

Компьютерная графика

Лекция 2

Свет Квантование Псевдотонирование

17 февраля 2006 года

В лекции используются слайды проф. Пата Ханрахана (Pat Hanrahan)

<http://www.graphics.stanford.edu/courses/cs248-98-fall>

Станфордский университет (США)



WHAT?

- **Обработка изображений**
- **Компьютерное (машинное) зрение**
- **Компьютерная (машинная) графика**



IP -> CV -> CG

Изображение

Обработка изображений
Image Processing

Изображение

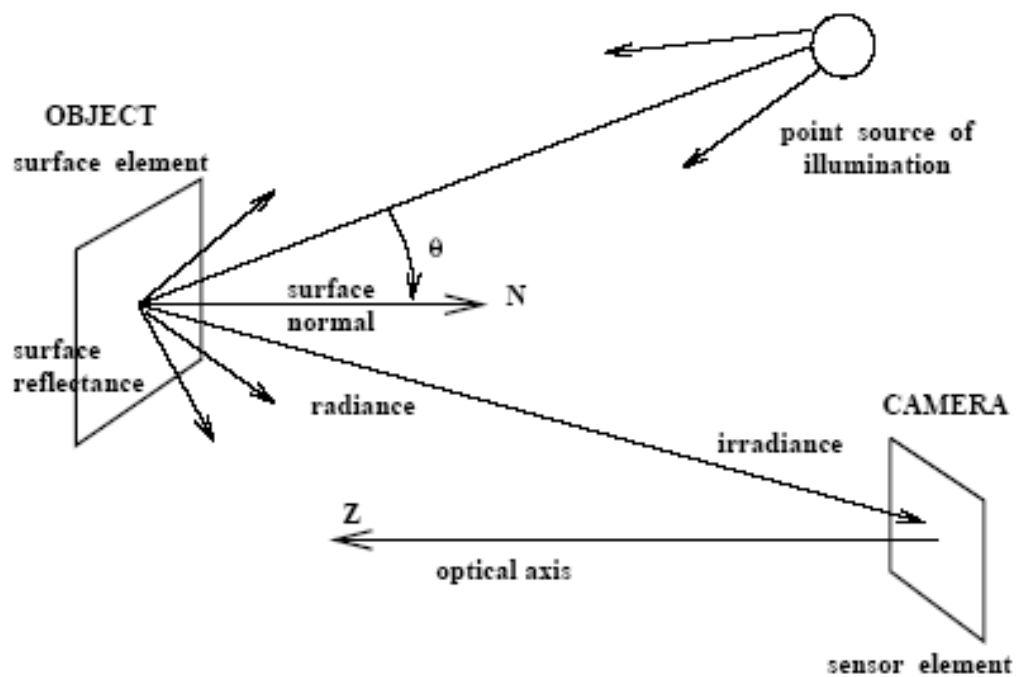
Компьютерное (машинное) зрение
Computer (Machine) Vision

Модель (Описание)

Компьютерная (машинная) графика
Computer Graphics

Изображение

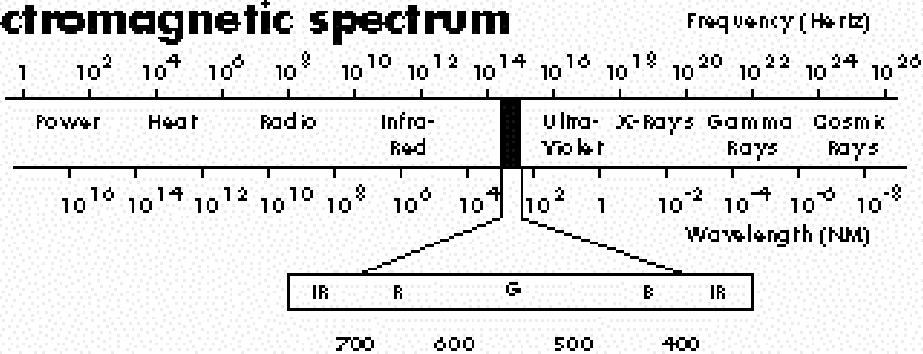
Отражение света



Свет – электромагнитное излучение

Spectrum

The electromagnetic spectrum



Видимый свет состоит из спектрального распределения электромагнитной энергии с длинами волн в диапазоне 400--700 нм. Цвет излучений, длины волн которых расположены в диапазоне видимого света в определенных интервалах вокруг длины какого-либо монохроматического излучения, называются спектральными цветами.



Интенсивность Яркость

Функции интенсивности

- *Стимул – Отклик (восприятие)*
- *Вход – Выход (гамма – коррекция)*

Квантование

- *Равномерное квантование*
- *Неравномерное квантование*

Псевдотонирование и автотипия

- *Бинаризация*
- *Случайное псевдотонирование (Робертс)*
- *Упорядоченное псевдотонирование (Байер)*
- *Автотипия*
- *Диффузия ошибки (Флойд – Стейнберг)*



Измерение цвета и света

Физика: радиометрия

- *Количество энергии на интервал*
- *Называется **силой света** (интенсивностью)*
- *Измеряется в канделах*

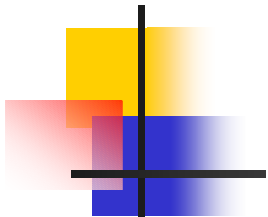
Психофизика: фотометрия и колориметрия

- *Относительная яркость источника света (цветного или черно-белого) в сравнении со стандартной **свечой***
- *Называется яркостью в заданной точке в заданном направлении (измеряется в нитах)*
- *Равномерная шкала восприятия (называется **светлотой**)*



ИНТЕНСИВНОСТЬ И ЯРКОСТЬ

One of the problems with the dynamic range of color or grey scale storage is that the brightness values are linear, whereas the film (and human vision) are fundamentally logarithmic, so that in the dark regions of an image the smallest brightness step that can be stored is quite large and may result in visual artefacts or poor measurement precision for density values.



Perception of Intensities

Steven's Law:

Sensation (S) vs. Intensity (I)

$$S = I^p$$



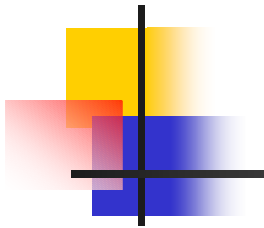
Experiments

Sense	Exponent
Brightness	0.33
Smell	0.55
Loudness	0.60
Taste	0.80
Length	1.00
Heaviness	1.45

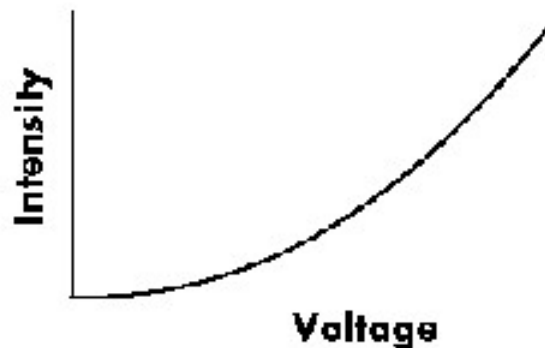
Stevens $B = I^{1/3}$

Weber $JND = \frac{\Delta I}{I} \approx 0.01$

Fechner $B = k \log I$



Monitor Gamma



$$I = g \cdot (V - V_b)^{\gamma}$$

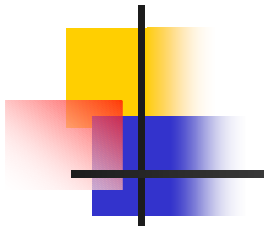
Monitor
 $\gamma=2.5$

Two knobs
Black Level (Brightness): V_b
Picture (Contrast): g

Adjustments
1st adjust to full black
Picture 0, adjust black-level
2nd adjust brightness

Equal Increments

Equal Ratios



Gamma Correction

Goal: Operate in linear intensity space

How: Gamma correction table

$$I = V^\gamma$$

$$V = P^{1/\gamma}$$

$$I = V^\gamma = (P^{1/\gamma})^\gamma = P$$

Checkerboard test:



