

# СТАТИСТИЧЕСКАЯ РАДИОТЕХНИКА



(Основы теории случайных  
процессов)

Ведущие преподаватели:

- ▣ Грузман Игорь Семенович, профессор кафедры ТОР, 4-415а
- ▣ Мурасев Алексей Александрович, ассистент кафедры ТОР, 4-413

# СТРУКТУРА КУРСА

---

- 36 часов лекций,
- 18 часов практических занятий,  
(РТС – 36 часов)
- 18 часов лабораторных работ,
- 1 расчетно-графическое задание.
- Экзамен (2 вопроса, 1 задача)

# ТЕМЫ ЛЕКЦИЙ

---

- Случайные процессы и их характеристики.
- Преобразование случайных процессов в линейных стационарных системах .
- Оптимальные и квазиоптимальные линейные системы.
- Основы теории обнаружения и оценивания параметров сигналов.

# ТЕМЫ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ И РГР

---

1. Случайные величины и их характеристики.
2. Случайные процессы (СП) и их характеристики. Самостоятельная работа (20 минут).
3. Стационарные и эргодические СП и их характеристики.
4. Воздействие СП на линейные системы (ЛС).
5. К.Р. Воздействие СП на ЛС (2 часа).
6. Согласованный фильтр.
7. К.Р. Согласованный фильтр (2 часа).
8. Обнаружение детерминированных сигналов.

Сдать на проверку РГР на 12 неделе

# ТЕМЫ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

---

1. Измерение характеристик СП.
2. Согласованный фильтр.
3. Изучение Винеровской фильтрации.
4. Подведение итогов.

# ЭКЗАМЕН

---

- К экзамену допускаются студенты, сдавшие лабораторные работы, защитившие РГР, выполнившие программу практических занятий
- Экзамен проводится в устном виде: предлагается задача и два теоретических вопроса.

# ЛИТЕРАТУРА

---

1. Грузман И.С. Основы теории случайных процессов.- НГТУ, 2004 г.
2. Грузман И.С. Применение теории случайных процессов.- НГТУ, 2006 г.
3. Борукаев Т.Б., Васюков В.Н., Грузман И.С. , Спектор А. А. Применение статистических методов в радиотехнике – НГТУ, 1992.
4. Липкин И.А. Статистическая радиотехника. Теория информации и кодирования. – М.:Вузовская книга, 2002.
5. Левин Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники. - М.: Сов. радио.
6. Тихонов В.И. Статистическая радиотехника. - М.: Радио и связь
7. Шахтарин Б.И. Случайные процессы в радиотехнике. - М.: Радио и связь, 2002 г.

# ЛИТЕРАТУРА

---

## Задачники

1. Горяинов В.Т., Журавлев А.Г., Тихонов В.И. Статистическая радиотехника: Примеры и задачи. - М.: Сов. радио, 1980.
2. Гмурман В.Е. Руководство к решению задач по теории вероятностей и математической статистике. - М.: Высшая школа, 2000.

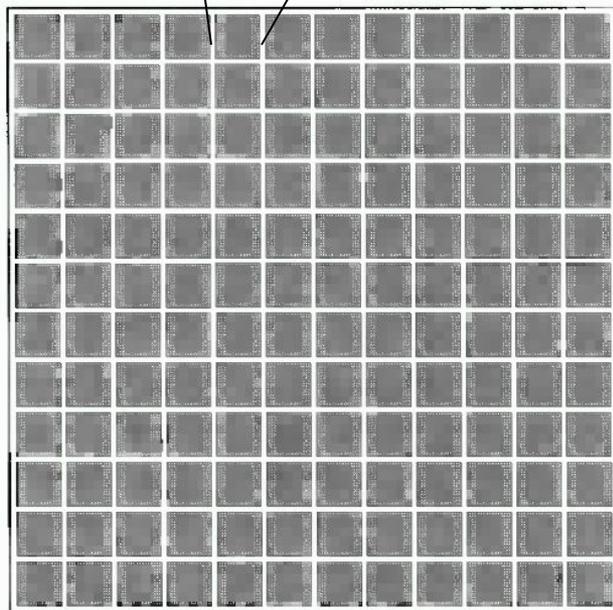
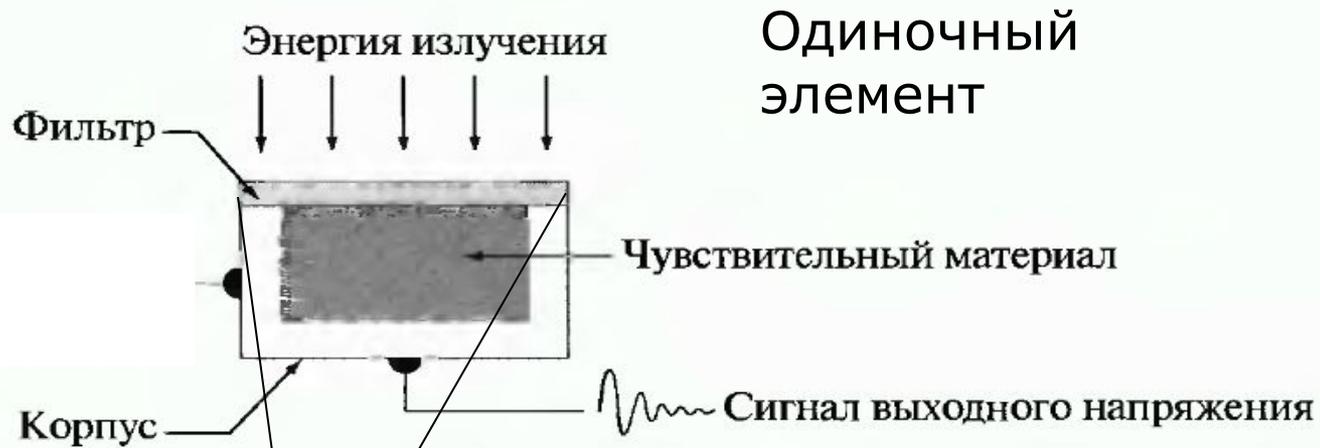
## Лабораторные работы

Основы теории случайных процессов : метод. указания к лаб. работам для 3 курса // А. А. Спектор, И. С. Грузман . - Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2017.

# ПРИМЕНЕНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ



# РЕГИСТРАЦИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ

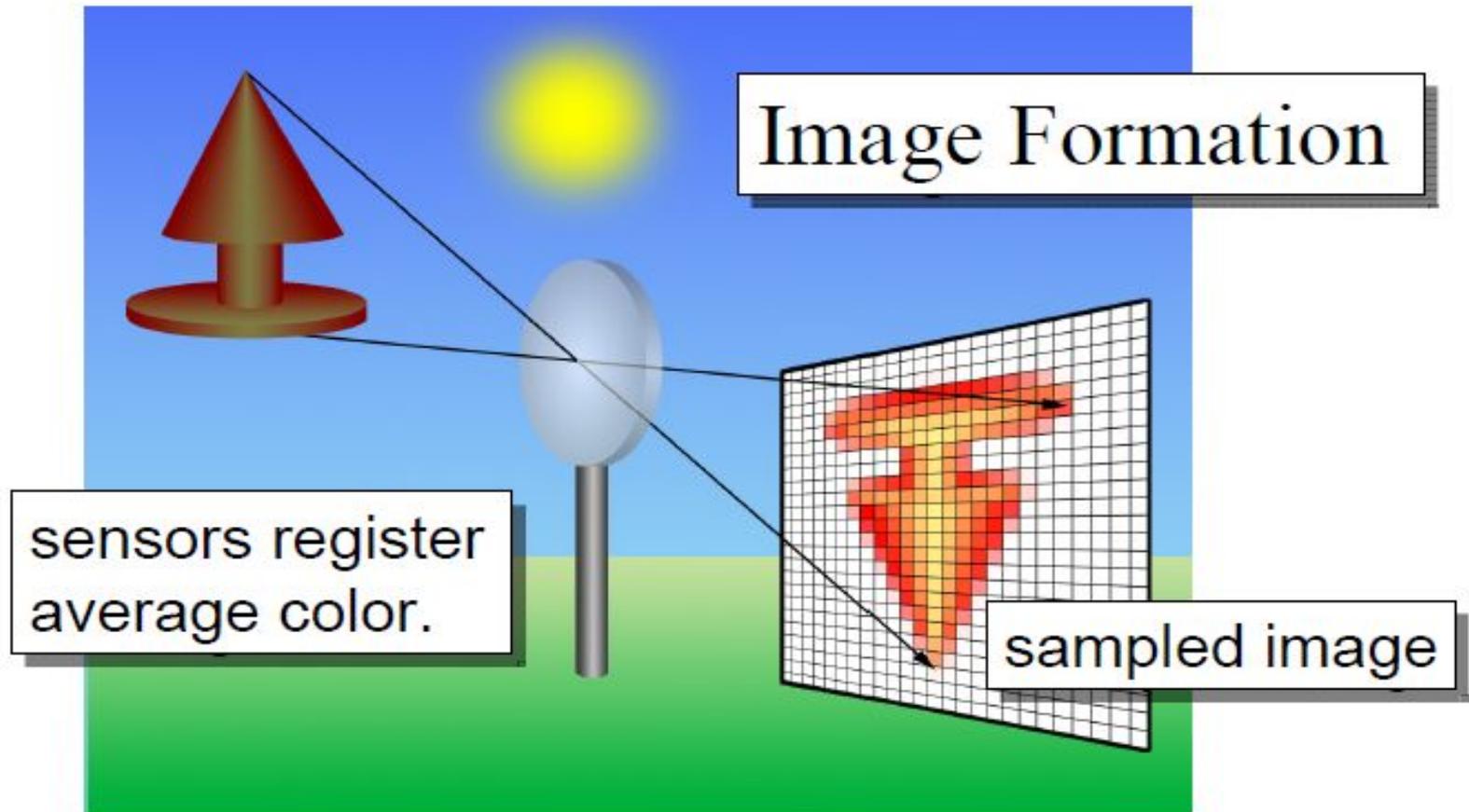


Матрица чувствительных элементов

(Гонсалес, Вудс, ЦОИ)

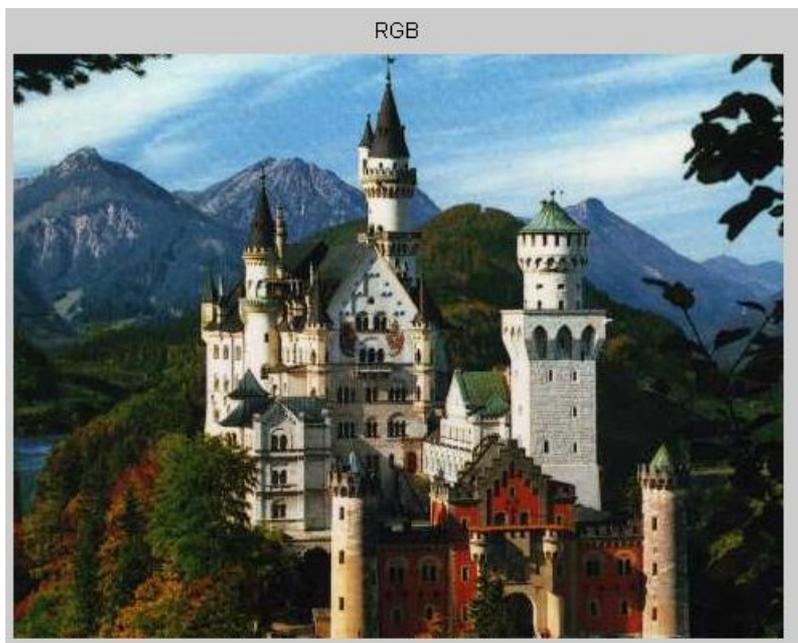
# РЕГИСТРАЦИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ

---

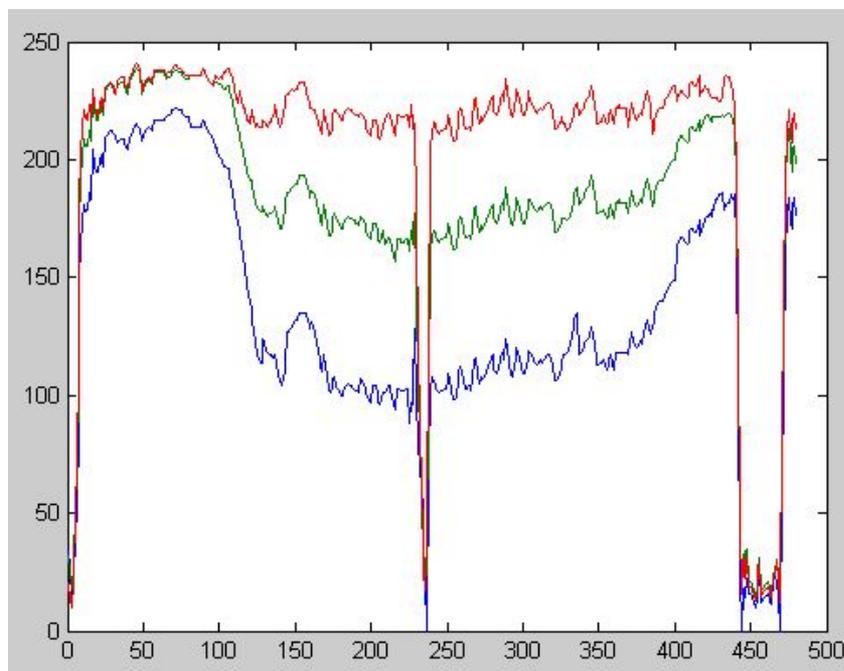


# ЦВЕТНОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ

RGB-  
изображение

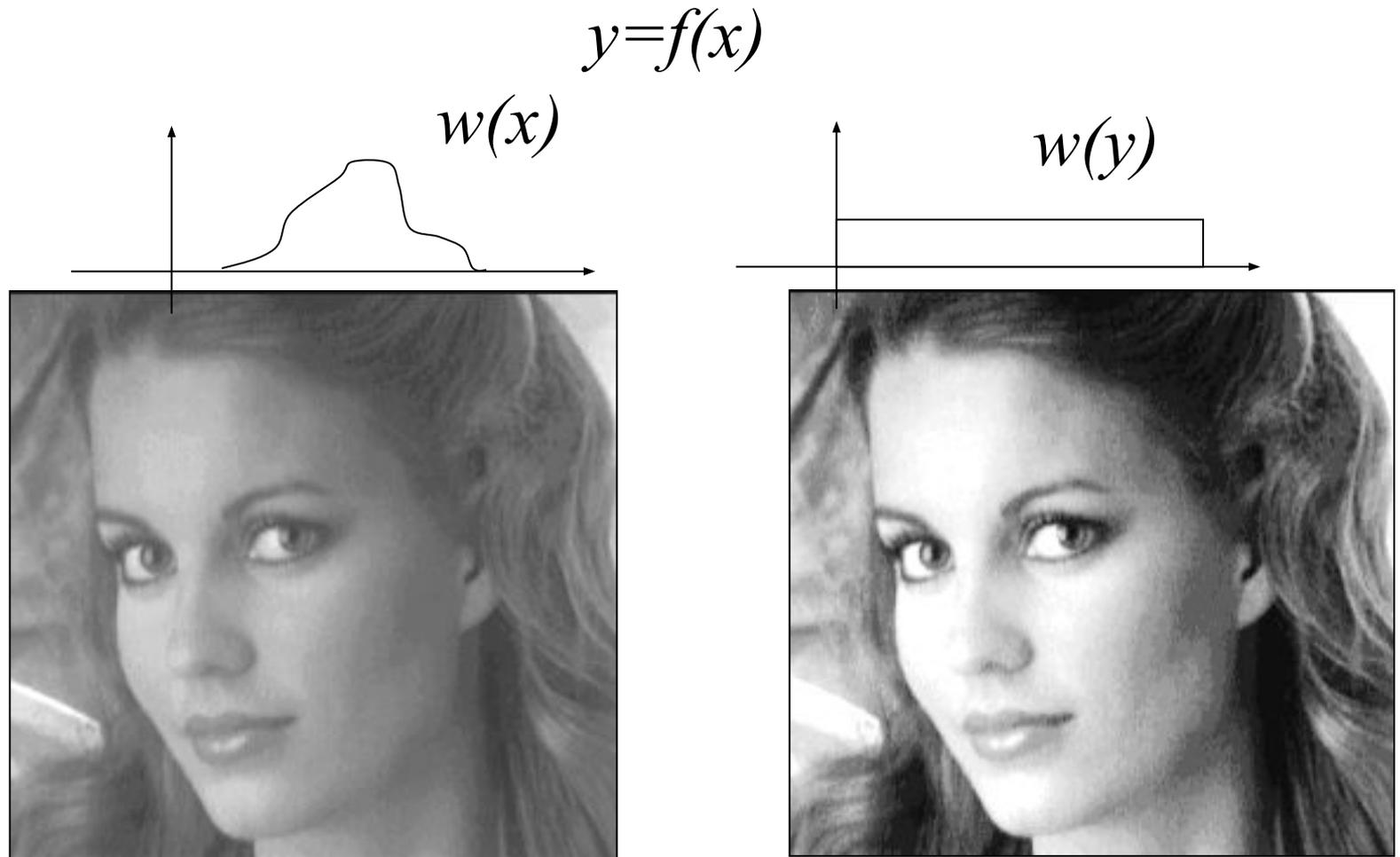


Строки цветного  
изображения



# УЛУЧШЕНИЕ ВИЗУАЛЬНОГО КАЧЕСТВА ИЗОБРАЖЕНИЙ (ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ГИСТОГРАММ)

---



# ФИЛЬТРАЦИЯ СИГНАЛОВ

(РАЗРАБОТКА МАГИСТРАНТА Д.С.КОЛМАКОВА  
И ИНЖЕНЕРА В.Н.ШАШКИНА -2008 Г.)

