12th International Conference on
Intelligent Data Processing:
Theory and Applications

СРАВНЕНИЕ ИНФОРМАТИВНЫХ ПРИЗНАКОВ РАДУЖКИ МЕТОДОМ ОПТИМАЛЬНОГО ПУТИ

Иван Матвеев

ФИЦ ИУ РАН

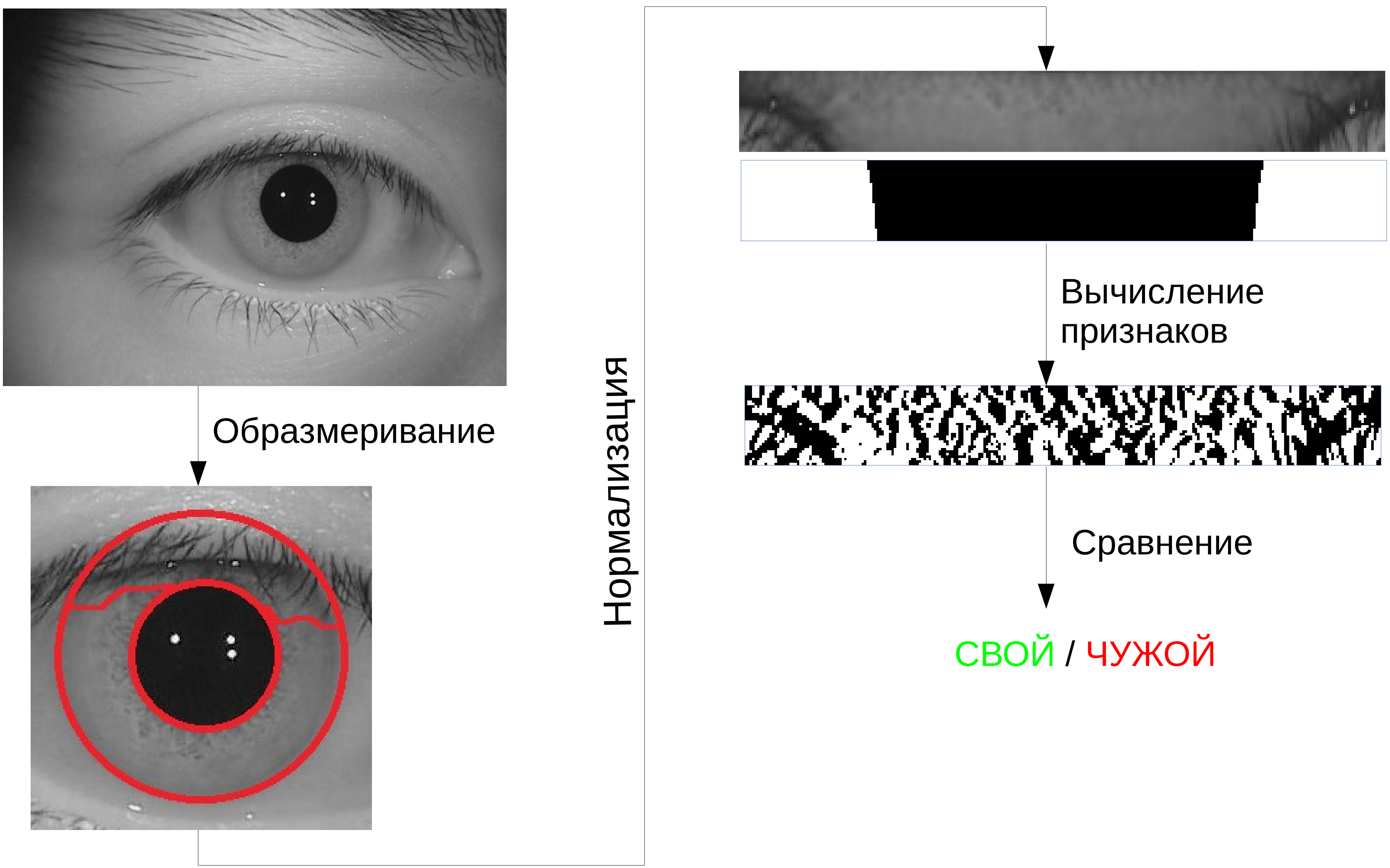
Владимир Новик

Iritech Inc., Московское представительство

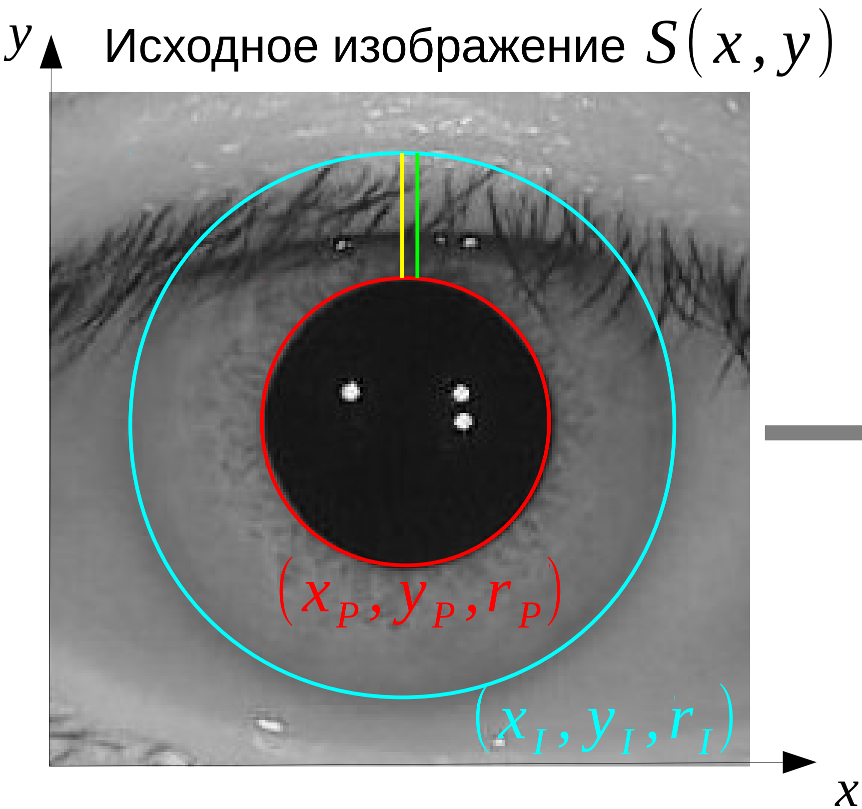
Распознавание радужки в целом

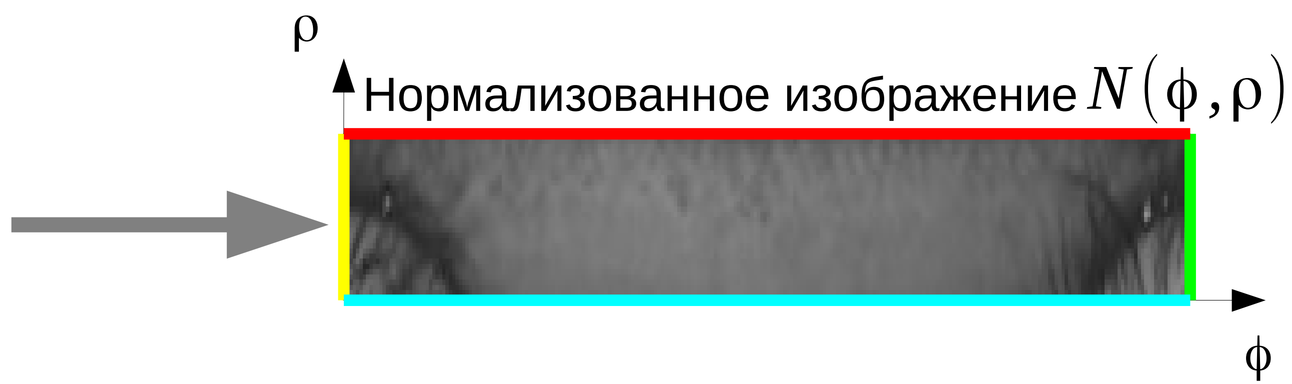
Аутентификация по радужной оболочке глаза — хорошо развитая технология

Все известные приложения построены по одной схеме



Нормализация





Яркость нормализованного изображения:

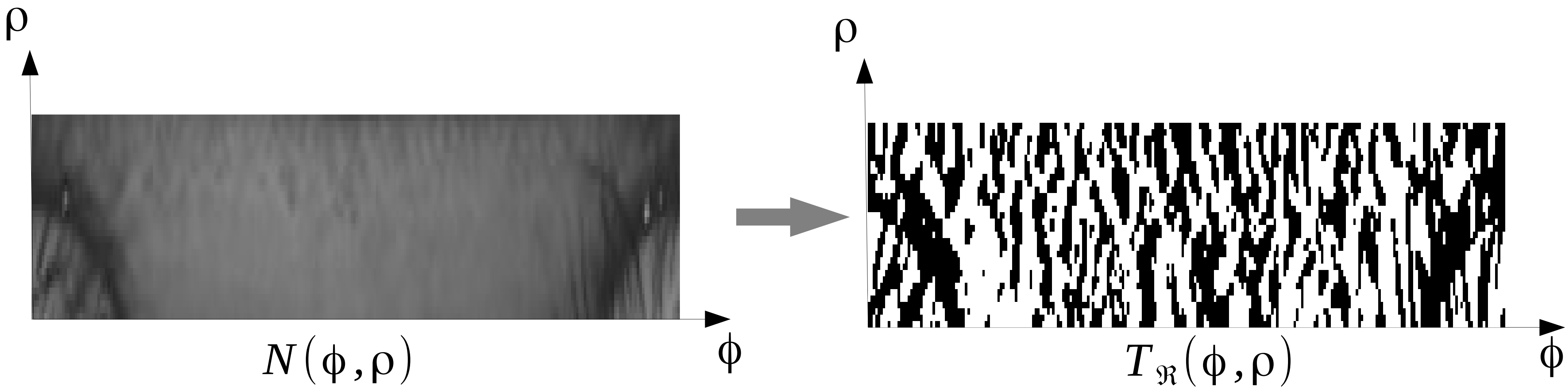
$$
\begin{aligned}
N(\phi,r) = \; & (1-\{x\})(1-\{y\}) \; S([x],[y]) + \\
& \{x\}(1-\{y\}) \; S([x+1],[y]) + \\
& (1-\{x\})\{y\} \; S([x],[y+1]) + \\
& \{x\}\{y\} \; S([x+1],[y+1])
\end{aligned}
$$

