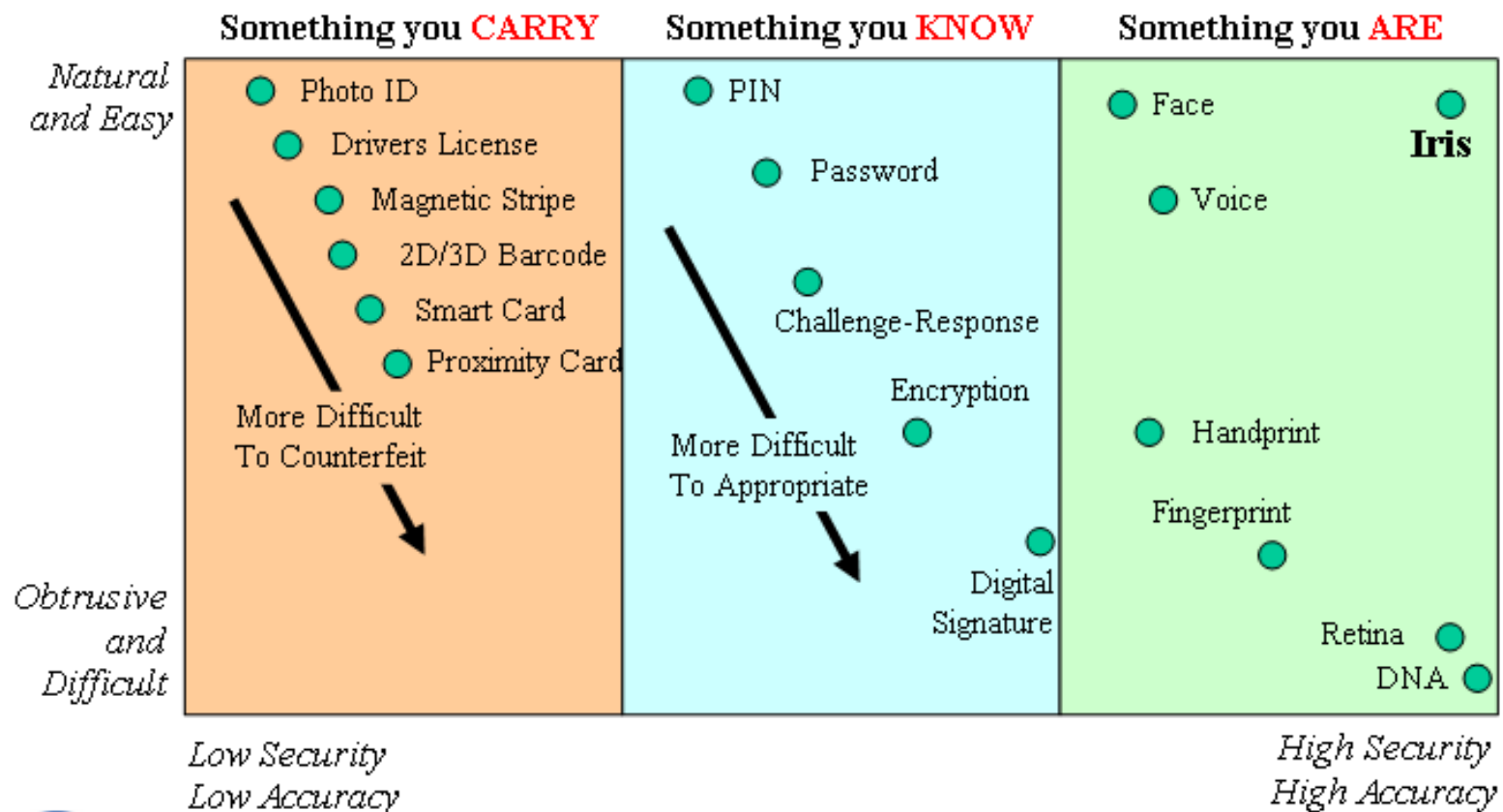


Лекция 10

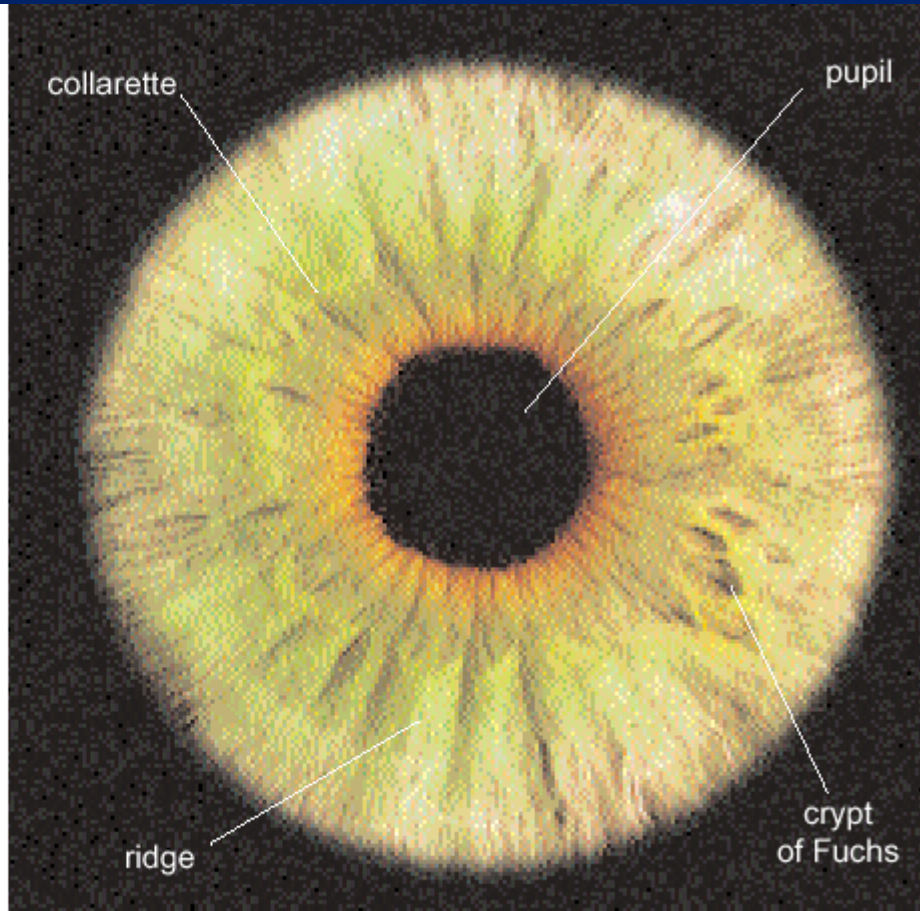
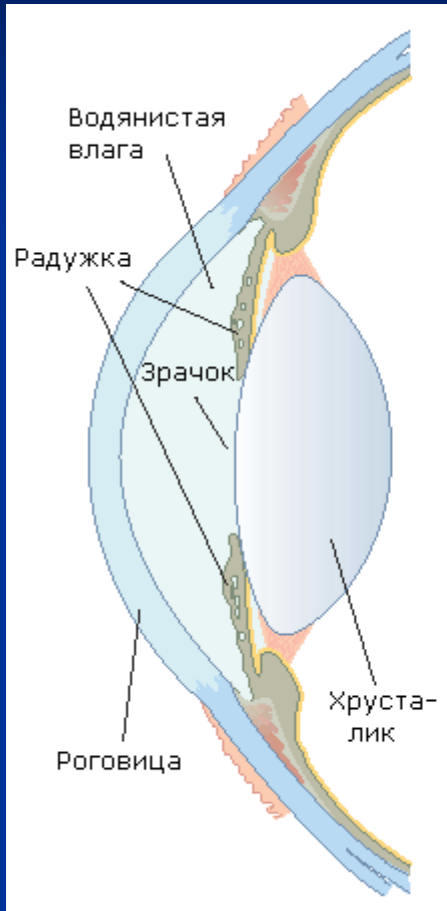
Идентификация человека по радужной оболочке глаза

Сканирование и распознавание: типы распознавания

Типы распознавания пользователя



Радужка: внутренний орган глаза



Уникальные структуры радужки обусловлены радиальной трабекулярной сетью (trabecular meshwork), состоящей из: углублений (крипты, лакуны), гребенчатых стяжек, борозд, колец, морщин, веснушек, короны, иногда пятнышек, сосудов и других черт

Радужка находится за роговицей и водянистой влагой передней камеры

История

- **XIX век - Альфонс Бертильон** - французский антрополог, криминалист, изучал в качестве идентификатора радужку (>цвет, <структуру)
- **1936г. - Франк Бурш** - известный американский глазной хирург, впервые предложил концепцию использования сложных структур радужной оболочки глаза для распознавания человека как по отпечаткам пальцев
- **1978г. - Роберт Хилл** - разработал первую глазную систему, запатентовал метод распознавания человека по сетчатке глаза
- **1987г. - Леонард Флом и Аран Сафир** - два офтальмолога, запатентовали концепцию Франка Бурше, не имея собственных разработок
- **1989г. - Доктор Джон Даугман** - известный ученый, Леонард Флом и Аран Сафир попросили его разработать математическую теорию и алгоритмы распознавания человека по радужной оболочке, предоставив образцы фотоизображений
- **1990, 1994гг. - Доктор Джон Даугман** - впервые разработал (1990г.) и запатентовал (1994г.) практический метод кодирования структур радужки.

