Media Data Compression

Сжатие изображений

Дмитрий Ватолин

Московский Государственный Университет
CS MSU Graphics&Media Lab

Version 3.3

Часть вторая:
СЖАТИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Благодарности

- Автор выражает признательность Александру Жиркову (Graphics&Media Lab) за помощь в подготовке этих лекций (разделы Jpeg-2000 и сжатие текстур).

Сжатие изображений

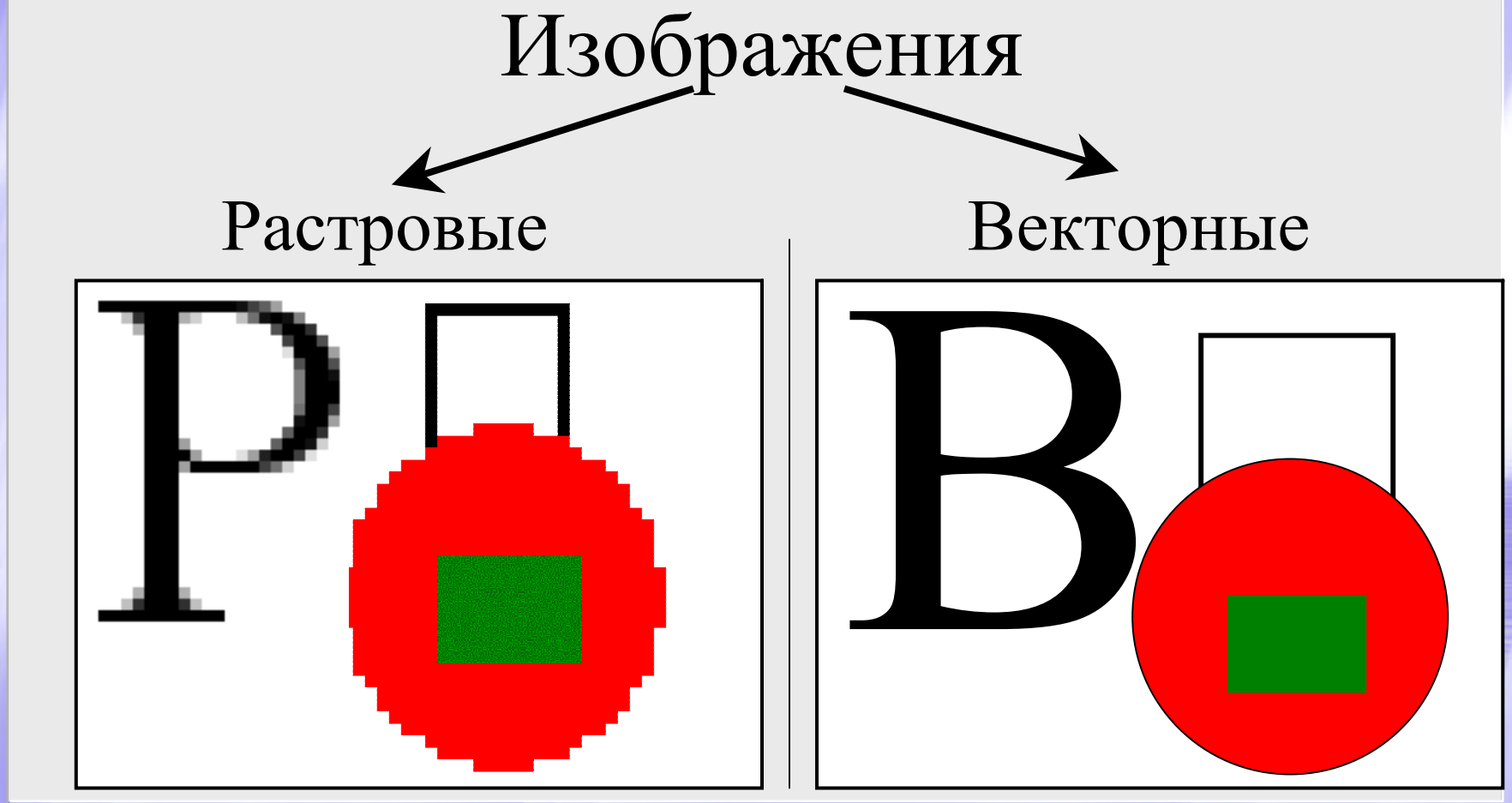
GRAPHICS & MEDIA LAB
VIDEO GROUP

Будут рассмотрены алгоритмы:

- RLE
- LZW
- Хаффмана (CCITT G3)
- JPEG
- JPEG-2000
- фрактальный алгоритм

Типы изображений

GRAPHICS & MEDIA LAB
VIDEO GROUP

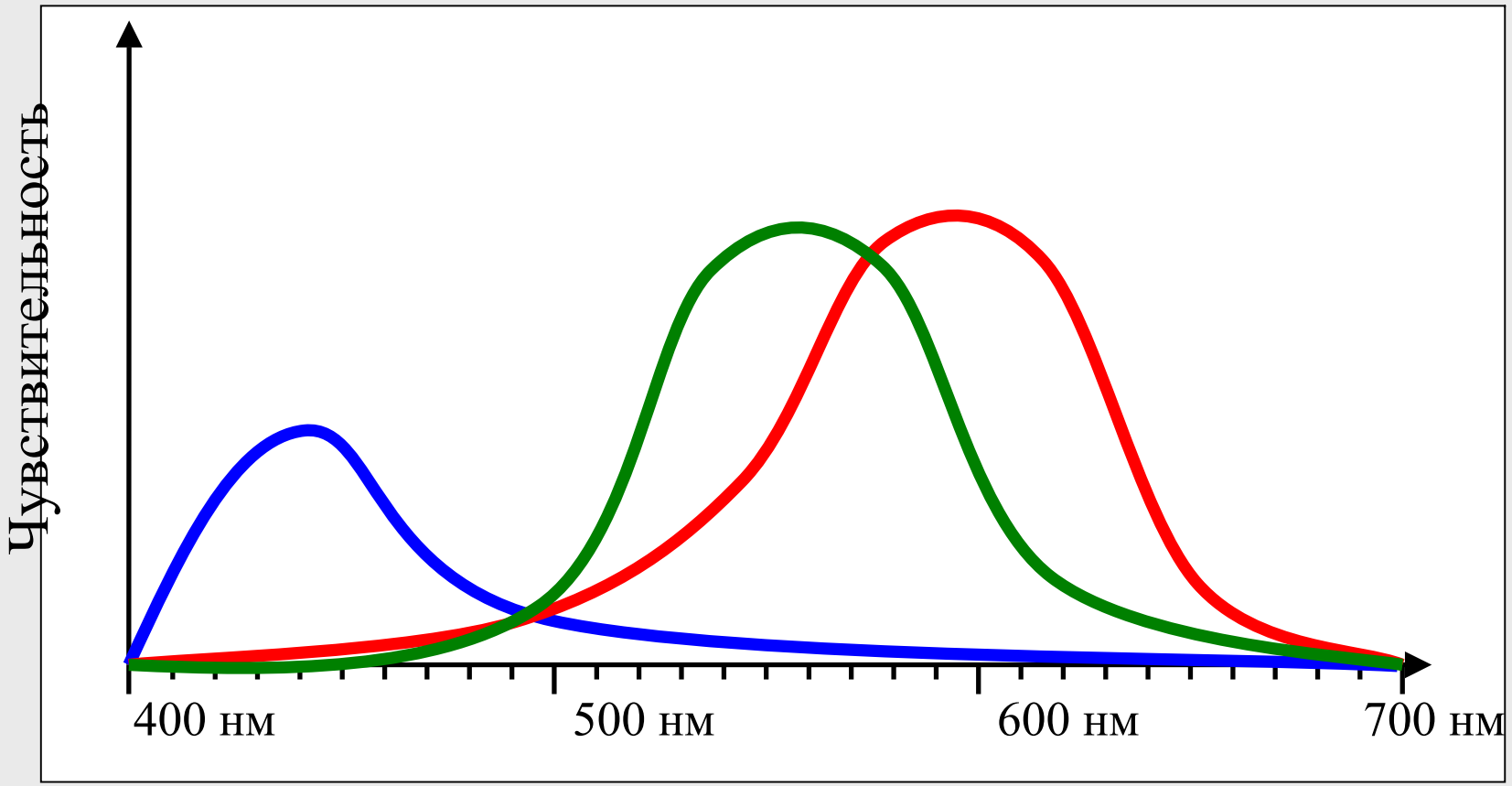


Типы изображений

GRAPHICS & MEDIA LAB
VIDEO GROUP

- Векторные
- Растровые
  - Палитровые
  - Безпалитровые
    - В системе цветопредставления RGB, CMYK, …
    - В градациях серого

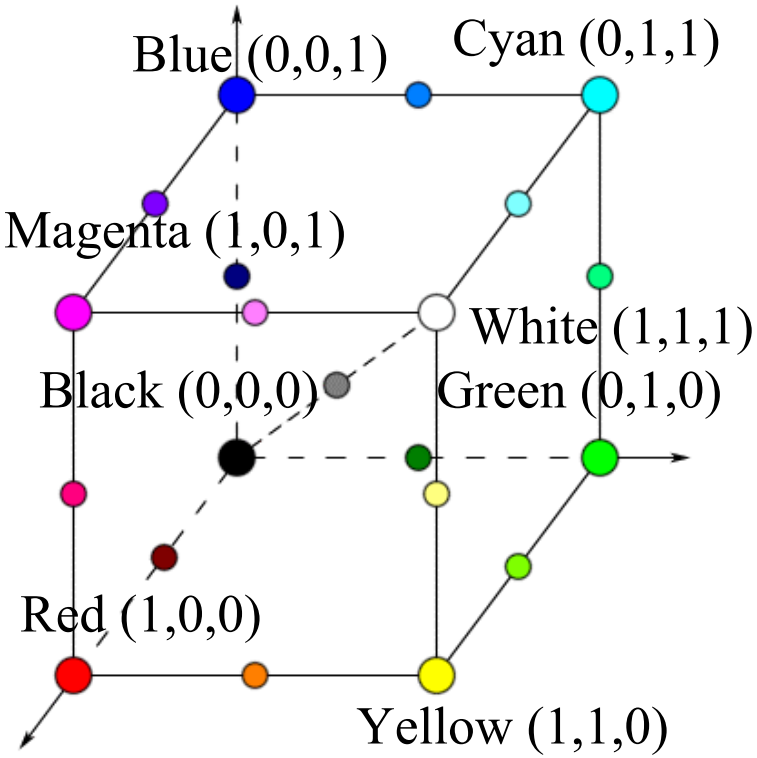
Восприятие цвета

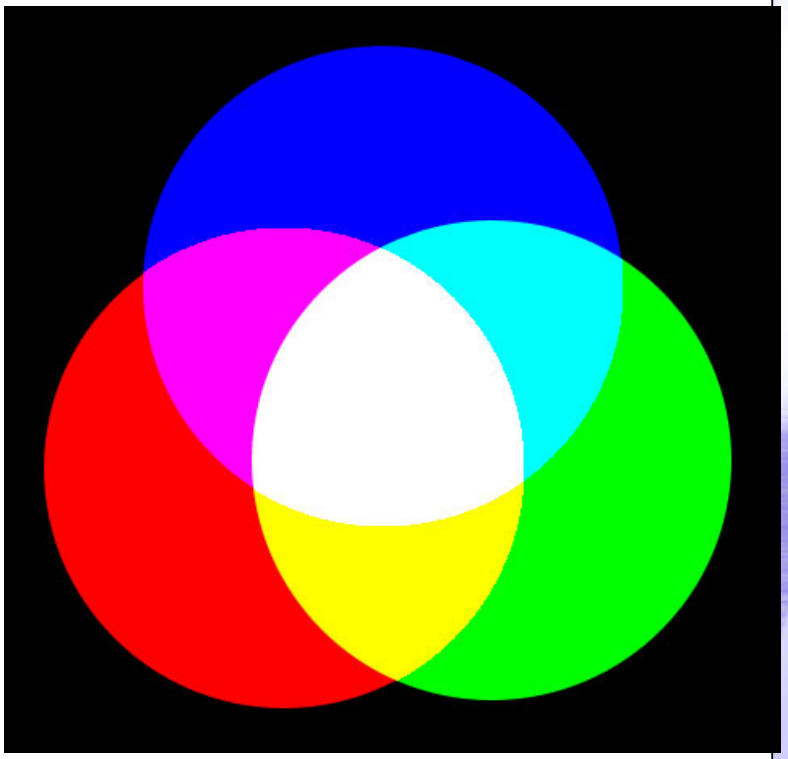


Пространство RGB

GRAPHICS & MEDIA LAB
VIDEO GROUP

RGB (Red, Green, Blue)

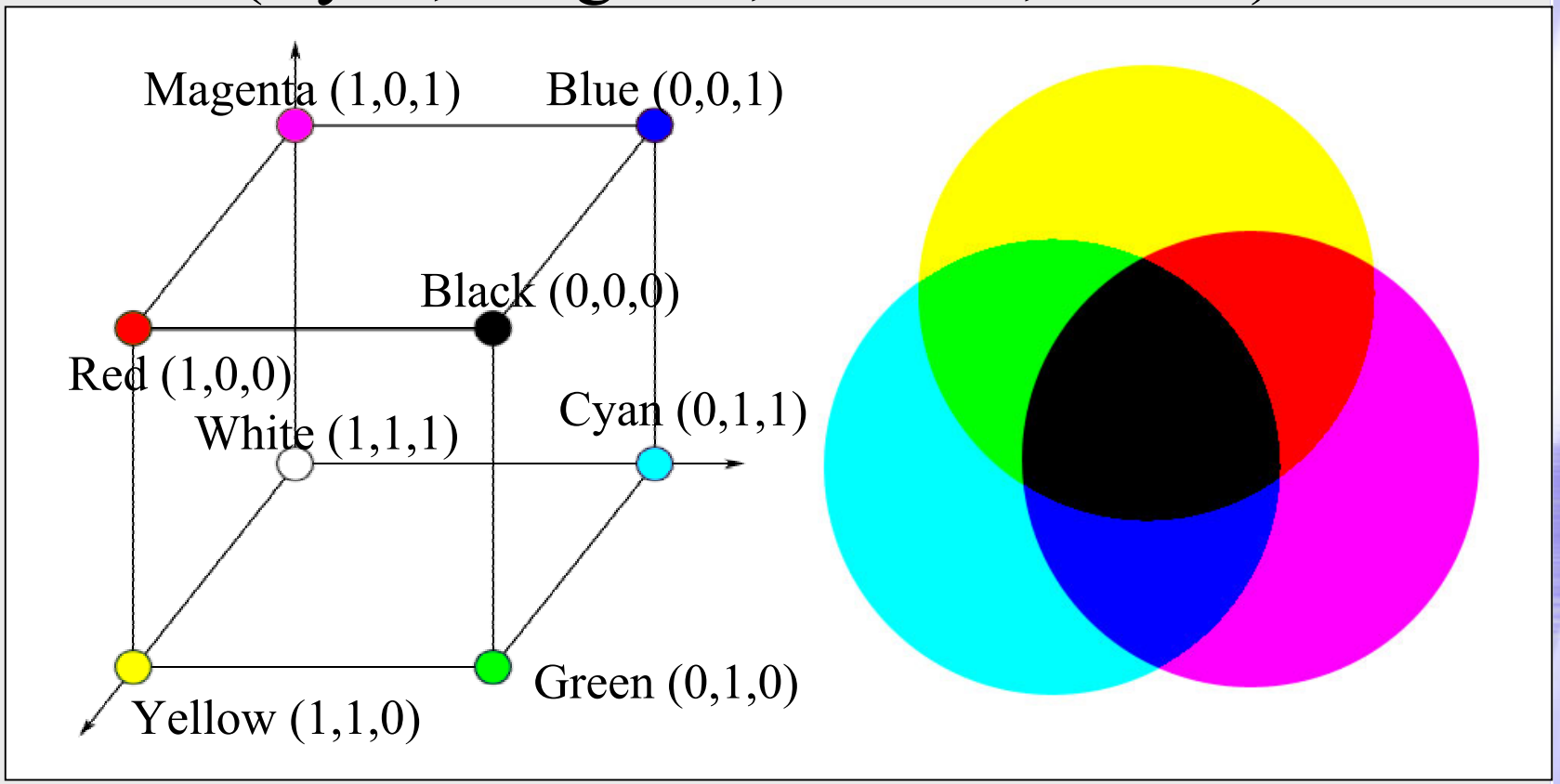




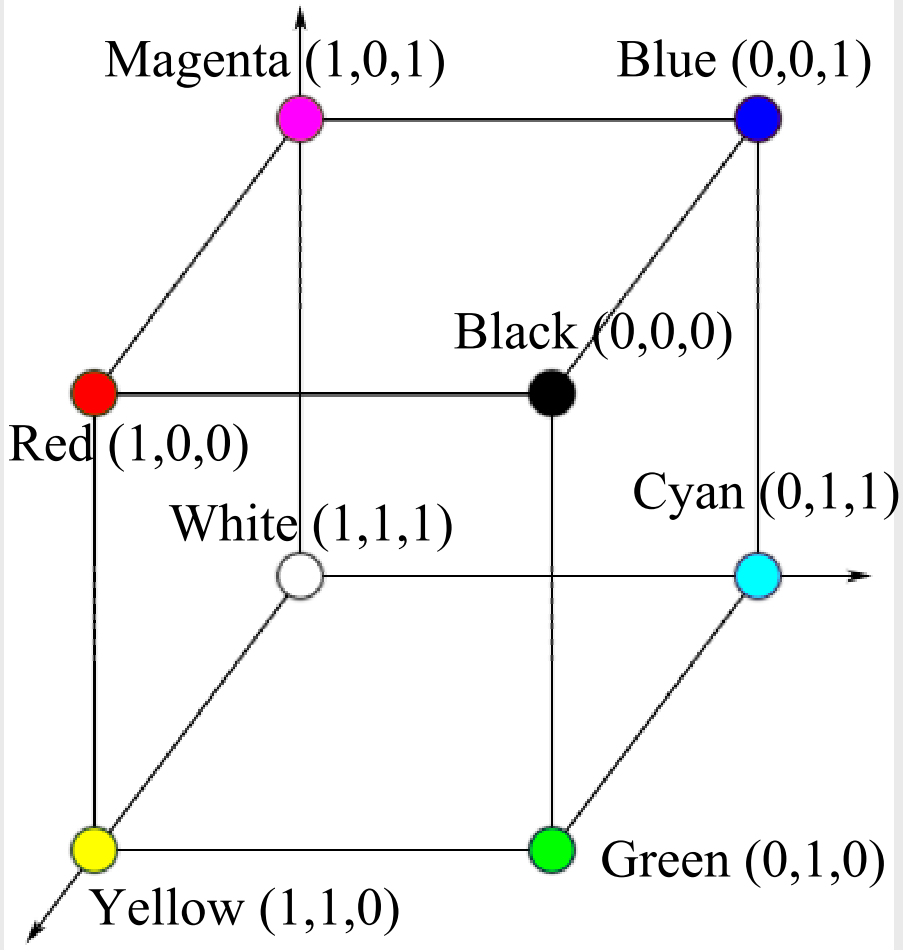
Пространство CMYK

GRAPHICS & MEDIA LAB
VIDEO GROUP

CMYK (Cyan, Magenta, Yellow, blacK).



Расчет RGB, CMYK, CMY



RGB ➔ CMY

$C = 255 - R$

$M = 255 - G$

$Y = 255 - B.$

CMY➔CMYK

$K = \min(C,M,Y),$

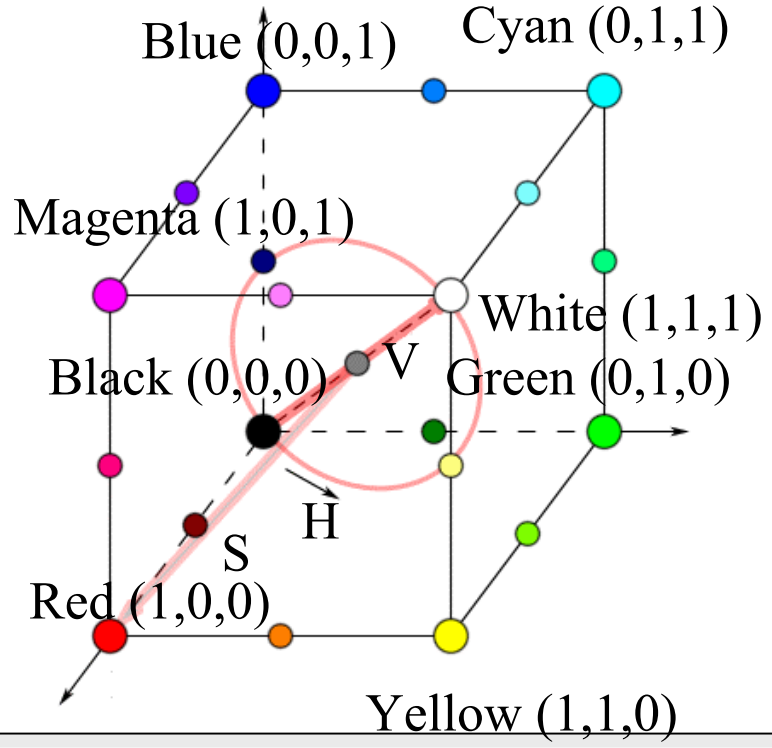
$C = C - K,$

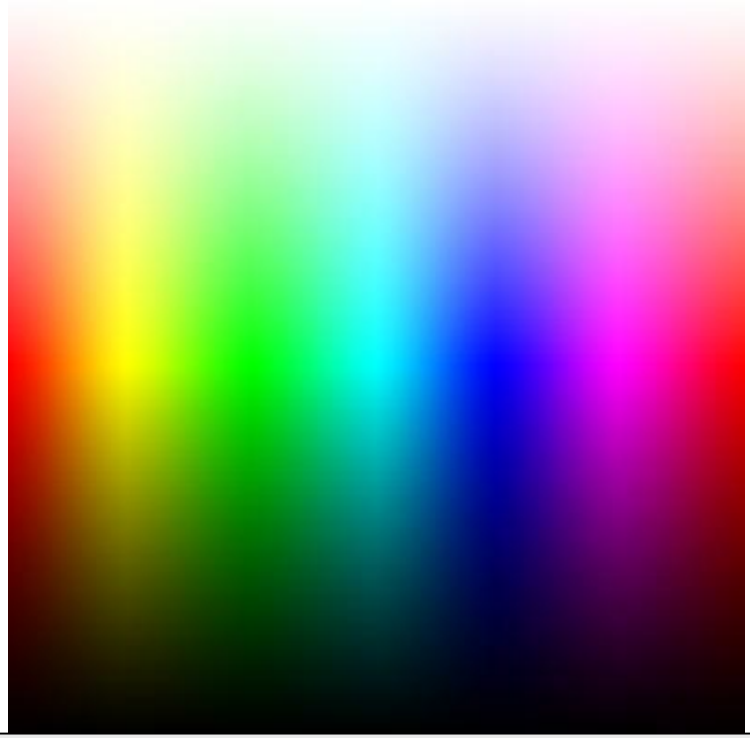
$M = M - K,$

$Y = Y - K.$

Пространство HSV

Модель **HSV (Hue, Saturation, Value).** Построена на основе субъективного восприятия цвета человеком.





Модель YUV

GRAPHICS & MEDIA LAB
VIDEO GROUP

$$Y = 0.299R + 0.587G + 0,114B$$

$$U = -0.147R - 0.289G + 0,436B$$

$$V = 0.615R + 0.515G + 0,100B = 0,877(R - Y)$$

$$R = Y + 1.140V$$

$$G = Y - 0.395U - 0.581V$$

$$B = Y + 2.032U$$

Модель YIQ

GRAPHICS & MEDIA LAB
VIDEO GROUP

$$Y = 0.299*R + 0.587*G + 0.114*B$$

$$I = 0.596*R - 0.275*G - 0.321*B$$

$$Q = 0.212*R - 0.523*G + 0.311*B$$

$$R = Y + 0.956*I + 0.621*Q$$

$$G = Y - 0.272*I - 0.647*Q$$

$$B = Y - 1.107*I + 1.704*Q$$

Модель YCbCr (SDTV)

GRAPHICS & MEDIA LAB
VIDEO GROUP

$$Y = 0.299*R + 0.587*G + 0.114*B$$

$$Cb = -0.172*R - 0.339*G + 0.511*B + 128$$

$$Cr = 0.511*R - 0.428*G + 0.083*B + 128$$

$$R = Y + 1.371(Cr - 128)$$

$$G = Y - 0.698(Cr - 128) - 0.336(Cb - 128)$$

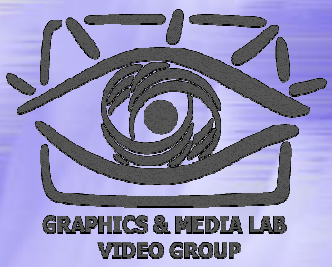
$$B = Y - 1.732(Cb - 128)$$

Классы изображений

GRAPHICS & MEDIA LAB
VIDEO GROUP

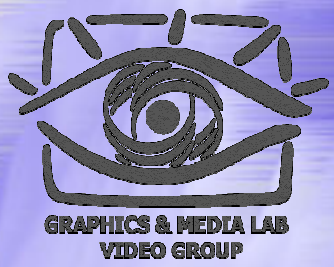
- **Класс 1. Изображения с небольшим количеством цветов** (4-16) и большими областями, заполненными одним цветом. Плавные переходы цветов отсутствуют. Примеры: деловая графика — гистограммы, диаграммы, графики и т.п.
- **Класс 2. Изображения, с плавными переходами цветов**, построенные на компьютере. Примеры: графика презентаций, эскизные модели в САПР, изображения, построенные по методу Гуро.
- **Класс 3. Фотореалистичные изображения.** Пример: отсканированные фотографии.
- **Класс 4. Фотореалистичные изображения с наложением деловой графики**. Пример: реклама.

