

# 光照和遮挡条件下的人脸识别 算法研究

栾晓

2013.11.7



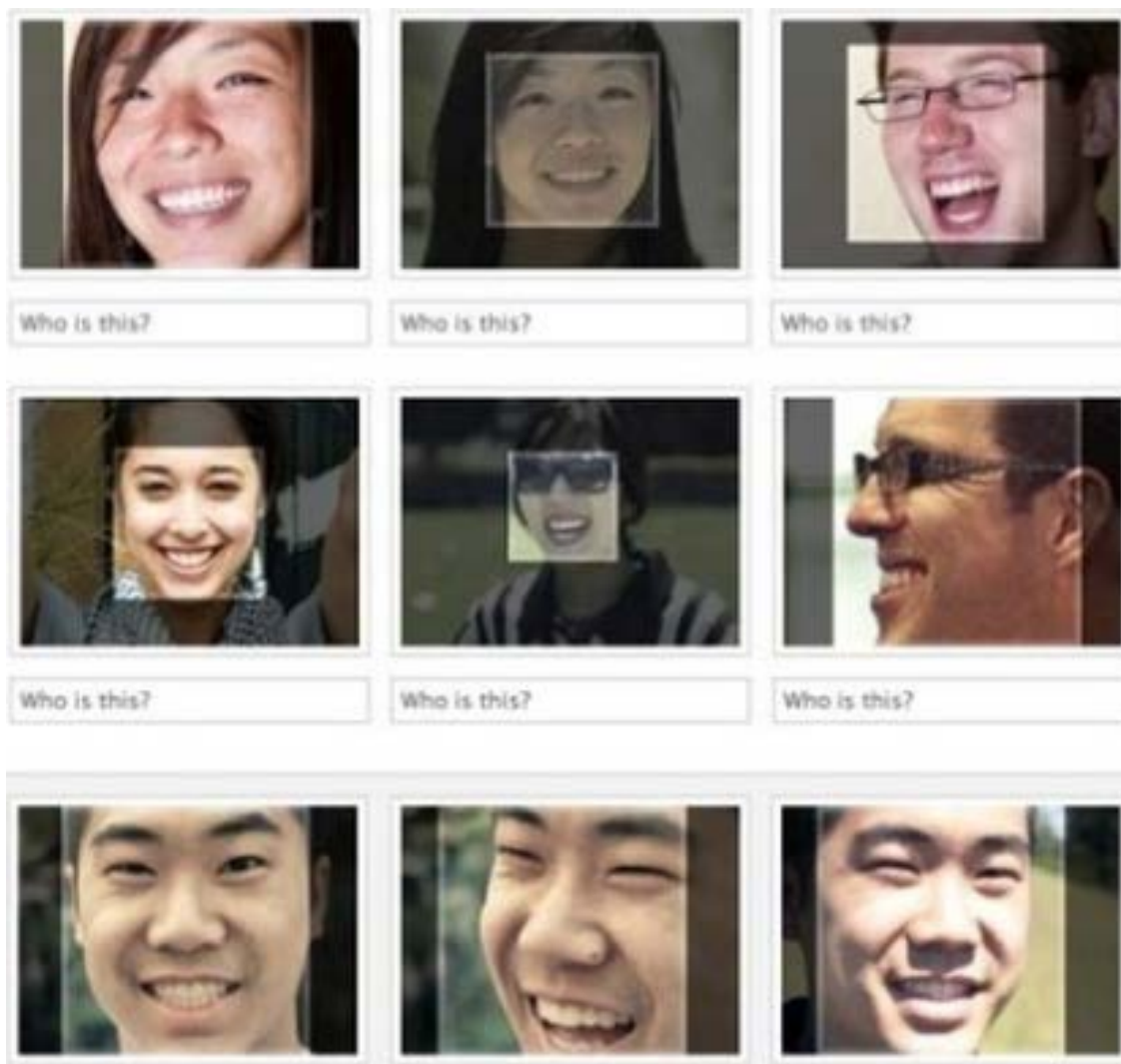
# 结构

1. 绪论及基础知识
2. 连续性遮挡下的人脸识别方法
3. 基于稀疏误差特征提取的人脸识别方法

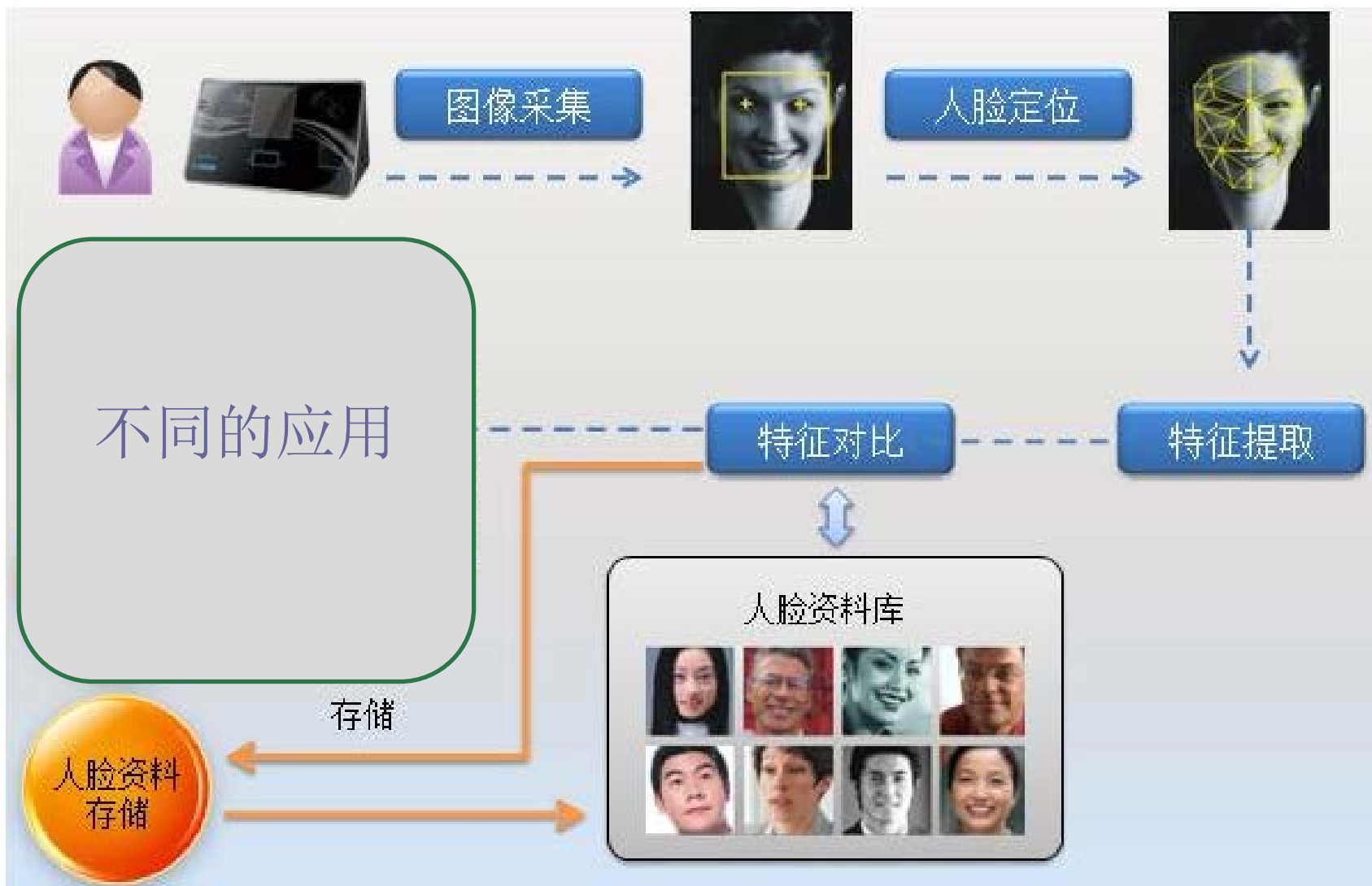


# 研究背景及意义

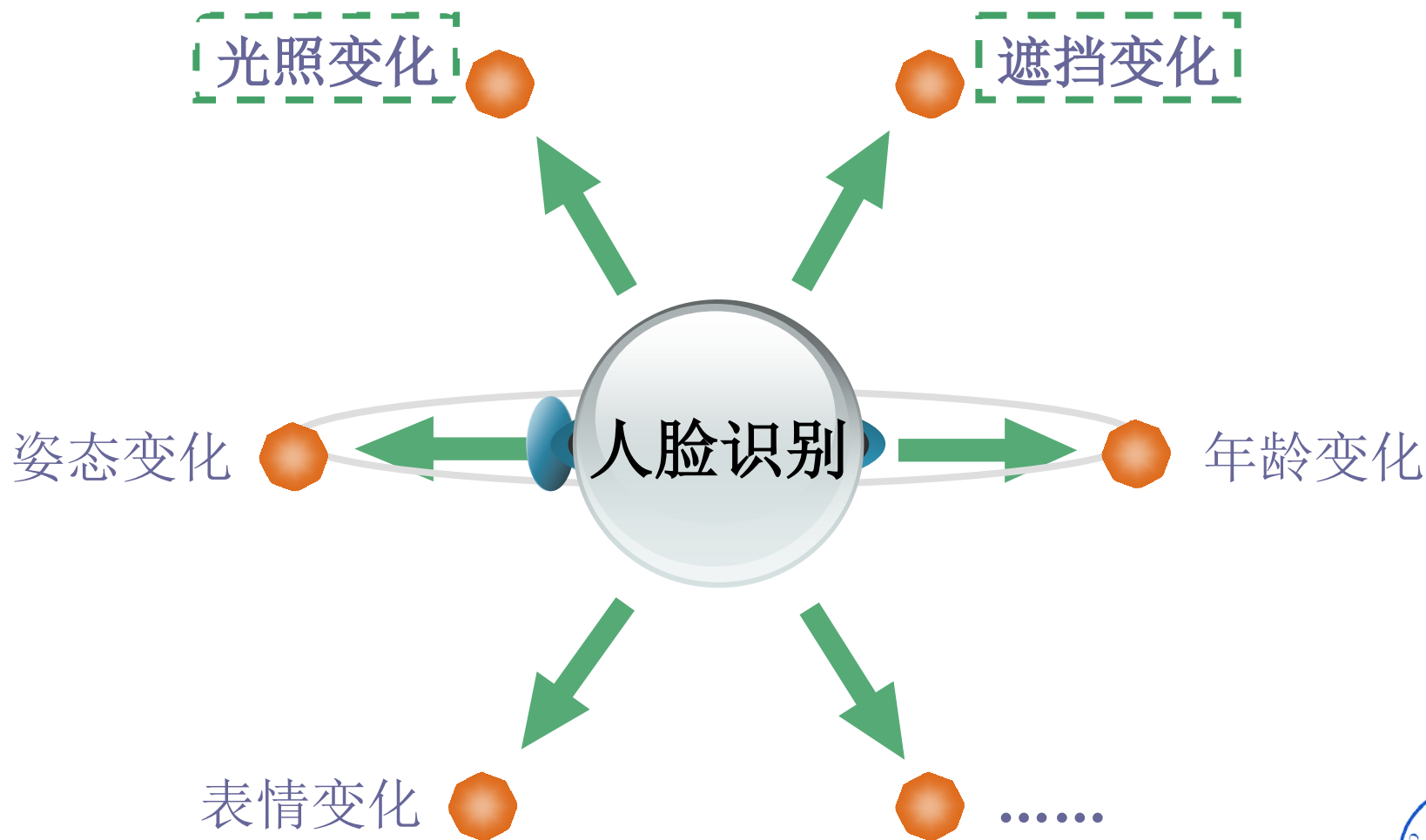
## 人脸识别



# 人脸识别流程



# 人脸识别的影响因素

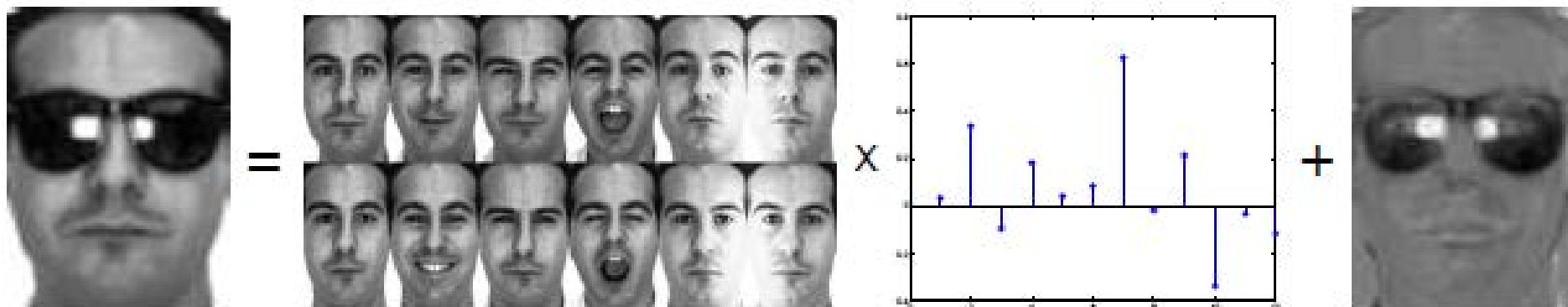


# 线性回归分类 LRC

## ➤ 线性回归分类 (linear regression-based classification, LRC)

测试样本被表示为每一类训练样本的线性组合，而组合系数的求解归类为最小二乘问题，识别结果最小重构误差对应的类别。

$$y = A * X + e$$



# 鲁棒主成分分析 RPCA



D-观测数据

A-低秩

E-稀疏误差

Robust PCA : 给定 D, 恢复A

$$\min \text{rank}(A) + \lambda \|E\|_0 \quad \text{subj } A + E = D$$

⇓ 凸松弛 ⇓

$$\min \underbrace{\|A\|_*}_{\text{Nuclear norm}} + \lambda \|E\|_1 \quad \text{subj } A + E = D$$

$$\text{Nuclear norm } \|A\|_* = \sum_i \sigma_i(A).$$



# 主要工作

- ❖ 融合线性回归和水平集方法，提出一个解决人脸识别中连续性遮挡问题的方法
- ❖ 提出一个基于稀疏误差特征提取的人脸识别方法，解决正面人脸识别中的光照以及遮挡问题

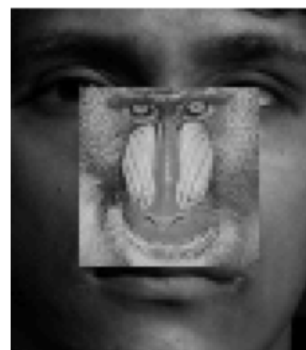
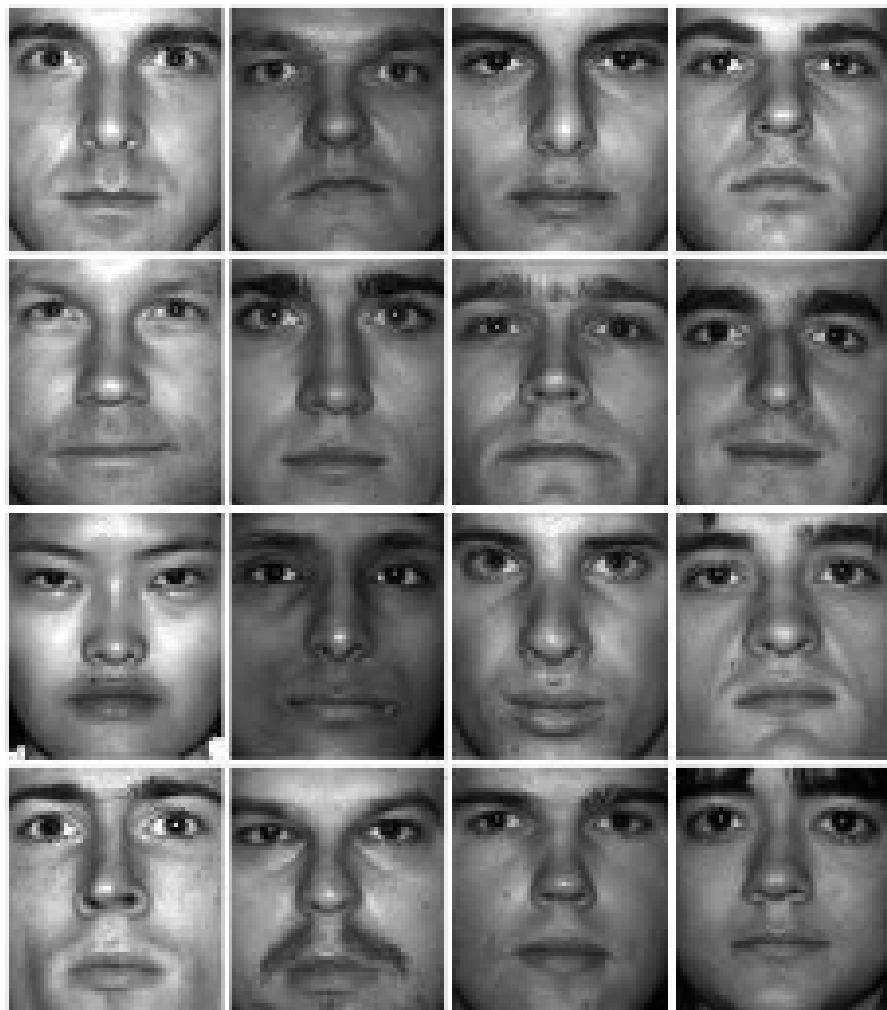




## 2. 连续性遮挡下的人脸识别方法



# 本章解决的问题



# 本章结构

- ❖ 问题的分析及动机
- ❖ 融合线性回归和CV模型的人脸识别方法
- ❖ 实验及分析



# 问题的分析

❖ 有助于处理遮挡问题的性质：

冗余性                  利用LRC识别

