

文章编号 1004-924X(2013)07-1891-07

## 2M 维矢量余弦整数变换核矩阵

桑爱军<sup>1\*</sup>, 王 艇<sup>1</sup>, 栾晓利<sup>2</sup>, 崔海廷<sup>1</sup>, 陈贺新<sup>1</sup>

(1. 吉林大学 通信工程学院, 吉林 长春 130022;

2. 长春空军航空大学, 吉林 长春 130022)

**摘要:** 为了减少处理多维数据的运算时间, 提出了 2M 维矢量离散余弦变换(DCT)整数核矩阵, 并分析了该整数变换核矩阵的正交性和能量集中性。首先, 根据原有浮点型 2M 维矢量 DCT 变换核矩阵的理论及性质介绍了 2M 维矢量 DCT 整数变换核矩阵的实现算法; 验证了 2M 维矢量整数变换核矩阵的正交性。然后, 简述了对 \* . yuv 格式视频文件进行分块与重组的基本原理。最后, 以四阶整数变换核为例, 分析了 2M 维矢量整数变换核矩阵, 即讨论多维数据在整数变换后的能量集中性。实验结果表明: 采用 2M 维矢量整数变换相对浮点型变换仍然具有较好的能量集中性, 而且 Y 分量能量集中性均值已达到 97.3% 以上, U 分量和 V 分量的能量集中性均值也已达 99.9% 以上, 此结果会对后来的多维数据压缩编码处理提供有力依据。

**关键词:** 信息处理; 整数变换; 2M 维矢量矩阵; 能量集中性

**中图分类号:** TP391 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/OPE.20132107.1891

## 2 M-dimensional vector integer DCT transform kernel matrix

SANG Ai-jun<sup>1\*</sup>, WANG Ting<sup>1</sup>, LUAN Xiao-li<sup>2</sup>, CUI Hai-ting<sup>1</sup>, CHEN He-xin<sup>1</sup>

(1. College of Communication Engineering, Jilin University, Changchun 130022, China;

2. Changchun Aviation University of Air Force, Changchun 130022, China)

\* Corresponding author, E-mail: sangaj@jlu.edu.cn

**Abstract:** To reduce the computation time of multidimensional data processing, a 2 M-dimensional vector integer Discrete Cosine Transformation(DCT) kernel matrix was proposed and the orthogonality and energy concentration of the integer transform kernel matrix were analyzed. First, according to the theory and properties of original floating-point 2 M-dimensional vector DCT transform kernel matrix, the algorithm for the 2 M-dimensional vector DCT integer transform kernel matrix was introduced and the orthogonality of 2 M-vector integer transform kernel matrix was validated. Then, the basic principles of blocking and reorganizing the \* . yuv format video files were given. Finally, by taking the four order and eight order integer transform kernels as examples, the 2 M-dimensional vector integer transform kernel matrix was analyzed, namely, the energy concentration of multidimensional data after integer transform was discussed. The experimental results show that 2 M-vector transform relative floating-point transformation has good energy concentration. The average value of energy concentration for the Y component has reached more than 97.3%, and those for the U component and V

收稿日期: 2012-11-12; 修订日期: 2013-01-30.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(No. 61171078); 吉林大学科学前沿与交叉学科创新项目(No. 201103256)

component have been more than 99.9%. It concludes that the results will provide a strong basis for compression processing of multi-dimensional data.

**Key words:** information processing; integer transform; 2M dimensional vector matrix; energy concentration

## 1 引言

随着计算机图形学和计算机视觉技术的飞速发展,人们对多媒体系统的要求也逐渐提高。数字视频服务逐渐成为信息社会不可或缺的一部分。由于未经压缩的视频数据会产生较大的数据量,传输时需要的传输带宽更宽,存储容量更大,为此,视频压缩是数字视频服务领域一个急需解决的问题。实际应用时,需要将这些数据进行变换编码来提高压缩比,从而减少存储空间。由于均匀分布的视频图像数据经过适当变换编码后,能把大部分能量集中到少数几个变换系数上,从而极大地去除图像元素在变换域中的相关性,这为高效率的图像压缩奠定了基础<sup>[1]</sup>。