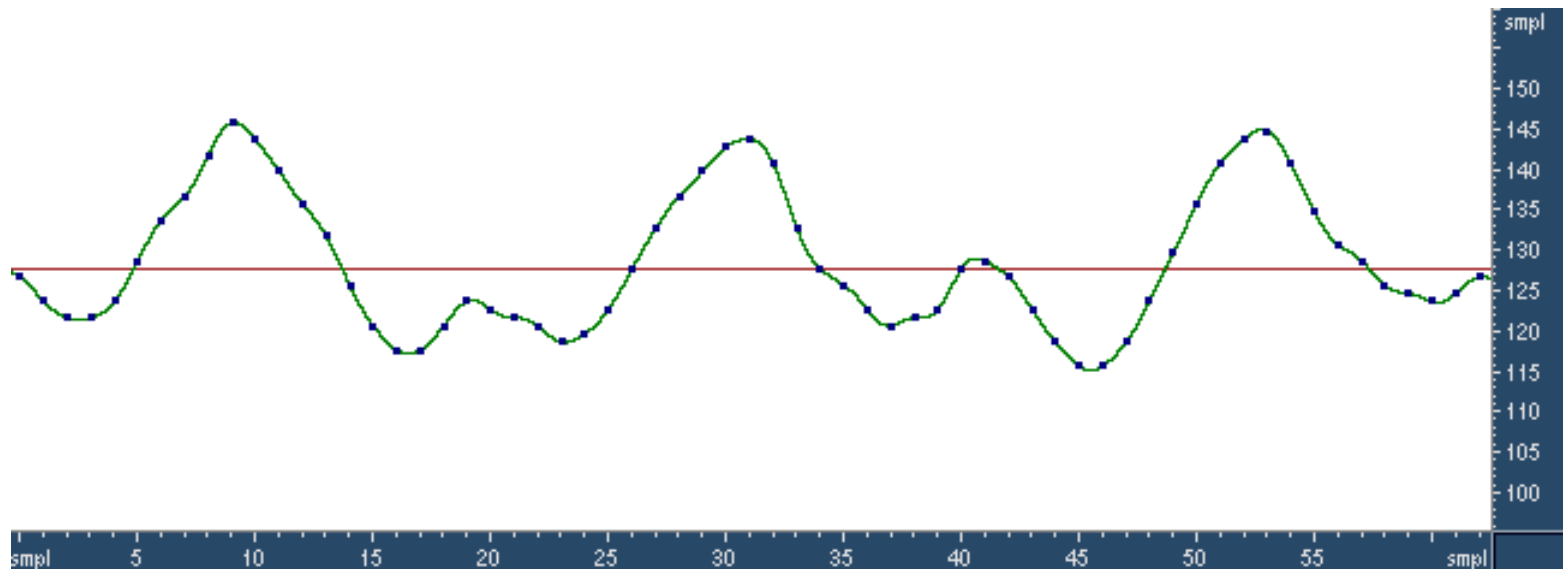
Input	Output
0	0
1	16
2	23
3	28
4	32
...	...
...	...
251	253
252	253
253	254
254	254
255	255

What's wrong with this table?

Мультимедийная информация

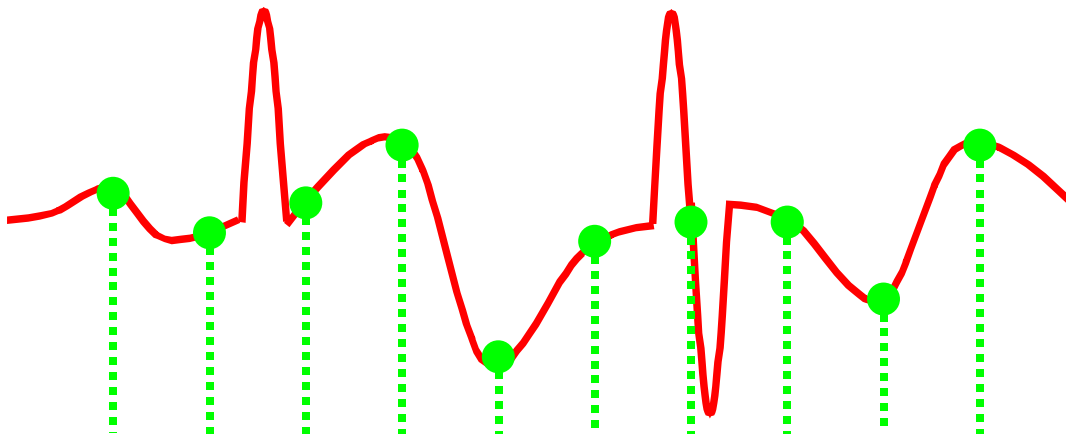
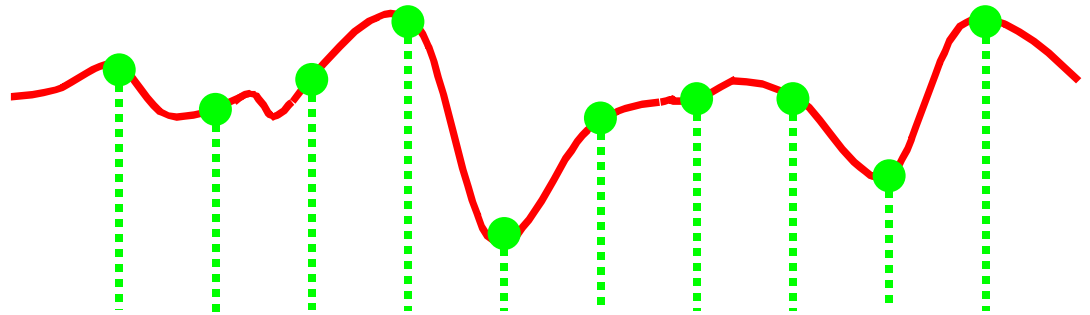
•Звук

- Запись и оцифровка
- Частота и разрядность дискретизации
- Артефакты оцифровки



Выборка и алиасинг

- Точечная выборка

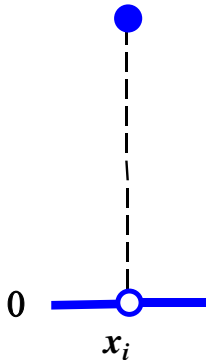


- часть информации потеряна!

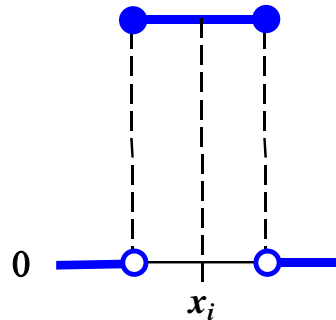
Выборка (sampling)

- Вычисление элемента выборки вблизи точки X_i можно записать так:

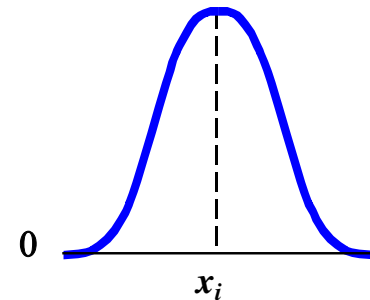
$$\tilde{f}_i = \int_{-\infty}^{+\infty} f(y) g_i(y) dy$$