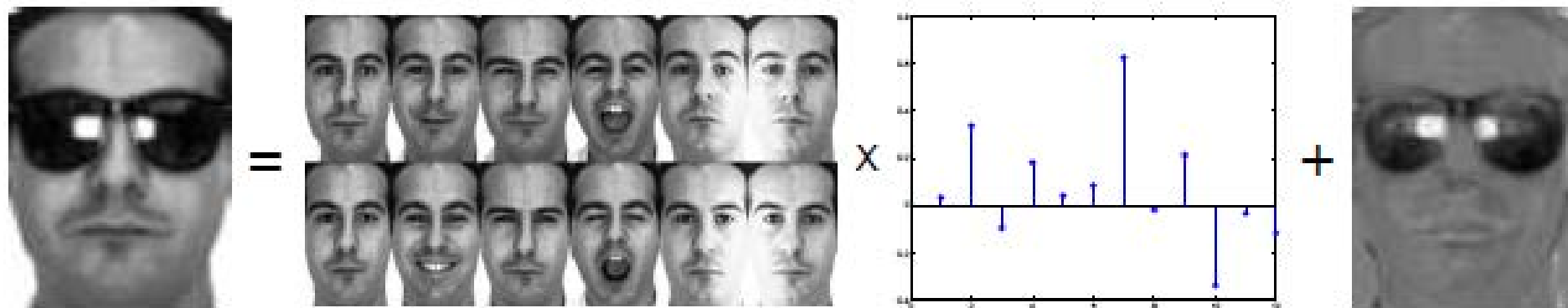
局部性                  去除遮挡区域，用“干净”像素识别

稀疏性                  重新定义分类准则



# 研究动机

## ❖ LRC 识别框架



## ❖ 观察：

- (1) 测试人脸 = 该类人脸的本质成分 + 误差成分。
- (2) 误差图像反映了测试人脸和本质成分之间的差异。  
该差异是稀疏的，反映在图像上是遮挡区域。



# 研究动机

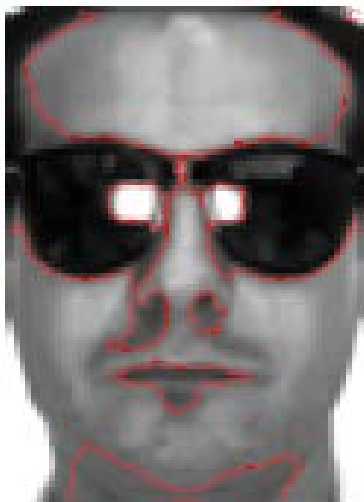


## ❖ 结论：

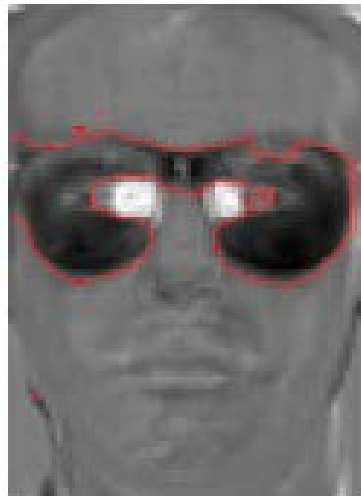
在误差图像中，遮挡(太阳镜)之外的人脸区域得到了较好的抑制。因此，遮挡区域在误差图中得到了更为显著的呈现，更易于被确定出来。



# 如何确定遮挡区域



原图



误差图

## ❖ CV模型:

- (1) 提供光滑、连续、封闭的边缘检测结果;
- (2) 对弱边界有效;
- (3) 抑制噪声的影响。



# 融合线性回归和CV模型的人脸识别方法

## 1: 估计误差图像

$$\hat{x}_i = (A_i^T A_i)^{-1} A_i^T y, \quad i = 1, 2, \dots, K.$$

$$e_i = y - A_i \hat{x}_i$$

## 2: 检测遮挡区域

$$\begin{aligned} \phi_i = \arg \min_{\phi_i, c_1, c_2} \{ & \mu \int_{\Omega} \delta(\phi_i(x, y)) |\nabla \phi_i(x, y)| dx dy \\ & + \nu \int_{\Omega} H(\phi_i(x, y)) dx dy \\ & + \lambda_1 \int_{\Omega} |e_i - c_1|^2 H(\phi_i(x, y)) dx dy \\ & + \lambda_2 \int_{\Omega} |e_i - c_2|^2 (1 - H(\phi_i(x, y))) dx dy \} \end{aligned}$$

## 3: 更新表示系数并分类

$$identity(y) = \arg \min_i \frac{\|y^* - A_i^* x_i\|_1}{|\{j | j \in \phi_i^-\}|^2}$$