где

$$x(\phi,\rho) = (1-\rho)(x_P + r_P\cos\phi) + \rho(x_I + r_I\cos\phi)$$

$$y(\phi,\rho) = (1-\rho)(y_P + r_P\sin\phi) + \rho(y_I + r_I\sin\phi)$$

Вычисление признаков и сравнение



Вычисление признаков

$$V(\phi,\rho)=N(\phi,\rho)*g(\phi,\rho)$$

$$g(\phi,\rho)=g(\phi)g(\rho)$$

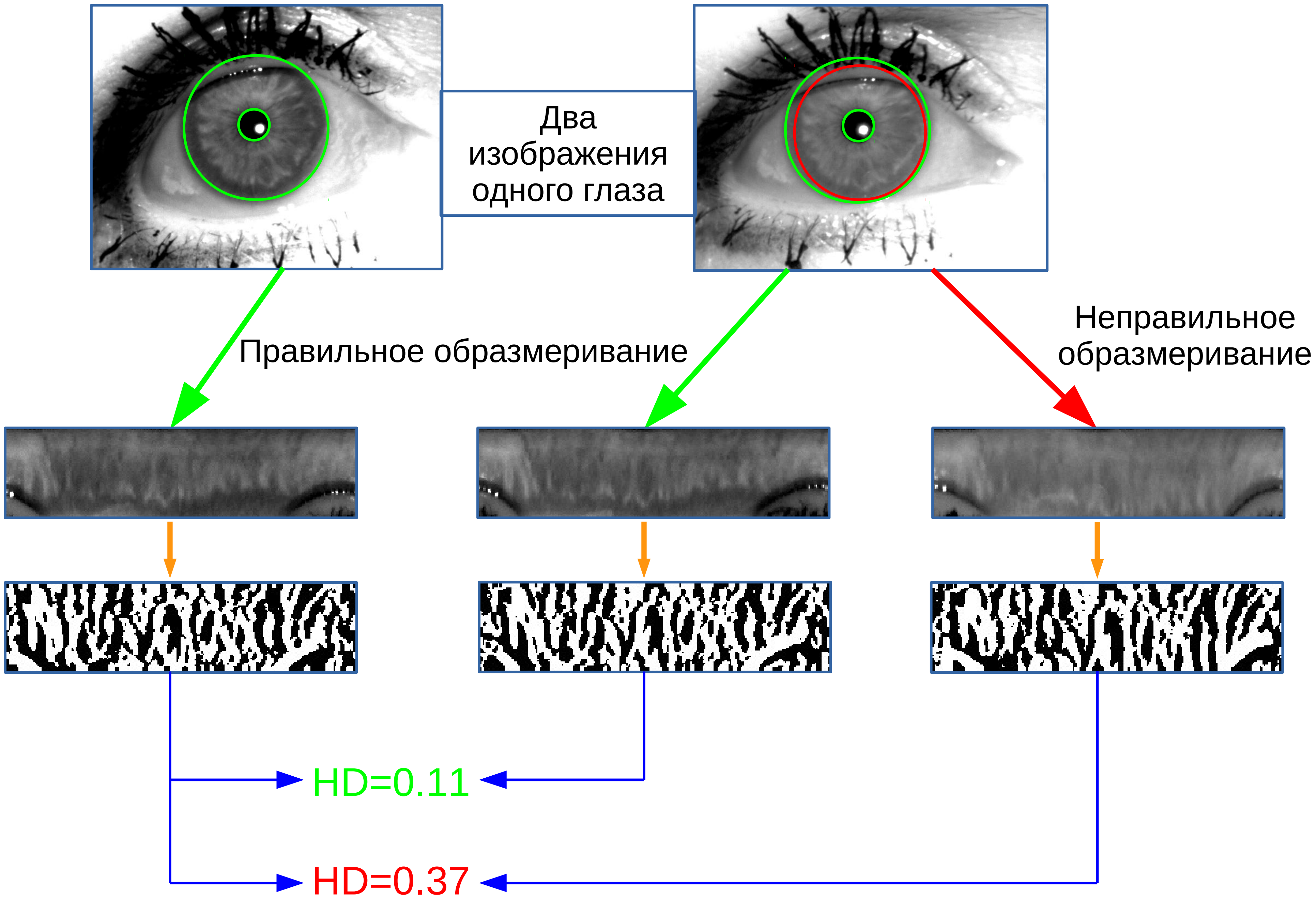
$$g(\phi)=\exp\left(\frac{-\phi^2}{2\sigma^2}\right)\exp\left(-i\frac{\phi}{\lambda}\right)$$

$$T_{\Re}(\phi,\rho)=\begin{cases}1, \text{ if } \Re\left(V(\phi,\rho)\right)\geq 0,\\ 0, \text{ if } \Re\left(V(\phi,\rho)\right)<0\end{cases}$$

Сравнение признаков: расстояние Хэмминга

$$d(T_{1,}T_2)=\frac{1}{|\Omega|}\sum_{(\phi,\rho)\in\Omega}T_1(\phi,\rho)\oplus T_2(\phi,\rho)$$

Задача пространственного совмещения



Решения задачи совмещения

Глобальные признаки: совмещение не требуется

PCA, ICA: Vivekanand Dorairaj, Natalia Schmid (2005)

PCA/LDA: Meryem Erbilek and Onsen Toygar (2009)

Гистограммы: R.W. Ives, A.J. Guidry, D.M. Etter (2004)

пр. Фурье: K. Miyazawa, K. Ito, T. Aoki, K. Kobayashi, H. Nakajima (2005)

Недостаток: EER>1%

Локальные признаки

Активные контуры: John Daugman (2007)

Недостаток: неустойчивость

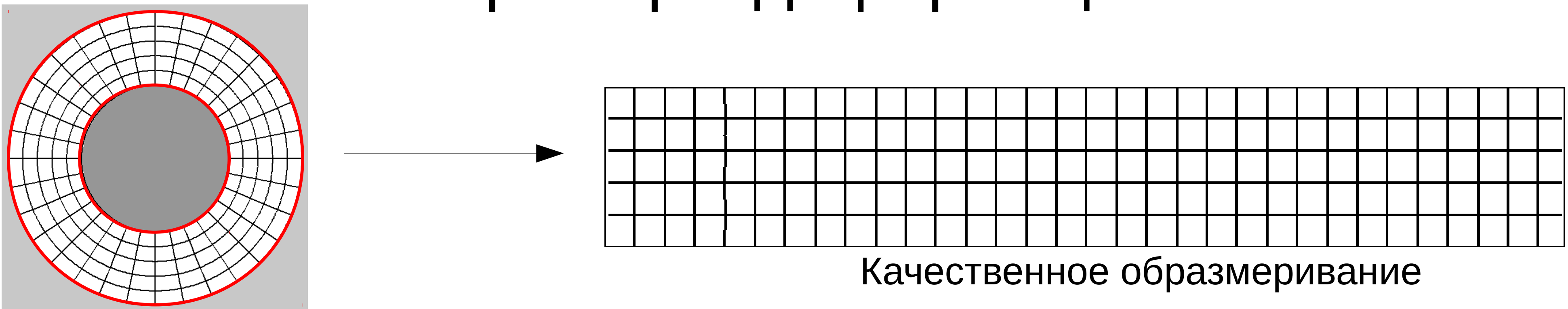
Корреляторы: Man Zhang, Zhenan Sun, Tieniu Tan (2011)

HMM: Ryan Kerekes, Narayanaswamy Balakrishnan et al. (2007)

