

**Учреждение образования  
«Высший государственный колледж связи»  
Факультет электросвязи**

Кафедра Программное обеспечение сетей телекоммуникаций

**КУРС: ЦИФРОВАЯ ОБРАБОТКА РЕЧИ И ИЗОБРАЖЕНИЯ**

**для специальности:**

1-45 01 03

**Сети телекоммуникаций**

**Лабораторная работа №3 Критерии оценивания качества  
воспроизведения речи и изображений. (8 часов)**

Подготовил:  
ст.преподаватель кафедры ПОСТ  
Киркоров С.И.

**Минск 2010**

## Лабораторная работа №3 Критерии оценивания качества воспроизведения речи и изображений. (8 часов).

### 1. Введение

Одним из наиболее мощных программных пакетов обработки мультимедийных данных является MatLab. С его помощью может осуществляться программное моделирование процессов и систем передачи информации. Основные достоинства применения MatLab для программного моделирования состоят в простоте программирования (синтаксис команд интерпретатора MatLab аналогичен синтаксису С-программ), в удобстве отладки программ (отсутствует необходимость в компиляции программы перед ее выполнением, после выполнения программы доступна информация о состояниях всех ее переменных), в простоте и эффективности визуализации результатов выполнения программы (формирование одномерных, двумерных и трехмерных графических объектов), в поддержке большинства стандартных форматов представления и хранения файлов данных, аудио- и видео- информации (неподвижных и подвижных изображений), в наличии развитой библиотеки встроенных функций, реализующих основные операции обработки (информационные преобразования, фильтрация и т.д.) и хорошей документированности встроенных функций (поиск по функциям, описание функций, теоретические сведения по цифровой обработке сигналов, примеры программ).

### 2.1 Цель лабораторной работы:

Изучение критерий оценивания качества воспроизведения речи и изображений. Закрепление навыков полученных при выполнении лабораторных заданий №1 и №2.

### 2.2 Критерии оценивания качества воспроизведения речи и изображений

В данном разделе описываются некоторые критерии сравнения изображений. Везде считается, что изображение задается таблицей чисел состоящей из  $M$  строк и  $N$  столбцов. Каждое число в данной таблице описывает один пиксел, который представляется  $K$  битами. Во всех рассматриваемых здесь критериях сравнения степень близости изображений определяется числом, которое некоторым образом вычисляется по данным изображениям. Пусть первое изображение описывается таблицей чисел  $\mathbf{X} = \{X_{ij} : 1 \leq i \leq M, 1 \leq j \leq N\}$ , а второе –

$\mathbf{Y} = \{Y_{ij} : 1 \leq i \leq M, 1 \leq j \leq N\}$ . Для расчета оценок отличия изображений можно использовать следующие выражения:

1. Пиковое отношение сигнал/шум PSNR

$$PSNR = 10 \log_{10} \frac{(2^K - 1)^2}{MSE},$$

где  $MSE = \frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (X_{ij} - Y_{ij})^2$  – среднеквадратичная ошибка,  $K$  – битовая глубина

цвета, т.е. количество бит требуемое для представления одного пиксела. Обычно вычисляется в децибелах [dB]. Данная мера отличий изображений является классической и, в некотором смысле, эталонной. Во всех работах по сравнению изображений любой нововведенный критерий сравнивается с PSNR. Считается, что если значения PSNR больше чем 37 [dB], то различие изображений практически незаметно, а если меньше 20 [dB], то различие изображений является существенным и весьма значительным. Вместо PSNR иногда используются похожие выражения. Например, среднеквадратичная ошибка MSE, которая записана выше, максимальная среднеквадратичная погрешность PMSE,

$$PMSE = \frac{MSE}{\max |X_{ij}|^2} = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (X_{ij} - Y_{ij})^2}{MN \max |X_{ij}|^2},$$

нормированная среднеквадратичная погрешность NMSE

$$NMSE = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (X_{ij} - Y_{ij})^2}{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (X_{ij})^2},$$

отношение сигнал/шум SNR

$$SNR = 10 \log_{10} \frac{1}{NMSE} = 10 \log_{10} \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (X_{ij})^2}{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (X_{ij} - Y_{ij})^2}.$$

Все эти меры отличия изображений дают результаты более или менее похожие с PSNR. Поэтому их рассмотрение не является целесообразным, при условии, что используется PSNR.

