

文章编号 1004-924X(2010)11-2505-08

# 快速分形立体视频编码系统的设计

祝世平, 侯仰拴

(北京航空航天大学 仪器科学与光电工程学院 测控与信息技术系, 北京 100191)

**摘要:**提出了一种基于分形视频编码的快速立体视频编码算法。首先,对传统分形视频编码方法进行了改进:采用基于DCT变换的方式对I帧图像进行编码,同时采用树状划分方法对非I帧图像进行块匹配。在立体视频编码中以左通道为基本层,右通道为增强层;左通道采用单独的运动补偿预测方式(MCP)进行编码,右通道采用MCP加视差补偿预测方式(DCP)进行编码。在进行DCP编码方式时,充分利用立体平行摄像结构中的偏振性和方向性简化DCP搜索方式,由此提出了一种快速搜索算法。实验结果表明,在保证峰值信噪比(PSNR)和压缩比(CR)基本不变的前提下,本文所提出的快速编码算法能够将运算复杂度降低为全搜索算法的0.028~0.029倍,增强了立体视频编码的实用性。

**关键词:**分形编码;立体视频;视差匹配;极线几何

**中图分类号:** TN919.81 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/OPE.20101811.2505

## Design of fast fractal stereo video coding system

ZHU Shi-ping, HOU Yang-shuan

(*Department of Measurement Control and Information Technology, School of Instrumentation Science and Optoelectronics Engineering, Beihang University, Beijing 100191, China*)

**Abstract:** A fast stereo video coding algorithm based on fractal video coding was presented in this paper. Firstly, the conventional Circular Prediction Mapping/Non-contractive Interframe Mapping (CPM/NCIM) method was improved, in which frame I of the video sequences was coded based on Discrete Cosine Transform (DCT) and the others were partitioned into subblocks by a tree structured partition method. In the stereo video encoding, the left channel was a base layer and the right channel was an enhanced layer. The left channel was encoded by using the Motion Compensation Prediction (MCP) method, and the right channel was encoded by using both MCP and Disparity Compensation Prediction (DCP) methods. In the encoding of DCP, the polarization property and the epipolar line property in the parallel stereo encoding structure was used to simplify the DCP search method. Therefore, a fast DCP encoding method was presented. The experiment results indicate that the computational complexity by the proposed method has reduced to 0.028-0.029 times comparing to that of the full search method while the reconstructed image quality is as good as that in the full search, which makes the stereo video encoding method more useful.

**Key words:** fractal encoding; stereo video; disparity correspondence; epipolar geometry

收稿日期: 2009-05-25; 修订日期: 2010-08-29.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (No. 60675018); 教育部留学回国人员科研启动基金资助项目

## 1 引言

随着多媒体技术的不断发展,多视点视频因具有单目视频无法比拟的优越性逐渐成为研究的热点;而立体视频是多视点视频中应用最为广泛的一种形式,它增加了场景的深度信息,使欣赏到的图像有强烈的现实感和逼真感<sup>[1]</sup>,可以应用于立体电视,远程教育,远程工业控制,远程医学诊断和虚拟现实等众多领域。相对于单目视频,立体视频系统需要传输和存储翻番的数据量,所以有必要对其进行有效压缩。

在立体视频编码过程中,不但要考虑各通道内前后帧图像之间的时域相关性<sup>[2]</sup>和帧内图像的空域相关性,还要充分利用通道之间的空域相关性进行编码。前者可以利用运动补偿预测(Motion Compensation Prediction, MCP)去除冗余,后者可以采用视差补偿预测(Disparity Compensation Prediction, DCP)去除通道间冗余。DCP比MCP要复杂得多,其中的关键技术是视差匹配<sup>[3]</sup>。在视差匹配的过程中应充分考虑立体摄像系统的几何特性,例如偏振性约束<sup>[4]</sup>和极线约束<sup>[5]</sup>来减小运算复杂度<sup>[6-7]</sup>。