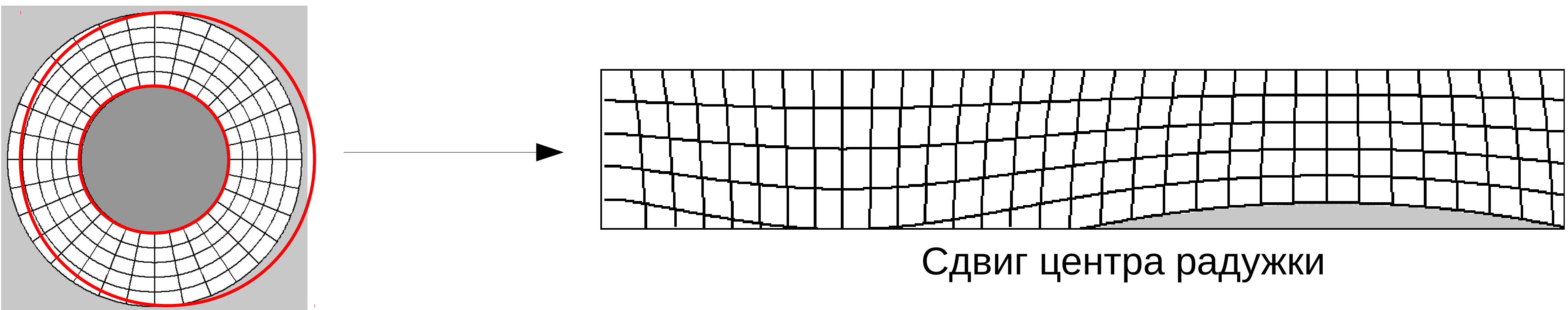
Эластичные графы: Sammy Phang, Wageeh Boles, Michael Collins (2006)
Somying Thainimit, Luis Alexandre, Vasco Almeida (2015)

