

An improved PSNR algorithm based on the field of IQA

Fei Ma Ran Huang Kai Zhu Bohua Zhao

Guangdong Hengqin Digital Optical Semiconductor Technology Co., Ltd, Hengqin, Guangzhou, 519000, China

Abstract

The high-resolution, high-frame-rate (8K/120Hz) video transmission faces bandwidth bottlenecks, making streaming video compression technology a critical solution. To evaluate video distortion caused by compression, Image Quality Assessment (IQA) algorithms can provide objective reference metrics. In the IQA field, the Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR) algorithm, widely adopted for its computational simplicity, has issues with overestimating human visual distortion detection outputs, leaving room for optimization. This paper proposes an improved solution based on the original PSNR algorithm: introducing a bias calculation factor, setting an anomaly counter and threshold, iteratively adjusting through all pixels and outputting results. Four image datasets tests show that when visible visual distortion exists, the improved algorithm reduces output values by 19.99% compared to PSNR; when no obvious distortion is present, the difference between its output and original PSNR is minimal at 0.46%, effectively enhancing IQA accuracy.

Keywords

Video Compression; Video distortion; IQA; PSNR Algorithms

一种基于图像质量评估的峰值信噪比改进算法

马飞 黄冉 朱楷 赵博华

广东省横琴数字光芯半导体科技有限公司, 中国·广东 横琴 519000

摘要

8K/120Hz 高分辨率、高帧率视频传输面临带宽瓶颈, 流媒体视频压缩技术成为关键解决方案。为评估压缩带来的视频失真, 图像质量评估 (IQA) 算法可提供客观参考指标。在 IQA 领域, 峰值信噪比 (PSNR) 算法因计算简洁被广泛应用, 但存在人眼视觉失真检测输出值偏高的问题, 仍有优化空间。本文基于原始 PSNR 算法提出改进方案: 引入偏置计算因子, 设置异常计数器与阈值, 遍历全部像素后迭代调整并输出结果。四类图像集测试表明, 图像存在明显视觉失真时, 改进算法输出值降幅达 19.99%; 无明显失真时, 其输出与原始 PSNR 差值最小仅 0.46%, 有效提升了 IQA 的准确性。

关键词

视频压缩; 视觉失真; 图像质量评估; 峰值信噪比算法

1 引言

8K 超高清视频 (7680x4320@120hz, 30bit/pixel) 需要 120Gbps 的带宽, 目前有效的解决方案是采用流媒体视频压缩技术。面对各种有损压缩技术造成的视频失真, 需要进行质量评估, 图像质量评估算法 (Image Quality Assessment, IQA) 可提供客观的参考指标^[1]。作为经典的 IQA 算法, PSNR 算法凭借其简洁性而被广泛应用于图像处理等领域^[2], 但由于计算过程仅基于像素间的数值差异, 并没有很好地反

映出人类视觉系统的特性。PSNR 算法忽略了人类视觉对图像频率、亮度等因素的敏感度差异, 对图像中的视觉失真检测效果并不好, 这意味即便图像中存在明显的视觉失真, PSNR 的输出值可能仍然较高。

本文是 8K 超高清 LCoS 显示芯片与系统开发项目的一部分, 8K 视频压缩效率与效果是核心问题之一。鉴于算法模块未来会转变为芯片内部电路, 因此开发高效、可靠、轻量化的算法, 减少电路复杂度与芯片面积, 对整体项目具有更高实用价值。项目前期已提出了一种显示流压缩 (Display Stream Compression, DSC) DSC 编码器的并行预测方法^[3], 新的 MMAP 算法设计了并行预测电路, 实现了对组内的三个像素并行计算, 提高了压缩效率。本文则利用改进 PSNR 算法进行图像质量评估, 对压缩效果进行客观验证, 同时达到较少计算代价的目标。

【基金项目】本研究为国家重点研发计划支持项目“面向激光显示的超高分辨率 LCoS 空间光调制器关键技术研究”(项目编号: 2021YFB3600300)。

【作者简介】马飞 (1987-), 男, 中国山西原平人, 工程师, 硕士, 从事视频高速接口与压缩算法研究。

2 PSNR 改进算法原理与过程

视觉下的图像失真通常意味着：相较于原始像素，某个区域内的像素大部分都存在比较大的偏差，这使得在视觉观感下图像中存在明显的失真区域。改进的 PSNR 算法充分考虑到这种情况对评估结果的影响，采用一个偏置量对其进行量化，该偏置量与原始的 PSNR 计算值相结合，得到改进 PSNR 算法的运算结果。

改进的 PSNR 算法根据下式描述的过程计算：

$$MPSNR = MAX \left\{ 10 \log_{10} \left(\frac{MAX^2}{\frac{1}{m \times n} \sum_{x=0}^{m-1} \sum_{y=0}^{n-1} [I(x,y) - K(x,y)]^2} \right) - 100 \times \sqrt{\frac{ave_cnt}{m \times n}} \right\}$$