Радужка: формирование, устойчивость

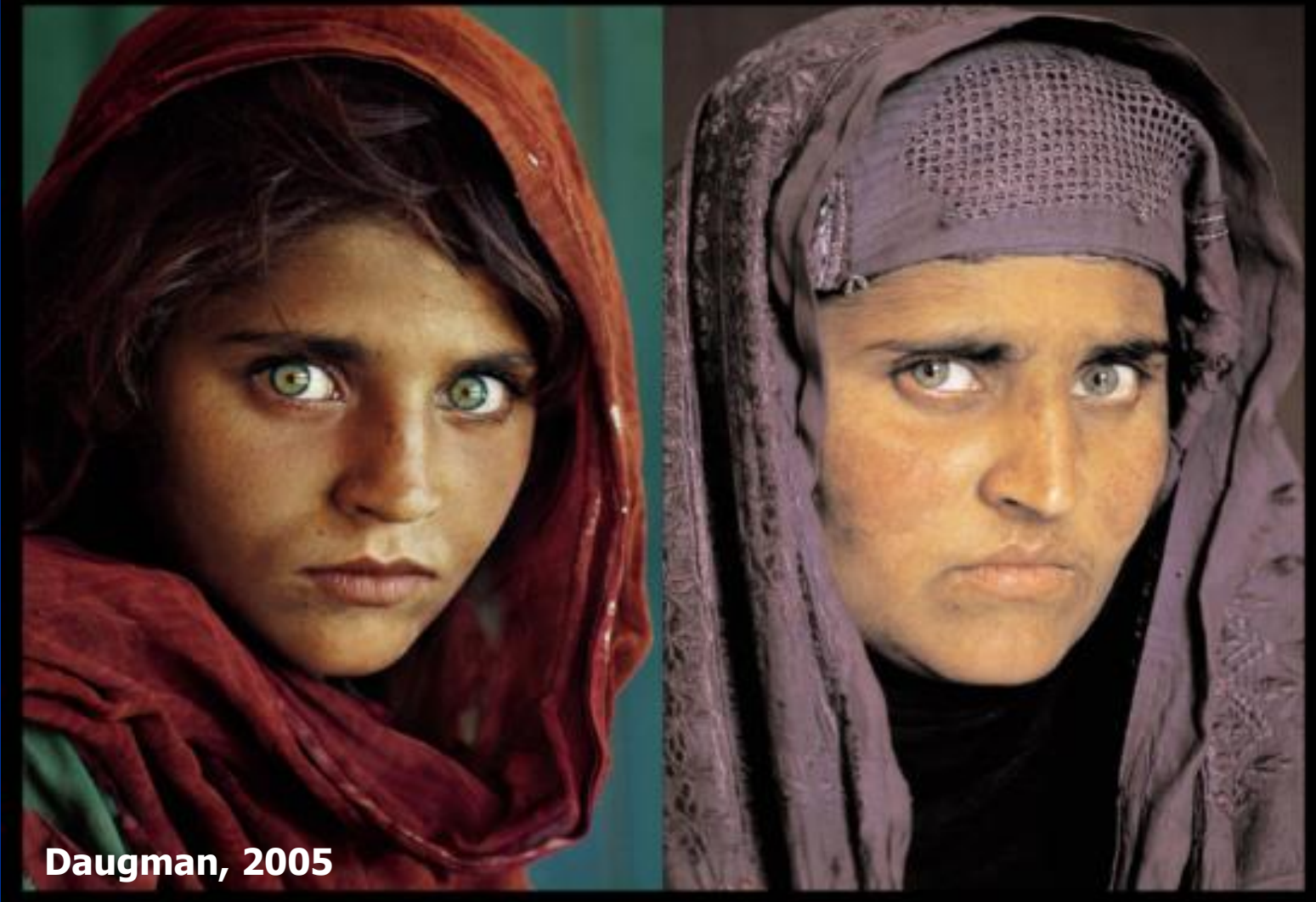
- **3-й месяц внутриутробного развития**
- начинает формироваться
- **8-й месяц** - практически сформирована структура
- **Случайность** - формируется случайно, даже у однояйцовых близнецов
- **Гены** - не влияют на структуры
- **Устойчивость после 1-го года жизни**
- радужка окончательно сформирована и практически не меняется вплоть до самой смерти, если нет травм или патологий глаза



Радужка: наиболее удобный идентификатор

- Изолирована и защищена от вн. среды
- Нельзя изменить, не нарушив зрение
- Реакция на свет и пульсация зрачка используется для защиты от подделок
- Возможен ненавязчивый, бесконтактный и скрытный метод получения изображений
- Высокая плотность уникальных структур
-3,2 бита/кв. мм. или около 250 независимых характеристик (у других методов - только ~50),
30% параметров достаточно, чтобы принять решение о совпадении с вероятностью не более $10E-6$

Сканирование и распознавание: история с National Geographic

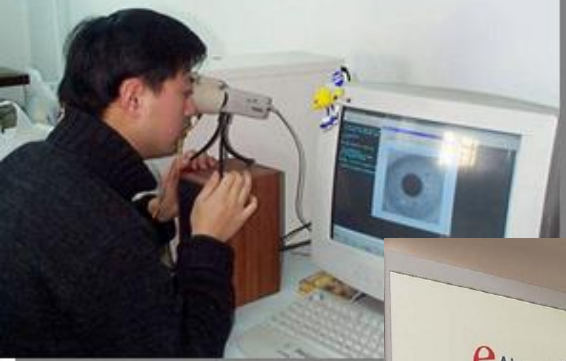


Daugman, 2005

12 лет, 1984г.

