

## 结合环形纹理与比特池的帧存储器压缩算法

杨洪柏<sup>1,2</sup>

(1. 上海开放大学 理工学院, 上海 200433; 2. 上海大学 机电工程与自动化学院, 上海 200072)

**摘 要:** 当前高分辨率平板显示器的帧存储器压缩算法存在图像失真率较高的缺点。为此, 提出一种基于图像环形纹理和比特池技术的帧存储器压缩算法。基于环形纹理的帧内预测模式能够更好地适应图像中大量存在的点状结构, 从而去除环形纹理像素间的空间相关性。在限定图像与帧存储器容量压缩比的前提下, 利用比特池技术动态分配各个图像块压缩码流所需的比特空间, 从而提高帧存储器存储空间的利用率。测试结果表明, 该算法能显著提高图像峰值信噪比并减小图像失真。

**关键词:** H. 264 视频编码标准; 帧存储器压缩算法; 帧内预测模式; 环形纹理; 比特池

**中文引用格式:** 杨洪柏. 结合环形纹理与比特池的帧存储器压缩算法[J]. 计算机工程, 2017, 43(8): 284-287.

**英文引用格式:** Yang Hongbai. Frame Memory Compression Algorithm Combing Annular Texture and Bit Reservoir[J]. Computer Engineering, 2017, 43(8): 284-287.

## Frame Memory Compression Algorithm Combing Annular Texture and Bit Reservoir

YANG Hongbai<sup>1,2</sup>

(1. School of Science and Technology, Shanghai Open University, Shanghai 200433, China;

2. School of Mechatronic Engineering and Automation, Shanghai University, Shanghai 200072, China)

**[Abstract]** Aiming at the shortcomings of high image distortion rate of existing frame memory compression algorithms for high resolution flat panel display, a frame memory compression algorithm based on image annular texture and bit reservoir technology is proposed. The intra-frame prediction mode based on the annular texture can better adapt to the large number of point-like structures in the image, so as to better remove the spatial correlation between the annular texture pixels. On the premise that the compression ratio of the image and frame memory capacity is limited, the bit reservoir technology dynamically allocates the bit space needed by the bit stream of each compressed image block, thus greatly improving the utilization rate of the frame memory storage space. Test results show that the proposed algorithm can significantly improve the Peak Signal to Noise Ratio (PSNR) of the compressed image and reduce the image distortion.

**[Key words]** H. 264 video coding standard; frame memory compression algorithm; intra-frame prediction mode; annular texture; bit reservoir

**DOI:** 10.3969/j.issn.1000-3428.2017.08.048

### 0 概述

近年来, 包括液晶显示器(Liquid Crystal Display, LCD)和有机发光二极管(Organic Light Emitting Diode, OLED)显示器在内的平板显示器在手机、平板电脑、电视等电子产品领域得到广泛应用。平板显示器需要相应的驱动芯片予以支持。平板显示驱动芯片一般带有帧存储器(Frame Memory), 它能够存储图形处理器(Graphics Processor Unit, GPU)发送来的显

示图像, 并按照显示器显示帧率不断产生驱动信号发送至显示面板, 实现正常显示。只有当图像数据发生变化时, GPU 才有必要更新帧存储器中的数据, 从而减小 GPU 功耗。

随着平板显示器面积和显示分辨率越来越大, 其驱动芯片中所需要的帧存储器容量也越来越大。以 WVGA (800 像素 × 480 像素) 分辨率显示屏为例, 一幅未压缩的图像需要 1.152 MB 的帧存储器空间(设 RGB 各颜色值均为 8 bit)。越来越大的帧存