---



# МЕДИАННАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ

---

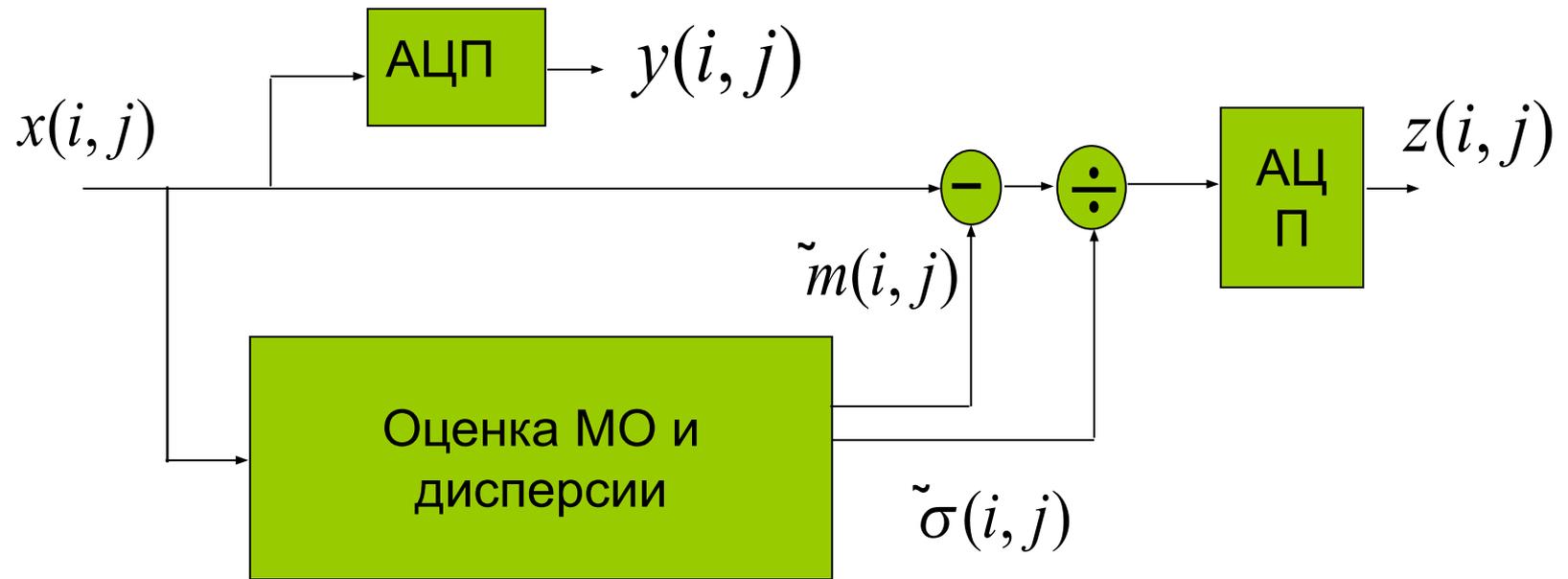
Изображение, искаженное  
импульсной помехой

Результат линейной  
фильтрации

Результат медианной  
фильтрации



# ДИНАМИЧЕСКОЕ КВАНТОВАНИЕ



# ДИНАМИЧЕСКОЕ КВАНТОВАНИЕ

---

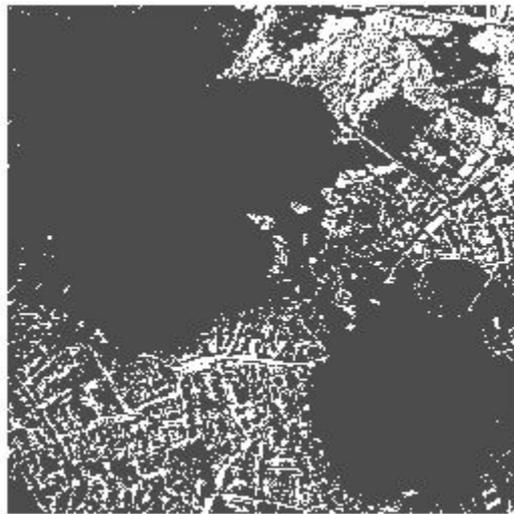
Исходное изображение

$x(i, j)$



Изображение, проквантованное  
на 4 уровня без предварительной  
обработки

$y(i, j)$



Изображение, проквантованное  
на 4 уровня с предварительной  
обработкой

$z(i, j)$

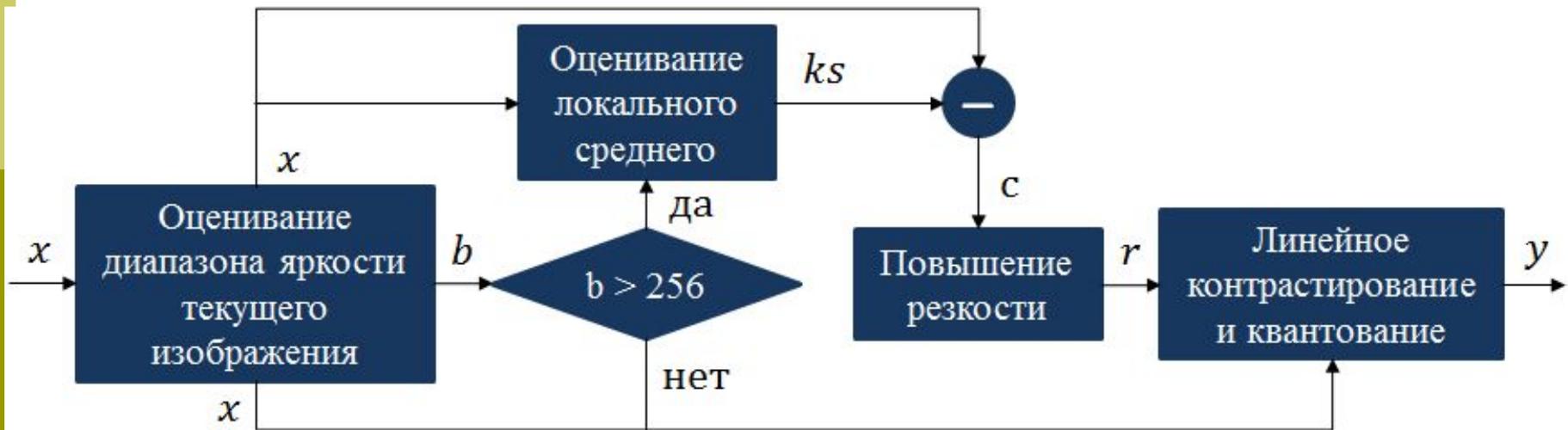


# ДИНАМИЧЕСКОЕ КВАНТОВАНИЕ ТЕПЛОВИЗИОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

(магистрант Жданов М.В. – 2017)