分形理论最早由Barnsley提出,并将其成功应用于图像编码,对某些图像达到了10 000:1的压缩比<sup>[8]</sup>;但是该方法中的图像分割需要人机交互,无法自动实现,并且分割的图像只能与整幅图像进行相似性比较,极大地限制了分形压缩的应用范围。他的学生Jacquin提出利用局部迭代函数系统(Local Iterated Function System)<sup>[9]</sup>将图像进行分块,以局部的仿射变换替代全局的仿射变换,极大地推进了分形在图像编码上的应用。Y. Fisher<sup>[10]</sup>提出了一种根据亮度均值和亮度方差对经二叉树划分得到的图像块(子块和父块)进行分类的方法,该方法首先将图像块等分成为4个子块,并分别计算每个子块的像素亮度平均值和相应的亮度方差,将所有的图像块分成72子类,编码时,只有属于同一子类的子块和父块才进行比较,其缺点是对于某个子块可能在同子类的父块中搜索不到匹配块。随着分形图像编码的成功应用,人们开始研究将分形应用于视频编码。Lazar<sup>[11]</sup>等将Jacquin的分形编码从二维变换直接推广到三维,但是这些算法太复杂且很难操作,

而且在经过该方法处理后的恢复运动图像序列中出现很明显的块与块之间不连续的块失真现象,所以压缩性能不佳。Yuval Fisher提出了利用前一帧图像作为父块库,对当前帧进行编码的视频压缩方法<sup>[12]</sup>,其主要优点在于编码速度快,在解码的时候不需要迭代;但是,该方法没有充分地发掘出存在于帧与帧之间的时间冗余性,这是因为父块的尺寸往往比子块的尺寸大,这就使得子-父块间的匹配精度不高。Chang-Su Kim提出了一种利用圆型预测映射(Circular Prediction Mapping, CPM)和非紧缩帧间映射(Non-contractive Interframe Mapping, NCIM)的视频编码结构<sup>[13]</sup>,这种方法充分利用了帧与帧之间的时间强相关性,对视频序列压缩取得了较好的效果。在CPM和NCIM中,每个子块都由来自相邻帧相同大小的父块通过运动补偿得到。CPM和NCIM两者间最大的不同在于CPM在解码过程中需要具备收敛性,而NCIM不需要。

基于分形的视频编码具有压缩比高、解码速度快和解码分辨率无关性的特点,目前,其他先进的编码方法也被不断提出<sup>[14-15]</sup>。本文对传统的分形编码方式进行了改进,提出了一种基于分形的立体视频编码算法,并根据立体平行摄像结构的几何约束,提出一种新的视差估计算法。仿真实验表明,该算法可在保证峰值信噪比和压缩比不变的前提下,极大地降低计算复杂度。

## 2 分形编码的理论基础

分形图像编码的理论基础是分形迭代函数系统理论,下面简要介绍一下该理论。

紧缩变换:设 $X$ 为 $\mathbf{R}^n$ 欧氏空间的子集, $\omega: X \rightarrow X$ 为度量空间 $(X, d)$ 上的变换,若存在一个常数 $0 \leq s < 1$ ,使得对于 $\forall x, y \in X$ 都能够满足下面的不等式:

$$d(\omega(x), \omega(y)) \leq s \cdot d(x, y), \quad (1)$$

则称 $\omega$ 为紧缩变换, $s$ 称为紧缩因子。

迭代函数系统:一个迭代函数系统(IFS)包括一个完备度量空间 $(X, d)$ ,以及一系列定义于该空间的紧缩映射 $\omega_n: X \rightarrow X$ ,紧缩因子分别为 $S_n, n=1, 2, \dots, N$ 。通常将IFS表示为 $\{X; \omega_n, n=1, 2, \dots, N\}$ ,收敛因子为 $s = \max\{s_n | n=1, 2, \dots, N\}$ 。

吸引子定理:设  $\{X; \omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n; s\}$  是  $(X, d)$  上的 IFS, 则:

(1) 由下式定义的变换  $W: \chi(X) \rightarrow \chi(X)$ , 即:

$$W(B) = \bigcup_{i=1}^n \omega_i(B), \quad (2)$$

是完备度量空间  $(\chi(X), h)$  上的压缩映射, 其压缩因子也是  $s$ , 即:

$$h(W(A), W(B)) \leq s \cdot h(A, B), \quad (3)$$

(2) 压缩变换  $W$  存在唯一的不动点  $\bar{A} \in \chi(X)$  使其满足下面的等式:

$$\bar{A} = W(\bar{A}) = \bigcup_{i=1}^n W(\bar{A}), \quad (4)$$

而且不动点可以通过迭代得到, 即  $A = \lim_{n \rightarrow \infty} W^n(B)$ ,  $\forall B \in \chi(X)$ , 其中

$$W^0(B) = W(B), \quad (5)$$

而  $W^n(B) = W(W^{n-1}(B))$ 。

也就是说, 对于任何集合  $B$ , 迭代序列  $W^n(B)$  收敛到系统的吸引子。通常称  $W$  为  $B$  的生成元。

拼贴定理: 设  $(X, d)$  是完备度量空间, 给定集合  $L \in \chi(X)$  和数  $\epsilon > 0$ 。如能选到一个 IFS:

$$\{X; \omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n; s\} (0 \leq s < 1), \quad (6)$$