30 лет, 2002г.

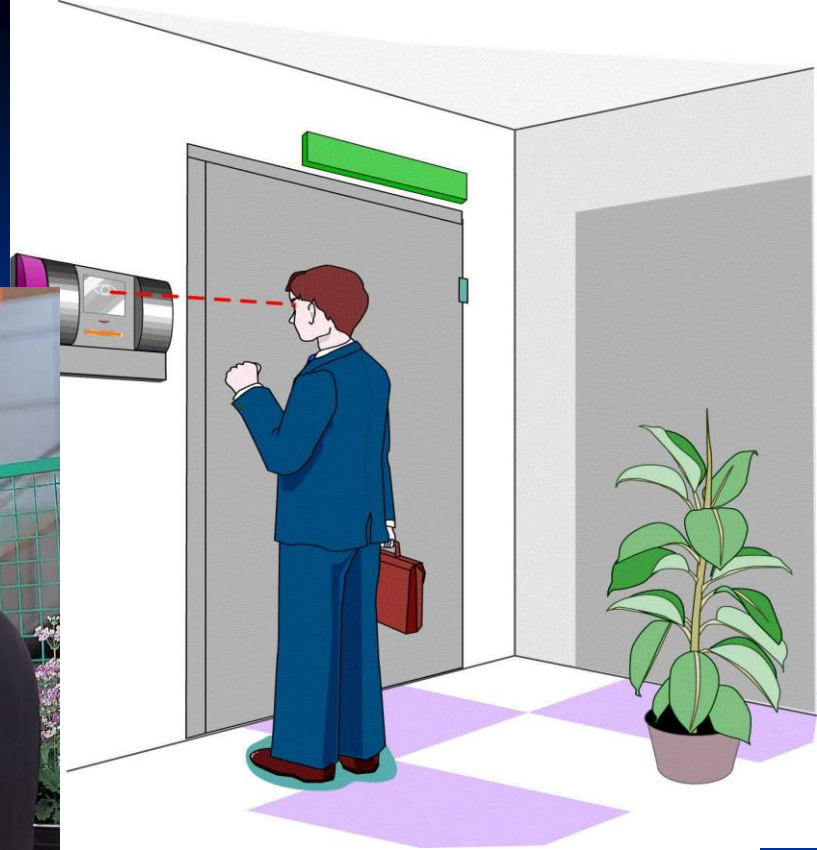
Сенсоры



1999



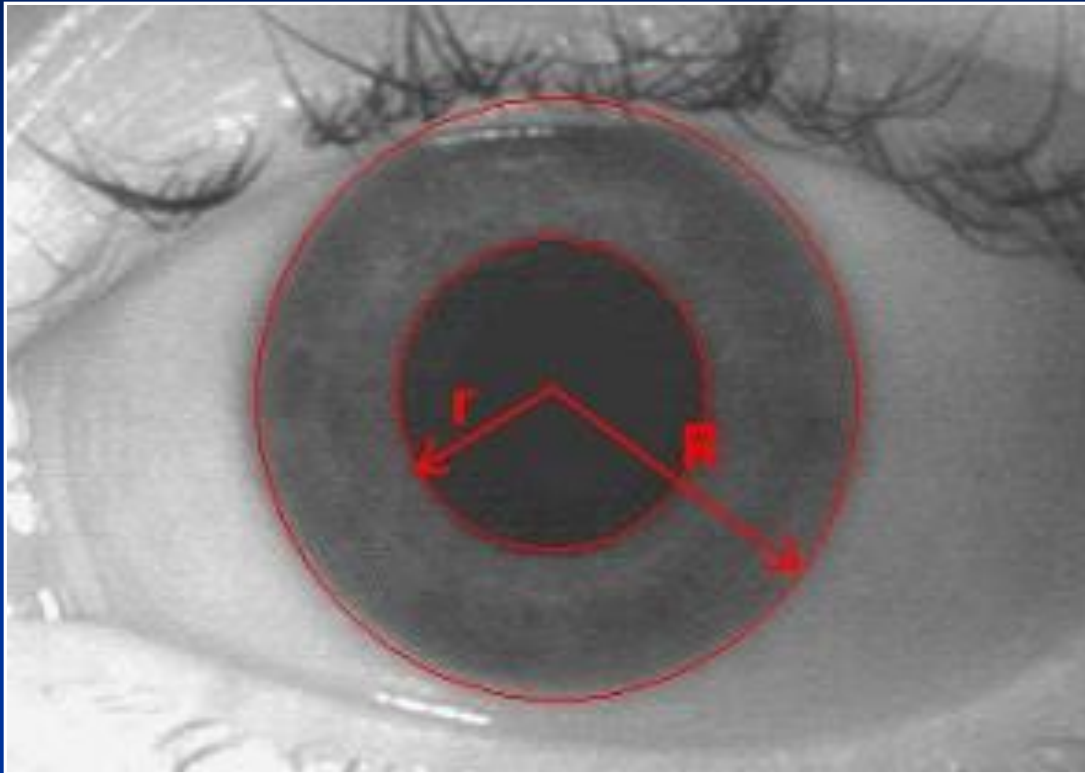
2004



2005



Вид радужки



Средние размеры

по горизонтали:

