

## 基于视间相关性的多层次多视点视频编码快速预测算法

王凤随, 杨会成, 王冠凌, 韩 超

(安徽工程大学电气工程学院, 安徽 芜湖 241000)

**摘 要:** 为解决多视点视频编码(MVC)计算复杂度过高的问题, 提出一种多视点视频编码快速预测算法。计算当前宏块 Direct 模式的率失真代价并将其与自适应阈值进行比较, 以提供有效的提前终止策略。当率失真代价小于自适应阈值时, Direct 模式被选作最优模式, 模式选择过程提前终止。当率失真代价大于自适应阈值时, 利用运动复杂度将当前宏块分成不同的运动类型, 每种类型的宏块仅检查指定的模式, 从而使得不必要的模式检查过程提前结束。实验结果表明, 该算法在保持几乎不变的编码效率基础上, 大幅减少了 MVC 的计算量。

**关键词:** 多视点视频编码; 视间相关性; 视间预测; 运动复杂度; 提前终止策略

**中文引用格式:** 王凤随, 杨会成, 王冠凌, 等. 基于视间相关性的多层次多视点视频编码快速预测算法[J]. 计算机工程, 2016, 42(2): 283-286, 292.

**英文引用格式:** Wang Fengsui, Yang Huicheng, Wang Guanling, et al. Multi-level Multi-view Video Coding Fast Prediction Algorithm Based on Inter-view Correlation[J]. Computer Engineering, 2016, 42(2): 283-286, 292.

### Multi-level Multi-view Video Coding Fast Prediction Algorithm Based on Inter-view Correlation

WANG Fengsui, YANG Huicheng, WANG Guanling, HAN Chao

(College of Electrical Engineering, Anhui Polytechnic University, Wuhu, Anhui 241000, China)

**[Abstract]** In order to solve greatly computational complexity in Multi-view Video Coding (MVC), a fast prediction algorithm is proposed based on inter-view correlation for multi-view video coding. This method computes the Rate Distortion (RD) cost of the Direct mode and compares its RD cost with an adaptive threshold as an efficient early termination scheme. If this RD cost is smaller than the adaptive threshold, the Direct mode is selected as the optimal mode and the mode decision process is early terminated. Otherwise, motion complexity is used to divide the current macroblock into different motion types. And only assigned modes are checked for each macroblock, and the unnecessary mode checking process can be early terminated. Experimental results show that the proposed algorithm can significantly reduce the computational load for MVC, while keeping almost the same coding efficiency.

**[Key words]** Multi-view Video Coding (MVC); inter-view correlation; inter-view prediction; motion complexity; early termination strategy

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3428.2016.02.050

## 1 概述

多视点视频是利用多个摄像机同时拍摄而获得的一组视频信号, 能够提供比传统视频更加丰富的多维视觉体验, 当前已经应用到虚拟现实、自由视点电视 (Free viewpoint TV, FTV) 和三维电视 (Three Dimensional TV, 3DTV) 等新兴领域<sup>[1-2]</sup>。MVC 作为 H. 264/AVC 的扩展, 在同一视点内沿用了变尺寸块的帧间预测和帧内预测<sup>[3]</sup>。MVC 不仅利用传统的

运动估计 (Motion Estimation, ME) 进行时域预测, 而且在不同视点之间还采用了视差估计 (Disparity Estimation, DE) 进行视点间预测。由于编码一个视点的计算复杂度就已经相当复杂, 因此多视点视频编码的整体计算量是极其巨大的。为了对多视点视频能进行有效存储和传输, 对多视点视频进行高效压缩十分必要。为此, MVC 快速预测算法值得深入研究, 以提高 MVC 的实际应用能力。

