HEVC-SCC 自适应调色板模式快速决策算法

方诚，刘昱

天津大学微电子学院，天津 300072

摘要　随着图像内容不断丰富，由计算机产生的屏幕内容(SC)图像开始普及。针对这类图像，高效视频编码标准(HEVC)增加了调色板模式来提升对 SC 图像的压缩性能，但会增加计算复杂度和编码时间。提出了一种基于视频内容复杂度分析的自适应调色板模式快速决策算法。该算法将图像亮度分量分块，并用离散余弦变换(DCT)来衡量每个块的复杂度，然后根据复杂度值形成判别矩阵，最后根据判别矩阵结合编码单元的信息来自适应地关闭或启用调色板模式，以减少计算量和编码时间。根据实验结果，当参考编码器设为启用调色板模式时，本文算法能节省的总编码时间达到完全关闭调色板模式所节省时间的 69.24%，而相同峰值信噪比下的码率差异(BDBR)平均增加 0.33%，相同码率下的峰值信噪比差异(BDPSNR)平均下降 0.03 dB，基本不影响视频质量。

关键词　图像处理；调色板模式；纹理复杂度；屏幕内容编码

中图分类号　TN919.81　　**文献标识码**　A　　**doi**：10.3788/LOP55.071001

HEVC-SCC Adaptive Palette Mode Fast Decision Algorithm

Fang Cheng, Liu Yu

School of Microelectronics, Tianjin University, Tianjin 300072, *China*

Abstract　With the development of the image content, screen content (SC) images generated by computers begin to spread. In order to code the screen content more efficiently, a new tool named palette mode is added into the High Efficiency Video Coding (HEVC) to improve the compression performance, but it will greatly increase the computational complexity and coding time. We propose an adaptive palette mode decision algorithm based on the complexity analysis of the video content. The proposed algorithm divides the luminance component of the image into blocks and applies discrete cosine transform (DCT) to measure the complexity of each block. Then a judge matrix is derived based on the complexity values. Finally, the coding unit information and the judge matrices are used to judge whether to enable or disable the palette mode. According to the experimental results, compared with the anchor encoder that enables the palette mode, the total encoding time saving of the proposed algorithm can reach 69.24% of the total encoding time saving when the palette mode is disabled, with averagely 0.33% of the bjØntegaard delta bit rate (BDBR) increase and 0.03 dB of the bjØntegaard delta peak signal-to-noise ratio (BDPSNR) decrease.

Key words　image processing; palette mode; texture complexity; screen content coding

OCIS codes　100.3008; 100.2960; 100.2000

1　引　　言

随着信息技术和图像技术的发展，视频图像内容变得越来越丰富。除了由摄像机拍摄的自然图像，一类新的由计算机产生的图像正在普及并深入人们的生活，这类图像被称为屏幕内容(SC)图像。与自然图像相比，SC 图像具有许多不同的特征，比如通常有大面积的均匀平面，有重复的图案和字符，颜色具有高饱和度但种类有限，图像对比度高，有锐利的边缘等。但由于最初的高效率视频编码

收稿日期：2017-11-28；**收到修改稿日期**：2017-12-14

基金项目：国家自然科学基金(61373102)

作者简介：方诚(1993—)，男，硕士研究生，主要从事视频编解码方面的研究。E-mail：tjufangcheng@163.com

导师简介：刘昱(1976—)，男，博士，副教授，博士生导师，主要从事视频编码、压缩感知、室内定位方面的研究。E-mail：liuyu@tju.edu.cn

(HEVC)[1]针对自然图像而设计，并没有针对 SC 图像的特征进行优化，因此理论上来讲针对 SC 图像的编码效率还有很大的提升空间。如今多样化的 SC 图像得到越来越广泛的应用，如桌面会议、同屏共享、车载显示、游戏直播等，因而对 SC 图像提升压缩性能的需求变得越来越强烈。

