



一种基于字节型多变长码的串匹配的 Alpha 图像编码算法

赵利平¹, 林涛², 周开伦², 彭华¹, 胡珂立¹

(1. 绍兴文理学院计算机科学与工程系, 浙江 绍兴 312000;

2. 同济大学超大规模集成电路研究所, 上海 200092)

摘要: 根据 Alpha 图像的特征和串匹配算法的编码参数统计特性, 提出了一种基于字节型多变长码的串匹配的 Alpha 图像编码算法。该算法首先对多个串匹配编码参数采用字节型多变长码方案进行联合优化编码, 然后采用邻近偏移量优先的分段映射方案对偏移量参数进行编码, 最后对匹配串长度参数采用分段编码方案进行编码。实验结果表明, 本文提出的算法与 LZ4HC、zlib、PNG、HEVC (x265) 相比, 都具有超低复杂度兼高编码效率的优势。

关键词: 图像编码; Alpha 图像; 变长码; 定长码; 串匹配

中图分类号: TP919.81

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2018285

A byte-size multi-variable-length-code based string matching algorithm for Alpha image coding

ZHAO Liping¹, LIN Tao², ZHOU Kailun², PENG Hua¹, HU Keli¹

1. Department of Computer Science and Engineering, Shaoxing University, Shaoxing 312000, China

2. Institute of VLSI, Tongji University, Shanghai 200092, China

Abstract: According to the characteristics of Alpha image and the statistical characteristics of coding parameters of string matching algorithm, an Alpha image coding algorithm based on byte-size multi-variable long-length string matching was proposed. The algorithm firstly used a byte-type multi-variable long-code scheme for joint optimization coding of multiple string matching coding parameters, the offset parameter was then encoded using a segmentation mapping scheme with proximity offset prioritization. Finally, the matching string length parameter was matched with a segmentation coding scheme. The experimental results show that compared with LZ4HC, zlib, PNG and HEVC (x265), the proposed algorithm has the advantages of ultra-low complexity and high coding efficiency.

Key words: image coding, Alpha image, variable-length-code, fixed-length-code, string matching

收稿日期: 2018-06-01; 修回日期: 2018-11-14

基金项目: 浙江省自然科学基金资助项目 (No.LY19F020015); 国家自然科学基金资助项目 (No.61871289, No.61601200, No.61662025, No.61603258); 上海市自然科学基金资助项目 (No.18ZR1440600); 湖南省哲学社会科学基金项目 (No.16YBX042); 湖南省教育厅科学研究项目 (No.16C1311)

Foundation Items: The Natural Science Foundation of Zhejiang Province (No.LY19F020015), The National Natural Science Foundation of China (No.61871289, No.61601200, No.61662025, No.61603258), The Natural Science Foundation of Shanghai (No.18ZR1440600), The Research Foundation of Philosophy and Social Science of Hunan Province (No.16YBX042), The Research Foundation of Education Bureau of Hunan Province (No.16C1311)

1 引言

伴随着互联网和“互联网+”以及相关新兴产业的发展,各种互联网应用中出现的图像/视频是互联网带宽的主要消耗者,占用户流量的 80%以上^[1]。从视频编码的角度来看,互联网图像包含了各种不同图像特征的图像类型,至少包括传统的光电感应器(如摄像机)摄取的各类自然图像、屏幕混合内容图像(包含自然图像和计算机产生的各种非自然图像以及含这两者混合的图像)、辅助通道图像(如 Alpha 分量)及它们的混合图像。对具有多态性和复杂性的互联网图像进行编码成为当前学术界和工业界研究的热点。在 2018 年 4 月的 JVET (Joint Video Experts Team) 会议上,正式启动了下一代国际视频编码标准 (Versatile Video Coding, VVC) 标准的制定工作^[1],工作的重点包括互联网图像编码中的屏幕内容编码、Alpha 图像编码等。2017 年 3 月,我国数字音视频编解码技术标准工作组在下一代 AVS 视频编码标准的技术需求 V9.0^[2]中也指出了 Alpha 图像 (1 bit 和 8 bit) 编码的需求。

目前 Alpha 图像的编码工作主要包括:一方面,随着视频编码标准的制定而开展的一些相关的研究工作,从早前的基于 MPEG-4 标准的形状 (object) 的 Alpha 图像算法^[3]、基于 H.264 标准的二值 Alpha 图像编码算法^[4]到基于 HEVC 标准的无损二值 Alpha 图像编码算法^[5]和基于 AVS2 标准^[6]的 TPG 图像格式^[7];另一方面,各种图片压缩格式如 PNG 格式、WEBP 格式等也支持 Alpha 图像的编码。