**基金项目:** 国家自然科学基金“往复压缩机十字头滑变侧向力传递故障信息机理及诱发机体振动机制”(51575331)。

**作者简介:** 杨洪柏(1972—), 女, 副教授、博士, 主研方向为故障诊断、多媒体技术、信号处理。

**收稿日期:** 2016-11-28      **修回日期:** 2016-12-29      **E-mail:** 948645047@qq.com

存储器容量使得驱动芯片面临的成本压力也越来越大。一个解决办法是采用帧存储器压缩 (Frame Memory Compression, FMC) 算法对显示图像进行压缩, 以节省帧存储器空间。显然, 对 FMC 算法而言, 不仅要求具有较高的图像压缩率和较小的图像失真, 而且要求易于实现, 编解码速度快, 硬件电路开销小。

现有的帧存储器压缩算法一般在现有成熟的视频编码技术基础上构建。视频编码标准 H. 264/AVC<sup>[1]</sup> 自问世以来, 得到广泛应用, 并不断被深入研究。多数学者致力于解决该标准率失真优化 (Rate Distortion Optimization, RDO) 以及计算量大和计算复杂的问题, 研究帧间预测和帧内预测的快速算法<sup>[2-6]</sup>。文献[7-9]研究了基于无损图像压缩的 FMC 算法, 该类算法不能保证压缩率为限定值, 不能防止帧存储器空间溢出, 因而实用性不强。文献[10]提出了一种限定压缩比的图像压缩算法, 即根据原有图像大小和现有驱动芯片的帧存储器容量设定一个压缩比, 确保图像能被压缩成功, 但是这种算法造成图像失真较大, 降低了图像显示质量。针对上述问题, 本文根据图像特征和有限空间存储的特点, 提出适用于图像环形纹理的帧内预测模式来提高压缩效率, 并借用 MP3 音频处理中的比特池技术<sup>[11-13]</sup>, 动态分配存储空间, 以提高图像编码的有效性和总比特空间的利用率, 达到在有限的空间下减小图像失真率的目的。

## 1 基于图像环形纹理的帧内预测模式

### 1.1 H. 264/AVC 帧内预测算法

图像的纹理特性, 按其方向性可划分为垂直、水平、对角线和平面方向等。将图像分割成块后, 相邻子块间往往具有一致的纹理, 各像素之间具有相似性。帧内预测就是基于这种子块间的纹理特性和空间域像素间的相关性进行预测<sup>[3]</sup>。

H. 264/AVC 亮度编码模块有 2 种划分模式, 16×16 模式和 4×4 模式<sup>[1]</sup>。针对 16×16 模式设定了水平 (V)、垂直 (H)、均值 (DC) 和平面 (Plane) 4 种预测方向。对于细节较多、变化剧烈的宏块, 则用 4×4 模式, 以减少预测误差<sup>[3]</sup>。文中主要应用 4×4 模式进行处理。H. 264/AVC 中定义 4×4 模式共有 9 种 (0, 1, …, 8), 如图 1 和图 2 所示。图 1 表示了帧内预测方向。方向 2 是均值预测, 没有在图中表示。图 2 表示根据预测方向得到的 8 种图像块扫描模式, 用于像素间去相关计算。

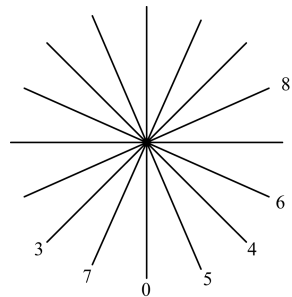


图1 H. 264/AVC 编码器帧内预测方向

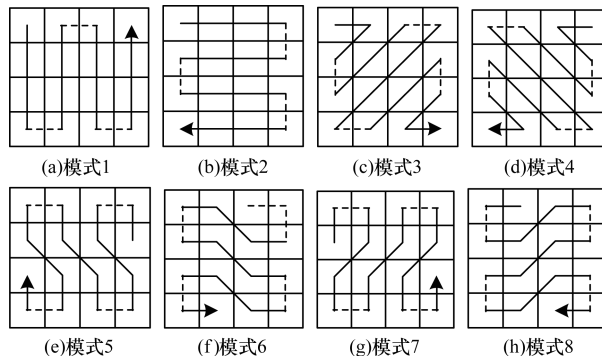


图2 基于 H. 264/AVC 编码器帧内预测方法的扫描模式

在图 1 和图 2 中, 扫描模式 5 ~ 扫描模式 8 分别表示“垂直向右”、“水平向下”、“垂直向左”、“水平向上”4 个方向的帧内预测模式, 但它们并不能很好地表达图像内这 4 种方向的纹理。在实际应用中, 大量测试表明, 这 4 种扫描模式被选为最优扫描模式的概率较低, 被选中次数的总和所占比例低于 20%。因此, 这 4 种扫描模式的采用降低了算法的压缩编码效率, 最终使图像失真变大。