точечная выборка



невзвешенная
выборка



взвешенная
выборка

Мультимедийная информация

- Изображения и видео

- Сканирование – дискретизация, квантование

- Разрешение и алиасинг

- Интерполяция, фильтрация





Квантование

Определение: Преобразование чисел высокой точности в числа низкой точности

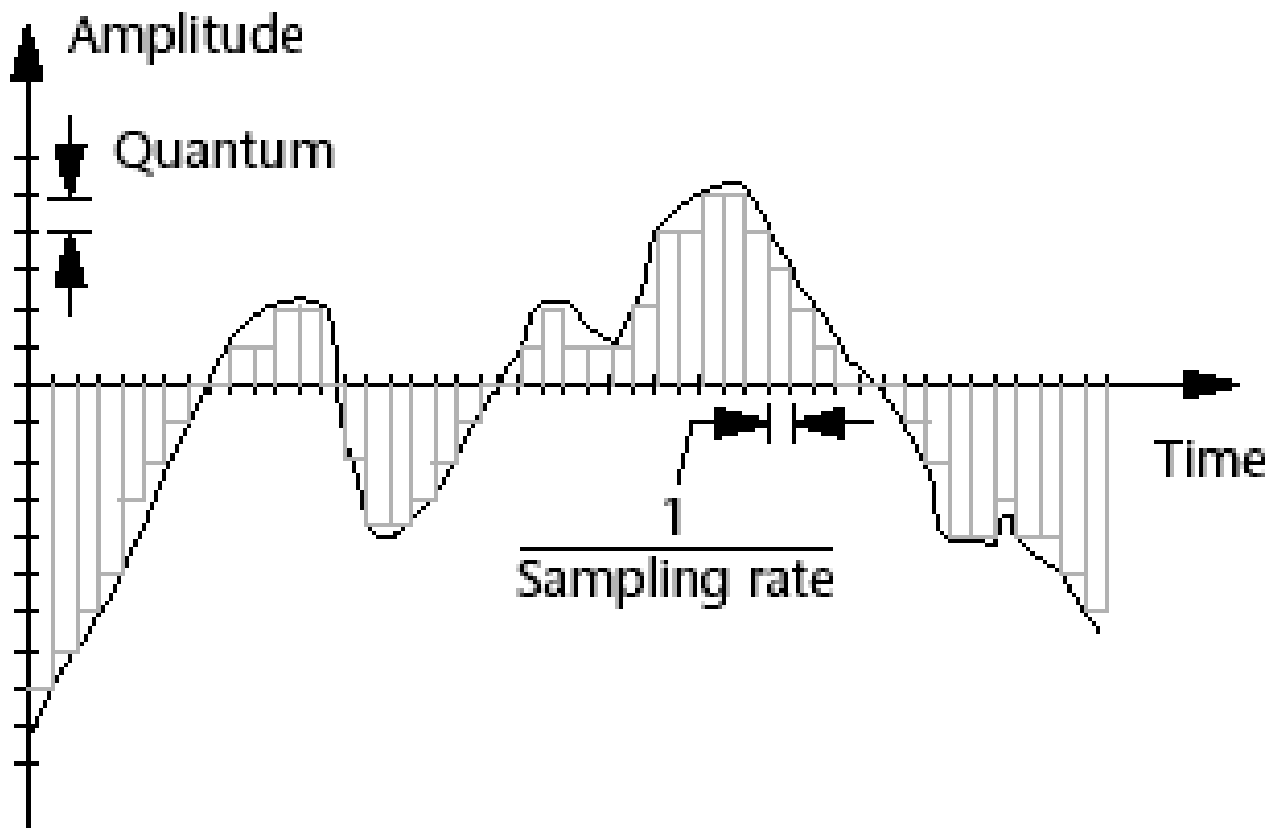
- *Зачем?*

- Экономия памяти
- Вывод на двоичные устройства

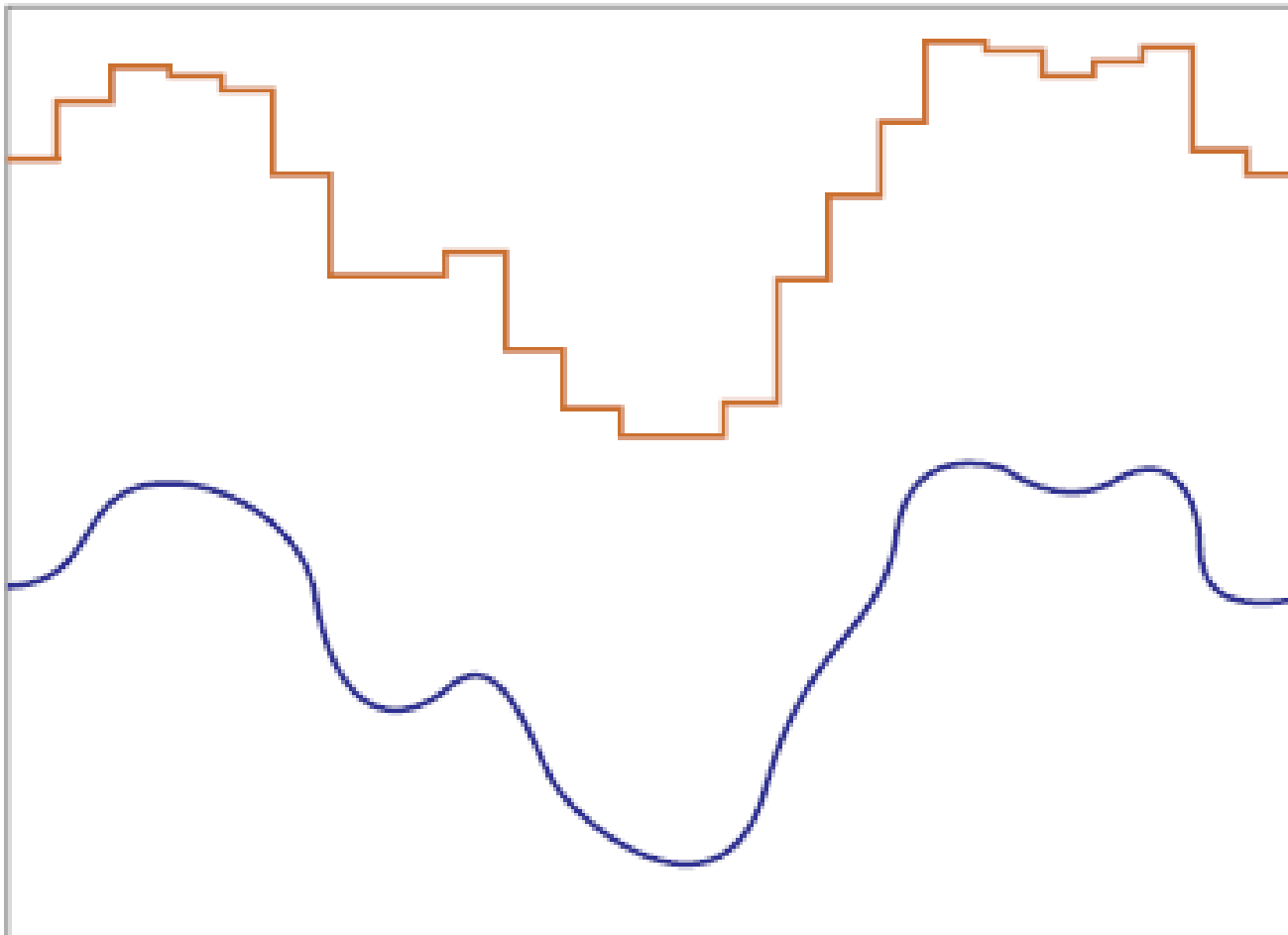
- *Как?*

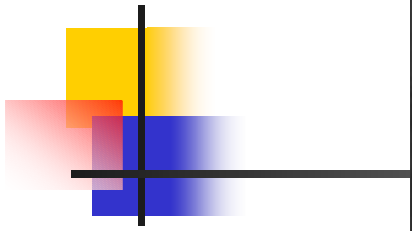
- Минимизация ошибки (скорее, ошибки восприятия)
- Распределение ошибки в пространстве

Дискретизация и квантование ЗВУКОВОЙ ВОЛНЫ



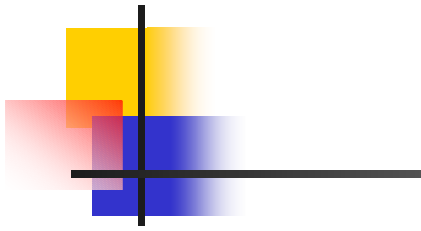
Оцифровка непрерывного сигнала (дискретизация и квантование)





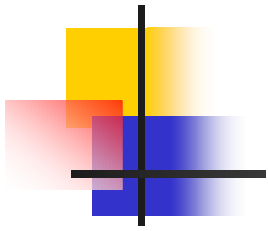
- (a) 256 · 256,*
- (b) 128 · 128,*
- (c) 64 · 64,*
- (d) 32 · 32.*

a full 256 grey values



- (a)* 32;
- (b)* 16;
- (c)* 8;
- (d)* 4.

