

插值在图像及视频处理中的应用

赵虹

清华大学自动化系

1

主要内容

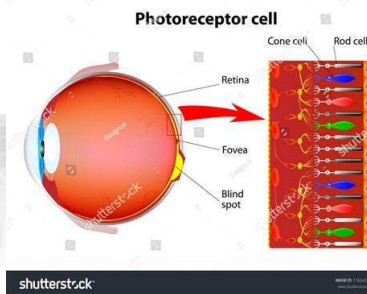
- 图像、数字图像与视频
- 图像缩放/图像插值
- 超分辨率图像重建简介
- 超分辨率问题中的非均匀图像插值方法
- 其它基于插值的图像、视频处理

图像

- 什么是图像？
 - 从数学上说，图像是一个二元函数： $f(x, y)$
 - (x, y) — 图像上点的位置
 - $f(x, y)$ — (x, y) 位置上图像的光强/颜色信息



© www.scratchapixel.com
<https://www.scratchapixel.com/images/upload/perspective-matrix/raystoeye.png?>



光

- 光是电磁波：
 - 波长 350nm~780nm 部分为可见光

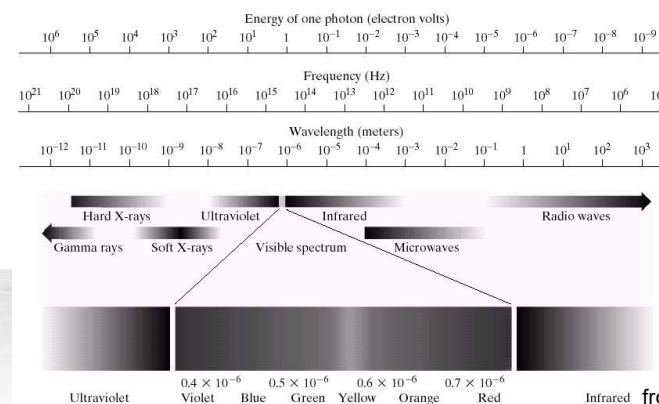


FIGURE 2.10 The electromagnetic spectrum. The visible spectrum is shown zoomed to facilitate explanation, but note that the visible spectrum is a rather narrow portion of the EM spectrum.

颜色

• 颜色由光的频谱决定

- “spectral color”: 频谱非常窄的光
- 大部分光源产生的光，其光谱覆盖较大范围
- 白光: 频谱中可见光波段部分能量均一

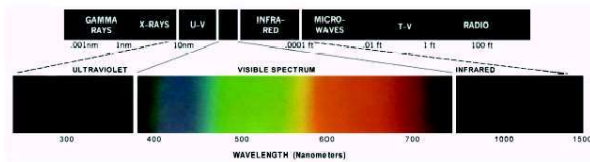


FIGURE 6.2 Wavelengths comprising the visible range of the electromagnetic spectrum. (Courtesy of the General Electric Co., Lamp Business Division.)

from [Gonzalez]

5

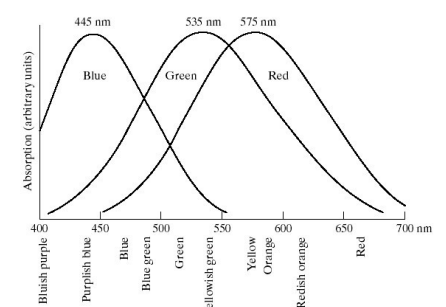
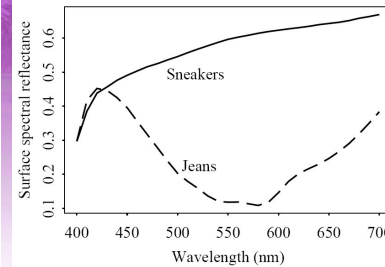
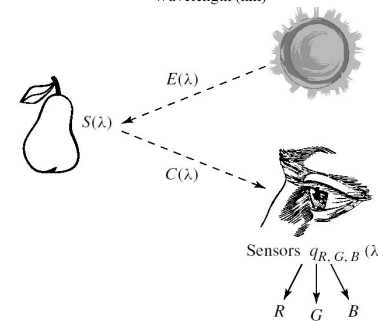


FIGURE 6.3 Absorption of light by the red, green, and blue cones in the human eye as a function of wavelength.