其中， $I(x,y)$ 和 $K(x,y)$ 分别表示原始图像和压缩后图像中横坐标为 x 、纵坐标为 y 的点， m 和 n 表示图像的宽和高。MPSNR 为改进后的输出值，PSNR 值与偏置量运算后输出，偏置量是对 PSNR 算法的核心改进，表示图像在视觉上的失真程度，其运算依赖的 ave_cnt 是一个记录图像中“异常”的计数器，平均误差阈值参数可根据像素的位宽 8/10 与连续像素个数进行设定，本文采用的阈值为 30。算法考虑到失真图像与原图像中对应像素的绝对误差，并根据连续三个像素的平均误差是否在设定的阈值范围，决定异常计数器和异常位置的更新过程。在对图像中全部像素进行遍历后，结束计数过程，输出最终的异常计数值，用于偏置量的计算。

通过增加偏置量改进的 PSNR 算法，当失真图像中存在连续的错误像素，并且其错误程度超过设定的阈值时，将触发异常计数器快速增加，造成偏置量偏置量增大，并反映在改进算法的输出结果上，使得最终的评估输出值低于原始的 PSNR 计算结果；当失真图像中像素的误差不超过设定阈值，或误差像素不连续时，偏置量通常较小，导致改进算法的最终输出值接近原始 PSNR 算法的计算结果。因此，改进的 PSNR 算法可以有效地识别出图像中明显的视觉失真。

3 算法验证方法与结果

为了验证改进的 PSNR 算法是否能有效地反应出图像数据失真程度，对改进前后的 PSNR 算法模型进行了比较全面的测试。参考 VESA 标准，测试图像设置了四个测例，分为三个主要单类及一个综合类，前三类图像测试分别在原图基础上添加了污染，椒盐噪声及高斯噪声，第四类综合性测试中，还另外增加了乘性噪声及泊松噪声图像，使其更接近真实图像。

3.1 第一类污染图像测试

第一类测试的图像污染采用了“涂抹”方式实现，即采用不同的点和线对原图进行覆盖。为了验证改进的 PSNR 算法能否有效地评估图像在人类视觉系统下的失真，最简便且直观的方式是在原图像中添加一定的污染，即对原图像进行不同程度的“涂抹”，以直观地展现出图像中的失真情况。

对 6 张经过污染的图像进行 PSNR 评估，结果如表 1 所示。对于不同程度的视觉失真，改进的 PSNR 的运算结果相对与原始 PSNR 有不同程度的减少，且减少量与视觉失真程度成正相关。在对叠加了中加粗黑色线和长加粗黑色线的图像进行评估时，由于其明显的视觉失真被改进的 PSNR 算法捕捉，因此输出相较于原始 PSNR，存在大幅的降低。部分图像质量评估等级从良好降为较差，更符合人眼观察结果。

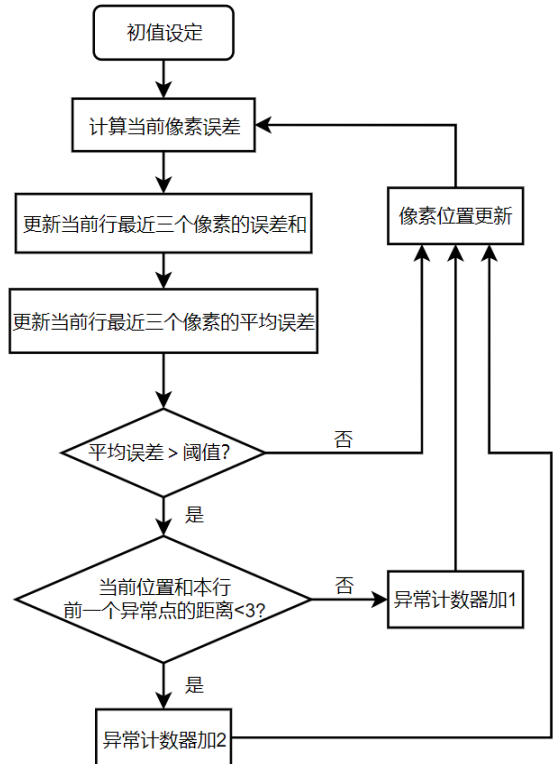


图 1 偏置量异常计数的计算过程

表 1 第一类污染图像的测试结果

污染方式	原始 PSNR	改进 PSNR	减少量
黑色点	49.08	48.44	0.64
短黑色线	42.05	40.05	2.00
中黑色线	35.20	30.13	5.07
长黑色线	32.70	26.38	6.32
中加粗黑色线	32.75	26.36	6.39
长加粗黑色线	30.03	21.44	8.59

3.2 第二类椒盐噪声图像测试

第二类测试基于真实的加噪图像进行，包括原始图像和部分叠加了不同密度椒盐噪声的图像。椒盐噪声是一种人类视觉敏感的噪声，其特点是图像中突然出现的明显的不同颜色点。椒盐噪声的存在会极大地影响图像的清晰度和信息量。