$$R \approx 6,25mm$$

по вертикали:

$$R \approx 5,9mm$$

$$r = 0,2R \div 0,7R$$

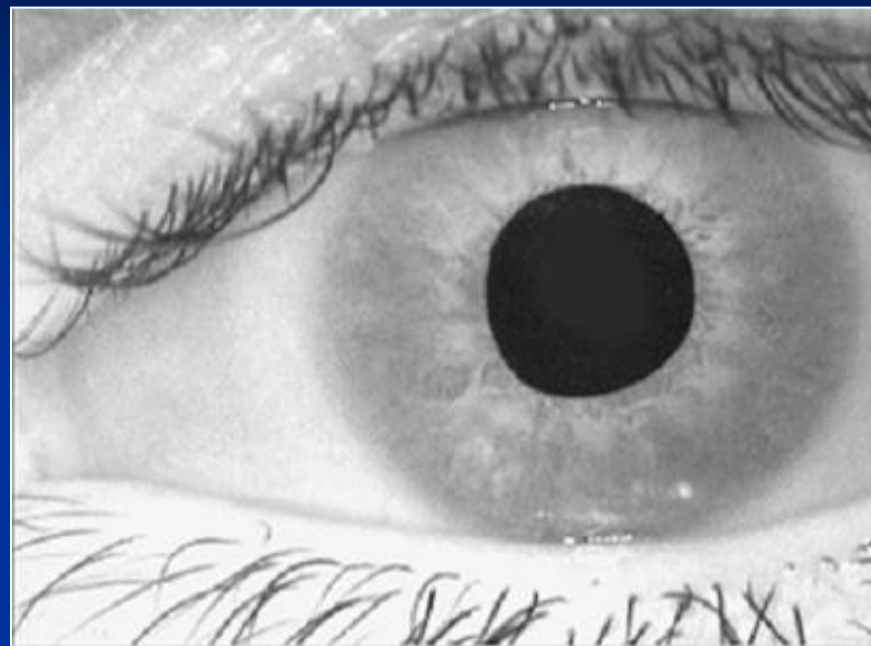
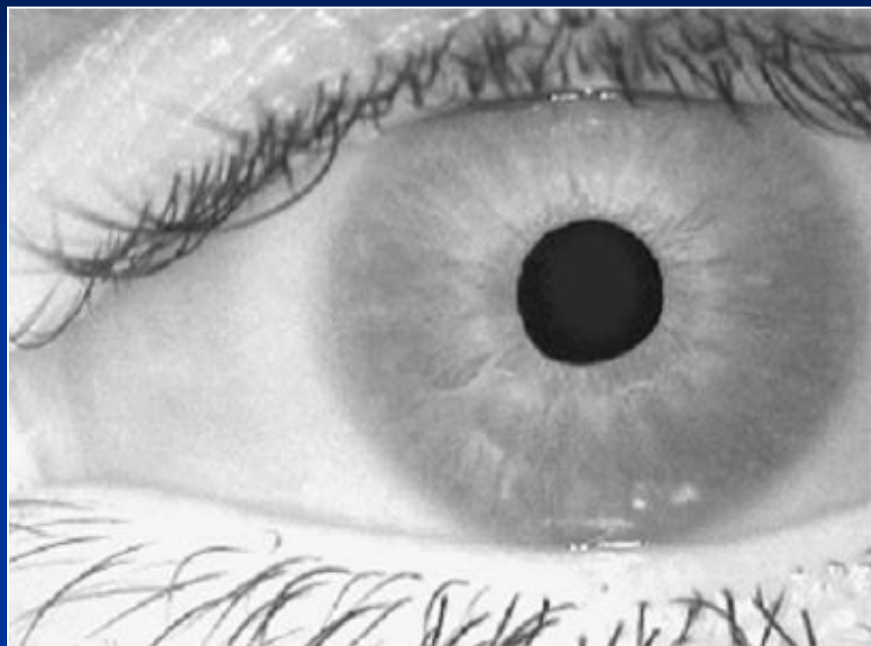
зависит от возраста,
состояния здоровья,
освещения и др.

быстро изменяется

форма может достаточно
сильно отличаться от круга

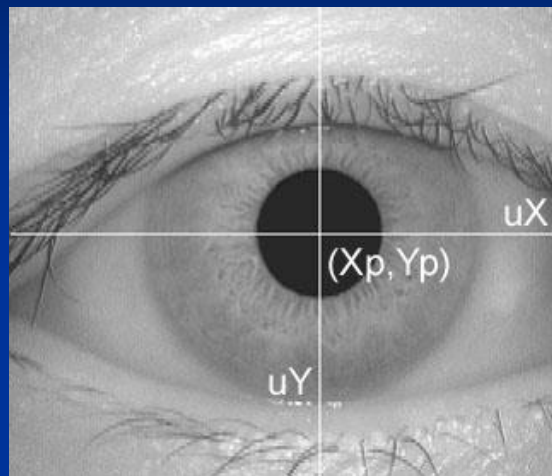
центр зрачка, как правило, смещен относительно центра радужки
по направлению к кончику носа