目前最常用的变换编码是离散余弦变换(Discrete cosine Transform, DCT),DCT 有一个重要性质,就是它的变换矩阵的基向量近似于 Toeplitz 矩阵的特征向量(即沿对角线方向的元素都相同)。这就是说,对 Toeplitz 矩阵 DCT 变换后的能量集中性将非常接近 K-L 变换。统计表明,人类的语言、图像等信号的自相关矩阵常常表现出具有 Toeplitz 矩阵的特点。从这个意义上来说,DCT 是比较适合对语言、图像等信号做变换处理的一种变换<sup>[2]</sup>,它的性能接近于 K-L 变换。

如今多视点、多视角的立体视觉自由欣赏正成为视频图像系统的演化方向,它将带给人最真实的视觉感受<sup>[3]</sup>。立体视觉从原来的平面二维场景,发展到任意视角的动态场景,使人能够体会到更多的真实效果,不过该项技术同时带来了多维数据处理问题。对于如何处理这些多维数据<sup>[4]</sup>,桑爱军、陈贺新等<sup>[5]</sup>提出了 DCT 多维矢量变换矩阵,其可对大量的多维数据做变换处理,而且得到良好的效果。但由于浮点型 DCT 变换耗时较长、变换前后精度误差大,且不具有可逆性,这使其应用受到了一定的限制。针对上述问题,韩佳琦、周欣等<sup>[6-7]</sup>给出了 DCT 矢量整数变换矩阵,它

在处理多维数据时,效果优于浮点型 DCT 变换,能够节省大量时间,而且能获得比较理想的压缩效果,但对 2M 维数据的处理仍有一定的局限性。要解决这个问题,就需要为数字视频的多维数据寻找一种更为有效的模型,本文在 2M 维浮点型矢量正交变换核矩阵的基础上创新性地推出了 2M 维矢量正交整数变换的方法,它能够直接对多维数据进行处理,不仅具有理想的能量集中,而且消除了变换前后的精度误差,这为以后多维数据编码压缩奠定了基础。

## 2 2M 维矢量浮点型变换核矩阵

在介绍 2M 维矢量浮点型变换核矩阵之前,先介绍一下多维矢量矩阵的定义。

### 2.1 多维矢量矩阵的定义

定义(2.1): $F$  上的  $M \times N$  数据排列  $(a_{i_1 i_2})$  称为二维矩阵,其全体组成的集合记为  $\mathbf{M}_{M \times N}$ , $F$  上的  $I_1 \times I_2 \times \dots \times I_n$  多维数据排列表  $(a_{i_1 i_2 \dots i_n})$  称为多维矩阵,其全体组成的集合记为  $\mathbf{M}_{I_1 \times I_2 \times \dots \times I_n}$ 。

定义(2.2):如果将多维矩阵的维数分成两组,分别用 2 个矢量表示,比如  $\mathbf{M}_{K_1 \times K_2 \times \dots \times K_r}$  表示成  $M_{(I_1 \times I_2 \times \dots \times I_m) \times (J_1 \times J_2 \times \dots \times J_n)}$ ,记为  $\mathbf{M}_{\mathbf{I}, \mathbf{J}}$ ,其中  $\mathbf{I}, \mathbf{J}$  为矢量,  $\mathbf{I} = (I_1, I_2, \dots, I_m)$ ,  $\mathbf{J} = (J_1, J_2, \dots, J_n)$ ,则称多维矩阵  $\mathbf{M}$  为维数按照矢量  $\mathbf{I}, \mathbf{J}$  划分的多维矢量矩阵,简称多维矢量矩阵。

### 2.2 2M 维 $n$ 阶矩阵的乘法

由于多维与 2M 矩阵的相关性质已在文献<sup>[5][8]</sup>提出,因此下面仅介绍一下 2M 维矢量矩阵乘法的基本运算法则:

2M 维  $n$  阶矩阵  $\mathbf{A}_{2M, n} = [a_{u_1 u_2 \dots u_M v_1 v_2 \dots v_M}]_{2M, n}$ ,  $\mathbf{B}_{2M, n} = [b_{u_1 u_2 \dots u_M v_1 v_2 \dots v_M}]_{2M, n}$  和  $\mathbf{C}_{2M, n} = [c_{u_1 u_2 \dots u_M v_1 v_2 \dots v_M}]_{2M, n}$ ,则 2M 维  $n$  阶矩阵乘法定义为:

$$c_{u_1 u_2 \dots u_M v_1 v_2 \dots v_M} = \sum_{l_1=0}^{N_1-1} \sum_{l_2=0}^{N_2-1} \dots \sum_{l_M=0}^{N_M-1} a_{u_1 u_2 \dots u_M l_1 l_2 \dots l_M} b_{l_1 l_2 \dots l_M v_1 v_2 \dots v_M}. \quad (1)$$

可记为  $C=AB$ 。

### 2.3 2M 维矢量正交变换核矩阵

2M 维矢量正交变换核矩阵形式及其参数如下:

$$C_U = (c_{u_1 u_2 \dots u_M v_1 v_2 \dots v_M}),$$

其中,

$$I = (N_1, N_2, \dots, N_M), J = (N_1, N_2, \dots, N_M),$$

则 2M 维矢量正交变换核矩阵的构造公式为:

$$c_{u_1 u_2 \dots u_M v_1 v_2 \dots v_M} = \left(\frac{2^M}{N_1 N_2 \dots N_M}\right)^{\frac{1}{2}} c(u_1) c(u_2) \dots c(u_M) \cos \frac{(2v_1 + 1)u_1 \pi}{2N_1} \cos \frac{(2v_2 + 1)u_2 \pi}{2N_2} \dots \cos \frac{(2v_M + 1)u_M \pi}{2N_M}, \quad (2)$$

其中,

$$c(u_i) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2}} & u_i = 0 \\ 1 & u_i = \text{others} \end{cases}, u_i = 0, 1, \dots, N_i - 1, \\ v_i = 0, 1, \dots, N_i - 1, M \in N^* \\ N_i \in N^*, i = 1, 2, \dots, M.$$

核矩阵的转置为:

$$c_{u_1 u_2 \dots u_M v_1 v_2 \dots v_M} = \left(\frac{2^M}{N_1 N_2 \dots N_M}\right)^{\frac{1}{2}} c(u_1) c(u_2) \dots c(u_M) \cos \frac{(2v_1 + 1)u_1 \pi}{2N_1} \cos \frac{(2v_2 + 1)u_2 \pi}{2N_2} \dots \cos \frac{(2v_M + 1)u_M \pi}{2N_M} = \left(\frac{2}{N_1}\right)^{\frac{1}{2}} c(u_1) \cos \frac{(2v_1 + 1)u_1 \pi}{2N_1} \left(\frac{2}{N_2}\right)^{\frac{1}{2}} c(u_2) \cos \frac{(2v_2 + 1)u_2 \pi}{2N_2} \dots \left(\frac{2}{N_M}\right)^{\frac{1}{2}} c(u_M) \cos \frac{(2v_M + 1)u_M \pi}{2N_M} = c_{u_1 v_1} c_{u_2 v_2} \dots c_{u_M v_M}, \quad (5)$$

可得出 2M 维浮点型矢量正交变换核矩阵中的每一个系数都可由构造公式算出:

$$c_{u_1 u_2 \dots u_M v_1 v_2 \dots v_M} = (c_{u_1 v_1})(c_{u_2 v_2}) \dots (c_{u_M v_M}). \quad (6)$$

若要用该公式构造出 2M 维矢量整数变换核矩阵,需分别知道  $c_{u_1 v_1}, c_{u_2 v_2}, \dots, c_{u_M v_M}$  的值,而这里的  $c_{u_1 v_1}, c_{u_2 v_2}, \dots, c_{u_M v_M}$  是已知的二维四阶或二维八阶的整数变换核矩阵中的系数,这样通过上述公式便可得到 2M 维整数变换核矩阵  $C_{2M}^{[9]}$ 。

例如,已知二维四阶整数变换核矩阵为:

$$C_{um} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 2 & 1 & -1 & -2 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & -2 & 2 & -1 \end{bmatrix}$$