使  $h(L, \bigcup_{i=1}^n \omega_i(L)) \leq \epsilon$ , 则

$$h(L, \bar{A}) \leq \frac{h(L, \bigcup_{i=1}^n \omega_i(L))}{1-s} \leq \frac{\epsilon}{1-s}, \quad (7)$$

其中  $h$  是 Hausdoff 距离, 而  $\bar{A}$  是该 IFS 的吸引子(又称不动点)。

分形图像压缩的核心思想是利用一个迭代函数系统  $\{X; \omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n; s\}$  来表示一幅图像。由吸引子定理可知, 迭代函数系统有且只有一个不动点, 可以寻找一个迭代函数系统使它的不动点为待编码的图像, 存储 IFS 系数一般需要较少的数据量, 因此可以达到压缩的目的。分形图像编码的关键技术就是如何快速的寻找子块(Range Block)与父块(Domain Block)之间的匹配。

### 3 本文对分形视频编码算法的改进

分形编码的 3 个发展方向是: 加快分形编解码速度, 提高分形解码质量和基于分形的低码率编码。本文紧密围绕这 3 个方向对分形视频编码方法进行了如下改进。

### 3.1 基于 DCT 变换的 I 帧编码

在传统 CPM 循环预测映射中, 4 帧图像作为一个编码组, 每帧图像由循环映射中前一帧预测

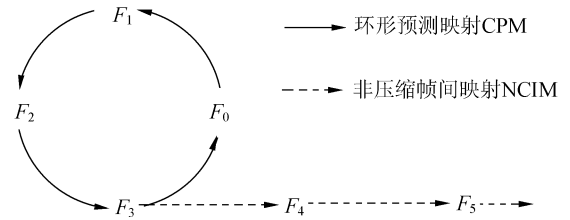


图 1 CPM 与 NCIM 的混合算法结构图

Fig. 1 Hybrid CPM and NCIM coding structure

得到, 如图 1 所示。换言之, 第  $k$  帧图像  $F_k$  被分解为多个子块,  $F_k$  中每个子块  $R_i$  由前一帧图像  $F_{[k-1]_4}$  中父块  $D_a(i)$  近似而成( $[K]_4$  表示  $k$  对 4 取余)。  $R_i$  的近似值由下式定义:

$$R_i \cong \bar{R}_i = s_i \cdot O[D_{a(i)}] + o_i \cdot C, \quad (8)$$

式中  $a(i)$  代表最佳父块位置,  $s_i, o_i$  为实系数,  $C$  为一个像素值为 1 的常数矩阵块,  $O$  为正交算子, 公式由 Qien 作为静态图像编码提出<sup>[16]</sup>。此算子将直流(DC)成分从  $D_a(i)$  中分解出来, 因此  $O[D_a(i)]$  与  $C$  互为正交。经过正交过程之后, 最优系数  $s_i$  和  $o_i$  分别由  $R_i$  在  $\text{span}\{O[D_a(i)]\}$  和  $\text{span}\{C\}$  上的映射直接得到。为了保证起始帧经过自身循环解码能够近似收敛到原来的图像, 编码需要经过复杂变换、搜索和迭代等过程, 压缩时间和图像质量难以达到要求。因此, 本文采用基于 DCT 变换的方式编码起始参考帧。CPM/NCIM 方法和本文方法对标准测试序列“bus. cif”起始帧压缩结果对比如表 1 所示。

表 1 CPM/NCIM 方法和本文方法对标准测试序列“bus. cif”起始帧压缩结果对比

Tab. 1 Comparison of the first frame coding results between CPM/NCIM and proposed methods