## 2. Максимальная абсолютная ошибка MAE

$$MAE = \max |X_{ij} - Y_{ij}|.$$

Также рассматривается, как классическая мера отличия изображений. Если изображения идентичны, то MAE = 0. Данная метрика хорошо отмечает даже самые малые различия двух изображений, что, с другой стороны, является ее недостатком. Поэтому она не так часто, как PSNR, используется в литературе по оценке отличия изображений.

## 3. Индекс структурной похожести (SSIM)

$$SSIM = \frac{(2\bar{X}\bar{Y} + C_1)(2\sigma_{XY} + C_2)}{(\bar{X}^2 + \bar{Y}^2 + C_1)(\sigma_X^2 + \sigma_Y^2 + C_2)},$$

где  $\bar{X} = \frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N X_{ij}$  – среднее значение первого изображения,  $\bar{Y} = \frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N Y_{ij}$  –

среднее значение второго изображения,  $\sigma_X^2 = \frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (X_{ij} - \bar{X})^2$  и

$\sigma_Y^2 = \frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (Y_{ij} - \bar{Y})^2$  – выборочные дисперсии первого и второго изображений

соответственно,  $\sigma_{XY} = \frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (X_{ij} - \bar{X})(Y_{ij} - \bar{Y})$  – выборочный коэффициент

корреляции. Неотрицательные константы  $C_1$  и  $C_2$  выбираются, вообще говоря,

произвольно. Данный индекс впервые был введен в работе Z. Wong, A.C. Bovik, H.R.

Sheikh, E.P. Simoncelli *Image quality assessment: from error visibility to structural similarity*

IEEE Transaction on Image Processing, V. 13, No. 3, 2004, 600–612. Эта формула является обобщением индексов SIM и UQI, которые были предложены этими же авторами до этого.

В этой же статье авторами предлагаются следующие значения  $C_1 = (0.01L)^2$  и

$C_2 = (0.03L)^2$ , где  $L = 2^K - 1$ ,  $K$  – битовая глубина цвета, т.е. количество бит требуемое

для представления одного пикселя. Множители перед  $L$  в константах  $C_1$  и  $C_2$  следует

выбирать достаточно малыми. SSIM, наряду с его предшественниками SIM и UQI,

являются одними из модных в настоящее время эмпирических мер сравнения изображений.

Индекс структурной схожести может принимать значения от -1 до 1. Причем SSIM = 1,

если изображения совпадают. Дополнительную информацию об индексе структурной

схожести и ее аналогах можно найти в работах A.C. Bovik, Z. Wong и других (см.

цитируемые работы в указанной выше статье).

#### 4. Приведенная нормализованная мера совместной информации NMIM

$$NMIM = 2 - \frac{H(\mathbf{X}) + H(\mathbf{Y})}{H(\mathbf{X}, \mathbf{Y})},$$

где  $H(\mathbf{X}) = -\int_{x \in \mathbf{X}} p_X(x) \log_2 p_X(x) dx$ ,  $H(\mathbf{Y}) = -\int_{y \in \mathbf{Y}} p_Y(y) \log_2 p_Y(y) dy$ , –

энтропии соответствующих изображений,

$H(\mathbf{X}, \mathbf{Y}) = -\int_{x \in \mathbf{X}, y \in \mathbf{Y}} p_{XY}(x, y) \log_2 p_{XY}(x, y) dx dy$  – совместная энтропия. Здесь

$p_X(x)$ ,  $p_Y(y)$ ,  $p_{XY}(x, y)$  – соответствующие плотности распределения (или относительные частоты).