Требования приложений к алгоритмам



- Высокая степень компрессии
- Высокое качество изображений
- Высокая скорость компрессии
- Высокая скорость декомпрессии
- Масштабирование изображений
- Возможность показать огрубленное изображение (низкого разрешения)
- Устойчивость к ошибкам
- Учет специфики изображения
- Редактируемость
- Небольшая стоимость аппаратной реализации. Эффективность программной реализации

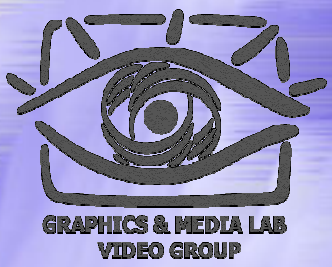
Критерии сравнения алгоритмов



Невозможно составить универсальное сравнительное описание известных алгоритмов.

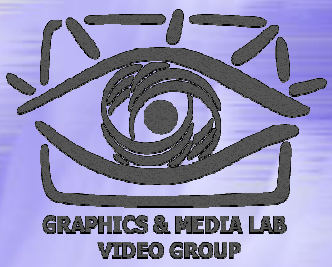
- **Худший, средний и лучший коэффициенты сжатия.**
- **Класс изображений**
- **Симметричность**
- **Есть ли потери качества?**
- **Характерные особенности алгоритма**

Алгоритм RLE



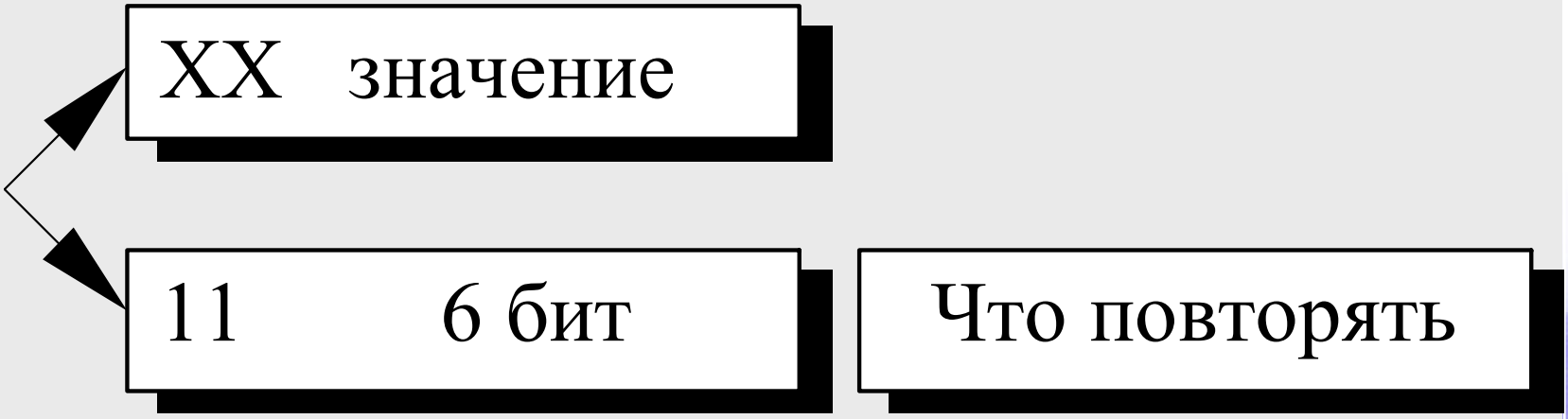
Данный алгоритм необычайно прост в реализации. Групповое кодирование — от английского Run Length Encoding (RLE). Изображение в нем вытягивается в цепочку байт по строкам растра. Само сжатие в RLE происходит **за счет того, что в исходном изображении встречаются цепочки одинаковых байт**. Замена их на пары <счетчик повторений, значение> уменьшает избыточность данных.

RLE – Первый вариант




```
Initialization(...);
do {
  byte = ImageFile.ReadNextByte();
  if(является счетчиком(byte)) {
      counter = Low6bits(byte)+1;
      value = ImageFile.ReadNextByte();
      for(i=1 to counter)
            DecompressedFile.WriteByte(value)
  }
  else {
  DecompressedFile.WriteByte(byte)
} while(ImageFile.EOF());
```

RLE – Первый вариант (схема)

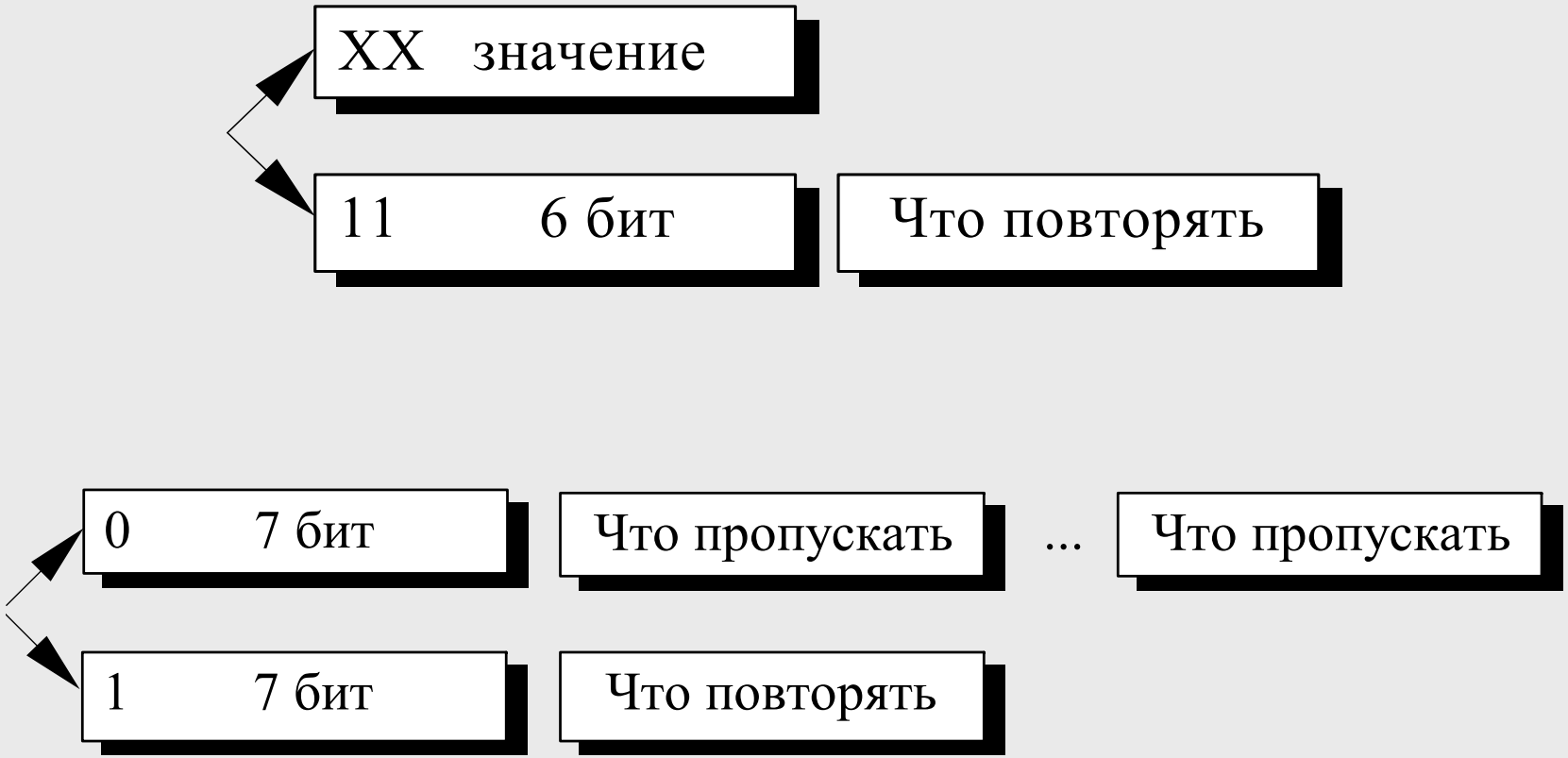


RLE – Второй вариант

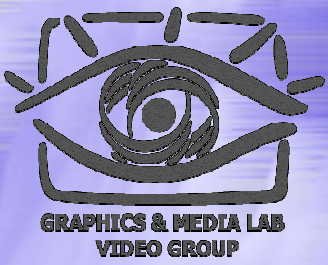
GRAPHICS & MEDIA LAB
VIDEO GROUP

```
Initialization(...);
do {
   byte = ImageFile.ReadNextByte();
   counter = Low7bits(byte)+1;
   if(если признак повтора(byte)) {
        value = ImageFile.ReadNextByte();
        for (i=1 to counter)
               CompressedFile.WriteByte(value)
   }
   else {
        for(i=1 to counter){
               value = ImageFile.ReadNextByte();
               CompressedFile.WriteByte(value)
   }
   CompressedFile.WriteByte(byte)
} while(ImageFile.EOF());
```

RLE – Схемы вариантов



RLE – Характеристики



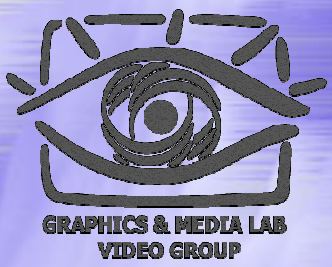
Коэффициенты компрессии: Первый вариант: 32, 2, 0,5. Второй вариант: 64, 3, 128/129. (Лучший, средний, худший коэффициенты)

Класс изображений: Ориентирован алгоритм на изображения с небольшим количеством цветов: деловую и научную графику.

Симметричность: Примерно единица.

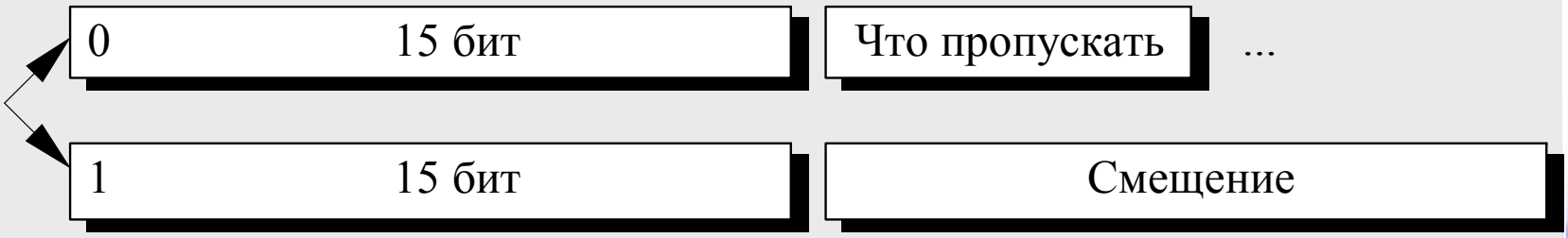
Характерные особенности: К положительным сторонам алгоритма, пожалуй, можно отнести только то, что он не требует дополнительной памяти при архивации и разархивации, а также быстро работает. Интересная особенность группового кодирования состоит в том, что степень архивации для некоторых изображений может быть существенно повышена всего лишь за счет изменения порядка цветов в палитре изображения.

Алгоритм LZW

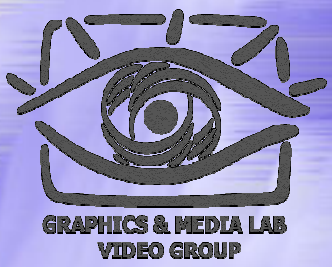


Название алгоритм получил по первым буквам фамилий его разработчиков — Lempel, Ziv и Welch. Сжатие в нем, в отличие от RLE, осуществляется уже за счет **одинаковых цепочек** байт.

Схема алгоритма LZ



LZW / Сжатие




```
InitTable();
CompressedFile.WriteCode(ClearCode);
CurStr=пустая строка;

while(не ImageFile.EOF()){              //Пока не конец файла
        C=ImageFile.ReadNextByte();
        if(CurStr+C есть в таблице)
        CurStr=CurStr+C;                //Приклеить символ к строке
   else {
        code=CodeForString(CurStr);     //code-не байт!
        CompressedFile.WriteCode(code);
        AddStringToTable (CurStr+C);
        CurStr=C;                       // Строка из одного символа
   }
}
code=CodeForString(CurStr);
CompressedFile.WriteCode(code);
CompressedFile.WriteCode(CodeEndOfInformation);
```

LZW / Пример

Пусть мы сжимаем последовательность 45, 55, 55, 151, 55, 55, 55.

“45” — есть в таблице;

“45, 55” — нет. Добавляем в таблицу <258>“45, 55”. В поток: <45>;

“55, 55” — нет. В таблицу: <259>“55, 55”. В поток: <55>;

“55, 151” — нет. В таблицу: <260>“55, 151”. В поток: <55>;

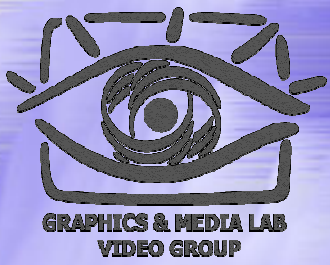
“151, 55” — нет. В таблицу: <261>“151, 55”. В поток: <151>;

“55, 55” — есть в таблице;

“55, 55, 55” — нет. В таблицу: “55, 55, 55” <262>. В поток: <259>;

Последовательность кодов для данного примера, попадающих в выходной поток: <256>, <45>, <55>, <55>, <151>, <259>.

LZW / Добавление строк



Код этой строки добавляется в таблицу

$C_n, C_{n+1}, C_{n+2}, C_{n+3}, C_{n+4}, C_{n+5}, C_{n+6}, C_{n+7}, C_{n+8}, C_{n+9},$

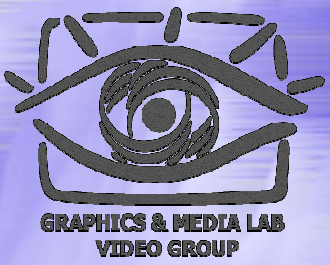
Коды этих строк идут в выходной поток

Таблица для LZW

0	‘0’
…	…
255	‘255’
256	ClearTable
257	EndOfInformation
258	
259	
…	
4095	

- Таблица состоит из 4096 строк.
- 256 и 257 являются служебными.
- 258 … 4095 содержат непосредственно сжимаемую информацию.

Пример – цепочка нулей



0	‘0’
…	…
255	‘255’
256	ClearTable
257	EndOfInformation
258	‘00’
259	‘000’
…	
4095	

Кол-во считываемых байт:

1 2 3

Общее число считанных байт:

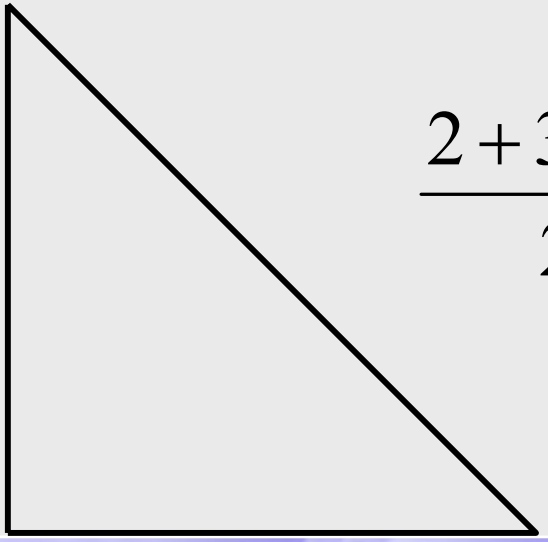
1 3 6

Информация заносится в стр.:

- 258 259

Степень сжатия цепочки нулей

0
..
255
256
257
258
259
..
4095

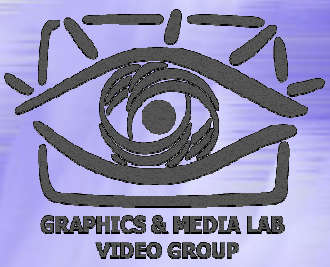


Рассчитываем арифметическую прогрессию:

$$Sn = \frac{a1 + an}{2} * n$$

$$\frac{2 + 3839}{2} * 3839 = 7372799$$

Наихудший случай



0	‘0’
…	…
255	‘255’
256	ClearTable
257	EndOfInformation
258	’21’
259	’13’
…	
4095	

Последовательность : 121314151617…

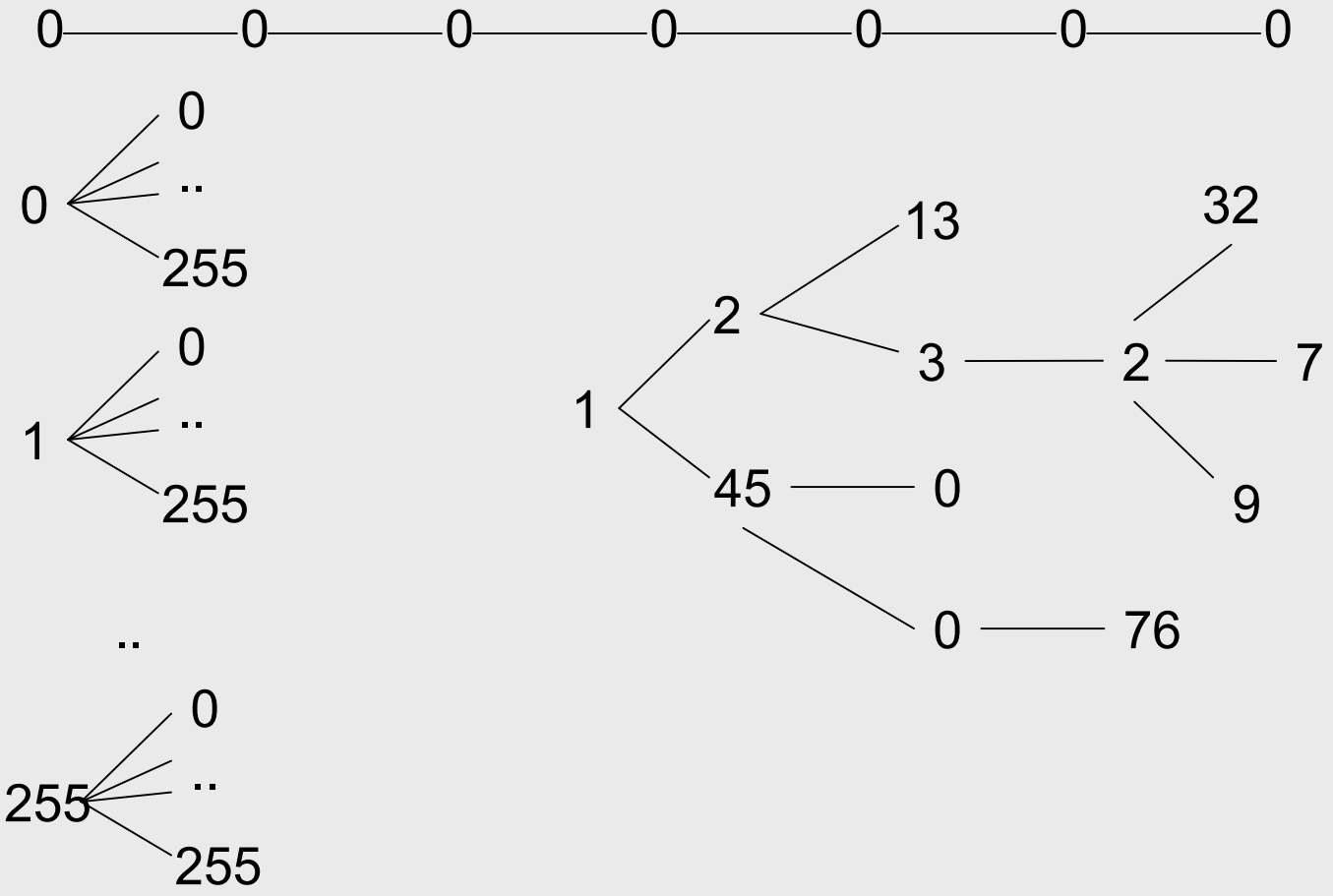
Мы видим, что у нас нет одинаковых цепочек даже из 2 символов => сжатия не происходит.

Степень сжатия наихудшего случая

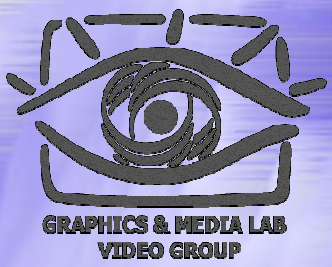
0	‘0’
…	…
255	‘255’
256	ClearTable
257	EndOfInformation
258	’21’
259	’13’
…	
4095	

- Происходит увеличение файла в 1.5 раза. Т.к. мы ни разу не встретили подстроку, которая уже есть в таблице.

Таблица дерево



Пример



Последовательность: 45, 55, 55, 151, 55, 55, 55.
“45” – есть в таблице;
“45, 55” – нет. В таблицу: <258>”45, 55”. В поток:<45>
“55, 55” – нет. В таблицу: <259>”55, 55”. В поток:<55>
“55, 151” – нет. В таблицу: <260>”55, 151”. В поток:<55>
“151, 55” – нет. В таблицу: <261>”151, 55”. В поток:<151>
“55, 55” – Есть в таблице;
“55, 55, 55” – нет. В таблицу: <262>”55, 55, 55”. В поток:<295>

Итого в потоке: <256>,<45>,<55>,<55>,<151>,<259>.

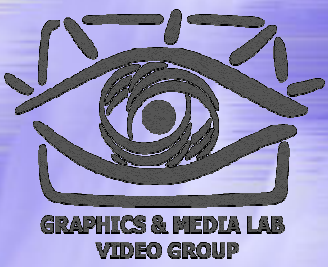
Пример

0	‘0’
…	…
255	‘255’
256	ClearTable
257	EndOfInformation
258	’45, 55’
259	’55, 55’
260	’55, 151’
261	‘151, 55’
262	’55, 55, 55’

Последовательность:
45, 55, 55, 151, 55, 55, 55.

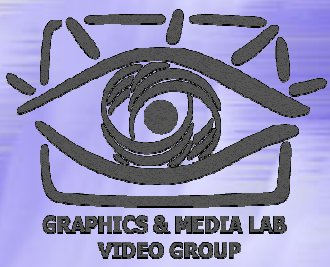
Итого в потоке:
<256>,<45>,<55>,<55>,
<151>,<259>.