Identically perceived colors if the $[R, G, B]$ values of two lights are the same.

$$R = \int E(\lambda) S(\lambda) q_R(\lambda) d\lambda$$

$$G = \int E(\lambda) S(\lambda) q_G(\lambda) d\lambda$$

$$B = \int E(\lambda) S(\lambda) q_B(\lambda) d\lambda$$

Example: Seeing Yellow Without Yellow

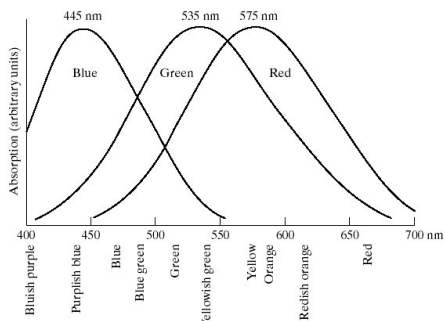
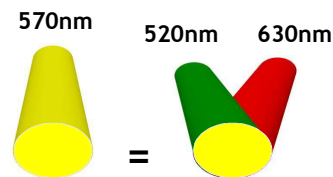


FIGURE 6.3 Absorption of light by the red, green, and blue cones in the human eye as a function of wavelength.



mix green and red light to obtain perception of yellow, without shining a single yellow photon

"Seeing Yellow" figure is from B.Liu ELE330 S'01 lecture notes @ Princeton;
R/G/B cone response is from slides at Gonzalez/ Woods DIP book website



red



Green



Blue

from Y. Wang EL612 Polytech

图像

什么是图像？

- 灰度图像：二元数值函数 $f(x,y)$ — 灰度的深浅
- 彩色图像：二元向量函数

$$f(x,y) = \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad f(x,y) = \begin{bmatrix} Y \\ C_b \\ C_r \end{bmatrix}$$