# 实验结果及分析

- ❖ 随机图像块遮挡识别
- ❖ 人脸五官遮挡识别
- ❖ 室外数据库的随机图像块遮挡识别
- ❖ 真实人脸遮挡识别
- ❖ 算法时间分析

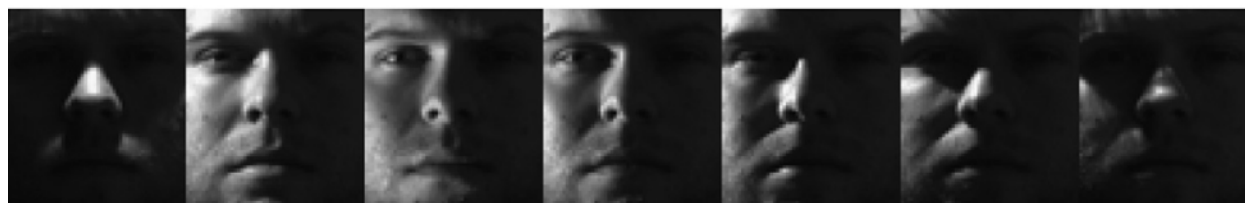
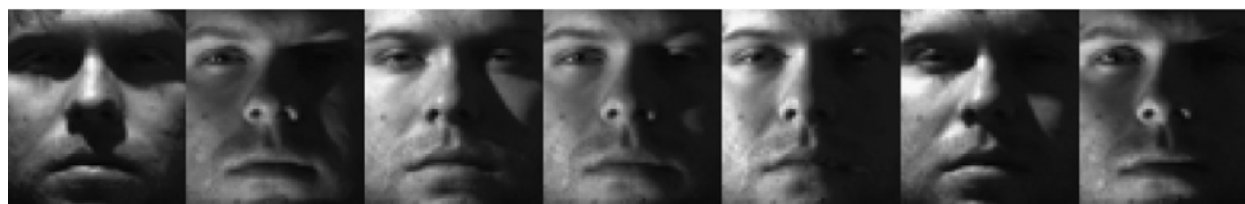
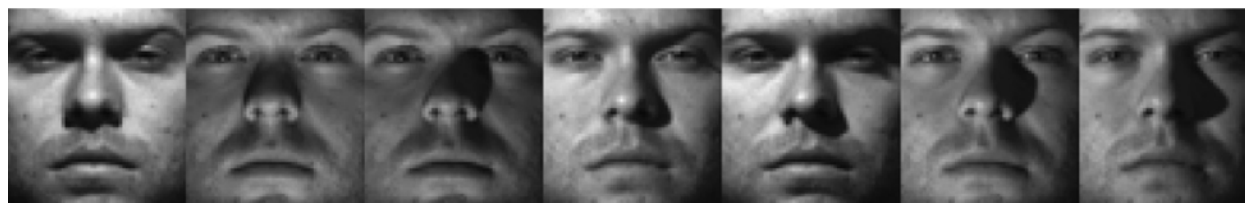


# 随机图像块遮挡识别

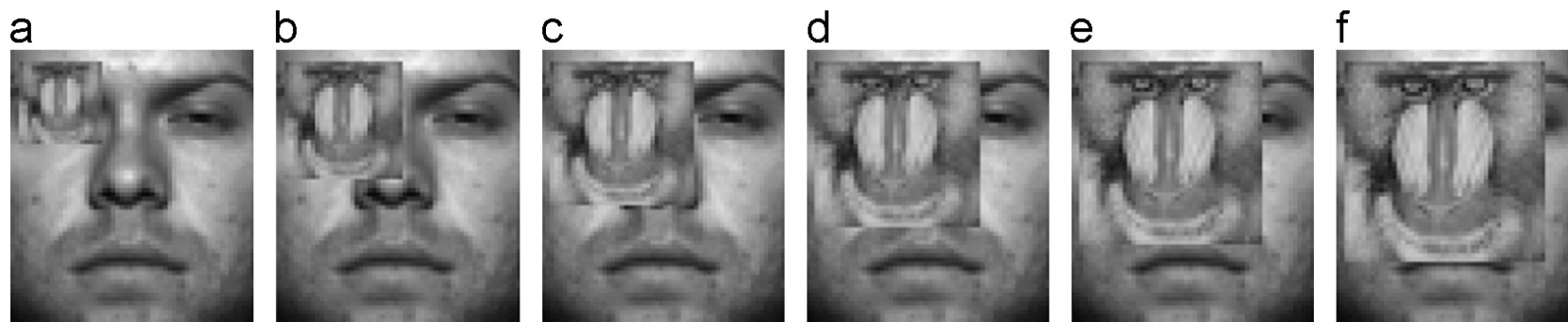
实验对象



Extended  
Yale B



# 随机图像块遮挡识别



测试图像在不同仿真遮挡下的示例图像。遮挡比例：10%~60%。

Extended Yale B数据库中子集1训练，对子集2进行仿真遮挡下的识别率

Percent occluded	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%
Eigenfaces+NN	89.91	94.30	91.01	87.28	67.76	52.41	31.36
Fisherfaces+NN	100	100	99.56	81.80	68.86	53.73	28.51
LNMF	99.78	94.96	94.74	84.21	55.70	44.74	23.68
SRC	100	100	98.9	94.96	67.54	41.45	17.54
LRC	100	99.34	98.03	94.74	72.15	49.12	22.59
Proposed method_ $\ell_2$	99.78	100	96.05	80.70	62.72	48.25	26.97
Proposed method	100	100	99.56	94.73	79.16	60.31	39.69

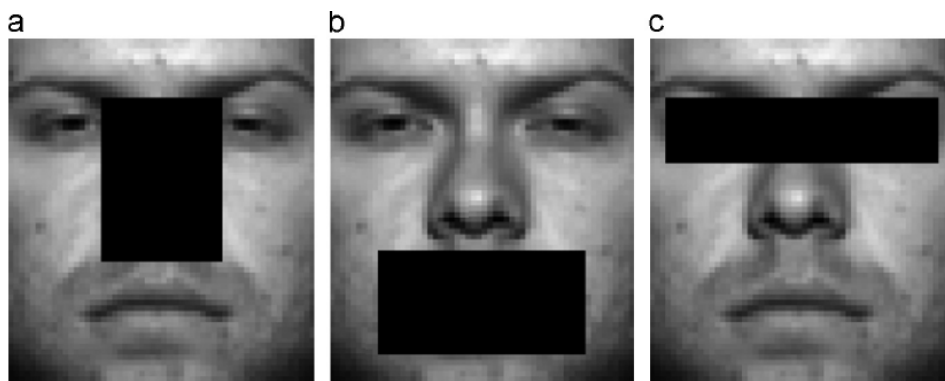
# 随机图像块遮挡识别

Extended Yale B数据库中子集1训练，对子集3进行仿真遮挡下的识别率 (%)

Percent occluded	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%
Eigenfaces+NN	37.58	65.27	63.96	52.09	39.12	30.99	18.46
Fisherfaces+NN	97.14	90.11	79.12	61.76	38.68	44.84	21.76
LNMF	100	80.00	75.82	59.56	42.86	28.35	16.92
SRC	100	98.02	95.38	76.04	45.27	27.25	15.38
LRC	100	98.02	94.73	76.70	52.09	32.53	16.48
Proposed method_ $\ell_2$	100	96.70	91.21	81.10	67.03	48.13	26.37
<b>Proposed method</b>	<b>99.78</b>	<b>99.56</b>	<b>96.48</b>	<b>90.33</b>	<b>79.12</b>	<b>63.74</b>	<b>41.98</b>



# 人脸五官遮挡识别

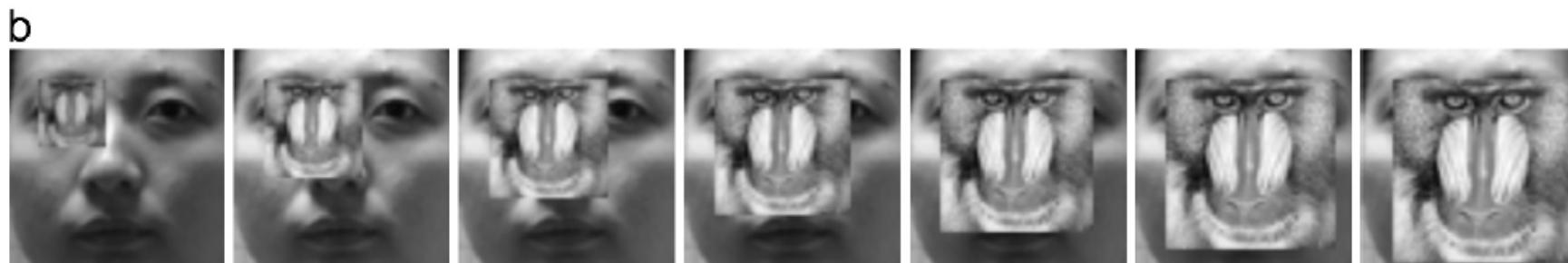
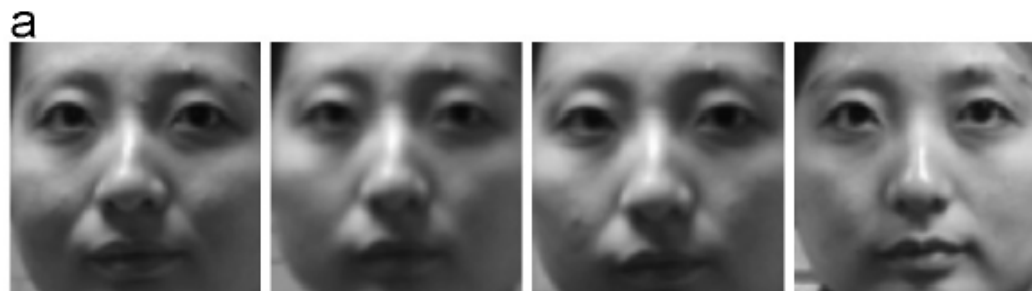


人脸五官遮挡下的识别结果

Occluded	Nose	Mouth	Eyes
Eigenfaces+NN	84.65	54.17	66.45
Fisherfaces+NN	92.76	74.78	91.45
LNMF	87.06	60.53	64.91
SRC	98.70	97.10	95.60
LRC	95.18	70.39	75.44
<b>Proposed method</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>



# 室外数据库的随机图像块遮挡识别



室外人脸数据库不同程度的仿真图像块遮挡实验对比(%)。

Percent occluded	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%
LNMF	96.97	91.67	71.97	55.30	36.36	21.21	14.39
SRC	98.48	96.97	81.82	64.39	60.61	32.58	19.70
LRC	92.42	84.09	66.67	53.79	44.70	25.00	15.91
Proposed method	98.48	98.48	83.33	68.18	64.39	43.18	25.76

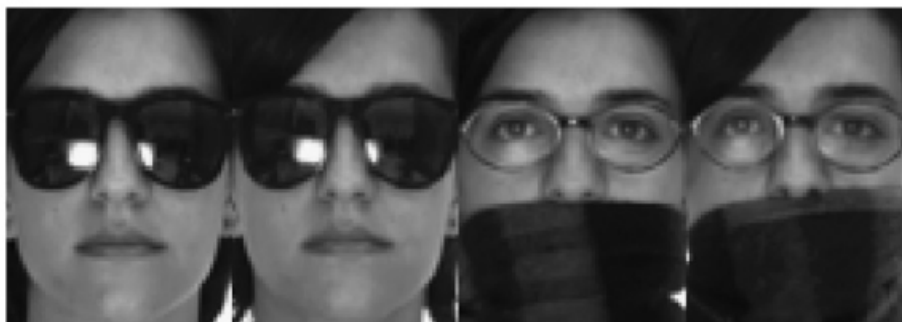
# 真实人脸遮挡识别

实验对象：AR

a



b



# 真实人脸遮挡识别

AR人脸数据库的遮挡人脸识别率(%)。

Approach	Sunglasses	Scarf
Eigenfaces+NN	70.0	12.0
Fisherfaces+NN	38.5	67.5
ICA I+NN	53.5	15.0
LNMF	33.5	24.0
SRC	87.0	59.5
SRC (partitioned)	97.5	93.5
LRC	66.0	12.5
LRC (partitioned)	93.5	73.0
LRC_ $\ell_1$	73.0	9.5
LRC_ $\ell_1$ (partitioned)	98.0	73.5
IGO-PCA	99.0	96.5
IGO-LDA	99.0	95.0
<b>Proposed method</b>	<b>99.0</b>	<b>95.0</b>





# 算法时间分析

随机图像块遮挡识别的算法运行时间(s)

Percent occluded	10%	20%	30%	40%	50%	60%
LRC	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
SRC	5.50	7.05	9.45	11.02	12.84	17.39
<b>Proposed method</b>	<b>12.65</b>	<b>12.52</b>	<b>12.47</b>	<b>12.45</b>	<b>12.45</b>	<b>12.48</b>

AR数据库算法运行时间(s)

Approach	Sunglasses	Scarf
LRC_partitioned	3.25	3.28
SRC_partitioned	32.79	35.02
<b>Proposed method</b>	<b>24.22</b>	<b>24.10</b>



# 本章小结

- ❖ 提出一个解决人脸识别中连续性遮挡问题的方法
- ❖ 核心思想：消除遮挡区域对分类的影响。
  - 从**误差图像**中提取遮挡区域
  - 利用**水平集方法**提取连续性边缘
- ❖ 优点：对遮挡鲁棒、不需要对人脸分块



