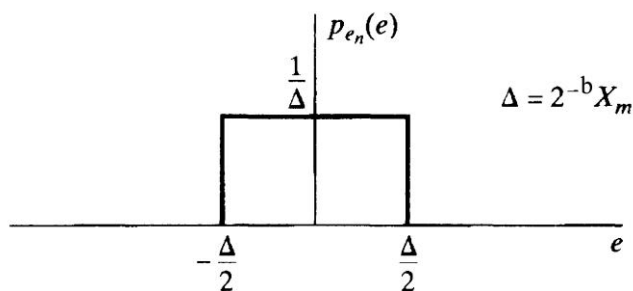


Рисунок 5. Плотность распределения ошибок квантования округляющего квантователя

усечение, то ошибка квантования всегда будет отрицательной, и можно считать ошибку случайной величиной, равномерно распределенной на отрезке $[-h, 0]$). Для завершения описания статистической модели шума квантования будем предполагать, что соседние отсчеты шума не коррелируют друг с другом, а $e[n]$ – с $x[n]$. Таким образом, предполагается, что $e[n]$ – равномерно распределенная

последовательность белого шума. Среднее значение величины $e[n]$ равно 0.

Обычной мерой количества деградации сигнала из-за аддитивного шума служит отношение сигнал/шум (ОСШ) для максимального значения сигнала, выраженное формулой:

$$\text{ОСШ} = 20 \lg (n\sqrt{12}) \quad (2)$$

Например, чтобы получить значение ОСШ в районе 90-96 дБ, необходимое для высококачественных звукозаписывающих или воспроизводящих устройств, потребуется 16-битовый квантователь. Но стоит помнить, что такой результат можно получить, только если входной сигнал тщательно сбалансирован с полномасштабным параметром АЦП. Для телевизионного сигнала ОСШ может быть вычислено по (2) и по [4, с.20]

Техническая реализация неравномерного квантования существенно сложнее, чем равномерного. Вместо использования переменного шага квантования обычно выполняют предварительное нелинейное преобразование видеосигнала - гамма-коррекцию. При этом решается одновременно две задачи. Во-первых, корректируется нелинейность передаточной характеристики кинескопа и обеспечивается оптимальная форма передаточной характеристики всего тракта телевизионной системы «от света до света». Во-вторых, уменьшается влияние ошибок квантования при малых уровнях яркости изображения.

Передаточная характеристика гамма-корректора описывается соотношением:

$$(U_{\text{ВЫХ}} / U_{\text{ВЫХ м}}) = (U_{\text{ВХ}} / U_{\text{ВХ м}})^\gamma$$

где $U_{\text{ВХ}}$ и $U_{\text{ВЫХ}}$ - напряжения сигналов на входе и на выходе гамма-корректора, соответственно, $U_{\text{ВХ м}}$ и $U_{\text{ВЫХ м}}$ - максимальные значения диапазонов напряжений сигналов на входе и на выходе гамма-корректора, соответственно, $\gamma = 0,42...0,48$ - показатель гамма-коррекции.

В системах цифрового телевидения, как правило, применяется равномерное квантование прошедших гамма-коррекцию сигналов с числом двоичных разрядов АЦП $b = 8$, что дает количество уровней квантования $N_{\text{кв}} = 256$. При этих условиях шум квантования на изображении практически незаметен. В последние годы все чаще применяется квантование с числом двоичных разрядов $b = 10$, что позволяет еще улучшить качество изображения.