	PSNR/dB	CR	压缩时间/s
CPM/NCIM	24.776	6.784	10.01
本文方法	34.063	7.453	0.035

从表 1 中可以看到, 本文所提方法压缩时间比 CPM/NCIM 方法降低了 286 倍, 峰值信噪比(Peak Signal to Noise Ratio, PSNR)提高了 9.287 dB, 同时压缩比(Compression Ratio, CR)也提高了 0.669, 高质量的初始帧解码质量有利于后续

帧编码。

### 3.2 采用树状划分准则

分形编码中最重要的环节是块分割和块匹配,传统分形编码中分块方法主要有:四叉树法, HV 划分法,三角域方法,多边形域方法和遗传算法等。四叉树划分准则是在一幅图像整体上逐步划分,并且在匹配过程中采用迭代方法,该方法计算复杂度较高。而非矩形尺寸块划分,一定程度上可以提高 CR,但复杂度也随之提高。本文采用树状分割算法,先把图像划分为若干宏块,再对每个宏块进行编码,对每个宏块划分如图 2 所示。

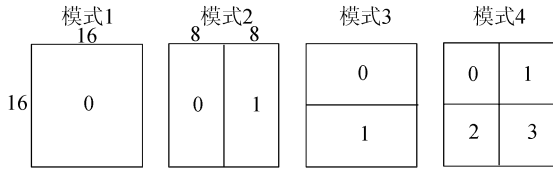


图 2 宏块的划分模式

Fig. 2 Macroblock partition modes

首先定义子块与父块的匹配准则 RMS:

$$RMS = \frac{1}{N} \left[ \sum_{i=1}^N r_i^2 + s \left( s \sum_{i=1}^N d_i^2 - 2 \sum_{i=1}^N r_i d_i + 2o \sum_{i=1}^N d_i^2 \right) + o(N \cdot o - 2 \sum_{i=1}^N r_i) \right], \quad (9)$$

其中

$$s = \frac{[N \sum_{i=1}^N r_i d_i - \sum_{i=1}^N r_i \sum_{i=1}^N d_i]}{[N \sum_{i=1}^N d_i^2 - (\sum_{i=1}^N d_i)^2]}, \quad (10)$$

$$o = \frac{1}{N} \left[ \sum_{i=1}^N r_i - s \sum_{i=1}^N d_i \right], \quad (11)$$

式中,  $r_i$  为子块域像素值,  $d_i$  为父块域像素值,  $N$  为该子块像素个数,  $s$  为尺度因子,  $o$  为偏移因子。首先根据模式 1 进行块匹配,计算 RMS,如果 RMS 小于设定阈值  $\gamma$ ,保存迭代函数系统系数,该系数包括父块与子块相对位移  $(x, y)$ ,尺度因子  $s$  和偏移因子  $o$ ,并编码下一宏块。如果没有找到匹配块,将该宏块按照模式 2 进行划分,然后对两个子块分别进行块匹配,若两子块都能找到匹配块,则保存迭代函数系统系数,并编码下一宏块,否则依次按照模式 3 和模式 4 划分,其中模式 4 中的小块还可以按照图 3 中方式继续划分。

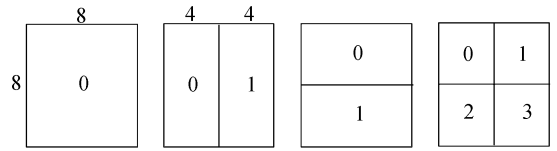


图 3 模式 4 中子块划分

Fig. 3 Subblock partition in mode 4

## 4 基于分形的立体视频编码

### 4.1 立体摄像系统的几何模型

立体摄像系统一般分为立体平行摄像系统和立体汇聚摄像系统,本文讨论的是两摄像机的光轴平行排列的立体平行摄像系统,其示意图如图 4 所示。

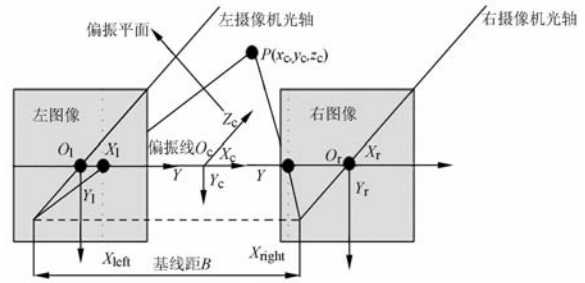


图 4 双目立体成像原理

Fig. 4 Stereo parallel camera system

其中基线距  $B$  为两摄像机的投影中心连线的距离,相机焦距为  $f$ 。两摄像机在同一时刻观看空间同一特征点  $P(x_c, y_c, z_c)$ ,它在左图像和右图像的坐标分别为  $p_{left} = (X_{left}, Y_{left})$ ,  $p_{right} = (X_{right}, Y_{right})$ 。其中  $P(x_c, y_c, z_c)$  点与两个光心所确定的平面称为偏振平面,偏振平面与左右图像的交线称为偏振线。由几何关系得到:

$$\begin{cases} X_{left} = f \frac{x_c}{z_c} \\ X_{right} = f \frac{(x_c - B)}{z_c} \\ Y = f \frac{y_c}{z_c} \end{cases} \quad (12)$$

同一空间点在两图像平面中的投影位置差矢量也就是视差  $D = X_{left} - X_{right} = f \frac{B}{z_c}$ 。由此可知视差  $D$  是深度  $z$  的函数,表示相对深度。

### 4.2 新型立体视频编码方案

常用的立体视频编码方案有:独立 MCP 编码,层间 DCP 编码和 MCP 与 DCP 相结合编码。其中在 MCP 与 DCP 相结合编码中,基本层采用独立 MCP 编码,增强层采用 MCP 与 DCP 两种方式进行预测,从中选择误差较小的一种作为预测结果。该编码方式可以对由于运动而引起的“遮挡”和“暴露”区域进行编码。本文采用第三种编码方式,左路视频也就是基本层采用单独的分形视频编码方式进行编码,右路视频也就是增强层采用 DCP 与 MCP 相结合的分形编码方式进行编码,选择两者中误差最小的作为编码结果,结构图如图 5 所示。

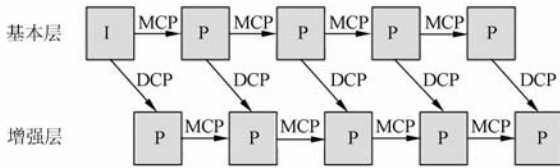


图 5 基于分形标准的立体视频编码方案

Fig. 5 Stereo video code based on fractal coding

在立体平行摄像系统中,偏振性和方向性是 与视差估计相关的两个最重要的性质,本文利用 这些性质对 DCP 进行了有效简化。

#### 4.2.1 偏振性

根据立体几何极线约束,图 4 中点  $P(x_c, y_c, z_c)$  在左右图像上的点必定位于对应的偏振线上。那么在立体平行摄像系统中,进行 DCP 搜索时只需沿水平方向进行搜索即可。

#### 4.2.2 方向性

由视差矢量  $D = X_{left} - X_{right} = f \frac{B}{z_c}$  可知,对于同一特征点,其透视投影左图像可认为是右图像沿水平负向的局部平移。也就是说同一空间点在右图像上的图像坐标比在左图像上的图像坐标偏右,因此在搜索时只需沿一个方向进行。

基于以上两点讨论,本文提出了一种新型 DCP 搜索方法,如图 6 所示。本文在 DCP 匹配算法中的具体过程如下:

(1) (初始点搜索)首先对与当前子块位置相同的父块进行块匹配,得到 RMS,并保存迭代函数系统系数,该系数包括父块与子块的相对位移矢量  $(x, y)$ ,比例因子  $s$  和偏移因子  $o$ 。

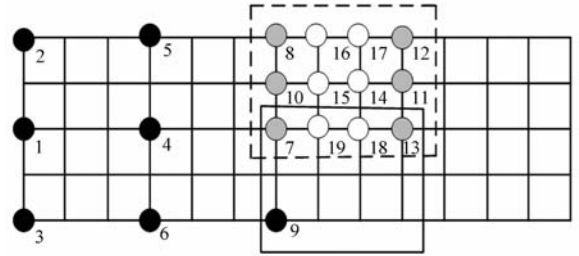


图 6 本文提出的 DCP 搜索模式

Fig. 6 DCP search mode proposed in this paper

(2) (垂直方向搜索)由偏振性可知,最佳匹配点位于偏振线上也就是水平线上,但在实际中可能存在一定的误差,本文在垂直方向上先上下隔行搜索两个点,例如点 2 和点 3。如果这两个点的 RMS 均大于偏振线上点的 RMS 转到步骤 3,否则转到步骤 4。