### 3. 基于稀疏误差特征提取的人脸识别方法



# 拟解决的问题

- ❖ 目前，大多研究工作往往只针对一种外部变化设计人脸识别算法，如克服光照变化的算法，以及针对遮挡变化的算法。
- ❖ 采集到的人脸图像会受到不同因素的影响，因此这些方法具有一定的局限性。
- ❖ 针对该问题，本章试图给出一个既能克服光照变化，又能抑制遮挡影响的人脸识别算法。



# 本章结构

- ❖ 研究动机及问题分析
- ❖ 基于稀疏误差特征提取的人脸识别方法
  - 两个描述子
  - 两个识别协议
  - 参数选择
- ❖ 实验结果及分析



# 研究动机及问题分析

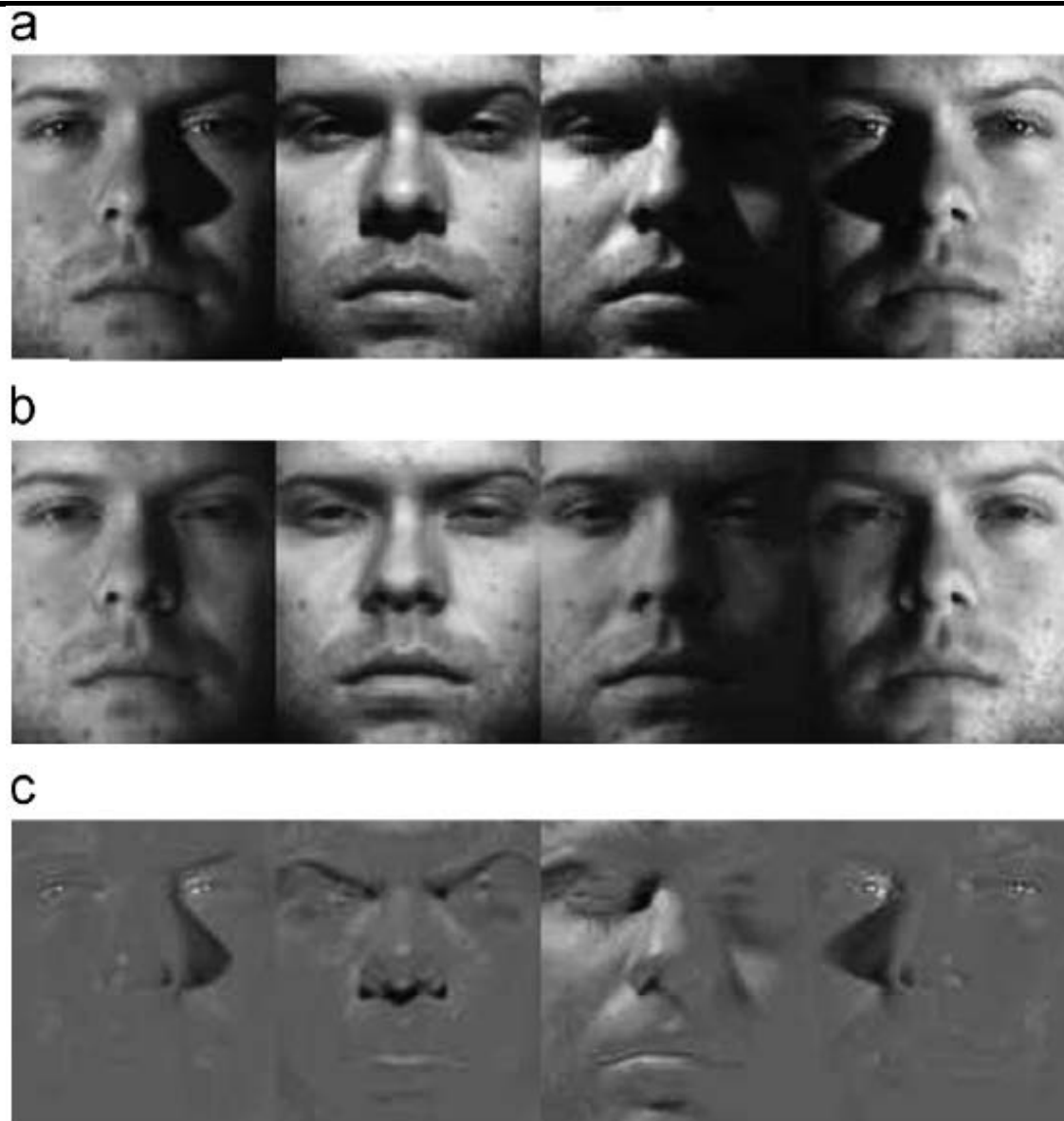
研究数据 = 低秩成分 + 稀疏成分

*Robust PCA*



# 研究动机及问题分析

## ❖ 光照变化



# 研究动机及问题分析

## ❖ 遮挡变化





# 研究动机及问题分析

## ❖ 观察：

低秩成分——相似，不利于识别

误差成分——人脸因光照、表情或遮挡引起的变化

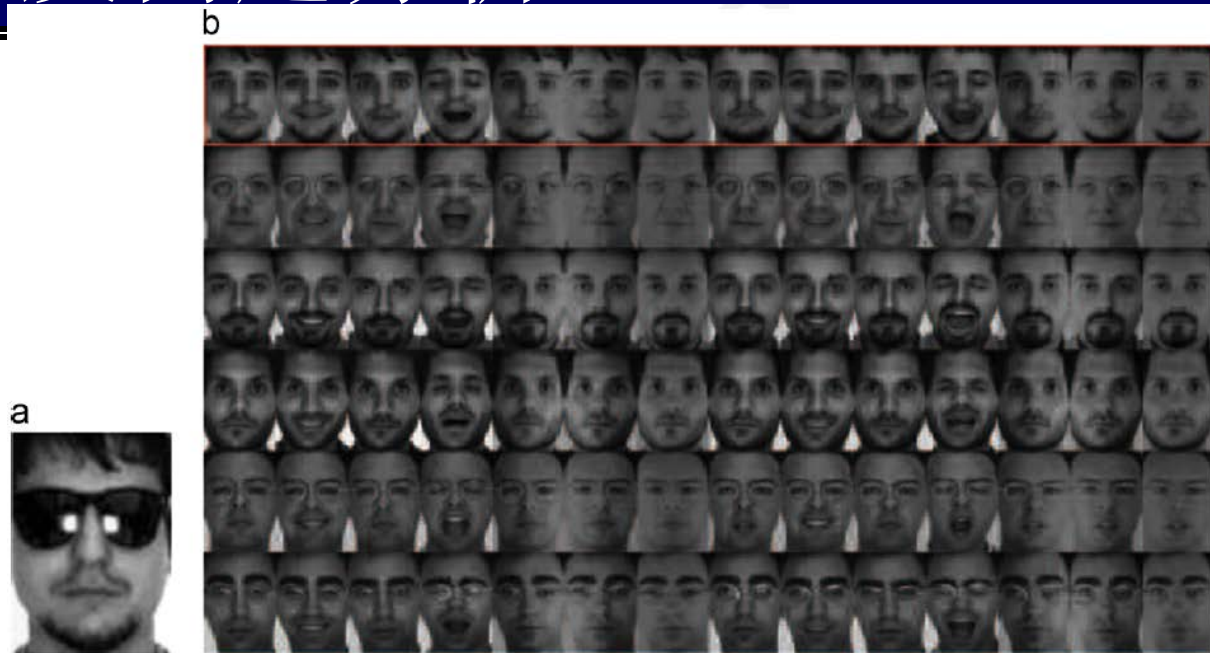
## ❖ 猜想：

给定一幅测试图像，不同类别的人脸图像对应的稀疏误差图像是否不同？

利用这一特点进行后续的分类？



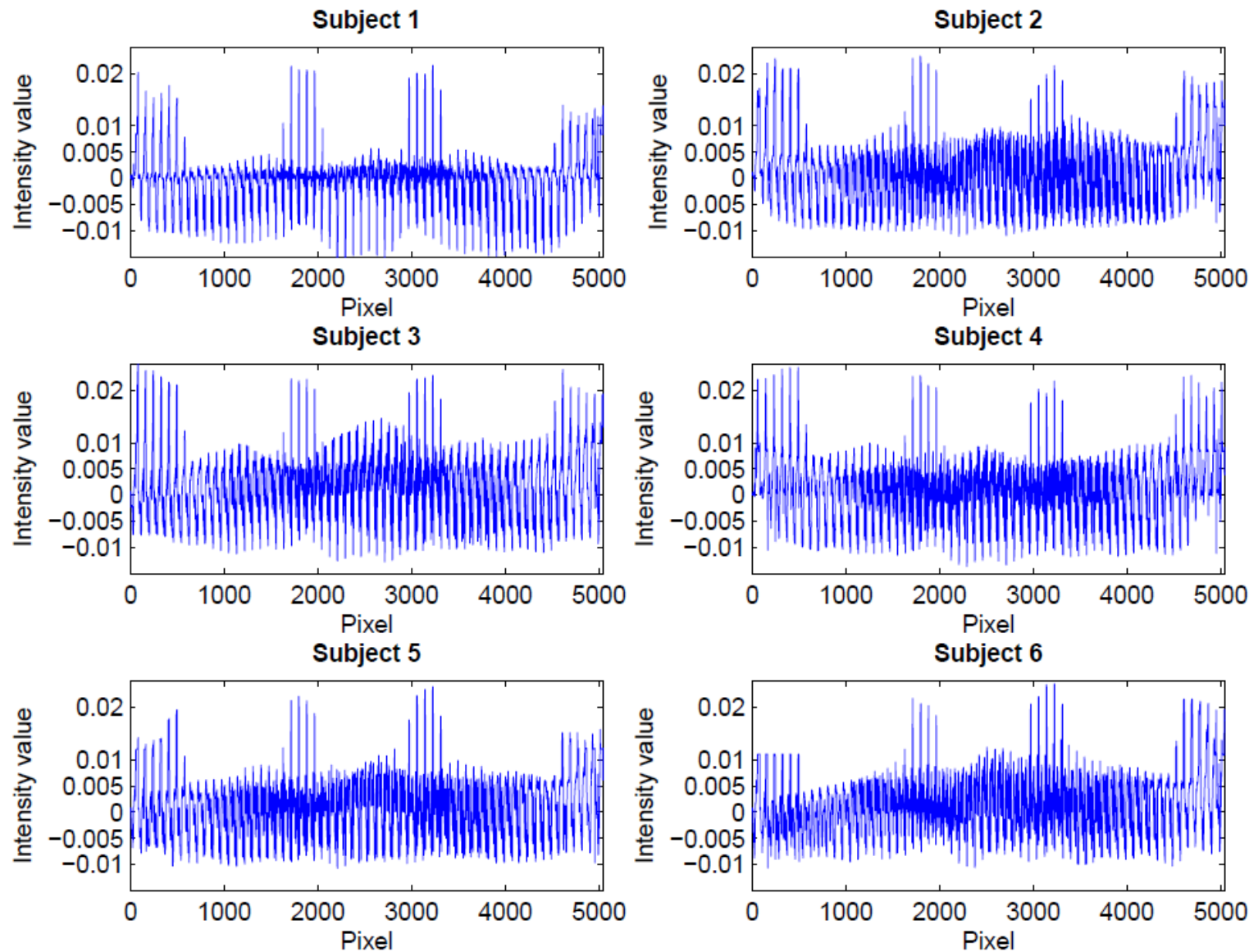
# 研究动机及问题分析



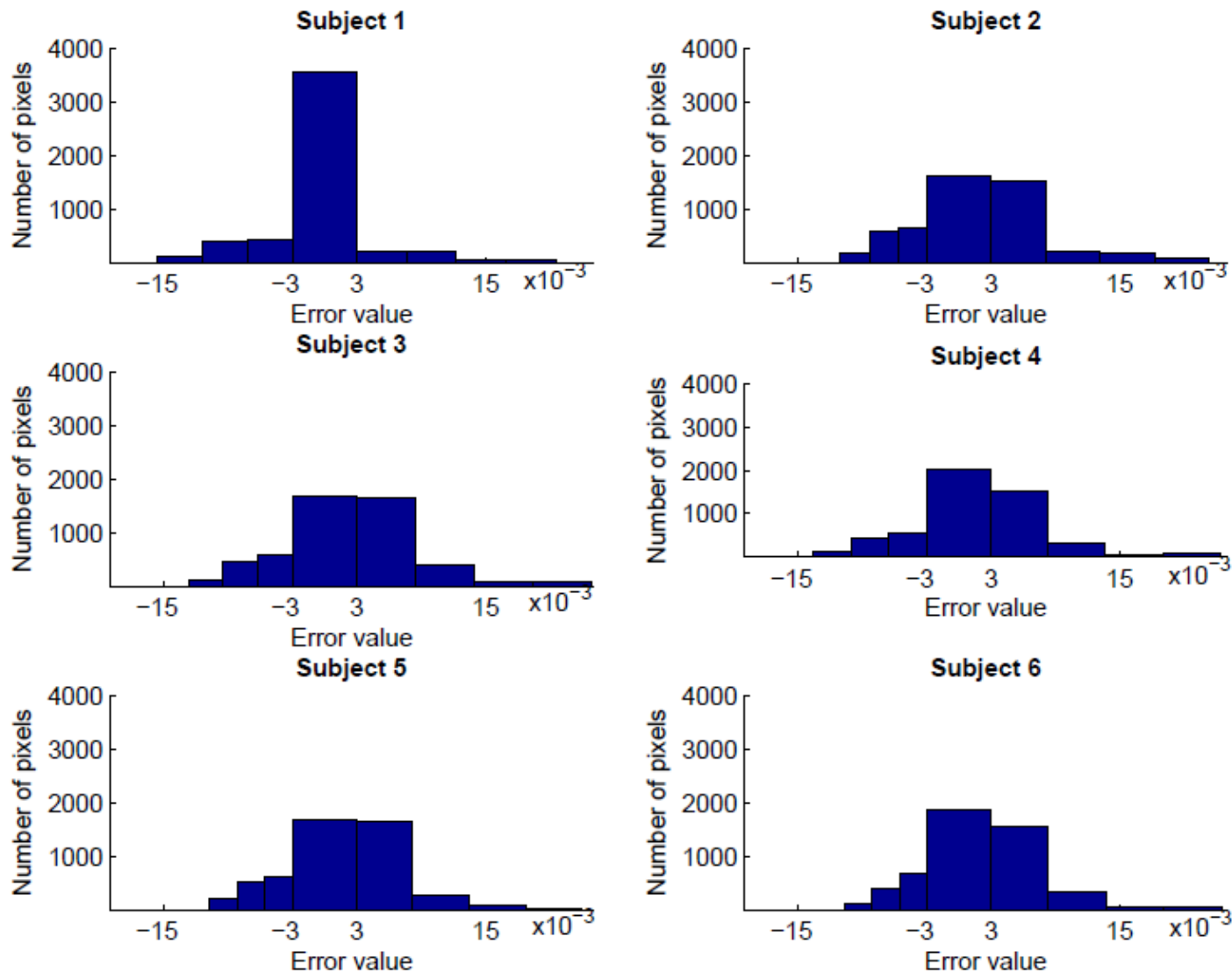
- (a) 测试图像;
- (b) 6个人的训练样本;
- (c) 测试样本在6类下的低秩图像;
- (d) 测试样本在6类下的稀疏误差图像。



# 研究动机及问题分析



# 研究动机及问题分析



(a)

# 基于稀疏误差特征提取的人脸识别方法

❖ 两个描述子

❖ 稀疏度描述子:

$$D_{sparsity}(E) = Num(|E| \leq \varepsilon)$$

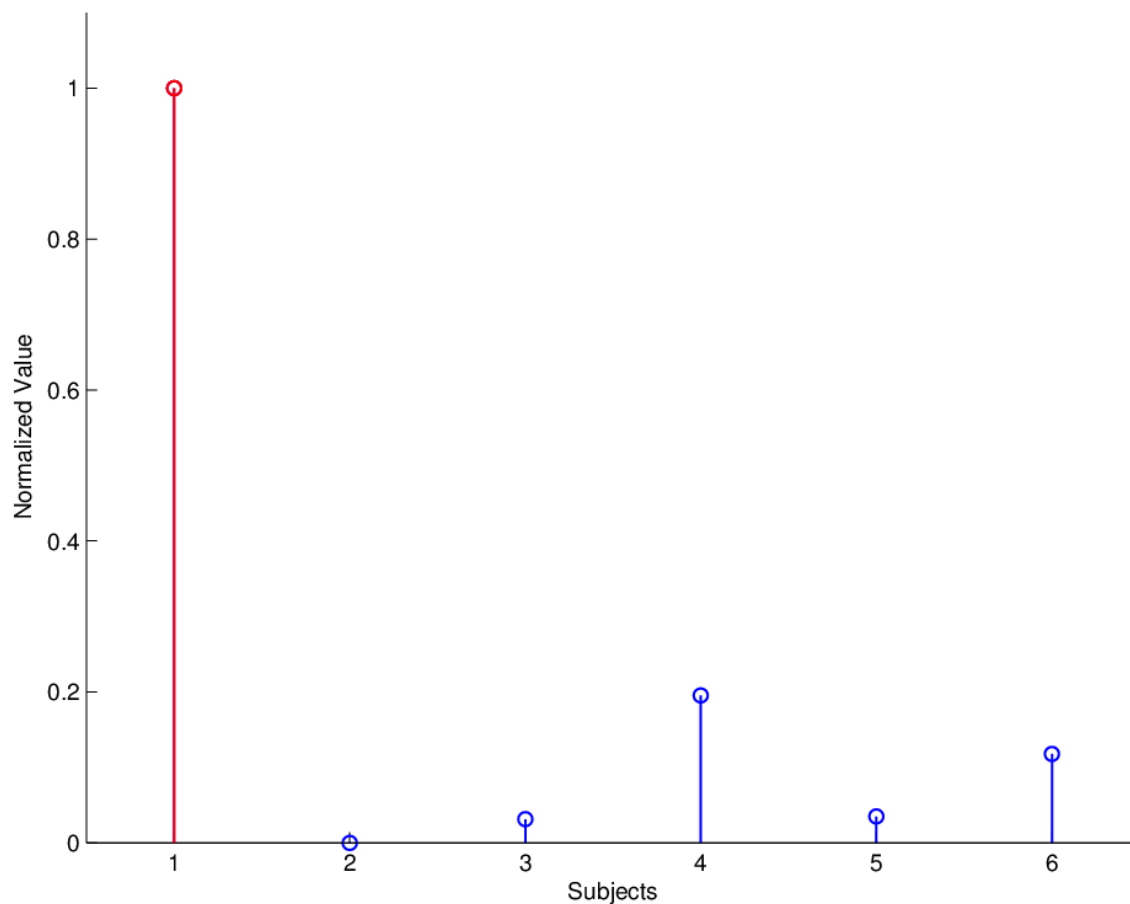
$D_{sparsity}$  计算的是矩阵中约等于零的元素个数。本文没有使用矩阵的  $l_0$  范数,

而是将 0 松弛为一个非常小的正常数  $\varepsilon$ , 通过统计矩阵落在区间  $[-\varepsilon, \varepsilon]$  内的元素

个数来刻画误差图像的稀疏性。注意到  $D_{sparsity}$  越大, 表示误差图像越稀疏。↵



# 基于稀疏误差特征提取的人脸识别方法



归一化后的误差图像的稀疏度



# 基于稀疏误差特征提取的人脸识别方法

❖ 平滑度描述子:

$$D_{smoothness}(E) = \sqrt{E_x^2 + E_y^2}$$

$E_x$  和  $E_y$  分别表示误差图像  $E$  在  $x$  和  $y$  方向上的偏导数

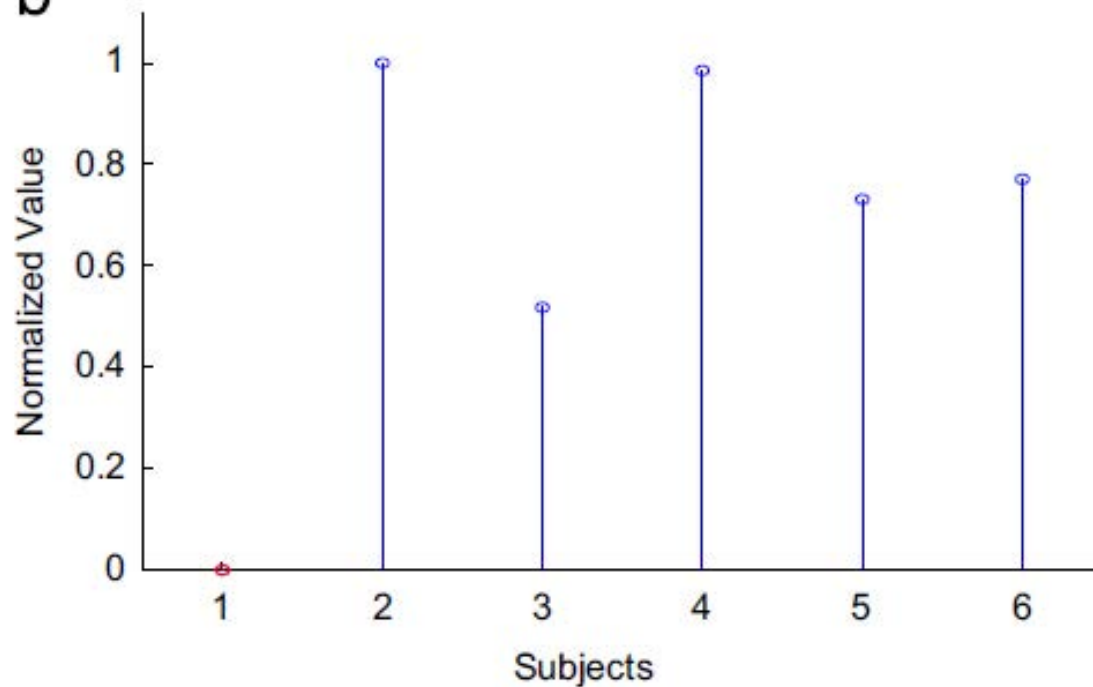


# 基于稀疏误差特征提取的人脸识别方法

a



b





# 基于稀疏误差特征提取的人脸识别方法

$D_{sparsity}$

$D_{smoothness}$



像素域

梯度域



刻画误差图像



# 基于稀疏误差特征提取的人脸识别方法

❖ 两个识别协议:

比值的方法:

$$S_r(E) = \frac{D_{sparsity}(E)}{D_{smoothness}(E)}$$

权重的方法:

$$S_w(E) = \alpha \cdot D_{sparsity}(E) + (1 - \alpha) \cdot \overline{D_{smoothness}(E)}$$



# 基于稀疏误差特征提取的人脸识别方法

## 算法概述

输入:  $K$  类的训练样本构成矩阵  $D = [D_1, D_2, \dots, D_K] \in \mathbf{R}^{m \times n}$ , 测试样本  $y \in \mathbf{R}^m$ 。

a) 对于第  $i$  类 ( $i=1, 2, \dots, K$ ) 的训练样本  $D_i$ , 形成矩阵  $D_i^* = [D_i, y]$ , 并执行

RPCA:  $\leftarrow$

$$\min_{L_i, E_i} (\|L_i\|_* + \gamma \|E_i\|_1), \quad s.t. \ D_i^* = L_i + E_i \leftarrow$$

得到测试样本  $y$  的误差图像:  $\leftarrow$

$$E_i^y \leftarrow E_i(:, end) \leftarrow$$

b) 通过(5.1)和(5.2)式分别计算得到误差图像  $E_i^y$  的稀疏度和平滑度。  $\leftarrow$

c) 通过比值或权重的方法计算上述两个描述子的组合:  $\leftarrow$

$$S(E_i^y) = \frac{D_{sparsity}(E_i^y)}{D_{smoothness}(E_i^y)} \leftarrow$$

(或者  $\leftarrow$

$$S(E_i^y) = \alpha \cdot D_{sparsity}(E_i^y) + (1 - \alpha) \cdot \overline{D_{smoothness}(E_i^y)} \leftarrow$$