- 每个基本颜色/(luma/chroma)：通道
- 每个通道的强度用向量函数的对应分量表示

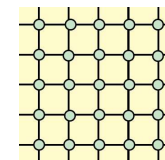
一般研究主要处理的为灰度图像，彩色图像原理类似

数字图像

什么是数字图像？

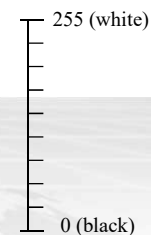
我们最常接触的一类图像

- 数字图像：图像文件，数码相机.....
- 模拟图像：原始相机胶片

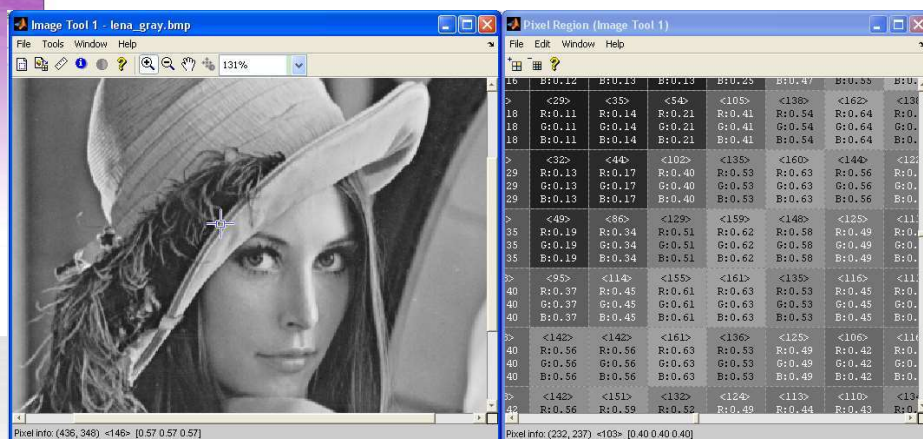


对f, x, y分别进行离散化/数字化

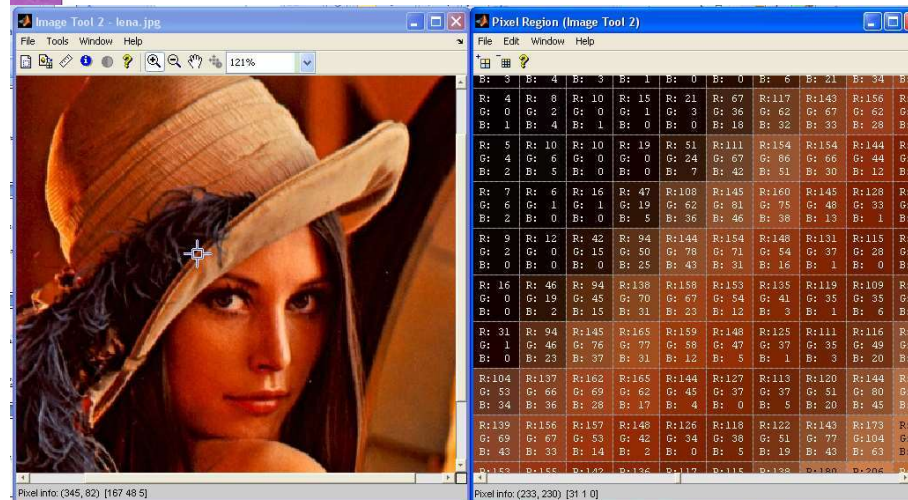
- (x,y) 离散化：平面格点像素 $W \times H$
- f 离散化：灰度级的离散化
- ✓ 一般为0~255的整数：灰度
- $I(m,n)$



灰度数字图像的例子

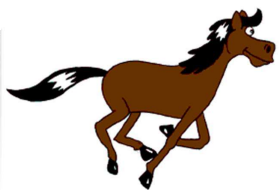


彩色数字图像的例子



视频

- 什么是视频?
 - 视频是一组图像序列
 - 从数学上说，视频是一个三元函数： $f(x,y,t)$
 - 简单的处理方法是逐帧处理，好处是容易应用图像处理的方法