Зрение человека не способно регистрировать очень малые изменения яркости. Если в поле зрения находятся две соприкасающиеся площадки с яркостями L_1 и L_2 , то мы воспринимаем их как отдельные объекты только в том случае, если $\Delta L = |L_1 - L_2|$ больше некоторого порога – $\Delta L_{\text{пор}}$. Эта особенность зрения оценивается пороговой контрастностью:

$$\delta = \frac{\Delta L_{\text{пор}}}{L} \quad (3)$$

В соответствии с *законом Вебера-Фехнера*, в рабочем диапазоне освещенностей пороговая контрастность есть величина постоянная и составляет 0,02 – 0,05 в зависимости от условий наблюдения. Зная значение пороговой контрастности нетрудно определить число различных градаций яркости m :

$$m = \frac{1}{\delta} \cdot \ln \frac{L_{\text{макс}}}{L_{\text{мин}}} = \frac{2,3}{\delta} \cdot \lg \frac{L_{\text{макс}}}{L_{\text{мин}}} \quad (4)$$

Подставив в выражение (4) максимальный контраст, воспринимаемый глазом ($K = L_{\text{макс}} / L_{\text{мин}} = 100$) и наименьшее значение пороговой контрастности ($\delta = 0,02$), получим, что максимальное число различимых градаций яркости составляет 230. Следует отметить, что полученное значение m характеризует потенциальные возможности зрения. В реальных условиях наблюдения число градаций яркости значительно меньше.

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Домашнее задание.
2. Измеренные параметры, визуальные оценки изменения изображений.
3. Графики изменения максимума гистограммы от разрядности квантования.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое квантование? Как выбирается число уровней квантования?
2. Какие искажения возникают при квантовании? Охарактеризуйте ошибки квантования.
3. Почему разные изображения по-разному «страдают» от «огрубления» шкалы квантования? От каких признаков изображения это зависит?
4. Что такое ошибка квантования, шум квантования, дисперсия шума квантования?
5. Что такое гистограмма? Как она используется?
6. Назовите функции равномерного квантователя.
7. Что такое оптимальное квантование? Приведите амплитудную характеристику оптимального квантователя.
8. Выведите формулу для оценки дисперсии ошибки квантования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Телевидение / под ред. В.Е. Джакони.- М.: Радио и связь, 2003. - 616с.
2. А. В. Смирнов, А. Е. Пескин. Цифровое телевидение от теории к практике. – М.: Горячая Линия – Телеком, 2005. - 349с.
3. Оппенгейм А., Шафер Р. Цифровая обработка сигналов. – Издание 2-е, исправленное. – М.: Техносфера, 2007. – 856с.
4. Charles Poynton. Digital Video and HDTV Algorithms and Interfaces. - San Francisco.: Morgan Kaufmann Publishers, 2007. – 694p.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Пример выполнения домашнего задания

Дано:

Число разрядов - $N = 9$

Гамма отображающего устройства - $\gamma = 2.2$

Максимальный размах квантуемого сигнала - $U_{ВХ} = 1В$

Текущий размах входного сигнала - $U_{L2} = 0.1 U_{ВХ}$

Решение:

1. Коррекция гаммы отображающего устройства:

$$\gamma_{\text{корр.}} = 1/\gamma = 0,45$$

2. Напряжение U_{L2} после гамма-коррекции:

$$U_{L2\gamma} = (0.1 U_{\text{imax}})^{\gamma_{\text{корр}}} = 0.1^{0.45} = 0.35 \text{ В}$$

3. ОСШ для максимального значения сигнала:

ОСШ = $20\lg(n\sqrt{12})$, где n – число уровней квантования

$$n = 2^N = 2^9 = 512$$

$$\text{ОСШ} = 20\lg(512\sqrt{12}) = 65 \text{ дБ}$$

4. Ослабление сигнала для случаев

С коррекцией:

$$L_{2\gamma\text{дб}} = 20\lg(U_{L2\gamma}/U_{ВХ}) = 20\lg 0.35 = -9.11 \text{ дБ}$$

$$\text{ОСШ}_{L2\gamma} = \text{ОСШ} - L_{2\gamma\text{дб}} = 56 \text{ дБ}$$

Без коррекции:

$$L_{2\text{дб}} = 20\lg 0,1 = -20 \text{ дБ}$$

$$\text{ОСШ}_{L2} = 65 - 20 = 45 \text{ дБ}$$