Недостатки: вычислительная сложность,
сходимость к локальному экстремуму

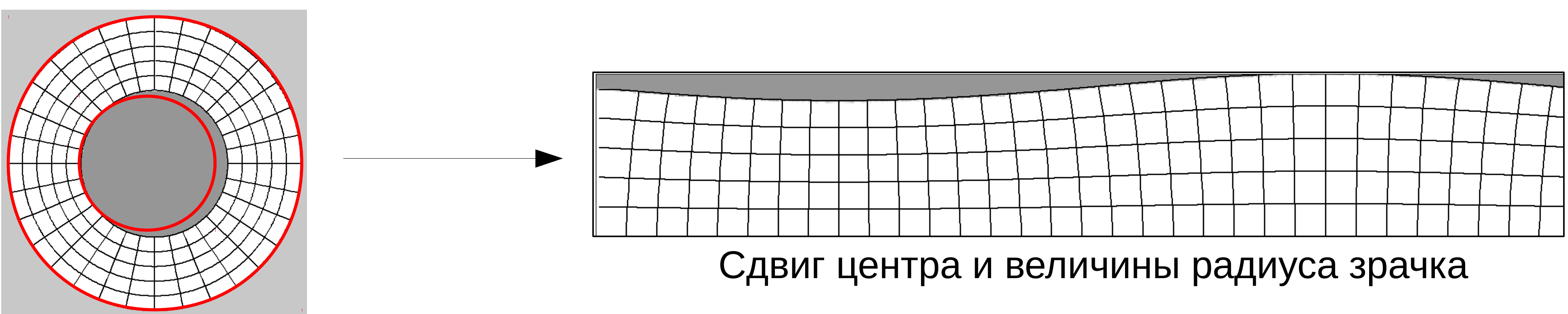
Примеры деформаций



Качественное образмеривание



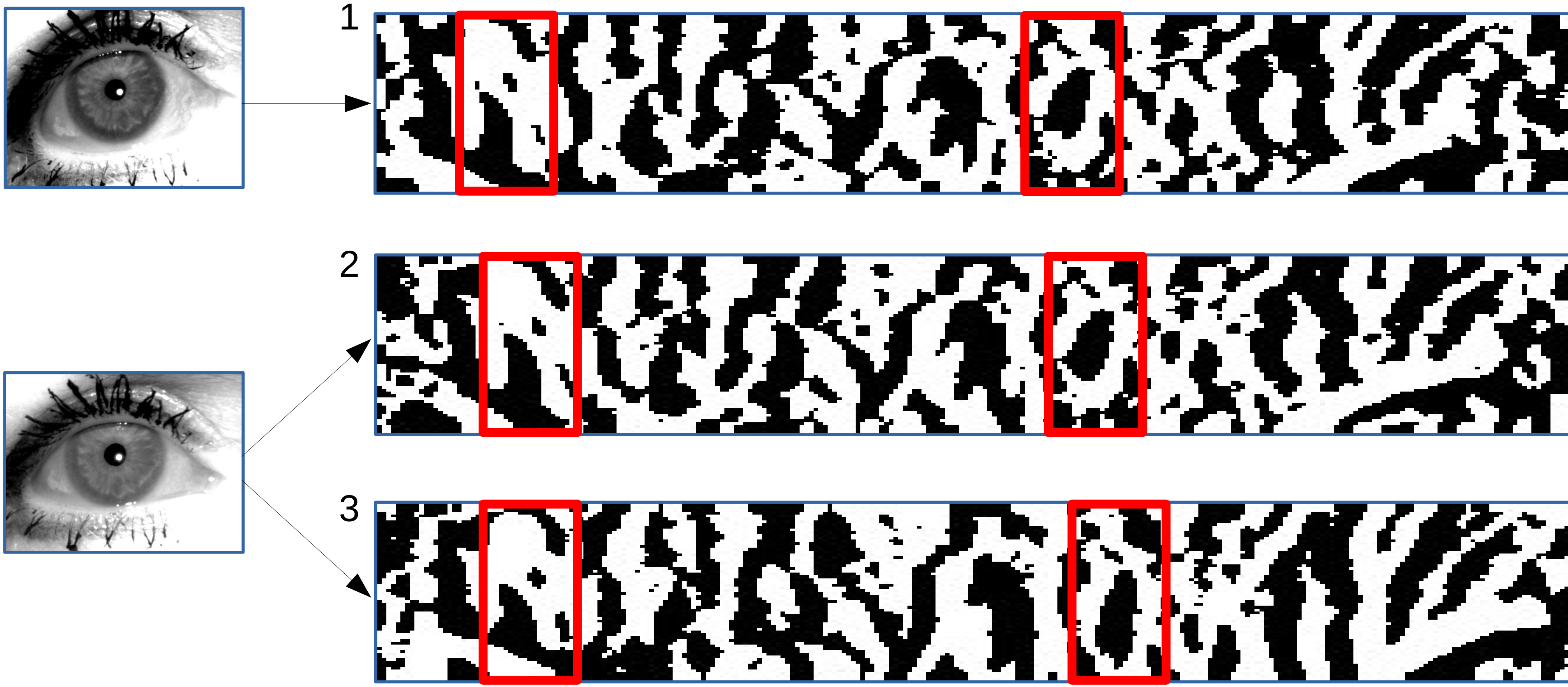
Сдвиг центра радужки



Сдвиг центра и величины радиуса зрачка

1. Ошибка в одном параметре влияет на всё изображение
2. Деформации гладкие

Локальные (кусочные) операции



Template-1 vs Template-2: одинаковый сдвиг из-за взаимного вращения

Template-1 vs Template-3: различные сдвиги из-за деформации

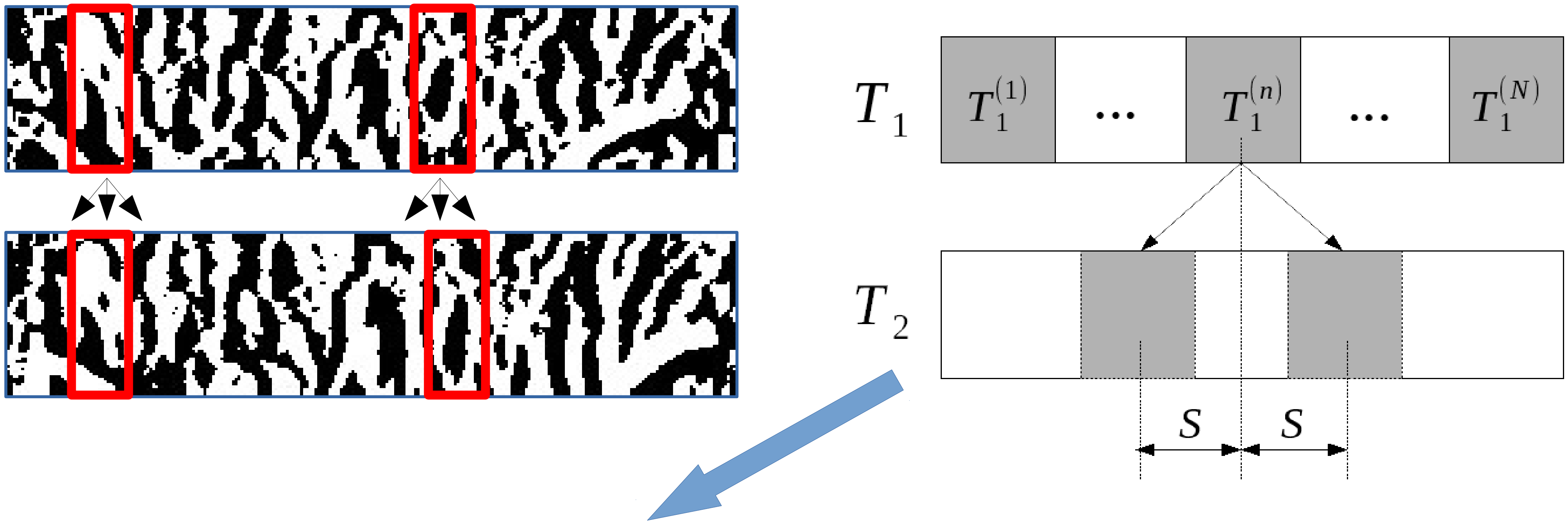
Всегда есть возможность неточного образмеривания
Эталоны не могут сравниваться как «твёрдые тела»

Разбиение на сектора

Сравнение секторов с угловым сдвигом

Эталон T1 разбивается на N секторов:
одинаковых, непересекающихся, расположенных вдоль угловой оси