(3) (水平方向搜索)由方向性可知,最佳匹配点位于初始点的右侧,所以本文只沿初始点的右侧进行搜索,在搜索过程中并不是逐个搜索而是跳跃式搜索。如图 6 所示,例如点 1 匹配完之后,向右间隔两个点进行搜索,即搜索点 4,计算 RMS,并转入步骤 2 进行垂直方向搜索。如果点 4 的 RMS 小于点 1 的 RMS 值,将点 4 作为起始搜索点,转回到步骤 3 开始位置,继续水平搜索下一点。否则转到步骤 5。

(4) 选择两点中 RMS 最小的点,例如此时点 2 的 RMS 最小,那么在垂直方向上再搜索点 1 和点 2 之间的点,计算其 RMS,选择这 3 个点中误差最小的点作为此垂直方向上的最佳匹配点,转入步骤 3 继续沿偏振线方向进行搜索。

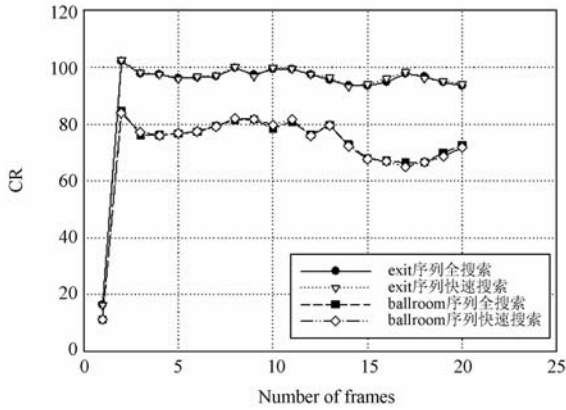
(5) 当前点的 RMS 大于前一点的 RMS,例如点 13 的 RMS 大于点 7 的 RMS,那么说明最佳匹配点位于这两点之间,如果点 8 的 RMS 小于点 9,那么此最佳匹配点位于虚线框内,此时搜索点范围已大大缩小,并且为了最大化匹配精度,本文对此虚线框内未搜索的点进行全搜索,反之如果点 8 的 RMS 大于点 9 的 RMS,那么最佳匹配点位于实线框内,对实线框进行全搜索,至此选择 RMS 最小的点作为最终匹配结果,结束 DCP 搜索过程。

## 5 实验结果与分析

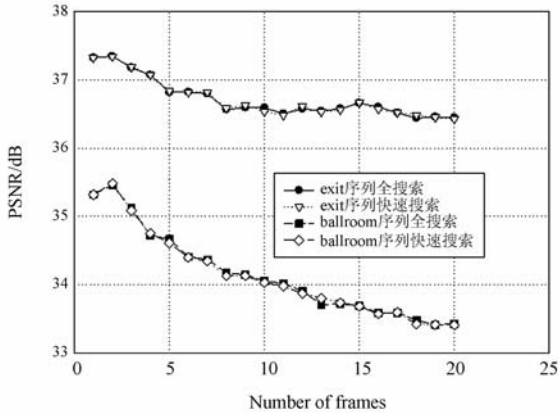
为了检验本文算法的有效性,分别对“ball-

room”和“exit”立体视频序列左右两个通道前 20 帧进行了实验,二者大小均为 640 pixel × 480 pixel, YUV 4 : 2 : 0 制式的立体视频序列。本文基于分形视频编码算法,比较的对象为基本层均为分形编码方法,而增强层在进行 DCP 编码时一种采用传统全搜索算法,另一种采用本文所提出的快速搜索算法,主要从增强目视频图像重建质量、CR 和运算复杂度 3 方面对二者进行对比。其中重建帧质量用 PSNR 表示,运算复杂度用平均搜索点数表示。MCP 水平和垂直搜索范围都是  $[-7, 7]$ , DCP 全搜索水平搜索范围为  $[-50, 50]$ , 垂直搜索范围为  $[-2, 2]$ , 本文所提快速 DCP 水平搜索范围为  $[0, 50]$ , 垂直搜索范围为  $[-2, 2]$ , 所得实验结果如图 7 所示。