*a full 256 · 256
array of pixels*



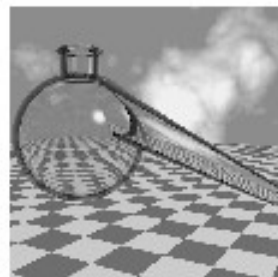
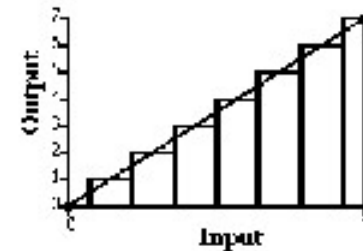
Uniform Quantization

Uniform map:

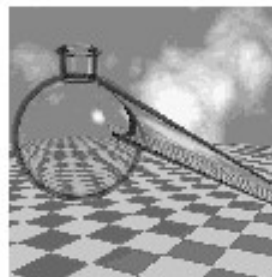
$$\hat{v} = \text{trunc}((K-1)v + 0.5)$$

$$0 \leq v < 1$$

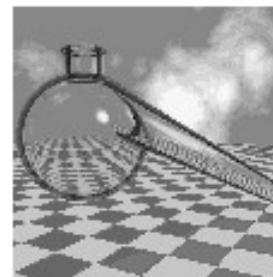
$$0 \leq \hat{v} < K$$



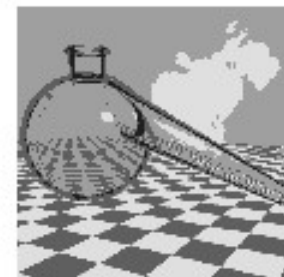
K=256



K=16

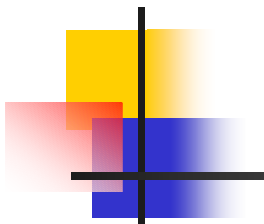


K=4



K=2

Notice contouring



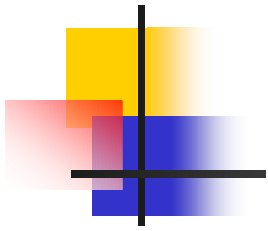
Quantization Error

Quantization introduces error

$$E^2 = \sum_{(x,y)} \left(\frac{\hat{v}(x,y)}{K-1} - v(x,y) \right)^2$$

To reduce error:

- 1. Optimal quantization (minimize error)**
- 2. Dithering (trade-off intensity/space error)**



Non-uniform Quantization

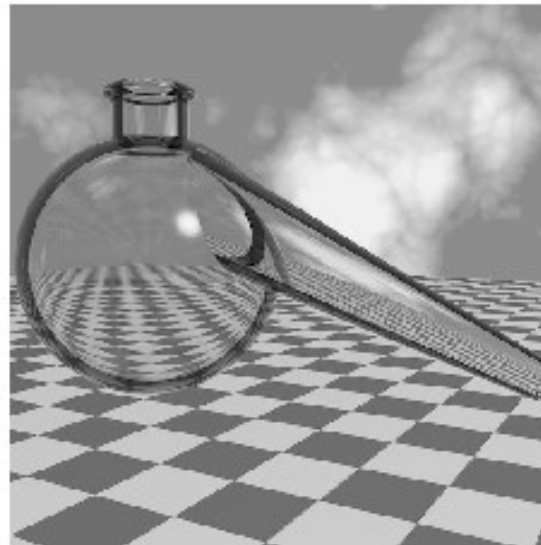
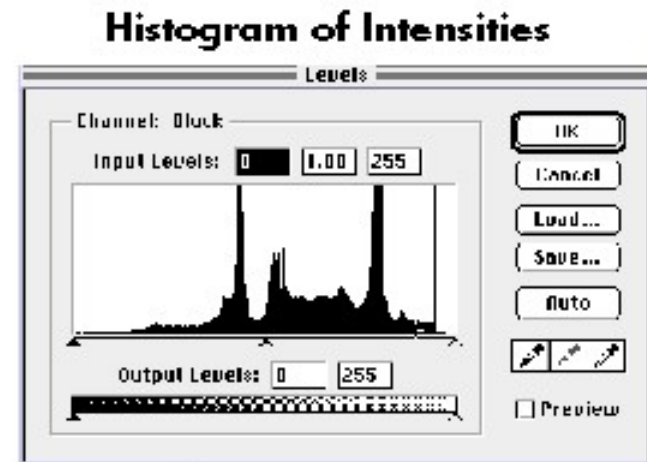
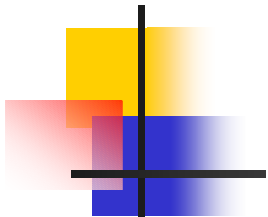


Image courtesy Don Mitchell



$$E^2 = \sum_{k=1}^K \int_{v_{k-1}}^{v_k} (v - \hat{v}_k)^2 p(v) dv$$

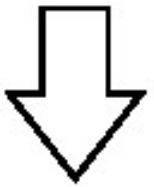
$$\hat{v}_k = \frac{v_k}{K-1}$$



Least-Squares Optimization

$$E^2 = \sum_{k=1}^K \int_{v_{k-1}}^{v_k} (v - \hat{v}_k)^2 p(v) dv$$

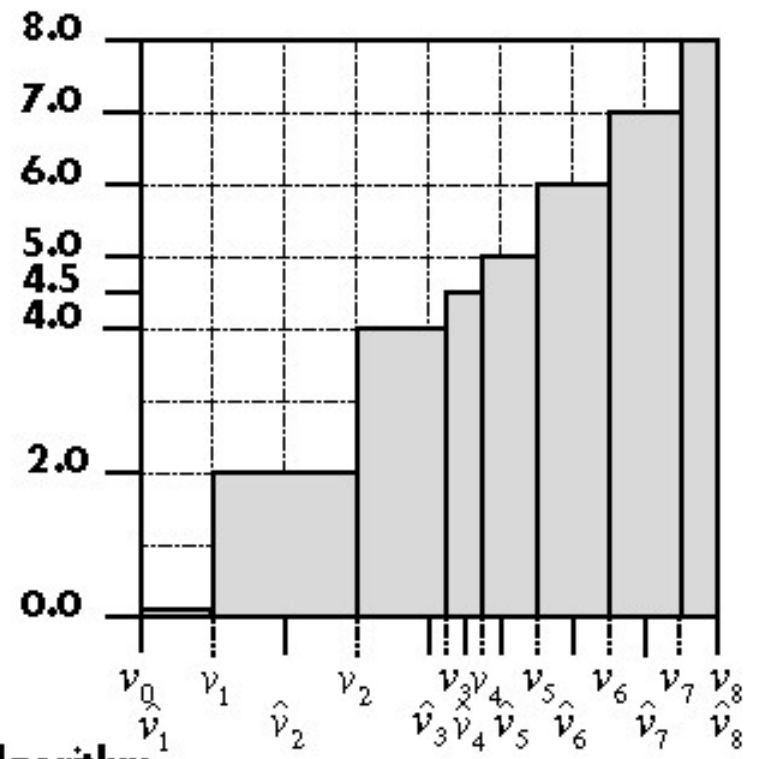
Least Squares



Means:
$$\hat{v}_k = \frac{\int_{v_{k-1}}^{v_k} vp(v) dv}{\int_{v_{k-1}}^{v_k} p(v) dv}$$