从对互联网图像进行编解码的设备来看,具有普通计算能力的移动设备占据了互联网设备的主要组成部分。Alpha 图像作为互联网图像的一部分,研究适用于主流互联网设备的超低复杂度兼高效的 Alpha 图像编码算法具有重要的理论意义和实际应用前景。此外,Alpha 图像通常采用专业

的制作软件进行模拟和制作生成,具有与自然图像不同的特征^[8]。Alpha 图像的特性与屏幕图像内容有些类似,均具有各种形状和大小的、互相匹配的图样。为了消除匹配图样的冗余,目前主要采用基于匹配的算法进一步提高编码效率。其中串匹配算法对于提高屏幕图像的编码效率具有很大的作用^[9-13]。串匹配算法的原理与思路主要来源于自适应字典编码算法^[14]。参考文献[11]提出了基于 LZ4HC 算法^[12]的高性能低复杂度的屏幕图像无损压缩算法;参考文献[14]提出了具有超高编码效率的基于 HEVC 标准的通用串匹配算法;参考文献[15]提出了基于 AVS2 标准的通用串预测算法。使用传统 Hybrid Coding 视频标准的 Alpha 编码算法和各种图片压缩算法没有考虑 Alpha 图像的特性,也无法在具有普通计算能力的移动设备上对 Alpha 图像进行超低复杂度编解码。已有针对屏幕图像的串匹配算法对 Alpha 图像编码算法具有一定的借鉴作用,但也不能简单照搬。

在这样的背景下,本文根据 Alpha 图像固有的物理特性和串匹配算法编码参数的统计特性,以 LZ4HC 算法的开源代码作为具体实现的基础,提出了一种基于字节型多变长码的串匹配 (byte-size multi-variable-length-code based string matching, BMVLC-SM) 的 Alpha 图像编码算法。实验结果表明,对于由 236 个各种典型的 Alpha 图像组成的测试集,本文提出的算法与 LZ4HC^[15]、zlib、PNG 和 x265 相比,具有兼顾超低复杂度和高编码效率的优势。

2 相关工作及算法提出的动机

2.1 Alpha 图像的特征分析

图 1 给出了 RGB 数据图像、相对应的 Alpha 通道数据图像 (将 Alpha 通道数据作为灰度数据显示) 和由这两者合成的显示图像。Alpha 通道用来表示一个像素或图像的透明度。典型的 32 位即 4 byte RGBA 图像中,每个像素原值由 4 个部分组



成：一个 Alpha 通道字节和 3 个颜色分量（R、G 和 B）字节。当 Alpha 值为 0 时，该像素是完全透明的，而当 Alpha 值为 255 时，则该像素是完全不透明的。最终显示的颜色取决于其 RGB 颜色分量和 Alpha 值。



(a) RGB 数据图像 (b) Alpha 通道数据图像 (c) 合成的显示图像
图 1 Alpha 通道数据作用示例

本文的 236 个 Alpha 测试数据来源于：腾讯公司提供的 PNG 图片中提取出来的 47 个 Alpha 数据^[16]；千度网上下载的 PNG 图片中提取出来的 178 个 Alpha 数据；PNG 网站上下下载的 PNG 图片中提取出来的 11 个 Alpha 数据。图 2 给出了 40 个 Alpha 测试图像的缩小图像（灰度图像显示）的结果。

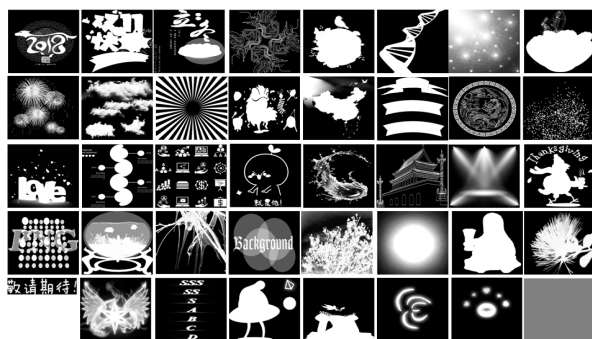


图 2 部分 Alpha 测试图像的缩小图像

这些数据的分辨从 10 像素×14 像素（每个像素用一个字节表示，140 byte）到 7 612 像素×

12 077 像素（91 930 124 byte）。从图 2 中可以看出，Alpha 图像与传统的自然图像具有显著不同的特点，至少包括以下几点：Alpha 图像一般由计算机产生，没有噪声；有大片的同值区域。如图 2 中第 1 行第 5 幅、第 8 幅 Alpha 图像等，中间都有大片白色连通区域；具有尖锐的边缘和任意形状，如图 2 中第 1 行第 7 幅、第 2 行第 3 幅、第 5 行第 2 幅 Alpha 图像；包含各种大小与形状的文本文、图标等，如图 2 中第 1 行第 1、2、3 幅、第 4 行第 4 幅图像等；具有各种形状和大小的、互相匹配的图样。