12 fps
<https://en.wikipedia.org/wiki/File:Animhorse.gif>

主要内容

- 图像、数字图像与视频
- **图像缩放/图像插值**
- 超分辨率图像重建简介
- 超分辨率问题中的非均匀图像插值方法
- 其它基于插值的图像、视频处理

图像缩放

- 图像缩放的应用
 - 满足存储大小的要求
 - 满足视觉清晰程度的要求
 -



- 图像缩放的目的

- 对数字图像的大小进行变换
- 保证图像的内容不变
- 矩阵变换/函数变换： $W_1 * H_1 \Rightarrow W_2 * H_2$

图像放缩与插值

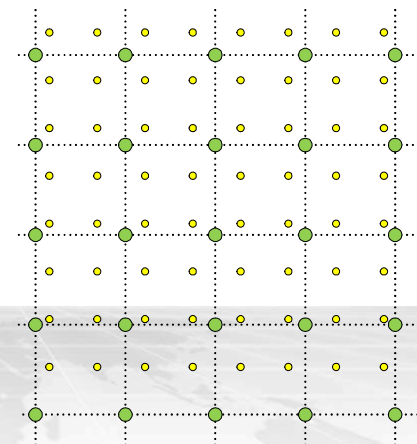
- 图像插值的具体实现

- 绿点

- 已知数值的格点
- 原图像

- 黄点

- 待求数值的格点
- 目标图像



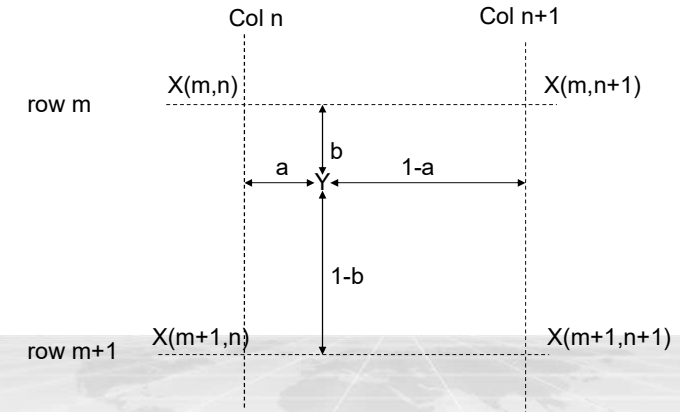
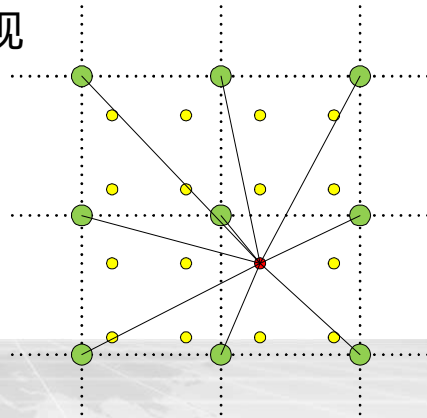
图像放缩与插值

• 图像插值的具体实现

- 逐个求取待求取点
- 扩展一元插值方法

- 二元插值函数
 - ✓ 阶跃
 - ✓ 线性

➤ 问题：每一种插值方法对应 $f(x,y)$ 的函数形式？

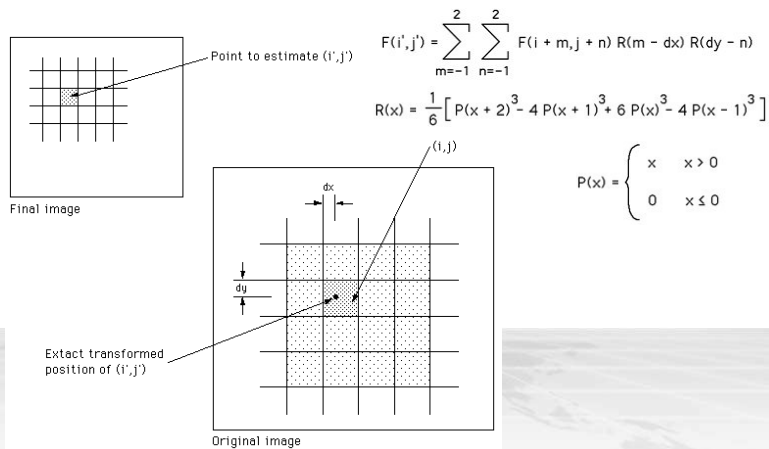


Q: what is the interpolated value at Y?

Ans.: $(1-a)(1-b)X(m,n) + (1-a)bX(m+1,n) + a(1-b)X(m,n+1) + abX(m+1,n+1)$

from X Li EE465 WVU

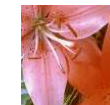
25



from X Li EE465 WVU

26

Bilinear Interpolation



low-resolution
image (100×100)



high-resolution
image (400×400)

from X Li EE465 WVU

28

Bicubic Interpolation



low-resolution
image (100×100)



high-resolution
image (400×400)

from X Li EE465 WVU

29

Edge-Directed Interpolation



low-resolution
image (100×100)



high-resolution
image (400×400)

from X Li EE465 WVU

30

主要内容

- 图像与数字图像
- 图像缩放/图像插值
- **超分辨率图像重建简介**
- 超分辨率问题中的非均匀图像插值方法
- 其它基于插值的图像、视频处理

超分辨率图像重建

- 什么是分辨率(resolution)
 - 每单位长度上图像的有效像素点个数
 - 单位: dpi(dots per inch)与ppi(pixel per inch)
 - 评价**获取**图像质量, 图像清晰程度的重要指标
- 图像放大的过程是否提高了图像分辨率?
 - ✓ 在以上的“分辨率”概念中, 没有提高