LZW / Декомпрессия



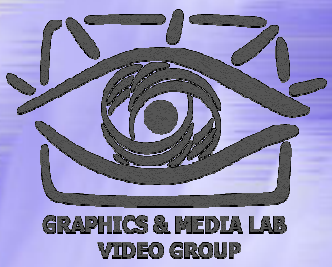

```
code=File.ReadCode();
while(code != CodeEndOfInformation){
    if(code = ClearCode) {
          InitTable();
          code=File.ReadCode();
          if(code = CodeEndOfInformation)
                              {закончить работу};
          ImageFile.WriteString(StrFromTable(code));
          old_code=code;
    }
    else {
          if(InTable(code)) {
                    ImageFile.WriteString(FromTable(code));
                    AddStringToTable(StrFromTable(old_code)+
                              FirstChar(StrFromTable(code)));
                    old_code=code;
          }
          else {
                    OutString= StrFromTable(old_code)+
                       FirstChar(StrFromTable(old_code));
                    ImageFile.WriteString(OutString);
                    AddStringToTable(OutString);
                    old_code=code;
          }
    }
}
```

LZW / Характеристики



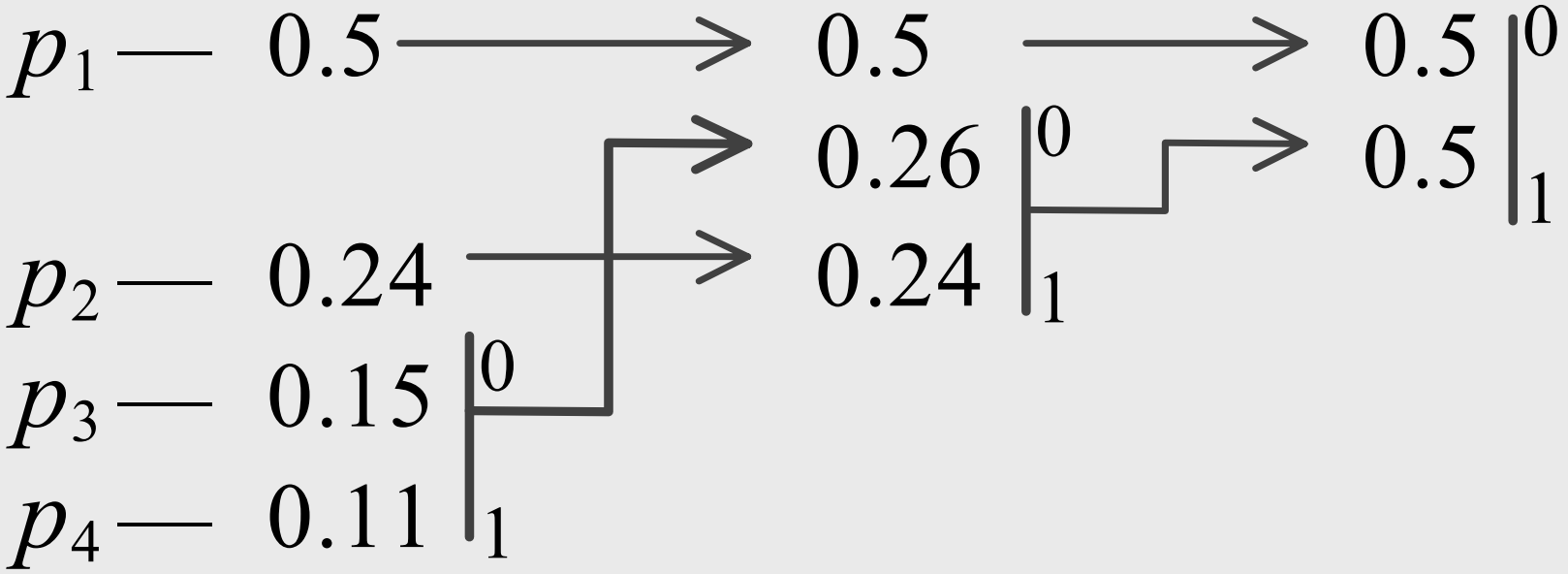
- **Коэффициенты компрессии:** Примерно 1000, 4, 5/7 (Лучший, средний, худший коэффициенты). Сжатие в 1000 раз достигается только на одноцветных изображениях размером кратным примерно 7 Мб.
- **Класс изображений:** Ориентирован LZW на 8-битные изображения, построенные на компьютере. Сжимает за счет одинаковых подцепочек в потоке.
- **Симметричность:** Почти симметричен, при условии оптимальной реализации операции поиска строки в таблице.

Алгоритм Хаффмана

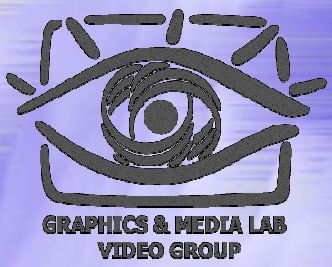


Использует только частоту появления одинаковых байт в изображении. Сопоставляет символам входного потока, которые встречаются большее число раз, цепочку бит меньшей длины. И, напротив, встречающимся редко — цепочку большей длины. Для сбора статистики требует двух проходов по изображению.

Алгоритм Хаффмана-2

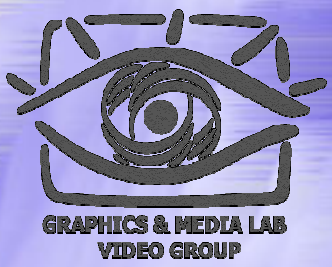


Алгоритм Хаффмана-3



- **Коэффициенты компрессии:** 8, 1,5, 1 (Лучший, средний, худший коэффициенты).
- **Класс изображений:** Практически не применяется к изображениям в чистом виде. Обычно используется как один из этапов компрессии в более сложных схемах.
- **Симметричность:** 2 (за счет того, что требует двух проходов по массиву сжимаемых данных).
- **Характерные особенности:** Единственный алгоритм, который не увеличивает размера исходных данных в худшем случае (если не считать необходимости хранить таблицу перекодировки вместе с файлом).

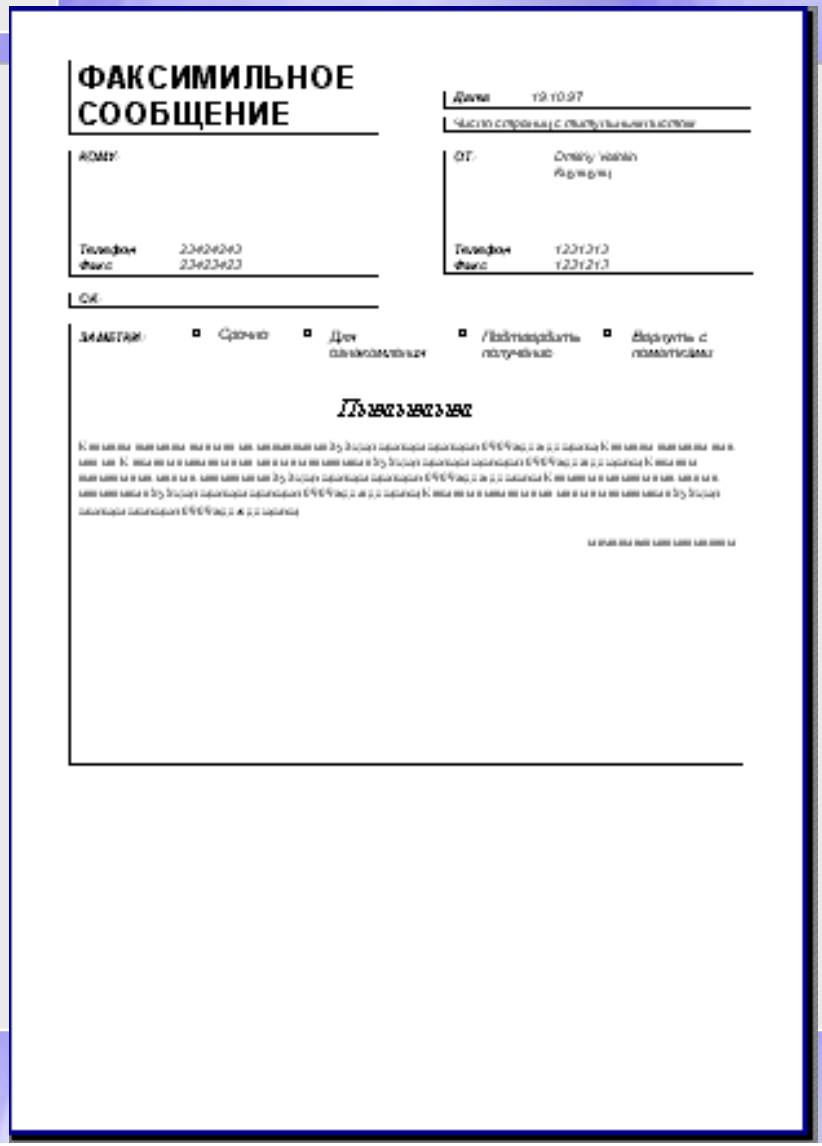
CCITT Group 3



Последовательности подряд идущих черных и белых точек в нем заменяются числом, равным их количеству. А этот ряд, уже в свою очередь, сжимается по Хаффману с фиксированной таблицей.

Примеры факсов

GRAPHICS & MEDIA LAB
VIDEO GROUP



ФАКСИМИЛЬНОЕ СООБЩЕНИЕ

Дата 19.10.97

Число страниц с отправительным листом

КОМУ:

Телефон 23423423
Факс 23423423

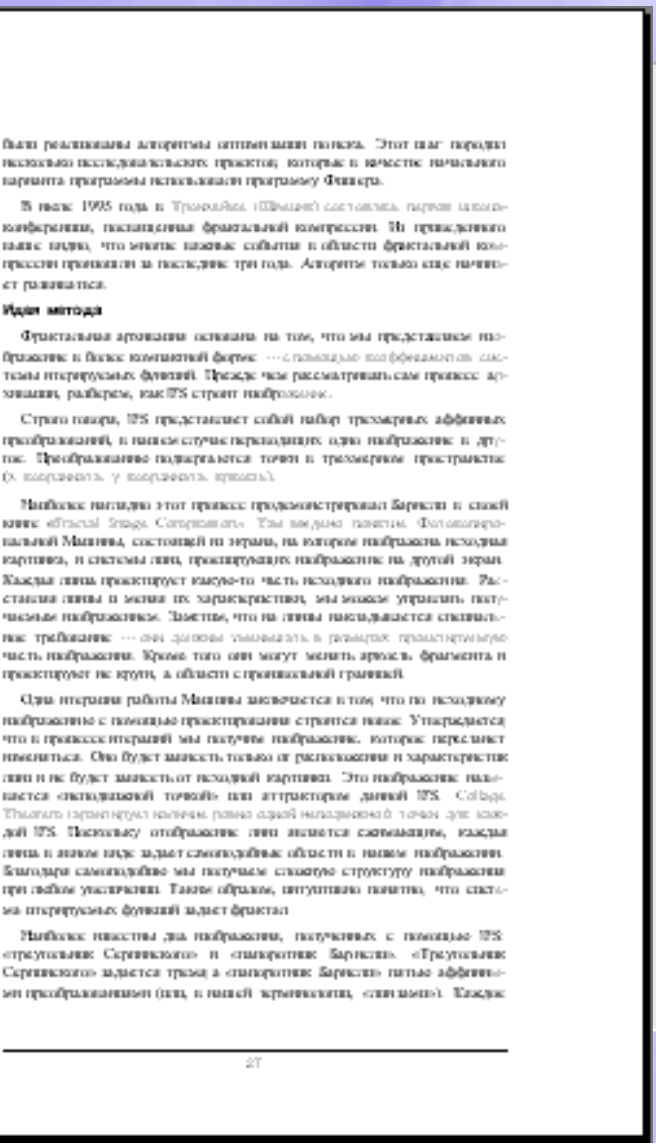
ОТ: Dmitriy Vatolin
Аркадий

Телефон 123123123
Факс 123123123

ОК

ЗАМЕТКИ: ▫ Срочно ▫ Для ознакомления ▫ Необходимо ответить ▫ Вернуть с комментариями

Показания



были реализованы алгоритмы оптимизации поиска. Этот шаг породил несколько последовательских проектов, которые в качестве начального варианта программы использовали программу Фишера.

В июле 1995 года в Трондхейм (Швеция) состоялась первая школа-конференция, посвященная фрактальной компрессии. Не преувеличивая можно сказать, что многие важные события в области фрактальной компрессии произошли за последние три года. Алгоритм только еще начинает развиваться.

Идея метода

Фрактальная архивация основана на том, что мы представляем изображение в виде комплектной фирмы ···с помощью коэффициентов системы итерируемых функций. Прежде чем рассматривать сам процесс архивации, разберем, как IFS строит изображение.

Строго говоря, IFS представляет собой набор трехмерных аффинных преобразований, в каждом случае переводящих одно изображение в другое. Преобразование подчиняется точно в трехмерном пространстве (x, координата y координата яркость).

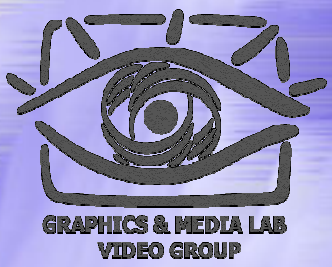
Наиболее наглядно этот процесс продемонстрировал Барнсли в своей книге «Fractal Image Compression». Ты видишь полотно. Фотокопировальной Машины, состоящей из экрана, на котором изображена исходная картинка, и системы линз, проецирующих изображение на другой экран. Каждая линза проецирует какую-то часть исходного изображения. Расставляя линзы и меняя их характеристики, мы можем управлять получаемым изображением. Заметим, что на линзы накладывается специальное требование: ··· они должны уменьшать в размерах проецируемую часть изображения. Кроме того они могут менять яркость фрагмента и проецируют не круг, а область с прямыми границей.

Одна итерация работы Машины заключается в том, что по исходному изображению с помощью проектирования строится новое. Утверждается что в процессе итераций мы получим изображение, которое перестанет изменяться. Оно будет зависеть только от расположения и характеристик линз и не будет зависеть от исходной картинки. Это изображение называется «неподвижной точкой» или аттрактором данной IFS. Сейчас. Теорема гарантирует наличие ровно одной неподвижной точки для каждой IFS. Поскольку отображение линз является сжимающим, каждая линза в своем виде задает самоподобные области в нашем изображении. Благодаря самоподобию мы получаем сложную структуру изображения при любом увеличении. Таким образом, интуитивно понятно, что система итерируемых функций задает фрактал.

Наиболее известны два изображения, получаемых с помощью IFS: «треугольник Серпинского» и «папоротник Барнсли». «Треугольник Серпинского» задается тремя а «папоротник Барнсли» пятью аффинными преобразованиями (для в нижней картинки, «списано»). Каждое

27

Алгоритм CCITT G3

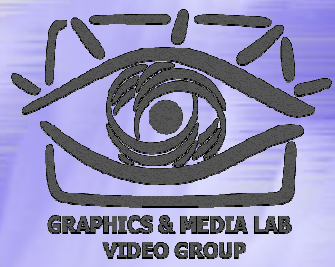


- Последовательности подряд идущих черных и белых точек заменяются числом, равным их количеству.
- Этот ряд сжимается по Хаффману с фиксированной таблицей.
- Каждая строка сжимается независимо, если строка начинается с черной точки, то считаем, что она начинается белой серией длиной 0.Например, последовательность длин серий 0, 3, 556,10,.. означает, что в строке идут сначала 3 черных, 556 белых, 10 черных точек и т.д.

Алгоритм компрессии:

```
For (по всем строкам изображения) {
    Преобразуем строку в набор длин серий;
    for (по всем сериям) {
        if (серия белая) {
            L = длина серии;
            while (L > 2623) { // 2623 = 2560 + 63
                   L -= 2560; Записать белый код для (2560);
                  }
            if (L > 63) {
                  L2 = МаксимальныйСостКодМеньшеL(L);
                  L -= L2; Записать белый код для (L2)
            };
            ЗаписатьБелыйКодДля(L); // код завершения
        } else  {
          // аналогично для черных серий
         ...}
```

Пример работы алгоритма



В терминах регулярных выражений для каждой строки изображения выходной битовый поток вида:

((<Б-2560>)*[<Б-сст.>]<Б-зв>(<Ч-2560>)*[<Ч-сст>]<Ч-зв>)+[(<Б-2560>)*[<Б-сст.>]<Б-зв.>],где:

()* - повтор 0 или более раз, ()+ - повтор 1 или более раз, [] – включение 1 или 0 раз.

Для примера 0, 3, 556, 10,… ,будет сформирован

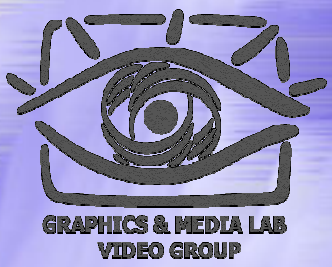
код: <Б-0><Ч-3><Б-512><Б-44><Ч-10> или

Согласно таблице:

00110101 10011001 01001011 010000100

Для приведенной строки в 569 бит полусен код длиной в 33 бита, т.е. Коэфф сжатия – 17 раз

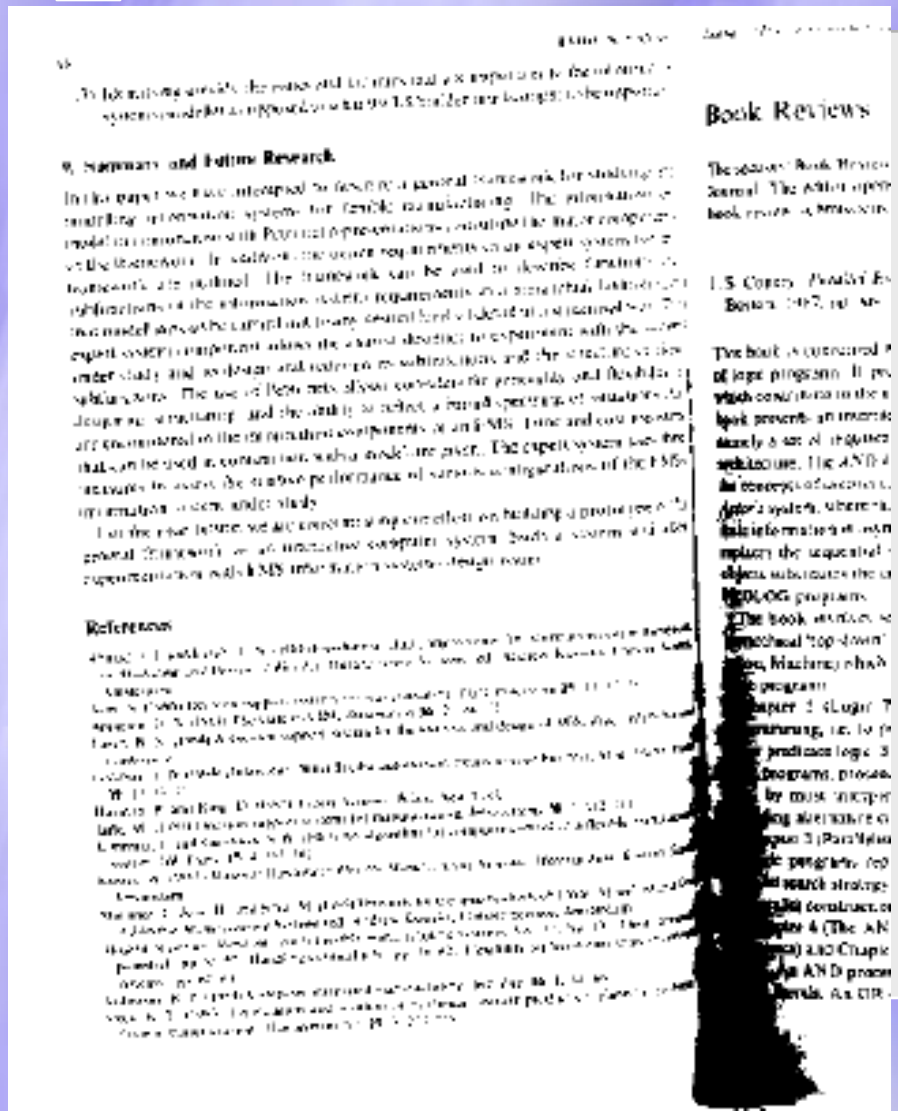
Таблица кодов завершения



Длина серии	Код белой подстроки	Код черной подстроки строки
0	00110101	0000110111
1	00111	010
2	0111	11
3	1000	10
4	1011	011
5	1100	0011
6	1110	0010
7	1111	00011

Проблемы при сжатии

GRAPHICS & MEDIA LAB
VIDEO GROUP



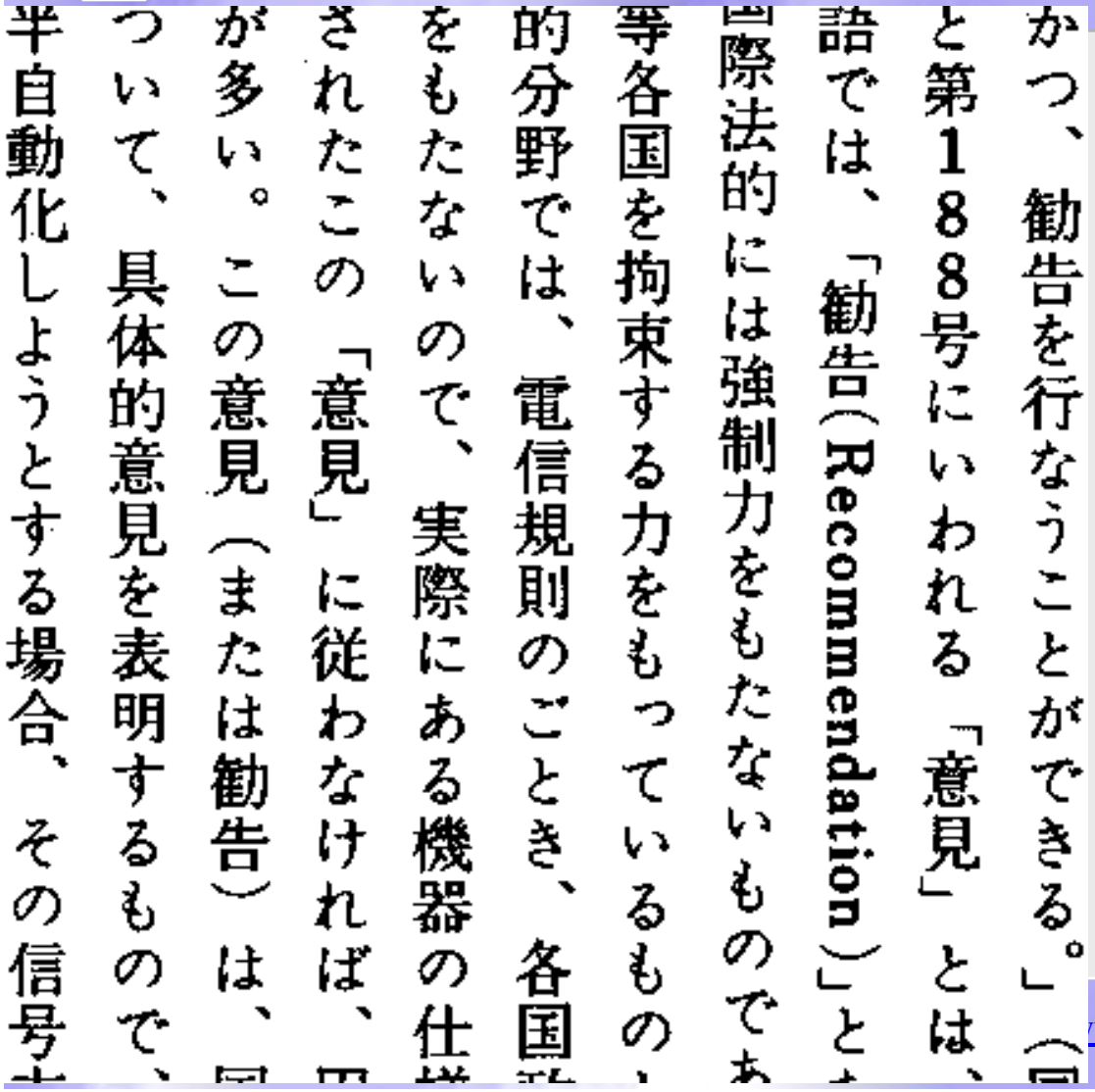
Book Reviews

9. Summary and Future Research

References

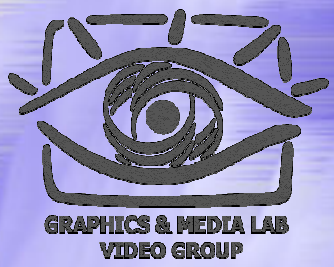
Пример, когда часть страницы идет под косым углом + разворот книги темный

Проблемы при сжатии


かつ、勧告を行なうことができる。」（同
と第188号にいわれる「意見」とは、
語では、「勧告（Recommendation）」と
国際法的には強制力をもたないものであ
等各国を拘束する力をもっているもの
的分野では、電信規則のごとき、各国政
をもたないので、実際にある機器の仕様
されたこの「意見」に従わなければ、
が多い。この意見（または勧告）は、
ついて、具体的意見を表明するもので、
半自動化しようとする場合、その信号

Пример факса (часть текста рекомендаций стандарта CCITT) на японском (?) языке.

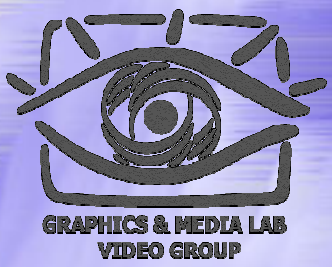
CCITT Group 3 / Характеристики



- **Коэффициенты компрессии:** лучший коэффициент стремится в пределе к 213.(3), средний 2, в худшем случае увеличивает файл в 5 раз.
- **Класс изображений:** Двуцветные черно-белые изображения, в которых преобладают большие пространства, заполненные белым цветом.
- **Симметричность:** Близка к 1.
- **Характерные особенности:** Данный алгоритм чрезвычайно прост в реализации, быстр и может быть легко реализован аппаратно.