2.2 LZ4HC 算法的基本原理

LZ4HC 算法主要由两部分组成：串搜索和串匹配参数编码。对于串搜索，LZ4HC 通过基于散列值的散列表（将相同的散列值链接起来）快速找到参考串的起始点。LZ4HC 的串匹配参数由 4 部分组成，分别是未匹配串长度、未匹配串数值、匹配串长度及偏移量。LZ4HC 算法对串匹配参数的编码采用字节型定长码编码算法。表 1 给出了编码的语法元素及其编码方案。

定义 1（字节型定长码） 一个字节中只包含 1 个编码参数或者一个字节中包含 2 个编码参数时，采用的是固定长度且等长度划分的编码方式，称为字节型定长码。

字节型定长码编码算法由于没有采用任何基于二进制变长码的熵编码，能够节省大量的编码和解码时间，但也存在如下缺点：1 byte 中只包含 1 个编码参数，对于编码参数较小的值，浪费的比特数非常多；2 byte 中包含 2 个编码参数，每个编

表 1 LZ4HC 算法的语法元素及其编码方案

语法元素	取值范围	编码方案
未匹配串长度	<15	用标识字节的前 4 位表示，不再需要额外字节
	≥15	标识字节的前 4 位为 1111，用额外的 1~N byte 表示长度减去 15 的部分
未匹配字节数值	0~255	定长码：1 byte
匹配串偏移量	0~65 535	定长码：2 byte
匹配串长度	<15	用标识字节的后 4 位表示，不再需要额外字节
	≥15	标识字节的后 4 位为 1111，其余的按未匹配串长度的编码方案编码

码参数采用固定 4 bit 的方式, 对于出现概率高而取值小的编码参数值是很大的浪费, 对于出现概率高且取值稍大的编码参数值又不够; 字节型定长码编码算法未考虑对多个编码参数进行联合编码优化。

2.3 Alpha 图像的串匹配 (LZ4HC 算法) 编码参数统计特性

对 Alpha 图像采用串匹配算法进行编码, 需要考虑串匹配编码参数的统计特性。通过挖掘 Alpha 图像固有的物理特征与串匹配编码参数统计性的关联, 对串匹配参数进行优化编码, 从而进一步提高编码效率。

统计数据采用 379 个 Alpha 数据 (含实验数据中的 236 个数据)。采用 LZ4HC 算法, level 设置为 4 (level 表示在散列链上搜索的次数为 $2^{\text{level}-1}$)。图 3 给出了串匹配编码参数概率统计结果。图 3 (a) 给出了匹配串、未匹配串长度是否为零分成 6 类的统计结果。其中 $\text{uml}=0$ 、 $\text{ml}=0$ 、 $\text{uml}>0$ 、 $\text{ml}>0$ 分别表示未匹配串长度 (uml) 为零、匹配串长度 (ml) 为零、未匹配串长度大于零、匹配串长度大于零。 $\text{ml}>0\&\text{uml}=0$ 表示匹配串长度大于零且未匹配串长度为零, 其他的类似。图 3 (b) 给出了表示邻近位置的偏移量的概率 (出现次数占有 Offset 的频率), 其中 W 表示 Alpha 图像的宽度。从图 3 中, 可以得出串匹配编码参数至少具有以下统计特性。

- 未匹配串长度特性: 未匹配串长度为零的编码串的百分比特别高。
- 匹配串偏移量特性: Alpha 图像的匹配串偏移量具有很大的邻近位置相关性。

从 Alpha 图像形成的机理和构成来看, 文字、图形和图标不是杂乱无章的, 而是有一定规律的。如中文的汉字就是由很多基本的笔画 (如横、竖等) 组成的。因此, 这些基本规律决定了 Alpha 图像中存在很多形状和大小的互相匹配的重复图样, 和 Alpha 图像的匹配串偏移量具有很大的邻