### 1.2 基于图像环形纹理的扫描模式

图像块扫描模式应符合图像的结构特征。除了线状结构外, 图像中还存在大量点状结构, 如沙粒、星星、雪花等。图 3 列举了一些具有点状结构的典型图片。在 4×4 图像块区域内这些点状结构形成了环形纹理。图 4 显示了环形纹理在 4×4 图像块中 4 种典型的位置及环形帧内预测模式。相应地, 图 5 显示了适应环形纹理, 编号分别为 9 ~ 12 的 4 种图像块扫描模式, 用以取代原 5 ~ 8 这 4 种扫描模式。

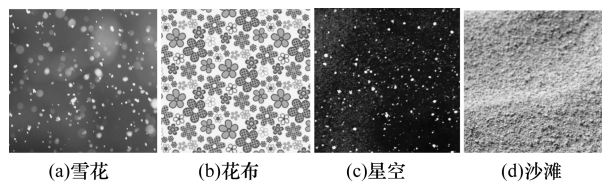


图3 具有点状结构的典型图片

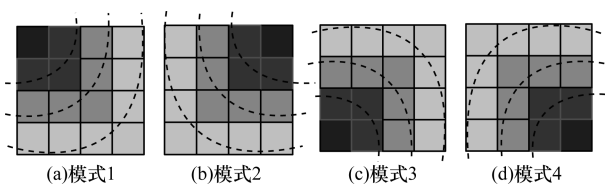
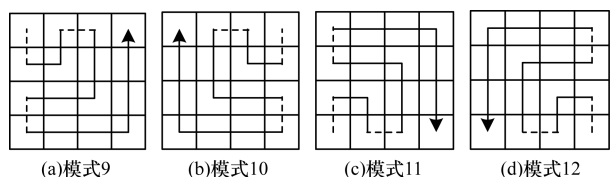
图4 环形纹理在  $4 \times 4$  图像块中的典型位置

图5 基于环形纹理的扫描模式

## 2 基于比特池的压缩码比特分配策略

在现有算法中,各  $4 \times 4$  图像块独立编码,每个图像块的比特数若有节余也不能被其他图像块利用,比特数不能实现共享。其后果是,一方面每个图像块压缩所使用的比特数都不高于预设比特数,导致整个图像压缩比偏高(即帧存储器空间利用率偏低),而另一方面图像失真偏大。

在 MP3 音频处理中,有一种核心技术叫比特池技术。在音频编码中,变化快的音频一般需要占用较多的比特,而相对平稳的音频占用的比特则较少。对 MP3 音频信号而言,其帧长度相对固定,不会随着帧内编码数据的多少而变化。所以,常常出现某些帧的数据量超过了帧长度,而某些帧内有多余的数据空间没有使用。在 MP3 中把这些多余的数据空间集中起来,称为比特池(Bit Reservoir)。用比特池来存储之前音频帧编码所节省下来的比特。在当前音频帧的编码比特需求大于平均编码比特数时,可以使用比特池中存储的一部分或全部比特,这样可以保证在所需编码比特数突发性增加时,编码器依然能够提供充足的比特数,从而实现比特的动态分配。每帧的比特数不再是一个常数,而是总的趋势是一个常数。当一帧所需编码比特数小于每帧的平均比特数,多余的比特数被存储到比特池中,如果后面的某一帧所需的比特数大于平均比特数,那么可以从比特池中把过去所存储的多余的比特拿出来满足编码要求<sup>[11-15]</sup>。