Каждый сектор может смещаться на угол ψ ∈ [−S; S]
и сравниваться с соответствующей частью эталона T2



$d_{S,n}$
…
$d_{0,n}$
…
$d_{-S,n}$

$d_{S,1}$	…	$d_{S,N}$
…	…	…
$d_{0,1}$	…	$d_{0,N}$
…	…	…
$d_{-S,1}$	…	$d_{-S,N}$

Способы кусочного сравнения

Вычисляется матрица $d_{\psi,n}$ расстояний между секторами.

В терминах этой матрицы можно построить различные модели сравнения.

Модель «твёрдого тела» $$d(T_1, T_2) = \min_{\psi} \sum_{n} d_{\psi,n}$$

Все смещения равны

ψ

$d_{S,1}$	...	$d_{S,N}$
...	...	...
$d_{0,1}$	...	$d_{0,N}$
...	...	...
$d_{-S,1}$	...	$d_{-S,N}$

n

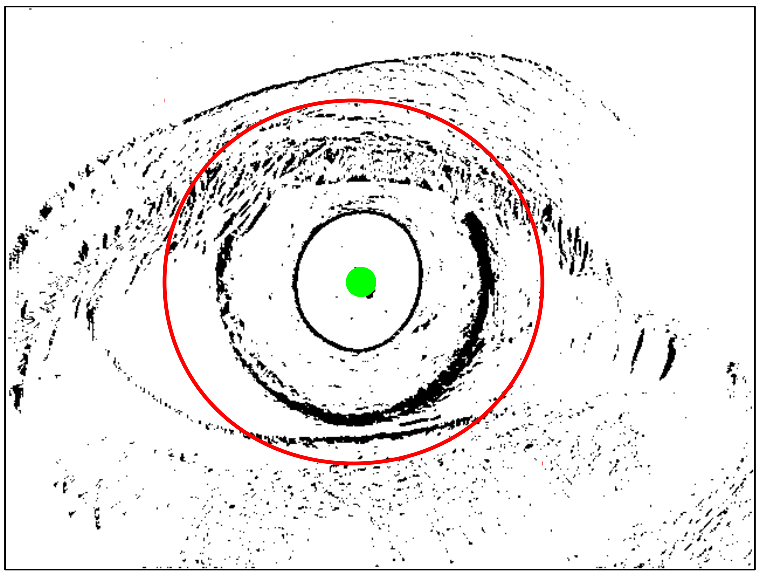
Модель «жидкости» $$d(T_1, T_2) = \sum_{n} \min_{\psi} d_{\psi,n}$$

Смещения независимы

Это два «полюса» множества возможных моделей.
Как наложить взаимные ограничения на смещения секторов?