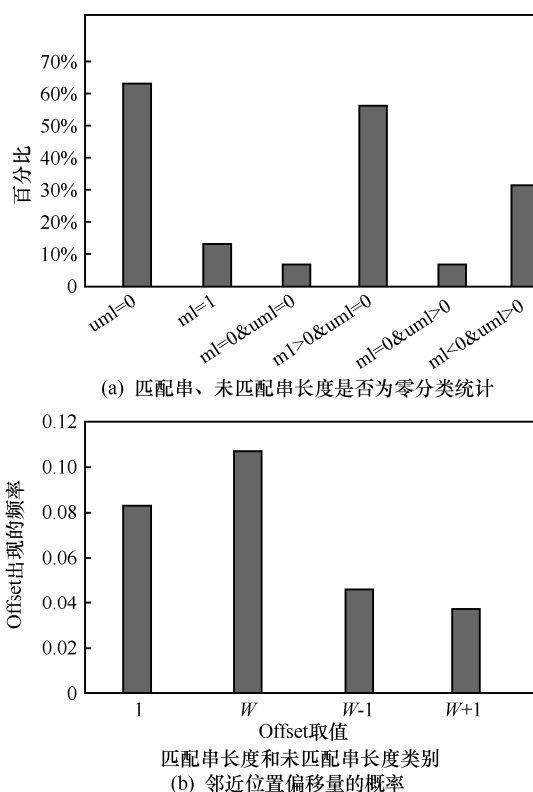


图 3 串匹配编码参数概率统计结果

近位置相关性。此外, Alpha 图像经常具有大片同值区域, 故部分串匹配长度会很长。根据 Alpha 图像固有的物理特性和串匹配算法对 Alpha 图像进行编码, 获得编码参数的统计特性, 对出现频率高的单个或多个编码参数的数值分配较短的码值, 从而进一步提高编码效率。BMVLC-SM 算法正是在这样的背景下提出的。

3 基于字节型多变长码编码的串匹配算法

3.1 字节型多变长码编码算法

定义 2 (字节型多变长码 (BMVLC)) 1 byte 由多个 (2 个或以上) 编码参数组成, 每个参数都采用变长码, 将包含这样的字节型编码方案称为字节型多变长码。

图 4 给出了基于 LZ4HC 算法的字节型多变长码编码算法。新增的语法元素 T1~T4 的含义及其在各个类别中的取值范围说明见表 2。具体而言, 字节型多变长码划分为以下 3 个类别。

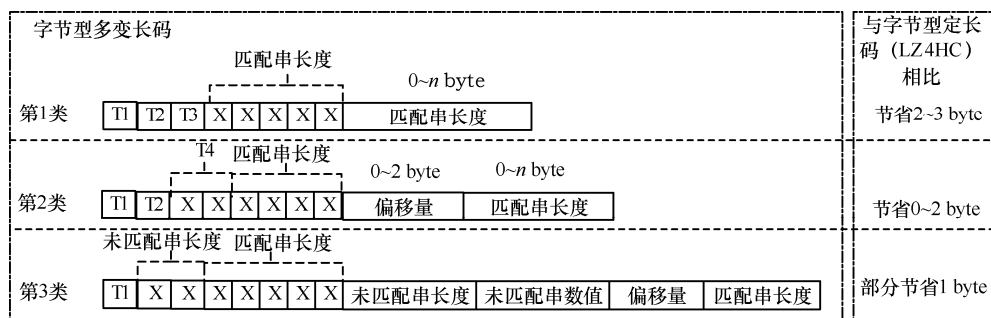


图4 字节型多变长码编码算法及其与 LZ4HC 算法编码字节数目比较

表2 字节型多变长码编码算法中新增语法元素含义和取值范围说明

语法元素	含义	每个类别中的取值说明
T1	未匹配串长度是否为0	第1、2类中T1取值为0(表示为0),第3类中取值为1
T2	Offset是否为1或 W	第1类中T2取值为0,第2类中取值为1
T3	Offset是1或 W	T3为0表示Offset为1,否则表示Offset为 W
T4	Offset是 $W-1$ 或 $W+1$,或其他值	T4为00表示Offset为 $W-1$,01表示Offset为 $W+1$,10表示Offset ≤ 256 (用1字节表示),11表示Offset >256 (用2字节表示)

(1) T1和T2都取值为0的类别

在第1类中,编码的第1个字节中包含了4个语法元素,依次是T1~T3、匹配串长度,这4个语法元素分别占用1 bit、1 bit、1 bit和5 bit。在这个类别中,T1取值为0表示未匹配串长度为0,只需要1 bit来表示即可;T2取值为0(T3取值为0或1)分别表示该类别中的Offset取值为1或 W ,无须额外的字节来表示Offset(节省2 byte);另外,分配给匹配串长度的比特数目由4变成了5,相对应地,不需要额外消耗字节数来表示的匹配串长度的范围从0~14扩大至0~30(部分匹配串长度的编码节省1 byte)。因此,第1类的字节型多变长码方案较字节型定长码方案可以节省2~3 byte。

(2) T1取值为0而T2取值为1的类别

在第2类中,第1个字节中包含了4个语法元素,依次是T1、T2、T4、匹配串长度,这4个语法元素分别是1 bit、1 bit、2 bit和4 bit。分析同第1类。因此,第2类的字节型多变长码方案较字节型定长码方案可以节省0~2 byte。