若依据该变换核矩阵构造出六维 ( $M=3$ ) 整数变换核矩阵,则六维构造公式可写成:

$$C_U^T = C_U = (c_{v_1 v_2 \dots v_M u_1 u_2 \dots u_M}),$$

其中,

$$c_{v_1 v_2 \dots v_M u_1 u_2 \dots u_M} = \left(\frac{2^M}{N_1 N_2 \dots N_M}\right)^{\frac{1}{2}} c(v_1) c(v_2) \dots c(v_M) \cos \frac{(2u_1 + 1)v_1 \pi}{2N_1} \cos \frac{(2u_2 + 1)v_2 \pi}{2N_2} \dots \cos \frac{(2u_M + 1)v_M \pi}{2N_M}, \quad (3)$$

$C_U$  满足以下性质:

$$C = C^*$$

$$C^{-1} = C^T$$

核矩阵的正交性:

$$C_U^T C_U = E_U, \quad (4)$$

其中,  $E_U$  为单位矩阵。

### 3 2M 维矢量正交整数变换核矩阵

#### 3.1 2M 维矢量整数变换核矩阵

根据上述 2M 维矢量浮点型变换核矩阵形式,推出 2M 维矢量整数变换核矩阵:

将公式(2)做变形:

$$c_{u_1 u_2 u_3 v_1 v_2 v_3} = (c_{u_1 v_1})(c_{u_2 v_2})(c_{u_3 v_3}), \quad (7)$$

其中,  $c_{u_1 v_1}, c_{u_2 v_2}, c_{u_3 v_3}$  均为该整数变换核矩阵  $C_{um}$  中的系数,可知六维整数变换核矩阵  $C_{2 \times 3}$  很容易就能够得出。

由于整数变换核矩阵是在浮点型 DCT 变换的基础上变化得来的,因此需对其进行一些等效变形,这样和 H. 264/AVC 中采用的类 DCT 整数变换方法相似,在变换外部也将产生 2M 维后置比例乘子矩阵  $E_{f_{2M}}$ 。而这里的 2M 维后置比例乘子矩阵是由二维后置比例因子矩阵  $E_f^{[9-10]}$  依据上述构造 2M 维整数变换核矩阵公式算出的,因此可得 2M 维后置比例乘子矩阵  $E_{f_{2M}}$ 。

进一步可得出 2M 维整数变换式为:

$$F_{2M} = (C_{2M} f_{2M} C_{2M}^T) \otimes E_{f_{2M}}, \quad (8)$$

其反变换为:

$$f_{2M} = C_{2M}^T (F_{2M} \otimes E_{f_{2M}}) C_{2M}, \quad (9)$$

由式(8)、式(9)可知,在变换的过程中为保证整数精度而将  $E_{f_{2M}}$  合并到量化过程中,从而实现整数变换,由此解决了计算精度误差大和编码效率低的问题,其特点是用整数变换矩阵代替 DCT 的浮点数变换矩阵,使变换过程完全是整数运算,不存在精度误差,而且保证了编码的可逆性,另外可用加法和位移代替整数乘法,因此变换过程可以完全通过加减法和位移实现,运算量大幅度减少,节省了大量的运算时间。

### 3.2 2M 维矢量 DCT 整数变换的正交性

正交变换的特性是保证变换仅仅是对坐标系的旋转,而图像的能量维持不变。为保证变换的正交性,2M 维操作算子必须满足  $(C_{2M} C_{2M}^T) \otimes E_{f_{2M}} = E_{2M}$ , 其中矩阵  $E_{2M}$  为 2M 维单位矩阵。

下面以四阶整数变换核为例来验证 2M 维矢量 DCT 整数变换的正交性。其中取 H. 264 中的二维整数变换核矩阵:

$$C_{u_1 v_1} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 2 & 1 & -1 & -2 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & -2 & 2 & -1 \end{bmatrix},$$

其比例因子矩阵为:

$$E_f = \begin{bmatrix} a^2 & \frac{ab}{2} & a^2 & \frac{ab}{2} \\ \frac{ab}{2} & \frac{b^2}{4} & \frac{ab}{2} & \frac{b^2}{4} \\ a^2 & \frac{ab}{2} & a^2 & \frac{ab}{2} \\ \frac{ab}{2} & \frac{b^2}{4} & \frac{ab}{2} & \frac{b^2}{4} \end{bmatrix},$$

