doi：10. 19665/j.issn.1001-2400.2XXX.0X.0

一种通用于H.26X的无损帧内编码优化算法

林 敏，林庆毫，翁晓雨，陈国捷

(上海大学 特种光纤与光接入网重点实验室，上海 201900)

摘要：在H.26X系列视频编码标准的无损压缩方案中，通过帧内预测得到的残差仍具有较强的空间相关性。与自然图像不同，预测残差的空间相关性体现为含有丰富的边缘特征。因此，提出了一种通用的基于残差中值边缘检测的无损帧内编码算法。算法对预测残差逐点进行边缘检测，得到新的预测值与残差，最后根据当前编码单元的能量是否降低快速判断是否使用新的残差进行熵编码。经过该算法处理的编码块具有更低的能量，从而降低熵编码后的码率。实验结果表明，在H.265与最新的H.266标准中应用提出的优化算法，平均码率分别降低了7.12%和2.5%，编解码时间变化细微。

关键词：无损视频压缩；帧内编码；预测残差；高性能视频编码；多功能视频编码

中图分类号：TN919.81 文献标识码：A 文章编号：1001-2400(2XXX)0X-0-0

# An improved universal lossless intra coding algorithm for H.26X

## LIN Min, LIN Qinghao, WENG Xiaoyu, CHEN Guojie

(Key Laboratory of Specialty Fiber Optics and Optical Access Network, Shanghai University, Shanghai 201900, China)

**Abstract:** In lossless compression scheme of the H.26X series video coding standards, residuals obtained by intra-frame prediction still retain strong spatial correlation. Unlike natural images, prediction residuals contain rich edge features. Therefore, a universal lossless intra-frame coding algorithm based on residual median edge detection is proposed in this paper. Algorithm performs edge detection on the prediction residuals sample-by-sample, and obtains new prediction values and residuals. Finally, according to whether the energy of the current coding unit is reduced, it can quickly determine whether to use new residuals for entropy coding. Coding blocks processed by this algorithm have lower energy, thereby reducing the bit-rate after entropy coding. Experimental results show that applying the proposed improved algorithm in H.265 and the latest H.266 standards, the average bit-rate is reduced by 7.12% and 2.5%, respectively, while the codec time changes slightly.

**Key Words:** lossless video compression; intra-frame coding; prediction residuals; HEVC; VVC

高级视频编码H.264/AVC（Advanced Video Coding）、高性能视频编码H.265/HEVC（High Efficiency Video Coding）、多功能视频编码H.266/VVC（Versatile Video Coding）是由国际电信联盟与国际标准化组织联合专家组制定的一系列视频压缩编码标准[1–3]，代表着自2003年至今各时期最先进的视频编码技术。帧内编码是H.26X系列标准中的重要组成部分，其利用图像的空间相关性进行数据压缩，视频的关键帧也只使用帧内编码处理。加之近年来，自动驾驶视觉、云游戏、远程桌面共享、后期制作、医学影像存档等应用的发展使得视频无损帧内编码的需求日益增多[4]。因而探索无损帧内编码的优化算法有很高的研究、应用价值。

H.26X系列标准通过简单地跳过变换、量化、去块滤波、自适应样点补偿等可能引入失真的步骤，实现了无损帧内压缩[5]。但也因此使得待编码系数具有较高的能量，为后续的熵编码带来了极大的压力。为了优化H.26X系列标准无损帧内编码的性能，国内外学者进行了大量的研究。KAMISLI提出了一种不会引入失真的整数离散正弦变换[6]，一定程度上弥补了跳过变换带来的码率损失；李强等人基于数理统计制定了3个快速策略[7]，加快了帧内编码速度；SANCHEZ等人针对不同的残差数值分布特征设计了3组映射规则，整体降低了残差的能量[8]；[9]中所述的残差差分脉冲编码调制（Residual Differential Pulse Code Modulation，RDPCM）是HEVC屏幕图像编码扩展标准（HEVC Screen Content Coding Extension，HEVC-SCC）的一部分，通过在水平或垂直方向上逐点迭代预测的方式提高了帧内预测的准确性；ZHOU将RDPCM的思想扩展到了任意预测角度[10,11]，进一步提高了预测准确性；元辉等人提出了一种新颖的不需要编码预测模式信息的帧内预测方案[12]；ZHANG等人分析了亮度通道与色差通道之间的关系，设计了3个模型，使用亮度通道对色差通道进行帧内预测[13]；LI等人通过将参考像素拓展到多行的方式提高了帧内预测的准确性[14]。