Сжатие изображений с потерями

Качество изображений



Не существует метода оценки качества изображения, полностью адекватного человеческому восприятию

PSNR

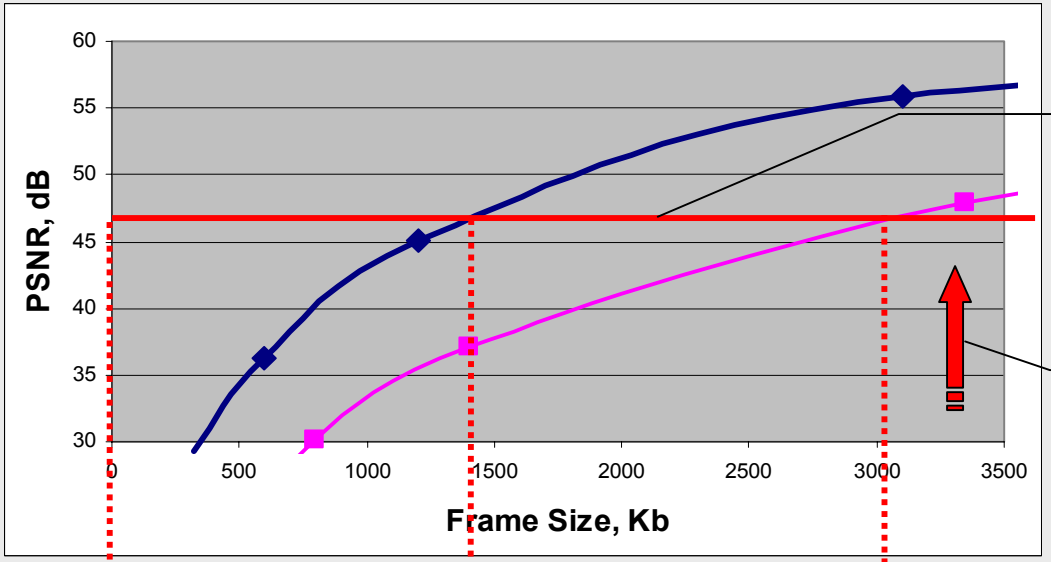
GRAPHICS & MEDIA LAB
VIDEO GROUP

Базовые метрики –
Y-PSNR, U-PSNR, V-PSNR

$$d(x,y) = 10 \cdot \log_{10} \frac{255^2 \cdot n^2}{\sum_{i=1,j=1}^{n,n} \left(x_{ij} - y_{ij}\right)^2}$$

Хорошо работают только на высоком качестве.

Как интерпретировать PSNR



Линия одинакового качества

Чем выше, тем лучше

Разные размеры кадров для разных алгоритмов

Преимущество для синей линии

Тестовое изображение «Барбара»

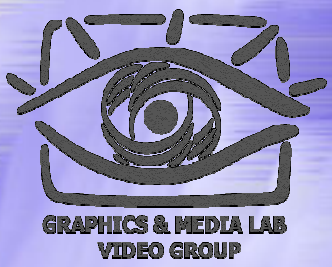
GRAPHICS & MEDIA LAB
VIDEO GROUP

Много полосок (высоких частот) в разных направлениях и разной толщины

Тестовое изображение «Boat»

Много тонких деталей и наклонных границ в разном направлении

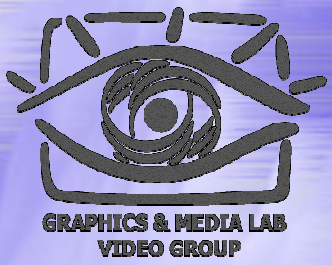
Задача тестовых наборов



Основные задачи тестовых наборов

- Обеспечить единую базу сравнения разных алгоритмов (в статьях и т.п.)
- Обеспечить выявление разных типов артефактов в алгоритмах

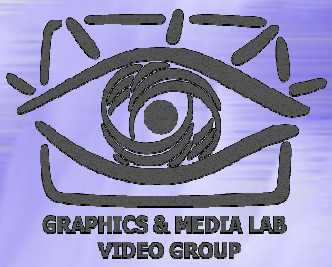
Алгоритм JPEG



Алгоритм разработан в 1991 году группой экспертов в области фотографии (JPEG — Joint Photographic Expert Group — подразделение в рамках ISO) специально для сжатия 24-битных изображений.

Алгоритм основан на дискретном косинусном преобразовании (в дальнейшем ДКП), применяемом к матрице изображения для получения некоторой новой матрицы коэффициентов.

Алгоритм JPEG / RGB в YUV

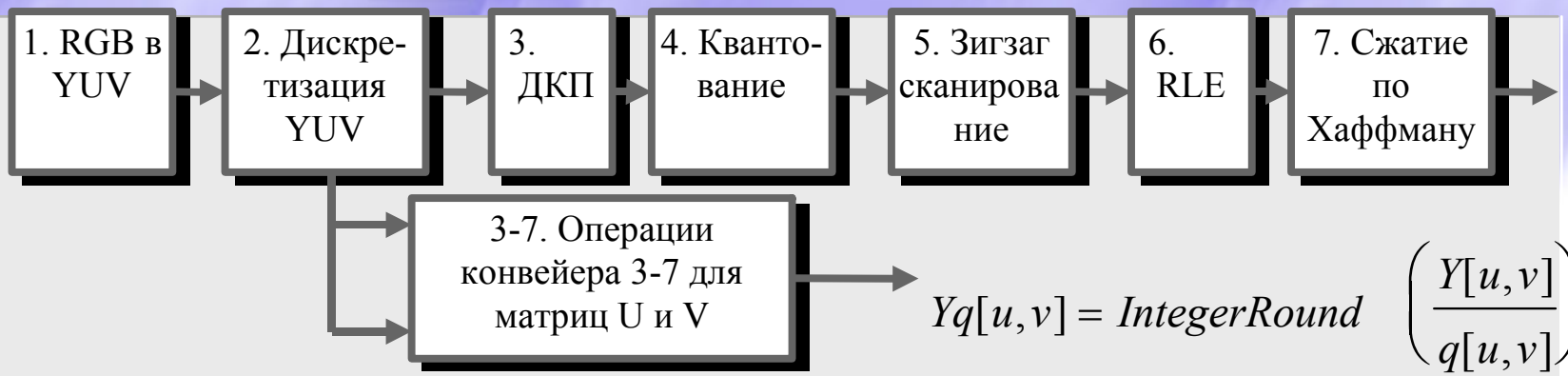


Изначально при сжатии изображение переводится в цветовое пространство YUV. Упрощенно перевод можно представить с помощью матрицы перехода:

$$\begin{vmatrix} Y \\ U \\ V \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ 0.5 & -0.4187 & -0.0813 \\ 0.1687 & -0.3313 & 0.5 \end{vmatrix} * \begin{vmatrix} R \\ G \\ B \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 0 \\ 128 \\ 128 \end{vmatrix}$$

$$\begin{vmatrix} R \\ G \\ B \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 1.402 \\ 1 & -0.34414 & -0.71414 \\ 1 & 1.772 & 0 \end{vmatrix} * \left(\begin{vmatrix} Y \\ U \\ V \end{vmatrix} - \begin{vmatrix} 0 \\ 128 \\ 128 \end{vmatrix} \right)$$

Алгоритм JPEG

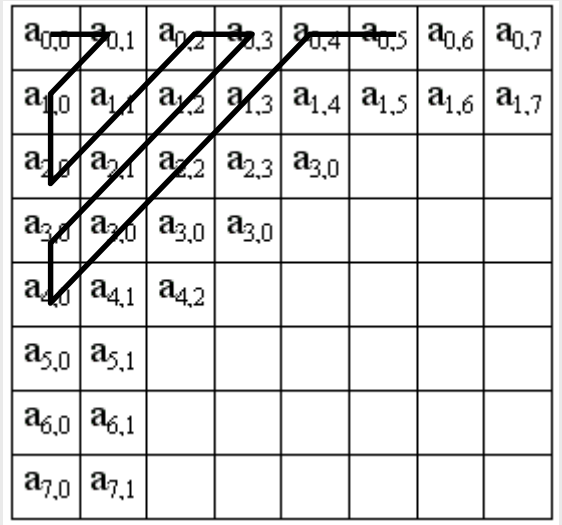


$$Yq[u,v] = IntegerRound\left(\frac{Y[u,v]}{q[u,v]}\right)$$

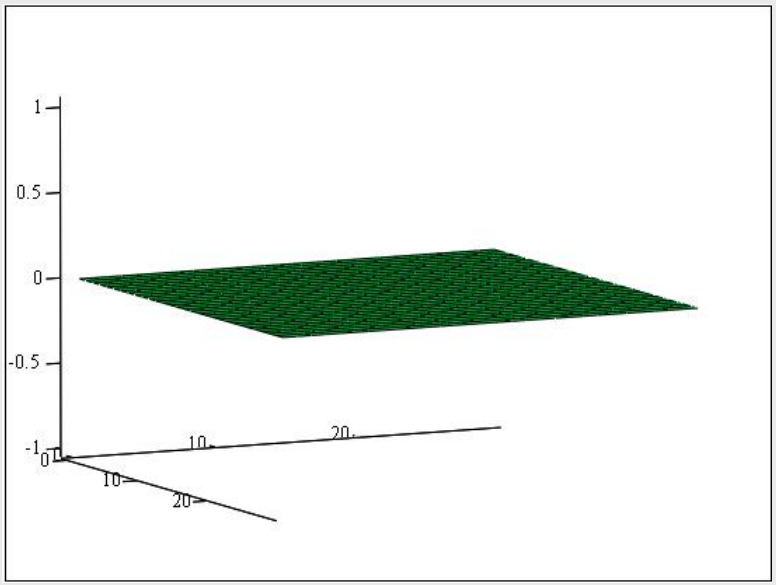
$$Y[u,v] = \frac{1}{4}\sum_{i=0}^{n-1}\sum_{j=0}^{n-1} C(i,u)\times C(j,v)\times y[i,j]$$

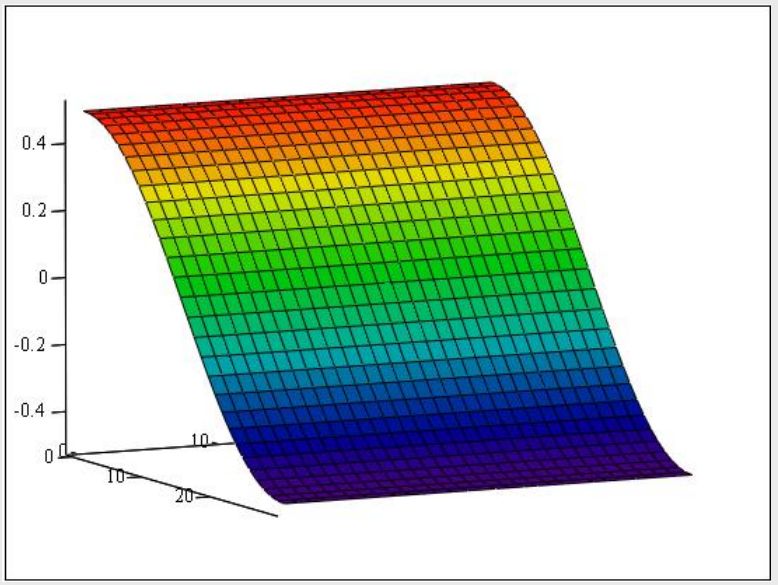
где $$C(i,u) = A(u)\times \cos\left(\frac{(2\times i+1)\times u\times \pi}{2\cdot n}\right)$$

$$A(u) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2}}, & \text{for } u \equiv 0 \\ 1, & \text{for } u \neq 0 \end{cases}$$



Алгоритм JPEG / Примеры DCT

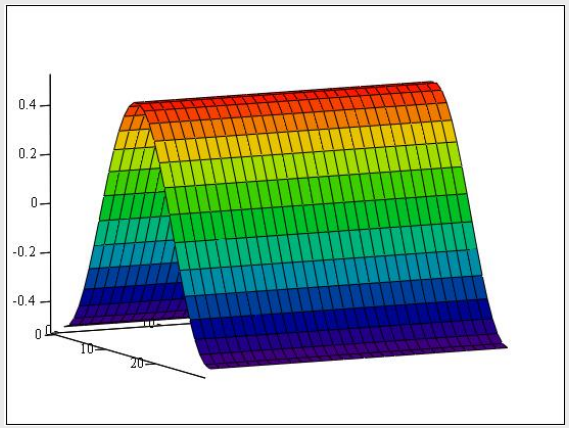


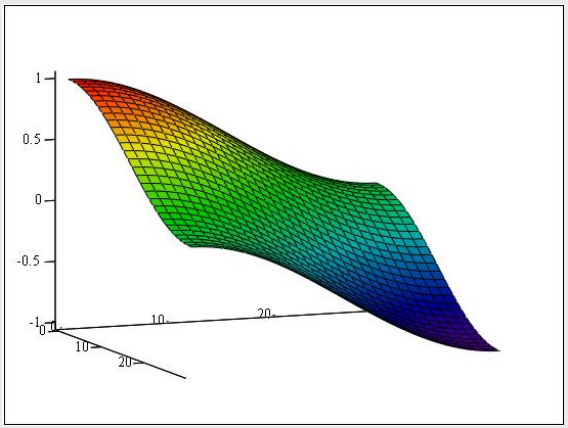


$$f(x,y) := \frac{0}{2}$$

$$f(x,y) := \frac{-\cos(x)}{2}$$

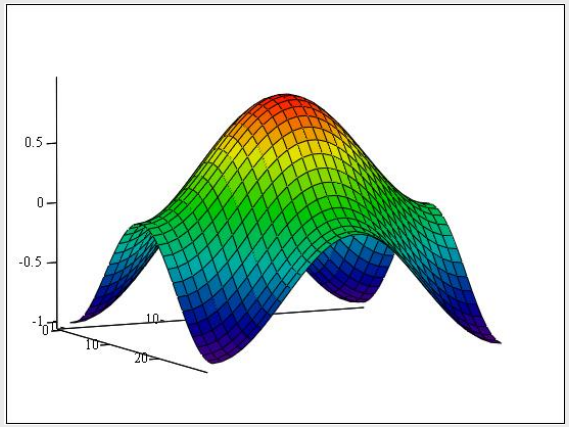
Алгоритм JPEG / Примеры DCT

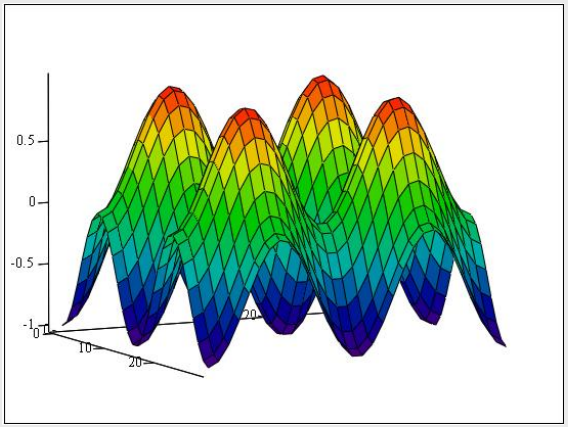




$$f(x,y) := \frac{-\cos(2x)}{2}$$

$$f(x,y) := \frac{-\cos(y) - \cos(x)}{2}$$

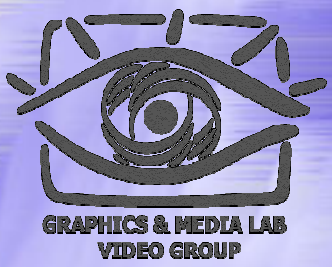




$$f(x,y) := \frac{-\cos(2y) - \cos(2x)}{2}$$

$$f(x,y) := \frac{-\cos(4y) - \cos(4x)}{2}$$

Алгоритм JPEG / Характеристики



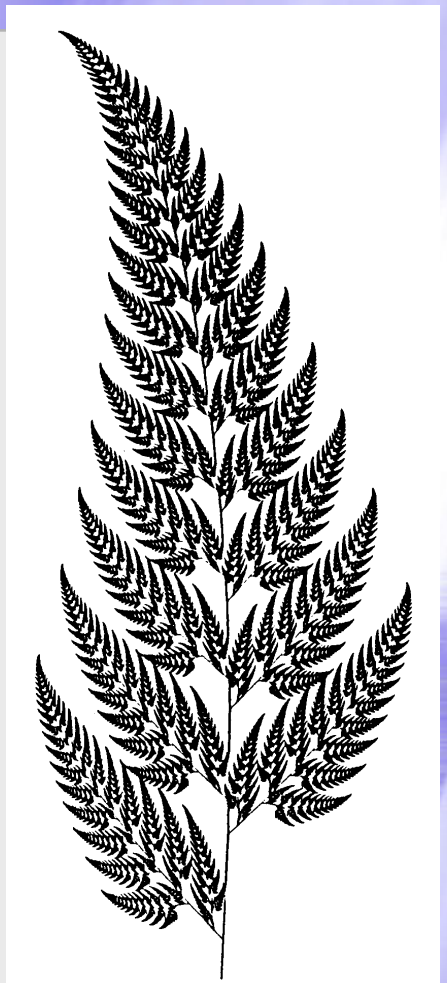
- **Коэффициенты компрессии:** 2-100 (Задается пользователем).
- **Класс изображений:** Полноцветные 24 битные изображения или изображения в градациях серого без резких переходов цветов (фотографии).
- **Симметричность:** 1
- **Характерные особенности:** В некоторых случаях, алгоритм создает “ореол” вокруг резких горизонтальных и вертикальных границ в изображении (эффект Гиббса). Кроме того, при высокой степени сжатия изображение распадается на блоки 8x8 пикселов.

Фрактальное сжатие

GRAPHICS & MEDIA LAB
VIDEO GROUP

Фрактальная компрессия — алгоритм **с потерей информации**, появившийся в 1992 году

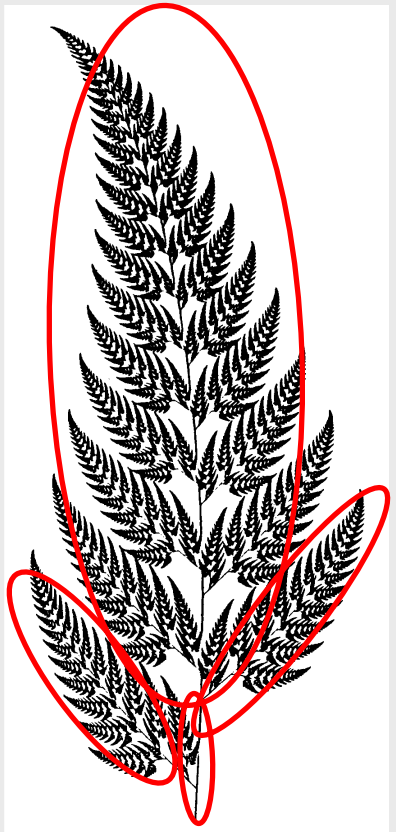
Он использует **аффинные преобразования** для построения изображений, что позволяет очень компактно задавать сложные структуры.



Пример самоподобия

Папоротник Барнсли
Состоит задается четырьмя аффинными преобразованиями

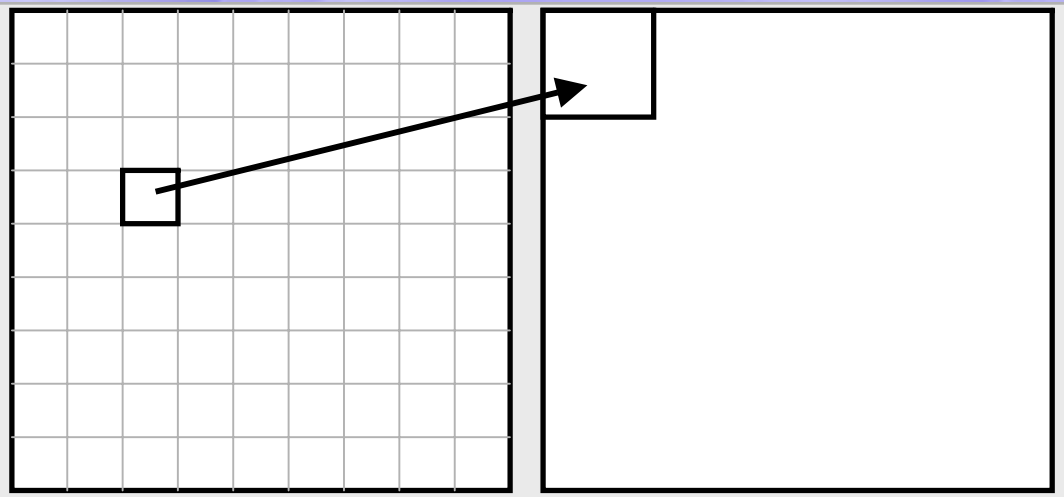
Изображение имеет четыре области, каждая из которых подобна изображению, и их объединение покрывает все изображение.
(Стебель, Листья.)



Идея фрактального алгоритма

Сжатие осуществляется за счет поиска самоподобных участков в изображении

Идея фрактального алгоритма



$$w_i(\bar{x}) = w_i \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a & b & 0 \\ c & d & 0 \\ 0 & 0 & p \end{pmatrix} \bullet \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} e \\ f \\ q \end{pmatrix}$$

Для перевода участков один в другой используется аффинное преобразование

Аффинное преобразование

Определение. Преобразование $w: R^2 \to R^2$, представимое в виде

$$w(\bar{o}) = w\begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix} \bullet \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} e \\ f \end{pmatrix}$$

где a, b, c, d, e, f действительные числа и называется двумерным аффинным преобразованием.

Определение. Преобразование $w: R^3 \to R^3$, представимое в виде

$$w(\bar{o}) = w\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a & b & t \\ c & d & u \\ r & s & p \end{pmatrix} \bullet \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} e \\ f \\ q \end{pmatrix}$$

где a, b, c, d, e, f, p, q, r, s, t, u действительные числа и называется трехмерным аффинным преобразованием.

Аттрактор и теорема о сжимающем преобразовании

Определение. Пусть $f : \mathrm{X} \to \mathrm{X}$ — преобразование в пространстве X. Точка $x_f \in \mathrm{X}$ такая, что $f(x_f) = x_f$ называется неподвижной точкой (аттрактором) преобразования.

Определение. Преобразование $f : \mathrm{X} \to \mathrm{X}$ в метрическом пространстве (X, d) называется сжимающим, если существует число s: $0 \le s < 1$, такое, что $d(f(x), f(y)) \le s \cdot d(x, y) \quad \forall x, y \in \mathrm{X}$

Теорема. (О сжимающем преобразовании)

Пусть $f : \mathrm{X} \to \mathrm{X}$ — сжимающее преобразование в полном метрическом пространстве (X, *d*). Тогда существует в точности одна неподвижная точка $x_f \in \mathrm{X}$ этого преобразования, и для любой точки $x \in \mathrm{X}$ последовательность $\{f^n(x): \quad n = 0,1,2... \}$ сходится к x_f .

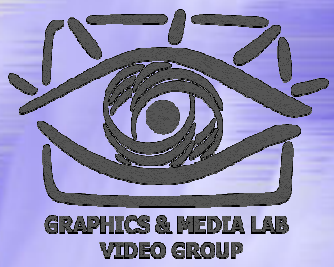
Изображение и IFS

Определение. Изображением называется функция S, определенная на единичном квадрате и принимающая значения от 0 до 1 или

$$S(x, y) \in [0...1] \qquad \forall x, y \in [0...1]$$

Определение. Конечная совокупность W сжимающих трехмерных аффинных преобразований , определенных на областях, таких, что $w_i(D_i) = R_i$ и $R_i \cap R_j = \phi \quad \forall i \neq ,j$ называется системой итерируемых функций (IFS).

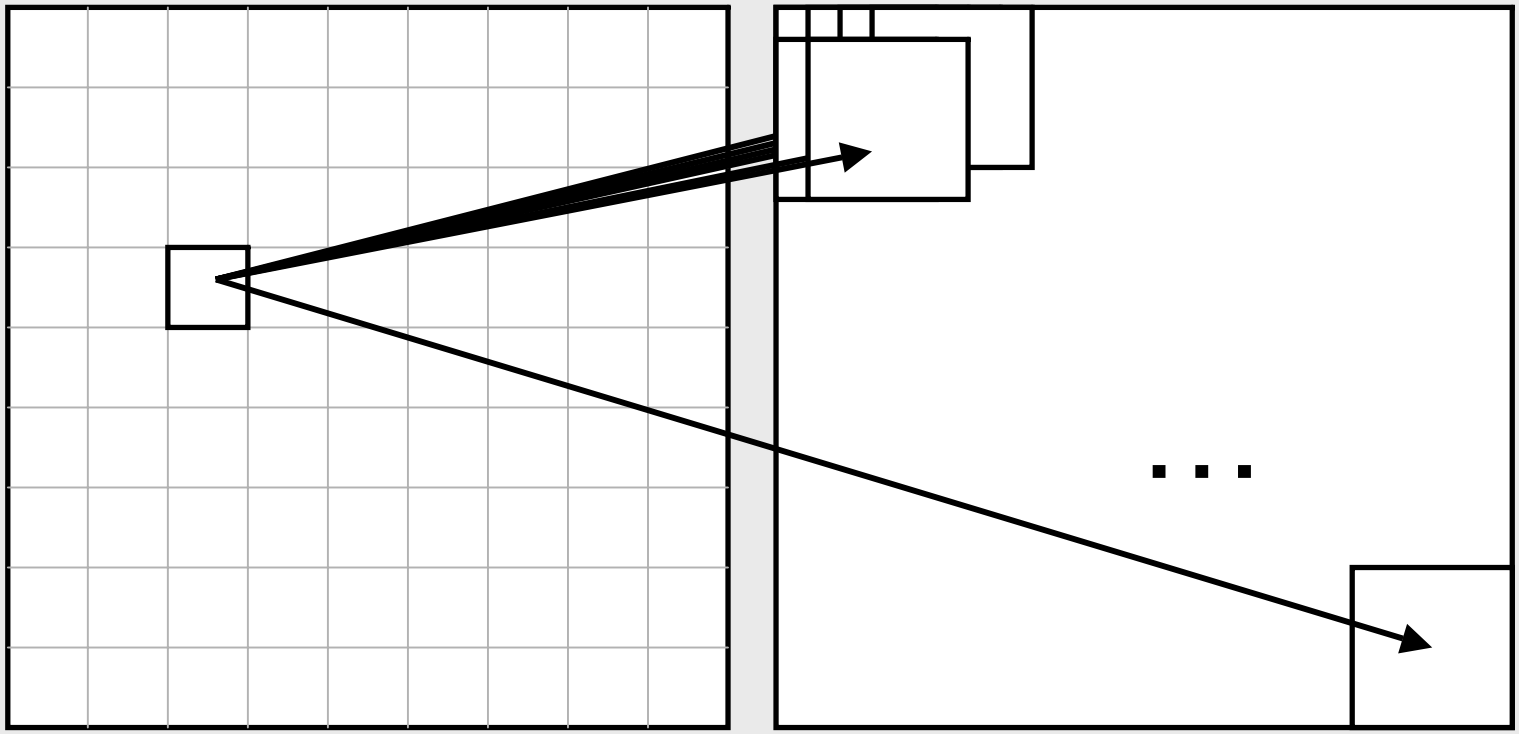
Идея фрактального алгоритма



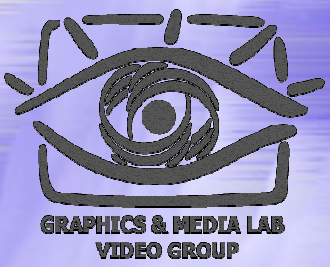
- Мы записываем в файл коэффициенты
- Если размер коэффициентов меньше размера исходного файла, мы получаем алгоритм сжатия

Существенный недостаток — большое время сжатия. Т.е. на сжатие рисунка уходят часы на мощных компьютерах.