近年来, 国内外研究机构和学者提出了一

**基金项目:** 安徽高校省级自然科学基金资助重点项目 (KJ2015A071); 安徽工程大学引进人才科研启动基金资助项目 (2014YQQ006)。

**作者简介:** 王凤随 (1981 -), 男, 副教授、博士, 主研方向为图像与视频信号处理、计算机视觉; 杨会成, 教授、硕士; 王冠凌、韩超, 副教授。

**收稿日期:** 2015-01-19 **修回日期:** 2015-02-15 **E-mail:** fswang@ahpu.edu.cn

些 MVC 快速预测算法。文献[4]提出利用时间、空间和视间域的模式信息进行 SKIP 模式判断、模式选择提前终止的预测方法。文献[5]通过综合利用时间、空间和视点间相邻宏块率失真(Rate Distortion, RD)代价值的加权平均为阈值,以实现 SKIP 模式提前终止的目的。文献[6]采用相邻视点的邻近宏块编码信息进行 SKIP 模式的判定和模式选择的进一步优化。文献[7]通过设置一系列阈值并利用运动估计的 RD 代价缩减候选预测模式数。文献[8]通过利用空间、时间及视点间的相关编码信息分别计算出空间阈值、时间阈值和视点间阈值,将自适应阈值设置为三者的中值并作为 Direct 模式提前终止的条件。文献[9]提出基于统计的 Direct 模式终止和参考帧选择方案。文献[10]通过比较 Direct 模式和帧间  $16 \times 16$  模式的 RD 代价值分别实现 2 种模式的提前终止。文献[11]利用模式相关性信息提出一种自适应模式选择策略,通过对各预测模式进行排序并在估计之后进行提前终止的判定。文献[12]提出一种基于率失真代价活跃性的宏块编码模式选择方法和快速 ME/DE 算法。上述文献中提出的算法虽然在不同程度上降低了多视点视频编码的计算量,但在计算复杂度减少和率失真性能的保持上并未达到很好的平衡。一般而言,计算量减少较多的算法,对应的率失真性能也下降得更多,反之亦然。

本文在上述研究的基础上<sup>[13-15]</sup>,提出一种利用视点间相关性的 Direct 模式提前终止策略和分层次 MVC 快速模式预测算法,在计算复杂度和率失真性能上实现平衡。

## 2 研究背景

为了达到更高的编码效率,多视点视频编码参考软件(Joint Multi-view Video Coding, JMVC)引入了视点间预测和多种新技术,这使得编码效率提高的同时,计算复杂度增大也十分惊人。与 H.264/AVC 类似,MVC 采用了变尺寸块的模式划分方式,即将宏块模式划分为 Direct, Inter $16 \times 16$ , Inter $16 \times 8$ , Inter $8 \times 16$ , Inter $8 \times 8$ , Intra $16 \times 16$ , Intra $8 \times 8$  和 Intra $4 \times 4$ 。其中每个 Inter $8 \times 8$  块又可进一步划分成 Inter $8 \times 4$ , Inter $4 \times 8$  和 Inter $4 \times 4$ ,合称为 P $8 \times 8$ 。将宏块划分成如此众多的分块就是为了能够准确地捕捉现实视频序列的真实运动或视差信息,然而,精细的宏块划分意味着复杂度的急剧增大。一般而言,模式分块愈大,编码复杂度越小;而模式分块划分得越精细,相应的编码复杂度也就越大。为了研究各种模式分块被选作最优模式的可能性,通过实验给出最优模式的分布情况,如图 1 所示。

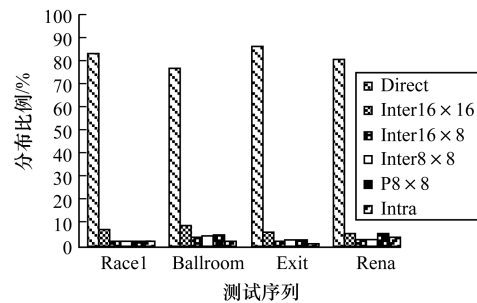


图 1 MVC 最优模式分布比例

从图 1 中可以看出:(1)大部分宏块在经过复杂的模式选择之后,最终都选择 Direct 模式为最优模式,这一点也与实际情形相符合,因为在自然视频序列中,具有缓慢运动的均匀区域是最经常出现的。另一方面,同其他模式划分相比,Direct 模式选择过程不需要进行复杂的 ME 和 DE,所以具有非常小的计算量。因此,若能设计一种方法,可以提前判定 Direct 模式是最佳模式与否,那么 MVC 整个编码时间将会大大减少。(2)其他模式被选择为最佳模式的比例很低,这通常与宏块的运动情况有关。一般而言,具有快速运动的复杂区域常常选择较小的模式分块(如 Inter $8 \times 8$ ),而具有缓慢运动的简单区域通常选择较大的分块(如 Inter $16 \times 16$ )。若能够根据宏块的运动复杂性进一步缩小候选的模式数目,那么编码的计算复杂度会得到进一步的降低。

