



华中科技大学

HUAZHONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

# 图像复原

许向阳

xuxy@hust.edu.cn



# 纲要

一、图像复原概述

二、图像的模糊模型

三、模糊核的估计

四、经典数字图像复原技术

五、现代数字图像复原技术

六、复原效果较好的论文



# 一、图像复原概述

图像退化的原因





# 一、图像复原概述

图像复原的研究内容：

- (1) 图像退化中的模糊和噪声建模
- (2) 图像复原方法的设计
- (3) 图像复原结果的评价



# 一、图像复原概述

## 盲复原

图像的降质模型未知

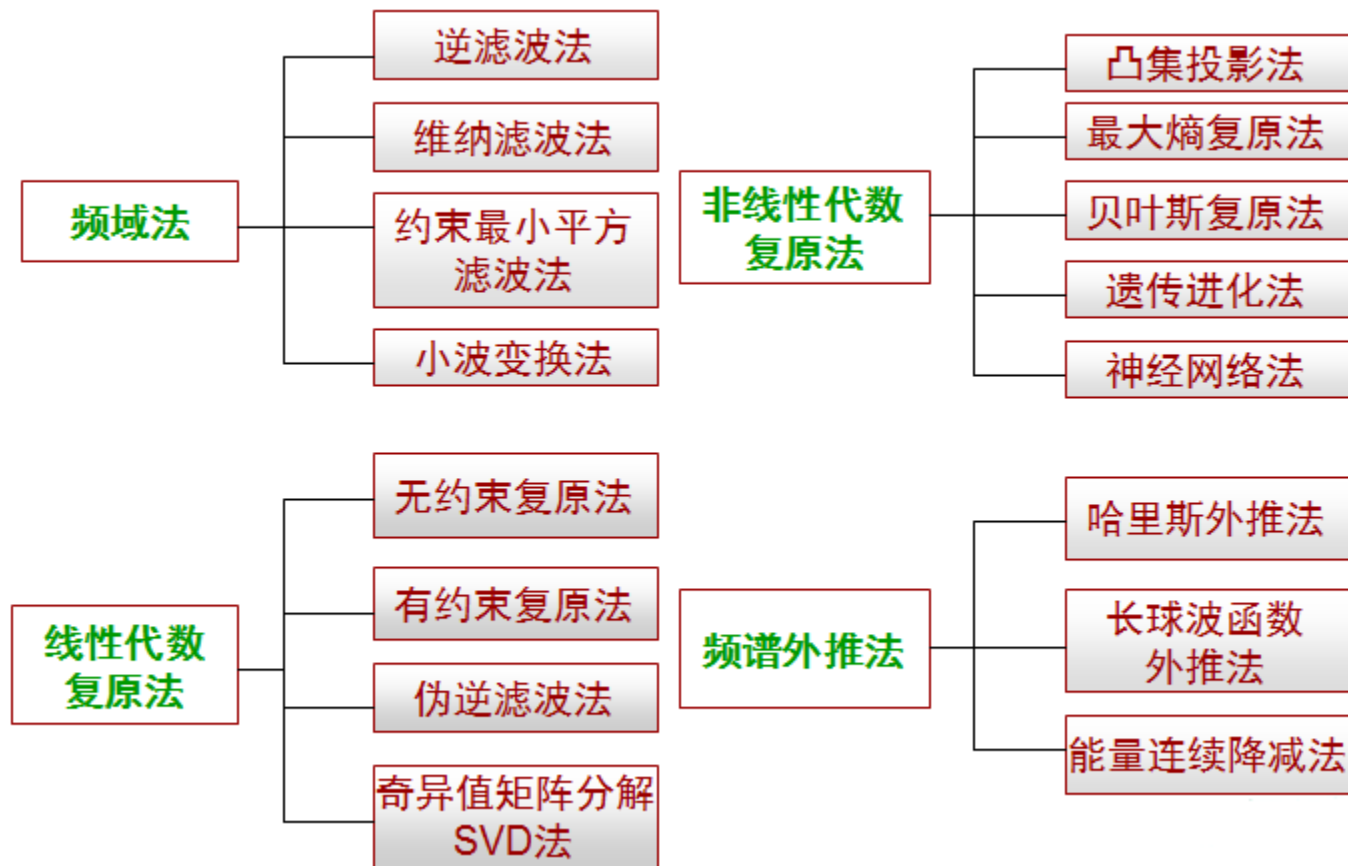
缺乏图像的先验知识

## 非盲复原



# 一、图像复原概述

## 图像复原方法的分类





# 纲要

一、图像复原概述

二、图像的模糊模型

三、模糊核的估计

四、经典数字图像复原技术

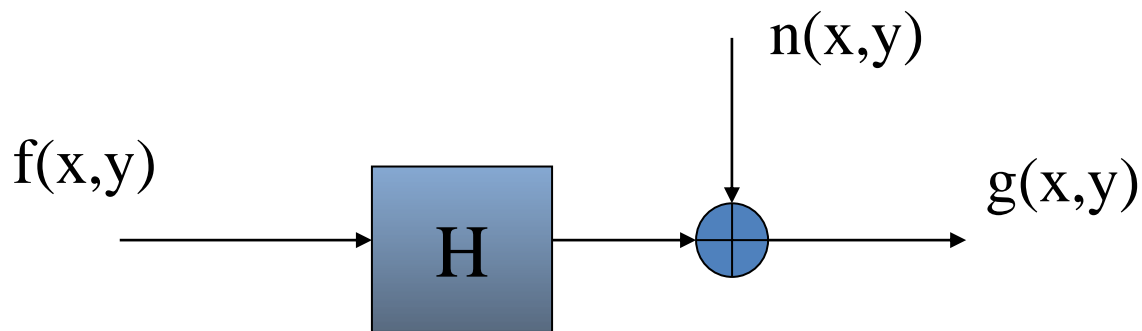
五、现代数字图像复原技术

六、几篇复原效果较好的论文



## 二、图像的模糊模型

图像模糊的一般模型：



图像的模糊公式：

$$g(x, y) = \int \int_{-\infty}^{\infty} f(\alpha, \beta) h(x - \alpha, y - \beta) d\alpha d\beta + n(x, y)$$





