

摘要

在信息时代，视频图像已成为越来越重要的信息载体，高质量视频图像的需求也随之越来越大。但是在图像的采集、传输等过程中，硬件设备的性能局限、外界环境的信号干扰等因素会造成图像信号失真、图像视觉质量下降。因此在已有的降质图像基础上恢复出尽可能逼近高质量原始图像的复原技术有着重要的应用价值。

图像复原的核心是图像信号的统计建模，即利用图像在适当的表示空间中的统计规律，由已知的观测图像估计和推断未知的原始图像。传统图像建模方法一般从全局的角度考虑图像内容在统计上的共性特征，例如在特定表示空间中的稀疏性，来对未知图像的解空间进行约束。但是现实世界中图像内容具有无限多种可能的模式，用预先设定或训练的固定模型可能难以准确刻画所有的图像内容。本文提出图像内容自适应的稀疏建模方法，使得学习到的模型能更准确地匹配当前图像数据，其主要创新点总结如下：

- **梯度域自适应建模：**在图像复原等问题中广泛应用的全变差模型是对梯度数据的稀疏性约束，它假设所有像素位置上的梯度都服从零均值拉普拉斯分布，以反映图像梯度数据的全局统计特性；而实际上图像信号的统计特性是不平稳的，对于含有强边界或纹理等重要视觉信息的图像内容，梯度的零均值假设很不准确。因此本文提出对每个像素位置上的梯度分别自适应地进行稀疏性建模，以反映自然图像信号的非平稳特性。为了估计某一特定像素位置上的梯度统计值，本文利用图像结构往往存在相同或相仿的重复这一自相似性，将一组与当前像素所在图像块相似的图像内容作为数据样本的来源。这些相似图像内容的梯度数据被用作待学习梯度分布的样本，而差异大的图像内容被排除在外，以得到更为准确的梯度估计，从而达到更好的图像重建结果。
- **子带自适应稀疏建模：**本文提出一种新的变换域信号自适应的建模方法，通过对每个图像块在变换域进行子带自适应的分布建模来提升图像重建质量。该方法采用依赖于局部图像内容的自适应模型（而非对所有图像块应用相同的全局模型）来刻画图像信号的非平稳特性以及不同子带间的统计差异性，对不同图像块、不同子带分别进行自适应估计。为了估计某一特定图像块中各子带系数的统计特性，我们利用图像非局部自相似性收集一组高度相关的图像块来形成分布；不相关的图像块被排除在外，以使得自适应学习的模型比全局模型更为准确。基于对相似块组变换系数分布的拉普拉斯近似，图像的重建最终转化为子带自适应的软阈值运算。

- **块内块间联合低秩建模：**内容自适应的图像建模利用图像内容之间的相关性来降低未知信号的不确定性并对其进行估计。本文提出一种联合利用图像块内与块间相关性的低秩建模方法，以便更充分地减小信号的不确定性，从而提高图像估计的准确度。该方法从对于非局部高度相关图像内容的低秩约束演化而来。由于追求秩最小化的优化问题难解，传统方法一般用核范数等凸近似来代替秩惩罚项。考虑到非凸代理项可以更好地逼近秩惩罚项，本文用非凸平滑的对数行列式代理项替换秩惩罚项。两个对数行列式项分别反映图像块内和块间相关性：一方面将相似块作为数据样本估计块内数据的协方差特性，另一方面将相似块相同位置的像素构成的向量作为样本估计块间协方差特性。

总之，本文专注于图像内容自适应的稀疏建模，在图像重建中达到了比同类方法更好的性能，在图像去噪等应用问题中的取得了具有竞争力的效果。

关键词：图像复原，内容自适应的图像建模，稀疏，低秩