## 3 本文算法描述

### 3.1 自适应阈值的确定

通过上节的分析不难看出,Direct 模式被选择为最佳预测模式的可能性极大,为此,本文设计一种 Direct 模式提前终止方法来加速 MVC 的模式选择过程。如果当前宏块的 RD 代价值小于自适应阈值,那么 Direct 模式将直接被用作最优模式,跳过其余模式的检查过程。鉴于邻近视点通常具有相似的视频内容,致使在相邻的视点之间具有相似的模式分布。因此,当前视点在邻近视点的对应宏块以及相邻宏块的编码信息(如预测模式、RD 代价和运动矢量等)能够被有效地共享和重用,以用作对当前宏块进行模式预测。图 2 为当前视点宏块及其邻近视点的对应宏块。

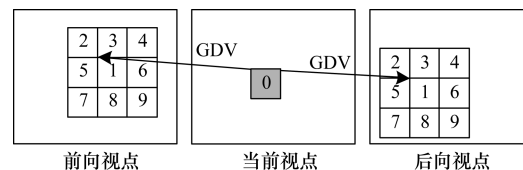


图 2 当前宏块及其邻近视点对应宏块

在图 2 中,MB0 为当前宏块;MB1 为前向视点和后向视点中对应的宏块。它们由全局视差矢量

(Global Disparity Vector, GDV) 来标识, MB2 ~ MB9 为 MB1 的 8 个相邻宏块。

由于相邻视点间对应宏块之间具有相似的视频内容,因此利用视点间的相关性设计自适应阈值  $T$  如下:

$$T = \frac{\sum_{i=1}^N \omega_i \cdot \alpha_i \cdot RDcost(Direct)_i}{\sum_{i=1}^N \omega_i \cdot \alpha_i} \quad (1)$$

其中,  $N$  为宏块数目;  $i$  为宏块索引;  $RDcost(Direct)_i$  和  $\omega_i$  分别表示 Direct 模式的 RD 代价值和宏块  $MB_i$  的加权因子,考虑到不同位置的宏块与当前宏块的视点间相关程度不同,  $\omega_i$  设置如表 1 所示。  $\alpha_i$  代表 Direct 模式加权因子,即当前宏块的对应宏块是否选择 Direct 模式作为最佳预测模式,若是,则  $\alpha_i$  等于 1; 否则,  $\alpha_i$  为 0。

表 1 宏块  $MB_i$  的加权因子  $\omega_i$

$MB_i$	$\omega_i$
1	1.48
3, 5, 6, 8	1.03
2, 4, 7, 9	0.85

### 3.2 运动复杂度的确定

通过前文的分析可知,最佳模式分块的大小与宏块的运动复杂程度有着紧密的联系。如图 2 所示,为确定当前宏块的运动复杂度,首先建立当前宏块  $MB_0$  的运动矢量集合  $\{mv_1, mv_2, \dots, mv_9\}$ , 这里  $mv_i = (x_i, y_i)$  为宏块  $MB_i$  对应的运动矢量,则当前宏块的前向视点运动复杂度  $MC_{v-1}$  定义为:

$$MC_{v-1} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N \frac{1}{\beta_i} (|x_i| + |y_i|) \quad (2)$$

其中,  $N$  为宏块总数目;  $\beta_i$  为对应宏块  $MB_i$  的加权因子。若宏块的最优模式选择为 Inter16 × 16, 则  $\beta_i$  等于 1; 若宏块的最优模式选择为 Inter16 × 8 或 Inter8 × 16, 则  $\beta_i$  等于 2, 以此类推, 如表 2 所示。