超分辨率图像重建

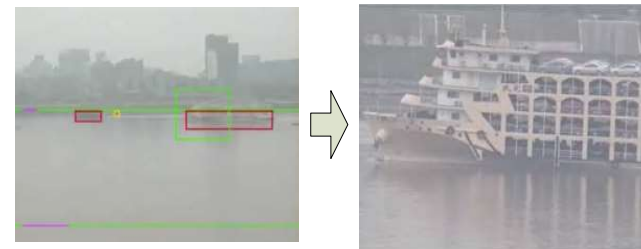
• 任务背景

- 对高分辨率 (HR) 图像的需求
 - ✓ 良好的视觉效果
 - ✓ 提供了图像处理过程中所必须的细节信息
- 通常提高图像分辨率的方法
 - ✓ 硬件方式: 提高感光设备密度
 - ✓ 有效像素数, CCD大小.....
- 存在问题
 - ✓ 成本相对过高
 - ✓ 视频采集分辨率目前较低, 无法满足大众的需求
 - ✓ 无法用于改造已有的低分辨率图像

超分辨率图像重建

• 应用举例

➢ 监控

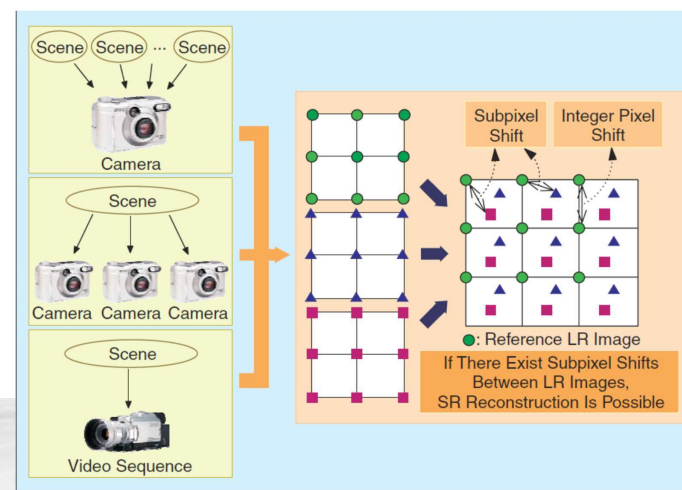


- 视频打印业务
- 刑侦分析
- 医学图像计算
- 卫星成像

超分辨率图像重建

• 超分辨率图像重建 (Super-resolution Image Reconstruction, 简称SR)

- 通过软件方法, 将已有的低分辨率(LR)图像 (或视频), 转换成一张高分辨率(HR)的清晰图像或一段高分辨率视频
- 典型输入: 架设摄像头或手持DV摄像机拍摄的低分辨率视频 (Y_1, Y_2, \dots, Y_n)
- 典型输出: 一张高分辨率(HR)图像 (X), 一般是取其中一幅 Y_i 为参考帧, 对其进行增强
- 原理: 利用多帧图像中冗余的图像信息



▲ 1. Basic premise for super resolution.

超分辨率图像重建

- 超分辨率图像重建的主要方法

- 直解求解方法
 - ✓ 非均匀图像插值方法
- 频率域方法
- 迭代优化方法
- 概率模型方法
- 机器学习方法
- 其他方法.....