上述文献中提出的算法对帧内编码的性能均有不同程度的优化，但仍存在以下待改进的问题：[6]设计的整数变换方法局限性很大，且没有量化的配合很难降低待编码系数的能量，因此带来的码率优化较小；[8]设计的残差分段映射方案没有考虑残差独特的空间相关性，仍有优化空间；[9–12,14]都是设法增加或优化预测模式来提高帧内预测的准确性，然而各代H.26X标准中的帧内预测模式不断增多，在最新的H.266中已经达到67种，很难再挖掘出优化空间，可以预见今后这类改进带来的优化会越来越小；最后，上述大部分方案具有一定的局限性，很难在各世代的H.26X标准中通用。基于上述原因，本文提出了一种在H.264、H.265、H.266中通用的无损帧内编码优化算法。该算法利用了帧内预测残差具有丰富的边缘特征这一统计结果，对预测残差进行处理。首先将当前编码块的残差首行、首列作为参考点；然后利用中值边缘检测（Median Edge Detection，MED）对剩余点逐点进行预测并求得新的残差；最后统计处理前后的残差能量，选择能量较小的一组进行熵编码。算法经过测试，得到了明显的码率优化，且该算法具有极强的通用性，可在各世代的H.26X标准中应用，或与其他优化方法结合应用，进一步提高优化效果。

1. **H.26X无损帧内编码**

H.26X系列标准中的帧内编码方案经过了各世代的持续优化，但整体框架仍保持一致，包含帧内预测-变换-量化-熵编码4个基本流程（图1中a）。帧内编码过程中引入失真的是变换和量化操作，因此可通过跳过变换和量化，仅保留帧内预测和熵编码来实现基础的H.26X无损帧内编码[5]（图1中b）。



图1 H.26X帧内编码流程

帧内预测是H.26X无损帧内编码的核心部分。对每个编码单元（Coding Unit，CU），H.26X执行帧内预测得到相应的预测残差：

（1）

其中表示原始像素值，表示通过参考像素结合不同的帧内预测方式得到的预测值。H.26X的帧内预测模式包括平滑预测（DC模式、Planar模式）和方向预测两类，随着编码标准的发展，预测模式不断增多。H.264仅使用9种预测模式，H.265增加到35种，H.266达到了67种。

图2展示了在H.265标准下经过帧内预测后的残差图像（数值整体平移了128以显示负值）。出于多种原因，尽管帧内预测的准确性不断提高，残差中仍然可能保留丰富的边缘特征。首先，由于预测块最小尺寸的限制，角度预测在图像中纹理丰富的区域始终无法得到良好的预测结果；其次，当被预测块靠近参考像素的边沿存在不连续性时，角度预测很可能会插入原始块中本不存在的方向性条纹。

1. **题目名(4号黑，占3行，居左)**

正文(5号宋体)

* 1. **题目名（5号黑，占1行，居左）**

正文(5号宋体)

* + 1. 题目名（5号仿宋，占1行，居左）

正文(5号宋体)

说明：（具体格式参见附件：学报版式样张.pdf）

1．首页篇眉格式如第1页篇眉所示（无页码）。

2．偶数页篇眉格式如本页篇眉所示（页码在上，居左）。

3．奇数页篇眉格式如第3页篇眉所示（页码在上，居右）。

4．所有的页眉，脚注均为小5号，宋体。

5．表题居中：**表1** **统计结果**（5号黑）。文中表格采用三线表。表格中的文字为小5号宋体。表题为5号黑体居中。（具体格式参见附件：学报版式样张.pdf）