Поиск соответствий

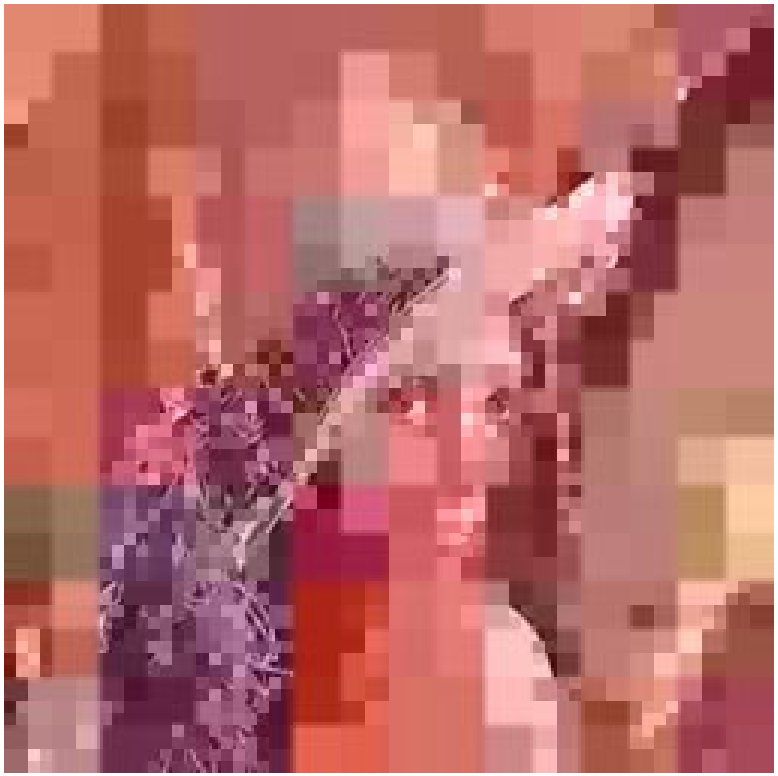


Декомпрессор



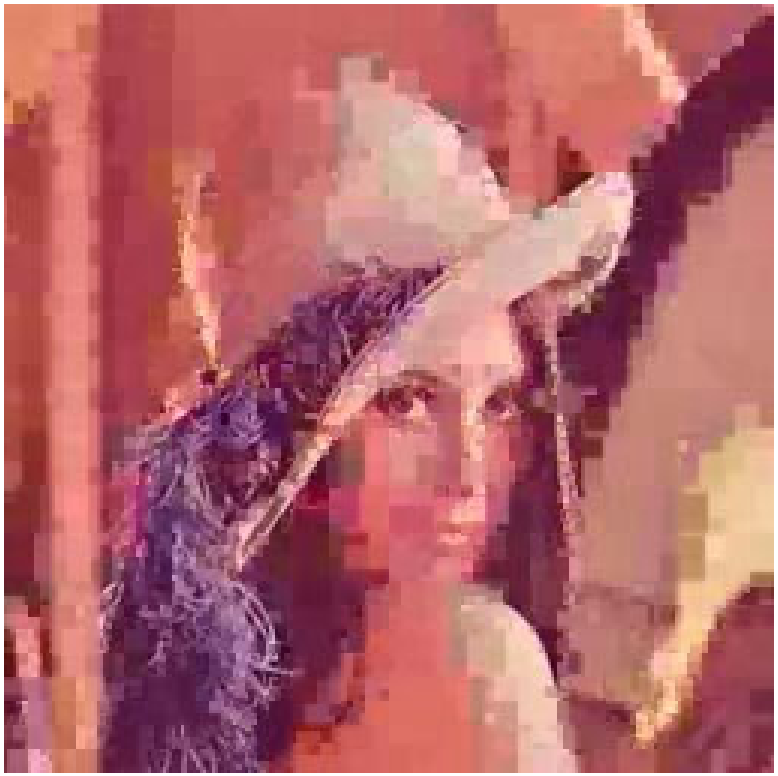

```
Читаем из файла коэффициенты всех блоков,
и создаем изображение нужного размера
(обычно черного цвета)

Until(Изображение не перестанет изменятся){
   For(every range (R)){
        D=image->CopyBlock(D_coord_for_R);
        For(every pixel(i,j) in the block{
               Rij = 0.75Dij + oR;
        } //Next pixel
   } //Next block
}//Until end
```

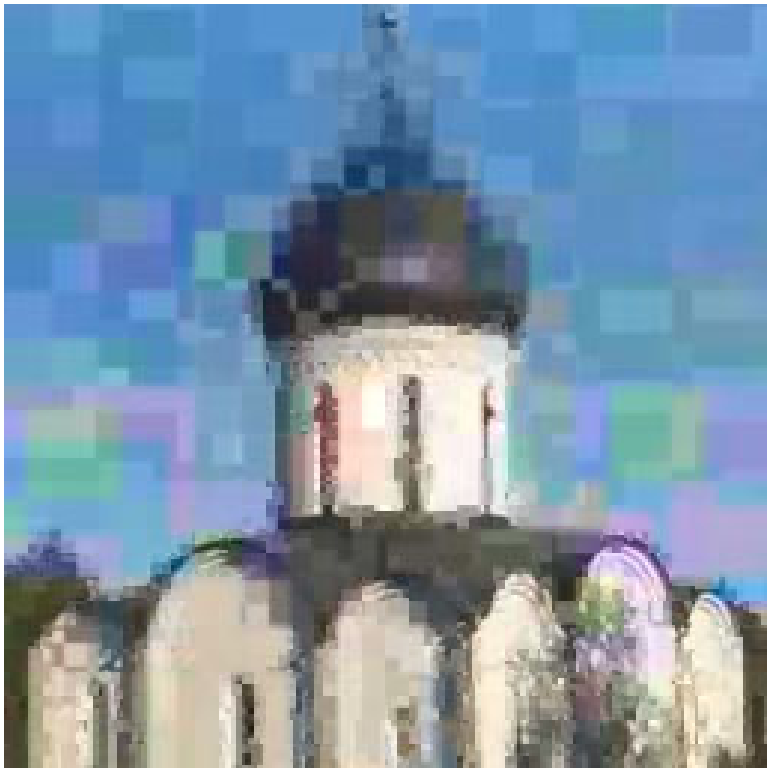
Декомпрессия: Шаг 1



Декомпрессия: Шаг 2

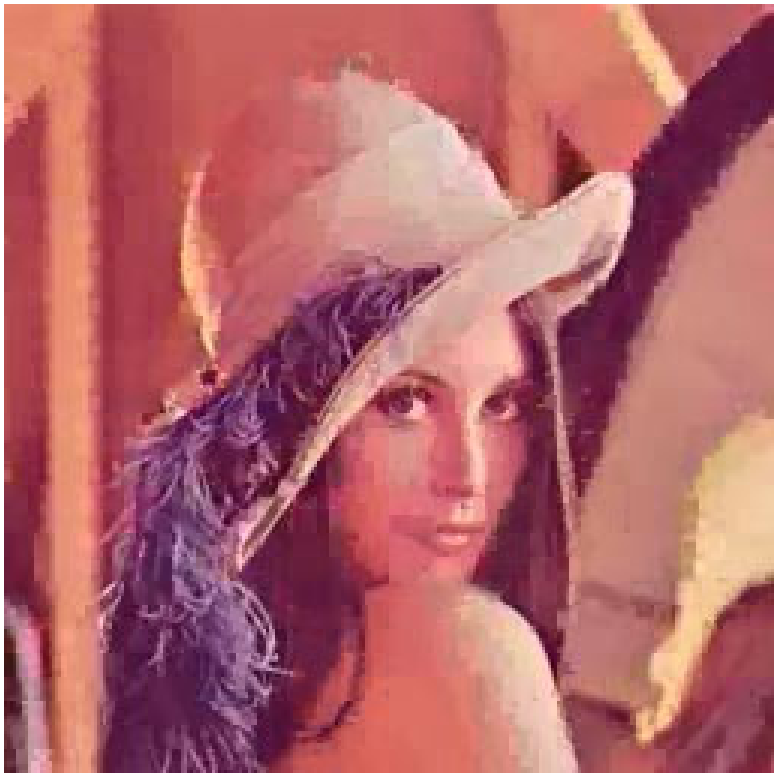
GRAPHICS & MEDIA LAB
VIDEO GROUP

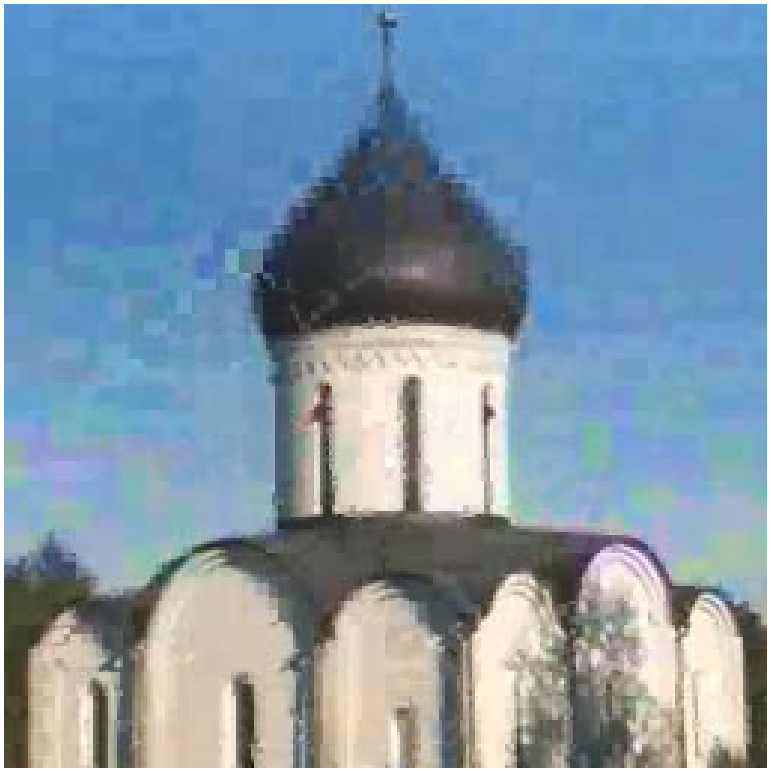




Декомпрессия: Шаг 3

GRAPHICS & MEDIA LAB
VIDEO GROUP



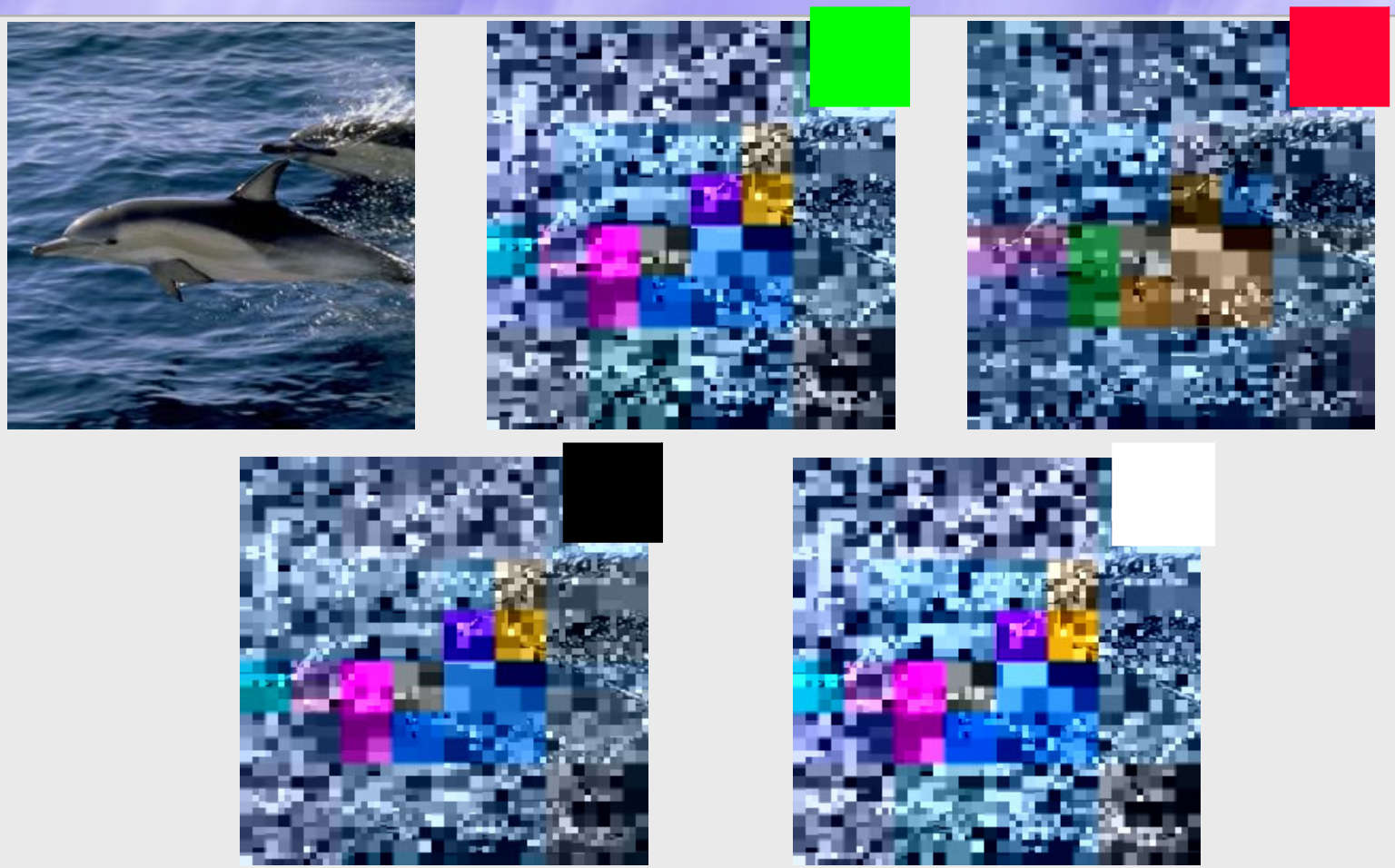


Декомпрессия: Шаг 4

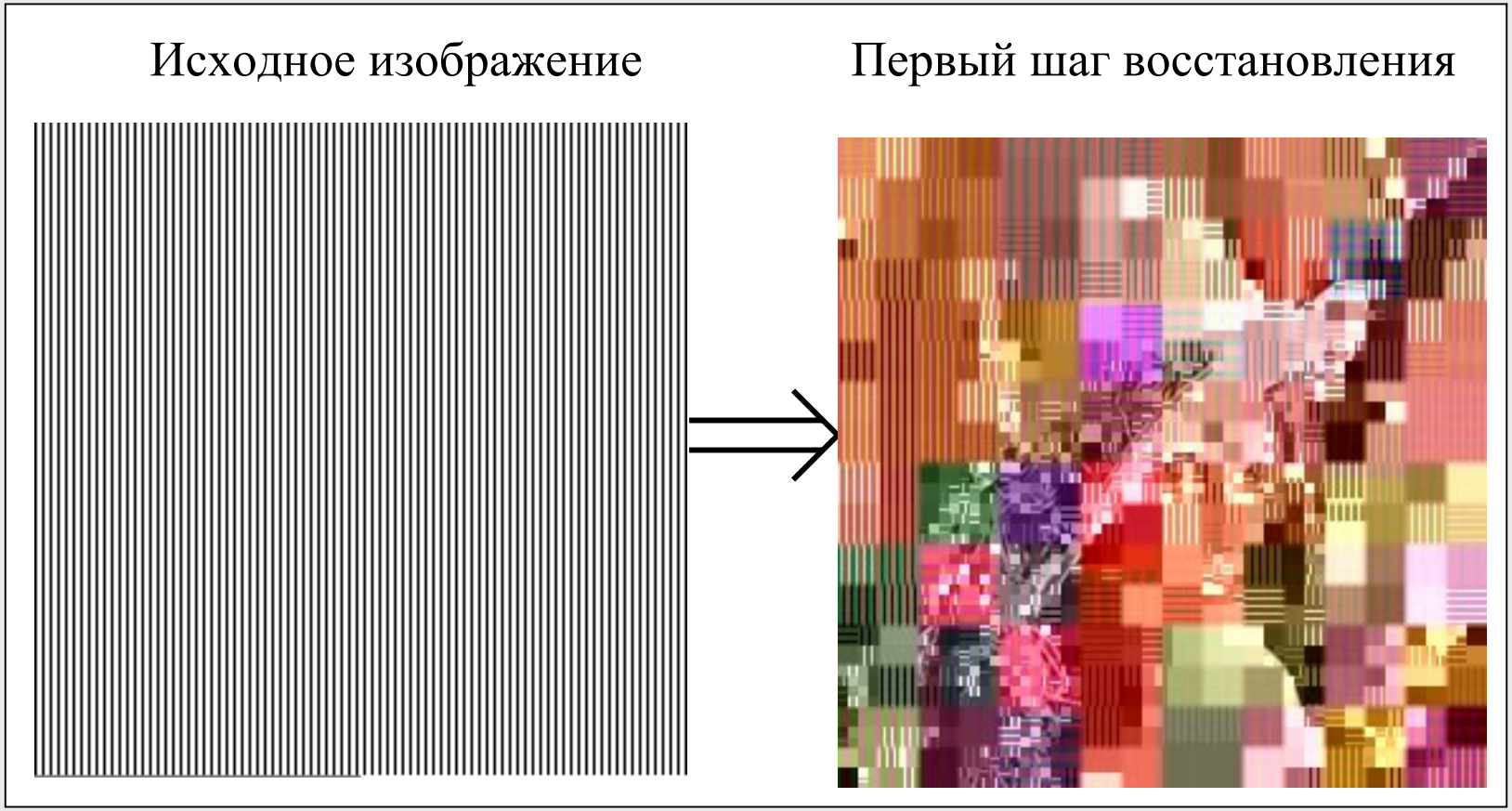
Декомпрессия: Шаг 5

GRAPHICS & MEDIA LAB
VIDEO GROUP

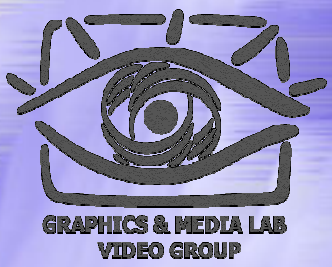
Примеры восстановления



Пример восстановления



Фрактальное сжатие / Характеристики



- **Коэффициенты компрессии:** От 2 до 100 раз.
- **Класс изображений:** 24-битные и 8-битные grayscale изображения.
- **Симметричность:** Существенно несимметричен. Коэффициент несимметричности достигает 10000.

СЖАТИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ

JPEG-2000

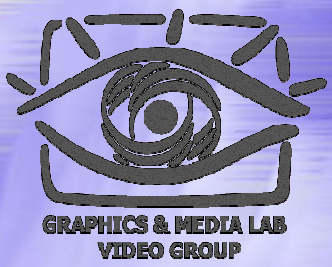
Сравнение с JPEG

JPEG 2000

GRAPHICS & MEDIA LAB
VIDEO GROUP

Алгоритм JPEG 2000 разработан той же группой экспертов в области фотографии, что и JPEG. Формирование JPEG как международного стандарта было закончено в 1992 году. В 1997 стало ясно, что необходим новый, более гибкий и мощный стандарт, который и был доработан к зиме 2000 года.

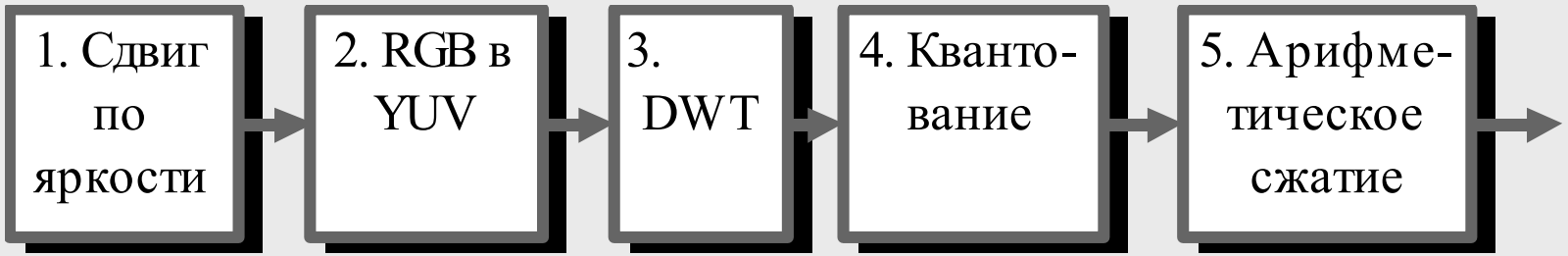
JPEG 2000 / Идея алгоритма



Базовая схема JPEG-2000 очень похожа на базовую схему JPEG. Отличия заключаются в следующем:

1) Вместо дискретного косинусного преобразования (DCT) используется дискретное вэйвлет-преобразование (DWT).
2) Вместо кодирования по Хаффману используется арифметическое сжатие.
3) В алгоритм изначально заложено управление качеством областей изображения.
4) Не используется уменьшение разрешения цветоразностных компонент U и V.
5) Кодирование с явным заданием требуемого размера на ряду с традиционным метод кодирования по качеству.
6) Поддержка сжатия без потерь. Поддержка сжатия однобитных (2-цветных) изображений
7) На уровне формата поддерживается прозрачность.

JPEG 2000 / Схема



Конвейер операций, используемый в JPEG-2000

JPEG 2000 / RGB в YUV

Этот шаг аналогичен JPEG (см. матрицы преобразования в описании JPEG), за тем исключением, что кроме преобразования с потерями предусмотрено также и преобразование без потерь.

$$\begin{vmatrix} Y \\ U \\ V \end{vmatrix} = \begin{pmatrix} \left\lfloor \frac{R + 2G + B}{4} \right\rfloor \\ R - G \\ B - G \end{pmatrix}$$

$$\begin{vmatrix} R \\ G \\ B \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} U + G \\ Y - \left\lfloor \frac{U + V}{4} \right\rfloor \\ V + G \end{vmatrix}$$

JPEG 2000 / DWT

В одномерном случае применение DWT – это «обычная фильтрация».

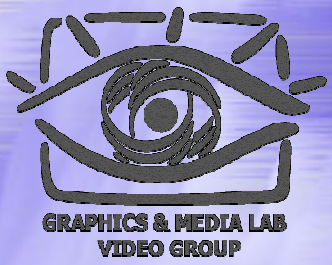
$$y_{output}(2n) = \sum_{j=0}^{N-1} x_{input}(j) \cdot h_H(j - 2n)$$

$$y_{output}(2n+1) = \sum_{j=0}^{N-1} x_{input}(j) \cdot h_L(j - 2n - 1)$$

Из строки *x* мы получаем строку *y* по приведенным формулам.

В двумерном случае мы сначала применяем эти формулы по всем строкам изображения, а потом по всем столбцам.