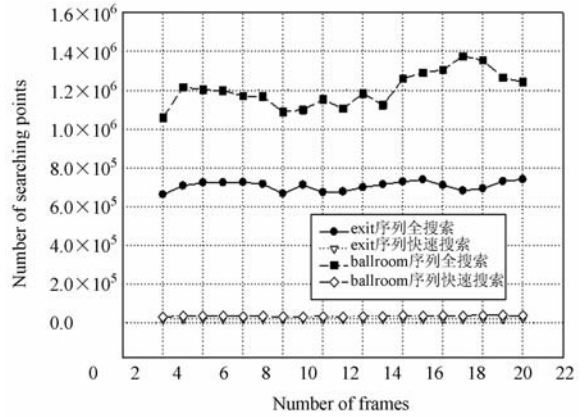
分别对“exit”和“ballroom”立体视频序列 1 至 20 帧采用全搜索算法和本文所提出的快速搜索算法对增强目进行编码,结果的平均值如表 2 所示。



(a) 压缩比对比结果  
(a) Comparison of RC



(b) PSNR 对比结果  
(b) Comparison of PSNR



(c) 搜索点数对比结果

(c) Comparison of number of searching points

图 7 “exit”和“ballroom”立体视频序列前 20 帧分别采用全搜索和本文提出的快速搜索算法得到右目实验结果对比

Fig. 7 Experimental comparison of the first 20 frames of the stereo video sequences “exit” and “ballroom” by using full search method and proposed coding method

表 2 采用全搜索算法和快速搜索算法对“exit”和“ballroom”序列增强目编码结果的平均值

Tab. 2 Average encoding results of enhanced layer of stereo video sequences “exit” and “ballroom” by using full search method and proposed method

	exit 右目序列		ballroom 右目序列	
	全搜索	本文算法	全搜索	本文算法
PSNR/dB	36.71	36.72	34.15	34.14
CR	92.83	93.09	72.17	72.05
搜索点数	705 913.3	20 273	120 257.1	34 162.16

从图 7 和表 2 可以看到,对“exit”立体视频序列,采用快速搜索算法的搜索点数仅为全搜索算法的 0.029 倍,而 PSNR 值提高了 0.01 dB,同时 CR 增加了 0.26;对于“ballroom”立体视频序列,采用快速搜索算法搜索点数仅为全搜索算法的 0.028 倍,而 PSNR 和 CR 仅分别下降了 0.01 dB 和 0.12。由此,可以得出以下结论:本文所提算法充分体现了分形视频编码的优越性,同时利用了立体平行视频的偏振性和方向性等约束条件,不但大大降低了 DCP 的运算复杂度,同时保证了 PSNR 和 CR 基本保持不变。

对立体视频序列“exit”分别进行全搜索和快速搜索编码的第 3 帧解码图像如图 8 所示。



(a) 3# 全搜索右目解码图像

PSNR=37.176 dB, CR=97.772

(a)Decoded right frame 3# by full search method

PSNR=37.176 dB, CR=97.772



(b) 3# 快速搜索右目解码图像

PSNR=37.186 dB, CR=98.230

(b) Decoded right frame 3# by proposed method

PSNR=37.186 dB, CR=98.230

图 8 对立体视频序列“exit”分别进行全搜索和快速搜索编码的第 3 帧解码图像

Fig. 8 Decoded frame 3# of stereo video sequences “exit” by using full search method and proposed coding method

## 6 结 论

分形视频编码方法具有 CR 高,解码速度快和解码分辨率无关性的特性,被公认为目前最有发展前景的 3 种编码方式之一。本文对传统的分形编码方式进行了部分改进,使其编码结构更加合理,提高了视频解码质量。立体视频具有单目视频无法比拟的优越性,因此越来越多的受到人

们的关注,并被广泛应用于诸多领域,但是其庞大的数据量严重阻碍了它的发展,本文尝试将分形视频编码方法应用到立体视频编码领域,并根据立体平行摄像结构的几何约束,提出了一种新的视差估计算法,通过仿真实验可以得到,该算法在保证 CR 和 PSNR 保持不变的前提下,极大地降低了运算复杂度,为立体视频编码的实时性应用奠定了基础。

## 参考文献:

[1] 吕朝辉,王晖. 基于改进分水岭算法的立体视频对象分割[J]. 光电子·激光, 2009, 20(9):1238-1242.

LU CH H, WANG H. Stereoscopic video object segmentation based on improved watershed algorithm[J]. *Journal of Optoelectronics · Laser*, 2009, 20(9):1238-1242. (in Chinese)

[2] 王会峰,刘上乾,汪大宝,等. 基于序列图像特征匹配的摄像机旋转补偿算法[J]. 光学精密工程, 2008, 16(7):1130-1134.