为了提高对 SC 图像的编码效率，HEVC 工作组于 2014 年 1 月发布了屏幕内容编码(SCC)标准的征集建议书(CfP)[2]，据此形成了新的标准，即 HEVC-SCC[3]。HEVC-SCC 中添加了四种新的工具，分别为调色板模式、帧内块复制、自适应颜色变换以及自适应运动矢量分辨率。其中调色板模式针对 SC 图像颜色复杂度较小的特点进行设计，可有效提升大多数 SC 视频图像的压缩性能。

调色板模式提出后，有研究人员对其进行了改进。文献[4]提出了 copy-left 和 copy-above 两种编码方式以提高编码效率。文献[5]总结了基于调色板模式的编码技术。文献[6]对调色板模式中的调色板生成、调色板编码、调色板指针编码过程进行了详细描述。文献[7]提出了五种能提高调色板模式编码效率的技术。文献[8]通过基于尖锐边缘和方向边缘的检测，跳过一些无用的模式。文献[9]将编码单元(CU)分为自然图像单元(NCCU)和屏幕图像单元(SCCU)，并针对不同的单元提出了若干快速算法。文献[10]提出跨 CU 边界的过渡复制和预测，以提升颜色指针编码性能。文献[11]提出了一种新的 copy-inter 调色板复制模式。

如今，人们越来越多地使用智能手机、便携式电脑等移动设备来获取视频信息，包括 SC 视频内容。随着 SC 图像种类越来越丰富，且移动设备的处理能力受限，需要更为高效的针对 SC 视频内容的编码方式。然而，启用调色板模式会大大增加计算复杂度，大量消耗移动设备的资源。鉴于此，本文提出了针对调色板模式的快速决策算法。

2　调色板模式概述

与自然图像相比，SC 图像有一个很独特的特征：SC 图像的颜色复杂度往往小于自然图像，这也是设计调色板模式的动机。HEVC-SCC 的调色板模式基于 CU 设计，若一个 CU 启用调色板模式，则它会选取 CU 中一系列代表色来形成一个调色板表格，随后根据这个调色板表格和 CU 的信息形成调色板指针图。调色板指针图将 CU 中的像素分为主颜色和逃离色。调色板表格中主颜色的指针标识会被编码；不在调色板表格中的颜色会被判定为逃离色，其被量化后的颜色值会被编码。调色板模式会应用两种编码方式 copy-left mode 和 copy-above mode 来提升编码效率。调色板模式的具体算法描述如下。

首先生成一个调色板表格。从原始 CU 中选出其中的代表色(一般用 K-means 聚类算法[12])。这些代表色被提取出来并依次记录在一个调色板表格中(包括 YCbCr 或 RGB)，又称为主颜色。若选出的代表色有 n 种，那么这个调色板表格的大小就是 n。随后为调色板表格中的每一种颜色赋予一个调色板指针，如 0，1，2 等，用来指代其颜色。调色板表格生成的过程会有大量的计算，特别是对图像纹理和颜色十分复杂的情况。此外，调色板表格需要传输到解码端，这会耗费大量的比特数。为减少比特消耗，提升编码效率，调色板模式采用了预测编码的方式：由于相邻的 CU 所包含的颜色间具有很强的相关性，因此可用相邻的已通过调色板模式编码的 CU 的调色板表格作为预测器来预测当前 CU 的调色板表格[13-15]。

调色板表格生成后，会根据此表生成一个调色板指针图，原 CU 中与调色板中主颜色相近的颜色都会用主颜色对应的指针表示。为提升调色板指针的编码效率，会采用两种基于 run-length 的编码方式，即 copy-left mode 和 copy-above mode，来对调色板指针进行编码。详细的调色板编码流程可参考文献[5]。

调色板模式是为颜色种类较少的 SC 图像设计的。对于一些颜色种类过少或为纯色块的区域，传统的预测模式也能高效地对这些区域进行编码[16]，因此对此类图像采用调色板模式的压缩性能提升可能十分有限。针对这一设想开展了验证实验。测试序列如图 1 所示，图像中有大量非常平坦的区域以及纯色块。测试序列在启用调色板模式和关闭调色板模式下的对比实验结果如表 1 所示。