Intervals:
$$v_k = \frac{1}{2}(\hat{v}_{k-1} + \hat{v}_k)$$

Necessary conditions, not an algorithm



Дискретное квантование

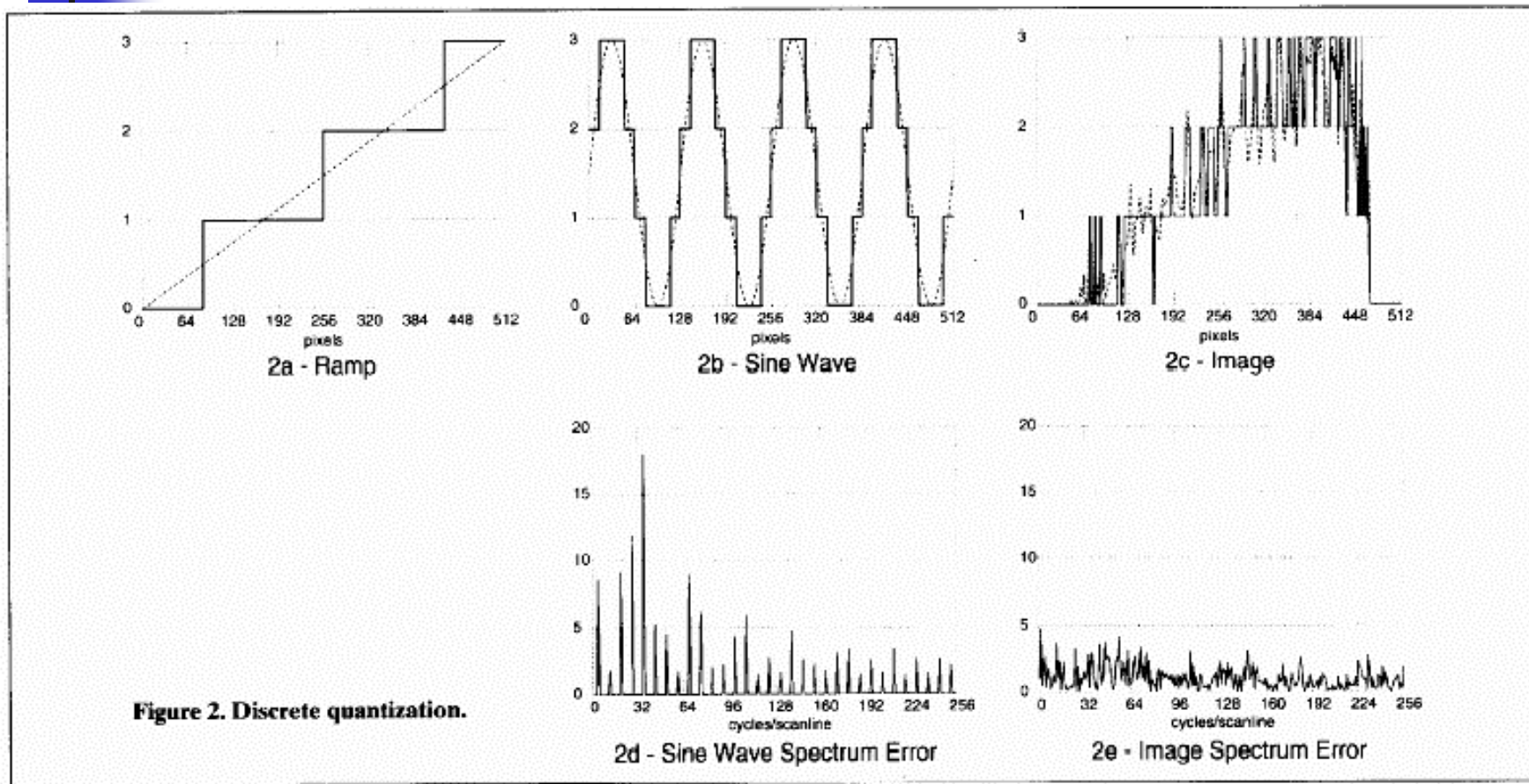
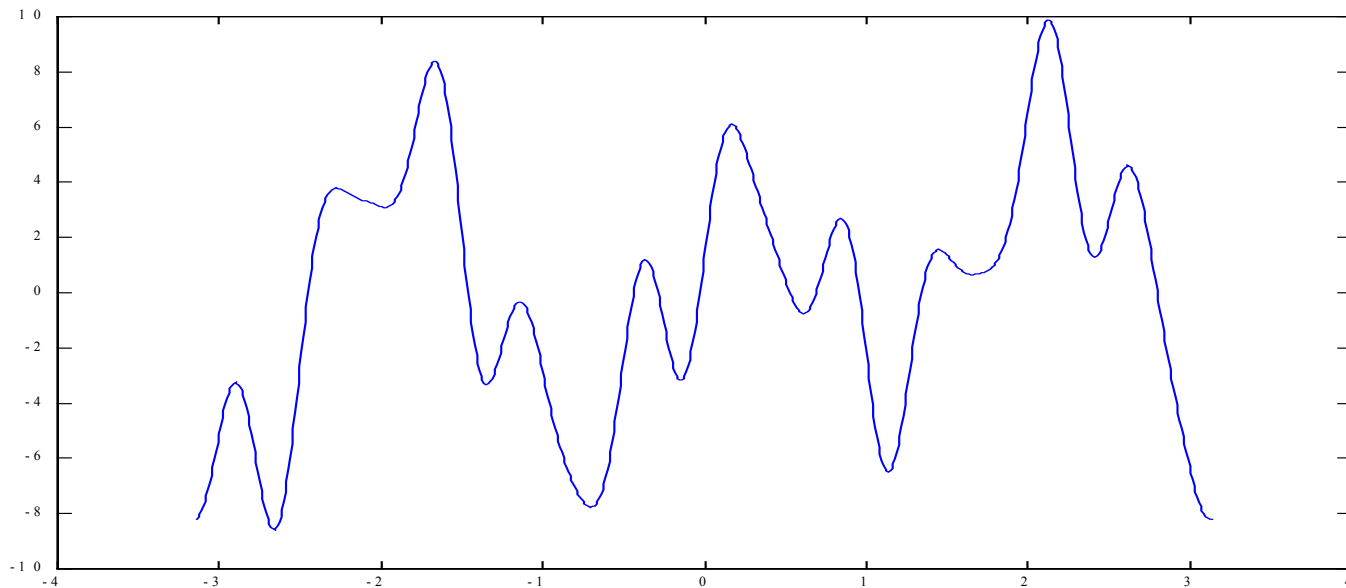


Figure 2. Discrete quantization.

Пример сигнала



$$f(x) = \sin x - 2 \cos 2x + 5 \sin(3x + 1) + 3 \sin(10x - 0.5) + \cos(15x - 1)$$



Преобразование Фурье

Преобразование Фурье (образ Фурье):

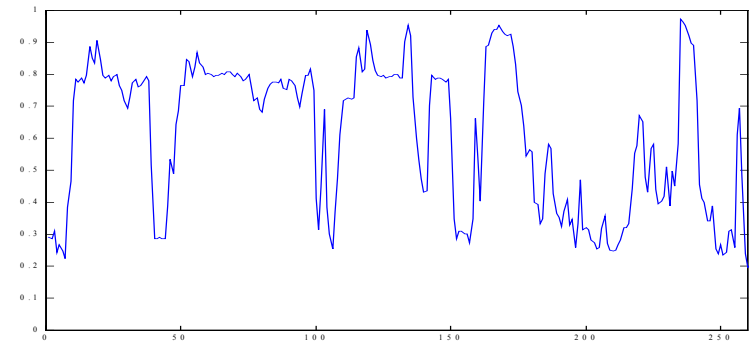
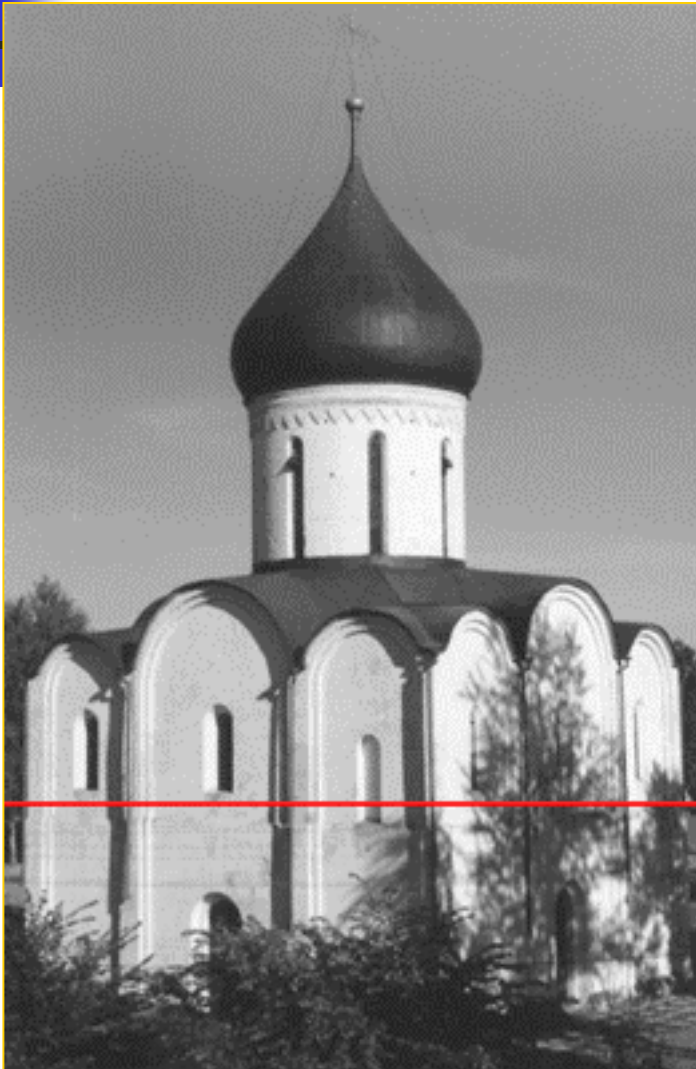
$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(x) \exp(-i\omega x) dx$$

$$A(\omega) = |F(\omega)|, \quad \operatorname{tg} \alpha(\omega) = \arg F(\omega)$$