对 8 张添加了椒盐噪声的图像进行 PSNR 评估，结果如表 2 所示。可见改进的 PSNR 对椒盐噪声敏感，即便在噪

声密度较小时，其输出相较于原始 PSNR 也存在比较大的降低。

表 2 第二类椒盐噪声图像的测试结果

噪声密度	原始 PSNR	改进 PSNR	减少量
0.0005	37.91	34.63	3.28
0.001	34.86	30.22	4.64
0.0015	33.10	27.44	5.66
0.002	32.06	25.65	6.41
0.005	28.13	17.93	10.20
0.01	25.07	10.58	14.49
0.02	22.03	1.32	20.71
0.05	18.07	0	18.07

3.3 第三类高斯噪声图像测试

第三类测试同样基于真实的加噪图像进行，包括原始图像和部分叠加了不同均值和方差的高斯噪声的图像共 14 组用于测试。高斯噪声是一种常见的随机噪声，其特点是符合高斯分布的随机性质。相较于椒盐噪声，人眼对高斯噪声的敏感度更低。由于高斯噪声具有随机性分布，并且呈现为图像中的微小变化，通常不会像椒盐噪声那样导致图像中出现明显的异常像素。

第三类测试的结果如表 3 所示。在一定程度上反应了改进的 PSNR 算法能够在图像中存在明显的视觉失真时，输出显著低于原始 PSNR 算法的运算结果；当图像中的噪声在视觉上不明显时，输出接近原始 PSNR 算法的运算结果。

表 3 第三类高斯噪声图像的测试结果

噪声均值	噪声方差	原始 PSNR	改进 PSNR	减少量
0	1	47.83	47.83	0
0	5	34.24	34.24	0
0	10	28.27	28.14	0.13
0	15	24.8	23.95	0.95
0	20	22.35	17.2	5.15
0.01	0	38.59	38.59	0
0.05	0	25.85	25.85	0
0.1	0	19.89	19.89	0
0.15	0	16.56	12.14	4.42
0.2	0	14.03	0	14.03
0.01	5	33.17	33.17	0
0.01	10	27.94	27.79	0.15
0.05	5	25.4	25.35	0.05
0.05	10	23.95	23.3	0.65

3.4 第四类综合性图像测试

通过前三类测试，改进的 PSNR 算法的输出值均有所改善，证明算法有效，理论上具有合理性。为进一步探究改进的 PSNR 算法对图像中存在的不同种类失真的评估效果鲁棒性，添加了不同种类的噪声，包括污染、椒盐噪声、高斯噪声、

乘性噪声和泊松噪声，使图像更接近真实，组成一组测试图例进行质量评估和对比分析，形成第四类综合性图像。

第四类测试的结果如表 4 所示。以原始 PSNR 算法的评估结果来看，相较于其他三种加噪图像，污染图像和椒盐噪声图像中存在的失真虽然更为明显，但二者的评估结果却显示出图像质量更高，这意味着原始 PSNR 算法对图像中存在的视觉失真的检测效果有限。改进的 PSNR 算法克服了这一缺点，污染图像和椒盐噪声图像中的明显的视觉失真使得偏置量 Bias 增长，最终的计算结果相较于原始 PSNR 算法的输出存在大幅度的降低，图像质量评价等级从良好降为较差，这意味着改进的 PSNR 算法能够在一定程度上反映出图像中存在的视觉失真，改进算法较好地完成了预期目标。

表 4 第四类综合性测试图像评估结果

测试图像	原始 PSNR	改进 PSNR	减少量	减少百分比 %
污染图像	35.20	30.13	5.07	14.40
椒盐噪声图像	32.06	25.65	6.41	19.99
高斯噪声图像	28.27	28.14	0.13	0.46
乘性噪声图像	26.82	26.67	0.15	0.56
泊松噪声图像	28.09	27.87	0.22	0.78

4 结语

本文提出了一种基于图像质量评估的峰值信噪比改进算法，在传统 PSNR 算法基础上，通过引入偏置 Bias 因子计算，当失真图像中存在连续的错误像素，并且其错误程度超过设定的阈值时，将触发异常计数器快速增加，造成偏置量 Bias 值增大，从而迭代计算调整输出值，算法程序保持了比较低的计算复杂度。然后，通过设置四类测试图例，算法均完成了正确计算输出，显示出了算法具有一定的广泛性。综合性测试结果表明，在明显视觉失真时改进 PSNR 输出值减少达到 19.99%，图像质量评估等级从良好降为较差，对原始 PSNR 改善显著；在不存在明显的视觉失真时改进的 PSNR 输出值相近仅减少 0.46%，与原始 PSNR 基本一致；改进 PSNR 算法针对高清流媒体视频压缩的图像质量评估 IQA 更加准确。

参考文献

- [1] Ke J, Wang Q, Wang Y, et al. Musiq: Multi-scale image quality transformer[C]//Proceedings of the IEEE/CVF international conference on computer vision. 2021: 5148-5157.
- [2] Huynh-Thu Q, Ghanbari M. The accuracy of PSNR in predicting video quality for different video scenes and frame rates[J]. Telecommunication Systems, 2012, 49: 35-48.
- [3] Kai Zhu1,HongCai, Fei Ma.Parallel Prediction Methods for Display Stream Compression Encoder[J]. IEICE Electronics Express, 2024, Vol.21, No.12, 1-6.