表 2 各模式分块对应的加权因子  $\beta_i$

模式	$\beta_i$
Inter16 × 16	1
Inter16 × 8	2
Inter8 × 16	2
Inter8 × 8	4
Inter8 × 4	8
Inter4 × 8	8
Inter4 × 4	16

事实上,从表 2 不难看出,对其他模式分块均是以 Inter16 × 16 分块作为基本单元而进行的归一化处理。类似的,后向视点的运动复杂度  $MC_{v+1}$  亦可通过式(2)获得。考虑到当前宏块与前、后视点之间都有很强的视间相关性,运动复杂度  $MC$  可定义为

两者的平均,即:

$$MC = (MC_{v-1} + MC_{v+1})/2 \quad (3)$$

运动复杂度能够反映宏块运动的剧烈程度,为了确定运动复杂度与最优模式分块的关系,通过大量实验,图 3 给出了在不同运动复杂度值下各个最优模式分块的分布比例。从图 3 中可以看出,当运动复杂度较大时,DE 被选为最优预测的比例很大;当运动复杂度较小时,通常仅需进行视点内的帧间预测。所以,可以通过设置阈值  $T_3$  判定当前宏块是否进行视差估计,实验中阈值  $T_3$  设置为 5.5。从图 1 可以看出,较小的分块(如 P8 × 8)被选为最优模式的比例很低,然而小的分块所消耗的编码时间又非常大,因此,若能够仅检查那些最有可能成为最优模式的分块为候选模式,同时尽可能排除那些不可能的模式,就可以有效地减少编码器的编码时间。从图 3 还可以看出,当运动复杂度小于  $T_1$  (实验中设为 1.2) 时,候选模式集仅需包括 Direct 和 Inter16 × 16 模式;当运动复杂度大于  $T_1$  同时小于  $T_2$  (实验中设为 2.5) 时, P8 × 8 模式被跳过;当运动复杂度大于  $T_2$  同时小于  $T_3$  时,检查所有的帧间预测模式。

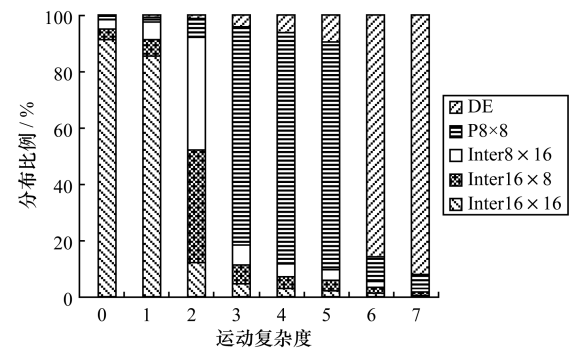


图 3 不同运动复杂度下最优模式的分布情况

### 3.3 算法步骤

综合上述思想,提出算法可以描述如下:

**Step1** 判断当前宏块是否在关键帧上,若是,进入 Step8; 否则,进入 Step2。

**Step2** 计算当前宏块的 RD 代价值  $RDcost(Direct)$ , 并根据式(1)计算自适应阈值  $T$ 。

**Step3** 如果  $RDcost(Direct) < T$ , 那么 Direct 模式被选择为最优模式,模式选择过程结束,进入 Step1, 编码下一宏块; 否则,进入 Step4。

**Step4** 根据式(2)和式(3)计算当前宏块的运动复杂度  $MC$ 。

**Step5** 如果  $MC > T_3$ , 进行视点方向预测,进入 Step8; 否则,进入 Step6。

**Step6** 如果  $T_2 < MC \leq T_3$ , 检查所有的帧间预测模式选择出最佳模式,同时跳至 Step1, 编码下一宏块; 否则,进入 Step7。

**Step7** 如果  $MC \leq T_1$ , 仅检查 Direct 和 Inter16

$\times 16$  模式;如果  $T_1 < MC \leq T_2$ ,  $P8 \times 8$  模式被跳过,检测其他模式,即  $Inter16 \times 16$ ,  $Inter16 \times 8$  和  $Inter8 \times 16$  模式,同时跳至 Step1,编码下一宏块。