Примеры засвеченных  
тепловизионных изображений



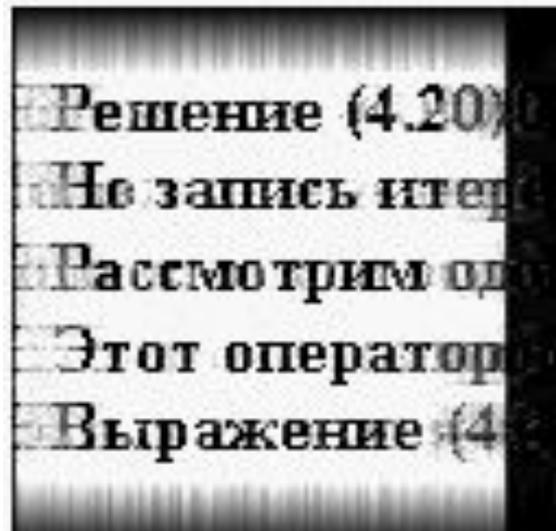
Блок-схема работы алгоритма обработки  
засвеченных тепловизионных кадров



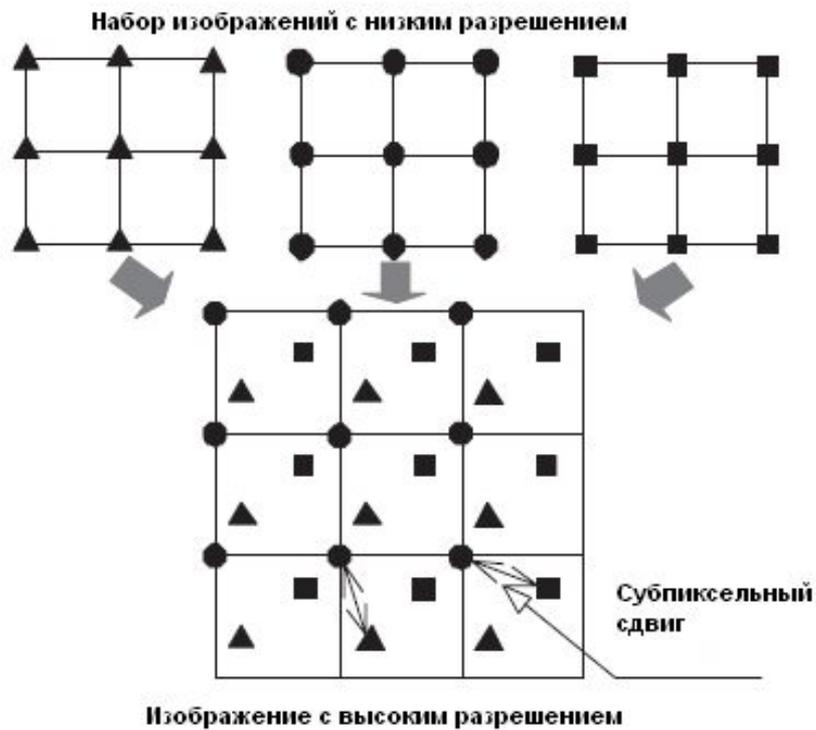
- а) Исходное незасвеченное изображение после преобразования 10 бит в 8 бит  
б) Результат работы алгоритма обработки изображения а)

# ПОВЫШЕНИЕ ЧЕТКОСТИ ИЗОБРАЖЕНИЙ МЕТОДОМ ВИНЕРОВСКОЙ ФИЛЬТРАЦИИ (ФИЛЬТР ВИНЕРА)

---



# СВЕРХРАЗРЕШЕНИЕ



# СВЕРХРАЗРЕШЕНИЕ

---



# НЕПАРАМЕТРИЧЕСКИЕ АЛГОРИТМЫ ОБНАРУЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ

---

Исходное изображение



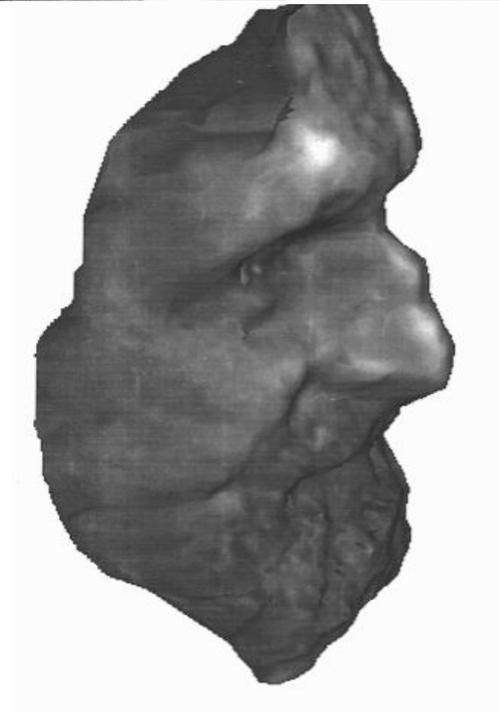
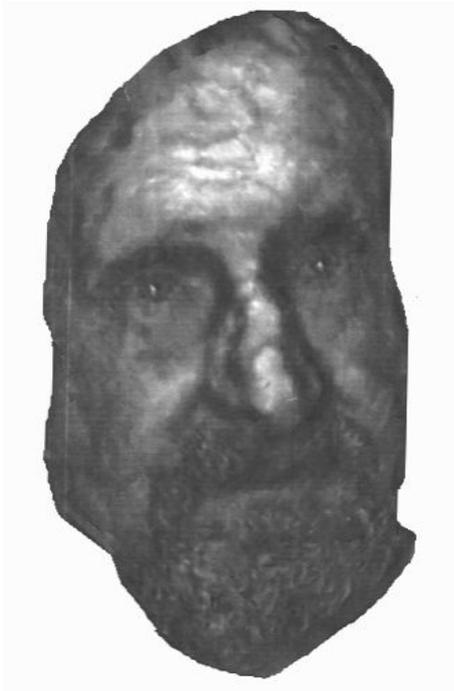
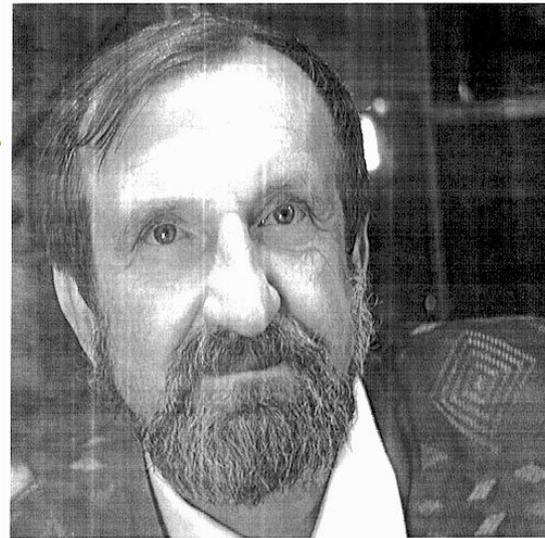
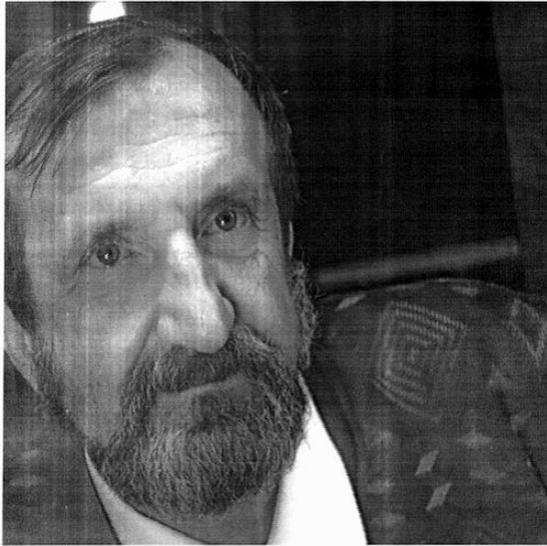
# ПОСТРОЕНИЕ ПАНОРАМНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ (ОЦЕНИВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СИГНАЛОВ) (магистрант Никитин С.В. – 2008)