(3) T1取值为1的类别

第3类中,编码的第1个字节中包含了3个

语法元素,依次是T1、未匹配串长度和匹配串长度,这3个语法元素分别是1 bit、2 bit、5 bit。第3类与字节型定长码方案的区别在于,增加了T1标识和对未匹配串长度和匹配串长度的比特划分采用非等分的方式,部分比例的匹配串长度编码能节省1 byte。

3.2 BMVLC中邻近偏移量优先的Offset编码参数分段映射方案

根据匹配串偏移量特性,本文提出了邻近偏移量(参考位置是当前位置的邻近位置的偏移量)优先的Offset编码参数分段映射方案。通过将出现概率高的邻近偏移量(具体指 W 和 $2W$ 附近的Offset)分段映射为更小的值,从而消耗更少的字节。表3给出了Offset编码参数分段映射方案。一共分为5段,第一段是 W 附近的 $W-6 \sim W+6$ 之间除掉 W 之外的12个Offset按照出现概率的高低映射为1~12;第二段是 $2W$ 附近的3个Offset映射为13~15;第三段是 $W-9 \sim W-7$ 的3个Offset映射为 $2W-1 \sim 2W+1$;第四段是 $1 \sim W-10$ 映射为 $16 \sim W+5$;其他值不变。解码时将映射后的值变成映射前的Offset值即可。

表 3 Offset 编码参数分段映射方案

映射前的 Offset 值	映射后的 Offset 值
$W-6 \sim W+6$ (12 个 Offset, 不含 W)	1~12
$2W-1 \sim 2W+1$ (3 个 Offset)	13~15
$W-9 \sim W-7$ (3 个 Offset)	$2W-1 \sim 2W+1$
1~ $W-10$	16~ $W+5$
其他值	不变

3.3 BMVLC 中匹配串长度分段编码方案

根据匹配串长度特性, 提出了匹配串长度分段编码方案。表 4 给出了匹配串长度分段编码方案。其中第 1 类和第 3 类中标识字节中匹配串长度的比特数目为 5。比如匹配串长度为 2 581 ($255 \times 10 + 31$) 时, 采用表 1 中 LZ4HC 算法需要额外消耗 10 byte, 但采用提出的分段编码方案只需要额外消耗 2 byte, 减少了 8 byte。

4 实验结果与分析

4.1 测试数据集

同第 2.1 节, 本文选用 236 个典型的涵盖各种应用需求的 Alpha 实验数据。

4.2 对比算法和实验参数设置

为了便于说明本文算法的特性, 将本文提出的 BMVLC-SM 算法与以下 4 种算法进行比较: LZ4HC^[15]; zlib, 除 LZ4HC 之外的字典编码算法的代表; PNG, 目前使用最广泛的互联网图像编码算法, 图像压缩算法的代表; x265, 业界广泛使用的 HEVC 标准的商用高速编码器, 视频编码标准的代表, 其中 x265 的解码时间采用 HEVC

标准的官方参考软件 HM 来衡量。

实验环境配置为 Intel XECON CPU X5460 @3.16 GHz (2 核处理器)、32 GB 内存、1.5 TB 硬盘、Windows 8 x64 操作系统的服务器。实验结果从编码效率 (评价指标包括压缩码流总字节数的比值、单个序列的压缩比和 236 个序列的平均压缩比) 和复杂度 (评价指标包括国际标准制定工作中通用的编、解码运行时间的比值和编码+解码运行时间比值、总编码运行时间、总解码运行时间、总编+解码运行时间) 来衡量算法的性能。采用微秒计时器进行计时。

表 5 给出了 5 种算法的参数配置。level 表示在散列链上搜索的次数为 $2^{\text{level}-1}$ 。一般而言, level 越大, 编码时间越长, 编码的效率越好。preset 是 x265 的配置参数。

表 5 编码算法参数配置

编码算法	配置参数
LZ4HC、BMVLC-SM	level 1~level 4
zlib、PNG	fast (level 1)、default (level 6)、slow (level 9)
x265	fast (preset 0)、default (preset 5)、slow (preset 9)

表 6 给出了 BMVLC-SM 和 LZ4HC (level 1 ~ level 4) 算法实验比较结果, 包括单个序列和所有序列每个 level 的压缩码流总字节数比值、编码时间比值、编码+解码时间比值和 4 个 level 的平均值。表 7 给出了 BMVLC-SM level4 和 zlib、PNG 和 x265 的实验比较结果。图 5 给出了 BMVLC-SM 算法与其他算法的编码效率 (压缩比) 比较结果,