Метод оптимального кругового пути

Также используется в уточнении границы зрачка



Пиксели границ, исходное изображение,
Приблизительное положение центра глаза,
Приблизительный радиус радужки

Пиксели границ,
нормализованное изображение

- Определить кратчайший непрерывный путь от левой до правой границы,
- При условии равенства начальной и конечной ординаты: $\rho(0)=\rho(2\pi)$

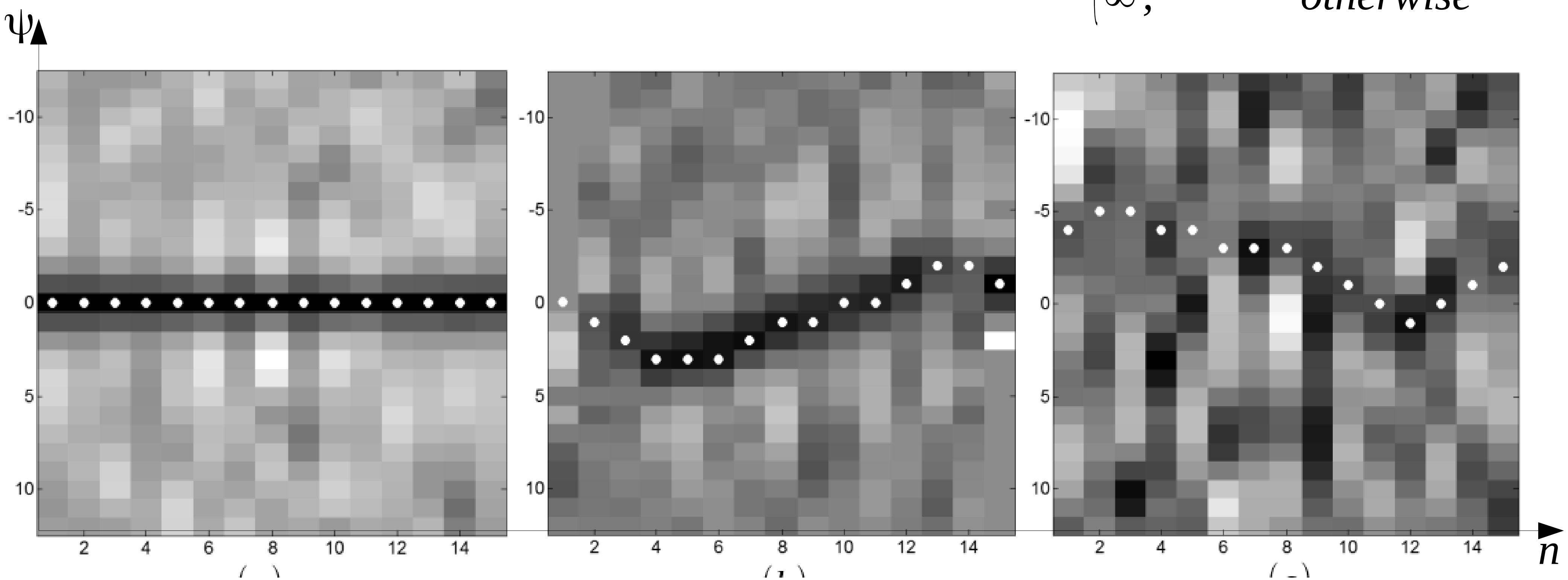
Путь $$S=\{\rho(\phi)\}_{\phi=0}^{2\pi}\approx\{\rho_n\}_{n=1}^{W}$$

Стоимость пути *C* зависит от его формы и содержания изображения

Оптимальный путь $$S^*=\arg\min_S C(S),$$

Сравнение методом оптимального пути

$$d(T_1, T_2) = \min_{(\psi_{1,\dots}, \psi_N)} \sum_{n=1}^{N} \left[d_{\psi,n} + C(\psi_n, \psi_{n+1}) \right] \quad , \quad C(\psi_n, \psi_{n+1}) = \begin{cases} 0, & if\, |\psi_n - \psi_{n+1}| \leq 1, n \neq N \\ 0, & if\, |\psi_n - \psi_1| \leq 1, n = N \\ \infty, & otherwise \end{cases}$$