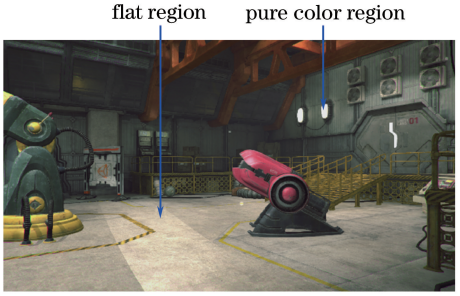

图 1　测试序列“sc_Robot”

Fig. 1　Test sequence "sc_Robot"

表 1　序列“sc_Robot”在启用调色板模式和关闭调色板模式下的对比实验结果

Table 1　Comparison experiment results of "sc_Robot" between disabling and enabling the palette mode

Sequence	BDPSNR /dB	BDBR /%	T_{sd}/%
sc_Robot	0.01	−0.27	17.93

表 1 中 BDPSNR 和 BDBR 是视频编码中普遍使用的衡量编码质量的参数。BDPSNR 代表相同码率下的峰值信噪比(PSNR)差异，BDBR 代表相同 PSNR 下的码率差异。T_{sd}表示关闭调色板模式与启用调色板模式相比所节省的编码时间，其计算公式为

$$T_{sd}=\frac{|T_d-T_r|}{T_r}\times 100\%,\tag{1}$$

式中：T_r 代表 SCC 编码模型(SCM-5.0)启用调色板模式所耗费的总编码时间，T_d 代表关闭调色板模式时的总编码时间。

表 1 结果显示，对于图 1 所示序列，与原来的编码模式相比，启用调色板模式对图像质量基本没有影响，但编码时间却大大增加。本文提出一种快速算法，通过分析图像复杂度，能够自适应地进行调色板的启用或关闭。

3　调色板快速决策算法设计

调色板模式会大大增加计算复杂度。该模式对一般的 SC 图像编码效果较好，但对过于简单的 SC 图像则作用较小，因为传统的编码模式也能高效编码[16]，因此直接对 SC 图像启用调色板模式可能效果不佳。本文提出一种算法，能根据 SC 图像的内容自适应地启用或关闭调色板模式，从而大幅度提升编码效率。算法流程如图 2 所示。