表 4 匹配串长度分段编码方案

匹配串长度 (ml) 的值	分段编码方案
$ml < 30$	用标识字节的最低 5 bit 表示
$30 \leq ml \leq 30+255$	标识字节的最低 5 bit 设置为 11110, 减去 30 的部分, 用 1 byte 表示
$31+255 \leq ml \leq 31+255+65\ 534$	标识字节的最低 5 bit 设置为 11111, 减去 31+255 的部分, 用 2 byte 表示
$ml \geq 31+255+65\ 535$	标识字节的后 5 bit 设置为 11111, 接着 2 byte 全设置为 1, 减去 655 665 的部分, 用表 1 中 LZ4HC 算法进行编码



表6 BMVLC-SM 和 LZ4HC (level 1~level 4) 算法实验比较结果

BMVLC-SM / LZ4HC	单个序列结果 (分辨率: 6 614 dpi×5 093 dpi, 图 2 第 2 行第 6 幅)					所有序列汇总结果				
	level1	level2	level3	level4	平均	level1	level2	level3	level4	平均
压缩码流总字节数比值	55.22%	55.04%	54.93%	54.86%	55.01%	87.56%	88.27%	88.92%	89.38%	88.53%
编码时间比值	95.84%	87.22%	75.42%	61.30%	79.95%	95.32%	88.53%	79.24%	69.25%	83.10%
解码时间比值	100.72%	99.35%	97.71%	98.22%	99.00%	115.14%	118.23%	117.08%	116.81%	116.82%
编码+解码时间比值	96.73%	89.27%	78.81%	65.89%	82.68%	98.45%	92.86%	84.06%	74.33%	87.42%

表7 BMVLC-SM level4 和 zlib、PNG 和 x265 (fast、default、slow 配置) 实验比较结果

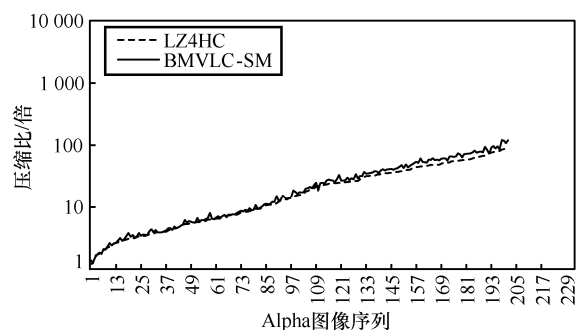
	zlib (fast)	zlib (default)	zlib (slow)	PNG (fast)	PNG (default)	PNG (slow)	x265 (fast)	x265 (default)	x265 (slow)
压缩码流总字节数比值	91.69%	114.88%	119.39%	100.97%	131.67%	137.33%	93.89%	137.63%	139.95%
编码时间比值	87.06%	30.45%	10.77%	31.30%	17.18%	4.74%	8.00%	3.49%	3.05%
解码时间比值	21.73%	20.12%	20.34%	18.57%	15.92%	16.19%	1.35%	1.57%	1.57%

其中图 5 (a) 给出了单个序列 (236 个序列) BMVLC-SM 算法与 LZ4HC 算法压缩比比较结果; 图 5 (b) 给出了 236 个序列各算法的平均压缩比比较结果。图 6 给出了 BMVLC-SM 算法与其他算法的复杂度比较结果, 包括总的编码时间比、总的解码时间和总的编码+解码时间的比较。图 5 和图 6 中 BMVLC-SM 算法和 LZ4HC 算法都采用 level4 的配置, 其他算法选择 fast 配置。

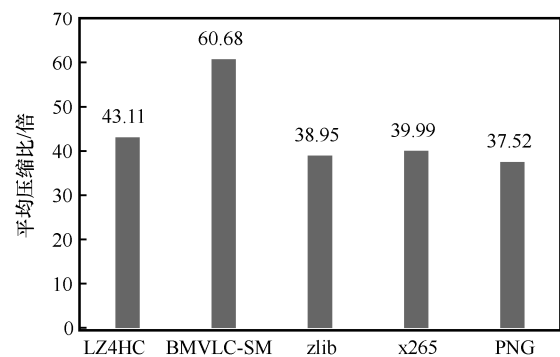
4.3 实验结果分析与结论

从以上实验结果, 可以得出以下结论。

(1) BMVLC-SM 算法与 LZ4HC 算法相比, 从表 6 中可知, 在编码+解码时间平均降低 12.6% 的前提下, 编码效率提升了 11.5%, 很好地体现了 BMVLC-SM 算法具有兼顾高编码效率和超低复杂度的优势。从图 5 (a) 中可知, 单个 Alpha 图像的压缩比 BMVLC-SM 算法较 LZ4HC 算法都有提升, 部分序列提升非常显著 (比如表 6 中分辨率为 6 614 dpi×5 093 dpi 的单个序列)。注意到图 6 中总编码时间和解码时间的比较情况, 由于 LZ4HC 算法的解码速度非常快, 比编码速度快很多, 编码时间远大于解码时间, 是实际应用中的瓶颈。因此, 如图 6 (c) 所示, 虽然 BMVLC-SM 算法