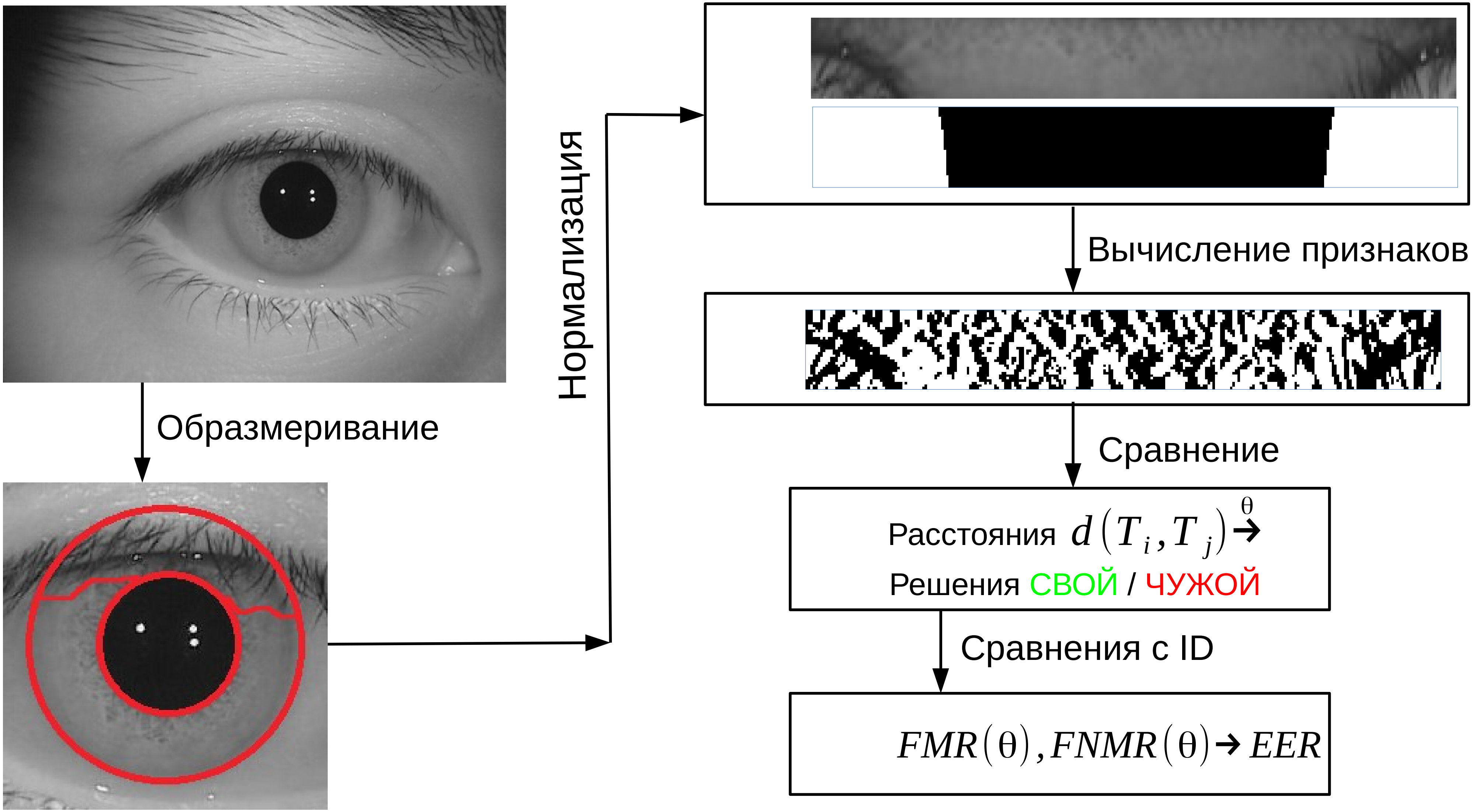


«Свой»,
верное образмеривание.
Нет необходимости в кусочном сравнении, оптимальный путь - прямая.
Модель “твёрдого тела” была бы достаточна.

«Свой», ошибки в образмеривании.
Минимумы в столбцах формируют “долину”, по которорй пролегает оптимальный путь с низкой стоимостью.

«Чужой».
Независимо от правильности образмеривания расположение минимумов хаотическое, оптимальный путь — также случайная кривая с высокой стоимостью.