WANG H F, LIU SH Q, WANG D B, et al.. Video camera rotation compensation algorithm based on feature matching of sequence image frames[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2008, 16(7):1130-1134. (in

Chinese)

[3] 尹传历,向长波,宋建中,等. 一种基于自适应窗口和图切割的快速立体匹配算法[J]. 光学精密工程, 2008, 16(6):1117-1121.

YIN CH L, XIANG CH B, SONG J ZH, et al.. Fast stereo matching algorithm based on adaptive window and graph cuts[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2008, 16(6):1117-1121. (in Chinese)

[4] 艾明晶,赵丽丽,赵沁平. 基于偏振约束的立体视频快速运动估计算法[J]. 北京航空航天大学学报, 2010, 36(3):363-367.

AI M J, ZHAO L L, ZHAOG Q P. Polarization restraint based fast motion estimation approach to stereoscopic video coding[J]. *Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics*, 2010, 36(3):363-367. (in Chinese)

[5] 王昕,马岩,杨剑,等. 区域立体匹配算法的实现及

- 改进[J]. 光学精密工程, 2008, 16(10): 2002-2008.
- WANG X, MA Y, YANG J, *et al.*. Implementation and improvement of area based stereo matching algorithm[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2008, 16(10): 2002-2008. (in Chinese)
- [6] 朱仲杰, 蒋刚毅, 郝梅, 等. 多视点视频编码中的视频目标提取与视差匹配[J]. 电子学报, 2004, 32(5): 848-850.
- ZHU ZH J, JIANG G Y, YU M, *et al.*. Video object extraction and disparity estimation in multi-view video coding[J]. *Acta Electronica Sinica*, 2004, 32(5): 848-850. (in Chinese)
- [7] 纪华, 张叶, 韩广良. 结合 MSA 与方向编码的快速景象匹配[J]. 光学精密工程, 2010, 18(6): 1404-1412.
- JI H, ZHANG Y, HAN G L. Fast scene matching combining MSA and direction code[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2010, 18(6): 1404-1412. (in Chinese)
- [8] BAMSLEY M F. A better way to compress images [J]. *Byte*, 1988(1): 215-233.
- [9] JACQUIN A E. Fractal image coding: a review [C]. *Proc. of IEEE*, 1993, 81: 1454-1465.
- [10] FISHER Y. Fractal image compression[J]. *Fractals*, 1994, 2(3): 347-361.
- [11] LAZAR M S, BRUTON L T. Fractal block coding of digital video[J]. *IEEE Trans on Circuits and Systems for Video Technology*, 1994, 4(3): 297-308.
- [12] FISHER Y, ROGOVIN D. Fractal encoding of video sequences [C]. *SPIE*, 1994, 2308: 1359-1370.
- [13] KIM C S, KIM R C, LEE S U. Fractal coding of video sequence using circular prediction mapping and noncontractive interframe mapping[J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 1998, 7(4): 601-605.
- [14] 胡新华, 邓元勇, 王先平. 遵循 xDM 标准的 PGF 压缩编码器优化设计[J]. 光学精密工程, 2008, 16(7): 1273-1278.
- HU X H, DENG Y Y, WAN G X P. Optimal design of PGF compression encoder based on xDM standard[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2008, 16(7): 1273-1278. (in Chinese)
- [15] 卿粼波, 何小海, 张志亮. 分布式视频编码中虚拟信道模型的动态估计[J]. 光学精密工程, 2009, 17(4): 923-929.
- QING L B, HE X H, ZHANG ZH L. Dynamic estimation of virtual channel model for distributed video coding[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2009, 17(4): 923-929. (in Chinese)
- [16] QIEN G E, LEPSOY S. *A Class of Fractal Image Coders with Fast Decoder Convergence* [M]. New York: Fractal Image Compression: Theory and Application, 1995.

#### 作者简介:



祝世平(1970—),男,河北深泽人,博士,副教授,1991年、1994年于西安理工大学获得学士、硕士学位,1997年于哈尔滨工业大学获得博士学位,主要从事图像处理和视频压缩、计算机视觉、机器视觉在精密测量中的应用等方面的研究。E-mail: shiping.zhu@buaa.edu.cn



侯仰拴(1985—),男,山东滨州人,硕士研究生,2008年于山东大学获得学士学位,主要从事图像处理、视频编码、DSP应用方面的研究。E-mail: houyanchuan@163.com