输出: 测试样本  $y$  所属类别:  $identity(y) = \arg \max_i S(E_i^y)$ 。  $\leftarrow$



# 实验结果及分析

- ❖ 光照条件下的人脸识别
- ❖ 随机像素点破坏下的人脸识别
- ❖ 随机图像块遮挡下的人脸识别
- ❖ 参数讨论
- ❖ 真实条件下的连续性遮挡人脸识别



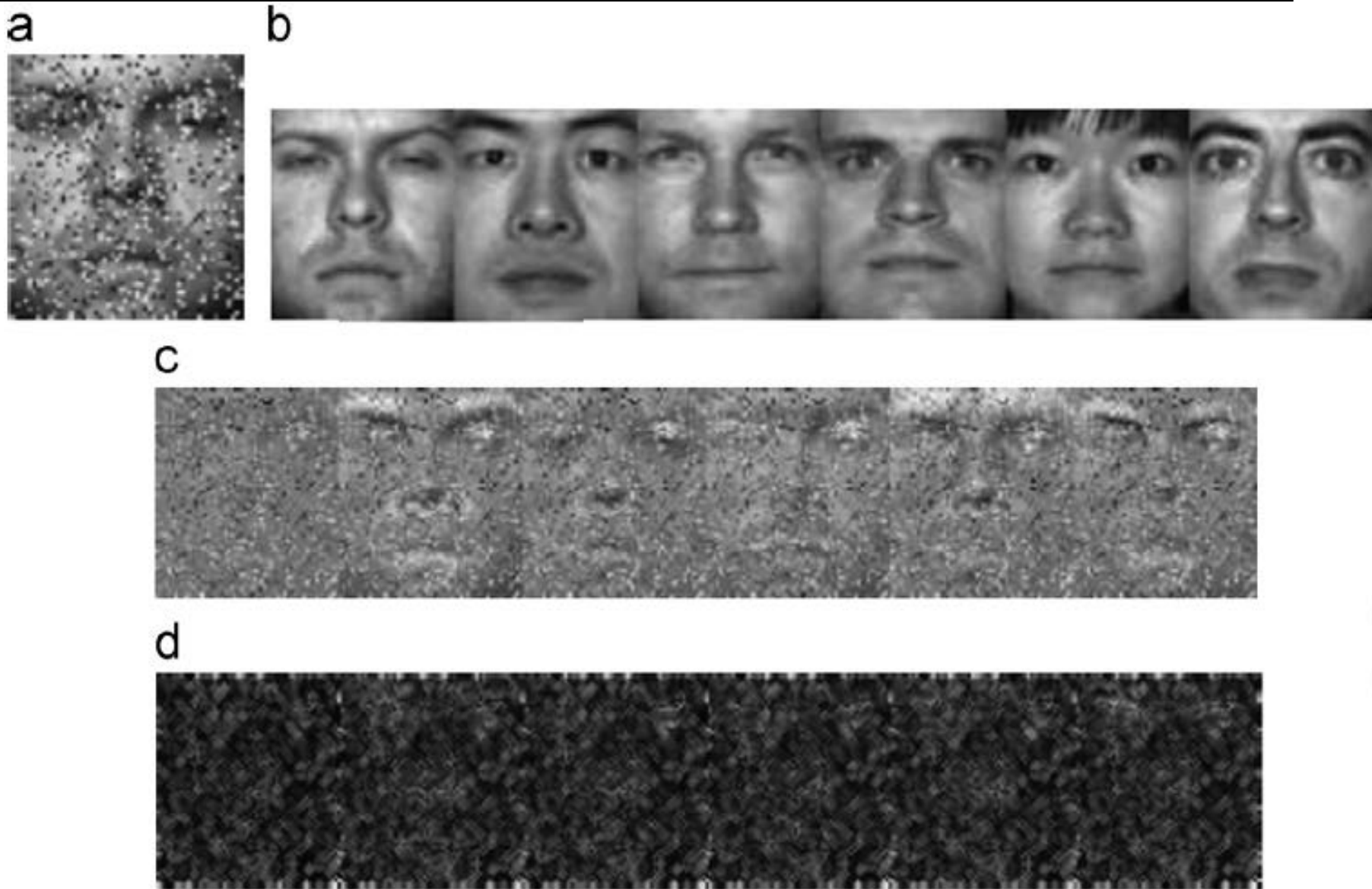
# 光照条件下的人脸识别

表 5.1 使用子集 1 作为训练不同方法在 Extended Yale B 人脸库上的识别率(%)。

Table 5.1 Recognition results (%) of different methods on the Extended Yale B database when using Subset 1 as training samples.

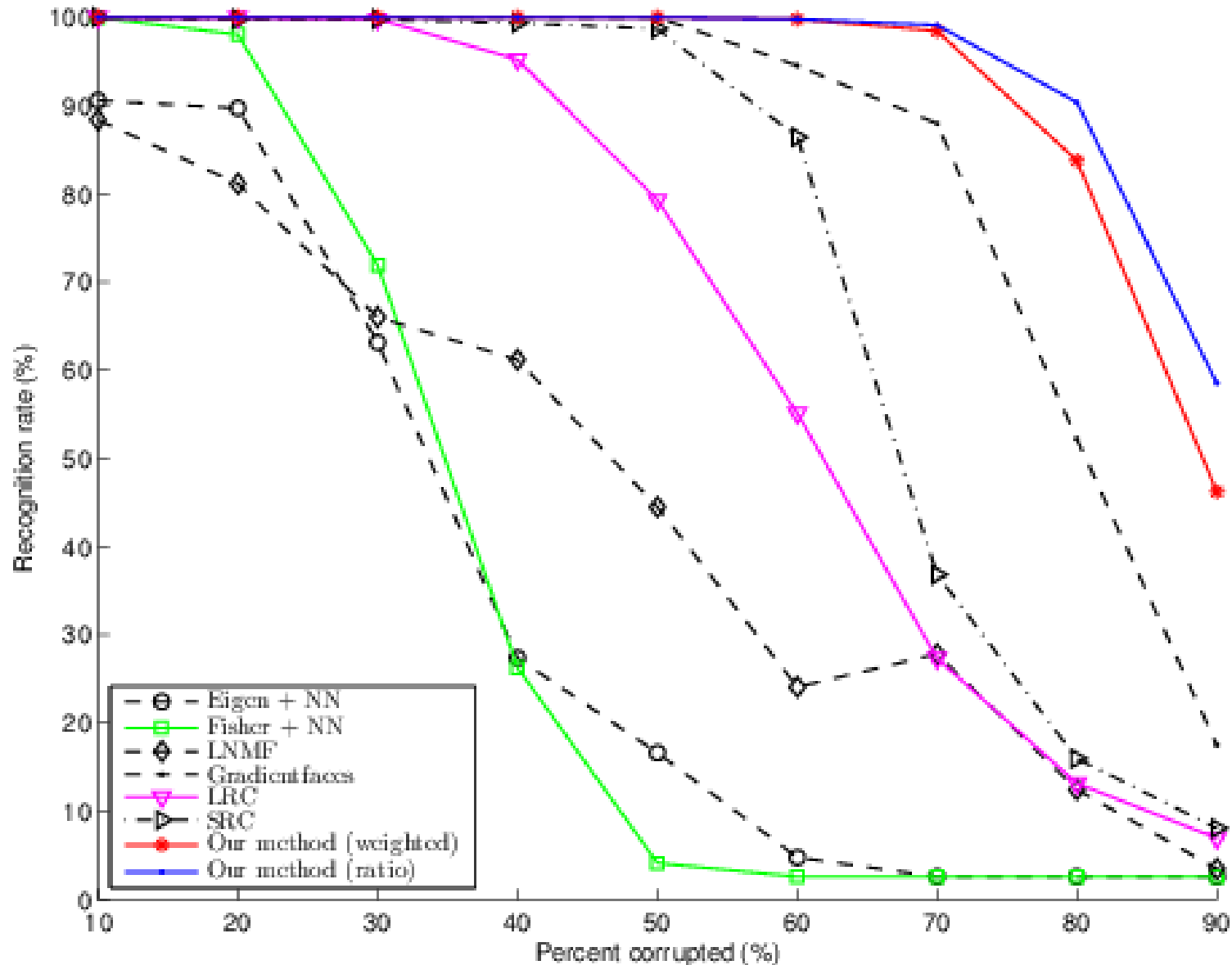
测试子集	2	3	4	5
Eigenfaces+NN	89.91	37.58	5.32	3.08
Fisherfaces+NN	100	97.14	38.59	5.74
LRC	100	100	88.59	43.13
SRC	100	100	67.87	17.51
CRC-RLS	100	100	90.68	45.10
Gradientfaces	100	100	89.73	83.33
Our method <sub>weighted</sub>	100	100	95.06	49.38
Our method <sub>ratio</sub>	100	100	54.18	38.12