将输入序列的每一帧图像的亮度分量分割为 8×8的块(最小的 CU 块)，分别对每个块作离散余弦变换(DCT)。得到每个块的DCT系数$A_{i,j}$后，取

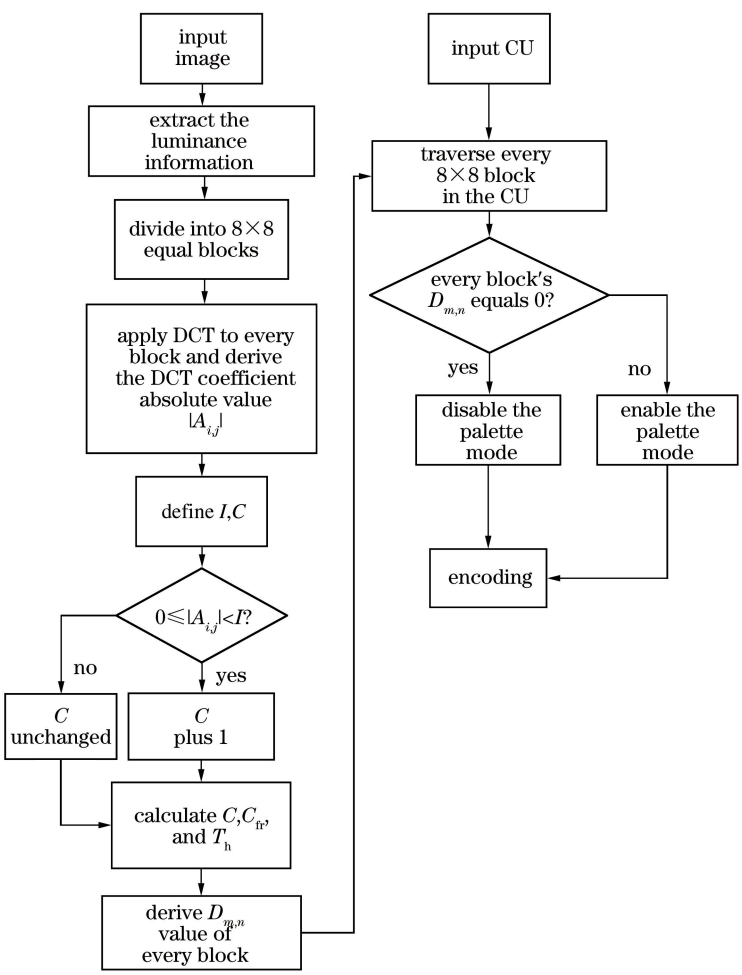

图 2　本文算法流程图

Fig. 2　Flow chart of the proposed algorithm

绝对值$|A_{i,j}|$，i 和 j 为 DCT 系数的行和列。

定义参数 C 为每个 8×8 块的复杂度。计算复杂度 C 的具体方法如下。设定一个常数值 I 作为阈值，遍历每个块中所有的$|A_{i,j}|$值，将其与阈值 I 进行对比，当$|A_{i,j}|$小于 I 时，C 加 1，否则 C 不变。即 C 值越大，则当前块的复杂度越低。

对 DCT 变换后的图像以及 DCT 系数进行分析。当某个点的$|A_{i,j}|$值小于 10 时能量变化不明显，因此在本文算法实验中将阈值 I 设为 10 左右，具体的 I 值将在实验结果分析部分予以说明。一个块中小于 I 的$|A_{i,j}|$值越多，当前块的 C 值就越大，此块越平坦。当计算得到一帧中所有块的 C 值后，可以将所有 C 值进行加权平均代表一帧的平均 C 值，用 C_{fr}来表示：

$$C_{\mathrm{fr}}=\sum_{j=0}^{h/8-1}\sum_{i=0}^{v/8-1}C_{i,j}/N,\ N=\frac{h\times v}{8\times 8},\tag{2}$$

式中：v 和 h 分别为一帧中纵向和横向像素点数量，N 为一帧中 8×8 块的数量。

通过前述分析可知，适合启用调色板模式的图像区域不应该过于平坦，因此要确定一个门限值 T_{h}。要利用 T_{h} 值来确定适合启用调色板模式的图像区域，其公式为

$$T_{\mathrm{h}}=C_{\mathrm{fr}}\alpha,\tag{3}$$

式中 α 为伸缩系数。通过实验中对测试序列的分析，实验中将 α 设为 0.75，因为当一个块的 C 值大于 $0.75C_{\mathrm{fr}}$时，此块所包含的细节非常少且趋近于一个纯色块。由(3)式得到门限值后，将每个 8×8 块的复杂度 C 与门限值 T_{h} 进行对比，得出每个块对应的调色板预决策指数 $D_{m,n}$：

$$\begin{cases}D_{m,n}=0, & C>T_{\mathrm{h}}\\ D_{m,n}=1, & C\leqslant T_{\mathrm{h}}\end{cases}。\tag{4}$$

一帧中所有 $D_{m,n}$组成一个判别矩阵，m 和 n 为 $D_{m,n}$在此判别矩阵中的行和列。$D_{m,n}$为 0 说明此 8×8 块过于平坦，否则 $D_{m,n}$为 1。

HEVC 中 CU 的尺寸是多样的，包括 64×64，32×32，16×16，8×8[17]。前述 $D_{m,n}$仅对应 8×8 块，所以不能将 $D_{m,n}$值直接用于 CU 的调色板判别。因此本文算法在判断是否对当前 CU 启用调色板之前，会遍历当前 CU 中包含的所有 8×8 块。若当前 CU 中所有块对应的 $D_{m,n}$值都为 0，表示该 CU 过于平坦，应该关闭调色板模式，否则该 CU 启用调色板模式。