与音频编码技术一样,本文图像压缩处理借用比特池技术来合理地利用存储空间,使得图像损失最大程度地减少。在图像块逐个被压缩的过程中,前面图像块压缩编码后节省下来的比特数可以用于后续图像块的压缩编码,使后续图像块可用比特数

增多,从而减小量化参数  $Q$ (颜色值以  $2^Q$  为最小单位进行量化),减少图像失真。为此,可设一变量  $C(i)$ (被称为比特池容量),用来表示在图像块  $i$  被压缩时所能够使用的比特数。在图像压缩开始前,先令  $C(1) = L$ 。在图像块  $i$  压缩编码结束后,进行比特池容量更新:

$$C(i+1) = C(i) - B(i) + L, i = 1, 2, \dots, N-1 \quad (1)$$

其中,  $N$  为总的图像块数;  $L$  为一个图像块预设压缩比特数;  $B(i)$  为图像块  $i$  在压缩过程中所使用的比特数。

## 3 测试与分析

### 3.1 测试算法

基于比特池技术的定压缩比图像压缩算法流程如图6所示。首先将整个图像分成若干个图像块,独立进行压缩和解压缩;对每个图像块选定一种扫描模式,进行量化、去相关和编码处理,如果编码所得码流比特数大于比特池中的数值,则增大量化参数,重新进行量化、去相关和编码处理。上述过程不断进行,直至编码所得码流比特数小于或等于比特池中的数值。图像解压缩则是上述过程的逆过程。

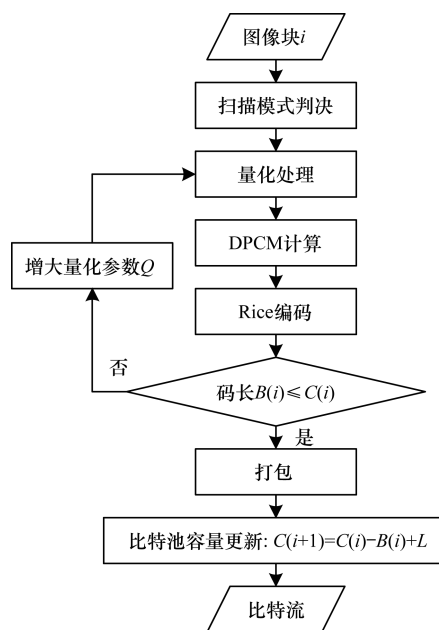


图6 采用比特池的图像块压缩编码流程

在该算法中,去相关和编码处理分别选用差分脉冲编码调制(Differential Pulse Code Modulation, DPCM)和Rice编码<sup>[10]</sup>。采用适应环形纹理的扫描模式,并用比特池技术对存储空间使用进行优化处理。

### 3.2 对比测试

为了验证本文所提出改进的帧存储器压缩算法的有效性,将其与改进前的算法作了一系列对比测试。图像质量评价采用峰值信噪比(Peak Signal to Noise Ratio, PSNR)  $r_{\text{PSNR}}$  作为图像压缩后失真大小的评价指标<sup>[9]</sup>,其定义为:

$$r_{\text{PSNR}} = 10 \cdot \log_a \frac{255^2}{r_{\text{MSE}}} \quad (2)$$

其中,  $r_{\text{MSE}}$  为原始图像与压缩后重建的图像之间的均方误差值。

测试对象为1 000张分辨率为WVGA的24 bit彩色图像。图像内容包括自然风景、人像、卡通、汽车、建筑、文字等,压缩比目标值设定为50%。记改进算法所得峰值信噪比为  $\text{PSNR}_{\text{new}}$ ,改进前的算法所得峰值信噪比为  $\text{PSNR}_{\text{old}}$ 。峰值信噪比增量为  $D = \text{PSNR}_{\text{new}} - \text{PSNR}_{\text{old}}$ 。实验中,所选图像的  $\text{PSNR}_{\text{old}}$  值均小于55 dB。对比实验的实测结果如表1所示。