主要内容

- 图像与数字图像
- 图像缩放/图像插值
- 超分辨率图像重建简介
- 超分辨率问题中的非均匀图像插值方法
- 其它基于插值的图像、视频处理

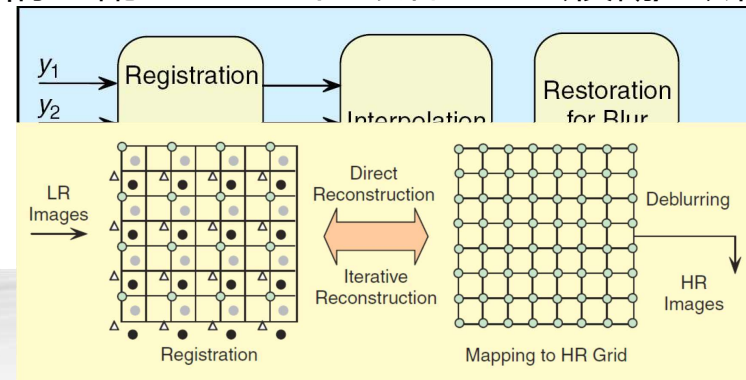
超分辨率中的非均匀图像插值方法

- Non-uniform Interpolation (NUI)

- 一种直接求解的方法
- 速度快，方法简单易于理解
- 方法的思想比较重要

非均匀图像插值方法

- 图像匹配->非均匀图像插值->去模糊/去噪

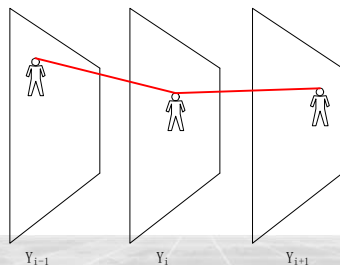


▲ 7. Registration-interpolation-based reconstruction.
Park et. al., IEEE SPM, May 2003, P21-36 [2]

非均匀图像插值方法

1. 图像匹配

- 建立不同LR图像帧之间内容的对应关系



- 数学表达: $Y_i(m,n) \longleftrightarrow f(x,y)$
- 图像处理领域的经典问题, 已有成型的算法



Su et. al., IEEE TIP, 21(4), 2012, P1782-1795 [5]

42

非均匀图像插值方法

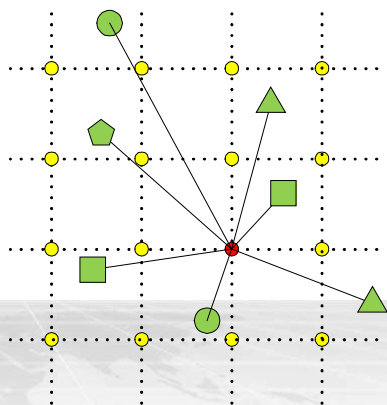
2. 非均匀图像插值

➢ 绿点

- 已知数值的格点
- 原始各帧图像
- 非均匀!

➢ 黄点

- 待求数值的格点
- 目标图像

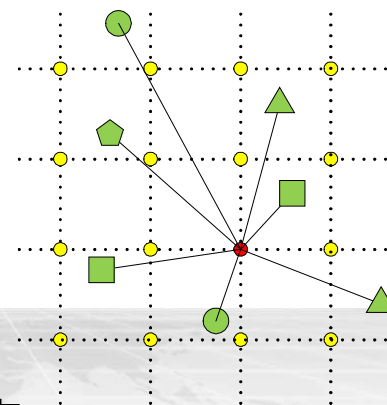


非均匀图像插值方法

2. 非均匀图像插值

➢ 可能采用的插值方法

- 最近邻 (阶跃)
- 三角剖分+双线性插值 (bilinear)



• 思考: 上述方法的缺点

非均匀图像插值方法

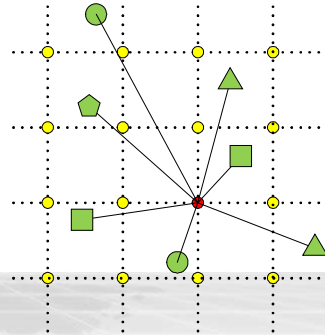
- 具体作法

- 类似于均匀图像插值：周围已知点灰度值的加权平均

$$X(m, n) = \frac{\sum_{i=0}^k W(\Delta m_i, \Delta n_i) G_i(m + \Delta m_i, n + \Delta n_i)}{\sum_{i=0}^k W(\Delta m_i, \Delta n_i)}$$

➢ (假设：W只与相对位置有关)