В теории информации совместной информацией, содержащейся в двух изображениях, называется число, которое вычисляется по следующей формуле

$MI(\mathbf{X}, \mathbf{Y}) = H(\mathbf{X}) + H(\mathbf{Y}) - H(\mathbf{X}, \mathbf{Y})$ . При помощи совместной информации

выражение для NMIM можно записать в таком виде

$$NMIM = 1 - \frac{MI(\mathbf{X}, \mathbf{Y})}{H(\mathbf{X}, \mathbf{Y})}.$$

При такой нормализации NMIM может принимать значения от 0 до 1. Причем NMIM = 0, если изображения совпадают и NMIM = 1, если изображения независимы. Такая метрика впервые вводится в работе Zhang, J., Rangarajan, A.: *Affine image registration using a new information metric*. IEEE Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). Vol. 1. (2004) 848–855. В следующей работе Zhang, J., Rangarajan, A.: *Multimodality image registration using an extensible information metric and high dimensional histogramming* данная метрика применяется для обработки медицинских изображений. Там же приводятся ссылки на работы, в которых используется совместная информация MI при рассмотрении аналогичных вопросов.

Для дискретных изображений NMIM считается следующим образом. Обозначим через

$n_X(a) = \#\{X_{ij} = a\}$  и  $n_Y(a) = \#\{Y_{ij} = a\}$  количество пикселей со значением  $a$  в изображениях

$X$  и  $Y$  соответственно, а через  $n_{XY}(a, b) = \#\{X_{ij} = a, Y_{ij} = b\}$  количество пар пикселей  $(X_{ij}; Y_{ij})$  в

изображениях  $X$  и  $Y$  таких, что  $X_{ij} = a$  и  $Y_{ij} = b$ . Тогда  $H(\mathbf{X}) = -\sum_{a \in X} \frac{n_X(a)}{NM} \log_2 \frac{n_X(a)}{NM}$  и

$H(\mathbf{Y}) = -\sum_{a \in Y} \frac{n_Y(a)}{NM} \log_2 \frac{n_Y(a)}{NM}$ , где суммирование проводится по всем значениям, которые

могут принимать пиксели из соответствующих изображений. Для совместной энтропии имеем

$H(\mathbf{X}, \mathbf{Y}) = -\sum_{a \in X} \sum_{b \in Y} \frac{n_{XY}(a,b)}{NM} \log_2 \frac{n_{XY}(a,b)}{NM}$ , здесь суммирование проводится по всем парам

значений, которые могут принимать пиксели из соответствующих изображений.

5. Степень сжатия изображений  $bpp$  (bits per pixel).

$bpp = \frac{B}{NM}$ , где  $B$  — общее количество битов в сжатом изображении,  $N, M$  — размеры

изображения по вертикали и горизонтали в пикселях. Данная характеристика является общепринятой для оценки степени сжатия изображений. Так, например, если изображение не

подвергалось сжатию и для хранения одного пикселя использовалось 8 бит, то  $bpp = \frac{8NM}{NM} = 8$ . Для

8-ми битных изображений при сжатии от 10 до 20 раз  $bpp$  меняется от 0.8 до 0.4 соответственно.

### 2.3 Рекомендации по вычислению выбранных метрик оценки качества изображений

При вычислении метрик MAE, PSNR, SSIM, NMIM, по предлагаемым формулам в случае очень больших изображений, может возникнуть переполнение регистров. Например, при вычислении MSE по формуле  $\frac{1}{N^2} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N (f_1(i,j) - f_2(i,j))^2$  для двух 8-битных квадратных изображений изображений  $f_1$  и  $f_2$  в худшем случае может быть  $|f_1(i,j) - f_2(i,j)| = 255$  для всех  $i, j$ .

Отсюда  $\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N (f_1(i,j) - f_2(i,j))^2 = 65025N^2$ . При использовании плавающей точки типа float, когда на число отводится 32 бита, уже при  $N > 5800$  относительная погрешность превосходит 50%. При использовании фиксированной точки неприемлемые результаты получаются при еще меньших величинах  $N$ . Есть несколько способов избежать ошибок переполнения.