## 二、图像的模糊模型

常见的两种图像模糊模型

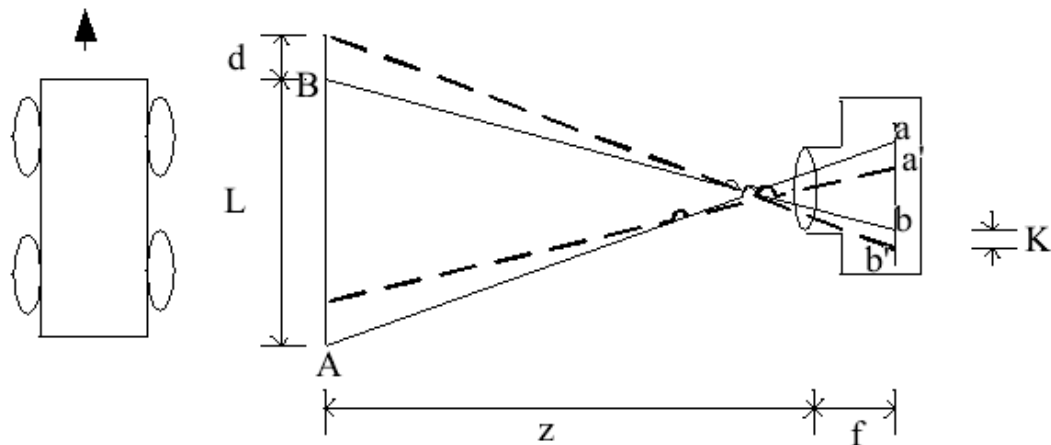
1. 运动模糊

2. 离焦模糊

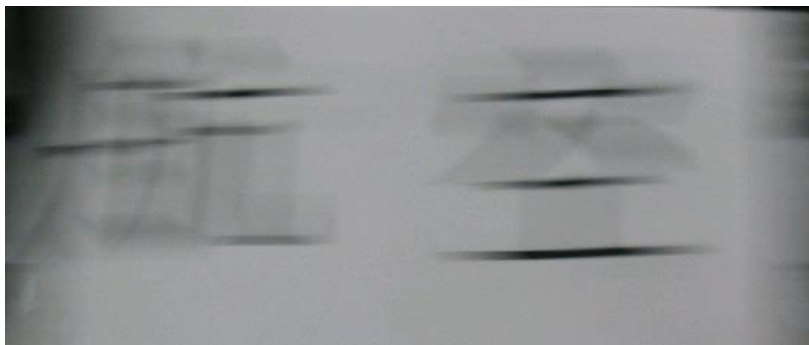


## 二、图像的模糊模型

### 1. 运动模糊



运动模糊图像  
成像原理图





## 二、图像的模糊模型

运动模糊的退化模型：

$$g(x, y) = \int_0^T f[x - x_0(t), y - y_0(t)] dt$$

设相机不动、对象运动

运动分量  $x$ 、 $y$  分别为  $x_0(t)$ 、 $y_0(t)$

曝光时间为  $T$ 。



## 二、图像的模糊模型

运动的刻画：

$$x_0(t)$$

$$y_0(t)$$

匀速直线运动

匀加速直线运动

匀速转动

变速直线运动

随机运动（相机抖动）



## 二、图像的模糊模型

解决运动模糊的方法：

硬办法：减少曝光时间。

曝光时间短，图像信噪比变小，图像质量也较低

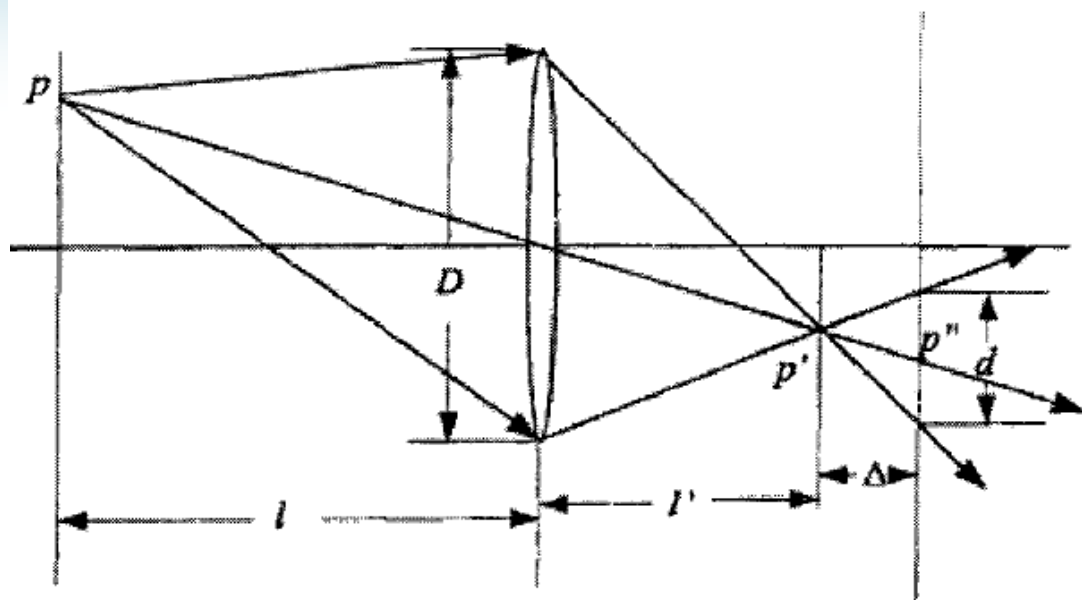
软方法：图像处理技术

建立运动图像的复原模型，通过数学模型来解决图像的复原问题。



## 二、图像的模糊模型

### 2. 离焦模糊



离焦模糊图像成像原理



## 二、图像的模糊模型

运动模糊、离焦模糊 图像及其频谱图示例



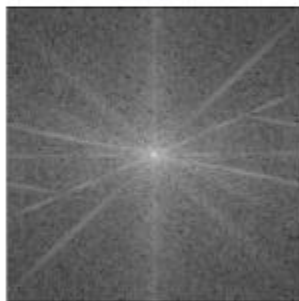
(a)



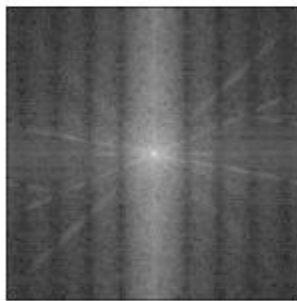
(c)