Вариации размеров зрачка



Изображения глаза одного человека,
полученные на одной установке с
интервалом в несколько минут, но при
разных условиях освещения

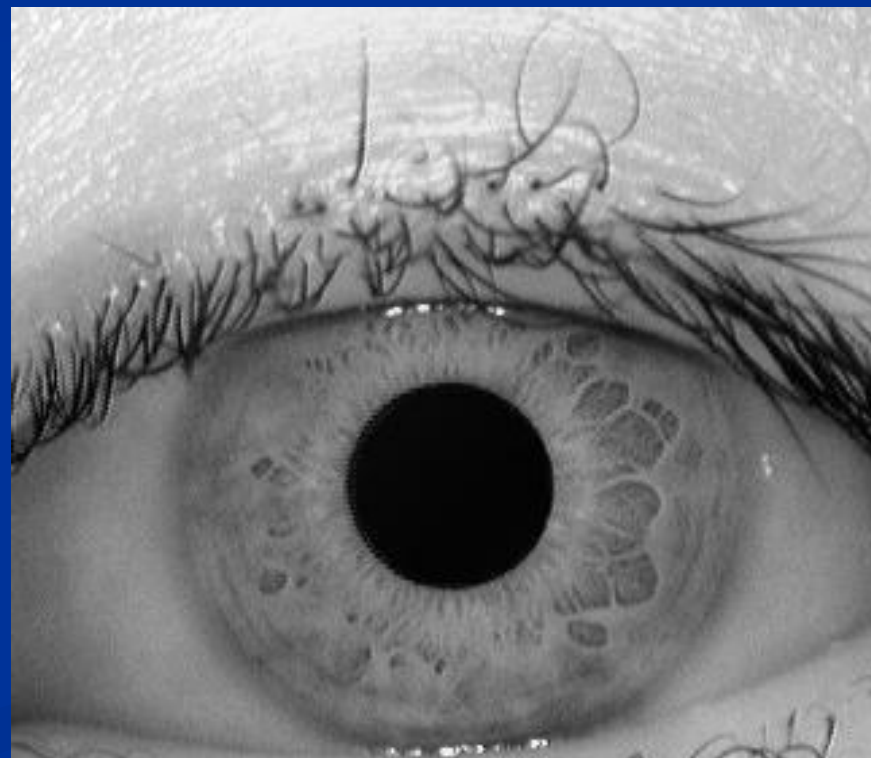
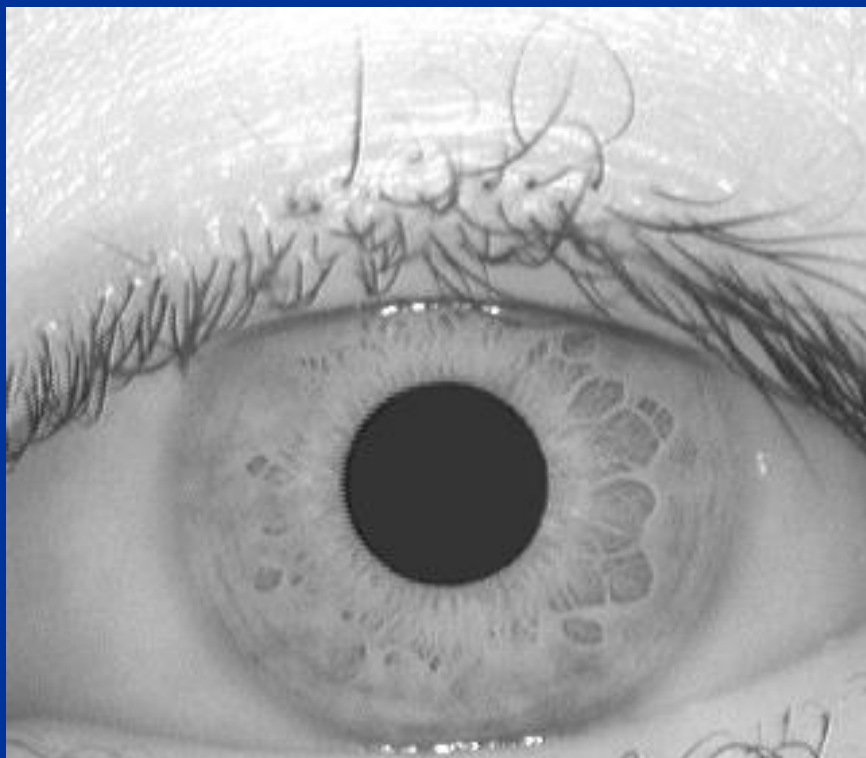
Локализация зрачка: поиск центра зрачка и радужки