**Step8** 进行全搜索模式,检查所有预测模式并选择出最佳模式。

#### 4 实验结果与分析

实验以 JMVC8.0 为平台,对各种不同分辨率和运动类型与背景的 7 个 MVC 标准视频序列进行测试。参数设置如下:(1)采用分层 B 帧(Hierarchical B Picture, HBP)预测结构;(2)量化参数(Quantization Parameter, QP)分别设置为 24, 28, 32 和 36;(3)启用率失真优化(Rate Distortion Optimization, RDO)技术;(4)启用自适应算术编码(Context Adaptive Binary Arithmetic Coding, CABAC)技术;(5)ME 和 DE 搜索范围为  $\pm 64$ 。

表 3 给出了本文算法与文献[5]和文献[8]算法性能的比较。表中  $\Delta PSNR$ ,  $\Delta B$  和  $\Delta T$  分别表示峰值信噪比(Peak Signal-to-Noise Ratio, PSNR)的改变、比特率的变化和整个编码时间的变化率。正值代表增加,负值代表减少。

表 3 算法性能比较

测试序列	算法	$\Delta PSNR/dB$	$\Delta B/\%$	$\Delta T/\%$
Flamenco1	文献[5]算法	-0.08	-0.59	-64.38
	文献[8]算法	-0.06	-0.99	-75.95
	本文算法	-0.03	+0.30	-76.40
Race1	文献[5]算法	-0.07	-0.86	-67.91
	文献[8]算法	-0.06	-0.81	-78.02
	本文算法	-0.02	-0.12	-79.13
Ballroom	文献[5]算法	-0.05	-0.69	-58.23
	文献[8]算法	-0.03	-0.98	-67.29
	本文算法	-0.01	+0.61	-71.37
Exit	文献[5]算法	-0.10	-1.65	-67.23
	文献[8]算法	-0.05	-1.37	-76.58
	本文算法	-0.02	-0.74	-80.55
Akko&Kayo	文献[5]算法	-0.06	-0.79	-63.23
	文献[8]算法	-0.05	-0.90	-73.09
	本文算法	-0.02	-0.04	-74.78
Rena	文献[5]算法	-0.09	-0.74	-59.89
	文献[8]算法	-0.04	-1.25	-70.86
	本文算法	-0.04	-1.15	-73.29
Uli	文献[5]算法	-0.11	-0.84	-54.25
	文献[8]算法	-0.06	-1.12	-64.87
	本文算法	-0.03	+0.56	-68.17
平均值	文献[5]算法	-0.08	-0.88	-62.16
	文献[8]算法	-0.05	-1.06	-72.38
	本文算法	-0.02	-0.08	-74.81

从表 3 的实验结果可以看出,本文算法能够使

MVC 的计算量显著降低,时间节省率可达到 74.81%,而编码效率基本保持不变,平均 PSNR 值仅减少了 0.02 dB,保持了较高的编码图像质量,同时比特率也降低了 0.08%。与文献[5]中的算法相比,本文算法获得了更好的编码性能,比文献[5]算法节省了 12.65% 的计算复杂度,图像质量提高了 0.06 dB。同文献[8]比较,提出算法获得了更多的时间节省率,而编码率失真性能基本保持不变。为更直观地进行时间节省率的比较,图 4 为本文算法与现有 2 种算法在时间节省率上的对比。不难看出,对于各种不同类型的视频序列,本文算法都能够更加有效地降低编码时间。文献[5]和文献[8]仅采用了 SKIP/Direct 模式提前终止方法,并没有考虑到其他模式分块的模式选择过程,本文算法结合了 Direct 提前终止与其他候选模式的进一步缩减,在算法设计中充分利用了视点间相关性,取得了更好的编码性能。