4　结果与讨论

本文所用的标准编码器是 HM-16.6 和 SCM-5.0，SCM-5.0 是加上 SCC 扩展工具后的官方编码器。实验设备是一台配置为 Intel Core i7 CPU-2.67 GHz，6 G RAM 的电脑。编码的配置文件为 all-intra-main-scc，量化参数(QP)设为 22，27，32，37。测试序列为 JCT-VC 文件所推荐的标准序列[18]。表 2 列出了实验所用测试序列，其中 M 代表混合图像，CC 代表摄像机拍摄的自然图像，A 代表动画，TGM 代表运动的图像和文本。YUV 采样格式都为 4∶4∶4，Y 代表亮度分量，U 和 V 代表色度分量。

表 2　实验所用的标准测试序列

Table 2　Standard test sequences used in the experiment

Sequence	Category	Resolution /(pixel×pixel)	Frame rate /(frame·s^{-1})	YUV
MissionControlClip3	M	1920×1080	60	4∶4∶4
Kimono1	CC	1920×1080	24	4∶4∶4
sc_Robot	A	1280×720	60	4∶4∶4
sc_Programming	TGM	1280×720	60	4∶4∶4
sc_SlideShow	TGM	1280×720	20	4∶4∶4
sc_Web_Browsing	TGM	1280×720	30	4∶4∶4

如第 3 节所述，本文算法的 I 值设置为 10 左右。表 3～5 所示为 I 分别设为 9，10，11 时本文算法与 SCM-5.0(启用调色板)的对比实验结果。计算本文算法节省的编码时间的公式如下：

$$T_{\mathrm{sa}}=\frac{|T_{\mathrm{a}}-T_{\mathrm{r}}|}{T_{\mathrm{r}}}\times 100\%,\tag{5}$$

式中：T_{sa}表示本文算法与启用默认调色板模式相比节省的总编码时间，T_{r} 代表原来的 SCC 编码模型(SCM-5.0)启用调色板模式所耗费的总编码时间，T_{a} 代表本文算法的总编码时间。

由表 3～5 可以看出，当 I 设为 9 时，BDPSNR 和 BDBR 表现最好，但是编码时间较长，即节省的编码时间较少。当 I 设为 11 时，节省的编码时间较多，但 BDPSNR 和 BDBR 表现较差。当 I 设为 10 时，表现

比较平均。从具体每个测试序列的实验结果来看，当 I 值设为 11 时，sc_Web_Browsing 和 sc_SlideShow 这两个测试序列的 BDPSNR 减少都超过了 0.1 dB，而视频编码中一般认为 BDPSNR 相差超过 0.1 dB 时，就能较为明显地感知图像质量的差异。所以本文算法要求选取的 I 值在每个测试序列的 BDPSNR 减少不超过0.1 dB的情况下，编码时间节省最多。对比三种 I 值下的实验结果，I 设置为 10 为最优选择。

表 3　$I=9$ 时本文算法与 SCM-5.0 的比较

Table 3　Performance of the proposed algorithm compared with the SCM-5.0 when I is set to 9

Sequence	BDPSNR / dB	BDBR / %	T_{sa} /%
MissionControlClip3	−0.01	0.08	4.89
Kimono1	−0.00	0.01	8.67
sc_Web_Browsing	−0.09	0.64	3.26
sc_Programming	−0.01	0.09	4.03
sc_SlideShow	−0.08	1.10	8.99
sc_Robot	0.01	−0.19	13.87
Average	−0.03	0.29	7.28

表 4　$I=10$ 时本文算法与 SCM-5.0 的比较

Table 4　Performance of the proposed algorithm compared with the SCM-5.0 when I is set to 10

Sequence	BDPSNR / dB	BDBR / %	T_{sa} /%
MissionControlClip3	−0.02	0.18	5.45
Kimono1	−0.00	0.02	10.21
sc_Web_Browsing	−0.09	0.65	4.18
sc_Programming	−0.01	0.13	4.77
sc_SlideShow	−0.08	1.15	10.59
sc_Robot	0.01	−0.15	14.92
Average	−0.03	0.33	8.35