其中,  $a = 1/2, b = \sqrt{2}/5$ 。

根据式(5)、式(6)和式(7),得出 2M 维整数变换核矩阵和比例因子矩阵中每个系数的表达式:

$$C_{u_1 u_2 \dots u_M v_1 v_2 \dots v_M} = c_{u_1 v_1} c_{u_2 v_2} \dots c_{u_M v_M},$$

$$e_{u_1 u_2 \dots u_M v_1 v_2 \dots v_M} = e_{u_1 v_1} e_{u_2 v_2} \dots e_{u_M v_M}.$$

可知  $C_{2M} C_{2M}^T$  的表达式为:

$$E'_{u_1 u_2 \dots u_M s_1 s_2 \dots s_M} = C_{2M} C_{2M}^T =$$

$$\left[ \sum_{v_1=0}^{N_1-1} \sum_{v_2=0}^{N_2-1} \dots \sum_{v_M=0}^{N_M-1} c_{u_1 u_2 \dots u_M v_1 v_2 \dots v_M} c_{v_1 v_2 \dots v_M s_1 s_2 \dots s_M} \right].$$

取  $u_i = s_i = 0$  时,  $e'_{00 \dots 000 \dots 0} = 4^M$ , 而  $e_{f_{00 \dots 000 \dots 0}} = 1/4^M$ , 可知两者相乘即为 1。同理可以算出矩阵中的任意系数。最后,我们发现:只要  $u_i = s_i$  时,就有:

$$e'_{u_1 u_2 \dots u_M s_1 s_2 \dots s_M} \cdot e_{f_{u_1 u_2 \dots u_M s_1 s_2 \dots s_M}} = 1$$

而当  $u_i \neq s_i$  时,其值为 0。

由上面论述可知它的运算结果为单位矩阵。因此,它具有正交性,从而对变换数据具有很好的压缩效果。

## 4 仿真实验与结果

### 4.1 多维分块与重组

为了便于变换编码,首先需对视频源进行分块和重组。变换的整个过程如下图所示:

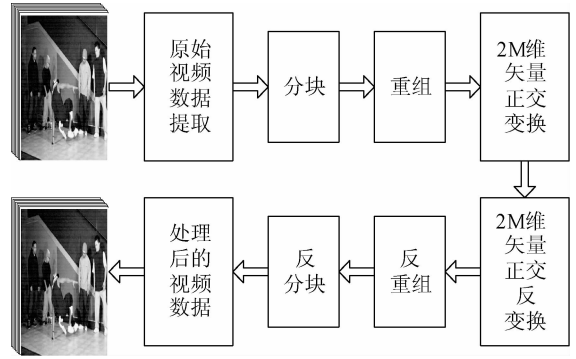


图 1 多视角视频变换编码流程图

Fig. 1 Flow chart of encoding for multi-view video

#### 4.1.1 分块

要想实现对原视频的变换,需先对其进行分块。现将 \*. yuv 格式的视频分为 Y 块、U 块、V 块,并分别在 Y、U、V 块上进行扫描得  $4 \times 4 \times 4$  数据块或者  $8 \times 8 \times 8$  数据块。下图是分成  $4 \times 4 \times 4$  数据块的示意图:

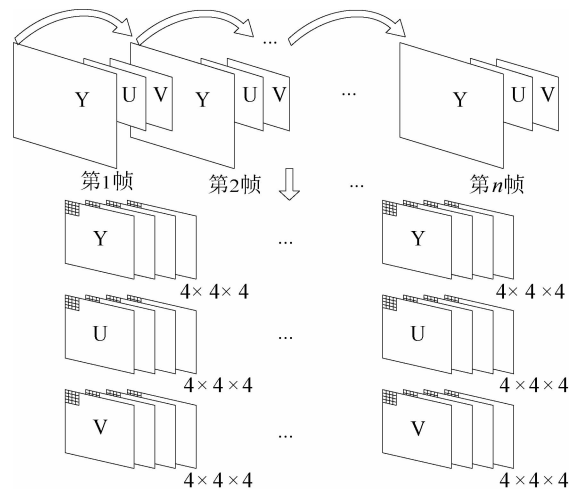


图 2 单视角整体分块示意图

Fig. 2 Schematic of overall block for single-view

4.1.2 重组

多视角视频与单一视角视频相比,特殊性在于其采用多台摄像机从不同角度对同一物体进行拍摄,各个视角间在同一时刻具有很强的相关性,考虑到这一点,在进行 2M 维 DCT 整数变换之前,有必要将各个视角得到的分块数据进行重新组合,方法如图 3 所示:

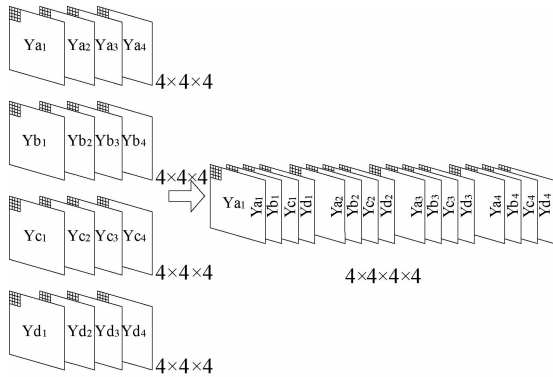


图 3 多视角视频数据的组合方法

Fig. 3 Composition method of multi-view video data

此图仅以视频视角 Y 帧为例,U、V 帧与其原理相同。4×4×4 分块后的数据分别取各个视角第一帧,按视角顺序排列,然后以同样的方法直到第四帧,便得到视频数据的重新组合,这样就得到了如上图所示的 4×4×4×4 数据块。

4.2 2M 维矢量 DCT 整数变换

本文从测试图像库中选取大小为 512×384, YUV 之比为 4:2:0 的 yuv 彩色视频作为研究对象,视角(通道)数分别为 4 和 8。于是分块重组变换后的视频数据源矩阵可以分别表示为  $f_{4 \times 4 \times 4 \times 4}$  和  $F_{8 \times 8 \times 8 \times 8}$ 。

以四维四阶的视频数据源矩阵为例,对其 DCT 整数变换的变换形式可以表示为(有 3 种表示方法):

$$C_{4 \times 4 \times 4 \times 4}^T f_{4 \times 4 \times 4 \times 4} C_{4 \times 4 \times 4 \times 4}^T = F_{4 \times 4 \times 4 \times 4}, \quad (10)$$

$$C_{4 \times 4 \times 4 \times 4}^T f_{4 \times 4 \times 4 \times 4} C_{4 \times 4 \times 4 \times 4}^T = F_{4 \times 4 \times 4 \times 4}, \quad (11)$$

$$C_{4 \times 4}^T f_{4 \times 4 \times 4 \times 4} C_{4 \times 4 \times 4 \times 4}^T = F_{4 \times 4 \times 4 \times 4}. \quad (12)$$

其中  $C_{4 \times 4}, C_{4 \times 4 \times 4 \times 4}, C_{4 \times 4 \times 4 \times 4 \times 4 \times 4}$  都是由上述构造方法而构造出来的四阶整数变换核矩阵,若是八阶的,可以用同样的方式构造出来。

4.3 能量集中性的验证

DCT 变换目的在于去除元素之间的相关性,使变换后的能量尽可能集中在较少的几个数上,以

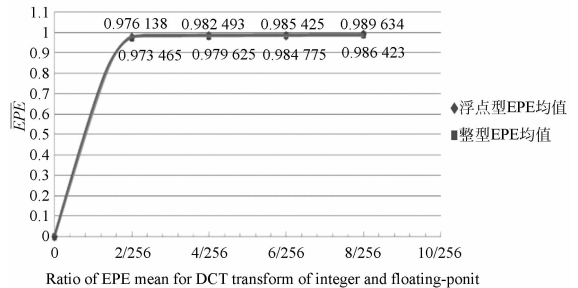
便提高量化后熵编码的压缩效率。整数变换同样也需要遵循这一原则。

为了更有效地验证整数操作算子的能量集中性,引用文献[11]中提出的能量集中率(EPE)来度量变换系数的能量集中性。EPE 定义如下:

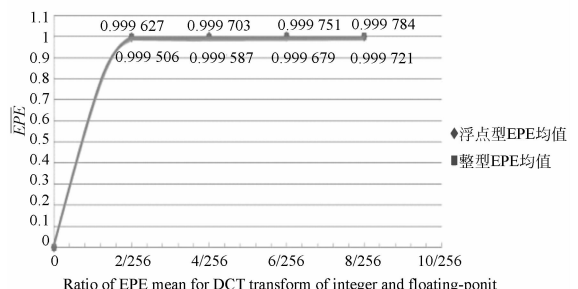
$$EPE(N_0) = \frac{\sum_{p=0}^{N_0-1} E\{X_p^2\}}{\sum_{p=0}^{N-1} E\{X_p^2\}}. \quad (13)$$

它表示在 N 个变换系数能量集中前  $N_0$  个系数占总的系数能量的百分比。对于 4×4×4×4 的分块大小,变化系数 N 为 256,在实验中,对 4×4×4×4 分块时,分别选取  $N_0 = 2, 4, 6, 7, 8$ 。这样分别计算出它们的平均能量集中性。实验结果发现:对于 4×4×4×4 块数据仅取前 2 个数据(即 2/256)时,Y 分量的平均 EPE 就已达到 97.3% 以上,而 U、V 分量的平均 EPE 也都已达到 99.9% 以上。这些数据充分说明了 2M 维矢量操作算子  $C_{2M}$  具有理想的能量集中性,这就为基于 2M 维矢量矩阵的彩色视频流变换压缩编码奠定了基础,以下是对四维四阶视频源数据变换的平均能量集中示意图,该图给出了整型和浮点型 DCT 变换 EPE 均值对比。

4×4×4×4 分块,当  $N_0 = 2, 4, 6, 8$  时,EPE 平均值如图 4 所示:



(a)Y分量的EPE平均值  
(a)EPE average value of Y component



(b)U分量的EPE平均值  
(b)EPE average value of U component

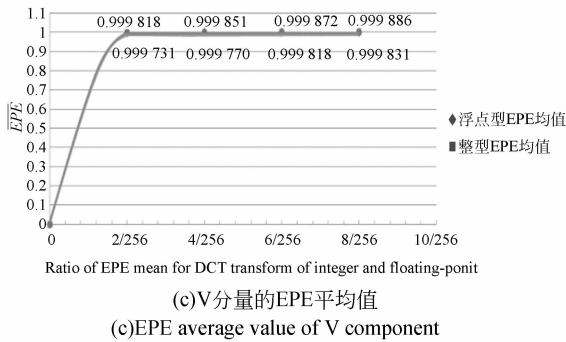


图 4 YUV 各分量的 EPE 平均值

Fig. 4 The YUV component of the EPE average value

由上面的整型和浮点型 DCT 变换的 EPE 均值对比图可以看出,运用本文的整数变换和以前的浮点型变换所得出的能量集中性值非常接近,这就说明在图像系数矩阵做变换后整数变换同样能将大部分的能量集中在少数的几个数据上。然而又由于整数变换可以通过加法和移位来代替,大大节约了变换时间,而且变

换前后都是整数运算,这样又保证了变换前后的精确度,为无损压缩编码提供了有力的依据。

## 5 结 论

本文根据现有的多维矢量矩阵理论和 DCT 变换公式,提出了 2M 维矢量整数变换核矩阵,并介绍了对多视角视频进行分块、重组的方法和原理。然后举例说明了对多视角视频分块重组成  $4 \times 4 \times 4 \times 4$  数据块进行 2M 维整数变换的过程,并研究了其变换后系数矩阵的能量集中性。最后,给出了准确的数据,验证了 2M 维整数变换的可行性,并通过实验证明其有较为理想的能量集中性能。实验结果证明:对所列举的多视角视频进行 2M 维整数变换,对于  $4 \times 4 \times 4 \times 4$  数据块仅取前 2 个数据(即 2/256)所得 Y 分量的 EPE 均值就高达 97.3% 以上,而 U、V 分量的 EPE 均值已高达 99.9% 以上。得到的数据充分证明 2M 维矢量整数变换有很好的能量集中性,为之后的压缩编码提供了有利条件。