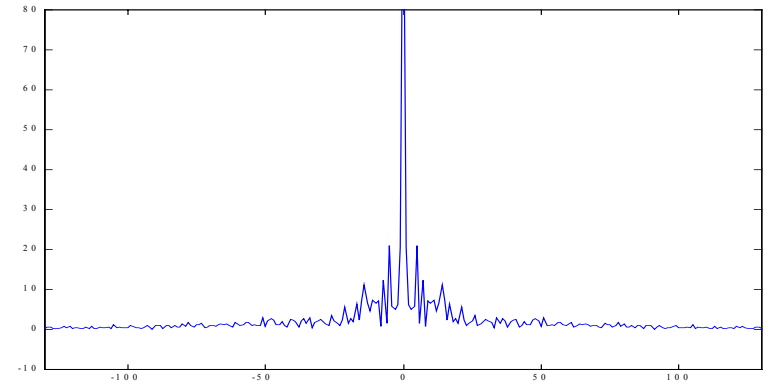
Обратное преобразование Фурье:

$$f(x) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} F(\omega) \exp(i\omega x) d\omega$$

Пример преобразования Фурье

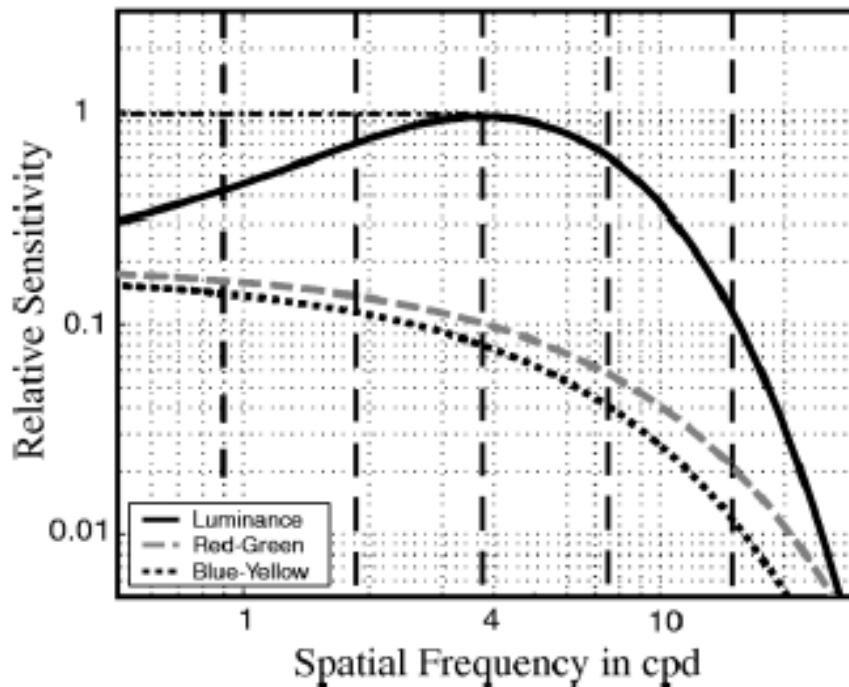
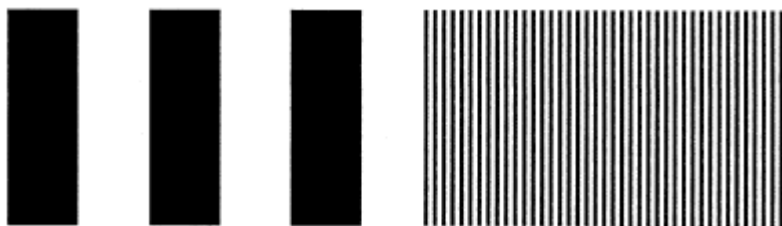


$f(x)$



$|F(\omega)|$

Функция контрастной чувствительности глаза





Псевдотонирование и Автотипия (Dithering & Halftoning)

Увеличить разрешение по интенсивности за счет пространственного разрешения

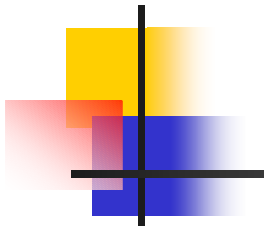
- Бинаризация
- Случайное псевдотонирование (Робертс)
- Упорядоченное псевдотонирование (Байер)
- Автотипия
- Диффузия ошибки (Флойд – Стейнберг)

Ваш глаз усреднит интенсивность и цвет по площади



Бинарное изображение





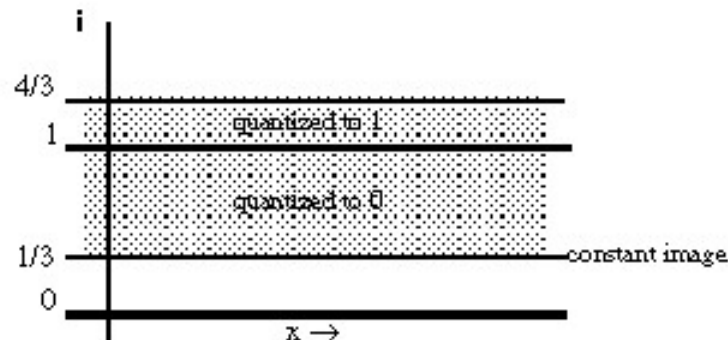
Robert's Algorithm

First add noise

$$\hat{v}(x, y) = \text{trunc}(K \times v(x, y) + \text{noise}(x, y))$$

Then quantize

$$0 \leq \text{noise} < 1$$



Moves low freq. (average error) to high freq.