表 5　$I=11$ 时本文算法与 SCM-5.0 的比较

Table 5　Performance of the proposed algorithm compared with the SCM-5.0 when I is set to 11

Sequence	BDPSNR / dB	BDBR / %	T_{sa} /%
MissionControlClip3	−0.02	0.21	5.52
Kimono1	−0.00	0.02	11.45
sc_Web_Browsing	−0.13	0.89	4.30
sc_Programming	−0.01	0.14	4.83
sc_SlideShow	−0.11	1.43	11.18
sc_Robot	0.01	−0.13	15.01
Average	−0.04	0.43	8.71

表 6 所示为 I 为 10 时本文算法与 HM-16.6(关闭调色板)和 SCM-5.0(启用调色板)的对比。

如表 6 所示，本文算法平均可节省编码时间 8.35%，但 BDBR 略有 0.33%的增加，BDPSNR 略降低 0.03 dB，并且所有测试序列的 BDPSNR 下降都在 0.1 dB 以内。为了体现本文算法的效率，可用比值 η 表示本文算法节省的总编码时间占完全关闭调色板模式所节省时间的比例：

$$\eta=\frac{T_{sa}}{T_{sd}}。\tag{6}$$

由(6)式可得 η 为 69.24%。可见本文算法能大幅度提升编码速度。

为直观显示本文算法的编码效果，图 3(a)和图 3(b)分别展示序列 MissionControlClip3 和 sc_Programming 的实验结果曲线图。其中 Enable 代表启用调色板模式，Disable 代表关闭调色板模式。

考虑到其他现有的 HEVC-SCC 快速算法，表 7 列出了其他若干快速算法的实验结果，包括文献[9,19-21]中的算法。这些快速算法所用编码器为 HM-15.0＋SCM-2.0(HM-15.0＋SCM-2.0 和 HM-16.6＋SCM-5.0相比对调色板模式没有变化)。其

表 6　本文算法、HM-16.6 和 SCM-5.0 的性能比较

Table 6　Performance of the proposed algorithm, HM-16.6 and SCM-5.0

Sequence	Proposed algorithm/ Enable default palette mode			Disable default palette mode/ Enable default palette mode		
	BDPSNR /dB	BDBR /%	T_{sa} /%	BDPSNR /dB	BDBR /%	T_{sd} /%
MissionControlClip3	−0.02	0.18	5.45	−1.22	11.23	10.25
Kimono1	−0.00	0.02	10.21	0.00	−0.05	13.14
sc_Web_Browsing	−0.09	0.65	4.18	−3.21	29.59	5.60
sc_Programming	−0.01	0.13	4.77	−1.90	17.80	8.64
sc_SlideShow	−0.08	1.15	10.59	−1.13	15.92	16.78
sc_Robot	0.01	−0.15	14.92	0.01	−0.27	17.93
Average	−0.03	0.33	8.35	−1.24	12.37	12.06

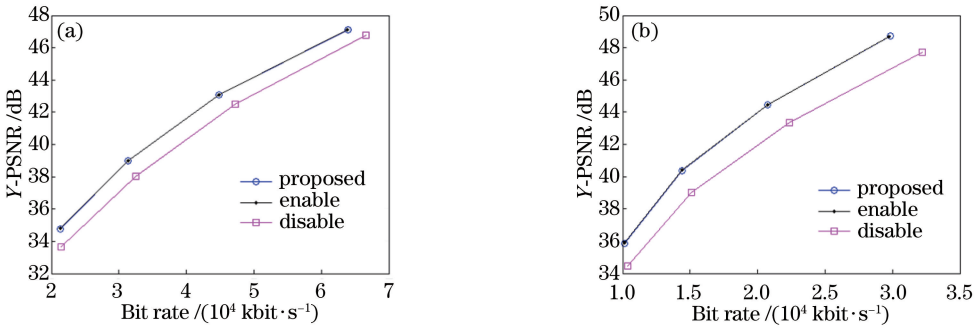

图 3　实验结果对比。(a) MissionControlClip3；(b) sc_Programming

Fig. 3　Comparison of experimental results. (a) MissionControlClip3; (b) sc_Programming