## 参考文献:

- [1] 黄爱爱,陈耀武.可伸缩视频编码中基于部分解码的率失真优化[J].光学精密工程,2010,19(9):2170-2176.  
HUANG A A, CHEN Y W. Rate distortion optimization based on partial decoding for scalable video coding [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2010, 19(9): 2170-2176. (in Chinese)
- [2] 楚恒,朱伟乐.基于 DCT 变换的图像融合方法研究[J].光学精密工程,2006,14(2):266-273.  
CHU H, ZHU W L. Image fusion algorithms using Discrete Cosine Transform [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2006, 14(2): 266-273. (in Chinese)
- [3] 霍俊彦,常义林,李明,等.多视点视频编码的研究现状及其展望[J].通信学报,2010,31(5):113-121.  
HUO J Y, CHANG Y L, LI M, et al.. Study status and prospective of multiview video coding [J]. *Journal on Communications*, 2010, 31(5): 113-121. (in Chinese)
- [4] 骆万文.可扩展多视点视频编码技术研究[J].计算机与数字工程,2010,38(10):129-132.  
LUO W W. Research on scalable multi-view video

- coding [J]. *Computer & Digital Engineering*, 2010, 38(10):129-132. (in Chinese)
- [5] SANG A J, CHEN M SH, CHEN H X, et al.. Tiening sun. multi-dimensional vector matrix theory and its application in color image coding [J]. *Imaging Science Journal*, 2010, 58(3):171-176 (6).
- [6] 韩佳琦,刘瑶,卢化晓. H. 264 整数 DCT 的硬件实现[J].电子质量,2012,2:47-49.  
HAN J Q, LIU Y, LU H X, A hardware implementation of integer DCT in H. 264 [J]. *Electronics Quality*, 2012, 2:47-49. (in Chinese)
- [7] 周欣,段哲民,周巍.一种适用于 H. 264/AVC 的新型整数变换与量化算法[J].数据采集与处理,2011,26(6):619-625.  
ZHOU X, DUAN ZH M, ZHOU W. Novel integer transform and quantization algorithm for H. 264/AVC [J]. *Journal of Data Acquisition & Processing*, 2011, 26(6): 619-625. (in Chinese)
- [8] 孙铁凝. 2M 维矢量正交变换核矩阵及在多视角视频编码中的应用[D].吉林:吉林大学,2011.  
SUN T N. *2M-dimensional Vector Orthogonal Transform Nuclear Matrix and Application in Multi-view Video Coding* [D]. jilin: Jilin University

ty, 2011. (in Chinese)

- [9] 毕厚杰. 新一代视频压缩编码标准 H. 264/AVC [M]. 人民邮电出版社, 2005.  
 BI H J. *A new generation of video coding standard H. 264/AVC* [M]. Beijing: The people post and Telecommunications Press, 2005. (in Chinese)
- [10] 刘华, 吴云, 赵勇, 等. N 阶整数 DCT 变换基通用生成算法[J]. 中国图像图形学报, 2010, 15(12):

1742-1747.

- LIU H, WU Y, ZHAO Y, *et al.*. Generic generating algorithm for N-order integer DCT transform radix[J]. *Journal of Image and Graphics*, 2010, 15(12):1742-1747. (in Chinese)
- [11] KITAJIMA H. Energy packing efficiency of the hadamard transform [J]. *IEEE Transactions on Communications*, Nov, 1976, 24:1256-1258.

#### 作者简介:



**桑爱军**(1973—), 女, 山东莱州人, 博士, 教授, 2002 年吉林大学获得博士学位, 研究方向: 多维信号处理, 多维视频流编解码。E-mail: sangaj@jlu.edu.cn



**王 艇**(1989—), 男, 江苏淮安人, 2011 年于吉林工程技术师范学院获得学士学位, 研究方向: 多视角视频编解码。E-mail: wantin1010@sina.cn



**栾晓利**(1971—), 男, 山东莱州人, 学士, 正团职教员, 研究方向: 信号检测与处理。E-mail: llyqq@sina.com



**崔海廷**(1987—), 女, 吉林长春人, 在读研究生, 2010 年于长春理工大学获得学士学位, 研究方向: 多视角视频编解码。E-mail: cui\_hai\_ting@126.com



**陈贺新**(1949—), 男, 吉林大安人, 博士, 教授, 博士生导师, 1990 年于吉林大学获得博士学位, 研究方向: 多维信号处理, 图像与视频编解码, 视频通信, 多媒体数据库技术。E-mail: chenhx@jlu.edu.cn

(版权所有 未经许可 不得转载)