Pink(low), Blue (high), White(all) frequency noise

Случайное псевдотонирование

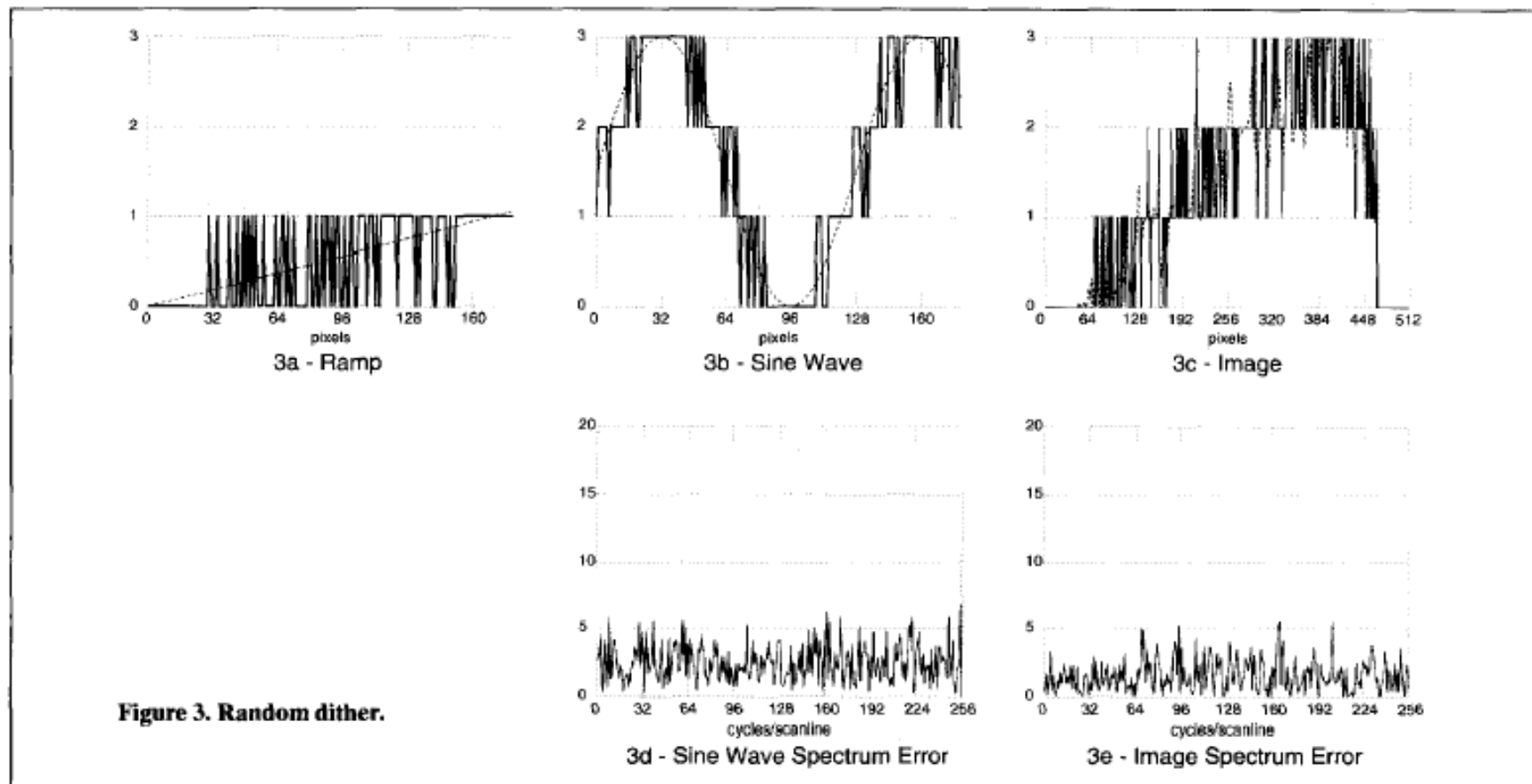


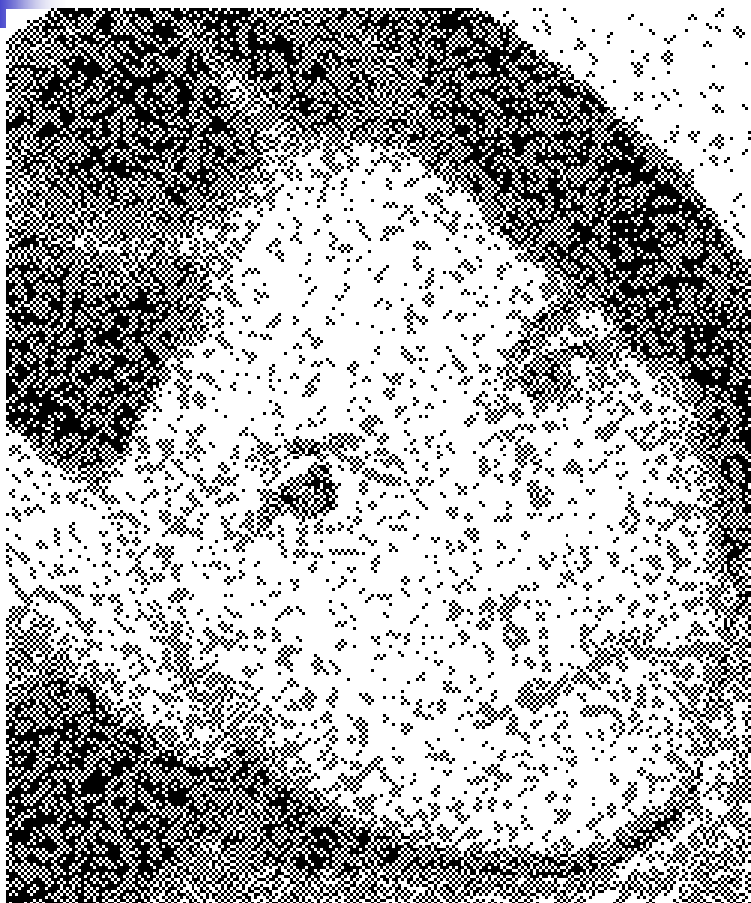
Figure 3. Random dither.



Белый шум



Голубой и розовый шум



Упорядоченное псевдотонирование

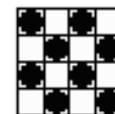
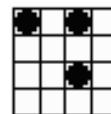
■ Методы

■ Упорядоченное псевдотонирование



1. Изображение разбивается на блоки
2. В каждом блоке вычисляется средняя интенсивность
3. В зависимости от интенсивности выбирается нужный шаблон
4. Шаблон записывается в блок

Примеры шаблонов
с разными степенями заполнения:

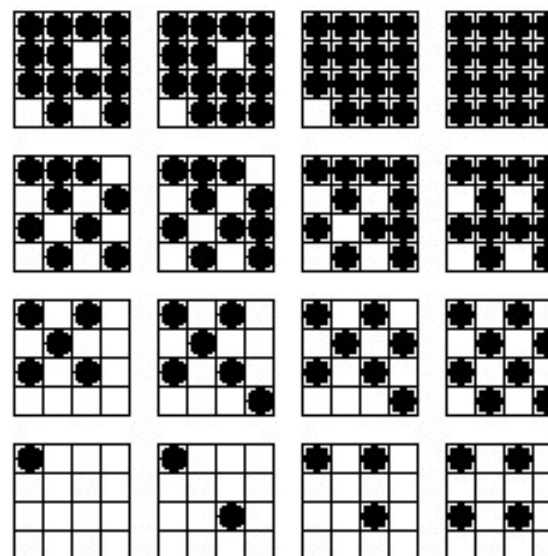


Bayer Ordered Dither Patterns

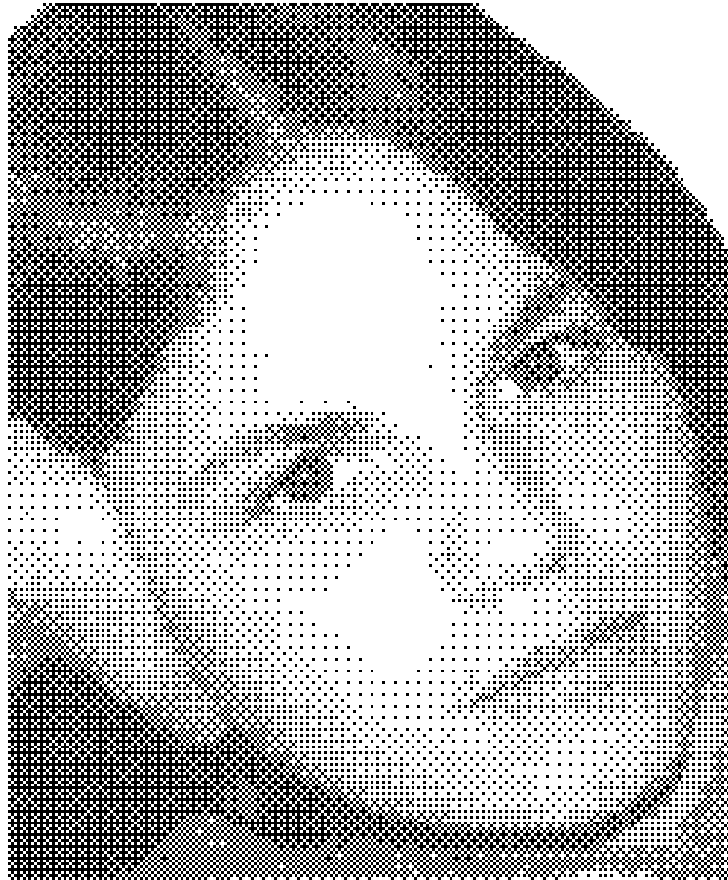
$$D_2 = \begin{bmatrix} 0 & 2 \\ 3 & 1 \end{bmatrix}$$

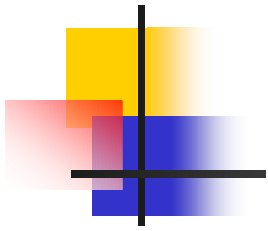
$$D_n = \begin{bmatrix} 4D_{n/2} + 0 & 4D_{n/2} + 2 \\ 4D_{n/2} + 3 & 4D_{n/2} + 1 \end{bmatrix}$$

$$D_4 = \begin{bmatrix} 0 & 8 & 2 & 10 \\ 12 & 4 & 14 & 6 \\ 3 & 11 & 1 & 9 \\ 15 & 7 & 13 & 5 \end{bmatrix}$$