中 T_s 为对应算法和 SCM-2.0 启用调色板模式时相比节省的编码时间。

表 7 中文献[9]根据视频内容的特征将 CU 分为 NCCU 和 SCCU。对于 NCCU，如果 DC 模式和 PLANAR 模式为最优预测模式，则帧内块复制技术和调色板模式会被跳过。对于 SCCU，会应用基于秩的决策策略来终止 CU 的分割过程。结合上述一系列算法，文献[9]的算法平均可节省编码时间50.15%，但 BDBR 和 BDPSNR 表现不及本文算法。文献[19]提出的是一种快速编码树单元(CTU)分割模式决策算法，平均节省 25.12%的编码时间，但其BDBR和BDPSNR表现仍然差于本文算法。文献[20]提出了针对无噪声平坦区域的帧内编码技术，但其压缩性能相对较差。文献[21]提出了一种 CU 深度预测方案和自适应搜索，可平均节省 38.61%的编码时间，其编码质量差于本文算法。

总体而言，由于文献[9]针对调色板编码、帧内块复制、帧内预测模式等多方面进行了改进，相比之下节省的编码时间最多。其他几种算法都不是为调色板模式设计的，但都是与 HEVC-SCC 相关的快速算法，因此也列在表 7 中进行比较。相比之下，本文算法在 BDBR 和 BDPSNR 方面的表现优于表 7 所列其他算法。

表 7　其他算法与 SCM-2.0(启用调色板模式)的比较

Table 7　Performance of other algorithms compared with SCM-2.0 (enable the palette mode)

Sequence	Ref. [9]			Ref. [19]			Ref. [20]			Ref. [21]		
	BDPSNR / dB	BDBR / %	T_s / %	BDPSNR / dB	BDBR / %	T_s / %	BDPSNR / dB	BDBR / %	T_s / %	BDPSNR / dB	BDBR / %	T_s / %
Mission Control Clip3	−0.09	0.82	31.51	−0.02	0.28	16.78	−0.04	0.33	2.60	−0.57	4.85	52.17
Kimono1	−0.04	1.80	78.91	−0.01	0.28	22.88	−0.00	0.02	1.00	0.00	0.02	2.20
sc_Web_Browsing	−0.40	2.63	39.00	−0.19	1.19	23.84	−0.34	2.15	12.96	−0.64	3.81	57.16
sc_Programming	−0.13	1.16	35.87	−0.30	2.68	25.80	−0.03	0.28	5.72	−0.35	3.13	50.03
sc_Slide Show	−0.22	3.00	62.30	−0.07	0.95	47.02	−0.03	0.38	26.30	−0.15	2.10	50.58
sc_Robot	−0.23	5.98	53.30	−0.01	0.34	14.37	−0.02	0.21	5.00	−0.04	1.03	19.50
Average	−0.19	2.57	50.15	−0.10	0.95	25.12	−0.08	0.56	8.93	−0.29	2.49	38.61

本文算法只是针对调色板模式进行关闭或启用的判别设计，从理论上来讲可节省的编码时间不可能超过完全关闭调色板模式所节省的编码时间(完全关闭平均可节省编码时间 12.06%)，因此本文算法节省的编码时间少于表 7 中其他算法。但本文算法的 η 值为 69.24%，说明本文算法十分有效。

5　结　　论

提出了一种基于视频内容的自适应调色板模式决策算法。使用 8×8 的分块 DCT 衡量每个块的复杂度并生成判别矩阵，根据此判别矩阵结合 CU 信息判断是否启用调色板模式，以减少计算量和编码

时间。根据实验可知，当 I 设为 10 时结果最优，此时本文算法能节省的总编码时间达到完全关闭调色板模式时所节省总编码时间的 69.24%，但 BDBR 增加 0.33%，BDPSNR 降低 0.03 dB，实验结果较好。与表 7 中所列其他快速算法相比，本文算法能节省的编码时间相对较少，但编码质量大大好于表 7 中的所有算法。

参 考 文 献

[1] Sullivan G J, Ohm J, Han W J, *et al*. Overview of the high efficiency video coding (HEVC)[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2012, 22(12): 1649-1668.