- 选择哪些周围已知点？
- 采用什么样的加权函数W？



非均匀图像插值方法

- 选择哪些周围已知点？

- 方式1

- 选择距离最近的k个已知点

- 方式2

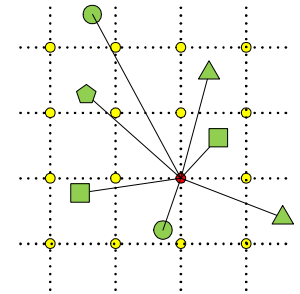
- 选择半径范围r内的所有已知点

- 如何选择权重函数W(x,y)？

- 方式1：类似均匀图像插值，自己定义

- 距离反比，阶跃，.....

- 方式2：下一页



非均匀图像插值方法

- 方式2(cont.) ([2006,Gilman,4])

- 思想：

- W(x,y)与图像内容无关->与具体采用哪幅图像无关

- 作法：

- 先假设W(x,y)具有一定形式，例如

$$W(x, y) = ax^2 + bxy + cy^2 + dx + ey + f$$

- 在进行插值之前，人工通过已知的HR图像合成几幅LR图像->可以评价插值方法的好坏

- 用优化的方法求取最优的(a,b,c,d,e,f)参数

- 思考：可否借鉴其思路，设计其他形式的算法

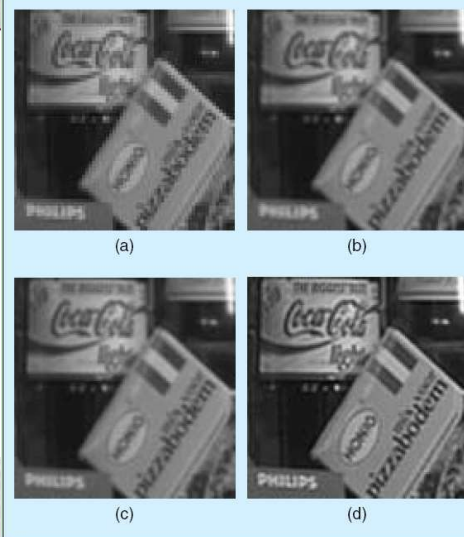
非均匀图像插值方法

- 3.去模糊与去噪

- 图像处理领域的成熟问题，已有成型算法

- 反卷积，线性滤波.....

实验结果



Park et. al., IEEE SPM, May 2003, P21-36 [2]

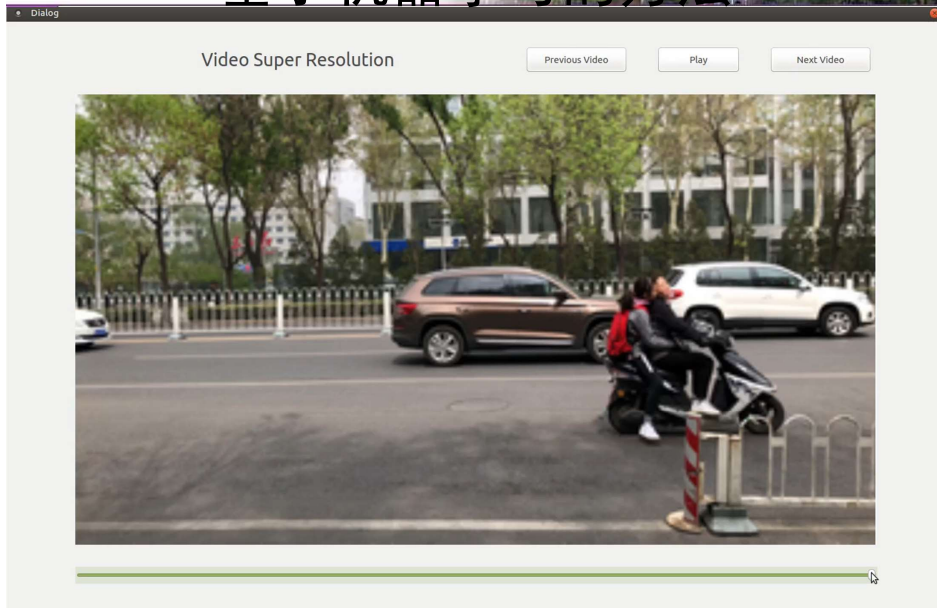
▲ 8. Nonuniform interpolation SR reconstruction results by (a) nearest neighbor interpolation, (b) bilinear interpolation, (c) nonuniform interpolation using four LR images, and (d) deblurring part (c).