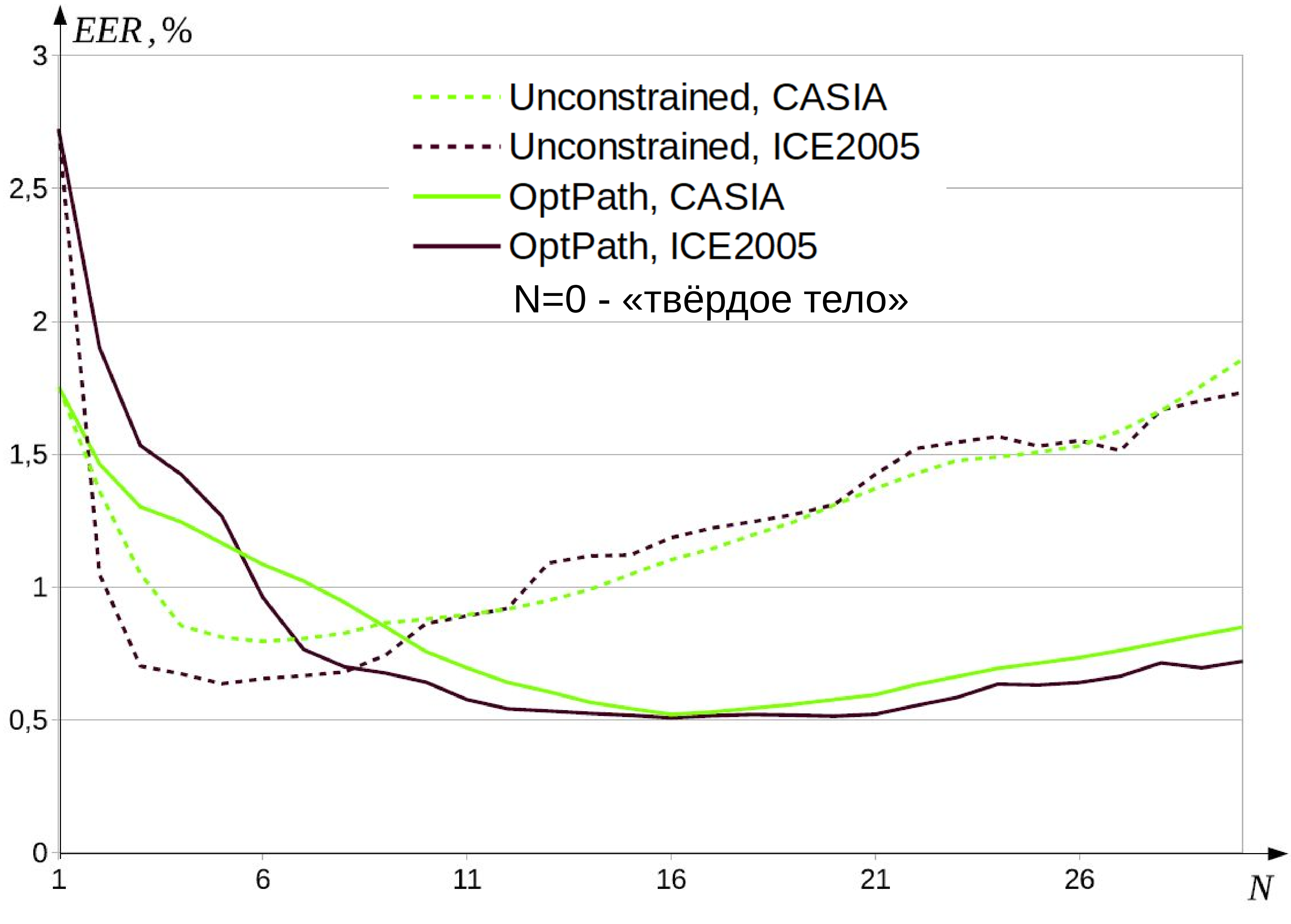
Постановка вычислительного эксперимента



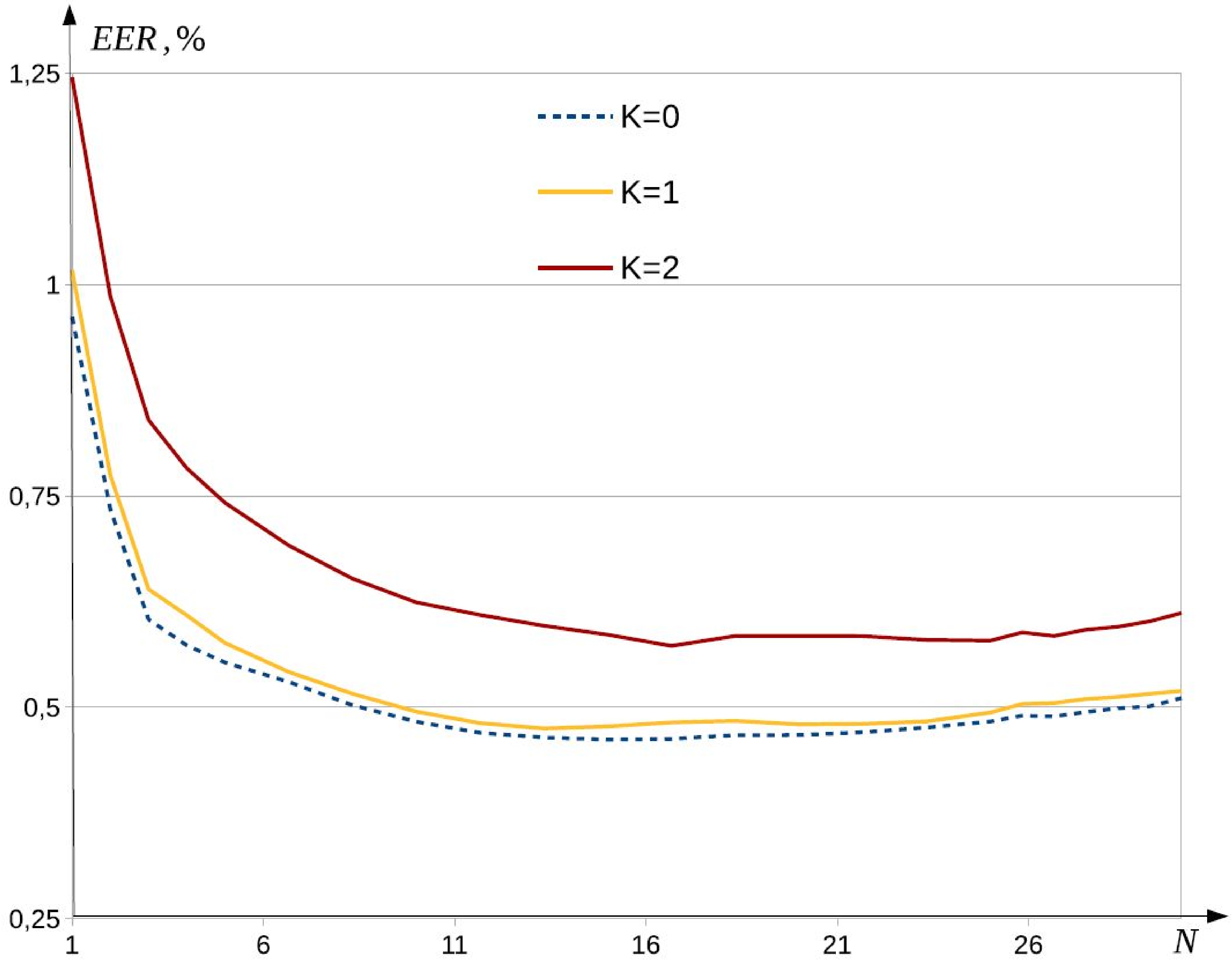
CASIA4-Lamp содержит изображения >800 глаз, каждый глаз представлен более 20 изображениями.
Всего БД содержит 16312 изображений. Около 160 000 «своих», 13 млн. «чужих» сравнений.

ICE2005 подмножество ND-Iris-0405 содержит 2593 изображений 132 глаз.
Около 30 «своих», 6 млн. «чужих» сравнений.

Кривые равновероятной ошибки



Симуляция ошибок образмеривания



Сравнение с аналогами

Method	ICE2005	CASIA
Zhang et al.	-	0.59
Liu et al.	0.63	-
He et al.	0.53	-
Rigid body, $N = 1$	2.72	1.76
Nolink, optimal $N = 5$	0.64	0.79
Optimal path, optimal $N = 16$	**0.52**	**0.54**

Заключение

Изучено влияние разбиения радужки на смещающиеся сектора на ошибку распознавания.

Исследованы различные модели смещений: “твёрдого тела”, несвязанных секторов (“жидкость”) и взаимосвязи, наложенной методом оптимального пути.

Вычислительные эксперименты показывают существенный рост точности распознавания при использовании метода оптимального пути. Точность сравнима и выше таковой для известных сложных методов.

Оптимум достигается при 5 секторах в модели несвязанных смещений и 16 в модели оптимального пути.