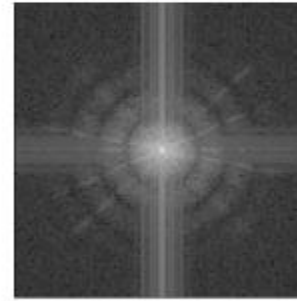
(e)



(b)



(d)



(f)

(a)、(c) 和 (e) 分别为原图像、线性运动模糊图像和散焦模糊图像；  
(b)、(d) 和 (f) 分别为相应的频率幅度图。



# 纲要

一、图像复原概述

二、图像的模糊模型

三、模糊核的估计

四、经典数字图像复原技术

五、现代数字图像复原技术

六、复原效果较好的论文





## 三、模糊核的估计

1. 实时检测运动,根据模糊路径重建模糊核
2. 根据多幅图之间的联系来求取模糊核
3. 根据单幅模糊图来求取模糊核



## 三、模糊核的估计

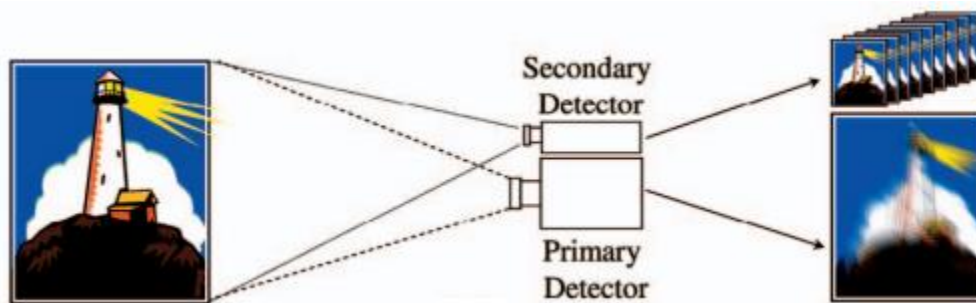
### 1. 实时检测运动,根据模糊路径重建模糊核

双 CCD 同时获取图像:

一个空间分辨率低的快速CCD

一个空间分辨率高的慢速CCD

快速CCD记录的低曝光未模糊的序列图像用来计算运动模糊路径，从而建立模糊核来复原慢速CCD获取的运动模糊图像。



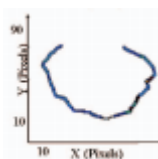


## 三、模糊核的估计

改造后的摄像机的实物图



复原效果:



Deblurring



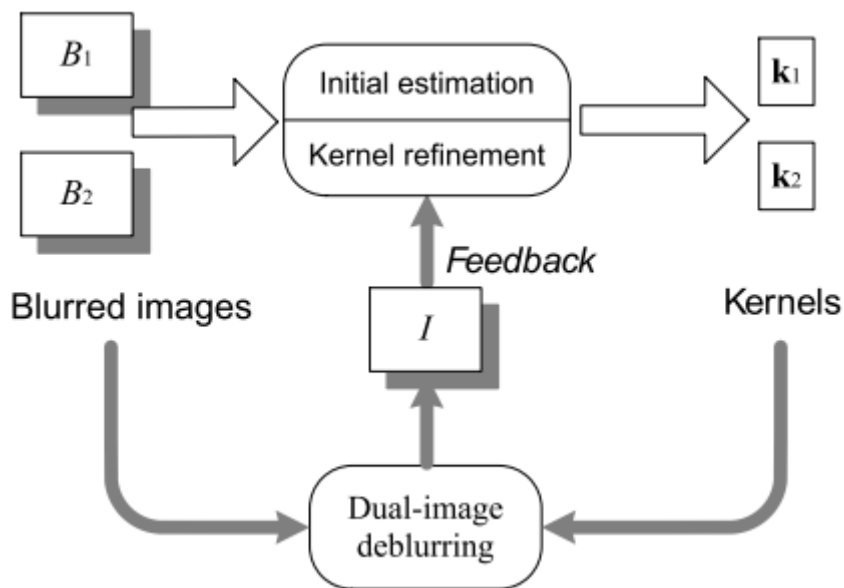


## 三、模糊核的估计

### 2. 根据多幅图之间的联系来求取模糊核

同一物体有两幅或多幅不同运动模糊图像

根据图像之间的联系求出各自的模糊核；再复原



Coded shutter



华中科技大学

HUAZHONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

## 三、模糊核的估计

复原效果



deblur

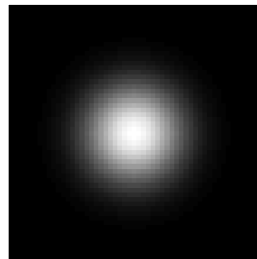
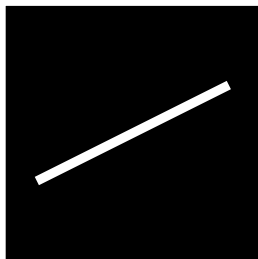
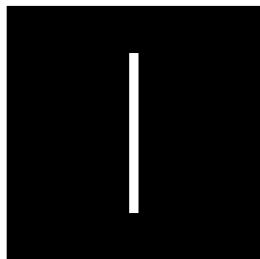




## 三、模糊核的估计

### 3. 根据单幅模糊图像来求取模糊核

- 参数化的退化函数估计  
已知运动模型，估计具体的参数
- 非参数化的退化函数估计



参数化的退化函数（模糊核）





## 三、模糊核的估计

### 参数化的退化函数估计

运动模型：匀速直线运动

参数  $L$ ：运动的距离

参数  $\Theta$ ：运动的角度

模糊图像的空域、频域特点

黑条纹的间距和方向

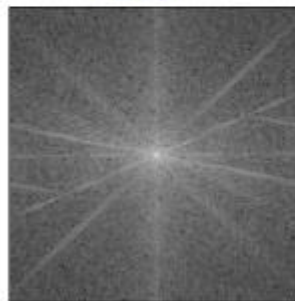
Hough变换、Radon变换



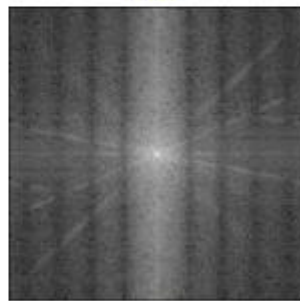
(a)