---

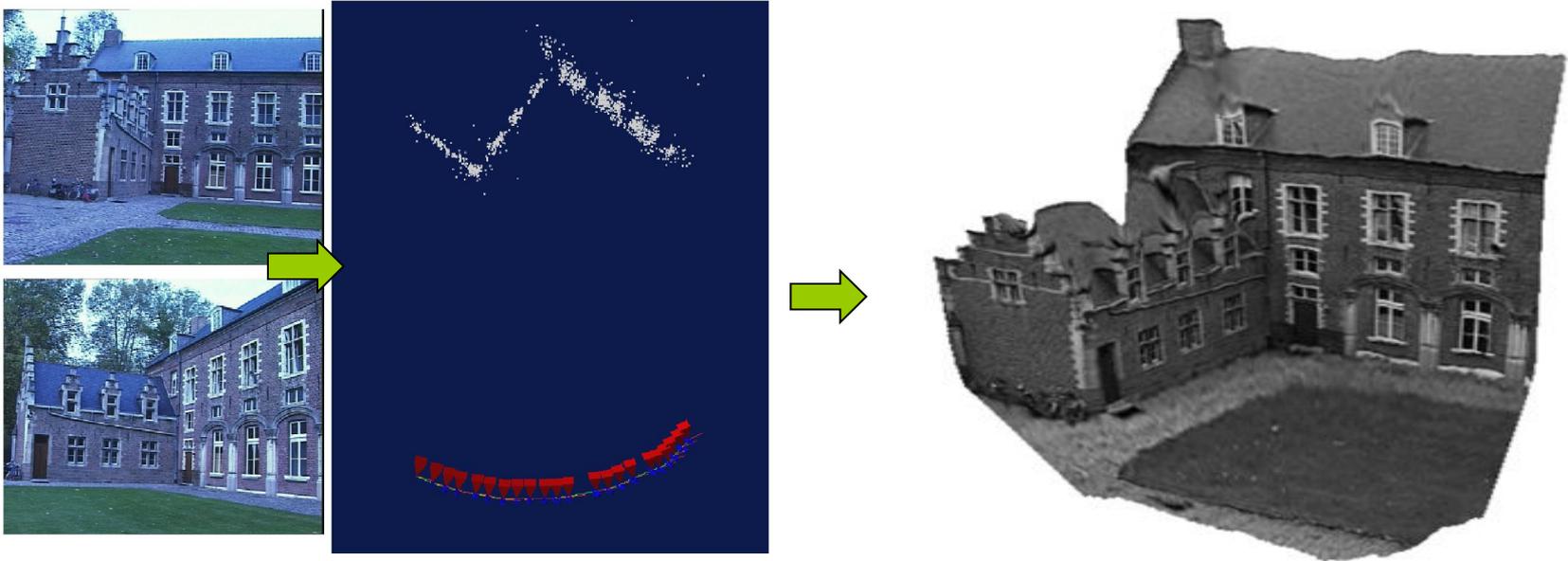
Исходные изображения



# ПОСТРОЕНИЕ ТРЕХМЕРНЫХ ОБЪЕКТОВ



# ПОСТРОЕНИЕ 3D ИЗОБРАЖЕНИЯ ПО 2D ИЗОБРАЖЕНИЯМ



Последовательность изображений

3D-координаты сопряженных точек

Текстурированная карта глубины

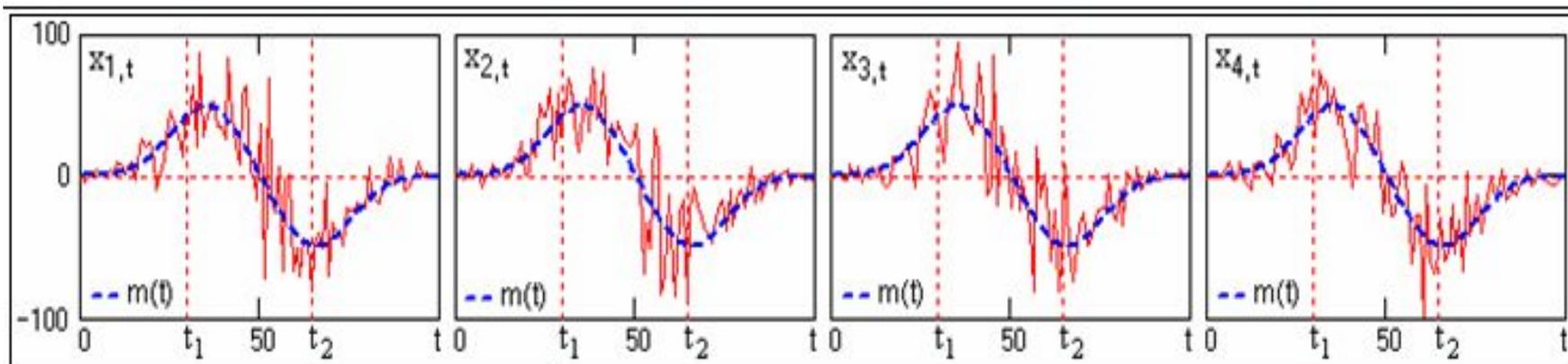
# СЛУЧАЙНЫЕ ПРОЦЕССЫ. ОБЩИЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ



# СЛУЧАЙНЫЕ ПРОЦЕССЫ. ОБЩИЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ

**Случайный процесс  $X(t)$**  – функция неслучайного аргумента  $t$  (времени), сечение которой является случайной величиной

**Реализация СП  $X(t)$**  – неслучайная функция  $x(t)$ , в которую превращается СП в результате опыта



Реализации случайного процесса.

**Ансамбль** – совокупность всех возможных реализаций СП

**Случайный процесс** – совокупность всех возможных реализаций вместе с соответствующим распределением вероятностей появления этих реализаций

# ФУНКЦИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ И ПЛОТНОСТЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕРОЯТНОСТЕЙ СЛУЧАЙНОГО ПРОЦЕССА

---

Одномерная функция распределения (ФР) СП:

$$F_1(x_1; t_1) = P(X(t_1) \leq x_1)$$

Одномерная плотность распределения вероятностей (ПРВ) СП:

$$w_1(x_1; t_1) = \frac{\partial F_1(x_1; t_1)}{\partial x_1}$$

ПРВ произвольного порядка :  $w_n(x_1, \dots, x_n; t_1, \dots, t_n)$

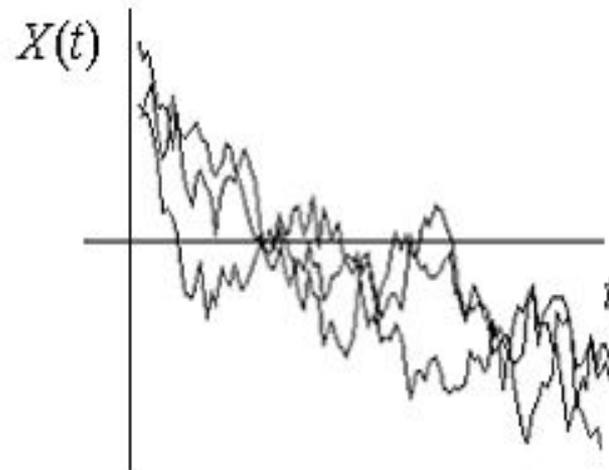
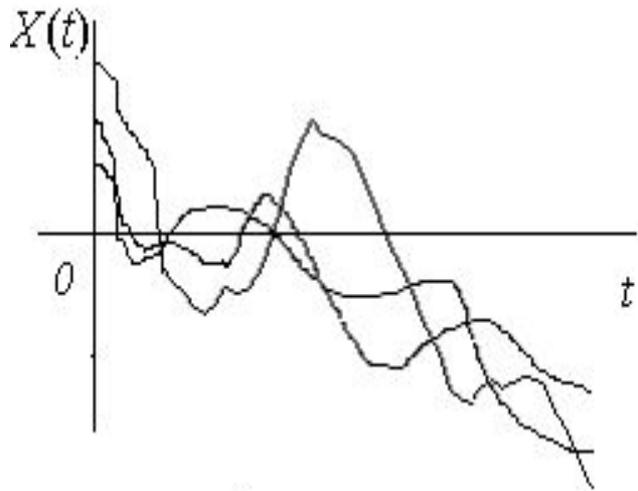
**Эквивалентные** СП - процессы, у которых все конечномерные ПРВ совпадают

**Дискретный белый шум** - случайная последовательность с независимыми сечениями :

$$w_n(x_1, \dots, x_n; t_1, \dots, t_n) = \prod_{i=1}^n w_1(x_i; t_i)$$

# ФУНКЦИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ И ПЛОТНОСТЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕРОЯТНОСТЕЙ СЛУЧАЙНОГО ПРОЦЕССА

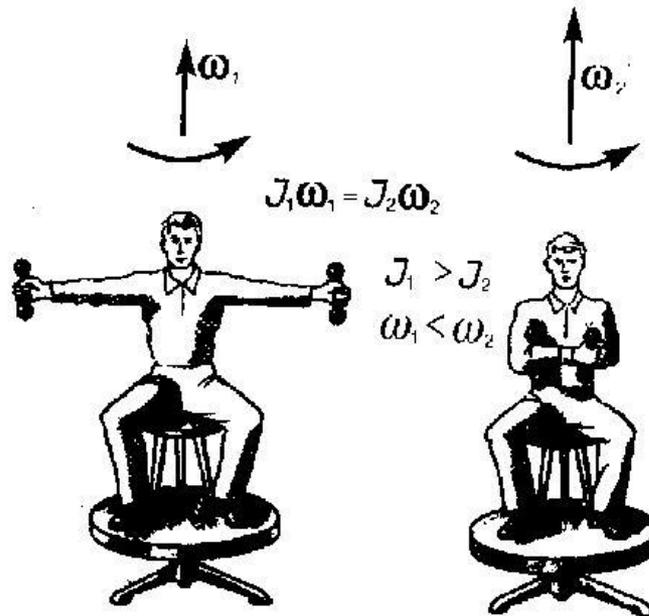
---



Двумерная ФР:  $F_2(x_1, x_2; t_1, t_2) = P(X(t_1) \leq x_1; X(t_2) \leq x_2)$

Двумерная ПРВ:  $w_2(x_1, x_2; t_1, t_2) = \frac{\partial^2 F_2(x_1, x_2; t_1, t_2)}{\partial x_1 \partial x_2}$

