

# 基于压缩感知的图像视频编解码技术研究

## 摘要:

随着多媒体和互联网技术的迅速发展，人们对数字图像视频信息（如数码图片、流媒体视频、监控视频）的需求越来越高。而数码相机的广泛应用，又衍生出高分辨率、低功耗、低成本图片和视频的需求。传统的图像视频采集方式，通常是通过获得超过有效维度的高密度观测样本。这种过度采样方式，不仅对硬件设备要求高，要求高密度的传感器；而且为了满足后续存储和传输的需求，采集得到的大量观测样本需要经过复杂的编码过程。压缩感知理论的提出，为新型低复杂度编码器的设计提供了可能性。它指出，如果一个信号在某个变换域下是稀疏的，那么仅需极少量的观测值，就可以通过优化方法高质量地恢复出原始信号。这样，基于压缩感知理论进行图像视频的采集，从而大幅度降低了为了精确重建原始信号所需要的观测值数目，在信号采集阶段就隐含着降低了信号维度，从而大大简化了后续的压缩编码过程。压缩感知理论，改变了图像视频的采集、编码和重建方式，在低功耗编码器（如分布式视频）、低成本采集设备（如高速摄像机）等应用方面具有明显优势。

本文基于压缩感知理论，针对图像和视频的编解码技术进行研究，设计出高效的编码和重建算法；并将其与传统的图像视频编解码方案相结合，在保证标准兼容的基础上，利用压缩感知技术提高编码效率。本文的创新点包括以下四个方面：

### 1. 基于条带差分预测的压缩感知图像编码算法

在图像压缩感知系统的编码端，图像信号的采集方式，以及如何有效地对采集到的观测值进行压缩，是影响整个系统性能的关键性因素。本文提出了一种基于条带差分预测编码的压缩感知图像编码方法。将一幅图像划分为由多行像素点组成的条带，以条带为单位进行采样和编码。与图像块的划分方式相比，具有同样像素点个数的条带更扁平，从而相邻条带之间更为接近，它们的观测值也就具有更高的相关性。实验还表明，在同样的重建算法下，条带划分相比于块划分能够在保证同等重建质量的前提下，产生更小的码率。将这种条带划分方式与差分预测编码框架相结合，设计出一种条带观测值之间的预测机制。由此计算得到的观测值的残差相比原始观测值具有更低的能量，从而达到更高的压缩效率。压缩

残差观测值，它们经过标量量化和熵编码得到更进一步的压缩。实验表明，这种图像编码方法能够提高系统的率失真性能，并在同等码率下，得到更高主观质量的重建图像。

## 2. 基于非凸低秩模型的压缩感知图像重建

图像先验模型的设计，对于压缩感知的图像重建质量至关重要。本文利用图像的低秩特性，设计出一个非凸的 $L_p$ 核范数模型，它能够准确地表示出图像的结构稀疏性和非局部自相关性。利用图像的非局部自相关性，将结构纹理相似的图像块聚成一个个图像块组；每一个图像块组内，将单个图像块排成一列，这样，由于各个图像块列向量之间非常相近，整个图像块组构成一个低秩的矩阵。将这一特性进行形式化的描述，准确的表达应该是矩阵的奇异值非零个数最少，即奇异值的 $L_0$ 范数最小。但 $L_0$ 范数的不稳定性和解的不唯一性，使其无法直接求解。本文提出图像块组奇异值的 $L_p$ 范数模型，结合交换方向乘子算法框架，通过重加权的方式迭代地进行求解。实验结果表明，这个模型无论在客观质量还是主观质量上，都有很好的重建性能。

## 3. 基于重加权残差稀疏性的压缩感知视频重建

将视频信号从压缩感知的观测值中重建出来，需要有效地利用视频帧与帧之间的相关性，建立稀疏性模型进行优化求解。视频的临近帧之间存在大量的信息冗余，同时，同一物体在不同的视频帧会由于运动而不在同一位置。为了有效地利用帧与帧之间的相关性，在信号采集时将视频帧划分为关键帧和非关键帧，关键帧具有较高的采样率，而非关键帧具有较低的采样率。这样，在解码重建时，先将每一帧视作独立的图像进行重建，重建得到的关键帧具有更高质量，可以为非关键帧的进一步提升提供参考。对非关键帧上的每一个块，在关键帧中查找其多假设的预测块，从而与这些预测块的残差值在变换域中表现出稀疏性。为了区分每个变换系数的不同稀疏程度，对每个系数都根据多假设的预测赋予不同的权值，这个权值进行迭代地更新。得到的优化模型表达成 $L_1$ 范数最小化的问题，基于分裂Bregman迭代框架，划分成两个更简单的子问题进行求解。实验表明，该算法相比于其它压缩感知视频重建算法，能得到更高质量的重建视频序列。

## 4. 压缩感知在传统编解码中的应用

在不改变传统编解码标准的基础上，压缩感知技术同样可以发挥它的优势。利用压缩感知的方式进行图像信号的采集，得到比传统方式直接采样更低分辨率的图像，然后将这个低分辨率图像输入到传统编码器中进行压缩。在解码端，利用传统编解码器进行解码，得到重构的小图像。利用压缩感知的重建方法，将小图像恢复成具有原始分辨率的大图像。本文设计了基于小波变换的压缩感知采样矩阵，使得编码端采集得到的观测值保留了原始的图像结构，从而能够与传统的编码器相兼容。在解码端，设计基于局部和非局部图像特性的联合稀疏模型进行

重建。图像的局部平滑性,表现在它在一个较小的范围内,像素点的值非常接近,相邻像素点之间的波动非常小,这一特性可以表达成全变分模型。图像的非局部相关性,指整个图像范围内,不同的图像块之间可能存在纹理、结构方面的相似性,将相似的图像块组合到一起形成一个三维的立方体,这个立方体在经过三维的变换表现出稀疏性。这种方法,大大减少了编码端传统编码器需要压缩的信息量,从而减小了编码端的复杂度;而且,在低码率下,它表现出比单纯用传统方式更高的编码性能。

综上所述,本文基于压缩感知理论和框架,分别提出了图像的编码、图像的重建和视频的重建方法,并将其与传统编解码方案结合应用,为设计低编码复杂度、高重建质量的编解码方案以及提高编码效率提供了进一步的理论指导和实践证明。