(c)



(b)



(d)



## 三、模糊核的估计

### 非参数化的退化函数估计

通常退化函数的估计、图像复原交替进行

退化模型  $B = L \otimes K + N$

最大化后验概率:  $p(L, K|B)$

最小化目标函数:  $e(|B - L \otimes K|) + \psi(L) + \phi(K)$





## 三、模糊核的估计

### 非参数化的退化函数估计

利用的信息

(1) 有关图像的先验知识

全局性的梯度（一阶、二阶、高阶）统计特点

有效梯度

模糊半透明区域信息

(2) 有关退化函数的先验信息

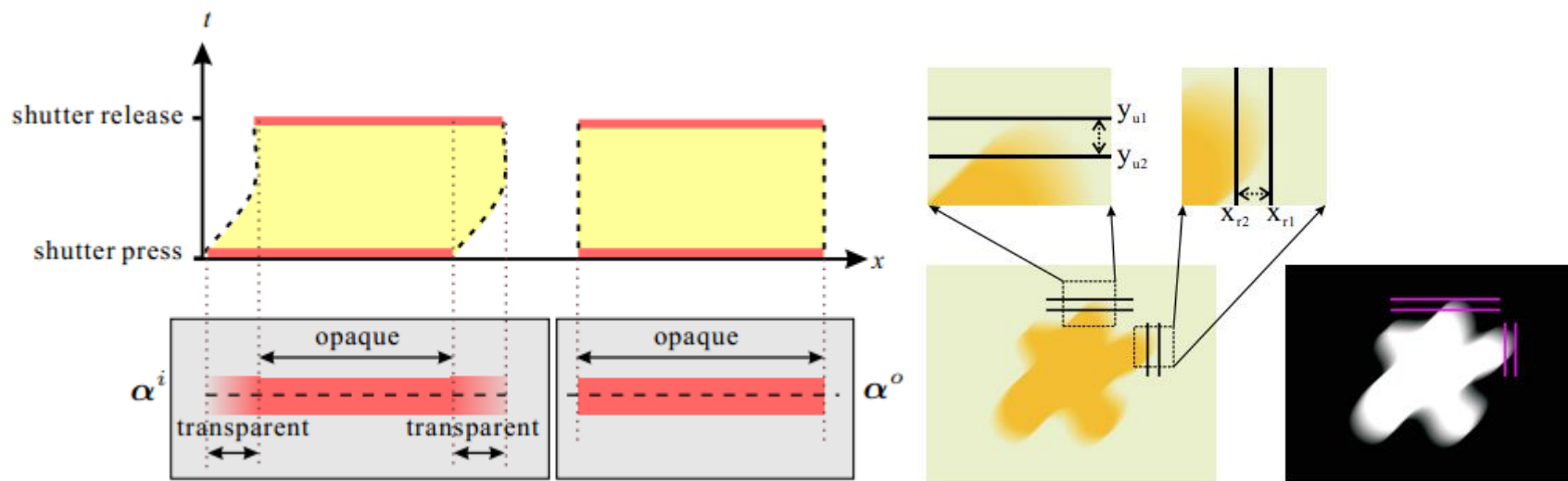
非负性、和为1、

各元素独立服从指数分布



## 三、模糊核的估计

模糊图像的模糊半透明区域的形成及利用





华中科技大学

HUAZHONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

## 三、模糊核的估计

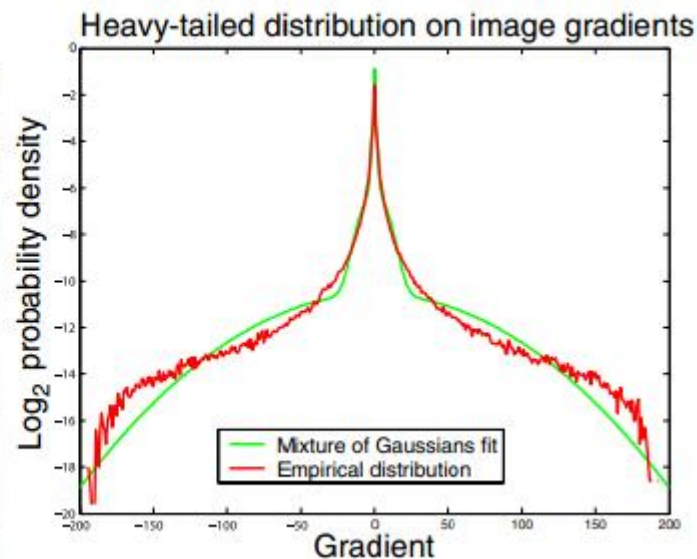


利用模糊半透明区域来提取模糊核的复原效果



## 三、模糊核的估计

自然图像的梯度满足重尾分布(红色所示)  
用高斯分布拟合这一重尾分布(绿色所示)





## 三、模糊核的估计



利用梯度分布特性结合参数估计的复原效果



# 纲要

一、图像复原概述

二、图像的模糊模型

三、模糊核的估计

四、经典数字图像复原技术

五、现代数字图像复原技术

六、复原效果较好的论文



## 四、经典数字图像复原技术

### 1. 逆滤波法

若不考虑噪声：

$$F(u, v) = \frac{G(u, v)}{H(u, v)}$$

若考虑噪声影响：

$$\hat{F}(u, v) = \frac{G(u, v) - N(u, v)}{H(u, v)}$$

为了克服分母接近0所引起的计算问题，在分母中加入一个小的常数 $k$ ，将上式修改为：

$$\hat{F}(u, v) = \frac{G(u, v) - N(u, v)}{H(u, v) + k}$$





# 四、经典数字图像复原技术

## 逆滤波法复原效果（不带噪声）



(a) 模糊图像 ( $x=20$   $y=10$ )