[2] 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.

[3] Joshi R, Xu J. Working draft 1 of HEVC screen content coding[A]. Document JCTVC-R1005, 2014.

[4] Onno P, Xiu X, Huang Y W, *et al*. Suggested combined software and text for run-based palette mode[A]. Document JCTVC-R0348, 2014.

[5] Xiu X, He Y, Joshi R, *et al*. Palette-based coding in the screen content coding extension of the HEVC standard[C]//Data Compression Conference (DCC), IEEE, 2015: 253-262.

[6] Pu W, Karczewicz M, Joshi R, *et al*. Palette mode coding in HEVC screen content coding extension[J]. IEEE Journal on Emerging and Selected Topics in Circuits and Systems, 2016, 6(4): 420-432.

[7] Sun Y C, Chuang T D, Lai P L, *et al*. Palette mode: A new coding tool in screen content coding extensions of HEVC [C] // International Conference on Image Processing (ICIP), IEEE, 2015: 2409-2413.

[8] Kawakami Y, Chen G, Ikenaga T. Content based mode and depth skipping withsharp and directional edges for intra prediction in screen content coding[C]//12th International Colloquium on Signal Processing & Its Applications (CSPA), IEEE, 2016: 46-49.

[9] Lei J, Li D, Pan Z, *et al*. Fast intra prediction based on content property analysis for low complexity HEVC-based screen content coding [J]. IEEE Transactions on Broadcasting, 2017, 63(1): 48-58.

[10] Sun Y C, Chuang T D, Kim J, *et al*. Improved palette index map coding on HEVC SCC [C] // International Conference on Image Processing (ICIP), IEEE, 2016: 4210-4214.

[11] Zhu W, Zhang K, An J, *et al*. Inter-palette coding in screen content coding [J]. IEEE Transactions on Broadcasting, 2017, 63(4): 673-679.

[12] Joshi R, Xu J, Cohen R, *et al*. Screen content coding test model 2 encoder description (SCM 2) [A]. Document JCTVC-R1014, 2014.

[13] Lai P, Liu S, Chuang T D, *et al*. Non-RCE4: Major color table (palette) sharing[A]. Document JCTVC-P0153, 2014.

[14] Sun Y C, Lai P L, Chuang T D, *et al*. SCCE3 test A.2: Palette coding and palette predictor updates [A]. Document JCTVC-R0119, 2014.

[15] Gisquet C, Laroche G, Onno P. SCCE3 test A.3: Palette stuffing [A]. Document JCTVC-R0348, 2014.

[16] Lainema J, Bossen F, Han W J, *et al*. Intra coding of the HEVC standard[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2012, 22(12): 1792-1801.

[17] Sun X B, Chen X D, Xiao Y Z, *et al*. Fast intra-frame encoding algorithm based on image texture features for HEVC [J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2017, 54(7): 071003.
孙学斌，陈晓冬，肖禹泽，等. 基于图像纹理特征的 HEVC 帧内编码快速算法[J]. 激光与光电子学进展，2017，54(7)：071003.

[18] Yu H, Cohen R, Rapaka K, *et al*. Common test conditions for screen content coding[A]. Document JCTVC-R1015, 2014.

[19] Zhang M, Guo Y, Bai H. Fast intra partition algorithm for HEVC screen content coding [C] // Visual Communications and Image Processing Conference, IEEE, 2014: 390-393.

[20] Tsang S H, Chan Y L, Siu W C. Fast and efficient intra coding techniques for smooth regions in screen content coding based on boundary prediction samples [C] // International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), IEEE, 2015: 1409-1413.

[21] Zhang H, Zhou Q, Shi N, *et al*. Fast intra mode decision and block matching for HEVC screen content compression [C] // International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), IEEE, 2016: 1377-1381.