(a) 236个序列BMVLC-SM算法与LZ4HC算法压缩比



(b) 平均压缩比

图5 BMVLC-SM 算法与其他算法的编码效率 (压缩比) 比较结果

与 LZ4HC 算法相比, 解码时间有一些增加, 但是远不及编码时间的减少部分, 总编码时间+解码时间降低。

(2) BMVLC-SM 算法与 zlib、PNG 和 x265

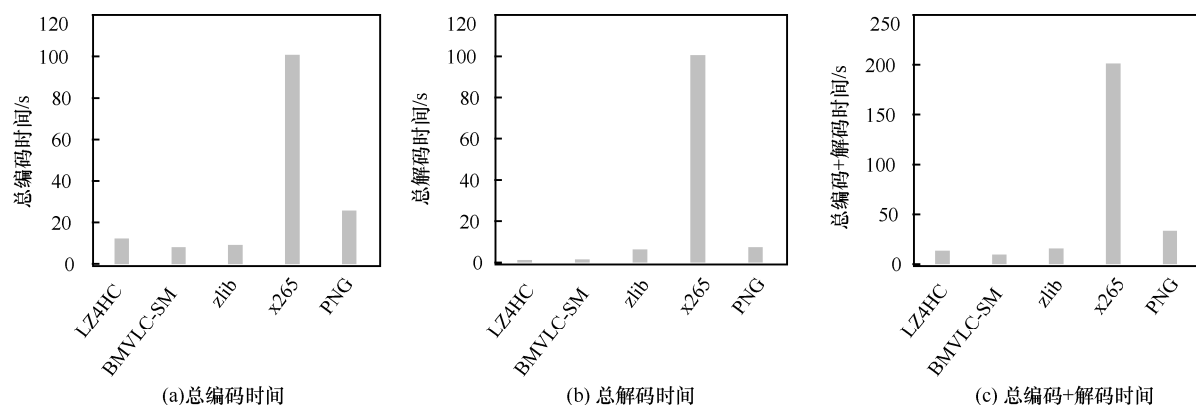


图6 BMVLC-SM 算法与其他算法的复杂度比较结果

相比,同样具有超低复杂度兼高编码效率的优势。从表7中可知,level4配置的BMVLC-SM算法,与fast配置的zlib、PNG和x265相比,编码时间分别降低至87.06%、31.30%和8%,解码时间分别降低至21.73%、18.57%、1.35%,消耗字节数分别为91.69%、100.97%和93.89%,即在编码时间或解码时间降低几倍~几十倍的前提下,编码效率进一步提高或相当。zlib、PNG和x265的其他配置(default、slow)与BMVLC-SM level4算法相比,编解码复杂度成倍地增加(编码时间或解码时间最多增加了70倍以上),但是编码效率提升不显著(不超过40%)。从图5和图6中可知,BMVLC-SM level4算法和zlib、PNG和x265(fast配置)相比,在总编码时间、总解码时间和总编码+解码时间显著减少的前提下,编码效率显著提升,其中BMVLC-SM平均压缩比为60.68倍,远远超过zlib、PNG和x265的压缩倍数。

(3) BMVLC-SM算法压缩效率的提升程度与Alpha图像内容相关。从图5(a)中可知,单个Alpha图像的压缩比从1.27倍到1330.63倍不等。其中最难压缩的是图2中第4行第4幅(1.27倍)Alpha图像;压缩效率最好的是图2中第5行第8幅(1330.63倍)Alpha图像。

5 结束语

本文根据Alpha图像的特性和串匹配编码

参数的统计特性,在LZ4HC算法的基础上,提出和实现了基于BMVLC-SM的Alpha图像编码算法。通过对多个串匹配编码参数采用字节型多变长码编码方案进行联合优化编码,对偏移量参数采用邻近偏移量优先的分段映射编码方案和对匹配串长度参数采用分段编码方案来达到超低计算复杂度和兼顾高编码效率。实验结果验证了BMVLC-SM算法的超低复杂度兼高编码效率的优势。下一步的工作是进一步研究基于串匹配的Alpha图像编码算法以及使用有损串匹配。

参考文献:

- [1] ITU. Beyond HEVC: versatile video coding project starts strongly in joint video experts team[Z]. 2018.
- [2] 罗法蕾, 马思伟. 新一代 AVS3 视频编码技术的需求[Z]. 2017.
LUO F L, MA S W. The need for a new generation of AVS3 video coding technology[Z]. 2017.
- [3] AGHITO S M, FORCHHAMMER S. Context based coding of quantized alpha planes for video objects[J]. IEEE Workshop on Multimedia Signal Processing, 2002: 101-104.
- [4] WIEGAND T, SULLIVAN G J, BJONTEGAARD G, et al. Overview of the H.264/AVC video coding standard[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2003, 13(7): 560-576.
- [5] NACCARI M, MRAK M. Binary alpha channel compression for coding of supplementary video streams[J]. IEEE International Workshop on Multimedia Signal Processing, 2013, 5(1): 200-205.
- [6] 马思伟, 罗法蕾, 黄铁军. AVS2 视频编码标准技术特色及应



- 用[J]. 电信科学, 2017, 33(8): 3-15.
- MA S W, LUO F L, HUANG T J. Kernel technologies and applications of AVS2 video coding standard[J]. Telecommunications Science, 2017, 33(8): 3-15.
- [7] 王诗涛, 丁飘, 黄晓政, 等. TPG 图像压缩技术[J]. 电信科学, 2017, 33(8): 35-44.
- WANG S T, DING P, HUANG X Z, et al. TPG image compression technology[J]. Telecommunications Science, 2017, 33(8): 35-44.
- [8] 赵利平, 林涛, 周开伦, 等. 一种多色度格式级联编码的 AVS2 全色度图像编码算法[J]. 电信科学, 2018, 34(4): 57-67.
- ZHAO L P, LIN T, ZHOU K L, et al. A multi-chroma format cascaded coding method for full-chroma image in AVS2[J]. Telecommunications Science, 2018, 34(4): 57-67.
- [9] LIN T, ZHANG P J, WANG S H, et al. Mixed chroma sampling-rate high efficiency video coding for full-chroma screen content[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2013, 23(1): 173-185.
- [10] ZHAO L P, TIN T, ZHOU K L, et al. Pseudo 2D string matching technique for high efficiency screen content coding[J]. IEEE Transactions on Multimedia, 2016, 18(3): 339-350.
- [11] 林涛, 蔡文婷, 陈先义, 等. 一种高性能低复杂度的基于串匹配的屏幕图像无损压缩算法[J]. 电子与信息学报, 2017, 39(2): 351-359.
- LIN T, CAI W T, CHEN X Y, et al. Lossless compression algorithm based on string matching with high performance and low complexity for screen content coding[J]. Journal of Electronics & Information Technology, 2017, 39(2): 351-359.
- [12] ZHAO L P, ZHOU K L, GUO J, et al. A universal string matching approach to screen content coding[J]. IEEE Transactions on Multimedia, 2018, 20(4): 796-809.
- [13] 赵利平, 周开伦, 林涛, 等. 通用串预测算法及在 AVS2 屏幕与混合内容视频编码中的应用[J]. 计算机学报(已录用).
- ZHAO L P, ZHOU K L, LIN T, et al. A universal string prediction approach and its application in AVS2 mixed content coding[J]. Chinese Journal of Computers(Accepted).
- [14] ZIV J, LEMPEL A. A universal algorithm for sequential data compression[J]. IEEE Transactions on Information Theory, 1977, 23(3): 337-343.
- [15] YANG C. LZ4-extremely fast compression[Z]. 2016.
- [16] 王诗涛, 黄晓政, 刘海军, 等. 互联网图像编码(Webpage Content Coding, 简称 WCC)的通用测试序列(单帧)建议: AVS M4245[S]. 2017.
- WANG S T, HUANG X Z, LIU H J, et al. Proposal for the

common test sequence material(single frame) for the Webpage content coding: AVS M4245[S]. 2017.

[作者简介]



赵利平(1984-), 女, 博士, 绍兴文理学院计算机科学与工程系讲师, 主要研究方向为高效视频编码、屏幕图像编码。



林涛(1958-), 男, 博士, 同济大学超大规模集成电路研究所教授, 长江学者特聘教授, 主要研究方向为高效视频编码、屏幕图像编码、多媒体芯片设计等。



周开伦(1977-), 男, 博士, 同济大学超大规模集成电路研究所讲师, 主要研究方向为视频编码, 超大规模集成电路架构、设计与验证。



彭华(1980-), 男, 博士, 绍兴文理学院计算机科学与工程系讲师, 主要研究方向为仿脑智能系统、人—机器人交互和机器学习。



胡珂立(1989-), 男, 博士, 绍兴文理学院计算机科学与工程系讲师, 主要研究方向为图像处理、目标跟踪。