(b)  $k=0.1$



(c)  $k=0.01$

逆滤波方法对不带噪声的模糊Lena图像的恢复效果



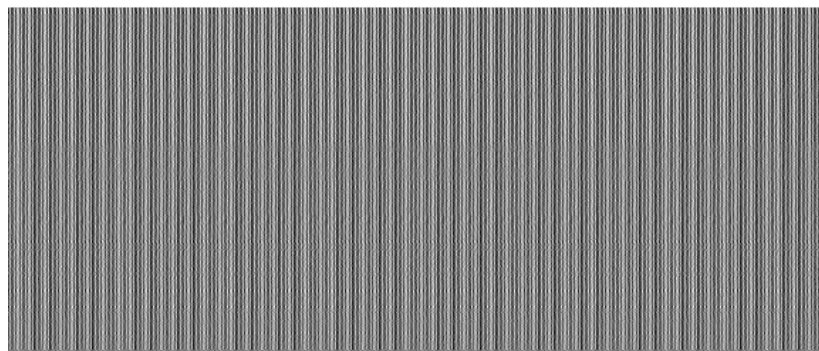
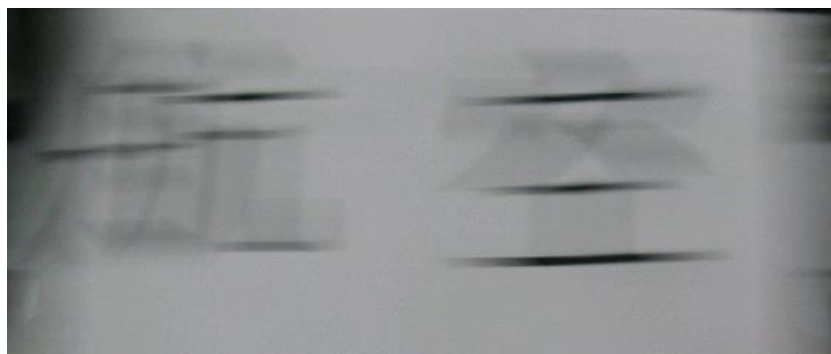


华中科技大学

HUAZHONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

## 四、经典数字图像复原技术

逆滤波法复原效果（带噪声）



逆滤波方法对含有噪声的实拍图像的恢复效果



## 四、经典数字图像复原技术

### 2. 维纳滤波法

Wiener滤波恢复是按照使原图像  $f(x, y)$  与恢复后的图像之间的均方误差  $\hat{f}(x, y)$  达到最小的准则，来实现图像恢复的。

$$e^2 = \min E \left\{ \left[ f(x, y) - \hat{f}(x, y) \right]^2 \right\}$$

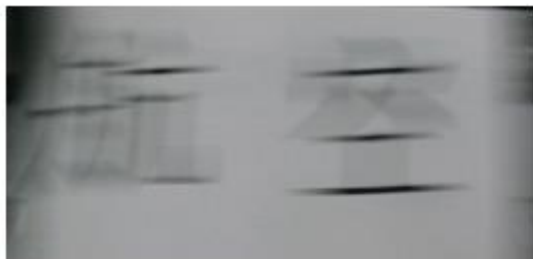
简化的维纳滤波公式：

$$\hat{F}(u, v) = \frac{1}{H(u, v)} \frac{|H(u, v)|^2}{|H(u, v)|^2 + k} G(u, v)$$

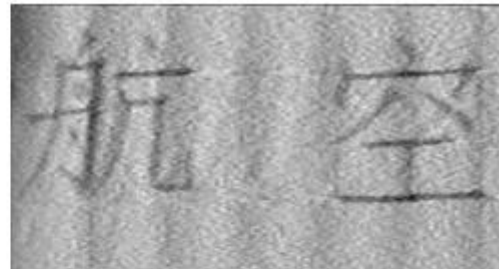


## 四、经典数字图像复原技术

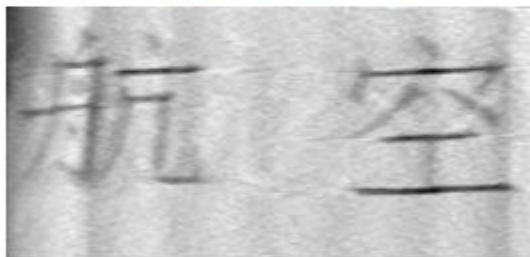
不同参数下维纳滤波方法对实际拍摄的运动模糊图像的恢复效果：



(a) 实际拍摄的运动模糊图像



(b)  $K = 0.001$



(c)  $K = 0.01$



(d)  $K = 0.1$

在K取不同参数时维纳滤波的恢复结果



## 四、经典数字图像复原技术

### 3. Richardson-Lucy方法

RL算法能够按照泊松噪声统计标准求出与给定PSF卷积后，最有可能成为输入模糊图像的图像。当PSF已知，但图像噪声信息未知时，也可以使用这种恢复方法进行有效恢复。

在符合泊松统计前提下，推导如下：

$$G(i) = \sum_j P(i|j)F(j)$$

利用下式作为RL迭代公式：

$$F_{\text{new}}(j) = F(j) \sum_i P(i|j) \frac{D(j)}{G(i)} \bigg/ \sum_i P(i|j)$$