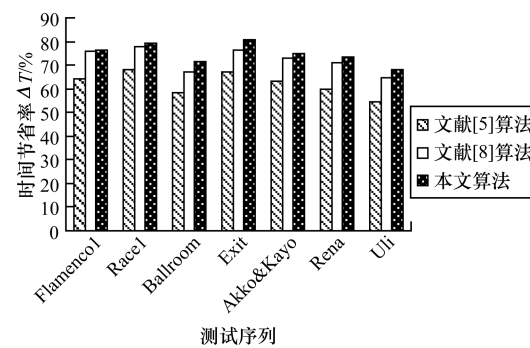


图 4 3 种算法时间节省率比较

#### 5 结束语

本文提出一种多层次多视点视频编码快速预测算法。算法设计思路是通过利用邻近视点间的相关性信息进行 Direct 模式提前终止和宏块预测模式的多层次分类与缩减,从而尽可能跳过或减少耗时的 ME/DE 过程,使得编码计算复杂度得到有效降低。自适应阈值与运动复杂度的设计是算法实现的关键,本文算法充分地利用了相邻视点的视间相关性。实验结果表明,本文算法降低了编码时间,同时保持了几乎不变的编码率失真性能。将文中的算法思想应用于多视点加深度视频编码中,以实现深度视频的快速编码是后续研究的重点。

#### 参考文献

- [1] Vetro A, Tourapis A, Muller K, et al. 3D-TV Content Storage and Transmission [J]. IEEE Transactions on Broadcasting, 2011, 57(2): 384-394.
- [2] Tanimoto M, Tehrani M P, Fujii T, et al. FTV for 3-D Spatial Communication [J]. Proceedings of the IEEE, 2012, 100(4): 905-917.

(下转第 292 页)

全可以用最小二乘法进行钟差钟速的求解,便可达到预期效果。通过实验可以得出,随着时间的推移,同步精度在不断降低,这是由于同步的方法其原理主要是利用晶振的稳定性,测得 2 台计算机晶振之间的差别(即钟差钟速)。由于计算机晶振自身存在的不稳定等原因,随着时间的推移,钟差和钟速量会不断发生改变,导致同步的精度降低,误差不断累积。因此,在一定时间之后,当误差超过了限差范围,就需要考虑重新进行校时,求得更为精确的钟差钟速。

## 5 结束语

本文借鉴 NTP 网络时间协议的时间同步方法,利用抗差加权的思想,提出一种高精度局域网时间比对方法,建立了时间比对最小二乘抗差估计模型。该模型通过一定的时间比对,可以得到服务器同客户端之间的钟差和钟速,通过 2 台工作站之间的时差关系,可以在后续工作预测客户端对应的服务器时间。本文方法在提高同步精度的同时,采用了时间保持策略,客户端可实时预测服务器的时间。通过实验,该方法只要进行一次时间比对就可以完成时间的同步,且该模型不需要对网络延迟进行测试和改正,节省了 CPU 时间开销和网络带宽。