# 随机像素点破坏下的人脸识别



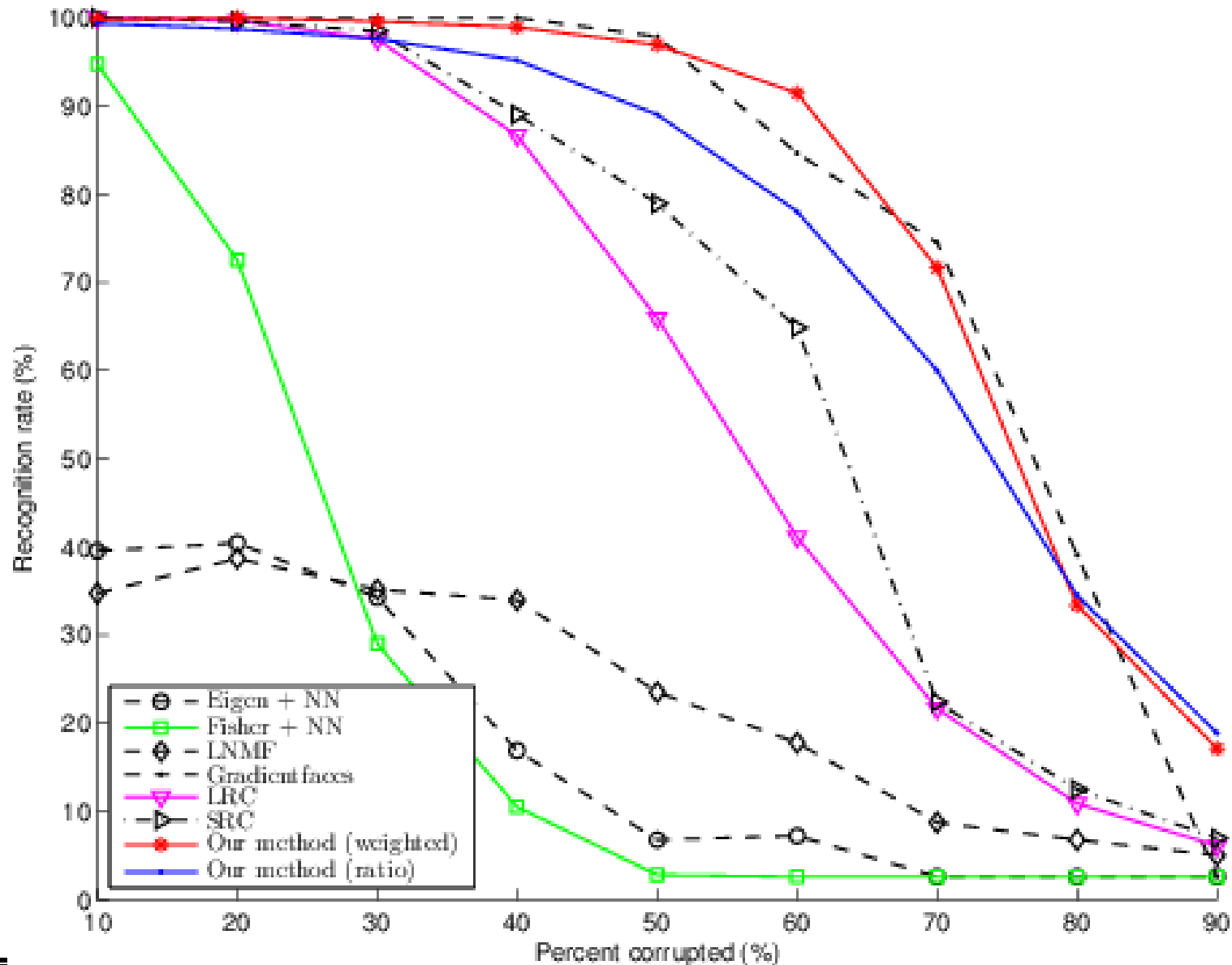
子集1训练，对子集2的一幅测试人脸随机像素点破坏

# 随机像素点破坏下的人脸识别



子集1训练，子集2测试下的各算法识别结果

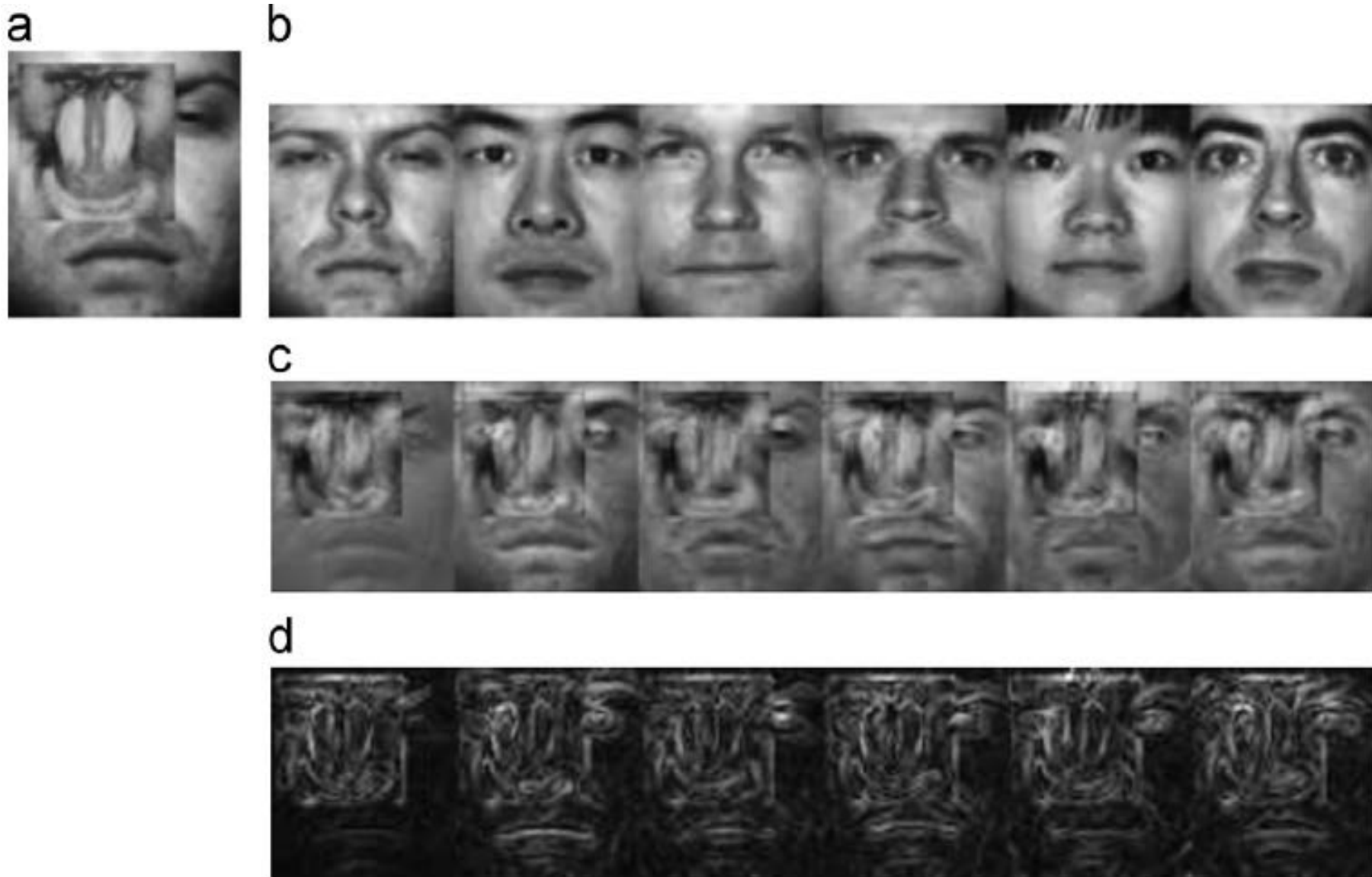
# 随机像素点破坏下的人脸识别



子集1训练，子集3测试下的各算法识别结果



# 随机图像块遮挡下的人脸识别



子集1训练，对子集2的一幅测试人脸进行随机狒狒图像遮挡

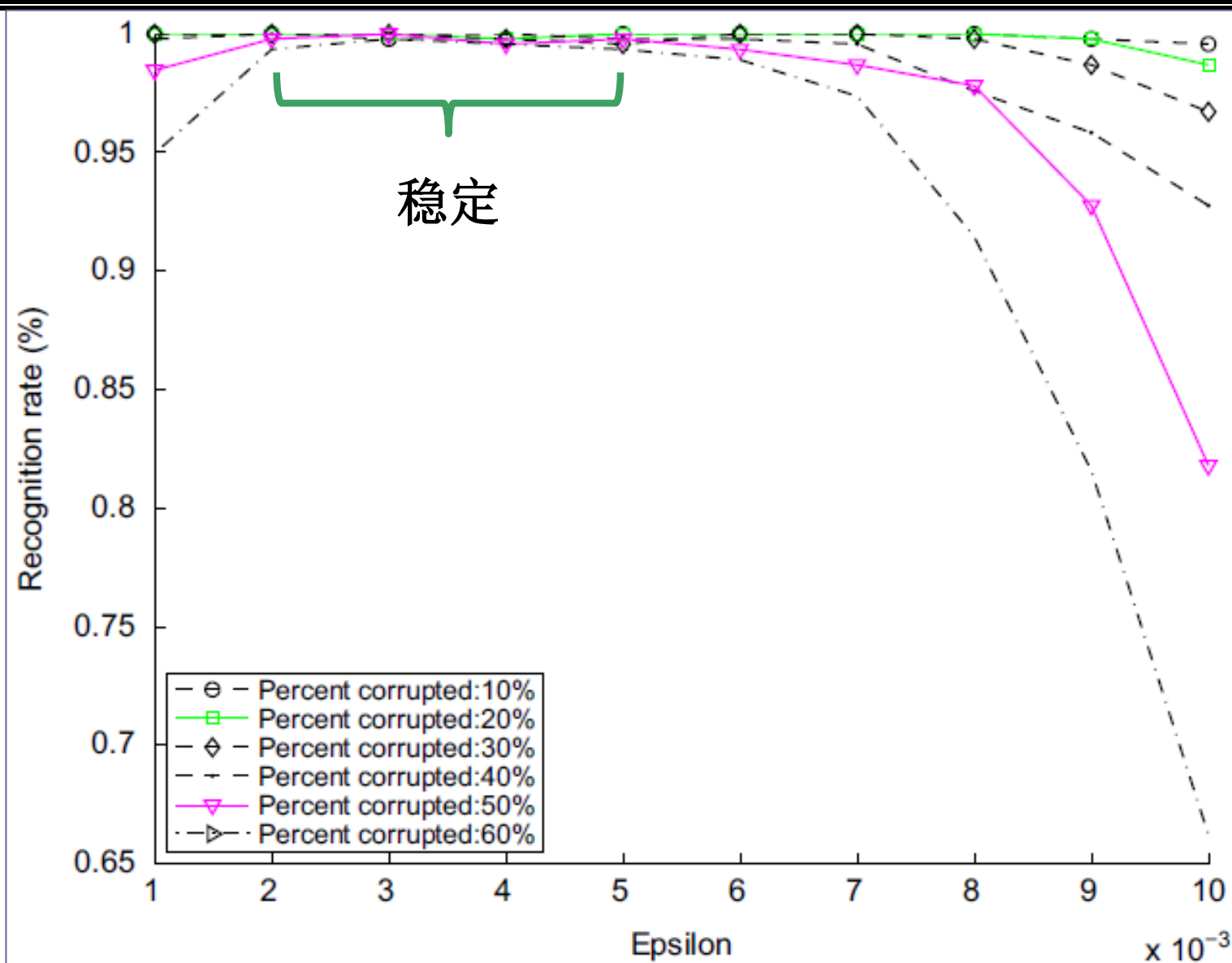
# 随机图像块遮挡下的人脸识别

表 5.2 Extended Yale B 数据库中子集 1 训练，对子集 2 进行仿真遮挡下的识别率(%)。

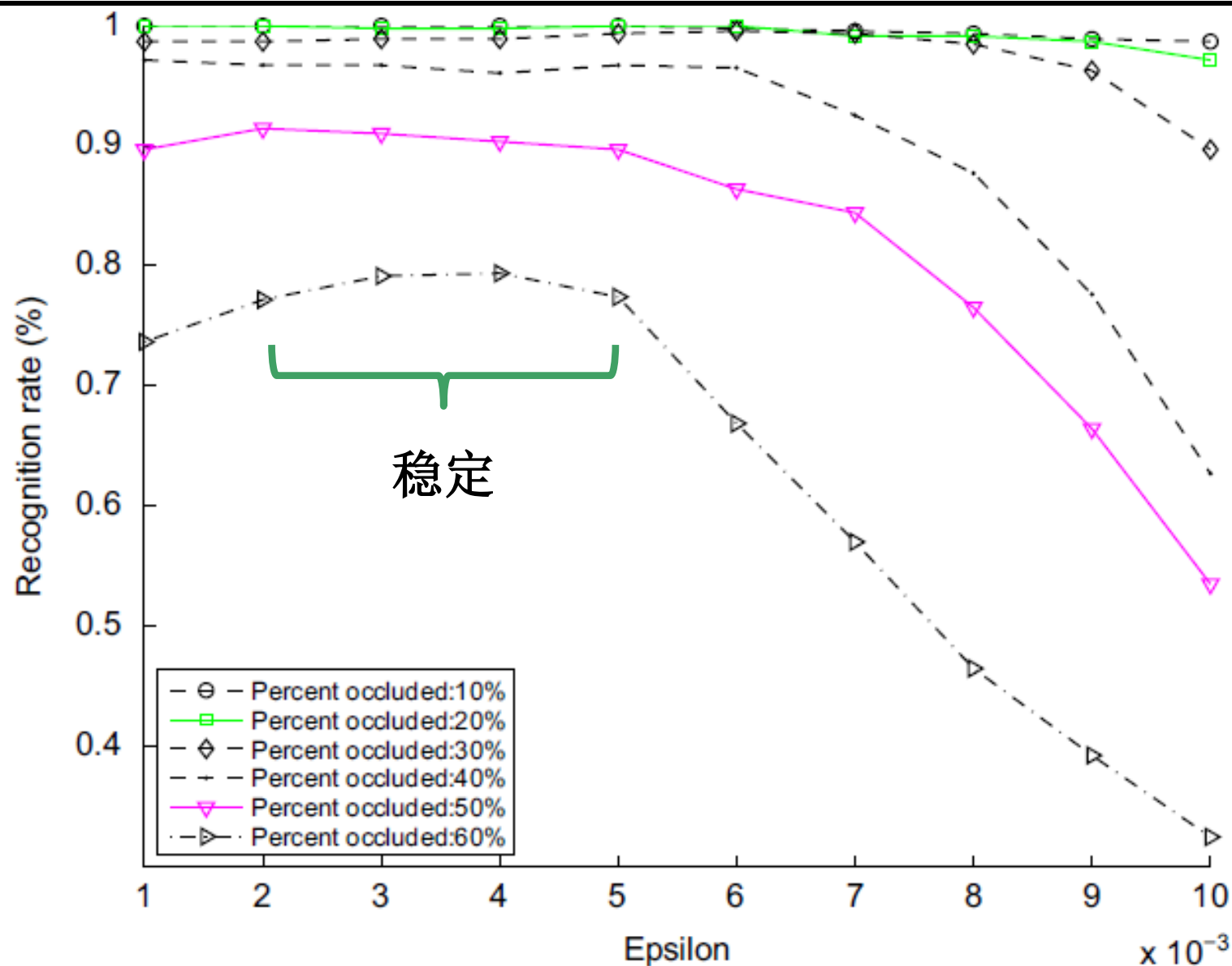
Table 5.2 Recognition rate (%) on Subset 2 of Extended Yale B database under varying level of contiguous occlusion using Subset 1 as training sample.