## 四、经典数字图像复原技术

Richardson-Lucy滤波恢复结果：



(a) 模糊的Lena图像



(b) Richardson-Lucy滤波迭代70次的效果



(a) 对含有高斯噪声的图像10次迭代恢复结果



(b) 50次迭代恢复结果



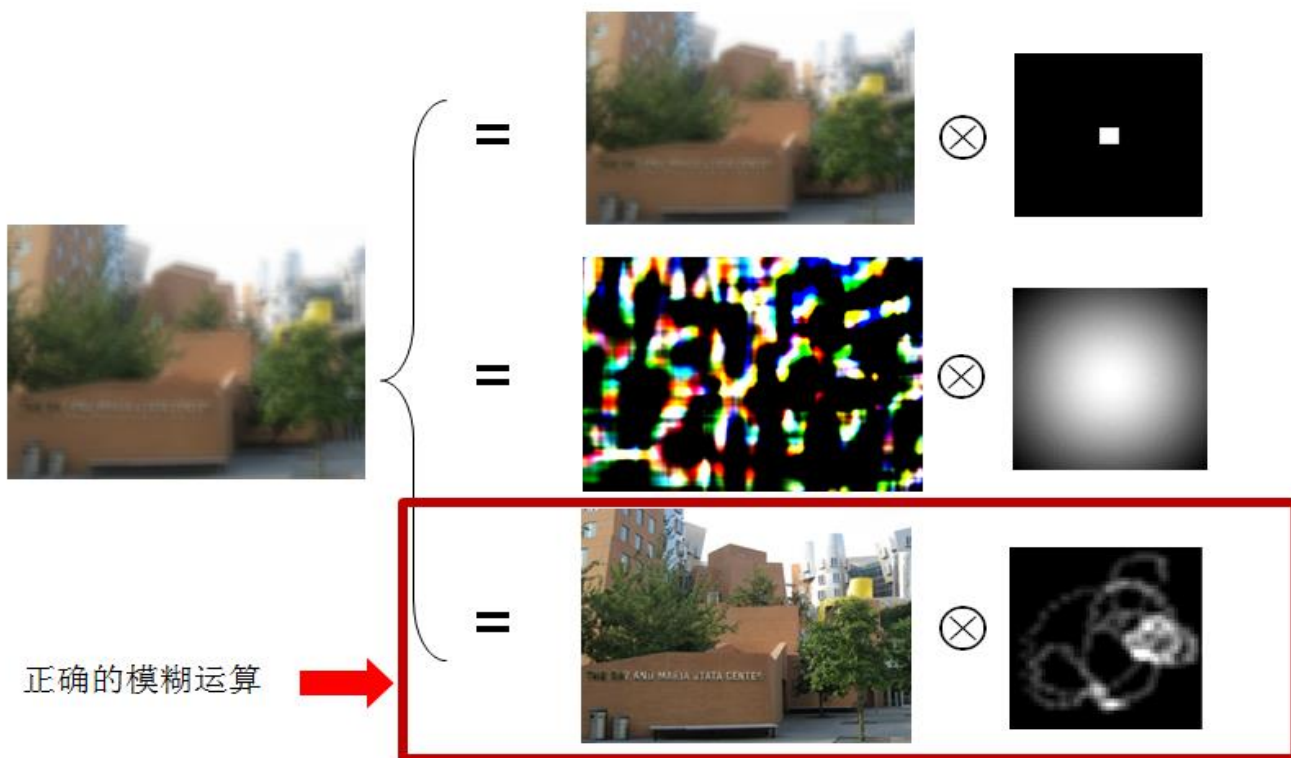
(c) 100次迭代恢复结果



## 四、经典数字图像复原技术

### 4. 正则化方法

图像复原是一个病态的问题，即解不能同时满足存在、唯一和连续，图像复原的结果受噪声的干扰很大。







## 四、经典数字图像复原技术

正则化方法通过引入一定约束将图像复原转换成良态问题，能确保图像复原结果的存在、唯一和受噪声干扰较小。

正则化方法的目标是带约束条件的优化解。

$$L(A, f) = \|g - Hf\|^2 + A\|Cf\|^2$$

$\|g - Hf\|^2$ 代表噪声能量， $C$ 为高通滤波算子， $A=A(f)$ 为正则化参数用以控制噪声能量与高通滤波图像 $Cf$ 能量的空间分布。



## 四、经典数字图像复原技术

### 5. 自适应复原方法

#### 全局正则化方法

整幅图像只采用一个正则化参数和正则化算子。

对边缘和噪声的惩罚相同，存在着平滑噪声和保持边缘的矛盾。

**自适应正则化方法**具有较好的局部特性，在模糊和噪声参数变化的情况下，自适应方法优于非自适应正则化方法，能够克服正则化方法的全局性限制。





## 四、经典数字图像复原技术

保持边缘的同时充分地平滑噪声。

- (1) 根据图像的局部特性选取局部的正则化参数和算子；
- (2) 非二次型泛函的设计及其算法；
- (3) 根据先验来设计约束。



## 四、经典数字图像复原技术

总结：

在经典复原算法当中，除逆滤波和维纳滤波复原法外，正则化和自适应在目前的复原应用中仍相当普遍。正则化主要用于解决复原病态问题，但在处理过程中会产生振铃、模糊图像边界等副作用；自适应方法则可以突破全局性限制，起到局部平滑的效果；用它们作为基本框架，配合现代复原技术来获取各种参数，将具有更好的复原效果。



# 纲要

- 一、图像复原概述
- 二、图像的模糊模型
- 三、模糊核的估计
- 四、经典数字图像复原技术
- 五、现代数字图像复原技术
- 六、复原效果较好的论文



## 五、现代数字图像复原技术

1. 神经网络法
2. 小波分析法
3. 支持向量机



# 纲要

- 一、图像复原概述
- 二、图像的模糊模型
- 三、模糊核的估计
- 四、经典数字图像复原技术
- 五、现代数字图像复原技术
- 六、复原效果较好的论文

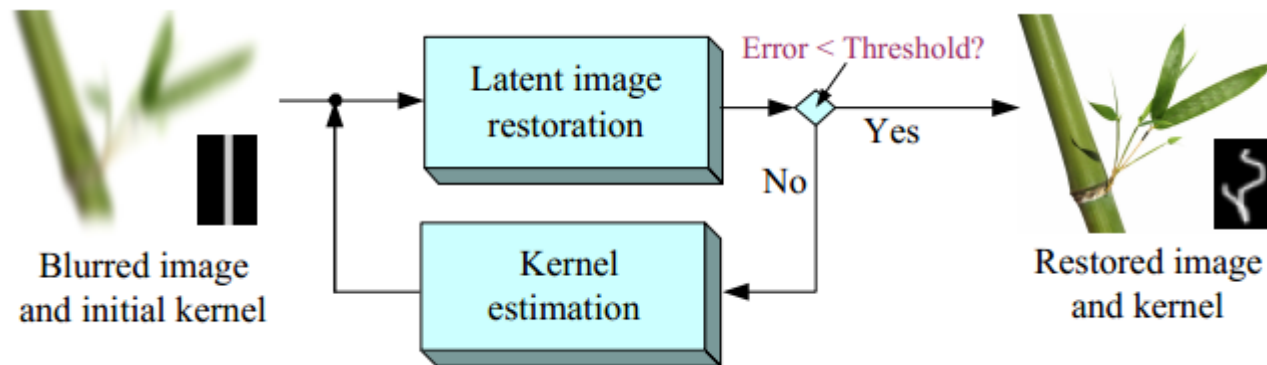


## 六、复原效果较好的论文(1)

论文: High-quality motion deblurring from a single image.

作者: Shan Q, Jia J, Agarwala A.