JPEG 2000 / DWT коэффициенты



Коэффициенты при упаковке		
i	**Низкочастотные коэффициенты $h_L(i)$**	**Высокочастотные коэффициенты $h_H(i)$**
0	**1.115087052456994**	**0.6029490182363579**
±1	**0.5912717631142470**	**-0.2668641184428723**
±2	**-0.05754352622849957**	**-0.07822326652898785**
±3	**-0.09127176311424948**	**0.01686411844287495**
±4	**0**	**0.02674875741080976**
Другие i	**0**	**0**

коэффициенты ‘9/7’ DWT при сжатии с потерями

JPEG 2000 / DWT коэффициенты (без потерь)

	При упаковке		При распаковке	
i	Низкочастотные коэффициенты $h_L(i)$	Высокочастотные коэффициенты $h_H(i)$	Низкочастотные коэффициенты $g_L(i)$	Высокочастотные коэффициенты $g_H(i)$
0	6/8	1	1	6/8
±1	2/8	-1/2	1/2	-2/8
±2	-1/8	0	0	-1/8

Коэффициенты ‘5/3’ DWT при сжатии без потерь

JPEG 2000 / DWT без потерь

Поскольку большинство $h_L(i)$, кроме окрестности i=0, равны 0, то можно переписать приведенные формулы короче:

$$y_{out}(2n) = \frac{-x_{in}(2n-1) + 2 \cdot x_{in}(2n) + 6 \cdot x_{in}(2n+1) + 2 \cdot x_{in}(2n+2) - x_{in}(2n+3)}{8}$$

$$y_{out}(2n+1) = -\frac{x_{in}(2n)}{2} + x_{in}(2n+1) - \frac{x_{in}(2n+2)}{2}$$

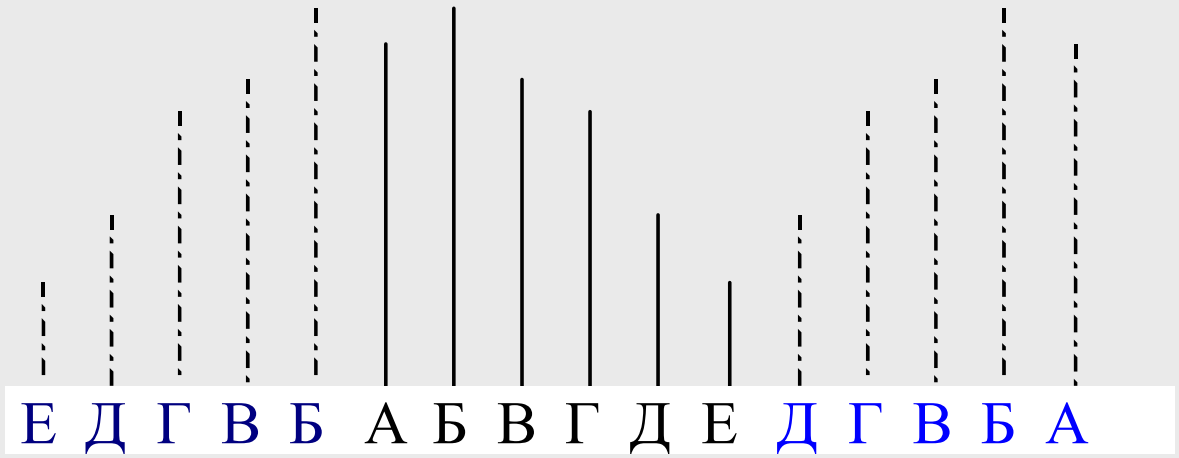
А потом еще и упросить, как:

$$y_{out}(2n+1) = x_{in}(2n+1) - \left\lfloor \frac{x_{in}(2n) + x_{in}(2n+2)}{2} \right\rfloor$$

$$y_{out}(2n) = x_{in}(2n) + \left\lfloor \frac{y_{out}(2n-1) + y_{out}(2n+1) + 2}{4} \right\rfloor$$

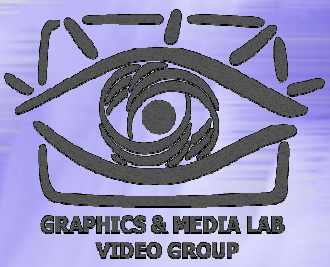
JPEG 2000 / DWT – края

Применение DWT на краях изображения:



Симметричное расширение изображения (яркости АБ…Е) по строке вправо и влево

JPEG 2000 / DWT – Пример



Пусть мы преобразуем строку из 10 пикселов. Расширим ее значения вправо и влево и применим DWT преобразование:

n	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
x_{in}	3	2	1	2	3	7	10	15	12	9	10	5	10	9
y_{out}		0	1	0	3	1	11	4	13	-2	8	-5		

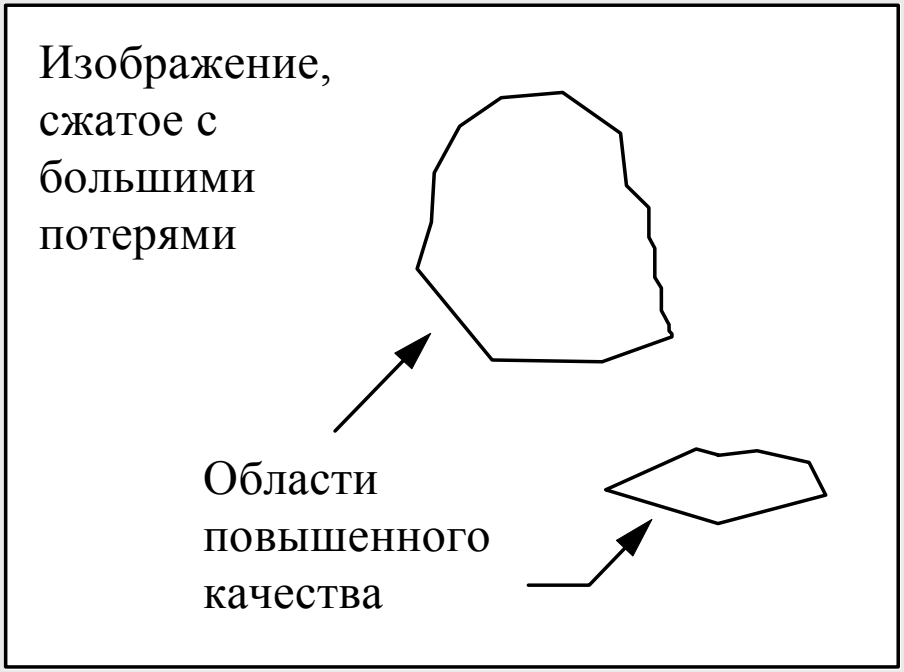
Получившаяся строка 1, 0, 3, 1, 11, 4, 13, -2, 8, -5 полностью и однозначно задает исходные данные. Обратное преобразование осуществляется по:

$$x_{out}(2n) = y_{out}(2n) - \left\lfloor \frac{y_{out}(2n-1) + y_{out}(2n+1) + 2}{4} \right\rfloor$$

$$x_{out}(2n+1) = y_{out}(2n+1) + \left\lfloor \frac{x_{out}(2n) + x_{out}(2n+2)}{2} \right\rfloor$$

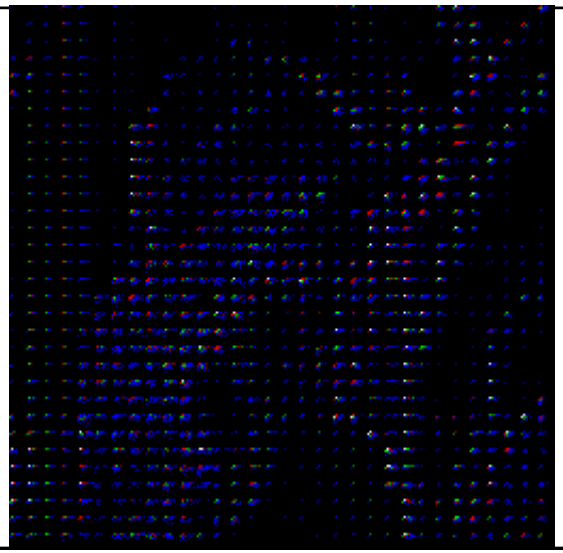
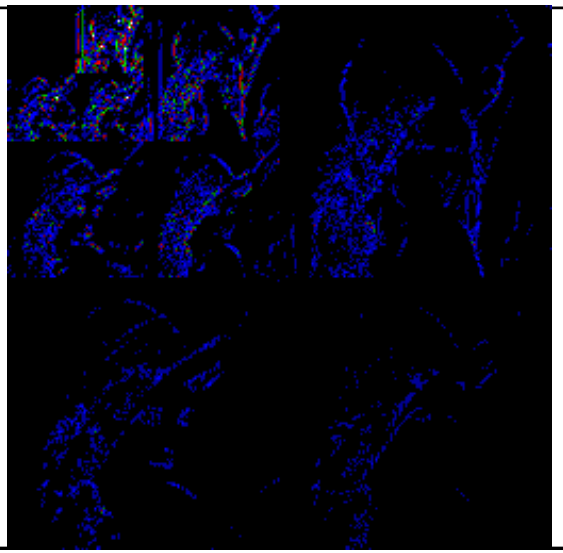
n	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
y_{out}		0	1	0	3	1	11	4	13	-2	8	-5	8	-2
x_{out}			1	2	3	7	10	15	12	9	10	5	10	

JPEG 2000 / Изменение качества областей

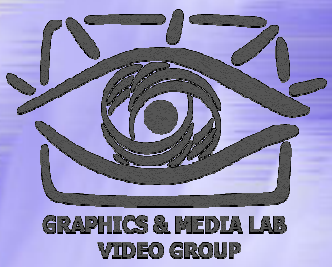


Когда практически достигнут предел сжатия изображения в целом и различные методы дают очень небольшой выигрыш, мы можем существенно (в разы) увеличить степень сжатия за счет изменения качества разных участков изображения.

Сравнение этапа сжатия без потерь JPEG и JPEG-2000

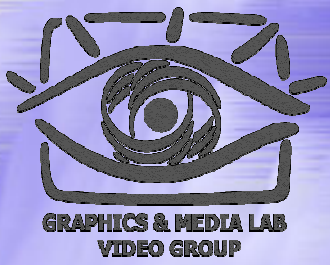
	JPEG	JPEG-2000
Структура разбиения	пространственная	частотная
Проход по коэффициентам	частотный	пространственный
Кодирование коэффициентов	групповое кодирование не нулевых	проходы по соответствующим битам коэффициентов
		

JPEG-2000 / Кодирование битовых плоскостей



- Разбиение DWT-пространства на одинаковые блоки, по умолчанию размером 64x64
  - Каждый блок кодируется не зависимо от других
  - В отличие от EZW и SPIHT (set partitioning in hierarchical trees) межуровневые зависимости не учитываются
- Кодирование одной битовой плоскости одного блока осуществляется в три этапа:
  - Кодирование старших бит
  - Уточняющий проход
  - Очищающий проход

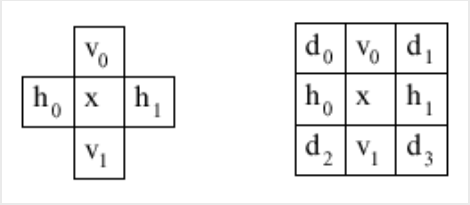
JPEG-2000 / Кодирование битовых плоскостей



- Для каждого прохода используется бинарное **адаптивное арифметическое** кодирование и **контекстное моделирование**:
  - **Арифметическое** кодирование позволяет кодировать символы с произвольным распределением вероятности (не только равных степени двойки как у таблиц Хаффмана)
  - **Адаптивность** позволяет задавать распределение вероятностей исходя из статистики уже закодированных данных
  - **Контекстное моделирование** позволяет использовать закономерности между и внутри потоков данных, путем использования различных вероятностных таблиц для разных ‘контекстов’

JPEG-2000 / Кодирование битовых плоскостей

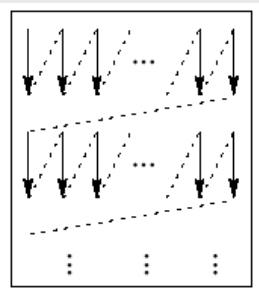
- Кодирование старших бит
  - Кодирование предсказанных и при подтверждении гипотезы, кодирование знака
  - Контекст при кодирования значимости:
    - значимость соседних 8-ми связанных коэффициентов
    - Тип бэнда: LL,LH,HL,HH
  - Контекст при кодирования знака:
    - Значимость и знаки 4-х связанных коэффициентов



4-х и 8-ми связность

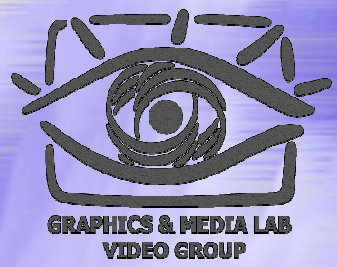
JPEG-2000 / Кодирование битовых плоскостей

- Уточняющий проход:
  - Кодирование существенных битов расположенных ниже первого
  - Контекст для бита:
    - ‘Это второй по важности бит?’
    - Значимость 8-ми связанных коэффицентов
- Очищающий проход:
  - Кодирование не предсказанных, но существенных битов



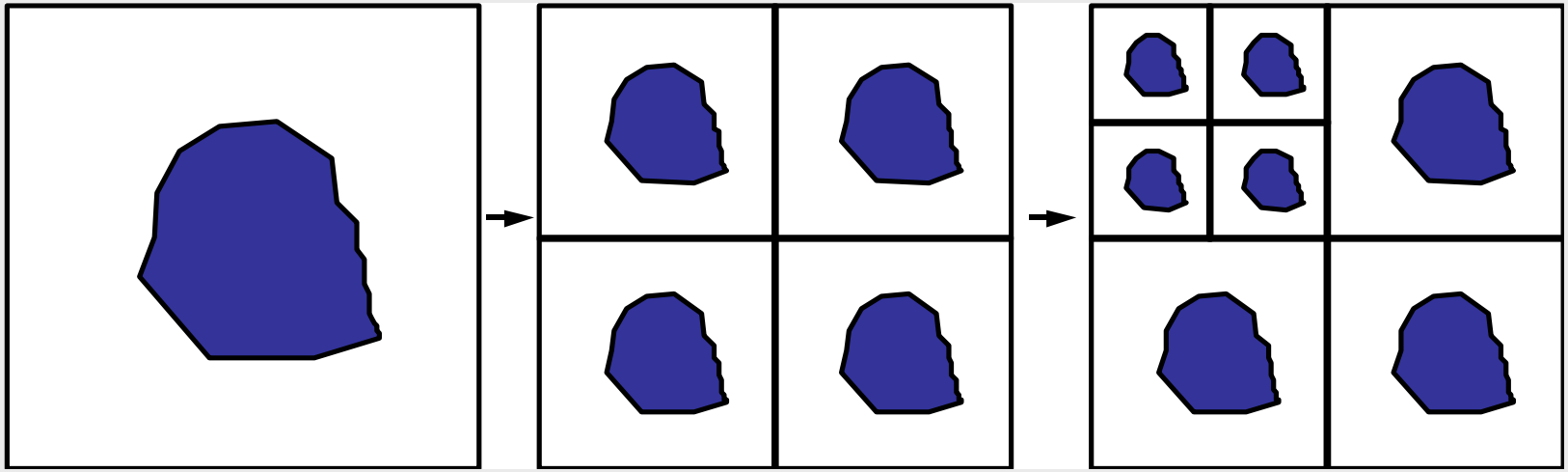
Порядок обхода

JPEG-2000 / Кодирование: Внешний цикл



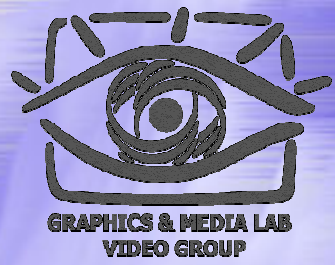
- Цель: записать в поток результаты кодирования битовых плоскостей
  - Единица потока – пакет. Пакет – компрессированный проход одной битовой плоскости одного блока
  - Сортировка пакетов в соответствии с выбранной стратегией:
    - Слой-разрешение-компонента-позиция: возможность прогрессивной визуализации
    - Разрешение-слой-компонента-позиция: прогрессивная восстановление по разрешению
    - Другие три сценария

JPEG-2000 / Изменение качества областей



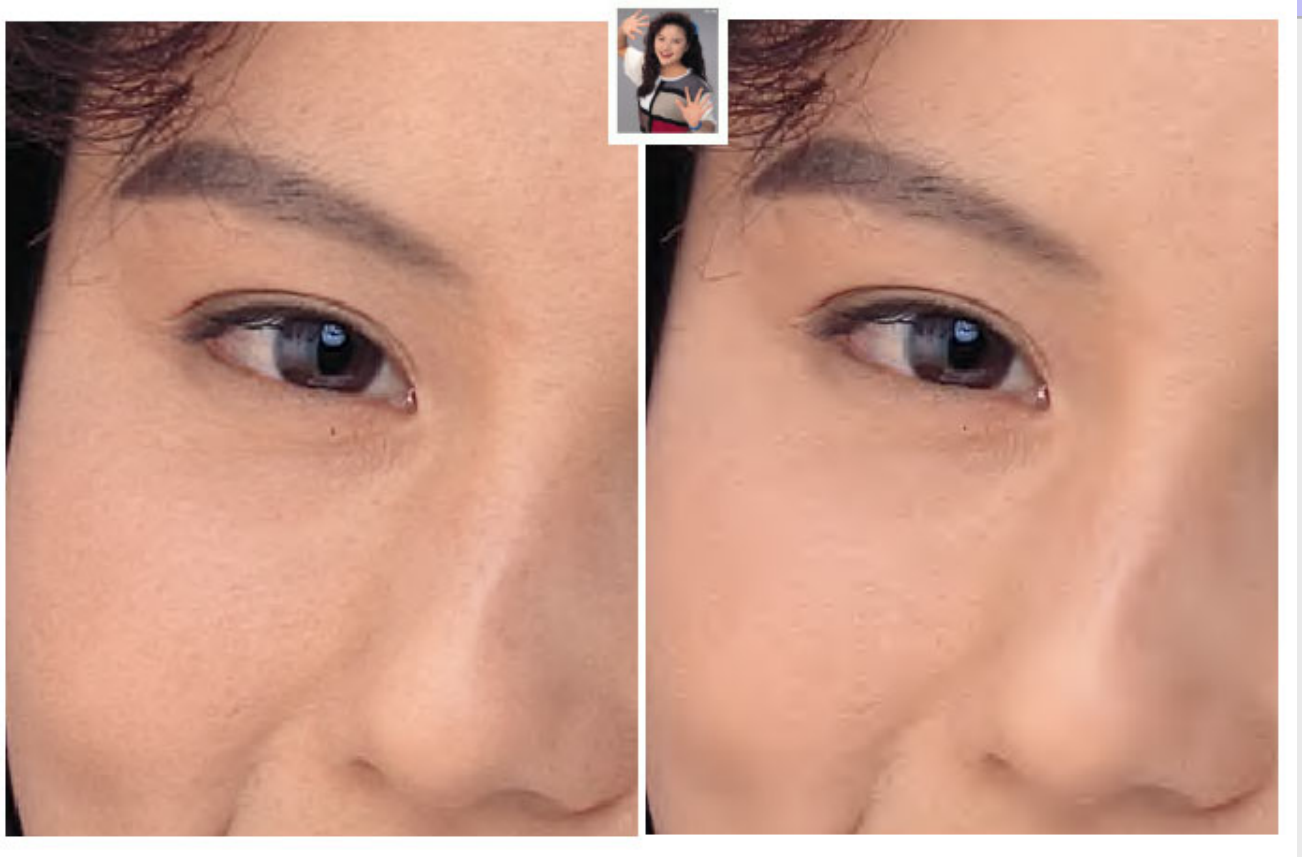
В JPEG-2000 используется неявное представление бинарной маски, внутри которой точность квантования коэффициентов другая нежели вне её. Метод представления и компрессии маски будет описан позже.

JPEG-2000 / Алгоритм изменения качества областей



- Изменение качества выделенных областей
  - При кодировании:
    - Разделение битовой маски на выделенные и принадлежащие фону
    - Достаточный сдвиг (умножение на степень двойки) выделенных коэффициентов на N, что бы биты выделенного изображения и фона не пересекались
  - При декодировании:
    - После распаковки, все коэффициенты большие 2^N сдвигаются направо на N
  - Плюсы такого подхода:
    - Нет необходимости явного хранения бинарной маски

JPEG-2000 / Пресеты квантования



Адаптированный пресет, лучше качество

Стандартный пресет, больше PSNR

JPEG / JPEG-2000: ‘Лена’

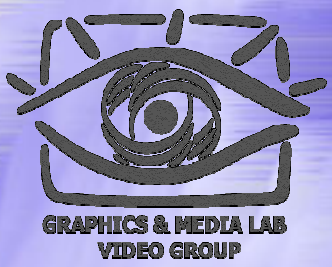
Сравнение JPEG & JPEG-2000 при сжатии в 30 раз

JPEG / JPEG-2000: Сжатие в 130 раз

JPEG: сохранено больше деталей

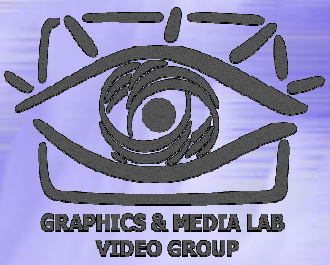
JPEG-2000: отсутствие блочных артефактов

Алгоритм JPEG-2000 / Характеристики



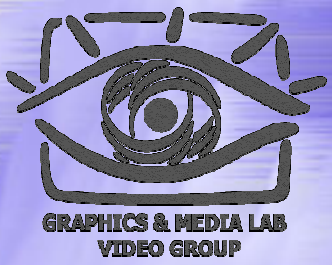
- **Коэффициенты компрессии:** 2-200 (Задается пользователем), возможно сжатие без потерь.
- **Класс изображений:** Полноцветные 24-битные изображения, изображения в градациях серого, 1-битные изображения (JPEG-2000 - наиболее универсален).
- **Симметричность:** 1
- **Характерные особенности:** Можно задавать качество участков изображений.

Сравнение алгоритмов (1)



Алгоритм	За счет чего происходит сжатие
RLE	2 2 2 2 2 2 2 15 15 15 — Подряд идущие цвета
LZW	2 3 15 40 2 3 15 40 — Одинаковые подцепочки
Хаффмана	2 2 3 2 2 4 3 2 2 2 4 — Разная частота появления цвета
Wavelet	Плавные переходы цветов и отсутствие резких границ
JPEG	Отсутствие резких границ
JPEG-2000	Плавные переходы цветов и отсутствие резких границ
Фрактальный	Подобие между элементами изображения

Сравнение алгоритмов (2)



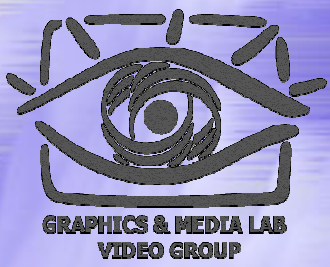
Алгоритм	К-ты сжатия	Сим-метрич-ность	Не что ориенти рован	Поте ри	Разме рност ь
RLE	1/32 1/2 2/1	1	3-8 bit	Нет	1D
LZW	1/1000 1/4 7/5	1.2-3	1-8 bit	Нет	1D
Хаффмана	1/8 2/3 1/1	1-1.5	5-8 bit	Нет	1D
JBIG	1.5	~1	1-bit.	Нет	2D
Lossless JPEG	2	~1	24-bit greyscale	Нет	2D
JPEG	2-20	~1	24-bits greyscale	Да	2D
JPEG-2000	2-200	1.5	24-bits greyscale	Да	2D
Fractal	2-2000	1000-10000	24-bits greyscale	Да	2D

СЖАТИЕ ТЕКСТУР

Специфика

Обзор форматов S3TC, FXT1, CD, CTF-8, CTF-12

Компрессия текстур: Специфика



Требования:

- Прямой доступ к пикселям (текселям) из сжатого представления
- Эффективность аппаратной реализация

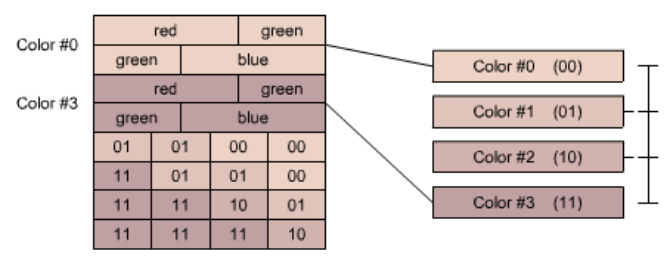
Распространенный подход:

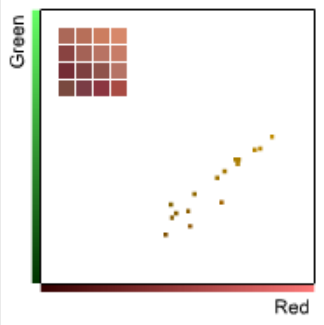
- Блочная компрессия с локальной палитризацией
- Фиксированный коэффициент сжатия

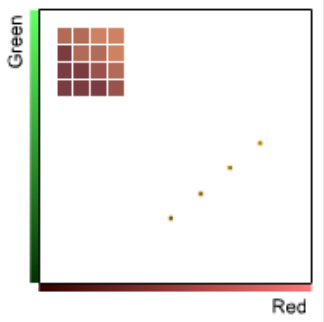
Компрессия текстур: Алгоритм S3TC*

Идея:

- Четыре цвета на блок 4x4, но хранения только двух базовых, остальные линейно интерполируются
- Преимущества:
  - Шесть раз сжатие; достаточное качество; простой для аппаратной реализации алгоритм; стандарт де-факто
  - Хранении базовых цветов в 16 битном формате, но возможно использование всех 16 млн

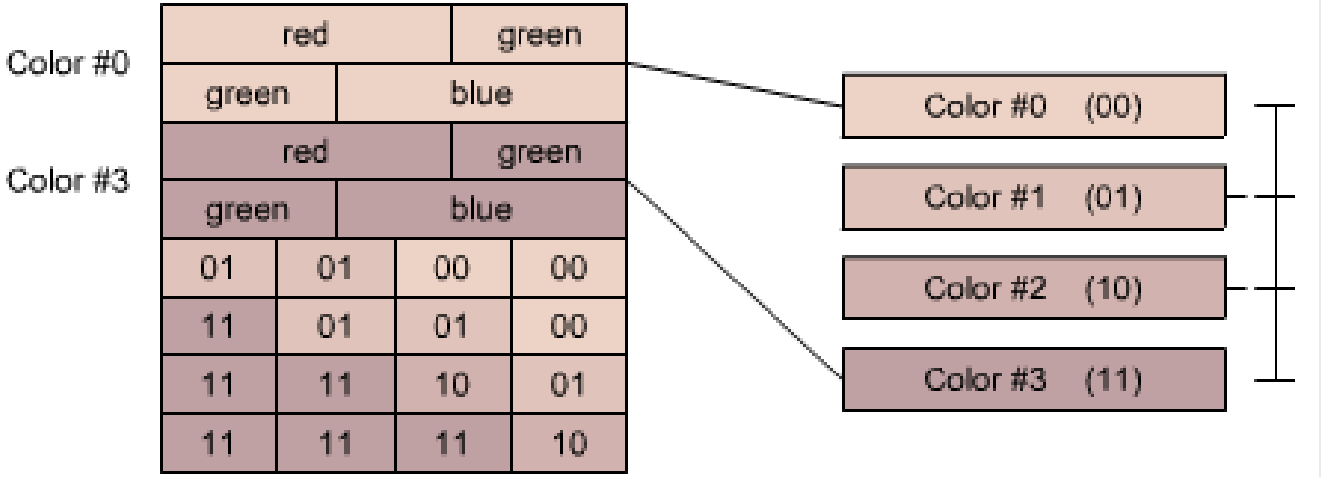


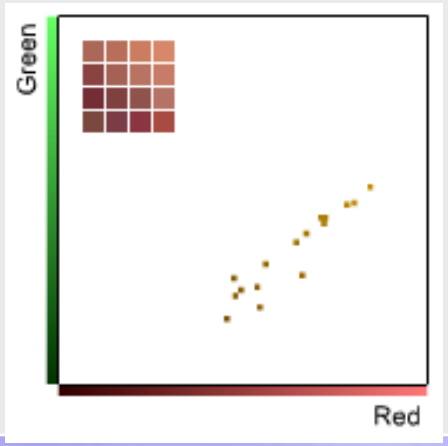


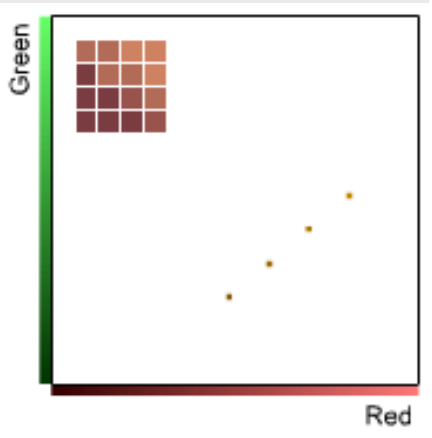


*) SONICblue (originally S3 Inc.)