表1 环形扫描模式与比特池技术结合前后的对比测试结果

| 采用技术            | $D \geq 0$ 的图像数 | $D < 0$ 的图像数 | $D$ 的平均值/dB |
|-----------------|-----------------|--------------|-------------|
| 环形扫描模式          | 925             | 75           | 0.52        |
| 比特池技术           | 1 000           | 0            | 1.65        |
| 环形扫描<br>+ 比特池技术 | 1 000           | 0            | 2.09        |

从表1可知,基于环形纹理的扫描模式总体而言优于原有的扫描模式,采用比特池技术后的效果优于不采用比特池技术,两者一起使用,其效果最优。由此可知,采用改进的扫描模式和比特池技术的帧存储压缩算法可使图像峰值信噪比更高,失真更小,从而具有明显的优势。

### 4 结束语

环形纹理的图像块扫描模式提高了帧存储器压缩算法的压缩编码效率,而图像比特池的压缩码流比特分配策略动态地分配存储空间,可最大限度地利用存储空间,使图像损失减小。本文提出将环形扫描模式与比特池技术联合使用,测试结果表明,结合这两项技术可有效提高帧存储器存储空间的利用率和图像峰值信噪比,进一步减小图像失真。

### 参考文献

- [1] 孙毅,林涛,林争辉.新一代视频编码标准 H.264/AVC 的特点及应用[J].广播电视信息,2006(12):67-68.
- [2] 李世平,蒋刚毅,郁梅.快速帧内预测模式选择新方法[J].电子学报,2006,34(1):141-146.
- [3] 孟庆磊,姚春莲,宋建斌,等.一种面向 H.264/AVC 的快速帧内预测算法[J].北京航空航天大学学报,2007,33(2):219-223.
- [4] 沈健,杨静.基于提前终止编码单元划分的快速帧内预测算法[J].计算机应用与软件,2016,33(5):169-172.
- [5] 吴淑英,陈卫东.H.264/AVC 快速帧间模式选择研究[J].计算机工程,2007,33(14):203-205.
- [6] 徐宁,史册,陈梅丽.基于嵌入式处理器的 H.264 编码器的存储优化[J].计算机工程,2006,32(23):268-270.
- [7] Yng T L B, Lee B, Yoo H. A Low Complexity and Lossless Frame Memory Compression for Display Devices[J]. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 2008, 54(3):1453-1458.
- [8] Shim H, Chang N, Pedram M. A Compressed Frame Buffer to Reduce Display Power Consumption in Mobile Systems[C]//Proceedings of Asia and South Pacific Design Automation Conference. Washington D. C., USA:IEEE Press,2004:818-823.
- [9] 高红莉,乔飞,杨华中.HDTV 解码中的无损存储压缩及高效帧存结构[J].应用科学学报,2009,27(1):67-73.
- [10] Jin Yong-seok, Lee Yongje, Lee Hyuk-jae. A New Frame Memory Compression Algorithm with DPCM and VLC in a  $4 \times 4$  Block[J]. EURASIP Journal on Advances in Signal Processing, 2009(1):1-18.
- [11] 唐骏.变换音频编码预回声产生机理与抑制方法[J].厦门理工学院学报,2009,17(2):35-39.
- [12] ISO, IEC. Information Technology: Generic Coding of Moving Pictures and Associated Audio Information[J]. Changes Clarifications and Additions ACM Sigplan Notices, 1997, 21(1):27-51.
- [13] 周锦峰.低功耗 MP3 解码器设计及其可测性分析[D].北京:中国科学院研究生院,2003.
- [14] 付中华,王大伟,赵荣椿,等.一种基于 MP3 框架的低采样率音频压缩方案[J].计算机工程,2003,29(19):146-148.
- [15] 丰帆.MP3 数字音频编解码算法的研究与实现[D].西安:西安电子科技大学,2008.

编辑 顾逸斐