遮挡比例	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%
Eigenfaces+NN	94.30	91.01	87.28	67.76	52.41	31.36	28.51
Fisherfaces+NN	100	99.56	81.80	45.61	53.73	28.51	14.25
LNMF	94.56	94.74	84.21	55.70	44.74	23.68	14.47
LRC	99.34	98.03	94.74	72.15	49.12	22.59	8.55
SRC	100	98.90	94.96	67.54	41.45	17.54	11.40
Our method <sub>weighted</sub>	99.78	99.56	96.92	99.12	95.40	83.99	60.53
Our method <sub>ratio</sub>	100	100	93.41	98.25	92.98	80.04	62.28

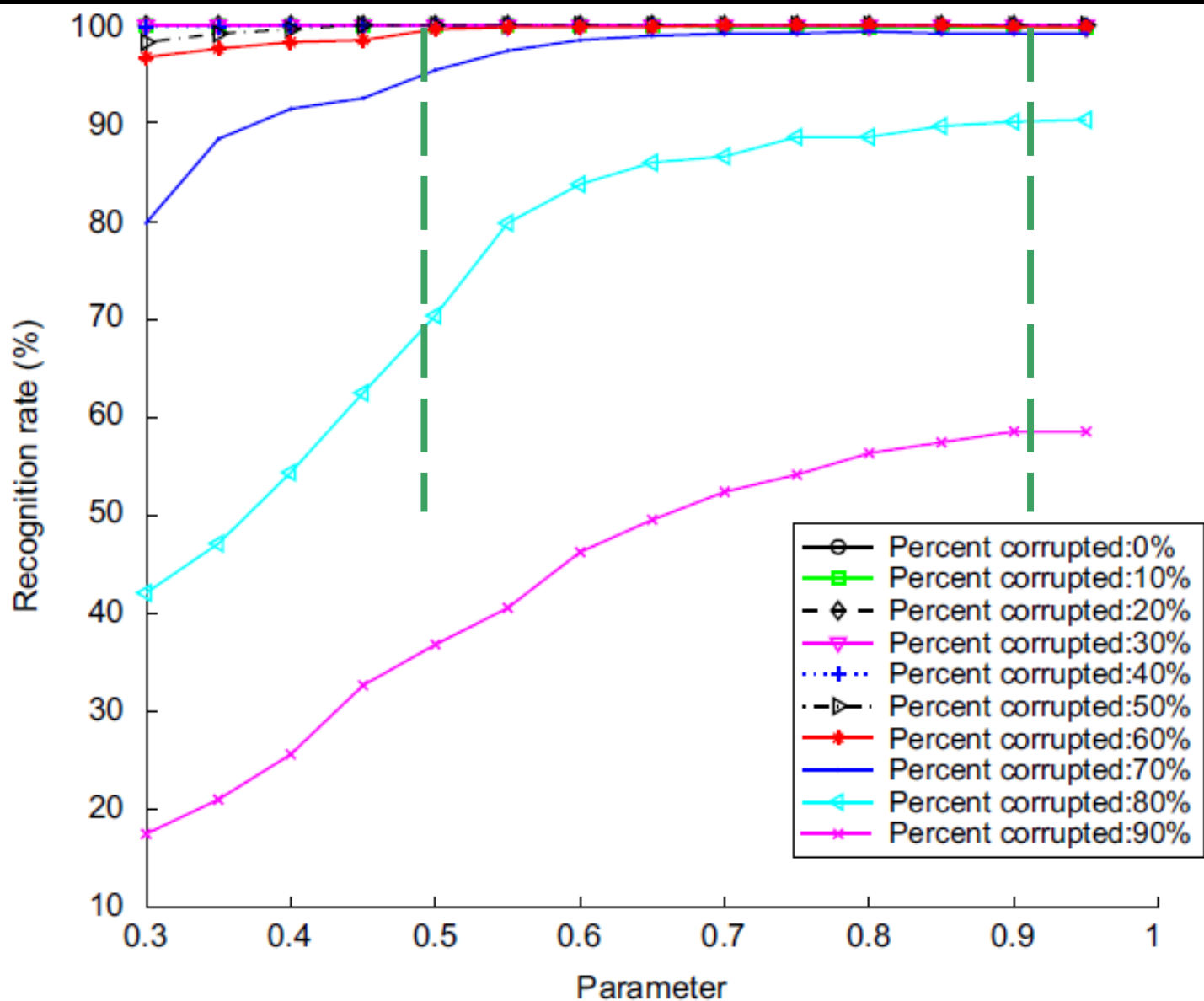
# 参数讨论



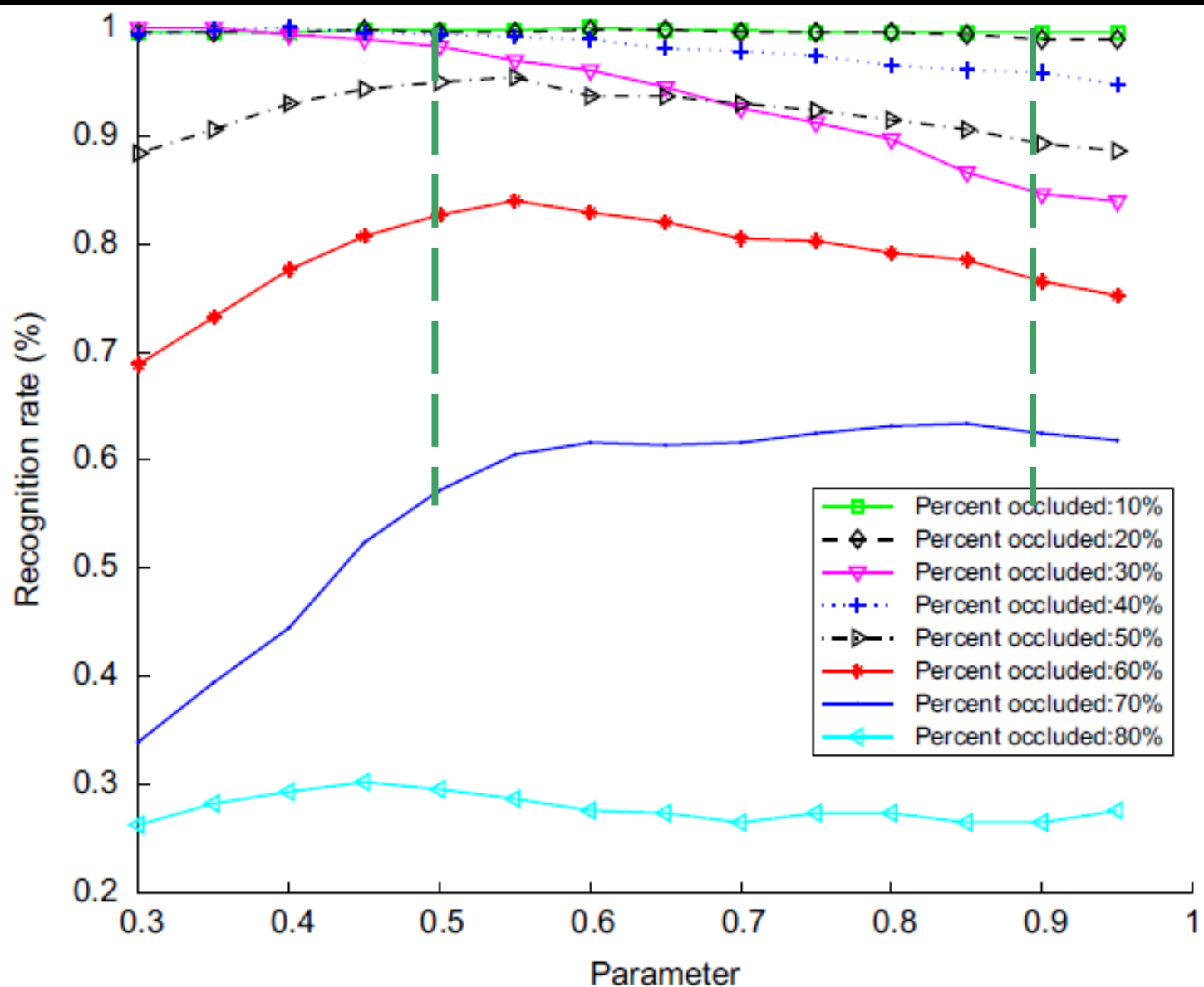
# 参数讨论



# 参数讨论



# 参数讨论



# 参数选择

$\varepsilon$  的合理取值范围在  $[0.002, 0.005]$  之间，取值过大或过小会造成统计出的稀疏度缺乏判别性，从而不利于分类。本章所有实验  $\varepsilon$  固定取值为  $\varepsilon=0.003$ 。

基于权重的方法中，参数  $\alpha$  用来权衡稀疏度和平滑度的比重。

光照变化下，平滑度  $D_{smoothness}$  比稀疏度  $D_{sparsity}$  的权重大， $\alpha < 0.5$

随机像素点或遮挡破坏的情况下， $D_{sparsity}$  具有较大的权重， $\alpha > 0.5$



# 真实条件下的连续性遮挡人脸识别

表 5.3 AR 人脸数据库真实遮挡下各算法的人脸识别率(%)。

Table 5.3 Recognition results (%) on the AR database with disguise occlusion.

算法	太阳镜	围巾
Eigenfaces+NN	70.0	12.0
Fisherfaces+NN	38.5	67.5
ICA I+NN	53.5	15.0
LNMF	64.0	6.5
SRC	87.0	59.5
LRC	66.0	12.5
Our method <sub>weighted</sub>	94.0	40.0
Our method <sub>ratio</sub>	93.0	15.5
分块识别		
LRC	93.5	73.0
SRC	94.0	88.5
R-CRC	92.0	94.5
Our method <sub>weighted</sub>	94.5	95.0
Our method <sub>ratio</sub>	90.5	89.5





# 真实条件下的连续性遮挡人脸识别

表 5.4 AR 人脸数据库同时包含光照和遮挡下的各算法的人脸识别率(%)。

Table 5.4 Recognition results (%) on the AR database with both illumination and disguise occlusion.

算法	太阳镜	围巾
LRC	51.0	11.2
SRC	69.8	40.8
R-CRC	65.8	73.2
Our method <sub>weighted</sub>	73.3	58.0
Our method <sub>ratio</sub>	72.7	13.7



# 本章小结

- ❖ 提出一个基于稀疏误差特征提取的人脸识别方法，解决正面人脸识别中的光照以及遮挡问题
- ❖ 核心思想：提取稀疏误差图像中的判别性信息。
  - 由RPCA得到稀疏误差图像
  - 构建描述子：稀疏度、平滑度
  - 定义识别协议：比值、权重
- ❖ 优点：光照、遮挡条件下的人脸识别表现出色。



# 总结

## ❖ 研究的方法

- 线性回归分类LRC、鲁棒PCA低秩分解
- “误差图像”

## ❖ 解决的问题

- 光照和遮挡



# 谢谢!