Способ 1. Для вычислений сумм вида  $S_n = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_i$  можно воспользоваться рекуррентными

формулами  $S_{k+1} = \frac{kS_k + a_{k+1}}{k+1}$ ,  $S_0 = 0$  или  $S_{k+1} = S_k + \frac{a_{k+1} - S_k}{k+1}$ ,  $S_0 = 0$ . В этом случае при

использовании типа float переполнение не происходит при  $n < 2^{30}$ . Недостатком этого метода является то, что существенно увеличивается время работы алгоритмы вычисления метрики, т.к. для каждого пикселя нужно выполнять деление типа float.

Способ 2. Допустим, необходимо вычислить  $S_n = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} a_i$ . Если  $n$  можно представить в виде

$n = MN$ , а именно так и есть в случае вычисления предлагаемых метрик ( $M, N$  — высота и ширина изображения), то можно воспользоваться следующим алгоритмом:

1. Присвоить  $S := 0$ ;

2. Цикл: для каждого  $i$  от 0 до  $M - 1$  выполнить:

$$b := \frac{1}{N} \sum_{j=0}^{N-1} a_{ni+j}, \text{ где сумма вычисляется обычным суммированием,}$$

$$S := S + \frac{b - S}{i + 1}, \text{ завершение цикла.}$$

3. Вывести  $S$ .

Выбор разбиения  $n = MN$  должен осуществляться таким образом, чтобы при вычислении  $b$  не возникало переполнения. При естественном разбиении 8-ми битного изображения по строкам и столбцам, это условие выполняется для изображений с  $N < 2^{15}$ . Способ 2 работает существенно быстрее, т.к. количество делений сокращается в  $N$  раз.

При вычислении метрик, в которых участвуют выражения вида  $\left( \sum_{i=1}^n a_i \right) / \left( \sum_{i=1}^n b_i \right)$  во

избежание ошибок переполнения при суммировании большого количества слагаемых, рекомендуется вычислять такие выражения по правилу:

$$\frac{\sum_{i=1}^n a_i}{\sum_{i=1}^n b_i} = \frac{\frac{\sum_{i=1}^n a_i}{n}}{\frac{\sum_{i=1}^n b_i}{n}},$$

где средние арифметические в правой части вычисляются, скажем, способом 2.

### 3. ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАДАНИЕ

3.1. Изучите теоретическую часть.

3.2. Используйте опыт и навыки полученные в при выполнении заданий способы лабораторных работ №1, №2 в MATLAB с мультимедийными данными (Приложение лабораторному практикуму): Example\_1\_1, Example\_1\_2, Example\_1\_3, Example\_2\_1, Example\_2\_2, Example\_2\_3, Example\_2\_4, Example\_3\_1, Example\_3\_2, Example\_3\_3, Example\_3\_4, а также программу реализующую алгоритм квантования и используйте набор тестовых изображений.

3.3 Создайте квантованное изображение в соответствии со своим вариантом (вариант изображения берутся по последнему номеру в списке журнала группы 1\_1-1\_6, 2\_1-2\_6 и т.д.).

3.4. Вычислите характеристики по критериям в соответствии с разделом 2.2 сравнивая исходное и квантованное изображения.

3.5. Оформите отчет и сделайте выводы.

3.6. Факультативно.

3.6.1 Выполните п.3.3 заменив алгоритм на JPEG и JPEG2000. Выполните сжатие и восстановление изображения (BMP=>JPEG=>BMP; BMP=>JPEG2000=>BMP). Оцените потери в изображении по сравнению с исходным изображением. Постройте графики и таблицы для сравнения с разными степенью сжатия (5,10,20,50,100). Сравните алгоритмы сжатия JPEG и JPEG2000. Постройте графики и таблицы для сравнения. Сделайте выводы.

### 4. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

4.1 Решение задач задания.

4.2. Результаты выполнения работы.

4.3. Анализ результатов и выводы.