Упорядоченное псевдотонирование





Classic Halftoning

Printers: *Binary Blobs* of ink

Clustered pattern

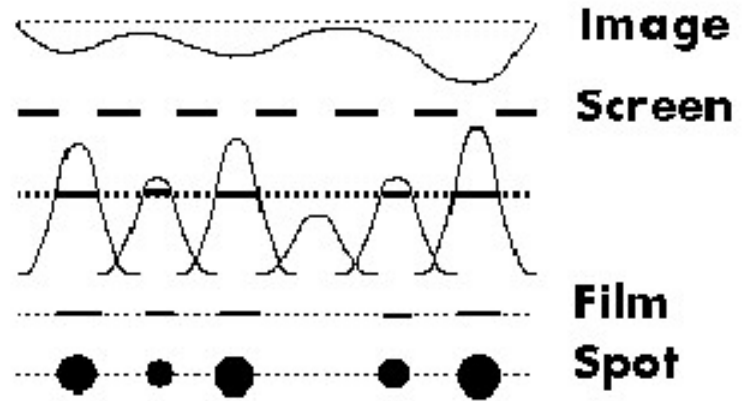
Enlarging spot

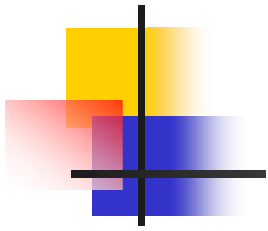
Classical printer scree

Spot function

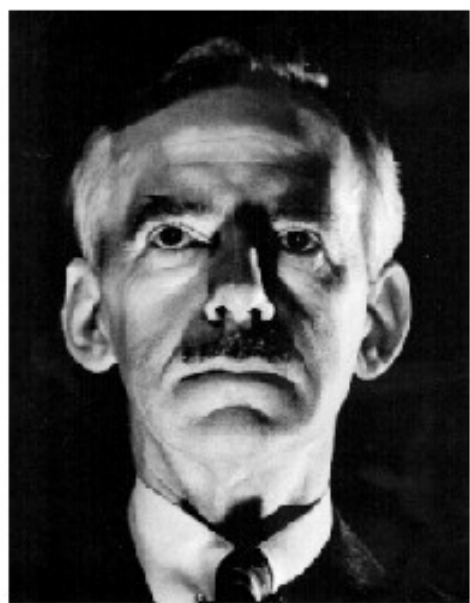
Line frequency

Tilt angle

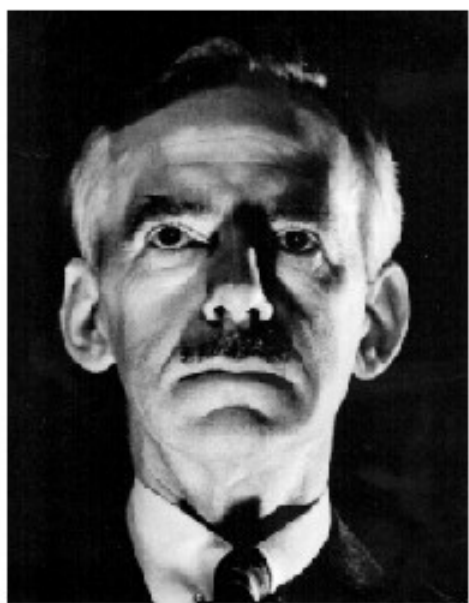




Line Screens

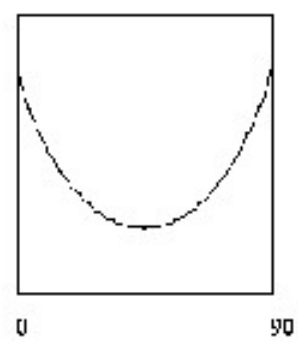


line 10 angle 0

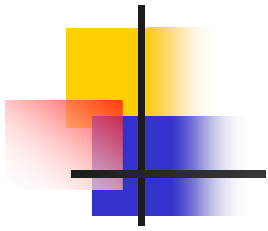


line 10 angle 45

Frequency Sensitivity

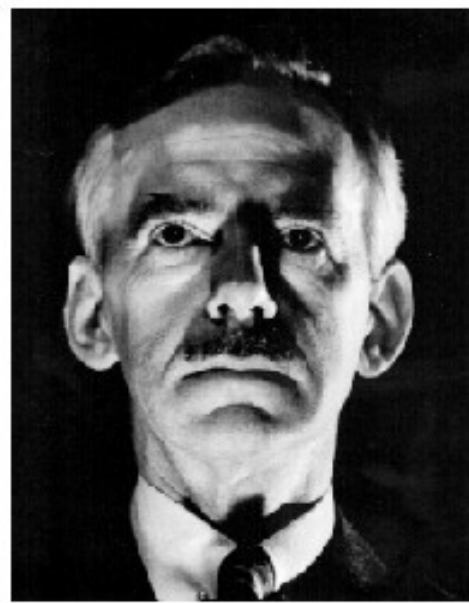


45 degrees best

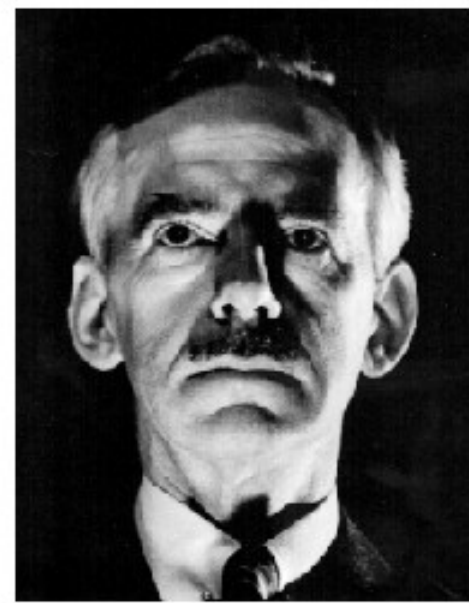


Line Screens

High spatial resolution means low intensity resolution



line 100 angle 45



line 200 angle 45

Диффузия ошибки

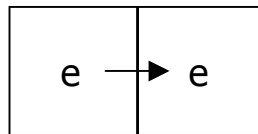
- Методы

- Диффузия ошибки

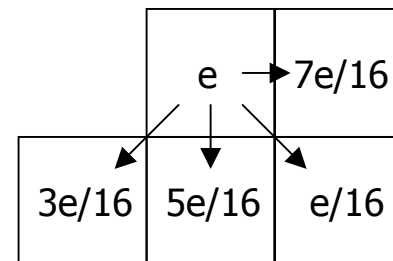
```
for (i=0; i<Height; i++)  
  for (j=0; j<Width; j++) {  
    Dest[i][j] = quantize(Src[i][j]);  
    e = Dest[i][j] - Src[i][j];  
    Src[i][j+1] -= e;  
  }
```

Идея алгоритма: ошибка, внесенная при квантовании текущего пикселя, распределяется между соседними (еще не квантованными) пикселями.

Примеры видов распределения ошибки:



простейший



Floyd-Steinberg





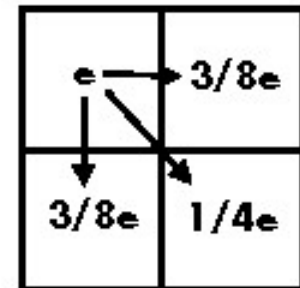
Error Diffusion

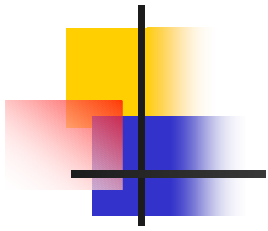
Idea: Quantize, then distribute error to neighbors

```
for(y=0; y<ny; y++)
  for(x=0; x<nx; x++){
    vq[x][y] = quantize(v[x][y]);

    e = v[x][y] - vq[x][y];

    i[x+1][y] += 3/8*e;
    i[x][y+1] += 3/8*e;
    i[x+1][y+1] += 1/4*e;
  }
```





Comparison



Blue Noise



Bayer Dither



Floyd-Steinberg



Литература в библиотеке

- Джим Блинн (James F. Blinn) “*Ошибка квантования и псевдотонирование*”
- <http://graphics.cs.msu.su/courses/cg/library/translations/src/quantization.doc>
- Квантование (*Скан из книги Дж. Фоли и А. ван Дама*)
- http://graphics.cs.msu.su/courses/cg01b/quantiz/F&vD_quant.htm
- Псевдотонирование (*Скан из книги Дж. Фоли и А. ван Дама*)
- http://graphics.cs.msu.su/courses/cg01b/dither/F&vD_dith.htm



Литература в библиотеке

- Методическое пособие "*Введение в цифровую обработку сигналов (математические основы)*"
<http://graphics.cs.msu.su/courses/cg02b/library/dspcourse.pdf>
- Джим Блинн (James F. Blinn) "*Грязные пикселы*"
http://graphics.cs.msu.su/courses/cg/library/translations/integer_pixels.html
- Джим Блинн (James F. Blinn) "*Все что нам нужно сейчас - побольше алиасинга*"
<http://graphics.cs.msu.su/courses/cg/library/translations/aliasing.html>