本文的研究还需要进一步的深化和完善,当多台客户端同时请求服务时,还有待研究避免因服务器指令问题造成的网络延迟影响的方法,以及更好地设计网络服务协议。

## 参考文献

- [ 1 ] 朱永兴,张 超. 恒星仿真器多串口通讯实现[J]. 北京测绘,2010,(2):10-12.
  - [ 2 ] Mills D L. Network Time Synchronization——The Network Time Protocol on Earth and in Space[M]. 2nd ed. [S. l.]: CRC Press,2011.
  - [ 3 ] Mills D J. Network Time Protocol Version 4: Protocol and Algorithm Specification Request for Comments[Z]. 2010.
  - [ 4 ] 高志远. 一个高精度局域网对时软件的设计和实现[J]. 电力系统自动化,2010,34(12):76-80.
  - [ 5 ] 张 超. 基于电子经纬仪的天文测量系统及应用研究[D]. 郑州:解放军信息工程大学,2009.
  - [ 6 ] 黄幼才. 抗差估计理论综述[J]. 冶金测绘,1993,(1):60-62,64.
  - [ 7 ] 杨元喜. 测量抗差最小二乘估计理论系列讲座(一)抗差估计的概念及其任务[J]. 测绘通报,1994,(4):36-39.
  - [ 8 ] 张 勤,张菊清,岳东杰,等. 近代测量数据处理与应用[M]. 北京:测绘出版社,2011.
  - [ 9 ] 刘大杰,陶本藻. 实用测量数据处理方法[M]. 北京:测绘出版社,2000.
  - [ 10 ] 邱卫宁,陶本藻,姚宜斌,等. 测量数据处理理论与方法[M]. 武汉:武汉大学出版社,2008.
  - [ 11 ] 周江文. 经典误差理论与抗差估计[J]. 测绘学报,1989,18(2):115-120.
  - [ 12 ] 杨元喜. 双因子方差膨胀抗差估计[J]. 测绘研究所学报,2001,21(2):1-5.
  - [ 13 ] Yang Yuanxi. Robust Estimation of Systematic Errors of Satellite Laser Range [J]. Journal of Geodesy, 1999, 73(7):345-349.
  - [ 14 ] 李浩军,唐诗华,黄 杰. 抗差估计中几种选权迭代法常数选取的探讨[J]. 测绘科学,2006,31(6):70-71.
- 编辑 顾逸斐
- 
- (上接第 286 页)
- [ 3 ] Vetro A, Wiegand T, Sullivan G J. Overview of the Stereo and Multiview Video Coding Extensions of the H. 264/MPEG-4 AVC Standard[J]. Proceedings of the IEEE,2011,99(4):626-642.
  - [ 4 ] Zatt B, Shafique M, Bampi S, et al. A Multi-level Dynamic Complexity Reduction Scheme for Multiview Video Coding [C]//Processings of International Conference on Image Processing. Washington D. C. , USA: IEEE Press,2011:749-752.
  - [ 5 ] Zeng Huanqiang, Ma Kaikuang, Cai Canhui. Mode-correlation-based Early Termination Mode Decision for Multi-view Video Coding[C]// Proceedings of International Conference on Image Processing. Washington D. C. , USA: IEEE Press,2010:3406-3408.
  - [ 6 ] Shen Liquan, Liu Zhi, An Ping, et al. Low-complexity Mode Decision for MVC[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology,2011,21(6):837-843.
  - [ 7 ] Chan C C, Tang C W. Coding Statistics Based Fast Mode Decision for Multi-view Video Coding[J]. Journal of Visual Communication and Image Representation,2013,24(6):686-699.
  - [ 8 ] Wang Fongsui, Zeng Huanqiang, Shen Qinghong, et al. Efficient Early Direct Mode Decision for Multi-view Video Coding [J]. Signal Processing: Image Communication,2013,28(7):736-744.
  - [ 9 ] Zhang Yun, Sam K, Jiang Gangyi, et al. Statistical Early Termination Model for Fast Mode Decision and Reference Frame Selection in Multiview Video Coding[J]. IEEE Transactions on Broadcasting,2012,58(1):10-23.
  - [ 10 ] Zhang Yun, San K, Xu Long, et al. Direct Mode Early Decision Optimization Based on Rate Distortion Cost Property and Inter-view Correlation[J]. IEEE Transactions on Broadcasting,2013,59(2):390-398.
  - [ 11 ] Zhao Tiesong, Kwong S, Wang Hanli, et al. Multiview Coding Mode Decision with Hybrid Optimal Stopping Model [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2013,22(4):1598-1609.
  - [ 12 ] Zhu Wei, Zheng Yayu, Chen Peng, et al. Fast Macroblock Encoding Algorithm Based on Ratedistortion Activity for Multiview Video Coding [J]. Signal Processing: Image Communication,2014,29(10):1063-1078.
  - [ 13 ] Wang Fongsui, Shen Qinghong, Du Sidan. Efficient Fast Mode Decision Using Mode Complexity for Multi-view Video Coding [J]. Journal of Central South University, 2014,21(11):4244-4253.
  - [ 14 ] Wang Fongsui, Wang Guanling. Fast Depth Coding Techniques Using Early Termination Scheme [J]. Computer Modelling and New Technologies,2014,18(12):79-84.
  - [ 15 ] 王凤随,沈庆宏,都思丹. 多视点视频编码快速帧间模式选择算法[J]. 计算机应用,2014,34(1):167-170.
- 编辑 顾逸斐