6. 文中串文图的尺寸控制在65mm×70mm(高×宽)以内。通栏图(以(a)~(c)三个并排图为例)的尺寸控制在70 mm×160mm(高×宽)以内，如果图比较大（如(a)~(m)这种大图），其宽度最好控制在160mm以内。所有图中的文字均为6号宋体。（具体格式参见附件：学报版式样张.pdf）

7．图 题：图1 XXX示意图（小5号楷体）。（具体格式参见附件：学报版式样张.pdf）

8．全文所有外文白体均指: Times New Roman。

9．页面设置

纸型大小：自定义大小，宽22cm，高29.7cm，单倍行距。

文档网格：选中“指定行网格和字符网格”，每行46个字符，跨度10.5磅；每页44行，跨度:15.6磅。

版 式：页眉页脚：同时选中“奇偶页不同”“首页不同”。

【提示】 直接使用本文档的页面设置参数即可

10．正文中所有向量、矩阵变量均用黑斜体字母表示，标量变量均用白斜体字母表示。变量尽量用单个字母（可以带上下标）表示。常数和文字均用正体字母表示，如自然数e、虚数单位i或j、圆周率π 。

11. 公 式：公式居中，公式号居右。公式转行时所有的行末均以运算符号结束，而不能将运算符号移至下行行首；公式中的字符为5号字。（具体格式参见附件：学报版式样张.pdf）

**参考文献：**

[1] H.266 : Versatile video coding[EB/OL]. [2021-03-17]. https://www.itu.int/rec/T-REC-H.266-202008-I.

[2] Sullivan G J, Ohm J-R, Han W-J, 等. Overview of the High Efficiency Video Coding (HEVC) Standard[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2012, 22(12): 1649–1668.

[3] Marpe D, Wiegand T, Sullivan G J. The H.264/MPEG4 advanced video coding standard and its applications[J]. IEEE Communications Magazine, 2006, 44(8): 134–143.

[4] De-Luxán-Hernández S, Venugopal G, George V, 等. A Fast Lossless Implementation Of The Intra Subpartition Mode For VVC[C]//2020 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP). 2020: 1118–1122.

[5] Mrak M, Xu J. Improving screen content coding in HEVC by transform skipping[C]//2012 Proceedings of the 20th European Signal Processing Conference (EUSIPCO). 2012: 1209–1213.

[6] Kamisli F. Lossless Image and Intra-Frame Compression With Integer-to-Integer DST[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2019, 29(2): 502–516.

[7] 李强左静, LI Qiang Z J. SHVC中帧内预测快速算法[J]. 西安电子科技大学学报, 2020, 47(2): 60–66.

[8] Sanchez V, Aulí-Llinàs F, Serra-Sagristà J. Piecewise Mapping in HEVC Lossless Intra-Prediction Coding[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2016, 25(9): 4004–4017.

[9] Xu J, Joshi R, Cohen R A. Overview of the Emerging HEVC Screen Content Coding Extension[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2016, 26(1): 50–62.

[10] Zhou M, Gao W, Jiang M, 等. HEVC Lossless Coding and Improvements[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2012, 22(12): 1839–1843.

[11] SAP TEST REPORT[R]. .

[12] 元辉, 常义林, 卢朝阳, 等. 一种降低预测模式开销的帧内预测方法[J]. 西安电子科技大学学报, 2011, 37(6): 981-986+1016.

[13] Zhang K, Chen J, Zhang L, 等. Enhanced cross-component linear model for chroma intra-prediction in video coding[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2018, 27(8): 3983–3997.

[14] Li J, Li B, Xu J, 等. Efficient Multiple-Line-Based Intra Prediction for HEVC[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2018, 28(4): 947–957.