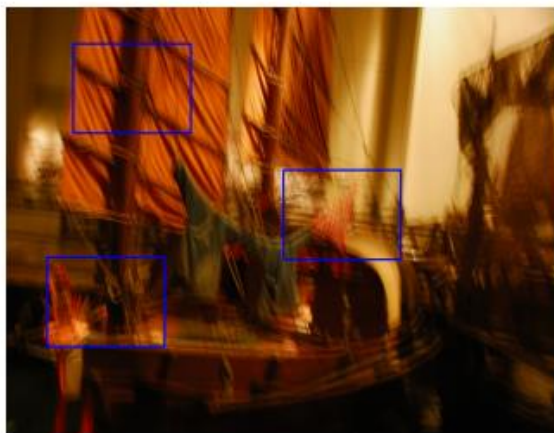
出处: ACM, 2008: 73.





## 六、复原效果较好的论文(1)

复原效果:



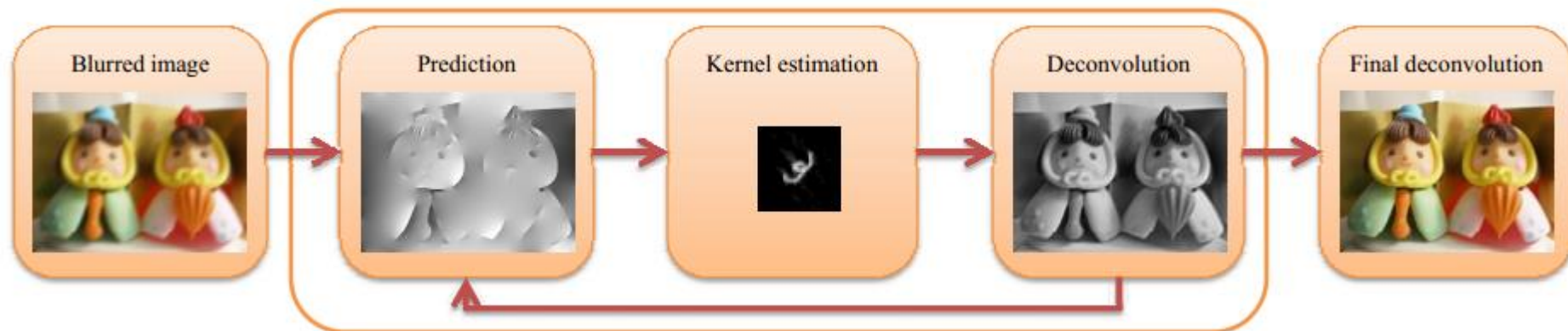


## 六、复原效果较好的论文(2)

论文: Fast Motion Deblurring.

作者: Cho S, Lee S.

出处: ACM Transactions on Graphics (TOG), 2009.







## 六、复原效果较好的论文(2)

复原效果:



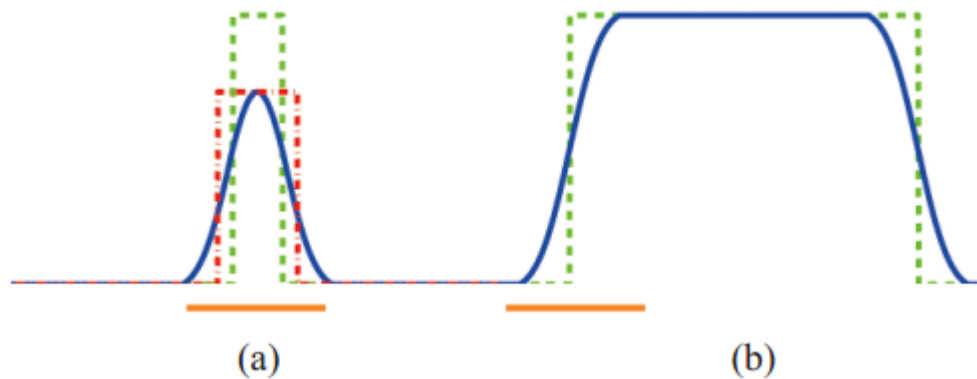


## 六、复原效果较好的论文(3)

论文: Two-phase kernel estimation for robust motion deblurring.

作者: Xu L, Jia J.

出处: Computer Vision—ECCV 2010, 2010: 157-170.



如果object的尺寸小于kernel的尺寸，边缘信息反而会影响kernel的估计



## 六、复原效果较好的论文(3)



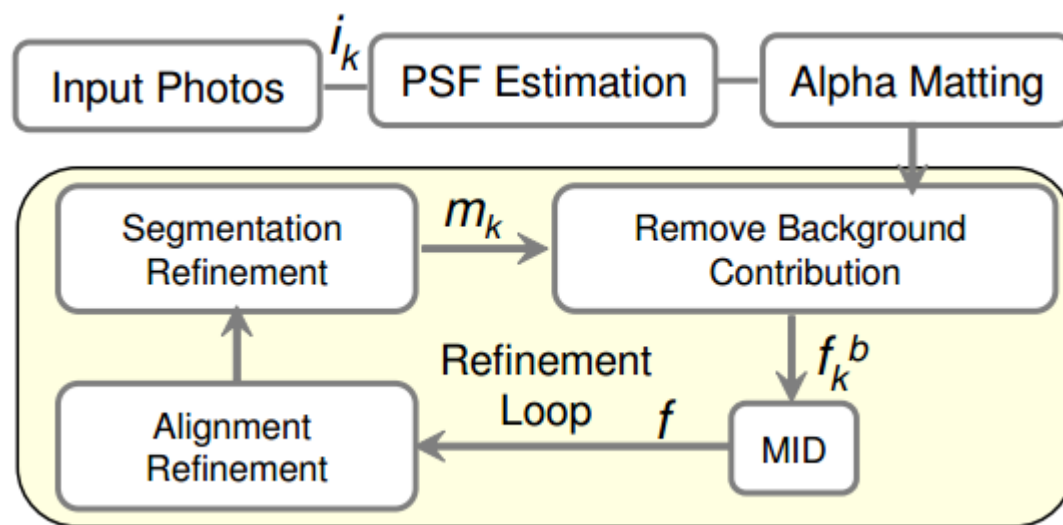


## 六、复原效果较好的论文(4)

论文: Invertible motion blur in video.

作者: Agrawal A, Xu Y, Raskar R.