基于数据稀疏表示的方法



<https://www.bilibili.com/video/av66502573/> <https://ieeexplore.ieee.org/document/7744595>

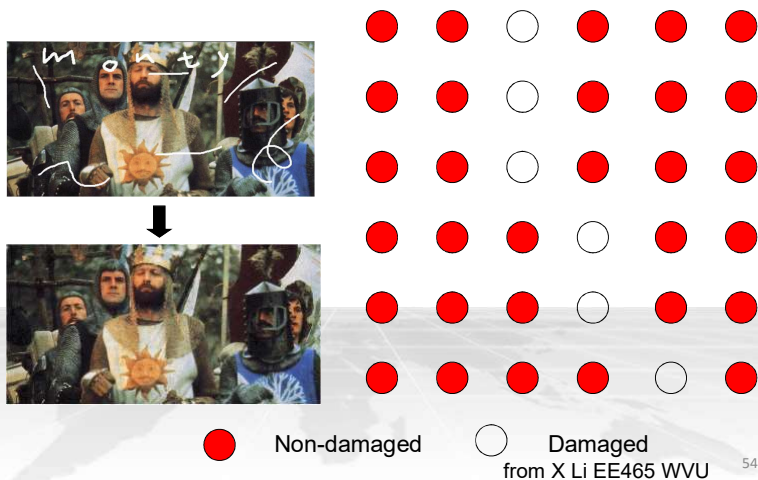
基于机器学习的方法



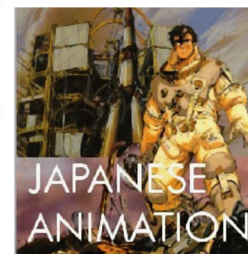
主要内容

- 图像与数字图像
- 图像缩放/图像插值
- 超分辨率图像重建简介
- 超分辨率问题中的非均匀图像插值方法
- 其它基于插值的图像、视频处理

照片修复



54

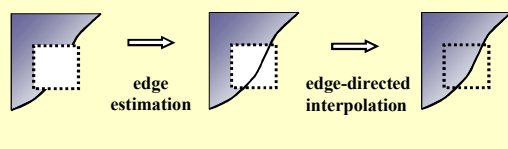


from X Li EE465 WVU

55



(a) original lenna image



(b) corrupted lenna image

(c) concealed lenna image



25% blocks in a checkerboard pattern are corrupted



corrupted blocks are concealed via edge-directed interpolation



from M Wu
ENEE631 UMD

参考文献

1. 冈萨雷斯等著, 数字图像处理第2版, 电子工业出版社, 2007年8月
2. Park S.C. etc., Super-resolution image reconstruction: a technical overview, *IEEE Signal Processing Magazine*, 2003, 21-36
3. 苏衡, 周杰, 张志浩, 超分辨率图像重建方法综述, 《自动化学报》, Vol. 39 (8): 1202-1213, 2013
4. A Gilman, DG Bailey, Near optimal non-uniform interpolation for image super-resolution from multiple images, *Image and Vision Computing New Zealand*, Great Barrier Island, 2006
5. Heng Su, Ying Wu, and Jie Zhou. Super-resolution without Dense Flow. *IEEE Trans. On Image Processing*, Vol.21(4), pp.1782-1795, 2012
6. Heng Su, Liang Tang, Ying Wu, Daniel Tretter, and Jie Zhou. Spatially Adaptive Block-based Super-resolution. *IEEE Trans. On Image Processing*, Vol.21(3), pp.1031-1045, 2012