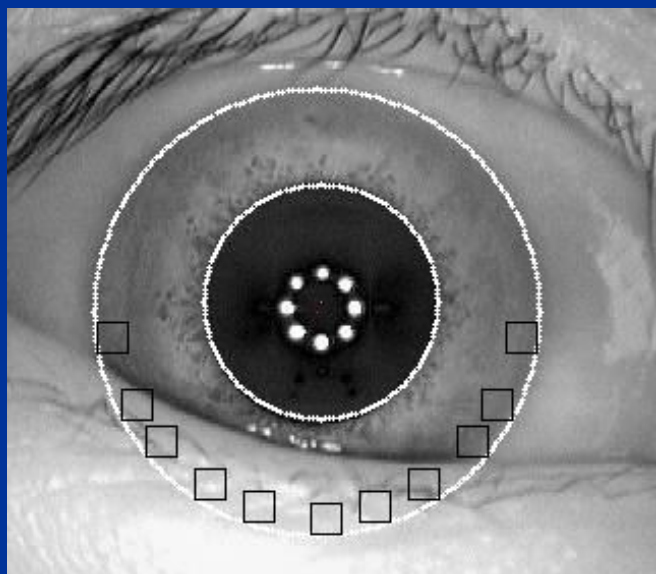
$$X = \arg \max_x \left(\sum_y \min_{x,y} (I(x, y)) \right)$$

$$Y = \arg \max_y \left(\sum_x \min_{x,y} (I(x, y)) \right)$$

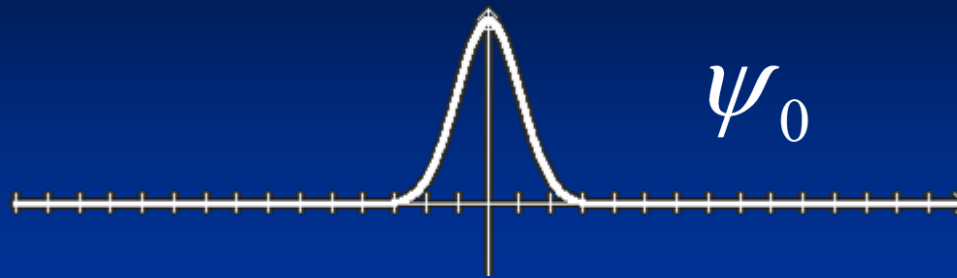
Выравнивание освещения



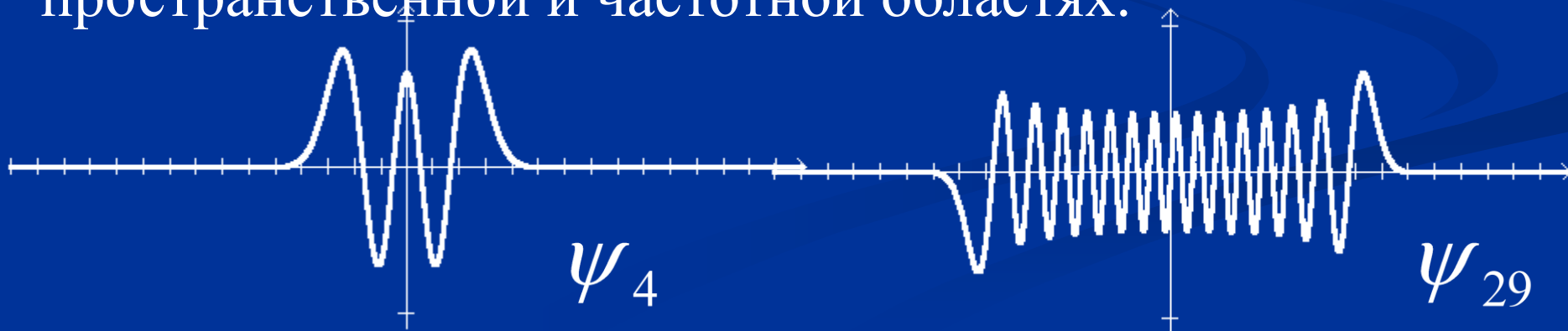
Определение наложения нижнего века на радужную оболочку



Проекционный метод Эрмита



Проекционный метод Эрмита основан на свойствах функций Эрмита, являющихся собственными функциями преобразования Фурье. Аппроксимация сигнала рядом этих функций позволяет осуществлять локализацию информации одновременно в пространственной и частотной областях.



Функции Эрмита:

$$\psi_n(x) = \frac{(-1)^n e^{x^2/2}}{\sqrt{2^n n!} \sqrt{\pi}} \cdot \frac{d^n (e^{-x^2})}{dx^n}$$

А) $\hat{\psi}_n = i^n \psi_n$

Б) Образуют полную ортонормированную систему функций в $L_2(-\infty, \infty)$.

