

## Лабораторная работа №2

### Стандарты для сжатия изображений без потерь

Стандарты на передачу изображений по общественным коммутируемым телефонным сетям разработаны Международным Телекоммуникационным Союзом (ITU-T), ранее известным как Международный Консультативный Комитет по Телефонии и Телеграфии (ССИТТ). Один из первых стандартов на передачу изображений без потерь относится к передаче факсимильных изображений. Изображения, используемые в таком приложении, являются битоновыми, т.е. каждая точка принимает одно из двух значений: белое или черное, и, соответственно, эти значения представляются с помощью 1 бита: 0 соответствует черной точке и 1-белой.

#### Стандарты сжатия факсимильных изображений

В любом битоновом изображении имеются большие области одного цвета (черного или белого). Например, на рис.1 показано несколько точек в строке битонного изображения.



Рис.1 Пример линии битонального изображения

Нетрудно видеть, что шесть последовательных точек изображения имеют один и тот же цвет. Такую группу точек одного цвета будем называть *серией* из шести точек со значением равным 0. В двоичной форме данный фрагмент линии имеет вид 100000010100. Стандарт сжатия факсимильных изображений использует так называемое кодирование длин серий с последующим кодированием кодом Хаффмена. В нашем случае записанная последовательность преобразуется в последовательность пар  $(1,1)$   $(6,0)$   $(1,1)$   $(1,0)$   $(1,1)$   $(2,0)$ , в которых первый элемент является длиной серии, второй элемент указывает значение элементов, из которых состоит серия. Эта последовательность далее кодируется кодом Хаффмена для пар (*серия, значение*). Это кодирование обеспечивает более компактную запись исходного битонного изображения.

Две версии стандартов сжатия факсимильных изображений используют следующие алгоритмы кодирования:

- **Модифицированный код Хаффмена.** Изображение рассматривается как последовательность строк и к каждой строке применяется кодирование длин серий, т.е. каждая строка изображения преобразуется в последовательность пар (*серия, значение*). К этой последовательности применяется кодирование по Хаффмену. Для кодирования серий из черных и белых точек используются разные коды

Хаффмена, так как статистические характеристики этих серий совершенно разные. Используется фиксированный код Хаффмена, заданный таблицей, т.е. он не изменяется от изображения к изображению. Для целей обнаружения ошибок, в конце строк помещается признак EOL (конец строки),

- **Кодирование с предсказанием.** Значения точек в предыдущей строке используются как предсказанные значения для точек текущей строки. Для этого, начиная со второй строки, вычисляется сумма по модулю 2 точек текущей и предыдущей строк. Эта сумма затем кодируется методом длин серий с последующим кодированием кодом Хаффмена. В конце строки помещается признак EOL (конец строки). Для предотвращения распространения ошибок кодирование с предсказанием применяется попеременно с модифицированным кодом Хаффмена.

Эти подходы обеспечивают хорошее сжатие (от 20:1 до 50:1) для графических документов типа писем. Эти же алгоритмы в принципе могут быть применены для кодирования полутоновых черно-белых изображений (черно-белых фотографий). В этом случае каждой точке изображения соответствует 1 байт, и длины серий в строках изображения оказываются короткими (1-2 точки), и кодирование в соответствии с описанным стандартом оказывается неэффективным.

#### **Сжатие полутоновых изображений без потерь. Применение стандарта JPEG для сжатия без потерь.**

Стандарт сжатия изображений JPEG (Joint Experts Photographic Group) включает два способа сжатия: первый предназначен для сжатия без потерь, второй - сжатия с потерей качества. Метод сжатия без потерь, используемый в стандарте JPEG основан на методе разностного (дифференциального) кодирования. Основная идея дифференциального кодирования состоит в следующем. Обычно изображения характеризуются сильной корреляцией между точками изображения. Этот факт учитывается при разностном кодировании, а именно, вместо сжатия последовательности точек изображения  $x_1, x_2, \dots, x_N$  сжатию подвергается последовательность разностей  $y_i = x_i - x_{i-1}$ ,  $i = 1, 2, \dots, N$ ,  $x_0 = 0$ . Числа  $y_i$  называют ошибками предсказания  $x_i$ .

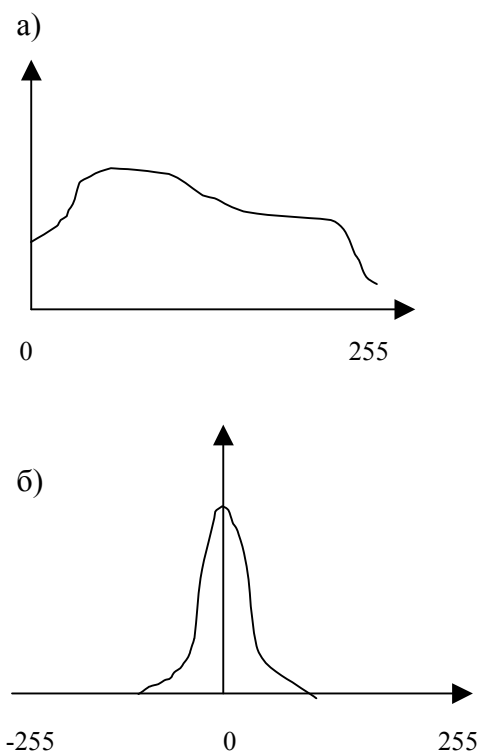


Рис. 2. Типичные распределения вероятностей значений отсчетов изображения (а) и ошибок предсказания отсчетов (б)

Типичные распределения значений точек  $x_i$  и  $y_i$  на входе и выходе дифференциального кодера приведены на рис.2а и 2б. Очевидно, что распределение, представленное на рис.2а близко к равномерному, т.е. вероятность каждого значения  $p_i \approx 1/256$  и длина кодового слова в среднем равна 8 битам, т.е. сжатие информации при побуквенном кодировании будет незначительным. Распределение, показанное на рис.2б, неравномерное и средняя длина кодового слова при кодировании неравномерным кодом будет менее 8 бит и возможно достичь заметного сжатия изображения.