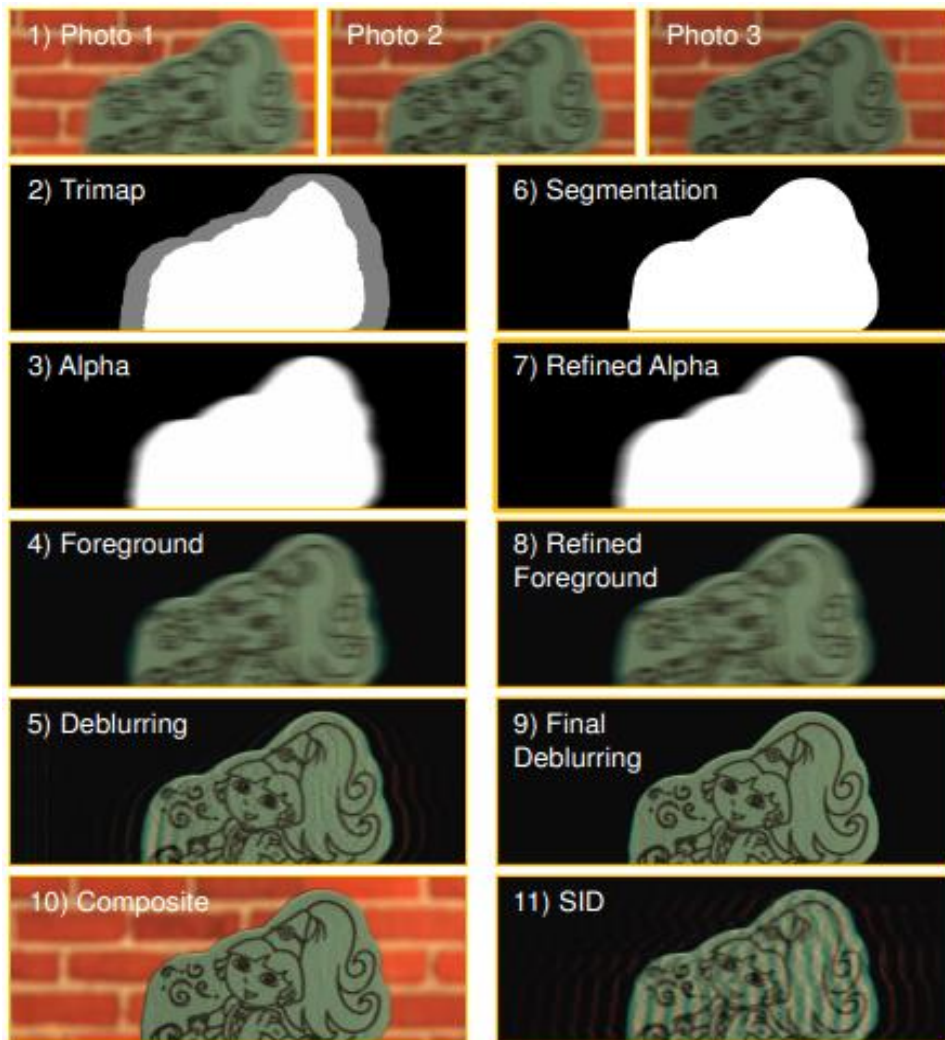
出处: ACM, 2009: 95.





## 六、复原效果较好的论文(4)

复原流程

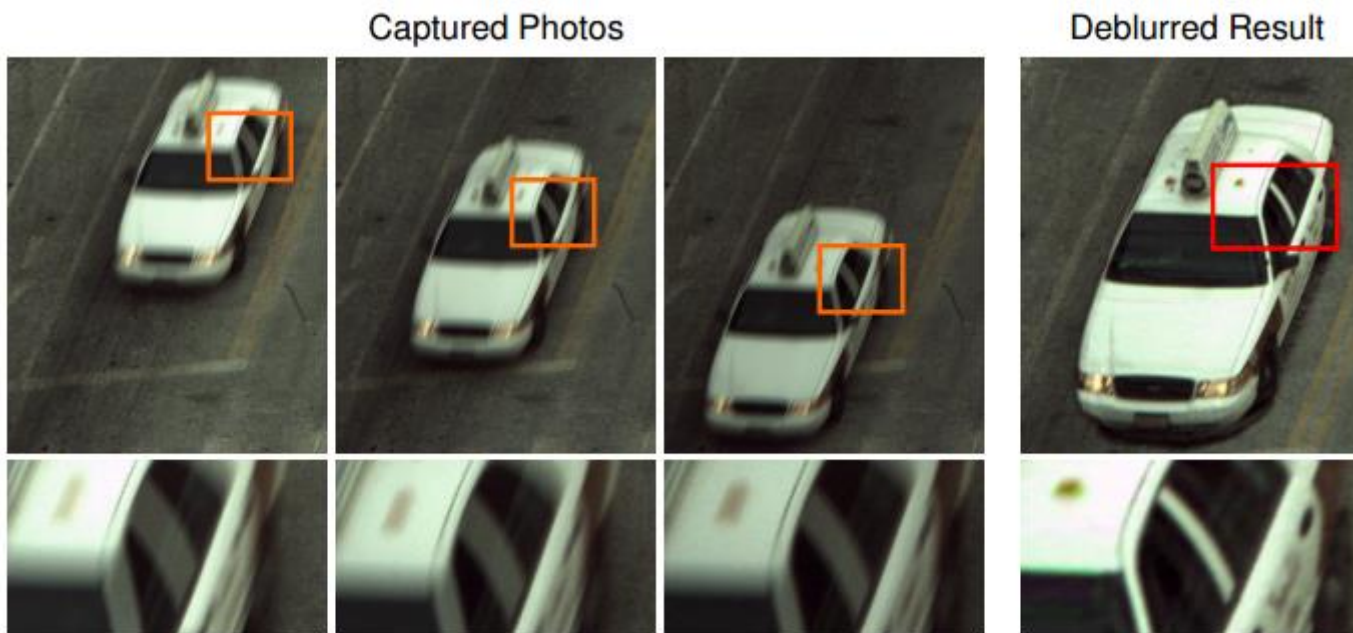






## 六、复原效果较好的论文(4)

复原效果:





华中科技大学

HUAZHONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

谢谢大家！