В)
$$\lim_{n \rightarrow +\infty} \left[(-1)^n \sqrt[4]{n} \psi_{2n} \left(\frac{x}{2\sqrt{n}} \right) \right] = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \cos x$$

$$\lim_{n \rightarrow +\infty} \left[(-1)^n \sqrt[4]{n} \psi_{2n+1} \left(\frac{x}{2\sqrt{n}} \right) \right] = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \sin x$$

Общая форма разложения:

$$F(x) = \sum_{i=0}^{\infty} c_i \psi_i(x) \quad , \quad c_i = \int_{-\infty}^{\infty} f(x) \psi_i(x) dx$$

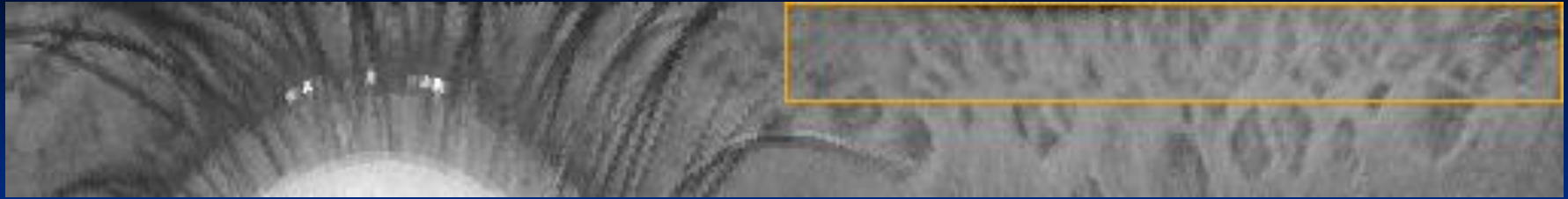
Быстрый метод:

$$c_n \approx \frac{1}{N} \sum_{m=1}^N \mu_{N-1}^n(x_m) f(x_m),$$

где $\mu_{N-1}^n(x_m) = \frac{\psi_n(x_m)}{\psi_{N-1}^2(x_m)}$ и

x_m - нули полинома Эрмита $H_N(x)$

Иерархический проекционный метод Эрмита

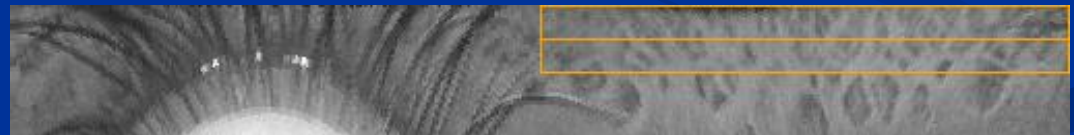


Первый уровень иерархии:

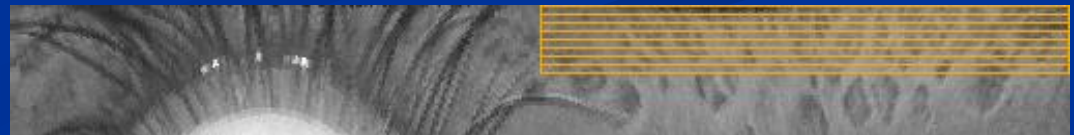
для каждой точки оси OX среднее значение интенсивности вдоль оси OY раскладывается в ряд по функциям Эрмита

$$\tilde{f}(x) = \sum_{i=0}^{31} c_i \psi_i(x), \quad c_i = \int_{-A}^A f(x) \psi_i(x) dx$$

Второй уровень иерархии:



Четвертый уровень иерархии:



Сравнение

- Метрика - сумма квадратов отклонения коэффициентов.
- Сортировка изображений из базы данных по расстоянию до взятого изображения происходит на всех уровнях иерархии
- Циклический сдвиг нормализованного изображения на 3, 6, 9, 12, 15 пикселей как вправо, так и влево - учитываются углы поворота глаза от -10° до 10° .



Вопросы по курсу 2023

1. Тригонометрические ряды.
2. Ряд Фурье и дискретное преобразование Фурье функций периода 2π .
3. Интеграл Фурье как предельный случай ряда Фурье.
4. Интегральные преобразования с ядрами Фурье.
5. Взвешенное преобразование Фурье.
6. Теорема Котельникова-Шеннона для $f \in L_1(\mathbb{R}) \cap A(\mathbb{R})$.
7. Невозможность ослабления условия теоремы Котельникова-Шеннона.
8. Понятие алиасинга (наложения).
9. Свертка, теорема о свертке.
10. Свертка и корреляционная функция. Применение корреляционной функции для сравнения изображений.
11. Свойства преобразования Фурье. Изменение преобразования Фурье при повороте изображения.

12. Формулы Парсеваля и Планшереля. Устойчивость преобразования Фурье в L_2 .
13. Невозможность одновременного существования компактного носителя для функции и её преобразования Фурье.
14. Основные соотношения между пространственной и частотной информацией.
15. Соотношение неопределенности.
16. Габоровская фильтрация.
17. Функции Эрмита – ортонормальная система собственных функций преобразования Фурье.
18. Теорема Сони́на. Поведение функций Эрмита.
19. Проекционная фильтрация изображений с помощью функций Эрмита.
20. Параметризация информация о радужной оболочке глаза с использованием функций Эрмита.
21. Метод эмпирических мод для анализа сигналов.
22. Устойчивость решения систем линейных алгебраических уравнений.