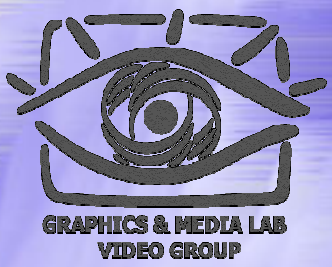
Компрессия текстур: Алгоритм S3TC*







Компрессия текстур: Формат FXT1*



Идея/Цель

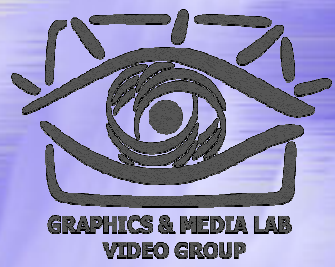
- Улучшение S3TC (альфа-канал, больше блок, несколько адаптивных алгоритмов)

Алгоритм

- Для каждого блока 4x8 используется один из 4-х методов сжатия:
  - MIXED: 2 бита/индекс, по два базовых цвета на подблок 4x4, 1 интерполируется между ними, 1 прозрачный
  - HI: 3 бита/индекс, 2 базовых, 5 интерполируются, 1 прозрачный
  - CHROMA: 2 бита/индекс, 4 базовых цвета
  - ALPHA: 2 бита/индекс, 2 цвета по 20 бит (RGBA)

*)3dfx Iterative Inc.

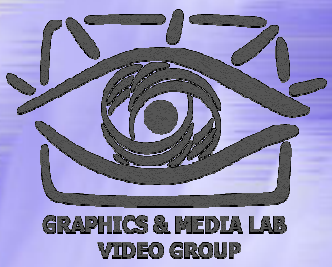
Компрессия текстур: Оценка формата FXT1*



- Плюсы
  - Большая степень компрессии чем у S3TC при компрессии 32-битовых изображений (8 против 6)
- Минусы
  - На порядок большее время компрессии
  - Не приемлемое качества, особенно для градиентных участков
  - Не поддерживается большинством производителей

*)3dfx Iterative Inc.

Компрессия текстур: Формат CD*



Идея:

- Использование зависимости между блоками
- 2-х битовая индексная плоскость, но в блоке хранится только 1 цвет, а три других берутся из соседних 3 трех блоков

◆ Плюсы

- 8 кратная компрессия против 6 у S3TC

◆ Минусы:

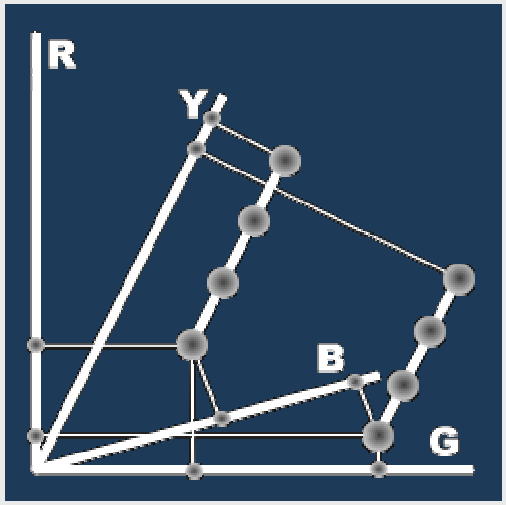
- Более одного обращения в память
- Использование только 16-битного цвета

*) CGG (Computer Graphics Group)

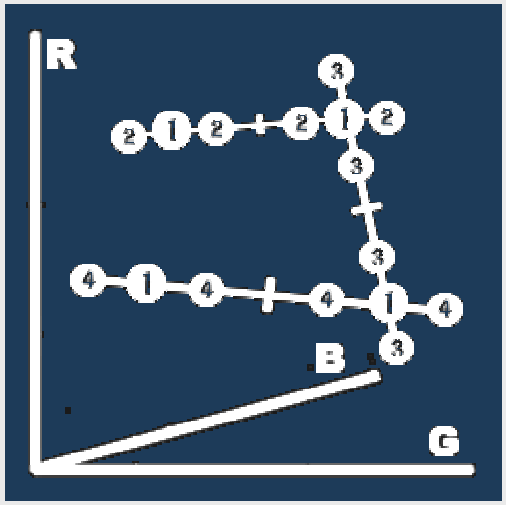
Компрессия текстур: Форматы CTF-8*, CTF-12*

Идеи:

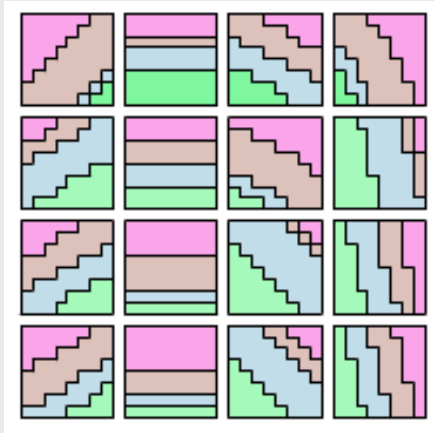
- Улучшение геометрии интерполяции палитры
- Адаптивное подразбиение блока 8x8 на 4 кластера



Палитра для CTF-12



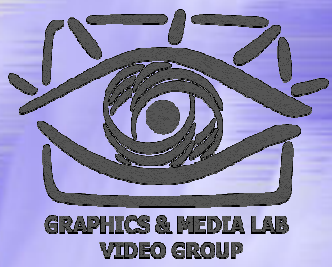
Палитра для CTF-8



Примеры разбиений

*) MSU Graphics&Media Lab

Компрессия текстур: Форматы CTF-8, CTF-12

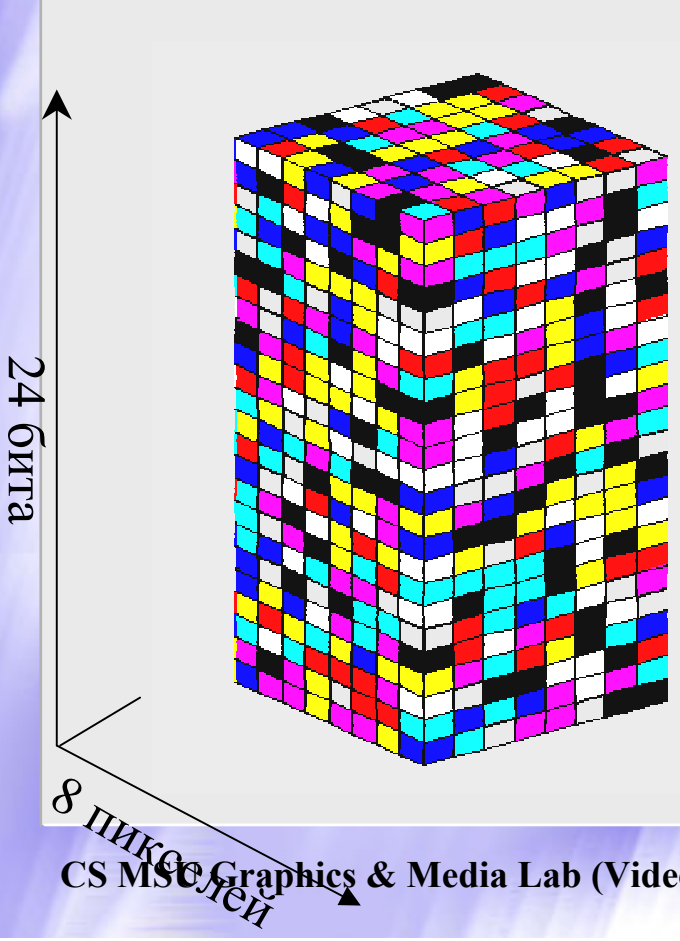


- Плюсы (vs S3TC):
  - CTF-8 лучше по качеству (в среднем на 1-2 дБ) и имеет более высокую степень компрессии (8 vs. 6)
  - CTF-12 в 2 раза больше степень сжатия при приемлемом визуальном качестве
- Минусы
  - Медленный алгоритм компрессии (более чем на 2 порядка медленнее S3TC)
  - Нет поддержки прозрачности

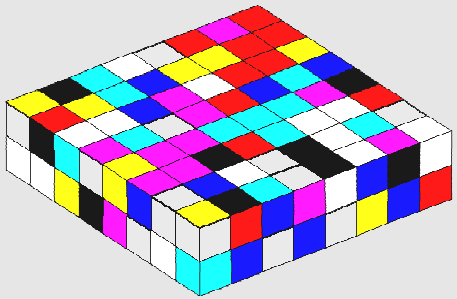
Исходный метод: простой и качественный

GRAPHICS & MEDIA LAB
VIDEO GROUP

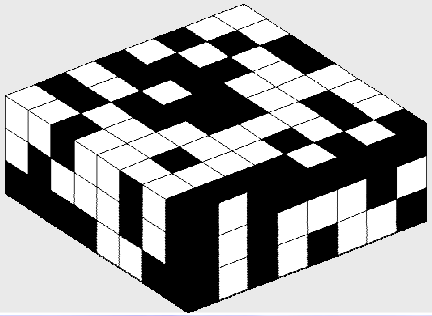
8 цветов на блок 8x8, сжатие в 4.8 раза при достаточном качестве



Палитра:



Индексы:



Увеличение сжатие при сопоставимом качестве

GRAPHICS & MEDIA LAB
VIDEO GROUP

Базовые идеи:

- **Сжатие индексов палитры (с потерями):**

  Разбиение блока на 4 кластера, и использование меньших палитр для каждого из них

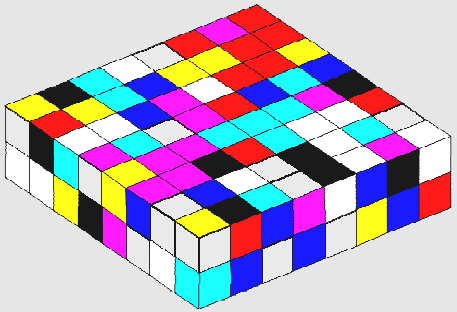
- **Сжатие цветов палитры (с потерями):**

  Хранение только базовых цветов и аппроксимация остальных

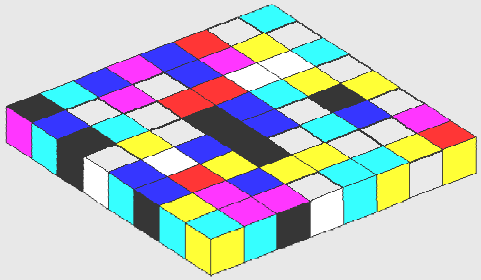
Метод CTF-8: 8-кратное сжатие

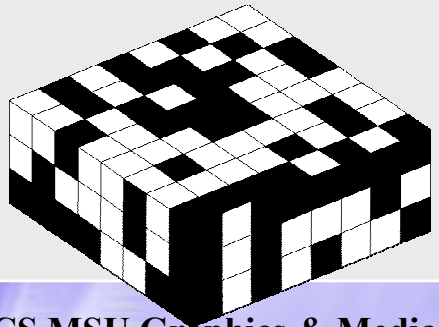
GRAPHICS & MEDIA LAB VIDEO GROUP

4 кластера, 8/16 цветов в палитре, 4 цвета на текстель

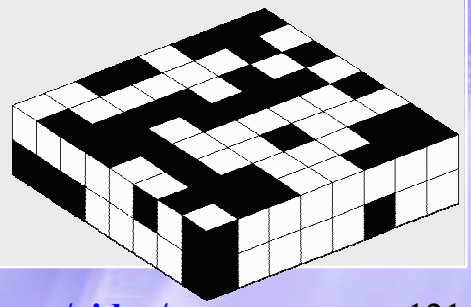


2-х кратное сжатие цветов палитры





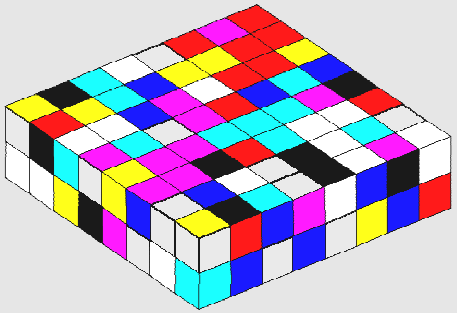
1.5/2 кратное сжатие индексов палитры



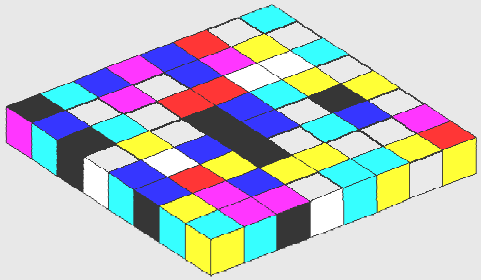
Метод CTF-8: 12-кратное сжатие

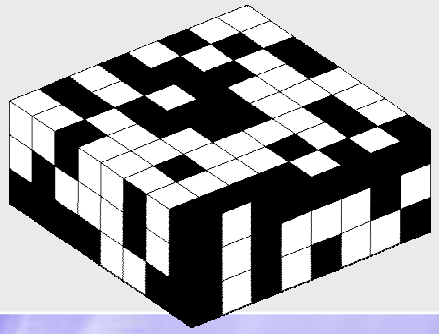
GRAPHICS & MEDIA LAB VIDEO GROUP

4 кластера, 8 цветов в палитре, 2 цвета на текстель

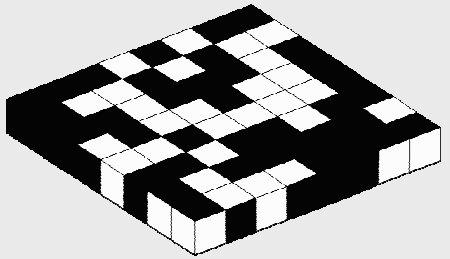


2-х кратное сжатие цветов палитры



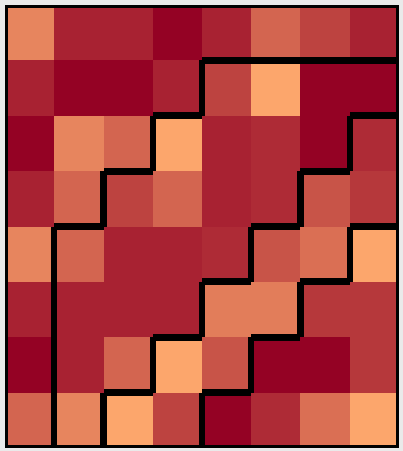


3 кратное сжатие индексов палитры



Палитризация и кластеризация

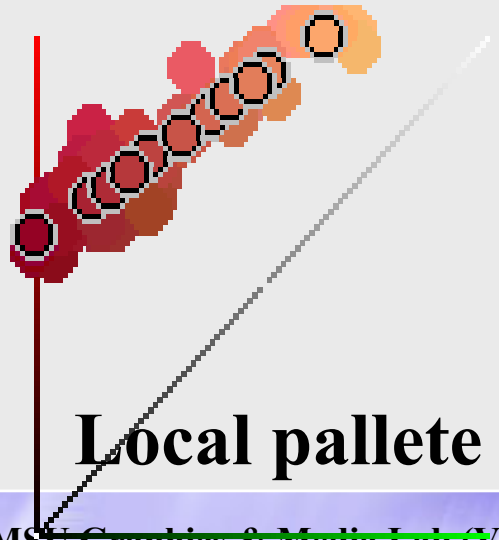
Source block



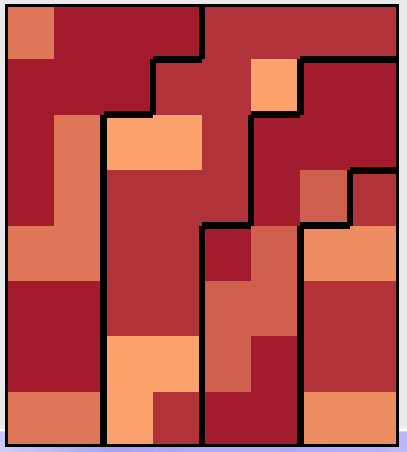
CTF8:

16 color pallete

4 color in cluster



Local pallete



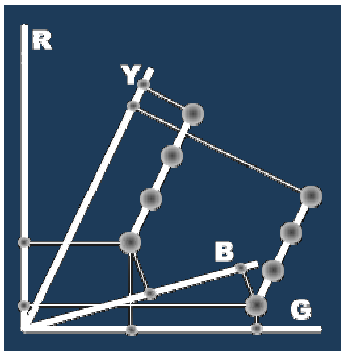
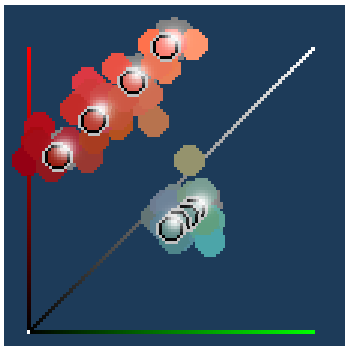
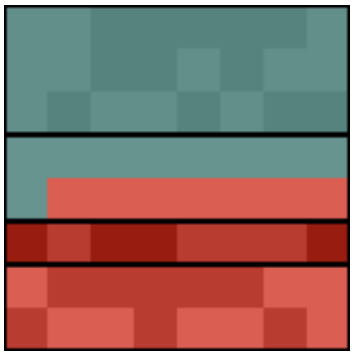
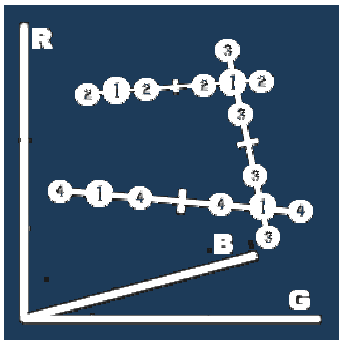
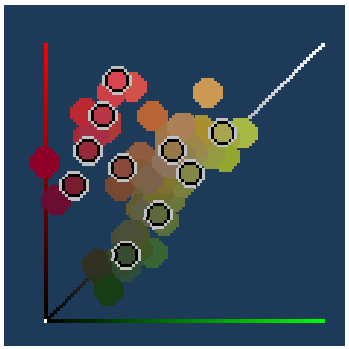
CTF12:

8 color pallete

2 color in cluster

Компрессия текстур: Форматы CTF-8, CTF-12

GRAPHICS & MEDIA LAB VIDEO GROUP

	Исходный блок	Геометрия палитр и разбиение на кластеры		
CTF-12:				
CTF-8:				

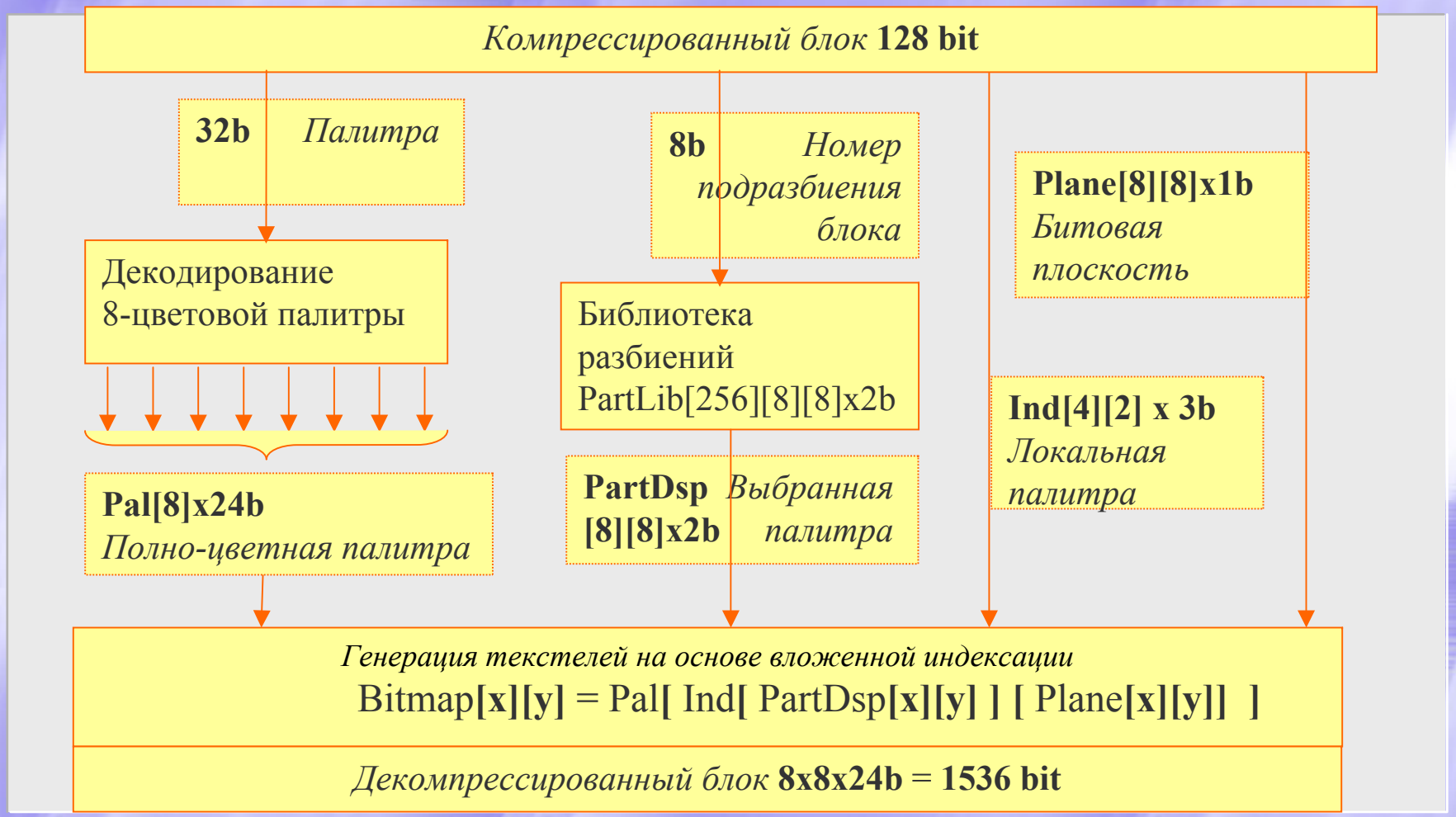
CTF-12: Два типа палитр

В палитре хранятся 2 базовых цвета C1 и C2, в формате RGB-453, в зависимости от “C1<C2”:

- Используется в однородных блока и во всех не цветных блоках
- Аппроксимация палитры – отрезок в пространстве между двумя базовым и цветами
- Хранятся уточняющие биты до формата RGB-565

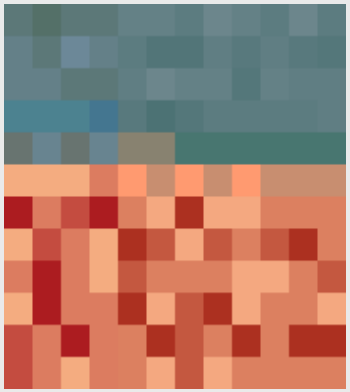
- Используется в блоках с резкими границами и в блоках с существенно разными хроматическими компонентами
- Аппроксимация палитры - 2 параллельных отрезка
- Цветовой формат отрезка – RGBY-4534

Алгоритм декомпрессии для CTF-12



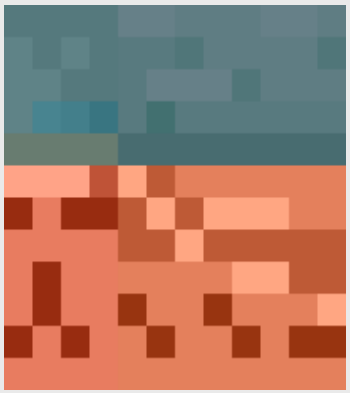
Блочный эффект и цветовое распределение

Исходный блок (12x12)



CTF-8 (блоки 8x8)

S3TC (блоки 4x4)

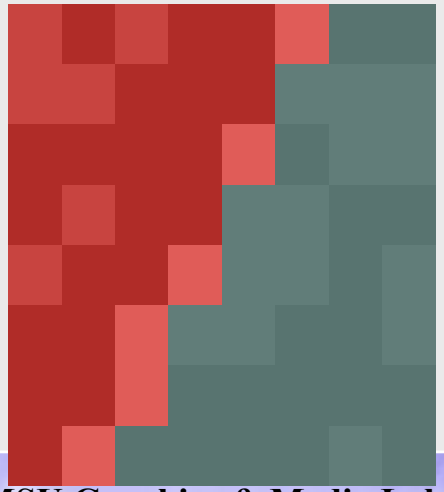


CTF-12 (блоки 8x8)

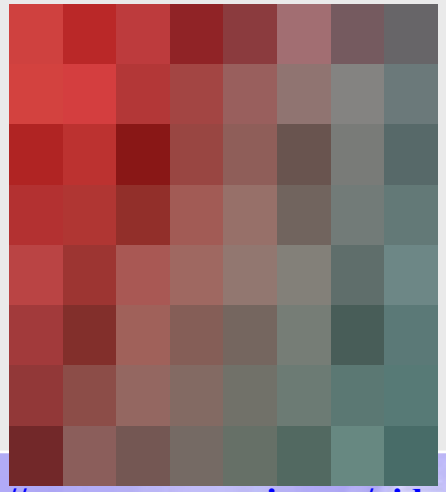
Граничный эффект

Исходный

S3TC
(6раз)

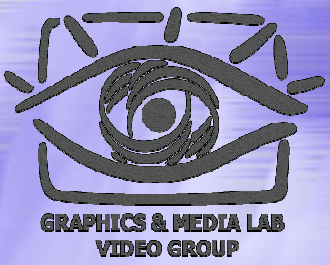


CTF-12
(12раз)



JPEG
(12раз)

Сравнение S3TC с CTFs по объективным метрикам



	Параметры					LUV-метрика на ‘Portrait’					
	Степень компрес-сии	Степень компрес-сии палитры	Степень компресси и индексов	Коли-чество цветов на блок	Размер палитры	PSNR	BLACK / GREEN / RED (%)			MAXLUV / MAXRGB	
CTF-8	**8**	**10/6**	**2/1.5**	**16/8**	**48b**	**34.0**	**24**	**42**	**34**	**48**	**50**
CTF-12	**12**	**6**	**2**	**8**	**32b**	**28.5**	**17**	**41**	**41**	**49**	**98**
S3TC	**6**	**3**	**1**	**4**	**32b**	**32.96**	**21**	**46**	**33**	**54**	**52**

Тестовое изображение

Source **S3TC** **CTF-12**

Эффективность работы кэша при реальном алгоритме рендеринга

GRAPHICS & MEDIA LAB VIDEO GROUP

Сжатые текстуры на шаре

метод S3TC | метод FXT1 | метод CTF-12

Хранение всех мип-мэпов

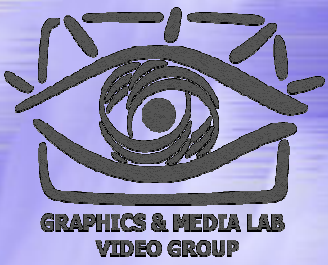
Генерация мип-мэпов ‘на лету’

вариант работы	параметр	24-битное изображение	метод S3TC	метод FXT1	метод CD	метод CTF-12
1	cash hit rate average latency	75% 26.5	87% 14.744	90.7% 11.087	78.3% 23.256	91.1% 10.714
2	cash hit rate average latency	75% 26.5	96.6% 5.362	97.9% 4.050	90.7% 11.133	98.7% 3.264

СЖАТИЕ ТЕКСТУР: Генерация текстур

Наиболее компактный метод представления текстур – их генерация

Типы генерации текстур



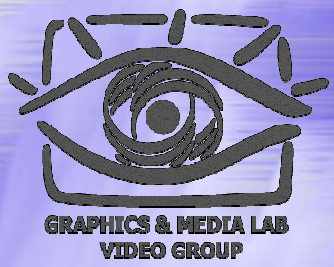
Процедурные текстуры:

- Алгоритмическая генерация текстур
- Для каждой физической модели свой алгоритм

Генерация мип-мэпов:

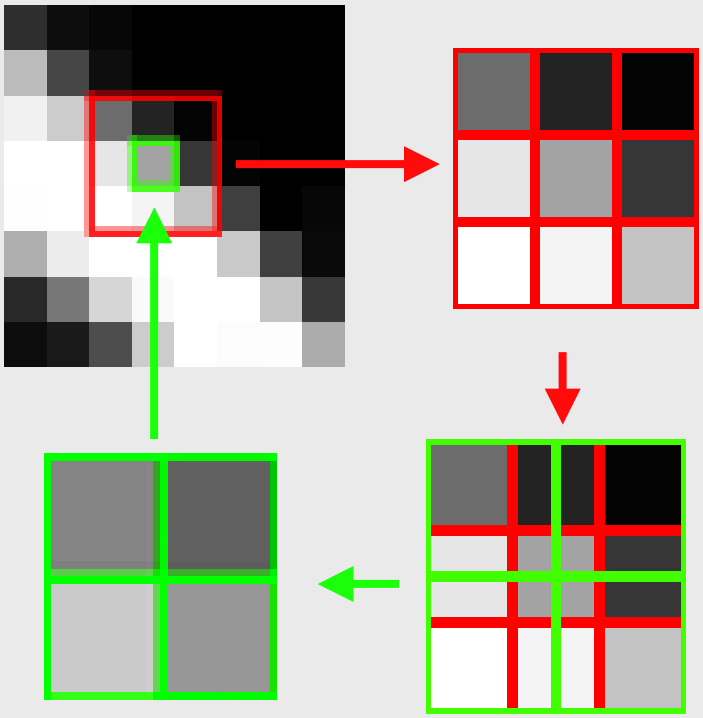
- Универсальный алгоритм, не зависит от типа текстуры
- Дополняет алгоритм компрессии текстур
  - **Проблема:** памяти акселератора всегда мало, даже если компрессировать текстуры
  - **Выход:** не хранить, а генерировать самые детализированные мип-мэпы уровни

Генерация мип-мэпов



- Требования:
  - Реалистичность в не зависимости от типа и разрешения текстуры
  - Высокая скорость и возможность аппаратной реализации
- Подход: вероятностная генерация
  - Метод№1: фрактально-каскадная генерация с вероятностно-распределенным локальным коэффициентом подобия масштабных уровней
  - Метод№2: генерация с вероятностным законом положения и расположения шаблонов

Фрактально-каскадный метод генерации



Рекурсивное фрактально-каскадное подразбиение

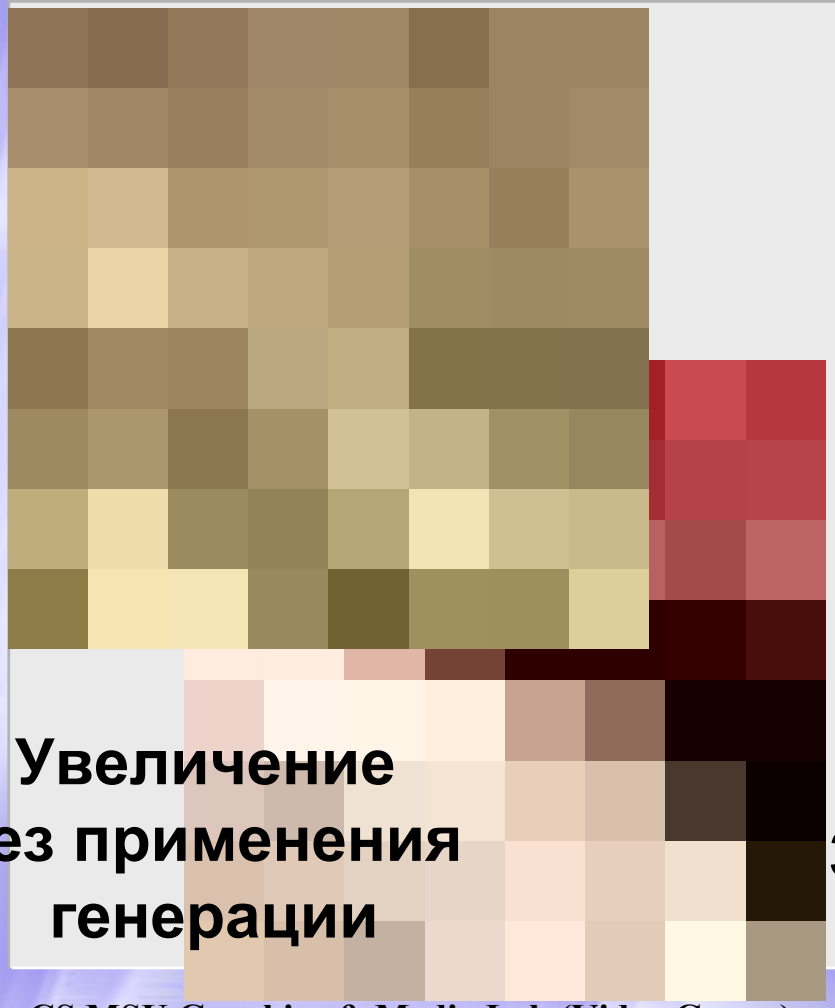
После 8 итераций

$$A = \alpha B + \beta,$$

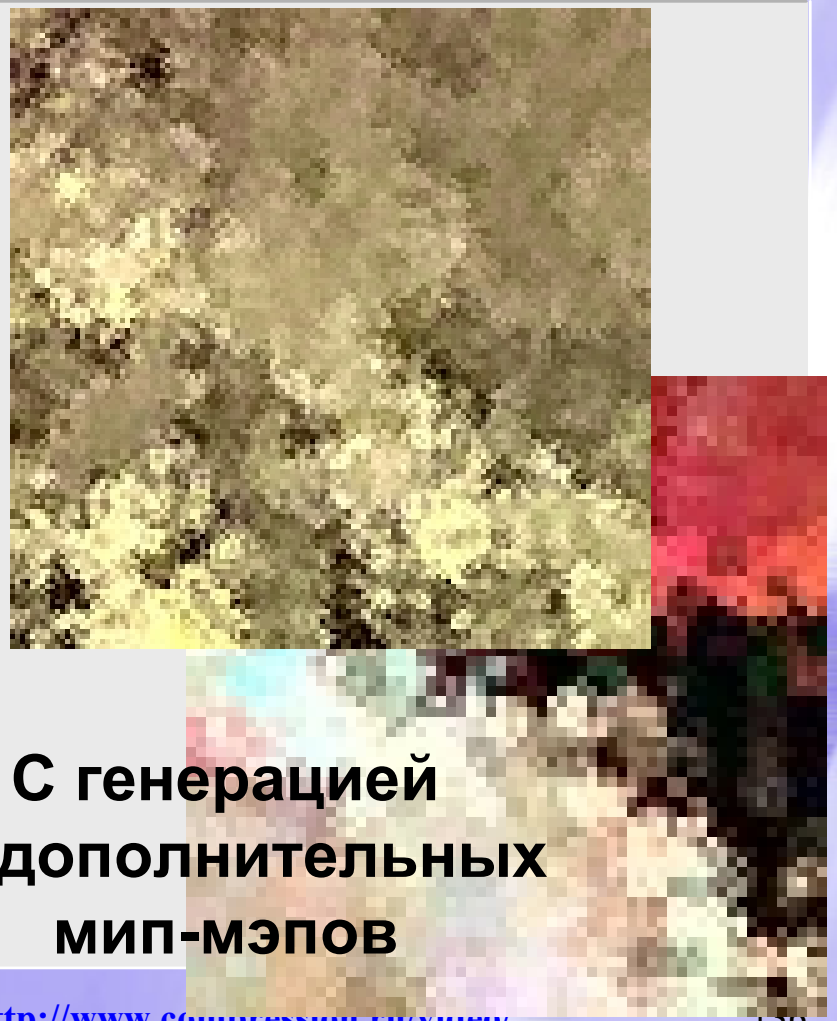
$\alpha = N(0,\sigma)$, $\beta = N(0,\sigma')$

Фрактально-каскадный метод генерации

GRAPHICS & MEDIA LAB
VIDEO GROUP

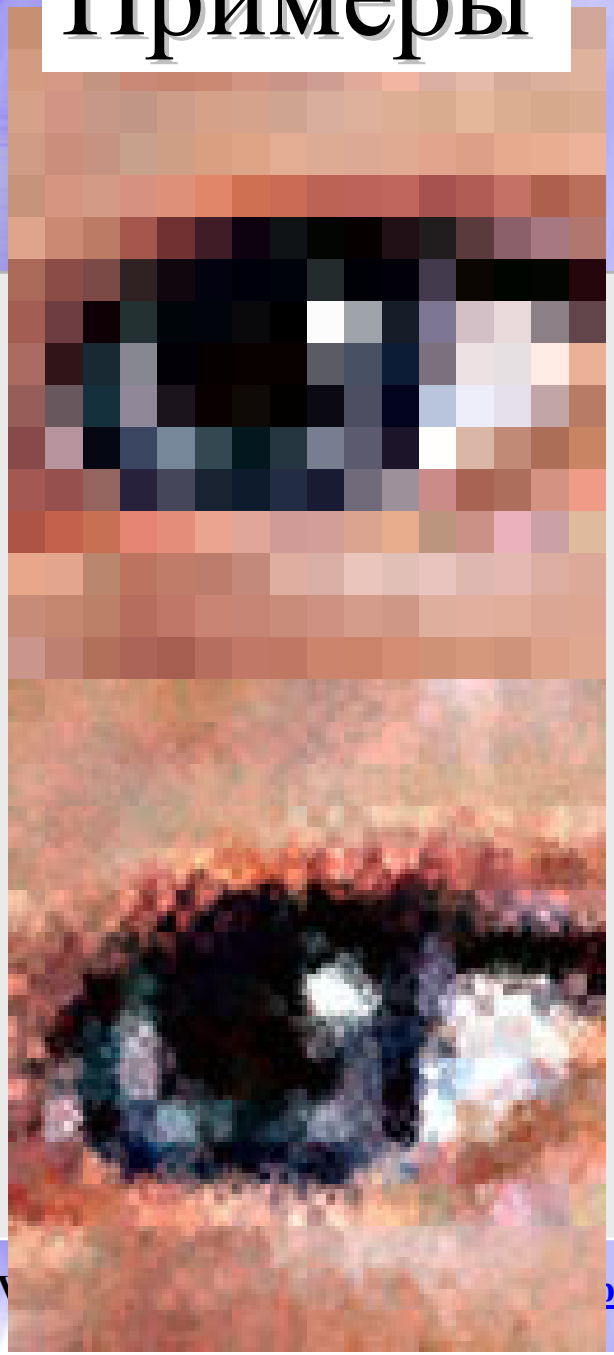
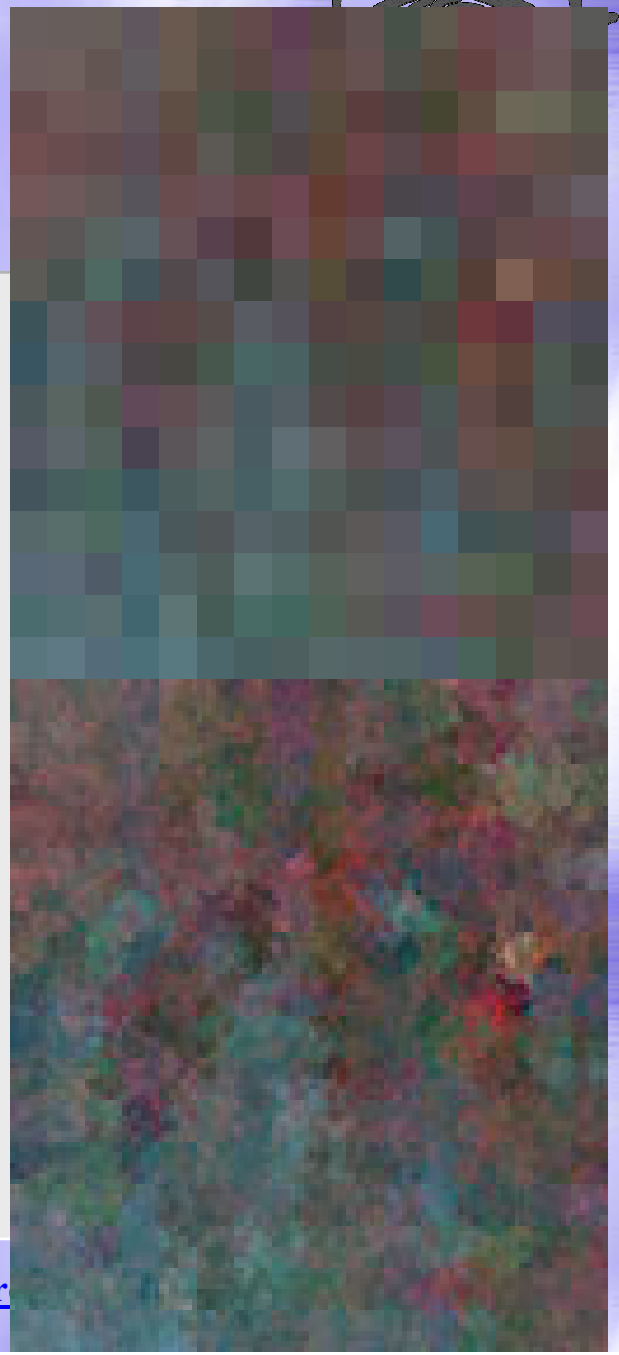


Увеличение без применения генерации



С генерацией 3-х дополнительных мип-мэпов

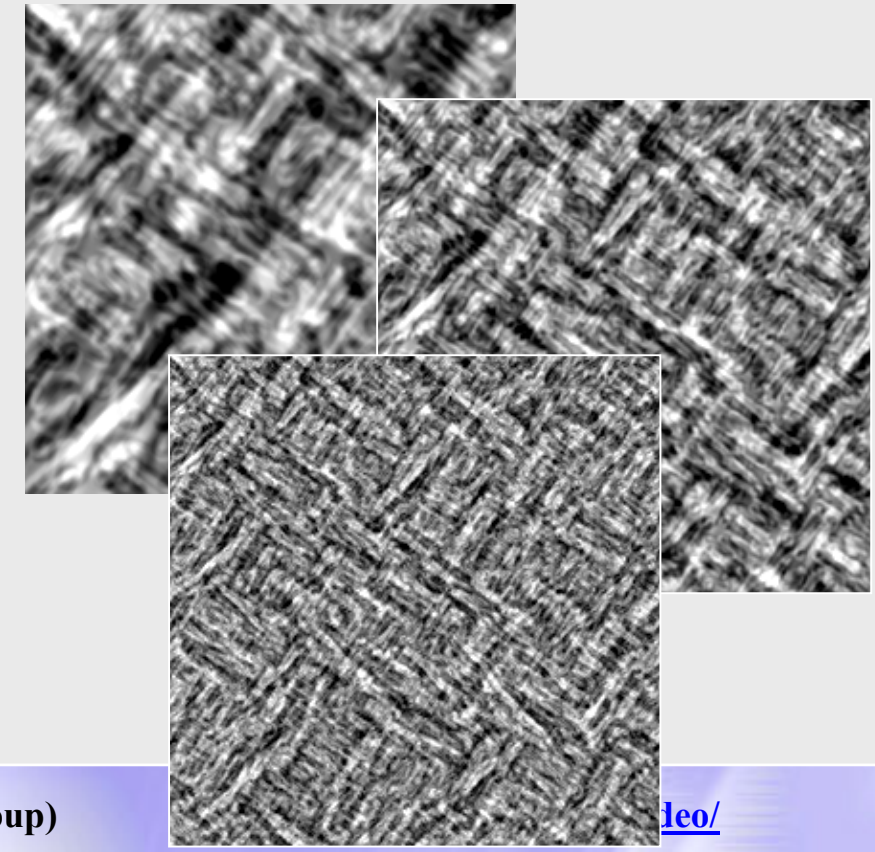
Примеры

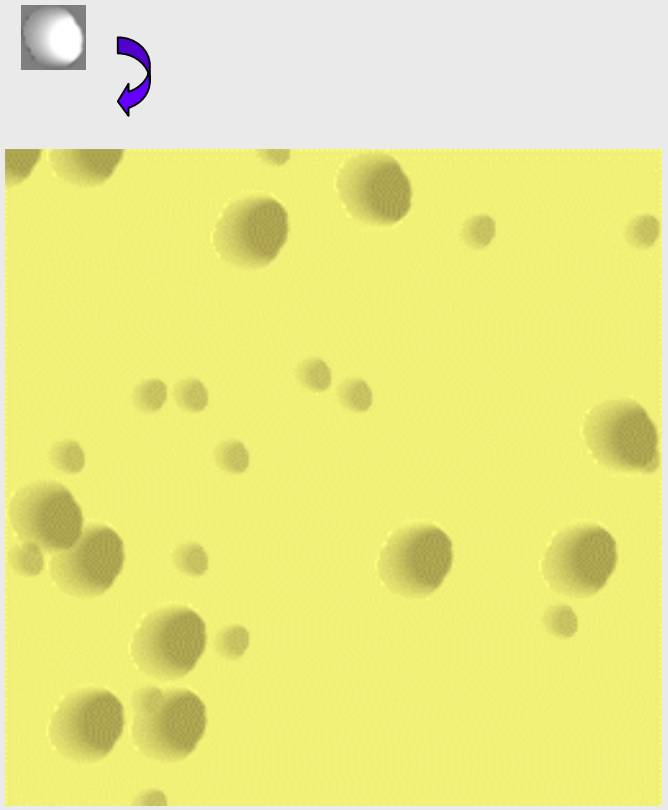
Многомасштабная генерация с использованием шаблонов

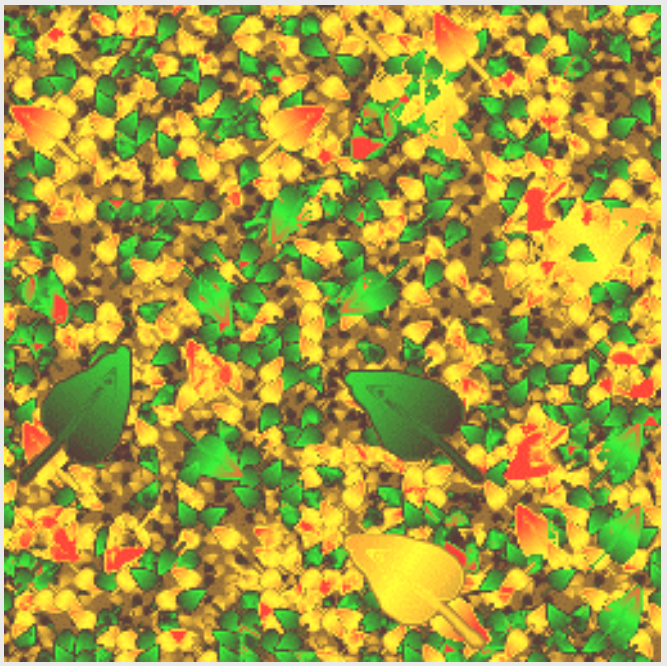
Многомасштабные Шаблоны

Различные уровни детализации сгенерированных текстур



Многомасштабная генерация с использованием шаблонов





4n операций/текстель (n – количество масштабных уровней)

Задания

- Задания по курсу расположены на странице курса: http://graphics.cs.msu.su/courses/mdc2004/

- Следующая тема - сжатие аудиоданных