# МОМЕНТНЫЕ ФУНКЦИИ СП



# ТЕОРИЯ ВЕРОЯТНОСТЕЙ. НАЧАЛЬНЫЕ И ЦЕНТРАЛЬНЫЕ МОМЕНТЫ

Начальные моменты:

$$m_k = M[X^k] = \int_{-\infty}^{\infty} x^k w_1(x) dx$$

$$m_k = M[X^k] = \sum_{i=1}^n x_i^k p_i$$

Центральные моменты:

$$\boxtimes X = X - m_1$$

$$\mu_k = M\left[\left(X - m_1\right)^k\right] = M\left[\left(\boxtimes X\right)^k\right] = \int_{-\infty}^{\infty} (x - m_1)^k w_1(x) dx$$

$$\mu_k = M\left[\left(\boxtimes X\right)^k\right] = \sum_{i=1}^n (x - m_1)_i^k p_i$$

# ТЕОРИЯ ВЕРОЯТНОСТЕЙ. НАЧАЛЬНЫЕ И ЦЕНТРАЛЬНЫЕ МОМЕНТЫ

---

Смешанные начальные  
моменты:

$$m_{1,1} = M \left[ X_1 \cdot X_2 \right] = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} x_1 x_2 w_2(x_1, x_2) dx_1 dx_2$$

Смешанные центральные моменты:

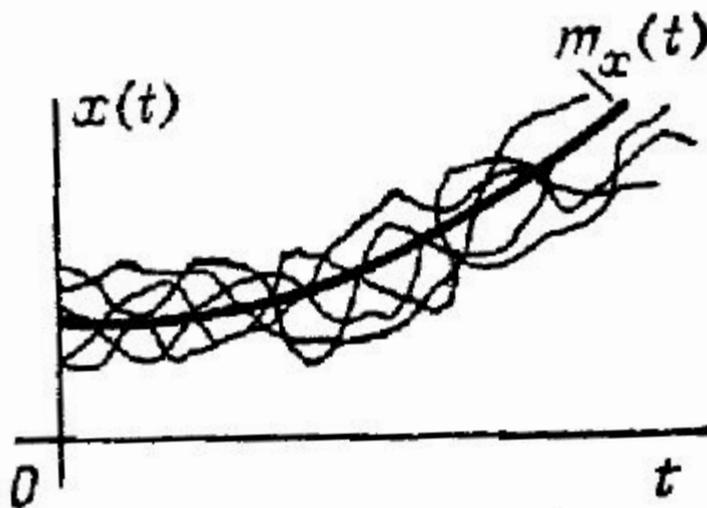
$$\begin{aligned} \mu_{1,1} &= M \left[ \overset{\boxtimes}{X_1} \cdot \overset{\boxtimes}{X_2} \right] \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} (x_1 - m_{1,x_1}) (x_2 - m_{1,x_2}) w_2(x_1, x_2) dx_1 dx_2 \end{aligned}$$

# МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОЖИДАНИЕ СП

Математическое ожидание (МО) СП - неслучайная функция  $m_x(t)$ , которая при любом значении аргумента равна МО соответствующего сечения СП

$$m_{1,x}(t) = m_x(t) = M[X(t)]$$

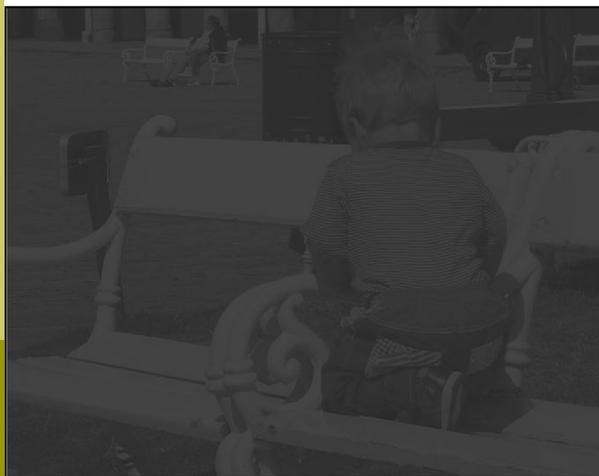
МО – “средняя” функция, вокруг которой происходит разброс реализаций СП



# СТАТИСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

---

$$\tilde{m}_1 = 40$$



$$\tilde{m}_1 = 120$$



$$\tilde{m}_1 = 200$$



# СВОЙСТВА МО СП

---

$$m_{1,x}(t) = m_x(t) = M[X(t)]$$

1.  $M[\phi(t)] = \phi(t)$

2.  $M[\phi(t) + X(t)] = \phi(t) + m_x(t)$

3.  $M[\phi(t)X(t)] = \phi(t)m_x(t)$

4.  $M[X(t) + Y(t)] = m_x(t) + m_y(t)$

5. Для независимых СП:  $M[X(t)Y(t)] = m_x(t) \cdot m_y(t)$

Начальная моментная функция второго порядка :

$$m_{2,x}(t) = M[(X(t))^2]$$

## ПРИМЕР

Найти МО СП  $X(t) = U \cos(5t)$ , где  $U$  – случайная величина, равномерно распределенная на интервале  $[1,5]$

---

$$m_x(t) = M[X(t)] = M[U \cos(5t)] = M[U]M[\cos(5t)] = 3 \cos(5t)$$

# ЦЕНТРИРОВАННЫЙ СП. ДИСПЕРСИЯ СП

Центрированный СП:  $\bar{X}(t) = X(t) - m_x(t)$       1.  $M[\bar{X}(t)] = 0$

2. Прибавление к СП неслучайной функции не изменяет ЦСП:

$$Y(t) = X(t) + \phi(t) \Rightarrow \bar{Y}(t) = \bar{X}(t)$$

$$3. Y(t) = \phi(t)X(t) \Rightarrow \bar{Y}(t) = \phi(t)\bar{X}(t)$$

Дисперсия СП:

$$D_x(t) = D[X(t)] = M[(\bar{X}(t))^2]$$

$$D_x(t) = M[(X(t) - m_x(t))^2] = m_{2,x}(t) - m_x^2(t)$$

Среднеквадратическое отклонение:  $\sigma_x(t) = \sqrt{D_x(t)}$

# СТАТИСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

---

$$\tilde{\sigma}_x = \sqrt{\tilde{D}_x}$$

$$\tilde{m}_1 = 120 \quad \tilde{\sigma} = 19$$

$$\tilde{m}_1 = 120 \quad \tilde{\sigma} = 38$$

$$\tilde{m}_1 = 120 \quad \tilde{\sigma} = 57$$