В стандарте JPEG без потерь предусмотрено формирование ошибок предсказания с использованием предыдущих закодированных точек в текущей строке и/или в предыдущей строке. Ошибка предсказания для точки  $X$  на рис.3 вычисляется как  $r = y - X$ , где  $y$  может быть одной из следующих функций:

- $y = 0; y = a;$
- $y = b; y = c;$
- $y = a + b + c,$
- $y = a + (b - c) / 2;$
- $y = b + (a - c) / 2;$
- $y = (a + b) / 2.$

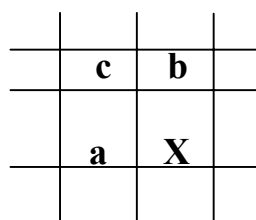


Рис.3. Предсказание в стандарте JPEG

Заметим, что значения на позициях  $a, b, c$  известны как кодеру, так и декодеру до обработки точки  $X$ . Выбор функции для вычисления  $y$  задается в заголовке битового потока на выходе кодера. Таким образом, кодер и декодер используют идентичные функции. Полученные ошибки предсказания округляются до ближайшего целого значения.

Затем каждое значение  $y$  преобразуется в пару символов (битовая категория, значение). Битовая категория представляет собой число двоичных знаков, необходимое для представления значения  $y$ . Битовые категории кодируются кодом Хаффмена. Для передачи самого значения используется равномерный код, длина которого определяется битовой категорией. Значения битовых категорий всех возможных значений целых чисел от  $-32767$  до  $32768$  приведены в таблице 1.

Например, если ошибка предсказания  $X$  оказалась равной  $y=42$ , то из таблицы 1 следует, что это  $y$  принадлежит категории 6, т.е. что для представления числа 42 требуется 6 бит. Ошибка предсказания преобразуется в пару (6, 6-битовый код для числа 42). Категория 6 кодируется словом кода Хаффмена. Таким образом, сжатое представление  $y$  состоит из слова кода Хаффмена со следующим за ним 6-битовым представлением значения. В общем случае, если значение ошибки предсказания положительно, то код значения – это просто двоичное представление этого значения. Если же значение отрицательно, то код значения представляет собой обратный код соответствующего числа. В результате код отрицательного числа всегда начинается с 0.

**Таблица 1.**

Битовые категории целых чисел.

Категория	Числа
0	0
1	-1, 1
2	-3, -2, 2, 3
3	-7, ..., -4, 4, ... 7
4	-15, ..., -8, 8, ... 15
5	-31, ..., -16, 16, ... 31
6	-63, ..., -32, 32, ... 63
7	-127, ..., -64, 64, ... 127
8	-255, ..., -128, 128, ... 255
9	-511, ..., -256, 256, ... 511
10	-1023, ..., -512, 512, ... 1023
11	-2047, ..., -1024, 1024, ... 2047
12	-4095, ..., -2048, 2048, ... 4095
13	-8191, ..., -4096, 4096, ... 8191
14	-16383, ..., -8192, 8192, ... 16383
15	-32767, ..., -16384, 16384, ... 32767
16	32768

**Пример.** Пусть  $a=100$ ,  $b=191$ ,  $c=100$ ,  $X=180$ . Пусть также  $y=(a+b)/2$ , тогда  $y=145$  и ошибка предсказания  $r=145-180=-35$ . Из таблицы 1 следует, что  $-35$  принадлежит категории 6. Двоичный код 35 равен 100011, его обратный код есть 011100, т.е.  $-35$  представляется как (6,011100). Если код Хаффмена для 6 есть 1110, то  $-35$  кодируется 10-битовым кодовым словом 1110011100. В декодере категория (в нашем случае 6) извлекается первой, следующие 6 бит 011100 соответствуют значению ошибки. Так как старший бит равен 0, то значение – отрицательное. После взятия обратного кода получаем  $r=-35$ . Числа  $a,b$  уже декодированы и известны, таким образом, получаем  $y=145$  и  $X=y+35=180$ .

Отметим, что использование битовой категории упрощает код Хаффмена. Без использования категорий нам потребовался бы код для алфавита значительно большего объема, что сильно усложнило бы кодирование и декодирование.

#### ЗАДАНИЕ

1. Получить битовое изображение из компоненты  $Y$  изображения, исследованного в лабораторной работе 1. Это можно сделать: сравнивая значения  $Y$  с порогом и приписывая значения 0 числам меньше порога, значения 1 – числам больше порога. Оценить достижимое сжатие битового изображения при использовании для его кодирования метода длин серий.
2. Оценить достижимое сжатие битового изображения при кодировании с предсказанием.
3. Компоненту  $Y$  цветного изображения из лабораторной работы 1 закодировать без потерь методом дифференциального кодирования.
4. Восстановить компоненты  $R,G,B$  из сжатой компоненты компоненты  $Y$  и децимированных компонент  $U,V$ . Вывести изображение на экран.
5. **Задание для исследования.** Рассмотреть вместо точного кодирования ошибок предсказания кодирование с некоторой погрешностью  $\delta$ . Исследовать зависимость величин отношения сигнал-шум  $SNR$  и коэффициента сжатия  $K$  от  $\delta$ . Построить график зависимости  $SNR(K)$ . Определить пороговое значение отношения сигнал-шум, при котором искажения становятся заметными.